

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

علی بحری^۱، یونس خسروی^{۲*}، آزاده توکلی^۳

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

چکیده

در مباحث دریایی، مطالعه‌ی دمای سطح دریا (SST) و بررسی روابط مکانی آن با سایر متغیرهای اقیانوسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌گونه‌ای که شناخت دقیق و مناسب روابط SST با سایر متغیرها، امکان بررسی و مطالعه بسیاری از فرآیندهای اقیانوسی و جوی را فراهم می‌سازد. لذا، در این پژوهش مدل‌سازی 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 سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ صورت پذیرفت و خروجی‌های 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 رابطه‌ای منفی و تأثیرگذاری پایینی را در برآورد SST به نمایش گذاشته‌اند. 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 رابطه‌ای مثبت با SST داشته است اما تأثیرگذاری آن نسبت به مدل OLS کمتر بوده است. سایر متغیرها نیز رابطه‌ای منفی با SST داشته‌اند. در ادامه، با استفاده از ضریب تبیین محلی (R^2) مشخص شد که مدل GWR برای برآورد مقادیر SST در دریای عمان از دقت بالاتری نسبت به مدل OLS برخوردار بوده است؛ به‌گونه‌ای 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 بخش‌های شرقی و غربی دریای عمان دیده شد و این مدل در بخش مرکزی این دریا از دقت پایین‌تری برخوردار بود.

کلیدواژه‌ها: دمای سطح دریا (SST)، مدل‌سازی، 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

Email: Khosravi@znu.ac.ir

۱- مقدمه

روابط فضایی دمای سطح دریای عمان مدل‌سازی و بررسی شود. دمای سطح دریا^۳ در تعریفی جامع به درجه حرارت (دما) آب در اعماق یک یا دو متر از سطح دریا اطلاق می‌شود [۷]. بیشتر مباحث فیزیکی دریا از قبیل گرمایش سطحی، اختلاط، فروجوشی، فراجوشی و انتقال اکمن با SST، و تغییرات آن رابطه مستقیمی دارد. همچنین هرگونه بررسی وضعیت متغیرهای جوی یک منطقه، مانند سرعت و جهت باد مستلزم شناخت قبلی از وضعیت تغییرات SST است. لذا می‌توان این‌گونه برداشت کرد که SST یک متغیر فیزیکی مهم برای شناخت پدیده‌های جوی و دریایی به شمار می‌رود [۸]. در مبحث مدل‌سازی روابط فضایی، هدف اصلی تعیین نوع روابط و تأثیرگذاری متغیرها بر یکدیگر در فضای مورد مطالعه است؛ به این معنا که یک متغیر به‌عنوان هدف یا متغیر وابسته در نظر گرفته شده و از چندین متغیر دیگر به‌عنوان متغیر مستقل یا اثرگذار تأثیر می‌پذیرد. در اینجا متغیر هدف ما دمای سطح دریا است و متغیرهایی همچون سرعت باد سطحی^۴، غلظت کلروفیل «a»، طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان 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 به‌عنوان متغیری اقلیمی و محیطی در نظر گرفته شود، 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 بالتیک را برآورد کردند. ایشان دریافتند که مدل GWR برای تخمین شوری نزدیک بستر از اطمینان مناسبی برخوردار بوده است، در حالی که مدل OLS برای تخمین این قبیل

داده‌های فضایی به‌عنوان 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 مسأله‌ی 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 خودهمبستگی‌های 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 به‌شمار 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^۱ و روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۲ اشاره کرد [۶]. در پژوهش پیش‌رو سعی بر آن است،

³ Sea Surface Temperature (SST)⁴ Surface Wind Speed (SWS)¹ Ordinary Least Square (OLS)² Geographically Weighted Regression (GWR)

