

## مدلسازی ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی در آب های خلیج فارس

مسعود صدری نسب، ابوالفضل دلبری

گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

### چکیده

در این مطالعه برای اولین بار تغییرات مقدار حقیقی ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی در خلیج فارس، در طول سال مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور مدل سه بعدی هیدرودینامیکی کوهیرنس برای خلیج فارس اجرا شده است. خلیج فارس خور معکوسی است که آب های تازه تر از دریای عمان از سطح به آن وارد و آب سنگین و شورتر از آن بستر و از طریق تنگه هرمز از آن خارج می شود.

نتایج مدل نشان می دهد که کمترین میانگین ماهیانه ضریب شکست مربوط به آب های بستر در دی ماه است و بیشترین مقدار میانگین ماهیانه ضریب شکست نیز مربوط به تیرماه و در بستر است. بطور کلی در خلیج فارس ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی در بستر بیشتر از سطح است بجز در ماه های آذر و دی که ضریب شکست در سطح بیشتر است. علاوه بر این ضریب شکست در مناطق جنوبی بیشتر از مناطق شمالی خلیج فارس است. یافته های مدل در قیاس با مقادیر اندازه گیری شده تطبیق بسیار خوبی را نشان می دهند.

**کلمات کلیدی:** امواج الکترومغناطیسی، کوهیرنس، خلیج فارس، ضریب شکست، طول موج

## ۱. مقدمه

طبیعت پیچیده اقیانوس ها و دریاها با اندازه بسیار وسیع آن ها انسان را وا می دارد که برای شناخت آن به وسایل و روش های پیشرفته ای متوسل شود. بررسی انتشار امواج الکترومغناطیسی<sup>۱</sup> در محیط های گوناگون اساس بسیاری از پیشرفت های کنونی بوده است. امواج الکترومغناطیس طیف وسیعی از امواج رادیویی تا پرتو گاما را در بر می گیرد. تقسیم بندی گستره بیناب امواج الکترومغناطیس بر طبق بسامد آن، اختیاری و محدوده های آن تقریبی است [۱].

خلیج فارس به دلایل زیادی برای کشورهای حاشیه آن و به ویژه کشور جمهوری اسلامی ایران، با بیشترین مرز آبی، نقش حیاتی را داراست. تردد یک کشتی در هر ۶ دقیقه از تنگه هرمز و انجام تقریباً ۶۰٪ تبادلات نفتی دریایی جهان در این ناحیه و همچنین وجود هشت کشور احاطه کننده آن، سبب شده تا به عنوان یکی از مهمترین حوضه های اقتصادی- نظامی جهان تلقی شود.

هدف از انجام این مطالعه پیش بینی ضریب شکست آب خلیج فارس برای امواج الکترومغناطیسی می باشد که برای اولین بار چنین پژوهشی صورت می گیرد.

## ۲. مواد و روش کار

در این مطالعه با استفاده از مدل سه بعدی هیدرودینامیکی کوهیرنس معادلات ناویراستوکس با اعمال شرایط محدود کننده برای خلیج فارس حل شده و در نتیجه دما و شوری در این منطقه شبیه سازی شده است. بوسیله روش های آزمایشگاهی روابطی بین ضریب شکست با دما [۳]، [۲]، ضریب شکست با شوری [۴] و ضریب شکست با طول موج<sup>۳</sup> [۵] بدست آمده است. در

اینجا با اضافه کردن رابطه نظری موجود برای ارتباط دما، شوری و طول موج با ضریب شکست آب در مدل می توانیم مقدار نظری ضریب شکست را پیش بینی نماییم [۶]. در این مدل به جای مختصات دکارتی از مختصات سیگما در راستای قائم استفاده شده است که به صورت نسبت فشار در هر تراز به فشار بستر تعریف می شود [۷]. آب خلیج فارس به ۵ لایه تقسیم شده است. عمق سنجی و موقعیت خطوط ساحلی استفاده شده در این مدل بر حسب داده های ETOPO-2 هستند که در یک شبکه ۴ دقیقه ای درون یابی شده اند.

در بخش هیدرودینامیک مدل از معادلات ناویر- استوکس استفاده می شود، که شامل معادلات پایه ای به صورت زیر می باشد [۸]:

الف) معادلات اندازه حرکت با استفاده از تقریب های بوزینسکی و تعادل هیدروستاتیکی (ایستابی) عمودی. مولفه x معادله اندازه حرکت

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} + w \frac{\partial u}{\partial x_3} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( v_T \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial \tau_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_2} \quad (1)$$

مولفه y معادله اندازه حرکت

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} + w \frac{\partial v}{\partial x_3} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( v_T \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial x_2}$$

معادله برنولی

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g \quad (3)$$

ب) معادله پیوستگی

$$n(T, p, S, \lambda) = n_0 + n_1\lambda^2 + n_2\lambda^{-2} + n_3\lambda^{-4} + n_4\lambda^{-6} + n_5T + n_6T^2 + n_7T^3 + n_8T^4 + (n_9T + n_{10}T^2 + n_{11}T^3)\lambda + (n_{12} + n_{13}\lambda^{-2} + n_{14}T + n_{15}T^2 + n_{16}T^3)S + n_{17}ST\lambda + n_{18}p + n_{19}p^2 + n_{20}p\lambda^{-2} + (n_{21}T + n_{22}T^2)p + n_{23}p^2T^2 + (n_{24} + n_{25}T + n_{26}T^2)pS$$

(۷)

که در آن  $\lambda$  طول موج منتشره بر حسب میکرومتر،  $T$  دمای آب بر حسب درجه سانتی گراد،  $P$  فشار بر حسب دسی بار و  $S$  شوری آب بر حسب PPT است و ضرایب  $n_0 - n_{26}$  در جدول ۱ آمده است.

در این مطالعه از آنجا که با توجه به عمق کم خلیج می توان از تاثیرات فشار صرف نظر کرد، جملات فشاری از رابطه اخیر حذف گشته و طول موج  $\lambda$  برابر با ۵۸۹ نانومتر در نظر گرفته شده است.

قسمت های موهومی و حقیقی ضریب شکست از هم مستقل نیستند و با رابطه Kramers-Kronig (KK) با هم در ارتباطند [۹]:

(۴)

$$n'(\lambda) = 1 + \frac{2\lambda^2}{\pi} p \int_0^{\infty} n''(\lambda_i) \frac{d\lambda_i}{\lambda_i(\lambda^2 - \lambda_i^2)}$$

### ۳. نتایج

مدل به مدت ۲۲ سال اجرا شد تا طی آن خواص توده های آب در خلیج فارس در مدت مورد نظر به یک چرخه پایدار برسند. شکل (۱) نشان می دهد که ضریب شکست بعد از ۲۲ سال اجرای مدل به یک حالت تکرار پذیر رسیده است که نشان از پایداری مدل دارد.

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x_3} = 0 \quad (۴)$$

(ج) معادلات دما و شوری

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x_1} + v \frac{\partial T}{\partial x_2} + w \frac{\partial T}{\partial x_3} = \\ \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{\partial I}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \lambda_T \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) + \\ (5) \quad \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x_1} + v \frac{\partial S}{\partial x_2} + w \frac{\partial S}{\partial x_3} = \\ \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \lambda_T \frac{\partial S}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1} \right) + \\ (6) \quad \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2} \right) \end{aligned}$$

در معادلات (۱) تا (۶)، اجزاء جریان، دما،  $S$  شوری،  $f = 2\Omega \sin \phi$  پارامتر کوریولیس،  $\Omega = 2\pi / 86164 \text{ rad/s}$  فرکانس چرخش زمین،  $g$  شتاب گرانش،  $p$  فشار،  $v_T$  و  $\lambda_T$  ضرایب پخش و ویسکوزیته گردابی،  $\lambda_H$  ضریب پخش افقی برای شوری و دما،  $\rho$  چگالی،  $\rho_0$  چگالی مرجع،  $C_p$  گرمای ویژه آب دریا در فشار ثابت و  $I(x_1, x_2, x_3, t)$  جذب تابش خورشید در ستون آب با واحد  $Wm^{-2}$  است [۳].

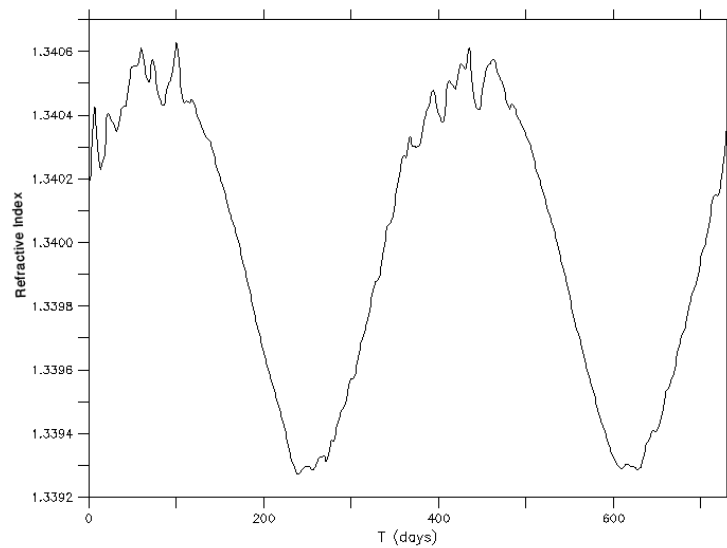
میلارد و سیور در سال ۱۹۹۰ یک رابطه بسیار نزدیک به واقعیت را با ۲۷ ضریب ثابت برای بخش حقیقی ضریب شکست آب دریا عنوان کردند [۴] (رابطه ۷).

