Journal Research and Urban Planning

ISSN (Print): 2228-5229 - ISSN (Online): 2476-3845

Summer 2022. Vol 13. Issue 49

Research Paper

Analysis of spatial relationship between vegetation and surface ozone distribution with emphasis on the precursor role of isoprene in different areas of Tehran metropolis

Sadegh Karimi [*1], **Hossein Ghazanfarpour** [2], **Maryam Firoozi** [3]

1, Associate Professor of Climatology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2, Associate Professor of Geography &_Urban Planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

3, Master of Environmental Hazards, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Received:2020/12/20
Accepted: 2021/07/28
PP: 146-165

Use your device to scan and read the article online

Keywords:
Isoprene, Air Pollution, Ozone, Vegetation, NDVI.

Abstract

The release of isoprene from plants is the largest known source of non-methane volatile organic compounds in the world, indicating a direct transfer of carbon and a reaction of plants to the atmosphere. It is estimated that more than 90% of isoprene emissions from plants occur during peak hours of photosynthesis (11 to 20). Given that isoprene is an ozone precursor and its direct effect on ozone release is further determined in the biosphere; the main purpose of this study is to identify the generating areas of this pre-pollutant in vegetated areas by monitoring tropospheric ozone data. Ozone data were prepared from air pollution measuring stations and monitoring stations of the Environment Organization from 2002 to 2018, and after producing the NDVI map of Tehran, an analysis based on the correlation method between variables was performed. The results showed that from 11 to 20 o'clock in areas where the vegetation index is higher within a radius of one kilometer of each station, the amount of emitted ozone is higher and there is a significant relationship between the two, indicating the production of isoprene by the dominant tree and shrub species. در is in such areas. Isoprene is mainly produced from fast-growing trees such as spruce, willow, eucalyptus, acacia, sycamore, etc., which can increase ozone pollution in the earth's surface; Therefore, before developing a new green space, the municipalities of different areas of Tehran metropolis are recommended to accurately identify the species suitable for the urban environment and the effect of their pollution in a completely scientific manner and, if necessary, plant such trees in some areas. Assume that they are not exposed to isoprene production catalyst conditions.

Citation: Sadegh Karimi, Hosein GHazanfarpour, Maryam Firoozi. (2021): Analysis of spatial relationship between vegetation and surface ozone distribution with emphasis on the precursor role of isoprene in different areas of Tehran metropolis, Journal Research and Urban Planning, Vol 13, No 49, PP 146-165.

DOI: 10.30495/JUPM.2021.26865.3733

*. **Corresponding author:** Sadegh Karimi

Address: Associate Prof., Department of Geography, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Tell: +989218153202
Email: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Although the presence of vegetation and especially trees in various environmental dimensions is effectively beneficial, but the correct choice of vegetation and tree species that are compatible with the urban environment is a more important issue that must be considered. For example, the presence of more green space and trees in the city reduces the severity of surface heat islands. Because vegetation in a healthy state, well reflects the near-infrared band waves and prevents Excessive global warming. It is also no secret that the presence of vegetation reduces air pollution. The reason for this notion is that scientific studies to date have shown that trees receive carbon dioxide in the air and return oxygen to the air after photosynthesis. Based on such a scientific basis, the public believes that denser vegetation, regardless of its diversity, is an important factor in further reducing air pollution everywhere. However, in the last decade, several studies have been conducted on changes in air pollution in Iranian cities. Therefore, it seems that wherever the tree cover is denser, it will not necessarily lead not only to the reduction of all air pollutants, but also to the environmental conditions (natural and artificial) that act as catalysts; Also, due to changes in the climatic conditions of that place, the presence of dense tree cover may increase the concentration of some air pollutants to the point that due to the high level of that pollutant to one of the most critical places in the city.

But there is a relatively long way to go before this assumption becomes a single theory. Further case studies, including the present study, are necessary to prove this hypothesis more conclusively; In other words, what is important to address this issue in this study is to identify areas of vegetation in the metropolis of Tehran that the possibility of producing isoprene and increasing the amount of ozone, along with this knowledge, coping strategies And deal with this pollutant. This study seeks to answer these questions:

1. The role of trees in what climatic conditions and despite the high level of other air pollutants leads to an increase in ozone pollutants?

2- Is there a difference in terms of ozone pollutants between areas of Tehran that have different vegetation?

Methodology

Hourly data of tropospheric ozone 22 air pollution monitoring stations in Tehran metropolis for the period 2018-2000 through Tehran Air Quality Control Company and Tehran Environmental Protection Organization (stations: Bazaar, Villa, Shadabad, Azadi, Pardisan, Geophysics, Piroozi, Aqdasiyeh, Mehrabad, Sohanak, Qolhak, Ponak, Cheshmeh, Sorkheh Hesar, Gulberg, Durous, Roz Park, Tajrish, Bahman, Sharif, Setadbohran and Fatemi) were received. It should be noted that mainly due to the relocation of some stations in some years, there have been statistical gaps that have led to their removal from the map.

After receiving the data using the averaging method, long-term hourly averages were prepared and various maps were prepared. Vegetation distribution maps were generated at different times using the NDVI index in ArcGIS. Google-Earth Engine was used to obtain NDVI. The NDVI index was used to evaluate the relationship between vegetation and isoprene ion emission produced by plants. This index is based on the relationship of energy uptake in the red spectral range by chlorophyll and increased reflection in near-infrared energy for healthy vegetation (Lenny et al., 1996). This index was calculated in TM and +ETM sensor products.

Results and discussion

As the maps show, the northeastern, eastern and southern parts of the Tehran metropolis are prone to producing more ozone-derived ozone. Ozone on Earth is one of the most important polluting gases and harmful to human health. Studies have shown that the zone has a regular trend of circadian changes that is associated with circadian changes in climatic characteristics.

The average daily change of ozone during the day shows that it is lowest in the early morning and late night hours. Comparison of the intensity of the sun's radiation with the concentration of ozone shows that the two are directly related. Increasing the intensity of the

sun's radiation increases its photochemical activity and consequently increases its concentration.

As can be seen, with the approach of the peak hours of Tehran's urban traffic and also the peak hours of greenery of the plant, which is from 11 am to 7 pm, the amount of ozone will also change. The concentration of ozone pollutants in the air of Tehran around the evening will increase significantly and will temporarily reach 172 at 6 pm and will be in unhealthy conditions for all members of society. Accordingly, after this time, with decreasing sunlight and reducing the level of photochemical reactions, the concentration of this pollutant will decrease. On the other hand, under these conditions, the 24-hour average air quality index will be on the verge of unhealthy conditions for all people. As to why the concentration of ozone pollutants in the capital is increasing, it should be said that the concentrations of this pollutant increase while there is a noticeable change in air temperature. However, creating relative stagnation conditions and a noticeable decrease in wind speed from an average of 4.3 to 2.4 m / s causes the concentration of ozone-producing precursors, including nitrogen dioxide, to increase significantly, which has a great effect on increasing the reaction. Photochemical ions will produce ozone pollutants.

Conclusion

The release of isoprene from plants is the world's largest known source of volatile non-methane organic compounds, indicating direct carbon transfer and plant response to climate change. The results of Pearson correlation analysis in this study in different areas of Tehran metropolis showed that with increasing vegetation around pollution monitoring stations, the amount of ozone increases during its peak hours (11 to 20). This increase in peak green conditions and photosynthetic yield of the plant is achieved by increasing the pre-contaminant isoprene, which the results of previous research confirm this. However, in other hours of the day and night, due to the lack of plant photosynthesis, there is a significant difference in the amount of ozone produced. Therefore, it is a strong argument that plants contribute to the production of more isoprene as a precursor to tropospheric ozone in more extreme heat conditions, which in the presence of other factors such as the presence of photochemical compounds such as NOX, more ozone is released into the city air. Ozone depletion due to plants that are not compatible with the environment is an issue that needs to be considered by city managers, especially municipalities in different areas of Tehran, especially areas with high ozone.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فصلنامه علمی پژوهش و برنامه ریزی شهری

شاپا چاپی: ۵۲۲۹- ۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵- ۲۴۷۶

تابستان ۱۴۰۱، سال ۱۳، شماره ۴۹

مقاله پژوهشی

تحلیل ارتباط فضایی بین پوشش گیاهی با توزیع ازون سطحی با تأکید بر نقش پیش‌عنصریِ ایزوپرن در مناطق مختلف کلانشهر تهران

صادق کریمی[۱*]، حسین غضنفرپور [۲]، مریم فیروزی [۳]

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳- کارشناس ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

شماره صفحات: ۱۴۶-۱۶۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

چکیده

انتشار ایزوپرن از گیاهان به عنوان بزرگترین منبع شناخته شده در جهان از ترکیبات آلی فرار غیر متان است که نشان دهندهٔ انتقال مستقیم کربن و نشانهٔ واکنش گیاهان در برابر جوّ است. برآورد شده که بیش از ۹۰ درصد انتشار ایزوپرن از گیاهان در ساعات اوج فتوسنتز (۱۱ تا ۲۰) است. با توجه به اینکه ایزوپرن، پیش‌آلایندهٔ ازون است و اثر مستقیم آن در انتشار ازون بیشتر در زیست‌سپهر مشخص می‌شود؛ شناسایی مناطق مولد این پیش‌آلاینده در مناطق دارای پوشش گیاهی از طریق پایش داده‌های ازون تروپوسفری، هدف اصلی این پژوهش است. داده‌های ازون از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و ایستگاه‌های پایش سازمان محیط زیست از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ تهیه و پس از تولید نقشهٔ NDVI شهر تهران، تجزیه و تحلیل مبتنی بر روش همبستگی بین متغیرها انجام گردید. نتایج نشان داد از ساعت ۱۱ تا ۲۰ در مناطقی که شاخص پوشش گیاهی در شعاع یک کیلومتری هر ایستگاه بیشتر باشد، میزان ازون انتشار یافته نیز بیشتر است و ارتباط معناداری بین این دو وجود دارد که حاکی از تولید ایزوپرن توسط گونه‌های غالب درختی و درختچه‌ای در اینگونه مناطق است. ایزوپرن عمدتاً از درختانی با رشد سریع مانند صنوبر، بید، اوکالیپتوس، اقاقیا، چنار و ... تولید می‌شود که می‌تواند موجب تشدید آلودگی ازون در سطح زمین شود؛ لذا به شهرداری‌های مناطق مختلف کلانشهر تهران توصیه می‌شود قبل از توسعهٔ فضای سبز جدیدی، شناسایی دقیق گونهٔ متناسب با محیط زیست شهری و اثر آلایندگی آنها به صورت کاملا علمی صورت گیرد و در صورت ضرورت، حتی‌الامکان کاشت این‌گونه درختان در مناطقی صورت پذیرد که در معرض شرایط کاتالیزور تولید ایزوپرن قرار نداشته باشند.

واژه‌های کلیدی:
ایزوپرن، آلودگی هوا، ازون، پوشش گیاهی، شاخص پوشش گیاهی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد: کریمی، صادق، غضنفرپور، حسین، فیروزی، مریم (۱۴۰۰): **تحلیل ارتباط فضایی بین پوشش گیاهی با توزیع ازون سطحی با تأکید بر نقش پیش‌عنصریِ ایزوپرن در مناطق مختلف کلانشهر تهران**، فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ۱۳، شماره ۴۹، مرودشت، صص ۱۴۶-۱۶۵.

DOI: 10.30495/JUPM.2021.26865.373

***نویسنده مسئول:** صادق کریمی

نشانی: گروه جغرافیا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تلفن: ۰۹۲۱۸۱۵۳۲۰۲

پست الکترونیکی: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

مقدمه:

اگر چه وجود پوشش گیاهی و به خصوص درختان در ابعاد مختلف زیست محیطی به نحو مؤثری سودمند است، اما انتخاب درست نوع پوشش گیاهی و گونه‌های درختیِ سازگار با محیط زیست شهری موضوع مهم‌تری است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال وجود هرچه بیشتر فضای سبز و درختان در محیط شهر از شدت بروز جزایر حرارتی سطحی می‌کاهد (Ramezani & Naghibi, 2020) چراکه پوشش گیاهی در حالت سلامت، امواج باند مادون قرمز نزدیک را به خوبی منعکس می کند و باعث جلوگیری از گرم شدن بیش از اندازهٔ سطح زمین می‌شود (Karimi Firozjayee et al, 2019). همچنین بر هیچ کس پوشیده نیست که وجود پوشش گیاهی باعث کاهش آلودگی‌های هوایی می‌شود. دلیل چنین تصوراتی این است که مطالعات علمی تا به امروز نشان داد که درختان، دی‌اکسید کربن موجود در هوا را دریافت نموده و پس از انجام عمل فتوسنتز، اکسیژن را به هوا پس می‌دهند. بر اساس چنین مبنای علمی، عامّه بر این باور است که پوشش گیاهی متراکم‌تر صرف نظر از تنوع آن، فاکتور مهمی در کاهش هرچه بیشتر آلودگی هوایی در هرجا و مکانی است. این در حالی است که در یک دههٔ اخیر در خصوص تغییرات آلودگی هوای شهرهای ایران مطالعات چندی صورت گرفته است. در برخی از موارد، تناقضاتی در اوج‌های برخی آلاینده‌های هوایی در برخی از مناطق داخلی و حتی بیرون از شهرها که از پوشش گیاهی متراکمی برخوردار بوده‌اند، مشاهده گردید که بر اساس مبانی علمی موجود، توجیه علمی قابل قبولی نداشته است. یکی از این تناقضات، مربوط به مکان‌هایی از شهر است که علی‌رغم داشتن پوشش گیاهی متراکم (وجود بوستان‌ها و پارک‌های جنگی با وسعت زیاد) در آن قسمت از شهر، غلظت برخی آلاینده‌های هوایی در آن نقاط خصوصاً در ساعات گرم شبانه‌روز همچنان در وضعیت اوج قرار دارد. این وضعیت آنچنان متداوم و بالا بوده که در برخی موارد آن نقاط را به‌عنوان آلوده‌ترین نقاط شهری از لحاظ آن آلاینده خاص مطرح نموده است. لذا به نظر می‌رسد لزوماً هرجا پوشش درختی متراکم‌تر باشد، نه تنها به کاهش همهٔ آلاینده‌های هوایی منجر نخواهد شد، بلکه حتی بر حسب شرایط محیطی (طبیعی و مصنوعی) که در نقش کاتالیزور عمل می‌نمایند؛ همچنین تحت تأثیر تغییرات شرایط آب و هوایی آن محل، ممکن است وجود پوشش درختی متراکم، باعث افزایش غلظت برخی آلاینده‌های هوایی گردد تا حدی که آن مکان را به لحاظ بالا بودن آن آلاینده به یکی از بحرانی‌ترین مکان‌های سطح شهر تبدیل نماید. در برخورد با این مسأله، در وهله نخست شاید چنین تصوّر می‌شد که جمع نقیضین باشد و هیچ توجیه علمی برای این تناقض علمی نتوان یافت؛ اما هنگامی که محقّقین این شک را در کنار برخی از اصول علمی اثبات شده‌ی شیمی و فیزیک قرار دادند، توجیه علمی جدیدی برای چنین فرآیندهایی مشخص می‌شود؛ چرا که طبیعت، بسیار پیچیده اما در عین حال دارای نظمی ساده که آن را به سهل ممتنع تبدیل نموده است. تنها، با علم و کسب دانش بیشتر می‌توان وجود نظم را از طبیعت استخراج کرد. از طرفی اگرچه انسان با رفتارهای نامتعارف خود (رفتارهایی که خردمندانه نیستند) بر وجود این پیچیدگی می‌افزاید، اما طبیعت یک سیستم سیبرنتیک و پویاست و در همه احوال، رفتارهای مخصوص به خود را از طریق بازخوردها و سینرژی‌های مثبت و منفی دنبال می‌نماید تا وضعیت عمومی خود را در عین پویا بودن، در حالت پایدار نگه دارد. اصل علمی که در این میان کلید حل مسأله تحقیق است، کاتالیزور است. در عین حال که درختان روند طبیعی کار خود را در عمل فتوسنتز دنبال می‌کنند اما ممکن است بر حسب شرایطی که انسان با دخالت در کمیّت آلاینده‌های هوایی به وجود آورد؛ همچنین در شرایط اقلیمی مثلاً در شرایط دمایی و رطوبتی خاص، آنها نقش کاتالیزور را در فرآیندهای فتوشیمیایی جدید بازی نمایند. پذیرفتن چنین فرضی نیازمند پذیرفتن این باور علمی پیش‌فرض است که طبیعت به همراه اجزایش، یک سیستم کاملاً سیبرنتیک است که به هنگام عبور شرایط محیطی از حد آستانه‌های قابل تحملش، فرآیندهای جدیدی را رقم می‌زند تا سیستم خود را به حالت پایدار سوق دهد.

برای یافتن پاسخی برای این مسأله که چگونه ممکن است برخی نواحی داخل شهر که دارای پوشش گیاهی متراکمی هستند، نه تنها باعث کاهش روند برخی آلاینده‌های هوایی نشده بلکه آن نواحی، جزو آلوده‌ترین نواحی شهری از لحاظ ازون تروپوسفری مطرح هستند، ذهن محقّقین را به سمت این فرض علمی سوق داده که ممکن است درختان در نقش کاتالیزور در شرایطی خاص، منجر به افزایش غیرطبیعی آلاینده ازون تروپوسفری شوند. یعنی ممکن است با عبور شرایط محیطی (اعم از طبیعی و مصنوعی) و همچنین تغییرات اقلیمی آن محل، طبیعت رفتارهای جدیدی را از خود بروز دهد و البته درختان نیز جزئی از طبیعت به شمار می‌آیند.

بررسی اکتشافات علمی جدید نیز در برخی نقاط آلوده شهری دنیا تا حدودی بر این فرض صحّه می‌گذارد. به عنوان مثال در در یکی از تحقیقات جدی آمده است: پوشش گیاهی طبیعی در

هر منطقه نمایانگر کلیهٔ شرایط اکولوژیک حاکم بر منطقه است. نقش دارند، گونه‌های درختی مورد استفاده در جنگل‌کاری مصنوعی و شامل گونه‌های کاج، بید، اوکالیپتوس، اقاقیا، ارغوان، زبان‌گنجشک، عرعر، سرو ناز، سرو نقره‌ای، سرو خمره‌ای و داغداغان هستند. در بسیاری از شهرها، درختان طبیعی و سایر پوشش‌های گیاهی وجود دارد که ترکیبات آلی بیولوژیک فرار (BVOCs) منتشر می‌کنند. در فنلاند BVOCهای اصلی ساطع شده از پوشش گیاهی، عمدتاً ایزوپرن و مونوترانها هستند. در وهلهٔ اول، این ترکیبات به خودی خود سمی نیستند، اما بسیار واکنش پذیر بوده و به همین دلیل می‌توانند بر شیمی جوّ تأثیر بگذارند و با حضور اکسیدهای نیتروژن (NOx) و VOCها، ازون تشکیل می‌دهند و محصولات واکنش آن‌ها ممکن است در تشکیل ذرات جدید شرکت کنند (Atkinson, 2000).

اما تا تبدیل این فرض به یک نظریه واحد، راهی نسبتاً طولانی در پیش است. انجام تحقیقات موردیِ بیشتر و از جمله تحقیق حاضر، برای اثبات قطعی‌تر این فرض، لازم و ضروری می‌نماید؛ به عبارتی، آنچه اهمیت پرداختن به این موضوع را در این پژوهش ضروری می‌نماید، شناخت محدوده‌هایی از مجموعهٔ پوشش گیاهی کلانشهر تهران است که احتمال تولید ایزوپرن و افزایش مقادیر ازون را موجب می‌شود تا در کنار این شناخت، راهکارهای مقابله‌ای و مواجه‌ای با این آلاینده انجام شود. این پژوهش به دنبال یافتن پاسخ این سؤالات است:

۱-نقش درختان در چه شرایط اقلیمی و با وجود بالا بودن کدام آلاینده‌های هوایی دیگر منجر به افزایش مقادیر آلاینده ازون می‌گردد؟

۲-آیا تفاوتی به لحاظ مقادیر آلایندهٔ ازون بین نواحی شهر تهران که دارای پوشش گیاهی متفاوتی هستند، وجود دارد؟

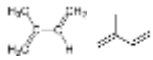
پیشینه و مبانی نظری تحقیق:

آب و هوای کرهٔ زمین با جریان‌های دائمی انرژی خورشیدی تداوم می‌یابد. این انرژی به صورت امواج گوناگون به زمین می‌رسد. لایهٔ ازون، سطح زمین را مانند یک سپر محافظ در برابر امواج زیان آور و خطرناک فرابنفش محافظت می‌کند. اما امروزه بر اثر ورود گازهای گوناگون به جو زمین، این لایهٔ محافظ دچار تخریب و انفصال شده است. از این رو، خطری جدّی حیات همهٔ موجودات زندهٔ روی زمین را تهدید می‌کند (Millet et al, 2016).

عامل اصلی تخریب لایهٔ ازون، ترکیبات گازی کلروفلوئورو کربن‌ها و هالون‌ها هستند. این مواد شیمیایی پر مصرف که بیشتر بنام فریون‌ها شهرت دارند، در طول نیم قرن اخیر کاربردهای متنوعی پیدا کرده‌اند. این ترکیبات به دلیل داشتن امتیاز اشتغال ناپذیری و غیررسمی بودن به عنوان یک فرآوردهٔ مهم‌ترین پوشش گیاهی دست‌کاشت که عموماً در تولید ایزوپرن بی‌خطر از دههٔ ۱۹۵۰ مصارف گسترده‌ای یافتند. تولید انبوه کلروفلوئورو کربن‌ها و استفاده پر دامنهٔ آنها در طیفی متنوع، رفاه و آسایش را در طول نیم قرن اخیر برای مردم به ارمغان آورده‌اند. نادیده گرفتن این جنبه‌ها و اهمیت اقتصادی و فراگیر بودن این فرآورده ها غیرممکن است. تا چندی پیش، این گازهای معجزه‌گر با مشتقات رو به افزایش خود هر لحظه کاربردهای جدیدی پیدا می‌کردند و از سال ۱۹۳۰ تا ۱۹۸۷ عرصه‌های وسیعی از صنایع را به خدمت خود گرفته بودند. پروتکل مونترال به عنوان تبلور باور و پیمان مشترک همهٔ کشورهای جهان، سندی است برای قطع کامل تولید و مصرف آنها و نقطهٔ پایانی است برای حیات کوتاه اما پر مصرف این فرآورده های جنجالی قرن اخیر. گاز ازون در دو لایهٔ تروپوسفر و استراتوسفر به دو طریق متفاوت، زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است. ازون تروپوسفری یک ترکیب ثانویه و یکی از اجزای اصلی در سیستم سیبرنتیک آب و هواست. این ترکیب دارای آهنگ تغییرات منظم روزانه، ماهانه و سالانه است تا از این طریق میزان ورودی اشعه های فرابنفش خورشید را که به تروپوسفر می‌رسند، کنترل نموده و از ورود بیش از اندازه آنها جلوگیری نماید. در این میان آب و هوا هوشمندانه چرخهٔ ازون تروپوسفری را از طریق بازخوردهای مثبت و منفی کنترل می‌نماید. متقابلا چرخه ازون تروپوسفری نیز با نظم خود، به حفظ تداوم پویا در آب و هوا کمک می نماید (Karimi et al, 2013: 189). هنگامی که ازون موجود در لایهٔ تروپوسفر به دلایل فتوشیمیایی و تولید انبوه پیش عناصر گیاهی آن، رو به افزایش غیرمنتظره می‌گذارد، فوق‌العاده سمّی و کشنده بوده و اثرات مخرّبی بر ریهٔ انسان و نیز نسوج گیاهی به دنبال دارد؛ به طوری که در ایستگاههای پایش آلودگی شهرهای بزرگ به عنوان یکی از هفت گاز آلاینده اندازه‌گیری می‌شود. به عبارتی، اگرچه ازون تروپوسفری به مقدار متعارف در تروپوسفر وجود دارد، ولی تشکیل مقادیر نامتعارف این مولکول طی فرآیندهای فتوشیمیایی اتمسفر (و واکنش‌های بیولوژیکیِ گیاهی) آن را به یکی از مهمترین آلاینده‌های هوای شهرها تبدیل نموده است (Karimi, 2014: ۷). برخلاف آن، وجود ازون استراتوسفری که به لایه اُزون مشهور است برای حیات انسان و سایر موجودات فوق العاده ضروری و بااهمیت می‌باشد. ازون موجود در لایهٔ استراتوسفر در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه گیری می‌شود (Sharkey et al, ۲۰۰۸).

علاوه بر تولید مستقیم ازون توسط فعالیت‌های صنعتی و دودزا، ایزوپرن نیز غالب‌ترین ترکیب آلی فرار با فرمول NMVOC منتشر شده از گیاهان است که به عنوان یک پیش‌عنصر، زمینه

را برای تولید ازون در سطح وسیع فراهم می‌نماید. این ترکیبات عمدتاً از گونه‌های درختی با اقلیم معتدل منتشر می‌شود. البته اطلاعات موثقی هم در مورد انتشار NMVOCهای بیوژنیک از گونه‌های درختی گرمسیری در دسترس نیست که بتوان نقش پوشش‌های جنگلی استوایی را در این میان بارز دانست. نتایج تحقیقات صورت گرفته نیز نشان می‌دهد که تنها برخی از گیاهان ایزوپرن تولید می‌کنند؛ نه همهٔ گیاهان. نظیر گیاهان گل‌دار، جوانه‌ها و درختانی سوزنی برگ. برگ‌هایی که در قسمت تاج درختان نامبرده قرار دارند، ایزوپرن بیشتری نسبت به برگ‌های پایینی در شرایط مشابه منتشر می‌کنند. انتشار ایزوپرن از گیاهان تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله دمای محیط (Tingey et al, 1979)، نور خورشید (Harley et al, ۲۰۰۳)، غلظت CO_2 (Monson & Fall, 1989)، ژنتیک، توسعهٔ برگ و مرحلهٔ رشد گیاهان (Monson et al, 1994)، وقایع فنولوژیک (Robertson et al, 1995)، زمان روز و فصل (Guenther, 1997) می‌باشد (Varshney & Singh, 2003).

ایزوپرن یا ۲-متیل-۱،۳- بوتادین، یک ترکیب آلی است که در شکل خالص یک مایع فرار بی رنگ است. این ماده در حقیقت هیدروکربن غیراشباع است که توسط برخی از گیاهان نظیر صنوبر، بلوط و اکالیپتوس، چنار و حتی برخی حیوانات (منجمله انسان) تولید می شود و پلیمرهای آن جز مادهٔ اصلی لاستیک طبیعی هستند. ویلیامز این ترکیب را در سال ۱۸۶۰ پس از تجزیهٔ حرارتی لاستیک طبیعی کشف کرد و آن را C 5H8 نام نهاد که ترکیب ساختاری آن  می‌باشد. سایر خصوصیات ایزوپرن در جدول (۱) آمده است (Williams, ۱۸۶۰). انتشار ایزوپرن با افزایش دما به طور چشمگیری افزایش می یابد و در حدود ۴۰ درجه سانتی گراد به حداکثر می رسد. این امر منجر به این فرضیه شده است که ایزوپرن ممکن است از گیاهان در برابر تنش گرما محافظت کند (فرضیه تحمل حرارت).

جدول۱- خصوصیات اصلی ایزوپرن

فرمول شیمیایی	C5H8
جرم مولی	۶۸,۱۲ گرم در مول
تراکم	۰,۶۸۱ گرم در سانتی متر
نقطهٔ ذوب	۳,۱۴۳,۹۵ درجه سانتیگراد= -۲۲۷,۱۱ °F = 129.20 K = -
نقطهٔ جوش	۳۴,۰۶۷ ° درجه سانتیگراد (۹۳,۳۲۱ ° F or 307.217 K)
نام‌های دیگر	2-methyl or 1,3-butadiene

(منبع: Williams, 1860)

گروه‌هایی از گیاهان از دستهٔ ترپنوئیدها در فرآیندهای ثانویه منجر به تولید ایزوپرن می‌شوند که برخی گیاهان، قارچ‌ها و باکتری‌های روده‌ای منابع عمدهٔ تولید آن هستند (Ismailzadeh Bahabadi & Sharifi, 2013). ترکیبات متنوع این گروه معمولاً در آب غیرمحلول بوده و کلیهٔ ترپن‌ها از واحد های ۵ کربنی ایزوپرن (۲ و ۵ بوتا دی ان) مشتق می شوند (Sangwan, et al, 2001). ترپن‌ها بر اساس تعداد واحدهای ۵ کربنه‌ای که دارند، طبقه‌بندی می‌شوند. ترپن‌های ده کربنی که شامل دو واحد ایزوپرن هستند، مونوترپن نامیده می‌شوند که از مشتقات مونوترپنی میتوان لیمونن، کامفور، لینالول و ژرانیول را نام برد. ترپن‌های ۱۵ کربنی، سزکوئی‌ترپن ها و ترپن‌های ۲۰ کربنه، دی‌ترپن نامیده می‌شوند. ترپن‌های طویل‌تر شامل تری‌ترپن‌ها، تتراترپن‌ها و پلی‌ترپنوئیدها می‌باشند (Taiz & Zeiger, 2006). حاصل ترکیبات اصلی ساطع شده مونوترپن‌ها (Cio) مانند پینن و C5، ایزوپرن است. میزان انتشار ایزوپرن به نور وابسته است و برای شاخ و برگ بلوط، چوب پنبه و اکالیپتوس بین ۰,۰۴ تا ۲,۴ ppb متغیّر است. میزان انتشار ایزوپرن به میزان تعرّق، یکپارچگی ساختاری سلول‌های روغنی و غدد رزین و دمای شاخ و برگ بستگی دارد (Rasmussen, ۱۹۷۲).

یکی از مزیّت‌های انتشار ایزوپرن برای گیاه، تحمل نوع خاصی از استرس گرمایی است. در کنار مزایای ایزوپرن برای خود درختان، به عنوان پیش‌عنصری از ازون بوده که در سطح زمین به عنوان یک آلاینده، موجب بسیاری از مشکلات سلامتی مانند مرگ زودرس به ویژه در میان اقشار مستعد و آسیب‌پذیر می‌شود. این ترکیب توسط تعدادی از گونه‌های درختان مانند آن‌هایی که برای تولید انبوه زیست‌انرژی پرورش داده می‌شوند، تولید می‌شود. هر چند درختان یکی از بزرگترین سیستم‌های دفاعی طبیعت در مقابل آلودگی هستند، اما اطلاعات جدید نشان می‌دهد درختان در هوای گرم، معکوس عمل کرده و به جای اکسیژن، در تولید ازونِ بیشتر، مشارکت می‌کنند. به گفتهٔ کارشناسان دانشگاه یورک، هنگامی که دمای هوا از یک حد متعارف بالا می‌رود، درختان و دیگر گیاهان مواد شیمیایی آزاد

می‌سازند که تولید ماده سمّی ازون را تحریک می‌کند؛ همچنین از معایب انتشار ایزوپرن، انرژی زیاد و هزینه کربن برای گیاه است. به عنوان مثال در بالای درخت بلوط، زمانی که آب کمی از دست رفته، به علت اینکه روزنه‌ها بسته شده‌اند، مقاومت قابل توجهی در برابر انتشار CO_2 در برگ ایجاد می‌شود. اکثر گیاهان در طول روز، روزنه‌های خود را باز نگه می‌دارند. به همین دلیل آسیب ناشی از ازون در طول روشنایی رخ می‌دهد. اما در کاکتوس‌ها و مانند آن (انواع گیاهان رویشی در مناطق گرم و خشک، گیاهان ساقه‌های گوشتی ضخیم و خارهای همیشگی و بدون برگ) که روزنه‌های خود را تنها در شب (جهت جلوگیری از اتلاف آب) باز می‌کنند، در طول تاریکی حساسیت بالایی نسبت به ازون دارند. واکنش گیاه در برابر ازون بوسیلهٔ انواع عوامل ژنتیکی و زیست محیطی تعیین می‌شود. سطوح مرطوب درون برگ‌ها؛ همچنین مایع خارج سلولی بافت‌های مزوفیل باعث حل و انتشار ازون (همچون CO_2) می‌شود.

مقادیر زیاد هواویز آلی ثانویه بیوژنیک (SOA) در مراکز شهری مشاهده شده است. در مورد ایزوپرن می‌توان گفت NOxهای معمولی برای هوای شهری باعث افزایش بازده SOA می‌شود؛ در چنین شرایطی احتمال تشکیل ازون زیاد است؛ لذا بالا بودن ازون به خصوص در نسبت‌های پایین VOC-NOX معمولی در هلسینکی مشاهده گردید. علاوه بر منابع بیوژنیک گیاهی، ایزوپرن از سایر منابع هوایی نیز تأمین می‌شود؛ به‌طوری که بخشی از ایزوپرن از موتورهای دودزا و احتراق چوب و زغال نیز تولید می‌شود (Hellen et al, 2017).

اگرچه در مورد هیدروکربن‌های آروماتیک و VOC های دیگر موجود در هوای شهری مطالعات زیادی وجود دارد؛ اما در مورد BVOCs به ویژه مونوتران‌ها مطالعات خیلی زیادی انجام نشده است. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در حوزهٔ مطالعاتی این پژوهش پرداخته می‌شود.

هلن و همکاران (Hellen et al, 2006) تأثیر انتشار ایزوپرن-های گیاهی را بر کیفیت هوا در لاس‌وِگاس تخمین زدند. آن‌ها نتیجه گرفتند که حتی انتشار متوسط نیز می‌تواند تأثیر چشمگیری داشته باشد. در این مطالعه، ترافیک و احتراق چوب، منابع اصلی محلیِ تولید ایزوپرن در هلسینکی تشخیص داده شدند. با این حال، انتشار منابع دورافتاده که به توده‌های هوایی با مسافت طولانی منتقل می‌شوند، به این سایت‌ها نیز وابسته هستند؛ همچنین سهم مهمی را در پی داشت. در این مطالعه منابع، میزان غلظت و اثرات ایزوپرن و مونوترپن‌ها بر شیمی محلیِ هوای شهری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج با سایر هیدروکربن‌ها و به‌ویژه با هیدروکربن‌های معطر که به عنوان منبع اصلی آنها در مناطق شهری شناخته می‌شوند، مقایسه گردید. مطالعات پیش ازین نیز اهمیت این ترکیبات بیوژنیکی را در مناطق شهری نشان داد که در آن میزان انتشار و اهمیت VOC های انسانی کاهش می‌یابد (Watson et al, 2001).

در پژوهشی دیگر به اندازه‌گیری غلظت سطح ایزوپرن (C_5H_8) در سطح وسیعی از مناطق جنگلی واقع در جنوب شانگهای چین پرداختند. از آنجا که پوشش گسترده‌ای از درختان در این منطقه وجود دارد،غلظت بالای ایزوپرن اندازه گیری شده در این محدوده بین ۱-۶ppb است. مدل دینامیکی – شیمیایی منطقه-ای[۲] برای مطالعهٔ تأثیر چنین غلظت‌های بالای ایزوپرن بر تولید ازون در شهر شانگهای مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی مدل نشان داد که غلظت ایزوپرن محاسبه شده با غلظت‌های اندازه‌گیری شده ایزوپرن کمتر از ۲ppb است، اما اندازه‌گیری‌ها زمانی که مقادیر اندازه‌گیری شده بالاتر از ۲ppb باشد، به چشم نمی‌آید. در سایت‌های نمونه‌برداری در نزدیکی گیاهان بامبوی بزرگ، یک منبع ایزوپرن بالایی به چشم می‌خورد. ارزیابی تأثیر ایزوپرن بر تشکیل ازون نشان داد که غلظت رادیکال‌های پراکسی (R_3) به علت اکسیداسیون ایزوپرن با حداکثر ۲۱ppb افزایش می‌یابد (Geng et al, 2011). هلن و همکاران (Hellén et al, 2012) منابع، سطح غلظت و اثرات بالقوه ایزوپرن و مونوتران‌ها را بر روی شیمی اتمسفری محلی در آب و هوای شهر هلسینکی فنلاند مورد بررسی قرار دادند. اندازه‌گیری غلظت هوای محیط با استفاده از یک دستگاه کروماتوگرافی گازی در محل با یک طیف‌سنج جرمی در یک ایستگاه شهری در فصول مختلف در سال ۲۰۱۱ انجام شد. بیشترین غلظت ایزوپرن و مونوترپن‌ها در تابستان (۹۹۰ نانوگرم در متر) اندازه‌گیری شد، اما غلظت نیز به وضوح بالاتر از حد تشخیص در زمستان (۲۳۰ نانوگرم در متر مربع) بود. غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک در تمام فصول بالاتر بود. البته ایزوپرن و مونوترپن‌ها نیز تأثیر زیادی در شیمی جوّ و آب و هوای محلی شهر داشته‌اند؛ در حالی که آنها ۷۱ درصد از واکنش رادیکال بالقوه هیدروکسیل توده‌های هوا را در تابستان توضیح می‌دهند، آن‌ها هنوز هم ۳۲ درصد از واکنش‌پذیری را نیز در زمستان توضیح می‌دهند. وارشنی و سینگ (Varshney & Singh, ۲۰۰۳) در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که ایزوپرن غالب‌ترین ترکیب آلی فرار با فرمولNMVOC منتشر شده از گیاه است. آنها نقش مهمی در تنظیم ترکیب گازهای ردیابی اتمسفر از جمله غلظت‌های جهانی ازون تروپوسفری ایفا می‌کنند. دانش ما از NMVOCها عمدتاً مطالعه بر انتشار گونه‌های درختی معتدل است و اطلاعات دقیق در مورد انتشار NMVOCهای بیوژنیک از گونه‌های درختی گرمسیری محدود

۲- WRF-Chem

است. مطالعات افرادی نظیر (Sharkey et al, 2008) نیز مؤید این موضوع است. در این مطالعه به میزان انتشار ایزوپرن از ۴۰ گونه درختی هندوپایی که متعلق به ۳۳ جنس و ۱۷ خانواده است، پرداخته شد. بر اساس این مطالعه، گونه‌های درختی برای نمایش انتشار ایزوپرن به چهار دسته تقسیم می‌شود: ۱۸ گونه ایزوپرن ناچیز منتشر کردند؛ ۶ گونه انتشار کم داشته؛ ۵ گونه انتشار متوسط داشته و ۱۱گونه ایزوپرن بالا منتشر می‌کردند.

جاردین نشان داد انتشار ایزوپرن توسط گیاهان نشان‌دهندهٔ از دست دادن منابع کربن و انرژی است که منجر به فرض اولیه می‌شود که گونه‌های پیشگام در حال رشد در جنگل‌های ثانویه گرمسیری کربن به طور عمده به دلیل رشد دفاع از ایزوپرونیدها اختصاص می‌دهند. انتشارات متانول و ایزوپرن از گونه‌های پیشگام در حال گسترش سریع گونه‌های VGH در جنگل‌های آمازون مرکزی است (Jardine et al, 2016).

مطالعات بعدی نشان داد ایزوپرن α-پینن و β-پینن در یکی از مناطق معمولی شهری پکن از مارس ۲۰۱۴ تا فوریه ۲۰۱۵ را مورد اندازه‌گیری و پایش یکساله قرار دادند. بر اساس تجزیه و تحلیل سطح محیط و ویژگی‌های تغییر ایزوپرن α-پینن و β-پینن واکنش شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفت و منابع آنها شناسایی شد. نتایج نشان داد که غلظت آن دو در منطقه شهری پکن کمتر از آن است که در مناطق با پوشش گیاهی غنی باشد. تغییرات فصلی، ماهانه و سالیانهٔ این دو ایزوپرن عمدتاً تحت تأثیر انتشار منابع، واکنش فتوشیمیایی و پارامترهای هواشناسی قرار می‌گیرد و عمدتاً از منابع بیولوژیکی مشتق شده است و سطح α- پینن نیز توسط منابع صنعتی تحت تأثیر قرار گرفت.

برای کاهش غلظت این دو ایزوپرن انتخاب علمی گونه های گیاهان سبز شهری ضروری است و باید اقدامات کنترل دقیق تری برای کاهش انتشار α-پینن از منابع صنعتی مانند طعم دهنده‌های مصنوعی و فرآیندهای سنتز رزین انجام شود (Cheng et al, 2018).

علیرغم مطالعات مفیدی که در زمینهٔ شناخت پیش‌آلایندهٔ ایزوپرن صورت گرفته؛ اما تاکنون تحقیق مدونی درباره ارتباط پوشش‌گیاهی با تغییرات ایزوپرن خصوصاً در نواحی شهری ایران انجام نشده است. این مهم محقّق را بر آن داشت تا گامی نوین در جهت شناخت دقیق‌تر ارتباط تغییرات ایزوپرن به عنوان یکی از مهمترین آلاینده‌های هوایی کلانشهر تهران با پوشش گیاهی بر دارد.

محدوده و قلمرو مطالعه:

قلمرو پژوهش، کلانشهر تهران (بیست و سومین کلانشهر بزرگ دنیا با اقتصادی مشتمل بر تجارت و صنعت و دارای تعداد بسیار زیادی کارگاه و کارخانه‌های صنعتی و تولیدی) است. این شهر دارای مساحتی بالغ بر ۷۲۱ کیلومترمربع بوده که در ۲۲ منطقهٔ شهرداری تقسیم شده است (شکل۱). تراکم جمعیت بالایی در این حاکماست؛ به طوری که به ازای هر کیلومتر مربع در این شهر تقریبا ۷۹۴۴۴ نفر زندگی می‌کنند (Parsayee, ۲۰۱۴). مرکز این شهر دارای طول جغرافیایی برابر ۵۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی برابر با ۹۵ درجه شمالی است.

شکل۱- مناطق ۲۲ گانه تهران و ایستگاه‌های مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)

مواد و روش تحقیق:

اکتساب داده: داده‌های ساعتی ازون تروپوسفری ۲۲ ایستگاه پایش آلودگی هوای موجود در کلانشهر تهران برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۰ از طریق شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران و سازمان حفاظت محیط زیست تهران (ایستگاههای بازار، ویلا، شادآباد، آزادی، پردیسان، ژئوفیزیک، پیروزی، اقدسیه، مهرآباد، سوهانک، قلهک، پونک، چشمه، سرخه حصار، گلبرگ، دروس، پارک رز، تجریش، بهمن، شریف، ستادبحران و فاطمی) دریافت گردید. لازم به توضیح است که عمدتاً به دلیل جابجایی برخی ایستگاهها در بعضی سال‌ها دارای خلأ آماری بوده‌اند که موجب حذف آنها از نقشه گردیده است.

روش پژوهش: پس از دریافت داده‌ها با استفاده از روش میانگین‌گیری، میانگین‌های ساعتی بلندمدت تهیه و نقشه‌های مختلف تهیه گردید. نقشه‌های توزیع پوشش گیاهی در ساعات مختلف با استفاده از شاخص NDVI در ArcGIS تولید گردید. برای به دست آوردن NDVI از گوگل‌ارث اینجین استفاده شد. برای ارزیابی رابطهٔ بین پوشش گیاهی با میزان انتشار ازون ناشی از ایزوپرن تولید شده توسط گیاهان، از شاخص NDVI استفاده شد.

این شاخص بر پایهٔ ارتباط جذب انرژی در محدودهٔ طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است. محاسبهٔ این شاخص بر اساس مطالعات لنی و همکاران وی در محصولات سنجنده‌های TMو ETM + و با استفاده از روابط ذیل صورت می‌گیرد که در منابع مختلفی نظیر (Ramezani & Naqibi, ۲۰۲۰ و Purdayhami et al, 2019) نیز به نوعی از آنها استفاده شده است. رابطهٔ ۱)

$$NDVI_{TM\&ETM+} = (B4-B3)/(B4+B3)$$

در این رابطه B4 باند مادون قرمز نزدیک و B3 باند قرمز سنجنده‌های مذکور است.؛ همچنین برای سنجنده OLI لندست ۸ مقدار NDVI از رابطه ۲ به دست می‌آید:

آن شرح داده شد، برای به دست آوردن پهنه‌بندی میزان ازون در سطح کلانشهر تهران بر اساس ایستگاه‌های موجود (در ساعات ۱۴ تا ۲۲) از روش درون‌یابی IDW استفاده شد.

بحث و ارائه یافته‌ها:

شکل (۲) و جدول (۱) میانگین و انحراف معیار مقادیر ساعتی ازون ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ کلانشهر تهران را در دورهٔ ۲۰۱۸-۲۰۰۲ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، به ترتیب ایستگاه‌های بهمن با ppm ۱۲۷۶٫۶۰، بازار با ppm ۱۰۰۶٫۴۶ و تجریش با ppm ۸۵۰٫۸۸ دارای

رابطهٔ ۱)

$$NDVI_{OLI/TIRST} = (B5-B4)/(B5+B4)$$

پس از تهیهٔ نقشه‌های NDVI برای به دست آوردن مساحت پوشش گیاهی به دور هر یک از ایستگاه‌ها، بافری به شعاع یک کیلومتر ایجاد گردید و مساحت درون هر بافر به دست آمد و در نهایت میزان پوشش گیاهی این محدوده‌ها با میزان ازون هر ایستگاه مورد تحلیل همبستگی و مقایسه قرار گرفت؛ لذا روش تجزیه و تحلیل در این پژوهش مبتنی بر روش همبستگی پیرسون (رابطهٔ ۳) است.

رابطهٔ (۳)

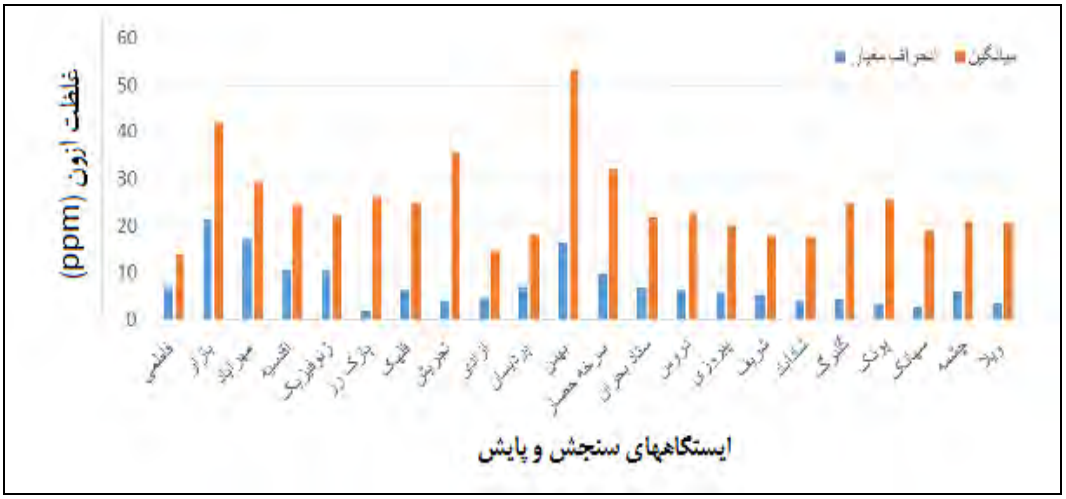
$$\rho(X,Y) = corr(X,Y) = \frac{E[(X-E(X))(Y-E(Y))]}{[V(X)V(Y)]^{\frac{1}{2}}}$$

در این رابطه، صورت این کسر همان کوواریانس بین دو متغیر Xو Y است. منظور از E نیز، امید ریاضی دو متغیر تصادفی X و Y است. با استفاده از نامساوی کوشی-شوارتز نیز می‌توان نشان داد که قدر مطلق ضریب همبستگی هرگز بزرگتر از ۱ نخواهد بود. پس می‌توان نوشت:

رابطهٔ (۴)

$$-1 \le \rho(X,Y) \le 1$$

با توجه به نقطه‌ای بودن داده های ازون و نبود تراکم نقطه ای بالا، ارتباط‌سنجی اولیه بر اساس پهنه‌بندی ازون نتایج منطقی به دست نمی‌داد؛ لذا تاثیرگذاری پوشش گیاهی موجود در شعاع یک کیلومتری اطراف هر ایستگاه بر روی میزان ازون ایستگاهها مورد بررسی قرار گرفت تا اثر غیر مستقیم ایزوپرن تولید شده بر میزان ازون تولید شده در اطراف ایستگاهی مختلف مورد بررسی محرز شود. در وهلهٔ نهایی با استفاده از روش درون‌یابی IDW پهنه بندی ازون انجام شد تا شمایی از وضعیت توزیع ازون در سطح کلانشهر به دست آید که به طور کلی کدام مناطق مستعد تولید ازون بیشتری هستند. با توجه به اهمیت بررسی ساعات اوج ازون که در مبانی نظری نیز دربارهٔ بالاترین مقادیر ازون بوده‌اند. کمترین داده‌ها مربوط به ایستگاه‌های فاطمی با ppm ۳۳۳٫۶۱ و آزادی با ppm ۳۴۷٫۹۰ بوده است. پس از کلی نمودن داده‌های ازون ایستگاه‌های مختلف تهران و استخراج داده‌های متوسط ساعتی شهر تهران، بالاترین میزان ثبت شده ازون با ppm ۷۷٫۰۸ مربوط است به ایستگاه بهمن در ساعت ۱۵ و کمترین میزان ثبت شده ازون برای ایستگاه فاطمی در ساعت ۲۳ با میزان ppm ۷٫۷۴ محاسبه شده است.



شکل۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر ساعتی ازون ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ کلانشهر تهران در دورهٔ ۲۰۱۸-۲۰۰۲

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۹

مطابق جدول (۲) ایستگاه بازار با میزان ۲۱,۲ دارای بالاترین انحراف‌معیار و ایستگاه‌های پارک رز، سوهانک و پونک به ترتیب با مقادیر ۱,۸۵، ۲,۵۷ و ۳,۱۲ پایین ترین انحراف معیار را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته‌اند.

جدول۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر ساعتی ازون ایستگاه های مورد مطالعهٔ کلانشهر تهران (دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۸)

	بهمن	پردیسان	آزادی	تجریش	قلهک	پارک رز	ژئوفیزیک	اقدسیه	مهرآباد	بازار	فاطمی
انحراف معیار	۱۶,۲۹	۶,۸۳	۴,۵۰۷۷	۴,۰۳۵	۶,۵۳	۵,۸۸	۱۰,۳۷	۱۰,۲۹	۱۷,۰۲۴	۲۱,۲۲	۷,۰۲۱
میانگین	۵۳,۱۹	۱۸,۰۴	۱۴,۴۹	۳۵,۴۵	۲۴,۷۹	۲۱,۱۶	۲۲,۱۶	۲۴,۳۳	۲۹,۲۸	۴۱,۹۳	۱۳,۹۰
	ویلا	چشمه	سوهانک	پونک	گلبرگ	شادآباد	شریف	پیروزی	دروس	ستاد بحران	سرخه حصار
انحراف معیار	۳,۴۵	۵,۹۸	۲,۵۷	۳,۱۲	۴,۱۶	۳,۷۱	۵,۱۷	۵,۶۷	۶,۱۲	۶,۸۰	۹,۶۴
میانگین	۲۰,۴۰	۲۰,۸۲	۱۹,۱۰	۲۵,۷۵	۲۴,۷۲	۱۷,۵۹	۱۷,۷۸	۱۹,۸۸	۲۲,۶۲	۲۱,۷۶	۳۱,۹۵

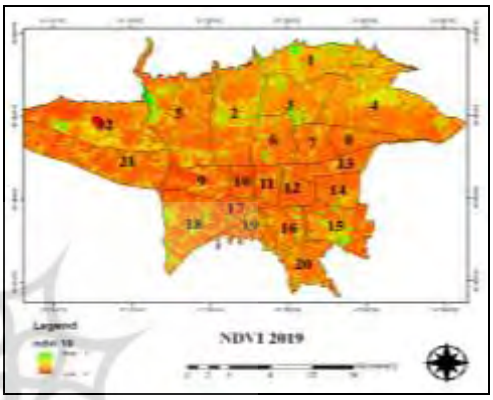
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۹.

تحلیل پوشش گیاهی شهر با استفاده از NDVI

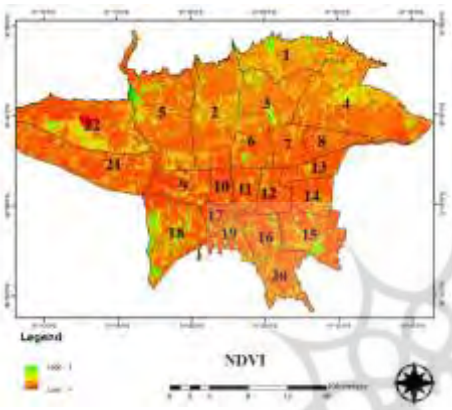
همانطور که در روش‌شناسی توضیح داده شد، نقشه‌های توزیع پوشش گیاهی در ساعات مختلف با استفاده از شاخص NDVI در محیط ArcGIS تولید گردید. شکل‌های ۱ تا ۳ نشان‌دهندهٔ شاخص NDNI به صورت نقشه پراکندگی در سطح کلانشهر تهران است. در شکل چهار نقشه تلفیقی سال‌های مختلف به عنوان نقشه مبنا در نظر گرفته شده که در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

شکل۱- شاخص پوشش گیاهی سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۳

شکل۲- شاخص پوشش گیاهی سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۵

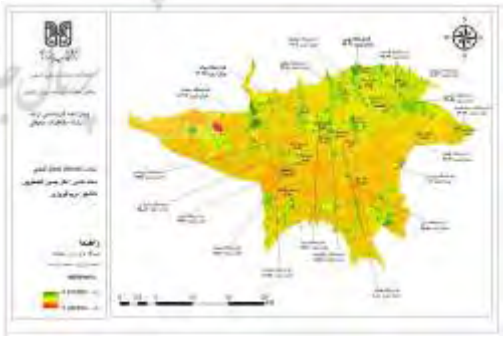


شکل۳- شاخص پوشش گیاهی سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۸

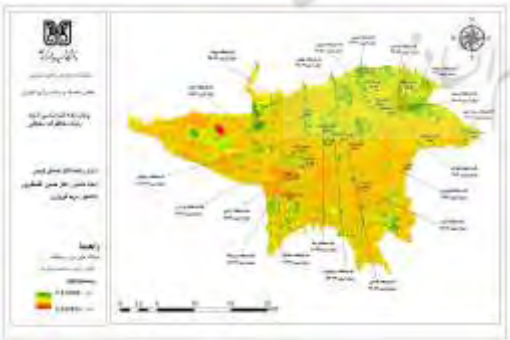


شکل۴- شاخص پوشش گیاهی سطح شهر تهران (نقشه ترکیبی مبنا)

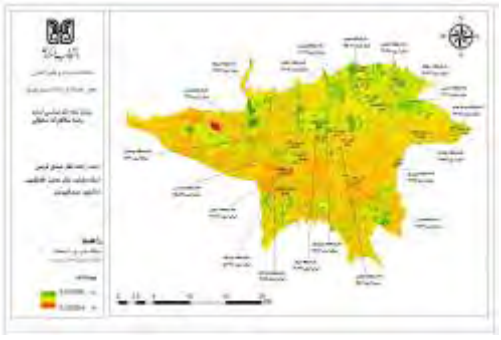
شکل‌های (۵ تا ۱۳) میزان ازون ایستگاه‌ها را در ساعات اوج ازون (بنا به مبانی نظری تحقیق) بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI نشان می‌دهد. برای به دست آوردن مساحت پوشش گیاهی اطراف هر ایستگاه، در مرحلهٔ بعد در لایه‌ای جداگانه به دور هر یک از ایستگاه‌های پایش ازون، بافری به شعاع یک کیلومتر ایجاد گردید و مساحت کل درون هر بافر و مساحت دارای پوشش گیاهی درون هر بافر به دست آمد و در نهایت میزان پوشش گیاهی این محدوده‌ها با میزان ازون هر ایستگاه مورد مقایسه و تحلیل همبستگی قرار گرفت. همانطور که در روش-شناسی هم آمده است، از همبستگی پیرسون برای ارتباط‌سنجی استفاده شد. نتایج این تحلیل‌ها در جدول (۳) آمده است.



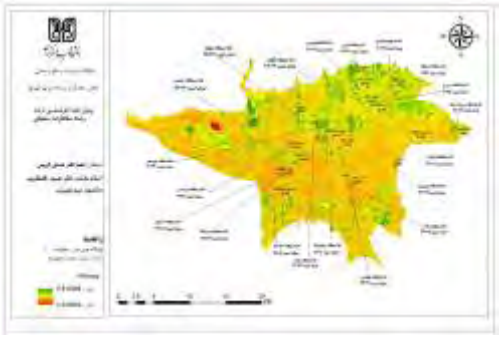
شکل۵- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۱ صبح



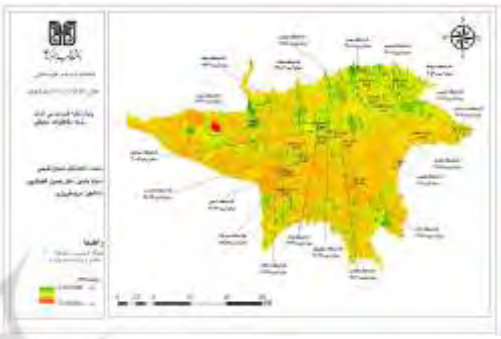
شکل۶- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۲ ظهر



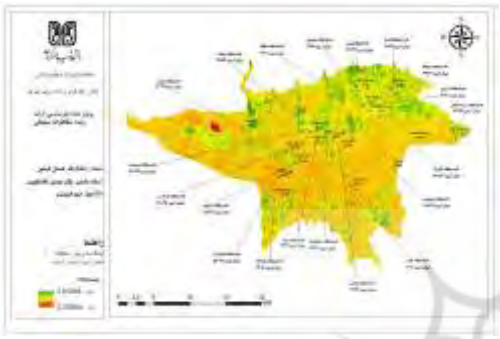
شکل۷- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۳



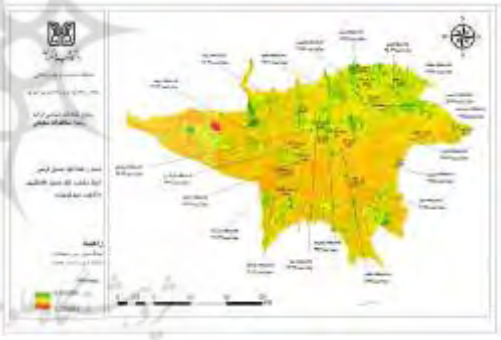
شکل۸- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۴



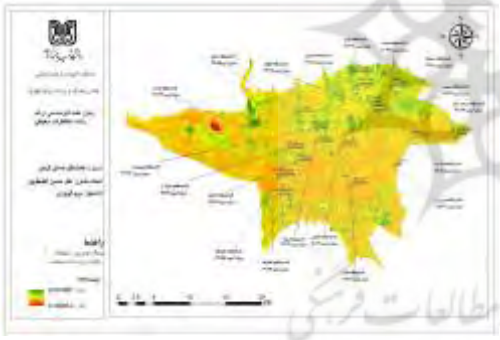
شکل۹- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۵



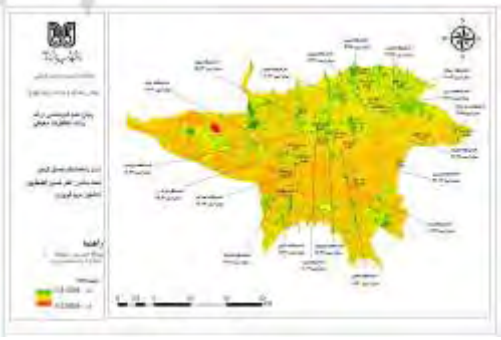
شکل۱۰- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۶



شکل۱۱- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۷



شکل۱۲- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۸



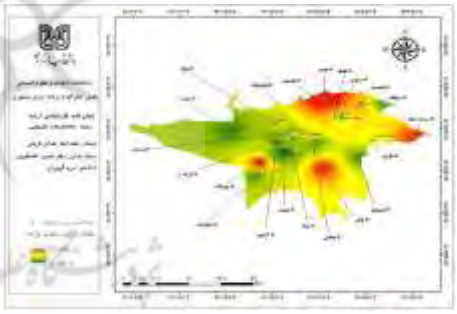
شکل۱۳- تعیین میزان ازون ایستگاهها به صورت نقطه‌ای بر روی نقشهٔ پایهٔ NDVI در ساعت ۱۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

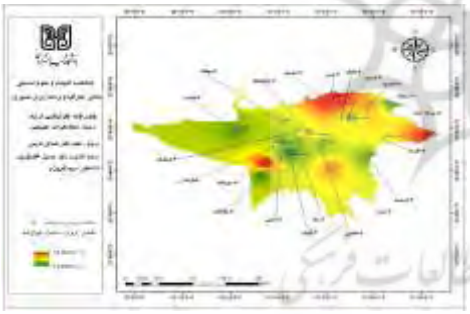
تحلیل توزیع ازون در ساعات مختلف

با توجه به اهمیت بررسی ساعات اوج ازون که در مبانی نظری شرح داده شد، برای به دست آوردن پهنه‌بندی میزان ازون ایستگاه‌های موجود (در ساعات ۱۴ تا ۲۲) از روش درون‌یابی IDW استفاده شد. نتایج به دست آمده در شکل‌های (۱۲ تا ۲۰) آورده شده است. همانطور که این نقشه ها نشان می‌دهد مناطق شمالشرق، شرق و بخش هایی از مناطق جنوبی کلانشهر تهران مستعد تولید ازون بیشترِ ناشی از ایزوپرن هستند. ازون در سطح زمین یکی از مهم‌ترین گازهای آلاینده و مضر برای سلامتی انسان است. بررسی‌ها نشان داده زون دارای روند تغییرات شبانه‌روزی منظمی است که این روند با تغییرات شبانه-روزی ویژگی‌های اقلیمی پیوند می‌خورد. از این رو بررسی این تغییرات و شناخت آن می‌تواند ما را در تصمیم‌گیری و مدیریت بحران ناشی از تمرکز اُزون در ساعات خاص شبانه روز یاری نماید. میانگین تغییرات روزانه ازون در طی روز نشان می‌دهد کمترین مقدار آن در ساعات اولیهٔ صبح و اواخر شب است. مقایسهٔ شدت تشعشع خورشید با غلظت ازون نشان می‌دهد که این دو با هم ارتباط مستقیم دارند. افزایش شدت تشعشع خورشید، باعث افزایش فعالیت فتوشیمیایی و در نتیجه افزایش غلظت آن می‌شود.

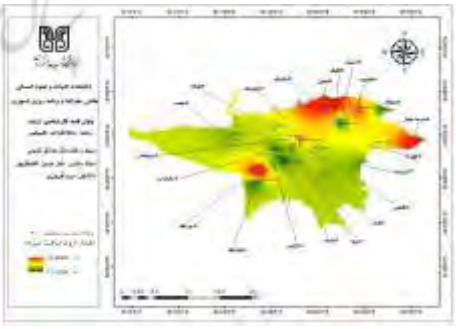
همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شده به ساعات اوج ترافیک شهری تهران و همچنین ساعات اوج سبزینگی گیاه که از ساعت ۱۱تا ۱۹ می باشد میزان ازون نیز تغییر خواهد کرد. غلظت آلاینده ازون در هوای تهران حوالی عصر افزایش چشمگیری دارد و به‌صورت موقت در ساعت ۱۸ به عدد ۱۷۲ می‌رسد و در شرایط ناسالم برای تمامی افراد جامعه قرار خواهد گرفت. بر این اساس بعد از این زمان با کاهش نور خورشید و کاهش سطح واکنش‌های فتوشیمیایی، غلظت این آلاینده نزولی خواهد شد. از طرفی تحت تأثیر این شرایط شاخص میانگین ۲۴ ساعته کیفیت هوا در آستانه شرایط ناسالم برای تمامی افراد قرار خواهد گرفت. درباره چرایی افزایش غلظت آلایندهٔ ازون در پایتخت باید گفت که غلظت این آلاینده در حالی افزایش پیدا می‌کند که تغییر محسوسی در دمای هوا رخ دهد. با این‌وجود ایجاد شرایط سکون نسبی و کاهش محسوس سرعت باد از میانگین ۴٫۳ به ۲٫۴ متر بر ثانیه سبب می‌شود که غلظت پیش‌سازهای تولید آلاینده ازون از جمله دی اکسید نیتروژن به میزان قابل توجهی افزایش یابد که تأثیر زیادی در افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی تولید آلاینده ازون خواهد داشت.



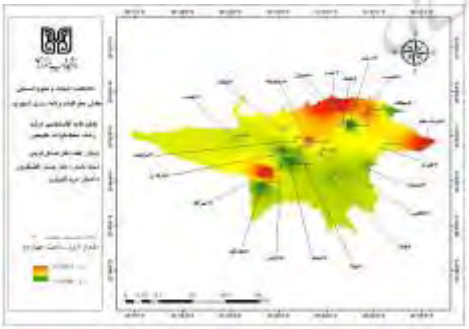
شکل۱۴- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۱ صبح



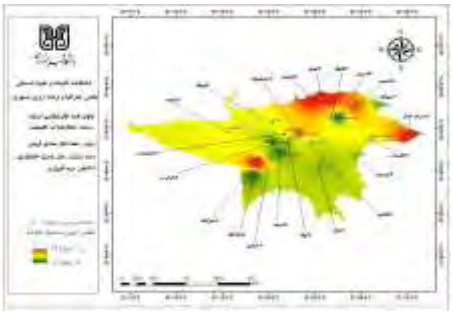
شکل۱۵- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۲ ظهر



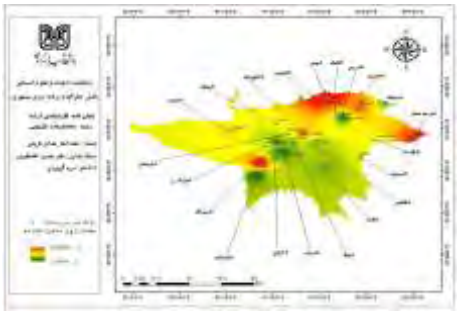
شکل۱۶- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۳



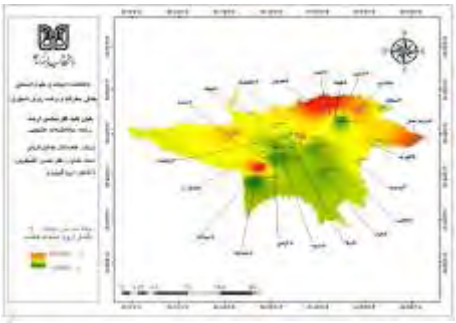
شکل۱۷- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۴



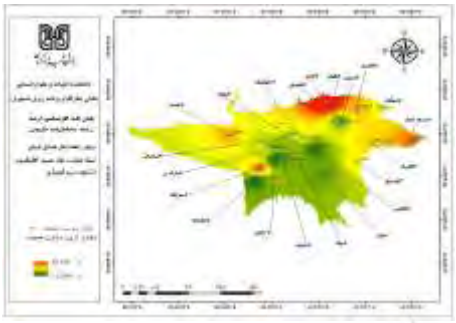
شکل۱۸- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۵



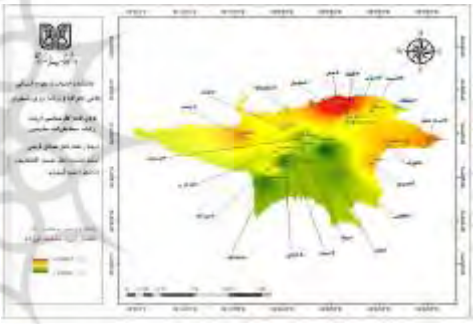
شکل۱۹- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۶



شکل۲۰- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۷



شکل۲۱- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۸

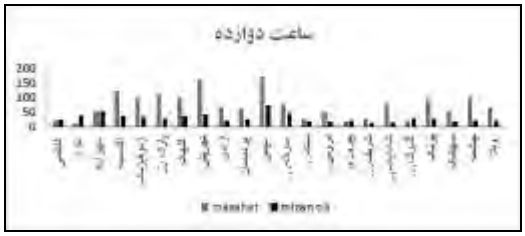


شکل۲۲- نقشهٔ توزیع ازون در ساعت ۱۹

مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعات اوج

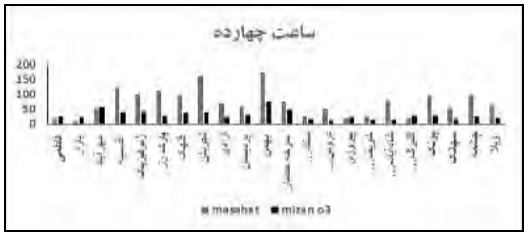
میزان ازون و مساحت پوشش گیاهی اطراف هر ایستگاه تا شعاع یک کیلومتری اطراف هر ایستگاه در ساعات ۱۱ تا ۱۹ (زمان اوج ازون) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. شکل‌های (۲۳ تا ۳۱) به مقایسهٔ نموداری میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت‌های مختلف مد نظر پرداخته است.

شکل۲۳- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۱ صبح



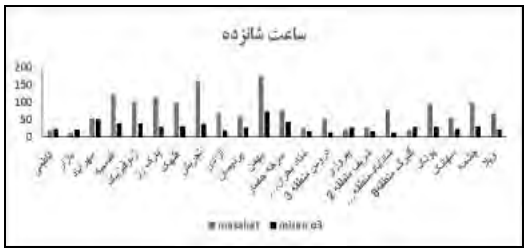
شکل۲۴- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۲ظهر

شکل۲۵- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۳

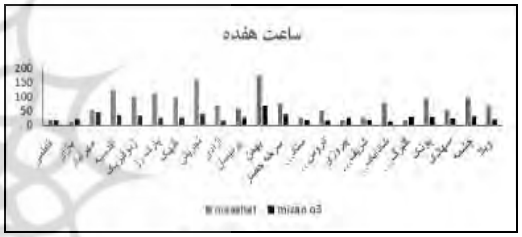


شکل۲۶- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۴

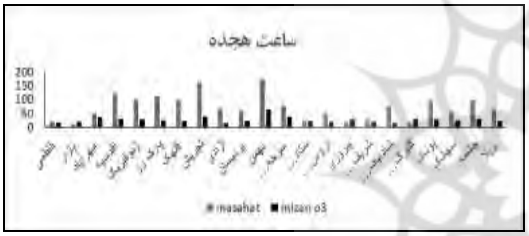
شکل۲۷- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۵



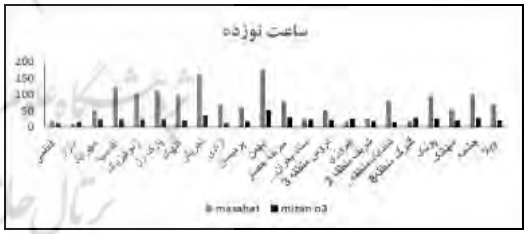
شکل۲۸- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۶



شکل۲۹- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۷



شکل۳۰- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۸



شکل۳۱- مقایسهٔ میزان ازون تروپوسفری و مساحت پوشش گیاهی تا شعاع یک کیلومتری در ساعت ۱۹

با تحلیل همبستگی که بین مساحت پوشش گیاهی اطراف ایستگاههای مورد مطالعه و غلظت ازون آنها در ساعات مختلف شبانه‌روز انجام گرفت، تحقیق به نتایج مهمی دست یافته است. جدول (۲) نتایج رابطهٔ همبستگی مذکور را بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در ایستگاههایی که پوشش گیاهی اطراف آنها بیشتر است، مقدار ازون از ساعت ۱۱ تا ۲۰ نیز بالاتر است. با توجه به آنچه در مبانی نظری تشریح شد و با توجه به تنوع درختی و درختچه‌ای غالب پارک‌ها و بوستان‌های کلانشهر تهران می‌توان چنین نتیجه گرفت که با بالا رفتن دمای هوا و افزایش فعالیت اوج سبزینگی و عملکرد فتوسنتز گیاه در این ساعات، تولید ایزوپرن گیاهی نیز رو به افزایش می‌گذارد. با افزایش این پیش‌عنصر و با حضور ترکیبات دیگری نظیر NOx در هوای شهر، میزان تولید ازون رو به افزایش گذاشته و در این ساعات به اوج می‌رسد.

جدول۳- رابطهٔ همبستگی بین حجم پوشش‌گیاهی و مقادیر ازون تروپوسفری ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ کلانشهر تهران (۲۰۰۲-۲۰۱۸)

		ت	پدداد	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ma	Pears	1	-.087	.042	.114	.186	.236	.244	.198	.189	.208	.282	.313	.508*	.555**	.606**	.607**	.618**	.626**	.634**	.649**	.634**	.537*	.397	.397	-.109
sa	Sig.		.701	.853	.612	.408	.291	.274	.376	.400	.353	.204	.157	.016	.007	.003	.003	.002	.002	.002	.001	.002	.010	.068	.068	.629
ha	N	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

باید چنین در نظر داشت که اکوسیستم‌های شهری به ویژه فضای سبز شهری در برخی موراد می‌توانند منجر به هزینه و حتی خسارت‌های اکوسیستمی نیز بشوند. یکی از مهمترین هزینه‌های اکوسیستمی، انتشار ترکیبات آلی فرابیوژنیکی مثل ایزوپونوئیدها اعم از ایزوپرن و مونوتوپرن، اتان، پروپن، بوتان،استالدئید، فرمالدئید، استیک اسید و اسید فرمیک توسط درختان شهری است که همه آنها می‌توانند به طور غیرمستقیم در معضلات مه‌دود و ازون شهری نقش داشته باشند. ترکیبات آلی فرار بیوژنیکی جزئی از گروه ترکیبات آلی فرار هستند که منشأ انتشار آنها طبیعی (مثل درختان) است که روغن‌های ضروری، رزین‌ها و دیگر محصولات گیاهی را می‌سازند و می توانند در جذب گرده افشان‌ها و دفع شکارچی‌ها برای درختان مفید باشند.

ایزوپونوئیدها دستهٔ مهمی از BVOCها بوده و شامل ترکیب‌هایی هستند که با مقادیر بالایی توسط گیاهان منتشر می‌شوند و پسایندهای مهمی برای شیمی اتمسفر دارند. ایزوپرن ساده‌ترین و فرارترین ایزوپونوئید محسوب شده و مسئول حدود ۸۰ درصد انتشار کربن به صورت BVOC از گیاهان است. برآورد شده که سالیانه انتشار BVOCها از گیاهان، مسئول تشکیل ۱۱۵۰ تراتن کربن در جهان بوده و تقریباً انتشار ترکیبات آلی فرار آنتروپوژنیکی را دو برابر می‌سازد. مونوترپن‌ها، ایزوپونوئیدهایی هستند که برابر با دو واحد ایزوپرن بوده و اغلب توسط گیاهان منتشر می شود، خصوصیات فیزیکی این مولکول ها سبب کمتر بودن فراریت و نرخ انتشار آنها در مقایسه با ایزوپرن‌ها می شود. انتشار BVOC از درختان برحسب نوع گونه، دمای هوا و دیگر عوامل محیطی تفاوت دارد. بسیاری از گونه‌های گیاهی با نرخ های انتشار کیفی و کمّی بسیار متفاوتی، ایزوپونوئیدها را منتشر می‌کنند (جدول ۴).

جدول ۴- گونه‌های درختی با بیشترین انتشارات BVOCها

گونه	نام علمی	مونوترپن (کیلوگرم در سال)	ایزوپرن (کیلوگرم در سال)	BVOC (کیلوگرم در سال)
سپیدار	White poplar	۱۹۶,۸۰	۳۲۹۹۹,۹۰	۳۳۱۹۶,۷۰
اقاقیا	Black locust	۴۲۶,۸۰	۷۱۵۷,۴۰	۷۵۸۴,۲۰
کاج سیاه	Austrian pine	۵۳۴۸	۴۱,۵۰	۵۳۸۹,۵۰
کاج ایرانی یا کاج الدار	Pine Afghan	۳۴۸۹,۶۰	۲۷,۱۰	۳۵۱۶,۷۰
سرو سیمین یا سرو آریزونا	Arizona cypress	۳۴۴۷,۳۰	۰	۳۴۴۷,۳۰
شالک یا تبریزی	Black poplar	۱۵,۲۰	۲۵۴۴,۸۰	۲۵۶۰
بید سفید یا فک	White willow	۱۴۱,۵۰	۲۳۱۸,۴۰	۲۴۵۹,۹۰
گردو ایرانی	English walnut	۱۶۰۶,۲۰	۱۲,۸۰	۱۶۱۹,۱۰
افرای سیاه	Boxelder	۱۵۵۷,۵۰	۲۳,۳۰	۱۵۸۰,۸۰
بلوط بلند مازو	Chestnut-leaved oak	۱۸,۱۰	۱۵۱۵,۱۰	۱۵۳۳,۲۰

(منبع: *Amini Pars &, Saleh, 2019*)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

انتشار ایزوپرن از گیاهان، بزرگترین منبع شناخته شدهٔ جهانی از ترکیبات آلی فرار غیر متان است که نشان‌دهندهٔ انتقال مستقیم کربن و واکنش گیاهان به تغییرات جوّی است. درختان یکی از بزرگترین سیستم‌های دفاعی طبیعت در مقابل آلودگی‌ها هستند؛ اما اطلاعات جدید نشان می‌دهد پوشش گیاهی در هوای گرم، معکوس عمل کرده و به جای اکسیژن، در تولید ایزوپرن و نهایتاً ازون مشارکت می‌کنند. هنگامی که دمای هوا از یک حد متعارف بالاتر می‌رود، برخی درختان و گیاهان، مواد شیمیایی آزاد می‌سازند که تولید ماده سمّی ازون را تحریک می‌کند. بدین نحو که در هوای گرم، درختان، هیدروکربن‌های آلی فرار از جمله ایزوپرن‌ها و ترپن‌ها را آزاد می‌کنند که دو مولکول متصل به مه دود فتوشیمیایی است. در هوای بسیار گرم، تولید این مواد با شتاب بیشتری انجام می‌شود. اگرچه تحقیقات گذشته پارک‌های شهری و مناطق سبز را مکان‌های سالم در قلب شهر تلقی می‌نمایند، اما آن‌ها می‌توانند در برخی شرایط با انتشار ترکیبات ارگانیک فرار بیوژنیک (BVOCs) آلودگی را تشدید کنند. نوع پوشش گیاهی، ترکیب گونه‌ها و قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها نظیرO3، OH و NOX عوامل تعیین کننده نقش BVOcها هستند.

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون در این تحقیق در مناطق مختلف کلانشهر تهران نشان داد که با افزایش پوشش گیاهی اطراف ایستگاههای پایش آلودگی، مقدار ازون در ساعات اوج آن (۱۱ تا ۲۰) نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در شرایط اوج سبزینگی و عملکرد فتوسنتز گیاه با افزایش پیش-آلایندهٔ ایزوپرن حاصل می‌شود که نتایج تحقیقات قبلی انجام شده نیز بر این مهم صحه می‌گذارد. این در حالی است که در سایر ساعات شبانه‌روز به دلیل نبود فتوسنتز گیاهی، تفاوت معناداری در میزان ازون تولیدی مشاهده می‌شود. بنابراین استدلال قوی آن است که گیاهان در شرایط گرمایی حادتر، به تولید ایزوپرن بیشتری به عنوان پیش‌عنصر ازون تروپوسفری کمک می‌کنند که در مجاورت سایر عوامل نظیر مهیّایی ترکیبات فتوشیمیایی نظیر NOX ازون بیشتری در هوای شهر منتشر می‌شود. افزایندگی ازون ناشی از گیاهان ناسازگار با محیط زیست، موضوعی است که لازم است مورد توجه مدیران شهری بویژه شهرداری‌های مناطق مختلف کلانشهر تهران خصوصا مناطق با ازون بالا قرار گیرد.

با توجه نتایج به دست آمده از تحقیق، پیشنهادهای زیر برای بهبود وضعیت و رفع خطرات احتمالی ناشی تولید ایزوپرن و افزایش آلایندهٔ ازون تروپوسفری ارائه می‌شود:

– به شهرداری‌های مناطق مختلف کلانشهرها و به خصوص کلانشهر تهران توصیه می‌شود قبل از توسعهٔ فضای سبز جدیدی، شناسایی دقیق گونهٔ متناسب با محیط زیست شهری و اثر آلایندگی آنها به صورت کاملا علمی صورت گیرد و در صورت ضرورت، حتی‌الامکان کاشت اینگونه درختان در مناطقی صورت پذیرد که در معرض شرایط کاتالیزور تولید ایزوپرن قرار نداشته باشند. به عنوان مثال ایزوپرونی که از درختانی با رشد سریع مانند بید و اوکلاپیتوس تولید می‌شود، می‌تواند موجب تشدید آلودگی ازون در سطح زمین شود. گونه‌های بلوط، صنوبر، اوکالیپتوس، اقاقیا، چنار و برخی سوزنی‌برگ‌ها میزان قابل توجهی ایزوپرن در سراسر فصل رویش از خود متصاعد می‌کنند؛ لذا بنابر شواهد موجود پیشنهاد می‌شود حتی‌الامکان از کاشت این نوع درختان در مناطق پُر ریسک ازون خودداری شود.

– پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، نوع پوشش گیاهی به تفکیک گونه‌های درختی، درختچه‌ای و فضای سبز به همراه مساحت آنها به صورت دقیق مورد مطالعه قرار گرفته و آزمایشات میدانی از میزان انتشار ایزوپرن در مناطق و نواحی مختلف کلانشهر تهران با پوشش‌های متنوع گیاهی انجام شود.

– پیشنهاد می‌شود تحقیقات بعدی روی اندازه‌گیری ایزوپرن تولید شده توسط گیاهان مختلف در پارک‌های مختلف کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی‌های روز متمرکز شوند.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی: این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسندهٔ سوم در رشته مخاطرات محیطی است که با حمایت مادی و معنوی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شده است.

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References:

۱. Amini Parsa, Vahid., Salehi, Ismaeil., Yavari, Ahmadreza (2019). Estimation of emission of biogenic volatile organic compounds by urban trees using the I-Tree Eco model (Case study: Tabriz city). Journal of Forest Research and Development, Vol 5, No 3, pp: 257-371.

۲. Atkinson, Roger (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. Atmospheric environment, 34.12-14, 2063-2101.

۳. Cheng., Xi., Hong, Li., Yujie, Zhang., Yuping, Li., Weiqi, Zhang., Xuezhong, Wang., Fang, Bi., Hao, Zhang., Jian, Gao., Fahe, Chai., Xiaoxiu, Lun., Yizhen, Chen., Jian, Gao., Junyi, Lv (2018). Atmospheric isoprene and monoterpenes in a typical urban area of Beijing: Pollution characterization, chemical reactivity and source identification, J. Environ. Sci, Vol.71, pp.150-167. https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.017

٤. Geng, F., Tie, X., Guenther, A., Li, G., Cao, J., Harley, P (2011). Effect of isoprene emissions from major forests on ozone formation in the city of Shanghai, China. Atmospheric Chemistry and Physics, 11(20), 10449-10459

٥. Guenther, A (1997). Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compounds emissions, Ecol. Appl., 7, 34–45.

٦. Harley, P., Otter, L., Guenther, A., Greenberg, J (2003). Micrometeorological and leaf-level measurements of isoprene emissions from southern African savanna, J. Geophys. Res., 108, 8468–8479.

۷. Hellén, H(2017). Evaluation of the impact of wood combustion on benzo [a] pyrene (BaP) concentrations; ambient measurements and dispersion modeling in Helsinki, Finland. Atmospheric Chemistry and Physics, 17.5, 3475-3487.

۸. Hellén, H., Hakola, H., Pystynen, K. H., Rinne, J., Haapanala, S (2006). C 2-C 10 hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor.

۹. Hellén, H., Tykkä, T., & Hakola, H (2012). Importance of monoterpenes and isoprene in urban air in northern Europe. Atmospheric Environment, 59, 59-66.

۱۰. Ismailzadeh Bahabadi, Sedigheh; Sharifi, Muzaffar (2013). Increasing the production of plant secondary metabolites using biological aliquots. Journal of Cell and Tissue, Volume 4, Number 2, pp. 128-119.

۱۱. Jardine, K.J., Jardine, A.B., Souza, V.F., Carneiro, V., Ceron, J.V., Gimenez, B.O., Gonçalves, J.F (2016). Methanol and isoprene emissions from the fast growing tropical pioneer species Vismia guianensis (Aubl.) Pers.(Hypericaceae) in the central Amazon forest. Atmospheric Chemistry and Physics, 16(10), 6441-6452.

۱۲. Karimi Firozjayee, M., Kiavarz, M., Alavipanah, S.K (2017). Monitoring and prediction of heat island intensity of Babol city with respect to urban sprawl and land use changes over a period of 1364-1394, Geospatial information Technology Journal, Vol. 5, No. 3, pp. 123-151. (In Persian)

۱۳. Karimi, Sadegh (2014). Synoptic analysis of changes in tropospheric ozone concentration in Tehran metropolis. Journal of Applied Research in Geographical Sciences, Volume 14, Number 32, pp. 26-7.

۱٤. Karimi, Sadegh., Negresh, Hossein., Tavoosi, Taghi., Alijani, Behlool (2013). Systematic analysis of the tropospheric ozone cycle in the cybernetic climate system (Case: Tehran metropolis). Journal of Geography, Volume 11, Number 37, pp. 215-189.

۱٥. Millet, D.B., Baasandorj, M., HU, L., Mitroo, D., Turner, J., Williams, B.J (2016). Nighttime chemistry and morning isoprene can drive urban ozone downwind of a major deciduous forest. Environmental science & technology, 50(8), 4335-4342.

۱٦. Monson, R.K., Fall, R (1989). Isoprene emissions from Aspen leaves: Influence of environment and relation to photosynthesis and photorespiration, Plant Phys., 90, 267–274.

۱۷. Monson, R.K., Harley, P.C., Litvak, M.E., Guenther, A., Wildermuth, M., Zimmerman, P., Fall, R (1994). Environmental and developmental controls over the seasonal pattern of isoprene emission from Aspen leaves, Oecologia, 99, 260–270.

۱۸. Parsayee, Reza (2014). A study of the history of marginalization from the world to Tehran. Alborz Law Enforcement Science Quarterly, Vol.2, No.4, pp. 47-63.

۱۹. Purdayhami, Sh., Tahsildost, M., Ameri, P (2019). The effect of vegetation on reducing the intensity of urban heat islands: A case study of Tehran metropolis. Journal of Energy Planning and Policy Research, Volume 5, Number 16, pp. 97-122.

۲۰. Ramezani, Sadegh; Naqibi Fereydoun (2020). Analysis of changes in vegetation index in the formation of urban thermal islands) Case study: Urmia (Journal of Urban Research and Planning, Vol.11, No. 42, pp. 195-206.

۲۱. Rasmussen, R.A (1972). What do the hydrocarbons from trees contribute to air pollution? Journal of the Air Pollution Control Association, 22(7), 537-543.

۲۲. Robertson, G.W., Griffiths, D.W., Woodford, J.A.T., Birch, A.N.E (1995). Change in the chemical composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry [Rubus idaeus] cultivars Glen Prosen, Phytochemistry, 38, 1175– 1179.

۲۳. Sangwan, NS., Farooqi, AH., Shabih, F., Sangwan, R.S (2001). Regulation of essential oil production in plants, Plant Growth Regul, 34: 21-34.
۲٤. Sharkey, T.D., Wiberley, A.E., Donohue, A.R (2008). Isoprene emission from plants: why and how. Annals of botany, 101(1), 5-18.
۲٥. Taiz, L., Zeiger, E (2006). Plant Physiology, 4th Edition. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts. USA, 260-287
۲٦. Tingey, D. T., Manning, M., Grothaus, L.C., Burns, W.F (1979). The influence of light and temperature on isoprene emission rates from live oak, Plant Phys., 47, 112– 118.
۲۷. Varshney, C., Singh, A.P (2003). Isoprene emission from Indian trees. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D24).
2۸. Watson, John G., Judith C. Chow, and Eric M. Fujita (2001). Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance. Atmospheric Environment 35.9, 1567-1584.
۲۹. Williams, C.Grenville (1860). On isoprene and caoutchine. Proceedings of the Royal Society of London. 10: 516–519. doi:10.1098/rspl.1859.0101.S2CID 104233421.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی