

## مقایسه عملکرد روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی و روش حداقل مربعات برای مدل سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان

علی بحری<sup>۱</sup>، یونس خسرلو<sup>۲\*</sup>، آزاده توکلی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

۳- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

### چکیده

در مباحث دریایی، مطالعه دمای سطح دریا (*SST*) و بررسی روابط مکانی آن با سایر متغیرهای اقیانوسی از اهمیت ویژه ای برخودار است، به گونه ای که شناخت دقیق و مناسب روابط *SST* با سایر متغیرها، امکان بررسی و مطالعه بسیاری از فرآیندهای اقیانوسی و جوئی را فراهم می سازد. لذا، در این پژوهش مدل سازی روابط فضایی *SST* با متغیرهای سرعت باد سطحی (*SWS*)، غلظت کلروفیل *a*، طول و عرض جغرافیایی در دریای عمان توسط روش حداقل مربعات معمولی (*OLS*) و روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی (*GWR*) موجود در نرم افزار *ArcGIS* بین سال های ۲۰۰۳-۲۰۱۶ صورت پذیرفت و خروجی های حاصل از این دو روش با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از روش *OLS* نشان داد که متغیر سرعت باد سطحی بیشترین اثرگذاری را در برآورد مقادیر *SST* در دریای عمان دارا بوده است و سایر متغیرها رابطه ای منفی و تأثیرگذاری پایینی را در برآورد *SST* به نمایش گذاشته اند. اما در مدل *GWR* مشخص شد که متغیر طول جغرافیایی بیشترین تأثیرگذاری و رابطه مثبت را در برآورد مقادیر *SST* داشته است. در این مدل نیز متغیر *SWS* رابطه ای مثبت با *SST* داشته است اما تأثیرگذاری آن نسبت به مدل *OLS* کمتر بوده است. سایر متغیرها نیز رابطه ای منفی با *SST* داشته اند. در ادامه، با استفاده از ضریب تبیین محلي ( $R^2$ ) مشخص شد که مدل *GWR* برآورد مقادیر *SST* در دریای عمان از دقت بالاتری نسبت به مدل *OLS* برخوردار بوده است؛ به گونه ای که مدل *GWR* توانسته است ۸۵ درصد تغییرات مکانی *SST* در دریای عمان را توجیه کند ولی مدل *OLS* فقط ۵۵ درصد تغییرات مکانی این متغیر را توجیه کرده است. دقت بالاتر مدل *GWR* در برآورد مقادیر *SST* نیز در بخش های شرقی و غربی دریای عمان دیده شد و این مدل در بخش مرکزی این دریا از دقت پایین تری برخوردار بود.

**کلیدواژه ها:** دمای سطح دریا (*SST*), مدل سازی، حداقل مربعات معمولی (*OLS*), رگرسیون وزن دار جغرافیایی (*GWR*), دریای عمان

\*نویسنده مکاتبه کننده: زنجان، کیلومتر ۶ جاده تبریز، دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه علوم محیط زیست  
تلفن: ۰۹۱۲۵۴۱۴۷۳۰.

## ۱- مقدمه

روابط فضایی دمای سطح دریای عمان مدل‌سازی و بررسی شود. دمای سطح دریا<sup>۳</sup> در تعریفی جامع به درجه حرارت (دما) آب در اعمق یک یا دو متر از سطح دریا اطلاق می‌شود (۷٪). بیشتر مباحث فیزیک دریا از قبیل گرمایش سطحی، اختلاط، فرخوشی، فراجوشی و انتقال اکمن با *SST* و تغییرات آن رابطه مستقیمی دارد. همچنین هرگونه بررسی وضعیت متغیرهای جویی دارد. مانند سرعت و جهت باد مستلزم شناخت یک منطقه، این مطالعه از *SST* است. لذا می‌توان قبلی از وضعیت تغییرات *SST* این گونه برداشت کرد که *SST* یک متغیر فیزیکی مهم برای شناخت پدیده‌های جویی و دریایی به شمار می‌رود (۸٪). در مبحث مدل‌سازی روابط فضایی، هدف اصلی تعیین نوع روابط و تأثیرگذاری متغیرها بر یکدیگر در فضای موردمطالعه است؛ به این معنا که یک متغیر به عنوان هدف یا متغیر وابسته در نظر گرفته شده و از چندین متغیر دیگر به عنوان متغیر مستقل یا اثرگذار تأثیر می‌پذیرد. در اینجا متغیر هدف ما دمای سطح دریا است و متغیرهایی همچون سرعت باد سطحی<sup>۴</sup>، غلظت کلروفیل<sup>a</sup>، طول و عرض جغرافیایی به عنوان متغیر یا متغیر مستقل در نظر گرفته شده‌اند.

با مروری بر مطالعات مشخص شد که روش‌های *OLS* و *GWR* در مباحث دریایی و اقیانوسی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما از این تکنیک‌ها در مدل‌سازی روابط متغیرهای محیطی و اقلیمی استفاده شده است. از آنجایی که *SST* نیز می‌تواند به عنوان متغیری اقلیمی و محیطی در نظر گرفته شد، برخی از مطالعات مرتبط در ادامه معرفی می‌شوند. در پژوهشی دریایی، متیوزسکا و اوربانسکی در سال ۲۰۱۴ با بهره‌گیری از روش *OLS* و *GWR* شوری نزدیک به بستر دریای بالтик را برآورد کردند. ایشان دریافتند که مدل *GWR* برای تخمین شوری نزدیک بستر از اطمینان مناسبی برخودار بوده است، در حالی که مدل *OLS* برای تخمین این قبیل

داده‌های فضایی به عنوان مهم‌ترین و اساسی‌ترین نوع داده‌ها، توسط پژوهشگران علوم محیطی و جغرافیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این محققان، به‌منظور بررسی نوع ارتباط و تأثیرگذاری موجود بین متغیرهای فضایی، از روش‌های رگرسیونی مختلفی بهره می‌برند (۱٪). اما مسئله‌ی مهمی که در داده‌های فضایی وجود دارد این است که الگوهای رگرسیونی معمولی، برای دو متغیر فضایی مستقل و وابسته تنها متوسطی از داده‌های غیر فضایی ارائه می‌دهد و نمی‌تواند خود همبستگی‌های فضایی بین متغیرها را بیان کند و عموماً در نشان دادن واقعیت ارتباطات مختلف فضایی ناتوان است (۲٪). از این‌رو، تحلیل فضایی داده‌ها می‌کوشد تا دانش نهفته در پراکندگی داده‌های جغرافیایی یعنی؛ قوانین، نظام و الگوهای فضایی را کشف کرده (۳٪)، و با استفاده از مهارت‌ها و روش‌های گوناگون کمی، الگوهای فضایی پراکندگی‌ها را شرح دهد و استدلال کند (۴٪). تکنیک‌های آمار فضایی، یکی از مهم‌ترین بخش‌های تحلیل فضایی به شمار می‌روند و در بیانی ساده، شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای توصیف و مدل‌سازی داده‌های فضایی هستند. این ابزارها به روش‌های مختلف آنچه چشم و ذهن برای ارزیابی الگوها، روندها، پراکنش‌ها، فرایندها و روابط فضایی انجام می‌دهند را توسعه می‌دهند. برخلاف تکنیک‌های آمار کلاسیک، تکنیک‌های آمار فضایی از فضا و محیط، فاصله، مجاورت، جهت‌گیری و روابط فضایی به‌طور مستقیم در محاسبات خود استفاده می‌کنند (۵٪). از پرکاربردترین روش‌های آمار فضایی که برای مدل‌سازی روابط فضایی بین متغیرهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به روش حداقل مربعات معمولی<sup>۱</sup> و روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی<sup>۲</sup> اشاره کرد (۶٪). در پژوهش پیش‌رو سعی بر آن است،

<sup>۳</sup> Sea Surface Temperature (*SST*)<sup>۴</sup> Surface Wind Speed (*SWS*)<sup>۱</sup> Ordinary Least Square (*OLS*)<sup>۲</sup> Geographically Weighted Regression (*GWR*)

ساحلی کشور هنگ کنگ از دو مدل *OLS* و *GWR* بهره برندند. این پژوهشگران با استفاده از ضریب تبیین محلی ( $R^2$ ) دریافتند که دقت مدل *GWR* برای تخمین شوری در این نواحی بسیار بالاتر از مدل *OLS* بوده است؛ بدین صورت که مقدار  $R^2$  در مدل *OLS* برابر با ۰،۴۲ بوده است اما این ضریب در مدل *GWR* عدد ۰،۸۸ را بهنمایش گذاشته است [۱۴].