مدل اطمینان پیدا کرده و نتایج بعدی را از مدل استخراج نمود. شکل ۲ همین تطبیق را برای توده آبی با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شوری متغیر و شکل ۳ تطبیق مقادیر آزمایشگاهی و مدل، توده آبی با شوری ۳۶ppt و دمای متغیر را نشان می دهد. بنابر این اکنون که از صحت نتایج مدل اطمینان حاصل کرده ایم به بررسی این نتایج به صورت ماهیانه می پردازیم.

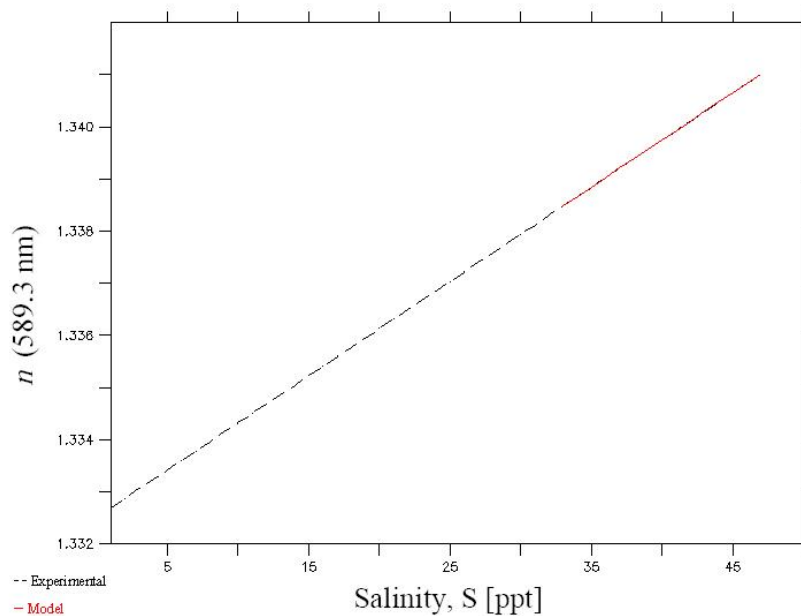
از آنجا که مدل به حالت پایدار رسیده است می توان نتایج سال آخر را به عنوان خروجی های مدل فرض کرده و نتایج را برای ماه های مختلف آن استخراج نمود. با توجه به تطبیق خروجی های دما و شوری مدل با واقعیت در صورتی که بتوان تطبیق ضریب شکست با یک دمای ثابت و شوری متغیر و نیز توده آبی با شوری ثابت و دمای متغیر را بامقادیر تجربی نشان داد می توان از صحت خروجی های

جدول ۱ - ضرایب معادله (۷) برای ضریب شکست آب دریا به عنوان تابعی از طول موج، فشار، شوری و دما

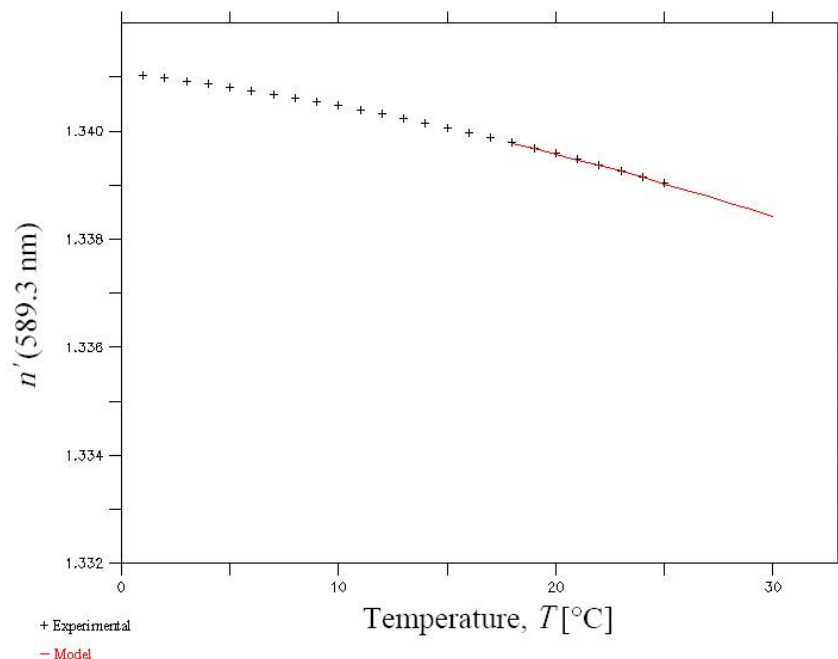
ضریب	مقدار	ضریب	مقدار	ضریب	مقدار
$n_0$	$+0.0e1.3280657$	$n_9$	$-0.5e1.0508621$	$n_{18}$	$0.6e1.5868383$
$n_1$	$-0.3e4.5536802-$	$n_{10}$	$-0.7e2.1282248$	$n_{19}$	$-11e1.5740740-$
$n_2$	$-0.3e2.5471707$	$n_{11}$	$-0.9e1.7058810-$	$n_{20}$	$0.8e1.0712063$
$n_3$	$-0.6e7.5019660-$	$n_{12}$	$-0.4e1.9029121$	$n_{21}$	$-0.9e9.4834486-$
$n_4$	$-0.6e28.026320-$	$n_{13}$	$-0.6e2.4239607$	$n_{22}$	$1.0e1.0100326$
$n_5$	$-0.6e5.2883907-$	$n_{14}$	$-0.7e7.3960297-$	$n_{23}$	$15e58.085198$
$n_6$	$-0.6e3.0738272-$	$n_{15}$	$-0.9e8.9818478$	$n_{24}$	$-0.9e1.117517-$
$n_7$	$-0.8e3.0124687$	$n_{16}$	$-1.0e1.2078804-$	$n_{25}$	$11e5.7311268$
$n_8$	$-1.0e2.0883178-$	$n_{17}$	$-0.7e3.5894950-$	$n_{26}$	$-12e1.5460458-$



