

## مدل سازی دو بعدی نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان

سعید شربتی<sup>۱\*</sup>

[s\\_sharbaty@yahoo.com](mailto:s_sharbaty@yahoo.com)

حامد کلنگی میان دره<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** نرخ تجدیدپذیری از جمله شاخص‌های مهم در تجزیه و تحلیل وضعیت کیفی احجام آبی محسوب می‌گردد. در این تحقیق به منظور بررسی نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان نسبت به جفت نمودن دو ماژول هیدرودینامیکی و انتقال-پخش مدل دو بعدی مایک ۲۱ اقدام گردیده است.

**روش بررسی:** مدل سازی تحت ۴ رویداد فرضی مختلف با در نظر گرفتن عوامل وزش باد، ورودی رودخانه‌ها، بارش، تبخیر و نوسان آب در دهانه آشورآده-بندرترکمن اجرا گردید.

**یافته‌ها:** نتایج مدل سازی بیان گر آن بود که خلیج گرگان دارای نرخ تجدیدپذیری کل به میزان ۰/۰۱۸۱ بر روز می‌باشد. تغییرات به وجود آمده در میزان نرخ تجدیدپذیری به شدت تحت تاثیر رژیم هیدرودینامیک حاکم بر خلیج گرگان قرار داشت. نرخ تجدیدپذیری در فاصله ۱ کیلومتر از دهانه ورودی کم تر از یک بر روز بود. نرخ این شاخص زمانی با حرکت در امتداد محور طولی خلیج از شرق به غرب کاهش یافت. نرخ تجدیدپذیری در نواحی شمال شرقی نسبت به نواحی متناظر در جنوب شرق بیشتر بوده است. در نواحی غربی خلیج تفاوت چندانی در میزان این شاخص زمانی در بخش‌های شمالی و جنوبی وجود نداشت. نتایج مدل سازی در چهار فصل سال بیان گر آن بود که میزان تجدیدپذیری کل در فصل زمستان و بهار بیشتر از تابستان و پاییز می‌باشد که به ترتیب با روندهای افزایش و کاهش درون سالیانه سطح آب در دریای کاسپی منطبق می‌باشند.

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به کم بودن نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان می‌توان به صراحت گفت که سیستم تعویض آب در این پیکره آبی با سرعت آهسته‌ای انجام شده و هرگونه استفاده از آن باید با مطالعات و تمهیدات بیشتر صورت پذیرد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل سازی، دوبعدی، نرخ تجدیدپذیری، خلیج گرگان، مایک ۲۱ افام.

۱- \* (مسوول مکاتبات): عضو هیات علمی گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- عضو هیات علمی گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

## **Two Dimensional Modeling of Net Water Renewal Time in Gorgan Bay**

**Saeed Sharbaty**<sup>1\*</sup>

[s\\_sharbaty@yahoo.com](mailto:s_sharbaty@yahoo.com)

**Hamed Kolangi Miandareh**<sup>2</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Net Renewal Time is one of the most important indicators for water quality analysis in the water bodies. In this study, in order to investigate the Net water Renewal Time in Gorgan Bay, two modules from two dimensional Mike21FM model including Advection-Dispersion and Hydrodynamic were coupled.

**Method:** Modeling was performed under 4 different scenarios with inclusion of some factors such as wind stress, river input, precipitation, evaporation and water fluctuations in spans of Ashoradeh-Bandaretorkaman.

**Findings:** The modeling results showed that integral Net Renewal Time in Gorgan Bay was 0.0181 per days. Variations in the amounts of Net Renewal Time were strongly influenced by prevailing hydrodynamic regime in Gorgan Bay. Net Renewal Time in distance of 1 km from the input spans was less than one day. This time index rate decreases by moving along longitudinal axis of the bay from east to west. Net Renewal Time in northeastern area was more than the corresponding areas in southeastern part. There was no significant difference in the Net Renewal Time for southern and northern parts of the west area. The modeling results in the four seasons showed that the Renewal amounts in winter and spring were more than those in summer and fall, and these results were consistent with increasing and decreasing inter-annual water level trend in the Caspian Sea, respectively.

**Conclusion:** Due to the low water Net Renewal Time in Gorgan Bay, it can be concluded that the water flushing system has very low speed in this water body and any use of it must be done with further studies and arrangements.

**Keywords:** Modeling, Two Dimensional, Net Renewal Time, Gorgan Bay, Mike21 FM.

---

1 Faculty Member of Fisheries Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. \* (Corresponding Author)

2- Faculty Member of Fisheries Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan, Iran.

