



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Monitoring and detection of methane gas in Tehran in Google Earth Engine



M. Mohammadi, M. Akhoondzadeh*

Department of Photogrammetry and Remote Sensing, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 07 February
2023
Reviewed: 3 April 2023
Revised: 30 April 2023
Accepted: 04 June 2023

KEYWORDS:

Google Earth Engine
Methane gas
Sentinel-5
Temporal-spatial
changes* Corresponding author
 makhonz@ut.ac.ir
 (+9821) 61114522

Background and Objectives: Studying the emission of methane gas as the second most important greenhouse gas is vital due to climate change. This study was conducted to check the correctness of the news published by NASA regarding the existence of a methane cloud in the south of Tehran. Due to the importance of the subject, so far many remote sensing satellites such as sentinel-5, MethanSAT, SCIAMACHY, and GOSAT have been provided to monitor pollutants, especially methane gas. Also, much research has been done in evaluating this sensor and monitoring polluted areas. For example, Cherepanova, et al analyzed the spatial-temporal analysis of methane concentration and its relationship with burned areas. Using daily data from the TROPOMI sensor, they concluded that methane concentrations were higher in newly burned areas than in the previous year's burns. Maurya, N.K., et al investigated the concentration of SO₂, CO, SOX, and CH₄ pollutants using Sentinel-5P TROPOMI data in the periods after wheat and rice harvesting and land burning. The results showed that the concentration of CH₄, SO₂, SOX, CO, and aerosol increased significantly during the burning period of agricultural land after harvesting rice and wheat every year.

Methods: In this research, the daily data series of the TROPOMI sensor on the Santi-5 satellite were used on the Google Earth Engine platform. First, the spatio-temporal analysis of methane dynamics in Tehran has been discussed. In this way, time changes are made from July to October 2022 and also for the spatial analysis of pollutants, a monthly map has been made. Then according to the obtained date, the correctness or incorrectness of the presented map has been checked. Finally, in order to evaluate the results, the length of the methane cloud observed by NASA was compared with the methane cloud extracted by TROPOMI.

Findings: The obtained results showed that on September 1st, 2022 methane concentration was high and around 1970 ppm, and other gases did not have a high value on this date, which indicates the lack of effect of other gases on the increase of methane concentration and lack of misdiagnosis and according to the average map in the south of Tehran This gas has been more. Also, the methane cloud observed by NASA on the old Tehran-Qom road near the Qasemabad-Shorabad neighborhood was confirmed by the use of Sentinel-5 satellite data on the Google Earth Engine platform in red, meaning high concentration, which caused the release and concentration of methane gas. It is located in the south of Tehran and its main source was the landfill in this area. In addition, the length reported by NASA was compared with the length of the methane cloud extracted from the TROPOMI instrument, which was 4.8 km and 4.41 km, respectively.

Conclusion: Nowadays, air pollution has become a major problem due to environmental problems and adverse effects on human health, especially in densely populated cities. Based on the obtained results and the image of methane gas on September 1st in the south of Tehran, it was found that the news published by NASA was true and the main factor was that this area is a garbage dump. In this way, the Google Earth Engine platform can be used as a suitable tool for monitoring daily, monthly and annual changes.

NUMBER OF REFERENCES
30NUMBER OF FIGURES
5NUMBER OF TABLES
1

مقاله پژوهشی

پایش و آشکارسازی گاز متان در شهر تهران در پلت فرم گوگل ارث انجین

مینا محمدی، مهدی آخوندزاده هنزائی*

گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده

پیشینه و اهداف: مطالعه انتشار گاز متان، به‌عنوان دومین گاز گلخانه‌ای مهم، به دلیل ایجاد تغییرات آب و هوایی، حائز اهمیت است. این مطالعه، با هدف بررسی درستی خبر منتشرشده توسط ناسا، در خصوص وجود یک ابر متان در جنوب تهران، انجام شده است. با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون ماهواره‌های سنجش از دور زیادی نظیر *Sentinel-5, Methansat, SCIAMACHY* و *GOSAT* برای پایش آلاینده‌ها به‌خصوص گاز متان، ارائه شده است. همچنین، تحقیقات بسیاری در زمینه ارزیابی این سنجنده و پایش مناطق آلوده، صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، چرپانوا و همکاران به تجزیه و تحلیل مکانی- زمانی غلظت متان و ارتباط آن با مناطق سوخته، پرداختند. آن‌ها، با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* به این نتیجه رسیدند که غلظت متان در مناطق تازه سوخته شده نسبت به سوختگی‌های سال گذشته، بیشتر است. نیراج مایریا و همکاران، به بررسی غلظت آلاینده‌های *SO₂*، *CO*، *SOX* و *CH₄* با استفاده از داده‌های *Sentinel-5P TROPOMI* در دوره‌های پس از برداشت گندم و برنج و سوزاندن زمین‌ها پرداختند. نتایج، نشان داد که غلظت *CH₄*، *SO₂*، *SOX* و *CO* و آژورسل، در طی دوره سوزاندن زمین‌های کشاورزی پس از برداشت برنج و گندم، هر سال افزایش معنی‌داری داشت.

روش‌ها: در این تحقیق، سری‌های زمانی داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* در ماهواره سنتینل-۵ در پلتفرم گوگل ارث انجین، مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا، به تجزیه و تحلیل مکانی- زمانی دینامیک غلظت متان در تهران پرداخته شده است. بدین منظور، نمودارهای تغییرات زمانی از مرداد تا آبان ۱۴۰۱ و همچنین، به جهت تحلیل مکانی غلظت آلاینده‌ها، نقشه میانگین ماهیانه، تولید شده است. سپس، با توجه به تاریخ به‌دست آمده به بررسی درستی یا نادرستی نقشه ارائه شده، پرداخته شده است. در نهایت، به‌منظور ارزیابی نتایج طول ابر متان مشاهده شده توسط ناسا با ابر متان استخراج شده توسط سنجنده *TROPOMI* مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده، نشان داد که در تاریخ ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ غلظت متان بالا و در حدود 1970 ppm بوده است و گازهای دیگر در این تاریخ، مقدار بالایی نداشته‌اند که این، نشان‌دهنده عدم تأثیر دیگر گازها، بر افزایش غلظت متان و عدم تشخیص نادرست می‌باشد و طبق نقشه، میانگین در جنوب تهران این گاز بیشتر بوده است. همچنین، ابر متان مشاهده شده توسط ناسا در جاده قدیم تهران - قم، در نزدیکی محله قاسم‌آباد - شورآباد با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ در پلت فرم گوگل ارث انجین، به رنگ قرمز به معنای غلظت بالا تأیید شد که باعث انتشار و میزان غلظت گاز متان بیشتر، در جنوب تهران شده و منشأ اصلی آن، دفن زباله در این منطقه بوده است. علاوه بر این، طول گزارش شده توسط ناسا با طول ابر متان استخراج‌شده از سنجنده *TROPOMI* با یکدیگر مقایسه شد که به ترتیب، برابر با ۴.۸ کیلومتر و ۴.۴۱ کیلومتر بوده‌اند.

نتیجه‌گیری: امروزه، آلودگی هوا به علت مشکلات زیست‌محیطی و اثرات نامطلوب بر سلامت انسان‌ها، به‌خصوص در شهرهای پرجمعیت، به یک مشکل اساسی تبدیل شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده و تصویر گاز متان در تاریخ ۱۰ شهریور در جنوب تهران، مشخص شد خبر منتشرشده توسط ناسا، صحت داشته و عامل اصلی آن، این بوده است که این منطقه، محل دفن زباله می‌باشد. بدین ترتیب، پلت فرم گوگل ارث انجین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای پایش روزانه، ماهانه و تغییرات سالانه، مورد استفاده قرار بگیرد.

