



## مدل‌سازی عددی میدان مغناطیسی ناشی از جریان‌های دریایی در تنگه هرمز

محمد رضا خلیل‌آبادی<sup>۱\*</sup> و سید حسین حسن‌تبار بزرودی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۹؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸

\* نویسنده مسئول مکاتبات: rezakhalilabadi@gmail.com

### چکیده

در این مقاله به بررسی عوامل مؤثر در تغییرات میدان مغناطیسی ناشی از جریان در تنگه هرمز پرداخته شده است. در ابتدا مشخصه جریان در منطقه به وسیله مدل عددی MIKE21 شبیه‌سازی شد و سپس با استفاده از مشخصه‌های جریان حاصل از خروجی مدل و روابط محاسباتی، میدان مغناطیسی در منطقه محاسبه شده و نوسانات آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این بررسی در چهار نقطه با عمق‌های متفاوت نشان می‌دهد که حداکثر تغییرات اندازه میدان مغناطیسی برای مؤلفه عمودی بین صفر تا ۱۳۷ نانو تسلا و برای مؤلفه افقی بین صفر تا ۱۵۳ نانو تسلا است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت دو عامل افزایش سرعت سطحی جریان و افزایش حجمی آب زیرسطحی از عوامل اصلی ایجاد نوسانات در میدان مغناطیسی منطقه می‌باشند.

### واژگان کلیدی

میدان مغناطیسی  
مدل‌سازی عددی  
جریان دریایی  
تنگه هرمز

## ۱- مقدمه

دریا- زمین و دریا- هوا کاملاً کوچک است (Palshin et al., 2006). مطالعه بر روی میدان مغناطیسی ناشی از پدیده‌ها و مشخصه‌های دریایی، نیازمند بررسی مداوم و اندازه‌گیری‌های مکرر در پهنه وسیع آبی است؛ اما به دلیل هزینه بالای اندازه‌گیری‌های میدانی بیشتر تحقیقات در منطقه‌ای خاص و به صورت موردی انجام می‌گیرد. امروزه با افزایش سرعت کامپیوترها و گسترش مدل‌های عددی، می‌توان با استفاده از روش مدل‌سازی عددی، مشخصه‌های دریایی را برای گستره وسیعی پیش‌بینی کرد و با استناد به نتایج آن و استفاده از روش‌های محاسباتی و فرمول‌های ریاضی به محاسبه پارامترهای موردنظر پرداخت؛ که در این مقاله نیز، گام را بلندتر برداشته و با استفاده از نتایج مدل‌سازی جریان سعی در محاسبه میدان‌های مغناطیسی ناشی از جریانات دریایی شده است.

جنبه نوآوری این مقاله استفاده از روش‌های محاسباتی و روش مدل‌سازی عددی است؛ که به دلیل محدود بودن تجهیزات اندازه‌گیری و وسیع بودن پهنه دریایی، استفاده از این روش نه تنها از نظر زمانی و هزینه‌ای به صرفه‌تر است؛ بلکه زمینه مطالعاتی گسترده‌ای را در سراسر این پهنه آبی فراهم می‌کند. در این مقاله میدان مغناطیسی با استفاده از نتایج حاصل از مدل عددی جریان محاسبه شده است. در ابتدا با جمع‌آوری داده‌های اولیه تمامی فایل‌ها و اطلاعات توسط زیر برنامه‌های مدل MIKE21 (حسن تبار، ۱۳۹۳)؛ (Manson, 2012) به تیپ‌ها و فرمت‌های قابل خواندن برای مدل تبدیل شده و سپس با وارد کردن آن‌ها به مدول‌های اجرایی، مدل MIKE21 برپا شده است. پس از صحت‌سنجی و اطمینان از صحت اجرای مدل، در طول دوره محاسبات اجرا شده و اطلاعات مورد نیاز موج و جریان از آن استخراج شده است. سپس با وارد کردن این اطلاعات در معادلات محاسباتی میدان مغناطیسی، مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در منطقه محاسبه شد و به بررسی روند تغییرات میدان مغناطیسی و میزان تغییرات آن درازای تغییرات جریان پرداخته شده است و مقدار نوسانات میدان مغناطیسی در منطقه و عوامل مؤثر بر آن تعیین شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

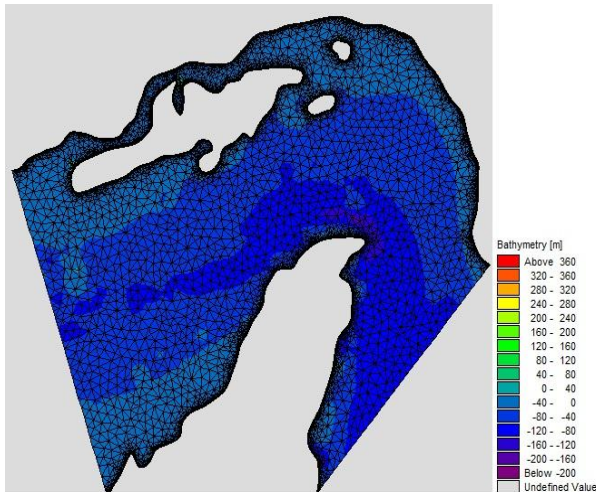
تغییرات در اقیانوس‌ها و دریاهای جهان به‌عنوان یک عامل مهم در تغییرات جهانی محسوب می‌شود. دانشمندان برای توصیف تقریبی رفتارهای اقیانوس و پدیده‌های مرتبط با آن و پدیده‌های متأثر از آن از مدل‌های اقیانوسی استفاده می‌کنند. یک مدل می‌تواند بر مبنای نتایج آزمایشگاهی، تجربیات، معادلات ریاضی و یا ترکیبی از آن‌ها باشد. مدل MIKE 21 یک سیستم مدل‌سازی دوبعدی برای جریانات با سطح آزاد است؛ که قابلیت شبیه‌سازی هیدرولیکی پدیده‌های محیطی در دریاچه‌ها، مدخل رودخانه‌ها، نواحی ساحلی و