## مقدمه

در بوم‌سازگان‌های آبی، جابه‌جایی برخی از موجودات همچون زی‌شناوران، تخم و لارو ماهیان، مواد مغذی، آلاینده‌های زیست محیطی، ذرات معلق و گازهای محلول توسط جریان‌ات صورت می‌پذیرد. لذا داشتن اطلاعات کافی در خصوص رژیم هیدرودینامیک حاکم بر منطقه و مقیاس‌های زمانی انتقال از گام‌های اولیه در مدل‌سازی فرآیندهای بوم‌شناختی احجام آبی محسوب می‌گردد (۱). چگونگی وقوع برخی از فرآیندهای فیزیکی در آب بیان‌گر میزان سلامتی بوم‌سازگان‌های آبی می‌باشد. از جمله فرآیندهای فیزیکی مهم که بر سلامتی، تولیدات زیستی و میزان کیفیت آب تاثیرگذار بوده و به عنوان شاخصی جهت ارزیابی میزان آسیب‌های وارده به محیط‌های آبی مطرح می‌گردد، مقیاس‌های زمانی تبادل آب بین دو پهنه آبی بزرگ می‌باشد (۲). از جمله مقیاس‌های زمانی قابل توجه می‌توان به نرخ تجدیدپذیری<sup>۱</sup> احجام آبی همچون خلیج‌ها اشاره نمود. این مقیاس زمانی بیان‌گر آهنگ تغییرات مدت زمان لازم جهت تعویض کل 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. از این مفهوم می‌توان جهت توصیف فرآیندهایی همچون لایه‌بندی دمایی محیط‌های آبی، بررسی ترکیب ایزوتوپیک عناصر، تعیین میزان غلظت ترکیبات آلی کربن‌دار محلول در آب، بررسی خصوصیات pH آب، برآورد نسبت عناصر فلزات سنگین در آب، تعیین میزان غلظت مواد مغذی در آب، نرخ معدنی شدن مواد آلی و برآورد میزان تولیدات اولیه زیستی استفاده نمود (۱). به منظور تعیین نرخ تجدیدپذیری حوضه آبی که معکوس زمان تجدیدپذیری<sup>۲</sup> می‌باشد، می‌توان از سه شیوه ردیابی مواد رادیواکتیو، روابط تجربی و مدل‌سازی‌های عددی استفاده نمود (۳). از میان سه روش مذکور مدل‌سازی‌های عددی دارای امتیازهای بیشتری نسبت به دو روش دیگر به دلیل صرف کمتر هزینه‌های مادی و زمانی و افزایش امکان مطالعه حوضه آبی با جزئیات بیشتر در مقیاس‌های زمان-مکانی بزرگ‌تر می‌باشد. از طرفی در مدل‌سازی این شاخص زمانی می‌توان از سه روش لاگرانژی، جابجایی-پخش و یا ترکیبی از هر دو استفاده نمود (۴). در خصوص تحقیقات

انجام شده جهت مدل‌سازی این مقیاس زمانی، می‌توان به کارهای انجام شده توسط مانوژ (۲)، برنس و همکاران (۵)، وانگ و همکاران (۶)، اویلون و همکاران (۷)، شلدون و آلبر (۸)، استامو و همکاران (۹)، لی و کیان (۱۰) و صدری‌نسب و کمپ (۱۱) اشاره نمود. مدل‌سازی‌های انجام شده با توجه به عمق و داده‌های موجود از حوضه تحت بررسی دو و یا سه بعدی بوده است.

خلیج گرگان به عنوان بزرگ‌ترین خلیج ایران در آب‌های جنوبی سواحل دریای کاسپی با داشتن ویژگی‌های طبیعی خاص خود یکی از با ارزش‌ترین زیستگاه‌های گیاهی و جانوری دنیا است که در کنوانسیون رامسر به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره به ثبت رسیده است. با کاهش کیفیت آب خلیج گرگان از طریق پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، این بوم‌سازگان آبی ارزشمند در معرض آلودگی زیست محیطی قرار گرفته است (۱۲). کاهش کیفیت آب خلیج نه تنها با عوامل انسان-زادی در ارتباط بوده بلکه با وضعیت هیدرودینامیکی خلیج نیز ارتباط مستقیم دارد. پویایی جریان آب در خلیج به موجب جریان‌های دریایی و فرآیند اختلاط، سبب افزایش میزان خودپالایی آب در خلیج می‌گردد. با توجه به نیمه بسته بودن خلیج، تنها راه ارتباطی موثر آن با دریای کاسپی از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن می‌باشد. در نتیجه رژیم حاکم بر وضعیت هیدرودینامیکی خلیج کمتر تحت تاثیر انرژی دریافتی از دریای کاسپی قرار گرفته و بیشتر متأثر از فرآیندهای فیزیکی واقع در حوضه خود هم‌چون وزش بادهای غالب می‌باشد (۱۳). با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی جریان (۱۴) و مدل‌سازی‌های دو بعدی جریان (۱۵)، مقادیر سرعت جریان در خلیج بالا نبوده و گمان می‌رود سیستم تعویض آب در این پیکره آبی با سرعت مناسبی انجام نشود. در نتیجه می‌توان انتظار داشت که آلودگی‌ها و مواد معلق در این پهنه آبی انباشته و یا با سرعتی بسیار آهسته از آن خارج و یا در بخش‌هایی از آن تمرکز یافته و بدین صورت سبب کاهش میزان کیفیت آب خلیج گردند. با توجه به وضعیت آلودگی کنونی خلیج و تلاش مسوولین و برنامه‌ریزان منطقه برای راه اندازی بنادر نیمه‌فعال ترکمن، حوضه‌نفس و گز و احداث مزارع پرورش ماهیان گرم‌آبی، سردآبی و فیل‌ماهی در بخش‌هایی از خلیج این احتمال وجود

1- Net Renewal Time  
2- Renewal Time

که به طور عمودی از لحاظ چگالی همگن است شبیه‌سازی می‌نماید. 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 به کار رفته در مدل همان معادلات آب‌های کم عمق پایستگی جرم و اندازه حرکت است که به روش تفاضل محدود گسسته‌سازی شده و پس از انتگرال‌گیری در عمق، مولفه‌های میانگین‌گیری شده سرعت  $(\bar{u}, \bar{v})$  و تراز سطح آب به دست خواهد آمد. مدل مایک ۲۱ افام از شیوه ضمنی جاروب دوطرفه<sup>۴</sup> برای انتگرال‌گیری از معادلات پیوستگی جرم و اندازه حرکت در میدان فضا-زمانی و با دقت مرتبه دوم استفاده می‌کند (۱۶). معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به کار گرفته شده در مدل مایک به صورت زیر می‌باشد.

(۱) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

(۲) معادله اندازه حرکت در جهت X

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fvv_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

(۳) معادله اندازه حرکت در جهت Y

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega_p - fvv_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

در معادلات فوق،  $h$ : عمق آب،  $\xi$ : تراز لحظه‌ای سطح آب،  $p, q$ : دبی در واحد عرض و  $u, v$  مقادیر سرعت در جهات  $y, x$ ،  $c$ : ضریب مانینگ،  $g$ : شتاب جاذبه،  $f$ : ضریب اصطکاک باد،  $\mathbf{v}_y, \mathbf{v}_x, \mathbf{v}$ : بزرگی سرعت باد و مولفه‌های آن در دو جهت  $y, x$ ،  $\Omega$ : پارامتر کوریولیس،  $\mathbf{p}_a$ : فشار جو،  $\rho_w$ : چگالی آب و  $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ : مولفه‌های تنش برشی موثر می‌باشند.

