

## پیش‌بینی ریسک بیماری لپتوسپیروز در ایران بر اساس ارتباط با پارامترهای محیطی و با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

رضا شیرزاد<sup>۱</sup>، علی اصغر آل‌شیخ<sup>۲\*</sup>، مجتبی اصغرزاده نشلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه-

نصیرالدین طوسی

rezashirzad1994@gmail.com

<sup>۲</sup> استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه-

نصیرالدین طوسی

m.a.neshelli@email.kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۸، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

### چکیده

بیماری لپتوسپیروز که در ایران بیشتر با نام تب شالیزار شناخته می‌شود، امروزه به‌عنوان یکی از شایع‌ترین بیماری‌های مشترک میان انسان و دام (زئونوزها) می‌باشد که از آن به‌عنوان یک بیماری فراموش‌شده و درعین‌حال بااهمیت یاد می‌شود. این بیماری با عوامل محیطی از جمله آب‌وهوا، پوشش زمین و ارتفاع و حتی عوامل اقتصادی-اجتماعی مانند وضعیت بهداشت محل سکونت و شغل وابستگی شدیدی دارد. با کمک سیستم اطلاعات مکانی و قابلیت‌های پیشرفته آن می‌توان با تولید نقشه‌های پیش‌بینی ریسک، برای شناسایی مناطق تحت خطر شیوع بیماری‌ها به تصمیم‌گیران بهداشت عمومی کشور کمک شایانی نمود. هدف این مطالعه شناسایی میزان تأثیر فاکتورهای محیطی بر روی الگوی شیوع لپتوسپیروز به‌منظور تولید نقشه پیش‌بینی ریسک در کل ایران می‌باشد. این امر با کمک آمار بیماری در یک دوره ده‌ساله از سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ به‌صورت نقطه‌ای و با به‌کارگیری قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور و هم‌چنین الگوریتم حداکثر آنتروپی (MAXENT) به‌عنوان یک روش مدل‌سازی کارآمد و با دقت، صورت گرفته است. فاکتورهای به‌کاررفته شامل بارندگی، ارتفاع، پوشش زمین، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، میانگین دما، بیشینه دمای ماهیانه، شیب، آب‌های سطحی و نقشه مناطق جابه‌جایی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر سه استان شمالی ایران، مناطق شمال غربی و غرب کشور نیز از خطر شیوع این بیماری در امان نیستند. بارش و ارتفاع به‌عنوان دو پارامتر اصلی تأثیرگذار در توزیع حال حاضر لپتوسپیروز شناخته شدند و در مقابل شیب و آب‌های سطحی مشارکت نزدیک به صفر در مدل به‌عنوان کم‌تأثیرترین فاکتورها محاسبه شدند. در این مطالعه نقشه‌های پیش‌بینی ریسک برای شیوع بیماری لپتوسپیروز به نمایش گذاشته شده است که می‌تواند به‌منظور کنترل و پیشگیری شیوع این بیماری نه‌تنها برای سه استان شمالی کشور بلکه برای تمام ایران مورد استفاده قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** لپتوسپیروز، تب شالیزار، Maximum Entropy model، مدل‌سازی مکانی، جک نایف، سیستم اطلاعات مکانی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

لپتوسپیروز<sup>۱</sup> انسانی یک بیماری عفونی منتقله از آب آلوده و حیوانات است که توسط باکتری‌های بیماری‌زا به نام لپتوسپیرو<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود و به‌عنوان یکی از شایع‌ترین زئونوزها و از مشکلات بزرگ بهداشت عمومی در سراسر جهان محسوب می‌شود [۱]. لپتوسپیروز به‌عنوان یک بیماری مشترک بین انسان و حیوان و به‌طور بالقوه کشنده، در بسیاری از مناطق گرمسیر، نیمه گرمسیر و معتدل، بومی<sup>۳</sup> بوده و به‌خصوص پس از بارندگی‌های سنگین و سیل‌ها ممکن است شیوع چشمگیری از این بیماری در مناطق تحت خطر رخ دهد [۲]. بیماری لپتوسپیروز در انسان‌ها یک طیف گسترده‌ای از علائم مانند تب، دل‌درد، زردی، نارسایی کلیه، مننژیت و خونریزی ریوی با نارسایی تنفسی را می‌تواند ایجاد نماید که گاهی اوقات حتی به مرگ منجر می‌شود [۳]. البته انتقال این بیماری از انسان به انسان ندرتاً گزارش شده است [۴].

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش رخداد لپتوسپیروز در گوشه و کنار جهان و بار سنگین اقتصادی و اجتماعی که به‌واسطه آن بر دوش سیستم بهداشت دولت‌ها قرار داده شده است، بسیار مورد توجه تصمیم‌گیران بهداشت عمومی قرار گرفته است [۱]. هم‌چنین، سازمان بهداشت جهانی از لپتوسپیروز به‌عنوان یک بیماری فراموش شده دارای اهمیت جهانی یاد کرده است که نیازمند توجه بیشتر و مطالعه بر روی شیوع بیماری و مرزهای آن در سرتاسر جهان می‌باشد [۵].

شیوع این بیماری در یک منطقه، به روابط پیچیده میان شرایط محیطی و آب‌وهوای منطقه، شرایط ارتقاعی، وضعیت اقتصادی-اجتماعی ساکنان از جمله شغل و سطح بهداشت عمومی، میزان آب‌های سطحی و هم‌چنین جمعیت حیوانات اهلی، وحشی و جوندگان وابسته است [۶]. تحلیل‌های پیشرفته سیستم اطلاعات مکانی با قابلیت شناسایی خوشه بیماری‌ها، خودهمبستگی‌های مکانی، پیش‌بینی مکان‌های پرخطر و شناسایی اهمیت فاکتورهای مؤثر در رخدادهای مکانی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت بهداشت عمومی کشورها مورد

استفاده قرارگیرد. هم‌چنین نمایش نتایج به‌صورت نقشه که یک منبع تفسیری آسان و مهم اطلاعاتی می‌باشد، می‌تواند برای شناسایی مکان‌های پر ریسک کنونی و هم‌چنین مناطق مستعد برای شیوع بیماری‌ها در آینده برای مدیران امر بهداشت عمومی مورد استفاده قرار گیرد. زیرا با شناسایی مناطق پرخطر این بیماری به‌راحتی می‌توان با آموزش راه‌های ساده پیشگیری به افراد تحت خطر و کاهش تماس مستقیم انسان با حیوانات مبتلا و یا منابع آلوده، خطر انتقال و مرگ‌ومیر ناشی از آن را به‌شدت کاهش داد و در هزینه‌های سنگین بخش درمان صرفه‌جویی نمود.

