

بررسی جاهایی کانال ارتباطی جدید در خلیج گرگان بر پایه ویژگی تعویض آب

سعید شربتی^۱

sharbaty1358@gmail.com

^۱ دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۶

چکیده

با ادامه روند کاهش سطح آب در آینده در دریای کاسپی، انسداد تنها راه ارتباطی خلیج گرگان با دریای مادری در ناحیه چاپاقلی میسر خواهد بود. بر این پایه یافتن راه حلی برای ارتباط دهی خلیج و دریای کاسپی با احداث یک کانال جدید می تواند حیات این بوم سازگان را تضمین کند. این مقاله به بررسی وضعیت تعویض آب در خلیج گرگان از راه کانال های ارتباطی جدید و لایروبی کانال های قدیمی در سناریوهای کاهشی سطح آب می پردازد. در این پژوهش نسبت به جفت نمودن به هنگام مازول های هیدرودینامیک و انتقال-پخش از مدل مایک ۲۱ در چهار تراز اقدام شده است. کانال های گلوگاه با داشتن زمان تعویض ۱۰۶، ۸۷، ۷۰/۵ و ۷۱/۵ روز و انزان با داشتن زمان تعویض ۱۱۷، ۱۰۸/۶، ۶۴/۶ و ۷۹/۵ روز به ترتیب در ترازهای ۲۷، ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر در اولویت پژوهش و اجرا قرار دارند. بیشینه طول کانال های گلوگاه و انزان در خلیج گرگان به ترتیب برابر ۲ و ۲/۷ کیلومتر محاسبه شد. کانال های اسماعیل سالی، آشورآده و خزینی دارای بیشترین زمان تعویض آب بوده و بیشترین نیاز برای لایروبی را در هر تراز کاهشی در نظر گرفته شده دارند. نظر به اتصال کانال انزان به عمیق ترین بخش خلیج گرگان و جلوگیری از جانشینی بوم شناختی مخرب در آینده پیشنهاد می شود تا کانال یادشده به عنوان کانال اتصال دهنده خلیج گرگان با دریای کاسپی مورد توجه جامعه پژوهشی و مسئولان قرار گیرد.

واژه های کلیدی: خلیج گرگان، تعویض آب، کاهش سطح آب، کانال، مایک ۲۱

۱. مقدمه

دریای کاسپی که در ایران به اشتباه آن را به نام خزر می شناسند [۱-۲]، در طبقه بندی دریاها جزء دریا های بسته به شمار رفته و باقی مانده اقیانوس باستانی تیس است [۳].

عدم ارتباط این دریا با دریا های آزاد سبب می شود تا تراز سطح آب در دوره های مختلف دچار افت و خیزهای متعدد شده و در نتیجه بخش های اعظمی از سواحل کم عمق حاشیه

این دریا همچون خلیج ها و تالاب ها دچار تغییرات مورفولوژیکی شود [۴].

روند افزایشی دما به دلیل عوامل انسان ساخت و کاهش ورودی رودخانه های منتهی به دریای کاسپی، سبب کاهش سطح آب این دریای بسته در آینده نه چندان دور خواهد شد. در اثر این فرایند بسیاری از بوم سازگان های آبی متصل با این دریا دچار پدیده جانشینی بوم شناختی مخرب ناشی از کاهش

با آب‌های تازه‌وارد از محیط‌های مجاور از طریق مرزهای ورودی همچون دهانه، تنگه، رودخانه یا کانال‌هاست [۱۰]. از این مفهوم برای توصیف چگونگی تغییرات بسیاری از فرایندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی استفاده می‌شود [۱۱].

برای تعیین شاخص سلامتی زمان تعویض، از سه شیوه ردیابی مواد رادیواکتیو، روابط تجربی و مدل‌سازی عددی استفاده می‌شود [۱۲].

از میان سه روش بیان‌شده، مدل‌سازی عددی نسبت به روش‌های دیگر به دلیل کاهش هزینه‌های مادی و زمانی و افزایش امکان مطالعه حوضه آبی با جزئیات بیشتر در مقیاس‌های زمان-مکانی بزرگ‌تر امتیاز بیشتری دارد. از طرفی در مدل‌سازی این شاخص زمانی از سه روش لاگرانژی، جابه‌جایی-پخش یا ترکیبی از هر دو استفاده می‌شود [۱۳].

پیش از محاسبه شاخص تجدیدپذیری در یک بدنه آبی شناخت کافی در خصوص رژیم هیدرودینامیک حاکم بر آن از ضرورت‌های اولیه تحقیق است.

در خلال دو دهه گذشته تحقیقات در خصوص شناخت رژیم هیدرودینامیک خلیج گرگان نشان داده است که این حوضه آبی اغلب در تمامی فصول گردش آب پادساعت گرد دارد [۱۴]. اندازه‌گیرهای میدانی [۱۵] و مدل‌سازی‌های دوبعدی [۱۶] از سرعت جریان نشان می‌دهد که به‌غیراز دهانه ورودی خلیج گرگان که می‌تواند مقادیر سرعت بیش از ۰/۴ متر بر ثانیه را تجربه کند، بقیه بخش‌های خلیج سرعتی در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۰۸ متر بر ثانیه دارد. بررسی اثرات بازگشایی کانال خزینی روی الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان نشان داد که بازگشایی کانال مورد اشاره با دو عرض ۲۰۰ و ۴۰۰ متر نمی‌تواند بر الگوی جریان خلیج تأثیر داشته باشد [۱۷]، باوجوداین بازگشایی کانال می‌تواند میزان تجدیدپذیری در خلیج را تا ۱۳ روز کاهش دهد [۱۸].

پیشتر برآورد دوبعدی آهنگ تجدیدپذیری آب خلیج گرگان در تراز منفی ۲۶ متر انجام شده و بیانگر آن بود که با حرکت از سمت دهانه خلیج به منتهی‌الیه غربی خلیج میزان این شاخص کاهش می‌یابد [۱۹]. نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی زمان تجدیدپذیری در خلیج و تراز منفی ۲۶/۵ متر نشان داد

سطح آب خواهند شد [۵]. خلیج گرگان تنها خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوبی دریای کاسپی است [۶]. در حال حاضر خلیج گرگان تنها به‌وسیله دو کانال باریک و کم‌عمق در ناحیه چابقلی با دریای کاسپی در ارتباط دائمی است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته، ادامه روند گرمایشی اقلیم حاکم بر دریای کاسپی در سده پیش‌رو می‌تواند سبب کاهش سطح آب دریای کاسپی به میزان ۵ متر در ۷۵ سال آینده شود [۷]. تحقیقات صورت گرفته در مقیاس محلی، احتمال انسداد دائمی شاهرگ خلیج گرگان در ناحیه چابقلی در ترازهای کاهش سطح آب دریای کاسپی در آینده نزدیک را بیان می‌کند [۸].

بر این اساس یافتن راه‌حلی برای ارتباطدهی خلیج گرگان با دریای مادری از طریق لایروبی یا عمیق‌تر نمودن کانال‌های سنتی موجود در ناحیه چابقلی و خزینی می‌تواند ادامه حیات این بوم‌سازگان منحصربه‌فرد را تضمین کند. باین حال تحقیق روی گزینه‌های جدید که بتواند شرایط مناسب‌تری را برای خلیج گرگان به لحاظ پویایی آب فراهم کند، باید مورد پژوهش قرار گیرد.

