



بررسی تأثیرات مشخصه موج بر نوسانات میدان مغناطیسی در منطقه تنگه هرمز

محمد رضا خلیل آبادی^۱ و سید حسین حسن تبار بزرودی^{۲*}

۱- پژوهشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹

* نویسنده مسئول مکاتبات: Shh.tabar@yahoo.com

واژگان کلیدی

چکیده

میدان مغناطیسی
مدل سازی عددی
امواج دریا
تنگه هرمز

القای مغناطیسی ناشی از مشخصه های دریایی، موضوعی است که مدتی است مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. از آنجا که آب یک مایع رسانا است؛ حرکت آن در میدان مغناطیسی زمین یک نیروی مغناطیسی انتقالی در هر واحد بار تولید می کند؛ که بر میدان مغناطیسی منطقه تأثیر می گذارد. به همین جهت شناخت عوامل مؤثر بر نوسانات میدان های مغناطیسی منطقه و تأثیر آن ها بر کاربری های دریایی، ناوبری و همچنین کاربردهای نظامی اهمیت بسیاری دارد. در این مقاله تغییرات میدان مغناطیسی ناشی از امواج در تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از پارامترهای موج حاصل از اجرای مدل عددی MIKE21 و فرمول های محاسباتی، میدان مغناطیسی ناشی از امواج محاسبه شده و نوسانات و الگوی تغییرات آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر تغییرات اندازه میدان مغناطیسی بین صفر تا ۰/۲ نانو تسلا بوده و مقدار آن در سواحل بندرعباس و حاشیه ساحلی ایران در منطقه مورد مطالعه کمتر از سواحل جزایر قشم، هرمز و لارک است. به طور کلی می توان نوسانات میدان مغناطیسی ناشی از امواج را کاملاً متأثر از تغییرات ارتفاع، جهت و دوره تناوب موج دانست. به طوری که روند و الگوی تغییرات آن ها (ارتفاع موج، دوره تناوب موج و میدان مغناطیسی ناشی از امواج) در منطقه با یکدیگر تقریباً مشابه است؛ بنابراین به دلیل پایین بودن ارتفاع موج و دوره تناوب در منطقه تنگه هرمز، میدان مغناطیسی متأثر از موج نیز بسیار ناچیز بوده و تأثیرات آن بر نوسانات میدان مغناطیسی منطقه چشمگیر نیست. به همین دلیل می توان در کاربری های دریایی همچون تعیین محدوده نوسانات میدان مغناطیسی به جهت تنظیم سنسورهای اژدرها و جلوگیری از انحراف اژدر در برخورد به هدف اصلی از اثرات امواج و میدان مغناطیسی ناشی از آن بر نوسانات میدان مغناطیسی صرف نظر کرد.

۱- مقدمه

میدان مغناطیسی در دریا، علاوه بر منابعی همچون هسته زمین و بادهای خورشیدی، از حرکات دریایی نیز تأثیر می‌پذیرد و اگر این حرکات وجود نداشته باشند، تأثیرات آن‌ها بر میدان نیز صفر خواهد بود (Chave, 1984)؛ بنابراین بررسی میدان مغناطیسی ناشی از این امواج و محدوده تغییرات آن موضوعی است که امروزه بسیار به آن توجه می‌شود.

استفاده از میدان مغناطیسی در کشف و شناسایی تجهیزات زیر آب و مخابرات دریایی و تنظیم سنسورهای مغناطیسی اژدرها کاربرد دارد. علاوه بر آن تأثیر نوسانات میدان مغناطیسی بر روی ناوبری زیرسطحی و تجهیزات نظامی، اهمیت مطالعه بر روی نوسانات میدان مغناطیسی را ضروری می‌کند.

همان‌طور که گفته شد، عوامل بسیاری بر میدان مغناطیسی در منطقه تأثیر می‌گذارند و محدوده نوسانات آن را تغییر می‌دهند. این منابع شامل منابعی همچون نوبه‌ها و مشخصه‌های دیگر دریایی مثل موج و جریان می‌باشند که هر یک با ایجاد ریز میدان‌ها بر روی میدان مغناطیسی منطقه تأثیر گذاشته و موجب تغییر در محدوده نوسانی میدان مغناطیسی در آن منطقه می‌شوند.

تعیین میدان مغناطیسی ناشی از موج، مستلزم حذف اثرات منابع دیگر بر میدان مغناطیسی است تا بتوان تغییرات میدان را در داده باقیمانده به موج نسبت داد. این کار (حذف تأثیرات منابع دیگر) تنها از راه محاسبات عددی و فرمول‌های ریاضی انجام‌شدنی است که از طریق آن می‌توان تغییرات میدان را تنها به پارامترهای امواج مرتبط کرد. در این راستا در دهه‌های اخیر مطالعه بر روی میدان‌های مغناطیسی ناشی از این عوامل (عوامل مؤثر بر میدان مغناطیسی در منطقه) و تأثیر آن‌ها بر میدان مغناطیسی منطقه بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در بررسی سوابق باید گفت که عمده تحقیقات با محوریت این موضوع (محاسبه میدان مغناطیسی تولیدی توسط مشخصه دریایی به وسیله فرمول‌های ریاضی و بررسی تأثیرات آن بر میدان مغناطیسی منطقه) توسط مراکز و سازمان‌های نظامی در دست انجام و بررسی است؛ که از همین رو از نشر این تحقیقات و نتایج آن در بیشتر موارد خودداری می‌شود؛ اما به طور کلی می‌توان گفت کشورهای مثل آمریکا و روسیه در این زمینه پیشگام بوده‌اند؛ که تحقیقاتی در زمینه محاسبه میدان مغناطیسی ناشی از مشخصه موج نیز ارائه دادند که در اینجا به طور خلاصه به چند نمونه از این مطالعات اشاره خواهد شد.