## ۲- منطقه مورد مطالعه

دریای عمان با شکل مثلثی بین کشورهای ایران، عمان و پاکستان قرار دارد، بخش کوچکی از کشور امارات نیز به این دریا راه پیدا می کند. حداقل طول آن از شمال غرب تا جنوب شرق ۹۵۰ کیلومتر و حداقل پهنهای آن از شمال شرق به جنوب غرب حدود ۳۴۰ کیلومتر است. دریای عمیق عمان از راه تنگه هرمز به خلیج فارس متصل می شود. این دریا همچنین در ارتباط مستقیم و گسترده با دریای عرب و اقیانوس هند است [۱۵]. دریای عمان در مختصات ۲۲ تا ۲۷ درجه عرض شمالی ۵۶ تا ۶۱ درجه طول شرقی واقع شده است [۱۶]. حداقل دمای سطح آب دریای عمان در مردادماه به ۳۲ درجه و حداقل دمای آن در دیماه به ۱۹/۸ درجه سلسیوس می رسد [۱۷]. تبادل آب در این دریا عموماً از سه طریق صورت می پذیرد، بدین صورت که آبهای سطحی و با شوری کمتر اقیانوس هند از قسمت های شمالی دریای عمان به آن وارد می شوند. از طرفی آبهای با شوری و چگالی بالای خلیج فارس از بستر تنگه هرمز وارد قسمت جنوبی این دریا می شوند. آبهای با شوری ملایم تر خلیج فارس نیز در قسمت های سطحی جنوب دریای عمان جریان می یابند [۱۹]. در مجموع جریان سطحی در خلیج فارس و دریای عمان این گونه است که جریان در فصل زمستان از قسمت شمالی دریای عمان و تنگه هرمز وارد خلیج فارس شده و در امتداد سواحل شمالی این خلیج به سمت غرب منطقه جریان می یابد و سپس در فصل تابستان بعد از عبور از سواحل جنوبی از قسمت جنوبی تنگه هرمز به

داده ها از کارایی مناسبی برخوردار نبوده است [۹]. چن و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی رابطه و اثرات تراکم جمعیت و تغییر کاربری اراضی روی تغییرات فصلی کیفیت آب سطحی رودخانه ای در کشور چین *GWR* پرداختند. این پژوهشگران از دو مدل *OLS* و *GWR* به صورت همزمان در مطالعه خود بهره برندند و دریافتند که مدل *GWR* با توجه به ویژگی هایی که دارد از دقت بالاتری نسبت به مدل *OLS* برخوردار بوده است [۱۰]. ارجانیان و همکاران (۲۰۱۶) نیز آثار کاربری اراضی را روی متغیرهای کیفیت آب در حوزه آبخیز استان فارس با استفاده از مدل های *OLS* و *GWR* مدل سازی کردند؛ در این مطالعه نیز، پژوهشگران با توجه به معیارهای ارزیابی کارایی دو مدل نظیر ضریب تبیین محلی ( $R^2$ )، معیار اطلاعات آکائیکه<sup>۱</sup> و شاخص موران (*I*) دریافتند که روش *GWR* در مدل سازی آثار کاربری اراضی روی متغیرهای کیفیت آب از کارایی بالاتری برخوردار بوده است [۱۱]. در مطالعه ای اقلیمی خسروی و همکاران (۲۰۱۷) روابط فضایی فشار بخار آب با برخی از عوامل مکانی در قسمت های جنوب و جنوب شرقی ایران را با استفاده از دو روش *OLS* و *GWR* تحلیل کردند. ایشان نیز بی برندند که مدل *GWR* برای بررسی روابط فضایی فشار بخار آب از دقت و کارایی بالاتری نسبت به مدل *OLS* برخوردار بوده است [۱۲]. بلياني در سال ۲۰۱۷ با استفاده از روش های رگرسیون فضایی *GWR* و *OLS* به تحلیل فضایی بارش سالانه استان خوزستان پرداخت که نتایج دو مدل *OLS* و *GWR* برای پیش بینی بارش سالانه حاکی از برآورد مقادیر پیش بینی بهتر در مدل *GWR* بود؛ به گونه ای که میزان برآورد حاصل از روش *GWR* در استان خوزستان، نشان از مقادیر پایین باقیمانده های خط، مقادیر بالای  $R^2$ ، عدم وجود خودهمبستگی فضایی و نرمال بودن مقادیر باقی مانده مدل را می داد [۱۳]. در مطالعه ای دریایی دیگری، ناصر و بیلال (۲۰۱۸) برای تخمین زدن شوری نواحی

<sup>۱</sup>AICc

دریای عمان وارد می‌شود [۲۰]. شکل (۱) به خوبی موقعیت این پهنه آبی را بر روی نقشه نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه

مدل‌سازی روابط متغیرهای یادشده، مقیاس زمانی سالانه انتخاب شد، ولی به دلیل غلظت پایین کلروفیل در برخی از ماه‌ها، در این پژوهش از ماههای دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، ژوئن، اکتبر و نوامبر برای میانگین‌گیری سالانه استفاده شد. لازم به ذکر است که برای ایجاد همپوشانی مناسب داده‌ها برای انجام تحلیل مدل‌سازی، هر یک از متغیرهای مذکور با روش کریجینگ میانیابی شده و سپس از آن‌ها در تحلیل موردنظر استفاده شد. لازم به ذکر است که از کریجینگ ساده در این پژوهش استفاده شد و اندازه پیکسل‌های داده‌های خروجی برابر با  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  تنظیم شد. برای کسب اطلاعات بیشتر درباره روش کریجینگ به مطالعه جامع خسروی و عباسی [۲۰۱۶] مراجعه شود [۲۱]. داده‌های ماهواره‌ای ECMWF و NOAA به عنوان داده‌های بازتحلیل شده<sup>۴</sup> هستند. بدین معنی که این داده‌ها قبل از در دسترس قرار گرفتن، مورد تحلیل‌های اولیه نظری میانیابی، حذف داده‌های پرت، نرمال‌سازی و ... قرار می‌گیرند. لذا با اعتماد بالا می‌توان

<sup>4</sup> Reanalysis

### ۳- داده‌ها و روش‌ها

در این بخش پس از شیوه گردآوری و تنظیم داده‌ها، به توضیح مدل‌سازی روابط فضایی با استفاده از دو روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن دار جغرافیایی پرداخته خواهد شد.

