

Two-Dimensional Simulation of Temperature and Salinity in the Gorgan Bay in During 2010-2011

Saeed Sharbaty*

Corresponding Author, Instructor, Faculty of Member, Dept. of Fisheries, Gorgan University Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: s_sharbaty@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 10.12.2021
Revised: 10.29.2021
Accepted: 11.25.2021

Keywords:
Gorgan Bay,
Mike 21,
Salinity,
Temperature

ABSTRACT

Temperature and salinity are important biophysical parameters in the aquatic ecosystems. To overcoming the space-time constraints and field measurement costs, simulation models are used to estimate changes in these parameters in water volumes. In the present study, the results of two-dimensional simulation of temperature and salinity have been investigated in the Gorgan Bay during one-year period of 2011-2012. In order to implement Mike 21 model, wind speed and direction, evaporation and precipitation, relative humidity, rivers inflow, air and water temperature, salinity, short and long wavelengths as well as temperature, salinity and water level fluctuations has been used in the open boundary of the model. The model was adjusted with optimization of wind drag, bed resistance and salinity dispersion, attenuation light intensity and latent heat coefficients, and veriflicated using salinity and temperature field data. The results of simulation showed that salinity and temperature values in the Bay have an increasing trend from east to west in all seasons. The maximum temperature difference between the eastern and western parts of the Gorgan Bay is 3.5 degrees Celsius. The maximum temperature difference between day and night in the Gorgan bay is 4 degrees Celsius. Temperature and salinity changes in the western part of the bay are significant due to the increase in local water change time. Salinity change in the southern shores of the bay is affected by river inflows and salinity in the estuarine area is 4 PSU. Due to the decrease in water level and the movement of bay water masses from west to east in winter, salinity values in the deep and central areas of the bay during this period compared to other parts with a maximum of 16.5 PSU has an increasing trend. The maximum salinity is 21.1 PSU in the western part of the bay.

Cite this article: Sharbaty, Saeed. 2022. Two-Dimensional Simulation of Temperature and Salinity in the Gorgan Bay in During 2010-2011. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 11 (1), 31-44.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2022.19585.1612

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

شبیه‌سازی دوبعدی دما و شوری در خلیج گرگان در خلال دوره یک‌ساله ۱۳۹۰

سعید شربتی*

نویسنده مسئول، مربی، هیأت علمی، گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
رایانامه: s_sharbaty@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	دما و شوری از جمله پارامترهای بیوفیزیکی مهم در بوم‌سازگان‌های آبی است که امروزه جهت پیروزی بر محدودیت‌های مکان- زمانی و هزینه‌های اندازه‌گیری میدانی از مدل‌های شبیه‌ساز جهت برآوردی از تغییرات این پارامترها در پهنه‌های بزرگ استفاده می‌گردد. در پژوهش حاضر نتایج شبیه‌سازی دوبعدی دما و شوری در خلیج گرگان در خلال دوره یک‌ساله ۱۳۹۰ بررسی گردیده است. برای اجرای مدل مایک ۲۱ از داده‌های جهت و سرعت باد، تبخیر و بارش، رطوبت نسبی، ورودی رودخانه‌ها، دمای آب و هوا، شوری، تابش طول موج‌های کوتاه و بلند در درون خلیج و هم‌چنین از داده‌های دما، شوری و نوسان سطح آب در دهانه آشورآده- بندرترکمن استفاده شده است. مدل با بهینه‌سازی ضرایب پسای باد، مقاومت بستر و ضرایب پخش شوری، تضعیف نور و گرمای نهان تبخیر تنظیم گردیده و با استفاده از داده‌های میدانی دما و شوری درستی‌یابی شد. نتایج پژوهش نشان داد که میزان دما و شوری در خلیج در تمام فصول سال دارای روند افزایشی از سمت شرق به غرب است. بیشینه اختلاف دما بین بخش‌های شرقی و غربی ۳/۵ درجه سانتی‌گراد است. بیشینه اختلاف دمای شبانه‌روزی در خلیج گرگان ۴ درجه سانتی‌گراد است. تغییرات دما و شوری در متهی‌الیه غربی خلیج به دلیل افزایش زمان تعویض محلی آب زیاد است. تغییرات شوری در سواحل جنوبی خلیج متأثر از ورودی رودخانه‌ها است و میزان شوری در نواحی مصبی ۴ پی‌اس‌یو است. نظر به کاهش سطح آب و حرکت توده‌های آب خلیج از غرب به شرق در فصل زمستان، مقادیر شوری در نواحی عمیق و مرکزی خلیج در خلال این دوران در مقایسه با فصول دیگر با بیشینه ۱۶/۵ پی‌اس‌یو دارای روند افزایشی است. بیشینه شوری برابر ۲۱/۱ پی‌اس‌یو و در بخش غربی خلیج گرگان است.
واژه‌های کلیدی: خلیج گرگان، دما، شوری، مایک ۲۱	

استناد: شربتی، سعید (۱۴۰۱). شبیه‌سازی دوبعدی دما و شوری در خلیج گرگان در خلال دوره یک‌ساله ۱۳۹۰. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۱ (۱)، ۴۴-۳۱.

DOI: 10.22069/japu.2022.19585.1612



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه با توجه به نیاز روزافزون جوامع بشری به منابع محدود آب در خشکی‌ها، استفاده از پیکره‌های آبی هم‌چون تالاب‌ها و خلیج‌ها جهت توسعه آبی‌پروری در محیط محصور راه‌کاری درست برای تامین منابع پروتئینی و نیل به اهداف توسعه پایدار می‌باشد (شربتی، ۱۳۹۵). با توجه به قرارگیری کشور ایران در کمربند خشکی‌زدگی و اهمیت منابع آبی در خشکی‌ها، توجه مدیران شیلاتی به استفاده از پهنه‌های دریایی برای پرورش آبزیان در محیط‌های محصور معطوف گردیده است (علیشیری و همکاران، ۱۳۹۵).

در سال‌های گذشته خلیج گرگان به‌عنوان یکی از بوم‌سازگان‌های دریایی مهم جهت توسعه آبی‌پروری در محیط محصور مورد توجه واقع گردیده است (امینی، ۱۳۹۵). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی میزان تجدیدپذیری آب (شربتی، ۱۳۹۵)، عوامل فیزیکوشیمیایی آب (عقیلی و همکاران، ۱۳۹۳)، مدل‌سازی توزیع آلودگی‌ها (جوانی، ۱۳۹۱)، بررسی تغییرات زمان-مکانی نترات و فسفات (جوانی و همکاران، ۱۳۹۳) و بررسی تغییرات کیفیت آب خلیج گرگان بر اثر توسعه آبی‌پروری در خلال ۲۹ سال آینده نشان داده است که خلیج گرگان برای پرورش آبزیان در محیط محصور مناسب می‌باشد (یاری‌نسب، ۱۳۹۶).