4-Alternating Direction Implicit

دارد که در سال‌های آتی بار آلودگی در این حوضه افزایش یابد. لذا در این تحقیق مدل‌سازی هیدرودینامیک خلیج گرگان به منظور آگاهی از تغییرات مکان-زمانی نرخ تجدیدپذیری کل<sup>۱</sup> و محلی<sup>۲</sup> در این پهنه آبی مد نظر قرار گرفته است، چرا که داشتن اطلاعات مناسب و دقیق در خصوص عوامل زمانی مذکور منجر به شناسایی نواحی حساس و آسیب‌پذیر در این پهنه آبی ارزشمند و اتخاذ تصمیمات مناسب به منظور استفاده هر چه بهتر از پتانسیل‌های خلیج می‌گردد.

### روش بررسی

خلیج گرگان با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر، حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر، میانگین عمق ۱/۵ متر و با مساحت تقریبی ۴۶۰ کیلومترمربع 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-بندر ترکمن با دریای کاسپی در ارتباط دائمی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت خلیج گرگان در جنوب شرق دریای

### کاسپی

Figure 1- Gorgan Bay position in south-east of the Caspian Sea

در این تحقیق به منظور مدل‌سازی نرخ تجدیدپذیری آب در حوضه خلیج گرگان نسبت به جفت نمودن به هنگام دو مازول هیدرودینامیک و انتقال-پخش<sup>۳</sup> از مدل 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 جریانات دو بعدی غیر یکنواخت را در یک لایه از سیال

1-Integral Net Renewal Time

2-Local Net Renewal Time

3-Advection-Dispersion

بافت رسوبات سطحی خلیج که عمدتاً در محدوده ماسه-گلی قرار دارد (۲۰) از طریق روابط ارائه شده توسط دیکس و همکاران (۲۱) به صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان برای اعماق کمتر از ۲ متر معادل ۳۲ و برای اعماق بیشتر از ۲ متر معادل ۳۶ در نظر گرفته شد. ضرایب تمامی عوامل در نظر گرفته شده در اجرای مدل هیدرودینامیکی مایک ۲۱، پیش‌تر در قالب یک طرح تحقیقاتی انجام شده بود و از آن‌ها در اجرای مدل‌سازی نرخ تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان استفاده گردید (۲۲). همان‌طور که اشاره شد نتایج مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱ 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 انتقال و پخش دو بعدی استفاده شده در مایک ۲۱ همان معادله موازنه جرم بر حسب غلظت به صورت زیر می‌باشد (۲۳):

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

در 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. در مدل‌سازی نرخ 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 (۲۴). از آن‌جا که در این تحقیق نرخ تجدیدپذیری در خلیج گرگان مد نظر بوده است، لذا غلظت دبی وارده از طریق رودخانه‌ها و بارش نیز هم‌چون مرز ورودی در دهانه آشوراده-بندرترکمن معادل صفر در نظر گرفته شد. از طرفی جهت بررسی نرخ تجدیدپذیری محلی در نواحی مختلف حوضه حل، خلیج گرگان در ۲۲ ناحیه با مساحت بیشینه ۲۵

معادلات فوق پس از گسسته‌سازی به روش تفاضل محدود بر روی شبکه‌های بی‌ساختار مثلثی حل می‌شوند.

جهت مدل‌سازی هندسه خلیج گرگان، از سه نقشه آب‌نگاری خلیج با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و متعلق به سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شده و سپس با وارد کردن نقاط مرزی و داده‌های تراز عمقی و درون‌یابی داده‌ها در محیط تولیدگر مش در نرم‌افزار دی‌اچ‌آی، شبکه‌بندی بی‌ساختار مثلثی خلیج گرگان با ۸۹۹۷ المان و ۴۷۴۶ گره تولید گردید. جهت معرفی تنش باد به عنوان ورودی مهم به مدل به صورت ثابت در مکان و متغیر در زمان، از داده‌های جهت و سرعت باد ایستگاه هواشناسی بندرترکمن در بخش جنوب شرقی خلیج گرگان با فواصل زمانی ده دقیقه‌ای در دوره زمانی مدل‌سازی استفاده شده است. برای اعمال تغییرات ضرایب اصطکاک باد به دلیل تغییرات سرعت باد از رابطه اسمیت و بنک استفاده گردید (۱۷). برای اعمال شرط مرز باز به مدل از اطلاعات نوسان‌های سطح آب در ایستگاه آشوراده متعلق به مرکز ملی مطالعات دریای خزر استفاده شد و آمار فوق به تنها مرز باز خلیج در دهانه آشوراده-بندرترکمن در دوره زمانی شاخص اعمال گردید. دوره شبیه‌سازی بالغ بر ۳۱۵۳۶۰۰ گام زمانی با فواصل زمانی ۱۰ ثانیه از ابتدای زمستان ۱۳۸۸ الی پایان پاییز ۱۳۹۰ می‌باشد. با توجه به فواصل زمانی و فواصل مکانی انتخاب شده، عدد کورانت که بیان‌گر پایداری مدل می‌باشد برابر ۰/۸ به دست آمد. در این تحقیق از میانگین ماهانه بارش، تبخیر و دبی ورودی ۱۳ رودخانه به خلیج منطبق با دوره زمانی مدل‌سازی استفاده شده است (۱۸). 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-خصوص غربی می‌باشد و به‌منظور در نظر گرفتن خشکی و تری سواحل در اثر افت و خیز سطح آب دریای کاسپی، از ضرایب خشکی ۰/۰۵ و تری ۰/۰۵ متر در مدل‌سازی حاضر استفاده شده است. شرایط اولیه شبیه‌سازی به صورت سطح اولیه آب و از قرائت اولین عدد نوسان‌نگار سطح آب در مرز ورودی به مدل اعمال شد. به منظور مدل‌سازی اثر گردابه‌ای، از فرمول اسمانگورینسکی بر اساس سرعت آب با ضریب ثابت ۰/۵ استفاده گردید (۱۹). در این مدل‌سازی مقاومت بستر به عنوان مهم-ترین عامل تاثیرگذار در مناطق کم‌عمق، با توجه به وضعیت

سال، نتایج اجرای مدل با در نظر گرفتن تمامی مجموعه عوامل برای چهار فصل سال به طور مجزا در دوره زمانی شاخص یک ساله مورد مطالعه واقع شد.