ساحلی کشور هنگ‌کنگ از دو مدل *OLS* و *GWR* بهره‌بردند. 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 می‌کند. حداکثر طول آن از شمال غرب تا جنوب شرق ۹۵۰ کیلومتر و حداکثر پهنای آن از شمال شرق به جنوب غرب حدود ۳۴۰ کیلومتر است. دریای عمیق عمان از راه تنگه هرمز به خلیج فارس متصل می‌شود. 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 و ۵۶ تا ۶۱ درجه طول شرقی واقع شده است [۱۶]. حداکثر دمای سطح آب دریای عمان در مردادماه به ۳۲ درجه و حداقل دمای آن در دی‌ماه به ۱۹/۸ درجه سلسیوس می‌رسد [۱۷]. تبادل آب در این دریا عموماً از سه طریق صورت می‌پذیرد، بدین‌صورت که آب‌های سطحی و با شوری کمتر اقیانوس هند از قسمت‌های شمالی دریای عمان به آن وارد می‌شوند. از طرفی آب‌های با شوری و چگالی بالای خلیج فارس از بستر تنگه هرمز وارد قسمت جنوبی این دریا می‌شوند. آب‌های با شوری ملایم‌تر خلیج فارس نیز در قسمت‌های سطحی جنوب دریای عمان جریان می‌یابند [۱۹]. در مجموع جریان سطحی در خلیج فارس و دریای عمان این‌گونه 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 می‌یابد و سپس در فصل تابستان بعد از عبور از سواحل جنوبی از قسمت جنوبی تنگه هرمز به

داده‌ها 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 رودخانه‌ای در کشور چین پرداختند. این پژوهشگران از دو مدل *OLS* و *GWR* به‌صورت هم‌زمان در مطالعه خود بهره‌بردند و دریافتند که مدل *GWR* با توجه به ویژگی‌هایی که دارد از دقت بالاتری نسبت به مدل *OLS* برخوردار بوده است [۱۰]. ارفانیان و همکاران (۲۰۱۶) نیز آثار کاربری اراضی را روی متغیرهای کیفیت آب در حوزه آبخیز استان فارس با استفاده از مدل‌های *OLS* و *GWR* مدل‌سازی کردند؛ در این مطالعه نیز، پژوهشگران با توجه به معیارهای ارزیابی کارایی دو مدل نظیر ضریب تبیین محلی (R^2)، معیار اطلاعات آکائیکه^۱ و شاخص موران (I) دریافتند که روش *GWR* در مدل‌سازی آثار کاربری اراضی روی متغیرهای کیفیت آب از کارایی بالاتری برخوردار بوده است [۱۱]. در مطالعه‌ای اقلیمی خسروی و همکاران (۲۰۱۷) روابط فضایی فشار بخار آب با برخی از عوامل مکانی در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی ایران را با استفاده از دو روش *OLS* و *GWR* تحلیل کردند. ایشان نیز پی‌بردند که مدل *GWR* برای بررسی روابط فضایی فشار بخار آب از دقت و کارایی بالاتری نسبت به مدل *OLS* برخوردار بوده است [۱۲]. بلیانی در سال ۲۰۱۷، با استفاده از روش‌های رگرسیون فضایی *GWR* و *OLS* به تحلیل فضایی بارش سالانه استان خوزستان پرداخت که نتایج دو مدل *OLS* و *GWR* برای پیش‌بینی بارش سالانه حاکی از برآورد مقادیر پیش‌بینی بهتر در مدل *GWR* بود؛ به‌گونه‌ای که میزان برآورد حاصل از روش *GWR* در استان خوزستان، نشان از مقادیر پایین باقیمانده‌های خطا، مقادیر بالای R^2 ، عدم وجود خودهمبستگی فضایی و نرمال بودن مقادیر باقی مانده مدل را می‌داد [۱۳]. در مطالعه‌ای دریایی دیگری، ناصر و بیلال (۲۰۱۸) برای تخمین زدن شوری نواحی

^۱AICc

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 ۰/۱ 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^۴ هستند. بدین معنی که این داده‌ها قبل از در دسترس قرار گرفتن، مورد تحلیل‌های اولیه نظیر میان‌یابی، حذف داده‌های پرت، نرمال‌سازی و ... قرار می‌گیرند. لذا با اعتماد بالا می‌توان

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 وزن‌دار جغرافیایی پرداخته خواهد شد.

۳-۱- تهیه و آماده‌سازی داده‌ها

برای مدل‌سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان از تولیدات ماهواره‌های *SST*، *SWS* و غلظت کلروفیل *a* استفاده شد. بدین‌منظور داده‌های *SST* و *SWS* با دقت مکانی 0.125° (حدوداً ۱۰ کیلومتر) از پایگاه داده‌ی مرکز اروپائی پیش‌بینی میان برد آب‌وهوا^۱ و داده‌های غلظت کلروفیل *a* با دقت مکانی 0.05° (حدوداً ۴ کیلومتر) از پایگاه داده‌ی سازمان اقیانوس‌شناسی و هواشناسی ایالات‌متحده آمریکا^۲ و سنجنده آکوا-مادیس^۳ برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ تهیه شد. برای

¹ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

² National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

³ MODIS-Aqua

⁴ Reanalysis

منطقی برای داده‌های فضایی ارائه نمی‌دهد. در این زمینه محققان زیادی به‌منظور رفع ابهامات الگوهای آماری جهانی همانند حداقل مربعات معمولی تلاش کردند و روش‌های محلی‌تری همانند رگرسیون قطعات خطی و رگرسیون لاوس را توسعه داده‌اند. این روش‌ها تصویری واقع‌بینانه‌تر از روش قبل در ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دادند، اما این تکنیک‌ها غیرفضایی بوده و روشی کارا برای ارائه‌ی واقعیات فضایی به شمار نمی‌روند. بر این اساس همان‌طور که می‌دانیم اکثر عناصر اقلیمی از جمله SST حاوی نامانایی مکانی یا به‌عبارتی 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 فرانسج‌ها کافی نیست. ناهمگنی فضایی گویای این واقعیت است که در هر منطقه، رابطه‌ای 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، نمی‌توان تخمینی دقیق از روابط موجود بین متغیرها داشت [۲۳]. لذا در سال‌های اخیر روشی نوین، ساده، مؤثر و کارا برای بررسی ارتباط‌های مختلف فضایی، به نام رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی بسط داده شد [۲۴].

این روش اولین بار توسط برنسدن 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 می‌کند. الگوی رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی از روش‌های هموارسازی و رگرسیون محلی نشأت گرفته است که بر پایه قانون اصل جغرافیایی توبلر بنا نهاده شده است. طبق این قانون هر چیزی مرتبط با چیزهای دیگری است، اما در نزدیکی مشخصه‌های فضایی ارتباطات بیشتر و قوی‌تر است و با فاصله گرفتن از آن‌ها کمتر می‌شود [۲۵] و [۲۶]. مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود [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 داده‌ها را به عنوان ورودی در بسیاری از مدل‌ها مورد استفاده قرار داد. اما با این وجود داده‌های مورد استفاده در زمان ورود به مدل کریجینگ ساده، با آزمون *Log* موجود در افزونه *Geostatistical Analysis* و نرم‌افزار *ArcGIS* نرمال شدند. برای انجام مدل‌سازی، نرم‌افزار *ArcGIS*، به‌کار گرفته شد. در ادامه ابتدا مبانی نظری روش *OLS*، و سپس مدل *GWR* شرح داده می‌شود.

۳-۲- رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)

رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) شکلی از رگرسیون خطی جهت پیش‌بینی کلی یا مدل‌سازی متغیر وابسته به کمک مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل یا توضیحی است. از کاربردهای این رگرسیون علاوه بر پیش‌بینی، می‌توان به آزمون نقاط جهت تحلیل‌های رگرسیون فضایی نیز اشاره کرد. فرض اساسی در روش‌های رگرسیون عمومی، ثابت بودن روابط و ضرایب در محدوده مورد مطالعه است؛ به‌طوری‌که نوع رابطه و جهت فرانسج‌ها از طریق ارائه یک مدل رگرسیونی برای کل منطقه تعیین می‌شود. به‌طور معمول، رگرسیون کلی (عمومی) چند متغیری با m متغیر مستقل به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود [۲۲]:

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

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 ε جزء خطا است [۲۲]. براساس 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.

۳-۳- روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR)

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، الگوهای رگرسیونی معمولی برای دو متغیر مستقل و وابسته فضایی تنها میانگینی از داده‌های غیر فضایی را ارائه داده و فقط برازشی از یک خط رگرسیونی کلی برای کل داده‌ها نشان می‌دهد؛ از این رو برخی از واقعیات محلی در این زمینه پنهان می‌ماند و در نهایت نتیجه‌ی 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 $۰٫۴۸$ 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 $-۰٫۱۵$ 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, v_i) مختصات i امین نقطه در فضا و $\beta_k(u_i, v_i)$ مقداری تحقق‌یافته از تابع پیوسته $\beta_k(u, v)$ 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 برآورد 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]:

رابطه (۳)

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

در این رابطه برداری حاوی برآورد متغیرهای $\beta_j(u_i, v_i)$ $j = 0.1, \dots, k$ است و $W(u_i, v_i)$ 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.

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

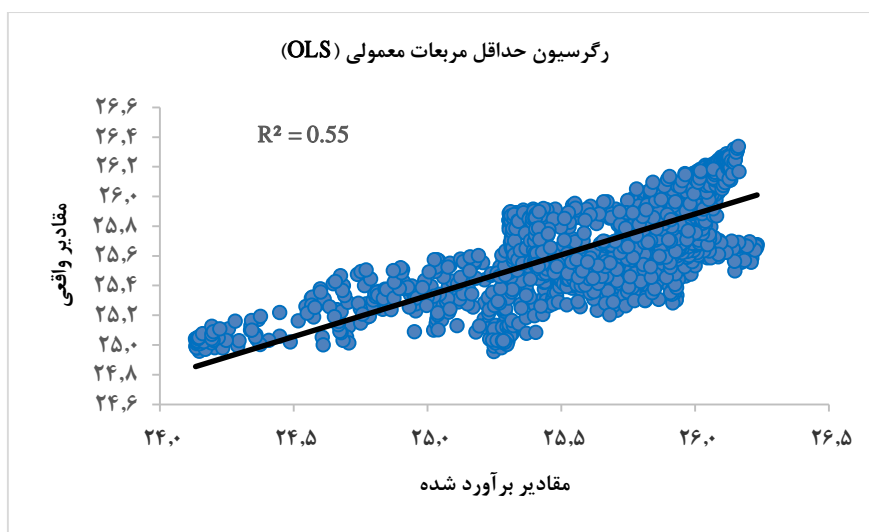
در ماتریس فوق $W_n(u_i, v_i)$ وزن داده شده به مشاهده n در تخمین مدل برای نقطه مرجع i است. به عبارت دیگر برآوردگر رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، برآوردگر

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

متغیر	ضرایب
طول جغرافیایی	$-۰٫۰۱۴$
عرض جغرافیایی	$-۰٫۱۵$
سرعت باد سطحی	$۰٫۴۸$
غلظت کلروفیل a	$-۰٫۰۹۳$

بنابراین با این نتایج می‌توان 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.

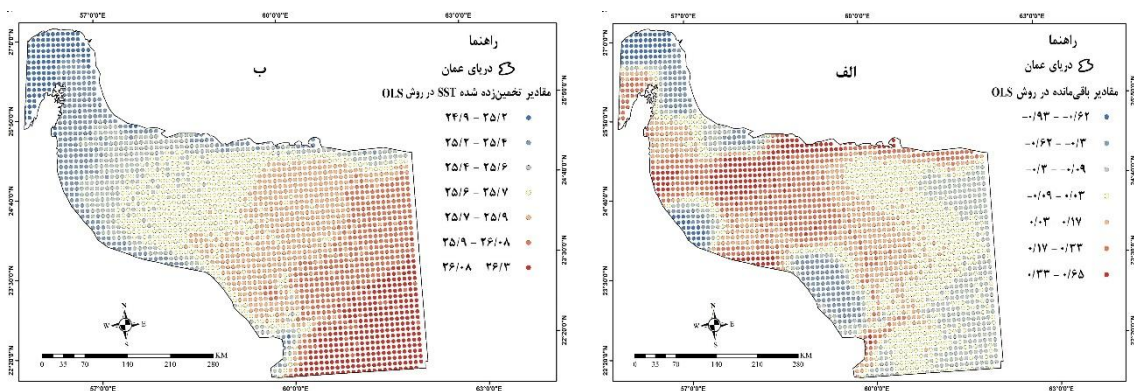
شکل (۲) پراکنش‌نگار مقادیر واقعی و برآورد شده *SST* توسط مدل *OLS* برای بررسی دقت مدل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲)، عدم هماهنگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده *SST* به‌ویژه در نقاط با دمای پایین و متوسط قابل مشاهده است. هماهنگی بیشتر یا به عبارت دیگر دقت بالاتر مدل در نقاط با دمای بین ۲۵/۵ تا ۲۶/۵ درجه سلسیوس دیده می‌شود.



شکل ۲: پراکنش‌نگار مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده *SST* سالانه دریای عمان در مدل *OLS*

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

شکل (۲)، وضعیت کلی رابطه مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده دما را نشان می‌دهد اما نمی‌تواند 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 برآورد شده) و همچنین توزیع مکانی مقادیر برآورد شده از مدل *OLS* به ترتیب در شکل‌های (۳-الف و ۳-ب) نشان داده شده است. شکل (۳-الف) انحرافات مقادیر واقعی و برآورد شده *SST* را نشان می‌دهد. براساس این شکل، بیش‌ترین مانده (خطا)های مدل، منطبق بر مناطق مرکزی، شمالی و جنوبی دریای عمان است. بدین معنی که میزان برآورد کمتر از مقادیر واقعی دما صورت گرفته است. از طرفی



شکل ۳: الف: توزیع فضایی مقادیر باقی مانده SST، و ب: توزیع فضایی مقادیر برآورد شده SST سالانه دریای عمان در مدل OLS

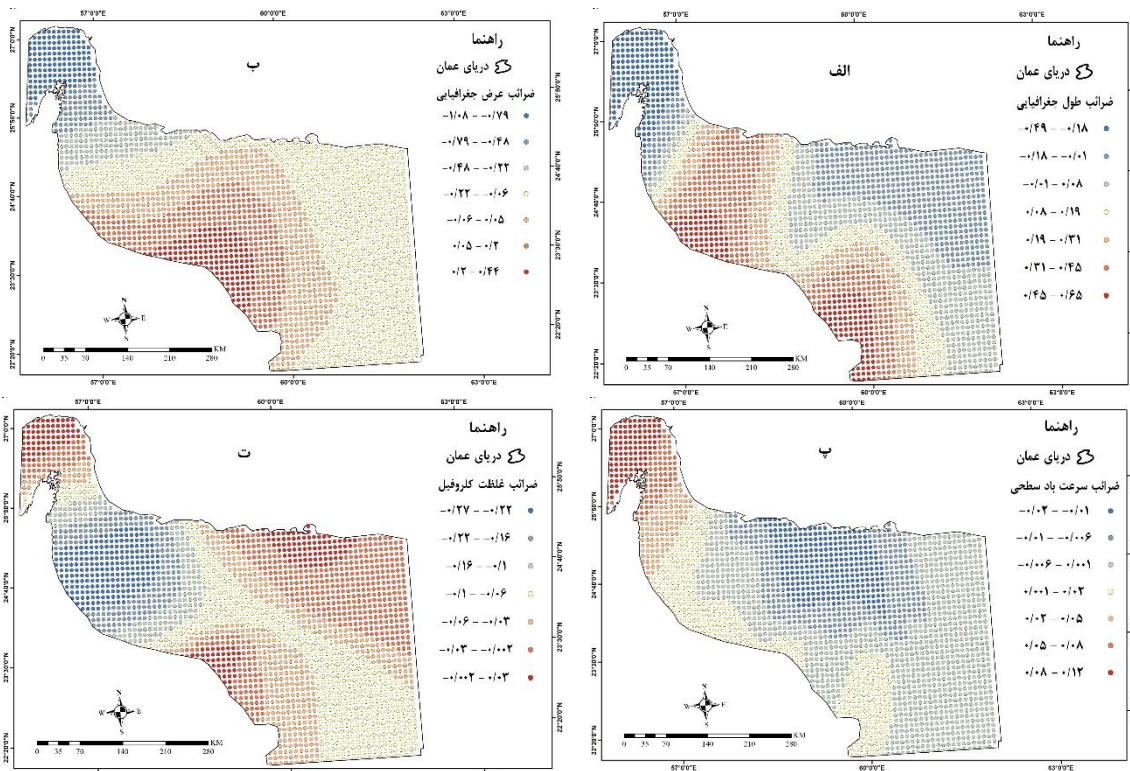
شکل (۴) قابل مشاهده است. شکل (۴-الف) توزیع مکانی ضرایب طول جغرافیایی را در دریای عمان نشان می دهد. بر اساس این شکل، ضرایب مثبت و بالای متغیر طول جغرافیایی در برآورد SST به صورت نواری ضخیم از قسمت سواحل شهرستان جاسک در ایران تا سواحل کشور عمان کشیده شده اند. بخش دیگری از این ضرایب بالا نیز در بخش های شمالی دماغه رأس الحد دیده می شوند. از سویی دیگر، مقادیر منفی و کمتر تأثیرگذار ضرایب طول جغرافیایی برای تخمین SST در بخش های شرقی، شمال شرقی و غرب دریای عمان مشاهده می شوند. بر اساس شکل (۴-ب) که توزیع مکانی ضرایب عرض جغرافیایی در برآورد SST را نشان می دهد، می توان مشاهده نمود که بیشترین مثبت ترین تأثیرگذاری این متغیر مستقل بر مقادیر SST در بخش های مرکزی و جنوبی دریای عمان شکل گرفته و کم تأثیرترین و منفی ترین ضرایب این متغیر در بخش های غربی دریای عمان و به صورت عمده در تنگه هرمز تشکیل شده است. با بررسی دقیق تر شکل می توان 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 هم خطی یا هم راستایی در متغیرهای تأثیرگذار بسیار ضروری است، چراکه هم راستایی قوی بین متغیرهای مستقل باعث رخداد واریانس های بزرگ برای ضرایب رگرسیون می شود و این امر باعث برآوردهایی غیرواقعی در پژوهش خواهند شد. منظور از هم خطی این است که در فضای مورد مطالعه، نقاطی وجود دارند که از نظر ارزش خصیصه ها شباهت بالایی به یکدیگر دارند و مدل نمی تواند آن ها را از هم متمایز سازد. در پژوهش حاضر با بررسی های صورت گرفته مشخص شد که بین مقادیر متغیر سرعت باد سطحی هم خطی وجود دارد. از آنجایی که این متغیر در برآورد مقادیر SST دارای اهمیت است و نمی توان از آن صرف نظر کرد، لذا جهت از بین بردن هم خطی بین این داده ها، از تبدیل Z_i استفاده شد و این روش توانست مشکل هم خطی بین داده ها را حل کند؛ در نتیجه داده های تبدیل شده توسط این روش وارد مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی شد. جهت آشنایی بیشتر با روش های رفع هم خطی می توان به مطالعات عساکره در سال ۲۰۱۱ رجوع کرد [۲۷].

همان طور که قبلاً نیز گفته شد، در روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی، برای هر عارضه مکانی مشخص، برآوردی از ضرایب وجود خواهد داشت. بر این اساس توزیع مکانی ضرایب متغیرهای مستقل که در برآورد SST به روش GWR مورد استفاده قرار گرفته اند در

می‌توان 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 گذاشته‌اند. این وضعیت بدین معنا است که غلظت کلروفیل a در مجموع رابطه‌ای منفی با دمای سطح دریا داشته و به نحوی کمترین تأثیرگذاری را در برآورد مقادیر SST داراست. در این بین معکوس‌ترین رابطه و کمترین اثر غلظت کلروفیل a بر SST در بخش غربی و جنوب غربی دریای عمان مشاهده شده و تأثیرگذاری نسبتاً قوی‌تر در بخش‌های مختلفی از دریا، همچون قسمت شمال شرقی، جنوب شرقی و تمامی قسمت‌های تنگه هرمز دیده می‌شود.

به صورت برجسته در کل تنگه هرمز ثبت شده است. از سویی دیگر، معکوس‌ترین اثرات SWS بر SST در اکثر بخش‌های دریای عمان قابل مشاهده است. اما با بررسی دقیق‌تر شکل (۴) مشخص می‌شود که کمترین تأثیرگذاری SWS بر SST در بخش مرکزی دریای عمان و به سمت قسمت‌های شمالی این دریا، یعنی حدفاصل سواحل شهرستان‌های چابهار تا جاسک در ایران ثبت شده‌اند و سایر بخش‌های باقی‌مانده دریای عمان نشان‌دهنده تأثیرگذاری مثبت سرعت باد سطحی در برآورد دمای سطح دریا می‌باشند. آخرین متغیر مستقلی که برای برآورد دمای سطح دریا در دریای عمان مورد استفاده قرار گرفته است، غلظت کلروفیل a می‌باشد که توزیع فضایی ضرایب این متغیر مستقل را