این بیماری با بیش از ۳۴۰۰ رخداد ثبت شده در طی ده سال اخیر در کشور، که طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ افزایش ناگهانی تقریباً سه برابری میانگین سالانه در سال‌های گذشته را تجربه کرده است و عدم وجود روند کاهشی محسوس تعداد بیماران ثبت شده در ده سال اخیر (شکل ۱) باوجود اقدامات پیشگیرانه انجام شده، نشان از این دارد که این امر نیازمند مطالعات و تصمیمات جدی-تری است. هم‌چنین نمودار الف شکل ۱ که توزیع ماهیانه لپتوسپیروز را به نمایش می‌گذارد، بیان می‌کند که رخداد در فصول بهار و تابستان و به‌خصوص در ماه‌های انجام شالی کاری به اوج خود می‌رسد. ذکر این نکته لازم است که تعداد موارد ثبت شده لپتوسپیروز انسانی در سرتاسر جهان به دلیل شباهت علائم آن به سایر بیماری‌ها مانند آنفلوانزا و کمبود امکانات بهداشتی در مناطق تحت خطر، همواره بسیار کم‌تر از آمار واقعی بوده و اختلاف زیادی تا واقعیت داشته است [۱].

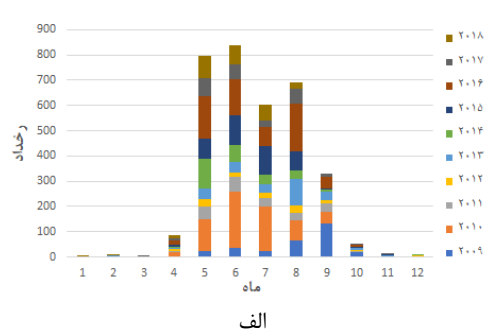
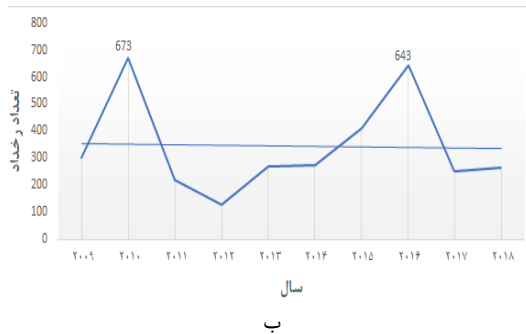
هدف این مطالعه، مدل‌سازی بیماری لپتوسپیروز انسانی با استفاده از داده‌های محیطی در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در محدوده کل کشور ایران با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MAXENT) می‌باشد، که نشان داده شده است یکی از دقیق‌ترین روش‌های مدل‌سازی در حوزه بیماری‌ها می‌باشد [۷، ۸]. هم‌چنین از خروجی این مدل و عملیات جک نایف<sup>۴</sup> به‌منظور شناسایی اهمیت فاکتورهای مرتبط با توزیع لپتوسپیروز استفاده شده است. آماده‌سازی داده‌ها، تحلیل و نمایش نتایج با کمک نرم‌افزارهای Arc GIS 10.6.1 و ENVI 5.3 صورت گرفته است.

<sup>۱</sup> Leptospirosis

<sup>۲</sup> Leptospira

<sup>۳</sup> Endemic

<sup>۴</sup> Jackknife



شکل ۱- توزیع زمانی موارد ثبت شده بیماری لپتوسپیروز در ایران از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ (الف. ماهیانه ب. سالیانه و روند کلی بیماری)

پرداختند و از روش‌های فراگیری ماشین برای پیش‌بینی مکانی وقوع این بیماری استفاده کردند [۱۳]. در مطالعه-ای دیگر، مناطق محتمل تحت خطر یک نوع بیماری ویروسی پوستی شایع در خاورمیانه با کمک مدل MAXENT و یافتن رابطه میان پارامترهای محیطی و نقاط رخداد بیماری مدل‌سازی شده است [۱۴].

در ایران، مطالعه‌ای با هدف مدل‌سازی بیماری لپتوسپیروز در یک دوره سه‌ساله و در استان گیلان با روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی انجام شده است که یافته‌های تحقیق نشان داده است شرایط برای وقوع این بیماری در دهستان‌های مرکزی این استان از سایر مناطق بیشتر است [۱۵]. همچنین مطالعه‌ای دیگر با محدوده مطالعاتی وسیع‌تر در سه استان گیلان، مازندران و گلستان با هدف بررسی خودهمبستگی مکانی و شناسایی خوشه-های لپتوسپیروز در یک دوره شش‌ساله انجام شده است. همچنین نقشه پیش‌بینی توزیع مکانی-زمانی بیماری لپتوسپیروز، با دو مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه نیز تولید شده است [۱۶]. تاکنون به‌ندرت مطالعه‌ای با هدف مدل‌سازی بیماری و شناسایی اهمیت فاکتورهای مؤثر در سطح وسیع‌تر و برای کل ایران صورت گرفته است. مطالعه بر روی کل ایران باعث می‌شود تا نه تنها بر روی سه استان شمالی کشور مطالعه صورت گیرد بلکه تمامی مناطق مستعد خطر شیوع این بیماری در کشور شناسایی شوند. از طرفی مطالعات صورت گرفته در ایران معمولاً از داده-های وقوع بیماری در سطح شهرستان یا دهستان برای مدل‌سازی استفاده نموده‌اند که این امر علاوه بر دقت مکانی پایین، استفاده از مدل‌های الگوی نقطه‌ای که دقت مکانی بالاتری دارند و استفاده گسترده‌ای در امر بهداشت و مدل‌سازی بیماری‌ها دارند [۷] را غیرممکن می‌سازد.

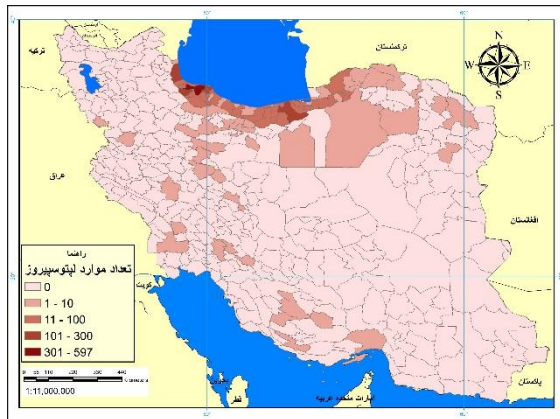
این مقاله در پنج بخش آماده شده است. در قسمت نخست به معرفی بیماری، تعریف مسئله و ضرورت رسیدگی به آن آمده است. بخش دوم مقاله به مطالعات انجام‌شده در این حوزه اشاره شده و در بخش سوم به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های به‌کاربرده شده و همچنین معرفی روش مدل‌سازی پرداخته شده است. در قسمت چهارم، نتایج حاصل از مدل‌سازی به نمایش گذاشته است و بخش پایانی به تشریح و بحث نتایج پرداخته است.