#### ۳-۱- تهیه و آماده‌سازی داده‌ها

برای مدل‌سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان از تولیدات ماهواره‌ای SWS، SST و غلظت کلروفیل  $a$  استفاده شد. بدین منظور داده‌های SST و SWS با دقت مکانی  $0.125^{\circ}$  (حدوداً ۱۰ کیلومتر) از پایگاه داده‌ی مرکز اروپائی پیش‌بینی میان برد آب‌وهوا<sup>۱</sup> و داده‌های غلظت کلروفیل  $a$  با دقت مکانی  $0.05^{\circ}$  (حدوداً ۴ کیلومتر) از پایگاه داده‌ی سازمان اقیانوس‌شناسی و هواشناسی ایالات متحده آمریکا<sup>۲</sup> و سنجنده آکوا-مادیس<sup>۳</sup> برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ تهیه شد. برای

<sup>1</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

<sup>2</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

<sup>3</sup> MODIS-Aqua

منطقی برای داده های فضایی ارائه نمی دهد. در این زمینه محققان زیادی به منظور رفع ابهامات الگوهای آماری جهانی همانند حداقل مربعات معمولی تلاش کردهند و روش های محلی تری همانند رگرسیون قطعات خطی و رگرسیون لاوس را توسعه داده اند. این روش ها تصویری واقع بینانه تر از روش قبل در ارتباط بین دو متغیر را نشان می دادند، اما این تکنیک ها غیرفضایی بوده و روشنی کارا برای ارائه های واقعیات فضایی به شمار نمی روند. بر این اساس همان طور که می دانیم اکثر عناصر اقلیمی از جمله  $SST$  حاوی نامانی مکانی یا به عبارتی دیگر دارای ناهمگنی فضایی هستند. پس با توجه به این ویژگی، استفاده از یک روش رگرسیون عمومی و کلی برای توصیف کل منطقه و تعیین روابط بین فراسنچ ها کافی نیست. ناهمگنی فضایی گویای این واقعیت است که در هر منطقه، رابطه ای متفاوت بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد. از این رو اگر این ناهمگنی در نظر گرفته نشود و برای کل منطقه فقط به یک مدل رگرسیونی عمومی اکتفا کنیم، نمی توان تخمینی دقیق از روابط موجود بین متغیرها داشت [۲۳]. لذا در سال های اخیر روشنی نوین، ساده، مؤثر و کارا برای بررسی ارتباط های مختلف فضایی، به نام رگرسیون وزن دار جغرافیایی بسط داده شد [۲۴]. این روش اولین بار توسط برنستدن و همکاران در سال ۱۹۹۸ ارائه شد [۲۵]. این مدل، یک فن آماری محلی است که ارتباط بین متغیرهای فضایی را در یک فضای غیرپایایی فرض و تحلیل می کند. الگوی رگرسیون وزن دار جغرافیایی از روش های هموار سازی و رگرسیون محلی نشأت گرفته است که بر پایه قانون اصل جغرافیایی توبولر بنا نهاده شده است. طبق این قانون هر چیزی مرتبط با چیزهای دیگری است، اما در نزدیکی مشخصه های فضایی ارتباطات بیشتر و قوی تر است و با فاصله گرفتن از آن ها کمتر می شود [۲۵] و [۲۶]. مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی به صورت رابطه (۲) تعریف می شود / ۲۲ و ۲۳ :

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

این داده ها را به عنوان ورودی در بسیاری از مدل ها مورد استفاده قرار داد. اما با این وجود داده های مورد استفاده در زمان ورود به مدل کریجینگ ساده، با آزمون  $Log$  موجود در افزونه  $ArcGIS$  نرم افزار  $ArcGIS$  به کار گرفته شد. در ادامه ابتدا مبانی نظری روش  $OLS$ ، و سپس مدل  $GWR$  شرح داده می شود.

**۲-۳- رگرسیون حداقل مربعات معمولی ( $OLS$ )**  
رگرسیون حداقل مربعات معمولی ( $OLS$ ) شکلی از رگرسیون خطی جهت پیش بینی کلی یا مدل سازی متغیر وابسته به کمک مجموعه ای از متغیرهای مستقل یا توضیحی است. از کاربردهای این رگرسیون علاوه بر پیش بینی، می توان به آزمون نقاط جهت تحلیل های رگرسیون فضایی نیز اشاره کرد. فرض اساسی در روش های رگرسیون عمومی، ثابت بودن روابط و ضرایب در محدوده مورد مطالعه است؛ به طوری که نوع رابطه و جهت فراسنچ ها از طریق ارائه یک مدل رگرسیونی برای کل منطقه تعیین می شود. به طور معمول، رگرسیون کلی (عمومی) چند متغیری با  $m$  متغیر مستقل به صورت رابطه (۱) بیان می شود [۲۲] :

$$R_i = b_0 + \sum_{k=1}^m b_k x_k + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن،  $R_i$  متغیر وابسته،  $b_0$  عرض از مبدأ،  $b_k$  ضرایب تخمینی برای متغیر مستقل  $X_k$ ،  $m$  تعداد متغیرهای مستقل و  $\varepsilon$  جزء خطأ است [۲۲]. بر اساس مدل فوق و با تعمیم آن به  $SST$ ، در این رابطه، متغیر پاسخ ( $R$ ) که در اینجا دمای سطح دریا است، ممکن است به  $m$  متغیر مستقل دیگر وابسته باشد.

**۳- روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی ( $GWR$ )**  
همان گونه که قبل اگفته شد، الگوهای رگرسیونی معمولی برای دو متغیر مستقل و وابسته فضایی تنها میانگینی از داده های غیر فضایی را ارائه داده و فقط برآزشی از یک خط رگرسیونی کلی برای کل داده ها نشان می دهد؛ از این رو برخی از واقعیات محلی در این زمینه پنهان می ماند و در نهایت نتیجه هی معقول و

حداقل مربعات وزنی است با این تفاوت که به جای داشتن ماتریس وزنی ثابت، وزن‌ها با توجه به مکان نقطه  $i$  تغییر می‌کنند. برای تعیین وزن‌ها از یک الگوی وزن‌دهی استفاده می‌شود (۲۲ و ۲۳):

#### ۴- بحث و یافته‌ها

با استفاده از مدل  $OLS$  مقادیر ضرایب متغیرهای مستقل در برآورد دمای سطح دریای عمان محاسبه شد که نتایج حاصل از این مدل در جدول (۱) قابل مشاهده است. بر اساس این جدول، در مدل  $OLS$ ، متغیر مستقل سرعت باد سطحی با مقدار ضریب  $-0.48$  بیشترین و مثبت‌ترین تأثیرگذاری را برای برآورد  $SST$  داشته است؛ بدین معنا که در صورت ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرهای مستقل، این متغیر سرعت باد سطحی است که بیشترین تأثیر را در تغییرات دمایی در دریای عمان خواهد داشت. از سویی دیگر در این مدل، ضرایب سایر متغیرهای مستقل یعنی غلظت کلروفیل  $a$  و طول و عرض جغرافیایی مقادیر منفی را نشان می‌دهد. در واقع این متغیرها رابطه‌ای معکوس با  $SST$  به نمایش گذشته و کمترین تأثیر را در برآورد این متغیر در دریای عمان دارا می‌باشند. در این بین، متغیر عرض جغرافیایی با ضریب  $-0.15$  - معکوس‌ترین رابطه را با  $SST$  داشته و در برآورد آن کمترین نقش را دارا بوده است. پس از آن متغیرهای غلظت کلروفیل  $a$  و طول جغرافیایی به ترتیب، کمترین تأثیرگذاری را در برآورد دمای سطح دریای عمان داشته‌اند.

