



Research Paper

Movement Pattern Recognition of Tropical Cyclone Using Spatial Data Mining

Safiyeh Firoozimehr^{a*}, Hossein Aghamohammadi^a, Majid Firoozimehr^b, Saeed Behzadi^c

^a. Department of gis and Remote sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^b. Department of Physical Oceanography, Faculty of Marine science and Oceanography, University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

^c. Department of Surveying and Geomatics Engineering, School of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Tropical Cyclone,
Data Mining,
Clustering,
Moran Index.



The North Atlantic region is always exposed to severe storms, which are considered one of the most severe natural hazards in the climate field, and every year they cause serious damage to the economic infrastructure and human casualties in the areas affected by this event. These storms can help in the analysis and crisis management plans of this hazard and land preparation. The development of data collection and data mining technologies enables a more detailed study of this phenomenon. This issue requires the use of simple and efficient methods to investigate the behavior and extract the pattern from the database of this phenomenon. In this research, using spatial statistics methods, the trend of changes in the movement of tropical storms in the North Atlantic Ocean and the identification of their governing patterns in the period of 1995-2015 have been analyzed. The obtained results confirm the cluster pattern governing this phenomenon and that the occurrence of storms are not random events and follow spatial and temporal patterns in the studied area. The pattern of storms has a cluster pattern with the maximum value of the average value of the nearest neighborhood of 0.74 and the minimum value of 0.47. Also, the value of the general Moran index, the highest and the lowest correlation and clustering were calculated in 2006 with an index number of 0.66 and 2009 with an index number of 0.12 respectively, and a map of clusters and non-clusters and hot spots was prepared. With a better understanding of the patterns governing the movement of storms, it is possible to reduce possible damages caused by storms. Based on this, as a suggestion for future research, it is possible to include the effect of other parameters such as temperature, water salinity, and atmospheric general circulation systems, which play a significant role in the distribution of the distribution of the occurrence of storms, in the modeling and data mining of storms and get results closer to reality. Finally, as a useful research, the results of clusters and hot spots can be used in predicting the movement of storms in the future.

Received:

06 April 2022

Received in revised form:

10 June 2022

Accepted:

08 August 2022

pp. 39-55

Citation: Firoozimehr, S., Aghamohammadi, H., Firoozimehr, M., & Behzadi, S. (2022). Movement Pattern Recognition of Tropical Cyclone Using Spatial Data Mining. *Geographical planning of space quarterly journal*, 12 (3), 39-55.



<http://doi.org/10.30488/GPS.2021.263881.3359>

* . Corresponding author (Email: safiyeh.firoozi@gmail.com)

Copyright© 2022 The Authors. Published by Golestan University. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Movement in natural phenomena produces a considerable amount of movement data. The development of data collection technologies and encountering a huge volume of Spatio-temporal data enables a more detailed study of natural phenomena and hazards, including hurricanes. This issue requires using simple and efficient methods to investigate the behavior and extract patterns from our database. Data mining can be used in such Spatio-temporal processes' databases to recognize better and understand the prevailing patterns. Investigating and preparing the trend of spatial and temporal changes governing these cyclones can help in the analysis and crisis management plans for this hazard and land preparation. Based on this, the main goals of this research are to use the efficient method of spatial statistics in order to explore the Spatio-temporal patterns of tropical cyclone in the North Atlantic Ocean from their database over 21-years and to prepare cluster maps and hot spots maps from their speed distribution. By reviewing previous research and summarizing those mentioned above, it can be concluded that although the existing methods can model and especially are clustering tornadoes and hurricanes, they have complex calculations in performance. Also, previous studies have not extracted the temporal-spatial patterns of the tropical cyclone and prepared illustrative maps. Therefore, while adopting an efficient and simple method for clustering and extracting a pattern from the cyclone dataset, it is necessary to prepare useful maps of this phenomenon over time.

Methodology

We performed this study based on descriptive-analytic and qualitative methods. The research sample includes 21 years of trajectories of North Atlantic hurricanes that occurred between 1995 and 2015. The raw dataset was obtained from NOAA with a sampling rate of 6 hours. Data analysis was performed in ArcGIS software. The first step includes data collection and necessary pre-processing to

remove outliers from the study area. The second step is to check the geographic distribution of the data by calculating the mean center and the standard distance in order to summarize the information in the data distribution, which is the beginning of recognizing the possibility of a pattern or clustering in the data. Then, to investigate distribution patterns or concentration and the probability of random distribution of complications, Moran's index's average nearest neighbor and spatial autocorrelation were exerted. In the third step, two methods of cluster /outlier analysis and hot spot analysis based on spatial statistics were used to display the identified patterns. Furthermore, the IDW interpolation method has been used to prepare the final maps.

Results and discussion

The results of the average weight distribution of cyclones in the three time periods of 1995-2000, 2001-2008, and 2009-2015 show the trend of cyclones moving from the central Atlantic to the US coast and in the final period to the east of the ocean. Calculations of Standard Deviational Ellipse in all three periods show the maximum distribution in the east-west direction, which shows the spatial instability of the average centers in the east-west direction and the displacement of these centers in this direction. The global Moran index is close to one and the z-score and p-values obtained in all years studied indicate the spatial autocorrelation and the prevailing cluster pattern. Also, the average nearest neighbor's results confirmed the clustering of cyclones' spatial distribution. The pattern of cyclones has a cluster pattern with a high average value of the nearest neighborhood of 0.74 and a minimum value of 0.47. Also, the value of general Moran's index based on the characteristics of cyclones speed, the highest and lowest correlation and clustering were calculated in 2006 with an index number of 0.66 and the lowest in 2009 with an index number of 0.12 respectively in this research. After determining the type of patterns with the help of these two indices to investigate the changes in spatial autocorrelation of cyclones in this region, local Moran index

and hot spot analysis were used. The prevailing pattern in the output of this statistic is consistent with the pattern obtained from the distribution of mean centers. IDW interpolation method was used to better visualize the output of hot spots analysis on the map.

Conclusion

Preliminary results from measuring data distribution showed the probability of having a pattern and cluster in the data set. Supplementary analyses showed that cyclones are not random events but follow patterns. Another result of this research is that the results of cluster and outlier analyses and hot spots, considering the neighborhood, refer to Tabler's theory and the first law of geography, that "each phenomenon is related to another phenomenon and the phenomenon closer to ones are more similar to each other." The average nearest neighbor analysis results confirm the cluster pattern governing this phenomenon in the study region. Also, based on the cyclone's speed, the total Moran index calculates the highest and lowest levels of correlation and clustering for the years 2006 and 2009, respectively. The maps prepared for 1995 to 2015 show how the patterns governing the occurrence of cyclones move and change during these 21-year period.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



شناسایی الگوهای حرکتی طوفان‌های حاره‌ای با استفاده از داده‌کاوی مکانی

صفیه فیروزی مهر^۱ - گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

حسین آقامحمدی - گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

مجید فیروزی مهر - گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

سعید بهزادی - گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

منطقه اقیانوس اطلس شمالی همواره در معرض طوفان‌های شدیدی ست که از شدیدترین مخاطرات طبیعی در حوزه اقلیم محسوب می‌شوند و هرساله موجب خسارات جدی بر زیرساخت‌های اقتصادی و تلفات انسانی در محدوده‌های متأثر از این رخداد می‌شوند، تهیه و بررسی روند تغییرات الگوهای مکانی و زمانی حاکم بر این طوفان‌ها می‌تواند کمکی در جهت تحلیل و برنامه‌های مدیریت بحران این مخاطره و آمایش سرزمین باشد. توسعه فناوری‌های جمع‌آوری داده و داده‌کاوی، مطالعه دقیق‌تر این پدیده را امکان‌پذیر می‌کند. این موضوع نیازمند بهره‌گیری از روش‌هایی ساده و کارآمد جهت بررسی رفتار و استخراج الگو از پایگاه داده این پدیده است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های آمار فضایی به تحلیل روند تغییرات حرکت طوفان‌های حاره‌ای اقیانوس اطلس شمالی و شناسایی الگوهای حاکم بر آن‌ها در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۵ پرداخته شده است. نتایج به‌دست‌آمده الگوی خوشه‌ای حاکم بر این پدیده و اینکه وقوع طوفان‌ها رخدادی تصادفی نیستند و از الگوهای مکانی و زمانی پیروی می‌کنند را در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کند. الگوی طوفان‌ها از الگوی خوشه‌ای با مقدار بیشینه میانگین نزدیک‌ترین همسایگی به میزان ۰/۷۴ و کمینه ۰/۴۷ برخوردار است. همچنین مقدار شاخص موران عمومی، بالاترین و پایین‌ترین میزان همبستگی و خوشه‌بندی به ترتیب در سال ۲۰۰۶ با عدد شاخص ۰/۶۶ و ۲۰۰۹ با عدد شاخص ۰/۱۲ محاسبه شد، و نقشه خوشه و ناخوشه و لکه‌های داغ تهیه شد. با شناخت بهتر از الگوهای حاکم بر حرکت طوفان‌ها می‌توان در جهت کاهش خسارات احتمالی ناشی از وقوع طوفان اقدام نمود. بر این اساس به‌عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی، می‌توان اثر سایر پارامترها چون دما، شوری آب و سامانه‌های گردش عمومی جو که بر توزیع پراکندگی وقوع طوفان‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کنند را در مدل‌سازی و داده‌کاوی طوفان‌ها دخالت داد و از نتایجی به واقعیت نزدیک‌تر بهره گرفت. در نهایت، به‌عنوان یک تحقیق مفید می‌توان از نتایج خوشه‌ها و لکه‌های داغ در پیش‌بینی حرکت طوفان‌ها در آینده استفاده نمود.

واژگان کلیدی:

طوفان حاره‌ای، داده‌کاوی، خوشه‌بندی، شاخص موران.



تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۴/۱۷

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۸/۰۵

صص. ۳۹-۵۵

استناد: فیروزی مهر، صفیه؛ آقامحمدی، حسین؛ فیروزی مهر، مجید و بهزادی، سعید. (۱۴۰۱). شناسایی الگوهای حرکتی طوفان‌های حاره‌ای با استفاده از داده‌کاوی مکانی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۲ (۳)، ۳۹-۵۵.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2021.263881.3359>

مقدمه

بشر همواره به دنبال یافتن الگوها و ارتباطات موجود بین پدیده‌های مختلف بوده است. در سال‌های اخیر با توسعه روش‌های جمع‌آوری داده و مواجهه با حجم عظیمی از داده‌های در دسترس که شامل حرکت اشیاء نقطه‌ای (مانند وسایل نقلیه، انسان و حیوان) و فرآیندهای پویا (مانند حرکت طوفان‌های اقیانوسی، حرکت ریز گردها و نشت و گسترش لکه‌های نفتی) که به راحتی نمی‌توان اطلاعات مفیدی از آن‌ها استخراج نمود (Dodge et al, 2011:3) نیاز به روش‌هایی جهت استخراج خودکار الگوهای مختلف بیش‌ازپیش ایجاد شده است (عزیزی، ۱۳۹۳: ۱). داده‌کاوی یکی از آن روش‌هاست که عمدتاً با ساخت الگوهای متشکل از مجموعه‌ای از قوانین انجام می‌پذیرد. با در اختیار داشتن داده‌های مکانی، داده‌کاوی مکانی، فرآیند کشف الگوهای مکانی مفید اما درعین حال ضمنی از پایگاه داده‌های حاوی اطلاعات مکانی را فراهم می‌کند (Vatsavai et al, 2012:1; Sharif & Alesheikh, 2017:427). از موارد کاربرد داده‌کاوی در کشف الگوها می‌توان به طبقه‌بندی، خوشه‌بندی و پیش‌بینی اشاره کرد. یکی از اصلی‌ترین وظایف داده‌کاوی اکتشافی خوشه‌بندی است که یک روش معمول در تجزیه و تحلیل داده‌های آماری است که در آن، هدف، تقسیم داده‌ها به گروه‌های مختلف می‌باشد، به صورتی که بیشترین شباهت میان اجزای یک خوشه در مقایسه با حداقل شباهت با اجزای خوشه‌های دیگر وجود داشته باشد (Lee et al, 2014: 398).

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، یکی از حوزه‌هایی که با خیل عظیمی از داده روبروست، یکی از مهم‌ترین پدیده‌های حرکتی موجود در طبیعت، طوفان‌های اقیانوسی است، پدیده‌ای مخاطره‌آمیز که به سرعت در ابعاد مکان و زمان تغییر رفتار می‌دهد و به سختی قابل پیش‌بینی هست. بر اساس مطالعات سازمان هواشناسی جهانی، بادها با سرعت بیش از ۱۵ m/s به‌عنوان طوفان شناخته می‌شوند (فرج زاده و منوچهر، ۱۳۹۰: ۱) در این میان طوفان‌هایی که در عرض‌های جغرافیایی کم و تحت شرایط مساعد محیطی تشکیل می‌شوند و به نام طوفان‌های حاره‌ای شناخته می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Peng et al, 2007:221). این طوفان‌ها به‌صورت سیکلون‌های چرخنده‌ای در اقیانوس‌ها حرکت نموده، و گاه به خشکی‌ها نزدیک می‌شوند. در این حالت منشأ ایجاد بادهایی با سرعت بسیار زیاد و ایجاد امواج بزرگ در سواحل می‌شوند و با ورود به خشکی‌ها می‌تواند موجب بروز سیلاب‌های شدید و وقوع خسارت‌های جبران‌ناپذیر گردند. بر اساس مقیاس سفیر-سیمپسون که مقیاس ارزیابی جریان‌های حاره‌ای در نیمکره غربی می‌باشد در ۴ دسته اصلی آشفته‌گی‌های حاره‌ای با حداکثر سرعت ۱۷ m/s، بادهای حاره‌ای حداکثر سرعت ۳۳ m/s، هاریکن‌ها با حداکثر سرعت بیش از ۳۳ m/s و هاریکن‌های اصلی با حداکثر سرعتی بیش از ۴۸ m/s تقسیم‌بندی می‌شوند.^۱

اثرات طوفان‌های حاره‌ای شامل نیروی تخریبی باد، امواج حاصل از طوفان و سیلاب‌های عظیم که اغلب تأثیرات ویرانگری دارند را شامل می‌شود (ملکوتی و علی محمدی، ۱۳۹۳: ۹۷) و در واقع طوفان‌های حاره‌ای فجایع طبیعی است که بخش مهمی از خسارت، صدمات و بی‌خانمانی ناشی از مخاطرات طبیعی را شکل می‌دهند (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۲). مخاطرات همواره در طول تاریخ زندگی بشری وجود داشته‌اند و یک تهدید جدی توسعه زندگی شهری به شمار می‌روند (پریشان، ۱۳۹۰: ۲) با توجه به اجتناب‌ناپذیر بودن احتمال وقوع این مخاطرات؛ تمرکز و توجه برنامه‌ریزی بحران شهرها در مرحله آمادگی می‌تواند منجر به کاهش تلفات و خسارات مالی و جانی در زمان بروز بحران گردد (علوی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۲) رشد و توسعه شهرنشینی نیز به ابعاد این حوادث طبیعی اهمیت مضاعفی بخشیده و

1 . <https://www.nhc.noaa.gov/climo>

از این رو بررسی شیوه‌های مقابله با این بلایا از دغدغه‌های اصلی مدیران و برنامه ریزان شهری است (مهراجانی، ۱۳۸۶: ۱۴). هر ساله در مناطقی از جنوب شرق آمریکا، دریای کارائیب، جنوب شرق آسیا، بنگلادش، شرق استرالیا و ژاپن وقوع این سیکلون‌های حاره‌ای موجب خسارات مصیبت‌باری را بر محیط طبیعی و سکونتگاه‌های انسانی وارد می‌کند. مناطق شمالی اقیانوس هند و دریای عرب نیز سالانه پذیرای تعدادی از این سیکلون‌هاست اما در مقایسه با دیگر نواحی در معرض این پدیده، فراوانی وقوع آن‌ها کمتر است (خسروی، ۱۳۸۹: ۵۴). در آمریکا تنها در بازه زمانی ۱۹۵۳ تا ۱۹۵۷ خسارات ناشی از طوفان‌های تندری بالغ بر ۳/۶ میلیارد دلار برآورد شد (صلاحی، ۱۳۸۹: ۱۳۰). در ۲۹ آگوست ۲۰۰۵ طوفان کاترینا^۱ خسارات و تلفات وسیعی را به نواحی خلیج لوئیزیانا و به‌ویژه شهر نیواورلئان وارد کرد (فلاحی و صحفی، ۱۳۸۶). در طوفان کاترینا بیش از ۱۸۱۱ نفر کشته شدند (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳). در طی آن ۴۴ پل بزرگراه در امتداد منطقه ساحل خلیج مکزیک آسیب دیدند (Padgett et al, 2008:6) این طوفان در مجموع ۱۰۰ میلیارد دلار هزینه برای ایالات‌متحده در برداشت (محمدی و روزی‌طلب، ۱۳۸۵). طوفان ژان در ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۴ باعث ویرانی گسترده در گوناوس، هائیتی شد (Beatty et al, 2007: 309) و به‌عنوان طوفان گروه ۳ شناخته شد (Benedet et al, 2005: 43) و باعث مرگ بیش از ۱۰۰۰ نفر شده و روی هم‌رفته بیش از ۷۰۶ میلیارد دلار خسارت را در پی داشت. طوفان سندی نهم اکتبر ۲۰۱۲ در سواحل شرقی ایالات‌متحده به وقوع پیوست. به‌طور کلی، تأثیر اقتصادی طوفان سندی تا ۵۰ میلیارد دلار تخمین زده شد (Comes & Van de Walle, 2014: 197). پژوهش‌های مختلفی در زمینه طوفان‌های حاره‌ای و الگوهای مربوط به آن‌ها انجام شده است به‌طور مثال یانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۱) تکنیکی از داده‌کاوی به نام استخراج قوانین انجمنی را برای تجزیه و تحلیل تغییرات شدت طوفان‌های گرمسیری آتلانتیک شمالی (TCs) به کار بردند. به‌طوری‌که داده‌های "بهترین مسیر" از مرکز ملی طوفان و پایگاه داده‌های طرح پیش‌بینی شدت آماری طوفان جمع‌آوری شد و پس از طبقه‌بندی، هفت گروه طوفان گرمسیری به‌علاوه دو گروه تجمعی اضافی به طوفان‌های گرمسیری شدید، ضعیف و پایدار تقسیم شدند. تجزیه و تحلیل داده‌های طبقه‌بندی شده برای پیش‌پردازش نشان داد که حرکت سریع‌تر طوفان به سمت شمال (جزء نصف‌النهاری حرکت طوفان) از شدت طوفان گرمسیری حمایت می‌کند اما از شدت طوفان‌ها (هاریکن‌ها) حمایت نمی‌کند. طوفان‌های گرمسیری شدیدتر با همگرایی بالاتری در جو فوقانی نسبت به طوفان‌های گرمسیری ضعیف همراه هستند، درحالی‌که شدت طوفان‌ها (هاریکن‌ها) با همگرایی پایین‌تر قوی‌تر است (Yang et al, 2011:337). ژانگ و همکاران^۳ در پژوهشی در سال ۲۰۱۳ به تحلیل مسیر طوفان‌های حاره‌ای پرداخته‌اند. بر اساس این تحلیل بارش‌های سیلابی طوفان‌های حاره‌ای در بخش‌های غربی اقیانوس اطلس شمالی و دریای جنوبی چین به کمک یکی از روش‌های داده‌کاوی یعنی روش طبقه‌بندی یا همان درخت تصمیم‌گیری، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعات انجام‌شده قبلی در حوزه TC الگوریتم C4.5 که یک الگوریتم درخت کلاسیک برای طبقه‌بندی است به‌منظور کشف قوانین حاکم بارش‌های سیلابی TC اعمال شد. یافته‌های آن‌ها نشان داد که شرایط محلی نقش اساسی در پیش‌بینی فرود طوفان‌های حاره‌ای ایفا می‌کنند. از طرفی مرحله شکل‌گیری، توسعه و تضعیف باید هنگام پیش‌بینی فرود طوفان‌های حاره‌ای در نظر گرفته شود که در این راستا پیش‌بینی فرود این طوفان‌ها زمانی دقیق‌تر می‌شود که طوفان‌های حاره‌ای از زمان شکل‌گیری اولیه تا زمان تضعیف شدن حرکت می‌کنند

