

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 اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی کاشان، گروه انگل شناسی پزشکی، کاشان، ایران
- ۳- عضو مرکز تحقیقات بیماری های عفونی و گرمسیری، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان و استادیار گروه انگل شناسی و قارچ شناسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران

دریافت: ۹۱/۱۰/۱۸ پذیرش: ۹۲/۴/۱

چکیده

مالاریا بیماری است که از طریق پشه منتقل می شود و سالیانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیون نفر از مردم جهان را در معرض ابتلا قرار می دهد و باعث مرگ بیش از ۱ میلیون نفر در جهان می شود. 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 اقلیمی شناختی 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 مهم ترین 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 می شود. درجه حرارت و رطوبت نسبی به ترتیب دارای اولویت دوم و سوم در بروز سالیانه بیماری است که نقش مکانی آن ها در نواحی شمالی استان مانند زابل و زاهدان بارزتر از نواحی جنوبی منطقه مانند شهرستان های نیک شهر و چابهار است. مدل ارائه شده که فقط مبتنی بر عوامل



طبیعی است و درواقع 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، مدل سازی 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 مبتلایان به این بیماری هر سال به‌شکل متغیری کاهش یافت؛ به‌گونه‌ای که تعداد مبتلایان به این بیماری 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 زیست محیطی و اقلیم شناختی 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 می آید که عبارت اند از: *P. Malariae*, *P. Vivax*, *P. Falciparum* 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 یافت شده پشه آنوفل، ۸ گونه به نام های: *A. maculipennis*, *A. Stephensi*, *A. Culicifacies*, *A. Fluviatilis*, *A. Superpictus*, *A. Sacarovi*, *A. Dthali* و *A. Pulcherimus* بیماری را انتقال می دهند (Edrissian, 2006).

شرایط محیطی و اقلیم شناختی نقش مهمی را در طول دوره فعالیت و تکثیر پشه آنوفل ایفا می کنند. درجه حرارت، بارش، رطوبت نسبی، شدت و جهت باد از مهم ترین عوامل اقلیمی مؤثر در شیوع بیماری مالاریا به شمار می آید. 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 چارچوب بندی عوامل اقلیم شناختی مؤثر در شیوع این بیماری و همچنین آگاهی از نقش مکانی آنها، می توان سیستم های پیش هشداردهی اقلیم مبنایی طراحی کرد که براساس تغییرات زمانی و مکانی عوامل اقلیمی، دوره های شیوع و گسترش بیماری را پیش بینی کند. این امر در سطح بین المللی با توجه به تأثیرپذیری مسلم این بیماری از عوامل اقلیمی مورد توجه سازمان ها و نهادهای مرتبط با سلامت عمومی قرار گرفته است. سازمان بهداشت جهانی در مناطق اندمیک مالاریا برای پیش هشداردهی فصلی و دوره ای شیوع بیماری براساس وابستگی ها و روابط زمانی- مکانی بین متغیرهای اقلیمی و شاخص های اپیدمولوژیکی، اقدام به طراحی و به کارگیری مدل ها و چارچوب هایی برای پیش بینی دوره های زمانی و مکانی شیوع بیماری کرده است. این مدل های اقلیم مبنای امکان پیش بینی دوره های زمانی را که خطر شیوع بیماری



بالتر است، فراهم می کند و براساس آن ها علاوه بر صرفه جویی در امکانات و زمان، امکان اجرای دقیق تر و بهنگام تر برنامه های کنترل مالاریا فراهم می شود (Gemperli, 2003).

از پژوهش های انجام گرفته در این زمینه می توان به تحقیق پیپترو و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که به تحلیل همبستگی بین تعداد مبتلایان به مالاریا و عوامل اقلیم شناختی (بارش و دما و شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی)^۱ در اریتره اقدام کردند. آن ها با مقایسه تطبیقی آنومالی های این دو شاخص اقلیمی با تعداد مبتلایان ثبت شده در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۳، یک سامانه پیش هشداری اقلیم مبنا برای بروز ماهیانه مالاریا طراحی کردند. هسین و هانگ^۲ (2011) ارتباط مکانی بین تعداد مبتلایان به تب استخوان شکن^۳ و تراکم جمعیت انسانی و تراکم تعداد پشه های نابالغ ناقل بیماری در دو شهر فنگشان و کاسیگ^۴ و تایوان را بررسی کردند. آن ها با به کارگیری مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) به بررسی ناهمگونی های موجود در ارتباط فضایی بین تعداد مبتلایان و تراکم جمعیت و نیز تراکم پشه های ناقل پرداختند. نتایج تحقیق آن ها گویای این بود که در کل منطقه مورد مطالعه نمی توان رابطه ای کلی بین تعداد مبتلایان و تراکم جمعیت و تعداد پشه های ناقل پیدا کرد. آن ها کارایی مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی را در آشکارسازی ناهمگونی های فضایی روابط بین متغیرهای مربوط به این بیماری نشان دادند.

مشقاتی آملی (2011) با استفاده از مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتب فازی به تحلیل و ارائه نقشه های خطر بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان پرداخت. او با استفاده از تحلیل سلسله مراتب 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 گونه های مختلف خاک در منطقه مورد مطالعه) اقدام به مدل سازی خطر شیوع بیماری کرد و نشان داد این عوامل طبیعی و انسانی ۹۶۸/۰ درصد کل تغییرات بیماری را تبیین می کنند. همچنین، او با به کارگیری مدل

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2. Chia-Hsien and Tzai-Hung

3. Dengue

4. Fengshan & Kaohsiung

رگرسیون وزن دار جغرافیایی نشان داد از بین عوامل طبیعی و انسانی نام برده، پراکنش پهنه های خاکی در منطقه مورد مطالعه مؤثرترین عامل کنترل کننده 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. آن ها نشان دادند رطوبت، دما و ارتفاع دارای همبستگی مثبت با شاخص SIR بوده؛ در حالی که بارش دارای همبستگی منفی است. ایشان از مدل درون یاب 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.

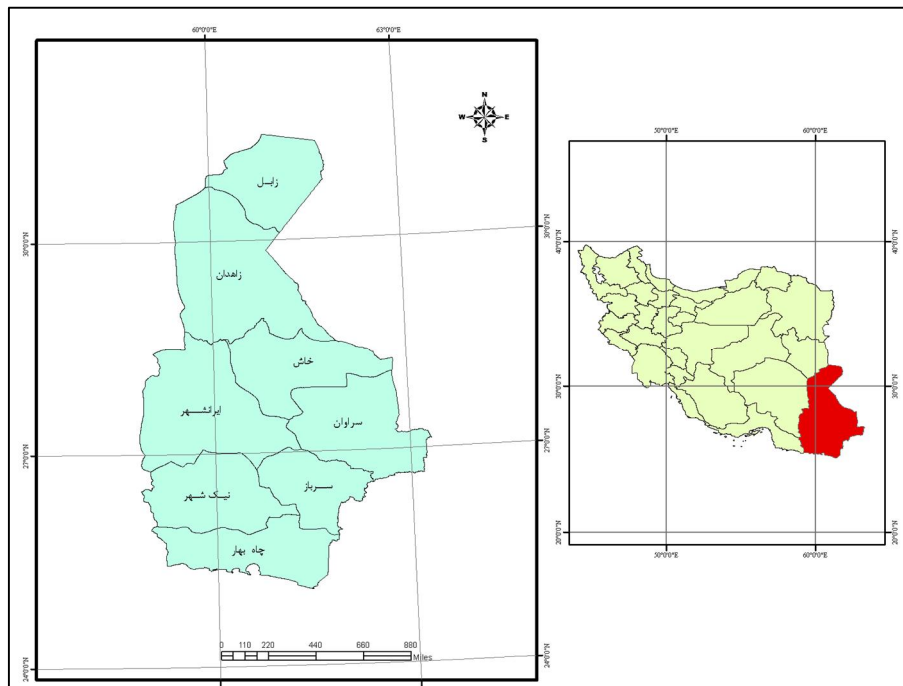
در تحقیق حاضر با به کارگیری مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی^۱، نقش هر کدام از عوامل اقلیمی به عنوان متغیر مستقل در شیوع بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان شناسایی شد و در کنار آن نقش مکانی هریک از این عوامل اقلیمی در توزیع جغرافیایی خطر بیماری مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

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 می شود.