در این رابطه  $(u_i \cdot v_i)$  مختصات نامین نقطه در فضا و  $\beta_k(u_i \cdot v_i)$  مقداری تحقق‌یافته ازتابع پیوسته  $(v_i)$  در نقطه  $i$  می‌باشد. قابل ذکر است که اگر متغیرها در تمامی نقاط ثابت در نظر گرفته شوند، معادله رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی همان فرم معادله رگرسیون معمولی خواهد بود. این روش وجود تغییر در متغیرها و در مکان‌های مختلف را می‌پذیرد و روشی برای برآورد آن-ها ارائه می‌دهد. روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی همان روش حداقل مربعات وزنی است با این تفاوت که به مشاهدات بر اساس محل قرار گرفتن‌شان نسبت به نقطه مرجع  $i$  وزن داده می‌شود. وزن‌دهی مشاهدات در برآیند تخمین ثابت نیست و با توجه به مکان مشاهده از نقطه  $i$  تغییر می‌کند. برآوردگر رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به صورت زیر تعریف می‌شود (۲۲ و ۲۳):

$$\hat{\beta}(u_i \cdot v_i) = (X^T W(u_i \cdot v_i) X)^{-1} (X^T W(u_i \cdot v_i) y)$$

در این رابطه  $\hat{\beta}(u_i \cdot v_i)$  برداری حاوی برآورد متغیرهای  $W(u_i \cdot v_i)$  است و  $\beta_j(u_i \cdot v_i)$  است و  $j = 0, 1, \dots, k$  ماتریسی  $n \times n$  است که خارج از قطر اصلی آن صفر هستند و عناصر وزن‌های جغرافیایی  $n$  مشاهده برای نقطه مرجع  $i$  را نشان می‌دهند.

$$W(u_i \cdot v_i) = \begin{bmatrix} W_1(u_i \cdot v_i) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_n(u_i \cdot v_i) \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۴)}$$

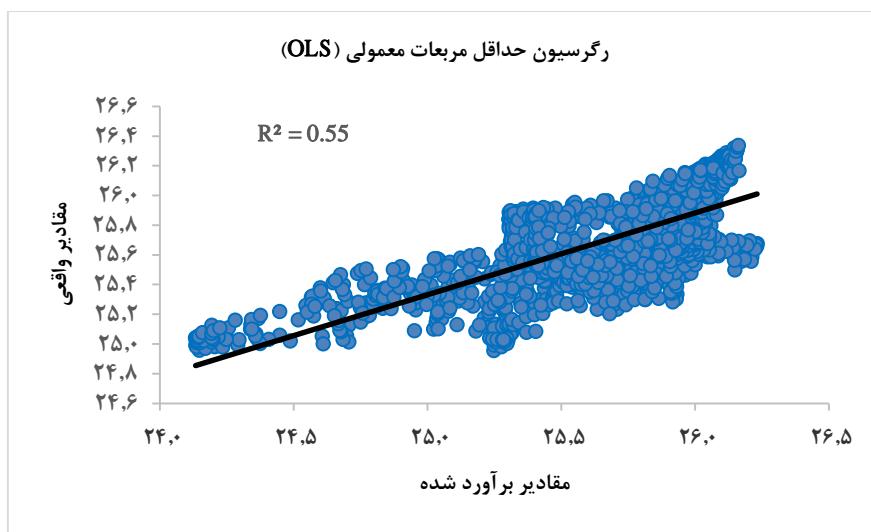
در ماتریس فوق  $W_n(u_i \cdot v_i)$  وزن داده شده به مشاهده  $n$  در تخمین مدل برای نقطه مرجع  $i$  است. به عبارت دیگر برآوردگر رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، برآوردگر

جدول ۱: مقادیر ضرایب مستقل برای برآورد  $SST$  در دریای عمان با استفاده از مدل  $OLS$

متغیر	ضرایب
طول جغرافیایی	$-0.14$
عرض جغرافیایی	$-0.15$
سرعت باد سطحی	$0.48$
غلظت کلروفیل $a$	$-0.93$

بنابراین با این نتایج می توان انتظار داشت که خطای حاصل از برآورد دما توسط مدل *OLS* در مقادیر پایین و متوسط بیشتر از دیگر مقادیر باشد. بر اساس شکل (۲) مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی توانسته است ۵۵ درصد از تغییرات مکانی *SST* را در دریای عمان توجیه کند.

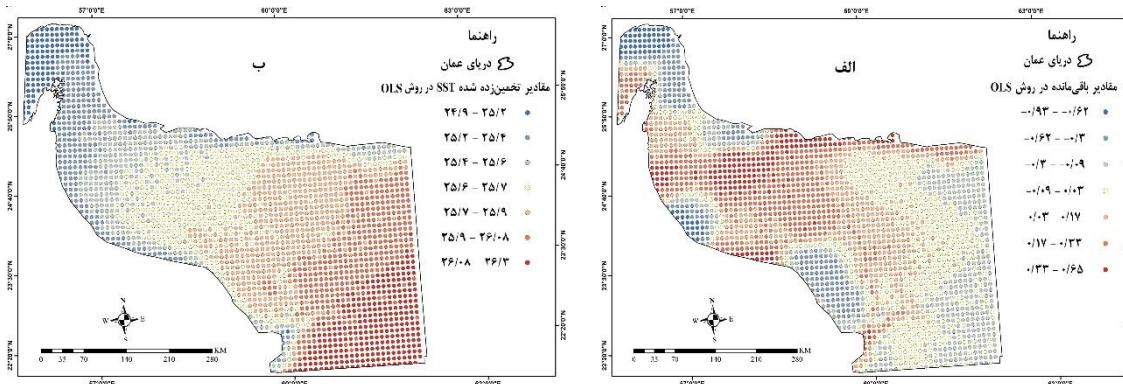
شکل (۲) پراکنش نگار مقادیر واقعی و برآورده شده *SST* توسط مدل *OLS* برای بررسی دقیق مدل را نشان می دهد. با توجه به شکل (۲)، عدم هماهنگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورده شده *SST* بهویژه در نقاط با دمای پایین و متوسط قابل مشاهده است. هماهنگی بیشتر یا به عبارت دیگر دقیق مدل در نقاط با دمای بین ۲۵/۵ تا ۲۶/۵ درجه سلسیوس دیده می شود.



شکل ۲: پراکنش نگار مقادیر واقعی و مقادیر برآورده شده *SST* سالانه دریای عمان در مدل *OLS*

دیگر کمترین مانده های خطا در بخش های مختلف دریای عمان پراکنده شده و بیشتر در بخش های شمالی تنگه هرمز و قسمتی از سواحل جنوبی دریای عمان دیده می شوند. به عبارتی دیگر در این مناطق مقادیر دما که توسط مدل برآورده شده است، بیشتر از مقادیر واقعی آنها است. شکل (۳-ب) برآورد و پیش بینی مقادیر دما با استفاده از مدل *OLS* را نشان می دهد. با توجه به شکل (۳)، مقادیر بالای *SST* در بخش های شرقی و جنوب شرقی دریای عمان و مقادیر پایین *SST* در امتداد سواحل شمالی، جنوبی و کل قسمت غربی دریای عمان مشاهده می شوند.