## ۲- پیشینه تحقیق

میفیلد و همکاران در فیجی از رگرسیون لجستیک وزن‌دار جغرافیایی با کمک آمار بیماری لپتوسپیروز و متغیرهای محیطی و اجتماعی-دموگرافی (تراکم گاوها، فاصله تا رودخانه، میزان فقر، وضعیت سکونت شهری یا روستایی و حداکثر بارندگی در ماه مرطوب) استفاده نمودند و به تهیه نقشه پیش‌بینی احتمال خطر پرداخته شده که دریافتند روش رگرسیون لجستیک وزن‌دار جغرافیایی از رگرسیون لجستیک استاندارد کارایی بالاتری دارد [۹]. در مکزیک سوکانی سانچز-مونتر و همکارانش با استفاده از الگوریتم ژنتیک یا مدل GARP<sup>۱</sup>، توزیع لپتوسپیروز را با کمک داده‌های مشتق شده از دما و بارش مدل‌سازی کردند [۱۰]. در مطالعاتی که در فرانسه و امریکای شمالی بر روی بیماری لیشمانیوز صورت گرفته است از MAXENT برای پیش‌بینی توزیع عوامل بیماری‌زا استفاده شده است [۱۱، ۱۲]. وایت و همکاران به بررسی رابطه میان پارامترهای محیطی و اقتصادی-اجتماعی با رخدادها ثبت شده لپتوسپیروز در حیوانات در امریکا

<sup>۱</sup> Genetic Algorithm for Rule-set Production

تعداد موارد ثبت‌شده لپتوسپیروز در شهرستان‌های مختلف کشور و همچنین حدود جغرافیایی ایران در شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است که شهرستان‌های تالش، فومن، صومعه‌سرا، رشت، آستانه‌اشرفیه، لاهیجان، ساری و قائم‌شهر با حداکثر تعداد رخداد در طول سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ به ثبت رسیده‌اند.



شکل ۲- تعداد موارد ثبت‌شده لپتوسپیروز در منطقه مورد مطالعه در مقیاس شهرستان

### ۳-۲- آماده‌سازی داده‌ها

اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه شامل اطلاعات خام بیماری لپتوسپیروز ثبت شده در مراکز بهداشتی ایران و اطلاعات محیطی شامل لایه‌های هواشناسی، پوشش گیاهی، پوشش زمین و ارتفاعی می‌باشد.

آمار رخداد بیماری لپتوسپیروز استفاده شده در این مطالعه از مرکز بیماری‌های وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی ایران دریافت شده است که توزیع آن‌ها به صورتی است که غالباً در مناطق شمالی کشور به ثبت رسیده‌اند. اما با توجه به هدف این مقاله، از تمامی داده‌های موجود در کشور در طی یک دوره ده‌ساله از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ استفاده گردید تا علاوه بر سه استان شمال ایران، سایر مناطق مستعد و برای پیشگیری در آینده شناسایی شوند. مختصات تقریبی محل سکونت بیماران به‌عنوان نقاط رخداد در این مطالعه استفاده گردید [۱۸]. قبل از ورود به فرآیند مدل‌سازی، داده‌های ناقص و اشتباه (داده‌های بدون آدرس، داده‌های تکراری) پاک‌سازی شدند. نقاط رخداد و توزیع آن‌ها در ایران در شکل ۳ قابل مشاهده است.

مدلهایی مانند MaxEnt و BRT<sup>۱</sup> را می‌توان به‌عنوان نمونه‌هایی از این روش‌ها نام برد [۷] که تاکنون برای بررسی این بیماری در ایران از آن‌ها استفاده نشده است. تحقیق حاضر تلاشی است برای جبران کاستی‌های پروژه‌های پیشین که در منطقه‌ای وسیع و نه صرفاً بر اساس تقسیمات سیاسی بلکه در محیط رستری با دقت تقریبی ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر مدل‌سازی را انجام داده است. از طرفی نیاز به بررسی بیماری در بازه‌های طولانی‌تر و همچنین بررسی تأثیر لایه‌های محیطی دیگر مانند پوشش زمین همواره به‌عنوان یک نیاز در مطالعات گذشته ذکر شده است [۱۵، ۱۶]. در همین راستا، در این تحقیق آمار بیماری در یک بازه ده‌ساله برای مدل‌سازی بکار برده شده و لایه پوشش زمین به‌صورت یک لایه گسسته و متفاوت از سایر لایه‌ها که همگی پیوسته بوده‌اند، در فرآیند مدل‌سازی استفاده شده است.

### ۳-۳- مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا به تشریح منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود و با توضیحاتی از اطلاعات خام استفاده شده و همچنین آماده‌سازی آن‌ها ادامه پیدا می‌کند. در نهایت مدل به‌کاررفته برای پیش‌بینی ریسک تشریح شده است.

#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل کل کشور ایران (بین عرض‌های ۲۴ تا ۴۰ درجه شمالی و طول‌های ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی) می‌باشد. هفت کشور هم‌مرز با ایران عبارت‌اند از: ارمنستان، آذربایجان و ترکمنستان در شمال، افغانستان و پاکستان در شرق و عراق و ترکیه در غرب (شکل ۲). کشور ایران شامل طیف گسترده‌ای از توپوگرافی (چند ده متر زیر سطح دریا تا بیش از ۵۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا) می‌باشد. همچنین با تنوع میزان بارندگی در سال (کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر تا ۲۰۰۰ میلی‌متر) و تنوع درجه حرارت (منفی ۱۰ درجه تا مثبت ۵۰ درجه سانتی‌گراد) انواع مختلفی از شرایط آب و هوایی از خشک تا معتدل و گرمسیری را شامل می‌شود [۱۷].