1 . Hurricane Katrina

2 . Yang

3 . Zhang

(Zhang et al, 2013:1883). موهاپاترا و همکاران^۱ (۲۰۱۶) نیز از داده‌کاوی برای تحلیل مسیر طوفان‌های حاره‌ای در مقیاس زمانی و مکانی استفاده نمودند. و به بررسی این طوفان‌ها در شمال شرقی، جنوب شرقی در ضلع شرقی مجاور خلیج بنگال و شمال غربی و جنوب غربی در ضلع غربی مجاور دریای عربستان پرداختند. تحلیل‌ها برای مکان فرود و میزان مسیر به‌طور جداگانه برای رویدادهایی که در دو فصل اتفاق می‌افتد، یعنی دوره پیش از موسم و پس از موسم بارندگی، انجام شد. همراه با طبقه‌بندی شدت، تجزیه و تحلیل روند مسیر و منطقه هدف حداکثر آسیب نیز مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس شاخص‌های آماری مانند میانگین، انحراف استاندارد، رگرسیون و تجزیه و تحلیل همبستگی، شاخصی تهیه شد که میزان آسیب‌پذیری را در طول منطقه ساحلی تعیین می‌نمود (Mohapatra et al, 2016:89). با مرور پژوهش‌های پیشین و با جمع‌بندی موارد فوق می‌توان به این نتیجه رسید که اگر چه روش‌های موجود قادر به مدل‌سازی و به‌ویژه خوشه‌بندی پدیده گردبادها و طوفان‌های اقیانوسی هستند، اما در عمل دارای محاسبات پیچیده می‌باشند. همچنین، پژوهش‌های گذشته به استخراج الگوهای زمانی-مکانی طوفان‌های حاره‌ای و تهیه نقشه‌های گویا نپرداخته‌اند. بنابراین با توجه به اهمیت طوفان‌های حاره‌ای که بیشتر نمونه‌هایی از آن‌ها که تلفات جانی و مالی زیادی در پی داشته‌اند بیان شد و بنا بر کارآمدی، سادگی و سایر مزایای روش داده‌کاوی، همچنین کاوش در مطالعات گذشته که هیچ‌کدام نمونه‌ای مشابه با پژوهش حاضر را گزارش نکرده‌اند که نشان از نوآوری این دستاورد دارد، سؤالی که باید به آن پاسخ داده شود این است که آیا استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی فضایی قادر به شناسایی الگوهای حرکتی طوفان‌های حاره‌ای می‌باشد؟

مبانی نظری

با توجه به تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر، و افزایش وقوع مخاطرات جوی از جمله طوفان‌های محدوده اقیانوس اطلس شمالی، آگاهی از رفتار طوفان‌ها و شناخت کانون‌های رخداد آن‌ها و شناسایی الگوها و روندهای موجود در پایگاه داده، در برنامه‌ریزی‌های محیطی و به‌منظور توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت می‌باشد (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۸:۹۹). پایگاه داده مورد بررسی در بردارنده مشاهداتی است که مستقل از یکدیگر نیستند و به‌نوعی وابستگی آن‌ها ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه است؛ و مشاهدات نزدیک به هم وابسته‌تر و مشاهدات دورتر از هم وابستگی کمتری دارند بر این اساس با داده‌های فضایی روبه‌رو هستیم و به دلیل وجود همبستگی فضایی بین آن‌ها، روش‌های معمول آمار کلاسیک برای تحلیل چنین داده‌هایی قابل استفاده نیست و الزام است به نحوی ساختار همبستگی داده‌ها در تحلیل آن‌ها لحاظ شود. (صادقی و شکریانی، ۱۳۹۵: ۲۵۳-۲۵۲؛ حکیم‌دوست و همکاران، ۱۳۹۵:۷۷؛ فرجی و صحنه، ۱۴۰۰:۱۱۴). توجه به عدم استقلال مشاهدات و وابسته بودن آن‌ها به یکدیگر در فضای مورد مطالعه و استفاده مستقیم از فضا، محیط، همسایگی، جهت‌گیری و روابط فضایی در محاسبات سبب برتری یافتن این روش نسبت به آمار کلاسیک شده است (بحری و خسروی، ۱۳۹۷). آمار فضایی، عامل مهم فضا که در بردارنده مفاهیمی چون سطح، طول، جهت و محدوده هست را به‌طور مستقیم به محاسبات ریاضی وارد کرده است و هدف اصلی آن، توصیف و مدل کردن توزیع‌های مکانی، روندها و الگوهای مکانی است. (Scott & Rosenshein, 2012:3). در پژوهش پیش رو به دنبال پاسخ به چگونگی توزیع داده‌ها در فضا و اینکه آیا توزیع آن‌ها در فضا از الگو و یا قاعده خاصی پیروی می‌کند یا خیر هستیم، تشخیص وجود چنین الگوها و روندهایی به پژوهشگران و در ادامه به مدیران و تصمیم

گیران کمک خواهد کرد تا در پی دلایل وجودی این الگوها برآیند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۵:۴۵۱؛ عسگری، ۱۳۹۰:۳۹۰). سیستم‌های کشف دانش، این امکان را به کاربر می‌دهند که بتواند انبوه داده‌های جمع‌آوری شده را تفسیر کنند و دانش نهفته در آن را استخراج نمایند. (شکوهی و مینایی، ۱۳۸۶:۱). در داده‌کاوی تلاش می‌شود با تجزیه و تحلیل مقادیر عظیم داده، به الگوها و قوانین پنهان و معنی‌دار درون آن‌ها پی برد. لذا به‌کارگیری الگوریتم‌های مختص داده‌کاوی فضایی مانند خوشه‌بندی که در آن روابط مکانی و خصوصیات فضایی داده‌ها مدنظر قرار می‌گیرند ضروری می‌باشد. (شفیعی و شیرینی، ۱۳۸۹:۱)

خوشه‌بندی: در خوشه‌بندی هدف تقسیم داده‌ها به گروه‌های مختلف می‌باشد، به صورتی که بیشترین شباهت میان اجزای یک خوشه در مقایسه با حداقل شباهت با اجزای خوشه‌های دیگر وجود داشته باشد. لذا خوشه‌بندی این‌یکی از وظایف اصلی داده‌کاوی اکتشافی می‌باشد و یک روش معمول در تجزیه و تحلیل داده‌های آماری است (Lee et al, 2014: 398؛ نصیری و همکاران، ۱۴۰۰:۱۴۹)

روش پژوهش

این تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر رویکرد توصیفی-تحلیلی است. مرحله اول شامل جمع‌آوری داده مناسب و سپس انجام پیش‌پردازش‌های لازم می‌باشد. هدف از این مرحله حذف هرگونه داده پرت و خارج از محدوده مورد مطالعاتی است. مرحله دوم، بررسی توزیع جغرافیایی داده‌ها با محاسبه مرکز میانگین و فاصله استاندارد به منظور خلاصه کردن اطلاعات موجود در توزیع داده‌هاست که شروعی بر شناخت احتمال وجود الگو و یا خوشه‌بندی در داده است.

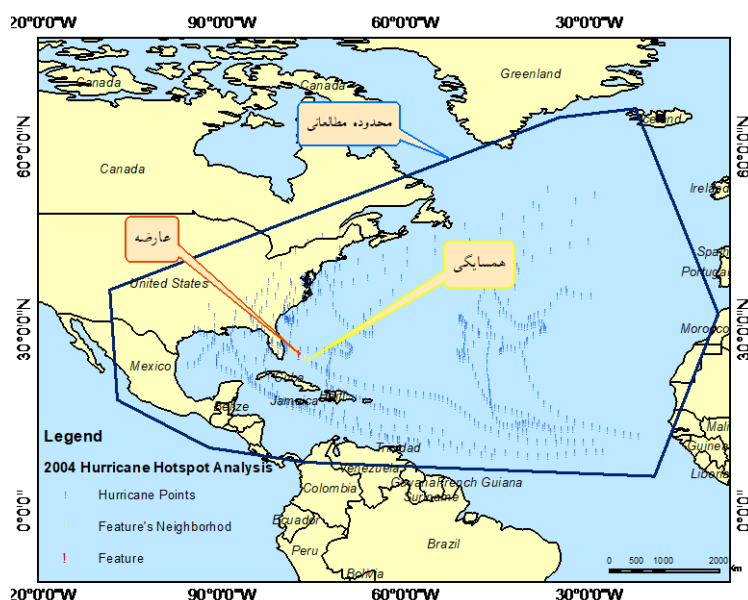
مختصات مرکز میانگین (\bar{X}_w, \bar{Y}_w) مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$(1) \bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \bar{Y}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

که در آن x_i و y_i مختصات نقطه i ام x و y و n تعداد کل عوارض موجود در لایه موردبررسی هست. جهت توصیف مشخصات مکانی توزیع جغرافیایی داده پیرامون مرکز میانگین، از بیضوی انحراف استاندارد استفاده شد که میزان فشردگی و یا تمرکز عوارض از میانگین جغرافیایی آن‌ها را اندازه‌گیری کرده و نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود جهت‌گیری در توزیع داده است (احدنژاد و حسعلی زاده، ۱۴۰۰:۲۳۱)

در ادامه، به بررسی الگوهای پخش و یا تمرکز و همچنین یافتن احتمال توزیع تصادفی عوارض جغرافیایی پرداخته می‌شود. ابزار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی ابتدا فاصله بین نقطه مرکزی هر عارضه را با نقطه مرکزی نزدیک‌ترین همسایه‌اش اندازه‌گیری کرده، سپس میانگین تمامی این نزدیک‌ترین همسایگی‌ها را محاسبه می‌کند. اگر میانگین فاصله محاسبه‌شده از میانگین توزیع تصادفی فرضی کمتر باشد، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که توزیع پدیده موردبررسی در فضا به صورت خوشه‌ای هست. اگر میانگین فاصله محاسبه‌شده بزرگ‌تر از میانگین توزیع تصادفی فرضی باشد، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که عوارض به صورت پراکنده در فضا توزیع شده‌اند (Bennet & Vale, 2012: 64). این شاخص به صورت نسبت بین فاصله مشاهده‌شده به فاصله مورد انتظار محاسبه می‌شود (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۹:۱۴۲۲) خودهمبستگی فضایی شاخص موران: این پدیده زمانی رخ می‌دهد که مقادیر یک متغیر که از نظر جغرافیایی به هم نزدیک هستند با هم مرتبط باشند. این تحلیل به بررسی خوشه‌بندی بر اساس موقعیت مکانی و ارزش همراه شده در هر موقعیت^۱ می‌پردازد. اگر مقدار شاخص موران محاسبه‌شده به عدد $+1$ نزدیک باشد داده دارای خودهمبستگی فضایی و

