

## مدل سازی مکانی سرعت صوت در خلیج فارس با استفاده از روش های زمین آماری

حسام الدین مهر فر<sup>۱\*</sup>

[hmehrfar@gmail.com](mailto:hmehrfar@gmail.com)

محمد اکبری نسب<sup>۲</sup>

امیر سیه سرانی<sup>۳</sup>

امین رئیسی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۶

### چکیده

طی گشت تحقیقاتی راهپی ۲۰۰۱ پارامتر فیزیکی سرعت صوت در خلیج فارس اندازه گیری شد. محدوده ایستگاه های انتخابی برای اندازه گیری این پارامترها کل خلیج فارس را شامل می شد. البته این اندازه گیری ها به صورت گسسته از منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است. در این تحقیق به مدل سازی مکانی پارامتر فیزیکی سرعت صوت در خلیج فارس با کمک تحلیل گر زمین آماری نرم افزار ArcGIS 9.2 پرداخته شده است، که حاصل کار، ایجاد نقشه های پیوسته ای از پارامتر حاضر در اعماق مختلف با اعتبار سنجی بالا می باشد. این نقشه های هوشمند این قابلیت را دارند که با کلیک کردن نشان گر ماوس، مقدار پارامتر مورد تحلیل هر مختصات مکانی در ناحیه مورد مطالعه را پیش بینی نمایند. همچنین با تحلیل این نقشه ها نتیجه شد که سرعت صوت در اعماق سطحی تر در بخش های مرکزی به دلیل دما و شوری بالاتر، بیشترین مقدار و در قسمت های شرقی و غربی به دلیل مجاورت با آب های کم شور دریای عمان در اطراف تنگه هرمز در بخش شرقی و اروندرود در بخش غربی این خلیج، کم ترین مقدار را دارد. همچنین در آب های عمیق تر به دلیل خروج آب شورتر خلیج فارس به دریای عمان، در اطراف تنگه هرمز و سواحل جنوبی خلیج فارس صوت بیشترین سرعت را دارد.

**کلمات کلیدی:** خلیج فارس، مدل سازی مکانی، سرعت صوت، سیستم اطلاعات جغرافیایی

۱- دکترای فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بروجرد، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.

۳- دکترای فیزیک دریا، اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

۴- دکترای فیزیک دریا، مربی گروه علوم پایه، آموزشکده فنی سماء وابسته به دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز، ایران.

## **Sound Speed Spatial Modeling in Persian Gulf using Geostatistical Techniques**

**Hesameddin Mehrfar** <sup>1\*</sup> (*Corresponding Author*)

[hmehrfar@gmail.com](mailto:hmehrfar@gmail.com)

**Mohamad Akbarinasab** <sup>2</sup>

**Amir Siah Sarani** <sup>3</sup>

**Amin Raeisi** <sup>4</sup>

### **Abstract**

During research patrol of 2001 ROPME, the physical parameters of sound velocity in the Persian Gulf were measured. The range of stations selected to measure these parameters included the entire Persian Gulf. However, these measurements were discrete from the study area. In this study sound speed was spatially modeled in Persian Gulf using the geostatistical analyst Arc GIS 9.2 software to prepare continuous and high validity maps of sound speed at different depths. These smart maps can be used to predict sound speed at any spatial coordinates in the study area by clicking the mouse pointer. Moreover, analysis of these maps led us to the conclusion that sound speed was highest in the shallower central parts but lowest in the eastern and western parts of the Gulf. The reason for this is the higher temperature and salinity in the central parts and the proximity of the eastern and western parts to the low-salinity waters of the Oman Sea around the Hormuz Strait in the eastern part and Arvandrood in the western part. The deeper waters also had the maximum sound speed around the Hormuz Strait and in the southern shores of the Persian Gulf where the more saline waters of the Gulf poured into the Oman Sea.

**Key Words:** Persian Gulf, Spatial modeling, Sound speed, Geographical information system.

---

1- PhD of Physical Oceanography, Young Researchers and Elite Club, Boroujerd Branch, Islamic Azad University, Boroujerd, Iran. *\*(Corresponding Author)*

2- Assistant Professor Faculty of Environmental and Marine Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran.

3- PhD of Physical Oceanography, Meteorological Organization East Azerbaijan Province, Tabriz, Iran.

4- PhD of Physical Oceanography, Lecturer of Basic Sciences Sama Technical and Vocational Training Collage, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

