



# Prediction and spatiotemporal analysis of atmospheric Fine Particles and their effect on temperature and vegetation cover in Iran using Exponential Smoothing approach in Python

Faezeh Borhani<sup>1</sup> | Amir Houshang Ehsani<sup>2✉</sup> | Helia Sadat Hosseini Shekarabi<sup>3,4</sup>

1. Department of Civil-Environmental Engineering, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [fborhani78@ut.ac.ir](mailto:fborhani78@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Civil-Environmental Engineering, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [ehsani@ut.ac.ir](mailto:ehsani@ut.ac.ir)
3. Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [h.hosseini.sh@gmail.com](mailto:h.hosseini.sh@gmail.com)
4. Head of the General Department of Environment and Sustainable Development, Deputy of Municipal Services and Environment of Tehran Municipality, Tehran, Iran.

---

## Article Info

### Article type:

Research Article

### Article history:

Received 12 October 2022

Received in revised form 23

November 2022

Accepted 27 November 2022

Published online 22 June 2023

### Keywords:

*Temperature,*

*Atmospheric fine particles (PM<sub>2.5</sub>),*

*Normalized difference vegetation index (NDVI),*

*Exponential Smoothing.*

## ABSTRACT

A relatively accurate prediction of the concentration of pollutants and environmental variables, short-term and long-term, is an important step in reducing the damage caused by poor air quality. In this study, first by spatiotemporal analysis and then, using prediction techniques, to predict the concentration of fine atmospheric particles (PM<sub>2.5</sub>), temperature and vegetation cover index (NDVI) on the trend of PM<sub>2.5</sub> in a period of 5 years (2017-2022) was discussed at the level of Iran. The data of PM<sub>2.5</sub> concentration, temperature and vegetation index were extracted based on MERRA-2, FLDAS and MODIS satellite models. In the five-year study period, a somewhat downward trend was observed for the air concentration of PM<sub>2.5</sub>. The results showed the lowest annual average concentration of fine atmospheric particles in 2019 and 2020. Also, a strong correlation between PM<sub>2.5</sub> concentration and temperature was obtained. The highest average concentration of PM<sub>2.5</sub> occurred in the northwest, west, and southwest of Iran. In the next step, in order to predict the future concentration of PM<sub>2.5</sub> air particles, temperature and vegetation index, the Exponential Smoothing approach was used in the Python statistical library (Statsmodels) to model monthly time series. Evaluation of the models with two criteria of root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) was done to minimize the estimation error and find the most suitable model among the eleven predicted models. The results show that double exponential smoothing models are more suitable for predicting PM<sub>2.5</sub> concentration and triple exponential smoothing models with Holt-Winter trend are more suitable for predicting temperature and NDVI data. This study can help public and private institutions to better understand economic, health and environmental condition affected by air pollution effects by predicting the period when air pollution levels may be particularly high.

---

**Cite this article:** Borhani, F., Ehsani, A.H., & Sadat Hosseini Shekarabi, H. (2023). Prediction and spatiotemporal analysis of atmospheric Fine Particles and their effect on temperature and vegetation cover in Iran using Exponential Smoothing approach in Python. *Journal Natural Environment*, 76 (2), 325-344. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.354696.2521>





انتشارات دانشگاه  
تهران

مجله زیست طبیعی

شماره الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: <https://jne.ut.ac.ir/>

## پیش‌بینی و تحلیل مکانی-زمانی ذرات ریز جوی و اثرپذیری آن از دما و پوشش گیاهی در سطح ایران با استفاده از رویکرد هموارسازی نمایی در پایتون

فائزه برهانی<sup>۱</sup> | امیر هوشنگ احسانی<sup>۲</sup> | حلیا سادات حسینی شکرابی<sup>۳</sup> و<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [fborhani78@ut.ac.ir](mailto:fborhani78@ut.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [ehsani@ut.ac.ir](mailto:ehsani@ut.ac.ir)
۳. دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: [h.hosseini.sh@gmail.com](mailto:h.hosseini.sh@gmail.com)
۴. سرپرست اداره کل محیط زیست و توسعه پایدار، معاونت خدمات شهری و محیط زیست شهرداری تهران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	پیش‌بینی نسبتاً دقیق غلظت آلاینده‌ها و متغیرهای محیط زیستی کوتاه‌مدت و بلندمدت، گام مهمی در کاهش آسیب‌های ناشی از کیفیت پایین هوا می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا به تحلیل مکانی-زمانی و سپس با استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی، به پیش‌بینی غلظت ذرات ریز جوی (PM <sub>2.5</sub> )، دما و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بر روند PM <sub>2.5</sub> در دوره زمانی ۵ ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۶) در سطح کشور ایران پرداخته شده است. داده‌های غلظت ذرات ریز جوی PM <sub>2.5</sub> ، دما و شاخص پوشش گیاهی بر مبنای مدل‌های ماهواره‌ای MODIS و FLDAS، MERRA-2 استخراج شده است. در دوره پنج ساله مطالعاتی، یک روند تا حدودی نزولی برای غلظت هوای PM <sub>2.5</sub> مشاهده گردید. نتایج کمترین میانگین سالانه غلظت ذرات ریز جوی را در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ نشان داد. همچنین یک همبستگی قوی بین غلظت PM <sub>2.5</sub> و دما به‌دست آمد. بیشترین میانگین غلظت PM <sub>2.5</sub> در شمال غربی، غرب و جنوب غرب ایران رخ داده است. در مرحله بعد، برای پیش‌بینی وضعیت غلظت آبی ذرات ریز جوی PM <sub>2.5</sub> هوا، دما و شاخص پوشش گیاهی از رویکرد هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) در کتابخانه آماری پایتون (Statsmodels) برای مدل‌سازی سری‌های زمانی ماهانه استفاده شد. ارزیابی مدل‌ها با دو معیار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تعیین (R <sup>2</sup> ) به‌منظور حداقل نمودن خطای برآورد و یافتن مناسب‌ترین مدل از میان یازده مدل پیش‌بینی شده انجام شد. نتایج حاصل بیانگر آن است که مدل‌های هموارسازی نمایی دوگانه برای پیش‌بینی غلظت PM <sub>2.5</sub> و مدل‌های هموارسازی نمایی سه‌گانه با روند Holt-Winter برای پیش‌بینی داده‌های دما و NDVI مناسب‌تر است. این مطالعه می‌تواند به درک بهتر اثرات اقتصادی، بهداشتی و محیط زیستی متأثر از آلودگی هوا با پیش‌بینی دوره‌ای که سطوح آلودگی هوا ممکن است به‌ویژه بالا باشد، برای برنامه‌ریزی بهتر به مؤسسات دولتی و خصوصی کمک نماید.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱	
کلیدواژه‌ها: دما، ذرات ریز جوی، شاخص پوشش گیاهی، هموارسازی نمایی.	

استاد: برهانی، فائزه؛ احسانی، امیر هوشنگ؛ و سادات حسینی شکرابی، حلیا (۱۴۰۲). پیش‌بینی و تحلیل مکانی-زمانی ذرات ریز جوی و اثرپذیری آن از دما و پوشش گیاهی در سطح ایران با استفاده از رویکرد هموارسازی نمایی در پایتون. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۲)، ۳۲۵-۳۴۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.354696.2521>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

کاهش مضرات ناشی از آلودگی هوا نیازمند ارزیابی دقیق میزان آلودگی و پارامترهای مؤثر بر آن است (Borhani and Noorpoor, 2020). امروزه پیش‌بینی مقادیر متغیرهای محیط زیستی نقش مهمی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان محیط زیستی دارد و روش‌های متنوعی برای پیش‌بینی متغیرهای محیط زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند که شاید بسیار دقیق بودن میزان پیش‌بینی در برخی موارد از اهمیت چندانی برخوردار نباشد ولی مسلماً پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت برای بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از مشکلات محیط زیستی در مناطق غربی ایران فعالیت طوفان‌های گرد و غبار و ریزگردها در اتمسفر شهرها است (Cheraghi and Borhani, 2016a,b; Borhani et al., 2016; Borhani et al., 2017; Hoveidi et al., 2017; Drack and Vázquez, 2018; Khan and Strand, 2018; Modarres and Sadeghi, 2018; Maddah et al., 2022; Mousavi et al., 2023). ذرات معلق از جمله شاخص‌های آلودگی هوا می‌باشند که علاوه بر مشکلات سلامتی برای انسان‌ها بر روی مقدار تابش خورشید به زمین و تغییر سیستم زمین و جو، تغییر دمای سطحی زمین و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارند (Holmes and Miller, 2004). تخریب پوشش گیاهی میزان فعالیت طوفان‌های شن و گرد و غبار و غلظت ذرات معلق هوا بر فراز بسیاری از شهرهای بیابانی ایران افزایش یافته و برعکس ازدیاد پوشش گیاهی موجب کاهش غلظت این آلاینده‌ها شده است (Ebrahimikhusfi and Dargahian, 2018).

ذرات  $PM_{2.5}$  از گونه‌های مختلف آئروسول از جمله سولفات، کربن سیاه، نمک دریا، گرد و غبار و کربن آلی تشکیل شده است. این آلاینده‌ها در مجموع به‌عنوان عوامل اقلیمی کوتاه مدت SLCFs<sup>1</sup> شناخته شده است (Shine et al., 2007; Randall et al., 2008; Baker et al., 2015; Gao, 2015; Retama et al., 2015; Rogelj et al., 2015; Stohl et al., 2015; Allen et al., 2016; Borhani et al., 2023a). مطالعات نشان داده است که قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض آلاینده‌های هوا (از جمله گرد و غبار، کربن سیاه و سولفات) با افزایش خطر ابتلا به عفونت COVID-19 مرتبط است (Sanita di Toppi et al., 2020; Zou et al., 2020; Wu et al., 2020; Yongjian et al., 2020; Borhani et al., 2021).