#### یافته‌ها

مدل‌سازی دوبعدی جریان در خلیج گرگان در طی دوره شاخص یک ساله به منظور به دست آوردن زمان و نرخ تجدیدپذیری در خلیج گرگان با شرایط اعمال شده به مدل مایک ۲۱ افام تحت ۴ رویداد فرضی انجام شد (جدول ۱).

کیلومتر مربع مورد بررسی واقع گردید. با میانگین‌گیری از مقادیر نرخ تجدیدپذیری محلی در ۲۲ ناحیه تحت بررسی، نرخ تجدیدپذیری کل محاسبه می‌گردد (۲۵). مدل‌سازی تحت ۴ رویداد فرضی مختلف به منظور مقایسه و بررسی الف- اثر ورودی آب از طریق دهانه آشوراده-بندرترکمن بدون احتساب باد و منابع ورودی، ب- اثر توامان وزش باد بر کل حوضه خلیج و نوسان در دهانه بدون منابع ورودی، ج- اثر نوسان در دهانه به همراه منابع ورودی و د- اثر تمامی عوامل اجرا گردید. هم- چنین برای بررسی نرخ تجدیدپذیری خلیج در فصول مختلف

#### جدول ۱- میزان نرخ تجدیدپذیری کل و زمان تجدیدپذیری کل تحت اجرای ۴ رویداد فرضی در خلیج گرگان

Table 1- Integral Net Renewal Time and Local Net Renewal Time in the Gorgan Bay under 4 Hypothetical Scenario

| نرخ تجدیدپذیری کل<br>(بر حسب روز/۱) | زمان تجدیدپذیری کل<br>(بر حسب روز) | عوامل هیدرودینامیکی   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| ۰/۰۱۷                               | ۵۸/۷                               | رویداد فرضی ۱، تنها اعمال شرط نوسان در دهانه                      |
| ۰/۰۱۸۱                              | ۵۵/۱۹                              | رویداد فرضی ۲، اعمال شرط نوسان در دهانه و وزش باد بر سطح خلیج     |
| ۰/۰۱۷۳                              | ۵۷/۶                               | رویداد فرضی ۳، اعمال شرط نوسان در دهانه و بارش و ورودی رودخانه‌ها |
| ۰/۰۱۸۱                              | ۵۵/۲                               | رویداد فرضی ۴، اعمال تمامی عوامل                                  |

تجدیدپذیری کمتر و زمان تجدیدپذیری بیشتر می‌باشد (جدول ۲). در این سناریو مدت زمان لازم برای تجدیدپذیری آب در ناحیه ۲۲ از خلیج گرگان معادل ۶۸/۶ روز محاسبه گردید.

اجرای مدل تحت رویداد فرضی ۱ یعنی تنها در نظر گرفتن اثر ورود و خروج آب از طریق دهانه آشوراده-بندرترکمن نشان داد که میزان تجدیدپذیری کل ۵۸/۷ روز بوده و اعمال شرط دهانه در خلیج گرگان در مقایسه با رویدادهای فرضی دیگر دارای نرخ

#### جدول ۲- میزان نرخ تجدیدپذیری محلی تحت اجرای رویداد فرضی اول در خلیج گرگان (بر حسب روز/۱)

Table 2- Local Net Renewal Time in the Gorgan Bay under First Hypothetical Scenario (1/day)

| ناحیه ۱۱ | ناحیه ۱۰ | ناحیه ۹  | ناحیه ۸  | ناحیه ۷  | ناحیه ۶  | ناحیه ۵  | ناحیه ۴  | ناحیه ۳  | ناحیه ۲  | ناحیه ۱  |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶۶   | ۰/۰۱۶۶   | ۰/۰۱۶۹   | ۰/۰۱۶۹   | ۰/۰۲۱۲   | ۰/۰۲۱۴   | ۰/۰۲۱۵   | ۰/۰۲۳    | ۰/۰۲۱۶   | ۰/۰۲۱۹   |
| ناحیه ۲۲ | ناحیه ۲۱ | ناحیه ۲۰ | ناحیه ۱۹ | ناحیه ۱۸ | ناحیه ۱۷ | ناحیه ۱۶ | ناحیه ۱۵ | ناحیه ۱۴ | ناحیه ۱۳ | ناحیه ۱۲ |
| ۰/۰۱۴۵   | ۰/۰۱۴۶   | ۰/۰۱۴۷   | ۰/۰۱۵۲   | ۰/۰۱۵۱   | ۰/۰۱۵۳   | ۰/۰۱۵۵   | ۰/۰۱۵۶   | ۰/۰۱۵۷   | ۰/۰۱۵۷   | ۰/۰۱۶۲   |

فرضی اول و سوم می‌گردد (جدول ۳). در این سناریو مدت زمان لازم برای تجدیدپذیری آب در ناحیه ۲۲ از خلیج گرگان معادل ۶۷/۱۲ روز محاسبه گردید.