## مقدمه

خلیج فارس یک منطقه نظامی، اقتصادی و سیاسی مهم و استراتژیک در دنیای کنونی ما است. فعالیت اقتصادی و صنعتی کشورهای حاشیه خلیج فارس بیش تر مبتنی بر تولید فرآورده های نفتی است که از طریق این خلیج توسط کشتی حمل می گردد. در کنار نفت منطقه، کشور های حاشیه ای خلیج فارس یکی از بزرگ ترین دارندگان ذخایر گاز طبیعی جهان می باشند که در حدود ۳۶٪ ذخایر گاز دنیا است. خلیج فارس از دوره هخامنشیان تا امروز همواره اهمیت استراتژیک داشته و به ویژه در دوره جنگ جهانی دوم و دوره جنگ سرد بر اهمیت و شهرت جهانی آن افزوده شد و با آغاز نظام جمهوری اسلامی ایران و بر هم خوردن معادلات جهانی و بروز سه جنگ، موسوم به جنگ های سه گانه خلیج فارس و با توجه به اهمیت اقتصادی و جهان گردی که کشور های حاشیه عربی آن پیدا کرده اند، این منطقه را به نقطه مهمی تبدیل کرده است. این خلیج با ژرفای کم در موقعیت جغرافیایی مدار ۲۴ الی ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و نصف النهار ۴۸ الی ۵۶ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ، قرار گرفته است. خلیج فارس تقریباً ۹۹۰ کیلومتر درازا و به طور ماکزیمم ۳۷۰ کیلومتر پهنا دارد (پهنای آن از ۱۸۵ تا ۳۷۰ متغیر بوده و در تنگه هرمز به ۵۶ کیلومتر می رسد). میانگین عمق آن ۳۶ متر است (۱). تحقیقات گسترده ای در خلیج فارس توسط محققین داخلی و خارجی در خصوص، پارامتر های فیزیکی خلیج فارس صورت گرفته است؛ از عمده ترین تحقیقات دریایی در منطقه خلیج فارس می توان به گشت تحقیقاتی منت میشل<sup>۱</sup> (Reynolds, ۱۹۹۳)، گشت های تحقیقاتی منطقه ای راپمی ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ اشاره نمود (۲).

یکی از مهم ترین مطالعات دهه اخیر، مطالعاتی است که توسط سازمان منطقه ای حفاظت از محیط زیست دریایی

(ROPME) صورت گرفته است. گشت های تحقیقاتی راپمی ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ با کشتی تحقیقاتی قدس متعلق به سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران و با همکاری کشورهای حاشیه ای خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب (منطقه دریایی راپمی) و با حمایت و تامین مالی سازمان منطقه ای حفاظت از محیط زیست دریایی (ROPME) انجام شد که مجری این پروژه ها، معاونت محیط زیست دریایی سازمان محیط زیست جمهوری اسلامی ایران بود. این پروژه ها به منظور بررسی آخرین وضعیت فیزیک و شیمیایی، بیولوژیکی، آلودگی و شرایط زیست محیطی منطقه خلیج فارس صورت گرفت. گشت های تحقیقاتی راپمی ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ برای اولین بار توسط متخصصین منطقه و کشورهای عضو راپمی و با مدیریت متخصصین ایران اسلامی انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که در سال های گذشته انجام چنین گشت های تحقیقاتی گسترده، توسط متخصصین خارجی صورت پذیرفته بود. در این ارتباط، می توان به گشت تحقیقاتی منت میشل در سال ۱۹۹۲ توسط متخصصین آمریکایی (۳) و نیز گشت تحقیقاتی اومیتا کامارو توسط متخصصین ژاپنی در سال ۱۹۹۳ در این منطقه اشاره داشت (۲). داده مورد استفاده در این تحقیق توسط دستگاه CTD در جریان گشت راپمی ۲۰۰۱ که در ۶ آگوست سال ۲۰۰۱ (۱۵ مرداد ماه ۱۳۸۰) از تنگه هرمز (بندرعباس در ایران) شروع و در ۲۸ آگوست (۶ شهریور ماه ۱۳۸۰) در بندر الشیوخ کویت خاتمه یافت، جمع آوری شده است. حاصل این گشت تحقیقاتی، جمع آوری اطلاعات و داده ها در ۸۰ ایستگاه می باشد که در ۱۴ ترانسکت طی ۲ مرحله (Leg 1, Leg 2) انجام پذیرفت. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه های نمونه برداری نشان داده شده است. همان طوری که اشاره شد، طی گشت های تحقیقاتی راپمی ۲۰۰۱ پارامتر های

$$\begin{aligned}
c(S, T, P) &= C_w(T, P) + A(T, P)S \\
&+ B(T, P)S^{3/2} + D(T, P)S^2 \\
C_w(T, P) &= (C_{00} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) \\
&+ (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P \\
&+ (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 \\
&+ (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3 \\
A(T, P) &= (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) \\
&+ (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P \\
&+ (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 \\
&+ (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3 \\
B(T, P) &= B_{00} + B_{01}T + (B_{10} + B_{11}T)P \\
D(T, P) &= D_{00} + D_{10}P
\end{aligned}$$

که در آن  $T$ ، دما بر حسب درجه سانتی گراد،  $S$ ، بر حسب ppt یا psu و  $P$ ، بر حسب bar است.

Wong و Zhu (۱۹۹۵)، گستره اعتباری فرمول فوق را دماهایی در بازه ۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد، شوری در بازه ۰ تا ۴۰ جزء در هزار، و فشار ۰ تا ۱۰۰۰ bar دانستند. ضرایب موجود در فرمول فوق الذکر همگی در جدول ۱ آمده اند.

فیزیکی دما، شوری (رسانایی الکتریکی) و فشار (عمق) در خلیج فارس اندازه گیری شده اند. محدوده ایستگاه های انتخابی برای اندازه گیری این پارامترها کل خلیج فارس را شامل می شد. البته این اندازه گیری ها به صورت گسسته از منطقه مورد مطالعه صورت گرفته اند. در تحقیق حاضر هدف، مدل سازی مکانی پارامتر سرعت صوت با کمک تحلیل گر زمین مکانی نرم افزار ArcGIS 9.2 می باشد، که نتیجه کار، ایجاد نقشه های پیوسته ای از پارامترهای حاضر در اعماق مختلف می باشد. تعیین سرعت صوت فرآیندی تجربی است که بر اساس سه پارامتر اصلی دما، شوری و عمق در نواحی مختلف صورت می گیرد. سرعت صوت در آب دریا یکی از مهم ترین پارامترهای است که در اکثر فعالیت های میدانی مورد نیاز بوده و در بسیاری از تحقیقات نظامی، شیلاتی، مخابرات دریایی و هیدروگرافی، بر اساس آن محاسبات صورت می گیرد. مثلاً می توان گفت که عملکرد سونار وابسته به سرعت صوت می باشد.

