



Research paper

(Received Dec. 22, 2023

Accepted Apr. 5, 2024)

Investigating the correlation coefficient of carbon monoxide pollutant concentration from air pollution measurement stations and Sentinel 5 satellite (case study of Mashhad City)

Masoud Oliaei¹, Alireza Pardakhti^{2*}, Mohammadali Zahed³

¹ PhD student in environmental engineering, Kish campus, University of Tehran, Kish, Iran

² Assistant Professor of the Department of Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Life Sciences-Khwarazmi University, Tehran, Iran

Abstract

Carbon monoxide gas is classified as one of the most dangerous gaseous pollutants in the form of air, which causes people to be poisoned and even die by being absorbed into blood oxygen and forming oxyhemoglobin. The usual ways to measure carbon monoxide pollutant in general and to investigate the air pollution index are air pollution measurement stations, although for some sensitive receiving centers, carbon monoxide detectors or mobile measuring devices are used. The use of concentration measuring devices is always associated with high costs, high error and limited access. Therefore, in this research, with the aim of obtaining the correlation coefficient between the data obtained from satellite maps and fixed air pollution measurement stations in the same time intervals, we will show the possibility of calculating the CO error in any place with simple calculations and fitting equation. To find this correlation coefficient, the data of the measurement stations of Mashhad city in the period of Shahrivar 1401 and the data of the Sentinel 5 satellite in the same period of time were used. The average concentration of carbon monoxide was 2.37 ppm in the air pollution measuring stations of Mashhad and the average concentration was 98.5 ppm. According to the calculations, the data taken from the satellite maps and the data of the meteorological stations of the comparison area and the correlation coefficient to convert the data to each other have been obtained equal to 0.024.

Keywords: Carbon Monoxide Concentration, Sentinel-P5, Pollution Measurement Stations, Mashhad, Coefficient

* Corresponding author: Alireza Pardakhti
Email: alirezap@ut.ac.ir
Phone: 09121008230



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱/۲۸

بررسی ضریب همبستگی غلظت آلاینده مونواکسید کربن از ایستگاه های سنجش آلودگی هوا و ماهواره سنتینل ۵ (مطالعه موردی شهر مشهد)

مسعود اولیایی^۱، علیرضا پرداختی^{۲*}، محمدعلی زاهد^۳

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست-پردیس کیش دانشگاه تهران، کیش، ایران

^۲ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم زیستی- دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

گاز مونواکسید کربن در زمره خطرناکترین آلاینده‌های گازی شکل هوا دسته‌بندی می‌شود که از راه جذب در اکسیژن خون و تشکیل کربو اکسی هموگلوبین باعث مسمومیت افراد و حتی مرگ آن‌ها می‌گردد. راه‌های اندازه‌گیری معمول آلاینده مونواکسید کربن به صورت عمومی و جهت بررسی شاخص آلودگی هوا، ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا است، هرچند برای برخی مراکز پذیرنده حساس، از تشخیص دهنده‌های مونواکسید کربن و یا از دستگاه‌های سیار اندازه‌گیری استفاده می‌شود. استفاده از دستگاه‌های سنجش غلظت همواره با هزینه‌های بالا، خطای زیاد و دسترسی محدودی همراه است. هدف از این پژوهش به دست آوردن ضریب همبستگی بین داده‌ای نقشه‌های ماهواره ای و ایستگاه‌های ثابت سنجش آلودگی هوا در بازه‌های زمانی یک‌سان به منظور امکان محاسبه غلظت CO در هر مکانی با محاسبات ساده و معادله تناسب است. برای یافتن این ضریب همبستگی از داده‌های ایستگاه‌های سنجش شهر مشهد در بازه زمانی شهریور ۱۴۰۱ و هم‌زمان از داده‌های ماهواره سنتینل ۵ در همان بازه زمانی استفاده شده است. متوسط غلظت مونواکسید کربن ۲/۳۷ ppm در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا مشهد و مقدار ۹۸/۵ ppm غلظت متوسط بوده است. طبق محاسبات انجام شده داده‌های برداشت شده از نقشه‌های ماهواره و داده‌های ایستگاه‌های هوا شناسی منطقه مقایسه و ضریب همبستگی جهت تبدیل داده‌ها به یکدیگر معادل ۰/۰۲۴ به دست آمده است.

کلمات کلیدی: غلظت مونواکسید کربن، سنتینل ۵-p، ایستگاه‌های سنجش آلودگی، مشهد، ضریب همبستگی

۱- مقدمه

آلودگی هوا در شهرهای بزرگ یکی از مشکلات اساسی است که جهت رفع و کاهش آن نیاز به انجام برنامه های متعدد مدیریتی و زیست محیطی می باشد [۱، ۲]. از منابع عمده این آلودگی فعالیت های صنعتی، شهری و حمل و نقل را می توان نام برد که مقدار زیادی از انواع آلاینده ها را وارد هوا نموده و سبب کاهش کیفیت آن می گردند. به طور کلی تمام وسایلی که با سوخت کار می کنند مثل خودرو، بخاری، آب گرم کن و بیشتر وسایل نقلیه بنزین سوز می توانند مونواکسید کربن تولید کنند. دلیل اصلی تولید این گاز احتراق ناقص به دلیل کمبود اکسیژن است. در هنگام سوختن هر چند میزان اکسیژن کمتر باشد، بخش بیشتری از کربن ها به شکل ناقص می سوزند و در نتیجه بجای دی اکسید کربن، مونواکسید کربن تولید می شود. در سطح شهرها خودروها، بخاری ها، شومینه ها، موتورخانه ها و حتی دود سیگار موجب تولید مونواکسید کربن می شود. البته این گاز سمی به دلایلی طبیعی مانند فعالیت آتش فشانها و آتش سوزی جنگل ها و مراتع نیز تولید می شود [۳، ۴]. تنوع مواد آلاینده و تولید در حجم زیاد، پراکندگی مکانی مراکز تولید، کنترل و اندازه گیری آلاینده ها را با مشکل مواجه می سازد [۵]. موادی همچون مونواکسید کربن، دی اکسید گوگرد، هیدروکربن های سوخته نشده و ترکیبات سربی از موادی هستند که باعث آلودگی هوا می شوند و مهمترین آنها مونواکسید کربن است [۵، ۶]. امروزه سیستم های تبادل داده، پردازش، تجزیه و تحلیل و مدل سازی از ارکان مهم سیستم های مدیریت و کنترل کیفیت هوا می باشد. بعد از انقلاب صنعتی پدیده آلودگی هوا در مناطق شهری بروز پیدا کرده و امروزه یکی از مشکلات جهانی محسوب می شود [۷]. آلودگی هوا مانع بزرگی بر سر راه تحولات پایدار آینده جهان است و میلیون ها نفر بر اثر آن جان خود را از دست می دهند [۸]. پیامدهایی همچون تخریب لایه ازن، گرم شدن اتمسفر زمین و باران های اسیدی به همراه داشته و بخش های وسیعی از بیوسفر را در معرض خطر نابودی قرار داده است [۹]. آلاینده های گوناگونی به خاطر اقدامات انسان و فعالیت های بیولوژیکی وارد هوا شده و زندگی انسان ها را به مخاطره می کشاند، چرا که این آلاینده ها اثر مستقیم بر سلامت انسان ها و اکوسیستم دارند [۱۰].

