

مدل سازی فضایی شیوع بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی

منصور حلیمی^{۱*}، مهدی دلاوری^۲، محمد جعفری مدرک^۳

- ۱- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی کاشان، گروه انگل‌شناسی پزشکی، کاشان، ایران
- ۳- عضو مرکز تحقیقات بیماری‌های عفونی و گرمسیری، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان و استادیار گروه انگل‌شناسی و قارچ‌شناسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران

دریافت: ۹۱/۱۰/۱۸ پذیرش: ۹۲/۴/۱

چکیده

مالاریا بیماری است که از طریق پشه منتقل می‌شود و سالیانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیون نفر از مردم جهان را در معرض ابتلا قرار می‌دهد و باعث مرگ بیش از ۱ میلیون نفر در جهان می‌شود. توزیع جغرافیایی این بیماری تا حدود زیادی به شرایط اقلیمی وابسته است. استان سیستان و بلوچستان به تنهایی ۶۵ درصد کل مبتلایان کشور را داراست. در این تحقیق، با استفاده از سه عامل اقلیمی میانگین دمای ماهیانه، مقدار بارش دوره فعالیت و شاخص نسبت اختلاط رطوبت، مدل سازی فضایی شاخص شیوع سالیانه مالاریا (API) در استان سیستان و بلوچستان از طریق مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی انجام شده است. به همین منظور، عوامل اقلیم‌شناختی به صورت میانگین بلندمدت ۲۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۰۵ م) برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی واقع در محدوده استان سیستان و بلوچستان محاسبه و به صورت یک لایه اطلاعاتی مکانمند وارد محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی شد. خروجی مدل بیانگر این است که مهم‌ترین عامل در تبیین بروز سالیانه این بیماری در منطقه مورد مطالعه، بارش در دوره فعالیت پشه آنوفل است که نقش این عامل اقلیمی از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه در افزایش شاخص API بارزتر می‌شود. درجه حرارت و رطوبت نسبی به ترتیب دارای اولویت دوم و سوم در بروز سالیانه بیماری است که نقش مکانی آن‌ها در نواحی شمالی استان مانند زابل و زاهدان بارزتر از نواحی جنوبی منطقه مانند شهرستان‌های نیک‌شهر و چابهار است. مدل ارائه شده که فقط مبتنی بر عوامل



طبیعی است و در واقع یک مدل اقلیم‌مبناست، فقط توانست ۴۸ درصد تغییرات مربوط به شاخص API را تبیین کند ($R^2=0.48$). بنابراین، عوامل غیراقلیمی از جمله کیفیت اجرای سالیانه برنامه‌های کنترل مالاریا، شرایط اقتصادی-اجتماعی و موقعیت همسایگی این استان با دو کشور افغانستان و پاکستان نیز باید در بررسی اپیدمیولوژی مالاریا در این استان مورد توجه قرار گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار در شیوع بیماری مالاریا در مناطق مختلف استان مفید واقع شود و با به‌روز کردن اطلاعات آن، به‌عنوان یک سامانه پیش‌هشداردهی اقلیم‌مبنا در برنامه‌های کنترل مالاریا مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مالاریا، API، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، مدل‌سازی مکانی، سیستان و بلوچستان.

۱- مقدمه

مالاریا بیماری‌ای است که از طریق پشه منتقل می‌شود و سالیانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیون نفر از مردم جهان را در معرض ابتلا قرار می‌دهد و باعث مرگ بیش از ۱ میلیون نفر در جهان می‌شود. اغلب این مرگ‌ومیرها در کودکان و زنان باردار مشاهده شده است (WHO, 1998). براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی^۱، بیماری مالاریا مهم‌ترین بیماری انگلی شناخته شده که در سال ۲۰۰۹م به‌عنوان یکی از مشکلات ملی سلامت عمومی در ۱۰۸ کشور جهان مطرح بوده و در سطح بین‌المللی ۱/۷ میلیارد دلار برای مبارزه با این بیماری هزینه شده است (WHO, 2010).

بیش از ۴۰ درصد جمعیت جهان در مناطق اندمیک مالاریا ساکن هستند. در ایران نیز قبل از شروع برنامه‌های کنترلی مالاریا حدود ۶۰ درصد مردم در مناطق اندمیک بیماری زندگی می‌کردند و سالیانه ۴ تا ۵ میلیون نفر به مالاریا مبتلا می‌شدند و ۳۰ تا ۴۰ درصد کل مرگ‌ومیرها در این مناطق بر اثر ابتلا به این بیماری بود (Edrissian, 2006). با شروع برنامه‌های کنترلی مالاریا^۲، تعداد ابتلایان به این بیماری هر سال به‌شکل متغیری کاهش یافت؛ به‌گونه‌ای که تعداد مبتلایان به این بیماری در ایران در سال ۱۳۸۹ به حدود ۳ هزار نفر رسید. اغلب موارد مالاریا در ایران از سه استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان گزارش می‌شود. براساس گزارش وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال ۱۳۸۹، بیش از

1. World Health Organization (WHO)
2. anti-malaria campaign

۶۵ درصد تعداد مبتلایان به مالاریا در استان سیستان و بلوچستان به ثبت رسیده است. در کنار شرایط زیست‌محیطی و اقلیم‌شناختی منطقه، عوامل مربوط به شرایط اقتصادی-اجتماعی، فرهنگی و همچنین موقعیت مرزی این استان با دو کشور پاکستان و افغانستان و مسائل مربوط به مهاجرت ساکنان این کشورها در بالا بودن تعداد مبتلایان این استان نسبت به کل کشور نقش مهمی دارند. مالاریای انسانی به وسیله یکی از چهار گونه انگل پلاسمودیوم به وجود می‌آید که عبارت‌اند از: *P. Falciparum*، *P. Vivax*، *P. Malariae* و *P. Ovale*. پشه آنوفل ناقل انگل پلاسمودیوم است که بیش از ۳۰ گونه مختلف از آن که توانایی انتقال بیماری را دارند، شناخته شده است. در ایران از ۲۵ گونه یافت‌شده پشه آنوفل، ۸ گونه به نام‌های: *A. maculipennis*، *A. Stephensi*، *A. Culicifacies*، *A. Fluviatilis*، *A. Superpictus*، *A. Sacarovi*، *A. Dthali* و *A. Pulcherimus* بیماری را انتقال می‌دهند (Edrissian, 2006).