دستگاه CTD از حس گرهای رسانایی الکتریکی (شوری)، دما، و فشار (عمق) با استفاده از چندین فرمول مشهور برای محاسبه سرعت صوت بهره می گیرد. Pike و Beibor (۱۹۹۳) این فرمول ها را مقایسه کردند و به نتیجه رسیدند که برای کار در فلات قاره ( $< 1000 \text{ m}$ )، فرمول پیشنهاد شده توسط Chen و Millero (۱۹۷۷) بسیار مناسب است و برای عمق های عمیق تر استفاده از فرمول پیشنهادی Del Grosso (۱۹۷۴) را ترجیح دادند (۴). ما نیز در این تحقیق از فرمول Chen و Millero (۱۹۷۷) بهره گرفته ایم (۵). فرمول Chen و Millero (۱۹۷۷) که به یک الگوریتم استاندارد بین المللی توسط UNESCO تبدیل شده است، به صورت زیر است:

۱ - سونار (sonar)، ناوبری و تشخیص فاصله توسط صوت (sound navigation and ranging)، تکنولوژی است که با استفاده از انتشار صدا در زیر آب قادر به شناسایی دیگر ناوها یا کشتی ها است

جدول ۱- مقدار ضرایب موجود در فرمول Chen و Millero (۱۹۷۷).

جدول ضرایب			
Coefficients	Numerical values	Coefficients	Numerical values
C <sub>00</sub>	1402.388	A <sub>02</sub>	7.166E-5
C <sub>01</sub>	5.03830	A <sub>03</sub>	2.008E-6
C <sub>02</sub>	-5.81090E-2	A <sub>04</sub>	-3.21E-8
C <sub>03</sub>	3.3432E-4	A <sub>10</sub>	9.4742E-5
C <sub>04</sub>	-1.47797E-6	A <sub>11</sub>	-1.2583E-5
C <sub>05</sub>	3.1419E-9	A <sub>12</sub>	-6.4928E-8
C <sub>10</sub>	0.153563	A <sub>13</sub>	1.0515E-8
C <sub>11</sub>	6.8999E-4	A <sub>14</sub>	-2.0142E-10
C <sub>12</sub>	-8.1829E-6	A <sub>20</sub>	-3.9064E-7
C <sub>13</sub>	1.3632E-7	A <sub>21</sub>	9.1061E-9
C <sub>14</sub>	-6.1260E-10	A <sub>22</sub>	-1.6009E-10
C <sub>20</sub>	3.1260E-5	A <sub>23</sub>	7.994E-12
C <sub>21</sub>	-1.7111E-6	A <sub>30</sub>	1.100E-10
C <sub>22</sub>	2.5986E-8	A <sub>31</sub>	6.651E-12
C <sub>23</sub>	-2.5353E-10	A <sub>32</sub>	-3.391E-13
C <sub>24</sub>	1.0415E-12	B <sub>00</sub>	-1.922E-2
C <sub>30</sub>	-9.7729E-9	B <sub>01</sub>	-4.42E-5
C <sub>31</sub>	3.8513E-10	B <sub>10</sub>	7.3637E-5
C <sub>32</sub>	-2.3654E-12	B <sub>11</sub>	1.7950E-7
A <sub>00</sub>	1.389	D <sub>00</sub>	1.727E-3
A <sub>01</sub>	-1.262E-2	D <sub>10</sub>	-7.9836E-6

### مواد و روش ها

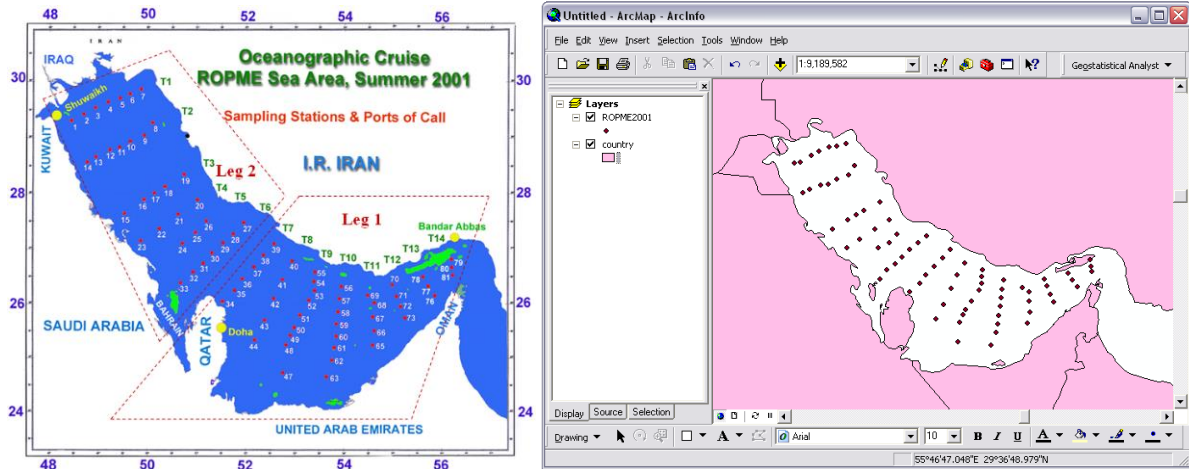
دانست، چراکه این تحلیلگر را می توان به عنوان پلی بین شکاف بزرگ زمین آمار و GIS دانست. تحلیلگر زمین آماری از نقاط نمونه برداری شده استفاده می کند و سطوح پیوسته ای را ایجاد می کند (درونیایی می کند). تحلیلگر زمین آماری دو گروه از