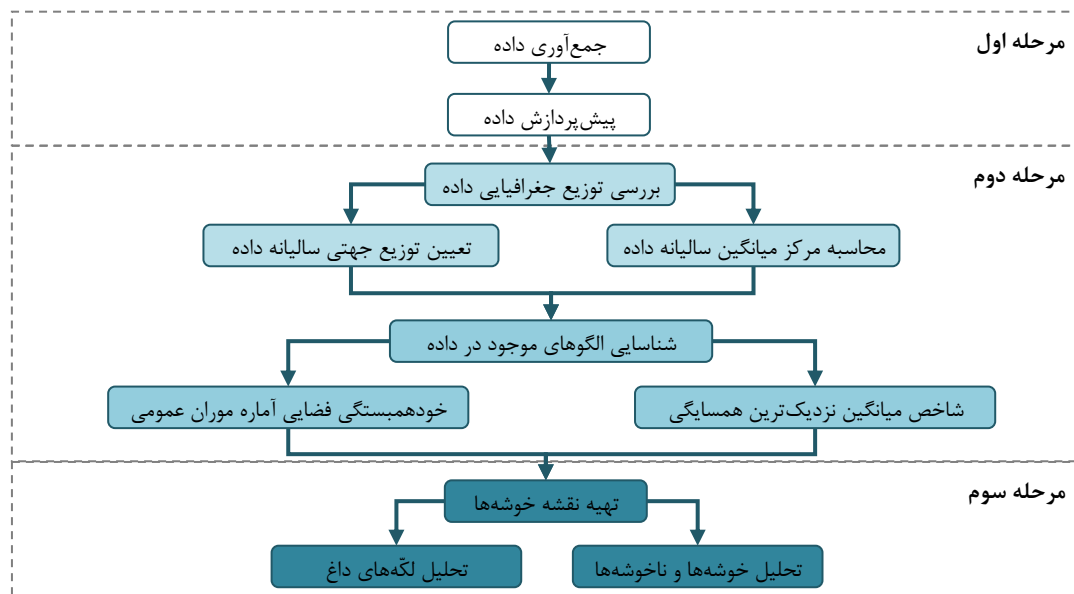
دارای الگوی خوشه‌بندی بوده و اگر مقدار شاخص موران محاسبه‌شده به عدد ۱- نزدیک باشد آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. البته این مقدار منفی هم از نظر آماری معنادار هست (Khosravi et al, 2018:12). در آماره موران فرضیه صفر این‌گونه بیان می‌گردد که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد؛ و اگر P-value محاسبه‌شده بسیار کوچک و Z-score محاسبه‌شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۲:۴۰). در مرحله سوم، به‌منظور نمایش الگوهای شناسایی‌شده از دو تحلیل خوشه و ناخوشه و تحلیل لکه‌های داغ استفاده شد. در تحلیل خوشه و ناخوشه که به شاخص موران محلی انسلین^۱ (Anselin, 1995:98) نیز شناخته می‌شود، اگر فرض کنیم تعدادی عارضه جغرافیایی وزن دهی شده داشته باشیم، این ابزار نشان می‌دهد که در کجاها مقادیر زیاد و یا کم این پدیده‌ها در فضا به‌طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و همچنین کدام عوارض دارای مقادیری بسیار متفاوت از عوارض پیرامونشان هستند. نقشه‌ای که از این آماره ایجاد می‌شود، از دسته‌های توزیع پراکندگی استفاده می‌نماید که می‌توان با استفاده از آن‌ها نوع خودهمبستگی فضایی داده‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. از مقادیر آماری که به کمک ابزارهای تحلیل الگو در بخش قبل به دست آمد استفاده می‌کند و یک خروجی بصری قابل‌نمایش را بر روی نقشه ارائه خواهد داد (بازرگان و امیر فخریان، ۱۳۹۹:۵۴۸) (جوی زاده و حجازی زاده، ۱۳۹۸:۲۵۷). در تحلیل لکه‌های داغ، آماره گتیس-آورد^۲ Gi* را برای کلیه عوارض موجود در داده محاسبه می‌شود (Wang et al, 2012:773). جواب Gi* یک Z-score است. Z-Score انحراف معیار ساده است. مقدار بالا یا پایین انحراف معیار نشان‌دهنده نقاط بحرانی است. لکه‌های داغ به دنبال شناسایی و مشخص نمودن خوشه‌بندی‌هایی بالارزش‌های آماری بالا و پایین در مجموعه داده می‌باشند. هر عارضه یک ارزش سرعتی را به همراه خود دارد. این عارضه در مجاورت خود عوارض دیگری را خواهد داشت که به‌عنوان همسایه شناخته می‌شوند و هر همسایگی در یک محدود مطالعاتی واقع می‌شود (شکل ۱) (فرجی و صحنه، ۱۴۰۰:۱۱۴).



شکل ۱. تقسیم‌بندی چگونگی تحلیل لکه‌های داغ

1 . Anselin Local Moran's I
 2 . Getis-Ord Gi*

در شرایطی که همسایگی دارای ارزش آماری قابل توجه بالایی نسبت به محدوده مطالعاتی باشد، عارضه‌ای که داخل این همسایگی انتخاب شده است به‌عنوان لکه داغ معرفی می‌شود. سه سطح آماری با توجه به مقادیر P- و Z-Score value مشخص می‌شود. به احتمال ۹۰، ۹۵ و یا ۹۹ درصد عارضه انتخاب شده به خوشه بارزش بالا تعلق دارد و به همین ترتیب در مورد لکه‌های سرد با احتمال ۹۰، ۹۵ و یا ۹۹ درصد عارضه به یک خوشه بارزش آماری پایین تعلق دارد. در صورتی که عارضه انتخاب شده در هیچ یک از دسته‌ها قرار نگیرد به‌عنوان عارضه فاقد ارزش آماری معرفی می‌شود (عسگری، ۸۰: ۱۳۹۰-۶۰). مراحل انجام این پژوهش در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

محدوده مورد مطالعه

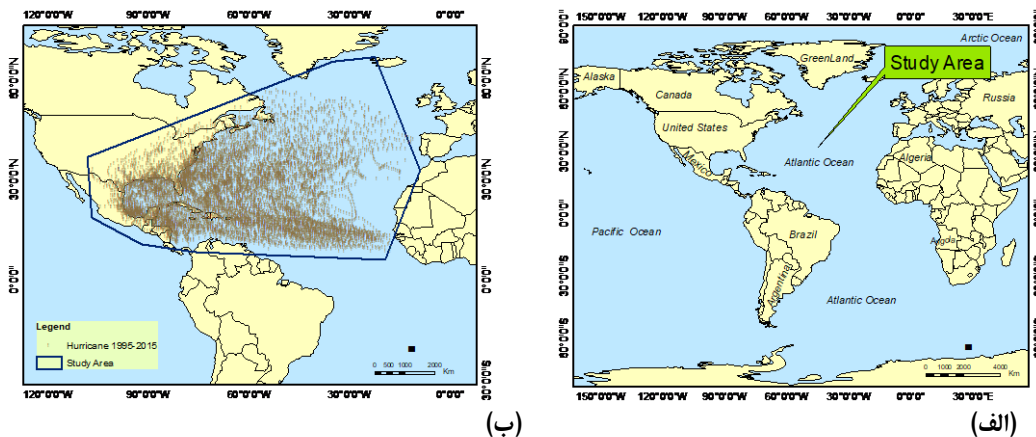
شکل ۳-الف موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه را در میان سایر آب‌های جهان نشان می‌دهد. داده‌های لازم جهت انجام تحلیل از سایت سازمان ملی هواشناسی و اقیانوسی ایالات متحده آمریکا^۱ (Noaa) در سال ۲۰۱۷ تهیه شده است. مجموعه داده شامل طول و عرض جغرافیایی، حداکثر سرعت پایدار باد^۲، حداقل فشار مرکزی، حوزه و زیر حوزه مکانی وقوع طوفان همراه با نام طوفان و تاریخ رخداد آن هست. نرخ نمونه‌برداری^۳ داده‌ها به صورت روزانه و هر ۶ ساعت می‌باشد.

با توجه به مکانی بودن انجام محاسبات از سیستم مختصات متریک جهت استفاده از داده‌ها در نرم‌افزار ArcGis استفاده شده است. با توجه به مکانی بودن ماهیت تحلیل‌ها به این مسئله توجه شده است که پراکنش مکانی داده‌ها از یکدیگر زیاد نباشد. بنابراین با در نظر گرفتن یک محدوده فرضی، جداسازی داده‌های پرت از مجموعه داده انجام شده است. در شکل ۳-ب توزیع کلیه داده در محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ مشخص شده است.

۱. <https://www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/index.php?name=ib-v4-access>

۲. Maximum sustained wind speed

۳. Sample Interval



شکل ۳. منطقه مطالعاتی: (الف) اقیانوس اطلس، (ب) توزیع جغرافیایی و استخراج داده‌ها در محدوده زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵

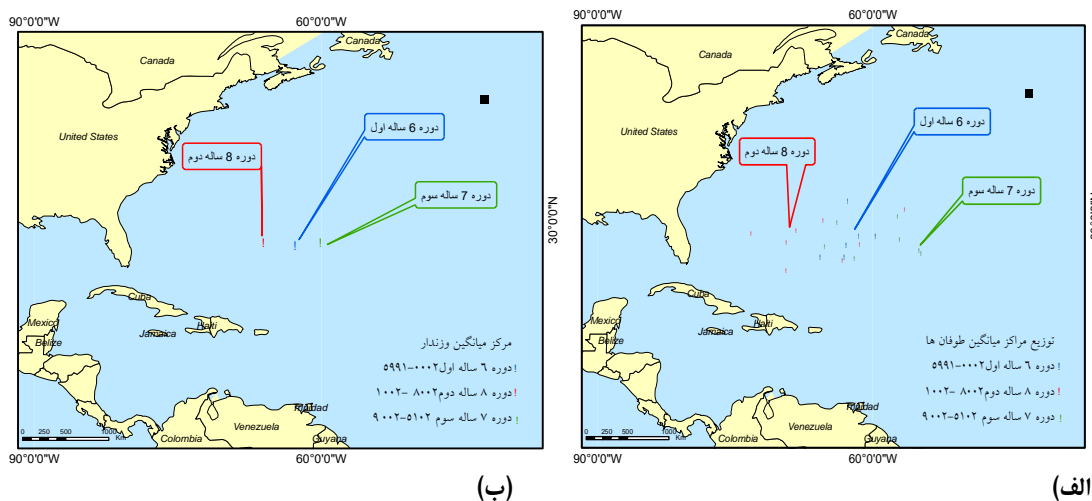
یافته‌ها و بحث

اندازه‌گیری توزیع جغرافیایی داده‌ها (مرکز میانگین طوفان‌ها و تغییرات آن)

در این تحقیق، با توجه به اینکه اهمیت نقطه به نقطه داده‌ها متأثر از سرعت وقوع طوفان در هر ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد به این جهت مرکز میانگین وزن‌دار توصیف بهتری از تمایل مرکزی را ارائه خواهد کرد.

مراکز میانگین وزن‌دار بازه زمانی مورد بررسی طبق رابطه (۱) محاسبه و با توجه به نحوه توزیع این مراکز با در نظر گرفتن حداقل پراکنش مکانی موجود در داده‌ها به سه بخش: دوره اول (۱۹۹۵-۲۰۰۰)، دوره دوم (۲۰۰۱-۲۰۰۸) و دوره سوم (۲۰۰۹-۲۰۱۵) (شکل ۳) (الف)) تقسیم شد. حداقل پراکنش داده‌ها در هر دوره زمانی در نظر گرفته شده است و با توجه به این مسئله که وزن دهی بر اساس سرعت در این محاسبه از اهمیت بالایی برخوردار است.