شکل ۱- سری زمانی مربوط به تغییرات ضریب شکست برای یک نقطه در خلیج فارس در دو سال آخر از کل زمان شبیه سازی شده



شکل ۲- بخش حقیقی ضریب شکست برای توده آبی با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و طول موج ۵۸۹.۳ نانومتر برای مدل و اطلاعات موجود آزمایشگاهی در یک نمودار (خطوط نقطه چین مقادیر تجربی و خط پر مقادیر مدل را نشان می دهد)



شکل ۳- بخش حقیقی ضریب شکست برای توده آبی با شوری ppt 36 طول موج ۵۸۹.۳ نانومتر برای مدل و اطلاعات موجود آزمایشگاهی در یک نمودار (علامت + مقادیر تجربی و خط پر مقادیر مدل را نشان می دهند)

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۵۷ می باشد که در بستر بیشتر است

اردیبهشت: میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۶۵ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۲۳ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۵۱۶ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۷۴ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۶)

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۳۹ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۴ می باشد که کمترین مقدار ضریب شکست ۱.۳۳۹۲۴۲ و بیشترین مقدار ضریب شکست با

فروردین: میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۳۰ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه ۰.۰۰۲۴ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۱۱ و بیشترین ضریب شکست ۱.۳۴۰۶۰ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۴).

میانگین ضریب شکست در لایه بستر در این ماه در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۴۹ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۲۱ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۹۴۶ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۶۷ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۵).

باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۷ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۷۶۲ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۵۰۴ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۱)

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰۰۰۰۱۶ می باشد که در بستر بیشتر است

**مرداد:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۸۹۸۶ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۱ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۰۰۴ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۱۷۷ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۱)

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۹۲۹ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۷ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۶۶۲ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۳۶۳ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۲)

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰۰۰۰۰۹ می باشد که در بستر بیشتر است.

**شهریور:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۰۸۰ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۲ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۰۲۸ و

میزان ۱.۳۴۱۶۵۵ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۷)

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰۰۰۰۰۷۴ می باشد که در بستر بیشتر است

**خرداد:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۲۶ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۱۹ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۴۳۸ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۲۵۳ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۸)

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۲۴ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۶ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۹۸۹ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۶۱۴ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰۰۰۰۱۲ می باشد که در بستر بیشتر است (شکل ۹).

**تیر:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۸۹۷ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰۰۰۰۲۰ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۰۲۶ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۰۶۴ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۰).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۵۷۹ می

باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۳۵ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۱۴ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۷).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۷۹ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۱۹ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۸۹ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۸۸ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۸).

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۱ می باشد که در بستر بیشتر است

**آذر:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۹۸ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۹ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۵۶ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۵۲ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۹).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۹۸ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۰ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۹۲۳ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۲۶ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۰).

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۰۱۳ می باشد که در سطح بیشتر است.

**دی:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۶۸۲۰ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب

بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۳۱۱ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۳).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۸۱۶ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۵ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۶۸۸ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۲۴۳ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۴).

اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۷ می باشد که در بستر بیشتر است.

**مهر:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۳۰ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۴ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۱۱ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۰۶۰ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۵).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۷۶ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۳ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۷۱ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۰۷ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۱۶).

**آبان:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۹۶۳ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۲۷ می



اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۰۸ می باشد که در بستر بیشتر است

**اسفند:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۲۵۲ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۲۹ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۸۶۹ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۷۷۱ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۶).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۵۳۷ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۲۱ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۹۶۳۵ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۷۳۶ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۷). اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۲۸۵ می باشد که در بستر بیشتر است.

مقادیر حاصل از خروجی های مدل را به طور اجمالی می توان در جدول ۲ نیز مشاهده نمود.