دما و شوری از جمله عوامل غیرزیستی دارای اهمیت می‌باشد که تغییرات آن‌ها می‌تواند میزان بازدهی اقتصادی صنعت آبی‌پروری را در دوره پرورش آبزیان افزایش و یا کاهش دهد. موجودات آبی به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم به این دو عامل بوم‌شناختی وابسته می‌باشند (اردکانی، ۱۳۹۶).

اندازه‌گیری میدانی از عوامل شوری و دما دقیق‌ترین شیوه برای بررسی میزان تغییرات این عوامل در محیط آبی می‌باشد، ولی اندازه‌گیری‌های میدانی نه‌تنها دارای هزینه‌های مالی می‌باشد بلکه دارای

محدودیت‌های زمانی و مکانی بوده و پژوهش‌گران برای پیروزی بر این مشکلات از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای مدد می‌جویند.

اولین گزارش درباره اندازه‌گیری دما و شوری در خلیج گرگان در اواسط دهه ۶۰ خورشیدی توسط شرکت مهندسين مشاورين يكم (مهندسين مشاور يكم، ۱۳۶۷) و آخرین اندازه‌گیری‌ها نیز در خلال سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ توسط اداره کل محیط زیست استان مازندران انجام شده است (مهندسين مشاور پویا طرح پارس، ۱۳۹۷).

علی‌رغم وجود داده‌های مناسب در خصوص عوامل شوری و دما در خلیج در خلال ۳۰ سال گذشته، عدم یک‌پارچگی برداشت داده‌های میدانی به لحاظ زمانی و مکانی و از همه مهم‌تر تغییرات به‌وجود آمده در تراز سطح آب خلیج به واسطه نوسانات ذاتی دریای کاسپی در سال‌های افزایش و یا کاهش سطح آب، سبب به‌وجود آمدن پرسش‌هایی در خصوص تغییرات این دو عامل در خلیج می‌گردد. وانگهی ارتباط محدود خلیج گرگان با دریای کاسپی سبب می‌گردد تا بررسی تغییرات شوری و دما در این پیکره آبی و پاسخ‌گویی به چرایی علل حدوث آن برای پژوهشگران با مشکلاتی مواجه گردد. به‌عنوان مثال جواب چرایی افزایش مقادیر شوری بخش مرکزی خلیج گرگان در فصل زمستان تا به زمان پژوهش حاضر بی‌پاسخ مانده بود. از دیگر سو، اهمیت مدل‌سازی شوری در تعیین ضرایب پخش شوری و استفاده از آن در مدل‌های بوم‌شناختی پدیدار می‌گردد.

نخستین تلاش برای مدل‌سازی دو بعدی شوری در خلیج توسط یاری‌نسب و همکاران صورت پذیرفته است که در آن از فرض باروتروپیک بودن شوری در بازه زمانی ۵ ماهه استفاده شده است (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲). سپس رنجبر و حاجی‌زاده‌ذاکر (۲۰۱۷) تلاش کردند تا شوری را در

تنها خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوبی دریای کاسپی و جزو ۲۲ تالابی است که در کنوانسیون رامسر (۱۹۷۱) به ثبت بین‌المللی رسیده است (قائمی و جواهرزاده، ۱۳۹۴) و بنابراین انتصاب نام تالاب میانکاله به آن درست نمی‌باشد. مساحت خلیج در سال ۱۳۹۰ و در تراز منفی ۲۶/۵ متر نسبت به سطح خلیج فارس بالغ بر ۴۶۰ کیلومترمربع و حداکثر عمق آن ۳/۹ متر بوده است (شربت‌بی، ۲۰۱۲). هم‌اکنون خلیج گرگان تنها از ناحیه چای‌اقلی با دریای کاسپی در ارتباط دایمی می‌باشد. خلیج گرگان فاقد رژیم کشتندی مؤثر بوده (بنی و همکاران، ۲۰۱۳) و اقلیم حاکم بر آن مدیترانه‌ای می‌باشد (طاهری و همکاران، ۲۰۱۲).

در این پژوهش از مدل دو بعدی هیدرودینامیک مایک ۲۱، که یک سازگان مدل‌سازی پیشرفته برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی است استفاده شده است. از این مدل می‌توان جهت جفت نمودن با ماژول‌های دیگر هم‌چون انتقال-پخش استفاده نمود.

نقشه عمق‌سنجی خلیج گرگان با استفاده از سه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ متعلق به سازمان نقشه‌برداری کشور به‌صورت یک مش با ۱۹۱۵۳ گره و ۳۷۳۳۸ یال به شیوه بی‌ساختار مثلثی ساخته شد (شکل ۲). در مش ساخته شده بیشینه مساحت مثلث‌ها ۲۰۰۰۰ مترمربع و کمینه آن نیز ۴۲۰۰ مترمربع بوده است.

خلیج گرگان به‌صورت سه‌بعدی و بدون در نظر داشتن اثرات جوی مدل‌سازی نمایند. با توجه به کاستی‌های موجود در پژوهش‌های مذکور برای مدل‌سازی دما و شوری بدون در نظر داشتن اثرات جوی و کوتاه‌مدت بودن زمان شبیه‌سازی‌ها، لزوم شبیه‌سازی دما و شوری در خلیج گرگان با تاکید بر استفاده از ماژول تبادل گرمایی، شرایط مرزی مناسب، استفاده از فرض باروکلینیک بودن چگالی و افزایش بازه زمانی مدل‌سازی در حوضه خلیج گرگان اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

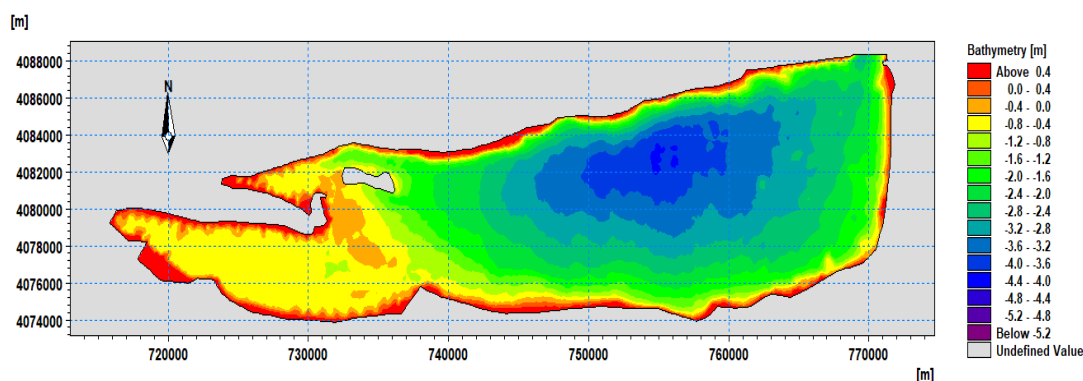
در این پژوهش شبیه‌سازی دو بعدی دما و شوری با استفاده از مدل بی‌ساختار مایک ۲۱ برای بازه زمانی یک‌ساله از ابتدای بهار ۱۳۹۰ الی پایان زمستان ۱۳۹۰ مورد توجه واقع گردیده است. دلیل گزینش این بازه زمانی در دسترس بودن بسیاری از پارامترهای درگیر در مدل‌سازی بوده است.