آلن دی چاو و همکاران در سال ۱۹۸۹ طیف‌های مدل میدان‌های الکتریکی و میدان‌های ناشی از امواج درونی اقیانوسی را بررسی کردند که با ترکیب راه‌حل‌های تابع گرین با دو معادله وجهی و با توصیف سینماتیک گرت-مانک میدان درونی به دست آمد. حالت مغناطیسی مرکزگرا در فرکانس‌های بالاتر از $3f$ که در آن f فرکانس

موضعی کوریولیس است، غالب است و خودالقایی و القاء متقابل در این محدوده فاقد اهمیت است (Chave et al., 1989). همچنین سمکین و همکاران در سال ۲۰۱۲ تولید میدان مغناطیسی توسط موج‌های سطحی در دریاهایی با عمق متناهی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که عمق دریا، دوره تناوب و جهت انتشار موج بر اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از امواج تأثیر می‌گذارند. بر اساس نتایج ارائه شده برای یک موج ۱۰۰ متری با دوره تناوب ۸ ثانیه، میدان مغناطیسی از حدود ۳ نانو تسلا در سطح تا ۰/۱ نانو تسلا در عمق ۹۵ متری متفاوت است (Semkin and Smagin, 2012). خلیل آبادی و حسن تبار نیز در سال ۱۳۹۴ به بررسی عوامل مؤثر بر میدان مغناطیسی ناشی از جریان پرداختند. در بررسی میدان مغناطیسی به صورت دو مؤلفه عمودی و افقی نشان دادند که دو عامل افزایش سرعت سطحی جریان و افزایش حجمه آب زیرسطحی از عوامل اصلی ایجاد نوسانات در میدان مغناطیسی منطقه می‌باشند (خلیل آبادی و حسن تبار، ۱۳۹۴).

همان‌طور که گفته شد به جهت تفکیک تأثیرات منابع مختلف بر میدان مغناطیسی از امواج دریا از فرمول محاسباتی استفاده می‌شود. روشی که این مقاله با تکیه بر آن به محاسبه میدان مغناطیسی ناشی از موج و بررسی محدوده تغییرات آن می‌پردازد و درصدد پاسخ به این سؤال است که آیا تغییرات مشخصه موج بر نوسانات میدان مغناطیسی تأثیر می‌گذارد یا خیر؟

برخلاف تحقیقات پیشین که در آن‌ها موج به صورت ثابت و میدان به صورت نقطه‌ای در منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته بود، این پژوهش ارتفاع موج را به صورت متغیر و در کل منطقه تنگه هرمز در نظر گرفته است. جنبه نوآوری این مقاله استفاده از روش‌های محاسباتی و روش مدل‌سازی عددی است؛ که با استفاده از این روش و مدل‌سازی عددی، امکان بررسی مؤلفه میدان مغناطیسی در منطقه وسیع فراهم آمده است. به طوری که ترکیب فرمول‌های محاسباتی میدان مغناطیسی و نتایج مدل‌سازی فرصتی را فراهم آورد تا منطقه وسیعی مورد مطالعه قرار گیرد.

بدین منظور با استفاده از مدل MIKE21، موج در منطقه تنگه هرمز شبیه‌سازی شده و با استناد به نتایج آن و استفاده از روش‌های محاسباتی و فرمول‌های ریاضی به محاسبه پارامترهای مورد نظر میدان مغناطیسی ناشی از امواج می‌پردازد. در این مقاله پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه و برپایی مدل و پس از صحت‌سنجی، مدل در طول دوره محاسبات اجرا شده و اطلاعات مورد نیاز موج از آن خارج می‌شود. سپس با وارد کردن این اطلاعات در معادلات محاسباتی میدان مغناطیسی، میدان مغناطیسی در منطقه محاسبه خواهد شد. انتظار می‌رود روند تغییرات میدان مغناطیسی در منطقه با روند تغییرات ارتفاع موج همخوانی داشته باشد؛ بنابراین به جهت بررسی این موضوع پس از محاسبه میدان به

تولیدکننده موج - باد طیفی مبتنی بر شبکه‌های نامنظم است. این مدل رشد، زوال و انتقال امواج ناشی از باد و دورا را در مناطق ساحلی و فراساحلی شبیه‌سازی می‌کند. مهم‌ترین نواحی کاربرد آن، طرح و محاسبه سازه‌های فراساحلی، ساحلی و بندری است (حسن تبار، ۱۳۹۳).

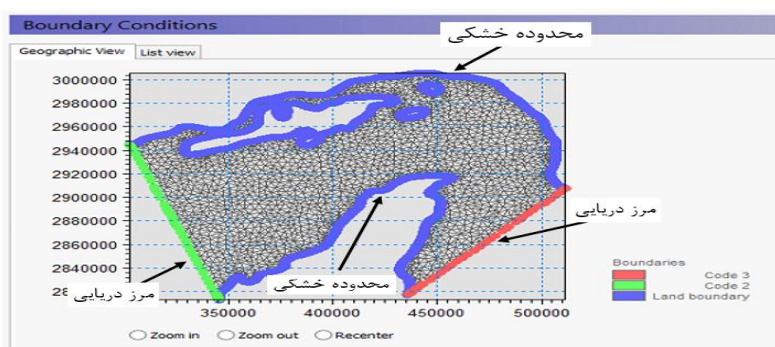
۲- مواد و روش‌ها

تنگه هرمز یکی از مهم‌ترین آبراه‌های عبوری جهان محسوب می‌گردد؛ که به دلیل اتصال به دریای عمان و اقیانوس هند و دارا بودن الگوی امواج منحصر به فرد و همچنین خطوط حمل و نقل دریایی و ناوبری‌های سطحی و زیرسطحی ارتش ایران (PMO، 2015)، نیاز به بررسی نوسانات میدان مغناطیسی و تأثیر مشخصه موج بر نوسانات آن احساس می‌شود. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

علم اقیانوس‌شناسی بر مبنای مشاهدات استوار است. به همین دلیل برای این‌که یک مدل مفید باشد باید ارتباط آن با مشاهدات، یک ارتباط بسیار قوی باشد. مدل MIKE21 یک سیستم مدل‌سازی دوبعدی برای جریانات و امواج با سطح آزاد است؛ که قابلیت شبیه‌سازی پدیده‌های محیطی در دریاچه‌ها، مدخل رودخانه‌ها، نواحی ساحلی و دریا را دارا است. این مدل ریاضی از مدول‌های متعددی جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید؛ که در این پروژه از مدول SW استفاده شده است. مدول SW شامل یک مدل



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲: مرزهای دریایی و خشکی منطقه مورد مطالعه.