بررسی نتایج مدل در رویداد فرضی ۲ تحت عوامل نوسان در دهانه و وزش باد در سطح خلیج نشان داد که عامل وزش باد بر روی سطح خلیج سبب کاهش مدت زمان تجدیدپذیری کل به میزان ۳/۵۱ روز و ۲/۴۱ روز به ترتیب در مقایسه با رویداد

جدول ۳- میزان نرخ تجدیدپذیری محلی تحت اجرای رویداد فرضی دوم در خلیج گرگان (برحسب روز/۱)

Table 3- Local Net Renewal Time in the Gorgan Bay under Second Hypothetical Scenario (1/day)

| ناحیه ۱  | ناحیه ۲  | ناحیه ۳  | ناحیه ۴  | ناحیه ۵  | ناحیه ۶  | ناحیه ۷  | ناحیه ۸  | ناحیه ۹  | ناحیه ۱۰ | ناحیه ۱۱ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ۰/۰۲۱۷   | ۰/۰۲۱۴   | ۰/۰۲۱۲   | ۰/۰۲۱۳   | ۰/۰۲۱۱   | ۰/۰۲۰۹   | ۰/۰۱۷۱   | ۰/۰۱۷۱   | ۰/۰۱۶۹   | ۰/۰۱۶۸   | ۰/۰۱۶۶   |
| ناحیه ۱۲ | ناحیه ۱۳ | ناحیه ۱۴ | ناحیه ۱۵ | ناحیه ۱۶ | ناحیه ۱۷ | ناحیه ۱۸ | ناحیه ۱۹ | ناحیه ۲۰ | ناحیه ۲۱ | ناحیه ۲۲ |
| ۰/۰۱۶۵   | ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶    | ۰/۰۱۵۸   | ۰/۰۱۵۶   | ۰/۰۱۵۵   | ۰/۰۱۵۵   | ۰/۰۱۵۲   | ۰/۰۱۴۹   | ۰/۰۱۴۸   |

نتایج اجرای مدل تحت رویداد فرضی ۳ بیان‌گر نقش قابل توجه ورودی رودخانه‌ها در افزایش نرخ تجدیدپذیری خلیج و کاهش چشم‌گیر زمان تجدیدپذیری کل خلیج در سواحل جنوبی در

مقایسه با سناریوهای ۱ و ۲ به میزان یک روز می‌باشد (جدول ۴). در این سناریو مدت زمان لازم برای تجدیدپذیری آب در ناحیه ۲۲ از خلیج گرگان معادل ۶۶/۱ روز محاسبه گردید.

جدول ۴- میزان نرخ تجدیدپذیری محلی تحت اجرای رویداد فرضی سوم در خلیج گرگان (برحسب روز/۱)

Table 4- Local Net Renewal Time in the Gorgan Bay under Third Hypothetical Scenario (1/day)

| ناحیه ۱  | ناحیه ۲  | ناحیه ۳  | ناحیه ۴  | ناحیه ۵  | ناحیه ۶  | ناحیه ۷  | ناحیه ۸  | ناحیه ۹  | ناحیه ۱۰ | ناحیه ۱۱ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ۰/۰۲۱۹   | ۰/۰۲۱۶   | ۰/۰۲۱۵   | ۰/۰۲۱۶   | ۰/۰۲۱۴   | ۰/۰۲۱۳   | ۰/۰۱۷۱   | ۰/۰۱۷۱   | ۰/۰۱۶۹   | ۰/۰۱۶۸   | ۰/۰۱۶۶   |
| ناحیه ۱۲ | ناحیه ۱۳ | ناحیه ۱۴ | ناحیه ۱۵ | ناحیه ۱۶ | ناحیه ۱۷ | ناحیه ۱۸ | ناحیه ۱۹ | ناحیه ۲۰ | ناحیه ۲۱ | ناحیه ۲۲ |
| ۰/۰۱۶۵   | ۰/۰۱۶۳   | ۰/۰۱۶۳   | ۰/۰۱۶۱   | ۰/۰۱۶۱   | ۰/۰۱۵۶   | ۰/۰۱۵۶   | ۰/۰۱۵۷   | ۰/۰۱۵۴   | ۰/۰۱۵۱   | ۰/۰۱۵۱   |

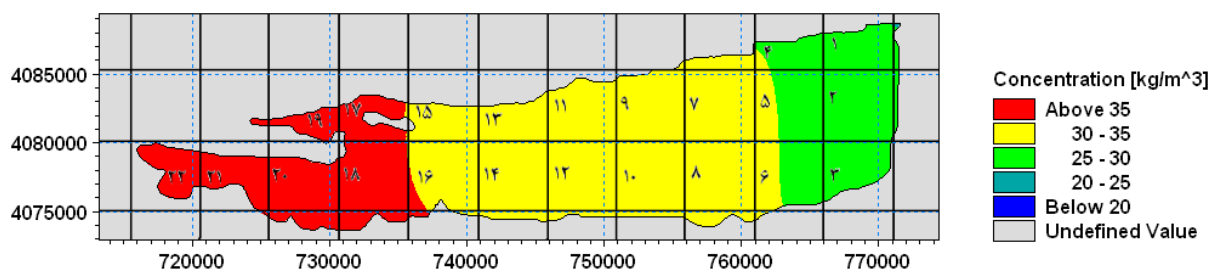
با در نظر گرفتن تمامی مجموعه عوامل نتایج مدل‌سازی در رویداد فرضی ۴ نشان داد که خلیج گرگان در خلال دوره شاخص دارای نرخ تجدیدپذیری کل ۰/۰۱۸۱ بر روز می‌باشد. با این نرخ تجدیدپذیری، کل آب خلیج گرگان در طی ۵۵/۲ روز متأثر از الگوی وزش باد، نوسان آب در دهانه آشوراده- بندرترکمن، بارش و ورودی رودخانه‌ها از نو تجدید می‌گردد. بررسی تغییرات توزیع مکان-زمانی نرخ تجدیدپذیری محلی در ۲۲ ناحیه از خلیج گرگان نشان داد که در امتداد محور شرقی- غربی با دور شدن از دهانه آشوراده-بندرترکمن نرخ تجدیدپذیری کاهش می‌یابد (جدول ۵ و شکل ۲). میزان

تجدیدپذیری در فاصله یک کیلومتری از دهانه کمتر از یک روز بود. زمان تجدیدپذیری در منتهی‌الیه نواحی شمال شرقی خلیج در مقایسه با نواحی متناظر در بخش جنوب شرقی دارای تفاوت ۱۱/۲ روز می‌باشد. در نواحی غربی خلیج نرخ تجدیدپذیری در مناطق متناظر شمالی و جنوبی تفاوت چشم‌گیری نداشته است. بخش کم‌عمق غربی خلیج واقع در ناحیه ۲۲ دارای کم‌ترین نرخ تجدیدپذیری به میزان ۰/۰۱۵۸ در روز بوده و میزان تجدیدپذیری آب در این ناحیه به علت فاصله بسیار زیاد از دهانه ورودی خلیج گرگان بالغ بر ۶۳ روز محاسبه گردیده است.

