https://gep.ui.ac.ir/?lang=en
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 1, No.93, Spring 2024, pp. 1- 4
Received: 19/08/2023 Accepted: 23/12/2023

Analyzing Spatial Dust Changes in Tehran Using Chaos Theory in Spatial Epistemology

Manijeh Ghahroudi Tali[1] *, Ramin Rahimi[2]

1- Ph.D., Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
m-ghahroudi@sbu.ac.ir

2- Ph.D. student of geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
raminrahimi96@gmail.com

Abstract

This research investigated the specific patterns of dust influx into the metropolis of Tehran from 2005 to 2017. The study utilized the data on dust occurrence days and synoptic station data in Tehran. The research methodology involved employing the HYSPLIT trajectory model, as well as dust detection indices, and determining the chemical properties of dust, including main and rare elements, by using the X-Ray Fluorescence (XRF) method. The findings indicated that the primary source of dust entering Tehran originated from desert regions and vast, arid areas outside the country. External sources of dust, such as the North Arabian Sahara and the East African Sahara, have been active since ancient times and are not solely related to modern dust occurrences. The cause of their impact on Tehran could be attributed to the desiccation of internal lagoons and lakes. The changes in the frequency of fine-dust trajectories could not be solely explained by their connection with external sources. Instead, it appeared that the micro-particle movement system was striving to establish a deeper order, which was not solely influenced by changes in the origin and destination of the particles. Rather, the entry of fine particles into this movement system had undergone changes during their movement within the system.

Keywords*:* Dust, Tehran, Chaos, HYSPLIT

*Corresponding Author

Ghahroudi Tali, M., & Rahimi, R. (2023). Explaining the spatial changes of Tehran's dust with the Chaos approach in the spatial epistemology. *Geography and Environmental Planning*, 35 (1), 1 - 4 .

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2023.138767.1604

Introduction

The shifting distribution of dust in various regions around the world has led to the presence of dust in major cities during certain seasons. Tehran has been particularly affected by this phenomenon from its onset. Despite the fact that numerous research efforts have aimed at understanding the origins of this phenomenon, the spatial patterns of its changes remain a topic of ongoing investigation. This study sought to elucidate the spatial dynamics of dust influx into Tehran by using a spatial epistemology approach. Analysis of MODIS images and their correlation with climate models was conducted for the period spanning 2005 to 2020. Preliminary findings indicated that the dust phenomenon adhered to specific patterns and pathways, from its initial emergence at focal points to its eventual arrival in the city of Tehran.

Materials & Methods

Tehran, the capital and one of the largest cities in the world, is situated on the southern slope of the Alborz highlands near the major permanent water networks of the region, namely the rivers of Karaj to the west and Jajrud to the east. The city grapples with various environmental challenges, including the issue of fine dust. Investigation into the trajectory of fine dust movement has revealed that the presence of features, such as playas, lakes, dried-up wetlands, old alluvial terraces, and sand mines significantly influences the arrival of fine dust in the area of Tehran. These particles are exceedingly small.

Given the frequent occurrences of dust particles between 2000 and 2015 and availability of local data archives, the period from 2005 to 2017 was chosen for this study. Data collection was conducted in Tehran and its synoptic stations. Analysis of long-term wind-rose data from the indicator stations revealed that the prevailing wind direction in Tehran Province was predominantly from the west and south in most months. To identify regional dust sources, wind speed and direction maps were utilized and the HYSPLIT trajectory model was employed to track their paths. The HYSPLIT model in conjunction with atmospheric maps and satellite images was used to enhance the validity of the research findings for all dust events.

Detection indices for fine dust, including the Brightness Temperature Difference (BTD) index, dust index method, and Miller's method, were utilized. Additionally, the X-Ray Fluorescence (XRF) method was employed to determine the chemical compositions of dust, including major and rare elements, in the samples collected from specific areas. The results obtained from climate modeling and MODIS image processing facilitated the identification of key areas influencing the movement patterns of fine dust toward Tehran. These areas predominantly corresponded to end basins (playas, lakes, lagoons) of old alluvial terraces and desert plains.

Research Findings

Through the analysis of MODIS images and their correlation with climate models spanning the years 2005 to 2020, it was established that the phenomenon of dust followed specific patterns and pathways from its origin at focal points to its arrival in Tehran. This pattern predominantly occurred in July with its initial flow originating from the northeast of Syria. Another pattern occurring in late winter and early spring originated from the Arabian Desert. Patterns with a more west-east axis corresponding to westerly currents originating from the deserts of northern Arabia predominantly occurred in the warm months of the year. Additionally, dust concentration nuclei might have been

formed in East Africa and over Saudi Arabia, subsequently moving to Iraq and Iran. The primary source of dust entering Tehran was located in desert and arid expanses outside the country.

Many of the external sources of dust, such as the North Arabian Sahara and the East African Sahara, are not new phenomena and have been active since ancient times, never previously extending into Iran's interior regions like Tehran. The current spread of this dynamic phenomenon is being investigated with its cause being attributed to drying of wetlands and internal lakes. The areas under scrutiny in this study included sand exploitation levels and sand mines in Tehran, Alikhan Dam, Hoze Soltan Lake, Mighan, and the desert lands around Qazvin Plain.

Geochemical tests confirmed the similarity in elemental composition between the area and the dust collected in Tehran. The resemblance in chemical compositions of the elements sampled from mine surfaces and those collected with the MDCO sediment trap suggested that a significant portion of silicon dioxide (SiO2) found in the chemical compositions of dust in Tehran was likely sourced from the sand and sand mines of Tehran. This was because all dust-carrying streams passed over these mines, indicating the potential role of these mines in the elemental composition and deposition of dust in Tehran. MODIS images indicated the formation of dust condensation cores on the surfaces of Hoze Soltan and Mighan lakes, which had the potential to intensify dust flows. A comparison of the average compositions of Hoze Soltan, Mighan, and Tehran lakes revealed the presence of potassium and sodium compounds, as well as chlorine, similar to the samples from these lakes, suggesting that some of the elements of sodium, chlorine, and potassium entering Tehran might have been collected while passing through the fine-grained and separated lands around these lakes. Furthermore, the observations related to the geochemical sediment compositions of samples collected in Tehran using sediment traps compared to those collected in Qazvin Plain showed the significant presence of chlorine, potassium, and silicon among the elements.

Discussion of Results & Conclusion

The research findings revealed that the sources influencing the alterations in the trajectory of micro-storms demonstrated spatial adaptation to playas, wetlands, and end basins in general. In essence, there were discernible changes in the frequency of dust entry patterns in Tehran and these changes could not be solely attributed to their connection with the input sources. Instead, it appeared that the micro-particle movement system was striving to establish a more deeply organized structure independent of changes in its origin and destination. Rather, the entry of fine particles into this movement system had undergone modifications during their transit within the system. Consequently, alterations were being introduced to the initial conditions within the system governing dust entry into Tehran from its feeding sources. Although the dimensions of these sources were relatively small compared to the original source, they could significantly impact the trajectory of fine particles. Laboratory studies on the samples from Tehran's sediment traps, as well as sand mines, Alikhan Dam, Hoze Soltan and Mighan lakes, and the desert lands around Qazvin Plain, underscored their role in contributing to fine dust in Tehran.

جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
سال ۳۵، پیاپی ۹۳، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص ۱٤٤ – ۱۲۹
وصـول: ۱٤۰۲/۵/۲۸ پـذیرش: ۱٤۰۲/۱۰/۲

مقاله پژوهشی

تبیین تغییرات مکانی ریزگردهای تهران با رویکرد کیاس در معرفت‌شناسی فضایی

منیژه قهرودی تالی *، **دکترای تخصصی گروه جغرافیای طبیعی دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران**
m-ghahroudi@sbu.ac.ir
رامین رحیمی، دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران
raminrahimi96@gmail.com

چکیده

ریزگردهای ورودی به کلانشهر تهران از الگوی خاصی پیروی می‌کند که در پژوهش حاضر علل آن در دورهٔ زمانی 2005 تا 2017 برر سی می شود. داده‌های ا ستفاده شده در این پژوهش شامل روزهای وقوع ریزگردها و داده‌های ای ستگاه‌های سینوبتیک تهران بوده است. در این مطالعه از مدل رهگیری بسته‌های هوا (HYSPLIT)، شاخص‌های آشکارسازی ریزگردها و تعیین خصوصیات شیمیایی گرد و غبار (ازجمله عناصر اصلی و کمیاب از پهنه‌های انتخابی از روش فولوئورسنس اشعهٔ ایکس XRF) استفاده شده است. یافته‌ها ن شان داد که من شأ اولیهٔ ریزگردهای ورودی به تهران در منطقه‌های بیابانی و خ شک ک شورهای غرب و جنوب غربی ایران قرار دارد. بخش اعظم منابع خارجی ریزگرد مانند صـحاری شـمال عربسـتان و صـحاری شـرق آفریقا پدیده‌های جدیدی نیسـت و به رخداد ریزگردها در دوران جدید مربوط نمی شود، بلکه از گذ شته فعّال بوده است و هیچ‌گاه از منطقه‌های داخلی ایران، شبیه تهران عبور نمی کردند که علت آن را باید در خ شک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌های داخلی جست‌وجو کرد. به‌طور کلی، تغییرات فراوانی مسیر ریزگردها و ارتباط آنها را با منابع ورودی نمی‌توان تبیین کرد؛ اما بیشـتر به نظر می‌رسـد که سـیسـتم حرکتی ریزگردها درصـدد برقراری نظمی‌عمیق‌تر اسـت؛ زیرا ورودی مواد به سـیسـتم دینامیکی ریزگردها درطول حرکت تغییر کرده اسـت؛ درحالی که در مبدأ و شـروع سیستم ریزگردها تغییرات چشمگیری رخ نداده است.