احداث کانال جدید به‌وسیله شبه‌جزیره میانکاله می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب برای ادامه حیات خلیج گرگان در شرایط کاهش سطح آب دریای کاسپی باشد. ازاین‌رو بررسی اثرات احداث کانال جدید روی خلیج گرگان به‌منظور ارتباطدهی خلیج با دریا، بر اساس سناریوهای کاهش سطح آب و رویکرد پیش‌نگاری وضعیت این خلیج به لحاظ رژیم هیدرودینامیکی و زمان تعویض آب می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و برون‌رفت از بحران در سال‌های آینده مؤثر باشد.

امروزه از شاخص‌های زمانی انتقال آب مانند زمان اقامت، سن و زمان تجدیدپذیری آب (تعویض آب) به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آسیب‌های وارده یا سلامتی محیط‌های آبی استفاده می‌شود [۹]. به بیان بهتر هر چه یک بوم‌سازگان آبی از زمان اقامت و تجدیدپذیری کمتری برخوردار باشد به‌واسطه افزایش خودپالایی از سلامتی بیشتری برخوردار خواهد بود. زمان تجدیدپذیری بیانگر مدت زمان لازم برای تعویض آب موجود در یک پیکره آبی

هدف از تحقیق حاضر یافتن کانالی مناسب برای ارتباطدهی خلیج گرگان با دریای کاسپی در سناریوهای کاهش سطح آب و بر پایه شاخص زمان تعویض آب است. کانال‌های مورد بحث نه تنها وظیفه تأمین آب را برای خلیج گرگان بر عهده دارند، بلکه با کاهش زمان تعویض آب در آن سبب کاهش سرعت فرایند تغذیه‌گرایی خواهند شد. بدین منظور در این پژوهش مدت زمان لازم برای تعویض آب در خلیج گرگان به واسطه احداث کانال‌های ارتباطی جدید از طریق شبه‌جزیره میانکاله و لایروبی کانال‌های قدیم با استفاده از ماژول‌های هیدرودینامیکی و انتقال-پخش مدل مایک ۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین کانال‌های ارتباطی به لحاظ این شاخص زمانی معرفی خواهند شد.

۲. مواد و روش‌ها

خلیج گرگان حوضه آبی نیمه بسته‌ای است که از شمال با منطقه حفاظت‌شده شبه‌جزیره میانکاله و از جنوب با استان‌های گلستان، مازندران و در بخش شمال شرقی از طریق دهانه آشورآده- بندر ترکمن با دریای کاسپی در ارتباط است. (شکل ۱). دهانه آشورآده- بندر ترکمن نیز از راه ناحیه کم‌عمقی موسوم به چاپاقلی واقع در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای کاسپی و با دو کانال آشورآده در بخش غربی و کانال چاپاقلی در بخش شرقی ناحیه یادشده با دریای مادری در ارتباط است (شکل ۲).

برای مدل‌سازی فرایند تعویض آب در حوضه خلیج گرگان از دو ماژول هیدرودینامیک و انتقال-پخش، از مدل مایک ۲۱ استفاده شده است. مدل یادشده می‌تواند جریان‌ات دوبعدی غیریکنواخت را در یک لایه از سیال که به‌طور عمودی از لحاظ چگالی همگن است در محیط‌های دریایی شبیه‌سازی نماید. معادله‌های به‌کاررفته در مدل معادله‌های آب‌های کم‌عمق پایداری جرم و اندازه حرکت است که به روش تفاضل محدود گسسته‌سازی شده و پس از انتگرال‌گیری در عمق، مؤلفه‌های میانگین‌گیری شده سرعت و تراز سطح آب به دست خواهد آمد [۲۶].

که تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان معادل ۵۰ روز بوده و بهترین زمان برای محاسبه این شاخص از ابتدای افزایش سطح آب در خلیج گرگان است [۲۰]. بررسی زمان اقامت آب متأثر از باد غالب در خلیج گرگان و در تراز منفی ۲۷ متر نشان داد که زمان اقامت آب در خلیج گرگان ۹۷ روز است [۲۱].

تحقیقات گذشته نشان داده که با کاهش تراز سطح آب در خلیج گرگان میزان تغذیه‌گرایی این خلیج افزایش یافته و بیش از ۶۴ درصد خلیج گرگان در سطح بیش‌مغذی قرار دارد [۲۲]. تردیدی نیست که با افزایش میزان تعویض آب در بوم‌سازگان‌های آبی و افزایش خودپالایی می‌توان فرایند تغذیه‌گرایی را کنترل کرد [۲۳].

احداث کانال با هدف افزایش میزان تبادلات آبی بین دو پیکره آبی در دنیای مدرن موضوع تازه و نویی نیست. به عنوان نمونه ایالات متحده آمریکا با احداث کانال پکری^۱ سبب بهبود گردش آب بین خلیج کورپس و خلیج مکزیک شد [۲۴]. جدا از عملکرد محیط زیستی کانال پکری در تعویض آب، در حال حاضر از کانال یادشده برای اهداف ناوبری و گردشگری استفاده می‌شود. تالاب ریا فورموسا^۲ یک تالاب نیمه بسته دریایی در جنوب کشور پرتغال است که با داشتن ۶ کانال ورودی با یک زبانه ماسه‌ای از دریا جدا شده است [۲۵]. در سال ۱۹۹۷ با هدف افزایش میزان ارتباطات آبی و بهبود میزان کیفیت آب در تالاب یادشده نسبت به تغییر مکان کانال ششم با نام آنکاوا^۳ اقدام شد. این اقدام موجب کاهش زمان ماند آلودگی‌ها در تالاب شد.

با وجود تحقیقات صورت گرفته در خصوص تعیین میزان تعویض آب در خلیج گرگان، معضل کاهش سطح آب در این خلیج پرسش‌هایی را در خصوص تغییر زمان تعویض آب به همراه کاهش بیشتر سطح آب مطرح نموده است. لازم به یادآوری است که طبق قانون ظروف مرتبته، معضل کاهش سطح آب در خلیج گرگان با ارتباط دادن خلیج و دریا درمان‌پذیر نیست؛ این خلیج به لحاظ تغذیه‌گرایی نیازمند کانالی است که به بهترین نحو ممکن آب را در آن به گردش در آورد.



شکل ۱. تصویر گوگل ارث از حوضه آبی خلیج گرگان (۲۰۱۸)



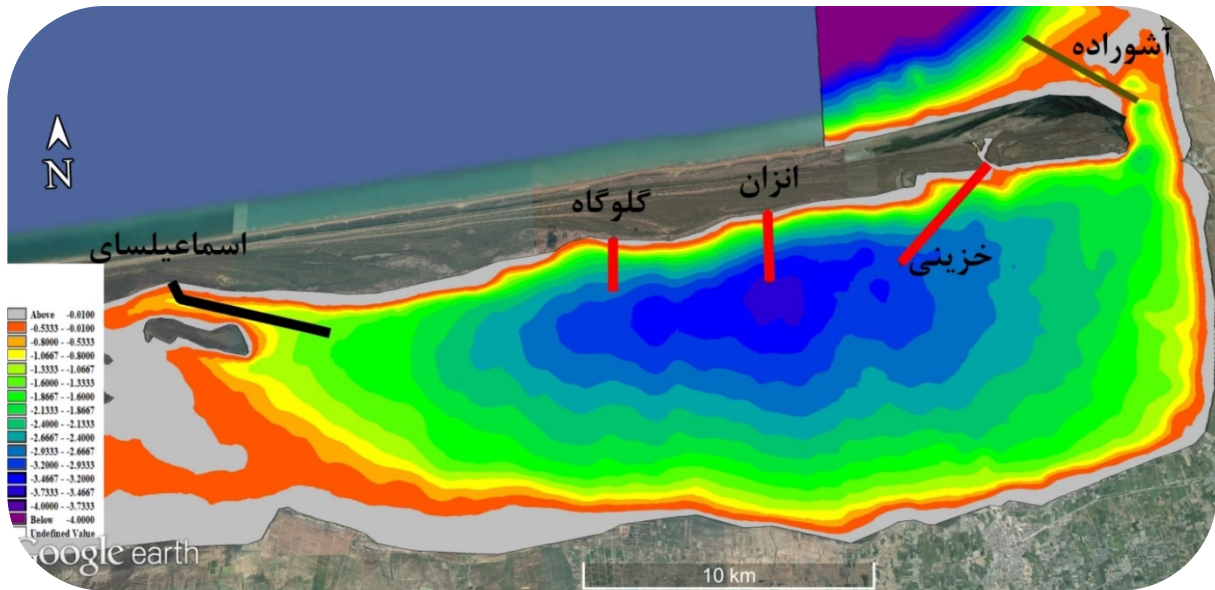
شکل ۲. کانال‌های سنتی خلیج گرگان در ناحیه چابقلی (پاییز ۹۷)

در مرحله بعد نسبت به جانمایی جداگانه کانال‌های آشوراده، خزینی^۴، انزان^۵، گلوگاه^۶ و اسماعیل‌سای^۷ به عرض ۲۲۰ متر و روی مش‌های مادر اقدام شد. موقعیت کانال‌های تازه معرفی شده اسماعیل‌سای در منتهی‌الیه غربی شبه‌جزیره میانکاله و در بالای جزیره اسماعیل‌سای به دلیل عرض ناچیز منطقه و کانال‌های انزان و گلوگاه به فاصله ۱/۵ کیلومتر از یکدیگر در میانه شبه‌جزیره میانکاله به دلیل ارتباط با بخش ژرف خلیج گرگان است.

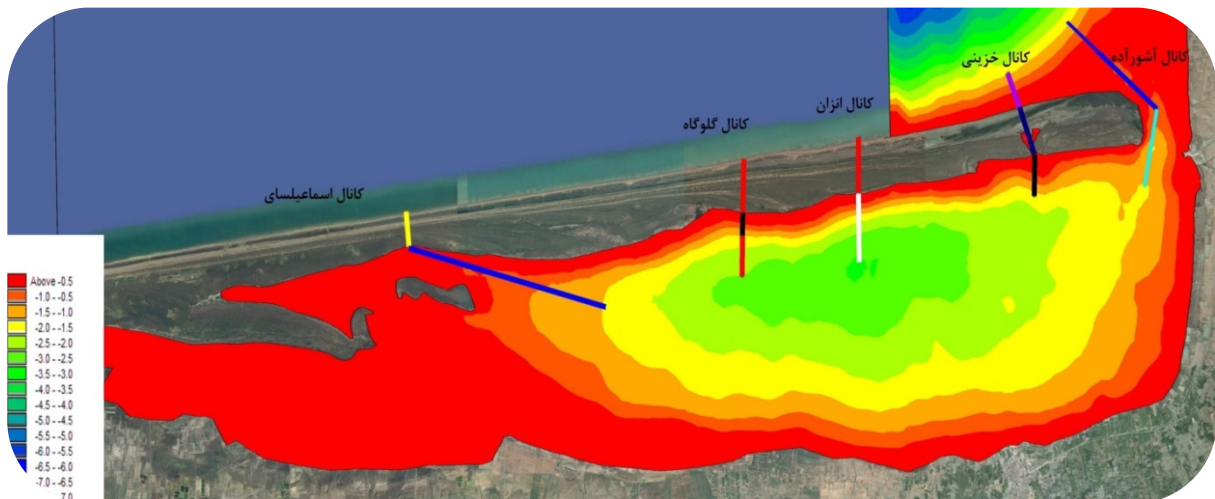
عمق هر کانال در ترازهای مختلف به گونه‌ای در نظر گرفته شده که هر کانال بتواند منحنی تراز عمقی ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ متر از دریای کاسپی را به منحنی تراز عمقی مشابه در خلیج گرگان تحت سناریوی در نظر گرفته شده را متصل کند (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

بر اساس اعلام مرکز پایش آب و هوا و نوسان سطح آب دریای کاسپی، تراز آب در سال آبی ۹۶-۹۵ معادل منفی ۲۶/۹۷ متر (تقریباً ۲۷ متر) نسبت به سطح خلیج فارس بوده است [۲۷]. برای بررسی عملکرد کانال‌های پیشنهادی در سناریوهای کاهش سطح آب، تراز آب در ۴ سناریو مجزا و برابر ۲۷، ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر در نظر گرفته شده است.

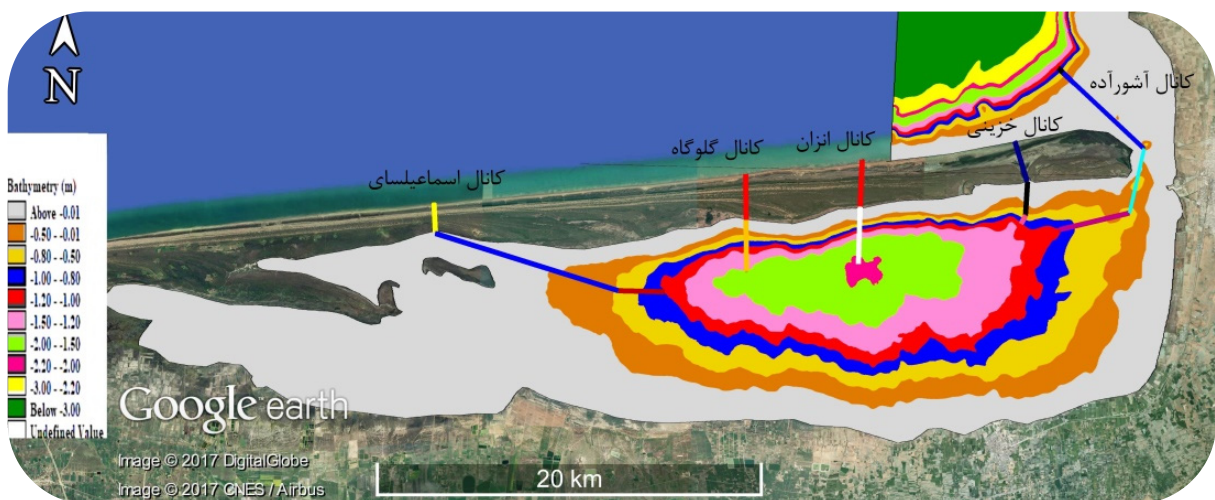
برای مدل‌سازی بستر خلیج، نسبت به اصلاح سطح تراز نقشه‌های آب‌نگاری خلیج گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ اقدام شده، سپس با وارد کردن نقاط مرزی و داده‌های تراز عمقی و درونیابی داده‌ها در محیط تولیدگر مش، شبکه‌بندی هندسی خلیج گرگان به روش بی‌ساختار در چهار تراز یادشده تولید شد. مناسب‌ترین اندازه مش استفاده‌شده برای مدل‌سازی‌ها دارای مساحت حداکثری ۲۵۰۰۰ مترمربع و حداقلی ۱۱۰ مترمربع انتخاب شد.



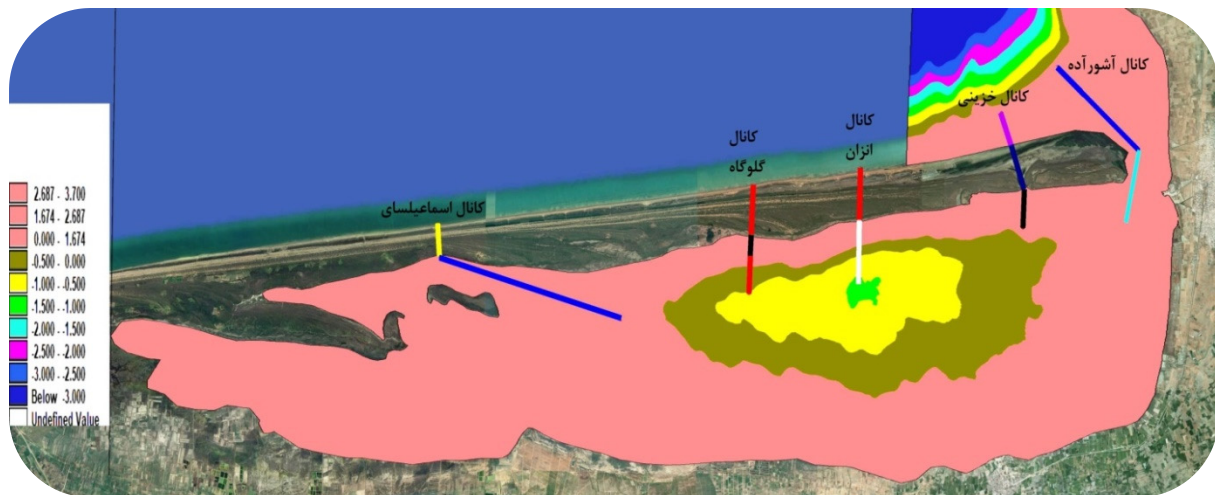
شکل ۳. نقشه عمق سنجی و موقعیت کانال‌ها در تراز ۲۷ متر



شکل ۴. نقشه عمق سنجی و موقعیت کانال‌ها در تراز ۲۷/۵ متر



شکل ۵. نقشه عمق سنجی و موقعیت کانال‌ها در تراز ۲۸/۵ متر



شکل ۶. نقشه عمق سنجی و موقعیت کانال‌ها در تراز ۲۹/۵ متر

در پژوهش‌های پیشین که در خلیج گرگان و روی مش‌های مشابه پژوهش کنونی انجام شده است، به شرح زیر استفاده شود [۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰]. برای اعمال تغییرات ضرایب اصطکاک باد به واسطه تغییرات سرعت باد از رابطه اسمیت و بنک استفاده شد [۲۸]. برای اعمال شرط مرز باز به مدل از اطلاعات نوسان‌های سطح آب در ایستگاه آشورآده متعلق به شرکت آب منطقه‌ای گلستان در تمامی مدل‌سازی‌ها استفاده شد. دوره شبیه‌سازی بالغ بر ۱۲۰۰۰۰۰ گام زمانی با فواصل زمانی ۳۰ ثانیه است. از میانگین روزانه بارش، تبخیر و میانگین ماهانه دبی ورودی ۱۳ رودخانه ورودی به خلیج منطبق با دوره زمانی مدل‌سازی استفاده شده است [۲۹]. اثر نیروی کوریولیس علی‌رغم عرض جغرافیایی بسیار ناچیز منطقه در نظر گرفته شده است. به منظور مدل‌سازی اثر گردابه‌ای از فرمول اسمانگورینسکی استفاده شد [۳۰]. در این تحقیق مقاومت بستر در خلیج گرگان بر اساس عمق آب به صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان در نظر گرفته شده است. بر این پایه اعماق کمتر از ۲ متر شامل عدد مانینگ ۳۲ و اعماق بیشتر از ۲ متر شامل مانینگ ۳۸ انتخاب شد [۲۶].

لازم به یادآوری است که نتایج مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱ شامل سرعت جریان و نوسان سطح آب، پایه اجرای زیرمدل انتقال-پخش است. بدین صورت که با جفت نمودن مدل‌های هیدرودینامیک و انتقال-پخش، در ابتدا مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱ با شرایط اعمال شده به اجرا در

برای مدل‌سازی شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر خلیج گرگان در سناریوهای کاهش سطح آب می‌توان از سه شیوه استفاده کرد. در شیوه اول می‌توان نسبت به اعمال تغییرات سطح آب یا مشخصه‌های سرعت جریان مستخرج از مدل‌سازی‌های دو یا سه بعدی دریای کاسپی در مرزهای مدل محلی خلیج گرگان استفاده کرد. در شیوه دوم می‌توان نسبت به اعمال منحنی میانگین نوسانات چندساله سطح آب در دهانه خلیج گرگان به عنوان شرط مرز باز به مدل استفاده نمود. در شیوه سوم می‌توان سالی را که در آن تمامی عوامل مؤثر بر رژیم هیدرودینامیک حوضه مورد بررسی موجود است را انتخاب و با فرض عدم تغییر عوامل در گیر در سال‌های بعد به مدل اعمال نمود. در تحقیق حاضر از فرض عدم تغییر عوامل اولیه و ثانویه برای مدل‌سازی‌ها در ترازهای یادشده استفاده شده است که بیشتر برای برآورد میزان تأثیر رودخانه‌ها در حیات خلیج گرگان استفاده شده است [۲۲]. بدین ترتیب از داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی در یک سال شاخص (۱۳۹۳) به عنوان ورودی به مدل‌سازی‌ها استفاده شده و داده‌های یادشده با فرض عدم تغییر در چهار سناریوی یادشده به مدل اعمال شد. برای معرفی تنش باد به عنوان ورودی مهم به مدل به صورت ثابت در مکان و متغیر در زمان، از داده‌های جهت و سرعت باد ایستگاه هواشناسی بندر ترکمن استفاده شده است. در ادامه پژوهش به منظور مدل‌سازی هیدرودینامیک خلیج گرگان سعی نمود تا از ضرایب هیدرودینامیکی استفاده شده

میانگین گیری از مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی در نقاط گفته شده، زمان تجدیدپذیری کل محاسبه شد [۱۰]. مدل سازی ها با در نظر گرفتن کانال های آشورآده و خزینی و کانال های پیشنهادی انزان، گلوگاه و اسماعیل سالی در چهار سناریو مفروض اجرا شد. در پایان پس از انتخاب کانال های مناسب نسبت به بررسی اثرات امکان اتصال کانال های مذکور با خط تراز عمقی بیشینه خلیج (۳/۶ متر) در تراز عمقی ۲۷ متر و تأثیر این اقدام بر میزان تعویض آب در ترازهای ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر اقدام شد.