در ادامه مرکز میانگین طوفان‌های هر دوره مشخص شده، به این صورت که دوره اول در $26^{\circ} 62'$ غربی و $16^{\circ} 27'$ شمالی، دوره دوم $47^{\circ} 65'$ غربی و $40^{\circ} 27'$ شمالی و در دوره سوم $51^{\circ} 59'$ غربی و $33^{\circ} 27'$ شمالی محاسبه شد، که در شکل (۴) قسمت (ب) ارائه شده است. بر این اساس می‌توان گفت در دوره اول تمرکز طوفان‌ها در بخش‌های مرکزی اقیانوس اطلس، در دوره بعد به سمت سواحل آمریکا و در دوره سوم از سواحل فاصله گرفته و به سمت شرق اقیانوس اطلس متمایل می‌شوند.



شکل ۴. (الف) توزیع و دسته‌بندی مراکز میانگین وزن‌دار طوفان‌ها، (ب) مراکز میانگین وزن‌دار طوفان‌ها در سه دوره زمانی مشخص شده

با توجه به اینکه در اکثر مواقع توزیع داده‌ها پیرامون مرکز میانگین کاملاً یکنواخت نمی‌باشد، الگوی داده‌ها انحراف قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به حالت دایره‌ای دارد. بنابراین بیضوی، پراکنش نقاط را به صورت منطقی‌تری نمایش می‌دهد. تغییرات مراکز پرسرعت در یک امتداد بیشتر روی می‌دهد. لذا بیضوی انحراف استاندارد مرتبه یک به صورت مؤثرتری قادر به نمایش پراکنش توزیع سرعت وقوع طوفان‌ها در این سه دوره موردبررسی خواهد بود. حداکثر پراکنش توزیع داده‌ها با محور بزرگ بیضی و بیشینه بعدی با محور کوچک‌تر مشخص می‌شود. مطابق شکل ۵، نتایج به‌دست‌آمده مشخص کرد که در هر سه دوره تحت بررسی، حداکثر پراکنش در جهت شرقی غربی هست. تغییرات مکانی این مراکز ثقل در راستای سامانه‌های عمده طوفان‌ها در این حوزه می‌باشد و کشیدگی این بیضوی‌ها نشان از ناپایداری مکانی مراکز میانگین در راستای شرقی غربی و جابجایی این مراکز در این راستا دارد. در صورت تهیه داده‌های اقلیمی مورد نیاز و مؤثر در شکل‌گیری طوفان‌ها، مانند تغییرات ارتفاعی منطقه، شوری آب، تغییرات دمایی می‌توان به صورت دقیق‌تری به دلایل اقلیمی این کشیدگی پی برد و تحلیل کامل‌تری از این جهت‌گیری ارائه داد.



شکل ۵. موقعیت بیضوی‌های انحراف استاندارد طوفان‌ها در سه دوره زمانی مشخص شده

در روش میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی، فرض صفر به صورت "داده طوفان‌ها به جهت موقعیت و سرعت وقوع به صورت تصادفی در سراسر محدوده مورد مطالعه توزیع شده‌اند" تعریف می‌گردد. به منظور رد یا قبول این فرض بایستی درجه‌ای از ریسکی که با آن این فرض رد و یا تأیید می‌شود نیز در نظر گرفته شود. این درجه ریسک‌پذیری به‌عنوان سطح اطمینان یا مقدار حدی بیان می‌شود. مسئله بعدی در انجام تحلیل، انتخاب نوع فاصله جغرافیایی است که در اینجا از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. پیاده‌سازی بر روی کل بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ انجام گردید و نسبت نزدیک‌ترین همسایگی و امتیاز Z از نوع توزیع فضایی داده‌های هر سال به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده نشانگر الگوی خوشه‌بندی حاکم بر داده‌ها هست. امتیاز استاندارد Z در هر خروجی معرف انحراف معیار، جهت رد یا قبول فرضیه صفری است که در ابتدای کار در نظر گرفته شده بود. مقادیر Z به‌دست‌آمده در کل بازه زمانی در محدوده $Z > -2.58$ قرار داشت و آماره P -value یک‌صدم را نشان می‌دهد. بر این اساس، الگوی طوفان‌ها از الگوی خوشه‌ای با مقدار بالای میانگین نزدیک‌ترین همسایگی به میزان 0.74 و کمینه مقدار 0.47 برخوردار هست. در این شرایط، کمتر از یک درصد احتمال

دارد که این توزیع خوشه‌ای ناشی از یک شانس تصادفی باشد و ۹۵ درصد توزیع خوشه‌ای تصادفی نیست. بنابراین، می‌توان فرض صفر را رد کرد. همچنین مقدار میانگین فاصله مورد مشاهده از مقدار میانگین فاصله مورد انتظار در بازه زمانی تحت بررسی کوچک‌تر بوده که خود گواهی دیگر از الگوی خوشه‌ای طوفان‌ها در منطقه مورد مطالعه به روش میانگین نزدیک‌ترین همسایگی است.

بر اساس تحلیل خودهمبستگی فضایی (شاخص موران)، همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مقدار شاخص موران^۱ بر اساس سرعت طوفان در بازه زمانی مشخص شده نزدیک به عدد یک هست و با توجه به Z-score و P-value، الگوی حاکم بر وقوع طوفان‌ها در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ خوشه‌ای هست.

جدول ۱. گزارش آماری تحلیل خودهمبستگی فضایی آماره موران عمومی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵

الگو	مقدار P	امتیاز Z	انحراف معیار	شاخص مورد انتظار	شاخص موران	سال
خوشه‌ای	0	۲۲	۰/۰۰۰۰۹۷	-۰/۰۰۱۳۴۶	۰/۲۱۴۷۵۹	۱۹۹۵
خوشه‌ای	0	۳۷/۵۹	-۰/۰۰۰۲۱۴	-۰/۰۰۱۹۵۷	۰/۵۴۷۹۴۷	۱۹۹۶
خوشه‌ای	0	۱۲/۱۳	-۰/۰۰۰۸۱۵	-۰/۰۰۵۰۲۵	۰/۳۴۱۳۷	۱۹۹۷
خوشه‌ای	0	۳۱/۴۳	۰/۰۰۰۲۳۸	-۰/۰۰۱۹۳۸	۰/۴۸۲۶۱۷	۱۹۹۸
خوشه‌ای	0	۱۸/۲۸	۰/۰۰۰۲۰۴	-۰/۰۰۲۱۹۳	۰/۲۵۹۱۳۵	۱۹۹۹
خوشه‌ای	0	۲۴/۴۱	۰/۰۰۰۲۵۴	-۰/۰۰۲۲۱۷	۰/۳۸۷۲۲	۲۰۰۰
خوشه‌ای	0	۳۷/۰۱	۰/۰۰۰۱۹۵	-۰/۰۰۲۰۸۸	۰/۵۱۵۰۸۴	۲۰۰۱
خوشه‌ای	0	۳۱/۷۸	۰/۰۰۰۲۶۴	-۰/۰۰۲۵۵۱	۰/۵۱۳۹۰۳	۲۰۰۲
خوشه‌ای	0	۳۲/۰۶	۰/۰۰۰۱۵۹	-۰/۰۰۱۷۳۷	۰/۴۰۲۶۳۹	۲۰۰۳
خوشه‌ای	0	۲۲/۹۲	۰/۰۰۰۱۹۹	-۰/۰۰۱۶۶۴	۰/۳۲۱۵۷۳	۲۰۰۴
خوشه‌ای	0	۴۴/۹۸	۰/۰۰۰۱۱۴	-۰/۰۰۱۱۰۳	۰/۴۷۹۲۹۸	۲۰۰۵
خوشه‌ای	0	۲۹/۳۷	۰/۰۰۰۵۱۳	-۰/۰۰۳۰۲۱	۰/۶۶۲۴۲۱	۲۰۰۶
خوشه‌ای	0	۱۵/۳۰	۰/۰۰۰۱۸۶	-۰/۰۰۲۵۹۷	۰/۲۰۶۲۰۵	۲۰۰۷
خوشه‌ای	0	۲۳/۳۸	۰/۰۰۰۱۹۸	-۰/۰۰۱۸۲۸	۰/۳۲۶۷۷۱	۲۰۰۸
خوشه‌ای	0	۵/۲۷	۰/۰۰۰۵۹۴	-۰/۰۰۲۸۷۶	۰/۱۲۴۴۲	۲۰۰۹
خوشه‌ای	0	۲۷/۴۸	۰/۰۰۰۱۴۶	-۰/۰۰۱۵۲۹	۰/۳۳۱۰۷۳	۲۰۱۰
خوشه‌ای	0	۱۸/۷۰	۰/۰۰۰۱۷۲	-۰/۰۰۱۸۱۵	۰/۲۴۳۳۱۸	۲۰۱۱
خوشه‌ای	0	۳۹/۴۲	۰/۰۰۰۱۲۶	-۰/۰۰۱۵۴۶	۰/۴۴۰۷۵	۲۰۱۲
خوشه‌ای	0	۲۰/۶۸	۰/۰۰۰۴۸۶	-۰/۰۰۲۸۹	۰/۴۵۳۱۳	۲۰۱۳
خوشه‌ای	0	۲۹/۳۸	۰/۰۰۰۴۸۱	-۰/۰۰۳۵۸۴	۰/۶۴۰۴۴۶	۲۰۱۴
خوشه‌ای	0	۲۹/۷۷	۰/۰۰۰۴۴۵	-۰/۰۰۳۰۸۶	۰/۶۲۴۶۵۱	۲۰۱۵