شرایط محیطی و اقلیم‌شناختی نقش مهمی را در طول دوره فعالیت و تکثیر پشه آنوفل ایفا می‌کنند. درجه حرارت، بارش، رطوبت نسبی، شدت و جهت باد از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در شیوع بیماری مالاریا به‌شمار می‌آید. انگل پلاسمودیوم و نیز پشه آنوفل برای رشد، تکثیر و تکمیل فازهای تکاملی خود به شرایط اقلیمی خاصی نیاز دارند که این شرایط در میزان بروز و شیوع بیماری مؤثرند. درجه حرارت و رطوبت دو عامل اقلیمی هستند که در رشد و تکثیر پشه آنوفل و نیز در فعالیت انگل پلاسمودیوم تأثیرگذارند. با شناسایی و چارچوب‌بندی عوامل اقلیم‌شناختی مؤثر در شیوع این بیماری و همچنین آگاهی از نقش مکانی آن‌ها، می‌توان سیستم‌های پیش‌هشداردهی اقلیم‌مبنایی طراحی کرد که براساس تغییرات زمانی و مکانی عوامل اقلیمی، دوره‌های شیوع و گسترش بیماری را پیش‌بینی کند. این امر در سطح بین‌المللی با توجه به تأثیرپذیری مسلم این بیماری از عوامل اقلیمی مورد توجه سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با سلامت عمومی قرار گرفته است. سازمان بهداشت جهانی در مناطق اندمیک مالاریا برای پیش‌هشداردهی فصلی و دوره‌ای شیوع بیماری براساس وابستگی‌ها و روابط زمانی-مکانی بین متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های اپیدمیولوژیکی، اقدام به طراحی و به‌کارگیری مدل‌ها و چارچوب‌هایی برای پیش‌بینی دوره‌های زمانی و مکانی شیوع بیماری کرده است. این مدل‌های اقلیم‌مبنا امکان پیش‌بینی دوره‌های زمانی را که خطر شیوع بیماری



بالاتر است، فراهم می‌کند و براساس آن‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در امکانات و زمان، امکان اجرای دقیق‌تر و بهنگام‌تر برنامه‌های کنترل مالاریا فراهم می‌شود (Gemperli, 2003).

از پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به تحقیق پیپترو و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که به تحلیل همبستگی بین تعداد مبتلایان به مالاریا و عوامل اقلیم‌شناختی (بارش و دما و شاخص اصلاح‌شده پوشش گیاهی)^۱ در اریتره اقدام کردند. آن‌ها با مقایسه تطبیقی آنومالی‌های این دو شاخص اقلیمی با تعداد مبتلایان ثبت‌شده در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۳، یک سامانه پیش‌هشداردهی اقلیم‌مبنا برای بروز ماهیانه مالاریا طراحی کردند. هسین و هانگ^۲ (2011) ارتباط مکانی بین تعداد مبتلایان به تب استخوان‌شکن^۳ و تراکم جمعیت انسانی و تراکم تعداد پشه‌های نابالغ ناقل بیماری در دو شهر فنگشان و کاسیگ^۴ و تایوان را بررسی کردند. آن‌ها با به‌کارگیری مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) به بررسی ناهمگونی‌های موجود در ارتباط فضایی بین تعداد مبتلایان و تراکم جمعیت و نیز تراکم پشه‌های ناقل پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها گویای این بود که در کل منطقه مورد مطالعه نمی‌توان رابطه‌ای کلی بین تعداد مبتلایان و تراکم جمعیت و تعداد پشه‌های ناقل پیدا کرد. آن‌ها کارایی مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را در آشکارسازی ناهمگونی‌های فضایی روابط بین متغیرهای مربوط به این بیماری نشان دادند.

مشقاتی آملی (2011) با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتب فازی به تحلیل و ارائه نقشه‌های خطر بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان پرداخت. او با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتب فازی، منطقه مورد مطالعه را از لحاظ خطر شیوع بیماری لیشمانیوز به پنج بخش تقسیم کرد. همچنین، او با استفاده از چهار متغیر طبیعی و انسانی (جمعیت، پوشش گیاهی، شهرنشینی و گونه‌های مختلف خاک در منطقه مورد مطالعه) اقدام به مدل‌سازی خطر شیوع بیماری کرد و نشان داد این عوامل طبیعی و انسانی ۰/۹۶۸ درصد کل تغییرات بیماری را تبیین می‌کنند. همچنین، او با به‌کارگیری مدل

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
2. Chia-Hsien and Tzai-Hung
3. Dengue
4. Fengshan & Kaohsiung

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نشان داد از بین عوامل طبیعی و انسانی نام‌برده، پراکنش پهنه‌های خاکی در منطقه مورد مطالعه مؤثرترین عامل کنترل‌کننده تغییرات فضایی و توزیع جغرافیایی بیماری لیشمانیوز است. صالحی و همکاران (2008) با ارائه مدل رگرسیون خطی، ارتباط بین متغیرهای محیطی و شاخص نسبت استاندارد ابتلا به مالاریا (SIR) را در استان سیستان و بلوچستان بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند رطوبت، دما و ارتفاع دارای همبستگی مثبت با شاخص SIR بوده؛ درحالی که بارش دارای همبستگی منفی است. ایشان از مدل درون‌یاب کریجینگ معمولی برای برآورد شاخص SIR در نقاط فاقد داده استفاده کردند و از مدل واریوگرام برای بررسی ساختار فضایی شاخص SIR در منطقه مورد مطالعه بهره بردند. مدل ایشان نشان داد نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با نواحی شمالی خطر بیشتری دارد.

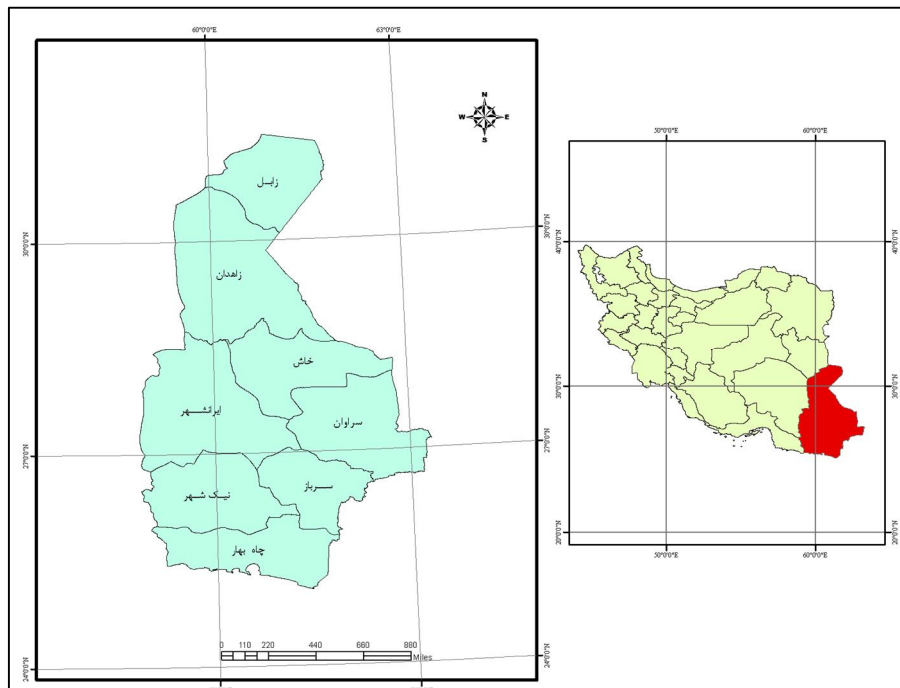
در تحقیق حاضر با به‌کارگیری مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۱ نقش هرکدام از عوامل اقلیمی به‌عنوان متغیر مستقل در شیوع بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان شناسایی شد و در کنار آن نقش مکانی هر یک از این عوامل اقلیمی در توزیع جغرافیایی خطر بیماری مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با مساحتی برابر ۱۸۱۴۷۰/۹ کیلومتر مربع، پهناورترین استان ایران است که ۱۱/۵ درصد مساحت کشور را داراست. موقعیت ریاضی استان ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی است (ر.ک: شکل ۱). استان سیستان و بلوچستان دارای ۱۲۶۵ کیلومتر مرز مشترک با دو کشور پاکستان و افغانستان است و به دو بخش اصلی سیستان در شمال در همسایگی با افغانستان و بلوچستان در جنوب در همسایگی با پاکستان تقسیم می‌شود.