۳. یافته ها

مدل سازی هندسه خلیج در ترازهای منفی ۲۷، ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر بیانگر کاهش عمق، مساحت و حجم خلیج گرگان به همراه کاهش تراز سطح آب است (جدول ۱).

بر اساس نتایج مدل سازی، مناسب ترین کانال ها به عمق ۱/۵ متر در تراز ۲۷ متر برای خلیج گرگان و بر اساس شاخص تعویض آب به ترتیب کانال انزان، خزینی و گلوگاه هستند (جدول ۲). نامناسب ترین کانال به لحاظ تعویض آب کانال اسماعیل سالی با زمان تعویض ۱۶۶/۵ روز است. در تراز ۲۷ متر کانال های اسماعیل سالی و آشورآده به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی اهمیت کمتری دارند. (جدول ۲).

آمده، سپس از نتایج آن برای اجرای زیرمدل انتقال-پخش به صورت هم زمان استفاده می شود. معادله انتقال و پخش دوبعدی استفاده شده در مدل مایک ۲۱ همان معادله موازنه جرم بر حسب غلظت به صورت زیر است [۳۱]:

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

در معادله های بالا 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 یا خروجی و h عمق آب است.

در مدل سازی زمان تجدیدپذیری حوضه های نیمه بسته، غلظت یک ماده پایستار را در کل حوضه برابر ۱۰۰٪ در نظر گرفته و با اعمال آبی با غلظت صفر از طریق مرزهای ورودی، زمان لازم برای اینکه غلظت ماده پایستار در حوضه به ۳۷ درصد مقدار اولیه برسد را محاسبه می کنند [۳۲]. از آنجا که زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان مدنظر بوده است، بنابراین غلظت دبی وارده از طریق رودخانه ها و بارش نیز همچون مرز ورودی معادل صفر در نظر گرفته شد. برای بررسی میزان تجدیدپذیری محلی، ۳۰ نقطه از خلیج بر اساس ویژگی های بستر و رژیم هیدرودینامیک انتخاب شد. با

جدول ۱. ویژگی های هندسی خلیج گرگان در ترازهای مفروض

تراز آب (m)	تراز منفی ۲۷	تراز منفی ۲۷/۵	تراز منفی ۲۸/۵	تراز منفی ۲۹/۵
مساحت (km ²)	۳۷۰	۳۳۰	۲۶۷	۱۰۴
محیط (km)	۱۳۱	۱۰۷	۸۰	۵۲
بیشینه ژرفا (m)	۳/۶	۳/۱	۲/۱	۱/۱
میانگین ژرفا (m)	۱/۹	۱/۶	۰/۹	۰/۴۲
حجم (km ³)	۰/۷	۰/۵۳	۰/۲۲	۰/۰۴۳

جدول ۲. ویژگی های کانال های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷ متر

نام کانال	اسماعیل سالی	گلوگاه	انزان	آشورآده	خزینی
تجدیدپذیری آب (روز)	۱۶۶/۵	۱۵۰	۱۴۳/۶	۱۵۳	۱۴۹/۶
طول کانال در خلیج (km)	۶/۳	۰/۷۵	۰/۷۳	۵	۱
طول کانال بر روی شبه جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	-	۲
مجموع طول کانال ها (km)	۷/۸	۳/۰۵	۳/۲۳	۵	۳
عمق کانال نسبت به تراز ۲۷ متر	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵
هدف کانال، رسیدن به عمق (m)	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵

بر اساس نتایج مدل سازی مناسب ترین کانال ها به عمق ۱/۵ متر برای خلیج گرگان و بر اساس شاخص تجدیدپذیری آب و در تراز منفی ۲۸/۵ متر به ترتیب کانال گلوگاه و انزان هستند (جدول ۴). نامناسب ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال اسماعیل سالی با زمان تعویض ۱۵۵/۷ روز است. در تراز ۲۸/۵ متر کانال های آشورآده و اسماعیل سالی به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۴).

بر اساس نتایج مدل سازی، مناسب ترین کانال ها به عمق ۱/۵ متر برای خلیج گرگان و بر اساس شاخص تجدیدپذیری آب و در تراز منفی ۲۷/۵ متر به ترتیب کانال گلوگاه و انزان هستند (جدول ۳). نامناسب ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال اسماعیل سالی با زمان تعویض ۱۶۹ روز است. در تراز ۲۷/۵ متر کانال های اسماعیل سالی و آشورآده به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۳).

جدول ۳. ویژگی های کانال های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷/۵ متر

نام کانال	اسماعیل سالی	گلوگاه	انزان	آشورآده	خزینی
تجدیدپذیری آب (روز)	۱۶۹	۱۱۱/۳	۱۲۶/۴	۱۲۷/۶	۱۳۴/۳
طول کانال قدیمی در خلیج (km)	۶/۳	۰/۷۵	۰/۷۳	۵	۱
طول کانال اضافه شده در خلیج (km)	۳/۷	۰/۲۵	۰/۱۳	۴/۲۵	۰/۷
طول کانال روی شبه جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۵/۵	-	۲
مجموع طول کانال ها (km)	۱۱/۵	۳/۳	۳/۳۶	۹/۲۵	۳/۷
عمق کانال نسبت به تراز ۲۷ متر	-۲	-۲	-۲	-۲	-۲
هدف کانال، رسیدن به عمق (m)	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵

جدول ۴. ویژگی های کانال های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۸/۵ متر

نام کانال	اسماعیل سالی	گلوگاه	انزان	آشورآده	خزینی
تجدیدپذیری آب (روز)	۱۵۵/۷	۹۵	۱۰۲	۱۲۵/۶	۱۳۲/۱
طول کانال قدیمی در خلیج (km)	۱۰	۱	۰/۸۶	۹/۲۵	۱/۷
طول کانال اضافه شده در خلیج (km)	۵/۵	۰/۳	۰/۶۴	۳/۸	۱/۲
طول کانال روی شبه جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	--	۲
مجموع طول کانال ها (km)	۱۴	۳/۶	۴	۱۳/۰۵	۴/۹
عمق کانال نسبت به تراز ۲۷ متر	-۳	-۳	-۳	-۳	-۳
هدف کانال، رسیدن به عمق (m)	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱

امکان اتصال کانال های یادشده با خط تراز عمقی بیشینه خلیج (۳/۶ متر) در تراز عمقی کنونی یعنی ۲۷ متر و تأثیر این اقدام بر میزان تعویض آب در ترازهای ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر اقدام شد. بر این اساس بهترین زمان تعویض آب به ترتیب برای کانال های گلوگاه و انزان محاسبه شد (جدول ۶). لازم به یادآوری است که کانال های آشورآده و اسماعیل سالی به دلیل عدم توجه فنی و مالی به سبب نیاز به احداث کانالی به طول ۱۵ کیلومتر در محاسبات حاضر لحاظ نشده است (جدول ۶).