جدول ۵- میزان نرخ تجدیدپذیری محلی تحت اجرای رویداد فرضی چهارم در خلیج گرگان (برحسب روز/۱)

Table 5- Local Net Renewal Time in the Gorgan Bay under Fourth Hypothetical Scenario (1/day)

| ناحیه ۱  | ناحیه ۲  | ناحیه ۳  | ناحیه ۴  | ناحیه ۵  | ناحیه ۶  | ناحیه ۷  | ناحیه ۸  | ناحیه ۹  | ناحیه ۱۰ | ناحیه ۱۱ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ۰/۰۲۷۹   | ۰/۰۲۷۱   | ۰/۰۲۱۲   | ۰/۰۲۱۴   | ۰/۰۲۱۲   | ۰/۰۲۱    | ۰/۰۱۸۵   | ۰/۰۱۸۵   | ۰/۰۱۷۴   | ۰/۰۱۷۴   | ۰/۰۱۷    |
| ناحیه ۱۲ | ناحیه ۱۳ | ناحیه ۱۴ | ناحیه ۱۵ | ناحیه ۱۶ | ناحیه ۱۷ | ناحیه ۱۸ | ناحیه ۱۹ | ناحیه ۲۰ | ناحیه ۲۱ | ناحیه ۲۲ |
| ۰/۰۱۶۹   | ۰/۰۱۶۶   | ۰/۰۱۶۶   | ۰/۰۱۶۳   | ۰/۰۱۶۳   | ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶۲   | ۰/۰۱۶۱   | ۰/۰۱۵۹   | ۰/۰۱۵۸   |



شکل ۲- تغییرات مکانی شاخص تجدیدپذیری در خلیج گرگان پس از گذشت ۶۳ روز در ۲۲ ناحیه تحت بررسی

Figure 2- Spatial changes of Net Renewal Time in the Gorgan Bay after 63 days in the 22 parts of domain.

بررسی نتایج مدل سازی میزان نرخ تجدیدپذیری محلی و کل در خلیج گرگان و در خلال فصول مختلف سال با اعمال تمامی مجموعه عوامل نشان داد که تغییرات این شاخص به شدت تحت تاثیر نوسانات سطح آب در دریای کاسپی و به تبع آن نوسانات سطح آب در دهانه آشورآده-بندرترکمن قرار دارد. میزان تجدیدپذیری محلی در فصل زمستان بیشتر از فصول دیگر بوده است به گونه‌ایی که در این فصل توده‌های آب قرار گرفته در منتهی‌الیه غربی خلیج (ناحیه ۲۲) در طی مدت ۶۳/۸ روز از نو تجدید می‌گردند. زمان تجدیدپذیری کل آب در خلیج گرگان و در فصل زمستان معادل ۵۵/۷۶ روز محاسبه شد. پس از فصل زمستان، فصل بهار از لحاظ زمان تجدیدپذیری محلی و کل آب بهترین فصل برای خلیج گرگان محسوب می‌گردد. در این فصل توده‌های آب قرار گرفته در منتهی‌الیه غربی خلیج (ناحیه ۲۲) در طی مدت ۷۰/۴ روز از نو تجدید می‌گردند. زمان تجدیدپذیری کل آب در خلیج گرگان و در فصل بهار معادل ۵۶/۱۶ روز محاسبه شد. فصول تابستان با زمان تجدیدپذیری کل ۶۴/۷۸ روز و پاییز با زمان تجدیدپذیری کل ۷۹/۳۸ روز از درجه اهمیت سوم و چهارم میزان تجدیدپذیری فصلی در خلیج گرگان برخوردار می‌باشند.

### بحث و نتیجه گیری

به‌طور کلی آن چه سبب تغییرات در زمان و نرخ تجدیدپذیری محلی و کل در خلیج گرگان می‌گردد، رژیم هیدرودینامیک حاکم بر آن است که سبب ایجاد گردش آب در خلیج به صورت پادساعت‌گرد می‌گردد. پادساعت‌گرد بودن گردش آب در خلیج گرگان پیشتر توسط شربتی و حسینی نیز گزارش شده است (۲۲). توده‌های آب در نواحی غربی خلیج متاثر از باد غالب که عمدتاً در طول سال از غرب به شرق می‌وزند در امتداد کرانه-

های جنوبی خلیج به حرکت درآمده و پس از رسیدن به دهانه خلیج با آب‌های تازه وارده از طریق دریای کاسپی ترکیب شده و سپس در امتداد کرانه‌های شمالی به سمت غرب حرکت می‌کنند. لذا می‌توان دلایل افزایش زمان تجدیدپذیری را با دور شدن از دهانه در امتداد محور شرقی-غربی و یا کاهش میزان این شاخص در نواحی شمال شرقی را در ارتباط با رژیم گردش آب در خلیج دانست. بررسی نتایج مدل سازی تحت اجرای ۴ رویداد فرضی مختلف نشان داد که عامل تبادل آب در دهانه بیشترین نقش را در تغییرات نرخ تجدیدپذیری خلیج داشته است. با آن که وزش باد سبب افزایش اختلاط آب در سرتاسر خلیج می‌گردد، ولیکن موقعیت قرارگیری دهانه آشورآده-بندرترکمن در منتهی‌الیه بخش شمال شرقی خلیج و الگوی وزش باد غالب غرب‌وزان سبب تشکیل منطقه جبهه‌ای برخورد توده‌های آب بادرانه و توده‌های آب ورودی دریای کاسپی از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن گردیده و این امر نه تنها موجب کاهش سرعت ورود آب‌های تازه‌وارده از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن به خلیج می‌گردد، بلکه با ایجاد یک چرخه بسته موجب برگشت مجدد آب‌های خلیج به درون حوضه خود می‌گردد.