تحلیلگر زمین آماری ArcGIS® شرکت ESRI® توسیعی برای عملکردهای مجموعه نرم افزاری ArcGIS است که قادر به مدل سازی پیشرفته سطوح با استفاده از روش های جبری و زمین آماری می باشد. تحلیلگر زمین آماری را می توان انقلابی در علوم زیست محیطی از جمله اقیانوس شناسی و هواشناسی

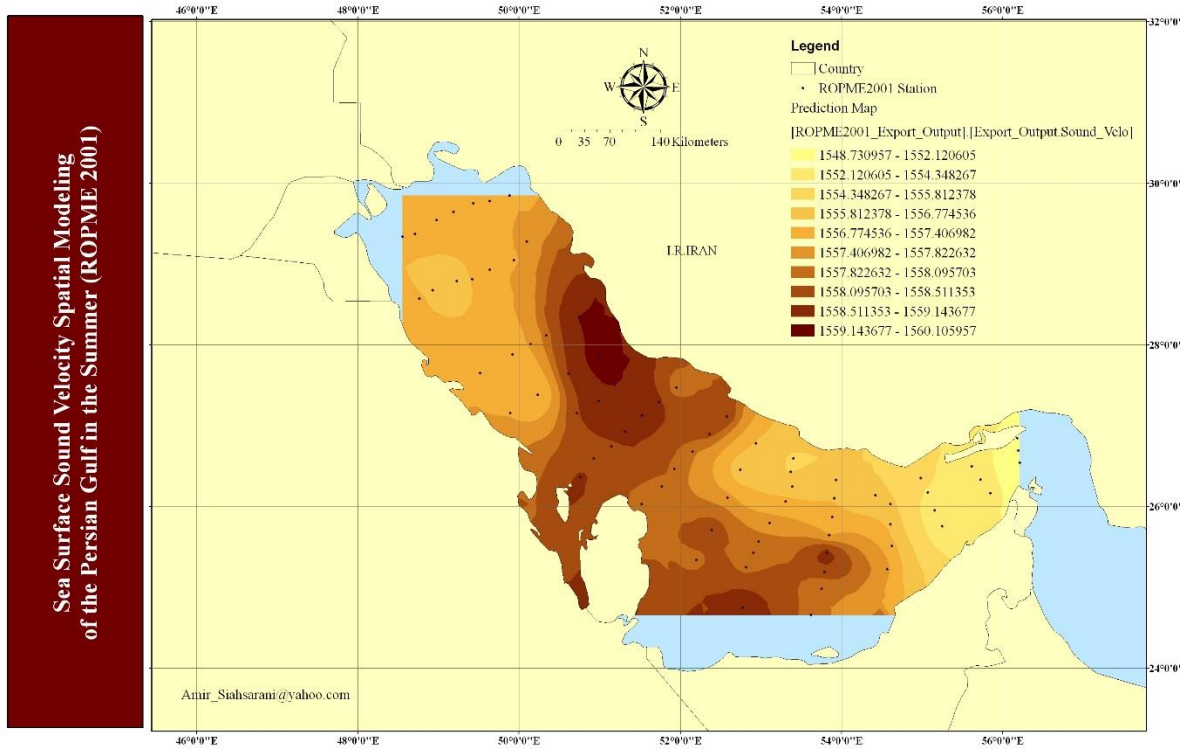
Shape تبدیل گردید (شکل ۱) و در نهایت لایه‌ای برای همه ایستگاه‌های موجود در گشت تهیه شد. با استفاده از داده‌های CTD موجود در ارتباط با پارامتر سرعت صوت، پایگاه داده‌ای برای سطح دریا و اعماق ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، و ۴۰ در هر گشت ایجاد شد (شکل های ۲ تا ۶). جدول توصیفی لایه‌ی مربوط به ایستگاه‌های تحقیقاتی را با پایگاه داده‌ی ایجاد شده، Join نموده و در نهایت تحلیل پارامتر سرعت صوت موجود در جدول توصیفی جدید شروع شد. این کار با تحلیل‌گر زمین آماری صورت گرفت و از روش کریجینگ معمولی استفاده شد. با استفاده از مجموعه فرآیندهای هدایتی موجود در کادریهای محاوره‌ای تحلیل‌گر زمین آماری و پاره‌ای از مباحث بنیادی در این ارتباط، نقشه‌های پیش‌بینی ایجاد شد. این نقشه‌ها این قابلیت را دارند که با کلیک کردن نشان‌گر ماوس، مقدار پارامتر مورد تحلیل هر مختصات مکانی در ناحیه مورد مطالعه را پیش‌بینی نمایند.