1. Geographical Weighted Regression (GWR)



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه

این استان بنا به دلایلی از جمله شرایط اقتصادی و اجتماعی و به ویژه موقعیت مرزی و همسایگی با دو کشور افغانستان و پاکستان و مهاجران افغانی و پاکستانی که آلوده به انگل پلاسمودیوم هستند، مشکلات مربوط به دوری از مرکز و آثار منفی آن در کمیت و کیفیت اجرای برنامه های کنترل مالاریا، به همراه عوامل مربوط به درجه توسعه یافتگی استان و سطح بهداشت و مسائل مرتبط با سلامت عمومی جامعه، هر سال بخش زیادی از مبتلایان به مالاریا را در خود جای می دهد.

۲-۲- داده های مورد استفاده

در این تحقیق از داده های میانگین بیست ساله (۱۹۸۵-۲۰۰۵م) دما، بارش دوره فعالیت پشه آنوفل و رطوبت نسبی ۱۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی واقع در محدوده استان استفاده شد (ر.ک: جدول ۱). در مرحله بعد، داده های تحقیق از لحاظ دارا بودن شرایط لازم جهت

به‌کارگیری در مدل‌سازی بررسی شدند. این شرایط عبارت‌اند از: نرمال بودن توزیع متغیرهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه و وجود نداشتن رابطه هم‌خطی^۱ بین متغیرهای مستقل. برای آزمون نرمال بودن توزیع مشاهدات اقلیمی از آزمون پارامتریک (Jarque-Bera (JB) استفاده شد. این آزمون مبتنی بر مقایسه چولگی و تیزی توزیع مورد نظر با یک توزیع نرمال است. برای آگاهی از وجود یا نبود رابطه هم‌خطی بین متغیرهای مستقل (دما، بارش و رطوبت نسبی) شاخص فاکتور تورم واریانس^۲ به کار رفت و مشاهده شد که رطوبت نسبی به‌عنوان یکی از متغیرهای اقلیمی دخیل در مدل‌سازی، دارای مقادیر بالای تورم واریانس است (VIF=5) و به عبارت دیگر، دارای رابطه هم‌خطی بالایی با سایر متغیرها به‌ویژه دماست و در مدل قابل استفاده نیست. بنابراین، به‌جای آن از شاخص نسبت اختلاط رطوبت که گویای مقدار رطوبت برحسب گرم به‌ازای یک کیلوگرم هوای خشک است، استفاده شد.

جدول ۱ میانگین بیست‌ساله (۱۹۸۵-۲۰۰۵) عناصر اقلیمی تأثیرگذار در بروز بیماری مالاریا

شهرستان	بارش (میلی‌متر)	نسبت اختلاط رطوبت (گرم)	میانگین دما (سلسیوس)
فnoj	۱۲۰	۸/۲	۲۶
سرباز	۱۳۴	۱۰	۲۶/۱
چابهار	۱۱۱	۱۸/۳	۲۷/۶
کنارک	۹۷	۱۶/۶	۲۸/۳
نیک‌شهر	۱۱۴	۸	۲۶/۷
سراوان	۱۰۷/۳	۵/۳	۲۴/۵
دلگان	۱۰۵/۵	۵/۱	۲۲/۵
زابلی	۶۱	۶/۸	۲۵
سوران	۹۱	۴/۹	۲۰/۸
ایرانشهر	۵۴	۵/۸	۲۵/۵

1. colinearity
2. Variance Inflation Factor (VIF)

منصور حلیمی و همکاران _____ مدل‌سازی فضایی شیوع بیماری مالاریا در...

در این تحقیق، برای مدل‌سازی فضایی خطر شیوع بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان اقدام به مدل‌سازی فضایی شاخص شیوع سالیانه بیماری (API) شد که می‌توان این شاخص را نوعی نسبت شیوع بیماری در هر هزار نفر دانست. شاخص شیوع سالیانه بیماری به‌عنوان متغیر وابسته مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۱

$$API = \frac{CC_y}{P_y} \times 1000$$

در رابطه بالا CC_y عبارت است از تعداد مبتلایان تأییدشده در منطقه مورد مطالعه در سال و P_y هم جمعیت منطقه مورد بررسی در همان سال است که مقادیر بروز برای شهرستان‌های مورد بررسی در سال ۱۳۸۹ در جدول شماره دو آمده است.

جدول ۲ مقادیر شاخص API گزارش‌شده برای سال ۱۳۸۹

شهرستان	API
فنوج	۱۵
سرباز	۱۰
چابهار	۶
کنارک	۴
نیک‌شهر	۴
سراوان	۲
دلگان	۲
زابلی	۱
سوران	۱
ایرانشهر	۱

1. Annual Parasite Incidence (API) = (Confirmed Cases During 1 Year (CCy)/ Population Under Surveillance (Py)) × 1000

۲-۳- رگرسیون وزن دار جغرافیایی

در مطالعاتی که داری بعد مکانی اند و به عبارت دیگر، متغیرهای مکانی در آن‌ها دخیل است، سنجش ارتباط بین متغیرها با یک مدل برآوردگر خطی - که دارای ضرایب ثابتی است - خطای برآورد را افزایش می‌دهد. بنابراین، در این نوع مطالعات نیاز به مدل برآوردگری احساس می‌شود که ضرایب آن ثابت نبوده و همراه با متغیرهای مکانی سیال باشد. در رگرسیون وزن دار جغرافیایی که در دهه اخیر فوترینگام^۱ و همکاران ارائه کردند، هر داده مشاهداتی به نسبت فاصله اش از موقعیت مورد برآورد وزن دهی می‌شود؛ به این معنا که مشاهدات نزدیک به نقطه برآوردی وزن و تأثیر بیشتری در برآورد دارند و مشاهدات دورتر دارای تأثیر کمتری هستند و از این نظر، دقت جغرافیایی کار بالا می‌رود. این مدل رگرسیونی مانند مدل رگرسیون کمترین مربعات معمولی^۲ دارای یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل است که مقادیر آن‌ها در نقاط با موقعیت مشخص ثبت شده است. رابطه^۲ رگرسیون موزون جغرافیایی را نشان می‌دهد (Fotheringham Et al., 2002).

