

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 پذیرش: بهمن ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: آبان ۱۲۹۷

چکیده

با کاهش سطح خلیج گرگان متأثر 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 مژول هیدرودینامیک و انتقال-پخش از مدل مایک ۲۱ 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 مژول موج نزدیک به ساحل در ۱۵ سناریو اجرا شد و به عنوان ورودی در مدل‌های هیدرودینامیک بکار گرفته شد. با مدل‌سازی شوری در سال شانص ۱۳۹۰ در تراز ۲۶/۵ متر، ضریب پخش استخراج و از آن در سایر مدل‌سازی‌ها استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی در بیشتر سناریوهای 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 رقیق شدگی آلاینده می‌گردد. بیشینه میانگین فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی به ترتیب ۴۸۷ و ۲۶۱۵ متر در تراز ۲۸ متر برآورد گردید. کمینه میانگین فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی به ترتیب ۱۹۴ و ۹۹۹ متر و در ترازهای ۲۶/۵ و ۲۶ متر برآورد گردید. بهمنظور کاهش بلایای بوم‌شناسی 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

مقدمه

کاسپی، مساحت و حجم خلیج گرگان بترتیب افزایش و کاهاش می‌یابد (Amozadeh and Kanani, 2008). پژوهش‌ها احتمال کاهاش 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 آبزی پروری 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 جرمان‌ناپذیر 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. متأسفانه در هیچیک از پژوهش‌های مذکور موضوع با ارزش کاهاش 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 آبزی پروری 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 کاهاش سطح آب بررسی خواهد شد.

مواد و روش کار

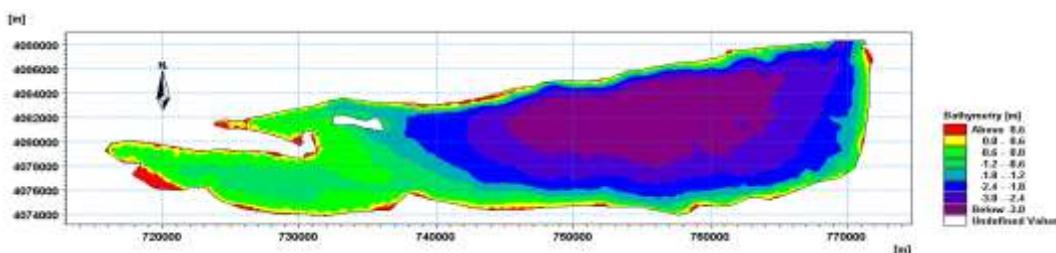
خلیج گرگان حوضه دریای نیمه بسته‌ای است که با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر و حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر در بخش جنوبی خود با استان‌های مازندران و گلستان و در بخش شمالی نیز توسط شبه جزیره میانکاله احاطه گردیده است.

فراهم آوردن برنامه غذایی کشور و نبود وابستگی به کشورهای بیگانه یکی از کارکردهای بنیادین اقتصاد مقاومتی می‌باشد (شریفی‌فديجي و همکاران، ۱۳۹۴). صنعت شیلات ایران به موجب همچواری با دریاهای خلیج فارس، عمان و کاسپی دارای توانش^۱ فراوان برای گسترش می‌باشد. با رویکرد به کاهاش چشمگیر ذخایر آبزیان در دریاهای سازمان شیلات ایران گسترش مزارع آبزی پروری 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 آبزی پروری برخوردار گردیده است (شکل ۱). در سال ۱۳۸۶ هیات دولت برنامه امکان‌سنجی آبزی پروری در خلیج و اگذاری 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، قزل‌آلاء 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 دریاهای جزو دریاهای بسته بشمار می‌رود و بجا مانده از دریای قدیم تئیس 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 عمده‌است به علت تغییرات هیدرولیکی‌ماتولوژی حاکم بر حوزه آبخیز دریای کاسپی همیشه در حال دگرگونی بوده است (عمادالدین و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش و کاهاش سطح آب در دریای

^۱ Potential



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

باد در سطح خلیج گرگان می‌باشد. بر این پایه کمینه و بیشینه مقادیر ضریب پسا در سطح خلیج به ترتیب معادل 0.001205 و 0.001891 براورد و در مدل‌سازی‌ها استفاده شد. در پژوهش حاضر از میانگین ماهانه دبی 13 رودخانه منتهی به خلیج استفاده شد (مهندسین کنکاش عمران، ۱۳۸۷). مقاومت بستر بر اساس عمق آب به صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان در نظر گرفته شد. بر این اساس تمامی اعماق کمتر از 2 متر شامل عدد مانینگ 32 و تمامی اعماق بیشتر از 2 متر شامل عدد مانینگ 36 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 آشورآده-بندترکمن 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 requirements in declining water levels.