واژه‌های کلیدی: ریزگرد، تهران، کیاس، HYSPLIT.

*نویسنده مسؤول

قهرودی تالی، منیژه، رحیمی، رامین. (۱٤۰۲). تبیین تغییرات مکانی ریزگردهای تهران با رویکرد کیاس در معرفت شـناسـی فضـایی. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۵ (۱)، ۱٤٤– ۱۲۹ .

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2023.138767.1604

مقدمه

جریان ریزگردها از مشکلات جدّی زیست‌محیطی در منطقه‌های مختلف جهان است. این جریان دچار تغییرات مکانی گسترده نیز شده است؛ به‌طوری که تغییرات مکانی ریزگردها در برخی از منطقه‌های دنیا سبب شده است که حضور آنها در برخی فصل‌های سال در شهرهای بزرگ مشاهده شود. تهران ازجمله شهرهایی است که رخداد این پدیده در آن مشاهده شده است. باوجود پژوهش‌های متعدّدی که دربارهٔ منشأ این پدیده در تهران انجام شده است، هنوز الگوی تغییرات مکانی و حتی زمانی آنها را نمی‌توان استدلال کرد؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات مکانی ریزگردهایی است که شهر تهران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین در پژوهش حاضر تغییرات مکانی ریزگردهای ورودی تهران با رویکرد نظریهٔ کیاس (Chaos) در معرفت‌شناسی فضایی تبیین می‌شود. تاریخچهٔ معرفت شناسی فضایی شاهد تنوعی از رخداد تکنیک‌های کمّی در ژئومورفولوژی است. استرالر 1950 پیشگام استفاده از تکنیک‌های آماری ساده برای حل مشکلات ژئومورفولوژی بود (Strahler, 1950) که سال 1971 بیانگر دوران بلوغ استفاده از تکنیک‌های آماری مدرن درژئومورفولوژی است. پس از آن از طیف وسیعی از تکنیک‌های آماری خطی (متمایز از فضایی) به‌ویژه تحلیل رگرسیون و واریانس در تحلیل های کمی ژئومورفولوژی استفاده شد (Chorley,1972). ساخت مدل فضایی که در آن فرآیندهای خطی و فضایی باهم ترکیب می شوند، سبب گسترش مفهوم سیستم و فضا و طرح فضا و دیدگاه فضایی نیز سبب تولد ژئومورفولوژی سیستمی شد (Thorne & Summerfield, 1991). در ایران به رویکرد سیستمی در ژئومرفولوژی باتوجه به طرح هندسهٔ فضایی و دیدگاه فضایی توجه شد (رامشت و محمدیان، ۱۳۹۹). به‌طور کلی مجموعه‌ای از پدیده‌های مرتبط و وابسته به یکدیگر را سیستم می‌گویند. در سطح زمین عواملی که موجب دگرگونی و تغییر شکل لندفرم‌ها می شود و به عوامل مورفوژنیک معروف هستند، ژئومورفولوژی سیستمی یا فضایی را ایجاد می‌کنند (رجایی، ۱۳۷۳، ص. ٦٨). امروزه به معرفت‌شناسی فضایی یا سیستمی در تحلیل مسائل ژئومورفولوژی توجه می‌شود.

سیستم ژئومورفیک عبارت است از ساختمانی با اثر متقابل فرآیندها و شکل‌های زمین که به‌طور مجزا یا مشترک عمل و به‌دنبال آن واحدهای شکلی زمین را ایجاد کرده است. ازجمله ساده‌ترین این مجموعه می‌توان به حوضهٔ زهکشی همراه با قله‌های بهم مرتبط آن (خطوط تقسیم آب)، دامنه‌ها، تپه‌ها، شبکهٔ زهکشی و مجراهای اصلی آبرفتی اشاره کرد. حفظ چنین سیستمی به مقدار ورودی مواد به سیستم و جابه‌جایی آن در داخل سیستم و خروج مواد از داخل سیستم بستگی دارد (معتمد و مقیمی، ۱۳۷۵، ص. ١٤). اساس تحلیل‌های ژئومورفولوژی کارکردی برمبنای دیدگاه سیستمی است. ژئومورفولوژی سیستمی براساس شناسایی فرم‌ها، فرآیندهای ژئومورفیک و روابط بین آنها عمل می‌کند. کارایی این دیدگاه زمانی اهمیت فراوانی دارد که روابط متقابل بین اجزا و عناصر سیستم برقرار باشد. سیستم‌ها مجموعه‌های هدفدار هستند که کلیت آنها از سلسله‌مراتب تبعیت می‌کند؛ به‌طوری که هر سیستم در درون سیستم دیگر عمل می‌کند و با یکدیگر نیز ارتباط دارند.

پدیده‌ها در ژئومورفولوژی اگرچه کارکرد سیستمی دارند، در دیدگاه ساختارگرایی قابل تحلیل هستند و به شدت تحت‌تأثیر تغییرات شرایط محیطی قرار می‌گیرند؛ به‌طوری که اگر تغییر ناگهانی در ساختار سیستم رخ بدهد، رفتارهای

پیش‌بینی‌ناپذیر و حتی بسیار بزرگ‌تر از تغییرات محیط سیستمی رخ خواهد داد. چنین پدیده‌هایی را می‌توان با نظریهٔ کیاس تبیین کرد. به‌طور کلی، نظریهٔ کیاس گسترس خود را مدیون کارهای هنری Henri Poincare، Edvard Lorenz و Benoit Mandelbrot است. به عقیدهٔ مالانسو و همکاران نظریهٔ کیاس سه اصل بنیادی دارد که شامل بسیاری از سیستم‌های سادهٔ جبری و معینی است که قابلیت پیش‌بینی را نمی‌دهد. برخی سیستم‌ها حساسیت شدیدی نسبت به شرایط اولیه از خود نشان می‌دهند؛ به‌طوری که تغییر خیلی کوچکی در درونداد معادله در ابتدا، سبب بروندادهای به شدت بزرگ و متفاوت می شود. پیوستگی و ترکیب اصل اول و دوم یک حالت تصادفی را به وجود می‌آورد که می تواند به‌طور کلی منظم باشند (Malanson et al., 1991). به بیان دیگر، در نظریهٔ کیاس سیستم‌های دینامیکی مطالعه می‌شود که روابط غیرخطی بر آنها حاکم است و نسبت به شرایط اولیهٔ خود حساس است؛ به‌طوری که تغییری اندک در شرایط اولیه سبب رخداد تغییرات بزرگی خواهد شد.

غالب ژئومورفولوژیست‌ها تغییرات و تحولات ناهمواری‌ها را در یک روند پیش‌بینی‌پذیر تبیین می‌کنند؛ درحالی که همواره مواردی در طبیعت وجود دارد که چنین نظمی را در چهارچوب‌های تعریف‌شده نقض می‌کند. ادوارد لورنز (Lorenz, 1963). Gleick (1987) و Percival (1989) سیر تاریخی آن را تبیین و سپس Stewart (1989) و Jensen (1987) مبانی اساسی این تئوری را توضیح و تشریح کردند (به نقل از رامشت، ۱۳۸۲) در ایران برخی پژوهش‌ها با دیدگاه نظری کیاس تبیین شده است. نمونه‌هایی از کیاس (آشوب) در دره‌های هنجن و طامهٔ منطقهٔ کاشان مشاهده شده است که به‌علت تفاوت در عملکرد فرآیندها رخ داده است (رامشت، ۱۳۸۲). شواهد رخداد بی‌نظمی با الگوهای فراکتالی در پلایاهای حوض سلطان و گاوخونی برر سی شده است و رخداد کیاس در میکرولندفرم‌های موجود در دو تالاب اخیر گواه تغییر در سیستم شکل‌زایی حاضر و گذر آن به سیستم پلایاگونه است (قهرودی و خدری ۱۳۹۲؛ قهرودی و علی نوری، ۱۳۹۳). بررسی آشفتگی در الگوی خطر سیلاب تهران نشان داده است که سیلاب اگرچه خود یک مخاطره یا بی‌نظمی است، بی‌نظمی در الگوهای رخداد آن می‌تواند حاکی از تغییرات ماهیت آن باشد. تبیین نظریهٔ کیاس یا بی‌نظمی و آشفتگی در مخاطرهٔ سیلاب را می‌توان با هندسهٔ فرکتال ردیابی کرد (قهرودی و درفشی، ۱۳۹۳). تحلیل فرسایش قهقرایی و ایجاد پدیدهٔ اسارت به‌عنوان منشأ تغییرات بزرگ هیدرولوژیکی، تحولات کشاورزی و جمعیتی، تحلیل خصوصیات کمّی و آنالیز سری‌های زمانی هیدرولوژیکی جریان رودخانه ازجمله پژوهش‌هایی است که با نظریهٔ کیاس انجام شده است (قاهری و همکاران، ۱۳۹۱؛ گلی مختاری و همکاران، ۱۳۹۳).