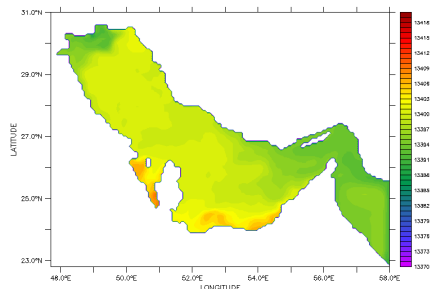
شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۷۸ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۳۹۵۸ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۷۷۱ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۱).

میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۳۶۸۱۶ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۷۶ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۳۹۵۸ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۶۱۵ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۲)

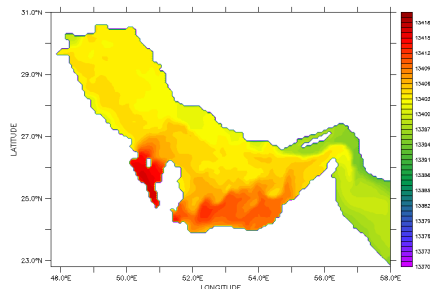
اختلاف میانگین ضریب شکست در سطح و بستر در این ماه از سال ۰.۰۰۰۰۰۰۴ می باشد که در سطح بیشتر است

**بهمن:** میانگین ضریب شکست سطح در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۴۱۳ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۲۸ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۸۹۷۹ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۷۸۹ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۳)

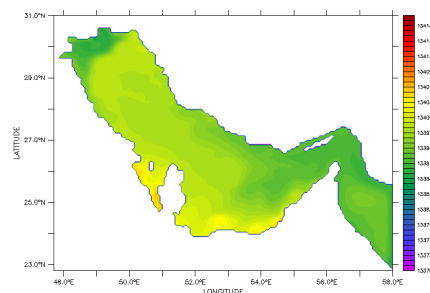
میانگین ضریب شکست بستر در این ماه از سال در کل خلیج فارس ۱.۳۴۰۴۹۳ می باشد. اختلاف بیشترین مقدار و کمترین مقدار ضریب شکست در این ماه از سال ۰.۰۰۰۲۰ می باشد که کمترین ضریب شکست ۱.۳۳۹۶۸۴ و بیشترین ضریب شکست با میزان ۱.۳۴۱۷۳۶ مربوط به نقاط جنوبی خلیج فارس می باشد (شکل ۲۴).



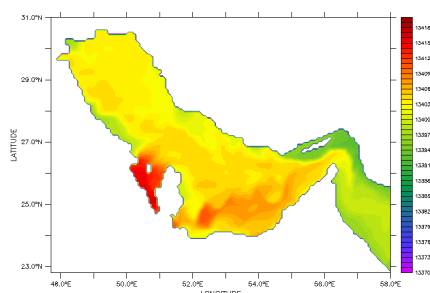
شکل ۴- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در فروردین



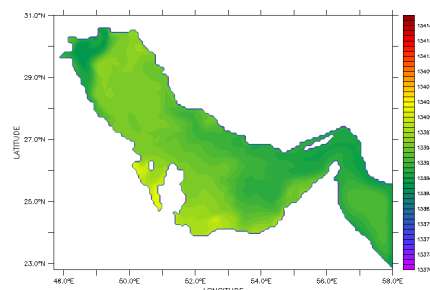
شکل ۵- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در فروردین



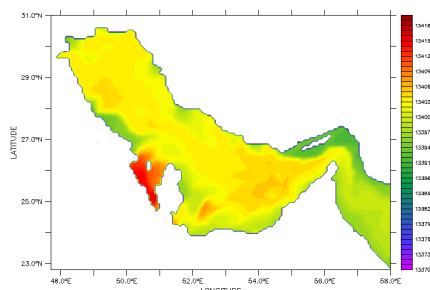
شکل ۶- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در اردیبهشت



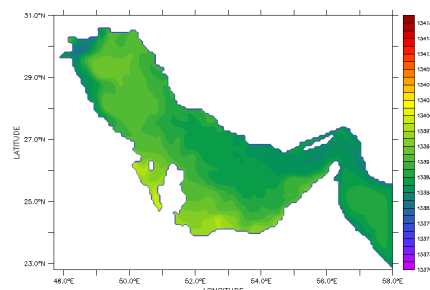
شکل ۷- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در اردیبهشت



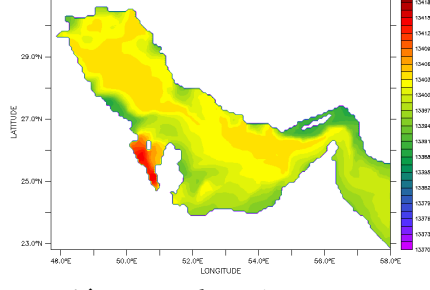
شکل ۸- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در خرداد