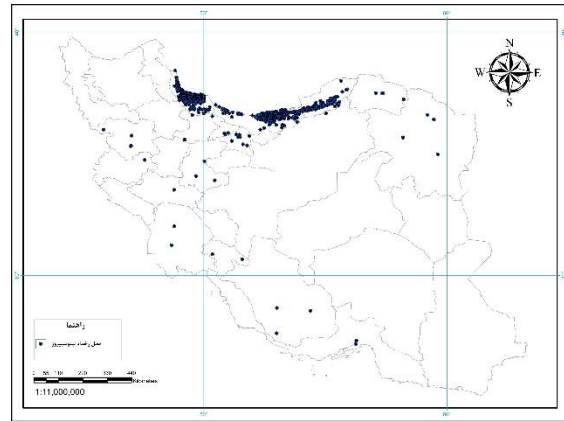
<sup>۱</sup> Boosted Regression Trees

تمامی خشکی‌های زمین توسط آژانس فضایی اروپا منتشر شده است (قابل دسترسی در لینک [http://www.esa.int/esaEO/SEM XB7TTGOF\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaEO/SEM XB7TTGOF_index_0.html)). نقشه مناطق جابه‌جایی نیز شامل راه‌ها، خطوط ریلی، مناطق ورودی و خروجی هوایی و زمینی و دریایی کشور می‌باشد که از ترکیب نقشه تمامی این موارد آماده‌سازی شده است. تمامی لایه‌های محیطی به صورت رستر یک کیلومتر در یک کیلومتر آماده‌سازی شدند.

### ۳-۱- مدل MAXENT

مدل حداکثر آنتروپی (MAXENT) یک روش یادگیری ماشین<sup>۴</sup> است که از تکنیک‌های آماری و تئوری اطلاعات پیروی می‌کند؛ به‌عنوان یک روش موفق و محبوب در گستره عظیمی از زمینه‌های کاربردی استفاده شده است [۱۹]. این مدل با کمک داده‌های حضور، متغیرهای محیطی و نقاط شبه-عدم حضور<sup>۵</sup> (داده‌های پس‌زمینه) که به صورت تصادفی در این مدل نمونه‌برداری می‌شود، توزیع مکانی را برآورد می‌نماید [۱]. در واقع MAXENT با مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (SDM<sup>۶</sup>) به کمک یافتن روابط میان داده‌های حضور بیماری و داده‌های محیطی، جغرافیای مناسب برای حضور، رشد و توسعه عامل بیماری را شناسایی کرده و حتی قادر است برای مناطق بدون داده حضور، پیش‌بینی مناطق خطر کند [۱۴]. وظیفه این مدل پیش‌بینی توزیع احتمالی گونه هدف به وسیله توزیع احتمال بیشینه آنتروپی است (شرایطی که بیشترین گسترش در آن رخ داده است یا شرایطی که یک توزیع تقریباً یکنواخت در آن رخ داده است). این مدل با کمک یکسری محدودیت‌ها که اطلاعات ناقص از توزیع هدف را تکمیل می‌نمایند [۱۹] (که در واقع همان فاکتورهای محیطی در این مطالعه‌اند) به پیش‌بینی می‌پردازد.

توانایی آنالیز با تعداد نقاط نمونه بسیار اندک (حتی زیر ۱۰۰ مشاهده)، قابلیت آنالیز هر دو نوع داده پیوسته و گسسته، عدم فرض استقلال داده‌ها، تفسیرپذیری راحت نتایج و نیاز نداشتن به نقاط عدم حضور که تعیین آن‌ها به‌سختی قابل انجام است را می‌توان از برتری‌های این مدل نسبت به برخی مدل‌های دیگر نام برد [۷]. از آنجایی



شکل ۳- توزیع نقاط رخداد لپتوسپیروز در ایران از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸

از آنجایی که وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنان یک منطقه، موقعیت جغرافیایی و شرایط محیطی، وضعیت بهداشت و تعداد حیوانات اهلی و وحشی از جمله موارد مؤثر در شیوع لپتوسپیروز در یک منطقه می‌باشند [۶]، بر اساس داده‌های مورداستفاده و مؤثر در مطالعات گذشته، شرایط اکولوژیکی منطقه و قابلیت دسترسی به داده‌ها، ده پارامتر اولیه انتخاب گردیدند و پس از بررسی همبستگی میان پارامترها، با حذف فاکتور کمینه دمای ماهیانه، نه پارامتر بارندگی، ارتفاع، پوشش زمین، پوشش گیاهی، میانگین دما، بیشینه دمای ماهیانه، شیب، آب‌های سطحی و نقشه مناطق جابه‌جایی که شامل راه‌ها و خطوط ریلی می‌باشد، وارد مدل‌سازی شدند. اطلاعات ایستگاه‌های همدیدی کشور از سازمان هواشناسی کشور دریافت و آماده‌سازی شدند. سپس نقشه‌های هواشناسی شامل میانگین بارش سالیانه، میانگین بیشینه دمای ماهیانه در طول بازه و میانگین دما با کمک آنالیز درون‌یابی فاصله معکوس<sup>۱</sup> تولید شدند. تصاویر ماهواره‌ای فاکتور شاخص پوشش گیاهی نرمال شده از تولیدات ماهواره مودیس<sup>۲</sup> به صورت ماهیانه دریافت شدند و با کمک نرم‌افزار ENVI 5.3 برای کشور ایران و به صورت میانگین استفاده شد. مدل رقومی ارتفاعی زمین از ماهواره استر<sup>۳</sup> استخراج شده و سپس نقشه شیب نیز از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده است. اطلاعات نوع پوشش زمین از GlobCover Land Cover version V2.3 استخراج شدند که شامل نقشه نوع پوشش زمین در چندین کلاس مختلف است که برای

<sup>۴</sup> Machine Learning

<sup>۵</sup> Pseudo Absence

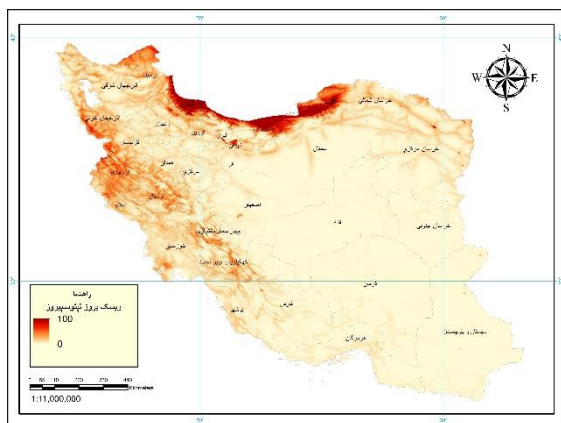
<sup>۶</sup> Spices Distribution Modeling

<sup>۱</sup> Inverse Distance Weighting

<sup>۲</sup> MODIS

<sup>۳</sup> ASTER

دسته تست و آموزش صورت گرفت، و در نهایت نسبت ۶۰ درصد برای آموزش مدل و ۴۰ درصد برای تست انتخاب شدند. به ترتیب اعداد ۰,۹۵۶ و ۰,۹۵۵ برای مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده داده‌های آموزشی و تست به دست آمدند. در واقع AUC بیش از ۰,۷۵ برای هر دو مدل آموزشی و تست، نشان‌دهنده توانایی و دقت کافی مدل به‌منظور پیش‌بینی است [۲۱].