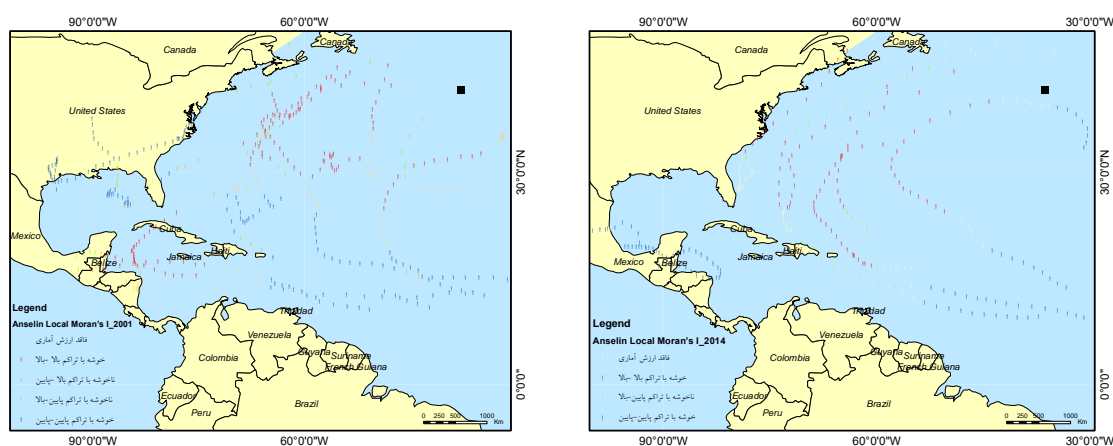
به‌منظور تهیه نقشه خوشه‌ها از تحلیل خوشه و ناخوشه (شاخص موران محلی انسلین)^۲ و لکه‌های داغ استفاده شد. خروجی تحلیل خوشه و ناخوشه جدولی توصیفی است که اطلاعاتی شامل اهمیت آماری خوشه‌بندی، احتمال خطا در رد فرضیه صفر و خوشه‌ها و نا خوشه‌هایی که از ارزش آماری قابل قبولی برخوردار هستند را در بر دارد. ارزش آماری به‌صورت خوشه‌هایی با ارزش بالا (HH) خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد اطمینان، خوشه‌هایی با ارزش پایین (LL) خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد اطمینان و نا خوشه‌هایی که عوارض با ارزش بالا در مجاورت عوارض با ارزش‌های پایین (HL) و ناخوشه با عوارض با ارزش پایین در مجاورت عوارض با ارزش‌های بالا (LH) را در

۱. Moran index

۲. Cluster/Outlier analysis, (Anselin Local Moran's I)

سطح اطمینان ۵ درصد مشخص می‌شوند. با این تحلیل بخش‌هایی از منطقه که دارای پراکنش فضایی مثبت (خوشه‌های بالا-بالا) به عبارتی طوفان با سرعت بالاتر و پراکنش فضایی منفی (خوشه‌های پایین-پایین)، طوفان با سرعت پایین‌تر در بازه زمانی موردبررسی مشخص شد.

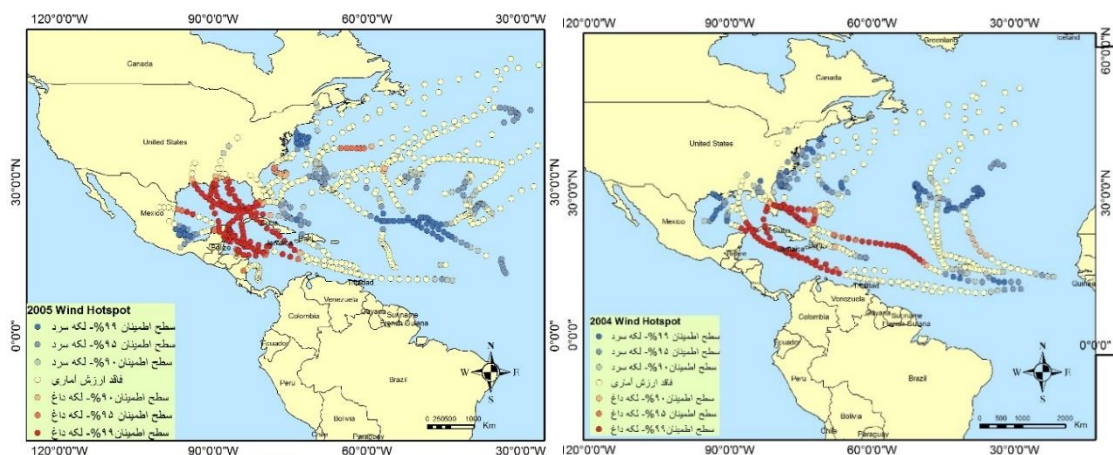
بر این اساس، بالاترین درصد وقوع خوشه‌های بالا-بالا با درصد فراوانی ۳۲/۵ در بازه سرعتی ۱۲۵-۵۰ knot مربوط به سال ۲۰۱۴ می‌باشد. همچنین بالاترین درصد تشکیل خوشه‌های پایین-پایین در سال ۲۰۰۱ با فراوانی ۳۳/۵ و در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ با فراوانی ۳۳/۲ که به‌طور متوسط دربردارنده بازه سرعتی ۴۵-۱۰ knot است، مشاهده گردید. کمترین درصد وقوع خوشه‌های بالا-بالا و پایین-پایین در سال ۲۰۰۹ می‌باشد شکل (۶). سایر مناطق نیز از حیث نقاط بالا-بالا، پایین-پایین، بالا-پایین و پایین-بالا الگوی مشخصی را نشان نداده و از نظر آماری معنی‌دار نبود.



الف
ب
شکل ۶. تحلیل خوشه و ناخوشه با شاخص آماره موران محلی انسلین

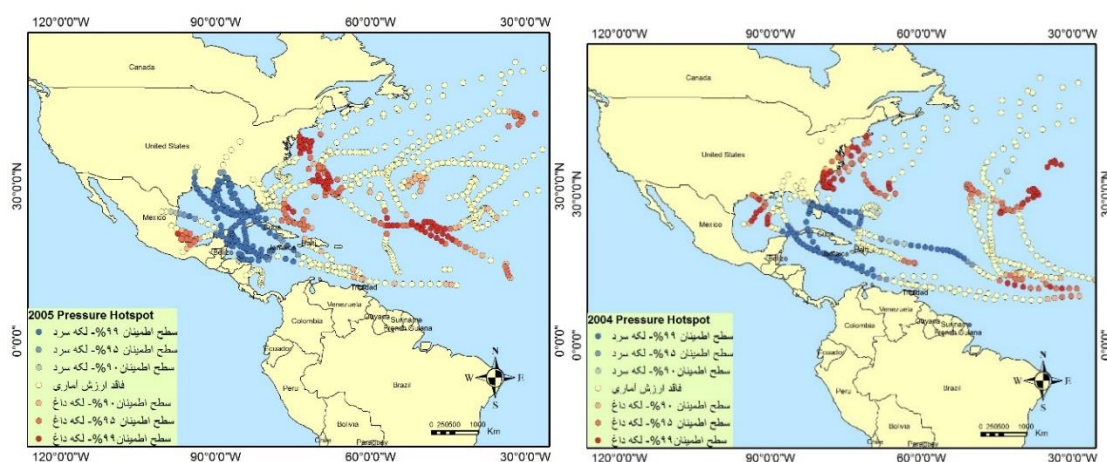
به‌منظور اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های بالا-بالا و پایین-پایین از تحلیل لکه‌های داغ (شاخص GI^*)، استفاده شد. این آماره نوعی امتیاز Z است. برای Z های مثبت و بالاتر از ۲/۵۸ در سطح اطمینان ۹۹ درصد شاهد خوشه‌های داغ خواهیم بود؛ یعنی نواحی که به لحاظ وقوع طوفان‌هایی با سرعت بالا از ارزش آماری بالایی برخوردار می‌باشند. همان‌طور که اشاره شد، لزوماً هر ایستگاه با سرعت بالا در خوشه بالا قرار نمی‌گیرد زیرا در شناسایی این نواحی به همسایگی هر عارضه توجه می‌شود. برای نواحی با امتیاز Z استاندارد منفی کمتر از ۲/۵۸- در سطح اطمینان ۹۹ درصد، لکه‌های سرد، نواحی که طوفان‌هایی با سرعت کمتر را تجربه می‌کنند. این آماره بر روی کل بازه موردبررسی اجرا شد. با توجه به وقوع دو مورد از شدیدترین طوفان‌ها (جین و کاترینا) در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ خروجی این دو سال موردبررسی قرار گرفت. با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده در سال ۲۰۰۴ بیشترین فراوانی لکه‌های داغ که مناطقی می‌باشد که سرعت بالاتری از طوفان را تجربه می‌کنند توزیع این لکه‌های داغ در مجاورت جزایر کارائیب، کشورهای هائیتی، جامائیکا و درنهایت بخش‌هایی از ایالت فلوریدا در آمریکا می‌باشد که با توجه به مسکونی بودن این مناطق اکثر این نواحی متحمل خسارات فراوانی شده‌اند. در الگوی حاکم بر حرکت طوفان در سال ۲۰۰۵ فراوانی لکه‌های داغ در محدوده خلیج مکزیک مشاهده می‌شود و بخش‌های جنوبی ایالت لوئیزیانا که با توجه به مسکونی بودن این مناطق از جمله شهر نتواورلثان متحمل خسارات فراوان شده است. الگوی فشاری حاکم بر منطقه کاملاً در مقابل الگوی سرعتی حاکم بر حرکت طوفان‌هاست. لکه‌های داغ که بیانگر سرعت‌های بالاتر وقوع طوفان می‌باشد را درست در بخش‌هایی از

اقیانوس شاهد هستیم که لکه‌های سرد الگوی فشاری بیانگر نواحی کم‌فشار هستند شکل می‌گیرد. خروجی این تحلیل در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ بر روی نقشه نمایش داده می‌شود. شکل (۷).



(ب)

(الف)

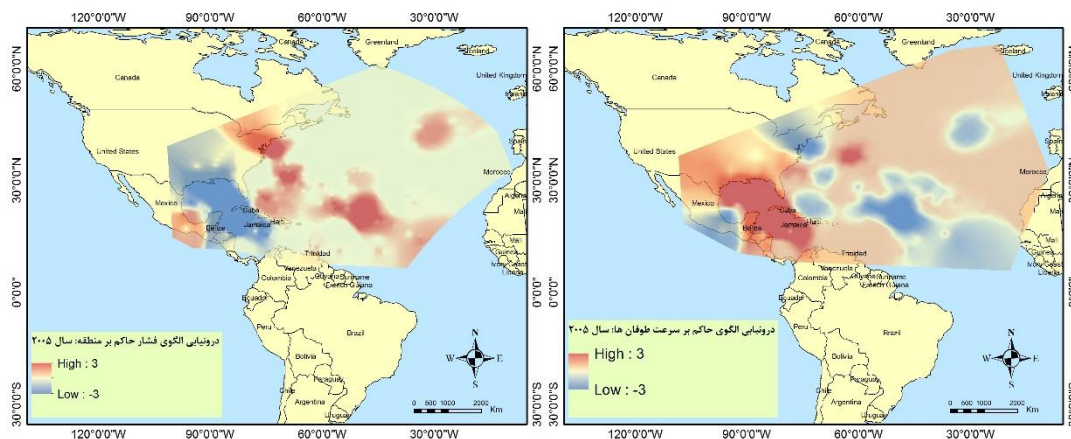


(د)

(ج)

شکل ۷: لکه‌های داغ سرعت در سال الف) ۲۰۰۴ (ب) ۲۰۰۵ و فشار در سال ج) ۲۰۰۴ (د) ۲۰۰۵

جهت بصری سازی بهتر از نتایج آماره لکه‌های داغ و تبدیل به سطوحی هموار و پیوسته با ظاهری زیبا جهت ارائه به مدیران برنامه‌ریز و تصمیم‌گیرنده از روش درون‌یابی IDW استفاده شد. به این ترتیب با توجه به شناسایی لکه‌های داغ و سرد که همراه با ارزش آماری مشخص می‌باشند مناطق مستعد وقوع طوفان با سرعت‌های بالاتر به خوبی مشخص شده و به برنامه‌ریزی‌های مهم جهت آمایش سرزمین کمک خواهد کرد. خروجی مربوط به تحلیل سرعت و فشار در سال ۲۰۰۵ در شکل (۸) آورده شده است.