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

خلیج گرگان تنها خلیج ایران در آبهای سواحل جنوبی دریای کاسپی و جزو 22 تالابی است که در کنواسیون رامسر به ثبت بین‌المللی رسیده است و لذا انتصاب نام تالاب میانکاله به آن صحیح نمی‌باشد. مساحت خلیج در سال 1390 و در تراز منفی $26/5$ متر نسبت به سطح خلیج فارس بالغ بر 460 کیلومترمربع و حداقل عمق آن $3/9$ متر بوده است (شربته و قانقرمه، ۱۳۹۴).

مدل دو بعدی هیدرودینامیک مایک 21 ، یک سازگان مدل‌سازی پیشرفته جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی است و از آن می‌توان جهت جفت نمودن با مازلول‌های دیگر همچون انتقال-پخش استفاده نمود. نظر به حجم بودن معادلات بکار رفته در مدل پیشنهاد می‌گردد خوانندگان محترم مقاله به خودآموز ریاضی نرم‌افزار مایک 21 مراجعه نمایند (Manual of Mike21 FM, 2014). نقشه عمق‌سنگی خلیج گرگان با استفاده از سه نقشه با مقیاس $1:25000$ به صورت یک مش بی‌ساختار با 7371 گره و 14157 یال و در 5 تراز کاهشی منفی 26 ، $26/5$ ، 27 و $27/5$ و 28 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 3 ، $5/5$ و $10/5$ متر بر ثانیه بر پایه وارسی گل باد ایستگاه اقلیم‌شناسی بندترکمن با طول آمار 23 ساله ($1374-96$) و میانگین سالانه بارش و تبخیر 602 و 1490 میلی‌متر در سال استفاده شده است. بر اساس نتایج تحقیق مروتی و همکاران (۱۳۸۶)، فرمول ارایه شده توسط گروه مهندسی نیروی دریایی ارتش ایالات متحده آمریکا (Coastal Engineering Manual, 2006)، مناسب‌ترین رابطه جهت استخراج ضریب پسای

و بلند مستخرج از تارنماهی کوستواج 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 جریان‌سنگی 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 برتریب معادل $\frac{4}{5}$ و $\frac{3}{5}$ جهت محاسبه شار گرمای نهان تبخیر و همچنین از ضرایب β و λ به ترتیب معادل $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{10}$ جهت تنظیم فرآیند تعییف نور در عمق آب استفاده شد. از دما و شوری فروردین لغایت آبان در ۱۹ موقعیت از خلیج متعلق به مرکز ذخایر آبریان 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 $\frac{2}{5}$ متر و جنوب غربی به ژرفای $\frac{2}{5}$ متر در تراز پایه $\frac{26}{5}$ متر در خلیج برای مدل‌سازی انتقال و پخش آلاینده استفاده شد. در مایک ۲۱ معادله انتقال و پخش دو بعدی همان معادله موازن جرم بر پایه غلظت می‌باشد و جهت آشنایی با معادلات بکار رفته در مدل پیشنهاد می‌گردد تا خواندن‌گان 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 آلوگی 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 آلاینده‌گی و برآورد غلظت در فواصل مختلف نسبت به

در این پژوهش از مولفه‌های تنش تابش امواج S_{xx} و S_{yy} و S_{xy} منتج از باد غالب غربی تحت سه سرعت با استفاده از مازول موج نزدیک به ساحل^۱ از نرم‌افزار مایک ۲۱ در هر تراز به عنوان ورودی به مدل جریان استفاده گردید (MIKE21NSW, 2007). مدل موج بر روی ۵ مش باساختر به تعداد 688×230 متر مربع و به ضلع ۱۰۰ متر و به صورت شباهیست 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 تجزیه‌ناپذیر 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 بی‌ساختر مایک ۲۱ اقدام گردید. جهت اعمال نوسان سطح آب به مرز باز مدل از داده‌های ایستگاه نوسان‌نگاری آشورآد 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 تارنماهی کوستواج^۲ 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 آبریان داخلی استان گلستان (جوانی، ۱۳۹۱) و داده‌های اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان (باقری، ۱۳۹۱) بهصورت ماهانه استفاده شده است. برای اعمال تبادل گرمابی خلیج با جو از داده‌های رطوبت نسبی و دمای هوا مستخرج از ایستگاه خودکار هواشناسی بندرترکمن با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و نیز پرتوهای طول موج کوتاه

¹ Near Shore Wave Model

² Coast Watch

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 جريان نیز قرار دارد. جدول‌های ۳ و ۴ بترتیب میزان فاصله بهینه و زمان رقیق شدن آلایinde 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 temperature modeling with field data.