مواد و روش‌ها

خلیج گرگان حوضه دریای نیمه بسته‌ای است که با طول کم‌تر از ۶۰ کیلومتر و حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر در بخش جنوبی خود با استان‌های مازندران و گلستان و در بخش شمالی نیز توسط زیانه ماسه‌ای میانکاله احاطه گردیده است (شکل ۱). خلیج گرگان



شکل ۱- موقعیت خلیج گرگان در بخش جنوب شرق دریای کاسپی.



شکل ۲- عمق‌سنجی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۶/۵ متر.

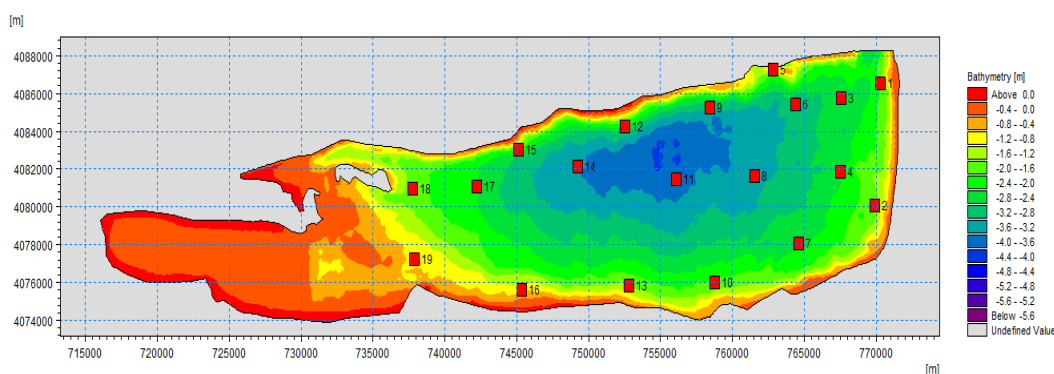
۰/۰۰۱۲۰۵ و ۰/۰۰۱۸۹۱ محاسبه و در مدل‌سازی استفاده شد.

جهت اعمال نوسان سطح آب به مرز باز مدل از داده‌های ایستگاه نوسان‌نگاری آشورآده متعلق به شرکت آب منطقه‌ای گلستان و با فواصل زمانی ده دقیقه‌ای استفاده شد. جهت اعمال مقادیر دما در مرز باز مدل از داده‌های دمای سطح دریا متعلق به درگاه کوست‌واچ^۲ و با فواصل زمانی یک‌روزه استفاده شد. جهت اعمال مقادیر شوری در مرز باز از داده‌های متعلق به مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان داخلی استان گلستان (۱۳۹۰) و داده‌های فصل زمستان اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان (باقری، ۱۳۹۲) به‌صورت ماهانه استفاده شده است (شکل‌های ۳ و ۴).

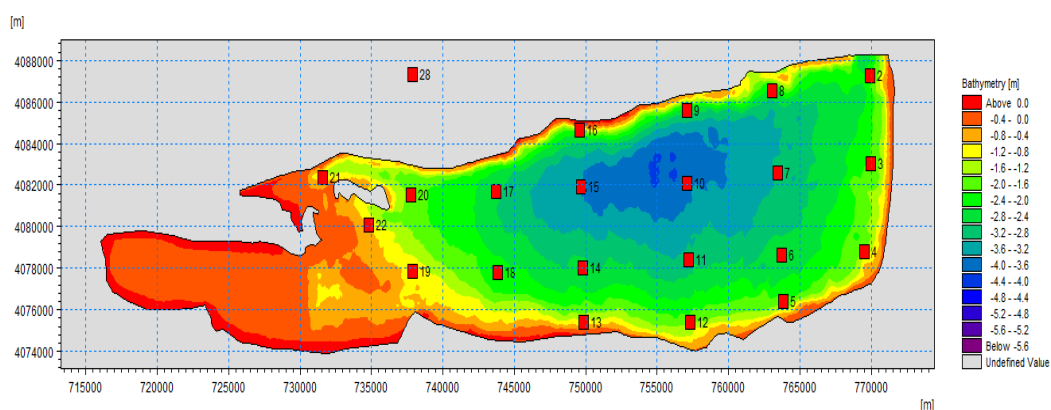
برای اعمال تبادل گرمایی خلیج با جو از داده‌های رطوبت نسبی و دمای هوا مستخرج از ایستگاه خودکار هواشناسی بندرترکمن با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و همچنین پرتوهای طول موج کوتاه و بلند مستخرج از تارنمای کوست‌واچ با دقت یک کیلومتر و فاصله زمانی یک ساعته به‌صورت ثابت در مکان و متغیر در زمان استفاده شده است.

از میانگین ماهانه دبی ۱۳ رودخانه منتهی به خلیج برحسب مترمکعب بر ثانیه در موقعیت‌های ارتباطی هر رودخانه با خلیج استفاده شد (مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۸۶). همچنین از مقدار شوری ثابت ۰/۳ پی‌اس‌یو^۱ و یا واحد عملی شوری به‌عنوان شوری وارد شده به خلیج از طریق رودخانه‌ها استفاده گردید (بشری و همکاران، ۱۳۹۳). مقاومت بستر بر اساس عمق آب به‌صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان در نظر گرفته شد. بر این اساس تمامی اعماق کم‌تر از ۲ متر شامل عدد مانینگ ۳۲ و تمامی اعماق بیش‌تر از دو متر شامل عدد مانینگ ۳۶ انتخاب گردید (شربتی و همکاران، ۱۳۹۷). از داده‌های جهت و سرعت باد، تبخیر و بارش ایستگاه هواشناسی بندرترکمن به‌فاصله ۱/۵ کیلومتری در جنوب دهانه ورودی خلیج گرگان با فواصل زمانی ده دقیقه‌ای به‌صورت ثابت در مکان ولی متغیر در زمان استفاده شده است.

بر اساس نتایج پژوهش مروتی و همکاران (۱۳۸۶)، فرمول رایج شده در خودآموز گروه مهندسی نیروی دریای ارتش ایالات متحده آمریکا (۲۰۰۶)، مناسب‌ترین رابطه جهت استخراج ضریب پسای باد در سطح خلیج گرگان می‌باشد. بر این اساس حداقل و حداکثر مقادیر ضریب پسای باد در خلیج به‌ترتیب معادل



شکل ۳- موقعیت داده‌های دما و شوری برداشت شده توسط مرکز ذخایر آبزیان داخلی استان گلستان در سال ۹۰.