۴-۲- محاسبه میدان مغناطیسی

برای محاسبه‌ی مؤلفه‌های میدان مغناطیسی مورد نظر، در ابتدا باید پارامترهای مؤثر امواج در فرمول‌های محاسباتی آورده شود؛ تا میدان محاسبه شده تنها به پارامتر موج وابسته باشد. بدین منظور چگالی جریان به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود: (Fraser, 1966; Buffett, 2010).

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

که در آن J چگالی جریان - V سرعت آب (m/s) و δ رسانندگی آب ($\Omega^{-1}m^{-1}$) است. در $t=0$ می‌توان نوشت:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{kC \cosh kz \sin kx}{\cosh kh} \quad (2)$$

که در آن k عدد موج و برابر است با $k = \frac{2\pi}{\lambda} (m^{-1})$ ، λ طول موج و C عدد ثابت است. با در نظر گرفتن $z=h$ می‌توان نوشت:

$$\frac{dx}{dt} = kC \sin kx \quad (3)$$

ماکزیمم سرعت را $\frac{h_w}{2} \coth kh$ در نظر گرفته شده که $\coth kh$ نسبت مؤلفه افقی و عمودی بردار بیضوی سطح است. پس می‌توان معادله (۴) را این‌گونه بیان کرد:

$$C = \frac{w}{k} \frac{h_w}{2} \coth kh \quad (4)$$

با توجه به معادله (۲) می‌توان نوشت:

$$\frac{dx}{dt}(x, z) = w \frac{h_w}{2} \frac{\cosh kz}{\sinh kz} \sin kx \quad (ms^{-1}) \quad (5)$$

که با توجه به قانون بیوساوار برای مؤلفه عمودی میدان در $(0,0,0)$ می‌توان نوشت:

$$dH_v = \delta B_e w \frac{h_w}{2} \frac{\cosh kz}{\sinh kh} \sin kx \frac{x l}{2\pi(x^2 + z^2)(l^2 + x^2 + z^2)} (Am^{-1}) \quad (6)$$

رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نیز بیان کرد:

$$dH_v = \delta \frac{h_w}{4\pi} \frac{\mu_0 H_e l w}{\sinh kh} \int_{x=-1}^{+\infty} \int_{z=0}^h \frac{x \sin kx \cosh kz}{(x^2 + z^2)(l^2 + x^2 + z^2)} dx dz \quad (7)$$

در این رابطه $B_e = \mu_0 H_e$ بوده که **Error! Bookmark not defined.** گذردهی مغناطیسی است و مقدار آن $4\pi \times 10^{-7}$ است. بنابراین در $t=0$ می‌توان میدان را وابسته به ارتفاع و بسامد موج دانست.

$$H_v(t=0) = \text{Constant} \times \text{Waveheight} \times f \quad (8)$$

با توجه به معادله (۸) و سینوسی بودن تغییرات امواج می‌توان معادله میدان مغناطیسی را به صورت مؤلفه‌های افقی و عمودی در زمان t تعریف کرد. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله برای محاسبه میدان مغناطیسی از داده‌های طیفی به دست آمده از اجرای

مدل MIKE21، استفاده می‌شود. بدین منظور برای محاسبه میدان مغناطیسی با استفاده از این نتایج باید از شاخص‌های خروجی مدل استفاده شود. پس در معادلات به جای T از T_p و به جای h_s از h_w استفاده می‌شود؛ بنابراین می‌توان روابط را با توجه به شاخص‌های خروجی مدل به صورت روابط (۹) و (۱۰) نوشت:

• میدان مغناطیسی عمودی

$$H_v = (\delta H_e 10^{-7} L) \cdot h_s f_T \sin wt \quad (9)$$

• میدان مغناطیسی افقی

$$H_h = (\delta H_e 10^{-7} L) \cdot h_s f_T \cos wt \quad (10)$$

H_e معرف میدان مغناطیسی زمین است که مقدار آن در استوا ۳۲ گاوس و در قطب‌ها ۶۲ گاوس است که در اینجا $4.4 \times 10^4 \gamma$ در نظر گرفته شده است (خلیل‌آبادی و حسن تبار، ۱۳۹۴ و Fraser, 1966).

L معرف طول موج است، δ رسانندگی آب که مقدار آن $4\Omega^{-1}m^{-1}$ است و $f_T =$ بسامد موج است.

و در نهایت می‌توان میدان مغناطیسی را به صورت زیر تعریف کرد:

$$H = \sqrt{H_v^2 + H_h^2} \quad (11)$$

۳- بررسی نتایج

۳-۱- صحت سنجی مدل

برای صحت سنجی مدل از داده‌های بویه بندرعباس استفاده شده است. مدول SW برای ۳۲ روز در محدوده زمانی ۲۰۱۴/۵/۳ تا ۲۰۱۴/۶/۵ و با گام زمانی شش ساعته اجرا گردید و نتایج حاصل از این مدل‌سازی به جهت صحت‌سنجی و بررسی همخوانی، با داده‌های بویه بندرعباس مقایسه شد. مقدار خطای به دست آمده برای ارتفاع موج در حدود ۱۵/۸۴ درصد است. همچنین با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت، داده‌های ارتفاع موج حاصل از اجرای مدل و داده‌های ثبت شده توسط بویه با یکدیگر همخوانی داشته و می‌توان برای ادامه کار به نتایج حاصل از آن اطمینان کرد.

۳-۲- نتایج حاصل از اجرای مدل عددی

پس از کسب اطمینان از این‌که مدل به‌درستی محاسبه شده است، بررسی از تاریخ ۲۰۱۴/۶/۷ تا تاریخ ۲۰۱۴/۷/۱۱ انجام شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. با اجرای مدول SW از بسته نرم‌افزاری MIKE21 مشخصه ارتفاع و زمان تناوب موج در منطقه تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل، در یک نتیجه کلی، حداکثر ارتفاع موج را تا ارتفاع دو متر می‌توان مشاهده کرد. برای بررسی دقیق‌تر میدان مغناطیسی و تأثیر امواج بر روی آن، چهار نقطه با عمق‌های متفاوت در محدوده تنگه هرمز مشخص گردید که موقعیت مکانی این نقاط در شکل ۴ مشاهده

نشریه پژوهشی‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۲، شماره ۱، ۱۳۹۵.

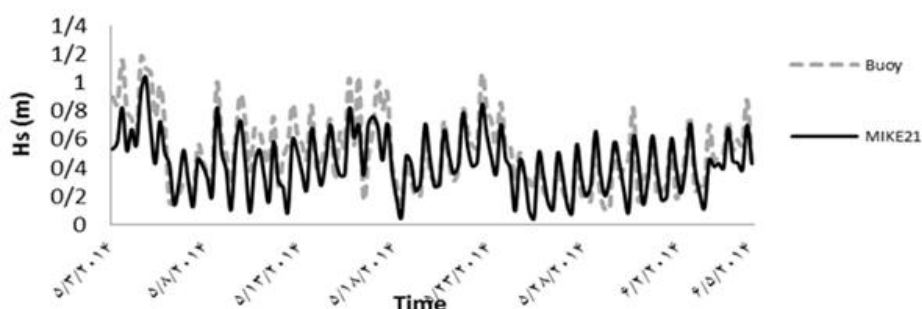
محاسبه گردید. در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده مربوط به چهار نقطه در طول دوره آورده شده است.

با توجه به داده‌های جدول ۲ مشاهده می‌شود که به طور میانگین میدان مغناطیسی در چهار نقطه، کمتر از ۰/۱ نانو تسلا است. به طور کلی می‌توان حداکثر تغییرات میدان مغناطیسی در منطقه را بین صفر تا ۰/۲ نانو تسلا دانست؛ که به طور مستقیم متأثر از تغییرات امواج است. در شکل‌های ۵ تا ۷ روند تغییرات میدان مغناطیسی تولیدی توسط موج برای سه روز به صورت موردی نشان داده شده است.

می‌شود.

به دلیل اینکه تعداد داده‌ها زیاد است و امکان ارائه آن‌ها در یک نمودار و جدول وجود ندارد؛ بنابراین طول زمان اجرای مدل به تعداد ۵ هفته تقسیم شده است و میانگین داده‌های مشخصه برای هر دوره مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات آماری حاصل از اجرای مدل SW برای چهار نقطه در جدول ۱ آمده است.

با توجه به جدول ۱، مشاهده می‌شود که بیشینه ارتفاع موج و دوره تناوب در دهانه تنگه هرمز به ترتیب به دو متر و ۴/۵ ثانیه می‌رسد و به طور میانگین ارتفاع موج در دهانه تنگه هرمز نیز کمتر از یک متر است. با استفاده از رابطه (۱۱) پارامتر میدان مغناطیسی



شکل ۳: مقایسه ارتفاع موج داده میدانی و خروجی مدل.



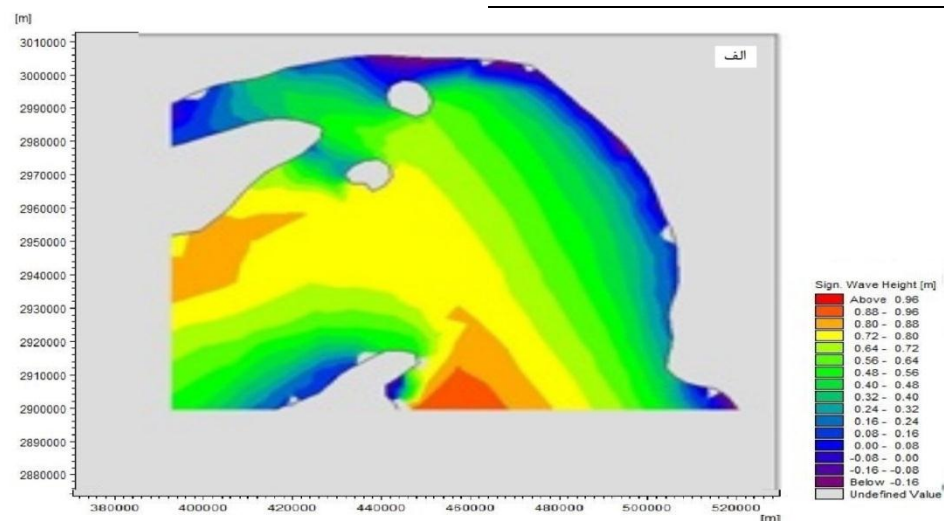
شکل ۴: موقعیت مکانی نقاط مورد مطالعه.

جدول ۱: نتایج آماری حاصل از اجرای مدل SW در چهار نقطه.

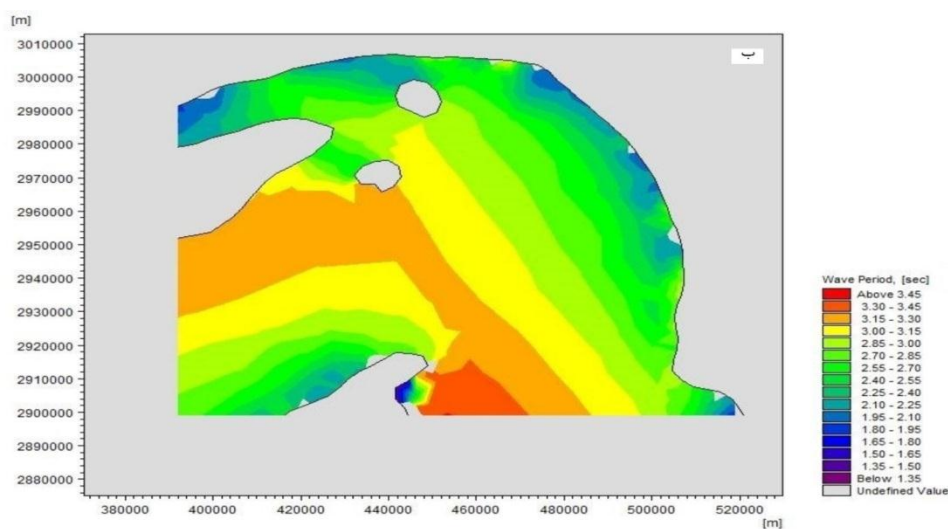
	T_p (S)	H_s (m)	
نقطه شماره یک	۲/۴۹	۰/۵۳	مقدار متوسط
	۴/۳	۱/۴۸	مقدار بیشینه
	۱/۵۶	۰/۰۳	مقدار کمینه
نقطه شماره دو	۲/۸۷	۰/۷۷	مقدار متوسط
	۴/۴۴	۱/۸۷	مقدار بیشینه
	۱/۷۶	۰/۱۵	مقدار کمینه
نقطه شماره سه	۳/۰۵	۰/۸۸	مقدار متوسط
	۴/۴۱	۱/۹۳	مقدار بیشینه
	۲/۰۳	۰/۱۶	مقدار کمینه
نقطه شماره چهار	۳/۲۱	۰/۹۵	مقدار متوسط
	۴/۳۶	۱/۹۶	مقدار بیشینه
	۲/۲۰	۰/۲۱	مقدار کمینه

