دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک
دورهٔ پنجم، شمارهٔ اول (بهار و تابستان ۱۳۹۸)
مقالهٔ پژوهشی

بررسی جانمایی کانال ارتباطی جدید در خلیج گرگان بر پایهٔ ویژگی تعویض آب

سعید شربتی[۱]

[۱] دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان sharbaty1358@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش:** ۹۸/۰۷/۲۴

چکیده

با ادامهٔ روند کاهش سطح آب در آینده در دریای کاسپی، انسداد تنها راه ارتباطی خلیج گرگان با دریای مادری در ناحیهٔ چاپاقلی میسر خواهد بود. بر این پایه یافتن راه‌حلی برای ارتباط‌دهی خلیج و دریای کاسپی با احداث یک کانال جدید می‌تواند حیات این بوم‌سازگان را تضمین کند. این مقاله به بررسی وضعیت تعویض آب در خلیج گرگان از راه کانال‌های ارتباطی جدید و لایروبی کانال‌های قدیمی در سناریوهای کاهشی سطح آب می‌پردازد. در این پژوهش نسبت به جفت نمودن به‌هنگام ماژول‌های هیدرودینامیک و انتقال- پخش از مدل مایک ۲۱ در چهار تراز اقدام شده است. کانال‌های 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 کانال‌های گلوگاه و انزان در خلیج گرگان به‌ترتیب برابر ۲ و ۲/۷ کیلومتر محاسبه شد. کانال‌های اسماعیل‌سای، 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 عمیق‌ترین بخش خلیج گرگان و جلوگیری از جانشینی بوم‌شناختی مخرب در آینده پیشنهاد می‌شود تا کانال یادشده به‌عنوان کانال اتصال‌دهنده خلیج گرگان با دریای کاسپی موردتوجه جامعه پژوهشی و مسئولان قرار گیرد.

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

۱. مقدمه

دریای کاسپی که در ایران به‌اشتباه آن را به نام خزر می‌شناسند [۱-۲]، در طبقه‌بندی دریاها جزء دریاهای بسته به‌شمار رفته و باقی‌ماندهٔ اقیانوس باستانی تتیس است [۳].

عدم ارتباط این دریا با دریاهای آزاد سبب می‌شود تا تراز سطح آب در دوره‌های مختلف دچار افت‌وخیزهای متعدد شده و درنتیجه بخش‌های اعظمی از سواحل کم‌عمق حاشیه این دریا همچون خلیج‌ها و تالاب‌ها دچار تغییرات مورفولوژیکی شود [۴].

روند افزایشی دما به دلیل عوامل انسان‌ساخت و کاهش ورودی رودخانه‌های منتهی به دریای کاسپی، سبب کاهش سطح آب این دریای بسته در آینده نه‌چندان دور خواهد شد. در اثر این فرایند بسیاری از بوم‌سازگان‌های آبی متصل با این دریا دچار پدیدهٔ جانشینی بوم‌شناختی مخرب ناشی از کاهش

سطح آب خواهند شد [۵]. خلیج گرگان تنها خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوبی دریای کاسپی است [۶]. در حال حاضر خلیج گرگان تنها به‌وسیلهٔ دو کانال باریک و کم‌عمق در ناحیه چاپاقلی 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 چاپاقلی در ترازهای کاهشی 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 چاپاقلی و خزینی می‌تواند ادامه حیات این بوم‌سازگان منحصربه‌فرد را تضمین کند. بااین‌حال 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 به‌وسیلهٔ شبه‌جزیره میانکاله می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب برای ادامهٔ 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 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 محاسبهٔ شاخص تجدیدپذیری در یک بدنه آبی شناخت کافی در خصوص رژیم هیدرودینامیک حاکم بر آن از ضرورت‌های اولیهٔ تحقیق است.

در خلال دو دههٔ گذشته تحقیقات در خصوص شناخت رژیم هیدرودینامیک خلیج گرگان نشان داده است که این حوضه آبی اغلب در تمامی فصول گردش آب پادساعت‌گرد 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، بقیهٔ 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 مورداشاره 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

که تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان معادل ۵۰ روز بوده و بهترین زمان برای محاسبهٔ 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 ایالات‌متحده آمریکا با احداث کانال پکری[1] 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[2] 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 آنکااو[3] 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 مرتبطه، 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.

هدف از تحقیق حاضر یافتن کانالی مناسب برای ارتباط‌دهی خلیج گرگان با دریای کاسپی در سناریوهای کاهشی سطح آب و بر پایه شاخص زمان تعویض آب است. کانال‌های موردبحث نه‌تنها وظیفهٔ 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 به‌واسطه 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 آشوراده- بندر ترکمن با دریای کاسپی در ارتباط است. (شکل ۱). دهانه آشوراده- بندر ترکمن نیز از راه ناحیه کم‌عمقی موسوم به چاپاقلی واقع در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای کاسپی و با دو کانال آشوراده 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 حوضهٔ 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 ازلحاظ چگالی همگن است در محیط‌های دریایی شبیه‌سازی نماید. معادله‌های به‌کاررفته در مدل معادله‌های آب‌های کم‌عمق پایستگی جرم و اندازه حرکت است که به روش تفاضل محدود گسسته‌سازی شده و پس از انتگرال‌گیری در عمق، مؤلفه‌های میانگین‌گیری شدهٔ سرعت و تراز سطح آب به دست خواهد آمد [۲۶].

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

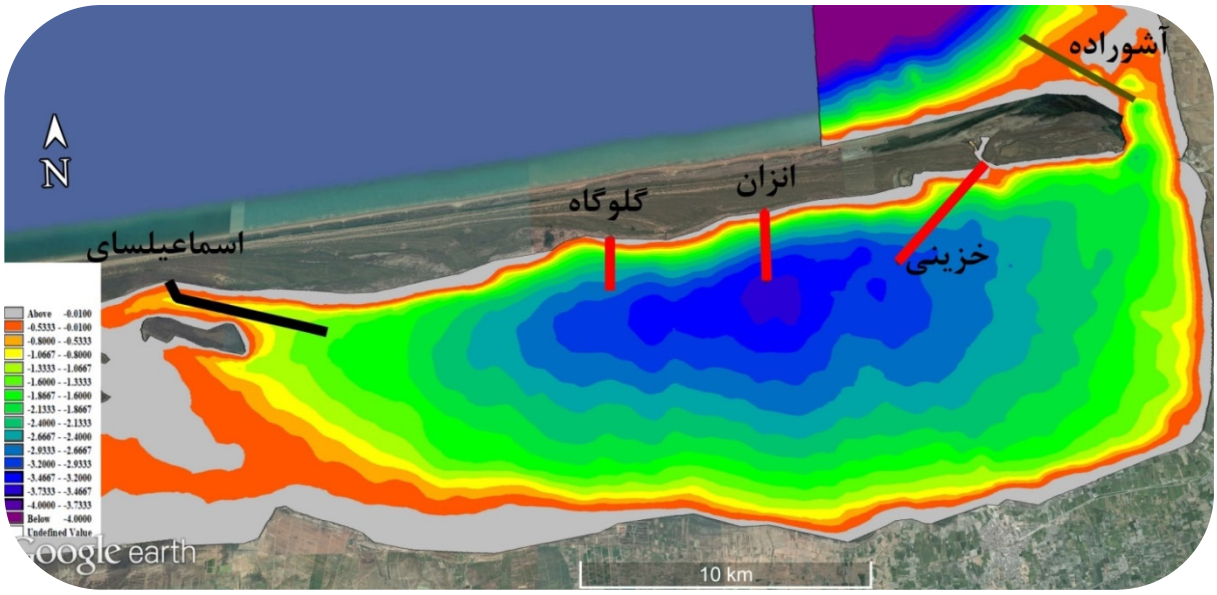
شکل ۲. کانال‌های سنتی خلیج گرگان در ناحیه چاپاقلی (پاییز ۹۷)

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

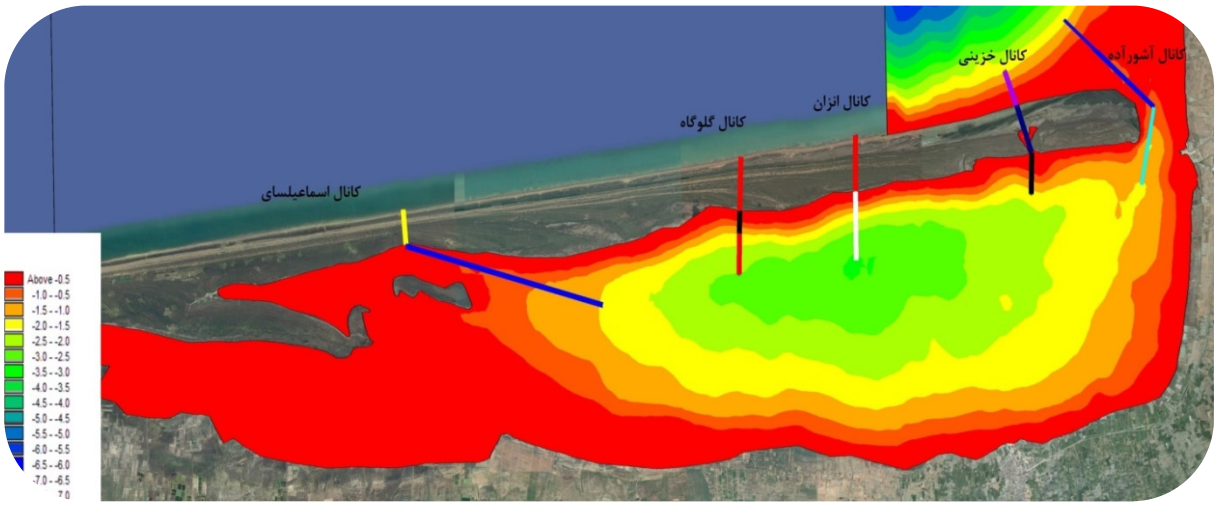
برای مدل‌سازی بستر خلیج، نسبت به اصلاح سطح تراز نقشه‌های آب‌نگاری خلیج گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ اقدام شده، سپس با وارد کردن نقاط مرزی و داده‌های تراز عمقی و درون‌یابی داده‌ها در محیط تولیدگر مش، شبکه‌بندی هندسی خلیج گرگان به‌روش بی‌ساختار در چهار تراز یادشده تولید شد. مناسب‌ترین اندازه مش استفاده‌شده برای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

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.

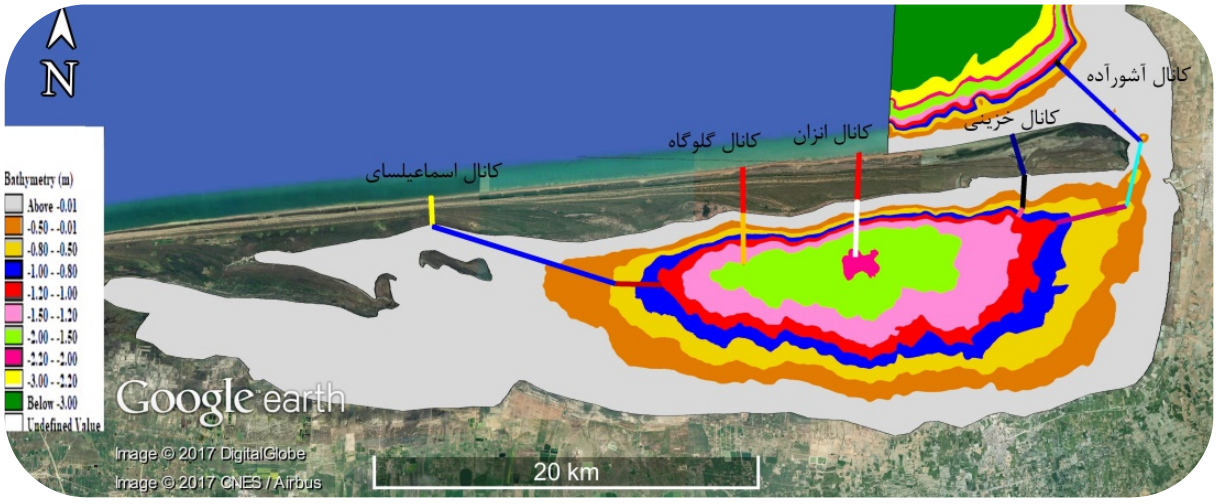
عمق هر کانال در ترازهای مختلف به گونه‌ای در نظر گرفته شده که هر کانال بتواند منحنی تراز عمقی ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ متر از دریای کاسپی را به منحنی تراز عمقی متشابه در خلیج گرگان تحت سناریوی در نظر گرفته شده را متصل کند (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).



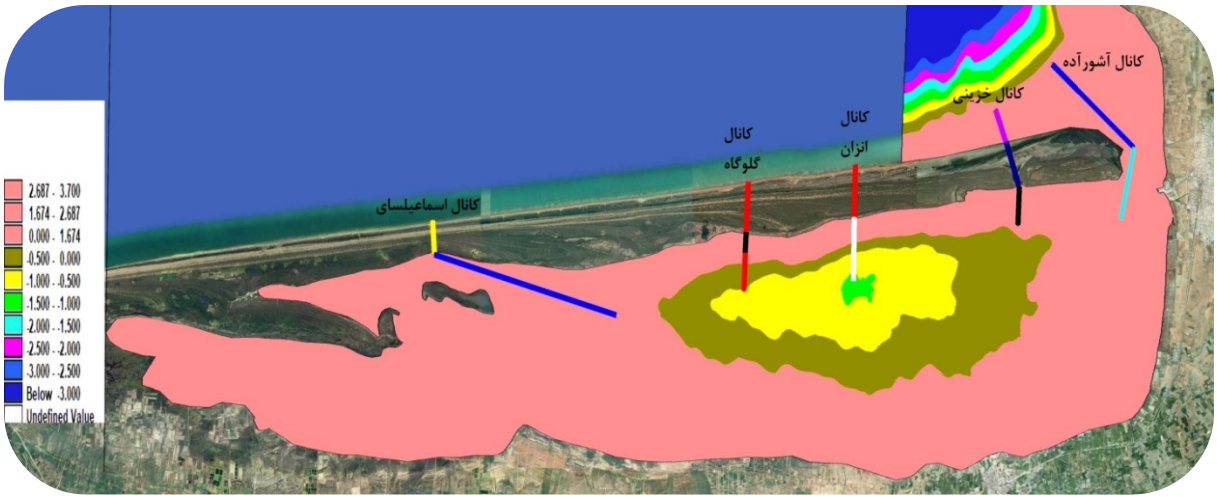
شکل ۳. نقشه عمق‌سنجی و موقعیت کانال‌ها در تراز ۲۷ متر



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



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



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

برای مدل‌سازی شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر خلیج گرگان در سناریوهای کاهشی سطح آب می‌توان از سه شیوه استفاده کرد. در شیوهٔ اول می‌توان نسبت به اعمال تغییرات سطح آب یا مشخصه‌های سرعت جریان مستخرج از مدل‌سازی‌های دو یا سه‌بعدی دریای کاسپی در مرزهای مدل محلی خلیج گرگان استفاده کرد. در شیوهٔ دوم می‌توان نسبت به اعمال منحنی میانگین نوسانات چندساله سطح آب در دهانه خلیج گرگان به‌عنوان شرط مرز باز به مدل استفاده نمود. در شیوهٔ سوم می‌توان سالی را که در آن تمامی عوامل مؤثر بر رژیم هیدرودینامیک حوضه موردبررسی موجود است را انتخاب و با فرض عدم‌تغییر عوامل درگیر در سال‌های بعد به مدل اعمال نمود. در تحقیق حاضر از فرض عدم‌تغییر عوامل اولیه و ثانویه برای مدل‌سازی‌ها در ترازهای یادشده استفاده شده است که پیشتر 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 عدم‌تغییر در چهار سناریوی یادشده به مدل اعمال شد. برای معرفی تنش باد به عنوان ورودی مهم به مدل به‌صورت ثابت در مکان و متغیر در زمان، از داده‌های جهت و سرعت باد ایستگاه هواشناسی بندر ترکمن استفاده شده است. در ادامه پژوهش به‌منظور مدل‌سازی هیدرودینامیک خلیج گرگان سعی نمود تا از ضرایب هیدرودینامیکی استفاده‌شده 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 به‌واسطه تغییرات سرعت باد از رابطهٔ اسمیت و بنک استفاده شد [۲۸]. برای اعمال شرط مرز باز به مدل از اطلاعات نوسان‌های سطح آب در ایستگاه آشوراده 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 دورهٔ زمانی مدل‌سازی استفاده شده است [۲۹]. اثر نیروی کوریولیس علی‌رغم عرض جغرافیایی بسیار ناچیز منطقه در نظر گرفته شده است. به‌منظور مدل‌سازی اثر گردابه‌ای از فرمول اسماگورینسکی استفاده شد [۳۰]. در این تحقیق مقاومت بستر در خلیج گرگان بر اساس عمق آب به‌صورت 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

آمده، سپس از نتایج آن برای اجرای زیرمدل انتقال-پخش به‌صورت هم‌زمان استفاده می‌شود. معادلهٔ انتقال و پخش دوبعدی استفاده شده در مدل مایک ۲۱ همان معادلهٔ موازنه جرم برحسب غلظت به‌صورت زیر است [۳۱]:

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

در معادله‌های 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 موردنظر، Q_s دبی منابع ورودی یا خروجی و h عمق آب است.

در مدل‌سازی زمان تجدیدپذیری حوضه‌های 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 می‌کنند [۳۲]. ازآنجاکه زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان مدنظر بوده است، بنابراین غلظت دبی وارده از طریق رودخانه‌ها و بارش نیز همچون مرز ورودی معادل صفر در نظر گرفته شد. برای بررسی میزان تجدیدپذیری محلی، ۳۰ نقطه از خلیج بر اساس ویژگی‌های بستر و رژیم هیدرودینامیک انتخاب شد. با میانگین‌گیری از مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی در نقاط گفته‌شده، زمان تجدیدپذیری کل محاسبه شد [۱۰]. مدل‌سازی‌ها با در نظر گرفتن کانال‌های آشورآده و خزینی و کانال‌های پیشنهادی انزان، گلوگاه و اسماعیل‌سای در چهار سناریو مفروض اجرا شد. در پایان پس از انتخاب کانال‌های مناسب نسبت به بررسی اثرات امکان اتصال کانال‌های 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. یافته‌ها

مدل‌سازی 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 مدل‌سازی، مناسب‌ترین کانال‌ها 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). نامناسب‌ترین کانال به لحاظ تعویض آب کانال اسماعیل‌سای با زمان تعویض ۱۶۶/۵ روز است. در تراز ۲۷ متر کانال‌های اسماعیل‌سای و آشورآده به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی اهمیت کمتری دارند. (جدول ۲).

جدول ۱.ویژگی‌های 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
بیشنه 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. ویژگی‌های کانال‌های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷ متر

نام کانال	اسماعیل‌سای	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 شبه‌جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	–	۲
مجموع طول کانال‌ها (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 مدل‌سازی، مناسب‌ترین کانال‌ها 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). نامناسب‌ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال اسماعیل‌سای با زمان تعویض ۱۶۹ روز است. در تراز ۲۷/۵ متر کانال‌های اسماعیل‌سای و آشورآده به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۳).

بر اساس نتایج مدل‌سازی مناسب‌ترین کانال 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). نامناسب‌ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال اسماعیل‌سای با زمان تعویض ۱۵۵/۷ روز است. در تراز ۲۸/۵ متر کانال‌های آشورآده و اسماعیل‌سای به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۴).

جدول ۳. ویژگی‌های کانال‌های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷/۵ متر

نام کانال	اسماعیل‌سای	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 اضافه‌شده در خلیج (km)	۳/۷	۰/۲۵	۰/۱۳	۴/۲۵	۰/۷
طول کانال روی شبه‌جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۵/۵	–	۲
مجموع طول کانال‌ها (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. ویژگی‌های کانال‌های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۸/۵ متر

نام کانال	اسماعیل‌سای	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 اضافه‌شده در خلیج (km)	۵/۵	۰/۳	۰/۶۴	۳/۸	۱/۲
طول کانال روی شبه‌جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	--	۲
مجموع طول کانال‌ها (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

بر اساس نتایج مدل‌سازی مناسب‌ترین 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). نامناسب‌ترین کانال در تراز یادشده به لحاظ رژیم تعویض آب کانال آشورآده با زمان تعویض ۱۳۳/۴ روز است. در تراز ۲۹/۵ متر کانال‌های آشورآده، خزینی و اسماعیل‌سای به لحاظ طول کانال و احتیاج به لایروبی مجدد اهمیت کمتری دارند (جدول ۵).

پس از انتخاب کانال‌های مناسب نسبت به بررسی اثرات امکان اتصال کانال‌های 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 کانال‌های گلوگاه و انزان محاسبه شد (جدول ۶). لازم به یادآوری است که کانال‌های آشورآده و اسماعیل‌سای به دلیل عدم توجیه فنی و مالی به سبب نیاز به احداث کانالی به طول ۱۵ کیلومتر در محاسبات حاضر لحاظ نشده است (جدول ۶).

جدول ۵. ویژگی‌های کانال‌های خلیج گرگان در تراز منفی ۲۹/۵ متر

نام کانال	اسماعیل‌سای	گلوگاه	انزان	آشوراده	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 شبه‌جزیره میانکاله (km)	۱/۵	۲/۳	۲/۵	--	۲
مجموع طول کانال‌ها (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 کانال‌ها (km)	مجموع طول کانال‌ها 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

٤. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات پیش از اجرا اهمیت بسیار زیادی در پروژه‌های بزرگ دارند و بی‌توجهی به آن به خسارت‌های زیادی در آینده منجر خواهد شد. این امر در پروژه‌های ساحلی که غالباً در ردیف پروژه‌های ملی با هزینه‌های بسیار بالا قرار می‌گیرند، اهمیت دوچندانی پیدا می‌کند [۳۳].

زبانه ماسه‌ای میانکاله فعال بوده و نه‌تنها کاهش سطح آب عامل تهدید خلیج گرگان محسوب می‌شود؛ بلکه بر اساس تحقیقات صورت گرفته درصورتی‌که تراز آب در چند دهه همچون ابتدای دهه ۵۰ خورشیدی باقی بماند به سهولت خلیج گرگان توسط حرکت زبانه ماسه‌ای میانکاله از سمت غرب به شرق بسته خواهد شد [۳۴]. این موضوع بر التزام به لایروبی کانال‌های سنتی یا احداث کانال‌های جدید به‌منظور ارتباط خلیج با دریا برای حفظ ماهیت ذاتی خلیج که یک تالاب دریایی است تأکید می‌کند. فرایند نگران‌کننده‌ای که در آینده وقوع آن سبب جانشینی‌های بوم‌شناختی در خلیج گرگان خواهد شد، کاهش سطح آب است. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، درصورتی‌که اقلیم حاکم بر حوضه دریای کاسپی و همچنین مقادیر آب ورودی با رودخانه‌ها 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 پژوهش‌های صورت گرفته در مقیاس کوچک‌تر که بر اساس داده‌های عمقی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ شرکت دریا ترسیم از ناحیه چاپاقلی است؛ بیان می‌کند که در نگاه خوش‌بینانه این خلیج در تراز منفی ۲۷/۶ متر نسبت به

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 ناحیهٔ چاپاقلی امری محتمل در آینده است که می‌بایست موردتوجه 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 به‌تبع آن خودپالایی آب در ارتباط مستقیم بوده، موضوعی است که کمتر موردتوجه 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 ازکارافتادن سیستم تعویض آب است که به دنبال آن وقوع هایپرتروفی[۸] کامل در خلیج و هیپوکسی[۹] را در بر خواهد داشت. بر اساس بازدیدهای میدانی از ناحیهٔ چاپاقلی که در بهمن ماه سال ۱۳۹۶ انجام شده است، حداقل عمق کانال‌های آشورآده (به عرض ۱۰۰ متر) و چاپاقلی (به عرض ۲۳۰ متر) در ناحیهٔ چاپاقلی 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 راه‌کار 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 قابل‌ارائه برای کنترل یا کاهش سرعت فرایند تغذیه‌گرایی افزایش میزان خودپالایی آب در خلیج گرگان با افزایش میزان تعویض آب در آن است. نتایج 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 ارتباط‌بخشی 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 کاهشی 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 کاهشی 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. باوجوداین 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 9B به لحاظ شاخص حساسیت محیط زیستی و تقسیم‌بندی حساسیت فیزیکی سواحل قرار دارند و این در حالی است که تالاب گمیشان، خواجه نفس، چالاشت و بخش‌های دهانه ورودی خلیج گرگان و ناحیهٔ چاپاقلی در طبقه 10D از دسته‌بندی NOAA قرار دارند [۳۶]. به عبارتی حساس‌ترین منطقه جهت دست‌اندازی فعالیت‌های انسانی به لحاظ فیزیکی بخش شرقی شبه‌جزیره میانکاله و در ناحیهٔ چاپاقلی 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 ناحیهٔ چاپاقلی) واجد ارزش‌های زیست‌محیطی متوسط بوده و باید با عنوان مناطق حفاظت‌شده محسوب شده و فرایند توسعه در پیرامون آن‌ها

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

۵. نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌دست‌آمده 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 امّا پرانرژی در محل اتصال کانال‌های یادشده با بخش عمیق خلیج به همراه وزش بادهای غالب شمالی و غربی سبب افزایش کارکرد کانال‌های مورداشاره در کاهش زمان تعویض خلیج گرگان است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که لایروبی یا بهینه‌سازی کانال‌های سنتی آشورآده و چاپاقلی در ناحیهٔ چاپاقلی کمترین تأثیر را در کاهش زمان تعویض آب در خلیج گرگان خواهند داشت. لایروبی این کانال‌ها نه‌تنها به لحاظ تعویض آب کارکرد لازم را ندارند، بلکه اجرای یک برنامه لایروبی در ناحیه چاپاقلی سبب زایش فرزند معلولی خواهد شد که با هر بار کاهش سطح آب در دریای کاسپی هزینهٔ 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 چاپاقلی به‌واسطه احتمال کاهش بیشتر سطح آب در آینده بحث لایروبی کانال‌های سنتی باید با حساسیت بیشتری موردتوجه مسئولان قرار گیرد.

یکی از ایرادهای وارده برای ساخت سازه جدید برای خلیج گرگان تقسیم شبه‌جزیره میانکاله به دو بخش شرقی و غربی و درنتیجه عدم ارتباط فون و فلور این ذخیره‌گاه زیست‌کره بی‌بدیل با یکدیگر است. برای فائق آمدن بر این مشکل پیشنهاد می‌شود که کانال یادشده یا به‌صورت سرپوشیده یا از طریق لوله‌گذاری 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

مقالهٔ حاضر از طرح پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره شناسه ۴۷-۳۹۳-۹۷ استخراج شده است، بدین‌وسیله 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 راه‌کار جهت برون‌رفت از بحران در سال‌های آتی. مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان. ۱۳۹۵؛۵(۱):۸۳- ۱۰۵.

[۶] عادلی 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

طولانی‌مدت کاهش سطح آب دریای کاسپی بر حیات خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳۹۴؛ ۱۷(۴):۴۶-۵۹.

[۹] شربتی سعید. مفاهیم و کاربردهای مقیاس‌های زمانی انتقال آب در بوم‌سازگان‌های دریایی. اولین همایش ملی آبزیان و توسعه آبزی‌پروری؛ ۱۳۹۳اسفند۱۴ ؛ 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] Umgiesser 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 سمیه‌سادات. شبیه‌سازی دوبعدی الگوی جریان خلیج گرگان در خلال یک دوره یک‌ساله. گزارش طرح پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳۹۰. شماره طرح ۴۲/۳۲۴۵. ۴۵ صفحه.

[۱۵] رحیمی‌پورانارکی حمید. بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش‌بینی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در خلیج گرگان. گزارش طرح پژوهشی، شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی. ۱۳۸۱. ۲۴۶ صفحه.

[۱۶] یاری‌نسب آمنه، طاهری‌شهرآیینی حمید، محمدخانی حسن، پورصوفی طاهر، منصوری بهروز. 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. ۱۳۹۲؛۶۶(۴):۵۰۵-۵۱۷.

[۱۷] شربتی سعید، شعبانی علی. اثرات بازگشایی کانال خزینی بر الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۱۳۹۴؛ ۲۲(۳):۲۴۱-۲۴۸.

[۱۸] شربتی سعید، نسیمی سورنا. مدل‌سازی اثرات بازگشایی کانال خزینی بر زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان، جنوب شرق دریای کاسپی. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳۹۷؛۲۰(۱): ۵۵-۶۸.

[۱۹] شربتی سعید، کلنگی‌میاندره حامد. مدل‌سازی دوبعدی نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳۹۶؛۱۹: ۲۴۰-۲۴۹.

[۲۰] شربتی سعید. مدل‌سازی سه‌بعدی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان به‌منظور توسعه آبزی‌پروری. نشریه توسعه آبزی‌پروری. 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 بوم‌شناختی. بهره‌برداری آبزیان. ۱۳۹۶؛ ۶(۴): ۴۱- ۵۳.

[۲۳] حسینی سیدعلی. هیدروبیولوژی 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

Journal of the Royal Meteorological Society. 1975 Jul;101(429):665-73.

[۲۹] مهندسین مشاور کنکاش عمران. مطالعات شناسایی منابع آب شبه‌جزیره 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] Vanderborght 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 ۰۱-۱۰۱-۳۸۶.

[۳۵] کرباسی علی‌رضا. بررسی فرایند یوتروفیکاسیون در خلیج گرگان. مجله علمی آب و محیط‌زیست. ۱۳۸۲؛۵۶-۵۷: ۱۴- ۲۰.

[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] دانه‌کار افشین. پهنه‌بندی زیست‌محیطی سواحل استان گلستان از طریق وزن‌گذاری ارزش‌های بوم‌شناختی. ششمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی؛۱۳۸۳؛ تهران، ایران.

پی‌نوشت

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