شکل ۴- موقعیت داده‌های دما و شوری برداشت شده توسط اداره کل حفاظت از محیط زیست استان گلستان در سال ۹۰.

درستی‌یابی نتایج مدل هیدرودینامیک استفاده شده است.

مدل مایک ۲۱ از قانون دالتون^۲ با رابطه زیر برای محاسبه گرمای از دست رفته به واسطه فرایند تبخیر یا شار نهان تبخیر استفاده می‌کند:

$$q_v = Lc_e(a_1 + b_1W_{2m})(Q_{water} - Q_{air}) \quad (1)$$

که در آن، L بیانگر گرمای نهان تبخیر و معادل $2.5 \times 10^6 \frac{J}{kg}$ می‌باشد. c_e بیانگر ضریب رطوبتی و معادل 1.33×10^3 می‌باشد. W_{2m} سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح آب، Q_{water} چگالی بخار آب در نزدیکی سطح آب، Q_{air} چگالی

نظر به عدم وجود داده‌های جریان‌سنجی در بازه زمانی مدل‌سازی نسبت به مقایسه مقادیر سرعت و الگوی جریان مستخرج از مدل‌سازی با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌گران پیشین در پهنه خلیج گرگان استفاده شده است (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲؛ رنجبر و حاجی‌زاده ذاکر، ۲۰۱۷؛ پورمندی یکتا، ۱۳۸۵).

برای به‌دست آوردن مناسب‌ترین ضریب پخش شوری تلاش شد تا بارها مدل را به اجرا در آورده و در گام بعدی نسبت به مقایسه نتایج خروجی مدل با داده‌های میدانی شوری اقدام گردید. بر این پایه مناسب‌ترین ضریب پخش بر مبنای عامل قیاسی^۱ معادل ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین از ضرایب پسای باد و مقاومت بستر جهت کالیبراسیون و

2- Dalton,s Law

1- Scaling Factor

از داده‌های دما و شوری بهار، تابستان، مهر و آبان سال ۱۳۹۰ در ۱۹ موقعیت از خلیج متعلق به مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان داخلی استان گلستان (۱۳۹۰) (شکل ۳)، هم‌چنین از داده‌های دما و شوری متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان در اسفندماه سال ۱۳۹۰ از ۲۱ موقعیت درون خلیج (باقری، ۱۳۹۲) (شکل ۴) و داده‌های روزانه دمای سطحی دریا در ۵ موقعیت درون خلیج گرگان مستخرج از تارنمای کوست‌واچ (شکل ۵)، جهت درستی‌یابی نتایج مستخرج از مدل‌سازی پس از واکاوی با شاخص‌های آماری همچون خطای مطلق^۱، درصد خطای نسبی^۲، میانگین قدرمطلق خطا^۳، جذر میانگین مربع خطا^۴ و ضریب همبستگی پیرسون^۵ استفاده شد (عساکره، ۱۳۹۰).

بخار آب در جو می‌باشد. ضرایب a_1, b_1 به ترتیب ثابت قانون دالتون و ضریب باد در قانون دالتون می‌باشند. هم‌چنین برای مدل‌سازی تضعیف شدت نور در عمق آب از قانون بیر به شکل زیر استفاده گردیده است:

$$I(d) = (1 - \beta)I_0e^{-\lambda d} \quad (2)$$

که در آن، $I(d)$ شدت نور در عمق d زیر سطح آب، I_0 شدت نور درست در زیر لایه سطحی آب و β ضریبی است که بیانگر کسری از انرژی جذب شده در سطح آب می‌باشد.

در پژوهش حاضر پس از بارها اجرای مدل و مقایسه نتایج مدل با داده‌های میدانی دما، از ضرایب a_1 و b_1 به ترتیب معادل ۴ و ۳/۵ جهت محاسبه شار نهان تبخیر و هم‌چنین از ضرایب β و λ به ترتیب معادل ۰/۵ و ۱ جهت تنظیم فرآیند تضعیف نور در عمق آب استفاده شد.



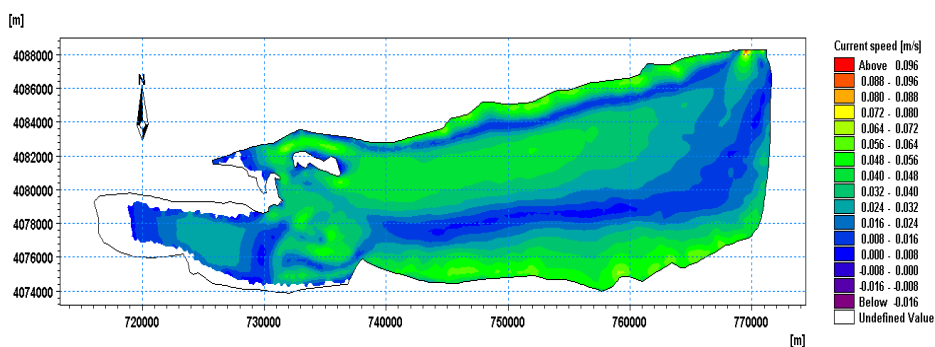
شکل ۵- موقعیت ایستگاه‌های در نظر گرفته شده برای استخراج پارامتر دما از تارنمای کوست‌واچ در سال ۱۳۹۰.

یک گردش پادساعت‌گرد آب در بیش‌تر مواقع در خلیج گرگان می‌باشد (شکل ۶). میانگین، حداکثر و حداقل سرعت جریان در خلیج به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۴ متر بر ثانیه مدل‌سازی شد. باد غالب غرب‌وزان در بیش‌تر ایام سبب به‌وجود آمدن اختلاف سطح آب در خلیج گرگان از سمت غرب به شرق می‌گردد (شکل ۷).

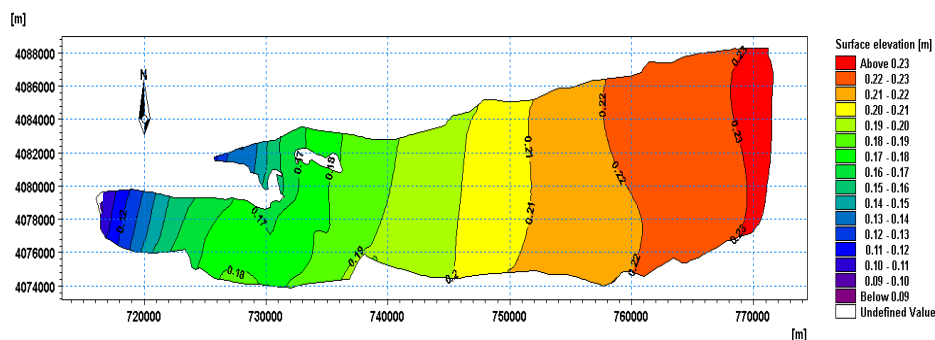
یافته‌ها

مدل با گام‌های زمانی ۳۰ ثانیه‌ای با عدد کورانت ۰/۸ و برای یک سال (۱۳۹۰) اجرا شد. نتایج مدل‌سازی در خصوص الگوی جریان بیانگر وجود

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



شکل ۶- میانگین سالانه توزیع سرعت در خلیج گرگان.