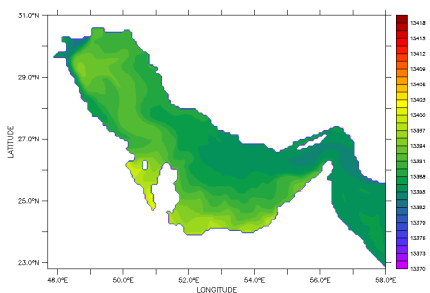
شکل ۹- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در خرداد



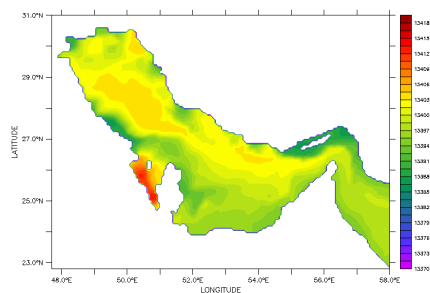
شکل ۱۰- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در تیر



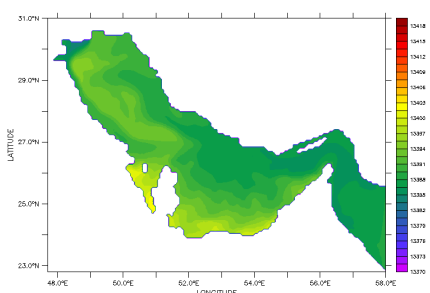
شکل ۱۱- ۱۰۰۰۰ برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در تیر



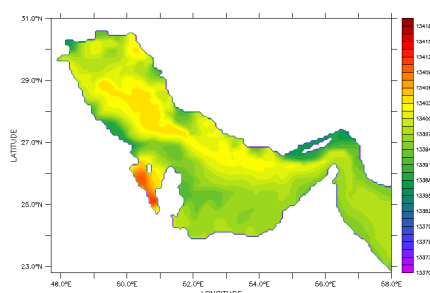
شکل ۱۲- برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در مرداد



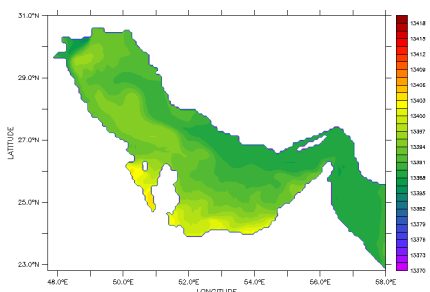
شکل ۱۳- برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در مرداد



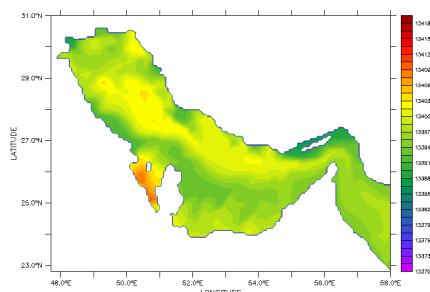
شکل ۱۴- برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در شهریور



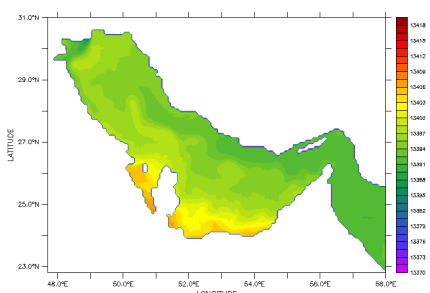
شکل ۱۵- برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در شهریور



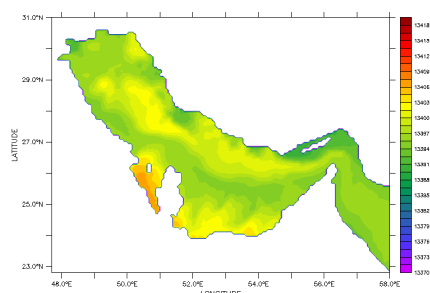
شکل ۱۶- برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در مهر



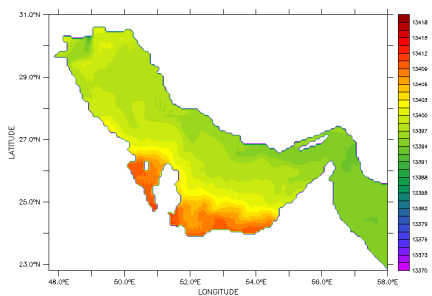
شکل ۱۷- برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در مهر



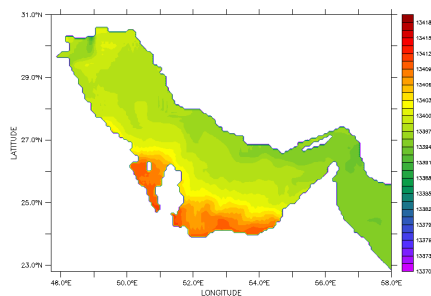
شکل ۱۸- برابر میانگین ضریب شکست سطح برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در آبان