در رابطه با تحقیق حاضر مطالعات موردی و جزئی انجام شده است که به چند مورد از آن‌ها می‌توان اشاره کرد. Shamsavani و همکاران (۲۰۱۲) روند گرد و غبار ورودی به ایران با تأکید بر استان‌های غربی کشور را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین تعداد روزهای گرد و غباری در سال ۱۳۸۷ در استان کرمانشاه، به تعداد ۱۰۷ روز و در سال ۱۳۸۸ در استان خوزستان به تعداد ۱۰۲ روز رخ داده است. همچنین غلظت ذرات در روزهای گرد و غباری نسبت به روزهای عادی در کلیه استان‌های درگیر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. Jalali و همکاران (۲۰۱۷) به شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد استقرار طوفان‌های شدید و بسیار شدید حامل گرد و غبار در بین‌النهرین در فراوانی گرد و غبار جنوب و جنوب غرب ایران اثر دارد. Sobhani و همکاران (۲۰۲۰) در یک دوره مطالعاتی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۰) انتشار گرد و غبار در غرب ایران را بررسی کردند. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی-مصنوعی RBF گرد و غبار برای سال‌های آتی را مورد پیش‌بینی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی ایران بیشتر در معرض گرد و غبار در سال‌های آینده قرار می‌گیرد. Borhani و همکاران (۲۰۲۲a) تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ ) و تأثیر شرایط هواشناسی (رطوبت نسبی و سرعت باد) را بر روند  $SO_2$  در تهران برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ مطالعه کردند. برای پیش‌بینی وضعیت غلظت آتی  $SO_2$ ،  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$ ، از رویکرد Box-Jenkins ARIMA برای مدل‌سازی سری‌های زمانی ماهانه استفاده کردند که در نهایت به این نتیجه رسیدند که اثر ترکیبی ذرات ریز جوی و رطوبت نسبی با افزایش نقش دی‌اکسید گوگرد بر نقش کاهش سرعت باد غلبه کرده است. همچنین در مطالعه آن‌ها بالاترین میانگین غلظت ماهانه  $PM_{2.5}$  در سال ۲۰۱۷ (۵۲/۸۱ میکروگرم در مترمکعب) و کمترین آن در سال ۲۰۱۹ (۱۷/۰۰ میکروگرم در مترمکعب) گزارش شد. در نهایت این مطالعه، با توجه به اینکه در زمینه پیش‌بینی و تحلیل مکانی-زمانی ذرات ریز جوی و اثرپذیری آن از دما و پوشش گیاهی در سطح ایران با استفاده از روش‌های هموارسازی نمایی در پایتون اطلاعات

<sup>1</sup>Short-lived climate forcers



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

بسیار کمی وجود دارد، انجام شد. بنابراین، هدف از این تحقیق پیش‌بینی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی سالانه غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، دما و پوشش گیاهی و تعیین نقش متغیرهای محیطی در دامنه و توزیع غلظت این ذرات در فصول مختلف است. در گام اول، غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، دما و پوشش گیاهی در سطح کشور ایران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ جمع‌آوری و محاسبه گردید. سپس، میزان غلظت آلاینده‌ها و روند تغییرات آن‌ها، دوره تغییرات فصلی و میانگین کلی سالانه، در طول دوره مطالعه محاسبه شد. در گام دوم، اثرات دما و میزان پوشش گیاهی بر غلظت‌های ذرات ریز جوی مورد بررسی قرار گرفت. گام سوم، وابستگی غلظت ذرات ریز جوی با دما و پوشش گیاهی براساس مقادیر میانگین ماهانه و همبستگی‌های حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام چهارم، پیش‌بینی میزان غلظت‌های ذرات ریز جوی در ده ماه سال آتی (۱۴۰۱) با کمک روش‌های هموارسازی نمایی (با خانواده ES یا Exponential Smoothing) در زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام شد. در نهایت، نقش میزان آلودگی ناشی از ذرات موجود در جو در تغییر اقلیم در سطح کشور ایران مورد بررسی و پیش‌بینی قرار گرفت.

## روش‌شناسی پژوهش

**منطقه مورد مطالعه:** کشور ایران در غرب آسیا و در منطقه خاورمیانه واقع شده است. این کشور با مساحت ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر مربع، دومین کشور بزرگ خاورمیانه با جمعیت ۸۵/۰۳ میلیون نفر و دارای ۳۱ استان است. این کشور بر روی مختصات جغرافیایی ۳۲/۴۲۷۹ درجه شمالی و ۵۳/۶۸۸۰ درجه شرقی واقع شده است. کشور ایران از شمال با آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان و دریای خزر، از شرق با پاکستان و افغانستان، از جنوب با خلیج فارس و دریای عمان و از غرب با ترکیه و عراق همسایه است. میانگین سالانه بارندگی، دما و ارتفاع در ایران به ترتیب ۲۴۶ میلی‌متر، ۱۸/۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. با توجه به کمی بارش، بخش‌های وسیعی از ایران در قلمرو آب و هوای خشک جهان قرار گرفته است و از پوشش گیاهی ممتدی برخوردار نیست. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

**روش جمع‌آوری داده‌ها:** در این مطالعه، مدل‌سازی مکانی-زمانی پراکنش ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ ) و رابطه آن‌ها با عوامل اصلی زمینی (تغییرات دما و شاخص پوشش گیاهی (NDVI)) در سطح کشور ایران بر پایه پورتال جیووانی ناسا از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (۶۰ ماه) مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از منابع اصلی اطلاعات ماهواره‌ای، سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا، NASA است (Giovanni, 2022). تمامی این متغیرها در بازه زمانی مدنظر استخراج و پس از اعمال تغییرات اولیه، تجمیع و

جدول ۱. مشخصات داده‌های مدل ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه

متغیر	واحد	پروژه	مدل	نسخه	پوشش زمانی	شدت فضایی (درجه)	شدت زمانی
دما (T)	کلون (K)	FLDAS	NOAH	V001	تا به امروز	۰/۰۱ × ۰/۰۱	۲۰۰۰/۱۰/۰۱
ذرات ریز جوی (PM <sub>2.5</sub> )	کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m <sup>3</sup> )	MERRA-2 <sup>۱</sup>	M2TMNXAER	V5.12.4	تا به امروز	۰/۵ × ۰/۶۲۵	۱۹۸۰/۰۱/۰۱
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	بدون بعد	MODIS	Aqua	V006	تا به امروز	۰/۰۵ × ۰/۰۵	۲۰۰۲/۰۷/۰۱

حذف مقادیر تعریف نشده برای مراحل بعدی یعنی آنالیز اولیه به همراه نقشه‌های پهنه‌بندی آماده شده است. خلاصه مشخصات داده‌های مدل ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

**پوشش گیاهی:** شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI)<sup>۲</sup> پرکاربردترین شاخص پوشش گیاهی در سنجش از دور است. این شاخص نشان‌دهنده فعالیت فتوسنتز و تولید اولیه بالای زمین است (Rouse et al., 1974; Tucker et al., 2005). در این تحقیق از وبسایت جیووانی برای دریافت داده‌های پوشش گیاهی استفاده شده است (Giovanni, 2022).

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، NIR، تابش نزدیک مادون قرمز و VIS، تابش طول موج مرئی است. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است. پوشش گیاهی اصلی در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود جنگل‌های همیشه سبز در شمال، مراتع و زمین‌های کشاورزی در شمال غرب، شمال شرق، غرب و جنوب غرب در شمال و غرب ایران مشاهده شده است. در میان فصول مختلف، با توجه به اقلیم و پوشش گیاهی خاص در ایران، فصل بهار بالاترین وسعت پوشش گیاهی را دارد. می‌توان وجود جنگل متمرکز در شمال، مراتع و زمین‌های کشاورزی وسیع در شمال غرب، شمال شرق، غرب و جنوب غرب کشور را علت آن دانست. با شروع فصول سرد (پاییز و زمستان)، پوشش گیاهی کاهش یافته و به کمترین میزان خود رسیده است که دلیل آن از بین رفتن برگ‌ها و برداشت محصول است.

### مدل پیش‌بینی

**روش‌های هموارسازی نمایی در پایتون (Exponential Smoothing Methods on python):** منظور از هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) استفاده از عملگر میانگین متحرک (Moving Average) با وزن‌هایی است که به صورت نمایی از نقطه شروع کاهش پیدا کرده است. این نمونه از هموارسازی، هموارسازی نمایی سری زمانی میانگین متحرک (Exponentially Weighted Moving Average) یا EWMA نامیده شده است. روش هموارسازی نمایی یک روش قدرتمند برای پیش‌بینی سری‌های زمانی است. این روش مناسب پیش‌بینی تنها یک متغیر است و نمی‌تواند همزمان چند متغیر را پیش‌بینی کند. این روش می‌تواند به خوبی اجزای یک سری زمانی از قبیل سطح، روند، و جز فصلی را استخراج و پیش‌بینی کند. روش هموارسازی نمایی مانند دیگر روش‌های پیش‌بینی از یک مجموعه‌ای از مشاهدات قبلی یا تأخیر برای پیش‌بینی مشاهدات بعدی استفاده کرده است. تنها تفاوت در این است که این روش برای مشاهدات قبلی یک وزن نمایی کاهشی در نظر گرفته است. در نتیجه هر چه در راستای زمان به عقب حرکت کند تأثیر داده‌های قبلی به صورت تصاعدی کم شده است.

**هموارسازی نمایی منفرد یا تکی (Single Exponential Smoothing):** این روش ساده‌ترین روش از خانواده هموارسازی نمایی است به همین دلیل به نام هموارسازی نمایی ساده نیز معروف است. در این روش تنها سطح داده‌ها در نظر گرفته

<sup>۲</sup>Normalized Difference Vegetation Index

شده است و برای داده‌هایی به‌جز روند و فصلی مناسب نیست. این روش تنها یک پارامتر آلفا ( $\alpha$ ) دارد که به ضریب هموارسازی معروف است. آلفا می‌تواند بین ۰ تا یک لحاظ گردد. هر چه مقدار آلفا کمتر باشد یا به‌عبارت دیگر نزدیک به صفر باشد، مدل از داده‌های بیشتری از گذشته تأثیر می‌پذیرد تا پیش‌بینی‌های آینده را انجام دهد. برعکس، هر چه آلفا بزرگتر باشد یعنی نزدیک به یک باشد، مدل از داده‌های اخیر، بیشتر برای پیش‌بینی استفاده کرده است. در نتیجه به حالت اول یادگیری کند، به‌دلیل استفاده از داده‌های بیشتر و به روش دوم یادگیری سریع، به‌دلیل استفاده از داده‌های کمتر می‌گویند. هموارسازی نمایی اساسی (ساده یا تکی) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)s_{t-1} = s_{t-1} + \alpha(x_t - s_{t-1}) \quad \text{رابطه ۲}$$

$\alpha$ ، ضریب عامل هموارسازی و  $0 \leq \alpha \leq 1$ ، به‌عبارت دیگر، آمار هموار شده  $s_t$  یک میانگین وزنی ساده از مشاهدات فعلی  $x_t$  و آماره هموار قبلی  $s_{t-1}$  است.

**هموارسازی نمایی دوگانه یا دوتایی (Double Exponential Smoothing):** این روش یک روش توسعه‌یافته از روش ساده است. در این حالت علاوه بر سطح داده‌ها، روند داده‌ها نیز در پیش‌بینی لحاظ شده است. این کار به کمک یک پارامتر اضافه به نام بتا ( $\beta$ ) صورت پذیرفته است. از آنجایی که جز روند می‌تواند حالات مختلفی به‌خود بگیرد برای بهبود پیش‌بینی دو حالت کلی برای آن در نظر گرفته شده است. روش اول روند افزایشی یا خطی است. در این حالت فرض شده است که روند داده‌ها به‌صورت خطی از یک گام به گام بعدی تغییر کرده است. این روش به روش Holt's linear trend معروف است. روش دوم روند ضربی یا نمایی است. در این حالت فرض شده است که روند داده‌ها به‌صورت تصاعدی یا نمایی از یک گام به گام بعدی تغییر کرده است. این روش به نام Exponential trend نیز معروف است. وقتی بخواهیم گام‌های بیشتری را به‌صورت چند مرحله‌ای پیش‌بینی کنیم ممکن است جز روند مدل بیش از حد داده‌های پیش‌بینی را تحت تأثیر قرار دهد در نتیجه باید این تأثیر را کنترل کرد. این کار با یک پارامتر اضافه به نام فی ( $\phi$ ) که خود می‌تواند به‌صورت افزایشی یا ضربی تعریف شود، انجام شده است. این پارامتر که به ضریب میرایی (Damping coefficient) معروف است از افزایش یا کاهش بیش از حد داده‌ها توسط پارامتر روند جلوگیری کرده است. هموارسازی نمایی دوتایی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_0 = x_0 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$b_0 = x_1 - x_0 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$t > 0$$

$$s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \quad \text{رابطه ۵}$$

$$b_t = \beta (s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه‌های بالا،  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )، عامل هموارسازی داده‌ها و  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ )، عامل هموارسازی روند و  $b_t$  بهترین برآورد ما از روند در زمان  $t$  است.

**هموارسازی نمایی سه‌گانه یا سه‌تایی (Triple Exponential Smoothing):** حالت توسعه‌یافته‌تر مدل‌های خانواده هموارسازی نمایی گونه‌ای است که توانایی پیش‌بینی‌های سری‌های زمانی با جز فصلی را نیز دارد. این روش که به هموارسازی سه‌تایی معروف است علاوه بر پارامتر جز سطح یعنی آلفا و پارامتر جز روند یعنی بتا، پارامتر دیگری نیز دارد که با گاما ( $\gamma$ ) نمایش داده شده است و وظیفه آن تعیین تأثیر جز فصلی داده‌ها در مدل است. این روش معروف به روش Holt-Winters Exponential Smoothing است. مانند جز روند برای جز فصلی نیز می‌توان دو حالت کلی افزایشی یا ضربی را در نظر گرفت. روش هموارسازی نمایی Holt-Winter به مدل اجازه داده است که هر سه جز داده یعنی سطح، روند و فصلی در طول زمان تغییر پیدا کند. این مدل یک پیکربندی کامل است که می‌تواند هر سه روش تکی، دوتایی و سه‌تایی را در خود لحاظ کند. از آنجا که جز فصلی دارای یک دوره زمانی است برای اجرای صحیح مدل، دوره به مدل به‌عنوان یک پارامتر تعریف شده است. هموارسازی نمایی سه‌گانه با فصلی ضربی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:



جدول ۲. چهار روش پیش‌بینی با خانواده سه‌تایی Holt-Winter

اسم مدل	جز روند	جز فصلی	اعمال تبدیل Box-Cox	اعمال میرایی
Boxcox-add	افزایشی	افزایشی	بله	خیر
Boxcox-mul	افزایشی	ضربی	بله	خیر
Damped-add	افزایشی	افزایشی	بله	بله
Damped-mul	افزایشی	ضربی	بله	بله

$$s_0 = x_0 \quad \text{رابطه ۷}$$

$$s_t = \alpha \frac{x_t}{c_t - L} + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$c_t = \gamma \frac{x_t}{s_t} + (1 - \gamma)c_{t-L} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$F_{t+m} = (s_t + mb_t)c_{t-L+1+(m-1) \bmod L}, \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در رابطه‌های بالا،  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) عامل هموارسازی داده‌ها،  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) عامل هموارسازی روند و  $\gamma$  ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ) عامل هموارسازی تغییرات فصلی است.

### روش اجرای مدل پیش‌بینی با زبان برنامه‌نویسی پایتون:

برنامه‌نویسی پایتون استفاده شده است. پایتون، زبانی قدرتمند، چندمنظوره و شی‌گرا است که با کتابخانه‌ها و چارچوب‌های کامل و جامع می‌تواند اکثر نیازهای برنامه‌نویسان را برطرف کند. معروف‌ترین کتابخانه آماری پایتون، کتابخانه Statsmodels است که به کمک آن پیکریندی‌های مدل انجام شده است. به‌طور کلی در این پژوهش، هر سه روش خانواده هموارسازی نمایی استفاده شده است. یازده مدل برای پیش‌بینی ماه‌های آتی استفاده شده است از این یازده مدل، ۴ مدل مربوط به خانواده تکی است. در حالت اول مقدار آلفا برابر با ۰/۲ است تا میزان تأثیر داده‌های گذشته بیشتر لحاظ گردد. حالت بعد آلفا ۰/۸ قرار داده شده است تا میزان داده‌های اخیر بیشتر لحاظ گردد. در حالت سوم مقدار میانی، یعنی ۰/۵ برای آلفا در نظر گرفته شده است. در حالت آخر نیز به کمک آرگومان Initialization\_method پیش‌بینی مقدار آلفا به‌خود روش واگذار شده است که مقدار برآورد شده در عنوان ستون مربوطه در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است. در حالت بعدی از خانواده دوتایی کمک گرفته شده است. سه حالت کلی Holt's linear trend، Exponential trend و Additive damped trend در نظر گرفته شده که در هر سه حالت پارامتر آلفا برابر با ۰/۲ و پارامتر بتا برابر با ۰/۸ است. در چهار مدل باقی‌مانده از خانواده سه‌تایی یعنی Holt-Winter کمک گرفته شده است. یافتن مقادیر مناسب پارامترها به‌خود مدل واگذار شده است. از روش Box-Cox transformation برای تبدیل داده‌ها استفاده شده است. همچنین از پارامتر میرایی نیز استفاده شد. در جدول ۲ شرح کلی این چهار روش آورده شده است.

نهایتاً، پیش‌بینی داده‌ها در ده گام بعد از گام نهایی با استفاده از روش‌های هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) از فروردین ماه تا آبان ماه سال ۱۴۰۱ (۸ ماه) داده‌های PM2.5 و NDVI و از فروردین ماه تا آذر ماه سال ۱۴۰۱ (۹ ماه) برای داده‌های دما مورد تحلیل قرار گرفته است. سپس با مقادیر واقعی این داده‌ها برای ارزیابی دقت روش‌های پیش‌بینی مقایسه شده است.