تأثیر میدان مغناطیسی زمین بر عوامل طبیعی و همچنین تأثیر عوامل طبیعی بر میدان مغناطیسی امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این میان با توجه به وسعت بسیار زیاد پهنه آبی در سراسر کره زمین، مطالعه بر روی مشخصه‌های دریایی بسیار حائز اهمیت است. آب مایعی رسانا است، با عبور آب دریا از یک میدان مغناطیسی مانند میدان مغناطیسی زمین، میدان الکترومغناطیسی تولید می‌شود؛ که میدان‌های درون دریایی نامیده می‌شوند (Chavr, 1984). از مغناطش خودبه‌خودی مواد در میدان مغناطیسی زمین استفاده‌های زیادی می‌شود. از جمله موارد استفاده از میدان‌های مغناطیسی در دریا می‌توان به ناوبری مغناطیسی، آشکارسازی مغناطیسی شناورهای زیرسطحی، اکتشاف منابع زیر سطح و ارتباط و انتقال اطلاعات در مواقعی که استفاده از روش‌های نوری و صوتی به دلیل وجود مواد معلق در آب دریا و یا به دلیل مسائل امنیتی مشکل و یا ناممکن است، اشاره کرد. همه این عوامل باعث اهمیت اندازه‌گیری، مطالعه و مدل‌سازی میدان مغناطیسی دریا شده است.

کارهای متعددی در زمینه محاسبه میدان مغناطیسی و تأثیر عوامل و مشخصه‌های دریایی بر اندازه میدان انجام شده است که از جمله می‌توان به سمکین و همکاران در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد که به بررسی میدان مغناطیسی متأثر از امواج دریا پرداختند و نتایج آن را ارائه دادند. بر اساس نتایج ارائه‌شده برای یک موج ۱۰۰ متری با دوره تناوب ۸ ثانیه، میدان از حدود ۳ نانوتسلا در سطح دریا تا ۰/۱ نانو تسلا در عمق ۹۵ متری متفاوت است. مؤلفه این میدان در راستای انتشار، جهت را در عمق ۸ متری معکوس می‌نماید و در حدود ۲۴ متری به حداکثر مقدار منفی خود می‌رسد. اثر یک میدان مغناطیسی در یک سطح عمودی داشتن یک دامنه مختلف و سرعت زاویه‌ای متناوب، با چرخش رو به جلو در زیر سطح برگشت و چرخش معکوس رو به بالا در آن عمق است (Semkin & Smagin, 2012). آلن دیچاو و همکارانش طیف‌های مدل میدان‌های الکتریکی و میدان‌های ناشی از امواج درونی اقیانوسی را بررسی کرد که با ترکیب راه‌حل‌های تابع گرین با دو معادله وجهی و با توصیف سینماتیک گرت-مانک میدان درونی به دست آمده‌اند (Warburton & Caminiti, 1964). حالت مغناطیسی مرکزگرا در فرکانس‌های بالاتر از  $\omega$  (که در آن  $f$  فرکانس موضعی کوریولیس است) غالب است و خودالقایی و القاء متقابل در این محدوده فاقد اهمیت است (Chave, Filloux, & uther, 1989). آن‌ها مشخص کردند که میدان الکتریکی مهارشده عمدتاً معیاری برای میدان سرعت موضعی در فرکانس‌های بالا است. میدان الکتریکی عمودی به میدان سرعت افقی حساس است، در حالی‌که میدان افقی در وهله اول انعکاس‌دهنده میدان سرعت عمودی بوده و در سطوح مشترک

### نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۱، شماره ۱، ۱۳۹۴.

سپس توسط زیر برنامه Mesh-Generation در بسته نرم‌افزاری MIKE21-MIKE ZERO شبکه‌بندی و درون‌یابی شد. شبکه مورد نیاز جهت معرفی هندسه و هیدروگرافی مسئله، شامل المان‌های غیرمنظم مثلثی است. شبکه‌ی نهایی مورد استفاده در مدل شامل ۴۹۸۱۹ المان و ۲۷۹۱۵ گره است. اندازه شبکه‌ها و تغییرات عمق مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: شبکه‌بندی مدل طراحی شده.

یکی از روش‌های شناخت نوع رفتار جزر و مد در هر مکان، استفاده از مشخصات پارامترهای اصلی هارمونیک جزر و مد در آن ناحیه است. این پارامترها را می‌توان از مراجعی نظیر جداول جزر و مد تهیه کرد. در این مقاله، پتانسیل جزر و مد، دامنه و فازهای ۴ مؤلفه اصلی O1, K1, S2, M2 مربوط سال ۲۰۱۴، از سازمان بنادر و کشتیرانی تهیه شده و به مدل اعمال شده است؛ که در جدول ۱ مقادیر این پارامترها مشاهده می‌شود. در قسمت معرفی مرزهای باز نیز از فایل جزر و مد مربوط به دریای عمان برای مرز شرقی استفاده شده است و تمام این فایل از فضای مجازی تهیه شده و به صورت dfs1 فرمتی قابل خواندن توسط مدل MIKE21 تبدیل شده است.