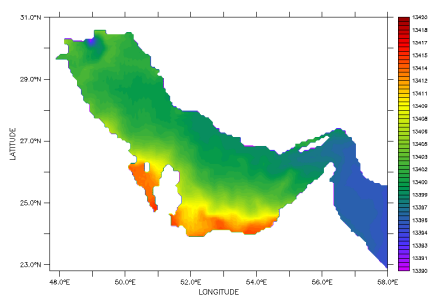
شکل ۱۹- برابر میانگین ضریب شکست بستر برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در آبان



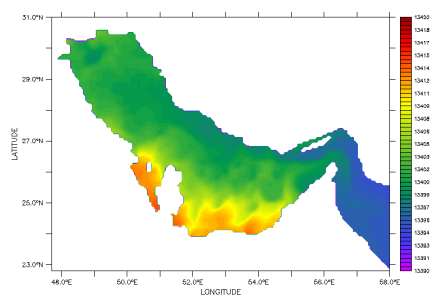
شکل ۲۰- برابر میانگین ضریب شکست سطح  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در آذر



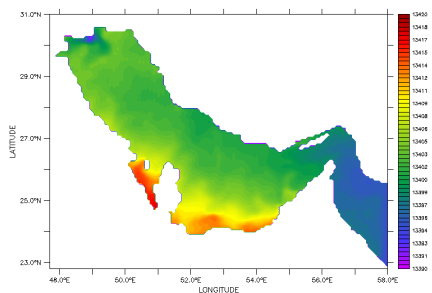
شکل ۲۱- برابر میانگین ضریب شکست بستر  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در آذر



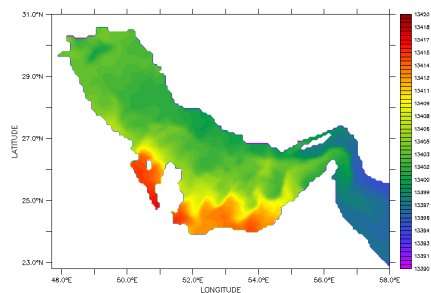
شکل ۲۲- برابر میانگین ضریب شکست سطح  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در دی



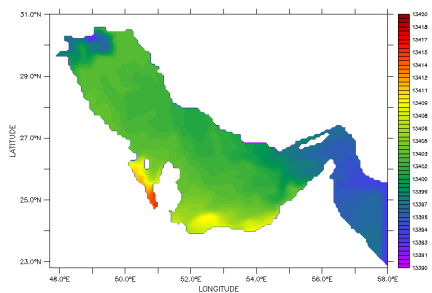
شکل ۲۳- برابر میانگین ضریب شکست بستر  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در دی



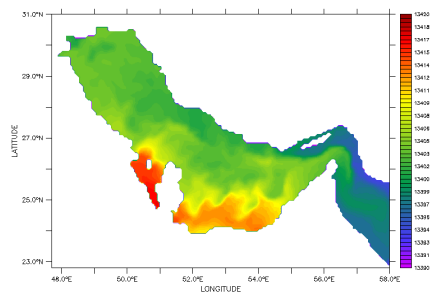
شکل ۲۴- برابر میانگین ضریب شکست سطح  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در بهمن



شکل ۲۵- برابر میانگین ضریب شکست بستر  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در بهمن



شکل ۲۶- برابر میانگین ضریب شکست سطح  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در اسفند



شکل ۲۷- برابر میانگین ضریب شکست بستر  
برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در اسفند

جدول ۲ - مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی برای طول موج ۵۸۹ نانومتر در خلیج فارس