شکل ۸. درونیابی الگوهای داغ سرعت و فشار طوفان سال ۲۰۰۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌کاوی مکانی و آمار فضایی به شناسایی الگوهای حرکتی طوفان‌ها در اقیانوس اطلس شمالی پرداخته شد. نتایج اولیه حاصل از اندازه‌گیری توزیع داده، احتمال وجود الگو و خوشه در مجموعه داده را نمایش داد. تحلیل‌های تکمیلی نمایانگر این حقیقت بودند که وقوع طوفان‌ها رخدادی تصادفی نیستند، بلکه آن‌ها از الگوهایی پیروی می‌کنند.

در ادامه، به این موضوع پی برده شد که نتایج تحلیل‌های خوشه و ناخوشه و لکه‌های داغ و با در نظر گرفتن همسایگی، صحت نظریه تابلور و قانون اول جغرافیا، که "هر پدیده‌ای با پدیده دیگر در ارتباط است و پدیده‌های نزدیک‌تر شباهت بیشتری به یکدیگر دارند" نزدیک است، (Tobler, 1970:236). نقشه‌های تهیه‌شده در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ نشان‌دهنده چگونگی حرکت و تغییرات الگوهای حاکم بر وقوع طوفان‌ها در این بازه زمانی ۲۱ ساله است. لکه‌های داغ نمایی از نواحی در این محدوده از اقیانوس هستند که سرعت‌های بالاتری از وقوع طوفان‌ها را تجربه می‌کنند. در ادامه با تحلیل لکه‌های داغ فشار مشخص شد این‌ها در بخش‌هایی که لکه‌های سرد سرعت تشکیل شده‌اند شکل گرفته‌اند.

با آگاهی هر چه بهتر از الگوهای حاکم بر رفتار و نحوه حرکت طوفان‌ها در بازه‌های زمانی طولانی‌تر و همچنین شناسایی عوامل تأثیرگذار بر شکل‌گیری و تغییر این الگوها، می‌توان در شرایط و موقعیت مناسب‌تری در جهت کاهش خسارات احتمالی ناشی از وقوع طوفان اقدام نمود. در این راستا، به‌عنوان پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی، می‌توان اثر سایر پارامترهایی چون دما، شوری آب و سامانه‌های گردش عمومی جو که بر توزیع پراکندگی الگوهای سرعتی حاکم بر وقوع طوفان‌های این حوزه از اقیانوس اطلس نقش بسزایی ایفا می‌کنند را در مدل‌سازی و داده‌کاوی طوفان‌ها دخالت داد. بر این اساس، نتایج به‌کارگیری و افزودن این مجموعه داده به واقعیت نزدیک‌تر و کامل‌تر خواهند شد. درنهایت، به‌عنوان یک تحقیق مفید می‌توان از نتایج خوشه‌ها و لکه‌های داغ و سرد در پیش‌بینی حرکت طوفان‌ها در آینده استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) اسمعیل نژاد، مرتضی؛ کریمی، صادق و خبازی، مصطفی. (۱۳۹۸). همدید نگری و پهنه‌بندی فضایی مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۲ (۴۴)، ۹۸-۱۱۸
- ۲) احدنژاد، محسن و حسنعلی زاده، میلاد. (۱۴۰۰). تحلیل اکتشافی الگوی توزیع فضایی فقر قابلیت در شهر نورآباد ممسنی. فصلنامه کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۹ (۲)، ۲۲۵-۲۴۳
- ۳) بازرگان، مهدی و امیرفخریان، مصطفی. (۱۳۹۹). تحلیل جغرافیایی اپیدمیولوژی کووید-۱۹ در ایران با رویکرد تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی (ESDA). نشریه طب نظامی، ۲۲ (۶)، ۵۴۲-۵۵۲
- ۴) بحری، علی و خسروی، یونس. (۱۳۹۷). کاربرد ابزارهای آمار فضایی موجود در نرم‌افزار ArcGIS در علوم محیطی. نشریه مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۹ (۳)، ۳۹-۵۰
- ۵) بهبهانی، حمید؛ عفتی، میثم و مرتضایی، سمانه. (۱۳۹۹). ارزیابی روشی جهت تحلیل شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری مبتنی بر توابع خوشه‌بندی مکانی و داده‌کاوی به روش درخت تصمیم، محور مورد مطالعه: آزادراه قزوین-لوشان. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲ (۶)، ۱۴۳۸-۱۴۱۹
- ۶) پریشان، مجید. (۱۳۹۰). کاهش آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی (زلزله) با استفاده از رویکرد مدیریت ریسک (مورد مطالعه: مناطق روستایی استان قزوین). رساله دکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۷) جوی زاده، سعید و حجازی زاده، زهرا. (۱۳۹۸). تحلیل آمار فضایی خشک‌سالی در ایران. فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۳)، ۲۷۷-۲۵۱
- ۸) حکیم دوست، سیدپاسر؛ رستمی، شاه‌بختی؛ مرادی، محمود و نظری، عبدالمجید. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی پهنه‌های خطرپذیر زیستی و فعالیتی سکونتگاه‌های روستایی مناطق مرزی؛ مطالعه موردی: سکونتگاه‌های روستایی شهرستان هیرمند. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، ۲۵ (۹۹)، ۷۱-۹۲
- ۹) خسروی، محمود و پودینه، محمدرضا. (۱۳۸۹). تحلیلی بر تأثیرات اقلیمی سیکلون حاره‌ای گونو (خرداد ۱۳۸۶) بر جنوب شرق ایران. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۲ (۷۲)، ۷۲-۵۳
- ۱۰) رضوانی، محمدرضا؛ منصوریان، حسین؛ محمودیان زمانه، مهرداد و حیدریان محمدآبادی، راضیه. (۱۳۹۲). تحلیل مکانی بیکاری در نواحی شهری و روستایی ایران با رویکرد تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی. فصلنامه برنامه‌ریزی کالبدی-فضایی، ۳ (۳)، ۳۷-۴۸
- ۱۱) روستایی، شهرپور؛ کریم‌زاده، حسین و رحمتی، خسرو. (۱۳۹۵). تحلیل نابرابری‌های فضایی بر پایه شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و کالبدی در شهرهای میانه اندام؛ مطالعه موردی: شهر میان‌دوآب. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۴ (۳)، ۴۴۹-۴۷۱
- ۱۲) سیف‌الدینی، فرانک و منصوریان، حسین. (۱۳۹۰). تحلیل الگوی تمرکز خدمات شهری و آثار زیست‌محیطی آن در شهر تهران. نشریه محیط‌شناسی، ۳۷ (۶۰)، ۵۳-۶۷
- ۱۳) شفیعی، شکوفه و شیرینی، محمدابراهیم. (۱۳۸۹). مروری بر داده‌کاوی فضایی، فن‌ها و ابزارهای موجود برای آن. چهارمین کنفرانس داده‌کاوی ایران، تهران
- ۱۴) شکوهی، امیرحسین و مینایی، بهروز. (۱۳۸۶). نقش داده‌کاوی GIS در مدیریت بحران، اولین کنفرانس GIS شهری. ۴-۵ شهریور ۱۳۸۶، دانشگاه شمال، آمل، ۹-۱
- ۱۵) صادقی، رسول و شکرپانی، محسن. (۱۳۹۵). تحلیل نوسانات فضایی تأثیر توسعه بر مهاجرت داخلی بین شهرستانی در ایران. توسعه محلی روستایی - شهری (توسعه روستایی)، ۸ (۱۵)، ۲۷۰-۲۴۵
- ۱۶) صلاحی، برومند. (۱۳۸۹). بررسی ویژگی‌های آماری و همدیدی طوفان‌های تندری استان اردبیل. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱۲ (۷۲)، ۱۴۲-۱۲۹
- ۱۷) عزیزی، سجاد و اسماعیلی، علی. (۱۳۹۴). بازشناسی الگوهای ترافیکی با استفاده از داده‌کاوی مکانی زمانی. اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۳۰-۲۹ دی‌ماه ۱۳۹۴، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ۹-۱

- ۱۸) عسگری، علی. (۱۳۹۰). تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS. چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- ۱۹) علوی، سید علی؛ مشکینی، ابوالفضل و ابراهیمی، محمد. (۱۳۹۷). ساماندهی فضایی پایگاه‌های پشتیبانی مدیریت بحران با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره فضایی، مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱ (۳۰)، ۱۲۱-۱۳۴
- ۲۰) فرج‌زاده، رازی و منوچهر، مهین. (۱۳۹۰). بررسی توزیع زمانی مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۲۴ (۲)، ۲۲-۳۳
- ۲۱) فرجی، امین و صحنه، فریبا. (۱۴۰۰). تحلیل فضایی و پهنه‌بندی تاب‌آوری شهری مطالعه موردی: شهر آق‌قلا. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۱ (۴۲)، ۱۰۷-۱۲۵
- ۲۲) فلاحی، علیرضا و صحفی، ندیمه. (۱۳۸۶). فرآیند برنامه‌ریزی بازسازی پس از سانحه در مناطق شهری (مورد مطالعاتی: واحدهای همسایگی در شهر نیواورلئان). *سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران*.
- ۲۳) قویدل رحیمی، یوسف، عباسی، اسماعیل و فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۴). واکاوی سازوکار و مخاطرات توفان حاره‌ای نیلوفر. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۲ (۱)، ۲۲-۳۴.
- ۲۴) محمدی، بیژن و روزی‌طلب، مهین. (۱۳۸۵). راهکارهای قدیمی و جدید مقابله با طوفان. *سومین کنگره بین‌المللی بهداشت، درمان و مدیریت بحران در حوادث غیرمترقبه، تهران*.
- ۲۵) ملکوتی، حسین و علی محمدی، مهریار. (۱۳۹۳). مطالعه حساسیت شدت و مسیر طوفان حاره‌ای گونو به پارامتر سازی‌های شارهای سطحی مدل Advanced Hurricane WRF. *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹، ۹۷-۱۱۲
- ۲۶) مهاجرانی، محمد. (۱۳۸۶). مکان‌یابی پایگاه‌های چندمنظوره پشتیبانی و مدیریت بحران پس از وقوع زلزله با استفاده از GIS مطالعه موردی: منطقه ۱۷ تهران. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه تهران*
- ۲۷) نصیری، ژیللا؛ مدرس خیابانی، فرزین و آذر میرشتربانی، نیما. (۱۴۰۰). ارائه الگوریتم خوشه‌بندی جدید به‌منظور بهره‌وری در عملیات داده‌کاوی مطالعه داده‌های استاندارد یوسی‌آی. *فصلنامه مدیریت بهره‌وری*، ۵۸ (۱۵)، ۱۴۵-۱۶۱

