Archive of SID

استفاده از الگوریتم شبکه عصبی به منظور تهیه نقشه شوری سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای MODIS

منیر دارستانی فراهانی[1] مهدی آخوندزاده هنزائی[2]
فرهنگ احمدی گیوی[3]

تاریخ دریافت مقاله: ۹٤/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۳/۳۰

****

چکیده

شوری آب، یکی از عوامل مهم محیطی دریا محسوب می‌شود و نقش بسزایی در بررسی و پیش‌بینی جریان‌های سطحی اقیانوسی، تحلیل مکانیابی تجمیع ماهی‌ها، تعیین چگالی و بررسی تغییرات آن دارد. این پارامتر به شدت با تغییرزمان و مکان، در تغییر بوده و شناخت مناسب از آن مستلزم اندازه‌گیری‌هایی به فواصل زمانی کوتاه (ماهانه) در تعداد نقاط متعدد از منطقه‌ی مورد مطالعه است. در روش‌های سنتی، بررسی و ارزیابی یک یاچندفاکتور خاص موردنظر از کیفیت آب اغلب پرهزینه و زمانبراست و همچنین نمی‌تواند معرف خوبی برای تمام مساحت یک منطقه وسیع باشد. اما در سال‌های اخیر فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور به عنوان یک ابزار مناسب برای ارزیابی برخی پارامترهای کیفیت آب مطرح شده است زیرا با توجه به رقومی بودن این داده‌ها، در دسترس بودن وسیع آنها، اندازه‌گیری منظم، تکراری بودن آنها در پریودهای زمانی کوتاه، هزینه و زمان کمتر می‌توان طیف وسیعی از پروژه‌ها را به نتیجه رساند. هدف از انجام این مطالعه، تهیه نقشه شوری سطحی آب منطقه خلیج فارس در ایران و خلیج سنت لورنس در کانادا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ایMODIS می‌باشد، که در این راستا نرم افزاری برای نخستین بار در ایران تولید شده است که می‌توان با پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ایMODIS وداده‌های میدانیCTD، نقشه دما، شوری و چگالی سطحی آب را با سه مدل متفاوت با دقت مناسب تهیه نمود. قابلیت و انعطاف بالای شبکه عصبی مصنوعی در تقریب توابع غیرخطی و خطی پیوسته در فضای ترکیبی باعث شد که در این مطالعه، یک روش جدید بر مبنای استفاده از این شبکه ارائه شود که در آن نقشه شوری توسط یک شبکه پرسپترون چندلایه تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شوری، سنجش از دور، MODIS ، داده‌های میدانیCTD ، شبکه عصبی

****

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروگرافی دانشگاه تهران monir.farahani@ut.ac.ir
۲- استادیار گرایش سنجش از دور گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه تهران makhonz@ut.ac.ir
۳- دانشیارگروه فیزیک فضا مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ahmadig@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

شوری از عوامل مهم محیطی دریا محسوب می‌شود و میزان آن نقش مهمی بر الگو و پراکندگی موجودات در دریا دارد. از عوامل مؤثر بر شوری می‌توان به تبخیر، بارندگی، ورودی رودخانه‌ها و میعان و انجماد اشاره نمود، که شوری به ترتیب با تبخیر، انجماد رابطه مستقیم و با بارندگی، ورودی رودخانه‌ها و میعان رابطه عکس دارد. شوری آب دریا به صورت مقدار کل ماده جامد حل شده بر حسب گرم در یک کیلوگرم آب دریا، که کل کربنات آن به اکسید تبدیل شده، تعریف می‌شود *(Forch و همکاران، ۱۹۰۲)*. بر اساس تحقیقات، رابطه ثابتی بین یون کلر و شوری آب دریا وجود دارد که در اندازه گیری دقیق غلظت شوری، از یون کلر موجود در آن استفاده می‌کنند.

$$s = 1.8055\,cl + 0.03 \quad (۱)$$

بررسی خصوصیات منابع بوم شناختی نخستین قدمی است که برای هر گونه مطالعه در جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر رفتار و شرایط موجود در دریا صورت می‌گیرد. دردنیای امروز مطالعات زیادی در مورد نقش دریاها و دریاچه‌ها برروی مناطق و اکوسیستم‌های مجاور آن صورت گرفته است. برای استفاده بهتر از منابع دریایی، حمل و نقل آبی، حفاظت تأسیسات ساحلی در برابر امواج و بهره‌برداری از انرژی آب، داشتن اطلاعات کمی و کیفی از مشخصه‌های پهنه‌ی آبی لازم و ضروری است. مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی دریا به شدت با زمان و مکان در تغییر بوده و شناخت مناسب ازمشخصات آب یک منطقه مستلزم اندازه‌گیری‌هایی به فواصل زمانی کوتاه (ماهانه) در تعداد نقاط متعدد ازمنطقه‌ی مورد مطالعه است. در روش‌های سنتی بررسی و ارزیابی یک یا چند فاکتور خاص مورد نظر از کیفیت آب، احتیاج به نمونه‌گیری و کارآزمایشگاهی دارد. اندازه‌گیری این پارامترها با روش‌های معمولی به علت گستردگی منطقه، محدودیت اقتصادی و مرزهای سیاسی و همچنین متغیر بودن پارامترها و انجام آن به صورت نقطه‌ای اغلب پرهزینه و زمانبر است و همچنین نمی‌تواند معرف خوبی برای تمام مساحت یک منطقه وسیع باشد. سنجش از دور می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب‌تر برای ارزیابی بعضی پارامترهای کیفیت آب مطرح باشد زیرا نقشه‌های جامع و مکرر از منطقه تولید می‌کند. در سال‌های اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است.

داده‌های ماهواره‌ای به عنوان ارزش‌های عددی انرژی حاصل از پدیده‌های زمینی به سنجنده، اهمیت روزافزونی در استخراج اطلاعات منابع زمینی دارد. مهمترین ویژگی داده‌های ماهواره‌ای که آنرا از سایر داده‌ها ازجمله عکس‌های هوائی متمایز می‌کند، چندطیفی بودن آنها است که امکان مطالعه منابع مختلف را در باندهای متنوعی ازمرئی تا مادون قرمز و امواج راداری فراهم آورده است.دیگر ویژگی این داده‌ها تکراری بودن آنها در پریودهای زمانی کوتاه است که به کاربران مختلف امکان بررسی سریع و به موقع تغییرات پدیده‌های مختلف را فراهم می‌آورد. ویژگی ممتاز دیگر رقومی بودن این داده‌ها است که باعث شده قابلیت تزریق به سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را داشته باشد. با استفاده از فناوری سنجش از دور می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. *(علوی پناه۱۳۸۲)*

۲- پیشینه تحقیق

مارگانی و هشیم *(Marghany,M & et al,2009)* از روش کمترین مربعات که برای استخراج شوری از داده‌های MODIS[1] است استفاده کردند. صلاح و همکاران *(Salah TD & et al,2010)* نیز با استفاده از داده‌های میدانی و داده‌های ماهواره‌ای MODIS به بررسی شوری سطحی و تغییرات فصلی آن پرداختند.ایشان در ابتدا الگوریتمی اشتباه برای بازسازی شوری از تصاویر ماهواره‌ای MODIS معرفی کردند و سپس براساس مطالعات و نتایج قبلی، الگوریتم چندخطی با دقت مناسب و به منظور

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تغییرات فصلی شوری سطحی به کار بردند.

