

مدل سازی اثرات احتمالی لایروبی کانال خزینی بر زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان، جنوب شرق دریای کاسپی

سعید شربتی*^۱

s_sharbaty@yahoo.com

سورنا نسیمی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: زمان تجدیدپذیری آب از شاخص‌های مهم جهت برآورد میزان سلامتی بوم‌سازگان‌های دریایی محسوب می‌گردد. کانال خزینی دومین راه ارتباطی خلیج گرگان با دریای کاسپی بوده است که در سال‌های اخیر با کاهش سطح تراز آب دریا و رژیم رسوب‌گذاری مسدود گردیده است. در این پژوهش جهت مدل‌سازی اثرات احتمالی لایروبی کانال خزینی بر زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان نسبت به اجرای به هنگام دو ماژول هیدرودینامیکی و انتقال-پخش مدل دو بعدی مایک ۲۱ افام اقدام گردیده است.

روش بررسی: مدل‌سازی‌ها بر روی دو شبکه بی‌ساختار مثلثی، تحت دو شرایط مرزی باز مختلف و با در نظر گرفتن تنش باد، نوسان آب در دهانه آشورآده-بندرترکمن و کانال خزینی، ورودی رودخانه‌ها، بارش و تبخیر در طی دوره شاخص اجرا گردید. به‌منظور تعیین میزان ضریب پخش در خلیج گرگان نسبت به مدل‌سازی شوری با استفاده از ماژول انتقال-پخش مدل مایک ۲۱ افام اقدام گردید.

یافته‌ها: نتایج مدل‌سازی دو بعدی شوری نشان داد که بهترین ضرایب پخش در خلیج گرگان معادل ۳۵۰ متر مربع بر ثانیه می‌باشد. نتایج محاسبه میزان تجدیدپذیری کل آب در خلیج تحت شرایط انسداد کانال خزینی معادل ۵۴ روز و لایروبی کانالی به عرض ۱۷۰ متر معادل ۴۱ روز بود.

بحث و نتیجه‌گیری: مناسب‌ترین زمان برای مدل‌سازی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان، آغاز روند رو به افزایش درون سالیانه سطح آب در دریای کاسپی می‌باشد. مقادیر تجدیدپذیری به رژیم هیدرودینامیک و ضریب پخش شوری در خلیج گرگان وابسته می‌باشد. با توجه به الگوی پادساعت‌گرد گردش عمومی آب در خلیج گرگان لایروبی کانال خزینی می‌تواند زمان تجدیدپذیری کل را تا ۱۳ روز کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی بوم‌شناختی، زمان تجدیدپذیری، خلیج گرگان، کانال خزینی، مایک ۲۱ افام

۱- مربی گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان* (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرگز

Modeling of Possible Dredging Effects of Khozeini Channel on the Water Renewal Time in Gorgan Bay, Southeast of the Caspian Sea

Saeed Sharbaty*¹

s_sharbaty@yahoo.com

Sorena Nasimi²

Admission Date: April 20, 2016

Date Received: May 18, 2015

Abstract

Background and Objective: Water renewal time, one of the important indicators, is considered for estimation of health status of marine ecosystem. The Khozeini channel has been the second communicative ways of the Gorgan Bay with the Caspian Sea which is blocked by decreasing of sea water level and sedimentation in recent years. In this investigation, in order to considering of Khozeini channel possible dredging effects on the Water Renewal Time in the Gorgan Bay, the Hydrodynamic and Advection-Dispersion modules of two-dimensional Mike21 FM model were coupled simultaneously.

Method: The modeling on two triangular unstructured meshes and under two different open boundary conditions by including wind stress, water fluctuations in the mouth of Bandartorkaman-Ashoradeh and Khozeini channel, rivers input, evaporation and precipitation during index year were done. To determine the amount of dispersion coefficient in the Gorgan Bay, salinity modeling using Advection-Dispersion module of MIKE 21 FM were developed.

Findings: The results two-dimensional salinity modeling showed that the best of dispersion coefficients are $350 \text{ m}^2/\text{s}$ in Gorgan Bay. The results of calculating of the Integral Water Renewal amount under blocking Khozeini channel condition was 54 days and dredging channel condition a width of 170 m was 41 days.

Discussion and Conclusion: The best time for Water Renewal Time modeling in Gorgan Bay is the beginning trend of intering annual water level rising in the Caspian Sea. Renewal Time values are depending on hydrodynamic regime and salinity dispersion coefficient in Gorgan Bay. According to the common counterclockwise water circulation pattern in Gorgan Bay, Khozeini channel dredging reduces Integral Renewal Time of up to 13 days.

Key words: Ecological Modeling, Renewal Time, Gorgan Bay, Khozeini Channel, Mike21 FM.

1- Lecturer, Dept. of Fisheries Gorgan University Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
*(Corresponding Author)

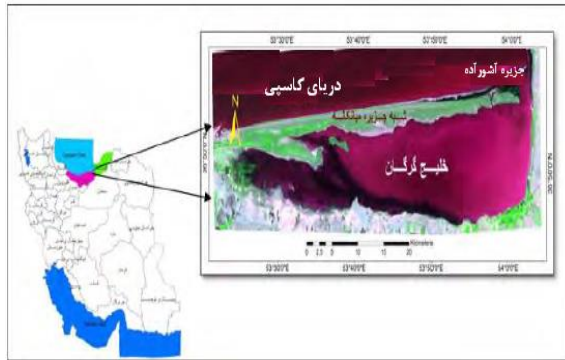
2- Assistant Prof., Islamic Azad University, Bandargaz Branch

مقدمه

درک مناسب در خصوص مقیاس‌های زمانی انتقال و پویایی آب از عوامل مهم کلیدی جهت مدیریت بوم‌سازگان‌های دریایی می‌باشد (۱). زمان تجدیدپذیری آب از جمله فرآیندهای فیزیکی مهم تاثیرگذار بر سلامتی، تولیدات زیستی و میزان کیفیت آب بوده و از آن به عنوان شاخصی جهت ارزیابی میزان آسیب‌های وارده به محیط‌های آبی استفاده می‌گردد (۲). این شاخص زمانی بیان‌گر مدت زمان لازم جهت تعویض ۶۳ درصد از آب موجود در یک پیکره آبی با آب‌های تازه وارد از محیط‌های مجاور از طریق مرزهای ورودی هم‌چون دهانه، تنگه، رودخانه و یا کانال‌ها می‌باشد (۳). زیاد بودن مدت زمان تجدیدپذیری در یک پیکره آبی بیان‌گر افزایش مدت زمان لازم جهت پالایش آلاینده‌ها در آن می‌باشد (۴). زمان تجدیدپذیری آب تحت تاثیر مرزهای ورودی، رژیم کسندی، بارش و تبخیر، لایه‌بندی چگالی، توپوگرافی بستر و هندسه سواحل قرار دارد (۵). جهت محاسبه زمان تجدیدپذیری در سازگان‌های آبی از سه شیوه ردیابی مواد رادیواکتیو (۶)، روابط تجربی و مدل‌سازی‌های عددی استفاده می‌گردد (۷). از میان سه روش مذکور مدل‌سازی‌های عددی دارای مزیت‌های بیش‌تری نسبت به دو روش دیگر به دلیل صرف کم‌تر هزینه‌های مادی و زمانی و نیز افزایش امکان مطالعه حوضه آبی با جزییات بی‌شتر در مقیاس‌های زمانی- مکانی بزرگ‌تر می‌باشد. از طرفی در مدل‌سازی این شاخص زمانی می‌توان از سه روش لاگرانژی، جابه‌جایی-پخش و یا ترکیبی از هر دو استفاده نمود (۸). به‌طور خلاصه از جمله تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با مدل‌سازی این شاخص زمانی که در پژوهش حاضر مورد توجه واقع گردیده است، می‌توان به کارهای انجام شده توسط مانوژ در خصوص تخمین تجدیدپذیری آب در یک مصب مونسونی از طریق شیوه حل عددی و مشاهدات میدانی (۳)، دی‌برای در خصوص محاسبه تجدیدپذیری آب در مصب شلدت (۹)، هوآنچ شیبه‌سازی سه- بعدی زمان تجدیدپذیری در مصب خلیج شمالی فلوریدا (۱۰)، اولیون در خصوص مدل‌سازی سه بعدی مقیاس‌های زمانی