فیلیپس دریافت که فرسایش خط ساحلی درطول خلیج دلاوار با زیرآب‌رفتن ساحلی مرتبط است و پیچیدگی زیاد الگوی خط ساحلی نشئت‌گرفته از میزان فرسایش ثبت‌شده است. همچنین، او مطرح کرد در شرایطی که کیاس رخ می دهد، الگوهای فضایی بی‌نظم از واکنش مرداب به فرآیندهای غیرخطی قطعی قابل استناد است و به‌دلیل کنترل‌های محیطی هیچ ضرورتی برای توضیح تغییرات محلی وجود ندارد. به‌احتمال، فیدبک مثبت و خودافزایشی علامت شناسایی رفتار کیاسی است؛ مانند واکنش تالاب‌ها به بالا آمدن سطح دریا ست که نشان‌دهندهٔ ناپایداری آنها ست (Phillips, 2011; Phillips, 1992).

ریزگردها یا به‌عبارتی گردوغبار یکی از رخدادهای جوّی است که به‌طور کلی، ذرات تشکیل‌دهنده شامل ۱۰۰ میکرون تا کمتر از ۰/۰۰۱ میکرون است. این ذرات بسیار ریز با رخدادهای گردوغبار که پدیده‌ای فیزیکی است، به همراه شرایط آب‌وهوایی مناسب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک روی می‌دهد (Goudie, 2009). به‌دلیل کمبود رطوبت و پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات به یکدیگر کاهش یافته است. در این شرایط باد می‌تواند ذرات با قطر کمتر از 0/5 میلی‌متر را از سطح خاک جدا و با خود حمل کند. بسیاری از این ذرات قطری کمتر از ۱۰ میکرون را دارند و سرعت سقوط آنها تحت‌تأثیر نیروی جاذبهٔ زمین قابل اندازه‌گیری نیست؛ بنابراین در جوّ به‌صورت معلق باقی می‌مانند. به این دلیل در نواحی بیابانی ممکن است هوا برای مدتی طولانی به حالت گردوغبار باقی بماند (شایان، ۱۳۷۶). در ایران منطقهٔ تحت‌تأثیر پدیدهٔ ریزگرد ابتدا در خوزستان و برخی استان‌های غربی مشاهده شده است؛ ولی منطقهٔ تحت تأثیر هر سال گسترده‌تر شده است تا جایی که در سال ۱۳۸۹ علاوه‌بر جنوب غرب، غرب و شمال غرب کشور در منطقه‌های مرکزی شامل استان‌های تهران، زنجان، اصفهان و برخی بخش‌های استان‌های دیگر نیز وقوع پدیده گزارش شده است و در حال حاضر، تعداد استان‌های تحت‌تأثیر به ۲۱ استان رسیده است. به‌طور معمول، چنین پدیده‌ای به فصل گرم سال محدود می‌شود؛ ولی در سال‌های اخیر در فصل بهار و بعضی اوقات در زمستان هم رخ داده است. هدف پژوهش حاضر بررسی پدیدهٔ ریزگرد به‌عنوان یک پدیدهٔ دینامیکی و نقش پهنه‌های رسوبی و پلایاها به‌عنوان عامل وقوع کیاس در ریزگردهای شهر تهران است که در آن محدودهٔ شهر تهران به‌عنوان مقصد ریزگردها و پهنه‌های رسوبی براساس باد غالب تهران انتخاب شده است.

روش‌شناسی پژوهش

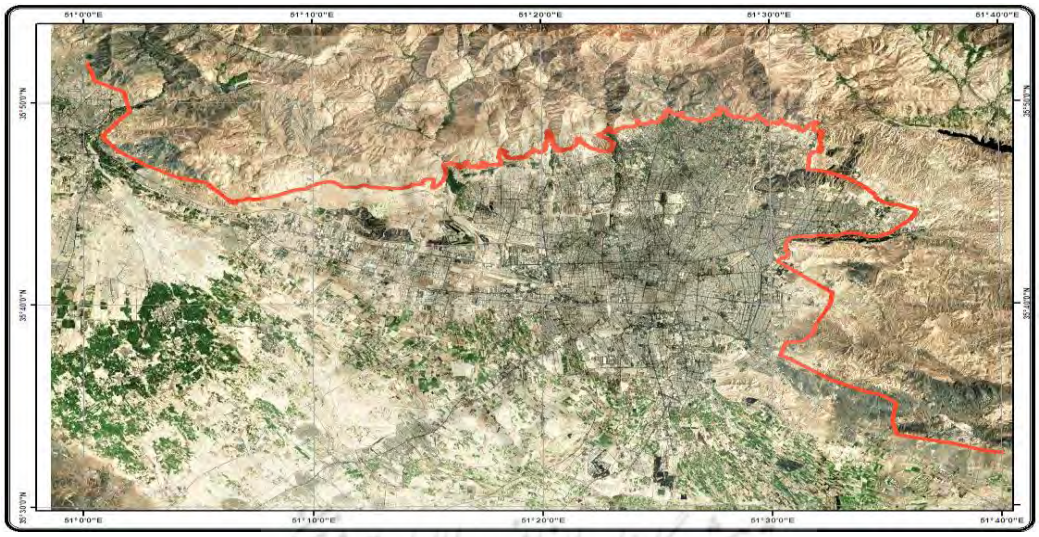
منطقهٔ مطالعه‌شده

تهران در پای دامنهٔ جنوبی ارتفاعات البرز و حدفاصل بزرگ‌ترین شبکه‌های دائمی این ناحیه (شامل رودهای کرج در مغرب و جاجرود در مشرق) به‌عنوان پایتخت و بزرگ‌ترین شهر ایران و یکی از بزرگ‌ترین شهرهای دنیا استقرار یافته است. این استان از شمال و مشرق به‌ترتیب با کوه‌های توچال، سه‌پایه و بی‌بی شهربانو محصور شده است و از مغرب و جنوب با دشت پایکوه ارتباط دارد. این استان به استثنای چند عارضهٔ کوهستانی کوچک و محدود ازجمله کوه‌های آراد و مره با بیابان‌های داخلی (مسیله و دشت کویر) در ارتباط مستقیم است. شکل ۱ محدودهٔ شهر تهران را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که مرز سد کوهستانی در شمال و مشرق پتانسیل ماندگاری ریزگردها را افزایش می‌دهد؛ بنابراین بررسی الگوی ورود ریزگردها در تهران ضروری است.

نتایج حاصل‌شده از بررسی اولیهٔ رهگیری بسته‌های هوای ورودی به شهر تهران، مسیر حرکت ریزگردها را آشکار و خاطرنشان کرد که حضور پهنه‌هایی مانند پلایاها، دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک شده، تراس‌های آبرفتی قدیمی و سطح‌های بهره‌برداری از معادن شن‌وماسه نقش ویژه‌ای در رسیدن ریزگردها به شهر تهران دارند که نسبت به ابعادشان در جریان حرکت ریزگرها بسیار کوچک هستند. این پهنه‌ها شامل سطح‌های بهره‌برداری از معادن شن‌وماسهٔ شهریار، بند علیخان، دریاچهٔ حوض سلطان و میقان و اراضی بیابانی اطراف دشت قزوین است که به‌عنوان پهنه‌های مؤثر در ورودی ریزگردها به تهران بررسی شده است.

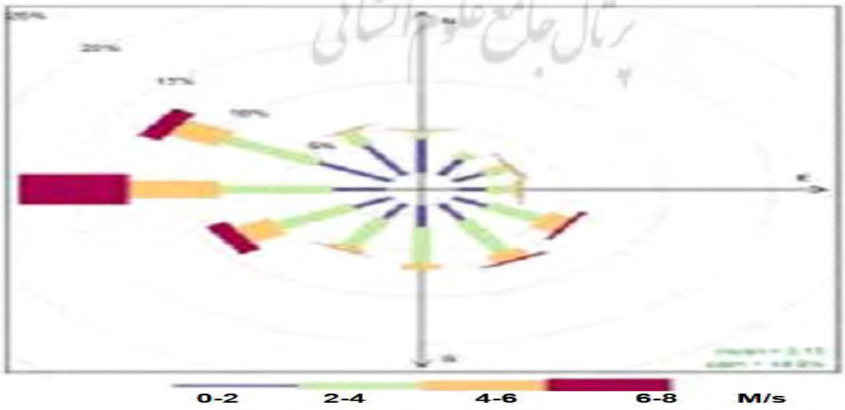
داده و روش کار

باتوجه به اینکه ماهوارهٔ ترا (سنجنده مودیس) از سال 1999 در مدار قرارگرفته و آرشیو تصاویر آن موجود است و نیز به‌دلیل وقوع متعدّد پدیدهٔ ریزگرد حدود سال‌های 2000 تا 2015 (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳) و وجود آرشیو اطلاعات محلی، مقطع زمانی 2005 تا 2017 (۱۳۸٤الی ۱۳۹٦) برای این پژوهش انتخاب شـد. روزهای وقوع ریزگردها براسـاس آمار شرکت کنترل ترافیک هوای شهر تهران و ایستگاه‌های سینوبتیک تهران انتخاب شده است که در این ارتباط با هم پوشانی روزهای با دید افقی کمتر از ۳۰۰۰ متر و شاخص PM10 بیشتر از حدود 150 ppm به‌عنوان سمبل انتخاب ریزگرد درنظر گرفته شده است. بر این اساس، حدود ٤۲ روز از بازهٔ پیشگفته پدیدهٔ ریزگرد در تهران مشاهده شده است. با اخذ داده‌های مربوط به ایستگاهای سینوپیک تهران، مهرآباد، چیتگر، امام‌خمینی، لواسان از سال ۱۳۸٤تا ۱۳۹٦ برخی از روزهایی که احتمال وقوع ریزگرد در آنها محسوس بود، مشخص شده است. جهت باد غالب استان تهران در بیشتر ماه‌ها در گلباد بلندمدت ایستگاه‌های شاخص بیشتر متمایل به غرب و جنوب است (شکل ۲).