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

به کارگیری در مدل سازی بررسی شدند. این شرایط عبارت اند از: نرمال بودن توزیع متغیرهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه و وجود نداشتن رابطه هم خطی^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 هم خطی بین متغیرهای مستقل (دما، بارش و رطوبت نسبی) شاخص فاکتور تورم واریانس^۲ به کار رفت و مشاهده شد که رطوبت نسبی به عنوان یکی از متغیرهای اقلیمی دخیل در مدل سازی، دارای مقادیر بالای تورم واریانس است ($VIF=5$) و به عبارت دیگر، دارای رابطه هم خطی بالایی با سایر متغیرها به ویژه دماست و در مدل قابل استفاده نیست. بنابراین، به جای آن از شاخص نسبت اختلاط رطوبت که گویای مقدار رطوبت بر حسب گرم به ازای یک کیلوگرم هوای خشک است، استفاده شد.

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

شهرستان	بارش (میلی متر)	نسبت اختلاط رطوبت (گرم)	میانگین دما (سلسیوس)
فنونج	۱۲۰	۸/۲	۲۶
سرباز	۱۳۴	۱۰	۲۶/۱
چابهار	۱۱۱	۱۸/۳	۲۷/۶
کنارک	۹۷	۱۶/۶	۲۸/۳
نیک شهر	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
ایران شهر	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^۱) 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 وزن‌دار جغرافیایی

در مطالعاتی که داری بعد مکانی‌اند 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 وزن‌دار جغرافیایی که در دهه اخیر فوترینگام^۱ و همکاران ارائه کردند، هر داده مشاهداتی به نسبت فاصله‌اش از موقعیت مورد برآورد وزن‌دهی 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^۳ (u) ، x مقادیر مربوط به متغیر مستقل در همان نقطه^۳ (u) ، β نیز برآوردگرهای مدل هستند که در مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی این ضرایب مشابهت زیادی با مدل رگرسیون وزن‌دار^۳ دارند؛ با این تفاوت که در رگرسیون وزن‌دار 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 برآوردگرهاست که از طریق حل ماتریس زیر به دست می‌آیند:

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



رابطه ۳

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

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؛ y 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 دوره فازهای 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 (۲۰۰۷) ادعا کرده‌اند ۷۰ تا ۹۰ درصد خطر شیوع

1. Kernel Type

2. Malaria Early Warning System (MEWS)

3. Smith

مالاریا را می توان از طریق عوامل محیطی و اقلیم شناختی 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 می کند (Craig Et al., 1999). با کاهش دمای محیط از آستانه بهینه برای فعالیت انگل، تعداد روزهای لازم برای تکمیل سیکل خارجی انگل افزایش می یابد. با افزایش دما تعداد دفعات خونخواری پشه آنوفل زیاد می شود و به دنبال آن فاصله زمانی تعداد دفعات تخم گذاری پشه کاهش می یابد. بنابراین، با افزایش دما تعداد تخم های پشه آنوفل افزایش می یابد (Pampana, 1969). دما بر طول دوره زمانی تبدیل فازهای تکاملی تخم آنوفل از شفیره 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 می انجامد. نواحی مرطوب شرایط مناسبی برای تخم گذاری آنوفل فراهم می کند. بنابراین، بارش های جوی با فراهم آوردن رطوبت خاک و نیز پهنه های 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 مک میشل^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 می یابد 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. بارش های شدید و رگباری که موجب شستن شدن تخم های آنوفل می شوند، نتیجه معکوسی را دربردارند (Oaks, 1991). همچنین، بارش با افزایش رطوبت نسبی هوا و تعدیل درجه حرارت، نقش مثبتی در فعالیت پشه آنوفل ایفا می کند. سطوح ایستایی آب های زیرزمینی نیز با فراهم آوردن رطوبت خاک در فرایند تخم گذاری 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 می شود و پشه قادر به انتقال انگل پلاسمودیوم نخواهد بود. حال با توجه به تأثیر مهم شرایط آب و هوایی بر اکولوژی بیماری مالاریا، طراحی

1. Russell
2. McMichael
3. Pampana

 منصور حلیمی و همکاران _____ مدل سازی فضایی شیوع بیماری مالاریا در...

و توسعه یک مدل اقلیم مبنای تحلیل اپیدمیولوژی این بیماری محیطی به طور یقین، به برنامه های کنترل مالاریا در ایران نیز کمک شایان توجهی خواهد کرد.