عوامل پویایی آب در مناطق ساحلی نیمه بسته (۱۱)، آلبر و شلدون در خصوص بررسی زمان بازگشت‌پذیری در مصب‌ها با استفاده از مدل‌سازی منشور کسندی و بخشی از آب شیرین (۱۲)، استامو در خصوص به‌سازی فن‌آوری‌های دریایی با استفاده از مدل‌های عددی به منظور محاسبه شاخص‌های خودپالایی (۱۳) و صدی‌نصب و کمپ در محاسبه سه‌بعدی زمان تعویض آب خلیج فارس اشاره نمود (۱۴). مدل‌سازی‌های انجام شده با توجه به عمق و داده‌های موجود از حوضه تحت بررسی دو و یا سه بعدی بوده است.

خلیج گرگان تنها خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوبی دریای کاسپی می‌باشد. این خلیج در سال ۱۳۵۵ به عنوان ذخایر زیست‌کره به ثبت رسیده و نگاه بین‌المللی به حفاظت از آن وجود دارد (۱۵). خلیج گرگان در چند دهه اخیر با معضلاتی هم‌چون کاهش کیفیت آب از طریق ورود پساب‌های آلاینده‌ساز (۱۶)، افزایش رژیم رسوب‌گذاری در اثر تخریب بستر رودخانه-های منتهی به خلیج و نوسان سطح آب در دریای کاسپی قرار داشته است (۱۷). مطمئناً لایروبی دهانه آشورآده-بندرترکمن با طول تقریبی ۲/۳ کیلومتر واقع در ضلع شمال شرقی خلیج گرگان مهم‌ترین گزینه جهت افزایش سن حیات خلیج و میزان تجدیدپذیری آب در آن محسوب می‌گردد. ولیکن با ادامه روند رو به کاهش سطح آب در دریای کاسپی، ایجاد تغییرات در ساختار هندسی شبه‌جزیره میانکاله از طریق احداث کانال‌های جدید در آن می‌تواند سبب افزایش میزان ارتباط خلیج با دریای کاسپی و به تبع آن توان خودپالایی گردد. کانال خزینی که از آن در جنگ جهانی دوم به منظور کشتی‌رانی استفاده می‌گردید در سال‌های اخیر با کاهش سطح آب دریای کاسپی و افزایش رژیم رسوب‌گذاری به‌طورکلی مسدود گردیده است. بازگشایی کانال خزینی می‌تواند کمک شایانی به افزایش سرعت تعویض آب و یا کاهش زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان نماید. با توجه به مطالب گفته شده هدف از این پژوهش یافتن پاسخی برای این سوال است که آیا لایروبی کانال خزینی تاثیری بر میزان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان دارد؟ بدین منظور در



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده TM
خلیج گرگان در سواحل جنوب شرقی دریای کاسپی در
سال ۲۰۱۱

Fig 1. Landsat satellite image from TM sensor of
Gorgan Bay on the southeast of the Caspian Sea
coasts in 2011.

در این تحقیق به منظور مدل‌سازی فرآیند تجدیدپذیری آب در حوضه خلیج گرگان از دو ماژول هیدرودینامیک و انتقال-پخش^۳ مدل عددی مایک ۲۱ افام استفاده شده است. مدل پایه هیدرودینامیک مایک ۲۱ افام، یک سیستم مدل‌سازی عددی پیشرفته جهت شبیه‌سازی سطوح آب و جریان‌ها در مصب، خلیج و مناطق ساحلی می‌باشد. مدل مذکور جریان‌های دوبعدی غیریکنواخت را در یک لایه از سیال که به طور عمودی از لحاظ چگالی همگن است شبیه‌سازی می‌نماید (۱۸). دلیل انتخاب مدل دو بعدی در این تحقیق، کم عمق بودن و کوچک بودن تغییرات عوامل حرکت در راستای قائم در حوضه خلیج گرگان می‌باشد. معادلات آب‌های سطحی یک شکل جزیی از معادلات کلی ناویر استوکس می‌باشند. صورت دو بعدی این معادلات در صفحه افق و در سیستم دستگاه مختصات کارتزین به صورت زیر می‌باشد:

این مقاله مدل‌سازی شوری، هیدرودینامیکی و انتقال-پخش در خلیج گرگان با استفاده از نرم‌افزار دو بعدی مایک ۲۱ افام به-منظور آگاهی از تغییرات مکانی-زمانی میزان تجدیدپذیری کل^۱ و محلی^۲ در خلیج گرگان در دو وضعیت انسداد و بازگشایی کانال خزینی مد نظر قرار گرفته است.

روش بررسی

خلیج گرگان با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر، حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر، حداکثر عمق ۳/۶ متر و با مساحت تقریبی ۴۸۰ کیلومترمربع نسبت به سطح میانگین آب خلیج فارس در سال ۱۳۹۰، حوضه آبی نیمه بسته‌ای است که از شمال با منطقه حفاظت شده شبه جزیره میانکاله و از جنوب با استان‌های گلستان و مازندران و در بخش شمال شرقی از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن با دریای کاسپی در ارتباط می‌باشد (شکل ۱). کانال خزینی در منتهی‌الیه بخش شرقی شبه‌جزیره میانکاله و در فاصله دو کیلومتری از تاسیسات اداره امور ماهیان خاویاری گلستان در آشورآده قرار دارد. در حال حاضر بخش شمالی کانال خزینی در نتیجه رسوب‌گذاری و کاهش سطح آب در دریای کاسپی به‌طورکلی مسدود گردیده و ارتباط خلیج گرگان با دریای مادری تنها از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن میسر می‌باشد.

1- Integral Renewal Time
2- Local Renewal Time

3-Advection-Dispersion

(۱) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

(۲) معادله اندازه حرکت در جهت X

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial up}{\partial x} + \frac{\partial vp}{\partial y} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) - \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} + q \Omega + fv_v_x$$

(۳) معادله اندازه حرکت در جهت Y

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta_x \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta_y \frac{\partial q}{\partial y} \right) - \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} - p \Omega + fv_v_y$$

در معادلات بالا h عمق آب، η سطح آب نسبت به تراز مبنا، p شار سرعت در راستای x و q شار سرعت در راستای y می باشند. θ_t ضریب ویسکوزیته گردابه ای، Ω عامل کوریولیس، u, v مقادیر سرعت در جهات x, y ، c ضریب مانینگ، g شتابجاذبه، f ضریب اصطکاک باد، v_x, v_y, v بزرگی سرعت باد ومولفه های آن در دو جهت x, y می باشد. رابطه (۱) بیان گر

معادله بقای جرم و روابط (۲) و (۳) به ترتیب معادله اندازه

حرکت در راستای محورهای x و y می باشند. در این تحقیقجهت جداسازی معادلات بالا از روش شکاف زمانی^۱ استفاده

شده است. جهت حل معادلات بالا به روش عددی تفاضل

محدود، ابتدا عبارات انتقال، پخش، تنش باد، اصطکاک بستر و

کوریولیس برای شارهای سرعت p و q حل می گردند و سپس

با استفاده از نتایج به دست آمده از این مرحله عبارت ثقل و

معادله بقاء به وسیله روش شیوه ضمنی جاروب دوطرفه^۲ حل

می گردند. در این مدل سازی عبارت انتقال به صورت صریح و از

روش دقت درجه دو لاکس-وندروف^۳ محاسبه شده است. جهت

حل عبارت پخش یا آشفستگی از روش نیمه ضمنی کرانک

نیلسون استفاده گردیده است (۱۹).

با توجه به اهداف تحقیق که بررسی اثرات احتمالی لایروبی

کانال خزینی بر زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان می-

باشد از دو مش بی ساختار مثلثی استفاده شده است. این امر

ایجاب می نماید تا در اجرای مدل تعداد و نوع مرزهای باز مد

نظر قرار گیرد. در این تحقیق تمامی سطوح تراز نسبت به سطح

میانگین خلیج فارس در سال ۱۳۹۰ و معادل منفی ۲۶/۵ متر

محاسبه گردیده است. برای مدل سازی ارتفاع بستر کف خلیج،

نسبت به رقومی سازی نقشه آب نگاری خلیج گرگان با مقیاس

۱:۲۵۰۰۰ اقدام شده و سپس با وارد کردن نقاط مرزی و داده-

های تراز عمقی و درون یابی داده ها در محیط تولیدگر مش^۴

مدل مایک ۲۱، شبکه بندی هندسی خلیج گرگان با ۶۴۸۰ گره و

۱۲۲۳۶ المان تولید گردید (شکل ۲). در مش اول هدف تنها

مدل سازی زمان تجدیدپذیری آب خلیج گرگان تحت شرایط

فعلی و بدون در نظر گرفتن اثرات لایروبی کانال خزینی می-

باشد. لذا می توان دهانه ورودی خلیج گرگان را به عنوان تنها

مرز باز مدل در نظر گرفت. برای اعمال شرط مرز باز به مدل از

داده های دستگاه نوسان نگار سطح آب در ایستگاه آشوراده با

فواصل زمانی دو ساعته متعلق به شرکت آب منطقه ای گلستان

استفاده شد و آمار فوق به تنها مرز باز خلیج در دهانه آشوراده-

بندرترکمن در دوره زمانی شاخص اعمال گردید. ولیکن زمانی

که لایروبی کانال خزینی و اثرات احتمالی آن بر زمان

تجدیدپذیری آب در خلیج مد نظر باشد لازم است علاوه بر اثر

مرز باز در دهانه آشوراده-بندرترکمن، اثر مرز باز کانال خزینی

نیز در نظر گرفته شود. بدین منظور نسبت به مدل سازی

هندسه خلیج گرگان در محیط تولیدگر مش با در نظر گرفتن

کانال خزینی به عرض پیشنهادی ۱۷۰ متر اقدام گردید. مش

حاصل شامل ۶۵۳۶ گره و ۱۲۳۴۵ المان می باشد. در مش

مذکور طول کانال ۱/۷ کیلومتر و عمق کانال ۵ متر با توجه به

تردد شناورهای حمل کالا در اسکله بندرترکمن در سال های

گذشته با حداکثر آب خور ۲/۹ متر در نظر گرفته شد (۲۰). با

توجه به فاصله اندک کانال خزینی از دهانه آشوراده-بندرترکمن

(کمتر از ۲ کیلومتر)، در مرز باز کانال خزینی نیز از داده های

نوسان سطح آب اعمال شده در دهانه آشوراده-بندرترکمن در

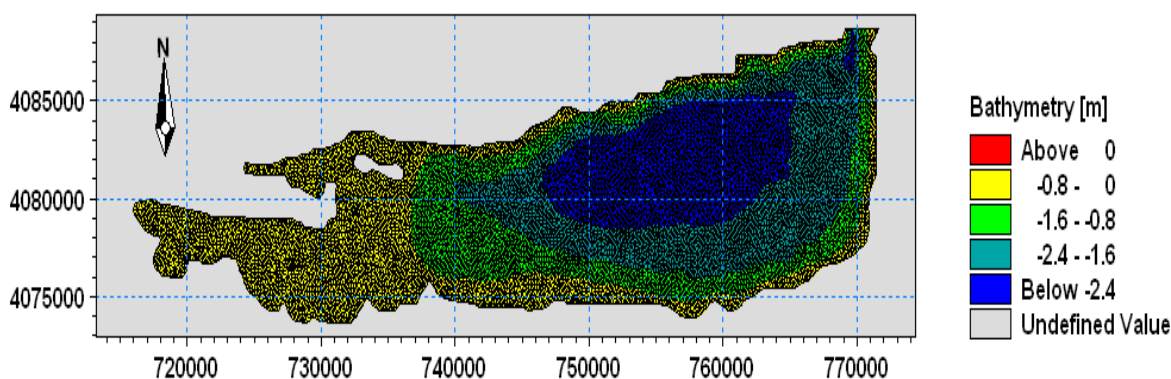
بازه زمانی شاخص استفاده گردید.