شکل (۲)، وضعیت کلی رابطه مقادیر واقعی و مقادیر برآورده شده دما را نشان می دهد اما نمی تواند از لحاظ مکانی، مناطق با هماهنگی بالا و یا پایین بین مقادیر ذکر شده را به تصویر بکشد. بنابراین توزیع مکانی مقادیر باقیمانده خطای مدل (حاصل تفاضل مقادیر واقعی دما و مقادیر برآورده شده) و همچنین توزیع مکانی مقادیر برآورده شده از مدل *OLS* به ترتیب در شکل های (۳-الف و ۳-ب) نشان داده شده است. شکل (۳-الف) انحرافات مقادیر واقعی و برآورده شده *SST* را نشان می دهد. براساس این شکل، بیشترین مانده (خطای) های مدل، منطبق بر مناطق مرکزی، شمالی و جنوبی دریای عمان است. بدین معنی که میزان برآورده کمتر از مقادیر واقعی دما صورت گرفته است. از طرفی



شکل ۳: الف: توزیع فضایی مقادیر باقیمانده SST و ب: توزیع فضایی مقادیر باقیمانده SST سالانه دریای عمان در مدل OLS

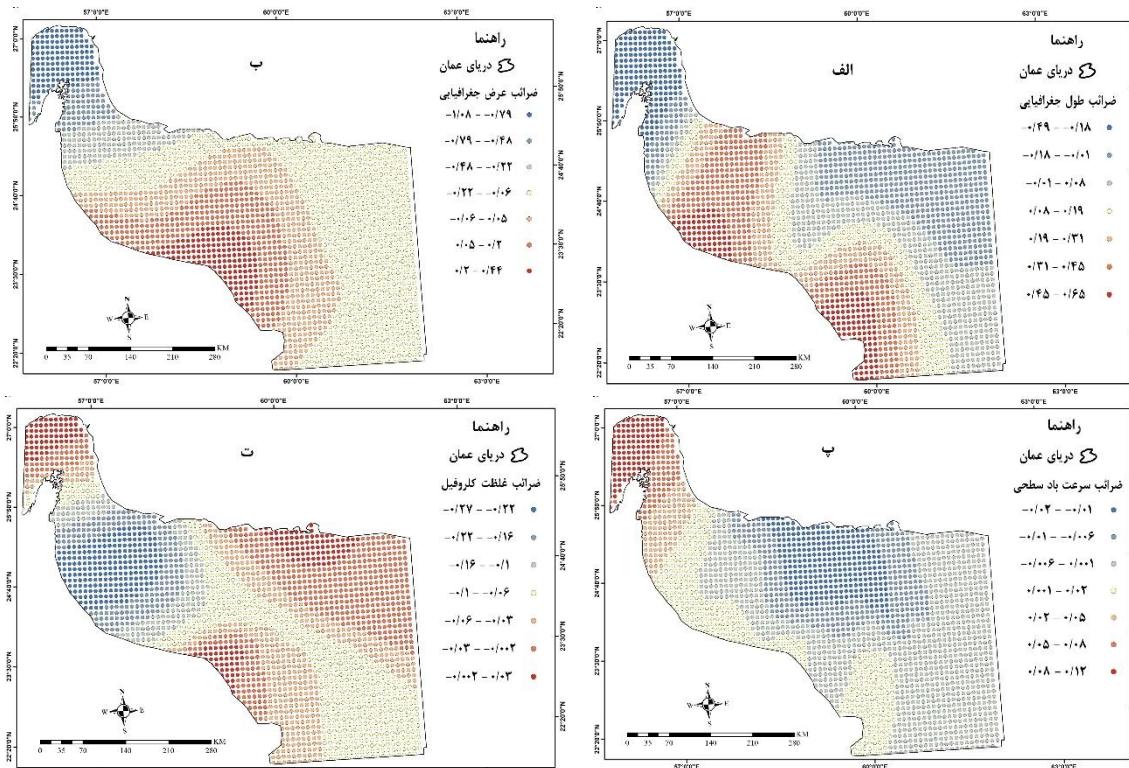
شکل (۴) قابل مشاهده است. شکل (۴-الف) توزیع مکانی ضرایب طول جغرافیایی را در دریای عمان نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ضرایب مثبت و بالای متغیر طول جغرافیایی در برآورد SST به صورت نواری ضخیم از قسمت سواحل شهرستان جاسک در ایران تا سواحل کشور عمان کشیده شده‌اند. بخش دیگری از این ضرایب بالا نیز در بخش‌های شمالی دماغه رأس الحد دیده می‌شوند. از سویی دیگر، مقادیر منفی و کمتر تأثیرگذار ضرایب طول جغرافیایی برای تخمین SST در بخش‌های شرقی، شمال شرقی و غرب دریای عمان مشاهده می‌شوند. بر اساس شکل (۴-ب) که توزیع مکانی ضرایب عرض جغرافیایی در برآورد SST را نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده نمود که بیشترین و مثبت‌ترین تأثیرگذاری این متغیر مستقل بر مقادیر SST در بخش‌های مرکزی و جنوبی دریای عمان شکل‌گرفته و کم تأثیرترین و منفی‌ترین ضرایب این متغیر در بخش‌های غربی دریای عمان و به صورت عمده در تنگه هرمز تشکیل شده است. با بررسی دقیق‌تر شکل می‌توان مشاهده نمود که در اکثر مناطق دریای عمان، تأثیرگذاری متغیر عرض جغرافیایی بر SST، منفی بوده است. در شکل (۴-پ) توزیع مکانی ضرایب سرعت باد سطحی که برای برآورد SST در دریای عمان به کار گرفته شد، به نمایش گذاشته شده است. با توجه به شکل (۴)، بیشترین اثرگذاری متغیر سرعت باد سطحی بر دمای سطح دریا، در بخش غربی دریای عمان و

در هنگام استفاده از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی، تشخیص وجود همخطی یا همراستایی در متغیرهای تأثیرگذار بسیار ضروری است، چراکه همراستایی قوی بین متغیرهای مستقل باعث رخداد واریانس‌های بزرگ برای ضرایب رگرسیون می‌شود و این امر باعث برآوردهایی غیرواقعی در پژوهش خواهد شد. منظور از همخطی این است که در فضای موردمطالعه، نقاطی وجود دارند که از نظر ارزش خصیصه‌ها شباخت بالایی به یکدیگر دارند و مدل نمی‌تواند آن‌ها را از هم متمایز سازد. در پژوهش حاضر با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که بین مقادیر متغیر سرعت باد سطحی همخطی وجود دارد. از آنجایی که این متغیر در برآورد مقادیر SST دارای اهمیت است و نمی‌توان از آن صرف نظر کرد، لذا جهت از بین بردن همخطی بین این داده‌ها، از تبدیل  $Z_i$  استفاده شد و این روش توانست مشکل همخطی بین داده‌ها را حل کند؛ در نتیجه داده‌های تبدیل شده توسط این روش وارد مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی شد. جهت آشنایی بیشتر با روش‌های رفع همخطی می‌توان به مطالعات عساکره در سال ۲۰۱۱ رجوع کرد [۲۷].

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، در روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی، برای هر عارضه مکانی مشخص، برآورده از ضرایب وجود خواهد داشت. بر این اساس توزیع مکانی ضرایب متغیرهای مستقل که در برآورده SST به روش GWR مورداستفاده قرار گرفته‌اند در

می توان در شکل (۴-ت) ملاحظه نمود. نکته قابل توجه در این شکل، این است که ضرایب غلظت کلروفیل *a* در اکثر مناطق دریای عمان مقادیر منفی را به نمایش گذاشته اند. این وضعیت بدین معنا است که غلظت کلروفیل *a* در مجموع رابطه ای منفی با دمای سطح دریا داشته و به نحوی کمترین تأثیرگذاری را در برآورد مقادیر *SST* دارد. در این بین معکوس ترین رابطه و کمترین اثر غلظت کلروفیل *a* بر *SST* در بخش غربی و جنوب غربی دریای عمان مشاهده شده و تأثیرگذاری قوی تر در بخش های مختلفی از دریا، همچون قسمت شمال شرقی، جنوب شرقی و تمامی قسمت های تنگه هرمز دیده می شود.

به صورت برجسته در کل تنگه هرمز ثبت شده است. از سویی دیگر، معکوس ترین اثرات *SWS* بر *SST* در اکثر بخش های دریای عمان قابل مشاهده است. اما با بررسی دقیق تر شکل (۴) مشخص می شود که کمترین تأثیرگذاری *SWS* بر *SST* در بخش مرکزی دریای عمان و به سمت قسمت های شمالی این دریا، یعنی حدفاصل سواحل شهرستان های چابهار تا جاسک در ایران ثبت شده اند و سایر بخش های باقی مانده دریای عمان نشان دهنده تأثیرگذاری مثبت سرعت باد سطحی در برآورد دمای سطح دریا می باشند. آخرین متغیر مستقلی که برای برآورد دمای سطح دریا در دریای عمان مورد استفاده قرار گرفته است، غلظت کلروفیل *a* می باشد که توزیع فضایی ضرایب این متغیر مستقل را



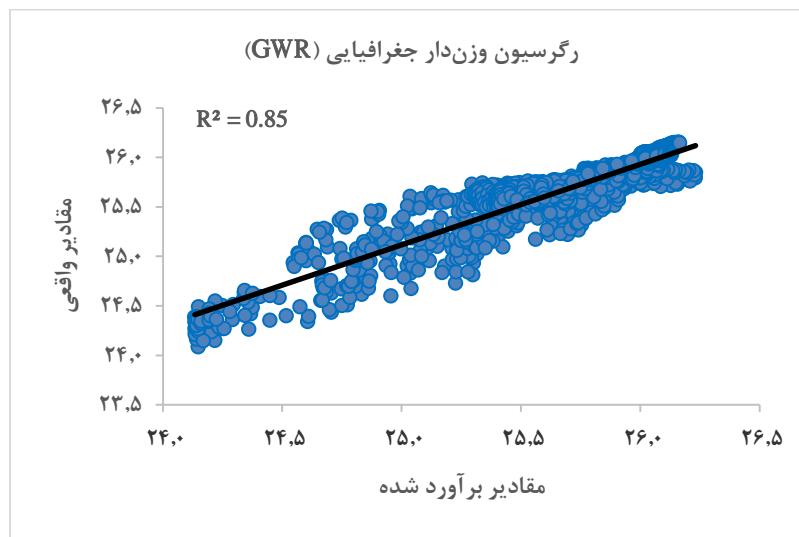
شکل ۴: توزیع فضایی ضرایب، الف: طول جغرافیایی، ب: سرعت باد سطحی، ت: غلظت کلروفیل *a* حاصل از مدل *GWR*

از شاخص ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. بر اساس شکل (۵) ضریب تبیین در روش رگرسیون وزن دار

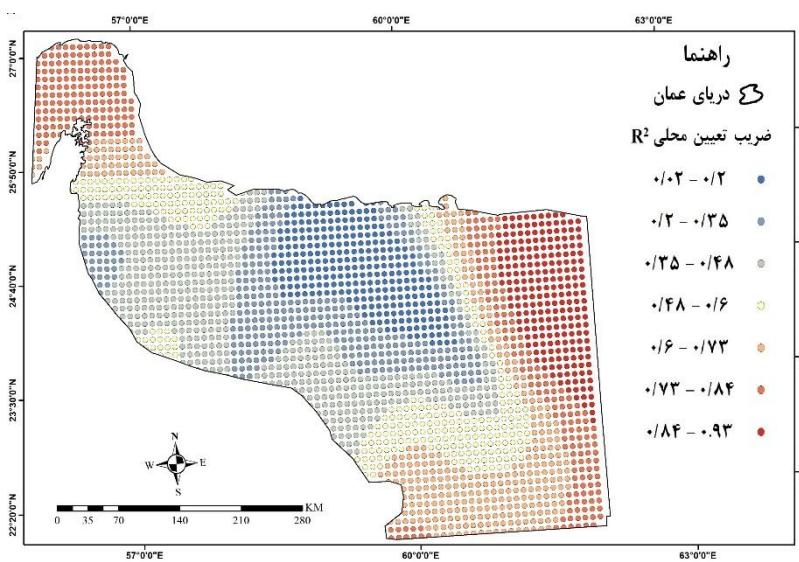
برای مقایسه دو مدل رگرسیونی *OLS* و *GWR* و تعیین بهترین روش برای برآورد مقادیر *SST* در دریای عمان

تصویری روشن از چگونگی توزیع فضایی ضرایب تبیین ( $R^2$ ) در هر نقطه است که نتایج این مهم را می‌توان در شکل (۶) مشاهده نمود. بر اساس این شکل، فراوانی مقادیر بالای  $R^2$  (۰.۹۳ تا ۰.۶۰ درصد) در قسمت‌های شرقی و شمال غربی دریای عمان گسترش یافته‌اند. از طرف دیگر مقادیر پایین این ضریب (کمتر از ۰.۲۰ درصد تا ۰.۴۸ درصد) در قسمت‌های مرکزی و جنوبی این دریا پراکنده شده‌اند.

جغرافیایی ۸۵ درصد محاسبه شد. این در حالی است که رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)، توانست فقط ۵۵ درصد از تغییرات مکانی دما را در ایران توجیه کند. حتی با نگاهی کلی به شکل (۵) نیز می‌توان به دقت بالاتر روش GWR نسبت به OLS پی برد، زیرا در این شکل پراکنش نقاط در امتداد خط رگرسیون برازش داده شده تخمین بهتری از مقادیر SST را به نمایش می‌گذارد. یکی دیگر از نکات مثبت مدل GWR، ارائه



شکل ۵: پراکنش نگار مقادیر واقعی و مقادیر برآورده شده SST سالانه دریای عمان در مدل GWR



شکل ۶: توزیع فضایی ضرایب تبیین ( $R^2$ ) حاصل از مدل GWR در برآورد SST

متغیر در مدل *OLS* مقدار بهم راتب بالاتری را نسبت به مدل *GWR* نشان داده است. با نگاهی کلی به جدول (۲) متوجه این موضوع نیز می شویم که در مدل *OLS* متغیر سرعت باد سطحی بیشترین تأثیر را در تخمین *SST* داشته و در مدل *GWR* این متغیر طول جغرافیایی است که از تأثیرگذاری بالاتر برخوردار است. در مجموع همان گونه که قبل نیز گفته شد، با توجه به ضریب تبیین  $R^2$ ، مدل *GWR* از دقت بسیار بالاتری نسبت به مدل *OLS* در برآورد *SST* در دریای عمان داشته است. لازم به ذکر است که تمامی آماره های ذکر شده در سطح اطمینان ۹۹ درصد، معنادار هستند.

مقایسه دقیق تر دو مدل *OLS* و *GWR* را می توان با نگاهی بر جدول (۲) مرور کرد. بر اساس این جدول، در مدل *OLS* مقدار منفی ضریب متغیر مستقل طول جغرافیایی حاکی از رابطه معکوس و تأثیرگذاری اندک این متغیر بر *SST* است؛ در حالی که در مدل *GWR* ضریب طول جغرافیایی مقدار مثبت ۰/۱۱۴ را نشان می دهد که بیانگر رابطه مستقیم و تأثیرگذاری بالای متغیر طول جغرافیایی در برآورد *SST* است. دو متغیر *GWR* عرض جغرافیایی و غلظت کلروفیل *a* در مدل *GWR* همانند مدل *OLS* مقادیر منفی را دارا هستند و تأثیر اندکی در برآورد *SST* ایجاد می کنند. از سویی دیگر ضریب سرعت باد سطحی برای هر دو مدل مقادیر مثبت را نشان می دهد با این تفاوت که ضریب این

جدول ۲: متغیرهای تخمین زده شده و آماره های محاسبه شده در دو مدل *GWR* و *OLS* برای مقادیر *SST* سالانه

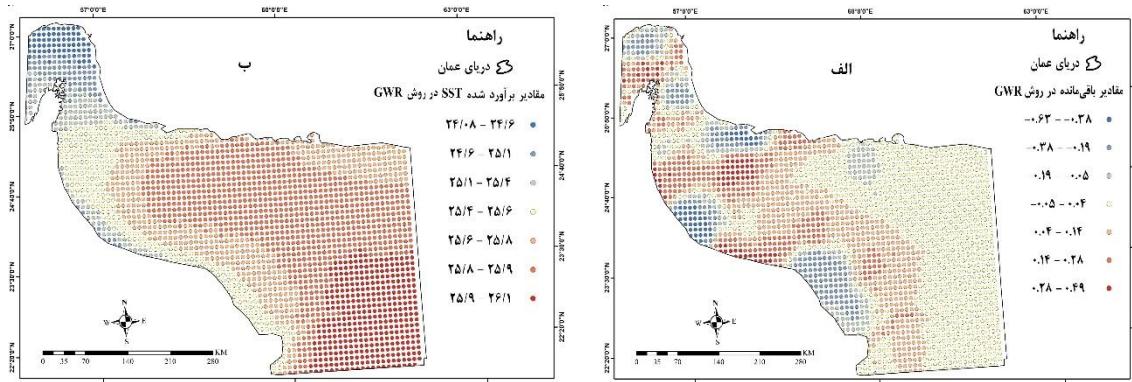
متغیر	غلظت کلروفیل <i>a</i>	سرعت باد سطحی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	میانگین	مدل <i>GWR</i>	مدل <i>OLS</i>
					۰/۱۱۴	-۰/۰۱۴	-۰/۰۱۴
					-۰/۱۱۷	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۵
					۰/۰۰۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸
					-۰/۰۸۲	-۰/۰۹۳	-۰/۰۹۳
					۰/۸۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵
							$R^2$

مقادیر دمای سطح دریا را با استفاده از مدل *GWR* نشان می دهد. بر اساس این شکل، همانند مدل *OLS* مقادیر بالای *SST* در قسمت های مرکزی و شرقی دریای عمان و مقادیر پایین *SST* در قسمت های غربی برآورد شده اند، با این تفاوت که در مدل *GWR* از تعداد نقطه های دارای دمای پایین در امتداد سواحل شمالی و جنوبی دریای عمان کاسته شده و در مقابل بر تعداد نقطه های دارای دمای بالا در حاشیه سواحل شمال شرقی و قسمت های مرکزی دریای عمان افزوده شده است. همچنین بازه دمایی برآورده شده در مدل *OLS* از ۲۴/۹ تا ۲۶/۳ درجه سلسیوس و در مدل *GWR* از

از دیگر نکات مهم و قابل استنباط از مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی، نحوه توزیع مقادیر باقیمانده است. مقادیر باقیمانده مدل *GWR* در شکل ۷-الف) نمایش داده شده است. مقایسه این نقشه با مقادیر باقیمانده مدل *OLS* (شکل ۳-الف) حاکی از کاهش دامنه های خطای محاسباتی در مدل *GWR* است. دامنه خطای در نقشه باقیمانده های مدل *OLS* از -۰/۰۹۳ تا ۰/۰۶۵ و در مدل *GWR* از -۰/۰۶۳ تا -۰/۰۴۹ در نوسان است. با توجه به این فواصل خطایی، مشخص می شود که برآورده های حاصل از مدل *GWR* نسبت به مدل *OLS* به مقادیر واقعی نزدیک ترند. شکل ۷-ب)، برآورد و پیش بینی

ماههای انتخابی جهت میانگیری عموماً ماههای سرد سال بوده‌اند.

۲۴,۰۸ تا ۲۶,۱ درجه سلسیوس در نوسان بوده است. برای یادآوری، ذکر این نکته ضروری است که بازه دمایی نسبتاً پایین SST در اینجا به این دلیل است که



شکل ۷: توزیع فضایی، الف: مقادیر باقیمانده SST سالانه دریای عمان در مدل GWR، ب: مقادیر برآورده شده SST سالانه دریای عمان در مدل GWR

شد که متغیر مستقل طول جغرافیایی بیشترین تأثیرگذاری را در برآورد SST داشته است و متغیر مستقل سرعت باد سطحی در این مدل نیز ضریبی مثبت از خود به نمایش گذاشته است؛ اما متغیرهای غلظت کلروفیل *a* و عرض جغرافیایی همانند مدل *OLS*، ضرایب منفی را در برآورد SST نشان دادند. بر اساس مطالعات پژوهشگرانی همچون ژای و همکاران (۲۰۱۰) در مدل پیش‌بینی آب و هوای آینده، سنجش تغییرات سرعت باد سطحی نقش مهمی در شناسایی الگوی گرمایش دمای سطح دریا ایفا می‌کند [۲۸]؛ لذا اثرگذاری مثبت سرعت باد سطحی بر SST در هر دو مدل ناشی از همین واقعیت است. از طرفی در اکثر مطالعات، متغیری همچون غلظت کلروفیل *a*، خود به عنوان یک متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود و متغیرهایی همچون SST و SWS و عوامل محیطی دیگر، بر الگوی پراکنش آن اثرگذارند؛ در نتیجه با توجه به این گفته‌ها، اثرگذاری منفی و پایین این متغیر بر دمای سطح دریا دور از انتظار نیست.

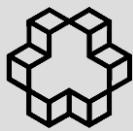
## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای مدل‌سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان از روش‌های *OLS* و *GWR* استفاده شد. در این بررسی، SST به عنوان متغیر وابسته و متغیرهایی نظیر سرعت باد سطحی، غلظت کلروفیل *a*، طول و عرض جغرافیایی نیز به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از ارزیابی دو مدل، بیانگر نزدیک بودن نتایج مدل *GWR* به واقعیت است به طوری که مقدار  $R^2$  در مدل *GWR* برابر با ۰,۸۵ و در مدل *OLS* برابر ۰,۵۵ می‌باشد. لذا می‌توان دریافت که مدل *GWR* از کارایی بالاتری در برآورد مقادیر SST در دریای عمان به نسبت مدل *OLS* برخوردار است. دلیل کارایی بالاتر مدل *GWR* در این است که برخلاف مدل *OLS* که یک دید کلی نگری دارد، مدل *GWR* تمامی محاسبات و ضرایب را برای هر عارضه به طور مجزا محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از مدل *OLS* حاکی از تأثیرگذاری بالای سرعت باد سطحی در برآورد SST بود و سایر متغیرها را برابرهای منفی و اثرگذاری پایینی را در برآورد SST در دریای عمان به نمایش گذاشتند. از سویی دیگر نتایج حاصل از مدل *GWR* متفاوت از مدل *OLS* بود؛ به گونه‌ای که با استفاده از این مدل مشخص

## مراجع

- [1] D.C. Montgomery, E.A. Peck, and G.G. Vining, "Introduction to Linear Regression Analysis (Vol. 3)". John Wiley & Sons. 2001.
- [2] S. Shamshiri, H. Shahbazi, and S. Taghipour Javi, "Analyzing the Relations between Spatial Variables in Khanmirza Plain: Comparison of Geological Weighted Regression and Ordinary Least Square Models", *Geography and Development Iranian Journal*, 15 (48), 95-112, 2017. (Persian)
- [3] B. Alijani, "Spatial Analysis in Geography Studies", *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts*, 2 (3), 1-14, 2015. (Persian)
- [4] M.F. Goodchild, "A spatial geographical perspective on GIS", *International Journal of Geographical Information System*, 1, 327-334, 1988.
- [5] L. Scott, and A. Getis, "Spatial statistics. In Kemp K (ed) Encyclopedia of geographic informations", Sage, Thousand Oaks, CA. 2008.
- [6] M.M. Fischer, and A. Getis, "Handbook of Applied Spatial Analysis", Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2010.
- [7] A. Esfandiyan Nejad, R. Kamalian, and M. Kianipoor, "Estimation of sea surface temperature using satellite data", 6th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Tehran, Iranian Ports and Maritime Organization. 2004. (Persian)
- [8] M. Gholami, "The role of surface temperature of the Caspian Sea on the climate of its southern regions", *M.sc Thesis of Physical oceanography*, Islamic Azad University. 2010. (Persian)
- [9] K.L. Matuszewskaa, and J.A. Urbański, "Prediction of near-bottom water salinity in the Baltic Sea using Ordinary Least Squares and Geographically Weighted Regression models", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, 255-263, 2014.
- [10] Q. Chen, K. Mei, R.A. Dahlgren, T. Wang, J. Gong, and M. Zhang, "Impacts of land use and population density on seasonal surface water quality using a modified geographically weighted regression", *Science of The Total Environment*, 572, 450-466, 2016.
- [11] M. Erfanian, M. Hoosiankhah, and A. Aljianpoor, "Modeling the Effects of Land Use on Water Quality Parameters Using OLS and GWR Multivariate Regression Methods in Fars Province Watersheds", *Journal of Environmental Studies*, 42 (2), 353-373, 2016. (Persian)
- [12] Y. Khosravi, H. Lashkari, and H. Asakereh, "Spatial variability of water vapour in south and southwest of Iran", *Quarterly Journal of MAUSAM*, 68, 9-22, 2017.
- [13] S. Balyani, "Spatial analysis of annual precipitation of Khuzestan province; an approach of spatial regressions analysis", *Researches in Geographical Sciences*, 16 (43), 125-147, 2017. (Persian)
- [14] M. Nazeer, and M. Bilal, "Evaluation of Ordinary Least Square (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR) for Water Quality Monitoring: A Case Study for the Estimation of Salinity", *Journal of Ocean University of China*, 17 (2), 305-310, 2018.
- [15] B. Rezaee, S. Tajgaleh, and M. Sadeghi,

- "Marine Industries and Technologies", First Edition, Presidency of the Islamic Republic of Iran: Vice-Presidency for Science and Technology, Tehran, 2015. (Persian)
- [16] S.A. Pionkovski, and T. Chiffings, "Long-Term Changes of Temperature in the Sea of Oman and the Western Arabian Sea", *International Journal of Oceans and Oceanography*, 8, 53-72, 2014.
- [17] A.H. Safargholi, A. Mohammadi, and M. Najatabarbishe, "Iranian Marine Register", Second Edition, Presidency of the Islamic Republic of Iran: Vice-Presidency for Science and Technology, Tehran, 2015. (Persian)
- [18] W.E. Johns, G.A. Jacobs, J.C. Kindle, S.P. Murray, and M. Carron, "Arabian Marginal Seas and Gulfs". Report of a workshop held at Stennis Space Center, Mississippi, May 11-13, 1999. RSMAS Technical Report #2000-01, University of Miami, 60pp, 1999.
- [19] F. Yao, and W.E. Johns, "A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation", *Journal of Geophysical Research*, 115, C1 1017, 2010.
- [20] R.M. Reynolds, "Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition", *Marine Poll Bull*, 27, 35-59, 1993.
- [21] Y. Khosravi, and E. Abbasi, "Spatial Analysis of Environmental Data", First Edition, Azarkelk Publishers, Zanjan, 2016. (Persian)
- [22] J. Tu, and Z. Xia, "Examining Spatially Varying Relationships Between Land Use And Water Quality Using Geographically Weighted Regression I: Model Design And Evaluation", *Science of The Total Environment*, 407, 358-378, 2008.
- [23] S.A. Fotheringham, C. Brunsdon, and M. Charlton, "Geographically Weighted Regression the analysis of spatially varying relationships", John Wiley & Sons, 2002.
- [24] J. Gao, and S. Li, "Detecting spatially nonstationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression". *Applied Geography*, 31, 292-302, 2011.
- [25] C. Brunsdon, S.A. Fotheringham, and M. Charlton, "Geographically Weighted Regression-Modelling Spatial Non-Stationarity", *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*, 47, 431-443, 1998.
- [26] S.A. Fotheringham, M. Charlton, and C. Brunsdon, "Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis". *Environmental Planning*, 30, 1905-1927, 1998.
- [27] H. Asakereh, H. "Fundamentals of Statistical Climatology", First Edition, University of Zanjan, Zanjan, 2011.
- [28] S.P. Xie, C. Deser, G.A. Vecchi, J. Ma, H. Teng, and A.T. Wittenberg, "Global warming pattern formation: Sea surface temperature and rainfall", *Journal of Climate*, 23, 966–986. 2010.



## ***Comparison of the Performance of Geographically Weighted Regression and Ordinary Least Squares for modeling of Sea surface temperature in Oman Sea***

Ali Bahri<sup>1</sup>, Younes Khosravi<sup>2\*</sup>, Azadeh Tavakoli<sup>3</sup>

1- MSc of Environmental Science, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan  
2- Assistant professor in Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan  
3- Assistant professor in Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan

### **Abstract**

In Marine discussions, the study of sea surface temperature (SST) and study of its spatial relationships with other ocean parameters are of particular importance, in such a way that the accurate recognition of the SST relationships with other parameters allows the study of many ocean and atmospheric processes. Therefore, in this study, spatial relations modeling of SST with Surface Wind Speed (SWS), Chlorophyll a Concentration, latitude and longitude in Oman Sea between 2003 to 2016 was performed by Ordinary Least Squares (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR) method available in ArcGIS software and the outputs of the two methods were compared. The results of the OLS method showed that the Surface Wind Speed variable had the most effect on estimating SST values in the Oman Sea, and other variables had shown a low effect on the SST estimation. But in the GWR model, it was found that the longitude variable had the most effect in the estimation of SST values and had a positive relation with SST. In this model, the SWS variable has a positive relationship with SST, but its impact is less in compared with OLS model. Other variables also have a negative relationship with SST. Subsequently, using the local explanation coefficient ( $R^2$ ), it was determined that the GWR model had a higher accuracy than the OLS model for estimating SST values in the Oman Sea, so that the GWR model justify 85% of SST spatial changes in the Oman Sea, but the OLS model justifies only 55% of spatial variations of this parameter. The higher accuracy of the GWR model in the estimation of SST values was found in the eastern and western parts of the Oman Sea and this model was less accurate in the central part of the sea.

**Key words:** Sea Surface Temperature, Modeling, Ordinary Least Squares, Geographically Weighted Regression, Oman Sea.