۳- یافته ها

نتایج آزمون نرمال بودن متغیرهای مورد استفاده و همچنین آزمون هم خطی بودن متغیرهای مستقل در جدول های شماره سه و چهار آمده است. همان طور که مشاهده می شود، متغیرهای مورد استفاده نرمال است و از این لحاظ، قابلیت به کارگیری در مدل را خواهند داشت.

جدول ۳ نتایج آزمون پارامتریک Jarque-Bera (JB)

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

شاخص VIF که برای آگاهی از هم خطی بودن متغیرهای مستقل به کار گرفته شد، در جدول شماره چهار آمده است. مقادیر این شاخص برای متغیرهای مورد استفاده به قدری نیست که نتوان آن ها را در مدل سازی دخالت داد.

جدول ۴ نتایج ارزیابی هم خطی بودن متغیرهای مستقل مدل

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

پس از آماده سازی مشاهدات متغیرهای مورد نظر برای به کارگیری در مدل سازی، آزمون همبستگی فضایی شاخص بروز سالیانه بیماری با عوامل اقلیمی انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره پنج آمده است. همان طور که مشاهده می شود، این شاخص دارای بالاترین همبستگی فضایی با بارش است و درجه حرارت و نسبت اختلاط به ترتیب در رده دوم و سوم قرار دارند.

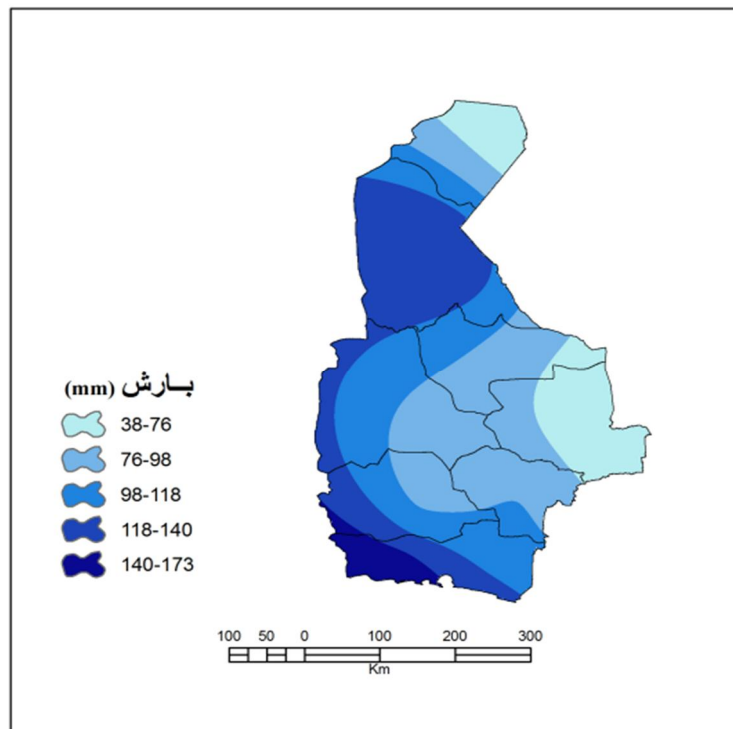
جدول ۵ همبستگی فضایی عناصر اقلیمی و شاخص بروز سالیانه مالاریا

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

در مرحله بعد، مدل مکانی توسعه داده شد که از طریق آن نه تنها آگاهی از درجه تأثیر هرکدام از عوامل اقلیمی به عنوان متغیر مستقل در تبیین شاخص (API) امکان پذیر است؛ بلکه امکان آگاهی از تغییرات مکانی نقش هرکدام از متغیرهای اقلیمی نیز فراهم می شود؛ به عبارت دیگر از طریق پهنه بندی ضرایب متغیرهای مستقل مدل در منطقه مورد مطالعه می توان از نقش مکانی متغیرها نیز آگاهی یافت.

۳-۱- بارش دوره فعالیت

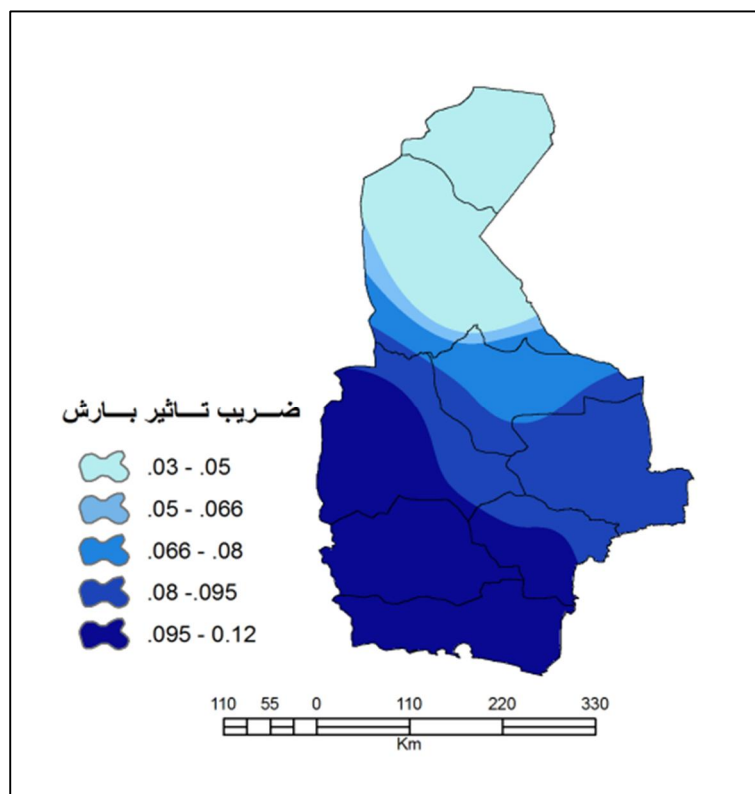
میانگین مجموع بارش دوره فعالیت پشه آنوفل برای کل استان حدود ۱۰۵ میلی متر به دست آمد. منظور از بارش دوره فعالیت، مجموع بارشی است که در طول بازه زمانی از سال اتفاق می افتد که میانگین دما بالاتر از ۸ درجه سلسیوس (آستانه حداقل دما برای فعالیت پشه آنوفل) است. از آنجا که در منطقه مورد بررسی میانگین دما در هیچ ماهی زیر ۸ درجه نمی رود، مجموع بارش دوره فعالیت گونه آنوفل با مجموع بارش سالیانه برابر شد که پراکنش مکانی آن در شکل شماره دو نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، نواحی غربی و به ویژه جنوبی منطقه مورد بررسی در مقایسه با سایر مناطق دارای بارش بیشتری است.



شکل ۲ توزیع فضایی بارش منطقه مورد مطالعه

ضرایب مدل نشان می دهد در بین عوامل اقلیمی یادشده، بارش دوره فعالیت با دامنه ضریب تأثیر ۰/۳۵ تا ۰/۱۱ از لحاظ تأثیر در بروز سالیانه بیماری آشکارترین و تأثیرگذارترین عامل کنترل کننده 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 پهنه بندی ضریب تأثیر آن به دست آمد. همان طور که در شکل شماره سه دیده می شود، نقش مکانی این عنصر اقلیمی از جنوب به شمال منطقه کاهش می یابد؛ به عبارت دیگر نقش بارش در بروز مالاریا در نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه مانند شهرستان های چابهار و نیک شهر برجسته تر از نواحی شمالی یعنی زابل و زاهدان است. دامنه ضریب تأثیر این عامل در نواحی جنوبی بین ۰/۹۵ تا ۰/۱۲ است که از جنوب به سمت

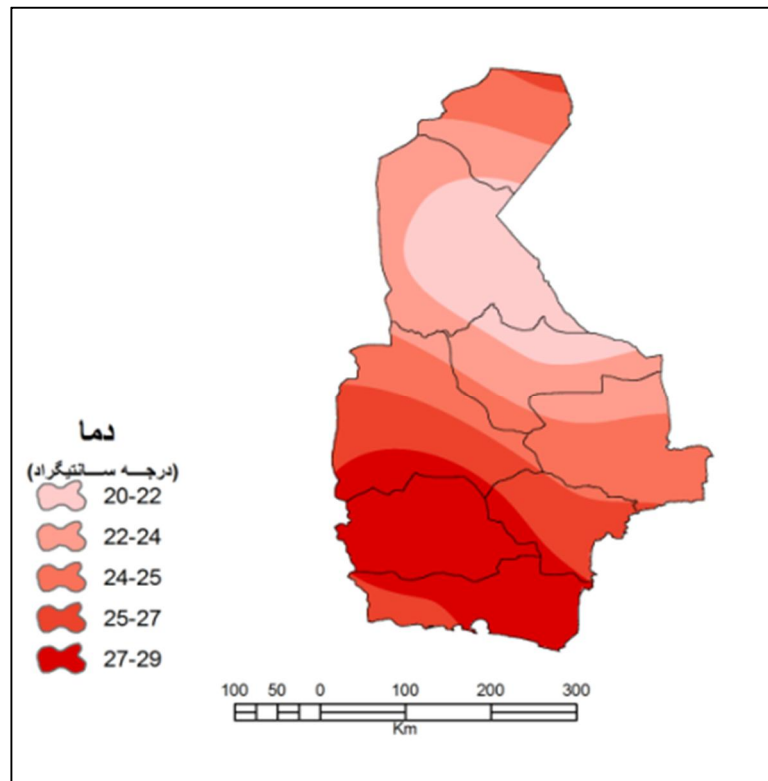
نواحی شمالی استان رو به کاهش است؛ به گونه‌ای که در نواحی شمالی مانند شهرستان زهک دارای کمترین ضریب تأثیر (۰/۰۳۵ تا ۰/۰۵) در بروز مالاریاست.