شکل ۴- نقشه ریسک پیش‌بینی‌شده در مدل MAXENT برای بیماری لپتوسپیروز در ایران

جدول ۱- معرفی و درصد مشارکت متغیرهای محیطی

متغیر محیطی	نوع داده	درصد مشارکت در مدل
ارتفاع	پیوسته	۳۷
پوشش زمین	گسسته	۱۱,۹
شاخص پوشش گیاهی	پیوسته	۴
میانگین بارش سالیانه	پیوسته	۴۳,۵
میانگین دما	پیوسته	۱,۳
میانگین بیشینه دمای ماهیانه	پیوسته	۰,۲
شیب	پیوسته	۰,۲
مناطق جابه‌جایی (راه‌ها، ریل‌ها و مناطق ورود و خروج مرزی)	پیوسته	۱,۱
آب‌های سطحی	پیوسته	۰,۱

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

لپتوسپیروز به‌عنوان یک بیماری که در گذشته غالباً میان روستاییان رواج داشته، امروزه سیر تحولی جدیدی در پیش گرفته و به مناطق شهری به‌خصوص شهرهای دارای بهداشت نسبتاً ضعیف گسترش یافته است [۲۲]. این موضوع باعث می‌شود تا مطالعات بیشتری به‌منظور

که استفاده تعداد زیادی از لایه‌های محیطی می‌تواند منجر به تأثیر منفی بر دقت پیش‌بینی در این مدل شود [۲۰]، انتخاب دقیق و مؤثر پارامترها از موارد پراهمیت در روند انجام مدل‌سازی می‌باشد.

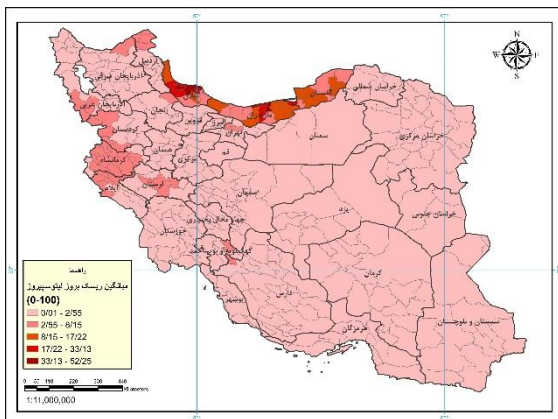
با اجرای عملیات جک نایف، اهمیت نسبی پارامترهای محیطی واردشده به مدل برحسب درصد محاسبه می‌گردد. در واقع، درصد مشارکت هر فاکتور با مقایسه دقت مدل در حالت عدم استفاده از یک فاکتور و دقت مدل در حالت استفاده از آن فاکتور به‌تنهایی، محاسبه می‌گردد [۱۹]. در واقع هرچه کارایی مدل در حالت حذف یک فاکتور بیشتر کاهش یابد و تأثیر آن فاکتور به‌تنهایی در مدل بیشتر باشد، نشان از تأثیرگذاری بیشتر این فاکتور دارد. در انتها، تحلیل مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) به‌عنوان ابزاری برای بررسی دقت و ارزیابی عملکرد گیرنده به کار گرفته شد.

#### ۴- پیاده‌سازی و نتایج

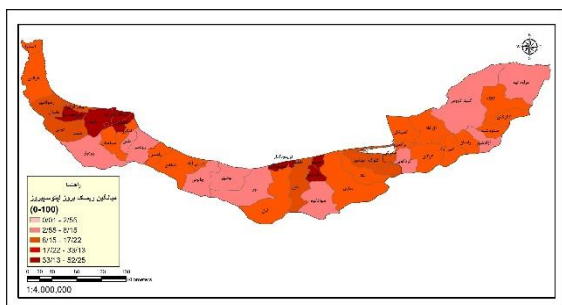
در این مطالعه ۶۰ درصد نقاط حضور بیماری به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و به‌عنوان نقاط آموزشی در مدل‌سازی در نظر گرفته شدند و ۴۰ درصد باقی‌مانده به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل به‌کاربرده شد. آستانه همگرایی، تصحیح و تعداد تکرار طبق تنظیمات پیش‌فرض نرم‌افزار MAXENT در نظر گرفته شد [۱۴]. پس از اجرای مدل یک نقشه از کشور ایران با مقادیر ریسک بین صفر تا صد برای رخداد بیماری لپتوسپیروز، بر مبنای داده‌های ده‌ساله بیماری بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ و داده‌های محیطی مرتبط با ایران در همین بازه زمانی تولید شد (شکل ۴). در این نقشه مشاهده می‌شود که علاوه بر مناطق شمال ایران که از گذشته بسیار موردتوجه شیوع این بیماری بوده‌اند، برخی مناطق شمال غرب و غرب ایران نیز می‌توانند مستعد حضور این بیماری باشند.

درصد مشارکت هر فاکتور در توزیع حال حاضر بیماری در جدول ۱ قابل‌مشاهده است. ارزیابی نتایج در این مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزشی و تست و استفاده از منحنی مشخصه عملکرد گیرنده و محاسبه مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUC)، برای هر دو دسته انجام شد. این مقادیر برای طیف متنوعی از نسبت‌های تقسیم‌بندی داده‌ها به دو

با توجه به شکل ۵-ب که نقشه کلاس بندی شده میانگین ریسک شهرستان‌های سه استان گلستان، مازندران و گیلان را به نمایش می‌گذارد، می‌توان شاهد بود که ساکنان شهرستان‌های صومعه‌سرا، رشت، آستانه‌اشرفیه، لاهیجان در استان گیلان و فریدون‌کنار، محمودآباد، جویبار و قائم‌شهر در استان مازندران به‌عنوان مراکز اصلی این بیماری شناخته شده‌اند. هم‌چنین خطر شیوع در این سه استان نیز مانند کل کشور از سمت شرق به سمت غرب افزایش می‌یابد. با توجه به نقشه‌های فاکتور، شاخص پوشش گیاهی و شرایط ارتفاعی، تغییرات ناگهانی و محسوس در نوار ساحلی شمال کشور را تجربه نمی‌کند، اما افزایش محسوس حجم بارش از سمت شرق به غرب است که این روند افزایشی ریسک را در این راستا ایجاد کرده است. هم‌چنین در مناطق شرقی مازندران و مناطق غربی گیلان شاهد افزایش حجم زمین‌های زراعی دیم در نقشه پوشش زمین هستیم که در نتیجه آن افزایش ناگهانی ریسک هم رخ داده است.