1- Time Splitting

2- Alternating Direction Implicit

3- lax-wendroff

4- Mesh Generator



شکل ۲- شبکه‌بندی حوضه خلیج گرگان در سال شاخص ۱۳۹۰

Fig 2. Gorgan Bay mesh in index year 2011

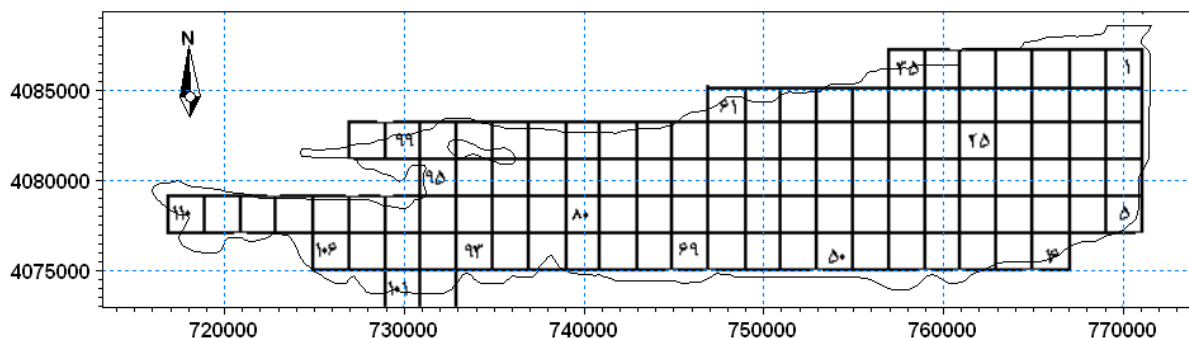
خصوص غربی می‌باشد و به منظور در نظر گرفتن خشکی و تری سواحل در اثر افت و خیز سطح آب دریای کاسپی، از ضرایب خشکی $0/005$ متر و تری $0/05$ متر در مدل‌سازی حاضر استفاده شده است. شرایط اولیه شبیه‌سازی با معرفی سطح اولیه آب و از قرائت اولین عدد نوسان‌نگار سطح آب در مرز ورودی (معادل منفی $0/107$ متر) به مدل اعمال شد. در این مدل‌سازی مقاومت بستر به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در مناطق کم‌عمق، با توجه به وضعیت بافت رسوبات سطحی خلیج که عمدتاً در محدوده ماسه-گلی قرار دارد (۲۳)، از طریق روابط ارائه شده توسط دیکس و همکاران معادل عدد مانینگ ۲۹ استخراج و به مدل اعمال گردید (۲۴). به منظور مدل‌سازی اثر گردابه‌ای از فرمول اسمانگورینسکی وابسته به سرعت آب با ضریب ثابت $0/5$ استفاده گردید (۲۵). همان‌گونه که اشاره شد نتایج مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱ افام شامل سرعت جریان و نوسان سطح آب، اساس و پایه اجرای زیرمدل انتقال-پخش می‌باشد. بدین صورت که با جفت نمودن مدل‌های هیدرودینامیک و انتقال-پخش، در ابتدا مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱ افام با شرایط اعمال شده به اجرا در آمده و سپس از نتایج آن جهت اجرای زیرمدل انتقال-پخش به‌طور هم‌زمان استفاده می‌گردد. معادله دو بعدی انتقال و پخش استفاده شده در مایک ۲۱ افام همان معادله موازنه جرم بر حسب غلظت به صورت زیر می‌باشد (۲۶):

از داده‌های جهت و سرعت باد ایستگاه هواشناسی دریایی بندرترکمن در بخش جنوب شرقی خلیج گرگان به فاصله ۲ کیلومتری از جنوب دهانه آشورآده-بندرترکمن و با فواصل زمانی ده دقیقه‌ای به منظور اعمال تنش باد به صورت ثابت در مکان اما متغیر در زمان استفاده شده است. برای اعمال تغییرات ضرایب اصطکاک باد به واسطه تغییرات سرعت باد روی سطح دریا از رابطه اسمیت و بنک استفاده گردید (۲۱). به دلیل عدم وجود رژیم کشندی موثر در دریای کاسپی و حوضه‌های آبی متصل به آن جهت تعیین زمان شروع مدل‌سازی نسبت به بررسی منحنی نوسان سطح آب در دهانه ورودی خلیج گرگان اقدام گردید. بر این اساس بهترین زمان جهت در نظر گرفتن محاسبات $1389/10/21$ یعنی آغاز روند رو به افزایش سطح آب در خلیج گرگان انتخاب شد. دوره شبیه‌سازی بالغ بر 777600 گام زمانی با فواصل زمانی ۱۰ ثانیه‌ای و به مدت ۹۰ روز می‌باشد. از آن‌جا که مدل‌سازی تحت شرایط ایستایی انجام گردیده است، لذا جهت در نظر گرفتن شرایط گرم کردن مدل از نتایج ۱۵ روز اول مدل‌سازی در محاسبه زمان تجدیدپذیری صرف‌نظر گردید. در این تحقیق از میانگین روزانه بارش و تبخیر ایستگاه هواشناسی دریایی بندرترکمن و میانگین ماهانه دبی ورودی ۱۳ رودخانه به خلیج منطبق با دوره زمانی مدل‌سازی استفاده شده است (۲۲). اثر نیروی کوریولیس علی‌رغم عرض جغرافیایی بسیار ناچیز منطقه در نظر گرفته شده است. حوضه خلیج گرگان دارای مناطق کم عمق بسیاری در نواحی ساحلی و به-

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

از آن جا که در این تحقیق زمان تجدیدپذیری کل و محلی در خلیج گرگان مد نظر بوده است، لذا غلظت دبی وارده از طریق رودخانه‌ها و بارش نیز هم‌چون مرز ورودی در دهانه آشوراده- بندرترکمن و کانال خزینی معادل صفر در نظر گرفته شد. با توجه به اهمیت تغییرات میزان پویایی آب در خلیج گرگان در اثر بازگشایی کانال خزینی جهت بررسی میزان تجدیدپذیری محلی در نواحی مختلف خلیج گرگان، حوضه حل به ۱۱۰ ناحیه مربعی به مساحت ۴ کیلومتر مربع مورد بررسی واقع شد (شکل ۳). با میانگین‌گیری از مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی در ۱۱۰ ناحیه تحت بررسی، زمان تجدیدپذیری کل محاسبه گردید (۲۸).

در معادلات فوق D_x و D_y به ترتیب بیان‌گر ضرایب نفوذ یا پخش در جهات x و y ، u و v به ترتیب بیان‌گر سرعت در جهات x و y ، S_c منبع انتشار، c غلظت ماده مورد نظر، Q_s دبی منابع ورودی و یا خروجی و h عمق آب می‌باشد. به‌منظور تعیین میزان ضرایب پخش، در ابتدا نسبت به مدل‌سازی شوری با استفاده از ماژول انتقال-پخش مدل مایک ۲۱ افام در خلیج گرگان اقدام گردید. در مدل‌سازی شوری فرض شد که سرتاسر خلیج دارای شوری یکنواخت ۱۳ پی‌اس‌یو^۱ می‌باشد. بدین صورت ضریب پخش در خلیج گرگان معادل ۳۵۰ متر مربع بر ثانیه در نظر گرفته شد. در مدل‌سازی مدت زمان تجدیدپذیری یک حوضه نیمه بسته، غلظت یک ماده پایستار را (با واحد یا بدون واحد) در کل حوضه برابر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته و با اعمال آبی با غلظت صفر از طریق مرزهای ورودی مدل، مدت زمان لازم را برای این‌که غلظت ماده پایستار در حوضه به ۳۷ درصد مقدار اولیه خود برسد محاسبه می‌نمایند (۲۷).