**تحلیل آماری:** در این مطالعه، ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن ( $\rho$ )، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)<sup>۳</sup> و ضریب تعیین ( $R^2$ )<sup>۴</sup> برای ارزیابی دقت مدل‌های پیشنهادی استفاده شده است (رابطه‌های ۱۴-۱۲).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum y_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

<sup>۳</sup>Root-mean-square deviation

<sup>۴</sup>R-squared correlation



شکل ۲. الگوریتم پژوهش

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

در این رابطه ها  $\hat{y}_i$  و  $y_i$  به ترتیب مقادیر  $i$  مشاهده شده و پیش بینی شده  $\bar{y}_i$  است و  $\bar{y}$  نشان دهنده میانگین مقادیر  $y$  مشاهده شده و پیش بینی شده در مجموعه نمونه آزمایش شده است. علاوه بر این،  $n$  تعداد مشاهدات را نشان داده است. برای تحلیل نقش این متغیرها (شامل پوشش گیاهی و دمای هوا) بر غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ ) از ضریب همبستگی اسپیرمن ( $\rho$ ) (Ozbay, 2012; Borhani et al., 2022d) بین این متغیرها از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. سطح معنی داری ۰/۰۵ تعیین شد ( $P > 0/05$ ).  $R^2$  برای ارزیابی قدرت رابطه خطی بین دو متغیر استفاده شده است. ضریب تعیین بین ۰ و ۱۰۰٪ است. خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای ارزیابی دقت برآورد اعداد پیش بینی شده استفاده شده است (Beckerman et al., 2013; Elavarasan et al., 2018; Goap et al., 2018; Borhani et al., 2023b,c). هر مدلی که در آن خطای جذر میانگین مربعات کمتر باشد آن مدل نسبت به سایر مدل ها از دقت آماری بیشتری برخوردار است. تمامی تجزیه و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار Excel انجام شده است. شکل ۲ یک نمودار از مراحل انجام شده در مطالعه حاضر را به طور خلاصه نشان داده است.

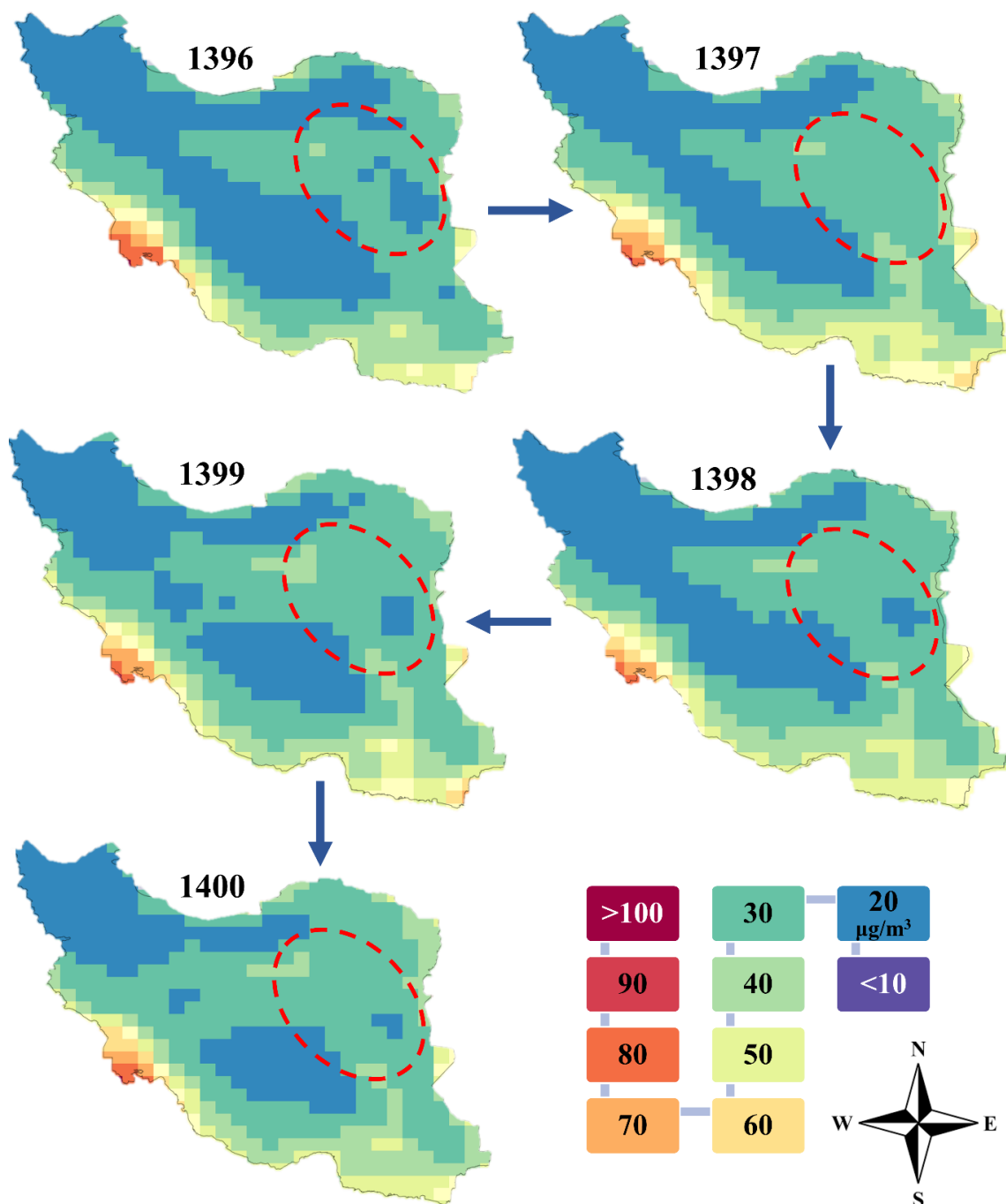
### یافته های پژوهش و بحث

**تعیین الگوی زمانی و مکانی متغیرها در سطح ایران و بررسی اثر میزان دما و پوشش گیاهی بر غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ ):** مقادیر میانگین ماهانه و سالانه غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، دما (T) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در دوره زمانی سال های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در تابستان بیشینه غلظت ذرات ریز جوی به وقوع پیوسته است و در زمستان کمینه ذرات ریز جوی در کل دوره مشاهده شده است (جدول ۳). شاید دلیل آن وقایع گرد و غبار به عنوان یک پدیده طبیعی با غلظت های قابل توجه ذرات ریز جوی باشد. این نتیجه با مطالعات قبلی مطابقت دارد