تکنیک‌های زمین آماری را فراهم می‌آورد: جبری<sup>۱</sup> و زمین آماری<sup>۲</sup>. در حقیقت می‌توان گفت همه روش‌ها به یکدیگر شبیه‌اند چراکه از نقاط نمونه برداری شده‌ی مجاور برای ایجاد سطح استفاده می‌کنند. تکنیک‌های جبری از توابع ریاضی برای درون‌یابی استفاده می‌کنند. ولی روش‌های زمین آماری از هر دو روش ریاضی و آماری بهره می‌برد، که می‌تواند برای ایجاد سطوح بکار برده شود و این قابلیت را دارد که خطای برآورد یا عدم قطعیت پیش‌بینی را تعیین کند (۹۶).

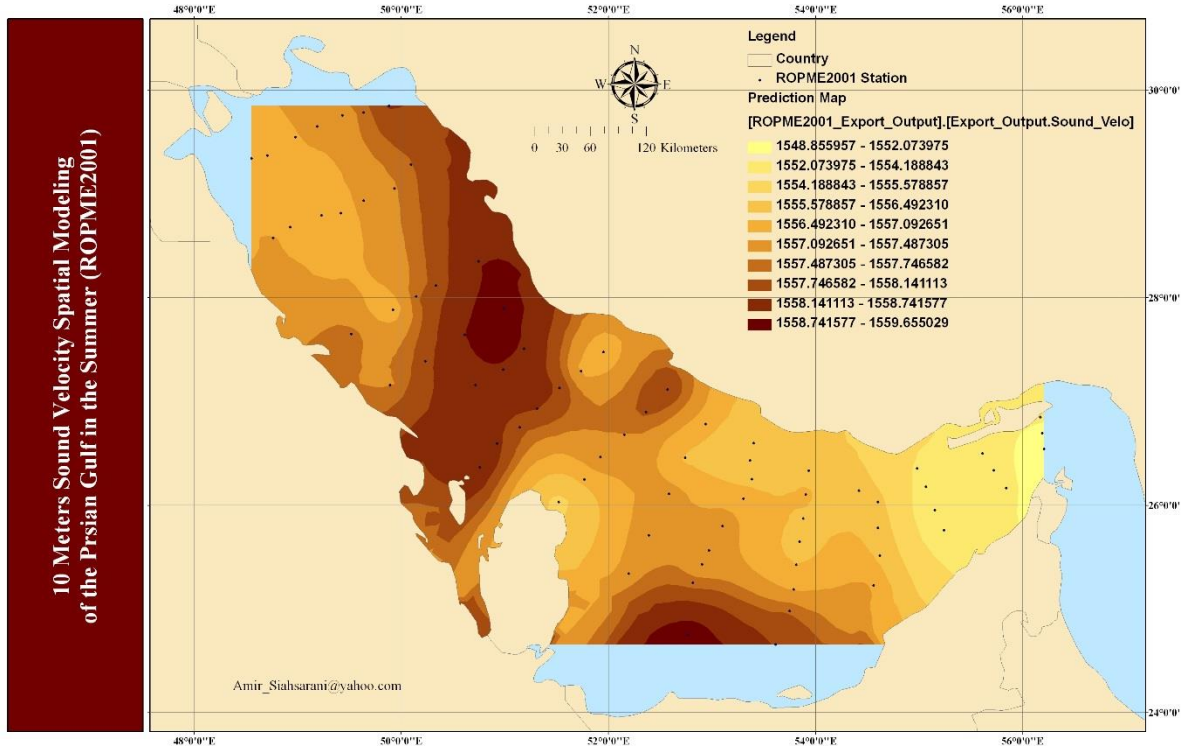
در این تحقیق، ابتدا نقشه‌ای از منطقه مورد مطالعه تهیه گردید، این نقشه به صورت یک نقشه رقومی می‌باشد که قابل استفاده در نرم افزار ArcGIS 9.2 است. این نقشه digit شده، دارای سیستم مختصات جغرافیایی با Datum، WGS 1984 می‌باشد. مختصات مکانی تمامی ایستگاه‌های نمونه برداری شده در هر گشت تحقیقاتی در ابتدا توسط ابزارهای موجود در ArcMap نمایش داده شد، سپس توسط برنامه جنبی XTools، نقاط را از حالت Graphic به



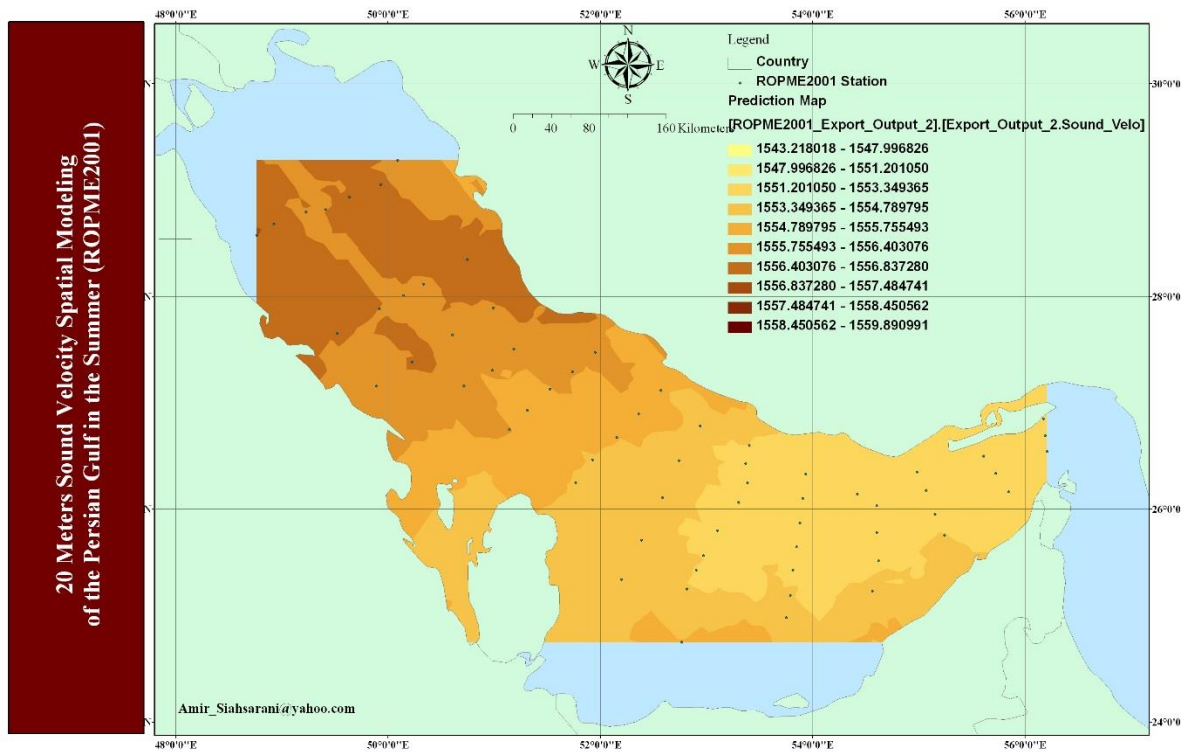
شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های اندازه گیری ROPME 2001



شکل ۲- مدل سازی مکانی سرعت صوت در آب‌های سطحی در سطح خلیج فارس

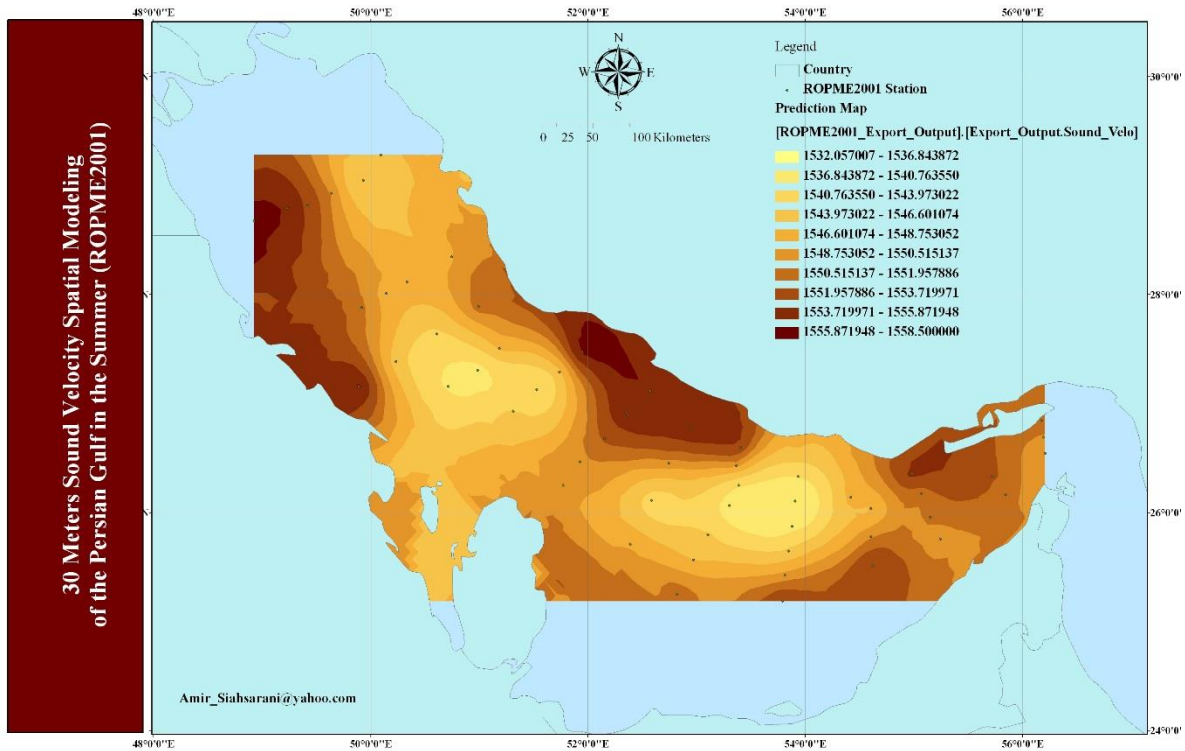


شکل ۳- مدل سازی مکانی سرعت صوت در عمق ۱۰ متری در سطح خلیج فارس

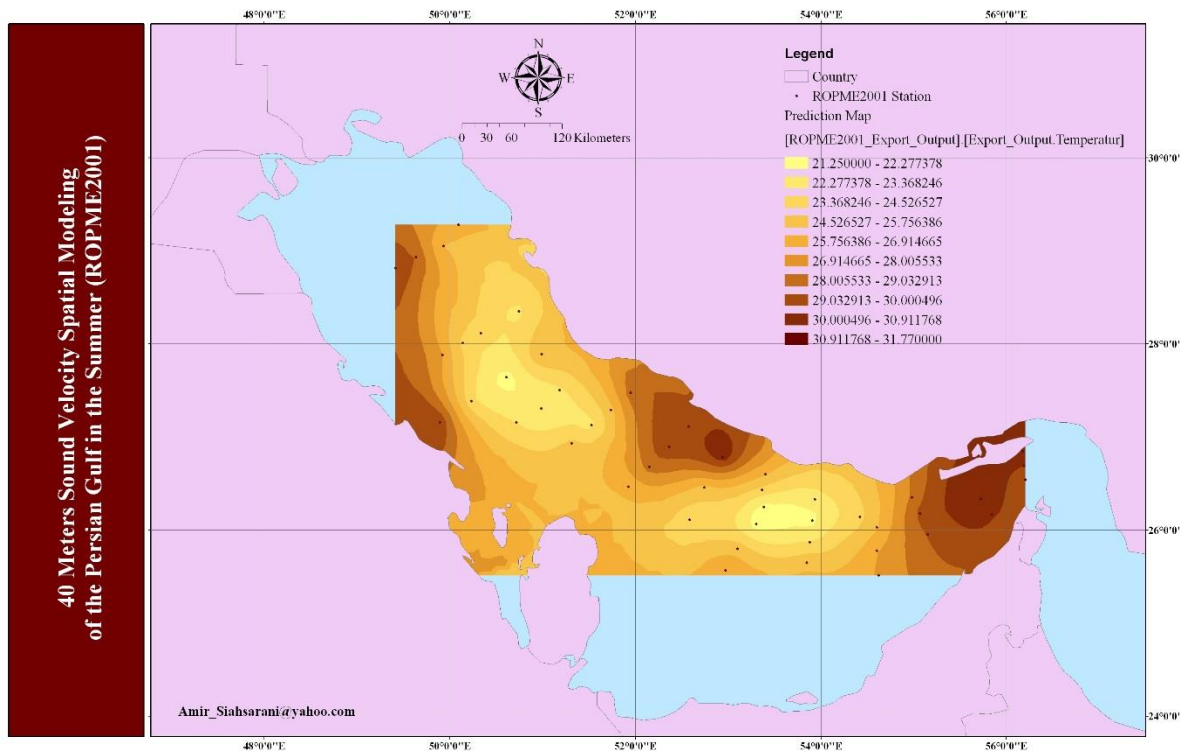


شکل ۴- مدل سازی مکانی سرعت صوت در عمق ۲۰ متری در سطح خلیج فارس





شکل ۵- مدل سازی مکانی سرعت صوت در عمق ۳۰ متری در سطح خلیج فارس



شکل ۶- مدل سازی مکانی سرعت صوت در عمق ۴۰ متری در سطح خلیج فارس

### زمین آمار، کریجینگ و اعتبار سنجی مدل

در بررسی‌های آمار کلاسیک، نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شود، فاقد اطلاعات مکانی بوده و در نتیجه، مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص هیچ‌گونه اطلاعاتی را در مورد مقدار همان کمیت در نمونه دیگری به فاصله معین در بر نخواهد داشت. زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. بدین لحاظ می‌تواند موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یک‌جا مورد تحلیل قرار دهد. روش‌های زیادی به زمین آمار وابسته می‌باشند، اما همگی این روش‌ها بخشی از خانواده کریجینگ می‌باشند. نه تنها با انجام روش‌های کریجینگ در تحلیل‌گر زمین آماری، این روش‌ها به ایجاد سطوح و خطای آن‌ها می‌پردازند، بلکه آن‌ها همچنین نقشه‌های خروجی احتمالی و چارکی وابسته به نیاز ما را نیز تولید می‌کنند. برای داده‌های زمین آماری،

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (1)$$

که  $Z(s)$  متغیر مورد علاقه ماست، که این متغیر به روند جبری  $\mu(s)$ ، و خطاهای تصادفی خود همبسته  $\varepsilon(s)$ ، تجزیه می‌شود. سمبل  $S$  نمایان‌گر موقعیت می‌باشد؛ باید توجه داشت که این موقعیت یاد شده در فرمول فوق متضمن مختصات مکانی  $X$  - (طول جغرافیایی) و  $Y$  - (عرض جغرافیایی) می‌باشد. تغییرات بر روی این فرمول، پایه و اساس همه انواع مختلف روش کریجینگ را شکل می‌دهد.

در روش کریجینگ معمولی فرض بر این است که مدل به فرم زیر می‌باشد:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) \quad (2)$$

که  $\mu$  یک ثابت مجهول است. روش کریجینگ معمولی برای تولید نقشه‌های پیش‌بینی، چارکی، احتمالی و خطای استاندارد استفاده می‌شود.