شکل ۳- ناحیه‌بندی حوضه خلیج گرگان با ۱۱۰ مربع به مساحت ۴ کیلومتر مربع

Fig 3. Gorgan Bay zoning by 110 squares and 4 square kilometers areas.

فرآیند تنظیم و صحت‌سنجی مدل

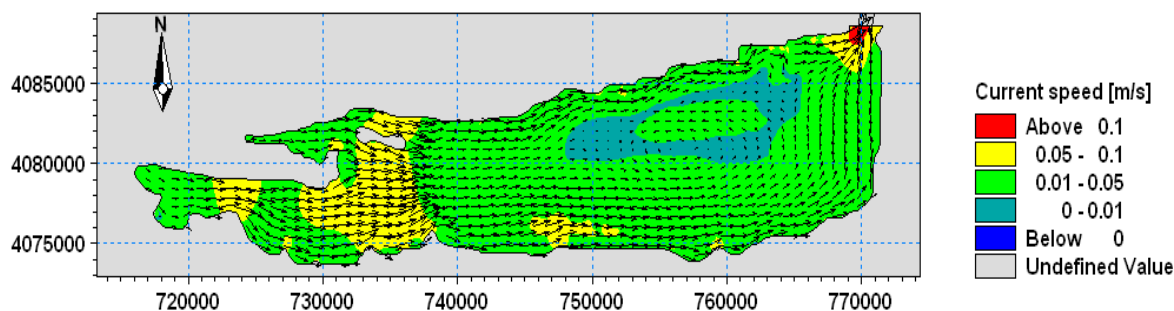
ضریب درگ باد انتخاب شده، پیش‌تر جهت مطالعه بودجه گرمایی خلیج گرگان استفاده شده است (۳۰). پس از استحصال عوامل موثر بر جریان جهت صحت‌سنجی مدل از داده‌های میدانی جریان در زمستان ۱۳۸۰ استفاده شد. بدین صورت مدل با اعمال میانگین سرعت $0/12$ متربرثانیه در دهانه خلیج و مقادیر میانگین روزانه داده‌های تخییر، وزش باد و میانگین ماهانه ورودی رودخانه‌ها اجرا و با داده‌های جریان در ۳۷ موقعیت خلیج گرگان، نتایج خروجی مدل مایک ۲۱ افام صحت‌سنجی گردید.

نتایج صحت‌سنجی با استفاده از جزر میانگین مجموع مربعات خطا بیان‌گر خطای $5/7$ درصدی در مجموع ۳۷ نقطه اندازه‌گیری میدانی می‌باشد. لذا می‌توان از ضرایب استخراج شده جهت مدل‌سازی‌های پیشین و یا آینده استفاده نمود.

نتایج

پس از استخراج ضرایب عوامل مهم بر رژیم هیدرودینامیک خلیج گرگان نسبت به اجرای مدل هیدرودینامیک تحت شرایط کنونی خلیج یعنی مسدود بودن کانال خزینی در دوره زمانی شاخص جهت استخراج الگوی جریان اقدام گردید. نتایج ماژول هیدرودینامیک مایک ۲۱ افام بیان‌گر آن بود که میانگین الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان در خلال دوره ۹۰ روزه به صورت پادساعت‌گرد می‌باشد (شکل ۴).

از جمله فرآیندهای بسیار مهم در اجرای مدل‌های عددی که در صحت نتایج مدل جهت استفاده عملی از آن باید مد نظر قرار گیرد، فرآیند تحلیل حساسیت، تنظیم و صحت‌سنجی مدل می‌باشد. خلیج گرگان در بازه زمانی مدل‌سازی فاقد داده‌های جریان‌سنجی بوده و لذا جهت فایق آمدن بر مشکل تنظیم و استخراج عوامل مهم تاثیرگذار بر رژیم هیدرودینامیک خلیج، نسبت به اجرای کوتاه مدت ماژول هیدرودینامیکی مایک ۲۱ افام در تابستان و زمستان ۱۳۸۰ به مدت سه ماه اقدام گردید. انتخاب این دوره کوتاه مدت به دلیل وجود داده‌های جریان‌سنجی در خلیج تنها در آن زمان می‌باشد (۲۹). بدین منظور ابتدا مدل با داده‌های جریان تابستان ۱۳۸۰ اجرا شد. در این مرحله از تحقیق جهت اعمال شرط مرز باز از میانگین سرعت $0/2$ متربرثانیه در دهانه خلیج استفاده شد. میانگین روزانه تخییر، وزش باد و میانگین ماهانه ورودی رودخانه‌ها به مدل اعمال گردید و با استفاده از داده‌های جریان در ۳۱ موقعیت نسبت به حساسیت‌سنجی و تنظیمات مدل مایک ۲۱ اقدام شد. مدل، بیش‌ترین حساسیت را به عوامل اصطکاک بستر و تنش باد در سطح دریا از خود نشان داد. بهترین نتایج مدل‌سازی با عدد مانینگ ۲۹ در سرتاسر خلیج و ضریب درگ باد به صورت تابع افزایش خطی برای سرعت‌های وزش باد $24 \leq$ سرعت باد < 0 متر بر ثانیه در محدوده $0/024 \leq$ ضریب درگ $< 0/018$ استحصال گردید. لازم به ذکر است که از محدوده

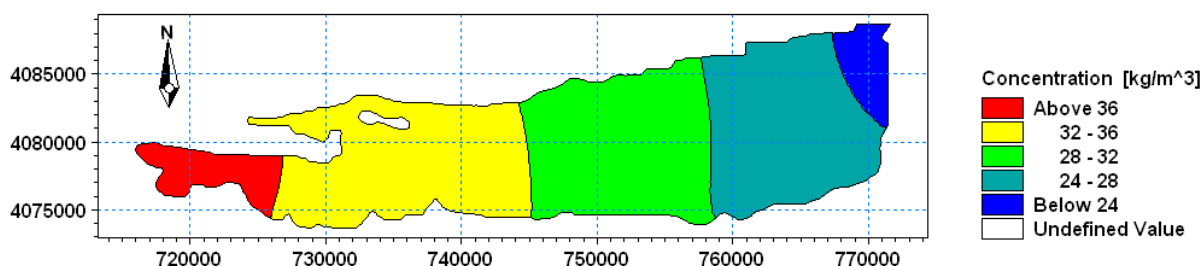


شکل ۴- میانگین الگو، توزیع بردارها و مقادیر سرعت جریان در خلیج گرگان در بازه زمانی مدل سازی

Fig 4. Mean pattern, vectors distribution and velocity current values in the Gorgan Bay in during modeling.

نتایج مدل سازی زمان تجدیدپذیری کل در شرایط مسدود بودن کانال خزینی بیانگر آن است که کل آب در خلیج گرگان در خلال ۵۴ روز از طریق دهانه آشوراده-بندرترکمن، بارش و ورودی رودخانه‌ها از نو تجدید می‌گردد (شکل ۵).

بررسی گام به گام نتایج خروجی الگوی جریان نشان داد که در ایام آرام جوی بیشترین مقادیر سرعت مربوط به دهانه ورودی خلیج می‌باشد و در ایام بادخیز و طوفانی نواحی میانی و سواحل شمال شرقی و غربی در مقایسه با مرز ورودی از مقادیر سرعت بالاتری برخوردار می‌باشند.