جدول ۲: مشخصات آماری مؤلفه‌های اندازه میدان مغناطیسی.

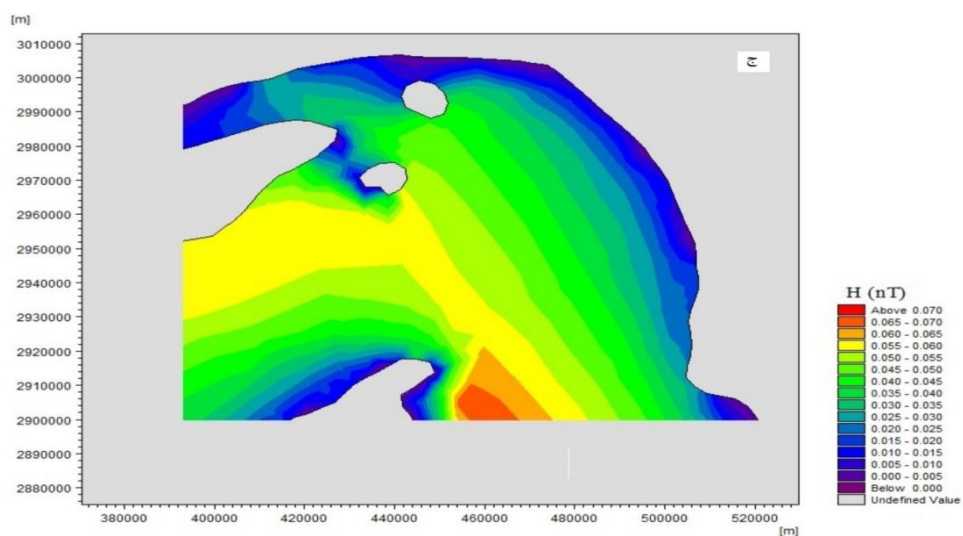
H (nT)		
۰/۰۳۸۹	مقدار متوسط	نقطه شماره یک
۰/۲۳۳	مقدار بیشینه	
۰/۰۰۱	مقدار کمینه	
۰/۰۶۵	مقدار متوسط	نقطه شماره دو
۰/۲۲	مقدار بیشینه	
۰/۰۰۷	مقدار کمینه	
۰/۰۷۸۳	مقدار متوسط	نقطه شماره سه
۰/۲۱۳	مقدار بیشینه	
۰/۰۰۸	مقدار کمینه	
۰/۰۸۸۹	مقدار متوسط	نقطه شماره چهار
۰/۲۵۸	مقدار بیشینه	



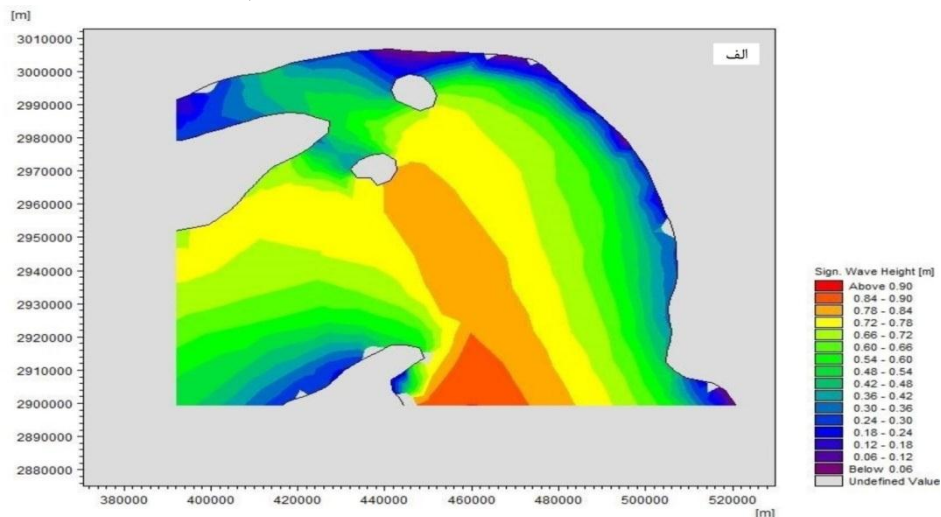
شکل ۵: الف) روند تغییرات پارامتر ارتفاع موج در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۱۵.



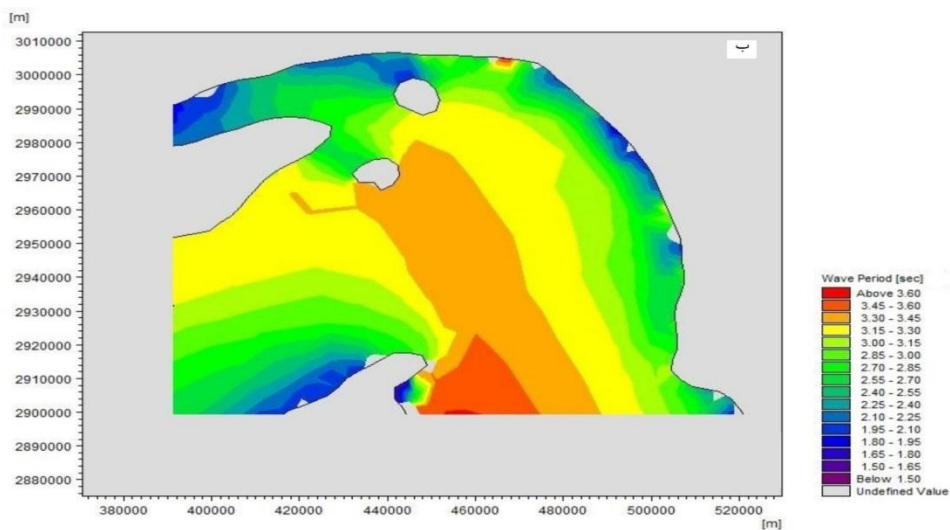
شکل ۵: ب) روند تغییرات پارامتر دوره تناوب در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۱۵.