^۱ AE	^۲ REP	^۳ MAD	^۴ RMSE	^۵ R
۰/۰۷	۷/۱۳	۰/۳۲	۱/۹۵	۰/۵۵
۱/۵۸	۱۰/۶۶	۰/۰۸	۱/۶۹	۰/۵۱

^۱. 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 جريان و پراکنش آلایinde 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.

منبع، درصد آلدگی در فواصل گوناگون نسبت به منبع آلدگی برآورد خواهد شد. برای اطمینان از اینکه آلدگی از یک مزرعه به مزرعه دیگر نرسد، می‌توان فاصله‌ای بین آنها برگزید که در آن ۹۹/۹ درصد آلدگی رقیق شده باشد (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲). بر این پایه مدل هیدرودینامیک به صورت همزمان با مدل انتقال‌پخش 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 آر.۲۲ رم ۳۲ گیگابایت و سی‌بی‌یو دو هسته‌ای زنون ۲/۶۷ گیگا هرتز استفاده شد.

نتایج

نظر به آنکه سرعت جريان یکی از عوامل مهم در انتشار و کاهش غلظت آلایinde در محیط آبی می‌باشد، لذا کاهش و یا افزایش سرعت جريان می‌تواند تاثیر بسزایی در سرنوشت نهایی آلایinde داشته باشد. نتایج مستخرج از مدل‌سازی در خصوص الگوی جريان بیانگر وجود یک گردش پادساعت‌گرد در غالب موقع در خلیج گرگان می‌باشد. میانگین، حداقل و حداکثر سرعت جريان در خلیج بترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۰۲ 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 ستاریو به صورت مولفه‌های جابجایی آلایinde در دو راستای شرقی-غربی و شمالی-جنوبی بررسی شدند و فاصله بهینه و مدت زمان رقیق شدن آلایinde 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

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

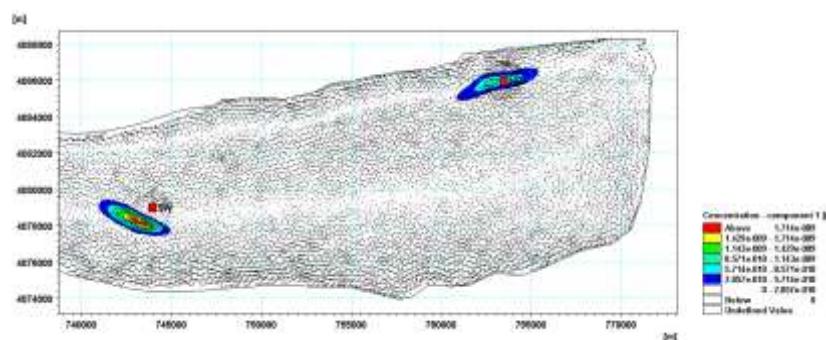
Table 3: Optimum Distance (m) at each reduction level influenced by 3 speeds of prevailing wind in the northeast and southwest farm.

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.

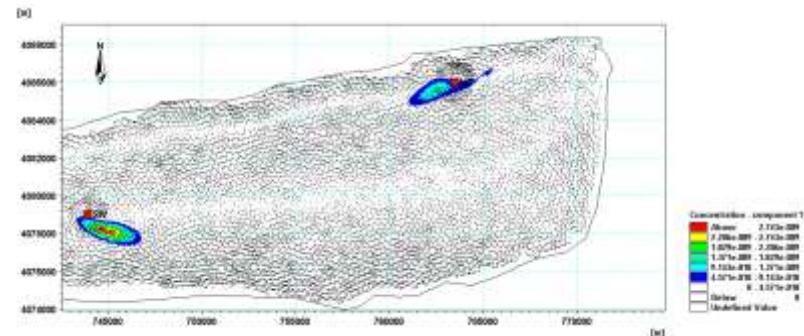
Table 4: The pollutant dilution time (s) at each reduction level influenced by 3 speeds of prevailing wind in the northeast and southwest farm.

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	s۱۶۱۰۰
	۵/۵	s۱۴۱۱۵۰	s۱۲۲۱۰۰	s۱۱۹۳۵۰	s۱۱۶۶۰۰	s۸۷۶۰۰
	۱۰/۵	s۶۲۳۸۰	s۵۹۸۵۰	s۵۲۱۰۰	s۴۴۱۰۰	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.