شکل ۷- اختلاف سطح آب در خلیج گرگان ناشی از وزش باد غالب غربی با سرعت ۷ متر بر ثانیه.

برای هر ماه استفاده شده است. به دلیل فقدان داده اندازه‌گیری شده در خلال ماه‌های آذر، دی و بهمن سال ۱۳۹۰ جهت بررسی نتایج مدل‌سازی از داده‌های دمای سطحی دریا مستخرج از درگاه کوست‌واچ با تفکیک‌پذیری مکانی ۱ کیلومتر و فواصل زمانی یک ساعته در ۶ نقطه از خلیج گرگان استفاده شده است (شکل ۶).

مقایسه داده‌های خروجی مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی دما و شوری در ۴۰ نقطه خلیج و در بازه زمانی شبیه‌سازی از طریق تجزیه و تحلیل با آزمون‌های آماری در جدول‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که به دلیل حجم بالای داده‌های تولیدی، از مقایسه آماری میانگین داده‌های میدانی برداشت شده در ۴۰ نقطه خلیج با میانگین داده‌های متناظر تولید شده توسط مدل در آن نقاط

جدول ۱- مقایسه آماری نتایج مدل‌سازی شوری با داده‌های میدانی.

	AE	REP	MAD	RMSE (PSU)	R
میانگین	۱/۵۸	۱۰/۶۶	۰/۰۸	۱/۶۹	۰/۵۱

جدول ۲- مقایسه آماری نتایج مدل‌سازی دما با داده‌های میدانی.

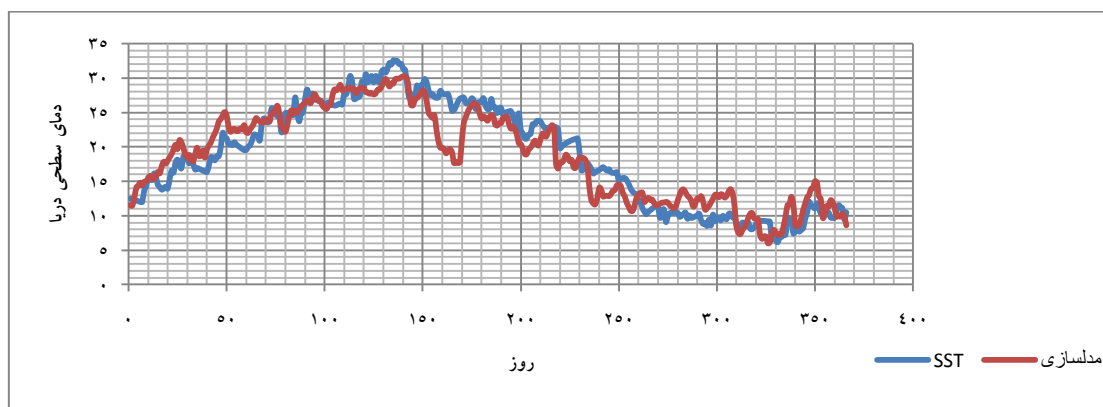
	AE	REP	MAD	RMSE (°C)	R
میانگین	۲/۰۷	۷/۱۳	۰/۳۲	۱/۹۵	۰/۵۵

درگاه کوست‌واچ در جدول ۳ ارایه گردیده است. شکل ۸ سری زمانی میانگین روزانه دمای مدل‌سازی شده را با دمای مستخرج از درگاه کوست‌واچ در موقعیت ۴ با فواصل زمانی یک روزه به مدت یک سال نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری میانگین روزانه دما مستخرج از مدل‌سازی با میانگین داده‌های روزانه کوست‌واچ در ۵ موقعیت خلیج گرگان در جدول ۳ نمایش داده شده است. لازم به توضیح است که میانگین دمای هر یک از ۵ نقطه درون خلیج گرگان مستخرج از مدل‌سازی با میانگین دمای مستخرج از

جدول ۳- مقایسه نتایج مدل‌سازی دما و دمای سطح خلیج از کوست‌واچ.

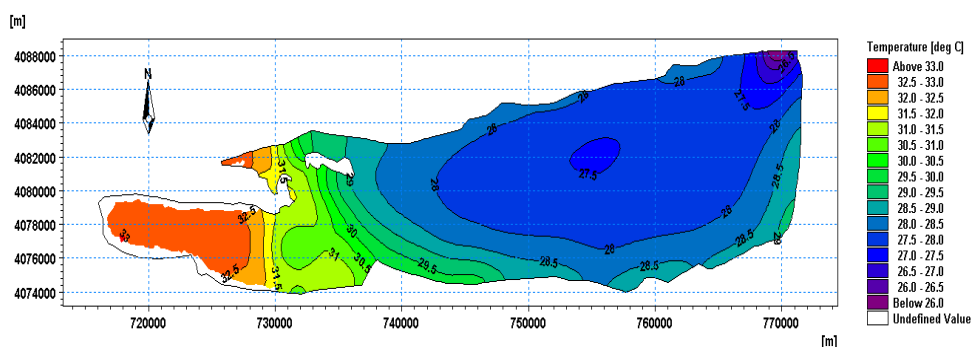
	AE	REP	MAD	RMSE (°C)	R
میانگین	۲/۱۵	۱۳/۴۹	۲/۰۶	۲/۷۴	۰/۵۲



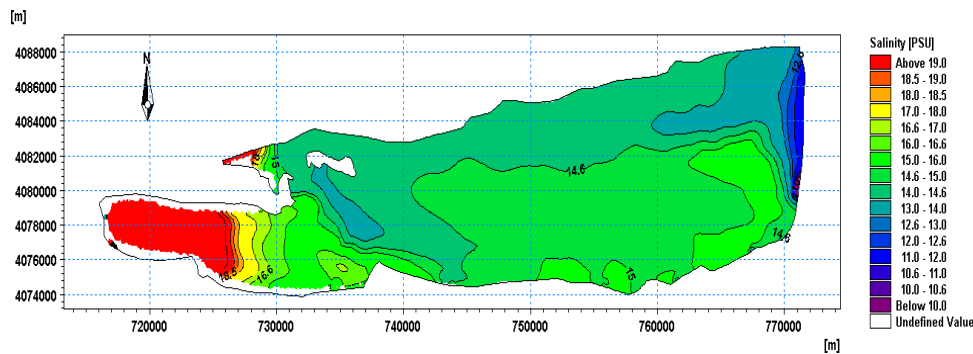
شکل ۸- مدل‌سازی سری زمانی دمای سطح خلیج و مقایسه آن با دمای سطح دریا مستخرج از کوست‌واچ در موقعیت چهارم.

شرق به غرب در غالب مواقع می‌باشد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

نتایج مستخرج از مدل‌سازی بیانگر افزایش دما و شوری در خلیج گرگان با حرکت از سمت



شکل ۹- توزیع دما در تاریخ ۱۲ مرداد از حوضه خلیج گرگان.



شکل ۱۰- افزایش شوری در بخش غربی خلیج گرگان در مرداد ماه ۱۳۹۰.

بحث و نتیجه‌گیری

۰/۰۱ الی ۰/۰۸ متر بر ثانیه می‌باشد. در این مدل‌سازی وجود جریان‌های پر سرعت (۰/۰۸ متر بر ثانیه) در کرانه‌های شمالی و جنوبی خلیج گرگان هم جهت با وزش باد در غالب زمان‌ها و وجود جریان‌های کم سرعت (۰/۰۱ متر بر ثانیه) در بخش عمیق و مرکزی خلیج گرگان ولی مخالف با جهت وزش باد مشاهده گردیده است که با نتایج پیشین پژوهش‌گران نیز تطابق دارد (شربت‌ی و شعبانی، ۱۳۹۴؛ رنجبر و حاجی‌زاده ذاکر، ۲۰۱۷).

نظر به آن که باد غالب در خلیج گرگان باد غربی می‌باشد (رحیمی‌پورانارکی، ۱۳۸۵)، بنابراین در بیش‌تر مواقع این باد سبب حرکت توده‌های آب از سمت غرب به شرق شده و سبب انباشت توده‌های آب در شرق خلیج گرگان می‌گردد. موضوع اخیر پیش‌تر توسط دیگر پژوهش‌گران هم‌چون رحیمی‌پورانارکی (۱۳۸۵)، پورمندی‌یکتا (۱۳۸۵)، شربت‌ی (۲۰۱۲) و پویا طرح پارس (۱۳۹۷) تأیید شده است.

در این پژوهش ضریب همبستگی دما معادل ۰/۵۵ به‌دست آمد که معادل همبستگی متوسط بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های میدانی دما می‌باشد و جذر میانگین مربع خطا برای عامل دما و در موقعیت‌های نمونه‌برداری شده معادل ۱/۹۵ سانتی‌گراد به‌دست

دما و شوری از عوامل مهم بر بازماندگی، رشد، متابولیسم، تنظیم فشار اسمزی و سلامتی آبزیان می‌باشد. تغییرات این عوامل بوم‌شناختی تأثیرات نامطلوبی بر روی موجودات زنده خواهد گذاشت. با نگاه به آن‌که خلیج گرگان به عنوان یکی از ذخایر زیست‌کره کشور از اهمیت بین‌المللی برخوردار می‌باشد، بنابراین بررسی تغییرات این عوامل بوم‌شناختی به لحاظ درک چگونگی تغییرات آن در مقیاس‌های زمان و مکانی بزرگ دارای اهمیت می‌باشد. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای سریع‌ترین روش برای بررسی تغییرات این عامل بوم‌شناختی تلقی می‌گردد.

پژوهش‌ها درباره شناخت رژیم هیدرودینامیک خلیج گرگان در خلال دو دهه گذشته نشان داده است که این پهنه آبی عمدتاً دارای گردش آب پادساعت‌گرد در بیش‌تر فصل‌ها می‌باشد (شربت‌ی، ۲۰۱۲). اندازه‌گیری‌های میدانی (رحیمی‌پورانارکی، ۱۳۸۵) و مدل‌سازی‌های دو بعدی (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲) از سرعت جریان نشان می‌دهد که به غیر از دهانه ورودی خلیج که می‌تواند مقادیر سرعت بیش از ۰/۴ متر بر ثانیه را تجربه نماید، سرعت جریان در دیگر بخش‌های خلیج در محدوده

خلیج در فصول مختلف سال می‌باشد. در فصول گرم سال و به ویژه در فصل تابستان میزان دما با حرکت از سمت شرق خلیج به سمت غرب آن افزایش چشم‌گیری دارد. نتایج مدل‌سازی بیانگر وجود حداکثر اختلاف $3/5$ درجه سانتی‌گراد بین بخش‌های غربی و شرقی خلیج در مردادماه 1390 خورشیدی بوده است. هر چند به عنوان یک قاعده کلی میزان دما در بخش‌های غربی خلیج در مقایسه با بخش‌های شرقی آن بیشتر می‌باشد ولی تغییرات این شاخص بوم‌شناختی در فصل سرد سال به ویژه بهمن ماه کم‌تر بوده و نتایج مدل‌سازی حاضر بیانگر وجود حداکثر اختلاف دمایی $1/2$ درجه سانتی‌گراد بین بخش شرقی و غربی در بهمن می‌باشد.

در این پژوهش ضریب همبستگی پیرسون معادل $0/51$ و جذر میانگین مربع خطا شوری معادل $1/69$ سانتی‌گراد به‌دست آمده است. در صورتی‌که در پژوهش یاری‌نسب و همکاران (1392)، این مقدار معادل $0/51$ سانتی‌گراد و رنجبر و حاجی‌زاده‌ذاکر (2017) معادل $1/9$ سانتی‌گراد بوده است.

به‌عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که مقادیر شوری در خلیج گرگان با حرکت از سمت شرق به غرب رفته رفته افزایش می‌یابد. بررسی نتایج مستخرج از مدل‌سازی شوری نشان داد که بخش‌های کرانه‌ای جنوب خلیج گرگان از تغییرات شوری بیش‌تری در مقایسه با دیگر بخش‌های خلیج گرگان برخوردار می‌باشند. دلیل وقوع این امر به دبی متغیر 13 رودخانه ورودی به سواحل جنوبی خلیج گرگان با شوری کم‌تر از $0/3$ پی‌اس‌یو مرتبط می‌باشد. میزان شوری در نواحی نزدیک به مصب رودخانه‌ها کم‌تر از 4 پی‌اس‌یو مدل‌سازی شده است. شوری در سواحل شمالی خلیج از ثبات بیش‌تری در مقایسه با سواحل جنوبی برخوردار بوده است.

آمده است، در صورتی که در پژوهش انجام شده به‌دست رنجبر و حاجی‌زاده‌ذاکر (2017) این شاخص معادل $1/6$ سانتی‌گراد محاسبه شده است.

بررسی نتایج مدل‌سازی دما در این پژوهش نشان داد که خلیج در مقایسه با احجام آبی بزرگ‌تر که تبادل آب در آن‌ها با سرعت خوبی انجام می‌شود دارای تغییرات دمایی قابل‌ملاحظه در طول شبانه‌روز می‌باشد. به عنوان مثال مقایسه نتایج مدل‌سازی دما در بخش‌های مرکزی و کرانه‌ای خلیج گرگان به‌ترتیب اختلاف دمای $2/5$ و 4 درجه سانتی‌گراد را در طول شبانه‌روز و در اواسط اردیبهشت نشان داده است. دلیل این موضوع را می‌توان در عدم تبادل مناسب آب خلیج با دریا، کم عمق بودن و ارتباط توده آب با بستر خلیج و تأثیر خشکی سواحل به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی کم‌تر در مقایسه با آب دریا جستجو نمود. ظرفیت گرمایی کم‌تر خشکی و تأثیر آن بر روی آب‌های خلیج گرگان سبب هدررفت انرژی گرمایی خلیج به موجب جذب گرما توسط خشکی و به‌وجود آمدن تغییرات دمایی بیش‌تر در آب خلیج گرگان و به‌ویژه در نواحی ساحلی می‌گردد.

نتایج مدل‌سازی نشان داد که تعادل گرمایی در خلیج به طور مستقیم متأثر از فرآیندهای درون حوضه خود بوده و بیش‌ترین تأثیر را تغییرات شار گرمایی جو به عهده دارد. پیش‌تر رنجبر و حاجی‌زاده‌ذاکر (2017) نیز تغییرپذیری فصلی دمای آب در خلیج گرگان را با تغییرات شار گرمایی جو مرتبط دانسته‌اند. بر این پایه خلیج دارای دو دوره متفاوت گرمایی منطبق با فصول گرم سال (بهار و تابستان) با حداکثر جذب گرما در خرداد ماه بوده و دوره دیگر منطبق بر فصول سرد سال (پاییز و زمستان) با حداکثر مقدار کاهش گرما (هدر رفت دمایی) در آذر ماه می‌باشد.

بررسی تغییرات دمایی خلیج در امتداد محور طولی از شرق به غرب بیانگر رفتار متفاوت دمایی

نتایج مدل‌سازی‌ها نشان داده است که مقادیر شوری در خلیج گرگان در خلال فصول سرد سال در مقایسه با فصول گرم سال افزایش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد. موضوع اخیر پیش‌تر توسط جمشیدی (۲۰۱۶) بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی تأیید گردیده است. می‌توان دلیل افزایش میزان شوری خلیج گرگان را در خلال دوران سرد سال و کاهش میزان شوری در آن را در دوران گرم سال به نوسانات درون سالیانه سطح آب در دریای کاسپی که از طریق دهانه آشورآده بندرت‌رکمن به خلیج گرگان القا می‌گردد مرتبط دانست. افزایش سطح آب در دوران گرم سال به معنای افزایش حجم آب در خلیج گرگان و افزایش میزان تعویض‌پذیری آب در خلیج گرگان می‌باشد. به‌همراه افزایش سطح آب در خلیج بخش قابل‌توجه‌ای از آب‌های کم‌شورتر از دریای کاسپی با شوری میانگین ۱۳ پی‌اس‌یو به خلیج گرگان وارد شده و میانگین شوری را در خلیج گرگان کاهش می‌دهد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که میزان شوری خلیج گرگان در ایام بارانی دارای تغییرات کاهشی مختصر به میزان ۰/۲ پی‌اس‌یو می‌باشد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی شوری در خلیج گرگان نشان داده است که مقادیر این عامل در فصول سرد سال در مقایسه با فصول گرم سال به دلیل کاهش تبادل آب در خلیج گرگان بیش‌تر می‌گردد. ورودی آب شیرین رودخانه‌ها به خلیج گرگان تنها در ناحیه مصبی مؤثر بوده و شوری خلیج گرگان از دریای مادری تامین و تعیین می‌گردد.

نتایج مدل‌سازی دما نشان داد که خلیج در مقایسه با احجام آبی بزرگ‌تر که تبادل آب در آن‌ها با سرعت خوبی انجام می‌شود دارای تغییرات دمایی

بیش‌ترین میزان شوری با حداکثر مقدار ۲۱/۱ پی‌اس‌یو در منتهی‌الیه بخش غربی خلیج گرگان و در اواسط تابستان مدل‌سازی شده است. این موضوع با کاهش میزان تعویض آب در این منطقه که پیش‌تر توسط شربتی و کلنگی (۱۳۹۶) بیان گردیده و هم‌چنین فرآیند تبخیر ارتباط مستقیمی دارد. بخش‌های شرقی خلیج گرگان به‌دلیل مجاورت با دریای کاسپی و داشتن میزان تعویض آب سریع‌تر از ثبات شوری بیش‌تری در مقایسه با دیگر بخش‌ها برخوردار بوده و به‌خصوص شوری در بخش منتهی‌الیه شرقی خلیج گرگان متشابه میزان شوری در دریای مادری و تغییرات آن معادل ۱۱/۵ الی ۱۳/۴ پی‌اس‌یو مدل‌سازی شده است.

بخش‌های مرکزی و عمیق خلیج گرگان نیز در مقایسه با بخش‌های غربی و جنوبی خلیج از ثبات شوری بیش‌تری برخوردار می‌باشد. میزان تغییرات شوری در این بخش‌ها از ۱۴ الی ۱۶/۵ پی‌اس‌یو مدل‌سازی گردیده است که تطابق خوبی با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی جوانی (۱۳۹۱) و باقری (۱۳۹۲) در این خصوص داشته است. با این وجود با فرارسیدن فصل سرما و کاهش سطح آب در دریای کاسپی که تأثیر مستقیمی بر کاهش تراز سطح آب در خلیج گرگان دارد، میزان شوری در بخش‌های عمیق و مرکزی خلیج گرگان افزایش یافته و به بیشینه ۱۶/۵ پی‌اس‌یو می‌رسد. می‌توان دلیل این امر را با حرکت توده‌های آب خلیج گرگان از سمت غرب به شرق که به موازات کاهش سطح آب در فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد مرتبط دانست. در نتیجه این حرکت توده‌های آب شورتر از بخش‌های غربی خلیج گرگان به سمت شرق حرکت کرده و بدین‌ترتیب میزان شوری را در بخش‌های مرکزی خلیج برای مدت ۳ ماه افزایش می‌دهند.

دارد و انرژی گرمایی وارده از طریق دریا در تغییرات گرمایی خلیج کم‌ترین تأثیر را دارد.

سپاسگزاری

مقاله پیش‌رو مستخرج از طرح پژوهشی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره ۲۸-۳۳۷-۹۴ می‌باشد. بدین‌وسیله از تمامی دست‌اندرکاران طرح سپاسگزاری می‌گردد.

