

مدل سازی عددی جریان کلی، ساختار ترموهالین و زمان اقامت در خلیج گرگان، ایران

چکیدہ

خلیج گرگان یک حوضچه نیمه بسته است که در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است. این خلیج به عنوان محل سکونت پرندگان مهاجر شناخته شده است. همچنین به عنوان یک مکان برای ماهی های بومی شناخته شده است. بالین حال، ظاهراً، تحقیقات دقیق در مورد فرایندهای فیزیکی آن قبلاً انجام نشده است. در این مطالعه، مدل سه بعدی زوج هیدرودینامیک و مدل انتقال محلول برای بررسی جریان کلی، ساختار ترموهالین و زمان اقامت در سه بعدی زوج هیدرودینامیک و مدل انتقال محلول برای بررسی جریان کلی، ساختار ترموهالین و زمان اقامت در خلیج گرگان مورداستفاده قرار گرفت. خروجیهای مدل بر اساس مجموعهای از مشاهدات میدانی تائید شد. خریب اصطکاک پایین و ضریب انقباض شدت نور، به منظور دستیابی به توافق مطلوب با مشاهدات، تنظیم شد. نتایج نشان داد که با توجه به تعامل بین باتیمتری و بادهای غالب، جریان دوطرفه غالب در جریان کلی، در طول فصل های مختلف، وجود داشته است. علاوه بر این، نوسانات دمای مطلوب در خلیج، با توجه به تنوع فصلی خصلی جریان های مختلف، وجود داشته است. علاوه بر این، نوسانات دمای مطلوب در خلیج، با توجه به تنوع فصلی جریان همای مختلف، وجود داشته است. ورد خلیم گرگان مورد داسته است. محموعهای از مشاهدات، تنظیم شد. نوبی نشان داد که با توجه به تعامل بین باتیمتری و بادهای غالب، جریان دوطرفه غالب در جریان کلی، در طول فصل های مختلف، وجود داشته است. علاوه بر این، نوسانات دمای مطلوب در خلیج، با توجه به تنوع فصلی جریان های جوی، فصلی بود. نتایج همچنین نشان داد که در طول بادهای غالب، مدترمان اقامت در محدوده معلی مختلف، وجود داشته است. ودخانه هایی که وارد خلیج گرگان میشوند به عنوان منابع اصلی دامنه در خلیج گرگان میشوند به تنوع قبلی که وارد خلیج گرگان میشوند به تان می این می مواند. از آنجایی که دهانه آن ها در منطقه ای در زمان اقامت در ار درد. خلیج گرگان می مواند در معرض خلی در انتروفیکی باشد؛ لازم است های می می واند در معرض خطر انتروفیکی باشد؛ لازم است اقدامات پیشگیرانه در برابر تخریب کیفیت آب می واند.

کلمات کلیدی: خلیج گرگان، ورودی معکوس، مدل جریان FM، شوری و دما

1. مقدمه

خلیج گرگان (N,53.42-54.5 E کیلومتر، حداکثر عرض 12 کیلومتر، عمق است که در بخش جنوب شرقی دریای خزر در ایران با طول حدود 60 کیلومتر، حداکثر عرض 12 کیلومتر، عمق متوسط 1.8 متر و حداکثر عمق 5 متر در قسمت مرکزی خلیج قرارگرفته است(شکل 1).

پوشش منطقهای حدود 667 کیلومترمربع هست و خلیج گرگان دارای حجم تقریبی 1.2 کیلومترمکعب است. این خلیج از طرف جنوب با کوههای البرز، از سمت شرق با صحرای ترکمنستان، از سمت غرب با استان مازندران و از طرف شمال، با دریای خزر و بخشی از شبهجزیره میانکاله- یک سیستم مانع که خلیج را از دریای خزر جدا میکند- هممرز است.

خلیج گرگان با دریاچه خزر از طریق یک ورودی (که بهاصطلاح ورودی اصلی نامیده میشود) با عرض حدود 3 کیلومتر در گوشه شمال شرقی خلیج ارتباط دارد. کانال خوزینی که 6 کیلومتری غرب از ورودی اصلی است، یکی دیگر از اتصالات بین خلیج و دریای خزر است. عرض کانال حدود 200 متر است (شکل 1). بنابراین، خلیج نسبتاً از دریا جداشده است و انرژی موج کمی دارد. نوسانات سطح آب ناشی از جزر و مد در دریای خزر بسیار ناچیز است و به همین دلیل در خلیج گرگان نیز به همین صورت است. بنابراین تأثیرات جزر و مدی در فرآیند فیزیکی میتواند در مقایسه با اثرات شدت باد و تراکم در خلیج گرگان (کوسارف 2005؛ کیتزوا و یانگ 2012) نادیده گرفته شود.

با توجه به دادههای بهدست آمده از یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که در ورودی خلیج قرار دارد، بادهای غالب در منطقه موردمطالعه غرب با میانگین سرعت 5 متر بر ثانیه است. بااین حال، نوسانات فصلی وجود دارد. باد در خلیج گرگان عمدتاً از غرب و شمال غرب از ماه ژانویه تا اکتبر، شمال شرقی و شرقی در ماه نوامبر و در ماه دسامبر در شرق و غرب قرار دارد.



شکل 1 خلیج گرگان، ایران. منابع آلودگی برچسب گذاری شدهاند. دایرهها و مربعها به ترتیب رودخانهها و گیاهان تصفیه فاضلاب هستند. عمق آب با واحد متر ذکرشده است. سیستم مختصات به منطقه UTM-39

اشاره دارد.

مجموع آب شیرین ورودی به خلیج گرگان، از طریق تخلیه رودخانه و بارش بسیار کم است. تخلیه همه ده رودخانه به خلیج حدود 1.3 مترمکعب در ثانیه است و میزان بارش در کل منطقه موردمطالعه 30.7 سانتیمتر / سال است. بااینوجود، تبخیر به میزان قابلتوجهی قویتر است: حدود 124.1 سانتیمتر / سال. بنابراین، خلیج حوضه تبخیر است و مانند یک حوضه معکوس رفتار میکند؛ ازاینرو، آب شور در آب خلیج تشکیل میشود. دریای خزر از طریق ورودیها، آب را برای کمبود آب فراهم میکند و به همین ترتیب، میانگین جریان سالانه دریان الانه الانه الاتیم میزان قابل میشود. در آن میکند؛ از اینرو، آب شور در آب خلیج تشکیل میشود. دریای خزر از طریق ورودیها، آب را برای کمبود آب فراهم میکند و به همین ترتیب، میانگین جریان سالانه دریانی الانه الانه الانه الانه الانه میزان قابل میشود.

رودخانههای ورودی به خلیج، ازجمله قرمسو (R1)، کردکی (R2)، کرکنده (R3)، باقو (R4)، گاز (R5)، نوکده (R6)، گلوگاه(R7)، رستم کلا (R8) بهشهر (R9) و زق مرز (R10) از زمینهای کشاورزی و مناطق شهری عبور میکنند و مواد مغذی گیاهی آبی و آلایندهها را به خلیج منتقل میکنند. رودخانه قرمسو واقع در گوشه جنوب شرقی خلیج (شکل 1)، مهم ترین رودخانهها است، که بزرگ ترین جریان آب، با جریان 800 لیتر در ثانیه دارد. دو شهر بندر ترکمن و بندر گاس با جمعیت حدود 50،000 و 46،000 نفر در کنار خلیج قرار دارند. آبهای آلوده از گیاهان تصفیه فاضلاب این شهرها، که بعدها 11 و 22 نامیده میشوند، به خلیج ریخته میشوند که منبع دیگری از مواد مغذی محسوب میشوند (شکل 1).

کیفیت آب و ائتروفیکی در آبهای ساحلی نیمه محصورشده به فرایند شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی وابسته است که عمدتاً تحت تأثیر میزان تبادل آب بین آب دریا و دریای مجاور آن قرار دارند (یوان و همکاران 2007؛ Arega et al 2008). زمان اقامت مفهومی نسبت به مبادله آب است. زمان اقامت میتواند بهعنوان زمان صرف شده که حجمی آب از طریق ورودی حوضچه را ترک میکنند باشد (لف و پوهلان 1996؛ وان و همکاران 2013).

این مطالعه با استفاده از مدلسازی عددی به سه هدف اصلی پرداخته است: (1) نمایش وزش باد در خلیج (2) نشان دادن جریان کلی و ساختار ترموهالین در منطقه موردمطالعه و (3) محاسبه زمان اقامت در خلیج گرگان. به نظر میرسد این مطالعه اولین چیز برای بررسی کلی جریان عمومی در خلیج گرگان، ساختار ترموهالین و زمان اقامت در خلیج (2)

2. مواد و روشها

برای تعیین جریان کلی، ساختار ترموهالین و زمان اقامت در خلیج گرگان، مدل عددی هیدرودینامیکی سهبعدی و مدل عدد انتقال محلول مورداستفاده قرار گرفت. علاوه بر این، در سناریوهای مختلف، پارامتر تأثیرگذار بر روی هیدرودینامیک خلیج تعیین شد و همچنین زمان اقامت برآورد گردید.

2.1 مدل عددی

این مطالعه با استفاده از مدل MIKE 3 Flow FM انجام شد. این مدل توسط موسسه هیدرولیک دانمارکی و (DHI) برای مدلسازی سهبعدی آب طراحی شده است. مدل DHI) بمطورکلی و علمی در جهان مورد تائید قرارگرفته است. FM به شبکهی انعطاف پذیر اشاره می کند که بر اساس آن تکنیکهای عددی در سیستم مدل سازی (DHI 2012) استفاده شده است.

مدل MIKE 3 Flow Model FM از چندین ماژول مانند ماژول هیدرودینامیکی، ماژول اکولوژیکی، ماژول ردیابی ذرات، ماژول انتقال، ماژول انتقال ذره و ماژول انتقال شن و ماسه (DHI 2012) تشکیلشده است. در این مطالعه، ماژولهای هیدرودینامیکی و انتقال استفادهشده است. با استفاده از روش حجم محدود سلولی، ماژول هیدرودینامیکی، معادلات نانو پرداز سهبعدی ناسازگار در زیر فرضیه هیدرو استاتیک و بوسانسک حل می شود. معادله تداوم محلی (معادله (1)) و معادلات حرکتی افقی برای اجزای x و y (معادله (2) و (3))، معادلات حاکم بر این ماژول، با استفاده از مختصات دکارتی ارائه می شود:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial v u}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z}$$

$$= fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right)$$

$$+ F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z}$$

$$= -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right)$$

$$+ F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$
(3)

t زمان است x ، y ، x مختصات دکارتی است؛ η ارتفاع سطح است؛ b عمق آب است؛ k مق آب است؛ x ، y ، z ، y ، z مق محلی آب ، u ، v و w سرعت در جهت x ، y و z است. $f = 2\Omega \sin \Phi$ پارامتر کریوئلیس است؛ Ω سرعت زاویه ای تحول است؛ φ عرض جغرافیایی است؛ g شتاب گرانشی است؛ $\rho = \varphi$ گالی آب است؛ s_{xx} ، s_{xx} ، s_{xy} و y_z جزء تانسور استرس تابشی است؛ v ویسکوزیته عمودی آشفته (یا گردایی) است. P_a فشار اتمسفر است؛ و $\rho_0 = \varphi$ گالی مرجع آب است. علاوه بر این، S مقدار تخلیه به دلیل منابع نقطه است و (u_s,v_s) سرعت انتقال آب به آبهای

محلی است. استرس پایین در ماژول هیدرودینامیکی، $ec{ au_b} = \left(au_{bx}, au_{by}
ight)$ ، با یک قانون اصطکاک درجه دوم تعیین میشود:

$$\frac{\overline{\tau_b}}{\rho_0} = c_f \, \overrightarrow{u}_b \left| \overrightarrow{u}_b \right| \tag{4}$$

جایی که \overrightarrow{u}_b سرعت در فاصله Δz_b بالای سطح آب و ضریب شکست، c_f ، با استفاده از پروفیل لگاریتمی بین بستر دریا و نقطه Δz_b بالاتر از سطح دریا هست که بهصورت زیر تعیین می شود:

$$c_f = \frac{1}{\left(\frac{1}{k} ln \left(\frac{\Delta z_b}{z_0}\right)^2\right)} \tag{5}$$

بستگی von Kármán و z_0 مقیاس طول زبری بستر است. وقتی سطح مرزی خشن است، z_0 بستگی $\kappa = 0.4$ به ارتفاع زبری k_s دارد:

$$z_0 = mk_s \tag{6}$$

m حدود 1/30 است.

ماژول انتقال مدل FM MIKE 3، یکی دیگر از ماژولها که در این مطالعه مورداستفاده قرارگرفته است، به صورت دینامیک با ماژول هیدرودینامیکی ارتباط دارد و توزیع و سرنوشت مواد حل شده یا معلق در محیط آب تحت تأثیر انتقال مایع و پراکندگیهای مرتبط را نشان می دهد. امروزه، مطالعات زیادی انجام شده است که از این مدول ها استفاده کرده اند. ماژول انتقال می تواند انتقال یک مقدار اسکالر را محاسبه کند. معادله حفاظت برای مقدار اسکالر به وسیله زیر تعریف می شود:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} = F_C + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) - k_P C + C_S S \tag{7}$$

مقدار ضریب خطی مقدار است، C مقدار غلظت اسکالر است، $k_{
m P}$ مقدار ضریب خطی مقدار اسکالر است، $D_{
m v}$ مقدار غلظت اسکالر در منبع است، و $F_{
m C}$ نفوذ افقی است که بهصورت زیر تعریف می شود:

$$F_{C} = \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_{h}\frac{\partial}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_{h}\frac{\partial}{\partial y}\right)\right]C$$
(8)

D_h ضریب نفوذ افقی است. اطلاعات بیشتر در مستندات علمی MIKE 3 Flow Model ارائهشده توسط DHI (DHI 2012) موجود است.

2.2 تنظیم شبیهسازیها در این مطالعه، ژنراتور مش MIKE برای تولید مش محاسباتی استفاده شد. تولید مش شامل مراحل زیر است: (1) انتخاب منطقهای که باید از طریق مرزها مدلسازی شود؛ (2) تعریف نوع مرزهای مدل و تمایز مرزهای باز، که از طریق آن جریان آب، از مرزهای بسته، که آب نمیتواند عبور کند، عبور می کند؛ (3) تولید سلولهای سه گوش مستقل در منطقه موردمطالعه؛ (4) داخل کردن عمق سنجی به سلولهای مثلثی؛ و (5) پالایش کردن سلولها به وسیله مقیاس دهی سلولها با توجه به عمق آب در هر نقطه مرکز. دادههای بیتومتری خلیج گرگان که عمق آب را در هر موقعیت جغرافیایی نشان می دهد، توسط مرکز ملی نقشه برداری ایران در سال 2006 اندازه گیری شد (اطلاعات موجود در www.ncc.org. ir). اندازه سلولها در طول خلیج متفاوت بود؛ در کم عمق ترین قسمت خلیج، وضوح فضایی به صورت ریز هست. وضوح از 300 متر در خط ساحلی تا 500 متر در عمیق ترین قسمت خلیج هست. به طور کلی، میتوان گفت که میانگین سطح سلولها حدود 47،700 متر مربع است (شکل 2). علاوه بر این، مدل دارای پنج لایه سیگما عمودی هست.

دادههای هواشناسی که به مدل عددی اعمال میشوند، در یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی ایران در فاصله زمانی 3 ساعته (اطلاعات موجود در www.irimo.ir) اندازه گیری شد. سری زمانی تخلیه ماهانه رودخانه به خلیج که از ایستگاههای هیدرومتری شرکت مدیریت منابع آب ایران به دست آمد، بهعنوان منابع نقطهای در مدل (اطلاعات موجود در www.wrm.ir) موردتوجه قرار گرفت.



شكل 2 نقشه بتيمترى و مش محاسباتى براى تنظيم مدل

مدل مورداستفاده در این مطالعه دارای دو نوع مرز بود: مرزهای باز، که شامل ورودی اولیه خلیج گرگان و کانال خزینی و مرزهای بسته شامل خط ساحلی و سطح جامد است. سطح آب بهعنوان شرایط مرزی باز در مدل هیدرودینامیکی مشخصشده است. دادههای آب در مرزهای باز توسط مرکز تحقیقات ملی دریای خزر، که شعبهای از موسسه تحقیقات آب ایران است، در ایستگاه سطح آب با یکزمان با فاصله زمانی 4 ساعت (اطلاعات موجود در www.wri.ac.ir) ثبت شد. علاوه بر این، سطح آب از خلیج 27 متر پایین سطح اقیانوسهای جهان در آغاز شبیه سازی تعریف شده است.

در آبهای جزر و مد دار که در آن خطوط مستقیم یا بازگشتی جریان مستقیم هستند، مشخص است که برخی از ردیابها، که در یک آب آزاد میشوند، میتوانند محیط اطراف را در طول دوره فرورفتگی ترک کنند و در طی دوره سیلاب بعدی دوباره به موقعیت اولیه خود برسند. در این مطالعه، ازآنجاکه در ناحیه مطالعه تقریباً هیچ جزر و مدی وجود ندارد (بنی و همکاران 2013)، فرض بر این بود که هیچ تریسی از مرز باز، ورودی اصلی، هرگز نمیتواند بعداً دوباره به خلیج بازگردد و بنابراین، غلظت تریسی صفر بهعنوان شرایط مرزی در مدل انتقال، در مرحله پنجم در نظر گرفته شد.

2.3 مشاهده منظم جريانهای سطح

به منظور ارائه داده ها برای کالیبراسیون مدل های عددی، مشاهدات جریان های سطح در خلیج گرگان به واسطه ی سطوح شناور تعیین شد. شناوران دارای شکل استوانه ای با ارتفاع 1 متر و قطر 15 سانتی متر بودند. مسیرهای مربوط به شناور توسط یک سیستم موقعیتیابی جهانی (GPS) با فاصله زمانی 1 دقیقه ثبت شد. شناور در شش موقعیت متفاوت در سمت خلیج قرار داده شد، همان طور که در شکل 3 نشان داده شده است. هر شناور تنها یکبار در یک منطقه مستقرشده است. اطلاعات بیشتر در جدول 1 نشان داده شده است تا نشان دهد که چقدر طول می کشد هر یک از شناورها عمل کنند و طول و سرعت متوسط جابجایی آن ها تعیین شود.

3. نتايج و بحث

3.1 تجزيهو تحليل حساسيت و كاليبراسيون

برای ارزیابی دادههای معتبر، مدل عددی باید کالیبره شود. کالیبراسیون به معنی تنظیم پارامترهای مدلسازی برای ایجاد تناسب بین خروجیهای مدل و دادههای مربوط به اندازه گیری هست. در این مطالعه، مدل عددی بر روی مشاهدات میدانی جریانهای سطح و مجموعهای از اندازه گیری دما و شوری کالیبره شده است.

قبل از کالیبراسیون، حساسیت مدل به تغییرات پارامترهای مدل موردبررسی قرار گرفتند. تجزیهوتحلیل حساسیت نشان داد که میدان فعلی مدل شده حساس بهاندازه سلول شبکه و زبری بستر هست. دمای مدل و شوری نیز بهاندازه سلول شبکه و شدت نور حساس بودند.

بهمنظور ایجاد خروجیهای مدل مستقل از اندازه سلول شبکه، نتایج بهدستآمده از وضوح مشهای مختلف شبکه مورد مقایسه قرار گرفت، اندازه سلول تا زمانی که نتایج ثابت به دست آمد، تصفیه شد و مش نهایی با وضوح مطلوب تعیین شده است. همه شبیهسازیهای بعدی با مش نهایی حاوی 12،882 سلول افقی تعیین شد (شکل 2).



شکل 3 نمایش شماتیک مسیرهای شناور

با توجه به این واقعیت که جریان در خلیج گرگان عمدتاً جریان باد است، اطلاعات بیشتری در دسترس نیست؛ تنها فشار باد، اصطکاک پایین و اثرات تغییرات سطح آب برای بازتولید مسیرهای رانش در نظر گرفته است. با مقایسه اندازه گیری میدان مسیرهای لاگرانژی جرم آب با مدلهای مربوط خروجی و تنظیم مقدار اصطکاک برای کاهش هرگونه عیب، مجموع اختلاف 14.7٪ (مجموع خطا در کل طول جابجاییها) بین مدلسازی و مسیرهای اندازه گیری شده به دست یابد (شکل 4 و جدول 2).

ازآنجاکه درجه حرارت و شوری بر فرایندهای فیزیکی در آب تأثیر می گذارد، این پارامترها باید مانند جریان در مدلسازی هیدرودینامیکی کالیبراسیون شوند. باستانی و همکاران (2014) با استفاده از پروب CTD (Ocean مدلسازی هیدرودینامیکی کالیبراسیون شوند. باستانی و همکاران (2014) با استفاده از پروب TD (pH، pH، pH، Seven 316) مدایت ایتالیا) که باعث کیفیت بالا میشود و نظارت همزمان فشار (بهعنوان عمق آب)، دما، pH هدایت الکتریکی(EC)، غلظت اکسیژن محلول، غلظت کلروفیل کل، کدری و نوردهی نور، دما و شوری در خلیج گرگان در ماه اوت 2010 اندازه گیریها را انجام دادهاند. در مطالعه حاضر، دادههای میدانی بهدستآمده از این مطالعه برای مدل کالیبراسیون استفاده است.

دمای نمونه و شوری با مقادیر مختلف موارد مشاهدهشده مقایسه شد. با تنظیم ضریب محو شدن شدت نور، تفاوت بین اندازه گیریها و خروجیهای مدل کاهش مییابد. جدول 3 پایین ترین دستاورد تفاوت بین دما و شوری مدل و مشاهدات در نقاط مختلف در خلیجفارس را نشان میدهد. روش خطای ریشه دوم RMSE برای تعیین تفاوت بین دادههای مدل و مشاهدات استفاده میشود. روش RMSE 1.6 درجه سانتی گراد و 1.9 PSU مربوط به درجه حرارت و شوری استفاده شد. بنابراین، نتایج شبیه سازی، به ویژه درجه حرارت، دارای توافق خوبی با دادههای مشاهده شده هستند.

3.2 گردش ناشی از باد در خلیج گرگان

تجزیهوتحلیل جریان باد، بر اساس دادههای باد اندازه گیری شده در محل در سال 2010 نشان می دهد باد بیشتر از غرب (25٪) و شمال غربی (21٪) می آید در حالی که هیچ بادی در 21٪ زمانها وجود نداشت و باد پایین تر از سرعت s / m 2 بیش از 4٪ از زمان وجود نداشت. جهات دیگر فرکانس 29٪ داشت. بنابراین، تجزیهوتحلیل نشان می دهد باد غالب از بخش غرب می آید. علاوه بر این، میانگین سرعت باد غالب 5 متر بر ثانیه بود (شکل 5). بهمنظور نشان دادن اثرات استرس باد در گردش کلی در خلیج گرگان، جریانهای القاشده توسط باد غالب، که از غرب با سرعت یکنواخت 5 متر /ثانیه میآید، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی شبیهسازی شدند. در این مورد، پس از یک دوره 2 روزه شبیهسازی، جریان ثابت شد؛ بنابراین نتایج حاصل از سومین روز در زیر نشان دادهشده است.

Drifter	Date of launching	Hour of launching	Location of deployment		Operation time (min)	Displacement (m)	Average velocity (m/s)
A	11/7/2013	7:00	N 4080751	E 235429.1	330	1296	0.065
В	11/7/2013	13:30	N 4087578	E 764287.0	400	1109	0.046
С	11/9/2013	7:00	N 4084417	E 750774.9	485	1058	0.036
D	11/9/2013	15:30	N 4082344	E 751124.4	225	743	0.055
E	11/10/2013	7:00	N 4077051	E 763285.3	960	2790	0.048
F	11/12/2013	7.00	N 4090907	E 234660 3	485	1671	0.057

جدول 1 جزئيات برنامه شناور



شکل 4 دادههای مسیر رانش مشاهده شده و شبیه سازی شده (خط نقطه چین)

نتایج نشان داد جریانهای سطحی در جهت یکسان با باد در مناطق کمعمق است و در جهت مخالف باد با سرعت بسیار پایین تر که خلیج عمیق تر است و مرکز اصلی خلیج است، هست. این جریانها موجب جریان دوگانه می شود: یک سیکلون در قسمت جنوبی خلیج و یک ضد سیکلونیک کوچک تر در قسمت شمال غربی (شکل 6).

علاوه بر این، الگوی گردش جریان در لایه پایین شبیه لایه سطحی بود، اما جریان باد ضعیفتر بود و در لایه پایین بسیار شدیدتر بود (شکل 7). در این شرایط، سطح آب در سراسر کل خلیج در همان جهت باد افزایشیافته است؛ ارتفاع سطح در بخش شرقی خلیج افزایش و در بخش غربی کاهشیافته است (شکل 6). بررسی نتایج مطالعات Csanady (1973) و رودا و ویدال (2009) نشان میدهد که تعامل بین توپوگرافی متغیر و باد پایدار میتواند تغییرات افقی را در جریان ایجاد کند. در این مورد، سه نیروی اصلی به آب اعمال میشود: نیروی باد، اصطکاک بستر و نیروهایی که توسط گرادیان فشار افقی، به دلیل شیب سطح دریا ایجادشدهاند. این دو نیروی آخر در جهت مخالف باد قرار دارند. در آبهای کمعمق، نیروی غالب نیروی باد است که موجب جریان باد میشود درحالی که نیروهای اصلی در آبهای عمیق عبارتاند از اصطکاک بستر و گرادیان

فشار افقی، که موجب جریان جاری میشود. این نوع از الگوی گردش، گردش توپوگرافی نامیده میشود. شکل 8 ساختار عمودی ناشی از جریان باد در قسمت مرکزی (بخش ' A-A) خلیج به علت باد غرب با سرعت 5 متر بر ثانیه را نشان میدهد. حاشیههای کمعمق خلیج، در امتداد ساحل شمالی و جنوبی، با حداقل عمق، حداکثر سرعت جریان را در همان جهت باد داشتند. با افزایش عمق، سرعت جریانهای بادگیر به سمت مناطق عمیقتر که در آن جریان برگشتپذیر است، کاهش مییابد. پسازآن، سرعت جریان بادپناه با افزایش عمق (شکل 7) افزایش مییابد.

علاوه بر این، جریانهای ناشی از باد واقعی با استفاده از سری زمانی از شرایط واقعی باد مدلسازی بین 2009 و 2010 شدند. شکل 9 و 10 گردش میانگین سالیانه در خلیج گرگان را نشان میدهد. با مقایسه بین شکلهای 6 و 9 و 7 و 10 میتوان نتیجه گرفت جریانهای ناشی از باد واقعی با جریان ناشی از باد غالب بسیار مشابه هستند.

3.3 گردش عمومی و ساختار ترمو هالین در خلیج گرگان

ساختار گردش کلی و ترمو هالین ناشی از حرارت و نمک از طریق مرزهای باز، سطح آب و رودخانهها، استرس باد، تخلیه رودخانه و نوسانات سطح آب در خلیج گرگان با استفاده از هیدرودینامیک مدلسازی شد. تنظیمات از شرایط اولیه به شرایط واقعی تقریباً 3 ماه برای دما و تقریباً 4 ماه در مورد شوری طول کشید. بااینحال، نتایج در مورد سال اول نادیده گرفته شد و تنها نتایج مربوط به دومین سال شبیهسازی در نظر گرفته شد.

جدول 2 دقت شبیهسازی مسیرهای مشاهدهشده

Drifter	Last observed point		Last simulated point		Error in easting (m)	Error in northing (m)	Total error (m)	Percent of error
A	N 4079668	E 235632.2	N 4079668	E 235399.2	233	0	233	18
в	N 4086821	E 764894.0	N 4087007	E 764847.1	46.9	186	191.8	17.3
С	N 4083903	E 751523.1	N 4084089	E 751569.5	46.4	186	191.7	18.1
D	N 4081927	E 750803.4	N 4081996	E 750756.7	46.7	69	83.3	11.2
Е	N 4075940	E 760551.2	N 4076405	E 760387.5	163.7	465	493	17.7
F	N 4091658	E 232890.1	N 4091588	E 232960.1	70	70	99	5.9

جدول 3 مقایسه دما و شوری شبیهسازی شده در مقابل دادههای مشاهده شده

Station	Location		Observed temperature	Modeled temperature	Observed salinity	Modeled salinity
1	N 36.92678	E 54.02814	23.96	22.48	11.96	12.28
2	N 36.90136	E 54.03072	24.74	24.06	11.02	12.51
3	N 36.85419	E 54.03125	25.42	27.05	10.8	13.2
4	N 36.81467	E 54.03192	25.91	26.95	10.88	13.38
5	N 36.87553	E 53.90889	26.74	26.99	11.38	13.17
6	N 36.83781	E 53.90906	27.49	28.3	11.67	13.82
7	N36.86936	E 53.78997	25.22	27.86	11.36	13.41
8	N 36.83289	E 53.79058	26.2	28.12	11.33	13.66
9	N 36.89981	E 53.95894	26.55	23.78	11.31	12.67
10	N 36.85264	E 53.57528	25.54	26.76	12.4	13.83
11	N 36.82233	E 53.61694	26.91	27.08	11.67	13.75

3.3.1 گردش عمومی در خلیج

شکل 11 و 12 میانگین سالانه مدل گردش آب خلیج گرگان در هر دو سطح و لایههای پایین را نشان میدهد. با توجه به الگوی گردش سالانه در خلیج و مقایسه آن با جریان باد، روشن شد که گردش کلی تابع جریانهای ناشی از باد در تمام لایهها بود. در مناطق کمعمق، انتقال تودههای آب به سمت شرق بود. در مناطق عمیقتر، انتقال به غرب وجود دارد. بنابراین، گردش آب در خلیج گرگان از دو گردش تشکیل شده است: یک گردش در شمال و یک سیکون تشدید شده در جنوب. مانند جریانهای ناشی از باد، در لایهی پایین، جریانهای شرق ضعیفتر شدند و جریانهای غرب قویتر شدند (شکل 11 و 12). با توجه به نوسان جریان فصلی، نتیجه گیری شد که جریان القاشده توسط باد در سراسر سال غالب است.

بر اساس نتایج، نشان دادهشده است که سرعت سالانه متوسط جریان در خلیج 5 سانتیمتر بر ثانیه است، و کانال خوزینی، با سطح مقطع کوچک، حداکثر سرعت جریان حدود 35 سانتیمتر بر ثانیه داشت. در ورودی اولیه و حاشیههای کمعمق خلیج، سرعتهای جریان در مقایسه با سایر قسمتهای خلیج نسبتاً بالا بود.



شکل 5 رشد باد منطقه موردمطالعه در دوره مطالعه

3.3.2 ساختارهای حرارتی در خلیج

نتایج نشان میدهد درجه حرارت متوسط دامنه (DAT) و شوری به صورت فصلی تغییریافته است. DAT مستقیماً نوسانات درجه حرارت هوا را دنبال می کند. بااین حال، شوری میانگین متوسط (DAS) به دنبال نوسانات سرعت تبخیر، با تأخیر زمان 2-3 ماه هست. DAT، دمای هوا و نرخ تبخیر در ماه جولای به حداکثر مقدار خود رسید. از سوی دیگر دست، DAS در اوایل اکتبر به حداکثر مقدار خود رسید.

DAT از 5 تا 29.2 درجه سانتی گراد متغیر است و حداقل آن در اواخر ماه دسامبر رخداده است، DAS بین 12.3 تا 15.2 با حداقل در ماه فوریه هست (شکل 13 و 14).

نتایج نشان داد میانگین سالانه شوری آب بهطور یکنواخت در جهت شمال شرقی-جنوب غربی در سراسر خلیج افزایشیافته است. بهعبارتدیگر، شوری با فاصله از ورودی اولیه افزایش یافت (شکل 11).

جریان تازه آب دریای خزر (ICSW) به شوری در قسمت شمال شرقی خلیج کاهشیافته است؛ در طول تابستان، ICSW مقیاس بزرگتری نسبت به زمستان را تحت تأثیر قرار میدهد که حداقل اثر دارد. بیشتر تودههای شور آب (S> 17 psu) در خلیج گرگان در جنوب غربی حوضه نیمه بسته شکل گرفته است که در آن

ICSW تأثیر کمتری بر آن داشته است (شکل 11). میتوان نتیجه گرفت که خلیج گرگان، مانند دهانه رودخانه، آب ورودی را از دریای خزر می گیرد. با داشتن بیشترین تخلیه جریان ورودی، رودخانهها در گوشه جنوب شرقی خلیج، ازجمله قرهسو، کردکی و کارکنده اثر محلی بر روی خلیج داشتند. آنها شوری گوشه جنوب شرقی خلیج را کاهش دادند (شکل 11). بر اساس نتایج مدل، تنوع فضایی دمای آبهای خلیج گرگان تحت تأثیر توپوگرافی و فاصله از ورودی اولیه قرار گرفت. به خاطر نفوذ آبهای سردتر از دریای خزر، مناطق نزدیک به مرزهای باز در مقایسه با سایر بخشهای خلیج همیشه سردتر بودند.



شکل 6 گردش ناشی از باد در سطح لایه سطحی و سطح آب در خلیج گرگان تحت باد غرب با سرعت 5 متر بر ثانیه

در فصل گرم، درجه حرارت آب در خلیج گرگان دارای گرادیان خطی از شرق و غرب هست؛ بخش غربی گرمتر از بخشی شرقی بود، اگرچه تفاوت کسری از درجه سانتی گراد بود. در فصلهای سرد، آبهای غربی، کمعمق ترین بخش، سردتر از حدود 1.5 درجه سانتی گراد در مقایسه با قسمت مرکزی، عمیق ترین بخش، بود (شکل 12). در طول تمام فصلها، خلیج گرگان رفتار مخلوطی نشان داد و هیچ لایهبندی در خلیج وجود نداشت.

3.4 زمان اقامت در خلیج گرگان

پس از کالیبراسیون مدل هیدرودینامیکی، پایه هیدرودینامیک برای اتصال با مدلهای دیگر آماده شد و مدل انتقال با مدل هیدرودینامیکی برای برآورد زمان اقامت در خلیج همراه شد. ازلحاظ آماری، زمان اقامت برابر با زمان موردنیاز برای انحلال ماده حلشده (37%~) 1/eبه غلظت اولیه هست. این تعریف بهطور گستردهای برای محاسبه زمان اقامت استفاده می شود. بنابراین، در ابتدا، غلظت واحد ماده محافظتی غیرفعال (PDCM) در خلیج قرار داده شد و سپس رقت آن با مدل دوبعدی شبیه سازی شد. شبیه سازی زمانی که سازندگان به 37٪ غلظت اولیه در تمام قسمت های خلیج رسیدند به اتمام رسید.





شکل 7 گردش ناشی از باد در لایهی پایین در خلیج گرگان تحت باد غرب با سرعت 5 متر بر ثانیه





شکل 9 میانگین گردش سالیانه ناشی از باد در لایه سطحی خلیج گرگان

با توجه به این واقعیت که زمان اقامت در آب با تغییر در نیروهای تحریک خارجی متفاوت است، شبیهسازی به محاسبه زمان اقامت تحت الگوی باد ایده آل میپردازد، که جهت باد به سمت شرق با سرعت 5 متر بر ثانیه هست.

نتایج نشان میدهد زمان سکونت دامنه متوسط در خلیج گرگان حدود 95 روز بود. به خاطر اختلاط سریع بین آبهای خلیج و آبهای ورودی از دریای خزر در مناطق نزدیک به مرزهای باز، این مناطق خلیج دارای کوتاهترین زمان اقامت بوده و بنابراین، آلایندهها این منطقه را در یکزمان کوتاهتر ترک میکنند.انتظار میرود که مشکلات کیفیت آب در این مناطق به صورت نادر رخ دهد (شکل 15).

گردش توپوگرافی باعث شده است PDCM در نیمه پایین بخش مرکزی خلیج که در آن نسبتاً زمان اقامت بالا است، به دام افتاده است. نتایج نشان داد حوضه نیمه بسته در گوشه جنوب غربی خلیج، با ضعیفترین قابلیت نفوذ در منطقه موردمطالعه، از بخشهای دیگر جداشده است و آلایندههای آزادشده در این منطقه

توانایی کمتری برای ترک آب دارند. بنابراین تخلیه از منابع آلودگی موجود در این منطقه باید کنترل شود (شکل 15).



شکل 10: میانگین سالانه گردش ناشی از باد در لایه پایین خلیج گرگان



شكل 11 ميانگين الگوى گردش سالانه و توزيع افقى ميانگين سالانه شورى در لايه سطحى در خليج گرگان



شكل 12 ميانگين الگوى گردش كلى سالانه در لايه پايين و توزيع افقى سطح متوسط دما در ماه ژانويه در خليج

گرگان



شکل 13 سری زمانی مدل دمای متوسط دمای متوسط و دمای هوا در خلیج گرگان، 2010







شکل 15 توزیع فضایی زمان اقامت PDCM در خلیج گرگان

منطقه جنوبی خلیج دارای مدتزمان اقامت بیش از 100 روز هست.

ازآنجاکه تمام رودخانههای تخلیهشده به خلیج گرگان از مناطق کشاورزی و شهری عبور میکنند، مواد مغذی گیاهی دریایی با خود حمل میکنند و دهانه آنها در این منطقه قرار میگیرد؛ تغییرات نامطلوب در حالت طوفان خلیج پیشبینیشده است. بهمنظور جلوگیری از ائوتروفیکی، محدودیت منابع آلودگی مواد غذایی در امتداد رودخانهها یا اندازه گیری مناسب برای افزایش اختلاط بین خلیج گرگان و دریای خزر به نظر میرسد ضروری باشد.

علاوه بر این، زمان اقامت تحت چهار سناریو تخمین زده شد: (1) باد از طرف غرب با قدرت 2.5 متر بر ثانیه، (2) باد از طرف غرب با قدرت 5 متر در ثانیه، (3) باد از طرف غرب با قدرت 7.5 متر بر ثانیه و (4) باد از طرف غرب با قدرت 10 متر بر ثانیه. مشخص شد که زمان اقامت با افزایش سرعت باد کاهش یافت (شکل 16).



شکل 16 مقایسه زمان اقامت در خلیج گرگان تحت شرایط مختلف

4. نتيجەگىرى

این مطالعه با هدف گردش جریان عمومی، ساختار ترمو هالین ساختار و زمان اقامت در خلیج گرگان انجامشده است. یک مطالعه مدلسازی عددی انجام شد و خروجیهای مدل بر روی زمینه کوتاهمدت مشاهدات جریانهای سطح و همچنین مجموعهای از درجه حرارت دادههای اندازه گیری شوری مشخص شد. در مرحله اول، یک مدل هیدرودینامیکی برای مطالعه گردش جریان باد از خلیج در یک سناریوی ایده آل مورداستفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که تعامل بین توپوگرافی خلیج گرگان و استرس پایدار باد میتوانند در امتداد حاشیههای کمعمق خلیج ترکیب شوند.علاوه بر این، مشخص بود که تغییرات عمودی ناچیز است.

دوما، مدل هیدرودینامیکی با در نظر گرفتن حرارت و شار نمک از طریق مرزهای باز، سطح آب و رودخانهها، استرس باد، تخلیه رودخانه و نوسان سطح آب برای نشان دادن گردش کلی و ساختار ترموهالین در خلیج گرگان استفاده شد. بر اساس نتایج، نشان داده شد که گردش کلی بسیار شبیه به گردش ناشی از بادهای غالب در تمام فصول بود. بنابراین، میتوان نتیجه گرفت که توپوگرافی و باد غالب دو پارامتر تأثیرگذار در شکل گیری گردش عمومی در خلیج گرگان هستند. نتایج همچنین شوری و درجه حرارت متنوع فصلی را نشان داد؛ در فصول گرم، این ارقام به بالاترین میزان خود رسیدند و در فصول سرد، به حداقل مقدار خود کاهش یافتند.

درنهایت، مدل انتقال همراه با کالیبراسیون هیدرودینامیکی برای تخمین زمان اقامت در خلیج گرگان استفاده می شود. نتایج نشان داد که زمان اقامت دامنه متوسط در خلیج گرگان حدود 95 روز بود. زمان اقامت در خلیج به گونه ای متفاوت است که پتانسیل بالایی برای ائوتروفیکی می توان انتظار داشت.

References

Abdelrhman MA (2005) Simplified modeling of flushing and residence times in 42 embayments in New England, USA, with special attention to Greenwich Bay, Rhode Island. Estuar Coast Shelf Sci 62: 339–351 Arega F, Armstrong S, Badr A (2008) Modeling of residence time in the East Scott Creek Estuary, South Carolina, USA. J Hydro Environ Res 2:99–108

Bastami K, Bagheri H, Haghparast S, Soltani F, Hamzehpoor A, Bastami M (2012) Geochemical and geostatistical assessment of selected heavy metals in the surface sediments of Gorgan Bay, Iran. Mar Pollut Bull 64:2877–2884

Bastami KD, Taheri M, Bagheri H, Foshtomi MY, Ganji S, Haghparast S, Soltani F, Hamzehpoor A, Karimi B (2014) Response of sedimentdwelling annelida community in relation to geochemical parameters in the Gorgan bay, Caspian Sea. Int J Environ Sci Technol 11:2025–2036

Beni A, Lahijani H, Harami R, Arpe K, Leroy S, Marriner N, Berberian M, Andrieu-Ponel V, Djamali M, Mahboubi A, Reimer P (2013) Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. Clim Past 9: 1645–1665

Brooks D, Baca M, Lo Y (1999) Tidal circulation and residence time in a macrotidal estuary: Cobscook Bay, Maine. Estuar Coast Shelf Sci 49:647–665

Cavalcante GH, Kjerfve B, Feary DA (2012) Examination of residence time and its relevance to water quality within a coastal mega-structure: the Palm Jumeirah Lagoon. J Hydrol 468:111–119

Csanady GT (1973) Wind-induced barotropic motions in long lakes. J Phys Oceanogr 3:429–438

Cucco A, Umgiesser G (2006) Modeling the Venice Lagoon residence time. Ecol Model 193:34–51

DHI (2012) MIKE 3 Flow Model user guide and scientific documentation Fourniotis NT, Horsch GM (2015) Baroclinic circulation in the gulf of Patras (Greece). Ocean Eng 104:238–248

Jiang T, Zhong M, Cao Y, Zou L, Lin B, Zhu A (2016) Simulation of water quality under different reservoir regulation scenarios in the Tidal River. Water Resour Manag 30:3593–3607

Kitazawa D, Yang J (2012) Numerical analysis of water circulation and thermohaline structures in the Caspian Sea. J Mar Sci Technol 17: 168–180

Kosarev A (2005) Physico-geographical conditions of the Caspian Sea. In: The handbook of environmental chemistry. Springer

Kurdi M, Eslamkish T, Seyedali M, Ferdows M (2015) Water quality evaluation and trend analysis in the Qareh Sou Basin, Iran. Environ Earth Sci 73:8167–8175

Luff R, Pohlmann T (1996) Calculation of water exchange times in the ICES-boxes with a eulerian dispersion model using a half-life time approach. German J Hydrogr 47:287–299

Mahanty M, Mohanty P, Pattnaik A, Panda U, Pradhan S, Samal R (2016) Hydrodynamics, temperature/salinity variability and residence time in the Chilika lagoon during dry and wet period: measurement and modeling. Cont Shelf Res 125:28–43

Monsen N, Cloern J, Lucas L, Monismith S (2002) A comment on the use of flushing time, residence time and age as transport time scales. Limnol Oceanogr 47:1545–1553

Payandeh A, Hadjizadeh Zaker N, Niksokhan M (2015) Numerical modeling of pollutant load accumulation in the Musa estuary, Persian Gulf. Environ Earth Sci 73:185–196

Rueda FJ, Vidal J (2009) Currents in the upper mixed layer and in unstratified water bodies. Encyclopedia of Inland Waters. Elsevier 568–582

Schoen JH, Stretch DD, Tirok K (2014) Wind-driven circulation patterns in a shallow estuarine lake: St Lucia, South Africa. Estuar Coast Shelf Sci 146:49–59

Thomann RV, Mueller JA (1987) Principles of surface water: quality modeling and control. HarperCollins, New York City

Wan Y, Qui C, Doering P, Ashton M, Sun D, Coley T (2013) Modeling residence time with a threedimensional hydrodynamic model: linkage with chlorophyll a in a subtropical estuary. Ecol Model 268:93–102

Yuan D, Lin B, Falconer R (2007) A modelling study of residence time in a macro-tidal estuary. Estuar Coast Shelf Sci 71:401–411.