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

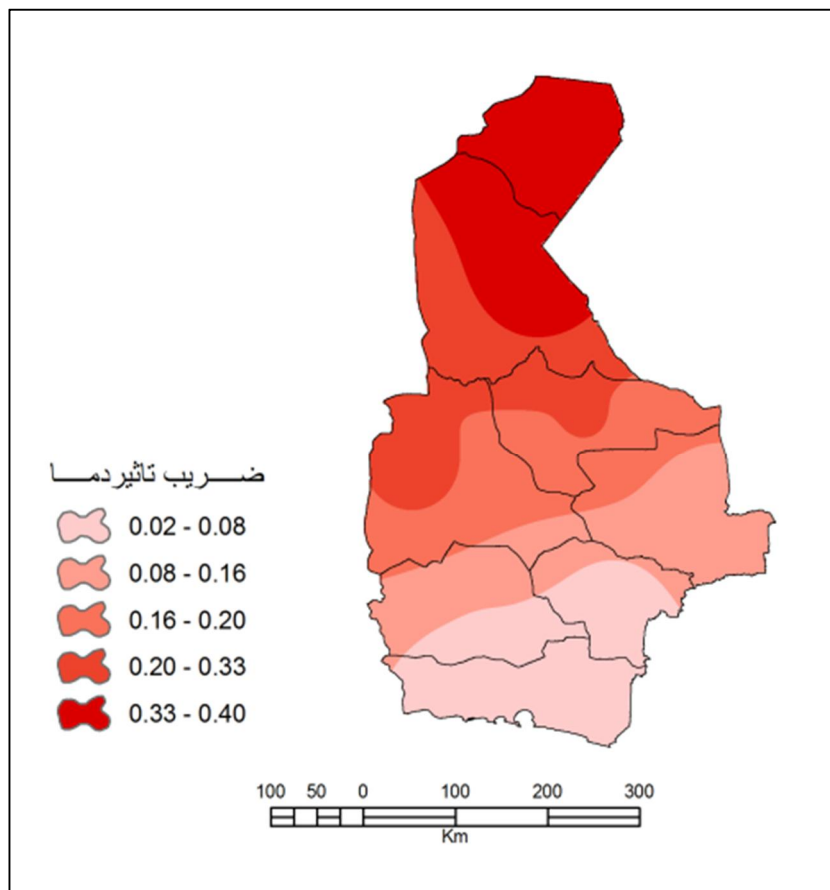
۳-۲- دما

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 ماهیانۀ منطقه مورد مطالعه

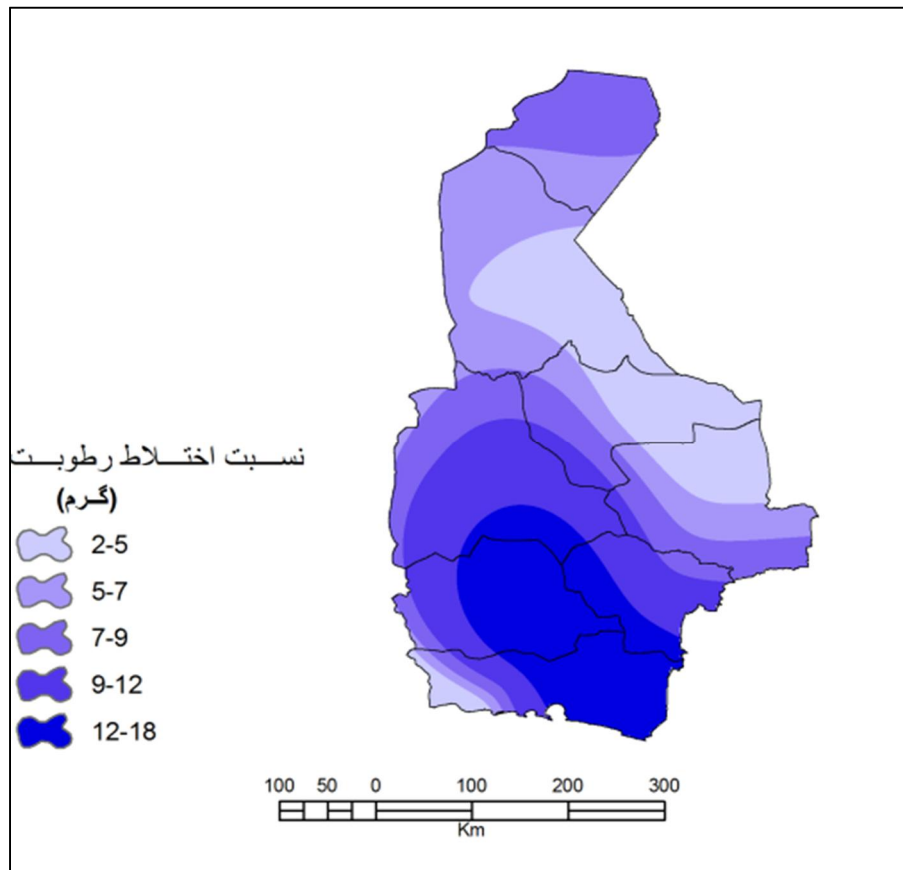
میانگین ماهیانۀ دما که به صورت میانگین بیست ساله مورد استفاده قرار گرفت، با دامنۀ ضریب تأثیر ۰/۰۲ تا ۰/۴۱ به عنوان دومین عامل در بروز سالیانۀ بیماری نقش دارد. همان طور که در شکل شماره پنج نشان داده شده است، از شمال به جنوب منطقۀ مورد مطالعه نقش درجۀ حرارت در شیوع سالیانۀ بیماری مالاریا با الگوی شمال شرق - جنوب غرب کاهش می یابد؛ به گونه ای که در نواحی جنوب غرب استان یعنی غرب شهرستان های نیک شهر، ایرانشهر و چابهار دارای کمترین ضریب تأثیر در بروز سالیانۀ بیماری مالاریا (۰/۰۲ تا ۰/۰۸) است. به عبارت دیگر، تغییرات دمایی در نواحی شمالی منطقۀ مورد مطالعه مانند زابل و زاهدان نسبت به نواحی جنوبی استان یعنی شهرستان های چابهار، نیک شهر و ایرانشهر نقش آشکارتری در بروز بیماری مالاریا ایفا می کند.



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

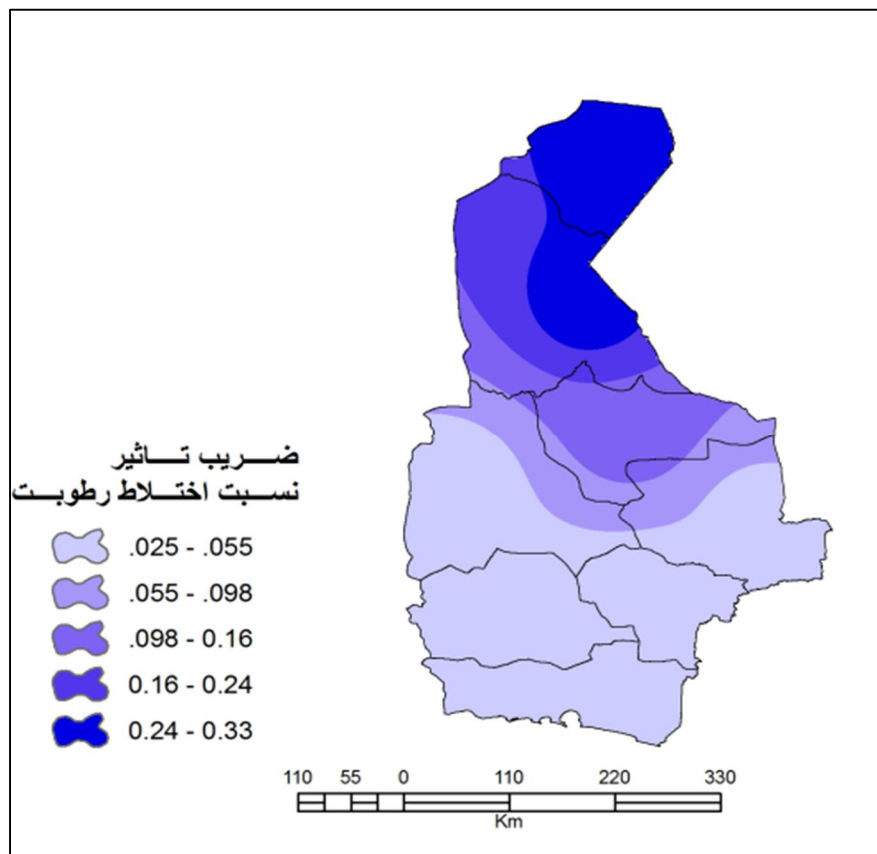
۳-۳- نسبت اختلاط

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 به عنوان نمایه رطوبتی در نواحی شمال منطقه بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۰ است که از میزان این ضریب تأثیر به سمت نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه کاسته می شود و بخش وسیعی از جنوب منطقه دارای کمترین ضریب تأثیر یعنی ۰/۰۶ تا ۰/۰۲۵ است که روند مشابهی با دمای منطقه دارد.



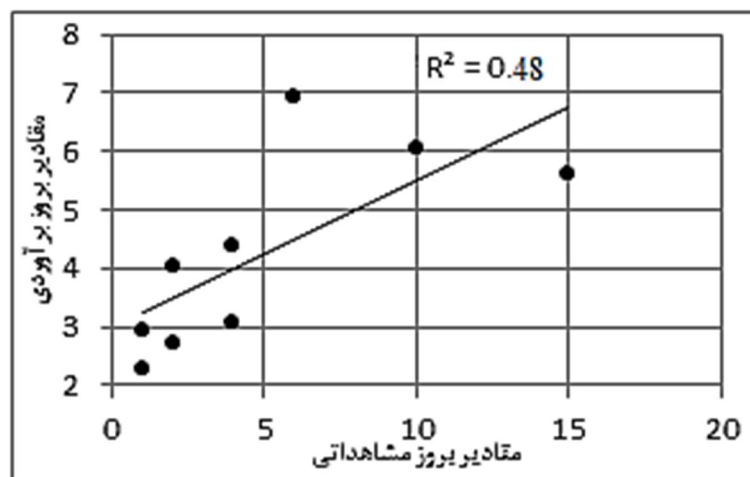
شکل ۷ ضرب تأثیرگذاری نسبت اختلاط رطوبت (برحسب گرم در کیلوگرم) در بروز سالیانه بیماری مالاریا

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)

منصور حلیمی و همکاران _____ مدل سازی فضایی شیوع بیماری مالاریا در...

اجتماعی، فرهنگی و مسائل مربوط به مهاجران آلوده به انگل مالاریا و سایر عوامل انسانی که گاهی نقش عوامل اقلیمی را تحت الشعاع قرار می دهند، غافل بود.



شکل ۸ مقادیر برآوردی مدل به دست آمده

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، با ارائه یک مدل مکانی نقش عوامل اقلیم شناختی در بروز و شیوع بیماری مالاریا بررسی و مشخص شد که عناصر اقلیمی بارش، دما و نسبت اختلاط به عنوان نمایه رطوبتی، به ترتیب اهمیت در بروز سالیانه این بیماری نقش دارند. همچنین، نقش مکانی هرکدام از این عوامل اقلیمی شناسایی شد. از نتایج این تحقیق می توان برای اولویت بندی مکانی عوامل مؤثر در شیوع بیماری مالاریا در برنامه های کنترل و پایش مالاریا به عنوان یک سیستم پیش هشداردهی اقلیم مبنا استفاده کرد.

بیماری مالاریا در استان سیستان و بلوچستان فقط به شرایط اقلیمی وابسته نیست؛ بلکه عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی، کمیت و کیفیت سال به سال اجرای برنامه های 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

Provience, 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.