الف



ب

شکل ۵- میانگین ریسک بروز بیماری لیتوسپیروز به تفکیک شهرستان در کل کشور (الف)، در سه استان شمالی کشور (ب)

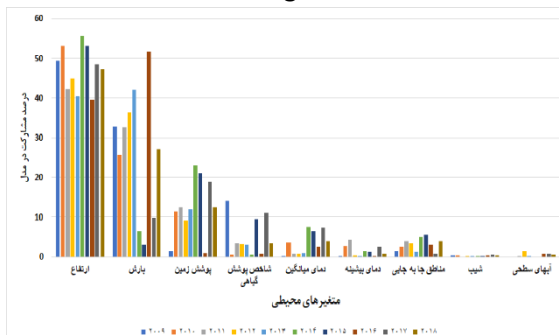
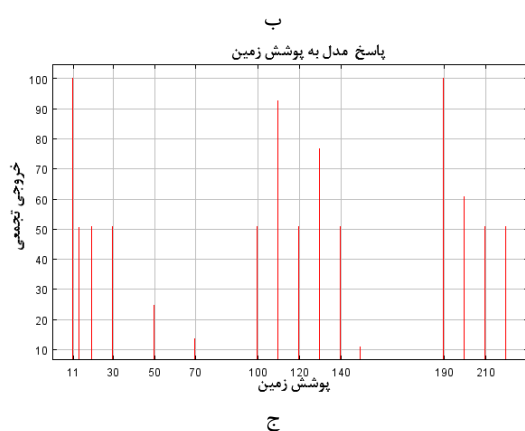
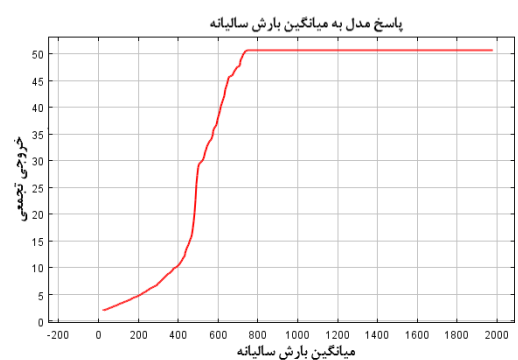
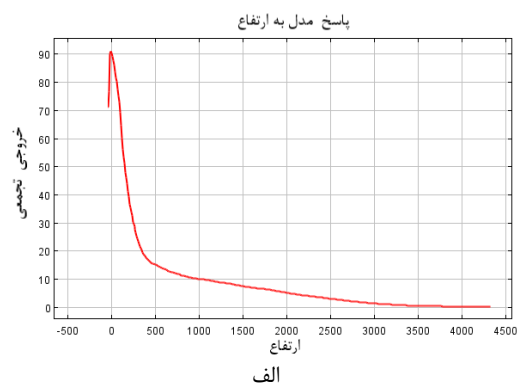
نتایج اجرای عملیات جک‌نایف چه بر روی داده‌های تست و چه بر روی داده‌های آموزشی نشان داد که در

شناسایی روند گسترش و مناطق جدید تحت خطر صورت گیرد. از طرفی روش‌های مدل‌سازی زیست‌محیطی و توانایی سیستم اطلاعات مکانی در آماده‌سازی برای استفاده و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از این ابزارها، این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان به درک روند شیوع بیماری، میزان تأثیرگذاری پارامترهای محیطی و پیش‌بینی جغرافیایی در مقیاس‌های بزرگ رسید [۱]. از طرفی روش‌های مدل‌سازی اکولوژیکی زیستگاه‌ها (ENM)<sup>۱</sup> یا مدل‌سازی توزیع گونه (SDM) به‌عنوان ابزاری کارآمد در شناسایی جغرافیا و شرایط مناسب برای شیوع بیماری‌ها ثابت شده‌اند [۲۳، ۲۴] که در این میان مدل MAXENT با کارایی بالا مکرراً در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته است [۷].

محاسبه میانگین ریسک پیکسل‌های نقشه خروجی برای هر شهرستان (شکل ۵-الف)، نشان می‌دهد که سه استان گلستان، مازندران و گیلان با بیشترین ریسک به‌عنوان کانون اصلی خطر برای شیوع این بیماری در مدل MAXENT شناخته شدند که برای این استان‌ها می‌بایست ثبت نمونه‌ها و برنامه‌ریزی کنترل و پیشگیری به‌صورت جدی به‌خصوص طی ماه‌های می تا اوت (اوایل اردیبهشت تا اوایل ماه مهر) که مصادف با ماه‌های کاشت و برداشت برنج در این استان‌ها می‌باشد، در اولویت قرار داشته باشد و همواره پیگیری گردد. هم‌چنین برخی شهرستان‌های استان‌های غربی کشور بخصوص اکثر مناطق استان کرمانشاه و مناطق مرزی شمال غرب ایران در استان اردبیل نیز از خطر شیوع این بیماری در آینده در امان نیستند. بدین معنا که اگر شرایط آب‌وهوایی مناسب برای رشد و توسعه عامل بیماری‌زا به وجود آید و فعالیت‌های پیشگیرانه بهداشتی در آن مناطق صورت نپذیرفته باشد، ممکن است ساکنان با شیوع ناگهانی بیماری و افزایش نرخ بروز مواجه گردند. در مناطق شمالی اردبیل شرایط ارتفاعی مناسب و افزایش پوشش گیاهی از عوامل اصلی ایجاد ریسک بالاتر نسبت به سایر مناطق این استان هستند. در مناطق تحت ریسک غرب ایران، مناسب بودن میزان بارش است که در کنار شاخص پوشش گیاهی دو دلیل عمده ایجاد وضعیت مناسب منطقه برای توسعه عامل بیماری‌زا را فراهم می‌آورد.