شکل ۵- نمایش میزان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان پس از گذشت ۵۴ روز

Fig 5. Viewing Water Renewal Time in the Gorgan Bay after 54 days.

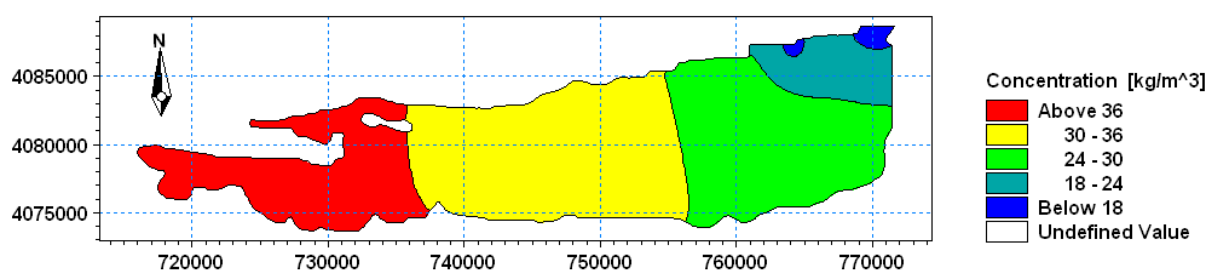
لیه ناحیه کم عمق غربی خلیج موسوم به تالاب بین‌المللی میانکاله و در نواحی نزدیک به جزیره اسماعیل‌سای به علت فاصله بسیار زیاد از دهانه ورودی خلیج گرگان بالغ بر ۵۰ روز محاسبه گردیده است.

زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان در صورت لایروبی کانال خزینی با عرض ۱۷۰ متر بالغ بر ۴۱ روز می‌باشد که در مقایسه با شرایط کنونی خلیج به میزان ۱۳ روز کاهش داشته است. لایروبی کانال سبب می‌گردد تا میزان تجدیدپذیری محلی در ناحیه ۱۷ و هم‌جوار با کانال به ۲۶ روز تقلیل یابد که در مقایسه با سناریو اول ۱۳ روز کمتر می‌باشد. بازگشایی مجدد کانال خزینی سبب می‌گردد تا نواحی شمال شرقی در مقایسه

توزیع مکانی-زمانی این شاخص خودپالایی نشان می‌دهد که در امتداد محور شرقی-غربی با دور شدن از دهانه آشوراده-بندرترکمن مدت زمان تجدیدپذیری محلی به سرعت افزایش می‌یابد. میزان تجدیدپذیری در فاصله‌ی دو کیلومتری از دهانه ورودی کمتر از یک روز می‌باشد. میزان تجدیدپذیری محلی در ناحیه ۱۷ و مشرف بر کانال خزینی ۳۹ روز می‌باشد. با دور شدن از دهانه ورودی خلیج گرگان زمان تجدیدپذیری در بخش‌های شمال شرقی کمتر از بخش‌های متناظر در بخش جنوب شرقی می‌گردد. در نواحی غربی خلیج، زمان تجدیدپذیری محلی در مناطق متناظر شمالی و جنوبی تفاوت چشم‌گیری نداشته است. زمان تجدیدپذیری محلی در منتهی-

علت فاصله بسیار زیاد از دهانه ورودی خلیج گرگان بالغ بر ۴۰ روز محاسبه گردیده است. نتایج مدل سازی در این سناریو نشان داده است که میزان تجدیدپذیری آب با حرکت از سمت شرق به غرب در امتداد محور طولی خلیج افزایش یافته ولیکن مقادیر تجدیدپذیری محلی در مقایسه با سناریو اول کم تر می باشد (شکل ۶).

با نواحی متناظر در بخش جنوب شرقی دارای زمان تجدیدپذیری محلی کمتری باشند. در دیگر نواحی غربی خلیج زمان تجدیدپذیری محلی در مناطق متناظر شمالی و جنوبی تفاوت چشم گیری نداشته است. زمان تجدیدپذیری محلی در منتهی الیه ناحیه کم عمق غربی خلیج موسوم به تالاب بین-المللی میانکاله و در نواحی نزدیک به جزیره اسماعیل سای به



شکل ۶- نمایش میزان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان پس از گذشت ۴۱ روز

Fig 6. Viewing Water Renewal Time in the Gorgan Bay after 41 days

بحث و نتیجه گیری

نزدیک به دهانه ورودی خلیج کمترین خطا را در مقایسه با داده های میدانی دارد. نتایج تحقیق شعبانی و همکاران نشان داد که لایروبی کانال خزینی به پهنای ۲۰۰ و ۴۰۰ متر هیچ تاثیری بر تغییر الگوی عمومی پادساعت گرد جریان در خلیج گرگان ندارد و تنها می تواند در نواحی بسیار نزدیک به کانال سبب تغییر الگوی جریان محلی به صورت شمالی-جنوبی گردد (۳۲).

زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان متأثر از گردش عمومی پادساعت گرد آب در خلیج و الگوی رفت و برگشتی جریان در مرز ورودی است که خود ناشی از برکشند توفان و نوسانات درون سالیانه سطح آب دریای کاسپی می باشد. زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان با توجه به رژیم نوسانات سطح آب در دریای کاسپی و دیگر عوامل در طی دوره زمانی شاخص شبیه سازی در این تحقیق معادل ۵۴ روز می باشد. میزان تجدیدپذیری محلی در خلیج با حرکت در امتداد محور شرق به غرب به صورت چشم گیری افزایش می یابد. ارتباط محدود خلیج گرگان با دریای کاسپی از طریق دهانه کم عرض

با توجه به روند کاهش سطح آب دریای کاسپی در دو دهه اخیر بیم آن می رود که اثرات هیدرودینامیکی تنها راه ارتباط دائمی خلیج گرگان با دریای مادری یعنی دهانه آشورآده-بندرترکمن کاهش یافته و یا به طور کلی مسدود گردد. لذا بازگشایی مجدد کانال خزینی می تواند منجر به افزایش طول عمر این بوم-سازگان منحصر به فرد گردد. با کاهش حجم آب به واسطه کاهش سطح آب در دریای کاسپی میزان خودپالایی در خلیج گرگان و متعاقب آن میزان کیفیت آب در این پیکره آبی ارزش مند دچار تغییرات اساسی خواهد شد.

بر اساس یافته های تحقیق گردش عمومی آب در خلیج گرگان متأثر از اقلیم باد در این حوضه آبی و تنها مرز باز آن در دهانه آشورآده-بندرترکمن به صورت پادساعت گرد می باشد. نتایج تحقیق شربتی و حسینی در خصوص مدل سازی دوبعدی جریان در خلیج گرگان نشان داده است که گردش فصلی آب در خلیج گرگان نیز به صورت پادساعت گرد می باشد (۳۱). نتایج تحقیق مدل سازی حاضر بیان می دارد که مقادیر سرعت جریان در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه قرار داشته و سرعت در نواحی

اندازه کوچک‌تر نتایج بهتری را در خصوص محاسبه زمان تجدیدپذیری به بار خواهد آورد. چراکه با کوچک در نظر گرفتن این عوامل علی‌رغم افزایش مدت زمان اجرای برنامه و افزایش حجم نتایج خروجی مدل، مدل‌سازی تحت شرایط واقعی و با دقت بیشتری انجام خواهد شد.