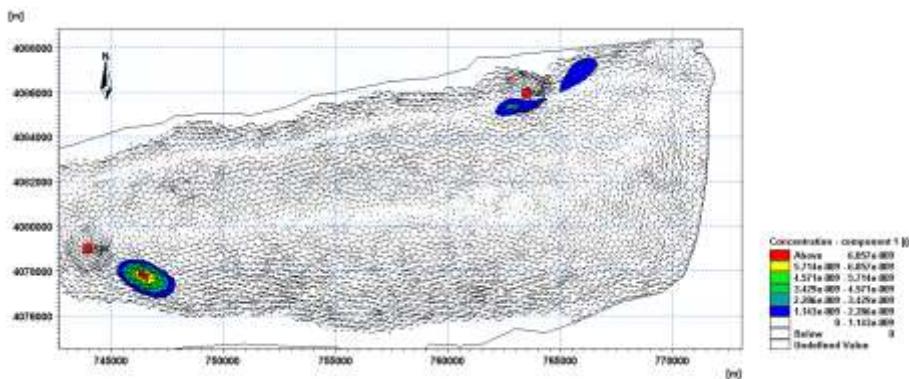


شکل ۳: توزیع سرعت جریان و پراکنش آلاینده از دو مزرعه پرورش ماهی در تراز ۲۷/۵ متر.

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

برابر ۵۰۰ و ۲۷۸۴ متر و متأثر از وزش باد غالب غربی با سرعت ۱۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد (شکل ۴).

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



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.

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

بحث

الگوی پادساعتگرد جریان خلیج گرگان پیش‌تر توسط شربتی (۱۳۹۰) و روباری شهریاری و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شده است. در این مدل‌سازی وجود جریان‌های پرسرعت در کرانه‌های شمالی و جنوبی خلیج گرگان هم جهت 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 (۲۰۱۷) Hadjizadeh همخوانی دارد.

در این پژوهش همبستگی دما معادل ۰/۵۵ بود که بیانگر همبستگی میانه بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های میدانی ۱/۹۵ بدست آمده است. در حالیکه در پژوهش انجام شده توسط Hadjizadeh و Ranjbar (۲۰۱۷) این میزان برابر ۱/۶ است. در میانگین مربع خطای شوری برابر ۰/۵۱ و جذر میانگین مربع خطای شوری برابر ۱/۶۹ بدست آمده است، در صورتی که در پژوهش‌های پیشین انجام شده توسط یاری‌نسب و همکاران (۱۳۹۲) جذر میانگین مربع خطای شوری برابر ۰/۵۱ و Ranjbar (۲۰۱۷) برابر ۱/۹ است. مهمترین عامل بروز خطای در

جمله ایرادات واردہ به نتایج کار ایشان می‌باشد. شربتی (۱۳۹۴)، با جفت نمودن دو مازول 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 واردہ به آن پژوهش، در نظر گرفتن شرط مزدیس 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 قدومندانی

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 آبزی پروری در خلیج گرگان. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات ذخایر آب‌یابان آب‌های داخلی، گزارش طرح پژوهشی، ۸۴ صفحه.

باقری، م.. 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

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 متأثر 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 بخش مرکزی خلیج گرگان و در تراز ۲۷/۵ متر متأثر 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 تسريع 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. بیش 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

- پادهای شدید در خلیج گرگان. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۶۳(۱): ۳۱-۱۹.
- موحد، م.ع.، ۱۳۶۱. خزان. انتشارات خارزمی، شماره اول، ۳۱۱ صفحه.
- مهندسين مشاور کنکاش عمران. ۱۳۸۷. مطالعات شناسایی منابع آب شبیه جزیره 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 فاصله اطمینان بین مزارع پرورش ماهی تحت بار آلودگی لحظه‌ای. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰-۵۱۷: ۶۶-۴۰.
- 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.

- مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، ۱۲۵ صفحه.
- رضا، ع.ا.، ۱۳۸۷. نام دریای شمال ایران. مرکز بزرگ دایره المعارف ایرانی و اسلامی، شماره اول، ۱۷۸ صفحه.
- رودباری شهمیری، س.، عجمی، م.، و خوشروان، م.، ۱۳۹۶. پیش‌بینی عملکرد و پایداری ریخت‌شناسی دهانه خلیج گرگان. مجله اقیانوس‌شناسی، ۳۱(۸): ۶۵-۵۳.
- شربتی، س.، ۱۳۹۰. شبیه سازی دو بعدی الگوی جریان در خلیج گرگان با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱. 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 کanal خزینی بر الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان (جنوب شرق دریای کaspی). مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۸(۳): ۷۳-۶۹.
- شربتی، س.، و قانقرمه، ع.ع.، ۱۳۹۴. پیش‌بینی تاثیر روند طولانی مدت کاهش سطح آب دریای کaspی بر حیات خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۷(۴): ۵۹-۴۶.
- شریفی‌فدبیجی، 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.، جعفری‌بیگلو، م.، زمانزاده، س.م.، و یمانی، م.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات سطح آب دریای خزر در اوخر هولوسن بر اساس سن‌سنگی 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

Manual of MIKE21, 2014. Transport module.

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.

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