یکی از ابزارهای اعتبار سنجی مدل، cross-validation یا اعتبار سنجی متقابل است. روش cross-validation از همه داده‌ها برای تخمین مدل خود همبستگی استفاده می‌کند. در این روش تحلیل‌گر زمین آماری هر موقعیت دارای داده‌ای را، یک به یک، در نظر نگرفته و مقدار داده را برای آن نقطه پیش‌بینی می‌کند؛ این دستورالعمل برای نقطه دوم تکرار می‌شود، و همین‌طور ادامه می‌یابد. برای همه نقاط اندازه‌گیری شده، cross-validation محاسبه شده و مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مقایسه می‌شود. بعد از کامل نمودن cross-validation، برای برخی موقعیت‌های دارای داده که ممکن است مقدار غیر معمولی اختصاص داده شده باشد، به مدل خود همبستگی با اصلاح و برازش دوباره نیازمندیم.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در جریان کار با مدل‌های ریاضی، اغلب با انبوهی از اطلاعات و کمیت‌های عددی مواجه هستیم و تنها در موارد معدودی استفاده مستقیم از این اعداد مفید می‌باشد. به عبارت دیگر مشاهده منحنی‌های تغییرات پارامترها، غالباً احساس واضح و جامع‌تری را از رفتار و یا اثر آن‌ها در پدیده بدست می‌دهد. بنابراین استفاده از روش‌های گرافیکی برای به تصویر کشیدن چگونگی رفتار و تغییرات پدیده‌ها روش مناسب‌تری می‌باشد. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود، تحلیل‌گر زمین آماری قابلیت نمایش روش‌های گرافیکی تغییرات پارامترهای فیزیکی دریا از جمله سرعت صوت، با دقت بالا را دارد.

همان‌طوری‌که در نقشه‌ها بوضوح دیده می‌شود، بیش‌ترین مقدار سرعت صوت در آب‌های سطحی در قسمت‌های مرکزی خلیج فارس و در حاشیه شمالی این قسمت دیده می‌شود؛ این مقدار بالا را با شوری و دمای بالای این آب‌ها می‌توان توجیه کرد. کم‌ترین مقدار سرعت صوت در این لایه، در قسمت‌های شرقی و غربی این خلیج دیده می‌شود که این نیز به دلیل ورود آب کم‌شور دریای عمان و اروندرود در هر یک از این بخش‌ها می‌تواند باشد. این روند در عمق ۱۰ متری تقریباً حفظ می‌شود، اما بعد از این عمق در عمق ۲۰ متری مقدار سرعت صوت تقریباً یک روند ثابت و یکنواخت در کلیه قسمت‌های خلیج-

- density gradient: Residual currents in the Arabian Gulf" Applied Mathematical Modelling, Vol. 15(6), pp. 282 – 294
4. Pike, J.M., and Beiboer, F.L., 1993, "A Comparison between Algorithms for the Speed of Sound in Seawater". The Hydrographic Society, Special Publication No. 34.
  5. Chen, C. T., and Millero, F.J., 1977, "Speed of sound in seawater at high pressures". J Acoust Soc Am, Vol. 62(5), pp. 1129-1135.
  6. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M., 1999, "an Introduction to Applied Geostatistics", Oxford University Press, New York.,
  7. Clark, I., 2005, "Practical Geostatistics", Elsevier Applied Science Publication Ltd.
  8. Kevin Johnston, J. M., Ver Hoef, K. K., and Neil, L., 2003, "ArcGIS 9 using ArcGIS Geostatistical Analyst", ESRI Press.
  9. Melanie. H., and Rhonda. P., 2002, "ArcGIS 9 using ArcMap", ERSI Press.
  10. Del Grosso, V.A., 1974, "New equation for the speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations)". J Acoust Soc Am, Vol. 56(4), pp. 1084-1091.
  11. Emery, K. O., 1956, "Sediments and water properties of the Persian Gulf", AAPG Bulletin., Vol. 40, pp.2354-2383
  12. Pous Stéphane, Lazure Pascal, Carton Xavier, 2015. "A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability", Continental Shelf Research, Vol. 94, pp. 55-70
- فارس دارد. در اعماق ۳۰ و ۴۰ به دلیل خروج آب‌های شور خلیج فارس به سمت دریای عمان در سواحل جنوبی و اطراف تنگه هرمز، سرعت صوت بیش تر می‌شود. البته حاشیه شمالی بخش مرکزی دارای بیش‌ترین مقدار سرعت صوت است.
- در اینجا پیشنهاد می‌شود که به سبب ضرورت دست‌یابی به اطلاعات جامع و کامل از کل آب‌های خلیج فارس از یک‌سو و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با دقت و صحت لازم، ایجاب می‌نماید که کلیه ارگان‌ها و مراکز تحقیقات دریایی کشور از جمله مرکز ملی اقیانوس شناسی کشور به‌عنوان متولی داده‌های اقیانوس شناسی، با کلی‌نگری و پرهیز از هر نوع نگرش سطحی و بخشی، کلیه همکاری‌های لازم را با تمامی دانشکده‌ها و دانشگاه‌های علوم دریایی به‌عمل آورده و با طرح مسئله و تنظیم پروژه‌های مشترک با کشورهای حاشیه‌ای خلیج فارس، تمامی آب‌های شمالی و به‌خصوص آب‌های جنوبی خلیج فارس (به دلیل فقدان داده‌های میدانی در این ناحیه) را در تمامی فصول به‌خصوص در فصل پاییز (به دلیل فقدان داده‌های میدانی در این فصل) تحت پوشش و مطالعه قرار داده تا ضمن تحلیل‌های منطقی و صحیح، بتوان به نتایج جامعی رسید.
- منابع**
1. Alessi, C. A., H. D. Hunt, A. S. Bower. 1999. "Hydrographic data from the U.S. Naval oceanographic office: Persian Gulf, southern Red sea and Arabian Sea", Woods Hole Oceanog. Institution Technical Report WHOI-99-02.
  2. Reynolds. R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition, Marine Pollution Bulletin, Vol. 27, pp.35 – 59.
  3. Lardner, R.W., S.K. Das, 1991. "On the computation of flows driven by