بر اساس نتایج مدل سازی مناسب ترین کانال به عمق ۱/۵ متر برای خلیج گرگان و بر اساس شاخص تجدیدپذیری آب و در تراز منفی ۲۹/۵ متر به ترتیب کانال گلوگاه و انزان هستند (جدول ۵). نامناسب ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال آشورآده با زمان تعویض ۱۳۳/۴ روز است. در تراز ۲۹/۵ متر کانال های آشورآده، خزینی و اسماعیل سالی به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۵).

پس از انتخاب کانال های مناسب نسبت به بررسی اثرات

جدول ۵. ویژگی های کانال های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۹/۵ متر

نام کانال	اسماعیل سای	گلوگاه	انزان	آشورآده	خزینی
تجدیدپذیری آب (روز)	۱۱۶/۸	۷۱/۵	۷۹/۵	۱۳۳/۴	۱۱۲/۴
طول کانال قدیمی در خلیج (km)	۱۲/۵	۱/۳	۱/۵	۱۳/۰۵	۲/۹
طول کانال اضافه شده در خلیج (km)	۷/۸	۰/۷	۱/۲	۱۳/۱	۲/۱
طول کانال روی شبه جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	—	۲
مجموع طول کانال ها (km)	۲۱/۸	۴/۳	۵/۲	۲۶/۱۵	۷
عمق کانال نسبت به تراز ۲۷ متر	-۳/۷	-۳/۹	-۴	-۳/۷	-۳/۵
هدف کانال، رسیدن به عمق (m)	-۰/۷	-۰/۹	-۱	-۰/۷	-۰/۵

جدول ۶. مقادیر تجدیدپذیری کل خلیج گرگان مرتبط با سه کانال بهینه خزینی، گلوگاه و انزان در چهار تراز مفروض

نام کانال	سطح تراز (m)	میزان تعویض آب (روز)	مجموع طول کانال ها (km)	مجموع طول کانال ها در خلیج (km)
گلوگاه	-۲۷	۱۰۶	۴/۳	۲
انزان	-۲۷	۱۱۷	۵/۲	۲/۷
خزینی	-۲۷	۱۳۸/۷	۷	۵
گلوگاه	-۲۷/۵	۸۷	۴/۳	۲
انزان	-۲۷/۵	۱۰۸/۶	۵/۲	۲/۷
خزینی	-۲۷/۵	۱۳۸	۷	۵
گلوگاه	-۲۸/۵	۷۰/۵	۴/۳	۲
انزان	-۲۸/۵	۶۴/۶	۵/۲	۲۷
خزینی	-۲۸/۵	۱۲۸	۷	۵
گلوگاه	-۲۹/۵	۷۱/۵	۴/۳	۲
انزان	-۲۹/۵	۷۹/۵	۵/۲	۲/۷
خزینی	-۲۹/۵	۱۱۲/۴	۷	۵

۴. بحث و نتیجه گیری

مطالعات پیش از اجرا اهمیت بسیار زیادی در پروژه های بزرگ دارند و بی توجهی به آن به خسارت های زیادی در آینده منجر خواهد شد. این امر در پروژه های ساحلی که غالباً در ردیف پروژه های ملی با هزینه های بسیار بالا قرار می گیرند، اهمیت دوچندانی پیدا می کند [۳۳].

زبانه ماسه ای میانکاله فعال بوده و نه تنها کاهش سطح آب عامل تهدید خلیج گرگان محسوب می شود؛ بلکه بر اساس تحقیقات صورت گرفته در صورتی که تراز آب در چند دهه همچون ابتدای دهه ۵۰ خورشیدی باقی بماند به سهولت خلیج گرگان توسط حرکت زبانه ماسه ای میانکاله از سمت غرب به شرق بسته خواهد شد [۳۴]. این موضوع بر التزام به لایروبی کانال های سنتی یا احداث کانال های

جدید به منظور ارتباط خلیج با دریا برای حفظ ماهیت ذاتی خلیج که یک تالاب دریایی است تأکید می کند. فرایند نگران کننده ای که در آینده وقوع آن سبب جانمایی های بوم شناختی در خلیج گرگان خواهد شد، کاهش سطح آب است. بر اساس پژوهش های انجام شده، در صورتی که اقلیم حاکم بر حوضه دریای کاسپی و همچنین مقادیر آب ورودی با رودخانه ها به دریا برای مدت یک سده ثابت باقی بماند احتمال کاهش ۵ متری تراز سطح آب دریای کاسپی در ۷۵ سال آینده حتمی است [۷]. از طرفی پژوهش های صورت گرفته در مقیاس کوچک تر که بر اساس داده های عمقی نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ شرکت دریا ترسیم از ناحیه چاپاقلی است؛ بیان می کند که در نگاه خوش بینانه این خلیج در تراز منفی ۲۷/۶ متر نسبت به

تحقیق حاضر نشان داده است که هر کانالی می‌تواند موضوع تأمین آب خلیج را از طریق دریا رفع کند، اما بنا به موقعیت کانال‌ها و میزان تأثیر آن‌ها بر رژیم تعویض آب هر کانالی نمی‌تواند به نحو مطلوب زمان تعویض آب را در خلیج گرگان کاهش دهد.

جانمایی یک کانال اکولوژیکی که علاوه بر ارتباط بخشی خلیج گرگان با دریای مادری و تأمین آب از دریا نسبت به کاهش زمان تعویض آب در خلیج گرگان می‌تواند مفید باشد، موضوع مهمی برای خلیج گرگان در آینده با توجه به سناریوهای کاهش سطح آب در دریای کاسپی است. نتایج تحقیق حاضر در خصوص جانمایی کانال‌های اکولوژیکی در خلیج گرگان بیان می‌دارد که به ترتیب کانال‌های گلوگاه و انزان در تمامی ترازهای کاهش سطح آب (۲۷، ۲۷/۵، ۲۸/۵ و ۲۹/۵ متر) کمترین میزان زمان تعویض و همچنین کمترین میزان نیاز برای لایروبی را در آینده در بر خواهند داشت. با وجود این نظر به ارتباط کانال انزان به عمیق‌ترین بخش خلیج گرگان پیشنهاد می‌شود که کانال اکولوژیکی خلیج گرگان در این بخش از شبه‌جزیره میانکاله احداث شود.

قابل ذکر است که قسمت غربی و بخش مرکزی شبه‌جزیره میانکاله به ترتیب در طبقه ۴ و ۹B به لحاظ شاخص حساسیت محیط زیستی و تقسیم‌بندی حساسیت فیزیکی سواحل قرار دارند و این در حالی است که تالاب گمیشان، خواجه نفس، چالاش و بخش‌های دهانه ورودی خلیج گرگان و ناحیه چاباقلی در طبقه ۱۰D از دسته‌بندی NOAA قرار دارند [۳۶]. به عبارتی حساس‌ترین منطقه جهت دست‌اندازی فعالیت‌های انسانی به لحاظ فیزیکی بخش شرقی شبه‌جزیره میانکاله و در ناحیه چاباقلی است.