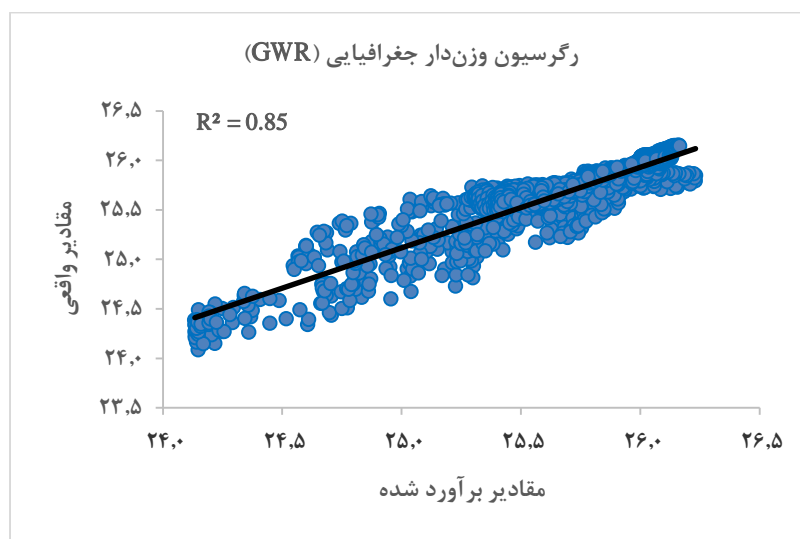
شکل ۴: توزیع فضایی ضرایب، الف: طول جغرافیایی، ب: عرض جغرافیایی، پ: سرعت باد سطحی، ت: غلظت کلروفیل a حاصل از مدل GWR

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

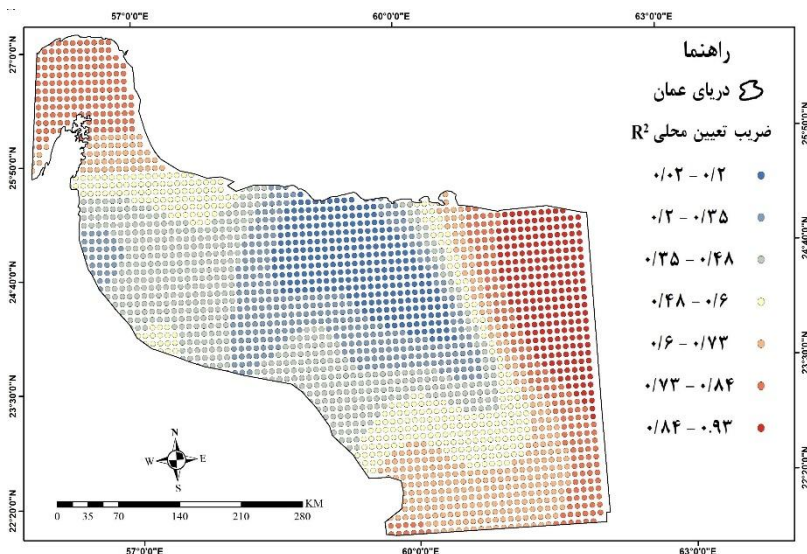
برای مقایسه دو مدل رگرسیونی GWR و OLS و تعیین بهترین روش برای برآورد مقادیر SST در دریای عمان

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 (۶۰ تا ۹۳ درصد) در قسمت‌های شرقی و شمال غربی دریای عمان گسترش یافته‌اند. از طرف دیگر مقادیر پایین این ضریب (کمتر از ۲۰ درصد تا ۴۸ درصد) در قسمت‌های مرکزی و جنوبی این دریا پراکنده شده‌اند.

جغرافیایی ۸۵ درصد محاسبه شد. این درحالی 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 برآورد 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 به‌مراتب بالاتری را نسبت به مدل *GWR* نشان داده است. با نگاهی کلی به جدول (۲) متوجه این موضوع نیز می‌شویم 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 بالاتری برخوردار است. در مجموع همان‌گونه که قبلاً 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 آماره‌های ذکر شده در سطح اطمینان ۹۹ درصد، معنادار هستند.