رابطه^۲

$$y_i(\mathbf{u}) = \beta_{0i}(\mathbf{u}) + \beta_{1i}(\mathbf{u})x_{1i} + \beta_{2i}(\mathbf{u})x_{2i} + \dots + \beta_{mi}(\mathbf{u})x_{mi}$$

در رابطه^{دو}، y مقدار متغیر وابسته در نقطه^(u)، x مقادیر مربوط به متغیر مستقل در همان نقطه^(u)، β نیز برآوردگرهای مدل هستند که در مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی این ضرایب مشابهت زیادی با مدل رگرسیون وزن دار^۳ دارند؛ با این تفاوت که در رگرسیون وزن دار جغرافیایی وزن مربوط به ضرایب هر نقطه کاملاً وابسته به موقعیت فضایی آن نقطه و همچنین موقعیت آن نقطه نسبت به سایر نقاط در منطقه مورد مطالعه است. به عبارت دیگر، موقعیت هر نقطه در منطقه مورد مطالعه مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده وزن برآوردگراست که از طریق حل ماتریس زیر به دست می‌آیند:

-
1. Stewart Fotheringham
 2. Ordinary Least Squares (OLS)
 3. Weighted Least Squares (WLS)



$$\hat{\beta}(\mathbf{u}) = (X^T W(\mathbf{u}) X)^{-1} X^T W(\mathbf{u}) y$$

در رابطه ۳، $W(u)$ ماتریس مربعی وزن‌هاست که مقدار وزن تخصیص یافته به آن به موقعیت نقطه (u) در منطقه مورد مطالعه وابسته است؛ $X^T W(u) X$ ماتریس کواریانس وزن‌دار مکانی است؛ λ مقادیر مربوط به متغیر وابسته در همان نقطه (u) است؛ $W(u)$ ماتریسی است که قطر اصلی آن وزن‌های جغرافیایی نقاط مورد بررسی است. وزن‌های اختصاص داده شده به هر نقطه از تابع وزن‌دهی - که به کرنل^۱ معروف است - استخراج می‌شود.

۲-۴- تأثیرپذیری بیماری مالاریا از شرایط اقلیمی

اگر شرایط طبیعی و اقلیمی منطقه برای زیست پشه آنوفل مساعد نباشد، انتقال محلی این بیماری در آن منطقه امکان‌پذیر نخواهد بود. از آنجا که این بیماری از طریق پشه انتقال می‌یابد، شرایط اقلیمی می‌تواند بر اکولوژی زیستی پشه آنوفل و نیز بر طول دوره‌های تکاملی انگل پلاسمودیوم تأثیرگذار باشد. با توجه به این سطح تأثیرپذیری بیماری از شرایط آب‌وهوایی و همچنین اهمیت بیماری مالاریا در سطح جهان، مطالعات و تحقیقات زیادی درباره تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر توزیع جغرافیایی این بیماری انجام شده است که به نظر می‌رسد همه این تلاش‌ها در جهت ایجاد یا طراحی سامانه پیش‌هشداردهی بیماری مالاریا^۲ بر مبنای شرایط اقلیمی هر منطقه بوده است. شرایط محیطی و اقلیم‌شناختی نقش مهمی در طول دوره فعالیت و تکثیر پشه آنوفل ایفا می‌کنند. درجه حرارت، بارش، رطوبت نسبی و شدت و جهت باد محلی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در شیوع بیماری مالاریا هستند.

انگل پلاسمودیوم و نیز پشه آنوفل برای رشد، تکثیر و تکمیل فازهای تکاملی خود به شرایط اقلیمی خاصی نیاز دارند. این شرایط در میزان بروز و شیوع بیماری مؤثرند تا جایی که برخی محققان مانند اسمیت^۳ و همکاران (2007) ادعا کرده‌اند ۷۰ تا ۹۰ درصد خطر شیوع

1. Kernel Type
2. Malaria Early Warning System (MEWS)
3. Smith

مالاریا را می‌توان از طریق عوامل محیطی و اقلیم‌شناختی تبیین کرد. دما بر اکثر مراحل چرخه زیستی انگل پلاسمودیوم تأثیرگذار است. طول فاز خارجی این انگل وابسته به درجه حرارت محیط و گونه آنوفلی است که آن را منتقل می‌کند (Craig Et al., 1999). با کاهش دمای محیط از آستانه بهینه برای فعالیت انگل، تعداد روزهای لازم برای تکمیل سیکل خارجی انگل افزایش می‌یابد. با افزایش دما تعداد دفعات خونخواری پشه آنوفل زیاد می‌شود و به دنبال آن فاصله زمانی تعداد دفعات تخم‌گذاری پشه کاهش می‌یابد. بنابراین، با افزایش دما تعداد تخم‌های پشه آنوفل افزایش می‌یابد (Pampana, 1969). دما بر طول دوره زمانی تبدیل فازهای تکاملی تخم آنوفل از سفیره تا آنوفل بالغ نیز تأثیرگذار بوده که معمولاً این فرایند در مناطق گرمسیر ۱۰ تا ۱۴ روز و در مناطق معتدل حدود ۲۱ روز به طول می‌انجامد. نواحی مرطوب شرایط مناسبی برای تخم‌گذاری آنوفل فراهم می‌کند. بنابراین، بارش‌های جوی با فراهم آوردن رطوبت خاک و نیز پهنه‌های آبی موقت در مقیاس کوچک در فراهم کردن شرایط مطلوب جهت تکثیر و رشد پشه آنوفل نقش مهمی دارند (Oaks, 1991).

راسل^۱ و همکارانش (1963) و مک‌میشل^۲ و همکارانش (1996) در مطالعات مجزا نشان دادند آستانه دمای بهینه برای رشد و فعالیت پشه آنوفل ۲۵ تا ۲۷ درجه سلسیوس و برای انگل پلاسمودیوم ۲۱ تا ۲۷ درجه است. در دماهای بالای ۴۰ درجه سلسیوس فعالیت پشه و انگل کاهش می‌یابد که شاید یکی از دلایلی، کاهش رطوبت نسبی هوا باشد (Martens, 1995). علاوه بر حجم کلی بارش، نوع بارش و توزیع زمانی آن نیز در تقویت فعالیت پشه نقش مهمی دارد. بارش‌های شدید و رگباری که موجب شستن شدن تخم‌های آنوفل می‌شوند، نتیجه معکوسی را دربردارند (Oaks, 1991). همچنین، بارش با افزایش رطوبت نسبی هوا و تعدیل درجه حرارت، نقش مثبتی در فعالیت پشه آنوفل ایفا می‌کند. سطوح ایستایی آب‌های زیرزمینی نیز با فراهم آوردن رطوبت خاک در فرایند تخم‌گذاری پشه آنوفل نقش دارند. تحقیقات پامپانا^۳ (1969) و راسل (1963) نشان داد اگر میانگین رطوبت نسبی ماهیانه کمتر از ۶۰ درصد باشد، طول دوره حیات پشه کوتاه می‌شود و پشه قادر به انتقال انگل پلاسمودیوم نخواهد بود. حال با توجه به تأثیر مهم شرایط آب‌وهوایی بر اکولوژی بیماری مالاریا، طراحی

1. Russell
2. McMichael
3. Pampana

منصور حلیمی و همکاران _____ مدل‌سازی فضایی شیوع بیماری مالاریا در...

و توسعه یک مدل اقلیم‌مبنا برای تحلیل اپیدمیولوژی این بیماری محیطی به‌طور یقین، به برنامه‌های کنترل مالاریا در ایران نیز کمک شایان توجهی خواهد کرد.