مارگانی و هشیم *(Marghany,M & et al,2011)* شوری سطحی را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS مطالعه کرده و الگوریتم Box–Jenkins در این زمینه را ارائه کردند. آنها به کمک روش‌های خطی و غیرخطی و تصاویر ماهواره‌ای شوری در دریای جنوب چین را بازسازی نمودند و به‌علاوه داده‌های سری زمانی MODIS را به کار برده و الگوریتمی برمبنای این داده‌ها طراحی کردند. گیگر *(Geiger & et al,2014)* در مطالعات جدید با استفاده از شبکه عصبی و داده‌های ماهواره‌ای MODIS شوری سطحی در مناطق شرق اقیانوس اطلس را بازسازی کرد.باتوجه به اطلاعات موجود،در زمینه تعیین شوری سطحی آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، در ایران تاکنون کاری انجام نشده است.

۳- روش تحقیق

در این مطالعه سه مدل مرجع، مدل پیشنهادی و شبکه عصبی مصنوعی به منظور تعیین شوری سطحی آب ارائه شده است. در دو مدل مرجع و پیشنهادی از الگوریتم Splitwindow و با استفاده از روش کمترین مربعات به منظور برقراری ارتباط بین مقادیر میدانی شوری و مقادیر شوری بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردیده است. در این الگوریتم نیاز به داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای MODIS می‌باشد که با توجه به تعداد ناکافی داده‌های میدانی در ایران و در نتیجه دستیابی به نقشه شوری با دقت پایین و نامناسب، مدلی جدید پیشنهاد داده شده است که می‌توان با همان تعداد داده‌های میدانی به نقشه شوری با دقت مناسب و بالا دست یافت. همچنین از روشی نوین در شبکه عصبی که در آن با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها، به منظور برآورد شوری سطحی آب و مقایسه دقت بین مدل‌های ارائه شده، استفاده شده است. هر سه مدل ارائه شده برای نخستین بار در ایران، ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱-مدل مرجع (Reference Model)

در تهیه نقشه شوری سطحی آب به هر دو نوع داده میدانی و ماهواره‌ای نیاز می‌باشد که باید به سه نکته توجه نمود، نکته اول یکسان بودن سیستم مختصات داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های میدانی می‌باشد که باید سیستم ماهواره‌ای را با تبدیلات ژئودزی به سیستم زمینی داده‌های میدانی تبدیل کرد تا هردو دارای سیستم مختصات یکسان بشوند. نکته دوم همزمان بودن داده‌های ماهواره‌ای و میدانی است که باید هردوی این داده‌ها مربوط به یک روز باشند، نکته سوم این است که در زمان برداشت داده‌های میدانی، هوا ابری نباشد در غیراین صورت نقشه خروجی از دقت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد. پس از برداشت داده‌های میدانی از منطقه با توجه به تاریخ این داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای را از سایت ***http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.htm*** دانلود کرده و به همراه داده‌های شوری میدانی CTD[1] به عنوان داده‌های مشاهداتی در الگوریتم موردنظر وارد می‌شوند. در این مدل، از دو باند اول طیفی تصویر با توان تفکیک اسمی ۲۵۰ متر و پنج باند دوم طیفی با توان تفکیک اسمی ۵۰۰ متر استفاده می‌شود (باندهای ۱ تا ۷). در اندازه‌گیری داده میدانی شوری، سرعت کم باد و سطح ملایم آب در نظر گرفته شده است. در تعیین نقشه شوری سطحی آب، مجزا از مدل استفاده شده، از داده‌های میدانی شوری (CTD) هم به عنوان داده مشاهداتی و پارامتر معلوم در الگوریتم، و هم به منظور اعتبارسازی مقادیر شوری تهیه شده از تصاویر MODIS استفاده می‌شود و این مدل با مشاهدات میدانی تست می‌گردد. از الگوریتم Split Window به منظور برقراری ارتباط بین شوری بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شوری میدانی استفاده شده است (رابطه ۲).

$$SSSMODIS_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{K} \beta_j I_{ij} \qquad (۲)$$

i بیانگر تعداد داده‌های میدانی شوری در یک روز مشخص است که به این تعداد معادله تشکیل داده می‌شود و j=1,2,...,7 که بیانگر هفت باند اول تصویر MODIS می‌باشد. در رابطه (۲) به جای پارامتر SSSMODIS_i، داده

1- Conductivity, Temperature and Depth.

www.SID.ir

Archive of SID

میدانی شوری به عنوان پارامتر معلوم در الگوریتم قرار داده می‌شود که ماتریسی با ابعاد n×1 می‌باشد.

I همان بازتابش‌های (reflectance) باند اول تا هفتم، تصویر ماهواره‌ای MODIS، در موقعیت داده‌های میدانی شوری می‌باشد که دارای ماتریسی با ابعاد n×8 است. مجهولات، ضرایب ثابت β_0 تا β_7 می‌باشند که ماتریسی با ابعاد ۸×۱ است و با سرشکنی کمترین مربعات تعیین می‌گردند (رابطه ۳و٤). پس از تشکیل معادلات و انجام سرشکنی کمترین مربعات و بدست آمدن مجهولات، ضرایب β_0 تا β_7 به عنوان پارامترهای معلوم در رابطه (۲) قرار داده شده و شوری سطحی آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS تعیین می‌گردد.

در رابطه (۵)، ε، بیانگر خطای میانگین که اختلاف بین مقادیر شوری میدانی و شوری بازیابی شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در همان موقعیت داده‌های میدانی است، می‌باشد.

$$SSSMODIS = I\beta \quad (۳)$$

$$\beta = (I'I)^{-1}I'SSS \quad (٤)$$

$$SSSMODIS_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{\kappa} \beta_j I_{ij} + \varepsilon \quad (۵)$$

رابطه (٦) بیانگر مدل رگرسیون به منظور بازیابی شوری سطحی از داده‌های MODIS می‌باشد. برای تعیین میزان این خطا از رابطه (۷) که نشان دهنده مجموع میانگین خطاها است، استفاده می‌گردد. در صورتیکه $\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = 0$ و $\frac{\partial S}{\partial \beta_i} = 0$ باشد، مقدار خطای میانگین دارای مینیمم مقدار ممکن می‌باشد و در نتیجه نقشه خروجی دارای دقت بالاتری خواهد بود. روابط (٦) تا (۱۳) به بررسی خطای میانگین و معادلات مربوط به آن می‌پردازد.

$$SSSMODIS = I\beta \quad (٦)$$

$$S(\beta) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \times \varepsilon = (SSS - I\beta)'(SSS - I\beta) \quad (۷)$$

$$S(\beta) = SSS'SSS - 2\beta' I'SSS + B'I'I\beta \quad (۸)$$

$$\frac{\partial S}{\partial B} = -2I'SSS + 2I'I\beta \quad (۹)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = -2\sum_{i=1}^{n}\left(SSS_i - \beta_0 - \sum_{i=1}^{n}\beta_j I_{ij}\right) = 0 \quad (۱۰)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_j} = -2\sum_{i=1}^{n}\left(SSS_i - \beta_0 - \sum_{i=1}^{n}\beta_j I_{ij}\right) I_{ij} = 0 \quad (۱۱)$$

$$S(\beta) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(SSS_i - \beta_0 - \sum_{i=1}^{n}\beta_j I_{ij}\right)^2 \quad (۱۲)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^{N}(SSSMODIS - SSS_{situ})}{N} \quad (۱۳)$$

۳-۲-مدل پیشنهادی (Proposed Model)

به دلیل کمبود داده‌های میدانی(CTD) درمنطقه خلیج فارس و درنتیجه خطای بالای نقشه خروجی و به منظور بهبود دقت مدل، در این مطالعه مدلی جدید پیشنهاد شده است.

با توجه به تعداد ناکافی داده‌های میدانی و دقت نامطلوب نقشه خروجی و همچنین نسبت کم معلومات به مجهولات، در مدل پیشنهادی با توجه به نسبت سیگنال به نویزوهمچنین نزدیکی طول موج‌ها در باندهای مطالعاتی، باندهای یک و پنج حذف گردیده و بدین ترتیب تعداد مجهولات از هفت به پنج کاهش می‌یابند.

به منظور بررسی دقت مدل‌های مرجع و پیشنهادی، نقشه شوری با هر دو مدل برای خلیج سنت لورنس در کانادا که داده‌های میدانی در این منطقه نسبت به داده‌های خلیج فارس بیشتر است، تهیه گردید که خطاهای مربوط به آن نیز در جدول‌های ۳و٤ نشان داده شده است. تمامی معادلات و روابط استفاده شده در این مدل نیز به مانند مدل مرجع می‌باشد.

۳-۳-شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)

یک شبکه عصبی مصنوعی (NeuralNetworkArtificial) ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی

www.SID.ir

Archive of SID

فوق‌العاده بهم پیوسته تشکیل شده (neurons) که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کنند که برای انجام وظیفه‌های مشخص، مانند شناسایی الگوها و دسته‌بندی اطلاعات، در طول یک پروسه یادگیری، تنظیم می‌شوند. شبکه‌های عصبی چند لایه، با یک یا چندلایه مخفی به شرط آن که تعداد نرون‌های لایه‌های مخفی کافی داشته باشند، می‌توانند هر تابع غیر خطی پیوسته‌ای را در فضای ترکیبی تخمین بزنند.

این شبکه‌ها با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و شناسایی گرایش‌های مختلفی که برای انسان‌ها و کامپیوترشناسایی آنها بسیار دشوار است، استفاده شوند و همچنین توان بالقوه‌ای برای حل مسائلی دارند که شبیه‌سازی آنها از طریق منطقی، تکنیک‌های تحلیلی و تکنولوژی‌های استانداردهای نرم‌افزاری مشکل است. عمل یک شبکه عصبی بدین صورت است که وقتی یک الگوی ورودی به آن ارائه می‌شود، یک الگوی خروجی تولید می‌کند.

دو خاصیت از مهمترین خواص شبکه‌های عصبی قابلیت فراگیری و تعمیم آنهاست که در قابلیت فراگیری، سیستم یاد می‌گیرد که الگوهای مشخصی را تشخیص دهد وبه آنها پاسخ خروجی صحیح بدهد و در قابلیت تعمیم، سیستم با استفاده از مثال‌های داده شده، خواص کلی طبقات مختلف الگوها را استنتاج کند.

در این مطالعه، ورودی شبکه، بازتابش‌های باند اول تا باند هفتم تصویر ماهواره‌ای MODIS در موقعیت داده‌های میدانی شوری در تصویر می‌باشد و خروجی شبکه، شوری در این نقاط است که ورودی فقط یک بار به شبکه وارد می‌شود و پاسخ سیستم در خروجی به نمایش در می‌آید. خطای سیستم ترکیبی از پاسخ‌های مطلوب و پاسخ واقعی سیستم است که اطلاعات خطا که به صورت فیدبک به سیستم برمی‌گردد که این هم در یک حالت سیستماتیک بر همه پارامترهای سیستم منطبق می‌شود. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا خروجی به صورت قابل قبول درآید.

٤-پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

٤-١-منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، نقشه‌های شوری خلیج فارس با سه مدل ارائه شده، تهیه و میزان خطای هر مدل محاسبه گردید و به منظور بررسی صحت این مدل‌ها، نقشه‌های شوری در منطقه خلیج سنت لورنس در کانادا نیز تهیه شده است. خلیج فارس دریای نیمه بسته‌ای می‌باشد که در قسمت غربی فلات ایران واقع شده و در شبه جزیره جنوب غرب آسیا، شکاف ایجاد کرده است.این خلیج با ژرفای کم در موقعیت جغرافیایی مدار ٢٤ الی ٣٠ درجه و ٣٠ دقیقه عرض شمالی و نصف النهار ٤٨ الی ٥٦ درجه و ٣٥ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. فاصله عرض خلیج بین ١٨٥تا ٣٣٨ کیلومتر متغیر است.خلیج فارس دارای نقش اساسی در تنوع وپراکنش در رفتارهای زیستی موجودات می‌باشد، به همین لحاظ اطلاع وآگاهی از چگونگی شرایط حاکم بر آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خلیج سنت لورنس بخشی از آب‌های شمال غربی اقیانوس اطلس است که در جنوب شرقی کانادا می‌باشد و گستره‌ای ٤٠٠ کیلومتری را از دهانه رود سنت لورنس تا نیوفاندلند در شرق را پوشش می‌دهد و در فاصله طول جغرافیایی ٧٠درجه غربی تا ٦٠ درجه غربی و در فاصله عرض جغرافیایی ٣٠درجه شمالی تا ٥٠ درجه شمالی قرار دارد. پهنای این خلیج در عریض‌ترین نقطه آن ٨٠٠ کیلومتر است و مساحت آن در برخی منابع ٢٥٩٠٠٠ کیلومتر مربع و در برخی دیگر ١٥٥٠٠٠ کیلومتر مربع ذکر شده است.

٤-٢- مشاهدات

پارامترهای فیزیکی سطحی آب را با دو روش فیزیکی و سنجش از دور تعیین می‌کنند که در روش فیزیکی، پارامترها یا در ایستگاه‌های ثابت دریایی (بویه) که در محل‌های مخصوص مستقرند، یا به وسیله قایق‌ها و کشتی‌های تحقیقاتی، اندازه‌گیری می‌شوند که در این روش جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات به علت گستردگی وهمچنین متغیر بودن بعضی پارامترها و سایر مشکلات، کاری هزینه بر و وقت‌گیر است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱: تعیین محدوده مختصات جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه	موارد مطالعاتی	تاریخ	محدود طول جغرافیایی	محدوده عرض جغرافیایی	میانگین داده‌های خام	واریانس داده‌های خام
ایران	مورد اول	٦ فوریه ۲۰۰۸	۵۳ ۵۸ ۰۰	۲۵ ٤۵ ۰۰	۳۹/۰۹۱٦	۰/۱٦۳۰
			۵٤ ۵۸ ۲۳	۲٦ ۳۸ ۳۵		
	مورد دوم	۸ فوریه ۲۰۰۸	۵۲ ۱۱ ۳۰	۲۵ ٤۰ ۰۰	۳۹/۵۹۵۷	۰/۱۷۷۷
			۵۸ ۲۸ ۵۹	۲۷ ۲۵ ۰۰		
	مورد سوم	۱۰ فوریه ۲۰۰۸	۵۰ ۲۷ ۰۰	۲۱ ۱٦ ۵۹	٤۰/۲۹۲۹	۰/۰۰۱۰
			۵۱ ۷ ۱۲	۲۸ ٤۳ ۵۹		
کانادا	مورد چهارم	۱۲ آگوست ۲۰۰۹	-٦۷ ۵۲ ۳۰	٤۰ ۱۰ ۳٦	۳۲/٤۸٦۳	۰/۵۱۱۰
			-٦۷ ۱٤ ۱۲	٤۱ ۵۷ ۰۰		
	مورد پنجم	۱۳ آگوست ۲۰۰۹	-٦۸ ۵ ۳۵	٤۱ ۳۹ ۲٤	۳۲/۲۲۷۳	۰/۰۵۸۸
			-٦۷ ۵۹ ۱۲	٤۱ ٤۷ ۵۹		
	مورد ششم	۸ فوریه ۲۰۰۹	-٦۷ ٤۳ ۱۸	٤۱ ۵۳ ٤۸	۳۲/٤۰۲۱	۰/۰۰۷۷
			-٦۵ ٤٤ ۳۵	٤۲ ۲۸ ٤۷		

در روش سنجش از دور پارامترهای سطحی با استفاده از تابش سنج‌های نصب شده بر روی ماهواره اندازه‌گیری می‌شود.

هدف از این مطالعه، تهیه نقشه شوری سطحی آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS می‌باشد. در این راستا نرم افزاری برای اولین بار در ایران تهیه گردیده است که با وارد کردن تصویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های میدانی CTD و انجام پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان نقشه پارامترهای سطحی آب (دما، شوری وچگالی) را با سه مدل متفاوت به همراه میزان خطای آن مشاهده نمود. بدین منظور نیاز به دو دسته داده‌های میدانی و ماهواره‌ای می‌باشد که از داده‌های میدانی همچنین به عنوان روشی برای اعتبارسنجی نتایج تحقیق استفاده می‌شود (کالیبراسیون).

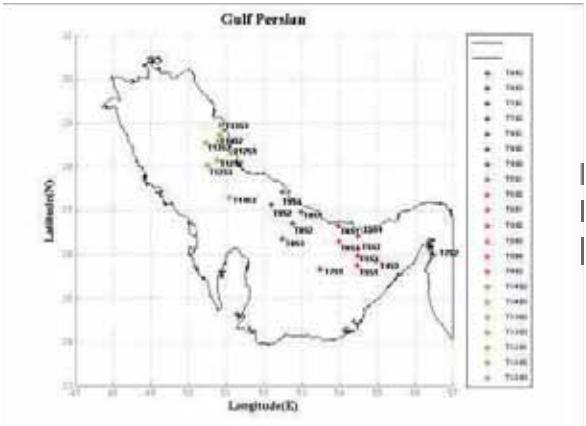
در این تحقیق دو منطقه خلیج فارس در ایران و خلیج سنت لورنس در کانادا مورد مطالعه قرار گرفته و داده‌های میدانی شوری در این دو منطقه تهیه گردید. در منطقه خلیج فارس، داده‌های میدانی (CTD) توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در ماه فوریه سال۲۰۰۸ در۵۲ ایستگاه نمونه‌برداری، با دستگاه CTD برداشت شده است. پارامترهای برداشت شده دما و شوری آب می‌باشد که به همراه داده‌های مختصات جغرافیایی و زمان موجود می‌باشند.

این داده‌ها در فاصله طول جغرافیایی ٤۹ درجه و۲۲ دقیقه شرقی تا ۵٦ درجه و۳۰دقیقه شرقی و در فاصله عرض جغرافیایی ۲۵درجه و٤۰ دقیقه شمالی تا ۲۹ درجه و٤۲دقیقه شمالی قرار دارد. در نگاره شماره۱، موقعیت جغرافیایی داده‌های میدانی CTD منطقه خلیج فارس در ایران نشان داده شده است.

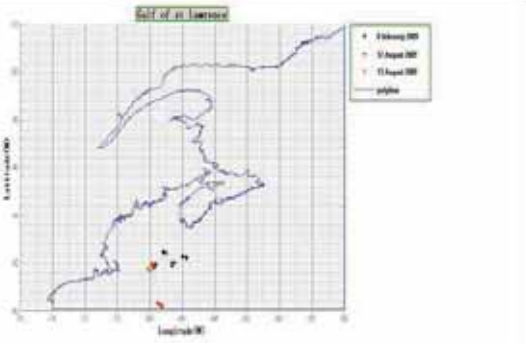
داده‌های میدانی خلیج سنت لورنس در دو ماه فوریه و آگوست سال ۲۰۰۹ توسط کشور آمریکا در مجموع ۷٤ ایستگاه نمونه برداری، برداشت شده است، که این داده‌ها

www.SID.ir

Archive of SID



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی داده‌های میدانی CTD در منطقه خلیج فارس در ایران. ستاره‌های قرمز موقعیت داده‌ها را در روز ششم، ستاره‌های آبی در روز هشتم و ستاره‌های سبز در روز دهم فوریه ۲۰۰۸ مشخص می‌کنند.



نگاره ۲: موقعیت جغرافیایی داده‌های میدانی CTD در منطقه خلیج سنت لورنس در کانادا. ستاره‌های سیاه موقعیت داده‌ها در روز ۸ فوریه، ستاره‌های قرمز در روز ۱۲ آگوست و ستاره‌های سبز موقعیت داده‌ها را در روز ۱۳ آگوست ۲۰۰۹.

در فاصله طول جغرافیایی ۷۰درجه غربی تا ۶۰ درجه غربی و در فاصله عرض جغرافیایی۳۰درجه شمالی تا ۵۰ درجه شمالی قرار دارد. در نگاره شماره۲، موقعیت جغرافیایی داده‌های میدانی CTD در منطقه خلیج سنت لورنس نشان داده شده است.در جدول شماره ۱، محدوده موقعیت جغرافیایی منطقه خلیج فارس و خلیج سنت لورنس به همراه تاریخ برداشت داده‌های میدانی مشخص شده است.

از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS (اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) که بر روی ماهواره Terra قرار داده شده است، به عنوان داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌کنیم. سنجندهٔ مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد و دامنهٔ طیفی آن از طول موج‌های ۱۴/۴ - ۰/۴ میکرومتر می‌باشد. سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۵ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی۵۰۰متر و در ۲۹ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند. به دلیل آنکه زاویه اسکن این سنجنده ۵۵ ± درجه بوده و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد.

۵-پیاده سازی و ارزیابی نتایج

با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها در شبکه عصبی این شبکه‌ها قادر خواهند بود یک نگاشت غیر خطی با دقت بالا انجام دهند.

در این تحقیق یک شبکه عصبی پس انتشار با یک

www.SID.ir

Archive of SID

لایه پنهان در نظر گرفته شد و با توجه به اهمیت تعداد نرون‌های لایه پنهان برای تعیین مقدار مناسب این پارامتر، معماری‌های مختلفی از شبکه عصبی با تعداد ۲ تا ۱۱ نرون در لایه پنهان در نظر گرفته شد و در هر معماری ۵ بار با تعدا دفعات متفاوت آموزش دیده و در ادامه میانگین خطای کمترین مربعات داده‌های ارزیابی و برآورد گردید. نمودارهای ۱و۲، روند تغییر خطای کمترین مربعات داده‌های ارزیابی به ازای افزایش تعداد نرون‌های لایه پنهان را نشان می‌دهند. همانطور که در این دو نمودارمشاهده می‌گردد روند تغییر خطای کمترین مربعات با افزایش نرون در لایه پنهان دارای رفتاری متفاوت می‌باشد.

با توجه به شکل فوق تعداد نرونی که دارای کمترین خطای RMSE می‌باشد به عنوان تعداد نرون مناسب، در شبکه عصبی به کار می‌رود. به منظور پیاده‌سازی شبکه عصبی مصنوعی ٦٥% از داده‌ها برای آموزش، ۱۵% برای آزمون و در نهایت ۲۰% از داده‌ها برای مجموعه تأیید اختصاص داده شده است.در نمودار شماره ۳، به بررسی اختلاف بین سه مدل ارائه شده و میزان خطای هریک ازاین مدل ها در روز ٦ فوریه ۲۰۰۸ در منطقه خلیج فارس پرداخته شده است. در ادامه در نمودار شماره ٤، مقدار خطای هریک از مدل‌های مرجع، پیشنهادی و شبکه عصبی نسبت بهم در سه روز ٦ ،۸و۱۰ فوریه ۲۰۰۸ در منطقه خلیج فارس نمایش داده شده است. در نمودارشماره۵، به بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بدست آمده از هریک از مدل‌ها در روزهای ۱۲ و۱۳ آگوست و ۸فوریه سال ۲۰۰۹ می‌پردازد.

به منظور بررسی دقت سه مدل ارائه شده، در ابتدا نقشه شوری برای خلیج فارس در سه روز ششم، هشتم و دهم فوریه سال ۲۰۰۸ و سپس نقشه این پارامتر برای خلیج سنت لورنس با تعداد داده‌های میدانی بیشتر در سه روز دوازدهم و سیزدهم آگوست و دهم فوریه سال ۲۰۰۹ به همراه میزان خطای آن تهیه گردید و تصحیحات لازم بر روی آنها انجام گرفت، سپس مقادیر بدست آمده نقشه خروجی با داده‌های میدانی مقایسه شد. به ترتیب مقادیر خطای RMSE برای خلیج فارس و خلیج سنت لورنس در جدول ۳و ٤و همچنین جدول ۲ برای بررسی این خطا در شبکه عصبی نمایش داده شده است.

جدول ۲: میزان RMSE شوری سطحی آب بدست آمده با شبکه عصبی

منطقه مورد مطالعه	موردهای مطالعاتی	Validation data	Test data
ایران	مورد مطالعاتی اول	۰/۸۱۳٤	۰/۳٦۸٦
	مورد مطالعاتی دوم	۱/۰۵۷۱	۰/۳۵۰۱
	مورد مطالعاتی سوم	۰/٤۳۰٤	۰/٤۱٤۷
کانادا	مورد مطالعاتی چهارم	۰/۰۳۰۹	۰/۰۲۳٤
	مورد مطالعاتی پنجم	۰/۱۲۵٦	۰/۰۲۷۵
	مورد مطالعاتی ششم	۰/۱۰۷۷	۰/۰٤۱۲

نگاره‌های ۳ تا ۱۱ و نگاره‌های ۱۲ تا ۲۰ نقشه شوری سطحی خروجی از سه مدل ارائه شده را به ترتیب در مناطق خلیج فارس و خلیج سنت لورنس در روزهای مربوط نشان می‌دهند. در تهیه این نقشه‌ها تصحیحات لازمه بر آن‌ها اعمال گردیده و مناطق ابری با رنگ سفید نشان داده شده است. در نگاره‌های فوق به بررسی تفاوت این سه مدل و اهمیت هریک از آن‌ها پرداخته شده است.

مطمئن‌ترین روش برای بررسی دقت مقادیر بدست آمده، استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی است که همزمان با لحظه تصویربرداری صورت گرفته باشند. برای این منظور می‌توان از دستگاه‌هایی که در تحقیقات اقیانوس‌شناسی برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف دریا به کار می‌روند استفاده کرد.

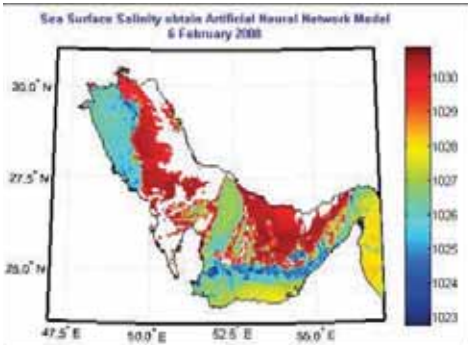
www.SID.ir

Archive of SID

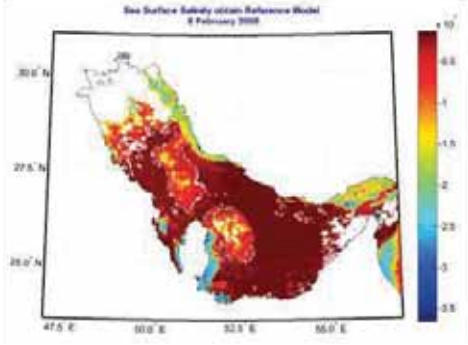
$$RMSE_{sss} = \left[N^{-1}\sum_{i=1}^{N}(SSS_{modis} - SSS_{situ})^2\right]^{0.5} \quad (۱۴)$$

$$RMSE_{sss\ by\ ANN} = \left[N^{-1}\sum_{i=1}^{N}(SSS_{sss\ by\ ANN} - SSS_{situ})^2\right]^{0.5} \quad (۱۵)$$

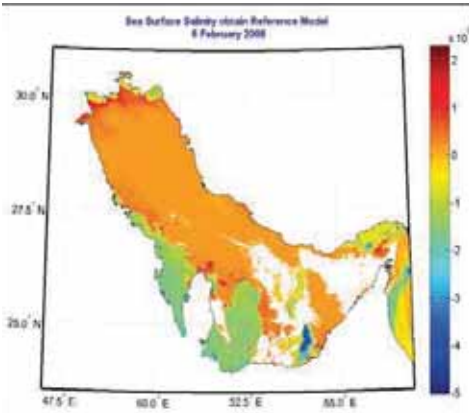
N تعداد داده‌های میدانی، SSSMODIS نقشه خروجی شوری سطحی آب از تصویر ماهواره‌ای SSS_{situ} شوری میدانی(داده میدانی)، $SSS_{sss\ by\ ANN}$ شوری بدست آمده با شبکه عصبی می‌باشد.



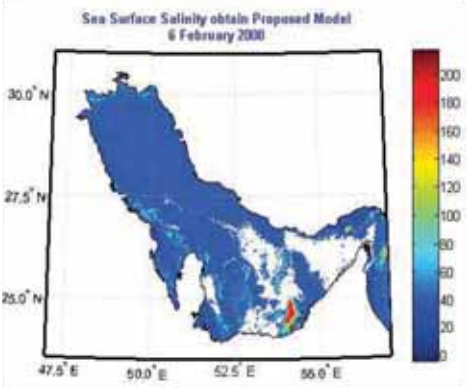
نگاره ۵: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ٦ فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی



نگاره ٦: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۸با استفاده از مدل مرجع



نگاره ۳: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ٦ فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل مرجع

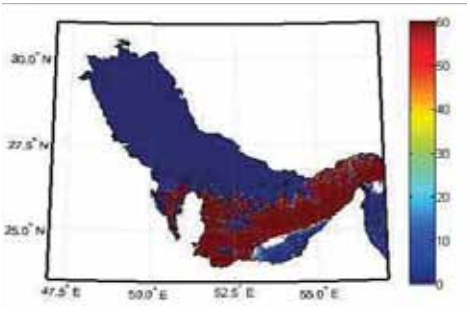


نگاره٤: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ٦ فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل پیشنهادی

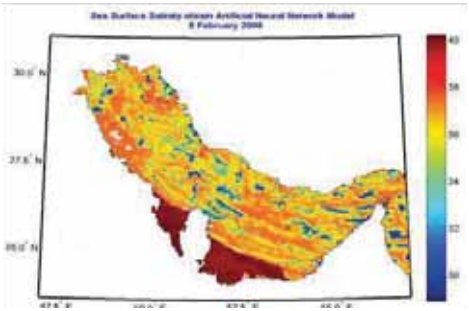
یکی از محدودیت‌های مطالعاتی این تحقیق و اغلب تحقیقات مشابه، کمبود اطلاعات پایه و ناپیوستگی در این اطلاعات است. در این مطالعه از داده‌های میدانی (CTD) به منظور اعتبارسنجی نقشه خروجی استفاده شده است.خطای نقشه خروجی از رابطه زیر تعیین می‌شود:

www.SID.ir

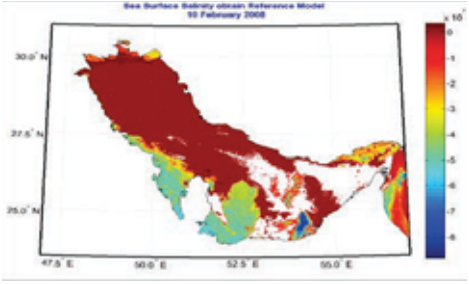
Archive of SID



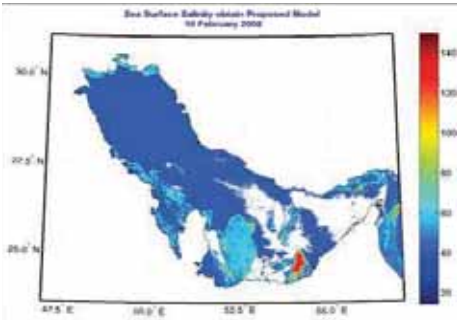
نگاره ۷: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۸با استفاده از مدل پیشنهادی



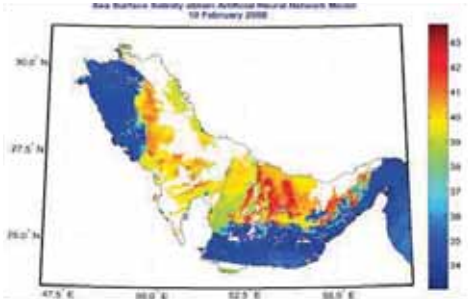
نگاره ۸: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۸با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی



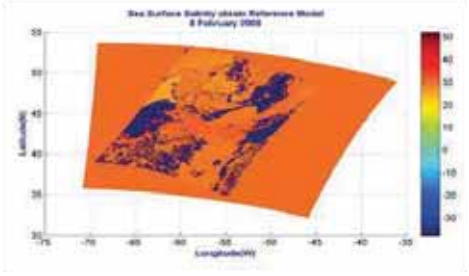
نگاره ۹: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۱۰فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل مرجع



نگاره ۱۰: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۱۰ فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل پیشنهادی



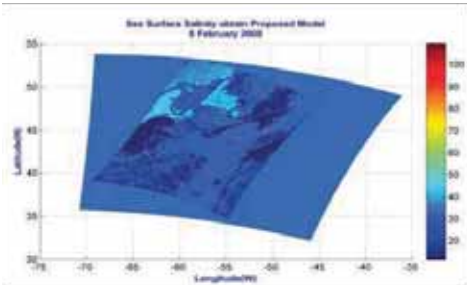
نگاره ۱۱: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج فارس، در روز ۱۰ فوریه ۲۰۰۸ با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی



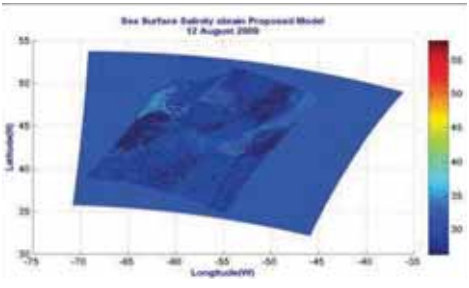
نگاره ۱۲: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج سنت لورنس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۹ با استفاده از مدل مرجع

www.SID.ir

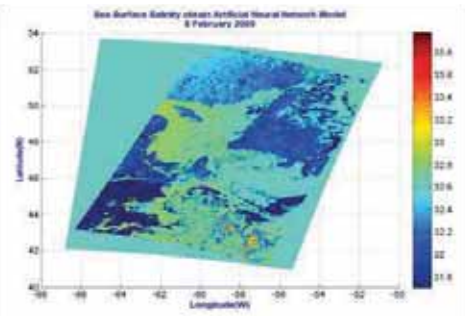
Archive of SID



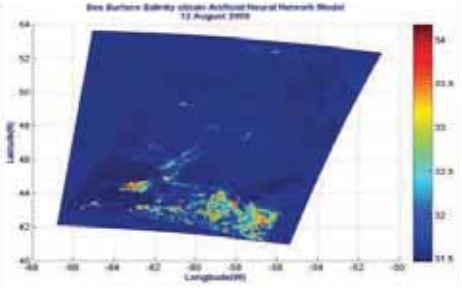
نگاره ۱۳: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج سنت لورنس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۹ با استفاده از مدل پیشنهادی



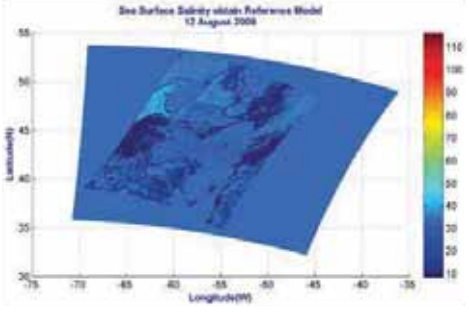
نگاره ۱۶: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۲ آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل پیشنهادی



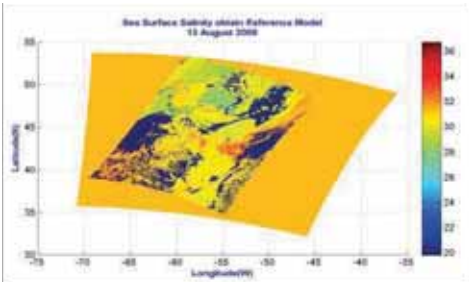
نگاره ۱۴: نقشه شوری سطحی بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی و استفاده از مرز ساحلی خلیج سنت لورنس، در روز ۸ فوریه ۲۰۰۹ با استفاده از مدل شبکه عصبی



نگاره ۱۷: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۲ آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل شبکه عصبی



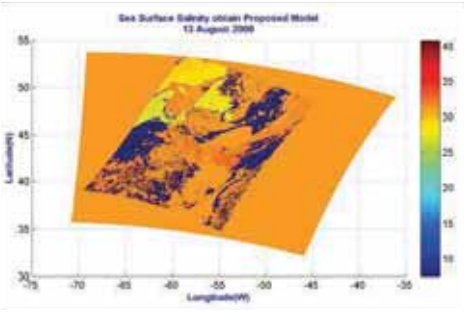
نگاره ۱۵: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۲ آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل مرجع



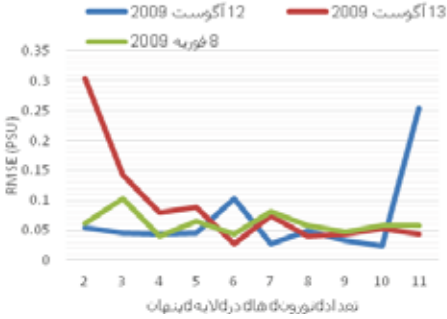
نگاره ۱۸: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۳ آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل مرجع

www.SID.ir

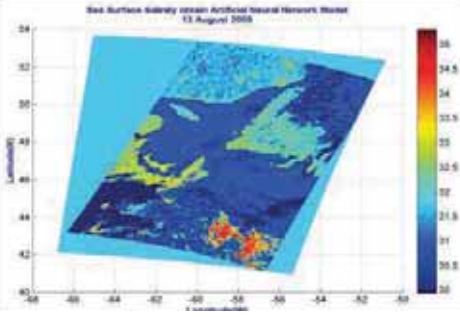
Archive of SID



نگاره ۱۹: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۳ آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل پیشنهادی

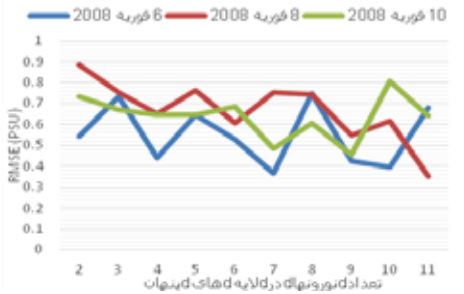


نمودار۲: روند تغییرات خطای کمترین مربعات با افزایش نرون‌ها در منطقه خلیج سنت لورنس

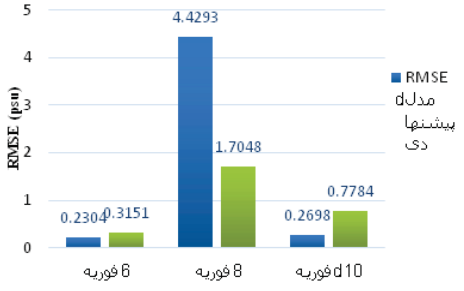


نگاره ۲۰: نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، در روز ۱۳آگوست ۲۰۰۹ با استفاده از مدل شبکه عصبی

نمودار ۳: بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل مرجع، مدل پیشنهادی و مدل شبکه عصبی در روز ٦ فوریه سال ۲۰۰۸



نمودار۱: روند تغییرات خطای کمترین مربعات با افزایش نرون‌ها در منطقه خلیج فارس



نمودار ٤: بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل پیشنهادی و مدل شبکه عصبی در روزهای ٦ ، ۸ و ۱۰ فوریه سال ۲۰۰۸

www.SID.ir

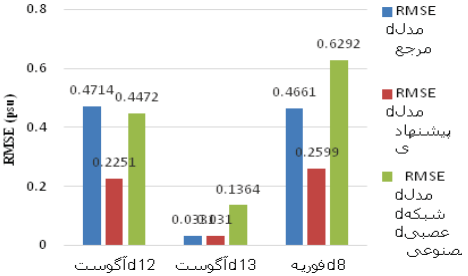
Archive of SID

جدول ۳: بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل مرجع، مدل پیشنهادی و مدل شبکه عصبی در روزهای ٦ ، ٨ و ١٠ فوریه سال ۲۰۰۸

	٦ فوریه	٨ فوریه	١٠ فوریه
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل مرجع (psu)	١٤٦٥٧٥/٨٣٣	٥٤٧٥٤٧٢/٠٧٤١	١٥٨٢٢٧/٧١٠١
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل پیشنهادی (psu)	٠/٢٣٠٤	٤/٤٢٩٣	٠/٢٦٩٨
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج فارس بدست آمده از مدل شبکه عصبی (psu)	٠/٣١٥١	١/٧٠٤٨	٠/٧٧٨٤

جدول ٤: بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج سنت‌لورنس بدست آمده از مدل مرجع، پیشنهادی و مدل شبکه عصبی در روزهای ۱۲و۱۳ آگوست، و ۸ فوریه سال۲۰۰۹

	۱۲ آگوست	۸ فوریه	۱۳ آگوست
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بدست آمده از مدل مرجع (psu)	٠/٤٧١٤	٠/٤٦٦١	٠/٠٣٣١
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بدست آمده از مدل پیشنهادی (psu)	٠/٢٢٥١	٠/٢٥٩٩	٠/٠٣١٠
RMSE نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بدست آمده از مدل شبکه عصبی (psu)	٠/٤٤٧٢	٠/٦٢٩٢	٠/١٣٦٤



نمودار۵: بررسی میزان خطای نقشه شوری سطحی خلیج سنت لورنس بدست آمده از مدل مرجع، پیشنهادی و شبکه عصبی در روزهای ۱۲ و۱۳ آگوست و ۸فوریه سال ۲۰۰۹

با بررسی میزان خطا در هر دو منطقه مطالعاتی و مقایسه مقادیر شوری بین مدل پیشنهادی و مدل مرجع و همچنین مقایسه با مقادیر شوری میدانی، با وجود کمبود داده‌های میدانی در منطقه خلیج فارس و همچنین درنظرگرفتن نیاز به وجود داده‌های میدانی به تعداد بالا به منظور دستیابی به نقشه شوری سطحی با دقت بالا در این منطقه، می‌توان به این نتیجه دست یافت که مدل پیشنهادی قابلیت این را دارد که با وجود تعداد اندک داده‌های میدانی، نقشه شوری سطحی آب رابا دقت مناسب که حدود 10^{7} برابر بهتر از مدل مرجع می‌باشد، تهیه نماید و در خلیج سنت لورنس به دلیل نسبت پایین سیگنال به نویز و همچنین نزدیکی طول موج‌ها در باندهای مطالعاتی نسبت به خلیج فارس و همچنین بالاتر بودن نسبت تعداد داده‌های میدانی این خلیج به خلیج فارس دقت مدل پیشنهادی و مدل مرجع به هم نزدیک و دارای دقت مناسب می‌باشد. اختلاف بین اندازه‌گیری حاصل از مشاهدات ماهواره‌ای و میدانی می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی همچون خطای اتفاقی یا سیستماتیک باشد.

داده‌های ماهواره‌ای قادر به تهیه نقشه پارامترهای سطحی آب می‌باشد در حالیکه داده‌های میدانی مربوط به عمق‌های چند سانتیمتری زیر سطح آب می‌باشند. ازطرف دیگر داده‌های میدانی به صورت محدود و نقطه‌ای جمع‌آوری شده و تمام منطقه آبی پوشش داده شده توسط تصویر ماهواره‌ای را در برنمی‌گیرند و این می‌تواند خود منجر به تفاوت نتایج مقادیر خروجی داده‌های ماهواره‌ای و میدانی در کل منطقه آبی تصویر باشد. در بررسی سه مدل ارائه شده در این تحقیق می‌توان دریافت، درصورتی که منطقه مورد مطالعه ابری باشد با مدل پیشنهای با وجود تعداد پایین داده‌های میدانی می‌توان به نقشه شوری با دقت مناسبی دست یافت. در مدل شبکه عصبی مصنوعی با توجه به انتخاب تعداد نرون‌های لایه پنهان براساس کمترین RMSE مربوط به آن تعداد، نقشه شوری حاصل از این مدل

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به مدل پیشنهادی و مرجع دارای میزان خطای کمتری می‌باشد و هرچه تعداد داده‌های میدانی بیشتر باشد دقت سه مدل ارائه شده بیشتر می‌باشد.

٦- نتیجه‌گیری

با توجه به اشراف ایران به بخش عظیمی از آب‌های خلیج فارس و دریاچه خزر و موقعیت خاص خلیج سنت لورنس لازم است که در موقعیت‌ها و زمان‌های مختلف از نظر فصول و سال‌ها اندازه‌گیری‌های میدانی انجام پذیرد تا بتوان پایگاه داده مناسبی از داده‌های میدانی، با درنظرگرفتن این واقعیت که برداشت داده‌های میدانی با هزینه‌های بالا و صرف زمان زیاد همراه می‌باشد، ایجاد نمود. با استفاده از روش‌هایی به مانند تناظریابی می‌توان پس از محاسبه پارامترها، جریان سطحی را براساس آن پارامترها تعیین نمود یا با اضافه کردن مؤلفه‌های جزرومد، باد و نیروی کریولیس جریان سطحی آب را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تعیین کرد. با وجود تعداد داده‌های میدانی به مقدار کافی می‌توان از شبکه عصبی به منظور بهبود مدل و دستیابی به دقت بالاتر نیز استفاده کرد و با استفاده از سه مدل ارائه شده در موقعیت‌های مختلف به دقت مناسب دست یافت. انتخاب تعداد نرون مناسب برای لایه پنهان در مدل شبکه عصبی در دقت نقشه شوری دارای اهمیت بالایی می‌باشد و در همین راستا پیشنهاد می‌گردد که از روشی که دارای اتوماسیون بالایی در انتخاب نرون‌های مناسب می‌باشد در جهت مدلسازی ارتباط بین تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های میدانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده گردد. در این تحقیق تعداد نرون‌های لایه پنهان براساس کمترین RMSE مربوط به آن تعداد، انتخاب گردید.

منابع و مآخذ

۱- آخوندزاده و سراجیان؛ مهدی و محمدرضا (۱۳۸٤)؛ «تهیه نقشه حرارتی سطح زمین با استفاده از سنجنده MODIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۲- جوکار، کاظم (۱۳۸۳)، «بررسی روند تغییرات برخی پارامترهای فیزیکی و چگونگی ارتباط آنها در حوزه شمالی خلیج‌فارس (منطقه بوشهر)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا،دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

۳- خوشخو و احمدی گیوی؛ مریم و فرهنگ (۱۳۹۲)، «مطالعه الگوی دما وشوری در غرب جزیره قشم بر اساس داده‌های مشاهداتی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات.

٤- علوی‌پناه، متین‌فر، سرمدیان؛ سیدکاظم، حمیدرضا و فریدون (۱۳۸۲)، «ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی وقت»، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران ، انتشارات دانشگاه تهران.

۵- کرمی پورشمس آبادی، افسانه (۱۳۸٤)، «تحلیل پارامترهای فیزیکی در طی گشت قدس در سال ۲۰۰۱ در خلیج فارس»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

٦- کمیجانی، فرشته (۱۳۸۷)، «مطالعه روندتغییرات فصلی پارامترهای فیزیکی دما،شوری وچگالی درخلیج چابهار»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

7- Ahn,Y.H.,Shanmugam, P.,Moon, J.E.,Ryu,J.H.(2008), " Satellite remote sensing of a low salinity water plume in the East China Sea". Ann.Geophys.26,2019–2035 .

8- Maes,C., Behringer,D.(2004)," Using satellite derived sea level and temperature profiles for determining the salinity variability: a new approach". Journal Geophysical Research 105 (C4),8537–8547.

9- Marghany M, Mazlan H, CracknellAP(2010a), "Modeling Sea Surface Salinity from MODIS Satellite Data. Lecture notes in Computer Science, 2010, Vole (6016),Computational Science and Its Applications – ICCSA 2010, 545-556.

10- Salah TD, Shattri M, Rodzi AM, Pirasteh S (2010a). " In situ measurement and MODIS satellite data for sea surface salinity mointoring".Int.Geoinf.Res. Develop.J.,1(1): 45 -58.

11- Zhangqing Li and Nick Emerson(2007)," Modeling of suspended solids and sea surface salinity in Hong Kong using Aqua, MODIS satellite images ",Korean J. RemoteSensing 23(3) ,161-169.

www.SID.ir