ماه	میانگین ضریب شکست در سطح	کمترین ضریب شکست در سطح	بیشترین ضریب شکست در سطح	میانگین ضریب شکست در بستر	کمترین ضریب شکست در بستر	بیشترین ضریب شکست در بستر
فروردین	۱.۳۳۹۳۰	۱.۳۳۸۱۱	۱.۳۴۰۶۰	۱.۳۴۰۴۹	۱.۳۳۹۴۶	۱.۳۴۱۶۷
اردیبهشت	۱.۳۳۹۶۵	۱.۳۳۸۵۱۶	۱.۳۴۰۷۴	۱.۳۴۰۳۹	۱.۳۳۹۲۴۲	۱.۳۴۱۶۵۵
خرداد	۱.۳۳۹۲۶	۱.۳۳۸۴۳۸	۱.۳۴۰۳۵۳	۱.۳۴۰۲۴	۱.۳۳۸۹۸۹	۱.۳۴۱۶۱۴
تیر	۱.۳۳۸۹۷	۱.۳۳۸۰۲۶	۱.۳۴۰۰۶۴	۱.۳۴۰۰۷۹	۱.۳۳۸۷۶۲	۱.۳۴۱۵۰۴
مرداد	۱.۳۳۸۹۸۶	۱.۳۳۸۰۰۴	۱.۳۴۰۱۷۷	۱.۳۳۹۹۲۹	۱.۳۳۸۶۶۲	۱.۳۴۱۳۶۳
شهریور	۱.۳۳۹۰۸۰	۱.۳۳۸۰۲۸	۱.۳۴۰۳۱۱	۱.۳۳۹۸۱۶	۱.۳۳۸۶۸۸	۱.۳۴۱۲۴۳
مهر	۱.۳۳۹۳۰	۱.۳۳۸۱۱	۱.۳۴۰۶۰	۱.۳۳۹۷۶	۱.۳۳۸۷۱	۱.۳۴۱۰۷
آبان	۱.۳۳۹۶۳	۱.۳۳۸۳۵	۱.۳۴۱۱۴	۱.۳۳۹۷۹	۱.۳۳۸۱۹	۱.۳۴۰۸۸
آذر	۱.۳۳۹۹۸	۱.۳۳۸۵۶	۱.۳۴۱۵۲	۱.۳۳۹۹۸	۱.۳۳۹۲۳	۱.۳۴۱۲۶
دی	۱.۳۳۶۸۲۰	۱.۳۳۳۹۵۸	۱.۳۴۱۷۷۱	۱.۳۳۶۸۱۶	۱.۳۳۳۹۵۸	۱.۳۴۱۶۱۵
بهمن	۱.۳۴۰۴۱۳	۱.۳۳۸۹۷۹	۱.۳۴۱۷۸۹	۱.۳۴۰۴۹۳	۱.۳۳۹۶۸۴	۱.۳۴۱۷۳۶
اسفند	۱.۳۴۰۲۵۲	۱.۳۳۸۱۶۹	۱.۳۴۱۷۷۱	۱.۳۴۰۵۳۷	۱.۳۳۹۶۳۵	۱.۳۴۱۷۳۶

این مناطق با کاهش مواجه شود که خروجی های مدل نیز همین انتظار را برآورده می سازد.

#### منابع

1-Huibers P. D. T., 1997. Models for the wavelength dependence of the index of refraction of water. *Appl. Opt.* 36: 3785–3787.

2-Utterback C. L., Thompson T. G., Thomas B. A., 1934. Refractivity-chlorinity-temperature relationship of ocean waters, *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 9: 35–38.

3-Trabjerg I., Hjerslev N. K., 1996. Temperature influence on light absorption by fresh water and seawater in the visible and near-infrared spectrum. *Appl. Opt.* 35: 2653–2658

4-Pegau W. S., Gray D., Zaneveld J. R. V., 1997. Absorption and attenuation of visible and near-infrared light in water dependence on temperature and salinity. *Appl. Opt.* 36: 6035–6046.

5-Schiebener P., Straub J., Levelt-Sengers J. M. H., Gallagher J. S., 1990. Refractive index of water and steam as function of wavelength, temperature and density. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 19: 677–717

6-Millard R. C., Seaver G., 1990. An index of refraction algorithm for seawater over temperature, pressure, salinity, density, and wavelength, *Deep-Sea Res.* 37: 1909–1926.

7-Stelling G.S. and Van Kester J.A., 1994. On the approximation of horizontal gradients in sigma coordinates for bathymetry with steep bottom slopes, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 18, 915–935

8-Stewart, R.H., 2008. Introduction To Physical Oceanography, chapter 8, Department of Oceanography Texas A & M University.

9-Bohren C. F., Huffman D., 1983. Absorption and scattering of light by small particles. Wiley, New York.

#### ۴. نتایج

از آنجا که افزایش دما به علت کاهش چگالی سیال رابطه معکوسی با ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی دارد بیشترین میزان ضریب شکست در فصل زمستان مشاهده می شود که علت آن کاهش دما در این فصل از سال است و کمترین میزان ضریب شکست نیز در فصل تابستان اتفاق می افتد که دما به بیشترین مقدار خود می رسد.

در حالیکه انتظار داریم با کاهش شوری در فصل زمستان و افزایش آن در فصل تابستان با توجه به این که افزایش شوری به علت افزایش یون های محلول در آب باعث افزایش ضریب شکست امواج الکترومغناطیسی می شود، ضریب شکست در تابستان بیشتر از زمستان باشد اما داده های مدل عکس آن را نشان می دهد بنابر این می توان نتیجه گرفت که تغییرات دما اصلی ترین عامل تغییر ضریب شکست در منطقه خلیج فارس محسوب می شود.

از نظر جغرافیایی ضریب شکست در مناطق جنوبی خلیج فارس و به خصوص اطراف بحرین از مناطق شمالی آن و سواحل ایرانی بیشتر است که علت آن افزایش چگالی سیال در جنوب خلیج فارس می باشد. همچنین با توجه به اینکه سبکترین توده های آب مربوط به شمال غربی و تنگه هرمز می باشد انتظار داریم ضریب شکست در