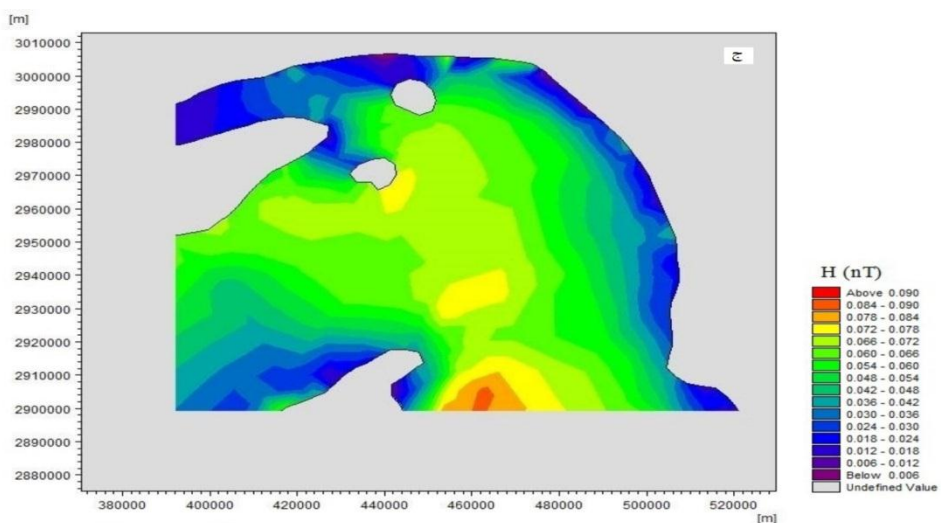
شکل ۵: ج) روند تغییرات پارامتر میدان مغناطیسی در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۱۵.



شکل ۶: الف) روند تغییرات پارامتر ارتفاع موج در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۲۱.

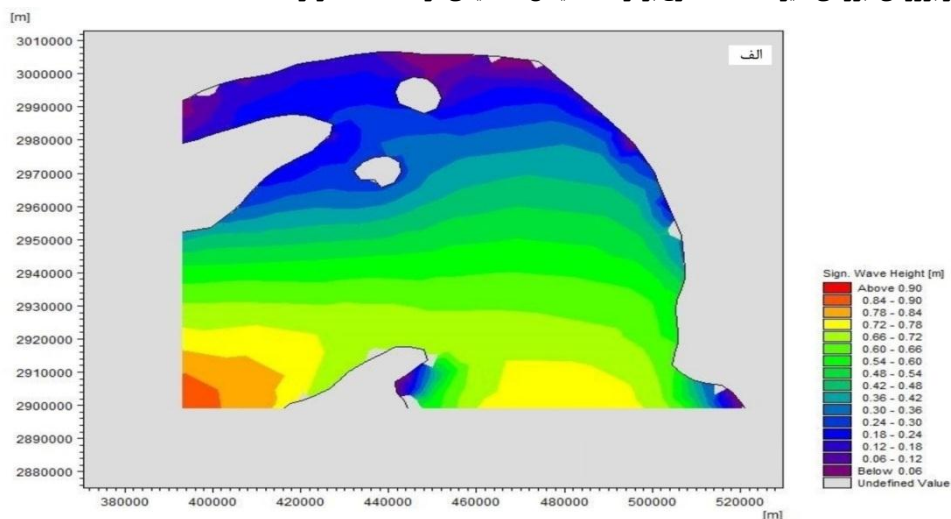


شکل ۶: ب) روند تغییرات پارامتر دوره تناوب در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۲۱.

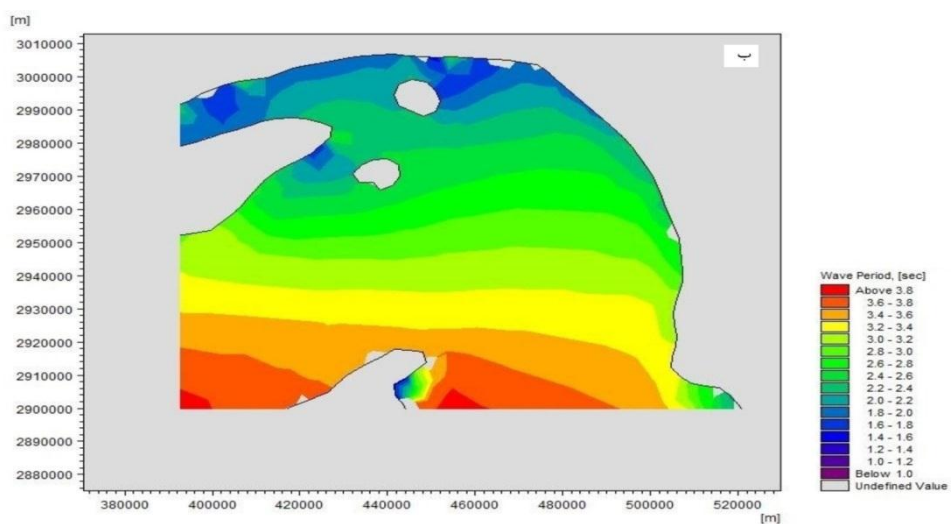


شکل ۶: ج) روند تغییرات پارامتر میدان مغناطیسی در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۶/۲۱.