هرچند بازگشایی کانال خزینی با عرض پیشنهادی ۱۷۰ متر تنها می‌تواند در کاهش زمان تجدیدپذیری کل خلیج گرگان به میزان ۱۳ روز موثر واقع گردد، ولیکن نتایج مدل‌سازی به خوبی بیان می‌دارد که بازگشایی کانال خزینی در تغییرات میزان تجدیدپذیری محلی در ۱۱۰ ناحیه تحت بررسی علی‌الخصوص در نواحی شمال شرقی نزدیک به کانال خزینی به‌طور قابل توجهی موثر واقع می‌گردد.

پیشنهادات

۱. زمان تجدیدپذیری در خلیج گرگان می‌تواند با توجه به تغییرات عوامل هیدرولوژیکی در خلیج گرگان، رژیم نوسانات تراز آب در دریای کاسپی و هم‌چنین وقوع مد توفان در سال‌های آتی یا گذشته متغیر باشد و در سال‌های کاهش سطح آب در دریای کاسپی به دلیل کاهش سطح ارتباطی خلیج با دریا از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن حتی بیش‌تر از مقدار محاسبه شده در این تحقیق نیز برآورد شود. لذا لازم است تا این موضوع در تحقیقات آتی مورد پژوهش واقع گردد.
۲. جهت کاهش زمان تجدیدپذیری در خلیج گرگان پیشنهاد می‌گردد کانال خزینی و دهانه ورودی خلیج گرگان لایروبی گردد و در خصوص افزایش میزان حق‌آبه خلیج از طریق رودخانه‌های منتهی به آن اقدام گردد.
۳. با عنایت به روند کاهش سطح آب در طی ۱۸ سال گذشته در دریای کاسپی (تقریباً ۵ سانتی‌متر در سال) بیم آن می‌رود که سطح تراز آب در این دریا به رقم منفی ۲۸/۴۴ متر که در سال ۱۳۵۵ به ثبت رسیده است نیز تقلیل یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد

(۲/۳ کیلومتر) و کم عمق (۲/۶ متر) آشورآده-بندرترکمن، عدم وجود رژیم کشندی موثر در دریای کاسپی، بیشتر بودن طول خلیج در مقایسه با عرض آن (تقریباً ۶ برابر)، فاصله بسیار زیاد مناطق غربی از دهانه ورودی خلیج و موثر بودن اصطکاک بستر به‌واسطه عمق کم خلیج گرگان علی‌الخصوص در مناطق غربی خلیج از جمله دلایل قابل ذکر جهت توجیه افزایش زمان تجدیدپذیری آب در امتداد محور طولی خلیج می‌باشد. وضعیت قرارگیری دهانه ورودی در بخش شمال شرقی و گردش عمومی پادساعت‌گرد آب در خلیج گرگان سبب می‌گردد تا یک جبهه جریان در اثر برخورد دو توده آب در این ناحیه تشکیل گردد. توده‌های آب تازه‌وارده از دریای کاسپی پس از برخورد و اختلاط با آب‌های خلیج گرگان متاثر از الگوی پادساعت‌گرد جریان به سمت شمال تغییر جهت داده و در امتداد بخش‌های شمالی خلیج به سمت غرب حرکت می‌نمایند. لذا در اثر این فرآیند در امتداد محور طولی خلیج از شرق به غرب، نواحی شمال‌شرقی در مقایسه با نواحی متناظر جنوب‌شرقی دارای زمان تجدیدپذیری محلی کم‌تری می‌باشند.

بخش‌های غربی خلیج گرگان به دلیل عمق کم و فاصله زیاد از دهانه آشورآده-بندرترکمن دارای زمان تجدیدپذیری محلی بیش‌تری می‌باشند. لذا می‌توان تشکیل رسوبات گلی را در نواحی غربی خلیج گرگان به زمان بسیار زیاد تجدیدپذیری آب در این نواحی مرتبط دانست.

خلیج گرگان در مقایسه با نواحی دارای رژیم کشندی هم‌چون تالاب پرلاس با زمان تجدیدپذیری ۱۷ روزه، خلیج بلوفیلد با زمان تجدیدپذیری ۴ روزه (۳۳)، تالاب بزرگ مرجانی استرالیا به مساحت ۲۰۷۰۰۰ کیلومتر مربع با زمان تجدیدپذیری ۴۰ روزه (۳۴)، نواحی مصبی خلیج بزرگ ایالات متحده با زمان تجدیدپذیری ۸ روزه (۳۵) و مصب پورت کورتیس با زمان تجدیدپذیری ۱۹ روزه (۳۶) دارای زمان تجدیدپذیری بسیار زیادی می‌باشد.

در صورت داشتن داده‌های ورودی مناسب به مدل، اجرای مدل در فواصل مکانی و گام‌های زمانی کوچک، گام زمانی کوتاه برای استحصال خروجی‌های مدل و مقادیر عددی خشکی و تری هر

3. Manoj, N.T., 2012. Estimation of Flushing Time in a Monsoonal Estuary using Observational and Numerical Approaches. *Journal of Natural Hazards*. 64, 1323-1339.
 4. Shaha, D.C., Cho, Y.K., Kim, T.W., Valle-Levinson, A., 2012. Spatio-Temporal Variation of Flushing Time in the Sumjin River Estuary. *Terrestrial, Atmospheric and Ocean Sciences*. 23(1), 119-130.
 5. Ji, Z.G., Hu, G., Shen, J., Wan, Y., 2007. Three-dimensional modeling of hydrodynamic processes in the St. Lucie Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 73, 188-200.
 6. S.Moore, W., O.Blanton, J., B.Joye, S., 2006. Estimates of flushing times, submarine groundwater discharge, and nutrient fluxes to Okatee Estuary, South Carolina. *Geophysical Research*. 111, 1-14.
 7. Umgiesser, G., Canu, D.M., Cucco, A., Solidoro, C.A., 2004. Finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation. *Journal of Marine Systems*. 51(4), 123-145.
 8. Gillibrand, P.A., 2001. Calculating exchange times in a Scottish fjord using a two-dimensional, laterally-averaged numerical model. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 53, 437-449.
 9. De Brye, B., de Brauwere, A., Gourgue, O., Delhez, E., Deleersnijder, E., 2012. Water renewal timescales in the Scheldt Estuary. *Marine Systems*. 94, 74-86.
 10. Huang, W., 2007. Hydrodynamic modeling of flushing time in a small estuary of North Bay, Florida, USA.
- جهت افزایش ارتباط آبی خلیج گرگان با دریای کاسپی تحت شرایط بحرانی آینده نسبت به احداث کانال‌های جدید از طریق بخش غربی شبه‌جزیره میانکاله اقدام گردد.
۴. پیشنهاد می‌گردد در حوضه‌های آبی هم‌چون خلیج گرگان که متاثر از نوسانات سطح آب در دریای کاسپی قرار دارد، شروع مدل‌سازی را به‌عنوان یک استاندارد از زمان شروع افزایش درون سالیانه سطح آب در دریای کاسپی در نظر گرفت.
۵. از جمله عوامل مهم در مدل‌سازی این عامل زیست محیطی (زمان تجدیدپذیری آب)، یافتن ضرایب پخش مناسب در پیکره آبی تحت بررسی می‌باشد. خلیج گرگان دارای طول ۶۰ کیلومتر در امتداد محور شرقی-غربی می‌باشد. این امر سبب می‌گردد تا مقادیر شوری متاثر از شرایط اقلیمی به خصوص تبخیر آب در سطح با حرکت در امتداد محور طولی خلیج به تدریج ولیکن با مقادیر کم افزایش یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی نسبت به مدل‌سازی شوری و یافتن ضرایب پخش مناسب تحت شرایط واقعی‌تر اقدام گردد.
۶. هرگونه استفاده از آب‌های نواحی مختلف خلیج گرگان می‌باید با نظر به زمان تجدیدپذیری محلی در آن بخش مورد توجه واقع گردد.

Reference

1. Huang, W., Chen, X., Flannery, M.S., 2011. Critical flow for water management in a shallow tidal river based on estuarine residence time, *Journal of Water Resource Management*. 25, 2367-2385.
2. Monsen, N.E., Cloern, J.E., Lucas, L.V., Stephen, G.M., 2002. A Comment on the Use of Flushing Time, Residence Time, and Age as Transport Time Scales. *Limnology and Oceanography*. 47(5), 1545-1553.

- Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software). pp. 74-85.
19. Gross, E.S., Bonaventura, L., Rosatti, G., 2002. Consistency with Continuity in Conservative Advective Schemes for Free Surface Models. *Numerical Methods in Fluids*. 38, 307-327.
 20. Sako Consulting Engineers, 2007, Bandaretorkman port complementary studies, Report of the research project, 68 p. (in Persian)
 21. Smith, S.D., Bank, G., 2007. Variation of the sea drag coefficient with wind speed. *Meteorological Society*, 101, 665-673.
 22. Mohammadkhani, H., 2012. Preparation and implementation of Gorgan Bay aquaculture. Report of the research project. Water Reservoir Research Center of Gorgan, second chapter, hydrologic section, 314 p. (in Persian)
 23. Lahijani, H., Ardakani, H.A., Bani-Naderi, E.M. 2009. Sedimentary and Geochemical Indices of Gorgan Bay sediments. *Journal of Oceanography*, 1(1): 45-55. (in Persian)
 24. Dix, J.K., Lambkin, D.O., Cazenave, P.W., 2007. Development of a Regional Sediment Mobility Model for Submerged Archaeological Sites. University of Southampton, English Heritage ALSF Report number: 5224, 14p
 25. Smagorinsky, J., 1963. General circulation Experiments with the primitive equations, *Monthly Weather Review*. 91, 91-164.
 26. Vanderborght, J.P., Folmer, I.M., Aguilera, D.R., Uhrenholdt, T., Regnier, P., 2007. Reactive-transport modelling of C, N, and O₂ in a river–Estuarine, Coastal and Shelf Science. 74, 722-731.
 11. Ouillon, S., Fraunie, P., Jouon, A., Douillet, P., 2006. Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. *Continental Shelf Research*. 26, 1395–1415.
 12. Sheldon, J.E., Alber, M., 2006. The Calculation of Estuarine Turnover Times Using Freshwater Fraction and Tidal Prism Models: A Critical Evaluation. *Estuaries and Coasts*. 29(1), 133–146.
 13. Stamou, I., Katsiris, I.K., Moutzouris, C.I., Tsoukala, V.K., 2004. Improvement of marina design technology using hydrodynamic models. *Global Network of Environmental Science and Technology*. 6(1), 63-72.
 14. Sadrinasab, M., Kampf, J., 2004. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical Research Letters*, 31, 301-305.
 15. Darvishsefat, A., 2006. Atlas of protected areas of Iran. Assistance of ecology and biodiversity. Iranian Environmental Protection Organization. 157p.
 16. Shahryari, A., Kabir, M.J. Golfirozy, K. 2008. Evaluation of microbial pollution of Caspian Sea at the Gorgan Gulf. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*. 10(2): 69-73. (in Persian)
 17. Ghangherme, A.A. 2012. Fluctuations in the Caspian Sea and environmental factors affecting it. Report of the research project, National Center for Caspian Sea Studies, 117p. (in Persian)
 18. Manual of MIKE21 FM. 2007. Coastal Hydraulic and Oceanography

32. Shabani, A., Sharbaty, S., and Hoseini, S.S. 2012. Simulation of the effects of retrieval of the creeping channel on the flow pattern in the Gorgan Bay, Research Report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 95p. (in Persian)
33. Brenes, C.L., Hernandez, A., Ballesteros, D., 2007. Flushing time in Perlas Lagoon and Bluefields Bay, Nicaragua. *Investigations Marinas*. 35(1), 89-96.
34. Wang, Y., Ridd, P.V., Heron, M.L., Stieglitz, T.C., Orpin, A.L., 2007. Flushing time of solutes and pollutants in the central Great Barrier Reef lagoon, Australia. *Marine and Freshwater Research*. 58, 778-791.
35. Trowbridge, P., 2007. Hydrologic Parameters for New Hampshire's Estuaries. Technical Report, NHEP Coastal Scientist, New Hampshire Department of Environmental Services. 172 p.
36. Herzfeld, M., Parslow, J., Andrewartha, J., Sakov, P., Webster, I.T., 2004. Hydrodynamic Modelling of the Port Curtis Region, National Library of Australia, Report number: 7, 51 p.
- estuarine-coastal zone system: Application to the Scheldt estuary, *Journal of Marine Chemistry*, 106, 92-110.
27. Arneborg, L., 2004. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. *Continental Shelf Research*. 24, 443-460.
28. Koutitonski, V.G., Guyondet, T., A., Courtenay, S.C., Bohgen, A., 2004. Water Renewal Estimates for Aquaculture Developments in the Richibucto Estuary, Canada. *Estuaries*. 27(5), 839-850.
29. Rahimipour, H. 2005. Hydrodynamic study of flow and prediction of erosion and sedimentation pattern in Gorgan Bay. Report of the research project, Jihad Water and Energy Research Co, 246 p. (in Persian)
30. Morovati, H., Torabiazad, M., and Mehrfar, H. 2009. Study and formulation of heat budget under severe winds in Gorgan Bay, *Journal of Basic Sciences, Islamic Azad University*, 63: 19-31. (in Persian)
31. Sharbaty, S., and Hoseini, S.S. 2010. Two-Dimensional Simulation of the Gorgan Bay Flow Pattern during a One-Year Period, Research Report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 29p. (in Persian)