مناطق کم عمق منتهی‌الیه غربی خلیج از حیث زمان تجدیدپذیری آب مناطقی بسیار آسیب‌پذیر بوده و هر گونه استفاده از این مناطق به‌منظور آبی‌پروری دارای پیامدهای وخیم زیست‌محیطی خواهد بود.

خلیج گرگان در مقایسه با نواحی دارای رژیم کسندی هم‌چون تالاب پرلاس با نرخ تجدیدپذیری ۰/۰۵۸۸ در روز، خلیج بلوفیلد با نرخ تجدیدپذیری ۰/۲۵ در روز (۵)، تالاب بزرگ مرجانی استرالیا با نرخ تجدیدپذیری ۰/۰۲۵ در روز (۶)، مصب



تابستان و پاییز بیان‌گر افزایش مدت زمان تجدیدپذیری در خلیج می‌باشد.

بررسی تجدیدپذیری محلی بیان‌گر آن است که احداث مزارع آبی‌پروری در نواحی نزدیک به دهانه آشورآده-بندرترکمن و نواحی شرقی به‌خصوص شمال شرقی خلیج دارای ریسک آسیب‌پذیری کم‌تری می‌باشد چرا که تجدیدپذیری مناسب آب در این مزارع به‌طور پیوسته سستون‌ها و اکسیژن محلول را تامین نموده و سبب خروج مواد آلی زائد حاصل از فعالیت‌های متابولیکی آب‌زیان از مزارع خواهد شد.

بر اساس تجدیدپذیری محلی مناسب‌ترین محل جهت احداث جایگاه شنا و توسعه گردش‌گری در خلیج گرگان کرانه‌های شمال شرقی (سواحل جزیره آشورآده) و کرانه‌های جنوب شرقی (سواحل بندرترکمن) با فاصله حداکثر ۸ کیلومتری از دهانه آشورآده-بندرترکمن می‌باشد.

عدم وجود رژیم کسندی موثر در دریای کاسپی و به طبع آن خلیج گرگان، ارتباط اندک خلیج با دریا به واسطه عمق و عرض کم دهانه ورودی، کاهش شدید عمق در نواحی غربی، کم بودن دبی ورودی رودخانه‌ها به خلیج، افت و خیز درون‌سالانه سطح آب در دریای کاسپی و وزش باد غالب غرب‌وزان در منطقه خلیج گرگان از عوامل عمده افزایش مدت زمان تجدیدپذیری در خلیج گرگان می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیق هرگونه فعالیت توسعه‌ای در این بوم‌سازگان باید با مطالعات دقیق و تمهیدات لازم صورت پذیرد.

#### منابع

- 1- 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. *Journal of Limnology and Oceanography*, Vol. 47(5), pp.1545-1553.
- 2- Manoj, N.T., 2012. Estimation of Flushing Time in a Monsoonal Estuary using Observational and Numerical Approaches. *Nat. Hazards*, Vol. 64, pp.1323-1339.
- 3- Umgiesser, G., Canu, D.M., Cucco, A., Solidoro, C.A., 2004. Finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and

پورت کورتیس با نرخ تجدیدپذیری ۰/۰۵۲۶ در روز (۲۷) و نواحی مصبی خلیج بزرگ ایالات متحده با نرخ تجدیدپذیری ۰/۱۲۵ روز (۲۸)، دارای نرخ تجدیدپذیری بسیار کمی می‌باشد. نرخ تجدیدپذیری پایین در خلیج گرگان محیط را برای توسعه شکوفایی جلبکی در اثر تجمع مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های آبی‌پروری بسیار مناسب می‌سازد. از طرفی افزایش زمان تجدیدپذیری آب سبب کاهش تجمع مواد جامد معلق در ستون آبی می‌گردد. لذا می‌توان تشکیل رسوبات گلی در خلیج گرگان را به‌خصوص در نواحی غربی که پیشتر توسط لاهیجانی و همکاران گزارش گردیده است، با نرخ بسیار کم تجدیدپذیری در این حوضه مرتبط دانست (۲۰).

با توجه به بالا بودن زمان تجدیدپذیری کل خلیج گرگان می‌توان انتظار داشت که با افزایش زمان ماندگاری آب در درون خلیج آلاینده‌ها فرصت لازم را برای خروج از خلیج نداشته و این امر موجبات تجمع سطوح آلاینده‌ها را در خلیج گرگان فراهم می‌سازد.

بررسی اثر فصول بر میزان تجدیدپذیری در خلیج گرگان بیان می‌دارد که از لحاظ میزان تجدیدپذیری آب، بهترین فصول به- ترتیب زمستان و بهار می‌باشد که منطبق بر دوره پرورش ماهیان سردآبی در خلیج می‌باشد.

بررسی روند تغییرات سطح آب در ایستگاه آشورآده در خلال سال شاخص (ابتدای زمستان ۱۳۸۹ الی پایان پاییز ۱۳۹۰) نشان داد که خلیج گرگان به ترتیب در فصل‌های زمستان و بهار بیشترین میزان روند افزایشی سطح آب را تجربه نموده و این افزایش سطح آب به همراه افزایش دبی ورودی از طریق دریای کاسپی به دهانه ورودی، بر تمامی خلیج تاثیر گذاشته است (۲۶). اواسط فصل زمستان نیز پس از فصل بهار بهترین دوره برای تجدیدپذیری آب خلیج گرگان می‌باشد. از اواسط تیر ماه زمانی که سطح آب به بیشینه می‌رسد تا اواخر شهریور ماه سطح آب خلیج روند کاهشی داشته و با شروع فصل پاییز این روند نزولی سطح آب تا ابتدای فصل زمستان ادامه می‌یابد. روند نزولی سطح آب در خلیج بیان‌گر خروج توده‌های آب از طریق دهانه به دریای کاسپی بوده و این موضوع سبب افزایش مدت زمان تجدیدپذیری در خلیج گرگان می‌گردد. با توجه به رقوم سطح آب ایستگاه آشورآده، نتایج مدل‌سازی در دو فصل

- the Persian Gulf. Geophysical Research Letters, Vol. 31, pp. 301-305.
- ۱۲- شهرداری. ع، کبیر. م. ج. گل فیروزی. ک، ۱۳۸۷، وضعیت آلودگی میکروبی آب دریای خزر در خلیج گرگان، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی گرگان، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۶۹ تا ۷۳.
- 13- Sharbaty, Saeed., 2012. Simulation of wind-driven waves in the Gorgan bay. Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine, Vol. 3(2), pp. 40-44.
- ۱۴- رحیمی پور انارکی. ح، ۱۳۸۱، بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش بینی الگوی فرسایش و رسوب گذاری در خلیج گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی، شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۸۵ صفحه.
- ۱۵- شربتی. س، ایمانیپور. م. ر، گرگین. س، حسینی. س. س، ۱۳۸۹، فاز اول مطالعات شبیه سازی کوتاه مدت جریانات دریایی در خلیج گرگان، گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۴۱ صفحه.
- 16- Manual of MIKE21. 2007. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software). pp. 74-85.
- 17- Smith, S.D., Bank, G., 2007. Variation of the sea drag coefficient with wind speed. Quart. Met. Soc, Vol. 101, pp. 665-673.
- ۱۸- محمدخانی. ح، ۱۳۹۱، تهیه و اجرای آبی پرووری خلیج گرگان، گزارش طرح پژوهشی، مرکز تحقیقات ذخایر آب، زیان آب های داخلی گرگان، فصل دوم، بخش هیدرولوژی، ۳۱۴ صفحه.
- 19- Smagorinsky, J., 1963. General circulation Experiments with the primitive equations, Monthly Weather Review, Vol. 91, pp. 91-164.
- ۲۰- لاهیجانی. ح، اردکانی. ح. ا، شریفی. آ، بنی نادری. ع. م، ۱۳۸۹، شاخص های رسوب شناسختی و validation. Journal of Marine Systems, Vol. 51(4), pp.123-145.
- 4- Gillibrand, P.A., 2001. Calculating exchange times in a Scottish fjord using a two-dimensional, laterally-averaged numerical model. Estuarine Coastal and Shelf Science, Vol. 53, pp.437-449.
- 5- Brenes, C.L., Hernandez, A., Ballesteros, D., 2007. Flushing time in Perlas Lagoon and Bluefields Bay, Nicaragua. Investigations Marinas, Vol. 35(1), pp. 89-96.
- 6- 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, Vol. 58, pp. 778-791.
- 7- 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, Vol. 26, pp.1395-1415.
- 8- Sheldon, J.E., and Alber, M., 2006. The Calculation of Estuarine Turnover Times Using Freshwater Fraction and Tidal Prism Models: A Critical Evaluation. Journal of Estuaries and Coasts, Vol. 29(1), pp.133-146.
- 9- Stamou, I., Katsiris, I.K., Moutzouris, C.I., Tsoukala, V.K., 2004. Improvement of marina design technology using hydrodynamic models. Global Nest: the Int. J. Vol. 6(1), pp. 63-72.
- 10- Hun-Wei Lee, J., Qian, A., 2003. Three-Dimensional Modeling of Hydrodynamic and Flushing in deep bay. International Conference on Estuaries and Coasts, Hangzhou, China, pp13.
- 11- Sadrinasab, M., Kampf, J., 2004. Three-dimensional flushing times of

- A., 2004. Water Renewal Estimates for Aquaculture Developments in the Richibucto Estuary, Canada. *Journal of Estuaries*, Vol. 27(5), pp. 839–850.
- ۲۶- قان‌قرمه. ع. ۱۳۸۹، نوسانات آب دریای خزر (سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸) و عوامل محیطی موثر بر آن، گزارش طرح تحقیقاتی، مرکز ملی مطالعات دریای خزر، ۹۶ صفحه.
- 27- Herzfeld, M., Parslow, J., Andrewartha, J., Sakov, P., Webster, I.T., 2004. Hydrodynamic Modelling of the Port Curtis Region, Technical Report 7, National Library of Australia, pp51.
- 28- Trowbridge, P., 2007. Hydrologic Parameters for New Hampshire's Estuaries. Technical Report, NHEP Coastal Scientist, New Hampshire Department of Environmental Services, pp172.
- ژئوشیمیایی رسوبات خلیج گرگان، مجله اقیانوس-شناسی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۴۵ تا ۵۵.
- 21- 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 Project No. 5224.
- ۲۲- شربتتی. س، حسینی. س.س، ۱۳۹۱، شبیه‌سازی دو بعدی الگوی جریان خلیج گرگان در خلال یک دوره یک‌ساله، گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۹ صفحه.
- 23- Vanderborght, J.P., Folmer, I.M., Aguilera, D.R., Uhrenholdt, T., Regnier, P., 2007. Reactive-transport modelling of C, N, and O<sub>2</sub> in a river–estuarine–coastal zone system: Application to the Scheldt estuary, *Journal of Marine Chemistry*, Vol. 106, pp.92-110.
- 24- Arneborg, L., 2004. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. *Continental Shelf Research*, Vol. 24, pp.443–460.
- 25- Koutitonski, V.G., Guyondet, T., St-Hillaire, A., Courtenay, S.C., Bohgen,