جدول ۱: مشخصات ۴ مؤلفه اصلی جزر و مد در منطقه مورد مطالعه.

مؤلفه	M2	S2	K1	O1
دامنه	۱.۱	۰.۴۱	۰.۳۵	۰.۲۳
دوره تناوب	۱۲.۴۲	۱۲	۲۳.۹۳	۲۵.۸۱
فاز	۳۰.۲	۳۴۱	۷۰	۵۸

در این تحقیق از داده‌های باد بویه‌های سازمان بنادر و کشتیرانی موجود در منطقه با گام زمانی ۶ ساعت استفاده شده است. داده‌های مربوط به سال ۲۰۱۴ به صورت جهت و سرعت باد بوده و با استفاده از زیر برنامه MikeZero به فرمت متغیر در زمان و ثابت در مکان ساخته و به مدل اعمال شده است. در شکل ۳ گلیاد مربوط

دریا را دارا است. رقم‌های پسوند ۲۱ به ترتیب از چپ به راست نمایانگر کاربری این سیستم برای جریان‌های دوبعدی، یک‌لایه است. این مدل ریاضی از مدول‌های متعددی جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید؛ که در این پروژه از دو مدول HD و SW استفاده شده است. مدول هیدرودینامیکی (HD)، مدول پایه‌ای برای مدل‌سازی جریان است؛ که مبانی هیدرودینامیکی را برای انجام محاسبات ارائه می‌دهد و می‌تواند تغییرات تراز آب را در دریاچه‌ها، مناطق ساحلی و مدخل رودخانه‌ها شبیه‌سازی کند. از عوامل مؤثر در این تغییرات می‌توان به تنش برشی کف، تنش برشی باد، گرادیان‌های فشار هوا، نیروی کوریولیس، پراکنش تکانه، منابع آبی ورودی به منطقه‌ای که شبیه‌سازی انجام می‌شود و همچنین تبخیر اشاره کرد.

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تنگه هرمز یکی از استراتژیکی‌ترین و حیاتی‌ترین تنگه‌های بین‌المللی و یکی از مهم‌ترین آبراه‌های عبوری جهان محسوب می‌گردد. این تنگه، باریکه دریایی خمیده شکلی است که فلات ایران را از شبه‌جزیره عربستان جدا می‌کند و آب‌های خلیج فارس را به دریای عمان و اقیانوس هند پیوند می‌دهد. در ساحل شمالی تنگه، کشور ایران و در جنوب آن کشور امارات متحده عربی و عمان قرار دارند. کف دریا در تنگه هرمز شیب نسبتاً تندی در جهت شمالی-جنوبی دارد. محدوده تنگه هرمز عبارت از فضای میان دو خط فرضی است که اولین خط بین دو نقطه "راس‌الدبه" در کشور عمان تا "راس‌الکوه" در ایران است. دومین خط بین "راس‌الشام" در نزدیک امارات عربی تا جزیره هنگام در ورودی شمالی خلیج فارس است (پاخیره زن، ۱۳۹۲). شکل ۱، حوزه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (PMO, 2015).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه.

### ۲-۲- آماده‌سازی مدل

در این پژوهش ابتدا نقشه هیدروگرافی مورداستفاده با دقت ۳۰ ثانیه از دیتابیس جبکو (Meirion & Former, 2014) تهیه گردید و

در مرزهای دریایی به صورت یک فایل متغیر با مکان و ثابت در طول مرز و در قالب سطوح مشخص شده به مدل اعمال شده است. فرمت اطلاعات مرزی به صورت فایل پارامترهای P و Q که معرف مؤلفه های حجمه جریان در تاریخ اجرای شبیه سازی است.

#### ۲-۴- محاسبه میدان مغناطیسی

برای محاسبه ی مؤلفه های میدان مغناطیسی مورد نظر، در ابتدا باید پارامترهای مؤثر جریان در فرمول های محاسباتی آورده شود. در این تحقیق، به دلیل دوبره بودن مدل سازی، پارامتر مؤثر جریان، مؤلفه P حجمه آب در نظر گرفته شده است. این مشخصه نشان دهنده سرعت و حجمه ی آب ورودی در منطقه است و به دلیل دارا بودن مؤلفه سطحی در معادلات از آن استفاده شده است. چگالی جریان به صورت فرمول ۱ تعریف می شود (Frasere, 1966; Buffett, 2010).

$$J = \delta(V \times B) \quad (1)$$

که در آن J چگالی جریان، V سرعت جریان و  $\delta$  رسانندگی آب است.