همچنین نتایج تحقیق در خصوص پهنه‌بندی زیست‌محیطی سواحل استان گلستان از طریق وزن‌گذاری ارزش‌های بوم‌شناختی نشان داده است که کرانه‌های پیرامون گرگان‌رود (بخش شمالی ناحیه چاباقلی) واجد ارزش‌های زیست‌محیطی متوسط بوده و باید با عنوان مناطق حفاظت‌شده محسوب شده و فرایند توسعه در پیرامون آن‌ها

خلیج‌فارس و در سال ۱۴۱۰ خورشیدی هیچ ارتباطی با دریای مادری نخواهد داشت [۸]. بر این اساس فرض انسداد شاهرگ ارتباطی خلیج گرگان با دریای کاسپی در ناحیه چاباقلی امری محتمل در آینده است که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

از دیگر سو در خلال دو دهه اخیر کاهش سطح آب تنها معضل خلیج گرگان نبوده و بحث تغذیه‌گرایی که با کاهش سطح آب و کاهش میزان حجم و به تبع آن خودپالایی آب در ارتباط مستقیم بوده، موضوعی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۲]. بر اساس تحقیقات صورت گرفته خلیج گرگان در ابتدای دهه ۸۰ خورشیدی به لحاظ تغذیه‌گرایی در سطح بینابینی قرار داشته است [۳۵]. تردیدی نیست که به همراه کاهش سطح آب در دریای کاسپی میزان ارتباط خلیج گرگان با دریا نیز کاهش خواهد یافت و این موضوع به معنی کاهش حجم تبادلات آبی خلیج گرگان با دریای مادری و از کارافتادن سیستم تعویض آب است که به دنبال آن وقوع هایپرتروفی^۸ کامل در خلیج و هایپوکسی^۹ را در بر خواهد داشت. بر اساس بازدیدهای میدانی از ناحیه چاباقلی که در بهمن ماه سال ۱۳۹۶ انجام شده است، حداقل عمق کانال‌های آشورآده (به عرض ۱۰۰ متر) و چاباقلی (به عرض ۲۳۰ متر) در ناحیه چاباقلی به ترتیب ۲۰ و ۸۵ سانتی‌متر بوده است و این موضوع کاهش میزان تعویض را در خلیج گرگان به سبب کاهش تبادلات آبی از طریق دهانه ورودی خلیج بیان می‌دارد.

بر اساس مطالب یادشده راه کار بلندمدت برای خروج خلیج گرگان از معضلات پیش‌رو (تغذیه‌گرایی و کاهش سطح آب) تنها ارتباط دادن خلیج با دریا از طریق لایروبی کانال‌های سنتی خزینی یا آشورآده نیست. خلیج گرگان علاوه بر نیاز به تأمین آب نیازمند تعویض آب برای جلوگیری از تشدید فرایند تغذیه‌گرایی است.

یکی از راهکارهای قابل ارائه برای کنترل یا کاهش سرعت فرایند تغذیه‌گرایی افزایش میزان خودپالایی آب در خلیج گرگان با افزایش میزان تعویض آب در آن است. نتایج

بی‌بدیل با یکدیگر است. برای فائق آمدن بر این مشکل پیشنهاد می‌شود که کانال یادشده یا به صورت سرپوشیده یا از طریق لوله گذاری اجرا شود.

تأکید می‌شود که تالاب دریایی خلیج گرگان در هر شرایطی باید با دریای مادری برای حفظ ماهیت ذاتی خود در ارتباط باشد حتی اگر این موضوع در بلندمدت سبب اضمحلال یا وقوع جانشینی‌های بوم‌شناختی در آن گردد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر از طرح پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره شناسه ۴۷-۳۹۳-۹۷ استخراج شده است، بدین وسیله از زحمات تمامی دست‌اندرکاران طرح پژوهشی سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [۱] رضا عنایت‌الله. نام دریای شمال ایران. مرکز بزرگ دایره‌المعارف ایرانی و اسلامی؛ ۱۳۸۷.
- [۲] موحد محمدعلی. خزران. انتشارات خوارزمی؛ ۱۳۶۱.
- [3] Ozyavas A, Khan SD. The driving forces behind the Caspian Sea mean water level oscillations. *Environmental Earth Sciences*. 2012 Mar 1;65(6):1821-30.
- [4] Kakroodi AA, Kroonenberg A, Yamani M. Shoreline Response to Rapid 20th Century Sea-Level Change along the Iranian Caspian Coast, *Journal of Coastal Research*. 2014;30(6):1243-50.
- [۵] شربتی سعید. ضرورت بررسی اثرات کاهش سطح آب دریای کاسپی بر وضعیت خلیج گرگان و ارائه راه کار جهت برون‌رفت از بحران در سال‌های آتی. *مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان*. ۱۳۹۵؛۱(۵):۸۳-۱۰۵.
- [۶] عادل افشین. راهبردهای حفاظت تالاب حفاظت‌شده میانکاله. *نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی*. ۱۳۹۲؛۱(۱):۳۷-۵۰.
- [7] Chen JL, Pekker TC, Wilson R, Tapley BD, Kostianoy AG, Cretaux JF, Safarov ES. Long-term Caspian Sea level change. *Journal of Geophysical Research Letters*. 2017;27(3): 6993-7001.
- [۸] شربتی سعید، قانقرمه عبدالعظیم. پیش‌یابی تأثیر روند

منطبق با ضوابط زیست‌محیطی قانون‌مند باشد [۳۷]. این نوع از پژوهش‌ها بر اهمیت ناحیه چابقلی به لحاظ زیست‌محیطی تأکید می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌دست آمده از تمامی مدل‌سازی‌ها نشان داده است که احداث کانال جدید تأثیری بر رژیم هیدرودینامیک غالب خلیج گرگان (گردش پادساعت‌گرد) نخواهد داشت و تنها بر میزان تعویض آب تأثیرگذار خواهد بود. همچنین موقعیت کانال مهم‌ترین عامل در کاهش زمان تعویض آب در خلیج گرگان است. ارتباط کانال‌های انزان و گلوگاه با طی یک مسافت کوتاه به بخش ژرف خلیج و وجود دو حلقه جریان کوچک اما پرنرژی در محل اتصال کانال‌های یادشده با بخش عمیق خلیج به همراه وزش بادهای غالب شمالی و غربی سبب افزایش کارکرد کانال‌های مورد اشاره در کاهش زمان تعویض خلیج گرگان است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که لایروبی یا بهینه‌سازی کانال‌های سنتی آشورآده و چابقلی در ناحیه چابقلی کمترین تأثیر را در کاهش زمان تعویض آب در خلیج گرگان خواهند داشت. لایروبی این کانال‌ها نه تنها به لحاظ تعویض آب کارکرد لازم را ندارند، بلکه اجرای یک برنامه لایروبی در ناحیه چابقلی سبب زایش فرزند معلولی خواهد شد که با هر بار کاهش سطح آب در دریای کاسپی هزینه لایروبی مجدد به‌واسطه افزایش طول و عمق کانال موجب هدر رفت سرمایه در آینده خواهد شد.

با در نظر داشتن موارد گفته‌شده به لحاظ زیست‌محیطی و برآورد هزینه‌های لایروبی مجدد در ناحیه چابقلی به‌واسطه احتمال کاهش بیشتر سطح آب در آینده بحث لایروبی کانال‌های سنتی باید با حساسیت بیشتری مورد توجه مسئولان قرار گیرد.