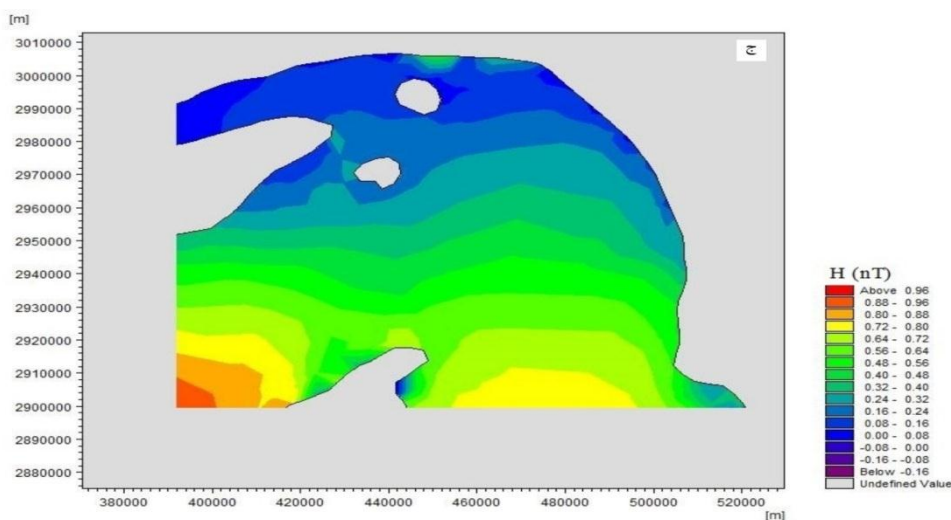
خلیل آبادی و حسن تبار بزرودی، بررسی تأثیرات مشخصه موج بر نوسانات میدان مغناطیسی در منطقه تنگه هرمز، صفحات ۳۴-۲۳.



شکل ۷: الف) روند تغییرات پارامتر ارتفاع موج در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۷/۳.



شکل ۷: ب) روند تغییرات پارامتر دوره تناوب در منطقه مغناطیسی در تاریخ ۲۰۱۴/۷/۳.



شکل ۷: ج) روند تغییرات پارامتر میدان مغناطیسی در منطقه در تاریخ ۲۰۱۴/۷/۳.

مغناطیسی تولیدی اثر می‌گذارد.

در یک نتیجه‌گیری اولیه می‌توان گفت میدان مغناطیسی ناشی از امواج، در درجه اول معیاری از حرکت و جابجایی محسوب می‌شود و همان‌طور که انتظار می‌رفت نوسانات میدان مغناطیسی با تغییرات امواج رابطه مستقیم دارد؛ اما این مقادیر محاسبه شده مربوط به میدان مغناطیسی ناشی از موج بسیار پایین است و همانند Warburton et al (1964) و Semkin and Smagin (2012) در بررسی میدان مغناطیسی ناشی از امواج، مقادیر پایینی را نتیجه گرفتند؛ در اینجا نیز مقادیر میدان مغناطیسی ناشی از موج در منطقه پایین بوده است، به طوری که محدوده تغییرات مربوط به میدان مغناطیسی ناشی از موج در منطقه بین صفر تا 0.2 نانو تسلا مشاهده شد که چندان قابل ملاحظه نیست.

به طور کلی می‌توان گفت، به دلیل پایین بودن ارتفاع موج و دوره تناوب در منطقه، میدان مغناطیسی متأثر از امواج چشمگیر نیست و محدوده تغییرات آن (میدان مغناطیسی ناشی از امواج) بسیار ناچیز است. به همین دلیل نوسانات امواج و به دنبال آن میدان مغناطیسی ناشی از آن تأثیری بر نوسانات و تغییرات روزانه میدان مغناطیسی در منطقه ندارد؛ بنابراین در تعیین محدوده نوسانات میدان مغناطیسی به جهت تنظیم سنسورهای مغناطیسی اژدرها و همچنین جلوگیری از ایجاد اختلال در مخابرات دریایی و کشف اجسام زیر آب، می‌توان از تأثیرات امواج بر نوسانات میدان مغناطیسی چشم‌پوشی کرد.

۵- منابع

- حسن تبار، ح.، ۱۳۹۳، مقایسه مدل‌های عددی MIKE21 و SWAN در تحلیل امواج ناشی از باد در خزر جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان.
- خلیل آبادی، م. و حسن تبار، ح.، ۱۳۹۴، مدل‌سازی عددی میدان مغناطیسی ناشی از جریان‌های دریایی در تنگه هرمز، نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، ۱(۱)، ۱۱-۱۹.
- 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.S., 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. *Journal of Geophysical Research*, 89, 519-528.
- Fraser, 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 Near shore Storm Wave, Currents and Sediment Transport, *Barkley Bight*, Prince

شکل‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهند که تغییرات امواج مستقیماً بر نوسانات میدان مغناطیسی تولیدی تأثیر می‌گذارند. به طوری که روند تغییرات میدان مغناطیسی شبیه به روند تغییرات ارتفاع موج و دوره تناوب در منطقه است. با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که ارتفاع موج با ورود از سمت خلیج فارس افزایش می‌یابد؛ اما در نزدیکی سواحل حاشیه ایران مقدار آن‌ها کم می‌شود. محدوده تغییرات ارتفاع موج در نزدیکی سواحل قشم و جزایر لارک و هرمز در بازه 0.4 تا 0.7 است؛ که این مقادیر در سواحل بندر عباس و حاشیه ایران (در منطقه مورد مطالعه) به صفر نیز کاهش می‌یابد و دوره تناوب نیز در منطقه با نزدیک شدن به سواحل حاشیه به مقدار $1/5$ ثانیه می‌رسد. به دنبال این تغییرات همان‌طور که مشاهده می‌شود میدان مغناطیسی که امواج تولید می‌کنند نیز کاهش می‌یابد و محدوده تغییرات میدان مغناطیسی تولیدی از 0.6 نانو تسلا به کمتر 0.1 نانو تسلا کاهش می‌یابد؛ که این روند برای شکل ۷ نیز قابل مشاهده است.

همان‌طور که قبلاً هم گفته شد؛ این شکل‌ها میدان مغناطیسی تولید شده توسط امواج دریا را نشان می‌دهند؛ که توسط روابط ریاضی و نتایج مدل‌سازی عددی محاسبه شده است؛ که با توجه به شکل‌ها نشان داده شد که مقادیر میدان مغناطیسی ناشی از موج بسیار ناچیز است و تأثیری بر میدان مغناطیسی منطقه و تغییرات روزانه آن در منطقه ندارند.