References

- 1) Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27, (3), 93-115.
- 2) Beatty, M. E., Hunsperger, E., Long, E., Schürch, J., Jain, S., Colindres, R., & Clark, G. G. (2007). Mosquitoborne infections after Hurricane Jeanne, Haiti, 2004. *Emerging Infectious Diseases*, 13 (2), 308-310
- 3) Benedet, L., Campbell, T., Finkl, C. W., Stive, M. J., & Spadoni, R. (2005). Impacts of Hurricanes Frances and Jeanne on two nourished beaches along the southeast Florida coast. *Shore & Beach*, 73, (2 & 3), 43-48
- 4) Bennet, L., & Vale, F. (2012). *Spatial Statistics: Simple ways to do more with your Data*. Esri Technical Workshop, 1-155
- 5) Comes, T., & Van de Walle, B. A. (2014). Measuring disaster resilience: The impact of hurricane sandy on critical infrastructure systems. *ISCRAM Conference, 11 May 2014, University Park, Pennsylvania, USA, 190-199*.
- 6) Dodge, S., Weibel, R., & Laube, P. (2009). Exploring movement-similarity analysis of moving objects. *SIGSPATIAL Special*, 1(3), 1-11
- 7) Khosravi Y., Zamani A.A., Parizanganeh A.H., & Yaftian M.R. (2018). Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Regional*, 12, 10-17.
- 8) Lee, I., Cai, G., & Lee, K. (2014). Exploration of geo-tagged photos through data mining approaches. *Expert Systems with Applications*, 41(2), 397-405.
- 9) Mohapatra, M., Srivastava, A.K., Balachandran, S., & Geetha, B. (2016). Inter-annual variation and trends in tropical cyclones and monsoon depressions over the north Indian Ocean. *Observed Climate Variability and Change over the Indian Region*, 89-106.

- 10) Padgett, J., DesRoches, R., Nielson, B., Yashinsky, M., Kwon, O. S., Burdette, N., & Tavera, E. (2008). Bridge damage and repair costs from Hurricane Katrina. *Journal of Bridge Engineering*, 13, (1), 6-14.
- 11) Peng, M. S., Maue, R. N., Reynolds, C. A., & Langland, R. H. (2007). Hurricanes Ivan, Jeanne, Karl (2004) and mid-latitude trough interactions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 97, 221-237.
- 12) Sharif, M., & Alesheikh, A. (2017). Context-awareness in similarity measures and pattern discoveries of trajectories: a context-based dynamic time warping method. *GIS cience & Remote Sensing*, 54, 426-452.
- 13) Scott, L. M., & Rosenshein Bennett, L. (2012). Spatial Pattern Analysis: Mapping Trends and Clusters. *Esri Health GIS Conference, August 20-22, 1-34*.
- 14) Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240
- 15) Vatsavai, R.R., Ganguly, A.R., Chandola, V., Stefanidis, A., & Klasky, S.A; Shekhar.SH. (2012).Spatiotemporal data mining in the era of big spatial data: Algorithms and applications, Big Spatial. *1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data, November 2012, 1-10*
- 16) Wang, D., Ding, W., Lo, H., Stepinski, T., Salazar, J., & Morabito, M. (2012), Crime hotspot mapping using the crime related factors—a spatial data mining approach. *Applied Intelligence*, 39, 772-781.
- 17) Yang, Ruixin., Tang, Jiang., & Sun, Donglian. (2011). Association Rule Data Mining Applications for Atlantic Tropical Cyclone Intensity Changes. *Weather and Forecasting*, 26(3), 337-353
- 18) Zhang, Wei., Gao, Si., Chen, Bin & Cao, Kai. (2013).The application of decision tree to intensity change classification of tropical cyclones in western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 40 (9), 1883-1887
- 19) Ahadnejad, M. & Hasanalizadeh, M. (2021). Exploratory analysis of the spatial distribution pattern of capability poverty in Nourabad Mamasani city. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 9(2), 225-243. [In Persian].
- 20) Alavi, A., Ebrahimi, M., & Meshkini, A. (2019). Spatial Organization Of Crisis Management Supportive Bases By Using Combined Techniques Of Multi-Criteria Decision Making And Gis Analysis, Case Study: Region 18 Of Tehran. *GEOGRAPHICAL PLANING OF SPACE*, 8(30), 121-134. [In Persian].
- 21) Asgari, A. (2011). *Spatial Statistics Analysis with ARC GIS*. First Edition, Tehran: Tehran Municipality Information and Communication Technology Publication. [In Persian].
- 22) Azizi, S., & Esmaeili, A. (2016). Recognition of traffic patterns using spatio-temporal data mining, *1st National Conference on Geospatial Information Technology, 19-20 January 2016, K.N.Toosi University of Technology, 1-9*. [In Persian].
- 23) Bahri, A., & Khosravi, Y. (2018). Application of ArcGIS Spatial Statistical Tools in Environmental Sciences. *Geospatial Engineering Journal*, 9(3), 39-50. [In Persian].
- 24) Bazargan, M. & Amirfakhriyan, M. (2020). Geographical Analysis of COVID-19 Epidemiology in Iran with Exploratory Spatial Data Analysis Approach (ESDA). *Journal of Military Medicine*, 22 (6), 542-552. [In Persian].
- 25) Behbahani, H., Effati, M., & Mortezaei, S. (2020). Providing a Method for Accident Severity Analysis Using Geospatial Clustering Functions and Decision Tree, Case Study: Qazvin-Loshan Freeway. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(6), 1419-1438. [In Persian].
- 26) Esmailnejad, M., Karimi, S., & Khabbazi., M. (2019). Synopsis and spatial zoning of natural hazards (case study: South Khorasan Province). *Physical Geography Quarterly*, 12(44), 98-118. [In Persian].
- 27) Fallahi, A. R., & Sohofy, N. (2007). Post-disaster reconstruction planning process in urban areas (case study: neighborhood units in New Orleans City). *3rd International Conference on Integrated Natural Disaster Management, Tehran, Iran*. [In Persian].
- 28) Faraji, A. & Sahneh, F. (2022). Spatial Analysis and Urban Resilience Zoning of Aq Qala City (with emphasis on Flood Crisis). *Journal of Geographical Planning of Space*, 11(42), 107-125. [In Persian].
- 29) Farajzadeh, M., & Mahin, R. (2011). The Study of Temporal and Spatial Distribution of Storms and Severe Winds in Iran. *Watershed Management Research*, 24 (91), 22-32. [In Persian].
- 30) Ghavidel Rahimi, Y., Abbasi, E., & Farajzadeh, M. (2015). Analysis of the dynamism and Hazards of Nilofar Tropical Storm. *Environmental Hazards Management*, 2(1), 21-34. [In Persian].
- 31) Hakimdoost, S. Y., Rostami, Sh., Moradi, M., & Nazari, A. (2016). Spatial analysis of hazardous

- inhabited and operational zones of rural settlements in border regions Case study: Rural settlements in the city of Hirmand. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(99), 71-92. [In Persian].
- 32) Javizadeh, S. & Hejazizadeh, Z. (2019). Analysis of Drought Spatial Statistics in Iran. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(53), 251-277. [In Persian].
 - 33) Khosravi, M. & Poodineh M.R. (2010). A Survey on Climatic Impacts of Gonu Tropical Cyclone (June2007) in Southeast of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 42 (72), 53-72. [In Persian].
 - 34) Malakooti, H., & Ali Mohammadi, M. (2014). Sensitivity Study of Gonu Cyclonic Storm Intensity and Track to Surface Exchanges Parameterization: Advanced Hurricane WRF Model Application. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 3 (9), 97-112. [In Persian].
 - 35) Mohajerani, M. (2007). *Locating the multi-purpose support and crisis management bases after the earthquake using GIS, Case Study: Region 17 Of Tehran*. Master of thesis on urban and regional planning, University of Tehran. [In Persian].
 - 36) Mohammadi, B. & Roozitalab, M. (2006). Old and new ways to deal with storms. *3rd International Congress on Health, Medication and Crisis Management in Disaster, Tehran, Iran* [In Persian].
 - 37) Nasiri, J., Modarres Khiabani, F. & Azarmir Shotorbani, N. (2021). A New Clustering Algorithm for Productivity in Data Mining: The Case of UCA Data. *Journal of Productivity Management*, 15 (58), 145-161. [In Persian].
 - 38) Parishan, M. (2011). *Reducing the Vulnerability of Natural Hazards (earthquakes) using the risk management approach (case study: rural areas of Qazvin province)*. Ph.D thesis on Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University. [In Persian].
 - 39) Rezvani, M., Mansourian, H., Mahmoudian Zamaneh, M., & Heydarian Mohammadabadi, R. (2013). Spatial analysis of unemployment in Urban and Rural Areas in Iran With exploratory Spatial Data Analysis Approach. *Journal of Physical Development Planning*, 1(3), 37-43. [In Persian].
 - 40) Roustaie, Sh., Karimzadeh, H. & Rahmati, K. (2016). Analysis Of Spatial Inequalities Based On Social, Economic And Physical Indices In Medium-Sized Cities (Case Study: Miyandoab City). *GEOGRAPHICAL URBAN PLANNING RESEARCH*, 4 (3), 449-471. [In Persian].
 - 41) Sadeghi, R. & Shokryani, M., (2016). Spatial analysis of the development impact on internal migration -between counties- in Iran. *Community Development (Rural and Urban Communities)*, 8 (2), 245-270. [In Persian].
 - 42) Shafiei, Sh. & Shiri, M. E. (2010). An overview of spatial data mining, techniques and tools available for it. *4th Iran data mining conference, Tehran*, 1-16. [In Persian].
 - 43) Salahi, B. (2010). Statistical and Synoptic Analysis of Characteristics of Thunderstorms in Ardabil Province. *Journal of Natural Geography Research*, 42(72), 129-142. [In Persian].
 - 44) Shokuhi, A. H. & Minaei, B. (2007). The role of GIS data mining in crisis management. *1st Conference of Urban GIS, 26-27 August 2007, Shomal University, Amol*, 1-9. [In Persian].
 - 45) Seifoddini, F. & Mansourian, H. (2012). Pattern of Urban Services Concentration and Its Environmental Impacts on Tehran City. *Journal of Environmental Studies*, 37 (60), 53-67. [In Persian].