نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۸

Vol.7, No.3, Autumn 2019

۱۵۹-۱۷۲

مقاله پژوهشی

مقایسه عملکرد روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و روش حداقل مربعات برای مدل‌سازی 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 برخودار است، به‌گونه‌ای که شناخت دقیق و مناسب روابط *SST* با سایر متغیرها، امکان بررسی و مطالعه بسیاری از فرآیندهای اقیانوسی و جوّی 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 وزن‌دار 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، حداقل‌مربعات‌معمولی (*OLS*)، رگرسیون وزن‌دارجغرافیایی (*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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

۱- مقدمه

داده‌های فضایی به‌عنوان مهم‌ترین و اساسی‌ترین نوع داده‌ها، توسط پژوهشگران علوم محیطی و جغرافیا مورداستفاده 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]. ازاین‌رو، 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 کمّی، 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به روش حداقل مربعات معمولی[1] و روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی[2] اشاره کرد [۶]. در پژوهش پیش‌رو سعی بر آن است، روابط فضایی دمای سطح دریای عمان مدل‌سازی و بررسی شود. دمای سطح دریا[3] در تعریفی جامع به درجه حرارت (دما) آب در اعماق یک یا دو متر از سطح دریا اطلاق می‌شود [۷]. بیشتر مباحث فیزیک دریا از قبیل گرمایش سطحی، اختلاط، فروجوشی، فراجوشی و انتقال اکمن با *SST* و تغییرات آن رابطه مستقیمی دارد. همچنین هرگونه بررسی وضعیت متغیرهای جوّی 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 جوّی 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 به‌عنوان هدف یا متغیر وابسته در نظر گرفته‌شده 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[4]، غلظت کلروفیل *a*، طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیر یا متغیر مستقل در نظر گرفته‌شده‌اند.

با مروری بر مطالعات مشخص شد که روش‌های *OLS* و *GWR* در مباحث دریایی و اقیانوسی کمتر موردتوجه قرارگرفته‌اند، اما از این تکنیک‌ها در مدل‌سازی روابط متغیرهای محیطی و اقلیمی استفاده شده است. از آنجایی‌که *SST* نیز می‌تواند به‌عنوان 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 بالتیک را برآورد کردند. ایشان دریافتند که مدل *GWR* برای تخمین شوری نزدیک بستر از اطمینان مناسبی برخودار بوده است، در حالی‌که مدل *OLS* برای تخمین این قبیل

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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[1] 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 بخارآب 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، ناضر و بیلال (۲۰۱۸) برای تخمین زدن شوری نواحی 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 خلیج‌فارس 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 واقع‌شده است [۱۶]. حداکثر دمای سطح آب دریای عمان در مردادماه به ۳۲ درجه و حداقل دمای آن در دی‌ماه به ۱۹/۸درجه 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 خلیج‌فارس از بستر تنگه هرمز وارد قسمت جنوبی این دریا می‌شوند. آب‌های با شوری ملایم‌تر خلیج‌فارس نیز در قسمت‌های سطحی جنوب دریای عمان جریان می‌یابند [۱۹]. در مجموع جریان سطحی در خلیج‌فارس و دریای عمان این‌گونه است که جریان در فصل زمستان از قسمت شمالی دریای عمان و تنگه هرمز وارد خلیج‌فارس 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

[1] *AICc*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه بر روی نقشه

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 ماهواره‌ای *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[1] و داده‌های غلظت کلروفیل *a* با دقت مکانی *0.05°* (حدوداً ۴ کیلومتر) از پایگاه داده‌ی سازمان اقیانوس‌شناسی و هواشناسی ایالات‌متحده آمریکا[2] و سنجنده آکوا-مادیس[3] برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ تهیه شد. برای 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 ۰٫۰۱ 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[4] 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

[1] *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*
[2] *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*
[3] *MODIS-Aqua*
[4] *Reanalysis*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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 به‌کمک 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 موردمطالعه است؛ به‌طوری‌که نوع رابطه و جهت فراسنج‌ها 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]*:

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

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؛ ازاین‌رو برخی از واقعیات محلی در این زمینه پنهان می‌ماند و درنهایت نتیجه‌ی معقول و 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 ناهمایی 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 فراسنج‌ها کافی نیست. ناهمگنی فضایی گویای این واقعیت است که در هر منطقه، رابطه‌ای متفاوت بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد. ازاین‌رو 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 رگرسیون‌محلی 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]*:

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

در این رابطه $(u_i.v_i)$ مختصات iامین 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 برآیند تخمین ثابت نیست و باتوجه به مکان مشاهده از نقطه i تغییر می‌کند. برآوردگر رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به‌صورت 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 $\widehat{\beta}(u_i.v_i)$ 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.