مقایسه دقیق‌تر دو مدل *OLS* و *GWR* را می‌توان 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 می‌دهد که بیانگر رابطه مستقیم و تأثیرگذاری بالای متغیر طول جغرافیایی در برآورد *SST* است. دو متغیر عرض جغرافیایی و غلظت کلروفیل *a* در مدل *GWR* همانند مدل *OLS* مقادیر منفی را دارا هستند و تأثیر اندکی در برآورد *SST* ایجاد می‌کنند. از سویی دیگر ضریب سرعت باد سطحی برای هر دو مدل مقادیر مثبت را نشان می‌دهد با این تفاوت که ضریب این

جدول ۲: متغیرهای تخمین زده‌شده و آماره‌های محاسبه‌شده در دو مدل *OLS* و *GWR* برای مقادیر *SST* سالانه

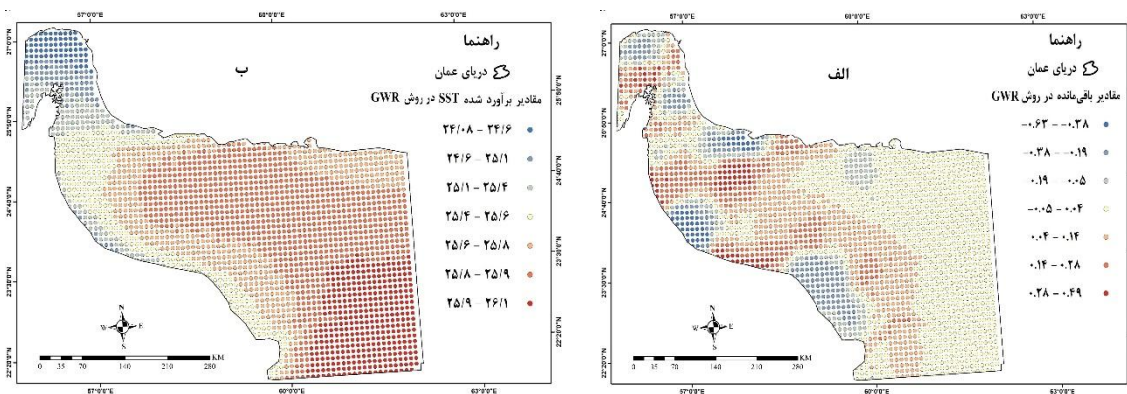
متغیر	مدل <i>OLS</i>	مدل <i>GWR</i>
طول جغرافیایی	-۰/۰۱۴	۰/۱۱۴
عرض جغرافیایی	-۰/۱۵	-۰/۱۱۷
سرعت باد سطحی	۰/۴۸	۰/۰۰۵
غلظت کلروفیل <i>a</i>	-۰/۰۹۳	-۰/۰۸۲
R^2	۰/۵۵	۰/۸۵

مقادیر دمای سطح دریا را با استفاده از مدل *GWR* نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، همانند مدل *OLS* مقادیر بالای *SST* در قسمت‌های مرکزی و شرقی دریای عمان و مقادیر پایین *SST* در قسمت‌های غربی برآورد شده‌اند، با این تفاوت که در مدل *GWR* از تعداد نقطه‌های دارای دمای پایین در امتداد سواحل شمالی و جنوبی دریای عمان کاسته شده و در مقابل بر تعداد نقطه‌های دارای دمای بالا در حاشیه سواحل شمال شرقی و قسمت‌های 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 وزن‌دار 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 دامنه‌های خطای محاسباتی در مدل *GWR* است. دامنه خطا در نقشه باقی‌مانده‌های مدل *OLS* از -۰/۹۳ تا ۰/۶۵ و در مدل *GWR* از -۰/۶۳ تا ۰/۴۹ در نوسان است. با توجه به این فواصل خطایی، مشخص می‌شود که برآوردهای حاصل از مدل *GWR* نسبت به مدل *OLS* به مقادیر واقعی نزدیک‌ترند. شکل (۷-ب)، برآورد و پیش‌بینی

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، ب: مقادیر برآورد 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 به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهایی نظیر سرعت باد سطحی، غلظت کلروفیل a ، طول و عرض جغرافیایی نیز به‌عنوان 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 دریای عمان به نسبت مدل OLS برخوردار است. دلیل کارایی بالاتر مدل GWR در این است که برخلاف مدل OLS که یک دید کلی‌نگری دارد، مدل GWR تمامی محاسبات و ضرایب را برای هر عارضه به‌طور مجزا محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از مدل OLS حاکی از تأثیرگذاری بالای سرعت باد سطحی در برآورد SST بود و سایر متغیرها رابطه‌ای 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؛ به‌گونه‌ای 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 Hazards*, 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. Esfandiyar 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. Alijanpoor, "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. Najartabarbishe, "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. Brunson, 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. Brunson, 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. Brunson, "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 Bahri¹, Younes Khosravi^{2*}, Azadeh Tavakoli³

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.