شکل ۱: محدودهٔ کلانشهر تهران (منبع: استخراج از تصویر ETM)

Figure 1: Tehran metropolitan area



شکل ۲: گلباد مربوط به سال‌های ۹۰ تا ۹۵ شهر تهران (منبع: شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، ۱۳۹۰)

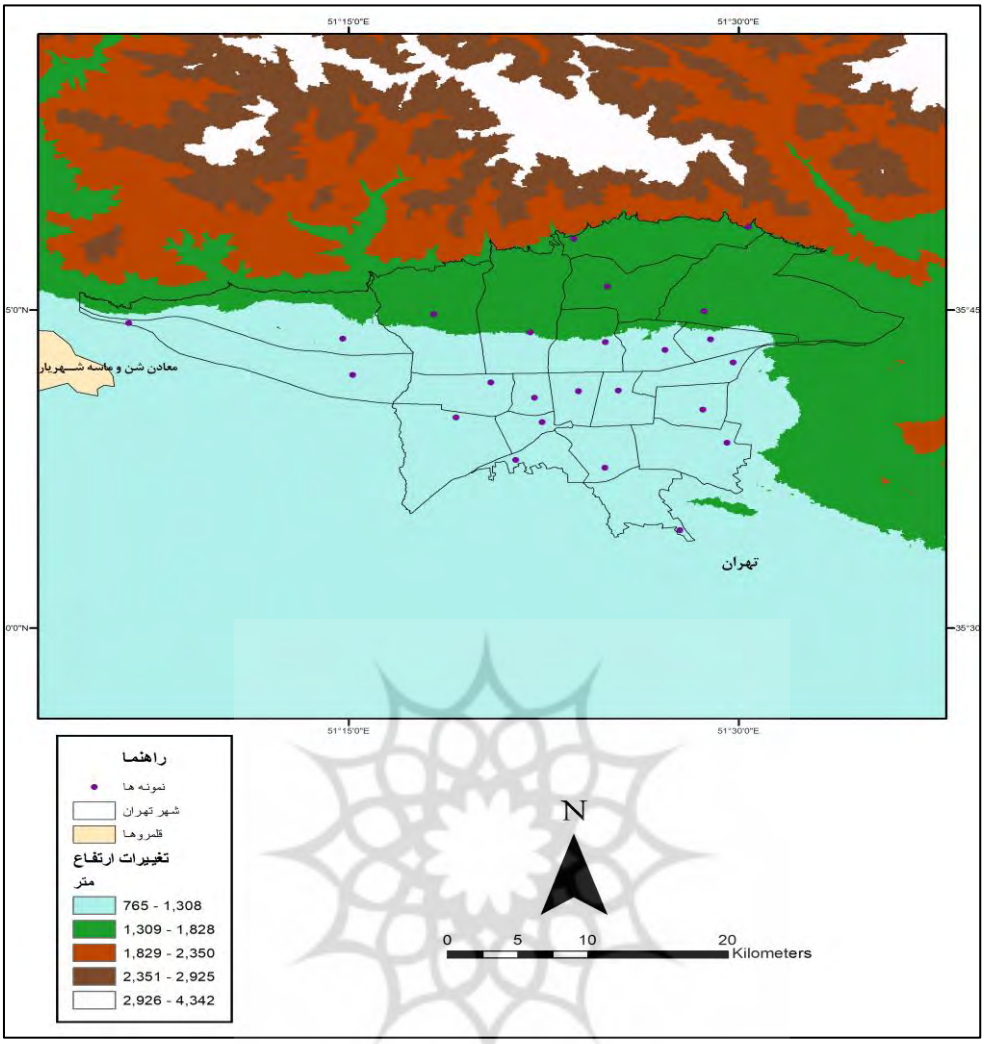
Figure 2: Wind rose from 1990 to 1995 of Tehran city

روش کار برای استخراج الگوهای ریزگردها به شرح زیر است.

۱- مدل رهگیری بسته‌های هوای ورودی به شهر تهران با استفاده از مدل Back Trajectory Analysis: برای تعیین حدود نسبی کانون‌های گردوغبارهای منطقه‌ای از نقشه‌های سرعت و جهت باد و برای مشخص‌کردن مسیر آنها از مدل رهگیری بسته‌های هوا (HYSPLIT) بهره گرفته شده است. همچنین، از نقشه‌های جوّی و مدل رهگیری باد به‌عنوان مکمل تصاویر ماهواره‌ای و برای افزایش اعتبار نتایج پژوهش ازجهت تمامی موارد گردوغبار استفاده شده است. این مدل بسته‌های حامل ریزگرد را از زمان ثبت گردوغبار در ایستگاه‌های هواشناسی با حرکت زمانی عقب‌گرد (Backward) شناسایی کرده است. اگر بسته‌های هوای رسیده به مقصد از منطقه‌های مولد توده‌های گردوغبار که با تصاویر ماهواره‌ای یا نقشه‌های سرعت و جهت باد تعیین شده است، عبور کند، می‌توان آن مسیر را به‌عنوان محل عبور توده‌های ریزگرد شناسایی کرد.

۲- استفاده از شاخص‌های آشکارسازی ریزگردها: شامل شاخص BTD (Brightness temperature difference) اکرمن است که اختلاف درجه‌حرارت روشنایی کمتر از صفر درجهٔ کلوین را به‌معنای وجود گردوغبار بزرگ‌تر و اختلاف درجه‌حرارت مساوی صفر درجهٔ کلوین را نشان‌دهندهٔ نبود گردوغبار درنظر می‌گیرد. روش شاخص گردو غبار (تشخیص گردوغبار فقط هنگام روز انجام می‌شود)، آزمون‌های درجه‌حرارت روشنایی و بازتابندگی تنها برروی باندهای مرئی و حرارتی سنجندهٔ مودیس اعمال می‌شود. روش میلر اطلاعات را از باندهای مرئی چندگانه با مادون قرمز نزدیک و دور ترکیب و سپس توانایی بهبودیافته را برای تشخیص منطقه‌های گردوغبار از ابرهای یخی آبی و سطح روشن بیابان در تصاویر رنگی کاذب فراهم می‌کند (Miller, 2003).

۳- عملیات میدانی و آزمایشگاهی: در این پژوهش از شهر تهران به‌عنوان مقصد ریزگردها نمونه‌برداری شده است. به این منظور از تلهٔ رسوبگیر تیله‌ای (Marble Dust Collector) (MDCO) استفاده شده است. ازمیان فصل‌های سال سه فصل زمستان ۱۳۹٦، بهار و تابستان ۱۳۹۷ تعیین و درطول این سه فصل نمونه‌برداری انجام شد. در این میان، بررسی‌ها به‌صورت تجمیعی در محاسبه‌ها درنظر گرفته شد. شکل ۳ جانمایی نمونه‌ها را درسطح شهر تهران نمایش می‌دهد. برای تعیین خصوصیات شیمیایی گردوغبار ازجمله عناصر اصلی و کمیاب، تشخیص عناصر نمونه‌های جمع‌آوری شده از پهنه‌های انتخابی از روش فولوئورسنس اشعهٔ ایکس XRF (X-Ray Fluorescence) استفاده شده است. در این روش پرتو ایکس به نمونهٔ مجهول تابید و سپس برانگیختن اتم‌ها باعث پدیدآمدن پرتو ایکس ثانویه شد و بدین ترتیب، با سنجش آن، عناصر شناسایی شد. در این روش اندازه گیری، نام عناصر موجود در نمونه‌ها مشخص شد و سپس شدت فراوانی آنها در نمونه به دست آمد. باتوجه به نتایج حاصل‌شده از مدل اقلیمی و پردازش تصاویر مودیس برخی محدوده‌ها که در الگوی حرکت ریزگردها به سمت تهران نقش داشتند، استخراج شدند. این محدوده‌ها به‌طور کلی منطبق بر برخی حوضه‌های انتهایی (پلایا و دریاچه، تالاب)، تراس‌های آبرفتی قدیمی و دشت‌های بیابانی بوده است.