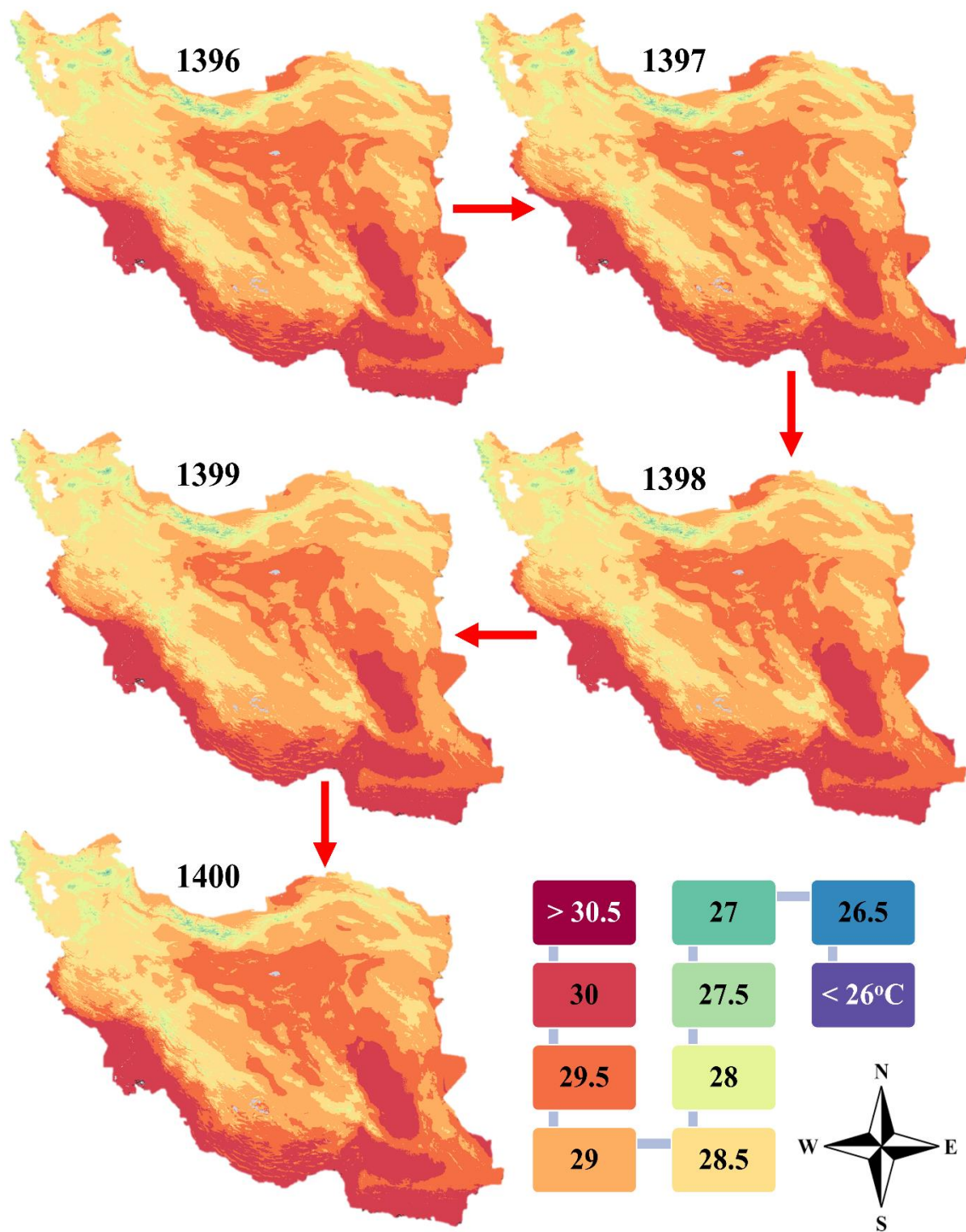
(Mirakbari and Ebrahimi Khusfi, 2020). در حالی که بسیاری از تحقیقات گذشته هم افزایش غلظت ذرات ریز جوی در زمستان را گزارش کرده است (Borhani *et al.*, 2022b, c). دلیل افزایش غلظت ذرات ریز جوی در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول می‌تواند به شرایط هواشناسی از قبیل پایداری هوا و وارونگی دما مربوط باشد. بنابراین الگوی پراکنش مکانی ذرات ریز جوی بسیار متفاوت با سایر آلاینده‌ها است. میانگین غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در سطح کشور اندکی کمتر از سایر سال‌ها است. یکی از دلایل آن آغاز شیوع ویروس کووید-۱۹ (کرونا)، در ۳۰ بهمن ۱۳۹۸، در ایران می‌تواند باشد. پس از شیوع این ویروس، تعداد افراد مبتلا به سرعت افزایش یافته و شیوع بیماری منجر به یک بحران ملی شده است. مقامات ایرانی قرنطینه‌های متعددی را ایجاد، سفرها را لغو و دانشگاه‌ها و مدارس را تعطیل کرده است تا انتشار این بیماری را کاهش دهند. بنابراین طبق مطالعات قبلی از زمان اعمال تدابیر محدودکننده به دلیل شیوع ویروس کرونا، تهران و برخی از شهرهای ایران از هوای پاک‌تری نسبت به شرایط عادی برخوردار بوده‌اند (Broomandi *et al.*, 2020; Asna-ashary *et al.*, 2020; Borhani *et al.*, 2021; Anbari *et al.*, 2022). دلیل دیگر می‌تواند افزایش میانگین شاخص پوشش گیاهی در این دو سال (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) باشد (جدول ۳). در سال‌های مورد مطالعه، بیشترین (۰/۱۷۴۸) و کمترین (۰/۱۲۶۲) مقدار میانگین شاخص پوشش گیاهی به ترتیب در خرداد ماه و بهمن ماه رخ داده است. در فصل بهار پوشش گیاهی بیشتر است و با نزدیک شدن به فصول سرد کاهش پوشش گیاهی دور از انتظار نیست (Fazel Dehkordi *et al.*, 2016). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، غلظت  $PM_{2.5}$  در هر سال در تمام منطقه کمتر از سال قبل (۱۳۹۹-۱۳۹۶) شده است. در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ میانگین غلظت افزایش داشته است. توزیع مکانی  $PM_{2.5}$  ناهمگنی فضایی قابل توجه و شیب رو به کاهش از شمال غربی به جنوب غربی را نشان داده است. مناطق با غلظت بالای  $PM_{2.5}$  عمدتاً در شمال، شمال غربی و جنوب غربی ایران قرار گرفته است. استان‌های آذربایجان غربی، اردبیل، کردستان، زنجان، کرمانشاه، لرستان و ایلام غلظت بالایی از این آلاینده را در طول این سال‌ها تجربه کرده‌اند. در مقابل، مناطق با غلظت پایین این آلاینده در شمال شرقی و جنوب شرقی قرار داشته است. (Jalali *et al.*, 2017) در تحقیقی بررسی گردید که طوفان‌های شدید و بسیار شدید حامل گرد و غبار در بین‌النهرین در فراوانی گرد و غبار جنوب و جنوب غرب ایران اثر دارد. نتایج مطالعات قبلی هم نشان داد که آب رودخانه‌های دجله و فرات به‌واسطه تأثیر منفی سیاست‌های آبی (سدسازی و ...) کاهش یافته است و دشت بین‌النهرین رطوبت خود را از دست داده و به منبعی برای تولید گرد و غبار تبدیل شده است. با اجرای کامل پروژه گاپ کشورهای عراق، سوریه و در نهایت بخش‌هایی از تالاب هورالعظیم خوزستان خشک خواهد شد. ساخت سد ایلی‌سو قطعاً بر تالاب‌ها و گرد و غبارها تأثیر منفی دارد. با بحران کم آبی در عراق، گرد و غبارها وارد استان‌های شمال غربی و جنوب غربی ایران خواهند شد (Bilen *et al.*, 2008; Selim, 2009; Dohrmann and Hatem, 2014; Al-Ansari, 2020; Zaki, 2018; *et al.*). غلظت ذرات جوی روند کاهشی در این پنج سال در استان خراسان جنوبی داشته است. در سال ۱۳۹۷ هم در موقعیت جغرافیایی استان هیچ‌گونه آلودگی ناشی از این ذرات مشاهده نشده است. تحقیقات نشان داد که کمترین سهم آلودگی هوا در استان خراسان جنوبی مربوط به صنعت است. بیشترین آلودگی هوا ناشی از خشکسالی و مقداری سوء مدیریت در عرصه‌های طبیعی است که به‌طور مشخص سبب افزایش فرسایش خاک، فقدان پوشش گیاهی و افزایش ذرات ریز جوی شده است. مشاهدات، دشت سهل‌آباد نهبندان را یکی از کانون‌های اصلی فرسایش بادی و گرد و غبار نشان داد. علت آن را می‌توان، جریان باد از سرزمین‌های خشک و کویرهای شرقی ایران دانست که گرد و غبار را موجب شده است. موقعیت جغرافیایی و میزان آلودگی ناشی از ذرات ریز جوی این دشت در استان خراسان جنوبی به‌صورت خط چین قرمز رنگ در شکل ۳ نشان داده شده است (Golkar Hamzee Yazd *et al.*, 2016). همان‌طور که در نقشه‌های پهنه‌بندی دما و پوشش گیاهی سطح ایران نشان داده شده است در مناطق شمالی کشور ایران به‌دلیل شرایط آب و هوایی و وجود پوشش گیاهی موجب شده است که این مناطق دمای سطح پایین‌تری را داشته باشند. همچنین ساختارهای طبیعی مانند باغ‌های متراکم و پهنه‌های آبی نیز دمای سطح بسیار پایینی دارند که ناشی از تبخیر و تعرق در این سطوح است که دمای سطح آن‌ها را پایین نگه داشته است. در مناطق بخش مرکزی، شرق، جنوب و جنوب شرقی به‌دلیل پوشش گیاهی ضعیف دمای سطح بالا مشاهده شده است (شکل‌های ۴ و ۵). به‌عبارت دیگر هر چه منطقه‌ای تراکم جمعیتی بیشتر، ترافیک شدیدتر و پوشش گیاهی کمتری داشته باشد غلظت ذرات ریز جوی در آن محیط بیشتر است (Khodarahmi *et al.*, 2013). جدول ۴ رابطه بین ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، دما و شاخص پوشش گیاهی را با استفاده از





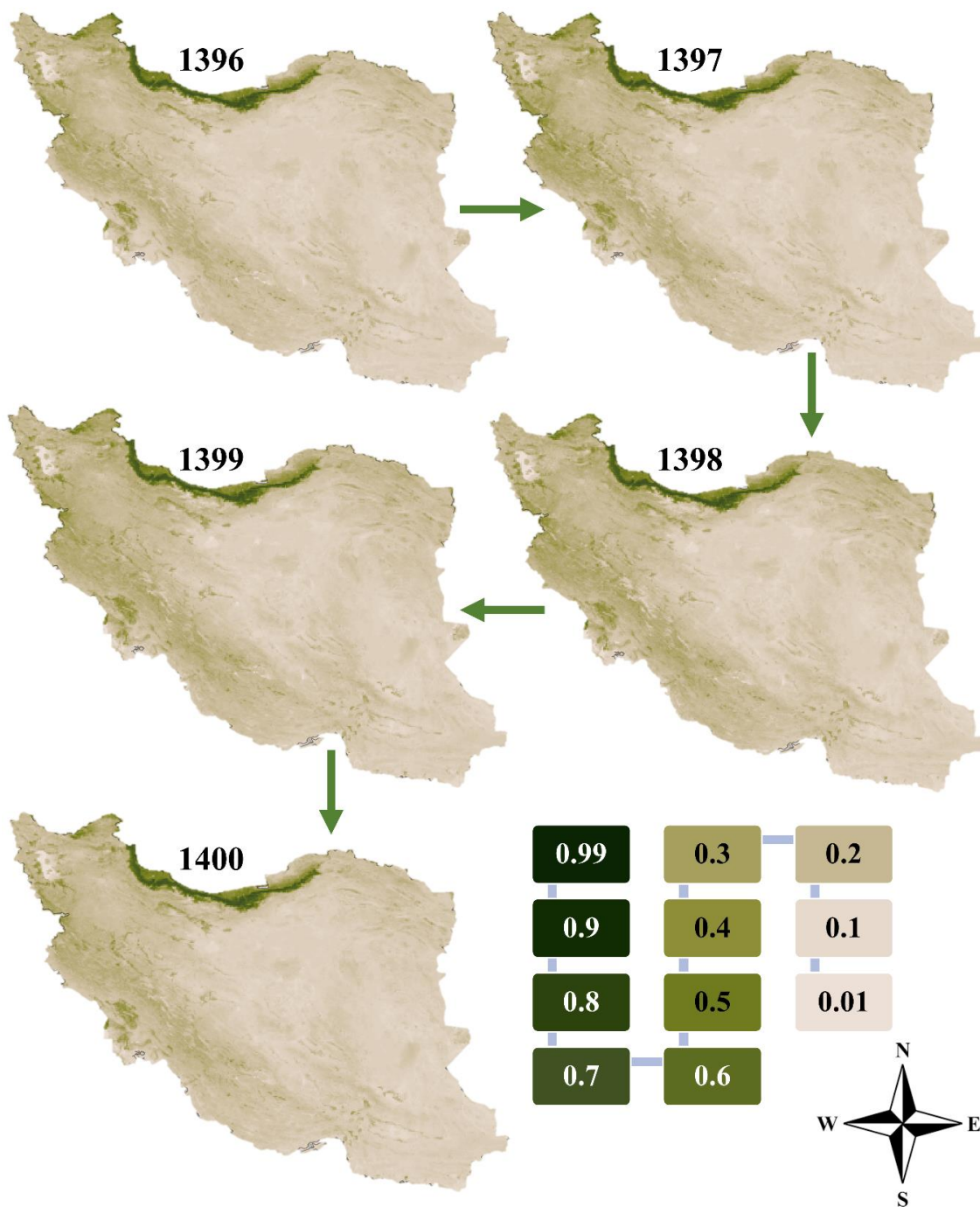
شکل ۳. پراکنش مکانی-زمانی میانگین ماهانه غلظت  $PM_{2.5}$  در سطح کشور ایران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

جوی ( $PM_{2.5}$ ) به نظر می‌رسد مدل‌های دو تایی برای پیش‌بینی مناسب‌تر است، با توجه به این که میزان همبستگی بالاتری با داده‌های واقعی دارند (جدول ۵). در جدول ۶، از ۹ گام موجود از ده گام پیش‌بینی برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هرچه به سمت مدل‌های پیچیده‌تر در جدول ۶ حرکت کردیم مقدار  $RMSE$  کمتر شده و مقادیر  $R^2$  افزایش یافته است. این نتیجه نشان‌دهنده این است که مدل‌های سه‌تایی برای پیش‌بینی داده‌های دما مناسب‌تر است. برای داده‌های  $NDVI$  از ۸ گام پیش‌بینی برای ارزیابی مدل استفاده شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای ارزیابی خطا، مدل‌های سه‌تایی برای پیش‌بینی داده‌های  $NDVI$  مناسب است (جدول ۷). علت مقادیر نشان داده شده با علامت (-) این است که در فرمول همبستگی این ستون‌ها مقادیر مبهم جای‌گذاری می‌شود که در نتیجه نمی‌توان مقدار آن را محاسبه کرد. روند داده‌های واقعی (۱۳۹۶-۱۴۰۰) و روند پیش‌بینی آن‌ها با استفاده از یازده مدل (ده ماه اول سال ۱۴۰۱) برای غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ ).



شکل ۴. پراکنش مکانی-زمانی میانگین روزانه دما در سطح کشور ایران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

دما و NDVI در شکل ۶ نشان داده شده است. جنبه‌های بصری این نمودارها نشان داد که شیب خط رگرسیون، منفی است که کاهشی بودن روند میانگین ماهانه غلظت ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )، دما و NDVI را نشان می‌دهد. علاوه بر این شکل ۶ نشان داد هر یک از مدل‌ها تا چه حد توانسته است مسیر حرکت داده‌ها در این پنج سال را بازیابی (پیش‌بینی) کند. به‌طور مثال همان‌طور که قابل پیش‌بینی بود، روش‌های تکی تنها به تعیین سطح داده‌ها اکتفا کرده است، روش‌های دوتایی علاوه بر سطح، روند را نیز لحاظ کرده است و روش‌های سه تایی تا حدود زیادی در جریان داده‌ها حرکت کرده است.



شکل ۵- پراکنش مکانی-زمانی میانگین ماهانه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در سطح کشور ایران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

جدول ۴. همبستگی رتبه اسپیرمن بین  $PM_{2.5}$ ، دما (T) و داده‌های NDVI از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ در سطح کشور ایران

پارامتر	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )	دما (T)
شاخص پوشش گیاهی	۱		
ذرات ریز جوی ( $PM_{2.5}$ )	-۰/۲۷۵	۱	
دما (T)	۰/۲۶۱	۰/۷۲۰	۱



جدول ۵. پیش‌بینی داده‌های غلظت  $PM_{2.5}$  ( $\mu g/m^3$ ) در دهه گام بعد از گام نهایی با استفاده از روش‌های هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) از فروردین ماه تا آبان ماه سال ۱۴۰۱

Holt-Winter		چهار روش پیش‌بینی با خانواده دو تایی					پیش‌بینی با خانواده تکی ( $\alpha$ )			مقدار واقعی	ماه	
Damped-mul	Damped-add	Boxcox-mul	Boxcox-add	Additive damped trend	Exponential trend	Holt's linear trend	es	۰/۵	۰/۸	۰/۲		
۳۵/۳۶۶۵۹	۳۵/۶۰۰۷۲	۳۵/۴۹۱۹	۳۵/۴۳۷۳۷	۲۳/۸۳۸۲۹	۲۳/۹۰۲۷۹	۲۲/۹۸۳۹۳	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۴۵/۸۸۴۸۱	فروردین
۳۷/۳۷۳۱۴	۳۷/۰۳۸۵۵	۳۷/۴۷۹۲۴	۳۶/۹۵۱۰۳	۲۳/۶۴۱۵۳	۲۳/۶۶۷۲۹	۲۲/۰۵۱۹۶	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۴۳/۶۷۸۴۱	اردیبهشت
۳۵/۲۱۰۴۴	۳۴/۶۲۲۸۳	۳۵/۳۳۵۵	۳۴/۵۹۶۰۱	۲۳/۴۸۴۱۲	۲۳/۴۳۴۱۱	۲۱/۱۲	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۵۰/۰۰۹۶۴	خرداد
۳۵/۳۰۷۸	۳۴/۷۸۰۱۸	۳۵/۴۲۲۷۸	۳۴/۸۰۲۰۳	۲۳/۳۵۸۱۹	۲۳/۲۰۳۲۲	۲۰/۱۸۸۰۳	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۴۲/۱۱۴۸۳	تیر
۴۱/۵۵۸۵۶	۴۰/۸۵۵۳۷	۴۱/۶۳۸۵۲	۴۰/۹۱۵۱۷	۲۳/۲۵۷۴۵	۲۲/۹۷۴۶۱	۱۹/۲۵۶۰۶	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۴۹/۱۰۵	مرداد
۳۷/۰۲۷۵۸	۳۶/۴۹۹۰۴	۳۷/۱۲۳۱	۳۶/۵۸۹۶۷	۲۳/۱۷۶۸۶	۲۲/۷۴۸۲۵	۱۸/۳۲۴۱	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۳۱/۶۲۷۴۲	شهریور
۳۳/۴۸۰۹۸	۳۳/۱۲۲۶۱	۳۳/۵۹۵۹۸	۳۳/۲۳۷۲۸	۲۳/۱۱۲۲۸	۲۲/۵۲۴۱۳	۱۷/۳۹۲۱۳	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۳۲/۸۱۸۰۴	مهر
۲۹/۶۳۹۱	۲۹/۴۴۰۵۷	۲۹/۸۰۳۵۸	۲۹/۵۷۴۲	۲۳/۰۶۰۸	۲۲/۳۰۲۲۱	۱۶/۴۶۰۱۶	۲۴/۸۶۱۸۴	۲۴/۱۱۸۳۱	۲۴/۴۷۴۳۷	۲۷/۵۶۵۷۱	۲۹/۴۱۵۵۹	آبان
۷/۹۲۴۱۸۲	۸/۱۵۶۹۲۶	۷/۸۵۲۲۵۱	۸/۱۹۵۸۴۳	۱۸/۷۶۵۱	۱۸/۹۲۶۷۱	۲۱/۷۴۰۷۷	۱۷/۴۷۷۳	۱۸/۱۴۸۹۸	۱۷/۸۲۶۶۱	۱۵/۰۹۱۶۵	خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)	
۰/۳۸۸۲۳۱	۰/۴۰۱۷۶۹	۰/۳۸۹۹۹۶	۰/۳۸۲۴۲۲	۰/۴۶۵۱۵۵	۰/۵۹۹۲۴۵	۰/۶۰۴۶۶۱	-	۱/۲۲E <sup>-۳۱</sup>	۱/۲۲E <sup>-۳۱</sup>	۱/۲۲E <sup>-۳۱</sup>	ضریب تعیین ( $R^2$ )	



جدول ۶. پیش‌بینی داده‌های T(K) در ده گام بعد از گام نهایی با استفاده از روش‌های هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) از فروردین ماه تا آذر ماه سال ۱۴۰۱

چهار روش پیش‌بینی با خانواده سه‌تایی Holt-Winter				چهار روش پیش‌بینی با خانواده دو تایی			پیش‌بینی با خانواده تکی ( $\alpha$ )				مقدار واقعی	ماه
Damped-mul	Damped-add	Boxcox-mul	Boxcox-add	Additive damped trend	Exponential trend	Holt's linear trend	es	۰/۵	۰/۸	۰/۲		
۲۸۷/۲۳۲۸	۲۸۷/۲۵۹	۲۸۷/۲۳۴۷	۲۸۷/۲۱۰۴	۲۸۰/۹۹۷۷	۲۷۹/۹۸۲۵	۲۷۹/۸۷۷	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۸۷/۷۷۴۴	فروردین
۲۹۲/۲۷۱۶	۲۹۲/۳۰۲۴	۲۹۲/۲۷۰۲	۲۹۲/۲۴۴۴	۲۸۰/۳۸۲۳	۲۷۸/۳۸۱۷	۲۷۸/۱۸۸۱	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۹۴/۵۸۱۱	اردیبهشت
۲۹۷/۷۶۶۳	۲۹۷/۷۹۵۷	۲۹۷/۷۶۲۵	۲۹۷/۷۴۱۲	۲۷۹/۸۸۹۹	۲۷۶/۷۹	۲۷۶/۴۹۹۲	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۹۶/۳۹۳۵	خرداد
۳۰۲/۶۱۹۵	۳۰۲/۶۶۹۲	۳۰۲/۶۱۳۹	۳۰۲/۶۰۷۳	۲۷۹/۴۹۶	۲۷۵/۲۰۷۴	۲۷۴/۸۱۰۳	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۳۰۲/۵۱۹۱	تیر
۳۰۳/۷۴۱	۳۰۳/۷۹۱۲	۳۰۳/۷۳۲۶	۳۰۳/۷۳۱۹	۲۷۹/۱۸۰۹	۲۷۳/۶۳۳۹	۲۷۳/۱۲۱۳	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۳۰۲/۹۱۲۴	مرداد
۳۰۱/۸۸۰۸	۳۰۱/۹۳۰۳	۳۰۱/۸۶۹۷	۳۰۱/۸۶۳۳	۲۷۸/۹۹۸۸	۲۷۲/۰۶۹۴	۲۷۱/۴۳۲۴	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۳۰۱/۴۹۶۶	شهریور
۲۹۸/۴۲۷۹	۲۹۸/۴۷۲۲	۲۹۸/۴۱۵۹	۲۹۸/۳۹۸۸	۲۷۸/۷۲۷۱	۲۷۰/۵۱۳۸	۲۶۹/۷۴۳۵	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۹۹/۴۰۱۶	مهر
۲۹۲/۱۸۶۹	۲۹۲/۲۶۵	۲۹۲/۱۷۲۶	۲۹۲/۱۵۶۴	۲۷۸/۵۶۵۸	۲۶۸/۹۶۷۱	۲۶۸/۰۵۴۶	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۹۴/۲۱۱	آبان
۲۸۵/۷۰۵۸	۲۸۵/۷۸۹	۲۸۵/۶۹۰۵	۲۸۵/۶۷۳۲	۲۷۸/۴۳۶۷	۲۶۷/۴۲۹۲	۲۶۶/۳۶۵۶	۲۸۲/۵۸۹۸	۲۸۲/۹۷۰۴	۲۸۲/۱۷۴۵	۲۸۸/۰۸۹۷	۲۸۷/۶۶۰۹	آذر
۱/۳۸۳۳۶۴	۱/۳۵۶۵۴	۱/۳۸۷۸۵۵	۱/۳۹۷۸۵۸	۱۷/۸۸۷۷۷	۲۳/۷۰۵۶۹	۲۴/۲۷۴۵۴	۱۴/۸۰۲۴۵	۱۴/۴۵۰۹۷	۱۵/۱۸۹۶۷	۹/۹۱۳۳۵۸	(RMSE)	خطای جذر میانگین مربعات
-/۹۷۲۵۷	-/۹۷۲۹۴۸	-/۹۷۲۴۵۳	-/۹۷۲۴۶۸	-/۰۶۶۹۹۶	-/۰۰۱۱	-/۰۰۰۷۱۶	-	-	-	-		ضریب تعیین ( $R^2$ )

جدول ۷- پیش بینی داده های NDVI در ده گام بعد از گام نهایی با استفاده از روش های هموارسازی نمایی (Exponential Smoothing) از فروردین ماه تا آبان ماه سال ۱۴۰۱

Holt-Winter چهار روش پیش بینی با خانواده سمتایی				چهار روش پیش بینی با خانواده دو تایی			پیش بینی با خانواده تکی ( $\alpha$ )				مقدار واقعی	ماه
Damped-mul	Damped-add	Boxcox-mul	Boxcox-add	Additive damped trend	Exponential trend	Holt's linear trend	es	۰/۵	۰/۸	۰/۲		
-/۱۴۲۶۹۵	-/۱۴۱۵۳	-/۱۴۲۸۱۸	-/۱۳۶۱۷	-/۱۲۵۹۲۴	-/۱۲۴۹۹۴	-/۱۲۴۷۵	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۴۲۴۵۹	فروردین
-/۱۶۲۸۰۹	-/۱۵۸۴۶۲	-/۱۶۱۱۹۹	-/۱۴۸۶۵	-/۱۲۶۰۴۳	-/۱۲۴۴۳۸	-/۱۲۴۰۱۱	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۵۹۴۲۶	اردیبهشت
-/۱۶۵۲۳۶	-/۱۶۷۱۳	-/۱۶۳۰۰۹	-/۱۵۰۸۲۶	-/۱۲۶۱۳۸	-/۱۲۳۸۸۴	-/۱۲۳۲۷۲	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۵۹۴۵۸	خرداد
-/۱۴۵۵۳	-/۱۵۰۵۵۴	-/۱۴۲۲۷۶	-/۱۳۸۵۴۵	-/۱۲۶۲۱۴	-/۱۲۳۳۳۲	-/۱۲۲۵۳۳	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۴۴۰۰۳	تیر
-/۱۳۲۰۵۴	-/۱۳۷۱۴	-/۱۲۸۷۵۱	-/۱۲۸۶۸۳	-/۱۲۶۲۷۴	-/۱۲۲۷۸۳	-/۱۲۱۷۹۳	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۲۹۵۸۵	مرداد
-/۱۲۷۷۰۸	-/۱۳۲۲۵۷	-/۱۲۴۱۳۸	-/۱۲۵۲۱۱	-/۱۲۶۳۲۳	-/۱۲۲۲۳۶	-/۱۲۱۰۵۴	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۲۸۳۰۵	شهریور
-/۱۲۶۳۳۸	-/۱۳۰۰۷۵	-/۱۲۲۵۹۷	-/۱۲۴۰۶۸	-/۱۲۶۳۶۲	-/۱۲۱۶۹۲	-/۱۲۰۳۱۵	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۲۷۵۲۸	مهر
-/۱۲۵۵۹۵	-/۱۲۸۳۳۴	-/۱۲۱۶۰۳	-/۱۲۳۳۸۲	-/۱۲۶۳۹۳	-/۱۲۱۱۵۱	-/۱۱۹۵۷۶	-/۱۲۷۴۱۶	-/۱۲۵۰۱۵	-/۱۲۶۰۳۸	-/۱۲۸۷۰۱	-/۱۲۷۰۶۶	آبان
-/۰۰۲۶۷۵	-/۰۰۴۸	-/۰۰۳۳۷۴	-/۰۰۶۰۸۲	-/۰۱۸۸۱۲	-/۰۲۰۵۳۷	-/۰۲۱۰۹۴	-/۰۱۷۸۸۳	-/۰۱۹۶۱۳	-/۰۱۸۸۵۸	-/۰۱۷۰۲۴		خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)
-/۹۹۲۲۷۷	-/۹۳۷۱۸۱	-/۹۹۲۵۶	-/۹۸۸۱۶۶	-/۵۲۹۶۶۹	-/۶۲۱۷۵۹	-/۶۲۲۵۷۳	-	-	-	۱/۷۹E <sup>-3۰</sup>		ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )

## نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر تحلیل مکانی-زمانی ذرات ریز جوی و اثرپذیری آن از دما و پوشش گیاهی در سطح کشور ایران طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۶ ارائه کرده است. توزیع میانگین غلظت سالانه در سطح کشور ایران نشان داد که بیشترین میانگین غلظت  $PM_{2.5}$  در نقشه پهنه‌بندی مربوط به شمال غربی، غرب و جنوب غرب ایران است. همبستگی  $PM_{2.5}$  با دما و شاخص پوشش گیاهی با استفاده از همبستگی اسپیرمن بررسی شده است. نتایج نشان داد که میان  $PM_{2.5}$ ، دما و شاخص پوشش گیاهی همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. در این مطالعه از روش مدل‌سازی هموارسازی نمایی با کدنویسی در زبان برنامه‌نویسی پایتون برای پیش‌بینی کوتاه مدت این متغیرها استفاده شد. به منظور مقایسه دقت و کارایی از یازده روش هموارسازی نمایی در راستای پیش‌بینی این متغیرها، دو معیار خطای جذر میانگین مربعات و ضریب تعیین استفاده شد. نتایج حاصل بیانگر آن است که مدل‌های هموارسازی نمایی توانایی انجام یک پیش‌بینی مناسب را داشته است. در نتیجه این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری دقیق برای پیش‌بینی غلظت ذرات ریز جوی، داده‌های دما و داده‌های شاخص پوشش گیاهی در کنار دیگر روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

## قدردانی

پژوهش حاضر با شماره طرح ۴۰۰۶۱۳۷ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام گرفته است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از صندوق مذکور تشکر و قدردانی نمایند.

## References

- Al-Ansari, N., Adamo, N., Knutsson, S., Laue, J., 2018. Geopolitics of the Tigris and Euphrates basins. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 8(3), 187-222.
- Allen, R.G., Pruitt, W.O., 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112(2), 139-155.
- Anbari, K., Sicard, P., Omid Khaniabadi, Y., Raja Naqvi, H., Rashidi, R., 2022. Assessing the effect of COVID-19 pandemic on air quality change and human health outcomes in a capital city, southwestern Iran. *International Journal of Environmental Health Research* 1-12.
- Asna-ashary, M., Farzanegan, M.R., Feizi, M., Sadati, S.M., 2020. COVID-19 outbreak and air pollution in Iran: a panel VAR analysis (No. 16-2020). *MAGKS Joint Discussion Paper Series in Economics*.
- Baker, L.H., Collins, W.J., Olivié, D.J.L., Cherian, R., Hodnebrog, Ø., Myhre, G., Quaas, J., 2015. Climate responses to anthropogenic emissions of short-lived climate pollutants. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15(14), 8201-8216.
- Beckerman, B.S., Jerrett, M., Martin, R.V., van Donkelaar, A., Ross, Z., Burnett, R.T., 2013. Application of the deletion/substitution/addition algorithm to selecting land use regression models for interpolating air pollution measurements in California. *Atmospheric Environment* 77(2), 172-177.
- Bilen, K., Ozyurt, O., Bakırcı, K., Karlı, S., Erdogan, S., Yılmaz, M., Comaklı, O., 2008. Energy production, consumption, and environmental pollution for sustainable development: A case study in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), 1529-1561.
- Borhani, F., Ehsani, A.H., Shafiepour Motlagh, M., Rashidi, Y., 2023a. Estimate Ground-based  $PM_{2.5}$  concentrations with Merra-2 aerosol components in Tehran, Iran: Merra-2  $PM_{2.5}$  concentrations verification and meteorological dependence. *Environment, Development and Sustainability* 1-42.
- Borhani, F., Mirmohammadi, M., Aslemand, A., 2017. Experimental study of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) concentrations in the air pollution of Tehran, Iran. *Journal of Research in Environmental Health* 3(2), 105-115.
- Borhani, F., Noorpoor, A., 2017. Cancer risk assessment Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene (BTEX) in the production of insulation bituminous. *Environmental Energy and Economic Research* 1(3), 311-320.
- Borhani, F., Noorpoor, A., 2020. Measurement of Air pollution Emissions from Chimneys of Production Units Moisture Insulation (Isogam) Delijan. *Journal of Environmental Science and Technology* 21(12), 57-71.

- Borhani, F., Noorpoor, A., Khalili, K., 2016. Measuring and evaluation of non-hydrocarbon air pollutants emitted in the production of insulation bituminous (Isogam) exhaust flue gas. *Education* 335-343.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Ehsani, A. H., Rashidi, Y., Ghahremanloo, M., Amani, M., Moghimi, A., 2023b. Current Status and Future Forecast of Short-lived Climate-Forced Ozone in Tehran, Iran, derived from Ground-Based and Satellite Observations. *Water, Air, & Soil Pollution* 234(2), 134.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Ehsani, A. H., Rashidi, Y., Noorpoor, A., Maddah, S., 2023c. Optimization Models for Reducing the Air Pollutants Emission in the Production of Insulation Bituminous. *Environmental Energy and Economic Research* 7(2), 1-14.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Ehsani, A.H., Rashidi, Y., 2022b. Evaluation of short-lived atmospheric fine particles in Tehran, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 15(16), 1-10.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Ehsani, A.H., Rashidi, Y., Maddah, S., Mousavi, S.M., 2022c. On the predictability of short-lived particulate matter around a cement plant in Kerman, Iran: machine learning analysis. *International Journal of Environmental Science and Technology* 1-14.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Rashidi, Y., Ehsani, A.H., 2022a. Estimation of short-lived climate forced sulfur dioxide in Tehran, Iran, using machine learning analysis. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 1-14.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Stohl, A., Rashidi, Y., Ehsani, A. H., 2021. Changes in short-lived climate pollutants during the COVID-19 pandemic in Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(6), 1-12.
- Borhani, F., Shafiepour Motlagh, M., Stohl, A., Rashidi, Y., Ehsani, A. H., 2022d. Tropospheric Ozone in Tehran, Iran, during the last 20 years. *Environmental Geochemistry and Health*, 44(10), 3615-3637.
- Borhani, F., Zahed, F., Noorpoor, A., 2019. Modeling and evaluating the contribution of NO<sub>x</sub> and CO pollutants emitted in the insulation Bituminous units (Isogam) exhaust flue gas on the around area (Case study: Delijan City). *New Science and Technology* 1(2), 91-100.
- Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., Kim, J.R., 2020. Impact of COVID-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research* 20(8), 1793-1804.
- Cheraghi, A., Borhani, F., 2016a. Assessing the effects of air pollution on Four Methods of pavement by using Four Methods of Multi-Criteria Decision in Iran. *Journal of Environmental Science Studies* 1(1), 59-71.
- Cheraghi, A., Borhani, F., 2016b. Evaluation of Environmental and Sustainable Development of Four Pavements in Iran by Four Method of Multi-Criteria Analysis. *Journal of Environmental Science Studies* 1(2), 51-62.
- Dohrmann, M., Hatem, R., 2014. The impact of hydro-politics on the relations of Turkey, Iraq, and Syria. *The Middle East Journal* 68(4), 567-583.
- Drack, J. M. E., Vázquez, D. P., 2018. Morphological response of a cactus to cement dust pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148, 571-577.
- Ebrahimikhusfi, Z., Dargahian, F., 2018. Investigation of the Climatic parameters Effect on the Concentration Change of Particles Matter less than 10 µm and its Relation to Wind Erosion Occurrence in Arid Regions. *Journal of Arid Regions Geographics Studies* 9(34), 76-92.
- Elavarasan, D., Vincent, D. R., Sharma, V., Zomaya, A. Y., Srinivasan, K., 2018. Forecasting yield by integrating agrarian factors and machine learning models: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture* 155, 257-282.
- Fazel Dehkordi, L., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M.A., Mahmoudi Kohan, F., Khalighi Sigaroudi, S., 2016. Drought Monitoring Using Vegetation Index (NDVI) (Case study: Rangelands of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Managment* 69(1), 141-154.
- Gao, S., 2015. Managing short-lived climate forcers in curbing climate change: an atmospheric chemistry synopsis. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 5(2), 130-137.
- Giovanni, NASA's Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center 2022.
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A.K., Krishna, C.R., 2018. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open-source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture* 155, 41-49.

- Golkar Hamzee Yazd, H.R., Rezayinezhad, M., Tavousi, M., 2016. Climatic zoning of South Khorasan province with GIS software. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 6(1), 47-62.
- Holmes, C. W., Miller, R., 2004. Atmospherically transported elements and deposition in the Southeastern United States: local or transoceanic?. *Applied Geochemistry* 19(7), 1189-1200.
- Hoveidi, H., Aslemmand, A., Borhani, F., Naghadeh, S. F., 2017. Emission and health costs estimation for air pollutants from municipal solid waste management scenarios, case study: NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> pollutants, Urmia. Iran. *Journal of Environmental Treatment Techniques* 5(1), 59-64.
- Jalali, N., Iranmanesh, F., Davoodi, M., 2017. Identification of origin and areas affected by dust storms in southwestern Iran using Madis images. *Journal of Watershed Engineering and Management* 9(4), 218-331.
- Khan, R.K., Strand, M.A., 2018. Road dust and its effect on human health: a literature review. *Epidemiology and Health* 40.
- Khodarahmi, F., Goudarzi, G., Hashemi Shahraki, A., Alavi, N., Ahmadi Angali, K., Dehghani, M., 2013. Study of environmental parameters effect on particulate matters and bacterial concentration in Ahvaz city during different seasons. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal* 3(11), 83-90.
- Maddah, S., Bidhendi, G.N., Borhani, F., Taleizadeh, A.A., 2022. Resilient-Sustainable Supplier Selection Considering Health-Safety-Environment Performance Indices: A Case Study in Automobile Industry.
- Mirakbari, M., Ebrahimi Khusfi, Z., 2020. Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in Southeastern Iran. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 11(3), 87-105.
- Modarres, R., Sadeghi, S., 2018. Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards* 90(1), 101-114.
- Mousavi, S. M., Dinan, N. M., Ansarifard, S., Borhani, F., Ezimand, K., Naghibi, A., 2023. Examining the Role of the Main Terrestrial Factors Won the Seasonal Distribution of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration over Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(4), 865-875.
- Özbay, B., 2012. Modeling the effects of meteorological factors on SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations with statistical approaches. *Clean-Soil, Air, Water* 40(6), 571-577.
- Randall, S., 2008. Baseline assessment of short-lived climate pollutants in Bangladesh. In *Proceedings of 3rd International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh* (p. 33).
- Retama, A., Baumgardner, D., Raga, G.B., McMeeking, G.R., Walker, J.W., 2015. Seasonal trends in black carbon properties and co-pollutants in Mexico City. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions* 15(8), 12539-12582.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., Harlan, J. C., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation (No. E75-10354).
- Sanita di Toppi, L., Sanita di Toppi, L., Bellini, E., 2020. Novel coronavirus: How atmospheric particulate affects our environment and health. *Challenges* 11(1), 6.
- Selim, M.E.S., 2009. Environmental security in the Arab World. In *facing global environmental change* (pp: 843-853). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Mesdaghinia, A., Younesian, M., Naimabadi, A., Salesi, M., Naddafi, K., 2012. Analysis of dust storms entering Iran with emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research Journal* 15(3), 192-202.
- Shine, K. P., Berntsen, T. K., Fuglestvedt, J. S., Skeie, R. B., Stuber, N., 2007. Comparing the climate effect of emissions of short-and long-lived climate agents. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365(1856), 1903-1914.
- Sobhani, B., Safarian Zengir, V., Faizollahzadeh, S., 2020. Modeling and prediction of dust in western Iran. *Physical Geography Research Quarterly* 52(1), 17-35.
- Stohl, A., Aamaas, B., Amann, M., Baker, L., Bellouin, N., Berntsen, T.K., Boucher, O., Cherian, R., Collins, W., Daskalakis, N. Dusinska, M., 2015. Evaluating the climate and air quality impacts of short-lived pollutants. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15(18), 10529-10566.
- Tucker, C. J., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D. A., Pak, E. W., Mahoney, R., Vermote, E.F., El Saleous, N., 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing* 26(20), 4485-4498.

- Wu, X., Nethery, R.C., Sabath, B.M., Braun, D., Dominici, F., 2020. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. medRxiv,
- Yongjian, Z., Jingu, X., Fengming, H., Liqing, C., 2020. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment* 727, 138704.
- Zaki, Y., 2020. Hydropolitic of turkey GAP Project and its effect on environmental security of Iraq and Syria. *Political Spatial Planning* 3(1), 1-9.
- Zou, L., Ruan, F., Huang, M., Liang, L., Huang, H., Hong, Z., Yu, J., Kang, M., Song, Y., Xia, J., Guo, Q., 2020. SARS-CoV-2 viral load in upper respiratory specimens of infected patients. *New England Journal of Medicine* 382 (12), 1177-1179.