۴- نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره شد هدف این پژوهش محاسبه میدان مغناطیسی ناشی از امواج دریا و بررسی میزان تأثیر پارامترهای موج و میدان مغناطیسی تولیدی آن بر نوسانات میدان مغناطیسی در تنگه هرمز بوده است. بدین منظور به جهت تفکیک تأثیر مشخصه موج از بقیه منابع مؤثر بر میدان مغناطیسی، از محاسبات عددی و روابط ریاضی استفاده شد. علاوه بر آن به دلیل بررسی در پهنه وسیع‌تر، از مدل‌سازی عددی استفاده شده است؛ که با استفاده از نتایج موج حاصل از آن میدان مغناطیسی ناشی از موج محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت.

برای رسیدن به این هدف در ابتدا اطلاعات راجع به این منطقه گردآوری و مدل برای دوره زمانی مورد نظر شبیه‌سازی شد. پس از اطمینان از صحت مدل در بازه زمانی مورد نظر، کد MIKE21 اجرا شد و مشاهده شد که امواج تولید شده در خلیج فارس هر چقدر هم قوی باشند اما ارتفاعشان با نزدیک شدن به تنگه کاهش می‌یابد؛ که می‌توان آن را به دلیل کاهش عمق و وجود جزیره‌های داخل تنگه هرمز دانست.

میدان مغناطیسی ناشی از موج با استفاده از معادلات مربوطه محاسبه شد که به علت رابطه مستقیم میدان مغناطیسی با مشخصه موج در روابط ۹ و ۱۰، تغییرات موج به طور مستقیم بر مقادیر میدان

- induction on magnetic field generated by dea 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.
- Edward Island. Geological Survey of Canada.
- Meirion, T.J. and Former, C., 2014, GEBCO. Retrieved from <http://www.gebco.net>.
- PMO, 2015, www.pmo.ir Retrieved from www.Waveforcast.pmo.ir.
- Semkin, S. and Smagin, V., 2012, The effect of self-

Investigation of magnetic field fluctuations due to sea waves in the Strait of Hormuz

Mohammad Reza Khalilabadi¹ and Seyed Hossein Hassantabar Bozrodi^{2*}

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

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

Received: 29 May 2016; Accepted: 19 September 2016

Corresponding author: shh.tabar@yahoo.com

Keywords

Magnetic Field
Numerical Modelling
Sea Wave
Strait of Hormuz

Extended Abstract

Summary

Magnetic induction caused by sea characteristics has recently been the focus of attention of several studies. Since water is an electrically conductive liquid, its movement in the Earth's magnetic field produces a transverse magnetic force at each unit of charge. Therefore, it seems essential to identify the factors affecting

the fluctuations of these magnetic fields and the effect of these factors on the marine, navy, and military applications. In this research, the changes of magnetic fields caused by sea waves in the Strait of Hormuz have been investigated. For this purpose, we use the waves parameters obtained from numerical model of MIKE21, and then, calculate the magnetic field and observe the magnetic field fluctuations in the study region. The results show that the values of magnetic field vary between 0 and 0.2 nanotesla. Moreover, magnetic field values in Bandar Abbas coast and Iran shoreline within the study region are less than the magnetic field values in the Islands of Qeshm, Hormuz and Larak. In general, it can be said that the magnetic field fluctuations are completely caused by changes in the waves parameters so that the trend and pattern of changes of three variables of the waves including height, period, and magnetic field within the study region are almost the same. Therefore, due to the low height and low period of the waves in the Strait of Hormuz, the magnetic field caused by the waves is not considerable, and thus, its effect on magnetic field fluctuations is not also noticeable. As a result, in some maritime applications, like determination of the range of magnetic field fluctuations for the purpose of setting sensors of a torpedo and preventing the torpedo deviation from the goal, the effect of waves on the magnetic field fluctuations can be ignored.

Introduction

The magnetic fields in a sea are affected by the Earth's core, the solar winds, and sea water movements. In the absence of these movements, their effects on the magnetic fields equal zero. These magnetic fields have the frequency of ocean waves, which are in turn affected by wind. Therefore, analyzing the magnetic fields caused by these waves and their fluctuations have recently been the focus of attention. The application of magnetic field in exploration and identification of underwater equipment and communications, the adjustment of torpedoes, magnetic sensors, and also the effect of magnetic field fluctuations on subsurface navy and military equipment, all reminds the importance of studying magnetic field fluctuations. This magnetic field can be generated by sea features such as waves. As a result, it is obvious that magnetic field fluctuation range is affected by several sources. Hence, to be able to attribute the magnetic field to the sea waves, the effect of other sources needs to be eliminated. This elimination is possible only through numerical calculations and mathematical formulas. The Strait of Hormuz is considered to be one of the most important waterways in the world that has high fluctuation rates in the wave characteristics due to its connection to the Sea of Oman and the Indian Ocean and therefore, plays an important role in the magnetic field fluctuations caused by the waves.

Methodology and Approaches

In this research, the bathymetry map of the study region has been obtained from GEBCO Database. Then, grid generation and interpolation of the bathymetry data have been conducted using the mesh generation subroutine of MIKE21-MIKE ZERO software package. The mesh, which includes irregular elements of triangular shapes, has been produced to discretize the computational domain considering geometry and bathymetry problems. The final mesh, which has been used in this model, includes 49819 elements and 27915 nodes. Two water borders in the west and east of the Strait of Hormuz and two land areas in the north and south of the Strait have been considered in this study. The data of the sea borders that consist of the heights, periods and the directions of the waves are used for implementation of the simulation.

After implementation of the model, in order to calculate the waves induced magnetic fields, we use the output data of wave model (MIKE21-SW). Afterwards, the data are inserted into the calculating equations of magnetic field and as a result, the magnetic field in the study region is calculated.

Results and Conclusions

This study shows that the amounts of magnetic-field due to sea waves in the study region vary between 0 and 0.2 nanotesla, which are not considerable amounts. The fluctuation of the waves has a direct effect on the size of magnetic field. As expected, magnetic field changes directly relate to the changes in the waves parameters so that their changes are almost the same.