رابطه(۴)

$$W(u_i.v_i) = \begin{bmatrix} W_1(u_i.v_i) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_n(u_i.v_i) \end{bmatrix}$$

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 حداقل مربعات وزنی است با این تفاوت که به‌جای 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.

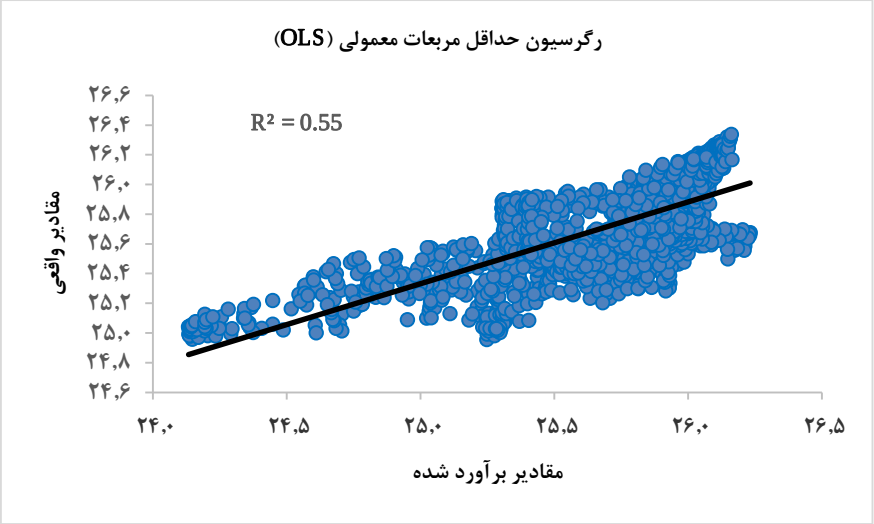
جدول ۱: مقادیر ضرایب مستقل برای برآورد *SST* در دریای عمان با استفاده از مدل *OLS*

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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. 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.

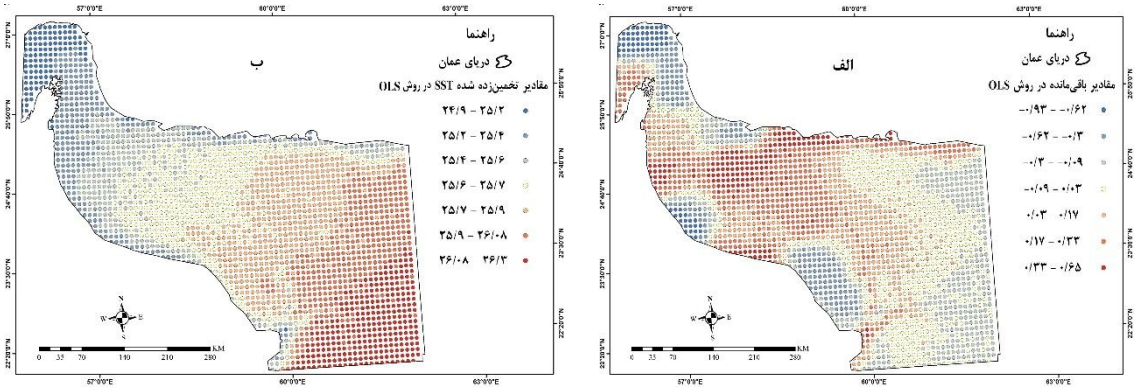


شکل ۲: پراکنش‌نگار مقادیر واقعی و مقادیر برآورده شده *SST* سالانه دریای عمان در مدل *OLS*

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 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. به‌عبارتی 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]



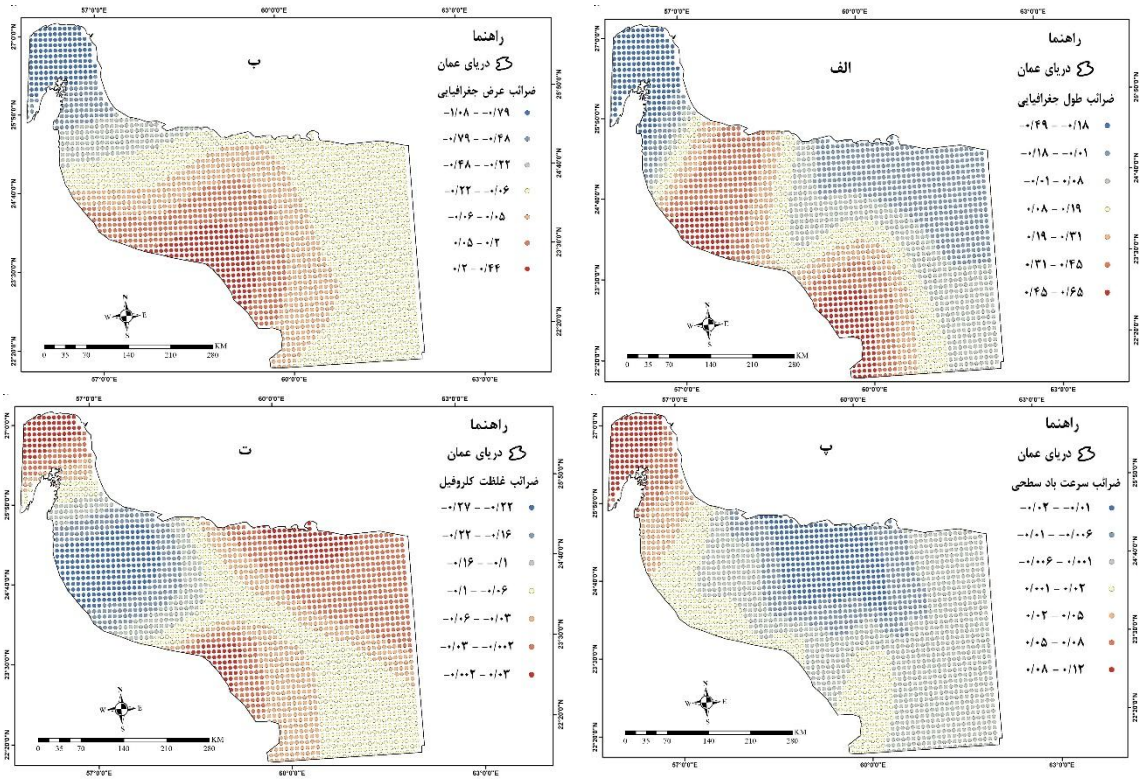
شکل ۳: الف: توزیع فضایی مقادیر باقی‌مانده *SST* و ب: توزیع فضایی مقادیر برآورد شده *SST* سالانه دریای عمان در مدل *OLS*

در هنگام استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار 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 خواهند شد. منظور از هم‌خطی این است که در فضای موردمطالعه، نقاطی وجود دارند که از نظر ارزش خصیصه‌ها شباهت 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 آنجایی‌که 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 وزن‌دار 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 وزن‌دار 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* مورداستفاده قرار گرفته‌اند در شکل(۴) قابل‌مشاهده 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* به‌صورت 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 به‌صورت عمده در تنگه هرمز تشکیل‌شده 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

به‌صورت برجسته در کل تنگه هرمز ثبت‌شده است. از سویی دیگر، معکوس‌ترین اثرات *SWS* بر *SST* در اکثر بخش‌های دریای عمان قابل‌مشاهده 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 ثبت‌شده‌اند و سایر بخش‌های باقی‌مانده دریای عمان نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری مثبت سرعت باد سطحی در برآورد دمای سطح دریا می‌باشند. آخرین متغیر مستقلی که برای برآورد دمای سطح دریا در دریای عمان مورداستفاده قرار گرفته است، غلظت کلروفیل *a* می‌باشد که توزیع فضایی ضرایب این متغیر مستقل را 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 مشاهده‌شده و تأثیرگذاری نسبتاً قوی‌تر در بخش‌های مختلفی از دریا، همچون قسمت شمال شرقی، جنوب شرقی و تمامی قسمت‌های تنگه هرمز دیده می‌شود.

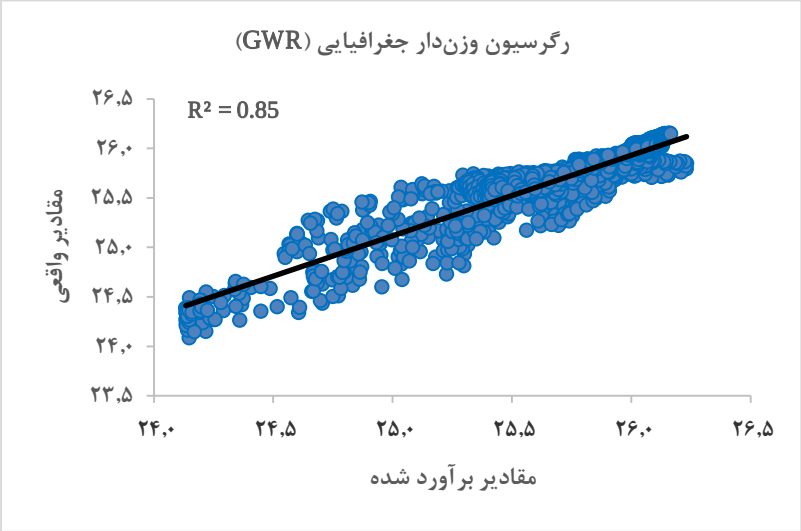


شکل ۴: توزیع فضایی ضرایب، الف: طول جغرافیایی، ب: عرض جغرافیایی، پ: سرعت باد سطحی، ت: غلظت کلروفیل *a* حاصل از مدل *GWR*