شکل ۳: جانمایی نمونه‌های درسطح شهر تهران (منبع: نگارندگان)

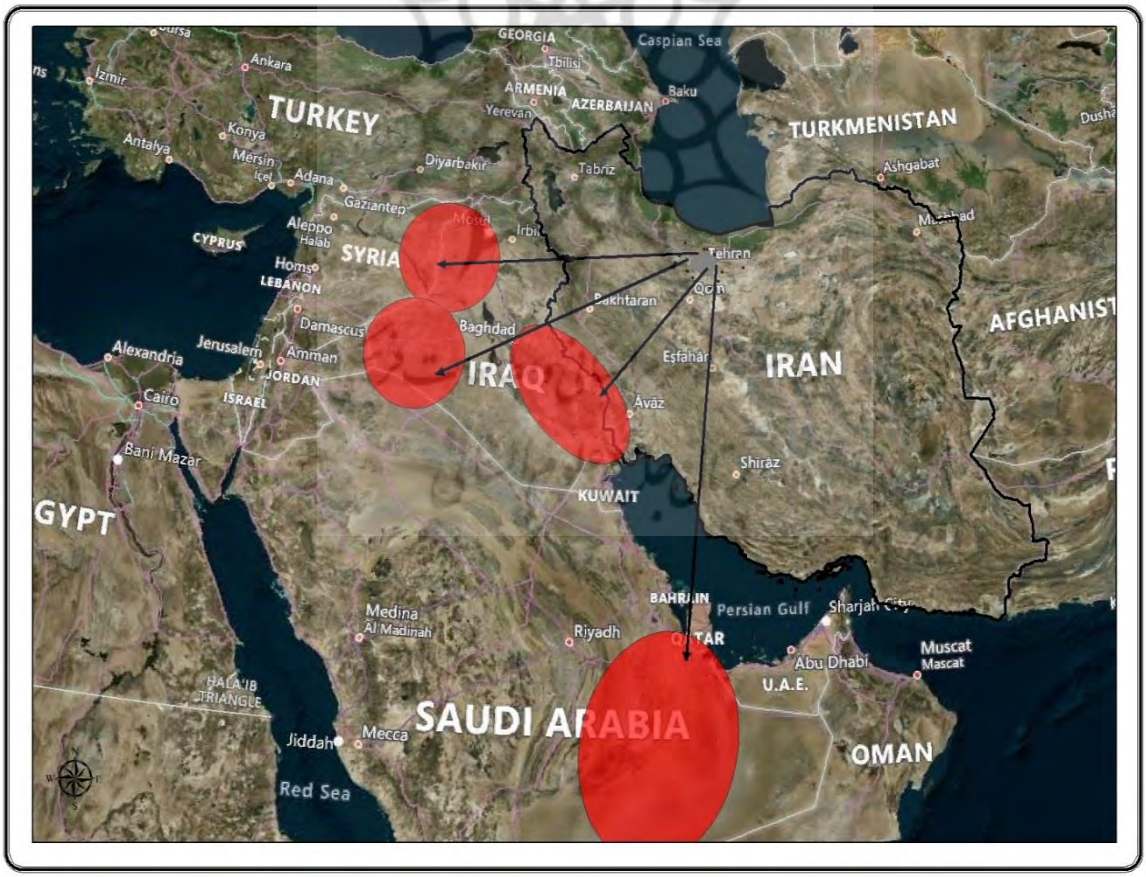
Figure 3: Location of samples in Tehran

یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل آنها

با استفاده از تصاویر مودیس و کنترل آن با مدل اقلیمی طی سال‌های 2005 (۱۳۸۳) تا 2020 (۱۳۹۸) مشخص شد که پدیدهٔ ریزگردها از لحظهٔ شروع برروی نقاط کانونی تا لحظهٔ ورود به شهر تهران از یکسری الگوها و مسیرهای مشخص پیروی می‌کنند. گفتنی است که رخداد این پدیده برروی تصاویر ماهواره‌ای به صورت منظم و خطی جریان پیدا نمی‌کند، بلکه ممکن است در اطراف محور حرکت، کیلومترها اطراف خود را نیز تحت‌الشعاع قرار دهد.

چند الگو از این پژوهش استخراج شده است که مهم‌ترین آنها الگویی است که بیشتر در تیرماه ایجاد می شود و شروع جریان آن از شمال شرق سوریه است. الگوی دیگری که در اواخر زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد برخاسته از صحاری عربستان به‌خصوص ربع‌الخالی است. سایر الگوها با محور بیشتر غربی-شرقی هستند که منطبق بر جریان های غربی هستند و به‌طور کلی وقوعشان در بیشتر ماه‌های گرم سال با منشأ صحراهای شمال عربستان (شرق جوف

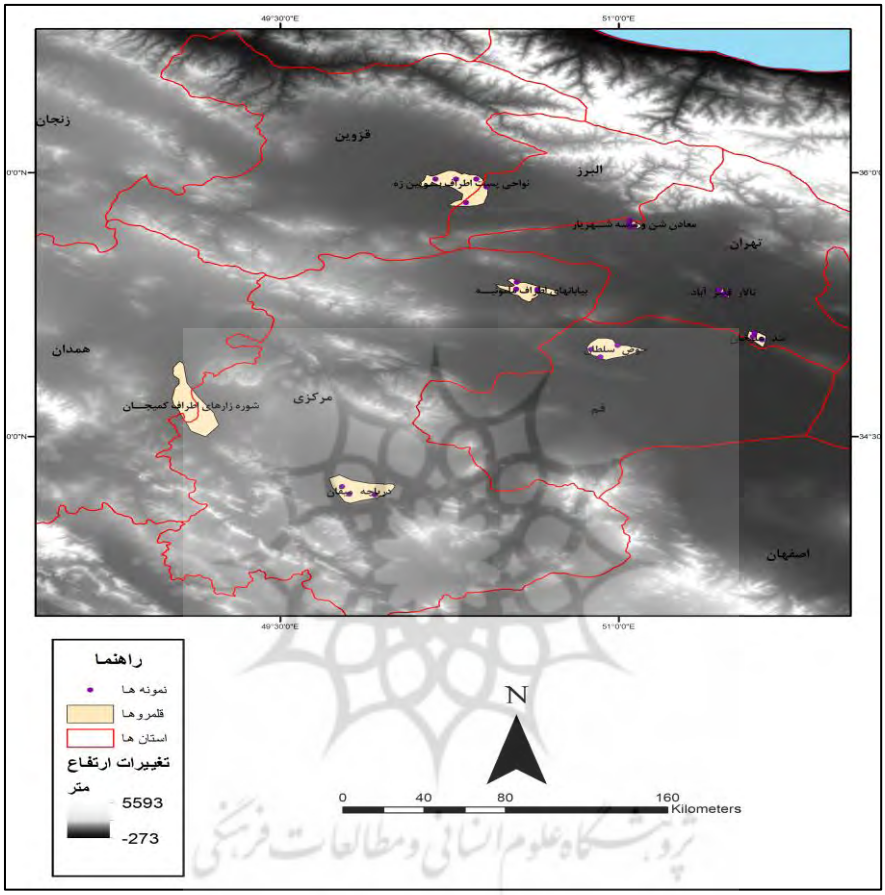
وسکاکه) است. این هسته‌های تراکم گردوغبار ممکن است پس از تشکیل در شرق آفریقا و عربستان‌سعودی به عراق و ایران حرکت کنند. الگوهایی مشابه طوفان ۲٤ فروردین ۱۳۹۰ با ایجاد هستهٔ تراکم برروی جنوب شرق عراق و تا حدودی دشت خوزستان ایران ایجاد می‌شود. مبدأ و مسیر حرکت الگوهای مورد بحث مشخص است. غیر از موارد فوق، گاهی الگوهایی رخ می‌دهد که ترکیبی از سایر الگوها و یا بی‌نظم است که نمونهٔ آن طوفان گردوغبار ۳ خرداد ۱۳۹۱، (ورود از غرب کشور) طوفان‌های ۱۹و ۲۰ فروردین ۱٤۰۰ و ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ۱٤۰۱ است که مربوط به کانون‌های واقع در کشورهای عراق، سوریه و اردن بوده است. طوفان‌های ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت‌ماه ۱٤۰۰نیز در کانون‌های واقع در کشورهای عراق و عربستان ایجاد شده است (شکل ٤) (رحیمی و همکاران،۱٤۰۰؛ قهرودی و رحیمی، ۱٤۰۲). بنابراین همان‌طور که ملاحظه شد، منشأ اولیهٔ ریزگردهای ورودی به تهران در منطقه‌های بیابانی و خشک و پهناور خارج از کشور ایجاد می شود. بخش اعظم منابع خارجی ریزگرد مانند صحاری شمال عربستان و صحاری شرق آفریقا پدیده‌های جدیدی نیستند و به رخداد ریزگردها در دوران جدید مربوط نمی‌شوند؛ زیرا از گذشته فعّال بوده‌اند و هیچ‌گاه از منطقه‌های داخلی ایران، شبیه تهران عبور نمی‌کردند. در حال حاضر، علت چگونگی گسترش این پدیدهٔ دینامیکی را در خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌های داخلی می‌توان جست‌وجو کرد (قهرودی، ۱۳۹۱؛ صراطی و همکاران، ۱٤۰۲؛ رحیمی و همکاران، ۱٤۰۰)



شکل ٤: منابع اولیهٔ تولید ریزگردها (منبع: نگارندگان)

Figure 4: Primary sources of dust production

پهنه‌های بررسی‌شده در این پژوهش شامل سطح‌های بهره‌برداری از معادن شن‌وماسهٔ شهریار، بند علیخان، دریاچهٔ حوض سلطان و میقان و اراضی بیابانی اطراف دشت قزوین است. همچنان که در شکل ٤ مشاهده می‌شود ابعاد این پهنه‌ها درمقابل خاستگاه اولیهٔ ریزگردها بسیارکم است؛ بنابراین برای روشن‌تر شدن نقش آنها در ریزگردهای ورودی به تهران نمونه‌برداری از پهنه‌های مدنظر انجام شده است. شکل ۵ پهنه‌های بررسی شده و موقعیت نقاط نمونه‌های برداشت‌شده را نشان می‌دهد.

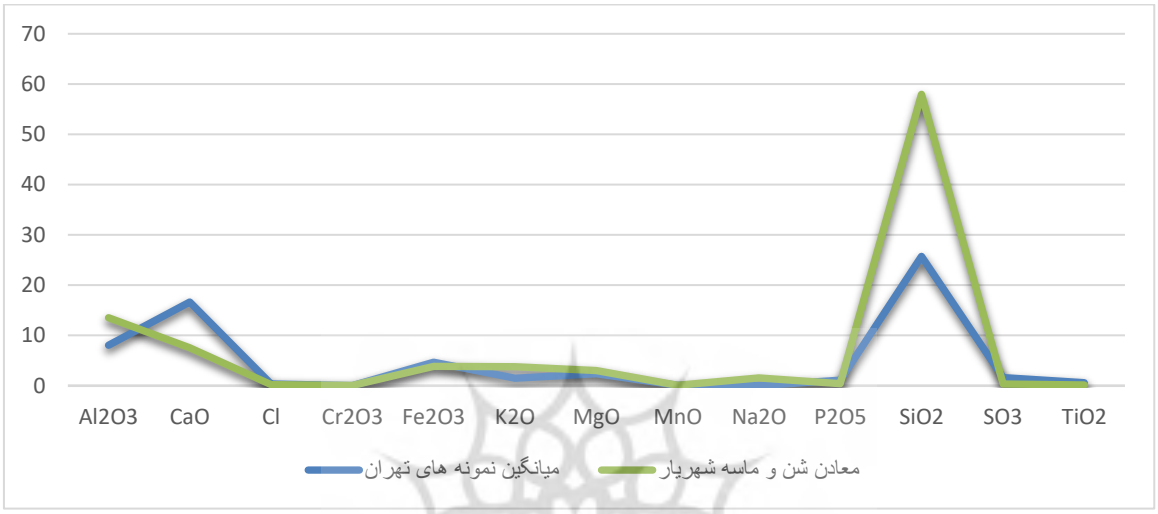


شکل ۵: پهنه‌های بررسی‌شده و موقعیت برداشت نمونه‌ها (منبع: نگارندگان)

Figure 5: Areas under investigation and samples collection location

حد فاصل سال‌های 1985 تا 2020 سطح‌های بهره‌برداری از معادن شن‌وماسهٔ شهریار حدود ۱۰ برابر شده است. همچنین، باتوجه به سطح دستکاری محیطی در محدودهٔ ۳۰۰۰ هکتاری این معادن به نظر می‌رسد که این منطقه پتانسیل فراوانی برای تقویت ریزگرد تهران داشته باشد (قهرودی و همکاران، ١٤٠٠). نتایج آزمایش‌های ژئوشیمی نیز مؤید شباهت‌های درصد ترکیبات عناصر این محدوده و ریزگردهای جمع‌آوری شده در تهران است. تشابه ترکیبات شیمیایی عناصر نمونه‌برداری‌شده از سطح معادن و نمونه‌گیری‌شده با تلهٔ رسوبگیر MDCO مؤید این قضیه است که به‌احتمال، درصد زیادی از SIO2 به‌دست‌آمده در ترکیبات شیمیایی ریزگرد شهر تهران برگرفته از معادن شن‌وماسهٔ شهریار باشد. به‌دلیل اینکه تمامی جریان‌های ریزگردآور از روی این معادن عبورمی‌کنند، می‌توان به نقش این معادن

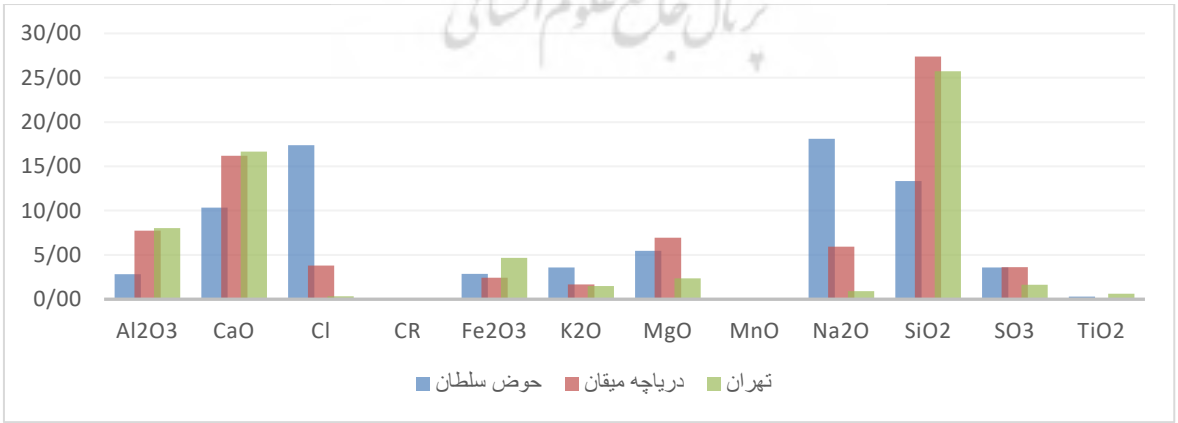
در ترکیبات عناصر و غبار ریزشی شهر تهران پی برد. شکل ٦ مقایسهٔ ترکیبات ریزگرد تهران و نمونه‌های شهریار را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار فوق برمی‌آید تشابهات ترکیبات رسوبی در عناصر مختلف وجود دارد. همچنین، تفاوت چشگیری در مقدار سیلیسیوم معادن و نمونه‌های تهران وجود دارد که می‌تواند ناشی از جنس رسوبات تراس های آبرفتی رودخانهٔ کرج باشد. همچنین، احتمال دارد که مقداری از سیلیسیوم نمونه‌های شهر تهران ناشی از این منبع نیز باشد.



شکل ٦: مقایسهٔ ترکیبات ریزگردهای تهران و نمونه‌های شهریار (منبع: نگارندگان)

Figure 6: Comparison of the compositions of dust from Tehran and Shahryar samples

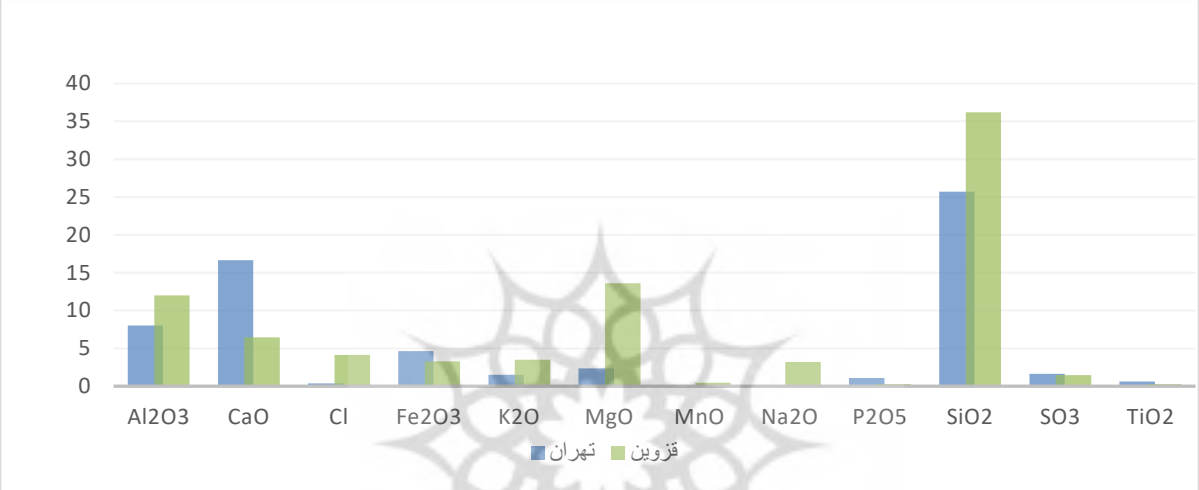
نتایج بررسی تصاویر مودیس حاکی از تشکیل هسته‌هایی با تراکم ریزگرد بر بالای دریاچهٔ حوض سلطان و میقان است. این سطح‌ها پتانسیل تشدید جریان‌های ریزگرد را دارد. مقایسهٔ میانگین ترکیبات دو دریاچهٔ حوض سلطان، میقان و شهر تهران نشان از وجود ترکیبات پتاسیم، سدیم و کلر مشابه با نمونه‌های دریاچه‌های مذکور را دارد که به‌احتمال، منشأ برخی از ترکیبات عناصر سدیم، کلر و پتاسیم واردشده به شهر تهران (درحین عبور ریزگردها از اراضی ریزدانه و منفصل) اطراف این دو دریاچه است (شکل ۷).



شکل ۷: مقایسهٔ ترکیبات اصلی ریزگردهای حوض سلطان و میقان با تهران (منبع: نگارندگان)

Figure 7: Comparison of the main compositions of Hoze Soltan and Mighan dusts with Tehran

اراضی بیابانی اطراف دشت قزوین در جنوب رشته‌کوه البرز و شمال رشته‌کوه رامند احاطه شده است. مساحت این دشت معادل ۸۶۹۳ کیلومتر مربع است. این محدوده به‌دلیل اینکه در مسیر بادهای غالب ورودی به شهر تهران قرار گرفته اســـت، ازلحاظ تأمین دانه‌های ریزگرد برای بادهای غربی و جنوب غربی ورودی به تهران نقش مهمی دارد. به همین جهت، حضـــور زمین‌های عاری از پوشـــش‌گیاهی نقش مهمی در ایجاد کانون ریزگرد داخلی برای شـــهر تهران دارد. مشـاهده‌های مربوط به ترکیبات رسـوبی ژئوشـیمیایی نمونه‌های جمع‌آوری‌شـده در تهران با اسـتفاده از تله‌های رسـوبگیر درمقایسـه با ترکیبات نمونه‌های برداشـت‌شـده در منطقه‌های دشـت قزوین حضـور پررنگ کلر، پتاسـیم و سیلیسیم را نشان می‌دهد (شکل ۸).



شکل ۸: مقایسهٔ نتایج XRF نمونه‌های دشت قزوین و تله‌های رسوبگیر در شهر تهران (منبع: نگارندگان)

Figure 8: Comparison of XRF results of Qazvin plain samples and sediment traps in Tehran city

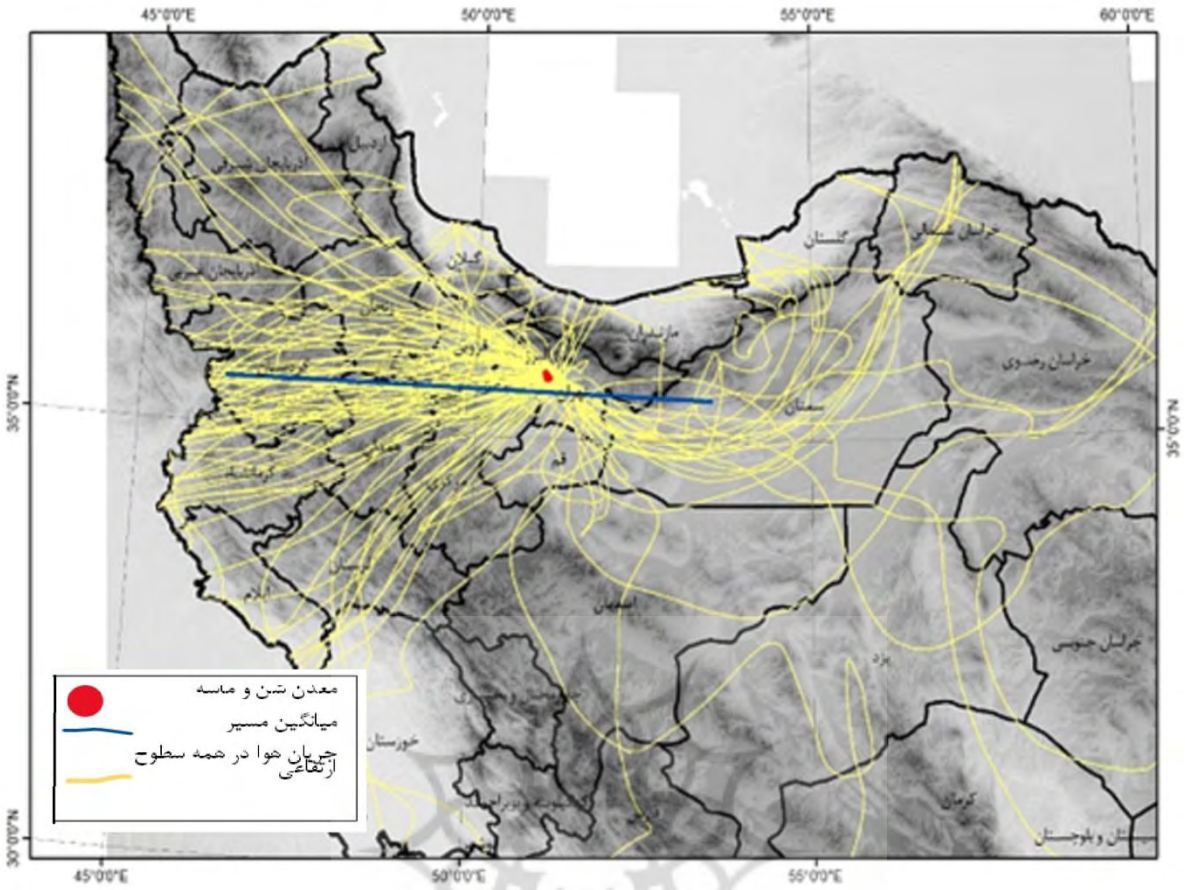
نتیجه‌گیری

سیستم جریان ریزگردها یک سیستم دینامیکی کیاتیک (Chaotic) است که نوسان‌ها و چرخه‌هایی با دوره‌های بی نهایت ایجاد می‌کند و به‌دلیل اینکه مرزهای آن غیرخطی اســـت در دورهٔ مطالعه‌شـــده امکان تکرار را ندارد. همچنین، نمی‌تواند بر مسیرهای قبلی آن منطبق باشد؛ بنابراین به شرایط اولیهٔ خود بسیار حساس می‌شود؛ به‌طوری که اگر یک مقدار از شرایط اولیه تغییر بسیارکمی داشته باشد، مسیر جدید سیستم از مسیر قبلی جدا خواهد شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که منابع تغییرات مکانی طوفان‌های ریزگرد با پلایاها و تالاب‌ها و به‌طور کلی با حوضه‌های انتهایی مطابقت مکانی دارد. به بیانی دیگر، در فراوانی مسیر الگوهای ورود ریزگرد به شهر تهران تغییراتی را می‌توان مشاهده کرد. تغییرات فراوانی مسیر ریزگردها ازطریق ارتباط آن با منابع ورودی قابل تبیین نیست، بلکه بیشتر به نظر می‌رسد که سیستم حرکتی ریزگردها درصدد برقراری نظمی جدید و عمیق‌تر است که به‌دلیل تغییرات در مبدأ و مقصد نیست، بلکه ورود ریزگردها به این سیستم حرکتی درطول حرکت در داخل سیستم تغییراتی ایجاد کرده است؛ درنتیجه تغییراتی در شرایط اولیه در سیستم ریزگردهای ورودی به تهران ایجاد می‌شـود. به‌عبارتی، منابع داخلی ریزگردها الگوی حرکت ریزگردها را تغییر می‌دهد. اگر چه ابعاد این منابع نسبت به ابعاد منشأ اولیه بسیارکوچک است، می‌تواند نقش بزرگی در تغییر مسیر حرکت ریزگردها ایجاد

کند. در نتایج مطالعات آزمایشگاهی از نمونه‌های تله‌های رسوبگیر تهران و معادن شن‌وماسهٔ شهریار، بند علیخان، دریاچهٔ حوض سلطان و میقان و اراضی بیابانی اطراف دشت قزوین بر نقش آنها در ریزگردهای تهران تأکید شده است. همچنین، بررسی پهنه‌های اخیر در جریان هوای سطح‌های ارتفاعی حاکی از حضور هسته‌های مولد در ایام طوفانی است. شکل ۹ نقش معادن شن‌وماسهٔ شهریار را در الگوی ریزگردهای تهران نشان می‌دهد. در این شکل موقعیت معادن شن‌وماسهٔ شهریار با اینکه وسعت بسیارکمی دارد، در مسیر جریان هوا در سطح‌های ارتفاعی خود را نشان می‌دهد. سوابق پژوهش در معادن شهریار نشان داده است که این معادن بر شدت ریزگردهای ورودی به تهران در بهار، تابستان و پاییز می‌افزاید (قهرودی و همکاران، ۱۴۰۰).

مقایسهٔ این پژوهش با نتایج رحیمی و همکاران در سال ۱۴۰۰ بیانگر دخالت منطقه‌های خشک داخلی در سیستم ریزگردهاست که نظم سیستم را متحول و نظمی جدید و عمیق‌تر برقرار می‌کند. به‌احتمال، پس‌خورند مثبت در سیستم دینامیکی حرکت ریزگردها سبب تغییر در الگوی حرکت آنها به سمت تهران شده است که قابلیت پیش‌بینی مسیر حرکت را با مشکل مواجه می‌کند. مقایسهٔ نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های فیلیپس (Phillips, 1992; 2011)، قهرودی و علی نوری (۱۳۹۳) و قهرودی و خدری (۱۳۹۲) نشان داده است که رخداد کیاس توانسته است سبب برقراری نظمی متفاوت و عمیق‌تر شود که خود سبب ناپایداری مکانی و زمانی و به‌طور کلی، رفتار متفاوت و پیش بینی‌ناپذیر سیستم ریزگردها می‌شود. تحلیل مقایسه‌ای نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های صراطی و همکاران (۱۴۰۲) و رحیمی و همکاران (۱۴۰۰) بیانگر این نکته است که خشک‌شدن دریاچه‌ها و تالاب‌های داخلی کشور نقشی بسیارمهم تر از تشدید ریزگردهای ورودی به تهران را دارند. به این ترتیب که با احتمال نزدیک به یقین سبب تغییر حرکت مکانی ریزگردها می شوند و عامل اصلی ورود ریزگردها به شهر تهران هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چنانچه مدیریت محیط زیست در ایران به احیای دریاچه‌ها و تالاب‌های داخلی منجر شود، مخاطرهٔ ریزگردها در شهرهای داخلی ایران ازبین خواهد رفت. در غیر این صورت، ادامهٔ وضعیت اخیر دریاچه‌ها و تالاب‌های داخلی کشور را با رفتارهای جدید و پیش‌بینی‌ناپذیر ریزگردها مواجه خواهد کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۹: نقش معدن شن‌وماسهٔ شهریار بر الگوی ریزگردهای تهران (منبع: نگارندگان)

Figure 9: The role of Shahriar sand mine on the dust pattern of Tehran

منابع

رامشت، محمدحسین (۱۳۸۲). نظریه کیاس در ژئومورفولوژی. *مجلهٔ جغرافیا و توسعه*، *۱*(۱)، ۱۳-۳۷.
https://doi.org/10.22111/gdij.2003.3639

رجائی، عبدالحمید (۱۳۷۳). *کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط*. قومس.

رحیمی، رامین، قهرودی تالی، منیژه، و صدوق، حسن (۱۴۰۰). الگوها و منابع داخلی ریزگردهای تهران. *پژوهش‌های دانش زمین*، *۱۲*(۴۸)، ۸۶-۱۰۷. 10.48308/ESRJ.2022.101546

شایان، سیاوش (۱۳۷۶). *فرهنگ اصطلاحات جغرافیای طبیعی* (چاپ سوم). مؤسسهٔ فرهنگی مدرسه برهان.

شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (۱۳۹۰). *گزارش کیفیت هوای تهران ۱۳۹۰-۱۳۹۵*. مرکز چاپ نشر شهر.

صراطی، نرجس، صفاری، امیر، قهرودی تالی منیژه، و علی نوری خدیجه (۱۴۰۲). مطالعهٔ تطبیقی تغییرات الگوی مکانی گردوغبار استان تهران در بازهٔ سال‌های ۲۰۱۹ -۲۰۰۰. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، *۱۳*(۱)، ۱۵۵-۱۷۴.
https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-714-fa.html

قاهری، عباس، قربانی، محمدعلی، دل‌افروز، هادی، و مکانی، لیلا (۱۳۹۱). ارزیابی جریان رودخانه با ا ستفاده از نظریهٔ آشوب. *مجلهٔ پژوهش آب ایران*، *۱*(۶)، ۱۷۷-۱۸۶. https://sid.ir/paper/408539/fa

قهرودی تالی، منیژه، علی نوری، خدیجه، و اجاقلو، مریم (۱۴۰۰). تأثیر معادن شن‌وماسهٔ شهریار بر ریزگردهای استان تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰(۱)، ۹۹-۱۱۷. 10.22067/GEOEH.2021.66965.0

قهرودی تالی، منیژه، و خدری غریب وند، لادن (۱۳۹۲). رویکرد فرم شنا سی در ا ستراتژی مدیریت تالاب‌ها و پلایاها (بررسی موردی: پلایای گاوخونی). *فصلنامهٔ علوم محیطی*، *۱۴*(۲)، ۱۰۹-۱۱۸.
https://envs.sbu.ac.ir/article_97693.html

قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۱). *پلایاها تشـــدیدکنندهٔ ریزگردها*. اولین همایش انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، دانشـــکدهٔ علوم جغرافیایی دانشگاه تهران. https://sid.ir/paper/853217/fa

قهرودی، منیژه، و درفشی، خه بات (۱۳۹۳). بر رسی آ شفتگی در الگوی خطر سیلاب در تهران. *مجلهٔ تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲(۲)، ۱-۱۶. 10.18869/acadpub.jsaeh.2.2.1

قهرودی تالی، منیژه، و رحیمی، رامین (۱۴۰۲). *نظر یهٔ کیاس در تبیین تغییرات الگوی ریزگرد ها در تهران*. نهمین همایش انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، محیط‌های ژئومورفیک، میراث‌ها و تنوع زمینی، دانشگاه تهران.
https://civilica.com/doc/1687742 /

قهرودی تالی، منیژه، و علی نوری، خدیجه (۱۳۹۳). ردیابی مخاطرات پلایای حوض ســلطان با بررســی آشــفتگی در میکرولندفرم‌ها. *مجلهٔ دانش مخاطرات*، *۱*(۲)، ۲۴۱-۲۵۲. 10.22059/JHSCI.2014.53125

گلی مختاری، لیلا، داداش‌زاده، زهرا، و آراء، هایده (۱۳۹۳). کیاس فرســایشــی و تحولات پیش‌بینی‌نشــدهٔ چالهٔ اردبیل. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۵(۳)، ۲۳۱-۲۴۲. https://gep.ui.ac.ir/article_18685.html

رامشت، محمدحسین، و محمدیان، عبرت (۱۳۹۹). *اندیشه‌های نظری در ژیومورفولوژی*. مرکز نشر دانشگاهی.

معتمد، احمد، و مقیمی، ابراهیم (۱۳۷۵). *ژئومورفولوژی دیدگاه‌ها* (ریچارد جی، چورلی ا ستانلی ای، شوم دیوید ای سودن) (ج. ۱). انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت).

References

Chorley, R. J. (1972). *Spatial analysis in geomorphology* (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429273346

Ghaheri, A., Ghorbani, M. A., Del Afrooz, H., & Malekani, L. (2012). Evaluation of stream flow using chaos theory. *Iranian Water Researches Journal*, *1*(6), 177-186. https://sid.ir/paper/408539/fa [In Persian].

Ghahroudi Tali, M. (2011). *Playas intensifying fine dust*. 1th Conference of The Iranian Association Of Geomorphology, Faculty of geographical sciences university of Tehran. https://sid.ir/paper/853217/fa [In Persian].

Ghahroudi Tali, M., & Alinoori, K. (2014). Hazards tracin hoz-e soltan playa through investigating chaos in micro-landforms. *Environmental Management Hazards*, *1*(2), 241-252. https://doi.org/10.22059/jhsci.2014.53125 [In Persian].

Ghahroudi Tali, M., & Derafshi, K. (2015). The study of chaos in the flood risk pattern of Tehran. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, *2*(2),1-16. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.2.2.1 [In Persian].

Ghahroudi Tali, M., & Khedri Gharibvand, L. (2016). A morphological approach to strategic management of wetlands and playas (Case study: Gavkhuni playa). *Environmental Sciences*, *14*(2), 109-118. https://envs.sbu.ac.ir/article_97693.html [In Persian]

Ghahroudi Tali, M., & Rahimi, R. (2023). *Kias theory in explaining changes in the pattern of fine dust Tehran*. 9th Conference of The Iranian Association of Geomorphology, Geomorphic Environments, Land Heritage And Diversity, University of Tehran. https://civilica.com/doc/1687742/ [In Persian].

Ghahroudi Tali, M., AliNoori, K., & Ojaghlou, M. (2021). The impact of Shahriar sands mines on dust in Tehran province. The impact of Shahriar sands mines on dust in Tehran province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *10*(1), 99-117. 10.22067/GEOEH.2021.66965.0 [In Persian].

Goli Mokhtari, L., Dadashzadeh, Z., & Ara, H. (2014). Erosional chaos and unpredicted evolutions in Ardabil Plain. *Geography And Environmental Planning*, *25*(3), 231-242. https://gep.ui.ac.ir/article_18685.html [In Persian].

Goudie, A. S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal Of Environmental Management*, *90*(1), 89-94. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.007

Lorenz, E. N. J. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal Of the Atmospheric Sciences*, *20*(2), 130-141. https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.

Malanson, G. P., Butler, D. R., & Walsh, S. (1991). Chaos theory in physical geography. *Physical Geography*, *11*(4), 293-304. https://doi.org/10.1080/02723646.1990.10642408.

Miller, G. A. (2003). The cognitive revolution: A historical perspective. *Trends In Cognitive Sciences*, *7*(3), 141-144. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00029-9

Motamed, A., & Moghimi, I. (1996). *Geomorphology perspectives* (Richard, J, Chorley Stanley, E, Shum David, E, Soden) (Vol. 1). The organization for researching and composing university textbooks in the islamic sciences and the humanities (SAMT). [In Persian].

Phillips, J. D. (2006). Deterministic chaos and historical geomorphology: A review and look forward. *Geomorphology*, *76*(1-2), 109-121. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2006Geomo..76..109P/doi:10.1016/j.geomorph.2005.10.004

Phillips, J. D. (2011). Evolutionary geomorphology: Thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrology And Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, *3*(2), 365-394. https://doi.org/10.5194/hess-10-731-2006

Phillips, J. D. (1992). Qualitative chaos in geomorphic systems with an example from wetland response to sea level rise. *Journal Of Geology*, *100*(3), 365-374. http://dx.doi.org/10.1086/629638

Rahimi, R., Ghahroudi Tali, M., & Sadough, S. H. (2022). The patterns and internal sources of dust in Tehran. *Researches In Earth Sciences*, *12*(4), 86-107. 10.48308/ESRJ.2022.101546 [In Persian].

Rajaei, A. H. (1994). *The application of geomorphology to landscape efficiency and environmental management*. Qomes. [In Persian]

Ramesht, M. H. (2003). Chaos theory in geomorphology. *Geography And Development*, *1*(1), 13-37. https://doi.org/10.22111/gdij.2003.3639 [In Persian].

Ramesht, M. H., & Mohammadian, A. (2019). *Theoretical thoughts in geomorphology*. Academic publication center. [In Persian].

Serati, N., Saffari, A., Ghohrodi Tali, M., & Alinoori, K. (2023). A comparative study of changes in the spatial pattern of dust in Tehran province in the 2000-2019. *Environmental Erosion Research*, *13*(1), 155-174. https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-714-fa.html [In Persian].

Shayan, S. (1997). *A dictionary of physical geography*. Borhan school cultural institute, Third edition. [In Persian].

Strahler, A. N. (1950). Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis Part II. *American Journal of Science*, *248*(11), 800–814. https://doi.org/10.2475/ajs.248.11.800

Tehran air quality control company (2011). *Tehran air quality report 1390-1395*. Shahr publishing center. [In Persian].

Thorne, C. R., & Summerfield, M. A. (1991). Global Geomorphology. *Geological Magazine*, *129*(3), 379–380. https://doi.org/10.1017/S0016756800019415.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی