

Two-dimensional modeling of the effect of rivers on the salinity of Gorgan Bay

Saeed Sharbaty*

Corresponding Author, Lecturer of Department 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: 11.22.2022

Revised: 12.17.2022

Accepted: 01.08.2023

Keywords:

Gorgan Bay,
Modeling,
Rivers,
Salinity,
Temperature

ABSTRACT

Gorgan Bay is the largest bay of Iran in the waters of the southeastern shores of the Caspian Sea. In this research, the effect of rivers on the salinity of Gorgan Bay in a period of one year has been investigated using the Mike 21 model on unstructured meshes and under two scenarios of the presence of rivers and the absence of rivers. The results of the research showed that the salinity level in the bay has an increasing trend from east to west in most seasons of the year and the average salinity was 16.4 psu in 2011. The salinity values in Gorgan Bay are closely related to the annual rise and fall of the water level in the Caspian Sea. Based on this, during the hot season of the year and the increase in the water level, the amount of salinity in Gorgan Bay decreases, and vice versa, the amount of salinity increases in the winter season along with the decrease in the water level. The salinity level in the western part of the bay with the maximum salinity of 25.6 psu was modeled more than the other areas due to the increase in water exchange time. From the beginning of autumn to the end of winter, due to the decrease of the water level and the movement of the water masses of the bay from the west to the east, the salinity values in the deep areas of the bay during this period compared to other seasons with a maximum of 16.5 psu increases. The entry of water from the sea into the bay and the evaporation process has the greatest effect on the salinity changes of the bay. The effect of rivers on the salinity changes of the southern coast of the bay has been low. Among the 13 rivers entering the bay, only the Qarasu River has had a larger area of influence (up to a distance of 500 meters from the estuary) compared to other rivers due to its higher water flow. In general, the input of rivers had the least effect on the salinity changes of Gorgan Bay, and the contribution of rivers to the salinity changes of Gorgan Bay was less than two hundred percent in 2011.

Cite this article: Sharbaty, Saeed. 2023. Two-dimensional modeling of the effect of rivers on the salinity of Gorgan Bay. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (1), 175-189.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2023.20808.1727

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

مدل‌سازی دوبعدی تأثیر رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان

سعید شربتی*

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

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|--|
| <p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸</p> <p>واژه‌های کلیدی: خلیج گرگان، دما، رودخانه، شوری، مدل‌سازی</p> | <p>خلیج گرگان بزرگ‌ترین خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوب شرقی دریای کاسپی می‌باشد. در این پژوهش چگونگی میزان تأثیرگذاری رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان در بازه زمانی یک ساله با استفاده از مدل مایک ۲۱ بر روی مش‌های بی‌ساختار و تحت دو سناریوی وجود و عدم وجود رودخانه‌ها بررسی گردید. نتایج پژوهش نشان داد که میزان شوری خلیج گرگان در بیش‌تر فصول سال دارای روند افزایشی از سمت شرق به غرب و میانگین شوری برابر $16/4$ psu در سال ۱۳۹۱ بوده است. مقادیر شوری در خلیج گرگان ارتباط نزدیکی با نوسانات درون سالیانه سطح آب در دریای کاسپی دارد. میزان شوری در منتهی‌الیه بخش غربی خلیج با بیشینه شوری $25/6$ psu به دلیل افزایش زمان ماندگاری، بیش‌تر از نواحی دیگر مدل‌سازی شد. از آغاز پاییز تا پایان زمستان به دلیل کاهش سطح آب و حرکت توده‌های آب خلیج از سمت غرب به شرق، مقادیر شوری در نواحی عمیق خلیج در خلال این دوران در مقایسه با فصول دیگر با بیشینه $16/5$ psu افزایش می‌یابد. ورود آب از دریا به خلیج و فرآیند تبخیر بیش‌ترین تأثیر را در تغییرات شوری خلیج دارند. تأثیر رودخانه‌ها در تغییرات شوری سواحل جنوبی خلیج کم بوده است. از میان ۱۳ رودخانه ورودی به خلیج، تنها رودخانه قره‌سو به دلیل دبی آب بیش‌تر دارای حوزه تأثیر بیش‌تر (حداکثر تا فاصله ۵۰۰ متری از مصب) در مقایسه با دیگر رودخانه‌ها بوده است. به‌طورکلی ورودی رودخانه‌ها کم‌ترین تأثیر را در تغییرات شوری خلیج گرگان داشته و سهم رودخانه‌ها در تغییرات شوری خلیج گرگان کم‌تر از دو درصد در سال ۱۳۹۱ بوده است.</p> |

استناد: شربتی، سعید (۱۴۰۲). مدل‌سازی دوبعدی تأثیر رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۲ (۱)، ۱۸۹-۱۷۵.

DOI: 10.22069/japu.2023.20808.1727



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

با آغاز دور جدید روند رو به کاهش سطح آب در دریای کاسپی (از سال ۱۹۹۵ میلادی تا به امروز)، بسیاری از تالاب‌های دریایی در این دریای بسته در معرض خشکی‌زایی قرار گرفته است (۱). بسیاری از تالاب‌های دریای کاسپی لب‌شور بوده و از این رو کاهش تبدلات آبی ناشی از کاهش سطح آب بین دریای مادری و این تالاب‌ها می‌تواند سبب افزایش شوری در آن‌ها گردد.

خلیج گرگان یکی از تالاب‌های دریایی و لب‌شور ایران در بخش جنوبی دریای کاسپی است که به همراه کاهش سطح آب با پدیده خشکی‌زایی و افزایش شوری همراه می‌باشد (۲). پس از تشکیل کارگروه‌های استانی و ملی نجات خلیج گرگان، یکی از راه‌کارهای ارائه شده برای کاهش صدمات وارده به خلیج تعیین حق‌آبه از رودخانه‌ها با هدف افزایش کیفیت آب و کاهش شوری بوده است. با این وجود تا زمان اعلام نتایج این پژوهش هیچ سندی دال بر تأثیرگذاری رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان وجود نداشته و لزوم پژوهش در این باره لازم و مبرهن بوده است.

خلیج گرگان تماماً در منطقه کم‌عمق فلات قاره واقع گردیده است و با کم‌ترین تغییر در تراز آب دریای کاسپی، بخش وسیعی از آن خشک و یا تر می‌گردد. به دلیل کاهش سطح آب در دریای کاسپی، امروزه این خلیج تنها از طریق یک کانال باریک (با عرض بیشینه ۱۰۰ متر) و کم‌عمق (عمق بیشینه ۰/۵ متر) با نام کانال چاپاقلی با دریای کاسپی در ارتباط دائمی می‌باشد. ولی مرز باز ورودی خلیج گرگان (دهانه آشورآده به بندرترکمن) در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۲/۵ کیلومتر بوده است. خلیج گرگان فاقد رژیم کشندی مؤثر بوده و اقلیم حاکم بر آن مدیترانه‌ای می‌باشد (۳).

شوری به سه شیوه اندازه‌گیری میدانی، مدل‌سازی عددی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل بررسی می‌باشد. بررسی‌های انجام شده بیان می‌دارد که تاکنون هیچ پژوهشی در خصوص بررسی شوری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در خلیج گرگان صورت نگرفته است. اولین گزارش درباره اندازه‌گیری میدانی شوری در خلیج گرگان در اواسط دهه ۶۰ خورشیدی توسط شرکت مهندسین مشاورین یکم (۴) و آخرین اندازه‌گیری‌ها نیز در سال ۱۴۰۱ توسط اداره کل محیط زیست استان گلستان انجام شده است.

از دیگر سو، 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. نخستین تلاش برای مدل‌سازی دوبعدی شوری در خلیج با فرض باروتروپیک بودن و در بازه زمانی ۵ ماهه انجام شد (۵). سپسرنجبر و حاجی‌زاده (۲۰۱۷)، تلاش کردند تا شوری را در خلیج گرگان به‌صورت سه‌بعدی و بدون در نظر داشتن اثرات جوی مدل‌سازی نمایند (۶). در آخرین تلاش، مدل‌سازی دوبعدی شوری در خلیج گرگان در یک بازه زمانی یک‌ساله (۱۳۹۰) و با فرض باروکلینیک و اعمال تبدلات گرمایی خلیج با جو انجام گردید (۲).

عدم یک‌پارچگی زمانی - مکانی برداشت داده‌های میدانی شوری سبب به‌وجود آمدن پرسش‌هایی در خصوص تغییرات شوری در خلیج می‌گردد. هم‌چنین، در چند سال اخیر بحث تعیین حق‌آبه از رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان با هدف کاهش شوری مدنظر مسئولین و کارشناسان بوده است. بنابراین در این پژوهش تلاش گردیده است تا تغییرات شوری متأثر از ورودی رودخانه‌ها در بازه زمانی یک ساله (۹۱-۱۳۹۰) با استفاده از ماژول تبادل گرمایی، شرایط مرزی مناسب، استفاده از فرض باروکلینیک بودن

خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوب شرقی دریای کاسپی و جزو ۲۲ تالابی است که در کنوانسیون رامسر (۱۹۷۱) به ثبت بین‌المللی رسیده است (۷) 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 (۸). نیاز آبی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۶/۵ متر برای جبران آب از دست رفته از سطح آن به واسطه فرآیند تبخیر (میانگین ۵ میلی‌متر در روز)، برابر ۲/۳۰۰/۰۰۰ مترمکعب در روز می‌باشد که این مقدار آب با شوری تقریبی ۱۱ الی ۱۳ psu از طریق دهانه آشورآده (تنها مرز باز مدل) از دریا به خلیج وارد می‌گردد.

چگالی در حوضه خلیج گرگان مدل‌سازی گردد. نظر به آن‌که گردآوری داده با مشکلات متعدد مواجه بوده است، بنابراین سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ خورشیدی به دلیل موجود بودن بسیاری از اطلاعات برای مدل‌سازی اثر رودخانه‌ها بر شوری خلیج گرگان انتخاب گردیده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی خلیج گرگان: خلیج گرگان تالاب دریایی نیمه بسته و لب‌شور 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 زبانه ماسه‌ای میانکاله احاطه گردیده است (شکل ۱). خلیج گرگان تنها



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

معادلات حاکم بر مدول هیدرودینامیک با انتگرال‌گیری از معادلات دوبعدی اندازه حرکت و معادله پیوستگی در آب کم‌عمق به صورت زیر می‌باشند (۹):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS$$

معادله پیوستگی

مراحل برپایی مدل مایک ۲۱: مدل بی‌ساختار و دوبعدی مایک ۲۱، یک سازگان مدل‌سازی پیشرفته جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی است.

معادلات اندازه حرکت در سواهای شرق و شمال

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}u}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} +$$

$$\frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{v}u}{\partial x} = -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} +$$

$$\frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S$$

چگالی منبع آب، S شدت تخلیه نقاط منبع‌ها و u_s, v_s سرعت آب تخلیه شده در آب محدود، τ_{sx}, τ_{sy} و τ_{bx}, τ_{by} مؤلفه‌های x, y تنش‌های باد و بستر است. نماد میانگین نشان‌دهنده مقدار میانگین عمقی است. برای مثال \bar{u}, \bar{v} سرعت‌های میانگین عمقی هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz,$$

$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$$

فرمول لزجت گردابی بر اساس گرادیان‌های سرعت عمق میانگین به صورت زیر تخمین زده می‌شوند:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}$$

\bar{S} دما و شوری میانگین عمقی، S_s و T_s دما و شوری منبع، F_T و F_s پخشیدگی افقی دما و شوری، \hat{H} تبادل حرارتی منبع با جو می‌باشد.

در معادلات بالا t زمان، x, y مؤلفه‌های مختصات کارتیزین، η ارتفاع سطح، d عمق آب ساکن، h عمق کل آب، u, v مؤلفه‌های سرعت در جهت x, y ، پارامتر کوریولیس (Ω سرعت چرخشی زمین و ϕ عرض جغرافیایی)، g شتاب گرانشی، ρ چگالی آب، $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$ مؤلفه‌های تانسور تنش‌های تابشی، p_a فشار اتمسفر، ρ_0

تنش‌های جانبی T_{ij} شامل اصطکاک چسبندگی، اصطکاک آشفتگی، همرفت دیفرانسیلی با استفاده از

در رابطه بالا، A ویسکوزیته گردابی افقی می‌باشد. با انتگرال‌گیری از معادلات انتقال برای دما و شوری بر روی عمق، معادلات دوبعدی انتقال به صورت زیر حل می‌شوند که در معادلات زیر \bar{T} ،

$$\frac{\partial h\bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{T}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{T}}{\partial y} = hF_T + h\hat{H} + hT_s S$$

$$\frac{\partial h\bar{s}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{s}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{s}}{\partial y} = hF_s + hS_s S$$

بر اساس نتایج پژوهش مروتی و همکاران (۱۹۹۸)، فرمول ارائه شده توسط گروه مهندسی نیروی دریایی ارتش ایالات متحده آمریکا، مناسب‌ترین رابطه برای استخراج ضریب مقاومت باد در سطح خلیج گرگان می‌باشد (۱۵). بر این اساس حداقل و حداکثر مقادیر ضریب مقاومت در خلیج برای بادهای با سرعت کم‌تر و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه، به ترتیب معادل ۰/۰۰۱۲۰۵ و ۰/۰۰۱۸۹۱ محاسبه و در مدل‌سازی استفاده شد. مقاومت بستر بر اساس عمق آب به صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان در نظر گرفته شد. بر این اساس پس از بارها اجرای مدل بهترین ضریب برای تمامی اعماق کم‌تر از ۲ متر شامل عدد مانینگ ۳۲ و تمامی اعماق بیش‌تر از دو متر شامل عدد مانینگ ۳۶ انتخاب و با استفاده از فایل دی‌اف‌اس‌یو^۱ به مدل معرفی گردیده است (۲). در پژوهش حاضر پس از بارها اجرای مدل و مقایسه نتایج آن با داده‌های میدانی دما و شوری، مناسب‌ترین ضریب پخش بر پایه عمق آب به صورت جدول زیر انتخاب گردیده و با استفاده از فایل دی‌اف‌اس‌یو به مدل معرفی شده است (جدول ۱).

از مقدار ثابت منفی ۰/۱۲ متر به عنوان شرط اولیه تراز سطح آب خلیج گرگان در آغاز مدل‌سازی استفاده گردید. جهت بررسی تأثیر رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان، مدل‌سازی‌ها تحت دو سناریو متفاوت انجام شد. در سناریو اول تأثیر ورودی ۱۳ رودخانه بر شوری خلیج گرگان مدل‌سازی گردیده و در سناریو دوم از تأثیر ورودی رودخانه‌ها به خلیج چشم‌پوشی شده است.

کالیبراسیون و واسنجی مدل: در پژوهش حاضر از داده‌های سال نخست برای تنظیم و درستی‌یابی مدل استفاده شده و از برونداد مدل در سال دوم برای بررسی تغییرات شوری در خلیج گرگان متأثر از ورودی رودخانه‌ها استفاده گردیده است. مدل‌سازی تحت دو سناریو متفاوت یعنی وجود و عدم وجود رودخانه‌ها انجام شده است. نظر به عدم وجود داده‌های جریان‌سنجی در بازه زمانی مدل‌سازی نسبت به مقایسه مقادیر سرعت و الگوی جریان مستخرج از مدل‌سازی حاضر با نتایج گزارش شده از پژوهش‌گران پیشین در خلیج گرگان استفاده شده است.

جدول ۱- مقادیر ضرایب پخش شوری به کار رفته در مدل‌سازی بر پایه مقادیر عمقی در خلیج گرگان.

| عمق >۵ متر | عمق >۴ متر | عمق >۳ متر | عمق >۲ متر | عمق >۱ متر | ضریب پخش (m ² /s) |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|
| ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | |

و شوری متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان در سال ۱۳۹۰ در ۱۰ ایستگاه درون خلیج (۱۴)، برای تنظیم و درستی‌یابی مدل در سال ۱۳۹۰ تحت سناریو وجود رودخانه‌ها استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌سازی در بازه زمانی تنظیمات و درستی‌یابی مدل (سال نخست

هم‌چنین، پس از بارها اجرای مدل و مقایسه نتایج 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. از داده‌های دما و شوری سال ۱۳۹۰ در ۱۹ ایستگاه خلیج گرگان (۱۳) و هم‌چنین از داده‌های دما

پارامتر پیش‌بینی‌شده (شوری و یا دما) نسبت به اندازه‌گیری میدانی، به شرح ذیل استفاده گردیده است (۱۶).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - P_i)^2}}{n}$$

دما و شوری، نوسان سطح آب و عمق آب می‌باشد. جهت اجرای مدل از سرور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با مشخصات سخت‌افزاری ویندوز سرور ۲۰۰۸ آر۲، رم ۳۲ گیگا بایت و سی‌پی‌یو دو هسته‌ای زنون ۲/۶۷ گیگا هرتز استفاده شد.

کاسپی و یا به همراه برکشند طوفان در دریای کاسپی روی می‌دهد. وجود جریانات قوی کرانه‌ای در امتداد سواحل شمالی خلیج گرگان و از سمت شرق به غرب با بیشینه سرعت ۰/۰۸ متر بر ثانیه و همچنین، جریانات قوی کرانه‌ای در امتداد سواحل جنوبی خلیج گرگان و از سمت غرب به شرق با بیشینه سرعت ۰/۰۸ متر بر ثانیه مدل‌سازی گردید. باد غالب غرب‌وزان در بیش‌تر ایام سبب به وجود آمدن اختلاف سطح آب در خلیج گرگان از سمت غرب به شرق با حداکثر ارتفاع ۰/۳ متر می‌گردد.

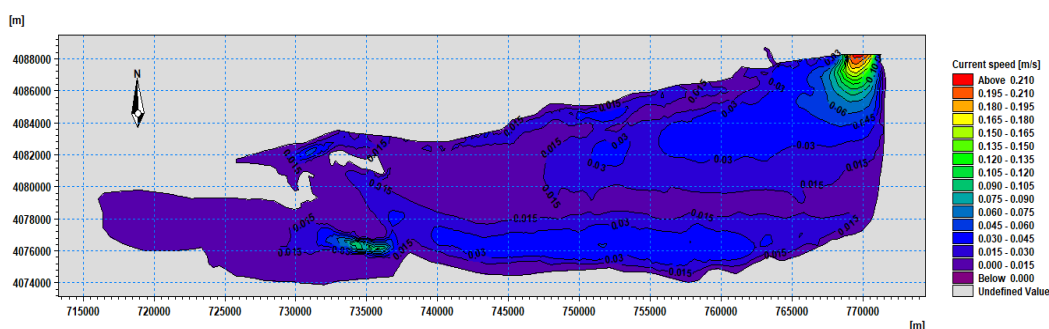
مدل‌سازی)، داده‌های خروجی مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی دما و شوری با استفاده از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) که شاخصی برای بیان اندازه انحراف

در رابطه بالا، n بیانگر تعداد داده، M_i شوری (یا دما) اندازه‌گیری شده، P_i شوری (یا دما) مدل‌سازی شده می‌باشد.

داده‌های خروجی مدل شامل جهت و سرعت جریان، مولفه‌های جریان در امتداد شمال و شرق،

نتایج

نتایج مدل‌سازی جریان در خلیج گرگان: نتایج مستخرج از مدل‌سازی در خصوص الگوی جریان نشان داد که وجود رودخانه‌ها هیچ تأثیری بر الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان نداشته و وجود یک گردش پادساعت‌گرد آب در بیش‌تر مواقع در خلیج گرگان مشهود می‌باشد (شکل ۳). میانگین، کمینه و بیشینه سرعت جریان در خلیج گرگان به ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۰۸ و ۰/۴ متر بر ثانیه مدل‌سازی شد. مدل‌سازی‌ها تحت هر دو سناریوی مفروض نشان داد که، بیشینه سرعت جریان در دهانه ورودی خلیج گرگان به همراه بیشینه افزایش سطح آب در دریای



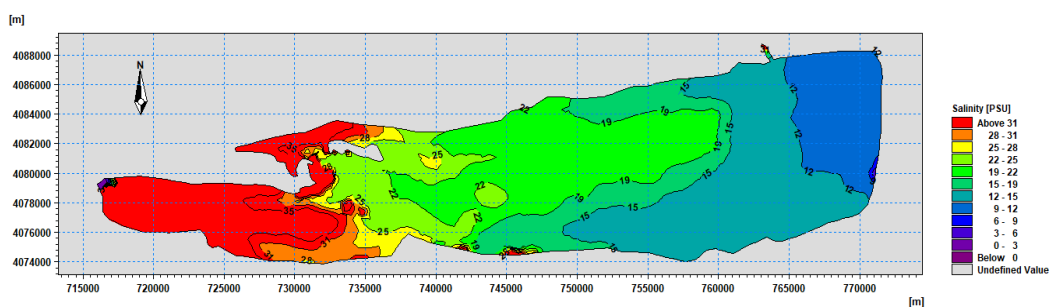
شکل ۳- نمایش میانگین سالانه توزیع سرعت در خلیج گرگان.

نتایج مدل‌سازی بیانگر افزایش دما و شوری در خلیج گرگان با حرکت از سمت شرق به غرب در غالب مواقع سال می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).

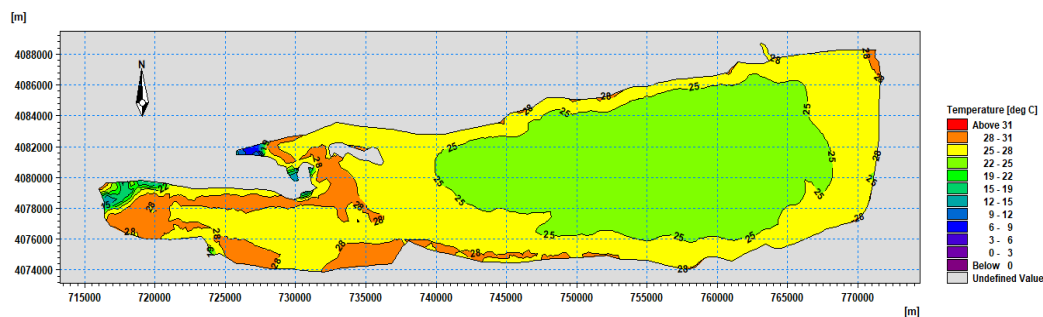
نتایج مدل‌سازی دما و شوری در خلیج گرگان: مقایسه نتایج مستخرج از مدل‌سازی دما و شوری در نقاط نمونه‌برداری بیانگر عملکرد خوب و قابل قبول مدل در بازه زمانی موردنظر بوده است (جدول ۲).

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

| شاخص آماری | دما (C) | شوری (psu) |
|------------|----------|------------|
| RMSE | ۷/۷ درصد | ۶/۹ درصد |



شکل ۴- نمایش میانگین سالانه توزیع شوری (۱۳۹۱) و افزایش مقادیر شوری در بخش غربی خلیج گرگان.



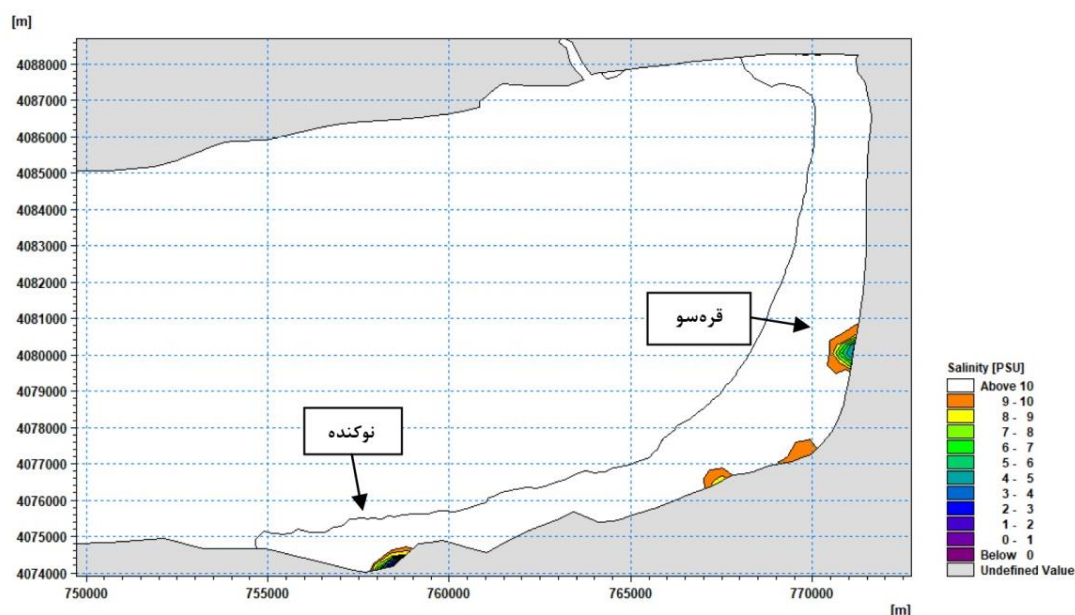
شکل ۵- نمایش میانگین سالانه توزیع دما (۱۳۹۱) در خلیج گرگان.

بررسی پلوم حاصل از ورودی رودخانه‌ها به خلیج گرگان نشان داد که ورودی رودخانه‌ها در بیش‌تر مواقع حداکثر تا فاصله ۵۰۰ متری از محل ورود خود به خلیج می‌توانند بر ویژگی‌های شوری خلیج گرگان تأثیرگذار باشند. تغییرات شوری ناشی از ورودی رودخانه‌ها به خلیج با توجه به رژیم هیدرودینامیک حاکم بر خلیج به‌ویژه در امتداد سواحل خلیج می‌تواند

نتایج مدل‌سازی تأثیر رودخانه‌ها بر شوری خلیج گرگان: میانگین سالانه شوری در سناریوی تأثیر رودخانه‌ها بر خلیج گرگان برابر ۱۶/۱ psu محاسبه گردید و میانگین سالانه شوری در سناریوی عدم تأثیر رودخانه‌ها برابر ۱۶/۴ psu مدل‌سازی گردید. بدین‌صورت سهم رودخانه‌ها در تغییرات شوری خلیج گرگان تنها کم‌تر از دو درصد در سال ۱۳۹۱ بوده است.

متری از ساحل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۶). پلوم حاصل از ورودی ۱۲ رودخانه دیگر به دلیل دبی آب اندک حداکثر تا فاصله ۱۰۰ متری از ساحل را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

تا مسافت یک کیلومتری را در مواقع خاص تحت تأثیر قرار دهد. رودخانه قره‌سو دارای بیش‌ترین تأثیرگذاری از بین رودخانه‌های تحت بررسی در ماه فروردین می‌باشد. در این زمان پلوم حاصل از ورود آب شیرین رودخانه قره‌سو به درون خلیج گرگان تا فاصله ۵۰۰



شکل ۶- پلوم حاصل از تأثیر ورودی رودخانه‌ها بر شوری خلیج گرگان.

این مدل‌سازی وجود جریان‌های پر سرعت (۰/۰۸ متر بر ثانیه) در کرانه‌های شمالی و جنوبی خلیج گرگان هم جهت با وزش باد در بیش‌تر زمان‌ها و وجود جریان‌های کم‌سرعت (۰/۰۵ متر بر ثانیه) در بخش ژرف و مرکزی خلیج گرگان ولی مخالف با جهت وزش باد مشاهده گردیده است که با نتایج پیشین پژوهش‌گران تطابق دارد (۶ و ۲۰).

نظر به این‌که باد غالب در خلیج گرگان باد غربی می‌باشد، بنابراین در بیش‌تر مواقع این باد سبب حرکت توده‌های آب از سمت غرب به شرق شده و سبب انباشت توده‌های آب در بخش شرقی خلیج گرگان می‌گردد. موضوع اخیر پیش‌تر توسط دیگر

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌ها درباره شناخت رژیم هیدرودینامیک خلیج گرگان در خلال دو دهه گذشته (دهه ۸۰ و ۹۰ خورشیدی) نشان داده است که این پهنه آبی عمدتاً دارای گردش آب پادساعت‌گرد در بیش‌تر مواقع سال می‌باشد (۸). اندازه‌گیری‌های میدانی جریان از ابتدای دهه ۸۰ خورشیدی (۱۷) تا انتهای دهه ۹۰ خورشیدی (۱۸ و ۱۹) و مدل‌سازی دو بعدی (۵ و ۸) 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 ۰/۰۰۸ الی ۰/۱۵ متر بر ثانیه می‌باشد. در

جذب گرما در خرداد ماه بوده و دوره دیگر منطبق بر فصول سرد سال (پاییز و زمستان) با حداکثر مقدار کاهش گرما (هدررفت دمایی) در آذرماه می‌باشد.

بررسی تغییرات دمایی خلیج در امتداد محور طولی از شرق به غرب بیانگر رفتار متفاوت دمایی خلیج در فصول مختلف سال می‌باشد. در فصول گرم سال و به‌ویژه 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 بوده است.

شوری از عوامل مهم بر سلامتی بوم‌سازگان‌های آبی بوده و تغییرات این عامل بوم‌شناختی می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر روی ویژگی‌های فیزیکی‌وشیمیایی و زیستی پیکره‌های آبی بر جای بگذارد. 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 $0/3$ میلی‌گرم بر لیتر مرتبط می‌باشد. میزان شوری در نواحی مصبی رودخانه‌ها کم‌تر از 4 psu مدل‌سازی شده است. از میان 13 رودخانه ورودی به خلیج گرگان، رودخانه قره‌سو به دلیل دبی آب بیش‌تر، از میزان تأثیرگذاری بیش‌تری نسبت به دیگر رودخانه‌ها بر تغییرات شوری نواحی نزدیک مصبی خلیج گرگان برخوردار بوده است. با این وجود 13 رودخانه ورودی به خلیج گرگان دارای تأثیر اندک بر تغییرات شوری خلیج گرگان بوده و بررسی شوری تحت دو

پژوهش‌گران هم‌چون رحیمی‌پورانارکی (۲۰۰۵)، پورمندی‌یکتا (۲۰۰۶) و شربتی (۲۰۱۲) تأیید شده است (۸، ۱۷ و ۲۱).

جانوران و گیاهان آبی در محدوده ویژه‌ای از دما و شوری زندگی کرده و تغییرات شدید این عامل اکولوژیکی را تحمل نمی‌نمایند. پارامتر دما به دلیل تأثیرات آن بر واکنش‌های بیوشیمیایی آبزیان دارای اهمیت می‌باشد. بررسی نتایج مدل‌سازی دما در این پژوهش نشان داد که خلیج دارای تغییرات دمایی قابل‌ملاحظه در طول شبانه‌روز می‌باشد. 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 ماه نشان داده است. دلیل این موضوع را می‌توان در عدم تبادل مناسب آب خلیج با دریا، کم‌عمق بودن خلیج و ارتباط بسیار نزدیک توده آب خلیج با بستر 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 به وجود آمدن تغییرات دمایی بیش‌تر در آب خلیج گرگان و به‌ویژه در نواحی ساحلی می‌گردد. در این پژوهش بیش‌ترین تغییرات دمایی در سواحل (با بیشینه عمق $0/5$ متر) مدل‌سازی گردیده است و مناطق دور از ساحل و عمیق خلیج در مقایسه با کرانه‌های کم‌عمق ساحلی از ثبات دمایی بیش‌تری در تمامی فصول سال برخوردار بوده است.

نتایج مدل‌سازی نشان داد که تبادل گرمایی در خلیج به‌طور مستقیم متأثر از فرآیندهای درون حوضه خود بوده و بیش‌ترین تأثیر را تغییرات جوی به عهده دارد. بر این پایه خلیج دارای دو دوره متفاوت گرمایی منطبق با فصول گرم سال (بهار و تابستان) با حداکثر

سناریوی مفروض نشان داد که رودخانه‌ها تنها سهم دو درصدی بر میانگین شوری خلیج در سال ۱۳۹۱ خورشیدی داشته‌اند.

بیش‌ترین میزان شوری با حداکثر مقدار ۲۵/۶ psu 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 (۲۰۱۷) بیان گردیده و همچنین فرآیند تبخیر ارتباط مستقیمی دارد (۲۲). لازم به ذکر است که شربتی (۲۰۲۲)، بیشینه مقادیر شوری در بخش غربی خلیج گرگان را به میزان ۲۱/۱ psu در اواسط تابستان ۱۳۹۰ مدل‌سازی نموده است (۲). دلیل این افزایش شوری در مدت یک سال می‌تواند به کاهش تراز آب در خلیج گرگان و در پی آن کاهش میزان تعویض آب مرتبط دانست. بخش‌های شرقی خلیج گرگان به دلیل مجاورت با دریای کاسپی و داشتن میزان تعویض آب سریع‌تر، از ثبات شوری بیشتری در مقایسه با دیگر بخش‌ها برخوردار بوده و به ویژه شوری در بخش منتهی‌الیه شرقی خلیج گرگان همانند میزان شوری در دریای مادری و تغییرات آن معادل ۱۱/۵ الی ۱۳/۴ psu مدل‌سازی شده است. مهم‌ترین عامل در تغییرات شوری سواحل شمالی خلیج گرگان (همجوار با زبانه ماسه‌ای میانکاله) که هیچ رودخانه‌ای در آن جریان ندارد، رژیم هیدرودینامیک آن مناطق می‌باشد.

بخش‌های مرکزی و ژرف خلیج گرگان نیز در مقایسه با بخش‌های غربی و جنوبی خلیج از ثبات شوری بیشتری برخوردار می‌باشند. میزان تغییرات شوری در این بخش‌ها ۱۴ الی ۱۷ psu مدل‌سازی گردیده است. با این وجود با فرا رسیدن فصل سرما و کاهش تراز آب در دریای کاسپی که تأثیر مستقیمی بر کاهش تراز آب در خلیج گرگان دارد، میزان شوری در بخش‌های ژرف و مرکزی خلیج گرگان افزایش

یافته و به بیشینه ۱۷ psu 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. به‌طورکلی، مقادیر شوری خلیج گرگان در سال ۱۳۹۱ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ افزایش داشته است که این امر نیز می‌تواند به دلیل کاهش تراز آب در خلیج گرگان و در پی آن کاهش میزان تعویض آب باشد. همچنین، لازم به ذکر است که مدل در بخش‌های عمیق خلیج گرگان مقادیر شوری را در تمامی ضریب‌های پنخس پیشنهادی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده است. این موضوع گمانه‌زنی برای وجود چشمه‌های آب شیرین در بخش ژرف خلیج گرگان و تأثیر آن بر شوری این بخش‌ها را تقویت می‌نماید.

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 با واریاسیون اندازه‌گیری‌های میدانی تأیید گردیده است (۲۳). 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 تعویض آب در خلیج گرگان می‌باشد. به همراه افزایش سطح آب در خلیج

می‌گردد تا امکان تبادل آبی خلیج با دریا از طریق زبانه ماسه‌ای میانکاله و اثرات آن بر شوری خلیج گرگان توسط پژوهش‌گران مورد بررسی واقع گردد.

برای مدل‌سازی شوری استفاده از ضرایب پخش شوری نتایج بهتری را در مقایسه با عامل قیاسی^۱ در خلیج گرگان در پی خواهد داشت (۲). همچنین در این پژوهش با مدل‌سازی شوری به این فرمود دست یافته است که استفاده از نوسانات سطح آب در دهانه آشوراده بندترکمن نمی‌تواند وضعیت هیدرودینامیک خلیج گرگان را به خوبی مدل‌سازی نماید، چراکه نوسان سطح آب در دهانه آشوراده می‌تواند در نتیجه افت و خیز سطح آب در دریای کاسپی و یا در نتیجه برگشت باد در درون حوضه خلیج گرگان باشد، از این رو بهتر است که نسبت به استفاده از سری زمانی اندازه‌گیری جریان در مرز باز و یا مدل‌سازی شرایط هیدرودینامیک در دریای کاسپی و استفاده از نتایج آن (نوسان آب و یا جریان) در دهانه آشوراده به عنوان شرط مرز باز استفاده گردد.

سپاسگزاری

مقاله پیش‌رو برون‌داد طرح پژوهشی به شماره ۵۶-۴۳۰-۹۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بوده است. بدین‌وسیله از تمامی بزرگوارانی که ما را در اجرای طرح یاری نموده‌اند؛ سپاسگزاری می‌گردد.

بخش قابل‌توجهی از آب‌های کم‌شورتر از دریای کاسپی با شوری میانگین ۱۳ psu 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 psu می‌باشد.

مقایسه نتایج مدل‌سازی تحت دو سناریو متفاوت تأثیر رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج و عدم تأثیر رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج نشان داد که در تراز منفی ۲۶/۵ متر رودخانه‌ها تأثیری در میزان شوری خلیج گرگان در بازه زمانی مورد نظر نداشته‌اند. ورودی آب رودخانه‌ها تنها در محل ورود رودخانه به خلیج سبب تغییرات شوری اندک با فاصله تأثیر حداکثر ۵۰۰ متری از کرانه ساحلی می‌گردد.

مشهود است که میزان تأثیرگذاری رودخانه‌ها بر میزان شوری خلیج گرگان در ترازهای بالای آب دریای کاسپی و در مواقعی که مساحت خلیج گرگان زیاد می‌باشد محسوس نخواهد بود، ولی با کاهش تراز سطح آب در دریای کاسپی و کاهش مساحت خلیج گرگان در آینده، میزان ورودی رودخانه‌ها به خلیج گرگان می‌تواند بر تغییرات شوری خلیج گرگان و کاهش این عامل بوم‌شناختی تأثیرگذار بوده و در ترازهای بسیار پایین سبب کاهش شوری خلیج گرگان گردد. از این رو می‌توان از ورودی رودخانه‌ها در آینده به همراه کاهش تراز آب به عنوان یکی از راه‌کارها جهت کنترل شوری خلیج گرگان استفاده نمود.

در پژوهش حاضر به دلیل عدم وقوع سیلاب در دوره زمانی مدل‌سازی از آثار مثبت سیلاب‌ها در کاهش شوری خلیج گرگان صرف‌نظر گردیده و لازم است در پژوهش‌های آینده آثار سیلاب بر تغییرات شوری خلیج گرگان پژوهش گردد. همچنین پیشنهاد

منابع

1. Matthias, P., Wilke, T., and Wesselingh, P. 2020. The other side of sea level change. *Communications Earth & Environment*, 1: 69, <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>.
2. Sharbaty, S. 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. (In Persian) DOI: 10.22069/japu.2022.19585.1612.
3. 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. (In Persian)
4. First Consulting Engineers. 1987. Gorgan Bay. Iran Fisheries Company, 115p. (In Persian)
5. Yarinassab, 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, Iranian Journal of Natural Resources*, 66: 4. 505-517. (In Persian)
6. 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. 35-7.
7. 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)
8. Sharbaty, S. 2012. Two Dimensional simulations of seasonal flow patterns in the Gorgan Bay. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2: 5. 4382-4391.
9. DHI. 2018. MIKE21 FM and HD User Manuals. 98p.
10. Consulting Engineers of Kankash Omran, 2008. Studies on the identification of water resources in the Miankaleh Peninsula. Mazandaran Regional Water Company, 89p. (In Persian)
11. Bashari, L., Mahmudy Gharai, M.H., and Alizadeh Lahijani, H. 2014. Hydrogeochemical Study of the Gorgan Bay and Factors Controlling the Water Chemistry, *Oceanography*, 5: 20. 1-14. (In Persian)
12. Ansarifard, M.M., Salarijazi, M., Ghorbani, K., and Kaboli, A.R. 2018. Estimation of Monthly Oscillations of the Groundwater Exchange in Coastal Area. *Ecohydrology*, 5: 4. 1233-1240. (In Persian)
13. Mohammadkhani, H. 2012. Hydrodynamic and salinity modeling and confidence interval determination in Gorgan Bay. Volume II, Field Operations Section. Iranian Fisheries Science Research Institute–Inland Waters Aquatics Resources Research Center, 47p.
14. 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)
15. Morovati, H., Torabiazad, L., and Mehrfar, H. 1998. Study and formulation of intense budget heating under severe winds in Gorgan Bay. *Journal of Basic Sciences, Islamic Azad University*, 63: 19-31. (In Persian)
16. Qiu, C., and Wan, Y. 2013. Time series modeling and prediction of salinity in the Caloosahatchee River Estuary. *Water Resour. Res.* 49: 5804-5816.
17. Rahimpour, 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)
18. 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)

19. National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences. 2020. Comprehensive studies to save Gorgan Bay through integrated management and related basin. Research project, 1399p. (In Persian)
20. Sharbaty, S., and Shabani, A. 2016. Impacts of Khozeini Canal Reopening on General Current Pattern in Gorgan Bay (South East of the Caspian Sea). Journal of Environment and Science Technology, 18: 2. 68-80. (In Persian)
21. 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)
22. Sharbaty, S., and Kolangi, H. 2017. Two Dimensional Modeling of Net Water Renewal Time in Gorgan Bay. Journal of Environment Science and Technology, 19: 5. 239-249. (In Persian)
23. 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.