<sup>۱</sup> Ecological Niche Modeling

که تعدادی از رخدادهای ناگهانی در کشورهای دیگر بخصوص در مناطق شهری، پس از بارندگی فراوان و ایجاد سیل به ثبت رسیده‌اند [۲۵، ۲۶].



د  
شکل ۶- نمودارهای تعیین تأثیر مقادیر مختلف پارامترهای ارتفاع (الف)، بارش (ب) و پوشش زمین (ج) و نمودار درصد مشارکت فاکتورها در مدل‌های سالیانه (د)

حالت مدل‌سازی تنها با یک متغیر، بارش با بالاترین تأثیر به‌تنهایی شامل بیشترین اطلاعات مفید است. در حالی که متغیر ارتفاع از مدل‌سازی حذف گردید، مواجهه با بیشترین کاهش دقت نشان داد که ارتفاع شامل اطلاعات مفیدی است که در سایر متغیرها موجود نیست. پس در میان داده‌های محیطی استفاده‌شده در مدل‌سازی این بیماری، ارتفاع و بارش از تأثیرگذارترین پارامترها در رخداد لپتوسپیروز می‌باشند که درصد مشارکت ۴۳،۵ و ۳۷ برای ارتفاع و بارش در جدول ۱ حاکی از این موضوع می‌باشد. در مقابل، شیب، آب‌های سطحی و دمای بیشینه به ترتیب با کمترین میزان مشارکت در دسته پارامترهایی قرار می‌گیرند که حذفشان صدمه چندانی به فرآیند مدل‌سازی نخواهد زد. فاکتورهای پوشش زمین با ۱۱،۹ درصد، شاخص پوشش گیاهی با ۴ درصد، میانگین دما با ۱،۳ درصد و مناطق جابه‌جایی با ۱،۱ درصد مشارکت در مدل‌سازی استفاده شده‌اند. مطالعه انجام‌شده در سه استان شمالی ایران که از دو مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده کرده بود، نشان داد که بارش و ارتفاع به ترتیب دومین و سومین پارامتر مهم و تأثیرگذار در شیوع این بیماری بوده‌اند [۱۶].

میزان تأثیر مقادیر مختلف این دو فاکتور در پیش‌بینی احتمال مدل MAXENT در نمودارهای "الف"، "ب" و "ج" شکل ۶ قابل‌مشاهده‌اند. در نمودار "الف" افزایش احتمال رخداد بیماری در سطوح نزدیک به ارتفاع صفر، مشهود بوده و با افزایش ارتفاع احتمال وقوع بیماری تقریباً به صفر میل می‌کند. به همین دلیل است که خط ساحلی دریای خزر با ارتفاعی نزدیک به سطح آب‌های آزاد، و همچنین بارش زیاد و پوشش گیاهی بالا و هم‌چنین پوشش زمین جنگلی و کشاورزی از مناطق پر ریسک محسوب می‌شود. اما خط ساحلی جنوبی کشور با اینکه شرایط ارتفاعی لازم را دارد، به دلیل اینکه شرایط بهینه برای سایر فاکتورها مانند بارش و پوشش گیاهی را ندارد به‌عنوان مناطق کم ریسک شناسایی شده است. این تفاوت میزان ریسک برای نقاط با ارتفاع تقریباً مشابه در شمال و جنوب کشور نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در استفاده هم‌زمان از تمامی پارامترهای مهم و ارتباطشان با یکدیگر در مدل‌سازی است. هم‌چنین روند صعودی نمودار مربوط به باران رابطه مستقیم حجم بارش سالیانه و احتمال شیوع لپتوسپیروز را تشریح می‌نماید. همان‌طور



شیب در مدل‌های سالیانه نیز دلالت بر تأثیر بسیار جزئی این فاکتورها بر شیوع بیماری دارد. حتی با توجه به اینکه تماس با آب آلوده اصلی‌ترین راه انتقال لپتوسپیروز شناخته می‌شود، شاهد آن هستیم که فاکتور آب‌های سطحی که شامل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها هستند، تأثیر کمی بر رخداد بیماری داشته‌اند. از طرفی با توجه به اینکه این بیماری در مناطق شهری با وضعیت نامناسب و روستاها نیز گسترش دارد، می‌تواند نشان از این داشته باشد که شیوع این بیماری نه با آب‌هایی با حجم وسیع مانند رودها و دریاچه‌ها بلکه با آب‌های جمع شده در حفره‌ها و آب‌های زمین‌های شالیزار و از این دست مکان‌های شامل آب‌های راگد و آلوده رابطه داشته باشد.

## ۶- پیشنهادات آینده

مطالعات آینده می‌توانند با تحلیل‌های فصلی و یا ماهیانه با دقت زمانی بیشتری بر روی شیوع این بیماری کار کنند و با استفاده حداکثری از داده‌های ماهواره‌ای، هزینه‌ها و زمان آماده‌سازی داده را به حداقل برسانند. از طرفی باید به این نکته توجه کرد که اگر مناطقی به‌عنوان مناطق با ریسک پایین برای هر نوع بیماری مدل شده‌اند، هیچ‌گاه نباید در مطالعات آتی از منطقه مطالعاتی حذف شوند و می‌بایستی حتی‌الامکان حتی در اولویت‌های پایین‌تر مورد توجه تصمیم‌گیران حوزه بهداشت قرار داشته باشند.

## سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از مدیریت و کارکنان بخش مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌های واگیر وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران بابت کمک در تأمین داده‌های بیماری لپتوسپیروز تشکر نمایند.

نمودار خروجی مرتبط با پوشش زمین از ارتباط شدید توزیع بیماری لپتوسپیروز در این دوره ده‌ساله با کلاس‌های ۱۱ (زمین‌های زراعی آبیاری شده یا زمین‌های زراعی پس از سیلاب) و ۱۹۰ (سطوح مصنوعی و مناطق مرتبط که بیش از ۵۰ درصد آن مناطق شهری‌اند) تأییدی است بر ارتباط رخداد بیماری با نزدیکی به زمین‌های کشاورزی بخصوص شالیزارها است و هم‌چنین نشان‌دهنده این بوده که این بیماری تنها محدود به مناطق روستایی نمی‌باشد. کلاس ۱۱۰ که با اندکی تفاوت تأثیر فراوانی در شیوع بیماری دارد شامل ۵۰ تا ۷۰ درصد مناطق جنگلی و ۲۰ تا ۵۰ درصد علفزار می‌باشد که یکی از مراکز مهم تجمع آب آلوده در حفره‌ها و محل رفت‌وآمد حیوانات اهلی برای چرا و حیوانات وحشی هستند که ممکن است تعداد قابل توجهی از آن‌ها حامل باکتری مربوطه باشند.