از مهمترین آلاینده هایی که از طریق فعالیت های انسانی تولید می شوند مونواکسید کربن است [۹]. مونواکسید کربن یا قاتل خاموش قرن بیست و یکم یکی از سمی ترین گازها است. این گاز همچنین از طریق سوزاندن ناقص ترکیبات حاوی کربن مانند بنزین، گاز طبیعی، نفت، زغال سنگ و چوب تشکیل می شود [۱۱]. تنفس غلظت بالای CO علاوه بر اثرات عمومی مانند سردرد و سرگیجه، سبب فیبریونولیز، ایجاد ناهنجاری در رفتارهای عصبی، اختلال در زمان واکنش و حتی سقط جنین می شود. این عامل همچنین منجر به کاهش انتقال اکسیژن توسط هموگلوبین می شود. معمولاً در غلظت های بالاتر از 100ppm آثار زیان بار این گاز بروز می کند [۷]. تعیین و اندازه گیری گاز مونواکسید کربن علاوه بر موضوع سلامت، برای محیط زیست و مدیریت زندگی بشر امروزی بسیار حائز اهمیت است [۱۲]. ماندگاری تقریباً بالای CO در جو (در حدود دو ماه) این گاز را به یک ابزار مناسب جهت بررسی نقش حمل و نقل در آلودگی جو تبدیل کرده است [۱۳]. همچنین برای برخی مطالعات خاص نظیر مدل سازی آلودگی هوا، پخش و پراکنش آلاینده ها، تصمیم گیری در مورد شرایط ترافیکی وسایل نقلیه و مدیریت حمل و نقل، جانمایی برای ساخت و احداث ساختمان ها، طراحی راه ها و شریان های عبور و مرور شهری و بین شهری و یافتن بهترین مکان برای ایجاد شهرک های صنعتی، اندازه گیری مونواکسید کربن دارای اهمیت زیادی است [۱۴].

برای بدست آوردن میزان غلظت گاز مونواکسید کربن با توجه به نیاز استفاده از آن و شرایط موجود، روشهای متفاوتی وجود دارد. یکی از بهترین سازمان های اندازه گیری آلاینده ها در سطح هر شهر، سازمان سنجش و پایش کیفیت آلودگی هوا است [۱۵]. این سازمان با داشتن ایستگاه های مختلف در سطح شهر به صورت پیوسته، هوای متشکل از انواع گازها و آلاینده ها را جمع آوری و پس از پردازش و آنالیز به تفکیک میزان غلظت هر آلاینده را ثبت و ضبط می نماید [۹]. بر اساس استانداردهای بین المللی ۶ نوع آلاینده به صورت روزانه اندازه گیری می شود که مونواکسید کربن از مهم ترین آن ها می باشد. از معایب این روش اندازه گیری می توان به عدم دسترسی تمام نقاط دلخواه برای اندازه گیری آلاینده ها اشاره نمود [۱۱]. علاوه بر این، انجام هزینه های بالا برای نمونه گیری و نمونه برداری جهت دستیابی به غلظت آلاینده ها نیز ضعف دیگری برای این نوع اندازه گیری ها است.

از دیگر روش ها اندازه گیری مونواکسید کربن کاربرد ماهواره های سنجش از دور می باشند [۱۶]. از جمله راه های کسب اطلاعات از محیط، به کارگیری فناوری سنجش از دور و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی می باشد. در این زمینه ماهواره ها می توانند اطلاعاتی در چند بعد، چند مقیاس و چند طیف تهیه کنند که این ویژگی ها به اهمیت و نقش آن ها می افزاید [۱۷]. با استفاده از ماهواره ها، سنجنده های متنوع و تصاویر ماهواره ای، شناسایی و مطالعه اجسام و پدیده های زمینی

کوچکتر از یک متر نیز امکان پذیر گردیده است که خود موجب تحولی در فناوری سنجش از دور شده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجش از دور، می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها در سطح جهانی، منطقه ای، ملی، استانی و حتی محلی را به نتیجه رساند [۱۸]. علاوه بر این، قابلیت تکرار تصویربرداری ماهواره‌ای از یک محل به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را بخوبی فراهم ساخته است [۱۶].

ماهواره‌ها برای بدست آوردن غلظت آلاینده‌ها به صورت مستقیم نمی‌توانند عمل نمایند و بایستی اطلاعات آن‌ها در دوره تکرار ۱۶ روز که به صورت طیف رنگی است به ارقام کمی تبدیل شود. علاوه بر این، برای نقاط و مکان‌های مشخص اندازه‌گیری‌ها از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشند و اعداد و ارقام به صورت میانگین و نسبی بیان می‌شوند [۱۲]. برای این اساس ضروری به نظر می‌رسد که بتوان داده‌های تصاویر ماهواره‌ها را به اعداد کمی قابل اتکا تبدیل کرد [۱۷]. در این مطالعه از بین ماهواره‌های مختلف که برای سنجش از دور آلاینده‌ها کاربرد دارند، داده‌های ماهواره‌ی سنتینل-۵ در این پژوهش استفاده شد [۱۹]. پوشش گسترده کل سطح زمین برای اندازه‌گیری آلودگی‌های هوا توسط ماهواره Sentinel_5p از مزایای داده‌های ماهواره‌ای است [۱، ۱۶]. در مورد مطالعات قبلی پژوهش بایستی به مواردی که در ادامه ذکر شده اند اشاره داشت. ماهواره سنتینل-۵ امکان ردیابی آلاینده‌های گازی را می‌دهد به طوری که در طی مطالعه‌ای به شناسایی مراکز مونواکسید کربن در ایران توسط ماهواره سنتینل ۵ پرداخته شد [۱۰]. محمد امین قنادی و همکاران در کاری مشابه به پایش آلودگی هوا توسط ماهواره سنتینل ۵ برای شهرهای بزرگ ایران پرداختند و نتیجه آنها بدست آوردن یک ضریب با دقت هبستگی ۷۸٪ بود.

با توجه به نقشه‌های مربوط به غلظت آلاینده مونواکسید کربن در ماهواره سنتینل ۵، کیفی بودن داده‌های ماهواره و مشخص نبودن مقدار دقیق آلودگی بر اساس عدد و رقم، به عنوان یک عیب در خواندن و برداشت و استفاده از این داده‌ها مطرح است. همچنین از طرف دیگر اگر بخواهیم غلظت آلاینده مونواکسید کربن را به صورت دقیق داشته باشیم یا بایستی از دستگاه‌های اندازه‌گیری سیار آلودگی هوا استفاده کنیم یا مقدار آلودگی را در کیسه‌های مخصوص جمع‌آوری آلاینده‌ها ضبط کرده و بعد از اتصال کیسه به دستگاه پایش آلودگی هوا مقدار غلظت آلاینده CO را مشخص نماییم و یا از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر، مقدار غلظت آلاینده را بدست آوریم. از مهم‌ترین معایب این روشها نیز بایستی به هزینه خرید نسبتا بالا دستگاه‌های سیار جمع‌آوری و سنجش آلودگی هوا، در برخی موارد داشتن تخصص و استفاده از نیرو و اپراتور متخصص و همچنین به هم خوردن کالیبره دستگاه‌ها و در نهایت عدم دسترسی راحت افراد و بعضا محدودیت افراد در بدست آوردن اطلاعات مربوط به غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، اشاره کرد. مزایای استفاده از داده‌های ماهواره در بدست آوردن غلظت آلاینده‌ها، دسترسی آسان و سریع افراد است. در سوی دیگر دقت بالای اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، یک مزیت این روش است.

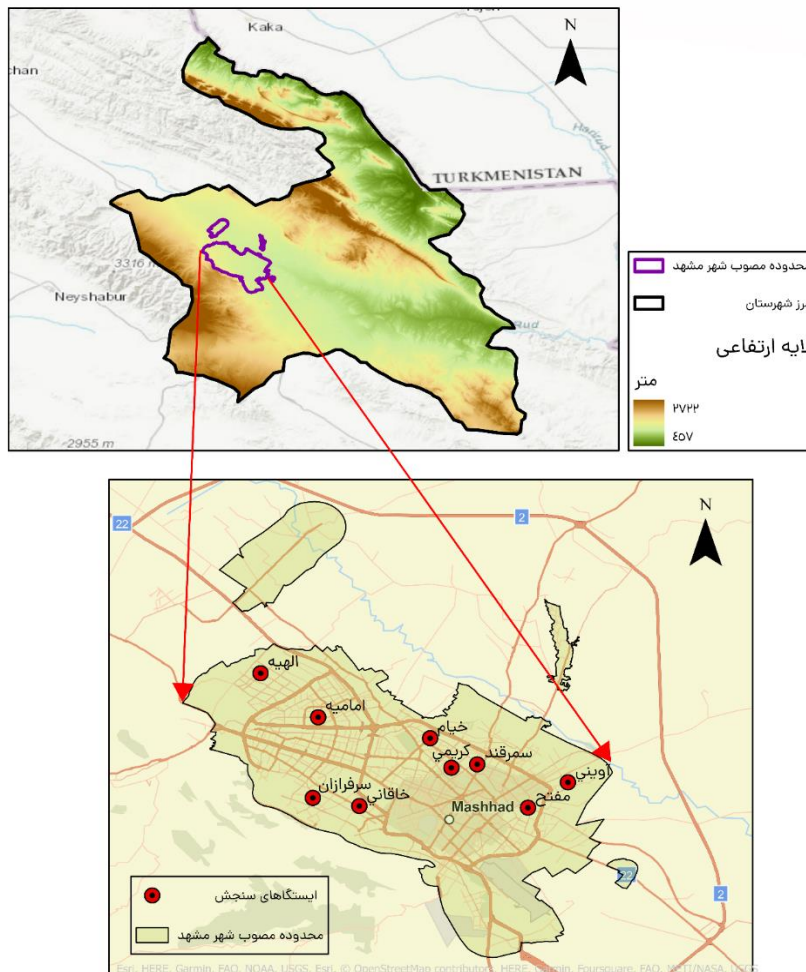
هدف از این مطالعه، محاسبه یک ضریب همبستگی برای دسترسی آسان افراد به غلظت آلاینده CO در سطح زمین و اتمسفر بر اساس تصاویر ماهواره سنتینل ۵ است که محدودیت مکان و هزینه‌های مربوط به ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، کالیبره نبودن دستگاه‌ها، کیفی نبودن اطلاعات و سایر معایب مربوط به اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا را توسط دستگاه‌های سنجش آلودگی هوا بر طرف می‌نماید [۱۷]. از طرفی مزایای مطلوب هر دو روش بدست آوردن غلظت آلاینده CO توسط ماهواره سنتینل ۵ و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، مانند سرعت بالا در خواندن و بدست آوردن غلظت آلاینده، دقت بالا، پوشش تمام مناطق و هزینه‌های کم را همزمان ممکن می‌کند.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مشهد کلان‌شهری در شمال شرقی ایران قرار گرفته است و مرکز استان خراسان رضوی است [۲۰]. این شهر در زمان افشاریان، پایتخت ایران بود. مشهد با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت، دومین شهر پهناور ایران پس از تهران است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مشهد با ۳٬۰۱۱٬۱۸۴ تن جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران و نود و پنجمین شهر پر جمعیت دنیا

به شمار می‌رود (شکل ۱). مختصات جغرافیایی آن به صورت طول ۳۶،۳۰۶۹، طول و عرض جغرافیایی: ۵۹،۶۰۴۲ شمالی ۳۶° ۱۸' ۲۵" و شرق ۵۹° ۳۶' ۱۵" تعریف می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و مختصات شهر مشهد مقدس و ایستگاه های سنجش آلودگی هوا مشهد

۲-۲- داده‌های ایستگاه های سنجش آلودگی مشهد

برای بدست آوردن میزان غلظت آلاینده CO در سطح زمین از ۱۰ ایستگاه سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد استفاده شده است. داده‌ها مربوط به ماه شهریور ۱۴۰۱ می‌باشد و به صورت میانگین از مجموع ایستگاه‌ها بدست آمده است. این دستگاه‌ها در ایستگاه‌های مختلفی در نقاط مختلف شهر مشهد مستقر می‌باشند که به صورت ۲۴ ساعته غلظت آلاینده‌های هوا را اندازه گیری می‌نمایند (جدول ۱ و شکل ۱).

جدول ۱- اسامی ۱۰ ایستگاه استاندارد سنجش آلودگی هوا مشهد

ردیف	آدرس	نام ایستگاه
۱	بلوار شهید استکی- استکی ۲- فضای بازی پارک شهید مطهری	سمرقند
۲	بلوار خیام شمالی- تقاطع خیام شمالی و بلوار هدایت- روی پل راستگرد به سمت بلوار هدایت	خیام شمالی
۳	شهرک الهیه- بلوار اقدسیه- اقدسیه ۴۲- روبروی بازار روز ارزاق عمومی	الهیه
۴	بلوار چمن- حدفاصل چمن ۱۹ و ۲۱- داخل محوطه ی مدیریت محیط زیست شهری	چمن
۵	بلوار شهید کریمی- داخل محوطه شهرداری منطقه ۲	کریمی
۶	بلوار شهید مفتح- بلوار ابوریحان- محوطه ساختمان خانه دارالقرآن منطقه ۴	مفتح

نام ایستگاه	آدرس	ردیف
آوینی	بلوار شهید آوینی- داخل محوطه اداره خدمات شهری منطقه ۴ شهرداری مشهد	۷
خاقانی	بلوار خاقانی- داخل بوستان نسیم	۸
سرافرازان	بلوار سرافرازان- سرافرازان ۱۱- جنب بوستان غنچه	۹
امامیه	بلوار امامیه- امامیه ۲۶- داخل فضای سبز- جنب سرویس بهداشتی	۱۰

۲-۳- داده‌های ماهواره

تعدادی از مهمترین ماهواره‌های پر کاربرد در حوزه های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. این ابزارهای سنجش در مطالعات متفاوتی مانند: نفت و گاز، مطالعات منابع طبیعی، کشاورزی، مدیریت و پایش سواحل، آلودگی های زیست محیطی، پایش محیطی، سیل، زلزله، آتش سوزی، خشکسالی، طوفان گرد و غبار، مطالعات توسعه شهری، مهندسی عمران و نقشه برداری، توسعه و برنامه ریزی شهری، مطالعات هواشناسی، جوی و اقیانوسی، بررسی لایه‌های مختلف جوی، بررسی خصوصیات ابرها، دمای سطح دریا، کاربرد و مقدمه ای بر تحلیل تصاویر ابرطیفی، آشکارسازی تغییرات، باستانشناسی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شوند [۴، ۱۸].

جدول ۲- ماهواره های پر کاربرد کشورهای مختلف

کشور سازنده	کاربردها و اهداف	ماهواره
آمریکا	ارزیابی کیفیت هوا و لایه‌های جوی	Land sat
فرانسه	توپوگرافی، هواشناسی	SPOT
هند	کشاورزی، هیدرولوژی، مطالعه سطح زمین	IRS
اتحادیه اروپا	هواشناسی، کشاورزی	Meteosat
آژانس فضایی اروپا و هلند	ارزیابی کیفیت هوا و لایه های جوی	Sentinel-5p

یکی از ماهواره های مهم در زمینه هواشناسی ماهواره Sentinel-5p است [۵]. این ماهواره می‌تواند تصاویر با عرض زیادی را تهیه نماید به طوری که هر تصویر محدوده‌ای با وسعت ۷۷ کیلومتر مربع را پوشش دهد [۲۱]. دیگر ویژگی‌های این ماهواره عبارتند از [۱۵]: سازنده: آژانس فضایی اروپا (ESA)، ارتفاع مدار: ۸۲۴ کیلومتر، شروع ماموریت: ۲۷ اکتبر ۲۰۱۷، دوره ماموریت: ۷ سال، دوره تکرار: ۱۶ روز یک بار، ماموریتها: پایش کیفیت هوا و سطح ماهواره ای بنفش، تغییرات اقلیم، اندازه گیری ازن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید سولفور، آژروسل، فرمالئید، مونواکسید کربن، متان و وضعیت ابرها. اطلاعات و داده های ماهواره در آدرس (<https://rs.isa.ir/s/mfam6r>) قابل دسترسی است [۳].

۲-۴- تعیین ضریب همبستگی

مونواکسید کربن سبک‌تر از هوا است و از آنجایی که کاملاً بی‌بو است، تشخیص آن آسان نخواهد بود زیرا از یک اتم کربن و یک اتم اکسیژن تشکیل شده است و بسیار خطرناک بوده و می‌تواند مرگ‌آور باشد. از این رو با توجه به اهمیت این گاز خطرناک در به خطر انداختن سلامت انسان و محیط زیست و تمام موجوداتی که گلوبول قرمز دارند، بدست آوردن مقدار غلظت آن به خصوص در شهرها و کلان شهرهایی مانند مشهد و تهران علاوه بر روشهای معمول اندازه گیری و دستگاه های اندازه گیری این گاز، روشی پیشنهاد شده که با آن از طریق ضرب یک عدد (ضریب همبستگی) در مقدار غلظت اندازه گیری شده توسط ماهواره به سهولت مقداری دقیق از اندازه غلظت مونواکسید کربن در اختیار افراد قرار خواهد گرفت.

در گذشته روشهایی مشابه در برآورد غلظت آلاینده های هوا توسط ماهواره های هواشناسی یا ماهواره های مربوط به آلودگی هوا به کار گرفته شده و برای آلاینده ذرات معلق با استفاده از شبکه عصبی و نیز با عنوان پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۵، انجام داده اند که در کارهای انجام شده از عنوان ضریبی خاص مانند همبستگی استفاده نگردید و فقط به مقدار یا مقادیر همبستگی به عنوان یک عدد اشاره شد. کار انجام شده در این پژوهش با کمک از کارهای قبلی صورت گرفته است و مشابه کارهای انجام شده با قبل عددی بدست می آید با تفاوت بر نام گذاری ضریب یا عدد همبستگی.

برای تعیین این ضریب ابتدا تصاویر ماهواره سنتینل ۵ مربوط به غلظت آلاینده CO ماه شهریور ۱۴۰۱ در مدت دو دوره ۱۶ روزه جمع آوری شد. بعد از تهیه نقشه های مربوط به آلودگی ها که به صورت کیفی مقدار مونواکسید کربن را نشان می دادند، مقادیر کیفی و تقریبی نقشه ها با توجه به راهنمای نقشه ها به اعداد قطعی تبدیل شدند. سپس مقادیر میانگین غلظت CO در هر روز در سطح شهر مشهد در مدت بازه زمانی یک ماهه، شهریور تعیین شد. از طرف دیگر، میانگین داده های ۱۰ ایستگاه سنجش آلودگی مشهد نیز در این مدت یک ماه شهریور ۱۴۰۱ جمع آوری و محاسبه شد. میانگین آلودگی تمامی ایستگاه ها در هر روز با مقادیر اندازه آلاینده ها که از ماهواره به صورت کمی استخراج شد متنظر با همان روز مقایسه شد. بعد از مقایسه با متناسب کردن و بستن ضریب تناسب بین داده های بدست آمده از ایستگاه ها و داده های مستخرج از ماهواره سنتینل ۵ در نهایت مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده است. برای این فرایند از نرم افزار اکسل کمک گرفته شد (ضریب تناسب بین متوسط داده های ایستگاه ها و متوسط داده های ماهواره بدست می آید).

۳- بحث و نتایج

غلظت آلاینده CO از ۱۰ ایستگاه موجود سنجش آلودگی هوا سطح شهر مشهد در دوره زمانی شهریور ماه سال ۱۴۰۱ به صورت اطلاعات میانگین ۳۰ روزه در جدول ۳ گزارش شده است. اطلاعات هر سلول مربوط به غلظت CO در طول ۲۴ ساعت و ۳۰ روز است. در نهایت، با مجموع اعداد ۱۰ ایستگاه یک عدد به عنوان میانگین غلظت آلودگی CO به عنوان میزان غلظت CO در کل شهر مشهد در ماه شهریور محاسبه شد.

جدول ۳ - میانگین مقادیر ایستگاه های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد (ppm)

ایستگاه	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در روز	میانگین غلظت CO در ۳۰ روز
۱	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/65
۲	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/311
۳	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/06
۴	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/177
۵	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/37
۶	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/367
۷	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/272
۸	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/487
۹	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/487
۱۰	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	2/542

برای محاسبه غلظت CO، با راهنمایی و همکاری موسسه کوپرنیکوس نقشه های آلودگی هوا ماهواره sentinel-5 مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس داده های ماهواره، نقشه های بدست آمده از میزان غلظت CO در ماه شهریور ۱۴۰۱ برای شهر مشهد در بازه های زمانی دو روزه جمع آوری و ذخیره گردید.

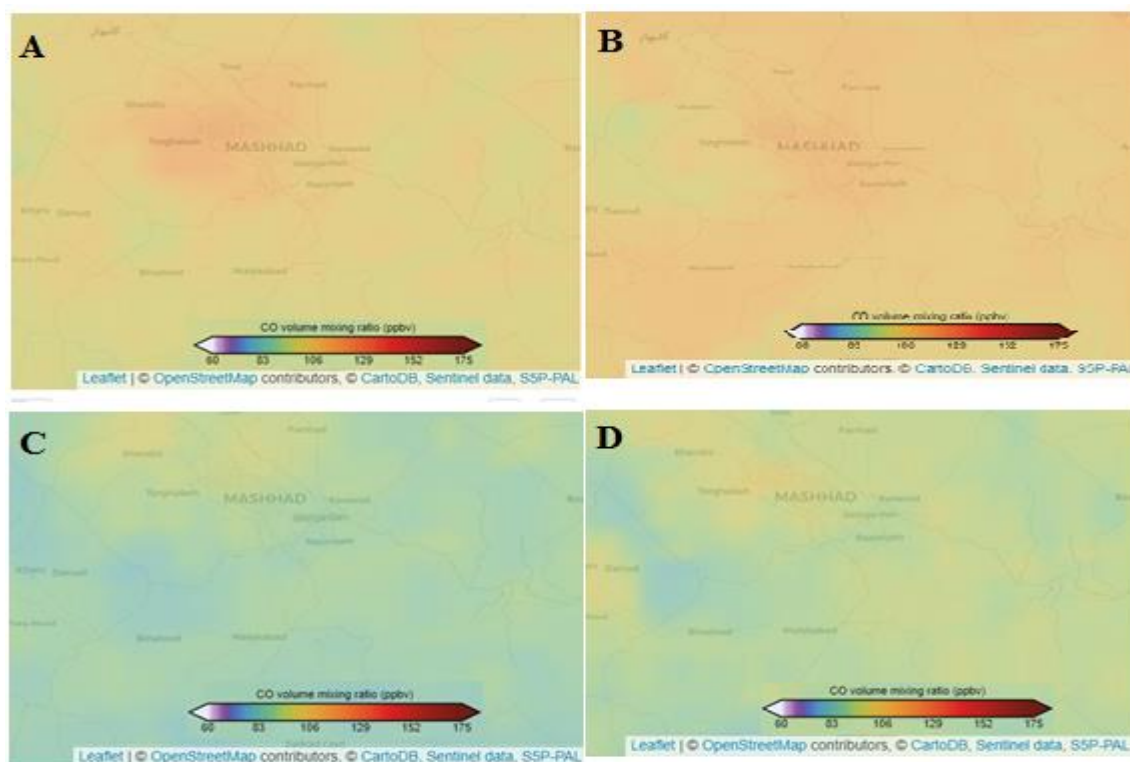
در نتایج بدست آمده مشخص گردید در بازه های زمانی ۵ روزه میزان غلظت مونواکسید کربن در روزهای ۲۵ تا ۳۰ شهریور ماه بیشترین مقدار را داشته است و این مقدار در بالاترین غلظت مقدار ۳/۱۴ است و مربوط به ایستگاه سمرقند بوده. همچنین ایستگاه خیام شمالی نیز متوسط غلظت آلاینده مونواکسید کربن را در ۵ روز انتهایی شهریور با عدد ۲/۸۸ به ثبت رسانده است. این دو ایستگاه سمرقند و خیام شمالی نیز در ۵ روز آغازین ماه شهریور نسبت به سایر ایستگاه ها متوسط غلظت مونواکسید کربن را به ترتیب با اعداد ۳/۱۲ و ۳/۰۸ به ثبت رسیده است. کمترین مقادیر بازه های ۵ روزه مربوط به ایستگاه های الهیه در ۵ روز انتهایی شهریور ماه است. مقدار غلظت گاز مونواکسید کربن در کمترین مقدار این ایستگاه مقدار ۱/۳۲ است.

مقادیر متوسط مقدار غلظت گاز مونو اکسید کربن در بازه یک ماهه شهریور ۱۴۰۱ در بیشترین مقدار متوسط مربوط به ایستگاه سمرقند با عدد ۲/۶۵ بوده و بعد از آن ایستگاه امامیه با عدد ۲/۵۴ بیشترین مقدار متوسط غلظت را دارا بوده است. ایستگاه الهیه مشهد با عدد ۲/۰۶ در ۳۰ روز ماه شهریور سال ۱۴۰۱ کمترین مقدار متوسط غلظت گاز مونواکسید کربن را به خود اختصاص داده است.

در بررسی بیشترین و کمترین مقادیر غلظت گاز مونواکسید کربن در ایستگاه های سنجش مورد ارزیابی که به ثبت رسیده، می توان این چنین استنباط کرد که میزان تراکم جمعیتی و ترافیک وسایل نقلیه در این مکانها بیش از سایر نقاط بوده و مناطق پیک غلظت مونو اکسید کربن در شهر مشهد در ماه شهریور ۱۴۰۱ حوالی این مناطق و ایستگاه ها بوده است. همچنین شرایط تهویه طبیعی و نوع شریانها و خیابانهای مناطق نزدیک به ایستگاه ها می تواند از دیگر عوامل شکل گیری غلظت بالای گاز مونواکسید کربن در ایستگاه ها باشد. در سوی دیگر در ایستگاه الهیه مشهد عدد ثبت شده میزان متوسط غلظت مونواکسید کربن که ۲/۰۶ است. این موضوع نشانگر هوای تمیزتر در این منطقه است که خود می تواند به عللی همچون بافت تراکم جمعیتی کم منطقه نسبت به مناطق دیگر شهر مشهد، میزان ترافیک و تردد کمتر وسایل نقلیه، شرایط اقلیمی مناسب تر منطقه، فضا سازی مناسب تر شهری و ایجاد خیابانها و کوچه ها با الگوی مناسب طراحی شهری، شکل گرفته باشد.

در توضیح برخی عوامل مانند شرایط اقلیمی منطقه الهیه و میزان تهویه طبیعی بایستی یادآور شد از آنجا که جهت باد غالب در مشهد از غرب به شرق است و منطقه الهیه تقریباً در غرب مشهد واقع شده، این امر به راحتی این موضوع را تایید خواهد کرد که انباشت آلاینده ها به خصوص آلاینده سمی مونواکسید کربن را در منطقه الهیه تحت تاثیر قرار خواهد داد به نحوی که با وزش کمترین باد از غرب، آلاینده های ایجاد شده به سرعت به سمت شرق مشهد جابجا خواهند شد. همین امر جابجایی آلاینده ها و تهویه طبیعی می تواند در مناطق با تراکم بالای جمعیتی و ساختمانهای بلند یا بهم چسبیده که عموماً در مرکز شهر و نزدیک به ایستگاههای سمرقند و خیام است به صورت عکس عمل کرده و میزان انباشت آلاینده ها را بالا برده. اعداد ثبت شده متوسط غلظت آلاینده مونواکسید کربن در این ایستگاه ها گواه بر این ادعا می باشند.

با بدست آمدن و مشخص شدن مناطق پر تراکم آلاینده می توانیم در مدیریت و کاهش مونواکسید کربن تصمیم های کارشناسی اتخاذ کرده و در کاهش مقدار آلاینده ها نقش سازنده ای را داشته باشیم.



شکل ۲- غلظت مونواکسید کربن در شهریور ماه سال ۱۴۰۱ شهر مشهد در فواصل زمانی ۲ روزه بر اساس ماهواره سنتینل ۵. (A) نقشه مربوط به روز ۸-۱۰، (B) مربوط به روز ۱۴-۱۶، (C) مربوط به روز ۱۸-۲۰ و (D) مربوط به روز ۳۰-۳۱ شهریور ماه)

میزان غلظت مونواکسید کربن در پایین هر نقشه به صورت نسبی و با طیف رنگی بیان شده است که برآورد غلظت را در هر منطقه نمایش می دهد [۱]. میزان طیف هر نقشه به صورت تقریبی برای هر دو روز در نقشه‌ها نشان داده شده است و از هر نقشه یک غلظت برای CO برآورد شده است. از مجموع ۱۶ نقشه ۱۶ کمیت و در نهایت با توجه به جدول ۴ یک عدد به عنوان میانگین مقدار غلظت در این نقشه‌ها محاسبه شده است.

جدول ۴- جدول میانگین غلظتها در ایستگاه‌ها و ماهواره

متوسط غلظت CO ایستگاه‌های زمینی	متوسط غلظت CO نقشه‌های ماهواره
۲/۳۷	۹۸/۵

در نهایت با تناسب گیری ساده از مقدار عددی آلودگی محاسبه شده از ماهواره ها و نیز ایستگاه سنجش آلودگی، میتوان ضریب همبستگی به عنوان عدد همبستگی بین دو روش را بر اساس معادله ۱ بدست آورد:

$$\text{معادله ۱} \quad \frac{2/37}{\text{ضریب همبستگی}} = \frac{98/5}{1}$$

تناسب غلظت CO محاسبه شده از ماهواره و ایستگاه های زمینی = ضریب همبستگی = 0/024

با به بدست آوردن این مقدار برای CO در هر نقطه از کره زمین میتوان و بدون داشتن دستگاه‌های اندازه گیری آلاینده هوا، می توانیم تنها با مراجعه به نقشه‌های آلودگی در <https://maps.s5p-pal.com/co/> مقدار عددی آلودگی هوا را تعیین کرد. از طرفی اگر به هر دلیل سایت‌ها و ماهواره‌های هواشناسی در دسترس نباشد در حالی که به نتایج ماهواره در مطالعات مربوطه نیاز باشد می توان به این مهم دست یافت. لازم به ذکر است که اگر چه بدست آوردن همبستگی در این پژوهش به سادگی در تخمین میزان غلظت آلاینده مونواکسید کربن برای هر نقطه دلخواه کمک می نماید، ولی می توان در آینده برای بالا بردن دقت برآورد غلظت آلاینده با داشتن تعداد اطلاعات از ایستگاه های سنجش بیشتر و همچنین داشتن میزان غلظت مونواکسید کربن در ماه های دیگر سال و حتی داشتن اطلاعات غلظت CO در چندین سال متوالی از ایستگاههای سنجش آلودگی هوا و عکس های ماهواره سنتینل ۵، به ضریبی با صحت برآورد نزدیک تر به غلظت واقعی CO دست پیدا کرد.

از کاربردهای استفاده از ضریب همبستگی ارائه شده در این تحقیق استفاده های مختلفی در حوزه مهندسی و مدیریت شهری میتوان داشت به طور مثال، در حوزه شهرسازی؛ متخصصان شهرسازی، مهندسين عمران و معماری در نحوه کاشت و قرارگیری ساختمان ها در مناطق پرتراکم آلاینده طرح هایی را پیاده نمایند که قرار گرفتن ساختمانها در مسیر عبور باد غالب قرار نگیرند و به نوعی در مقابل تهویه طبیعی و باد غالب، سد ایجاد نمایند. همچنین در حیطة شهرسازی و خیابان کشى به طور مسلم اگر شریانهای اصلی و بلوار کشى و معابر در راستای موافق باد غرب به شرق ایجاد شوند، به طور قطع در زمانهای ترافیک و تردد بالای وسایل نقلیه به مشکل آلودگی و یا گیر افتادن آلاینده ها در معابر و خیابانهای شلوغ برخورد نخواهیم کرد. ساختن زیر ساختها در مناطق فرسوده شهری و یا مناطق در حال توسعه به صورت اصولی خود به صورت زنجیر وار، به کمتر شدن آلودگی و مشکلات زیست محیطی کمک خواهد کرد؛ مثلا اگر در قسمتی از شهر که بافت متراکم جمعیتی دارد و نقطه بحرانی و مرکز تجمع آلاینده ها است، این نقطه در ابتدا با روش استفاده از ضریب همبستگی شناسایی شود، در گام بعد مهندسين شهرسازی و نهاد شهرداری می تواند برای ایجاد بافت جدید و تخریب بافت فرسوده از ساختمانهایی با جهت کاشت مناسب بهره گیرد. خیابان کشى مناسب با توجه به شرایط محیطی و تهویه طبیعی را در دستور کار قرار دهد، میزان فضای سبز و کاشت درختان و گیاهان مناسب با آب و هوا را درست محاسبه نماید، بعد از احداث این زیرساختها، سایر ارگانها نیز با مدیریت به مراتب راحت تری نسبت به حوادث تصمیم گیری خواهند کرد. به طوریکه افسر راهنمایی رانندگی در زمانهای ترافیک به راحتی از مسیری جایگزین در باز کردن گره ترافیکی کمک خواهد گرفت چرا که خیابانها درست طراحی شده اند، سازمان محیط زیست در شرایط آلودگی هوا تعطیلی مدارس و دانشگاه ها را در آخرین اقدام خود قرار خواهد داد و این معضلات همه خودکار و زنجیر وار حل خواهند شد آن زمان که شناسایی نقاط پرتراکم آلاینده ها صورت پذیرد.

۴- نتیجه گیری

غلظت گاز CO که از مهمترین عوامل آلودگی هوا در جهان به شمار می آید توسط روش‌های گوناگون اندازه گیری می شود. اندازه گیری توسط کیسه‌های نمونه گیری هوا، استفاده از دستگاه‌های پرتابل، اندازه گیری با جاذب‌های گاز، برخی روش‌های معمول اندازه گیری می‌باشد. علاوه بر این اندازه گیری توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا به صورت مستمر در هر روز، ساعت و هر دقیقه انجام می‌شود. این داده‌ها در کاربردهای گوناگونی مانند مدل سازی آلودگی هوا، تخمین شرایط جوی، کنترل ترافیک و ... استفاده می‌شود. جمع آوری این اطلاعات برای نقاط دور از ایستگاه‌های سنجش، کاری مشکل و هزینه بر خواهد بود. پیشرفت علوم مختلف و بروز شدن فن آوری‌های جدید سبب شد تا با استفاده از ماهواره‌های هواشناسی که تقریباً تمام نقاط زمین را پوشش می‌دهند بتوان مقادیر آلاینده CO را به صورت نسبی بدست آورد [۶]. در این بررسی برای مشخص شدن هر چه دقیق تر اندازه گیری‌های ماهواره ای، اطلاعات بدست آمده از غلظت آلاینده CO در یک ایستگاه خاص سنجش آلاینده‌های هوا جمع آوری شد و همزمان اطلاعات مربوط به همین آلاینده را از ماهواره‌های مربوط نیز تخمین زده شد. با داشتن این دو دسته از اطلاعات ضریب تناسب (α) بین آن‌ها تعیین گردید. با داشتن این ضریب می توان اعتبار نسبی داده‌های ماهواره ای را برای هر نقطه مورد نظر بدون داشتن ایستگاه سنجش و ارزیابی آلاینده‌های هوا در آن نقطه با دقت بالایی تخمین و برآورد کرد. ضریب همبستگی می تواند در مشخص شدن مناطق آلوده تر و پرتراکم آلاینده شهر مشهد مانند یک راهنما عمل نماید. مدیران دست اندرکار و کارشناسان و متخصصان در کارگروه های خاص نظیر سازمان محیط زیست، شهرداری ها، فرمانداری ها و نیروهای انتظامی و سازمان راهنمایی و رانندگی با داشتن این اطلاعات مربوط به گرہ های ترافیکی و مناطق آلوده؛ که از بکارگیری ضریب همبستگی مشخص شده، هر کدام تاثیری شگرف در ساختن آینده شهر ایفا نمایند.

۵- منابع

1. Du, W., et al., *Deciphering urban traffic impacts on air quality by deep learning and emission inventory*. journal of environmental sciences, 2023. **124**: p. 745-757. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.12.035>
2. Yang, S., et al., *Global evaluation of carbon neutrality and peak carbon dioxide emissions: Current challenges and future outlook*. Environmental Science and Pollution Research, 2023. **30**(34): p. 81725-81744. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19764-0>
3. Nguyen, H.M., J. He, and M.J. Wooster, *Biomass burning CO, PM and fuel consumption per unit burned area estimates derived across Africa using geostationary SEVIRI fire radiative power and Sentinel-5P CO data*. Atmospheric Chemistry and Physics, 2023. **23**(3): p. 2089-2118. <https://doi.org/10.5194/acp-23-2089-2023>
4. Yilmaz, O.S., et al., *Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye's 2021 Wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform*. Earth Science Informatics, 2023: p. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00933-9>
5. Magro, C., et al., *Atmospheric trends of CO and CH4 from extreme wildfires in Portugal using Sentinel-5P TROPOMI level-2 data*. Fire, 2021. **4**(2): p. 25. <https://doi.org/10.3390/fire4020025>
6. Ghaedrahmati, S. and M. Hajilou, *Analyzing the effects of air pollution on life expectancy in Tehran, Iran*. International Journal of Environmental Science and Technology, 2022. **19**(8): p. 7009-7018. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03877-z>
7. Keshtkar, M., H. Heidari, N. Moazzeni, and H. Azadi, *Analysis of changes in air pollution quality and impact of COVID-19 on environmental health in Iran: application of interpolation models and spatial autocorrelation*. Environmental Science and Pollution Research, 2022. **29**(25): p. 38505-38526. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17955-9>

8. Jamshidi Kalajahi, M., L. Khazini, Y. Rashidi, and S. Zeinali Heris, *Development of reduction scenarios based on urban emission estimation and dispersion of exhaust pollutants from light duty public transport: case of Tabriz, Iran*. *Emission Control Science and Technology*, 2020. **6**: p. 86-104. <https://doi.org/10.1007/s40825-019-00135-0>
9. Borgschulte, M., D. Molitor, and E.Y. Zou, *Air pollution and the labor market: Evidence from wildfire smoke*. *Review of Economics and Statistics*, 2022: p. 1-46. https://doi.org/10.1162/rest_a_01243
10. Gharibi, S. and K. Shayesteh, *Application of Sentinel 5 satellite imagery in identifying air pollutants Hotspots in Iran*. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 2021. **8**(3): p. 123-138. DOI: [10.52547/jsaeh.8.3.123](https://doi.org/10.52547/jsaeh.8.3.123)
11. Kazemi Garajeh, M., et al., *Monitoring Trends of CO, NO2, SO2, and O3 Pollutants Using Time-Series Sentinel-5 Images Based on Google Earth Engine*. *Pollutants*, 2023. **3**(2): p. 255-279. <https://doi.org/10.3390/pollutants3020019>
12. Lu, L., et al., *Spatiotemporal variation of surface urban heat islands in relation to land cover composition and configuration: A multi-scale case study of Xi'an, China*. *Remote Sensing*, 2020. **12**(17): p. 2713. <https://doi.org/10.3390/rs12172713>
13. Nair, A.P., et al., *Optical pressure sensing at MHz rates via collisional line broadening of carbon monoxide: uncertainty quantification in reacting flows*. *Applied Physics B*, 2023. **129**(4): p. 51. <https://doi.org/10.1007/s00340-023-07985-1>
14. Azizi Jalilian, F., et al., *Evaluation of SARS-CoV-2 in Indoor Air of Sina and Shahid Beheshti Hospitals and Patients' Houses*. *Food and Environmental Virology*, 2022. **14**(2): p. 190-198. <https://doi.org/10.1007/s12560-022-09515-2>
15. Tian, Y., et al., *Satellite observations reveal a large CO emission discrepancy from industrial point sources over China*. *Geophysical Research Letters*, 2022. **49**(5): p. e2021GL097312. <https://doi.org/10.1029/2021GL097312>
16. Safarianzengir, V., B. Sobhani, M.H. Yazdani, and M. Kianian, *Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East*. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2020. **13**: p. 709-719. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00827-5>
17. Lalitaporn, P. and T. Mekaumnaychai, *Satellite measurements of aerosol optical depth and carbon monoxide and comparison with ground data*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020. **192**: p. 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08346-7>
18. Ghannadi, M.A., M. Shahri, and A. Moradi, *Air pollution monitoring using Sentinel-5 (Case study: Big industrial cities of Iran)*. *Environmental Sciences*, 2022. **20**(2): p. 81-98. DOI: [10.52547/ENVS.2022.1026](https://doi.org/10.52547/ENVS.2022.1026)
19. Seifi, M., et al., *Exposure to ambient air pollution and socio-economic status on intelligence quotient among schoolchildren in a developing country*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022. **29**: p. 2024-2034. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15827-w>

20. Rahnama, M.R., *Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030*. Sustainable Cities and Society, 2021. **64**: p. 102548. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102548>
21. Sha, M.K., et al., *Validation of methane and carbon monoxide from Sentinel-5 Precursor using TCCON and NDACC-IRWG stations*. Atmospheric Measurement Techniques, 2021. **14**(9): p. 6249-6304. <https://doi.org/10.5194/amt-14-6249-2021>