تاریخ دریافت: ۱۸ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۱۴ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

تغییرات زمانی- مکانی
سنتینل-۵
گاز متان
گوگل ارث انجین

* نویسنده مسئول

✉ makhonz@ut.ac.ir

① ۰۲۱-۶۱۱۱۴۵۲۲

مقدمه

آستانه این سازمان، فراتر رفته است [۱]. از طرف دیگر، پیامدهای زیان‌بار تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز، یک موضوع نگران‌کننده جهانی است. بنابراین، نظارت منظم و کاهش میزان آلودگی هوا در کاهش اثرات آن، بر سلامت انسان و محیط زیست، نقش اساسی دارد. مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونو اکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، دی اکسید نیتروژن

آلودگی هوا، یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که به طور جدی در تغییرات آب و هوایی و مرگ و میر، نقش دارد. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا، باعث حدود ۶.۵ میلیون مرگ و میر شده و تخمین زده می‌شود که تا ۹۲ درصد از جمعیت جهان، در مناطقی زندگی می‌کنند که کیفیت هوای آن‌ها از

فشار زیاد و سرعت باد کم، بررسی شد. مشاهدات و تحلیل‌های هواشناسی همراه با مشاهدات *TROPOMI*، نشان داد که در سرعت باد کم به افزایش متان در سراسر حوضه، کمک می‌کند [۱۲]. چرپانوا (معادل انگلیسی نام) و همکاران، به تجزیه و تحلیل مکانی- زمانی غلظت متان و ارتباط آن با مناطق سوخته پرداختند. آن‌ها، با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* به این نتیجه رسیدند که غلظت متان در مناطق تازه سوخته شده نسبت به سوختگی‌های سال گذشته بیشتر است [۱۳]. نیراج مایریا (نام ...) و همکاران، به بررسی غلظت آلاینده‌های SO_2 ، CO ، SOX و CH_4 با استفاده از داده‌های *Sentinel-5P TROPOMI* در دوره‌های پس از برداشت گندم و برنج و سوزاندن زمین‌ها پرداختند. نتایج، نشان داد که غلظت CH_4 ، SO_2 ، CO و آئروسول در طی دوره سوزاندن زمین‌های کشاورزی پس از برداشت برنج و گندم، هرسال افزایش معنی‌داری داشت [۱۴]. سیاوش شامی و همکاران، به بررسی روند تغییرات دو گاز CO و NO_2 در طول پاندمی کووید با استفاده از تصاویر *Sentinel-5* پرداختند. نتایج، نشان داد در سال اول قرنطینه به دلیل رعایت قوانین، میزان این آلاینده‌ها ۵ درصد کاهش یافته است [۱۵].

در تحقیق دیگری، پلامن ترینچو (نام ...) و همکاران، به مطالعه و بررسی الگوهای مکانی و زمانی CH_4 ، CO و NO_2 در مناطق استخراج ذغال سنگ پرداختند. درصد نسبتاً بالای پیکسل‌های از دست رفته، یکی از مشکلات اصلی در مطالعه انتشار آلاینده‌های هوا از داده‌های ماهواره‌ای با رزولوشن متوسط است. آن‌ها، با استفاده از داده‌های *TROPOMI* و ارائه یک رویکرد تکراری، پیکسل‌های از دست رفته را پیش‌بینی کرده و به نظارت سالانه منطقه مورد مطالعه پرداختند [۱۶]. ژانگ (...) و همکاران، با استفاده از داده‌های *TROPOMI* از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به تجزیه و تحلیل گاز متان در چین پرداختند. نتایج، نشان داد غلظت متان در تابستان، زیاد و در زمستان، کم بوده، همچنین توزیع متان تقریباً در شرق زیاد، در غرب کم، در جنوب زیاد و در شمال کم است [۱۷]. پولیافیتو (نام ...) و همکاران، به مقایسه دو پایگاه داده ملی و بین‌المللی گاز متان با اندازه‌گیری‌های سنجنده *TROPOMI* در آرژانتین پرداختند. نتایج نشان داد، میانگین مقدار گاز متان از جنوب به شمال افزایش یافته، در حالی که بخش دریایی، ثابت مانده است [۱۸]. هاو سانگ (نام ...) و همکاران، به بررسی الگوی مکانی و زمانی متان از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱ با استفاده از مشاهدات *TROPOMI* و *GOSAT* پرداختند. نتایج، نشان‌دهنده افزایش غلظت متان با رشد سالانه تقریباً $4/8 \text{ ppb}$ بوده است [۱۹]. پانکاژ ساداوارته (نام ...) و همکاران، از سنجنده *TROPOMI* برای تعیین کمیت انتشار متان از معادن زغال سنگ در استرالیا استفاده کردند. نتایج، نشان داد که برای دو مورد، تخمین‌های ماهواره‌ای به‌طور قابل توجهی بالاتر از گزارش دولت استرالیا بوده است [۲۰].

با توجه به اهمیت موضوع پایش آلاینده‌ها و اعلام خبری مبنی بر مشاهده یک توده ابر در جنوب تهران توسط ناسا، این مطالعه به بررسی درستی یا نادرستی خبر با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجنده

(NO_2)، اوزون (O_3)، متان (CH_4)، و ذرات معلق در هوا می‌باشند. متان پس از دی اکسید کربن که بیشترین سهم را از نیروی تشعشعی ناشی از فعالیت‌های انسانی از سال ۱۷۵۰ به خود اختصاص می‌دهد، در رتبه دوم قرار دارد. متان در جو، کم‌تر از دی اکسید کربن (به نظر وجود این کلمه، ضروری نمی‌باشد) است، اما پتانسیل گرمایش جهانی در واحد جرم به‌طور قابل توجهی بالاتر است [۲]. گاز متان، از فعالیت‌های انسانی چون دامداری، سیستم‌های نفت/گاز، معدن زغال سنگ، محل‌های دفن زباله، تصفیه فاضلاب و کشت برنج، منتشر می‌شود [۳]. در این بین، محل‌های دفن زباله، منبع بالقوه عظیمی از متان هستند، زیرا تجزیه مواد آلی در شرایط بی‌هوازی باعث افزایش تولید متان می‌شود. با این حال، تعیین کمیت انتشار کل متان برای هر محل دفن زباله معین، چالش برانگیز است زیرا عملیات، هواشناسی، توپوگرافی و زیرساخت‌ها، دائماً تغییر می‌کنند [۴]. همچنین، بسیاری از متان منتشرشده از صنعت نفت و گاز را می‌توان بدون هزینه کاهش داد یا حذف کرد که نشان می‌دهد کاهش انتشار متان از عملیات نفت و گاز یکی از عملی‌ترین گام‌ها برای کاهش تغییرات آب و هوایی است [۵]. علاوه بر این، گاز متان قابل اشتعال است و اگر غلظت آن، در یک منطقه بسته به ۵ تا ۱۵ درصد برسد، می‌تواند منفجر شود [۶]. علیرغم اثرات منفی آن بر محیط زیست، گاز طبیعی به دلیل فراوانی و فرآیند سوختن پاک مورد علاقه است و بنابراین، در آینده به‌طور گسترده مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۷]. در نتیجه، پایش و اندازه‌گیری متان، امری ضروری است.

یکی از راه‌های به‌دست آوردن اطلاعات، در مورد مکان‌هایی که انتشار گاز در آن‌ها رخ می‌دهد، اندازه‌گیری روی زمین یا با استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین است [۸]. از آنجایی که اندازه‌گیری‌های زمینی یا هوایی از نظر پوشش مکانی و زمانی محدود است، نمی‌توان اطلاعات جامعی را از آن‌ها به‌دست آورد [۹]. در این زمینه، فناوری سنجش از دور با ساخت ماهواره‌هایی توانسته است بستر مناسبی را برای ارزیابی جهانی کیفیت هوای فعلی و تغییرات آب و هوایی آینده، فراهم کند. ماهواره‌ها، با گرفتن یک عکس فوری از غلظت متان در جو در یک نقطه و زمانی خاص، کار می‌کنند که سپس می‌تواند به نرخ انتشار تبدیل شود [۱۰]. در زمینه پایش ماهواره‌ای گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز متان، می‌توان به سنجنده‌های *Sentinel-5*، *SCIAMACHY*، *Methansat* و *GOSAT* اشاره کرد که می‌توانند به‌طور دقیق توزیع جهانی و منطقه‌ای گاز متان را در قدرت تفکیک مکانی بین ۷ تا ۶۰ کیلومتر مشخص کنند [۱۱]. در این بین، ماهواره *Sentinel-5* و حسگر آن *TROPOMI*، به دلیل رزولوشن بالاتر نسبت به سایر ماهواره‌ها، مورد توجه محققین قرار گرفته است. تاکنون، مطالعات زیادی در رابطه با سنجنده‌های مخصوص پایش آلودگی هوا انجام گرفته است. ایریک کراسمن (لطف‌نام) اندیشمند به انگلیسی آورده شود) به مطالعه ارتباط تغییرات مکانی و زمانی متان با الگوهای جریان هواشناسی در حوضه پرمیان، بزرگ‌ترین منطقه تولید نفت و گاز در ایالات متحده با استفاده از سنجنده *TROPOMI* پرداخت. تغییرات گاز متان، در دو دوره باد متوسط و دیگری

۲۱۲۹ کیلومتر مربع مساحت دارد و ۲۶۸۸۰ کیلومتر مربع، بقیه استان است. تراکم جمعیت استان تهران، در حدود ۱۱۸۰۰ کیلومتر مربع گزارش شده است. همچنین، استان تهران پرجمعیت‌ترین شهر ایران و غرب آسیا است. این استان، با توجه به جمعیت کلان شهرهای جهان، در رتبه ۲۴ جهانی قرار دارد [۲۲]. تغییرات بارگذاری آئروسول ناشی از شهرنشینی، خشک‌سالی، انتشار وسایل نقلیه و صنعت، یک نگرانی عمده به‌ویژه در مناطق شهری است. تهران، با غلظت بسیار بالای آلاینده‌های هوا، یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان است. علاوه بر این، توپوگرافی پیچیده و اقلیم نیمه‌خشک آن، مشکل آلودگی را تشدید می‌کند. این شهر، توسط رشته‌کوه البرز، احاطه شده است که آلودگی هوا را به دام می‌اندازد، درحالی‌که آب و هوای مدیترانه‌ای باعث وارونگی دمای زمستان می‌شود.

بنابراین، انتشار آلاینده‌ها می‌تواند منجر به بار آئروسول بالا، به‌ویژه در فصول سرد شود. منابع آئروسول محلی عمدتاً منابع شهری انسانی هستند که از انواع احتراق، از جمله وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها و منابع صنعتی همراه با منابع طبیعی، به‌ویژه گرد و غبار، در فصل گرم که خشکی فزاینده در منطقه وجود دارد، منشأ می‌گیرند [۲۳].

TROPOMI پرداخته است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی وجود یک توده گاز متان در شهر تهران است. بدین منظور، با توجه به محدودیت داده‌های ماهواره‌ای از این نظر که گاهی در بعضی از روزها یا برخی مناطق ممکن است داده‌ای نباشد، انتخاب یک سنجنده مناسب، به بررسی و تصمیم‌گیری نیازمند است. همچنین، در این پژوهش، به بررسی آلاینده‌های دیگر برای تعیین این مسئله که متان با گاز دیگری اشتباه نگرفته شده باشد و امکان وجود رابطه افزایش متان با سایر آلاینده‌ها، پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در تهران، پایتخت ایران که در شمال فلات مرکزی ایران در طول جغرافیایی 51° تا $51^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی 30° تا $35^{\circ}51'$ شمالی واقع شده است، انجام شد که در شکل ۱ آمده است [۲۱]. تهران، پرجمعیت‌ترین و بزرگ‌ترین منطقه شهری ایران است که شامل ۲۲ منطقه شهرداری می‌باشد. استان تهران با حدود ۲۵ میلیون نفر جمعیت، حدود ۹ میلیون نفر در کلان‌شهر تهران و بقیه، در سایر شهرهای استان تهران زندگی می‌کنند. کلان‌شهر تهران، حدود



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه
Fig. 1: Area of study

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سطح ۲ Sentinel-5 با استفاده از HARP *bin_spatial* تبدیل می‌شود. داده‌های اصلی سطح ۲ Sentinel-5، با زمان و نه طول و عرض جغرافیایی، متصل می‌شوند. برای این که بتوان داده‌ها را در گوگل ارث انجین وارد کرد، هر محصول سطح ۲ Sentinel-5 به سطح ۳ تبدیل می‌شود و یک شبکه، در هر مدار حفظ می‌شود. این تبدیل، بر اساس یک سری پارامتر است که در عین حال به ابعاد (زمان، طول و عرض جغرافیایی)، متغیرها (نام داده‌ها و انواع داده‌ها)، ویژگی‌ها و مختصات اشاره دارد [۳۰].

سیس، فیلترینگ زمانی و مکانی، روی داده‌ها اعمال می‌شود. منظور از فیلترینگ زمانی و مکانی، تعیین تاریخ و محدوده‌ای است که قصد داریم میزان آلاینده آن را، اندازه‌گیری کنیم که به جهت این که تاریخ دقیق مشاهده توده متان مشخص نبود، به بررسی تغییرات زمانی از ۱ مرداد تا ۳۰ آبان برای آلاینده‌های CH_4 ، CO ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و AOD در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. همچنین، نقشه میانگین ماهانه برای زمانی که گاز متان، حداکثر مقدار خود را داشته است، برای تمامی گازها، تولید شده است. سپس، پس از پردازش داده‌ها، دو نوع خروجی شامل نقشه‌ها و گزارش‌های آماری تغییرات سری زمانی آلاینده‌ها، به دست آمده است. در نهایت، نتایج به دست آمده با نتایج ارائه شده توسط ناسا، مقایسه شده و مورد تحلیل و بررسی، قرار گرفتند.

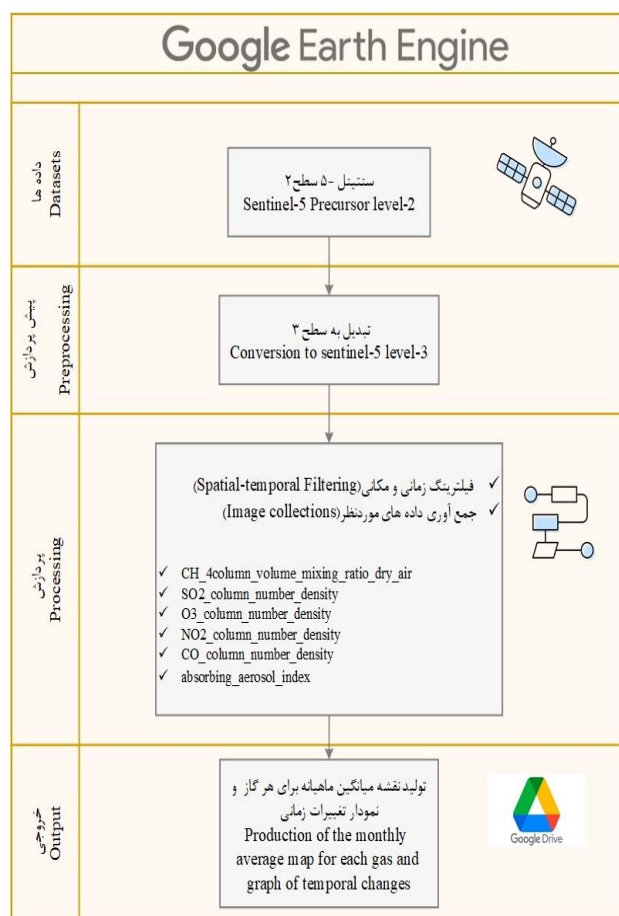
در سال‌های اخیر، ابزار TROPOMI نصب شده بر روی ماهواره Sentinel-5 به یکی از پرکاربردترین حس‌گرها برای پایش آلودگی هوا تبدیل شده است. Sentinel-5 در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷، به‌عنوان بخشی از سری برنامه‌های فضایی کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (ESA)، پرتاب شد [۲۴]. این سنجنده، نقشه‌برداری روزانه جهانی از گونه‌های جوی کلیدی را برای نظارت بر کیفیت آب و هوا، امکان‌پذیر کرده است [۲۵]. TROPOMI در یک پیکربندی مبتنی بر روش جارویی با پهنای باند در حدود ۲۶۰۰ کیلومتر، در طول مسیر ۷ کیلومتر، از ۶ آگوست ۲۰۱۹ به ۵.۶ کیلومتر تبدیل شد و پوشش جهانی را به‌صورت روزانه، برداشت می‌کند. این ابزار، یک سیستم چهار طیف‌سنج است که در باندهای طیفی فرابنفش (UV)، فرابنفش-مرئی (UV-VIS)، مادون‌قرمز نزدیک (NIR) و امواج مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند [۲۶]. اندازه پیکسل معمولی (در نادیر) 7×3.5 کیلومتر مربع برای همه باندهای طیفی، به جز UVW1 ماوراء بنفش (7×28 کیلومتر مربع) و موج کوتاه مادون قرمز SWIR (7×7 کیلومتر مربع) است. TROPOMI از برد موج مادون قرمز کوتاه (SWIR) $2385-2305$ نانومتر برای اندازه‌گیری متان استفاده می‌کند [۱۳].

روش تحقیق

با توجه به این که در تاریخ ۳ آبان ۱۴۰۱، ناسا اعلام کرد که یک توده متان، به طول ۴/۸ کیلومتر در جنوب شهر تهران مشاهده شده است، در این پژوهش، علاوه بر بررسی این موضوع به بررسی سایر گازهای موجود در اتمسفر مانند CO_2 ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و AOD به جهت اینکه تأثیری برافزایش گاز متان گذاشته یا به اشتباه تشخیص داده شده باشند، پرداخته شده است. انتشار متان از مراکز شهری در سراسر جهان، هنوز به‌خوبی شناخته نشده است، اما به‌عنوان یک منبع بالقوه مهم CH_4 برای هدف کاهش هست [۲۷]. بنابراین، با توجه به این که متان، یک گاز قابل اشتعال است که بو و رنگ نداشته و جزء اصلی گاز طبیعی است، پایش و تشخیص به موقع آن، حائز اهمیت است [۲۸].

تمامی پردازش‌ها و مراحل کار، در محیط گوگل ارث انجین انجام گرفته است. گوگل ارث انجین، مجموعه‌ای چند پتابایتی از داده‌های مکانی است که با عملکرد بالا و خدمات محاسباتی ذاتی موازی در کنار هم، قرار گرفته‌اند. مزیت اصلی گوگل ارث انجین، این است که مجموعه‌های بزرگی از داده‌ها از جمله پوشش زمین، متغیرهای محیطی، آب و هوا و پیش‌بینی آب و هوا را فراهم می‌کند که برای دسترسی به داده‌های از قبل پردازش شده است. ویرایشگر کد ارث انجین، توسط کتابخانه‌های کلاینت که از طریق جاوا اسکریپت و پایتون، مدیریت می‌شوند، انجام می‌شود [۲۹]. همچنین، استفاده از محیط گوگل ارث انجین، باعث افزایش سرعت پردازش‌ها شده، که این مسئله در پایش مسائل محیط زیستی، حائز اهمیت است.

همان‌طور که در بخش داده‌ها گفته شد، برای بررسی تمام گازها از داده‌های ماهواره Sentinel-5 استفاده شده است. مطابق شکل ۲،



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی

Fig. 2: Flowchart of the proposed method

نتایج و بحث

NO_2 در شمال شرق و نواحی مرکزی، اوزون و گرد و غبار بیشتر مناطق تهران به جز بخشی از شمال شرق تهران و حداکثر غلظت SO_2 در منطقه مورد نظر، پراکنده است. همچنین، به منظور بررسی دقیق‌تر منشأ گاز متان و تأیید درستی توده ابر متان توسط ناسا، نتایج مربوط به تاریخ ۱۰ شهریور در جنوب تهران نیز، در شکل ۵ آمده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ابر متان مشاهده شده توسط ناسا در جاده قدیم تهران - قم در نزدیکی محله قاسم‌آباد - شورآباد با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-5 در پلت فرم گوگل ارث انجین، به رنگ قرمز به معنای غلظت بالا، تأیید شد که باعث انتشار و میزان غلظت بالای گاز متان در جنوب تهران شده است. همچنین طبق گزارش‌ها، این منطقه، آزاد کوه کهریزک است که محل دفن زباله‌های شهر تهران بوده و علت اصلی تشدید و تشکیل این توده ابر متان در این‌جا است. علاوه بر این، طول این توده ابر متان در گوگل ارث انجین، محاسبه و با گزارش ارائه شده توسط ناسا، مقایسه شد که نتایج، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مقایسه طول ابر متان ارائه شده توسط ناسا و حاصله از سنجنده ROPOMI
Table 1: Comparison of methane cloud length provided by NASA and obtained from the TROPOMI instrument

توده ابر متان استخراج شده در گوگل ارث انجین با سنجنده TROPOMI Methane cloud mass extracted in Google Earth Engine with TROPOMI meter	توده ابر مشاهده شده توسط ناسا Cloud mass observed by NASA	طول اندازه‌گیری شده Measured length
۴/۴۱ کیلومتر 4.41 Km	۴/۸ کیلومتر 4.8 Km	

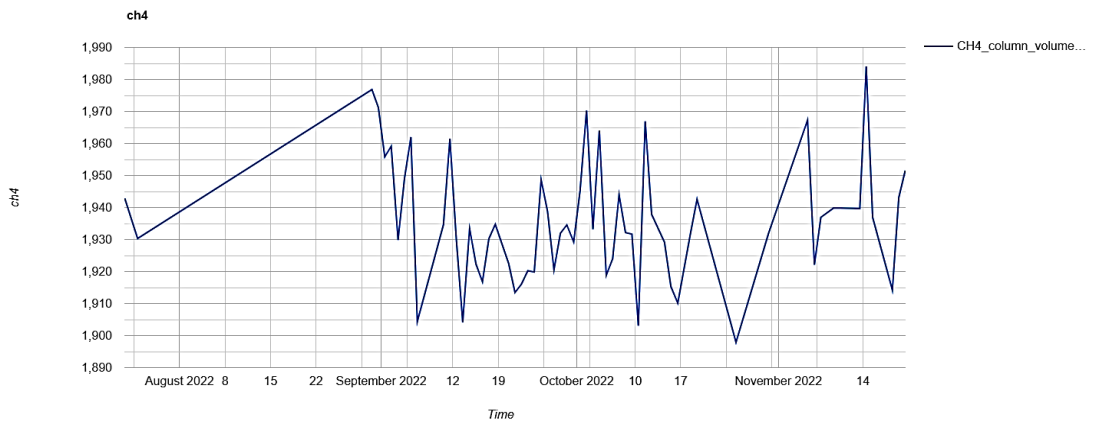
ناسا، طول توده ابر متان مشاهده شده را ۴/۸ کیلومتر گزارش کرده بود که این طول با نتایج به دست آمده از سنجنده TROPOMI تفاوت چندانی نداشته و درستی وجود گاز متان در منطقه آزاد کوه کهریزک را تأیید می‌کند.

نتایج تغییرات زمانی گازهای CO ، CH_4 ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و AOD در بازه زمانی ۱ مرداد تا ۳۰ آبان ماه در شکل ۳، آمده است. همان‌طور که در نمودار الف، مشاهده می‌شود غلظت متان در ۱۰ شهریور و ۲۹ آبان بیشترین مقدار خود را در شهر تهران داشته است و روند تغییرات آن، از الگوی کاهشی یا افزایشی خاصی پیروی نمی‌کند. نمودار ب، مربوط به گاز CO است که در مرداد و شهریور تقریباً مقادیر در یک محدوده تغییر یافته‌اند و حداکثر مقدار آن، مربوط به ۲۳ و ۳۰ آبان بوده است. تغییرات گاز NO_2 در نمودار پ مشاهده می‌شود که در آبان ماه روند صعودی داشته و در ۳۰ آبان به اوج خود رسیده است. مقادیر اوزون، در ماه‌های مرداد و شهریور تقریباً بالا بوده و در مهرماه، کاهش اما در آبان، دوباره افزایش یافته است که در نمودار ت، تغییرات آن آمده است. همچنین، اوزون در ۱۷ آبان ماه بالاترین مقدار خود را داشته است. SO_2 از جمله گازهایی است که طبق نمودار ث مشاهده می‌شود، تغییرات آن روند نزولی و صعودی نداشته و دائماً در حال افزایش و کاهش می‌باشد. طبق نمودار ث، گاز SO_2 در ۱۷ شهریور، ۲۹ مهر، ۲۲ و ۳۰ آبان ماه، بالاترین مقادیر خود را در بازه زمانی مورد نظر، داشته است. نمودار ج، نشان دهنده تغییرات زمانی گرد و غبار، در شهر تهران است. طبق این نمودار، گرد و غبار در مهر و آبان، کاهش یافته و حداکثر مقدار آن، مربوط به ۵ مرداد بوده است.

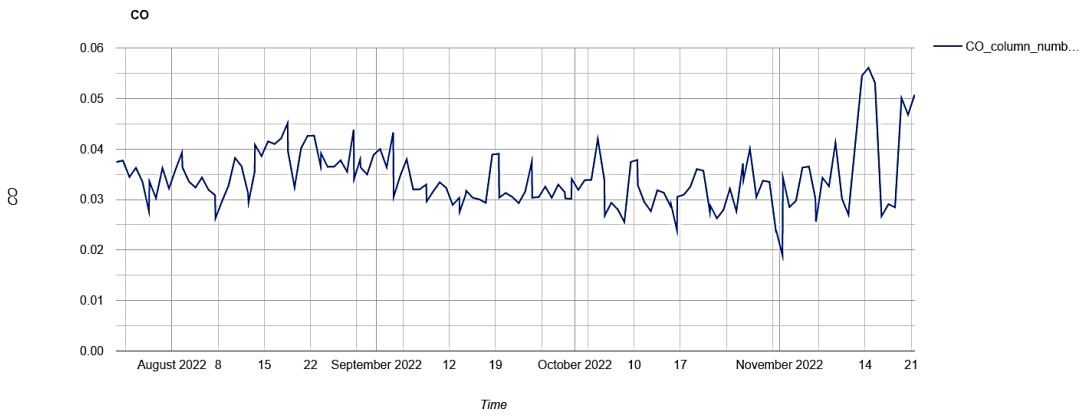
با توجه به نمودار تغییرات گازها و بررسی آن‌ها، نتایج حاوی این بود که سایر گازها، تأثیری بر ایجاد توده متان نداشته و در تاریخ ۱۰ شهریور گاز دیگری در حداکثر مقدار خود، مشاهده نشده است. علاوه بر این، سه گاز NO_2 ، SO_2 و CO در ۳۰ آبان ماه بیشترین مقدار خود را داشته و نشان‌دهنده حداکثر آلودگی در شهر تهران است. اما با توجه به اینکه در تاریخ ۳ آبان ناسا این خبر را اعلام کرده است، می‌توان گفت که توده متان مشاهده شده مربوط به ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ بوده است.

از طرف دیگر، گفته شده بود که این گاز متان، در جنوب تهران، مشاهده شده است. بنابراین، بررسی دیگری بر اساس میانگین مقدار گازهای موجود در شهریور ماه صورت گرفت که در شکل ۴ آمده است.

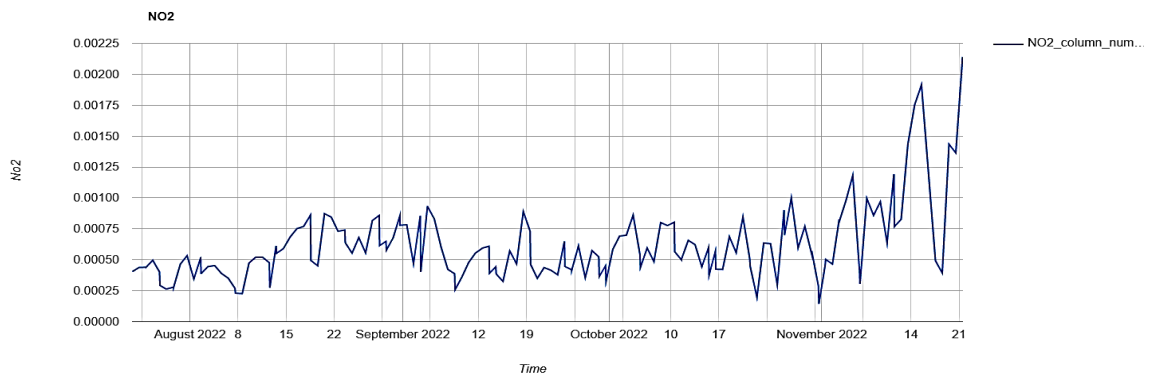
مطابق شکل ۴، محدوده مکانی گازهای مورد نظر مشاهده می‌شود. گاز متان، در مناطق جنوبی و مرکز تهران، بیشترین غلظت را دارد. CO و



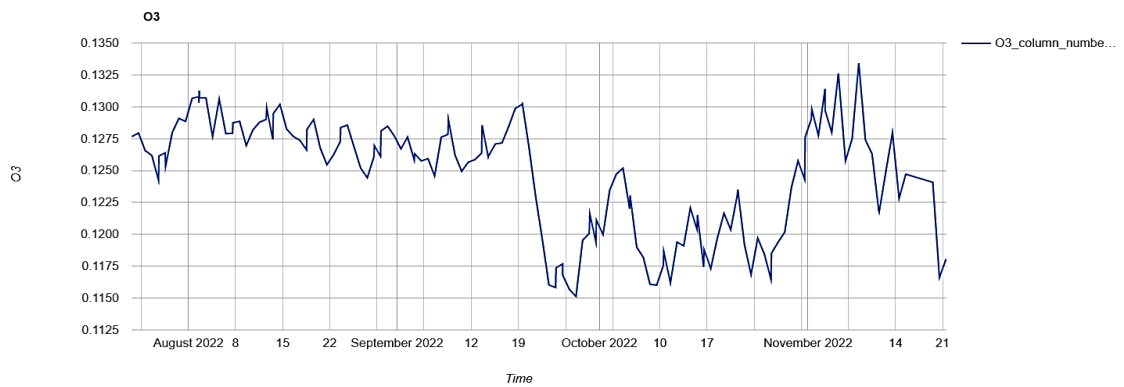
(الف)



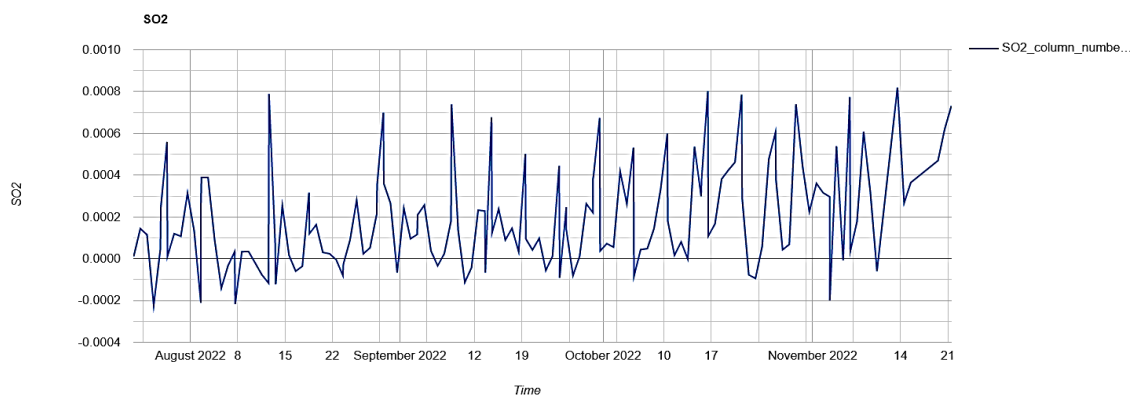
(ب)



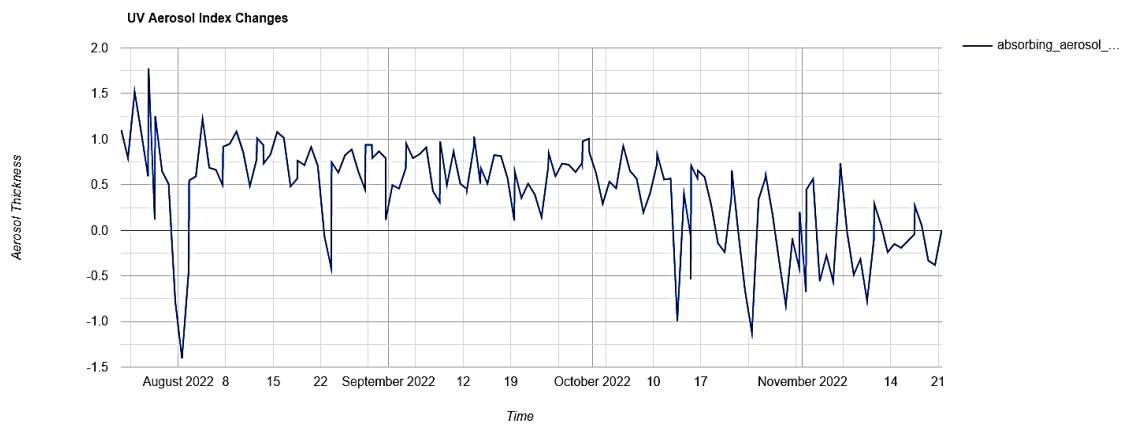
(پ)



(ت)

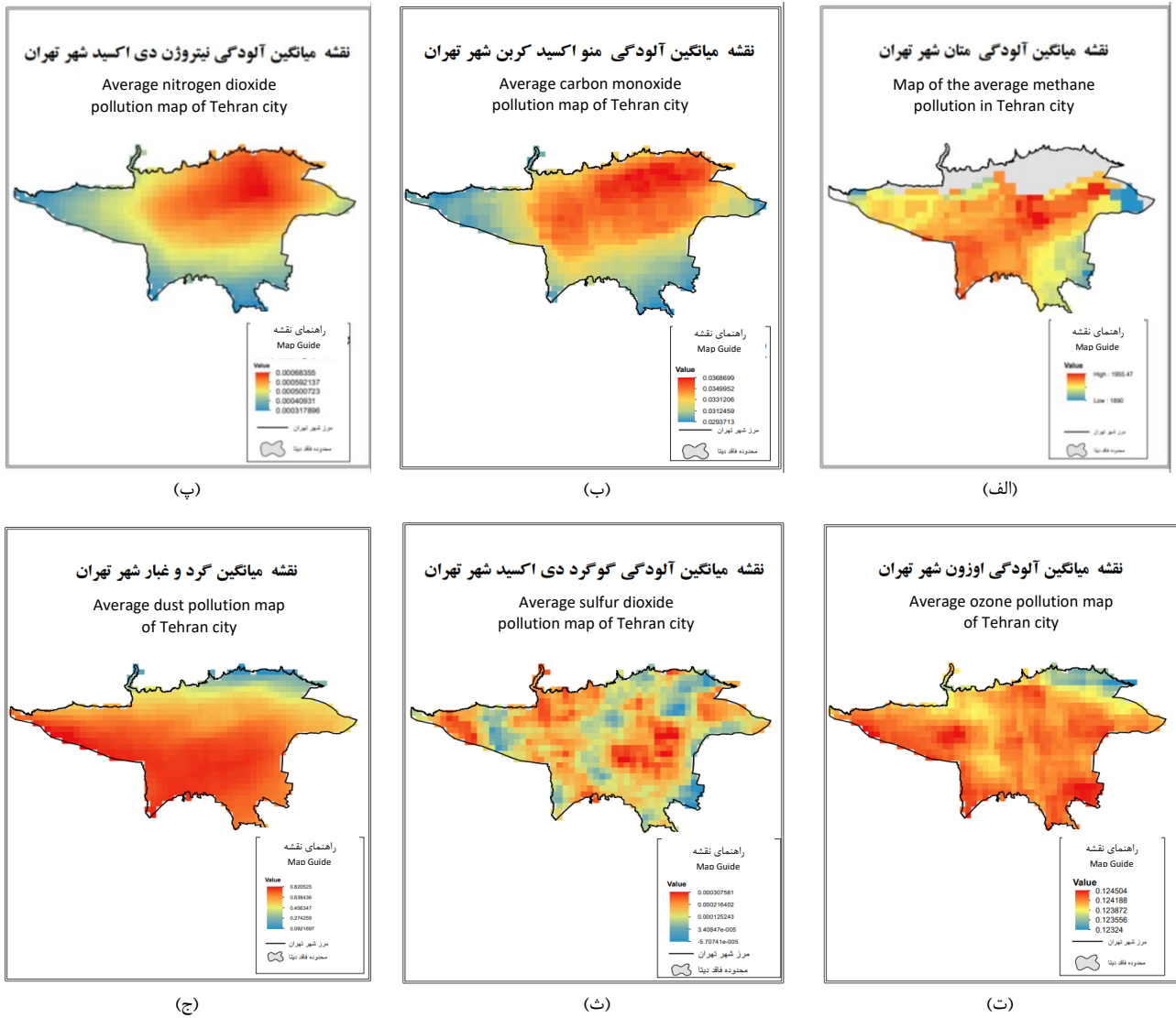


(ث)

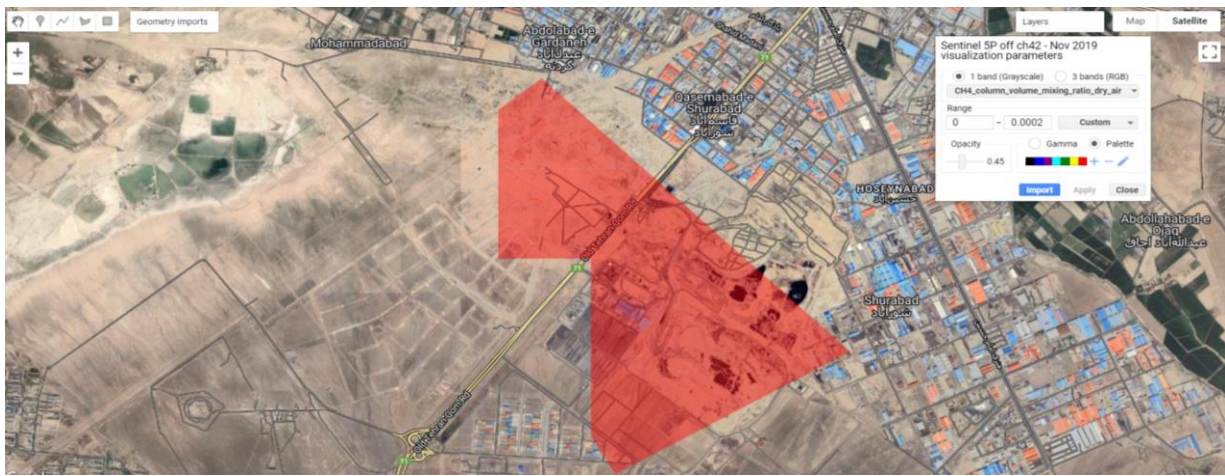


(ج)

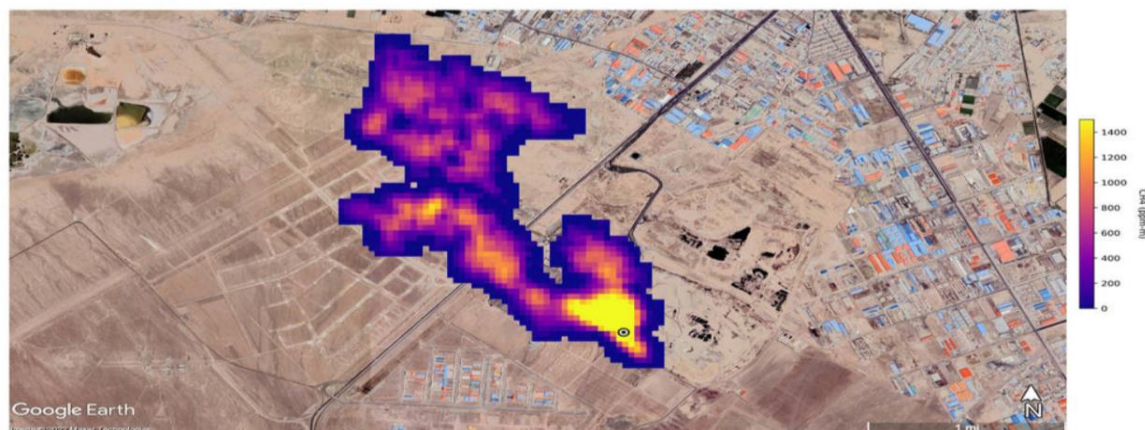
شکل ۳: تغییرات زمانی میزان غلظت گازهای: الف) CH₄، ب) CO، پ) NO₂، ت) O₃، ث) SO₂، ج) AOD؛
 Fig. 3: Temporal changes in the concentration of gases; a) CH₄, b) CO, c) NO₂, d) O₃, e) SO₂, f) AOD



شکل ۴: نقشه میانگین آلودگی شهریورماه: الف) CH_4 ؛ ب) CO ؛ پ) NO_2 ؛ ت) O_3 ؛ ث) SO_2 ؛ ج) AOD
 Fig. 4: Map of average pollution in September a) CH_4 , b) CO , c) NO_2 , d) O_3 , e) SO_2 , f) AOD



(الف)



(ب)

شکل ۵: الف) گاز متان حاصل از سنجنده TROPOMI در ۱۰ شهریور، ب) توده ابر متان ارائه شده توسط ناسا

Fig. 5: a) Methane gas obtained from the TROPOMI sensor on 10 September, b) Methane cloud mass provided by NASA

نتیجه گیری

شده و مقادیر آن، به ترتیب ۴/۸ و ۴/۴۱ کیلومتر بود که تفاوت چندانی نداشته و بدین ترتیب، بر اساس نتایج به دست آمده، درستی خبر منتشر شده توسط ناسا، تأیید شد. در پایان، پیشنهاد می شود، با توجه به اهمیت موضوع، ایستگاه‌های زمینی بیشتری به خصوص در مناطقی که احتمال انتشار گاز متان بیشتر است، نصب شده و از سنجنده TROPOMI به علت پوشش جهانی و رزولوشن بالاتر برای پایش روزانه و ماهانه، استفاده شود.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مآخذ

[1] Shikwambana L, Mhangara P, Mbatha N. Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020;91:102130.

[2] Schneising O, Buchwitz M, Reuter M, Bovensmann H, Burrows JP, Borsdorff T, et al. A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019;12(12):6771-802.

[3] Jacob DJ, Varon DJ, Cusworth DH, Dennison PE, Frankenberg C, Gautam R, et al. Quantifying methane emissions from the

آلودگی هوا، از جمله مشکلات زیست محیطی است که در اثر افزایش غلظت گازها و آلاینده‌ها به یک چالش مهم، به خصوص در کلان‌شهرها، تبدیل شده است. پایش و مدیریت آلودگی هوا، به دلیل تهدید سلامت انسان و آسیب‌های دیگر برای سایر جانداران، یک مسئله اساسی است. در این زمینه، سنجش از دور به عنوان یک ابزار کارآمد در جهت تشخیص و تصمیم‌گیری به هنگام به منظور کنترل و کاهش آن کمک‌کننده است. گاز متان، دومین گاز گلخانه‌ای است که به طور قابل توجهی، باعث تغییرات آب و هوایی می‌شود. محل‌های دفن زباله، دامداریها، تولید گاز طبیعی و تالاب‌ها، از منابع اصلی گاز متان می‌باشند. طبق اخبار منتشر شده توسط ناسا، اعلام شد که یک توده ابر متان در جنوب تهران، مشاهده شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق، به بررسی درستی این خبر، پرداخته شده است.

در این مطالعه، ابتدا تغییرات گازها و آلاینده‌های مختلف، از جمله CH_4 ، CO ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و AOD در یک بازه زمانی ۴ ماهه به جهت تعیین تاریخی که غلظت متان در حداکثر مقدار خود بوده و همچنین، بررسی تأثیر سایر آلاینده‌ها بر گاز متان، پرداخته شده است. پردازش‌های مورد نظر، با استفاده از سنجنده TROPOMI ماهواره Sentinel-5 در پلت فرم گوگل ارث انجام شد. طبق نتایج به دست آمده، گاز متان در شهریور ماه به خصوص ۱۰ شهریور، غلظت بیشتری داشته است. بنابراین، نقشه میانگین غلظت آلاینده‌ها در شهریور ماه، برای بررسی میزان آلاینده‌ها در مناطق مختلف تهران، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده، نشان داد که میانگین غلظت متان در جنوب تهران، نسبت به سایر مناطق، بیشتر است.

در نهایت، طبق نقشه‌ای که توسط ناسا ارائه شده بود، به بررسی گاز متان در تاریخ ۱۰ شهریور، در منطقه آراد کوه کهریزک، پرداخته شد. نتیجه به دست آمده، نشان داد که غلظت متان، در این منطقه بالا و در حدود 1970 ppm بوده است. علاوه بر این، گاز متان استخراج شده از سنجنده TROPOMI با تصویر ارائه شده توسط ناسا از نظر میزان طول مقایسه

- [16]Trenchev P, Dimitrova M, Avetisyan D. Huge CH₄, NO₂ and CO Emissions from Coal Mines in the Kuznetsk Basin (Russia) Detected by Sentinel-5P. *Remote Sensing*. 2023;15(6):1590.
- [17]Zhang J, Han G, Mao H, Pei Z, Ma X, Jia W, et al. The spatial and temporal distribution patterns of XCH₄ in China: New observations from TROPOMI. *Atmosphere*. 2022;13(2):177.
- [18]Puliafito SE, Berná L, Lopez-Noreña A, Pascual R, Bolaño-Ortiz T, editors. *Atmospheric Methane Emissions for Argentina. Comparison with TROPOMI Satellite Measurements*. 2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS); 2020: IEEE.
- [19]Song H, Sheng M, Lei L, Guo K, Zhang S, Ji Z. Spatial and Temporal Variations of Atmospheric CH₄ in Monsoon Asia Detected by Satellite Observations of GOSAT and TROPOMI. *Remote Sensing*. 2023;15(13):3389.
- [20]Sadavarte P, Pandey S, Maasackers JD, Lorente A, Borsdorff T, Denier van der Gon H, et al. Methane emissions from superemitting coal mines in Australia quantified using TROPOMI satellite observations. *Environmental Science & Technology*. 2021;55(24):16573-80.
- [21]Hajiloo F, Hamzeh S, Gheysari M. Impact assessment of meteorological and environmental parameters on PM 2.5 concentrations using remote sensing data and GWR analysis (case study of Tehran). *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:24331-45.
- [22]Fuladlu K, Altan H. Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*. 2021;39:100958.
- [23]Sabetghadam S, Khoshsima M, Pierleoni A. Aerosol climatology and determination of different types over the semi-arid urban area of Tehran, Iran: application of multi-platform remote sensing satellite data. *Atmospheric Pollution Research*. 2020;11(9):1625-36.
- [24] Rabiei-Dastjerdi H, Mohammadi S, Saber M, Amini S, McArdle G. Spatiotemporal Analysis of NO₂ Production Using TROPOMI Time-Series Images and Google Earth Engine in a Middle Eastern Country. *Remote Sensing*. 2022;14(7):1725.
- [25]Hu H, Landgraf J, Detmers R, Borsdorff T, Aan de Brugh J, Aben I, et al. Toward global mapping of methane with TROPOMI: First results and intersatellite comparison to GOSAT. *Geophysical Research Letters*. 2018;45(8):3682-9.
- [26] Cersosimo A, Serio C, Masiello G. TROPOMI NO₂ tropospheric column data: regridding to 1 km grid-resolution and assessment of their consistency with in situ surface observations. *Remote Sensing*. 2020;12(14):2212.
- [27] Plant G, Kort EA, Murray LT, Maasackers JD, Aben I. Evaluating urban methane emissions from space using TROPOMI methane and carbon monoxide observations. *Remote Sensing of Environment*. 2022;268:112756.
- global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022;22(14):9617-46.
- [4]Cusworth DH, Duren RM, Thorpe AK, Tseng E, Thompson D, Guha A, et al. Using remote sensing to detect, validate, and quantify methane emissions from California solid waste operations. *Environmental Research Letters*. 2020;15(5):054012.
- [5]Varon D, McKeever J, Jervis D, Maasackers J, Pandey S, Houweling S, et al. Satellite discovery of anomalously large methane point sources from oil/gas production. *Geophysical Research Letters*. 2019;46(22):13507-16.
- [6]Stocker T. *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge university press; 2014.
- [7]Tran M-K, Fowler M. A review of lithium-ion battery fault diagnostic algorithms: Current progress and future challenges. *Algorithms*. 2020;13(3):62.
- [8]Schuit BJ, Maasackers JD, Bijl P, Mahapatra G, Van den Berg A-W, Pandey S, et al. Automated detection and monitoring of methane super-emitters using satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2023:1-47.
- [9]Cusworth DH, Jacob DJ, Varon DJ, Chan Miller C, Liu X, Chance K, et al. Potential of next-generation imaging spectrometers to detect and quantify methane point sources from space. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019;12(10):5655-68.
- [10]Dubey L, Cooper J, Hawkes A. Minimum detection limits of the TROPOMI satellite sensor across North America and their implications for measuring oil and gas methane emissions. *Science of the Total Environment*. 2023;872:162222.
- [11]Ayasse AK, Dennison PE, Foote M, Thorpe AK, Joshi S, Green RO, et al. Methane mapping with future satellite imaging spectrometers. *Remote Sensing*. 2019;11(24):3054.
- [12]Crosman E. Meteorological drivers of Permian Basin methane anomalies derived from TROPOMI. *Remote Sensing*. 2021;13(5):896.
- [13]Cherepanova E, Feoktistova N, Chudakova M. Analysis of methane concentration anomalies over burned areas of the boreal and arctic zone of eastern Siberia in 2018–2019 using TROPOMI data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020;56:1470-81.
- [14]Maurya NK, Pandey PC, Sarkar S, Kumar R, Srivastava PK. Spatio-Temporal Monitoring of Atmospheric Pollutants Using Earth Observation Sentinel 5P TROPOMI Data: Impact of Stubble Burning a Case Study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022;11(5):301.
- [15]Shami S, Ranjgar B, Bian J, Khoshlahjeh Azar M, Moghimi A, Amani M, et al. Trends of CO and NO₂ Pollutants in Iran during COVID-19 pandemic using Timeseries Sentinel-5 images in Google Earth Engine. *Pollutants*. 2022;2(2):156-71.

Mohammadi, M. PhD. candidate of Remote sensing at the School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ minamohammadi@ut.ac.ir



مهدی آخوندزاده هنزائی در سال ۱۳۸۱ مدرک کارشناسی مهندسی عمران - نقشه‌برداری از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران و مدرک کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی عمران سنجش‌ازدور را از دانشگاه تهران به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ دریافت کرد.

وی در حال حاضر دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران است. علایق تحقیقاتی او شامل تحلیل سری‌های زمانی، شناسایی آنومالی و زلزله است.

Akhoondzadeh, M. Associate Professor at the School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ makhonz@ut.ac.ir

[28] Aldhafeeri T, Tran M-K, Vrolyk R, Pope M, Fowler M. A review of methane gas detection sensors: Recent developments and future perspectives. *Inventions*. 2020;5(3):28.

[29] Kulithalai Shiyam Sundar P, Deka PC. Spatio-temporal classification and prediction of land use and land cover change for the Vembanad Lake system, Kerala: a machine learning approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(57):86220-36.

[30] Sharifi A, Felegari S. Nitrogen dioxide (NO₂) pollution monitoring with sentinel-5P satellite imagery over during the coronavirus pandemic (case study: Tehran). *Remote Sensing Letters*. 2022;13(10):1029-39.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مینا محمدی دانشجوی دکتری مهندسی نقشه‌برداری - سنجش‌از دور در دانشگاه تهران می‌باشد. علایق تحقیقاتی او شامل پایش تغییرات، شناسایی و پایش بلایای طبیعی است.

Citation (Vancouver): Mohammadi M, Akhoondzadeh M. [Monitoring and detection of methane gas in Tehran in Google Earth Engine]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 41-52

doi <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1948>



COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)