با در نظر گرفتن زاویه عمود بین میدان و سرعت و اضافه کردن تأثیرات سرعت موج (C) بر رابطه بالا می توان آن را به صورت فرمول ۲ گسترش داد. رابطه (۲) را نیز می توان به صورت رابطه (۳) نیز نوشت.

$$H = \delta \frac{V}{C} B_e w \frac{h_w \text{Cosh}kz}{2 \text{Sinh}kh} \text{sink}x \frac{xl}{2\pi(x^2 + z^2)(l^2 + x^2 + z^2)} \quad (2)$$

$$H = \delta \frac{V}{C} \frac{h_w \mu_0 H l w}{4\pi \text{Sinh}kh} \int_{x=-1}^{+\infty} \int_{z=0}^h \frac{x \text{Sink}x \text{Cosh}kz}{(x^2 + z^2)(l^2 + x^2 + z^2)} dx dz \quad (3)$$

همان طور که گفته شد، در این مقاله برای محاسبه میدان مغناطیسی از داده های طیفی به دست آمده از اجرای مدل MIKE21، استفاده می شود. لازم به ذکر است که برای محاسبه میدان مغناطیسی با استفاده از این نتایج باید از شاخص های خروجی مدل استفاده شود، بنابراین در معادلات به جای T از TP و به جای hw از hs استفاده می شود. پس می توان فرمول ها را با توجه به پارامتر شارش و شاخص های خروجی مدل به صورت روابط ۷ (مؤلفه عمودی میدان مغناطیسی) و ۸ (مؤلفه افقی میدان مغناطیسی) نوشت:

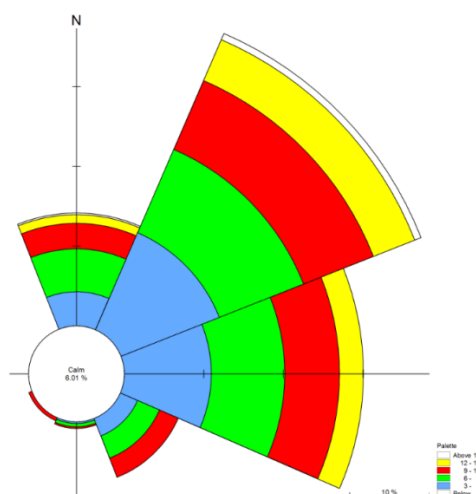
$$H_v = \frac{\delta \rho P H 10^{-7} h_s}{\text{Cos} \theta} \cdot \sin wt \quad (7)$$

$$H_h = \frac{\delta \rho P H 10^{-7} h_s}{\text{Cos} \theta} \cdot \cos wt \quad (8)$$

#### ۳- بررسی نتایج

پس از بررسی های اولیه و صحت سنجی و کسب اطمینان از این که

داده های باد مشاهده می شود؛ که توسط زیر برنامه بسته نرم افزاری Mike21 ساخته شده است.



شکل ۳: گلباد مربوط به داده های باد در منطقه.

#### ۲-۳- شرایط مرزی مدول HD

در این مدل دو مرز آبی در غرب و شرق تنگه هرمز و دو محدوده خشکی در شمال و جنوب تنگه قرار دارد. البته جزایر هرمز، لارک و قشم نیز به عنوان مرز خشکی در نظر گرفته شده اند. اطلاعات موجود

در این رابطه  $B_e = \mu_0 H_e$  که  $\mu_0$  گذردهی مغناطیسی است و مقدار آن  $4\pi \times 10^{-7}$  است.

با حل انتگرال بالا می توان معادله را به صورت زیر بیان کرد:

$$H = \delta \frac{V}{C} H_e 10^{-7} h_w l f \quad (4)$$

با اضافه کردن حجمه (V) به فرمول بالا فرمول ۵ به دست می آید:

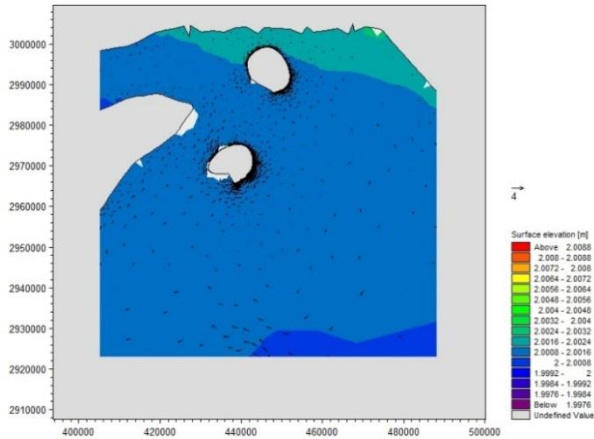
$$H = \frac{\delta P H_e 10^{-7} h_w}{V \text{Cos} \theta} \quad (5)$$

حال با در نظر گرفتن واحد جرم می توان رابطه ۵ را به صورت رابطه ۶ خلاصه کرد:

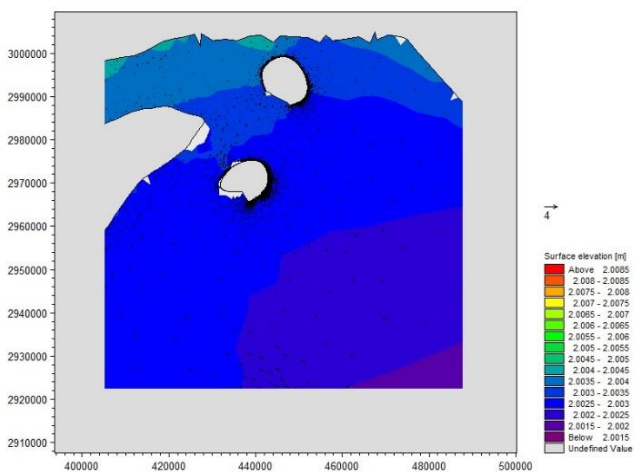
$$H = \frac{\delta \rho P H 10^{-7} h_w}{\text{Cos} \theta} \quad (6)$$

$H_e$  معرف میدان مغناطیسی زمین و مقدار آن  $4.4 * 10^4 \gamma$ ، چگالی آب،  $\delta$  رسانندگی آب که مقدار آن  $4 \Omega^{-1} m^{-1}$  بوده است.  $P = V * v \text{Cos} \theta$  معرف مؤلفه حجمه جریان ( $\frac{m^3}{s/m}$ ) و  $\theta$  جهت جریان است.

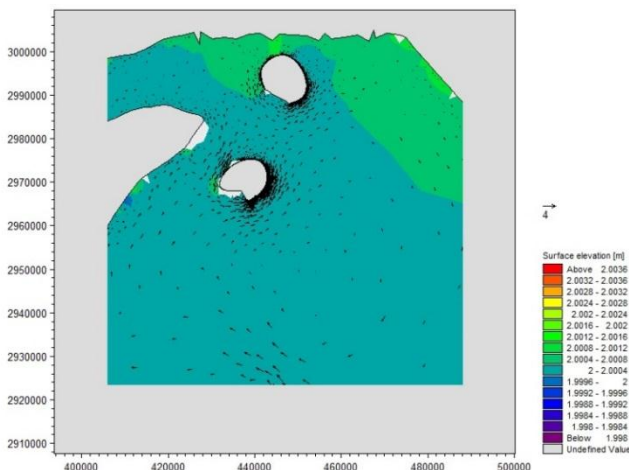
نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۱، شماره ۱، ۱۳۹۴.



شکل ۴: سطح آب در زمان ۲۰۱۴/۶/۷ ساعت ۱۲:۰۰



شکل ۵: سطح آب در زمان ۲۰۱۴/۶/۲۰ ساعت ۱۸:۰۰



شکل ۶: سطح آب در زمان ۲۰۱۴/۷/۰۱ ساعت ۰۶:۰۰

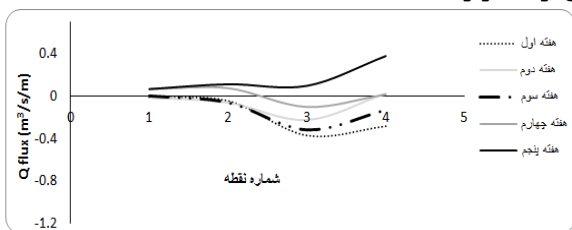
مدل به درستی نصب و اجرا شده است، خروجی مدل از تاریخ ۲۰۱۴/۶/۷ تا تاریخ ۲۰۱۴/۷/۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی دقیق‌تر میدان مغناطیسی و تأثیر جریان‌ها بر روی آن، چهار نقطه با عمق‌های متفاوت در محدوده تنگه هرمز مشخص گردید؛ که موقعیت جغرافیایی این نقاط در جدول ۲ آورده شده است. به دلیل اینکه تعداد داده‌ها زیاد است و امکان مقایسه‌ی آن‌ها در یک نمودار و جدول نیست. بنابراین طول زمان اجرای مدل به تعداد ۵ هفته تقسیم شده است و میانگین داده‌های مشخصه برای هر دوره مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲: موقعیت جغرافیایی نقاط مورد مطالعه.

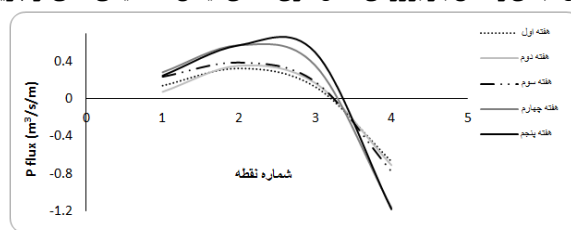
ردیف	شماره نقطه	عمق (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱	۱۲	۵۶.۶۷	۲۷.۰۷
۲	۲	۳۸	۵۶.۶۵	۲۶.۹۱
۳	۳	۶۰	۵۶.۶۲	۲۶.۶۹
۴	۴	۱۱۸	۵۶.۵۹	۲۶.۴۸

با بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل جریان، در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که در ابتدا آب‌های سطح دریای عمان به سمت خلیج فارس حرکت می‌کنند و به‌طور میانگین سرعت جریان بین ۰/۱ تا ۰/۲ متر بر ثانیه است، این حرکت ادامه دارد ولی مقدار آن متفاوت است. شکل‌های ۴ تا ۶ این تغییرات را به‌صورت موردی نشان داده است. مشخصات آماری حاصل از اجرای مدل HD برای چهار نقطه در جدول ۳ آمده است.

طبق جدول ۳ بیشترین اختلاف بیشینه و کمینه برای پارامتر ارتفاع از سطح، مربوط به نقطه اول و برای مؤلفه P و Q شارش، مربوط به نقطه چهارم است. همچنین مقدار متوسط مؤلفه‌های P و Q شارش به ترتیب در نقطه دوم و چهارم نسبت به بقیه نقاط بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت که با افزایش عمق، مؤلفه‌ی P شارش به‌طور میانگین کاهش خواهد یافت. در شکل‌های ۷ و ۸ نمودار تغییرات میانگین هفتگی مؤلفه‌های شارش در طول چهار نقطه به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۸: نمودار تغییرات میانگین مؤلفه Q شارش در طول چهار نقطه.



شکل ۷: نمودار تغییرات میانگین مؤلفه P شارش در طول چهار نقطه.

جدول ۳: نتایج آماری حاصل از اجرای مدول HD در چهار نقطه.

Q flux ( $m^3/s/m$ )	P flux ( $m^3/s/m$ )	Surface Elevation (m)	
۰.۰۲	۰.۱۶	۱.۹۲	مقدار متوسط
۰.۰۸	۰.۲۹	۲.۰۲	مقدار بیشینه
-۰.۰۶	-۰.۱۴	۱.۷۵	مقدار کمینه
۰.۰۰	۰.۴۴	۱.۹۳	مقدار متوسط
۰.۱۳	۰.۶۵	۲.۰۰	مقدار بیشینه
-۰.۱۲	۰.۲۱	۱.۷۵	مقدار کمینه
-۰.۱۹	۰.۲۵	۱.۹۳	مقدار متوسط
۰.۰۶	۰.۵۹	۲.۰۰	مقدار بیشینه
-۰.۴۵	-۰.۰۷	۱.۷۷	مقدار کمینه
۰.۰۴	-۰.۸۴	۱.۹۳	مقدار متوسط
۰.۵۲	-۰.۰۱	۲.۰۰	مقدار بیشینه
-۰.۶۵	-۱.۴۹	۱.۷۷	مقدار کمینه

ترتیب مربوط به نقطه دوم و چهارم است. حداکثر تغییرات اندازه میدان مغناطیسی برای مؤلفه عمودی بین صفر تا ۱۳۷ نانو تسلا و برای مؤلفه افقی بین صفر تا ۱۵۳ نانو تسلا است. شکل‌های ۹ و ۱۰ نمودار تغییرات میانگین هفتگی مؤلفه‌های اندازه میدان مغناطیسی در طول چهار نقطه را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات مؤلفه‌های اندازه میدان مغناطیسی مربوط به پنج هفته، در طول نقاط مورد بررسی مشابه هستند و بیشترین نوسانات مربوط به هفته سوم است. این کاهش ناگهانی در نقطه سوم به دلیل کاهش ناگهانی سرعت سطحی است، که با افزایش عمق و بالا رفتن حجم آب زیرسطحی، این مقدار افزایش می‌یابد. شکل‌های ۱۱ تا ۱۲ نمونه‌ای از روند تغییرات مؤلفه‌های افقی و عمودی میدان مغناطیسی در منطقه را به صورت موردی نشان می‌دهد.

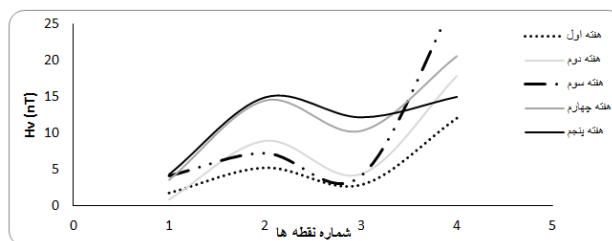
با توجه به نمودار می‌توان گفت الگوی تغییرات مؤلفه P شارش در طول چهار نقطه، مربوط به پنج هفته با یکدیگر مشابه است. الگوی افزایشی از نقطه اول به نقطه سوم بوده، سپس این مقدار کاهش می‌یابد، اما مقدار تغییرات در طول هفته‌ها متفاوت است. کاهش سرعت جریان سطحی در جهت مؤلفه شارش و افزایش حجم آب ورودی باعث ایجاد روند افزایشی و سپس کاهشی شده است.

### ۳-۱- نتایج میدان مغناطیسی

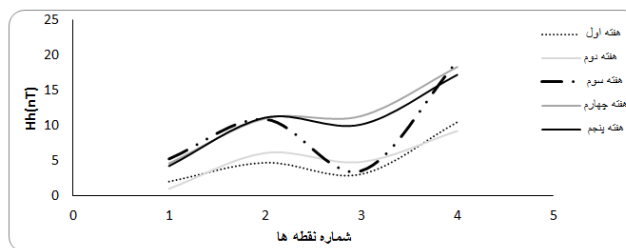
در این قسمت به محاسبه میدان مغناطیسی ناشی از پارامترهای جریان پرداخته شده است. با استفاده از روابط (۷) و (۸)، مؤلفه‌های میدان مغناطیسی محاسبه گردید. در جدول ۴ مقادیر محاسبه شده میدان مغناطیسی، مربوط به چهار نقطه در طول دوره آورده شده است. طبق داده‌های جدول بیشترین اختلاف بیشینه و کمینه برای مؤلفه عمودی و افقی اندازه میدان مغناطیسی در چهار نقطه به

جدول ۴: مشخصات آماری مؤلفه‌های اندازه میدان مغناطیسی.

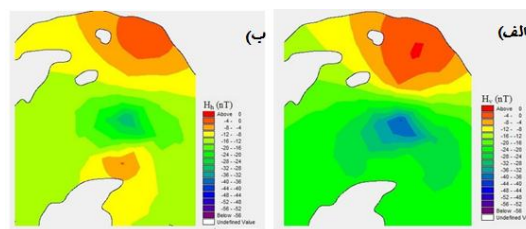
$H_H$ (nT)	$H_V$ (nT)		
۴.۱۷	۳.۱۲	مقدار متوسط	نقطه شماره یک
۱۰۶.۱۲	۵۱.۴۹	مقدار بیشینه	
۰.۰۱	۰.۰۰	مقدار کمینه	
۹.۴۸	۱۱.۸۸	مقدار متوسط	نقطه شماره دو
۹۱.۵۷	۱۳۷.۴۵	مقدار بیشینه	
۰.۰۰	۰.۰۶	مقدار کمینه	
۶.۵۴	۶.۷۳	مقدار متوسط	نقطه شماره سه
۹۲.۷۰	۱۰۹.۷۶	مقدار بیشینه	
۰.۰۰	۰.۰۲	مقدار کمینه	
۱۵.۸۳	۱۹.۲	مقدار متوسط	نقطه شماره چهار
۱۵۳.۶	۱۱۱.۹۵	مقدار بیشینه	
۰.۰۳	۰.۰۲	مقدار کمینه	



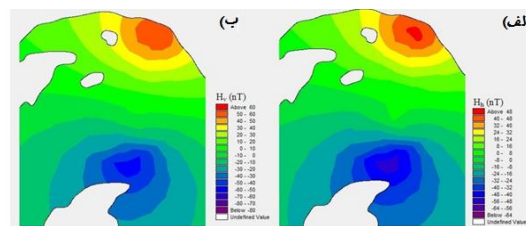
شکل ۹: نمودار تغییرات مؤلفه عمودی اندازه میدان مغناطیسی.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات مؤلفه افقی اندازه میدان مغناطیسی.



شکل ۱۱: میدان مغناطیسی در منطقه در زمان ۲۰۱۴/۶/۱۷ (الف) مؤلفه عمودی (ب) افقی.



شکل ۱۲: میدان مغناطیسی در منطقه در زمان ۲۰۱۴/۷/۱ (الف) مؤلفه عمودی (ب) افقی.

مغناطیسی را بر اساس این محدوده نوسان تعیین کرد؛ به طوری که نوسانات منطقه موجب اختلال در عملکرد و انحراف تجهیزات از مسیر اصلی هدف نشود.

#### ۵- منابع

پاخیره زن، م.، ۱۳۹۲، مدل سازی عددی جریان های شمال غربی دریای عمان و تأثیر آن بر طبقه بندی سواحل شرق هرمزگان به روش شیپارد با استفاده از تصاویر ماهواره ای، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان.

حسن تبار، ح.، ۱۳۹۳، مقایسه مدل های عددی MIKE21 و SWAN در تحلیل امواج ناشی از باد در خزر جنوبی، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان.

Buffett, B., 2010, Tidal dissipation and the strength of the Earth's internal magnetic field. *Nature*, 468 (7326), 952-954.

Chave, D., Filloux, J. and Uther, D., 1989, Electromagnetic induction by ocean current, BEMPEX. *Phys. Earth Planet. Inter*, 53, 350-359.

Chavr, D., 1984, On the Electromagnetic Fields Induced By Oceanic Internal Wave. (519-528, Ed.), *Journal of GEOPHYSICAL research*, 89.

Frasere, D., 1966, The Magnetic Field of Ocean. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 507-517.

Manson, G.K., 2012, Configuration of Mike21 for the Simulation of Nearshore Storm Waves, Currents and Sediment Transport, Brackley Bight, Prince Edward Island. *Geological Survey of Canada. Geological Survey of Canada*.

Meirion, T.J. and Former, C., 2014, GEBCO. Retrieved 2013, from <http://www.gebco.net>.

Palshin, N., Nozdrina, A., and Matyushenko, V., 2006, Electromagnetic method for monitoring currents in the Gorlo of the White Sea. *Oceanology*, 46 (3), 325-334.

PMO, 2015, [www.pmo.ir](http://www.pmo.ir). Retrieved from [www.Waveforcast.pmo.ir](http://www.Waveforcast.pmo.ir).

Semkin, S. and Smagin, V., 2012, The effect of self-induction on magnetic field generated by sea surface waves. *Atmospheric and Oceanic Physics*, 48 (2), 207-213.

Warburton, F. and Caminiti, R., 1964, The Induced Magnetic Field of Sea Waves. *Journal of Geophysical Reserch*, 69 (20), 4311-4318.

همان طور که در شکل ها نیز مشهود است اندازه میدان مغناطیسی به طور میانگین با افزایش عمق افزایش می یابد. افزایش سرعت سطحی و حجمه آب ورودی بالا دو عامل افزایش نوسانات میدان مغناطیسی در منطقه می باشند. با نزدیک شدن به مناطق پرمعمق در دهانه تنگه هرمز میزان نوسانات اندازه میدان مغناطیسی افزایش می یابد.

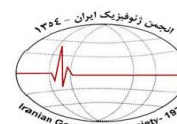
#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه میدان مغناطیسی با استفاده از معادلات مشخصه که پارامترهای شارش جریان در آن تأثیر گذاشته، محاسبه شد. در یک نتیجه گیری اولیه می توان گفت میدان مغناطیسی در درجه اول معیاری از حرکت و جابجایی محسوب می شود. نتایج حاصله در چهار نقطه با عمق های متفاوت و در طول پنج هفته نشان داد که بیشترین مقدار نوسانات میدان در نقطه ی سوم و هفته سوم اتفاق افتاده است و متأثر از الگوی مؤلفه های شارش و موج است. در بررسی نمودارهای مربوط به مؤلفه های شارش، در طی نقاط مختلف، الگوی یکسانی در طول دوره مطالعه مشاهده می شود. با مقایسه الگوی تغییرات شارش و اندازه میدان مغناطیسی مشاهده شد که تغییر جهت الگوی مؤلفه Q شارش با الگوی تغییرات میدان مغناطیسی همخوانی دارد اما تغییرات مؤلفه P شارش با افزایش عمق عکس الگوی تغییرات اندازه میدان مغناطیسی بوده است. با توجه به این که با افزایش عمق سرعت جریان می یابد، اندازه میدان مغناطیسی نیز کاهش خواهد یافت، اما با افزایش حجمه آب ورودی در زیر سطح، اندازه میدان مغناطیسی افزایش می یابد. بنابراین می توان گفت اثر یک میدان مغناطیسی در یک سطح عمودی داشتن یک دامنه مختلف و سرعت زاویه ای متناوب، با چرخش رو به جلو در زیر سطح برگشت و چرخش معکوس رو به بالا در آن عمق است.

نوسانات میدان مغناطیسی در کاربری عملیاتی آن تأثیر می گذارد، مشخص کردن نقاطی به جهت اختفا، محاسبه میزان انحراف از مسیر اصلی با محاسبه محدوده نوسانات میدان و عواملی همانند این ها، نیازمند شناسایی عوامل طبیعی و نوسانات میدان مغناطیسی متأثر از آن در منطقه است. با توجه به نتایجی که در بخش قبل بیان شد، می توان دو عامل افزایش سرعت سطحی جریان و افزایش حجمه آب زیرسطحی، را از عوامل اصلی افزایش تغییرات میدان مغناطیسی در منطقه تنگه هرمز دانست.

با توجه به مسائل ارائه شده در این تحقیق، حداکثر تغییرات مربوط به مؤلفه عمودی اندازه میدان مغناطیسی در منطقه بین صفر تا ۱۳۷ نانو تسلا و برای مؤلفه افقی آن بین صفر تا ۱۵۳ نانو تسلا محاسبه شده است. بنابراین می توان میزان حساسیت سنسور





## Numerical Modeling of Magnetic Field Due to Marine Currents in the Strait of Hormuz

Mohammad Reza Khalilabadi<sup>1\*</sup> and Seyed Hosein Hassantabar Bozrodi<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Malek-Ashtar University of Technology, Shiraz, Iran

2- M.Sc., Malek-Ashtar University of Technology, Shiraz, Iran

Received: 11 October 2015; Accepted: 18 January 2016

Corresponding author: rezakhalilabadi@gmail.com

### Keywords

Magnetic Field  
Numerical Modeling  
Marine Currents  
Strait of Hormuz

### Extended Abstract

#### Summary

The Strait of Hormuz is a narrow waterway, which restricts water exchange between the Persian Gulf with the Indian Ocean surface water and outflow of salt Persian Gulf. This water exchange leads to magnetic anomaly, which affects the

measured geo-magnetic field.

In this research work, first, the marine currents in the Strait of Hormuz have been simulated using MIKE21 numerical model. Then, using extracted currents and appropriate relations the induced magnetic field due to marine currents has been calculated. The results show the space and temporal variability of current induced magnetic field in the study region. According to the study results, the maximum amount of vertical component of magnetic field in the study region varies between 0 to 137 nT, while this amount for horizontal component of magnetic field varies between 0 to 153 nT.

### Introduction

Today's applications of marine geo-magnetic field have been increased in several fields such as marine navigation, subsurface detection, etc. These applications cause to focus on the natural factors, which have direct impacts on marine geo-magnetic field. Among these natural factors, ocean or marine currents play a specific role on electromagnetic induction, and thus, influence ocean induced magnetic field, because of high electrical conductivity of marine waters and the dynamic impact of ocean currents.

In the Iranian water, the Strait of Hormuz plays an important role on the magnetic field due to marine currents because of its complex regime of currents and its specific location. Therefore, this region has been selected for this study.

### Methodology and Approaches

In this research, the bathymetry map of study region has been obtained from GEBCO Database. Then, grid generation and interpolation of these data have been carried out using the mesh generation subroutine of MIKE21-MIKE ZERO software package. This mesh has been produced for introducing of geometry and bathymetry problems and includes irregular triangle elements. The final mesh, which has been used in this model, includes 49819 elements and 27915 nodes.

In the produced model of the region, there are two open water boundaries at west and east of the Strait of Hormuz and two dry boundaries at south and north of the Strait. The required information for these boundaries has been forced to the model in the form of a data file, in which the data varies with time and space along the boundaries. The boundaries information is in format of P and Q parameters, which introduce the eastward and northward components of flow. After implementation of the model, for calculating the components of current induced magnetic field we use the model output data of flow and related formulation between components of magnetic field and components of flow.

### Results and Conclusions

According to the study results, the maximum amount of vertical component of magnetic field in the study region varies between 0 to 137 nT, while this amount for horizontal component of magnetic field varies between 0 to 153 nT. In general, we can conclude that two factors of surface currents velocity and subsurface volume flow rate are the major factors influencing the magnetic field oscillations in the study region.