لایه راه‌ها و خطوط ریلی و مناطق ورود و خروج مرزی کشور (فاکتور مناطق جابه‌جایی) برای بررسی تأثیر نزدیکی مناطق استفاده‌شده برای انتقال حیوانات با میزان شیوع لپتوسپیروز برای اولین بار وارد مدل‌سازی این بیماری گشت. در نتایج حاصله مشاهده شد که این پارامتر در ایران علی‌رغم اینکه تنها حدود یک درصد در شیوع بیماری مشارکت دارد، اما از پارامترهایی همچون بیشینه دما و شیب و آب‌های سطحی از اهمیت بالاتری برخوردار است و حذف آن بیشترین صدمه را به دقت مدل می‌زند. با توجه به نمودار "د" شکل ۶ که میزان مشارکت پارامترها در مدل‌های سالیانه را مقایسه می‌کند (مدل‌های سالیانه روابط میان داده‌های محیطی در هر سال و آمار بیماری در همان سال را بررسی می‌نماید)، ارتفاع علاوه بر مشارکت ۳۷ درصدی در مدل اصلی (مدل ده‌ساله بیماری)، هر ساله مشارکت حدوداً ۴۰ درصدی دارد که این امر حاکی از وابستگی شدید این بیماری به ارتفاع است. پایین بودن میزان مشارکت پارامترهای آب‌های سطحی و

## مراجع

- [1] Zhao, J., et al., Mapping risk of leptospirosis in China using environmental and socioeconomic data. BMC infectious diseases, 2016. 16(1): p. 343.
- [2] Haake, D.A. and P.N. Levett, Leptospirosis in humans, in *Leptospira and leptospirosis*. 2015, Springer .p. 65-97.
- [3] Bharti, A.R., et al., Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. The Lancet infectious diseases, 2003. 3(12): p. 757-771.
- [4] Chedraui, P.A. and G. San Miguel, A case of leptospirosis and pregnancy. Archives of gynecology and obstetrics, 2003. 269(1): p. 53-54.

- [5] Leptospirosis, W.H., Guidance for diagnosis, surveillance and control. World Health Organization, 2003. 109.
- [6] Mwachui, M.A., et al., Environmental and behavioural determinants of leptospirosis transmission: a systematic review. PLoS neglected tropical diseases, 2015. 9(9): p. e0003843.
- [7] Stevens, K.B. and D.U. Pfeiffer, Spatial modelling of disease using data-and knowledge-driven approaches. Spatial and spatio-temporal epidemiology, 2011. 2(3): p. 125-133.
- [8] Rochlin ,I., et al., Climate change and range expansion of the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: implications for public health practitioners. PloS one, 2013. 8(4): p. e60874.
- [9] Mayfield, H.J., et al., Use of geographically weighted logistic regression to quantify spatial variation in the environmental and sociodemographic drivers of leptospirosis in Fiji: a modelling study. The lancet Planetary health, 2018. 2(5): p. e223-e232.
- [10] Dhewantara, P.W., et al., Spatial epidemiological approaches to inform leptospirosis surveillance and control: A systematic review and critical appraisal of methods. Zoonoses and public health, 2019. 66(2): p. 185-206.
- [11] Chamaillé, L., et al., Environmental risk mapping of canine leishmaniasis in France .Parasites & vectors, 2010. 3(1): p. 31.
- [12] González, C., et al., Climate change and risk of leishmaniasis in North America: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. PLoS neglected tropical diseases, 2010. 4(1): p. e585.
- [13] White, A.M., et al., Hotspots of canine leptospirosis in the United States of America. The Veterinary Journal, 2017. 222: p. 29-35.
- [14] Alkhamis, M.A. and K. VanderWaal, Spatial and temporal epidemiology of lumpy skin disease in the Middle East, 2012–2015 .Frontiers in veterinary science, 2016. 3: p. 19.
- [15] Mohammadinia, A., A. Alimohammadi, and Z. Ghaemi, Evaluation and Comparison of Performance of Fixed and Adaptive Kernels in Geographically Weighted Regression for Modeling Leptospirosis in Gilan . Journal of Geomatics Science and Technology, 2018. 7(3): p. 57-73.
- [16] AhangarCani, M., M. Farnaghi, and M.R. Shirzadi, Predictive Map of Spatio-Temporal Distribution of Leptospirosis Using Geographical Weighted Regression and Multilayer Perceptron Neural Network Methods. Journal of Geomatics Science and Technology, 2016. 6(2): p. 79-98.
- [17] Pakzad, R., et al., Spatiotemporal analysis of brucellosis incidence in Iran from 2011 to 2014 using GIS. International Journal of Infectious Diseases, 2018. 67: p. 129-136.
- [18] Rood, E.J., et al., Environmental risk of leptospirosis infections in the Netherlands: Spatial modelling of environmental risk factors of leptospirosis in the Netherlands. PloS one, 2017. 12(10): p. e0186987.
- [19] Phillips, S.J., R.P. Anderson ,and R.E. Schapire, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological modelling, 2006. 190(3-4): p. 231-259.
- [20] Rodda, G.H., C.S. Jarnevich, and R.N. Reed, Challenges in identifying sites climatically matched to the native ranges of animal invaders. PloS one, 2011. 6(2): p. e14670.
- [21] Elith\*, J., et al., Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 2006. 29(2): p. 129-151.
- [22] A. Rafiei, A.H.Z.-O., F. Babamahmoodi, R. A. Navaei, R. Valadan, and I. Sari, Review of Leptospirosis in Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences (JMUMS), 2012. 22.
- [23] Lau, C.L., et al., Leptospirosis in American Samoa—estimating and mapping risk using environmental data. PLoS neglected tropical diseases, 2012. 6(5): p. e1669.
- [24] Qian, Q., et al., Mapping risk of plague in Qinghai-Tibetan plateau, China. BMC infectious diseases, 2014. 14(1): p. 382.
- [25] Al-shere, T.A., et al., Outbreak of leptospirosis after flood, the Philippines, 2009. Emerging infectious diseases, 2012. 18(1): p. 91.
- [26] Dechet, A.M., et al., Leptospirosis outbreak following severe flooding: a rapid assessment and mass prophylaxis campaign; Guyana, January–February 2005. PLoS One, 2012. 7(7): p. e39672.