یکی از ایرادهای وارده برای ساخت سازه جدید برای خلیج گرگان تقسیم شبه جزیره میانکاله به دو بخش شرقی و غربی و در نتیجه عدم ارتباط فون و فلور این ذخیره‌گاه زیست‌کره

- بر الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۱۳۹۴؛ ۲۲(۳): ۲۴۱-۲۴۸.
- [۱۸] شربتی سعید، نسیمی سورنا. مدل سازی اثرات بازگشایی کانال خزینی بر زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان، جنوب شرق دریای کاسپی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۳۹۷؛ ۲۰(۱): ۵۵-۶۸.
- [۱۹] شربتی سعید، کلنگی میاندره حامد. مدل سازی دوبعدی نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۳۹۶؛ ۱۹: ۲۴۰-۲۴۹.
- [۲۰] شربتی سعید. مدل سازی سه بعدی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان به منظور توسعه آبرزی پروری. نشریه توسعه آبرزی پروری. ۱۳۹۵؛ ۱۰(۳): ۱۰۵-۱۱۸.
- [21] Ranjbar MH, Zaker NH. Numerical modeling of general circulation, thermohaline structure, and residence time in Gorgan Bay, Iran. *Ocean Dynamics*. 2018 Jan 1;68(1):35-46.
- [۲۲] شربتی سعید. بررسی آینده احتمالی خلیج گرگان پس از جدایی از دریای کاسپی از نگاه توالی بوم شناختی. بهره برداری آبریان. ۱۳۹۶؛ ۶(۴): ۴۱-۵۳.
- [۲۳] حسینی سیدعلی. هیدروبولوژی عمومی. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ ۱۳۹۴.
- [24] Williams DD, Kraus NC, Anderson LM. Morphologic Response to a New Inlet, Packery Channel, Corpus Christi, Texas. *Proceedings of Coastal Sediments '07 Conference; 2007 May 13-17; New Orleans, Louisiana. ASCE Press; 2007. p. 1529-42.*
- [25] Miguel J, Bertin X, Souca MC, Fortunato, A. Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling and Software*. 2009; 24(6):711-25.
- [26] Manual of MIKE 21. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software). 2014. p.32-50.
- [27] Coordinating Committee on Hydrometeorology and Pollution Monitoring Of the Caspian Sea (CASPCOM). Information bulletin on the state of the Caspian Sea level. 2018; 15(12): 2.
- [28] Smith SD, Banke EG. Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed. *Quarterly*
- طولانی مدت کاهش سطح آب دریای کاسپی بر حیات خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۳۹۴؛ ۱۷(۴): ۴۶-۵۹.
- [۹] شربتی سعید. مفاهیم و کاربردهای مقیاس های زمانی انتقال آب در بوم سازگان های دریایی. اولین همایش ملی آبریان و توسعه آبرزی پروری؛ ۱۳۹۳ اسفند ۱۴؛ اهواز، ایران.
- [10] Koutitonski VG, Guyondet T, St-Hillaire A, Courtenay SC, Bohgen A. Water Renewal Estimates for Aquaculture Developments in the Richibucto Estuary, Canada. *Journal of Estuaries*. 2004; 27(5): 839-50.
- [11] Monsen NE, Cloern JE, Lucas LV, Stephen GM. A Comment on the Use of Flushing Time, Residence Time, and Age as Transport Time Scales. *Journal of Limnology and Oceanography*. 2002;47(5): 1545-53.
- [12] Umgieser G, Canu DM, Cucco A, Solidoro CA. Finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation. *Journal of Marine Systems*. 2004;51(4):123-45.
- [13] Gillibrand PA. Calculating exchange times in a Scottish fjord using a two-dimensional, laterally-averaged numerical model. *Journal of Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2001; 53:437-49.
- [۱۴] شربتی سعید، حسینی سمیه سادات. شبیه سازی دوبعدی الگوی جریان خلیج گرگان در خلال یک دوره یک ساله. گزارش طرح پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳۹۰. شماره طرح ۴۵.۴۲/۳۲۴۵ صفحه.
- [۱۵] رحیمی پورانارکی حمید. بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش بینی الگوی فرسایش و رسوب گذاری در خلیج گرگان. گزارش طرح پژوهشی، شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی. ۱۳۸۱. ۲۴۶ صفحه.
- [۱۶] یاری نسب آمنه، طاهری شهرآیینی حمید، محمدخانی حسن، پورصوفی طاهر، منصوری بهروز. مدل سازی هیدرودینامیکی و شوری خلیج گرگان به منظور استخراج فاصله اطمینان بین مزارع پرورش ماهی تحت بار آلودگی لحظه ای. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران. ۱۳۹۲؛ ۶۶(۴): ۵۱۷-۵۰۵.
- [۱۷] شربتی سعید، شعبانی علی. اثرات بازگشایی کانال خزینی

پی نوشت

1. Packery Channel
2. Ria Formosa Lagoon
3. Ancao Inlet
4. Khozeini
5. Anzan
6. Galogah
7. Esmaeilsai
8. Hypertrophy
9. Hypoxi

- Journal of the Royal Meteorological Society. 1975 Jul;101(429):665-73.
- [۲۹] مهندسین مشاور کنکاش عمران. مطالعات شناسایی منابع آب شبه جزیره میانکاله. گزارش طرح پژوهشی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران؛ ۱۳۸۷. ۸۹ صفحه.
- [30] Smagorinsky J. General circulation Experiments with the primitive equations. Monthly Weather Review. 1963; 91: 91-164.
- [31] Vanderborcht JP, Folmer IM, Aguilera DR, Uhrenholdt T, Regnier P. Reactive-transport modeling of C, N, and O₂ in a river-estuarine-coastal zone system: Application to the Scheldt estuary. Journal of Marine Chemistry. 2007;106: 92-110.
- [32] Arneborg L. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. Journal of Continental Shelf Research. 2004;24:443-60.
- [۳۳] کتابداری محمدجواد، مروتی رضا. نقش و اهمیت مکان‌یابی بهینه به منظور اجرای پروژه‌های ساحلی (مطالعه موردی اسکله بندرگز). اولین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه‌های عمرانی؛ ۱۳۹۳ اردیبهشت ۱۱؛ گرگان، ایران.
- [۳۴] علی‌زاده کتک‌لاهیجانی حمید. رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی خلیج گرگان. گزارش طرح پژوهشی، انتشارات مرکز ملی اقیانوس‌شناسی. ۱۳۸۶. شماره انتشار ۳۸۶-۱۰۱-۰۱.
- [۳۵] کرباسی علی‌رضا. بررسی فرایند یوتروفیکاسیون در خلیج گرگان. مجله علمی آب و محیط‌زیست. ۱۳۸۲؛ ۵۶-۵۷: ۲۰-۱۴.
- [۳۶] نزاکتی رویا. ارزیابی حساسیت فیزیکی نوار ساحلی تالاب میانکاله بر اساس شاخص حساسیت محیط زیستی (ESI). مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی. ۱۳۸۹؛ ۵ (۱): ۲۹-۴۰.
- [۳۷] دانه کار افشین. پهنه‌بندی زیست‌محیطی سواحل استان گلستان از طریق وزن‌گذاری ارزش‌های بوم‌شناختی. ششمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی؛ ۱۳۸۳؛ تهران، ایران.