قابل‌ملاحظه در طول شبانه‌روز می‌باشد. نظر به ادامه‌دار بودن کاهش سطح آب در دریای کاسپی و در پی آن کاهش بیش‌تر حجم آب در خلیج گرگان در سال‌های آتی انتظار می‌رود تغییرات دمایی خلیج گرگان در شبانه‌روز با دگرگونی‌های بیش‌تری مواجه گردد. هم‌چنین تعادل گرمایی در خلیج به طور مستقیم متأثر از فرآیندهای درون حوضه خود بوده و بیش‌ترین تأثیر را تغییرات شار گرمایی جو به عهده

منابع

- Aghili, K., Aghaeimoghadam, A., and Sharifian, M. 2014. Investigation of the trend of annual changes in physical and chemical characteristics of Gorgan Bay for the cultivation of carp in enclosed and caged areas. First Conference on Aquaculture, Challenges and Opportunities, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 10p. (In Persian)
- Alishiri, M., Dastanpur, N., and Nejadheydari, H. 2016. Potentiometric analysis of marine aquaculture with the approach of maintaining domestic water resources in Iran. 9TH Progress Pioneers Congress, Tehran, Iran, 9p. (In Persian)
- Amini, K. 2016. Study of possibilities of aquaculture activities in the Gorgan Bay. Iranian Fisheries Science Research Institute-Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Register NO. 48805, 84p. (In Persian)
- Ardakani, H. 2017. Ecology. Tehran Univ Press, 340p. (In Persian)
- Bagheri, H. 2014. Review Guidelines and Ecological Monitoring of Coastal Waters Using Benthic Indicators (Case Study: Southeast of the Caspian Sea). Environmental Protection Office of Golestan Province, 140p. (In Persian)
- Bashari, L., Mahmudy Gharaie, M.H., and Alizadeh Lahijani, H. 2014. Hydrogeochemical Study of the Gorgan Bay and Factors Controlling the Water Chemistry, Oceanography, 5: 20. 1-14.
- Beni, A., Lahijani, H., and Reimer, P. 2013. Caspian Sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. Clim. Past 9: 1645-1665.
- Coastal Engineering Manual, 2006. Part2, U.S. Army Corps of Engineers, 354p.
- Consulting Engineers of Kankash Omran, 2008. Studies on the identification of water resources in the Miankaleh Peninsula. Mazandaran Regional Water Company, 89p. (In Persian)
- DHI, 2014. MIKE21 Flow Model user guide and scientific documentation, 98p.
- First Consulting Engineers, 1987. Gorgan Bay. Iran Fisheries Company, 115p. (In Persian)
- Ghemi, M., and Javaherzadeh, F. 2015. A review of Iran's wetlands recorded in the Ramsar Convention and its impact on the development of sustainable tourism and the proposal for the restoration and conservation of wetlands. International Conference on Management and Ecological Development, Mashhad, Iran, 14p. (In Persian)
- Jamshidi, S. 2016. Study on Physical and Chemical Characteristics of Seawater of Gorgan Bay in the Eastern Part of Southern Coast of the Caspian Sea. Proceedings of Academics World 44th International Conference, Bangkok, Thailand, 13th-14th, Sep 2016, ISBN: 978-93-86083-34-0, 5p.

- Javani, A. 2012. Spatial modeling of different pollution in Gorgan Bay. M.Sc. Thesis. Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran, 116p. (In Persian)
- Javani, A., Taheri, H., Mohamadkhani, M., and Mansori, B. 2014. The Temporal-Spatial variations of nitrate and phosphate concentrations in the Gorgan Bay. *J. Environ. Sci. Engin.* 1: 3. 1-13. (In Persian)
- Morovati, H., Torabiazad, L., and Mehrfar, H. 1998. Study and formulation of intense budget heating under severe winds in Gorgan Bay. *J. Basic Sci. Islamic Azad University*, 63: 19-31. (In Persian)
- Pourmandi-Yekta, A.H. 2006. Investigating of Water Exchange between Caspian Sea and Gorgan Bay. Ministry of Energy, Water Resources Management Company, 152p. (In Persian)
- Poya Tarh Pars Consulting Engineers. 2017. Identifying and Presenting Emergency Rescue Solutions of Gorgan Bay and Miankaleh Wetland, Golestan Regional Water Company, 473p. (In Persian)
- Rahimipour, H. 2005. Investigation of Hydrodynamic of currents and prediction of Erosion and Sedimentation Pattern in Groan Bay, Iran. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Report number: 84/322, 85p. (In Persian)
- Ranjbar, M.H., and Hadjizadeh Zaker, N. 2017. Numerical modeling of general circulation, thermohaline structure, and residence time in Gorgan Bay, Iran. *Ocean Dynamics*, 68: 1. 35-46.
- Roodbari Shahmiri, S., Adjami, M., and Khoshnavan, H. 2018. A Comparative Study between Numerical Results and Field Observations for Coastal Morphology Features in Miankaleh Coasts. *J. Hydraul.* 13: 2. 37-53. (In Persian)
- Sharbaty, S. 2012. Two Dimensional simulations of seasonal flow patterns in the Gorgan Bay. *J. Basic Appl. Sci. Res.* 2: 5. 4382-4391.
- Sharbaty, S. 2016. Three Dimensional Modeling results assessment of Water Renewal Time in order to Development of Aquaculture in the Gorgan Bay, *J. Aquacul. Develop.* 10: 3. 105-118. (In Persian)
- Sharbaty, S., and Kolangi, H. 2017. Two Dimensional Modeling of Net Water Renewal Time in Gorgan Bay. *J. Environ. Sci. Technol.* 19: 5. 241-249. (In Persian)
- Sharbaty, S., and Shabani, A. 2016. Impacts of Khozeini Canal Reopening on General Current Pattern in Gorgan Bay (South East of the Caspian Sea. *J. Environ. Sci. Technol.* 18: 2. 68-80. (In Persian)
- Taheri, M., Foshtomi, M., Noranian, M., and Mira, S. 2012. Spatial distribution and biodiversity of macrofauna in the southeast of the Caspian Sea, Gorgan Bay in relation to environmental conditions. *Ocean Science*, 47: 113-122.
- Yarinasab, A. 2012. Water quality modeling of Gorgan bay. M.Sc. Thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University Tehran, Iran, 106p. (In Persian)
- Yarinasab, A., Taheri, H., Mohamadkhani, H., Poursofi, T., and Mansori, B. 2014. Hydrodynamical and salinity modeling of Gorgan Bay in order to extract the confidence interval between fish farms under instantaneous pollution load. *Fisheries Journal, Iran. J. Natur. Resour.* 66: 4. 505-517. (In Persian)