۳- یافته‌ها

نتایج آزمون نرمال بودن متغیرهای مورد استفاده و همچنین آزمون هم‌خطی بودن متغیرهای مستقل در جدول‌های شماره سه و چهار آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، متغیرهای مورد استفاده نرمال است و از این لحاظ، قابلیت به‌کارگیری در مدل را خواهند داشت.

جدول ۳ نتایج آزمون پارامتریک (Jarque-Bera (JB)

نسبت اختلاط	دما	بارش	آماره
۱/۷۱۷	۰/۶۸۳	۰/۲۷۲	JB (مقدار محاسباتی)
۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	JB (مقدار بحرانی)
۰/۴۲۴	۰/۷۲۷	۰/۸۷۳	p-value
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	alpha

شاخص VIF که برای آگاهی از هم‌خطی بودن متغیرهای مستقل به‌کار گرفته شد، در جدول شماره چهار آمده است. مقادیر این شاخص برای متغیرهای مورد استفاده به‌قدری نیست که نتوان آن‌ها را در مدل‌سازی دخالت داد.

جدول ۴ نتایج ارزیابی هم‌خطی بودن متغیرهای مستقل مدل

دما	نسبت اختلاط	بارش	Statistic
۱/۴	۱/۷۷	۱/۰۸۵	VIF
۰/۶۹۴	۰/۶۱۶	۰/۷۴۰	Tolerance

پس از آماده‌سازی مشاهدات متغیرهای مورد نظر برای به‌کارگیری در مدل‌سازی، آزمون همبستگی فضایی شاخص بروز سالیانه بیماری با عوامل اقلیمی انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره پنج آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این شاخص دارای بالاترین همبستگی فضایی با بارش است و درجه حرارت و نسبت اختلاط به ترتیب در رده دوم و سوم قرار دارند.

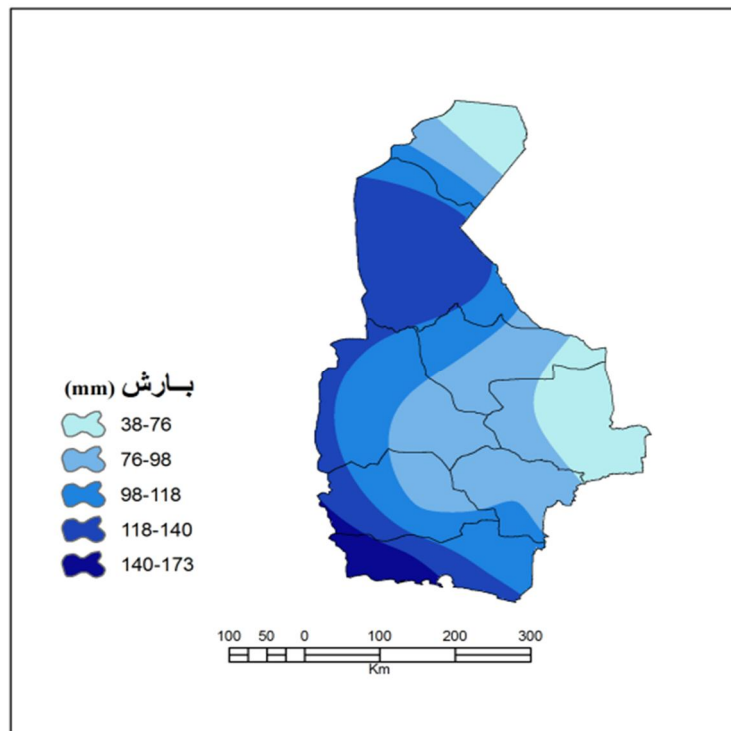
جدول ۵ همبستگی فضایی عناصر اقلیمی و شاخص بروز سالیانه مالاریا

درجه حرارت	نسبت اختلاط رطوبت	بارش	
۰/۳۰	۰/۲۲۰	۰/۴۱	API

در مرحله بعد، مدل مکانی توسعه داده شد که از طریق آن نه تنها آگاهی از درجه تأثیر هرکدام از عوامل اقلیمی به‌عنوان متغیر مستقل در تبیین شاخص (API) امکان‌پذیر است؛ بلکه امکان آگاهی از تغییرات مکانی نقش هرکدام از متغیرهای اقلیمی نیز فراهم می‌شود؛ به عبارت دیگر از طریق پهنه‌بندی ضرایب متغیرهای مستقل مدل در منطقه مورد مطالعه می‌توان از نقش مکانی متغیرها نیز آگاهی یافت.

۳-۱- بارش دوره فعالیت

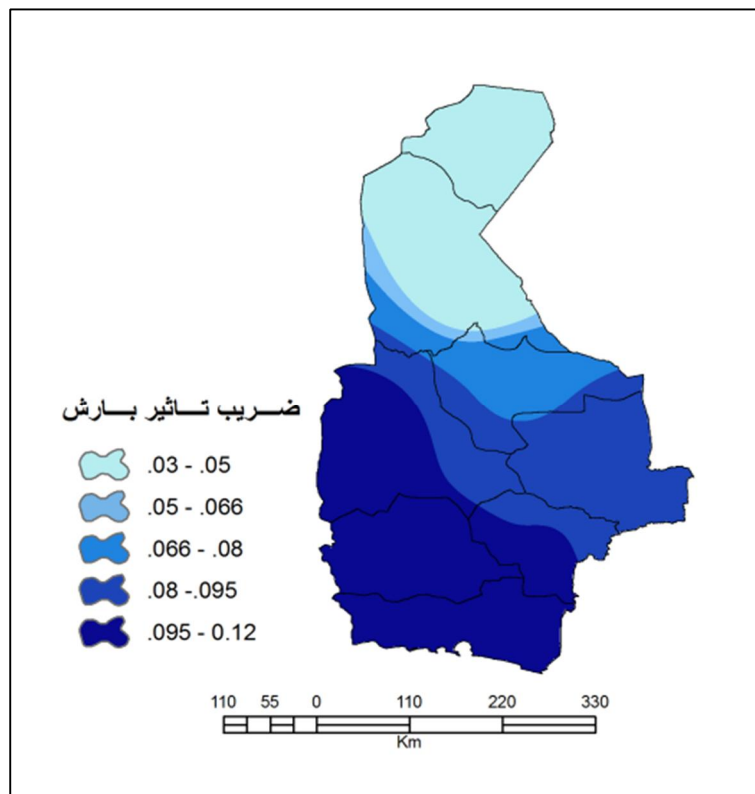
میانگین مجموع بارش دوره فعالیت پشه آنوفل برای کل استان حدود ۰۵ میلی‌متر به‌دست آمد. منظور از بارش دوره فعالیت، مجموع بارشی است که در طول بازه زمانی از سال اتفاق می‌افتد که میانگین دما بالاتر از ۸ درجه سلسیوس (آستانه حداقل دما برای فعالیت پشه آنوفل) است. از آنجا که در منطقه مورد بررسی میانگین دما در هیچ ماهی زیر ۸ درجه نمی‌رود، مجموع بارش دوره فعالیت گونه آنوفل با مجموع بارش سالیانه برابر شد که پراکنش مکانی آن در شکل شماره دو نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نواحی غربی و به‌ویژه جنوبی منطقه مورد بررسی در مقایسه با سایر مناطق دارای بارش بیشتری است.



شکل ۲ توزیع فضایی بارش منطقه مورد مطالعه

ضرایب مدل نشان می‌دهد در بین عوامل اقلیمی یادشده، بارش دوره فعالیت با دامنه ضریب تأثیر ۰/۰۳۵ تا ۰/۱۱ از لحاظ تأثیر در بروز سالیانه بیماری آشکارترین و تأثیرگذارترین عامل کنترل‌کننده شاخص شیوع بیماری است. براساس آزمون همبستگی فضایی نیز، این عامل اقلیمی دارای بالاترین همبستگی فضایی با شاخص API بود. نقش مکانی بارش در بروز سالیانه بیماری از طریق پهنه‌بندی ضریب تأثیر آن به دست آمد. همان‌طور که در شکل شماره سه دیده می‌شود، نقش مکانی این عنصر اقلیمی از جنوب به شمال منطقه کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر نقش بارش در بروز مالاریا در نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه مانند شهرستان‌های چابهار و نیک‌شهر برجسته‌تر از نواحی شمالی یعنی زابل و زاهدان است. دامنه ضریب تأثیر این عامل در نواحی جنوبی بین ۰/۰۹۵ تا ۰/۱۲ است که از جنوب به سمت

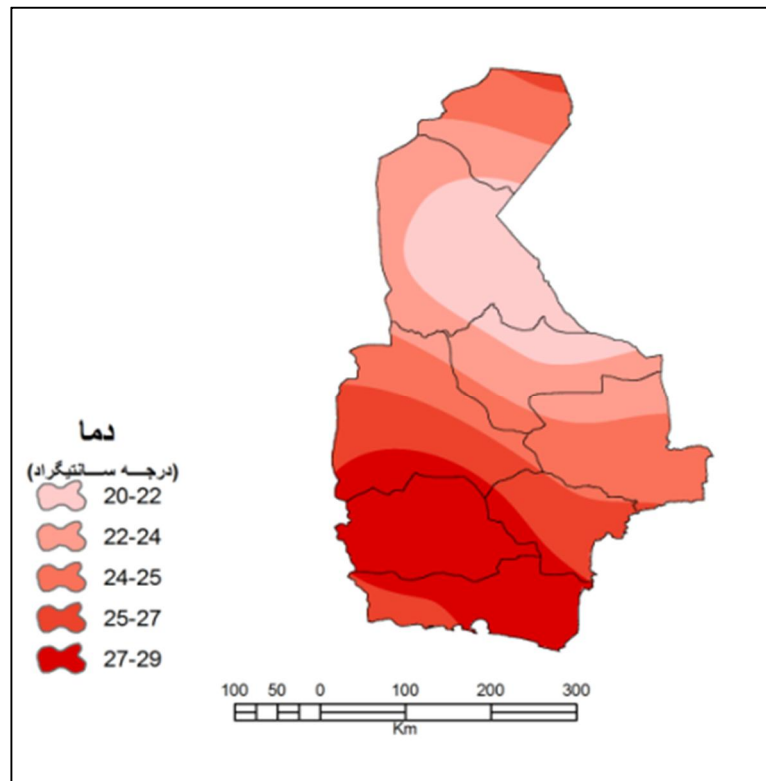
نواحی شمالی استان رو به کاهش است؛ به‌گونه‌ای که در نواحی شمالی مانند شهرستان زهک دارای کمترین ضریب تأثیر (۰/۰۳۵ تا ۰/۰۵) در بروز مالاریاست.



شکل ۳ ضریب تأثیرگذاری بارش (برحسب میلی‌متر) در بروز سالیانه بیماری مالاریا

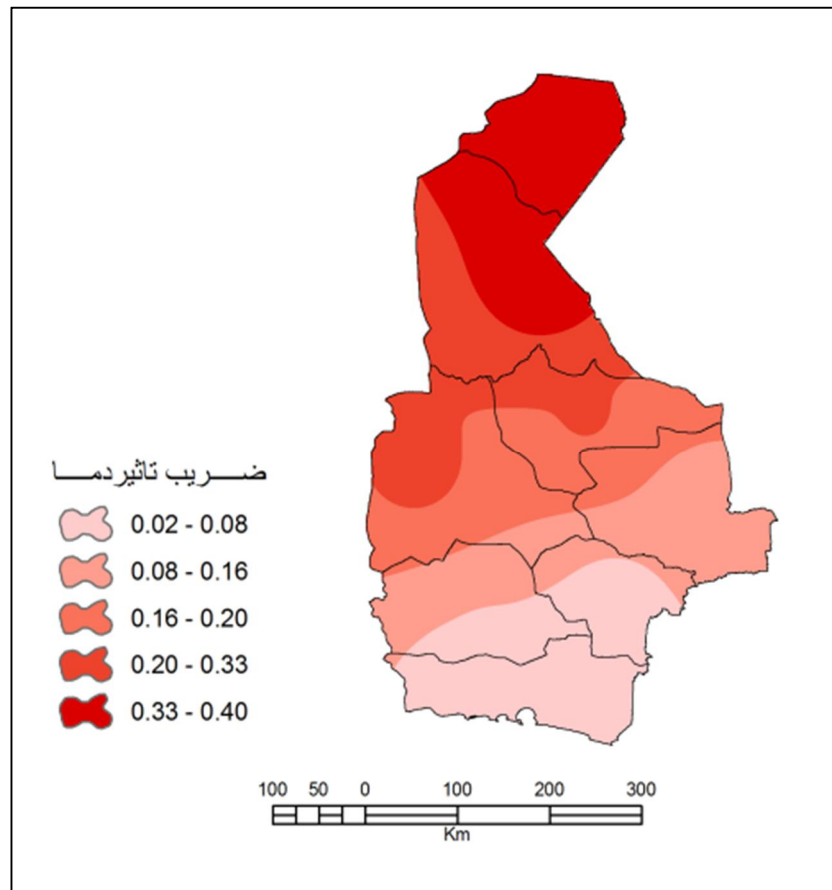
۳-۲-۳ دما

طبق مدل به‌دست‌آمده، دما دومین عنصر اقلیمی تأثیرگذار در شیوع بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان است. همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی دمایی منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) مشاهده می‌شود، دامنه میانگین بیست‌ساله دما بین گرم‌ترین و سردترین بخش‌های منطقه مورد بررسی، ۹ درجه سلسیوس است. نواحی جنوبی استان دارای دمایی حدود ۲۷ تا ۲۹ درجه سلسیوس است؛ درحالی که به‌طرف شمال‌شرق دما به ۲۰ تا ۲۲ درجه کاهش می‌یابد.



شکل ۴ توزیع فضایی میانگین دمای ماهیانه منطقه مورد مطالعه

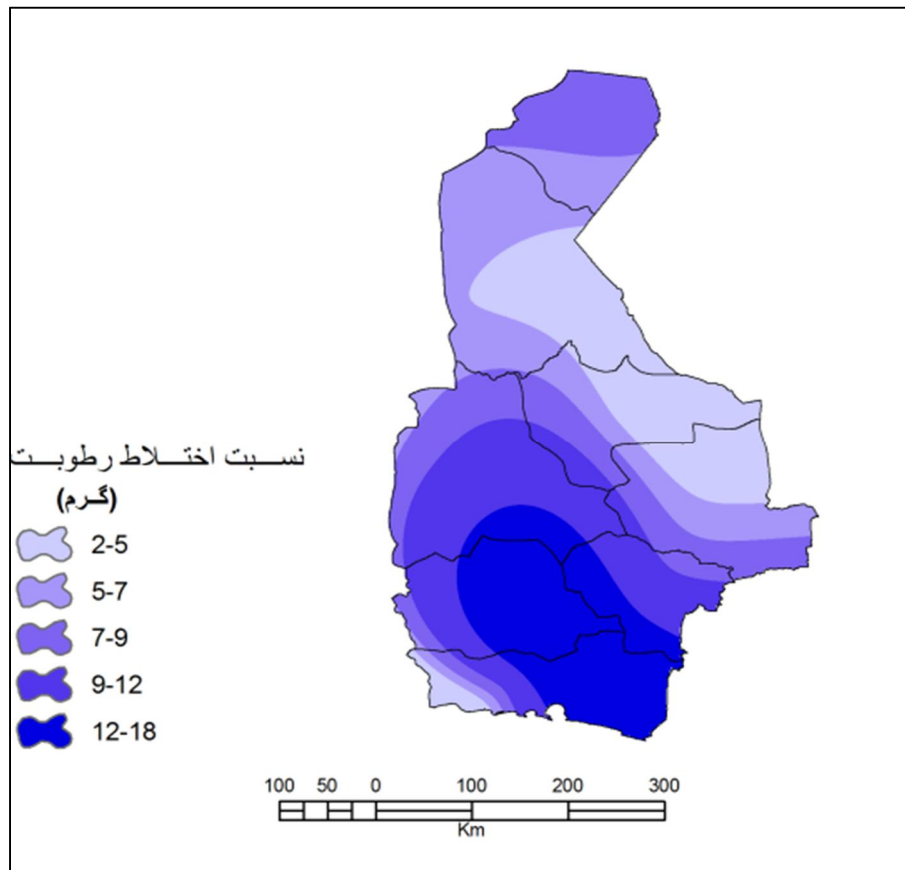
میانگین ماهیانه دما که به صورت میانگین بیست‌ساله مورد استفاده قرار گرفت، با دامنه ضریب تأثیر ۰/۰۲ تا ۰/۴۱ به عنوان دومین عامل در بروز سالیانه بیماری نقش دارد. همان‌طور که در شکل شماره پنج نشان داده شده است، از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه نقش درجه حرارت در شیوع سالیانه بیماری مالاریا با الگوی شمال‌شرق - جنوب‌غرب کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که در نواحی جنوب‌غرب استان یعنی غرب شهرستان‌های نیک‌شهر، ایرانشهر و چابهار دارای کمترین ضریب تأثیر در بروز سالیانه بیماری مالاریا (۰/۰۲ تا ۰/۰۸) است. به عبارت دیگر، تغییرات دمایی در نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه مانند زابل و زاهدان نسبت به نواحی جنوبی استان یعنی شهرستان‌های چابهار، نیک‌شهر و ایرانشهر نقش آشکارتری در بروز بیماری مالاریا ایفا می‌کند.



شکل ۵ ضرب تاثیرگذاری دما (برحسب درجه سلسیوس) در بروز سالیانه بیماری مالاریا

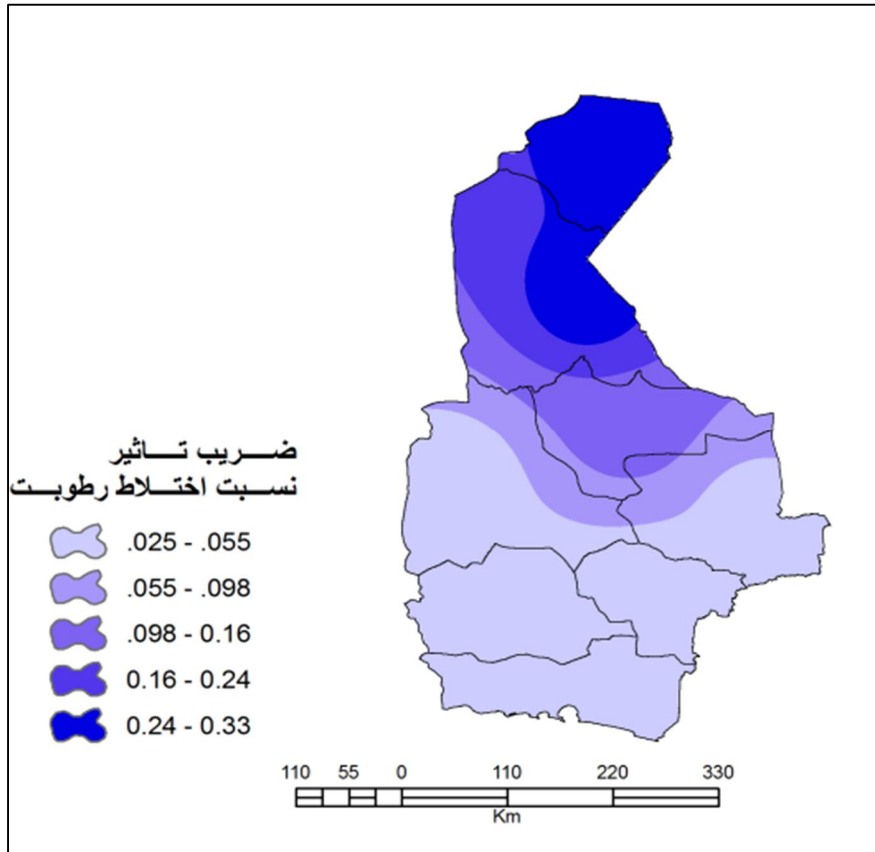
۳-۳- نسبت اختلاط

توزیع فضایی نسبت اختلاط رطوبت در منطقه مورد مطالعه دارای روند به نسبت مشابهی با دماست که در شکل شماره شش ارائه شده است. همان‌طور که در این نقشه دیده می‌شود، نواحی جنوبی منطقه مورد بررسی دارای مقادیر نسبت اختلاط بیشتری در مقایسه با نواحی شمالی است.



شکل ۶ توزیع فضایی نسبت اختلاط رطوبت منطقه مورد مطالعه

دامنه ضریب تأثیر نسبت اختلاط به‌عنوان نمایه رطوبتی در نواحی شمال منطقه بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۰ است که از میزان این ضریب تأثیر به‌سمت نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه کاسته می‌شود و بخش وسیعی از جنوب منطقه دارای کمترین ضریب تأثیر یعنی ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۶ است که روند مشابهی با دمای منطقه دارد.

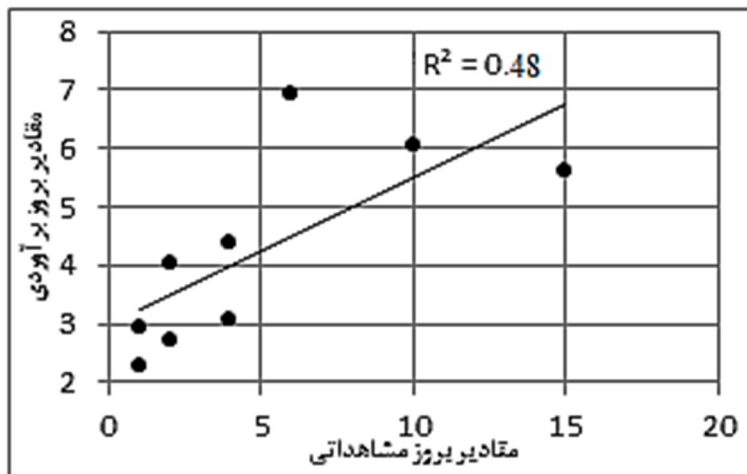


شکل ۷ ضرب تاثیرگذاری نسبت اختلاط رطوبت (برحسب گرم در کیلوگرم) در بروز سالیانه بیماری مالاریا

مدل ارائه شده در این تحقیق مدلی اقلیم‌مبناست و پیش‌بینی شیوع بیماری مالاریا را فقط براساس سه عنصر اقلیمی تبیین می‌کند. همان‌طور که در نمودار شکل شماره هشت مشاهده می‌شود، ضریب تبیین^۱ مدل به کار گرفته شده برابر ۴۸ درصد است ($R^2=0.48$)؛ به این معنا که عوامل طبیعی قادر به تبیین ۴۸ درصد از تغییرات فضایی شاخص API در استان سیستان و بلوچستان است. بنابراین، در بررسی اپیدمیولوژیکی این بیماری نباید از نقش عوامل اقتصادی،

1. coefficient of determination (R2)

اجتماعی، فرهنگی و مسائل مربوط به مهاجران آلوده به انگل مالاریا و سایر عوامل انسانی که گاهی نقش عوامل اقلیمی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند، غافل بود.



شکل ۸ مقادیر برآوردی مدل به‌دست‌آمده

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با ارائه یک مدل مکانی نقش عوامل اقلیم‌شناختی در بروز و شیوع بیماری مالاریا بررسی و مشخص شد که عناصر اقلیمی بارش، دما و نسبت اختلاط به‌عنوان نمایه رطوبتی، به‌ترتیب اهمیت در بروز سالیانه این بیماری نقش دارند. همچنین، نقش مکانی هرکدام از این عوامل اقلیمی شناسایی شد. از نتایج این تحقیق می‌توان برای اولویت‌بندی مکانی عوامل مؤثر در شیوع بیماری مالاریا در برنامه‌های کنترل و پایش مالاریا به‌عنوان یک سیستم پیش‌هشداردهی اقلیم‌مبنا استفاده کرد.

بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان فقط به شرایط اقلیمی وابسته نیست؛ بلکه عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی، کمیت و کیفیت سال‌به‌سال اجرای برنامه‌های کنترل مالاریا، موقعیت مرزی و همسایگی با کشورهای افغانستان و پاکستان و مباحث مربوط به

مهاجران افغانی و پاکستانی نیز در بروز سالیانه این بیماری نقش مهمی دارند که اغلب نقش عوامل اقلیم‌شناختی را در این استان تحت‌الشعاع قرار می‌دهند.

۵- منابع

- Anonymus, Sustainable Development and Healthy Environment, World Health Organization, updated 2010, cited 2010 23/July/2010, 2010 Available from:
http://www.searo.who.int/en/Section23/Section1000_15436.htm.
- Ceccato, P., T. Ghebremeskel, J. Malanding, P. Graves, L. Marc, S. Ghebreselassie Et al., *Malaria Stratification, Climate, and Epidemic Early Warning in Eritrea*, American Society of Tropical Medicine and Hygiene, 2007, Pp. 61- 68.
- Chia-Hsien, L. & W. Tzai-Hung, "Using Geographically Weighted Regression (GWR) to Explore Spatial Varying Relationships of Immature Mosquitoes and Human Densities with the Incidence of Dengue", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, No. 8, Pp. 2798-2815, 2011.
- Craig M.H., R.W. Snow & D. le Sueur, *A Climate-based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa*, Parasitology Today, 1999.
- Edrissian, Gh.H., "Malaria in Iran: Past and Present Situation", *Iranian J Parasitology*, Vol. 1, No. 1, Pp. 1-14, 2006.
- Fotheringham, A., C. Brunson & M. Charlton, *Geographically Weighted Regression: the Analysis of Spatially Varying Relationships*, Chichester: Wiley, 2006.
- Gemperli, A., *Development of Spatial Statistic Methods for Modeling Point-Referenced Spatial Data in Malaria Epidemiology*, Thesis, Basel

(Switzerland): University of Basel: Faculty of Philosophy and Natural Sciences, 2003.

- Kaya, S., T.J. Pultz, CM. Mbogo, J.C. Beier, & E. Mushinzimana, "The Use of Radar Remote Sensing for Identifying Environmental Factors Associated with Malaria Risk in Coastal Kenya", *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Toronto, June 2002, 24-28.
- Masghati Amoli, G., "GIS-Based Risk Map Analysis of Leishmaniasis Disease in Isfahan, Iran", *IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA)*, 2011, Langkawi, Malaysia.
- McMichael, A.J., A. Haines, R. Sloof & S. Kovats, *Climate Change and Human Health*, Geneva: World Health Organization, 1996.
- Oaks, S.C. Jr., V.S. Mitchell, G.W. Pearson & C.C.J. Carpenter, *Malaria: Obstacles and Opportunities. A Report of the Committee for the Study on Malaria Prevention and Control: Status Review and Alternative Strategies*, Division of International Health, Institute of Medicine, Washington, DC: National Academy Press. 1991.
- Pampana, E., *A Textbook of Malaria Eradication*, London: Oxford University Press, 1969.
- Propastin, P., K. Martin & E. Stefan, "Application of Geographically Weighted Regression to Investigate the Impact of Scale on Prediction Uncertainty by Modelling Relationship between Vegetation and Climate", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol. 3, Pp. 73-94, 2008.
- Russell, P.F., L.S. West, R.D. Manwell & G. MacDonald, *Practical Malariology*, London: Oxford University Press, 1963.
- Salehi, M., M. Farahani, H. Zeraati, K. Nourijelyani, F. Zayeri, "Spatial Modeling of Malaria Incidence Rates in Sistan and Baluchestan

Province, Islamic Republic of Iran", *Saudi Medical Journal*, Vol. 29, Pp. 1791- 1796, 2008.

- Saxena, R., B.N. Nagpal, A. Srivastava, S.K. Gupta & A.P. Dash, "Application of Spatial Technology in Malaria Research & Control", *Somenew Insights, Indian J. Med Res*, No. 130, Pp. 125- 132, 2009.
- Smith, K.R., C.F. Corvalán & T. Kjellström, "How Much Global Ill Health Is Attributable to Environmental Factors?", *Epidemiology*, No. 10, Pp. 573- 84, 1999.
- World Health Organization (WHO), Expert Committee on Malaria, Twentieth Report, Geneva, WHO, 1998.