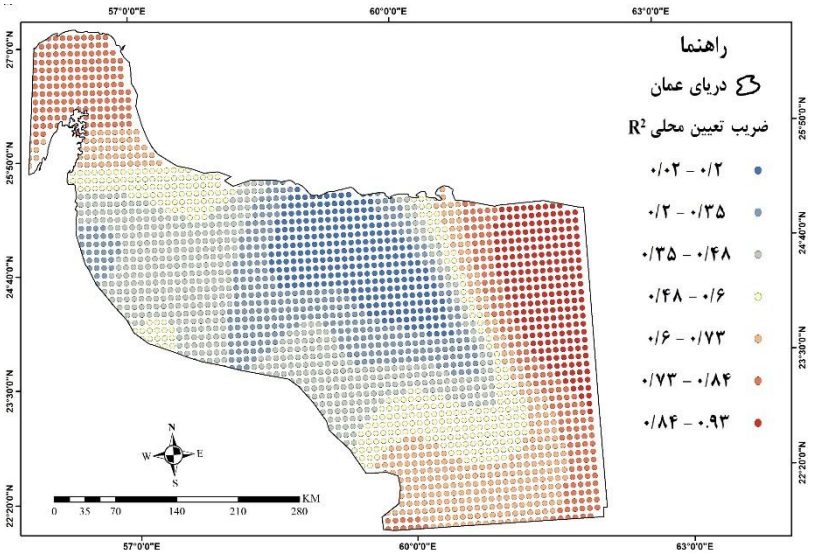
برای مقایسه دو مدل رگرسیونی *OLS* و *GWR* و تعیین بهترین روش برای برآورد مقادیر *SST* در دریای عمان از شاخص ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. بر اساس شکل(۵) ضریب تبیین در روش رگرسیون وزن‌دار

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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 داده‌شده تخمین بهتری از مقادیر *SST* را به نمایش می‌گذارد. یکی دیگر از نکات مثبت مدل *GWR*، ارائه 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.



شکل ۵: پراکنش‌نگار 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*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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 حالی‌که 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 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.

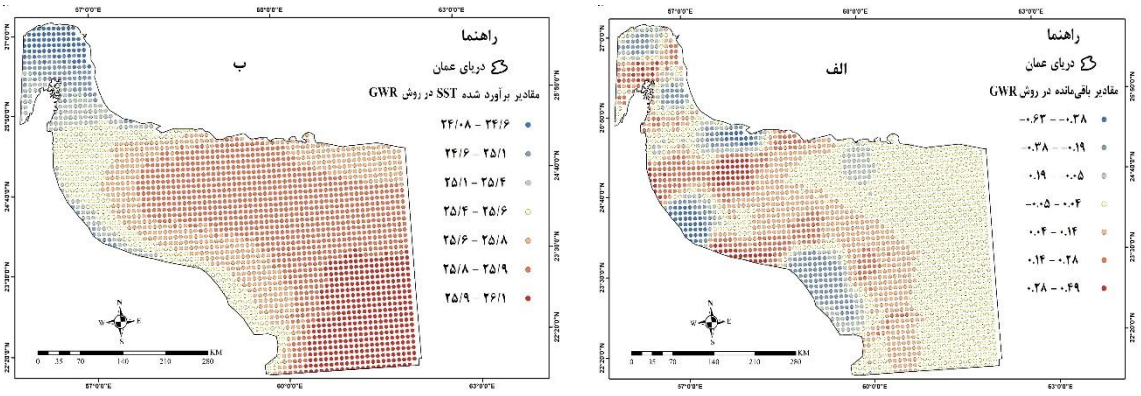
جدول ۲: متغیرهای تخمین زده‌شده و آماره‌های محاسبه‌شده در دو مدل *GWR* و *OLS* برای مقادیر *SST* سالانه

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

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* (شکل۳-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 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 افزوده‌شده است. همچنین بازه دمایی برآورده شده در مدل *OLS* از ۲۴٫۹ تا ۲۶٫۳ درجه سلسیوس و در مدل *GWR* از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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 ماه‌های انتخابی جهت میانگیری عموماً ماه‌های سرد سال بوده‌اند.



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

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 به‌طوری‌که 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 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 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

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. 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,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

"*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. 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7, No.3, Autumn 2019

Research Paper

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

Ali Bahri[1], Younes Khosravi[2]*, Azadeh Tavakoli[3]

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 (R2), 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.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.159]

Correspondence Address. *Environmental Science Research Laboratory, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, 45371-38791, Zanjan, Iran*
Tel: *+989125414730*
Email: *khosravi@znu.ac.ir*