نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۲،تابستان ۱۳۹۹

صفحات ۱۳۷ - ۱۵۲

بررسی پراکندگی مکانی – زمانی گاز مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران با استفاده از داده‌های Aqua/AIRS

کوهزاد رئیس پور[1]؛ استادیار گروه اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

یونس خسروی؛ استادیار اقلیم شناسی، گروه محیط زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۱۲/۱۱ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۱۲/۰۸

چکیده

یکی از معضلات اساسی کشورهای بزرگ جهان پدیده‌ی آلودگی هواست به طوری که سالانه خسارات مالی، جانی و اجتماعی عمده‌ای را متحمل می‌نماید. با توجه به اهمیت حیاتی هوا و سیر صعودی افزایش عوامل آلوده کننده‌ی آن، ضرورت مطالعه‌ی عوامل آلاینده‌ی آن به منظور آگاهی از وضعیت موجود امری ضروری به نظر می‌رسد. این پدیده یکی از مهمترین معضلات بخشهای زیادی از کشور ایران نیز می‌باشد که به دلایل متعددی روز به روز بر میزان آن افزوده شده‌است. مونوکسیدکربن یکی از خطرناکترین آلاینده‌های معیار هوا می‌باشد که با توجه به اهمیت مطالعه‌ی آن، تکنیکها و روشهای متعددی جهت پایش آن در اتمسفر کره زمین به کار گرفته شده‌است. در این مطالعه نیز از داده‌های مونوکسیدکربن سنجنده‌ی Aqua/ AIRS که امکان بررسی میزان و روند تغییرات گاز مونوکسیدکربن را در اتمسفر تمام جهان فراهم نموده استفاده گردید. داده‌های مربوطه با فرمت NetCDF طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) از وبگاه https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS۳STM_۰۰۶ استخراج و با استفاده از نرم‌افزارهایArcGIS و Grads بارزسازی و تحلیل شده است. نتایج حاصله بیانگر کاهش میزان مونوکسیدکربن در طول سریهای زمانی ماهانه و سالانه‌ی بوده‌است. در این میان تفاوتهای ماهانه و فصلی بسیار چشمگیر بوده به طوری که به لحاظ ماهانه، بیشترین میزان مونوکسیدکربن در ماههای ژانویه، فوریه و مارس و کمترین میزان آن در ماههای آگوست، سپتامبر و اکتبر اتفاق افتاده‌است. در میان فصول، بیشترین و کمترین میزان مونوکسیدکربن به ترتیب در فصول زمستان و تابستان مشاهده گردید. به لحاظ مکانی نیز، بیشترین میزان مونوکسیدکربن سطحی با میانگین ۱۵۰ ppb بر فراز شهر تهران و ناحیه ساحلی دریای خزر و کمترین میزان آن با میانگین ۱۱۵ ppb بر روی ارتفاعات زاگرس بارزسازی گردید.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، مونوکسیدکربن، AIRS، سنجش از دور، ایران.

[1] . نویسندهٔ مسئول

Email: Raispour@znu.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

مقدمه

پدیده‌ی آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلات کلانشهرهای جهان است که علاوه بر ضررهای وارده برمحیط زیست و سلامت شهروندان، تأثیرات نامطلوب اجتماعی و اقتصادی فراوانی را تحمیل می‌نماید (Shahbazi et al, ۲۰۱٦). این پدیده یکی از ره‌آوردهای انقلاب صنعتی می‌باشد که که از سه قرن قبل آغاز شده و با توسعه صنعتی شدن، افزایش جمعیت و گسترش بی رویه شهرها روز به روز بر میزان آن افزوده شده‌است (Tikuisis, et al, ۱۹۹۲). تکیه اساسی بر منابع جدید انرژی از قبیل نفت، گاز و زغال سنگ و در نتیجه آزاد شدن مواد ناشی از احتراق این مواد، فراورده‌های مضر و زیانبخش را به همراه می‌آورد که تهدید کننده‌ی حیات موجودات زنده، محیط زیست و به خصوص انسانها می‌باشد (Verschueren, ۲۰۰۱). گسترش شهرها، افزایش ترافیک، استفاده از سوخت نامطلوب، افزایش مصرف انرژی و عدم وجود مقررات و ضوابط کنترلی به منظور محدود ساختن مناطق صنعتی و عمل به مقررات زیست محیطی، باعث شده‌است تا سلامت عمومی در شهرها به علت کاهش قابل توجه کیفیت هوای شهری به مخاطره بیفتد (Rudolf, ۱۹۹٤). از آنجایی که هر فرد بالغ به طور معمول روزانه ۱۰ تا ۲۰ هزار لیتر هوا استنشاق می‌نماید بنابراین بدیهی است که وجود عوامل آلاینده به مقادیر غیرقابل قبول و فراتر از میزان استاندارد، می‌تواند زیانهای عمده‌ای را بر سلامت افراد وارد نماید (Penney,۲۰۰۰). براساس طبقه‌بندیهای انجام شده در رابطه با آلاینده‌های معیار هوا(Criteria) ، مونوکسید کربن یکی از مهمترین شش آلاینده‌ی خطرناک هوا (اُزون، ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، سرب و مونوکسیدکربن) می‌باشد (Li et al, ۲۰۰۹). مونوکسیدکربن (Carbon monoxide) گازی بسیار سمی، بی‌رنگ، بی‌بو (به همین دلیل به سادگی با حواس طبیعی انسان قابل تشخیص نیست) و بسیار پایدار است که بر اثر سوختن ناقص کربن بوجود می‌آید و دارای زمان ماندگاری ۲ تا ۴ ماه در اتمسفر می‌باشد (Richard, ۲۰۱۲; Waring et al, ۲۰۰۷). این گاز با فرمول شیمیایی CO از اجزاء کمیاب تروپوسفر بوده و توسط فرآیندهای طبیعی و مصنوعی تولید می‌شود (Flachsbart,۱۹۹٥). غلظت گاز CO در هوا در مقیاس ppm یا ppb (منظور تعداد مولکول گاز CO در یک میلیون یا یک میلیارد مولکول هوا) اندازه گیری می‌شود (Bascom, ۱۹۹٦). یافته‌های مربوط به روند جهانی CO، افزایش سالانه ۱ تا ۲ درصدی از این ماده را برای چندین دهه‌ی اخیر با غلظت زمینه‌ی جهانی بین ۵۰ppb تا ۱۲۰ppb را نشان می‌دهند. غلظت‌های متوسط زمینه به طور فصلی تغییر نموده به طوری که غلظت‌های بالاتر در ماه‌های زمستان و مقادیر پایین‌تر در ماه‌های تابستان اتفاق می‌افتد. گرچه مونوکسیدکربن مستقیما" تغییر آب و هوا را ایجاد نمی‌کند ولی حضور آن بر فراوانی گازهای گلخانه‌ای مانند متان و دی‌اکسید کربن تأثیر می‌گذارد. منابع طبیعی و انسان‌ساخت هر دو در تشکیل مونوکسیدکربن اتمسفر سهیم هستند (Kanakidou et al ۱۹۹۹). به طور کلی منابع طبیعی در تولید مونوکسیدکربن نسبت به منابع انسان‌ساخت سهم بیشتری دارند (Martinie et al, ۲۰۱۱). علی‌رغم سهم کوچک منابع انسان‌ساخت در مقام مقایسه با انتشار جهانی مونوکسیدکربن، تأثیر آنها نیز نباید نادیده گرفته شود. زیرا منابع مصنوعی در مناطق بسیار کوچکی متمرکز شده‌اند (Cullis, ۱۹۸٦). برای مثال ۹۸-۹۵ درصد از مونوکسیدکربن اتمسفری در مناطق شهری در اثر فعالیت‌های انسانی حاصل می‌شود. بدیهی است حمل و نقل بیش از سایر فعالیتهای انسانی (کارخانجات ذوب و پردازش فلزات، صنایع شیمیایی و زباله‌سوزها) در این امر نقش دارد (Guerova et al, ۲۰۰٦). در محیط‌های بسته، ژنراتورها، اجاق گازها، استفاده از هیزم یا چوب به عنوان سوخت در منازل مسکونی، مصرف توتون و تنباکو و هیترهای با سوخت کروزن از عوامل مولد مونوکسیدکربن به شمار می‌روند. به عنوان مثال

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

غلظت متوسط CO در اماکن فاقد اجاق گازppm ۵ – ۰/۵ و در اماکن با نصب صحیح اجاق گازها ppm ۱۵ – ۰/۵، در خانه‌های با نصب نادرست اجاق گازها ppm ۳۰ و بالاتر مشاهده شده‌است. این مقدار در برخی از کارگاه‌ها از ppm ۱۰۰ هم بیشتر می‌شود (Myhre et al, ۲۰۱۳). غلظت مونوکسیدکربن در خودروهای شخصی ۳-۲ برابر غلظت مشاهده شده در خیابان‌ها و متروها است. الگوی ترافیک، مدل ماشین و نگهداری از آن، وضعیت تهویه خودرو و فصل از عوامل موثر بر میزان مونوکسیدکربن در خودروها است. مطالعات بسیاری نشان می‌دهند که غلظت‌های بالای مونوکسیدکربن می‌توانند باعث تغییرات فیزیولوژیک و پاتولوژیک و نهایتاً مرگ شوند (Popovic, et al, ۲۰۰۹). مونوکسیدکربن یک ماده قابل استنشاق بسیار سمی و کشنده می‌باشد که بافت‌های بدن را از اکسیژن لازم بی‌نصیب نموده به طوری که مقادیر بسیار جزئی آن نیز باعث مرگ انسان می‌شود (Rsser et al, ۱۹۹۵). به طور کلی مونوکسیدکربن چهار نوع اثر مهم از قبیل اثرات قلبی و عروقی، اثرات مغزی و ایجاد ناهنجاری در رفتارهای عصبی، اثر فیبریونولیز و سقط جنین بر کارکردهای فیزیولوژیک انسان دارد. هیپوکسی که بوسیله مونوکسیدکربن ایجاد می‌شود منجر به نارسائی در اعمال حسی و اندام‌هایی چون مغز، قلب، جدار داخلی عروق خونی و پلاکت‌ها می‌شود (Ernst,۱۹۹۹). با توجه به اینکه میل ترکیبی مونوکسیدکربن با هموگلوبین خون حدود ۲۲۰ برابر بیشتر از اکسیژن است، در محیط‌های آلوده، کربوکسی هموگلوبین خون (CoHb) به سرعت افزایش می‌یابد (Raub et al, ۲۰۰۰). با افزایش کربوکسی هموگلوبین به ۵ درصد، ظرفیت اکسیژن‌گیری بدن کاهش می‌یابد و تأثیر آن بر قلب به وضوح دیده می‌شود (Theilade et al, ۱۹۹۰). مطالعات نشان داده‌اند که اگر انسان به مدت یک ساعت با مونوکسیدکربن با غلظت ppm ۳۰ و یا به مدت هشت ساعت با غلظت ppm ۹ از این آلاینده در تماس باشد، کربوکسی هموگلوبین خون او به ۳/۱ درصد میرسد که سردرد و کاهش عملکرد مغزی را در پی خواهد داشت (Ait EI et al, ۲۰۰۹). میل ترکیبی کربن موجود در مونوکسیدکربن با هموگلوبین خون حدود ۲۰۰ برابر بیشتر از میل ترکیبی گاز اکسیژن است (Homer et al, ۲۰۰۵). گرچه در خون انسان حدود ۵ درصد مونوکسیدکربن وجود دارد اما اگر این مقدار به ۲۰ درصد برسد باعث مرگ خواهد شد (Di Maio et al, ۲۰۰۱). به همین دلیل مونوکسیدکربن قاتل نامرئی (شیطان سیاه) نامیده می‌شود. روشهای متعددی برای مطالعه و سنجش آلاینده‌های هوا از جمله مونوکسیدکربن وجود دارد که از جمله مهمترین آنها می‌توان به روشهای سنجش از دور (پایش اتمسفری مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای) اشاره کرد. از جمله سنجنده‌هایی که امکان پایش اتمسفری گاز مونوکسیدکربن را با توان تفکیک زمانی و طیفی بالا فراهم نموده است سنجنده‌ی AIRS مستقر بر روی ماهواره‌ی Aqua می‌باشد که علاوه بر کاربردهای متعدد، امکان سنجش و پایش گاز مونواکسید کربن را در یک فضای سه بعدی در مقیاس جهانی و کوچکتر فراهم نموده‌است (McMillan et al, ۲۰۰۸; McMillan et al, ۲۰۱۰; Susskind et al, ۲۰۱۰; Warner et al, ۲۰۰۸; Yurganov et al, ۲۰۰۸; Deeter et al, ۲۰۱۰; Worden et al., ۲۰۱۳;). مطالعات متعددی با استفاده از داده‌های این سنجنده توسط برخی از محققین خارجی انجام شده‌است که ازجمله‌ی آنها می‌توان به بررسی روند انتشار گاز CO، تفکیک سهم گاز CO از دیگر گازهای گلخانه‌ای، تأثیر گاز CO بر کیفیت هوا و روند تغییرات زمانی - مکانی این گاز اشاره نمود. نتایج دریافتی حاصل از روشهای مذکور، در مقایسه با دیگر روشها از دقت بسیار بالاتری برخوردار بوده‌است (Pfister et al., ۲۰۰۵; Arellano et al., ۲۰۰۶; Maddy et al, ۲۰۰۸; Kopacz et al., ۲۰۱۰). همچنین از داده‌های این سنجنده مطالعات متعدد دیگری در زمینه‌ی هوا، اقلیم و کیفیت هوا ارائه شده‌است که به علت تعدد بالای آنها صرفا" به ذکر برخی از آنها (Aumann et al, ۲۰۰۵; Bowman et al., ۲۰۰۶; De Souzaet

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

al., ۲۰۱۰; De Souza et al., ۲۰۱۸; Maddy et al., ۲۰۱۲; Wong et al., ۲۰۱۵ ;Dang et al., ۲۰۱۳ Yue, et al., ۲۰۱۳b Irion et al., ۲۰۱۸;) اشاره شده‌است. امروزه تکنیک‌های موثری برای برآورد و پایش آلودگی هوا منجمله مونوکسیدکرین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای طراحی و فراهم شده و سنجنده‌های متفاوتی از جمله: TES IMG, MOPITT, TOMS, OMI, AIRS, IASI و ... مورد استفاده قرار گرفتند. گرچه تاکنون در زمینه‌ی بررسی مونوکسیدکربن در ایران مطالعاتی انجام گردید، اما غالب مطالعات انجام شده مبتنی بر داده‌های ایستگاهی (نقطه‌ای) بوده و در هیچ کدام از آنها به بررسی این آلاینده در کل گستره‌ی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیکهای مبتنی بر سنجش از دور پرداخته نشده‌است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی پراکنش مکانی - زمانی گاز مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران با استفاده از داده‌های Aqua/AIRS برای آگاهی از وضعیت آن طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) می‌باشد.

داده‌ها و روش کار

گاز مونوکسیدکربن فراوان‌ترین آلاینده در اتمسفر پایین می‌باشد. کشور ایران نیز از این پدیده مصون نبوده به طوری که از شایع‌ترین علل مرگ‌ومیر در ایران (بخصوص کلانشهرها) محسوب می‌شود. بر اساس تحقیقات به عمل آمده میزان مونوکسیدکربن با غلظت‌های موجود تأثیر نامطلوبی بر سلامت انسان در کلانشهرهای ایران دارد. این گاز در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ تعداد ۷۶۵۷ نفر را به طور مستقیم (ناشی از خفگی) و چندین برابر را به صورت غیرمستقیم (بیماران قلبی، عروقی و ریوی) به کام مرگ کشانده‌است که در این میان بیشترین میزان مربوط به شهرهای تهران، مشهد و اصفهان بوده‌است. از سویی دیگر این گاز دارای یک اثر غیرمستقیم تابشی می‌باشد که از طریق واکنش‌های شیمیایی با دیگر اجزای جوی، مقادیر اُزن اتمسفر زمین را تخریب می‌کند. همچنین در اثر فرآیندهای طبیعی در جو، نهایتاً به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود که می‌تواند اثر گلخانه‌ای جو را تشدید نماید. سنجنده‌ی AIRS، یکی از ابزارهایی می‌باشد که با هدف کمک به محققین تغییراقلیم و بهبود پیش‌بینی وضعیت هوا ساخته شده‌است. این سنجنده یکی از شش سنجنده‌ی ماهواره‌ی Aqua است که در سال ۲۰۰۲ در مدار زمین قرار گرفت از آن زمان تاکنون متغیرهای متعددی از جمله داده‌های مونوکسیدکربن جهانی را تولید و عرضه می‌نماید. داده‌های مونوکسیدکربن با استفاده از اتمسفرسنج مادون قرمز (AIRS) ناسا که در ماهواره Aqua قرار دارد جمع‌آوری شده و به صورت روزانه ارائه می گردد. این سنجنده بازیابی مونوکسیدکربن را در شرایط ابری و در باند ۱۵میکرون با پوشش جهانی فراهم می‌نماید.. سنجنده‌ی AIRS از بازه‌ی طیفی بسیار گسترده‌ای برخوردار بوده است که قدرت تفکیک آن دهها برابر بیشتر از ابزارهای مشابه قبل از خود می‌باشد. قدرت تفکیک افقی این سنجنده برابر با ۱۳.۵ کیلومتر در نقطه نادیر و قدرت تفکیک عمودی یا قائم آن ۱کیلومتر می باشد (جدول ۱). فراسنجهای مشاهداتی توسط این سنجنده در راستای دید ماهواره و در دو عبور بالارو (Ascending) و پایین‌رو (Descending) دریافت می‌گردند. در این تحقیق نیز از داده‌های این سنجنده (AIRS/Aqua L۳ Monthly Standard Physical Retrieval (AIRS-only) V۰۰۶) که مشخصات آن در جدول شماره ۱ آمده‌است و از وبگاه https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS۳STM_۰۰۶ قابل دریافت می‌باشد استفاده شده‌است. داده‌های مورد نیاز با فرمت NetCDF استخراج گردید که پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش، توسط دو نرم افزار کاربردی ArcGIS و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

Grads مورد پردازش قرار گرفته‌است. NetCDF یا فرمت nc فرمتی از داده‌ها برای نگهداری داده‌های چندبُعدی می‌باشد که با استفاده از امکاناتی که نرم‌افزار ArcGIS و Grads در اختیار کاربر قرار می‌دهد، برای ساخت لایه‌های رستری، وکتوری و جداول اطلاعاتی به کار گرفته می شوند. در این تحقیق نیز از پردوداکت‌های آماده‌ی مونوکسیدکربن که به صورت روزانه توسط سنجنده‌ی AIRS ارائه می‌گردد استفاده شد. داده‌های مورد استفاده به صورت رقومی بوده و مقادیر آنها ارزش عددی میزان مونوکسیدکربن به ازای هر پیکسل یوده‌است. داده‌ها با انتقال به محیط GIS و اعمال اُلگوریتم‌های لازم تبدیل به داده‌های رستری شده و خروجی‌های لازم بر اساس مرز جغرافیایی کشور ایران استخراج شده‌است. شدت و ضعف رنگها (درجات مختلف شدت روشنایی) بیانگر متفاوت بودن مقادیر مونوکسیدکربن در پیکسل‌های واقع در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. سریهای زمانی مورد استفاده ماهها و فصول میلادی بوده است که میانگین ماهانه از میانگین میزان مونوکسیدکربن روزانه‌ی متعلق به هر ماه و میانگین فصلی از میانگین سه ماه مربوط به هر فصل برای کل گستره‌ی ایران منتج شده‌است. به لحاظ فضایی نیز مقادیر هر پیکسل بیانگر شرایط میانگین میزان مونوکسیدکربن در طول دوره‌ی آماری (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) بوده‌است که سعی گردید جهت درک هرچه بهترِ رفتار زمانی ـ مکانی این فراسنج در اتمسفر ایران، نتایج به صورت تصاویر، گراف، نمودار و نمایه‌های قائم ارائه شود.

جدول ۱: مشخصات فنی و رزولوشن داده‌های سنجنده‌ی AIRS

Short name	AIRS۳STM
Version	۰۰۶
Format	NetCDF HDF-EOS
DOI	۱۰,۵۰۶۷/Aqua/AIRS/DATA۳۲۱
Spatial Coverage	-۱۸۰,۰,-۹۰,۰,۱۸۰,۰,۹۰,۰
Temporal Coverage	۲۰۰۲-۰۹-۰۱ to Present
Data Resolution Spatial	۱۳.۵ km at horizontal at nadir, ۱ km vertical
Data Resolution Temporal	Daily and Monthly

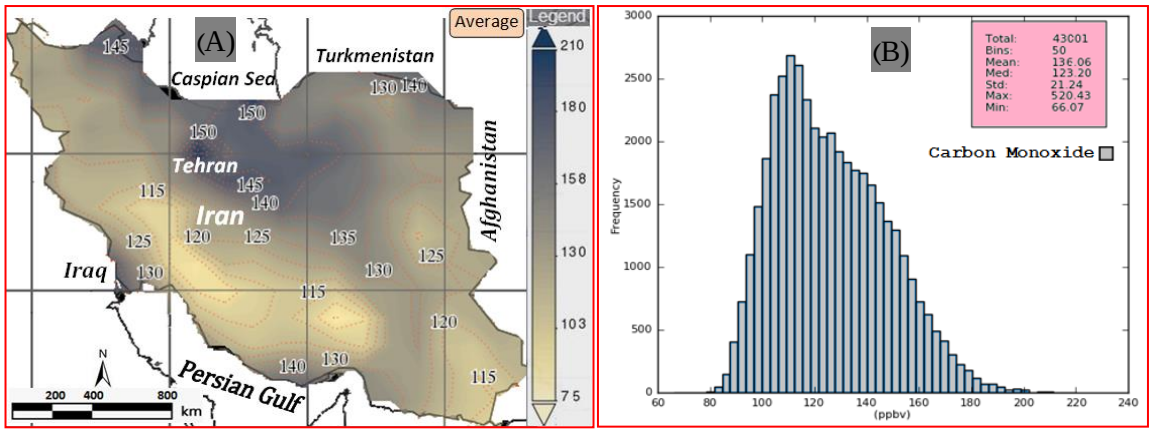
شرح و تفسیر نتایج

- **توزیع مکانی مونوکسیدکربن**

برخی از پارامترهای آماری (توصیفی) فراسنج مونوکسیدکربن در گستره‌ی جغرافیایی کشور ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) در شکل شماره‌ی ۱ مشخص شده‌است. همان طوری که شکل مورد نظر نشان می‌دهد، میانگین پراکندگی (توزیع) مونوکسیدکربن سطحی در تروپوسفر تحتانی (مجاور سطح زمین) ایران از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. البته در این میان سلسله جبال زاگرس این نظم را برهم زده و یک شرایط استثنائی را به وجود آورده‌است به طوری که کمترین میزان تراکم مونوکسیدکربن سطحی با میانگین بلندمدت (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) کمتر از ۱۱۵ ppbبر روی این ناحیه جغرافیایی (ارتفاعات زاگرس) مشاهده شده‌است. از طرفی دیگر، بیشترین توزیع مونوکسیدکربن در شمال کشور ایران با میانگین بیشتر از۱۵۰ppb (بر فراز شهر تهران و ناحیه ساحلی دریای خزر) مشاهده گردید. همچنین براساس پردازشهای آماری صورت گرفته، میانگین مونوکسیدکربن در طول دوره ی آماری مورد نظر۱۳۶ppbبرآورد شده است که در این میان، بیشترین میزان مونوکسیدکربن مشاهده شده ۵۲۰ppb و کمترین مقدار آن ۶۶ ppb با مقدار انحراف معیار ۲۱/۲ بوده‌است. نتایج حاصله به خوبی بیانگر بیشترین میزان تمرکز مونوکسیدکربن بر روی شهر تهران و انتشار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

آن تا شعاع چندین کیلومتری می باشد. شهر تهران با عنوان پایتخت کشور ایران با مساحتی حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه‌ی جنوبی کوههای البرز واقع شده که براساس مطالعات و گزارشات ارائه شده یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان به شمار می‌رود. البته در این میان سهم مونوکسیدکربن بیش از دیگر آلاینده‌ها می‌باشد. در پاسخ به این سوأل که دلیل بیشترین تمرکز گاز مونوکسیدکربن به عنوان یکی از آلاینده‌های معیار هوا بر فراز شهر تهران چه می باشد؟ می توان گفت: عوامل متعددی در بالا بودن میزان مونوکسیدکربن بر فراز شهر تهران دخالت دارند که به نظر می‌رسد از میان آنها عوامل جغرافیایی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. استقرار شهر تهران در محیطی نیمه محصور در دامنه‌ی‌جنوبی ارتفاعات البرز باعث می‌گردد تا کوههای البرز در شمال و شرق آن همانند سدی از گذر بادهای غربی جلوگیری نموده و شرایط را برای ماندگاری و تداوم آلاینده‌ها (مونوکسیدکربن) فراهم آورد. از سویی دیگر در برخی از ایام سرد سال، حاکمیت شرایط وارونگی (پدیده‌ی اینورژن) و استقرار مداوم سیستم‌های پرفشار در طول سال، از دیگر ویژگیهای طبیعی منطقه هستند که شرایط را برای آلودگی هر چه بیشتر هوای شهر تهران و نواحی پیرامونی آن فراهم می‌آورد. علاوه بر عوامل طبیعی ذکر شده، عوامل انسانی مانند تمرکز بالای جمعیت (۱۴ میلیون نفر معال ۱۷٪ درصد از جمعیت کل کشور)، بالا بودن تعداد خودروها (اغلب فرسوده) و ترافیک زیاد، استقرار کارخانه‌ها و صنایع در سطح شهر و بویژه در غرب و جنوب‌غرب آن، بر میزان آلودگی هوای شهر تهران افزوده و تمرکز مونوکسیدکربن را در این ناحیه به شدت افزایش می‌دهد. در اولویت بعدی، ناحیه ساحلی شمال ایران که شامل استانهای مازندران، گیلان و گلستان می‌باشد، به علت برخورداری از شرایط مناسب آب وهوایی از تراکم بالای جمعیت (بیش از ۱۵۰ نفر در هر کیلومتر مربع) برخوردار می‌باشد. علاوه بر تمرکز بالای جمعیت، قرار گرفتن این ناحیه به عنوان یکی از مناطق هدف گردشگری در اغلب ایام سال و بخصوص ایام تعطیلات، شرایط را برای حجم بالای ترافیک در این ناحیه به دنبال داشته و می‌تواند نقش فزاینده‌ای را در افزایش میزان مونوکسیدکربن در ناحیه ساحلی شمال ایران ایفا نماید.



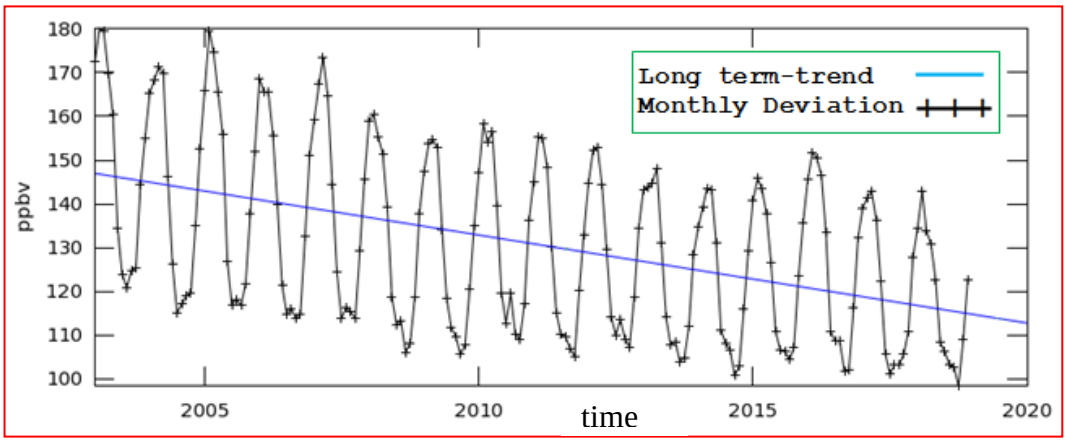
شکل ۱: (B) توصیف آماری توزیع مونوکسید کربن سطحی و (A) توزیع مکانی مونوکسید کربن سطحی بر فراز ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)

- **تغییرات سری زمانی مونوکسیدکربن**

شکل ۲ گراف سری زمانی ماهانه‌ی مونوکسیدکربن را در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. بر اساس این گراف بیشترین میزان مونوکسیدکربن سطحی مربوط به ماههای دوره‌ی سرد سال (ماههای ژانویه، فوریه و مارس) و کمترین میزان تمرکز مونوکسیدکربن سطحی مربوط به ماههای دوره‌ی گرم سال (ماههای آگوست، سپتامبر و اکتبر)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

می باشد. همچنین بـر اسـاس ایـن گراف، روند میزان مونوکسیدکربن در گستره‌ی تروپوسفر سـطحی ایـران از سـیری کاهشی برخوردار بوده‌است به طوری که میانگین ماهانه‌ی مونوکسیدکربن سطحی در تروپوسـفر ایـران از ppb ۱۴۷ در سال ۲۰۰۳ به ppb ۱۰۰ در سال ۲۰۱۸ رسیده‌است. بدین مفهوم که از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ از میزان مونوکسـیدکربن تروپوسفر سطحی ایران ppb ۴۷ (حدود ٪۳۰) کاسته شده‌است. بنابراین براسـاس ایـن نتـایج هـر چـه از اوایـل دوره‌ی آماری (سال ۲۰۰۱) به سمت سالهای آخر دوره آماری (۲۰۱۸) حرکت می‌نمائیم از میزان مونوکسـیدکربن سـطحی در تروپوسفر تحتانی کشور ایران کاسته شده‌است به طوری که میزان مونوکسیدکربن سطحی در سـال ۲۰۰۳ از مقـادیری بین حداکثر مقدار ماهانه‌ی ppb ۲۲۰ تا حداقل مقـدار ماهانـه یppb ۱۲۵ بـه مقـادیری بـین حـداکثر مقـدار ماهانـه یppb۱۴۰ تـا حـداقل مقـدار ماهانـه ی ppb ۸۰ کـاهش یافته‌اسـت. ایـن وضـعیت بـه خـوبی رونـد کاهشـی میـزان مونوکسیدکربن را در تروپوسفر سطحی ایران نشان می‌دهد. از جملـه دلایـل کـاهش میـزان مونوکسـیدکربن سـطحی تروپوسفر ایران در طی دوره‌ی آماری، می‌توان به تجهیز ناوگان حمل و نقل، افزایش کیفیت سوخت، اعمـال طرحهـای کنترلی برای کنترل ترافیک، ارتقای سیستمهای گرمایشی، ارتقای سوختهای صنایع و کارخانجات اشاره نمود.

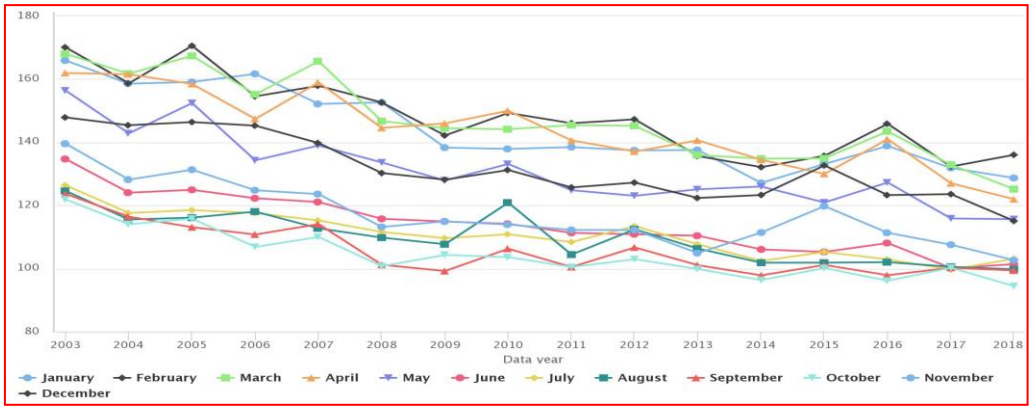


شکل ۲: تغییرات و روند سالانه‌ی مونوکسید کربن سطحی بر حسب میانگین ماهانه بر فراز کشور ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)

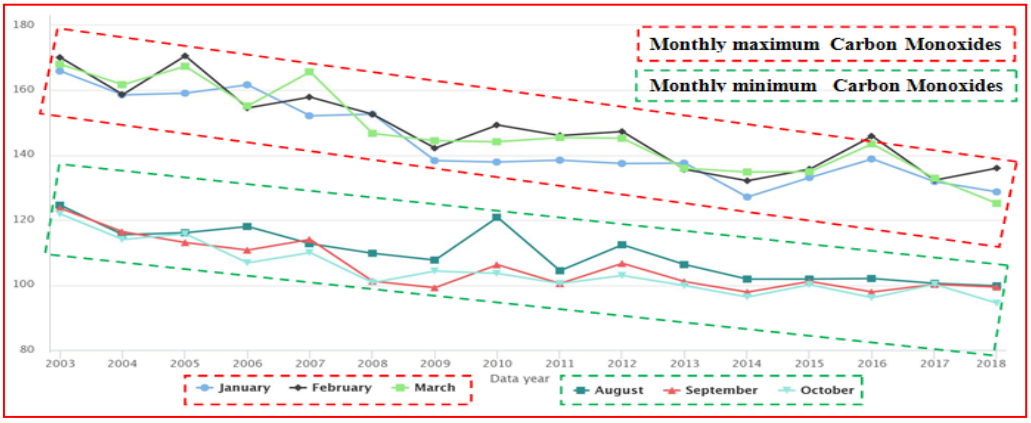
- **تغییرات ماهانه و فصلی مونوکسیدکربن**

اَشکال شماره‌ی ۳ و ۴ سریهای زمانی میانگین ماهانه‌ی مونوکسیدکربن را در تروپوسفر سـطحی ایـران نشـان می‌دهـد. براساس این اَشکال، بیشترین میزان مونوکسیدکربن ماهانه به ترتیب شامل ماههای ژانویه، فوریه و مارس (ماههای سرد سال)، و کمترین میزان آن در ماههـای آگوسـت، سـپتامبر و اکتبـر (ماههـای گـرم سـال) مشـاهده شده‌اسـت. میـزان مونوکسیدکربن در دیگر ماههای سال از قبیل آوریل، می، ژوئن، ژولای، نوامبر و دسامبر در حدفاصل ماههای بیشـینه و کمینه فوق قرار دارند(اَشکال ۵ تا ۷). در این میان می‌توان به مقادیر بیشینه‌ی مونوکسیدکربن در ژانویه و فوریه ۲۰۰۳ (بیش از ppb ۱۸۰) وکمینه‌ی مونوکسیدکربن در ماههای ژولای و آگوست ۲۰۱۸ (ppb ۱۰۰و کمتر از آن) اشاره کـرد. اما به طور کلی، گرافهای مربوط به مقادیر ماهانه، روند کاهشی میـزان مونوکسـیدکربن را بـرای تمـامی ماههـای مـورد مطالعه‌ی نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت راهکارهای مدیتی سالهای اخیر که در راسـتای کـاهش آلـودگی کشـور ایران و بخصوص کلانشهرهای آن اتخاذ گردید نتایج قابل قبولی داشته است کـه از جملـه پیامـدهای مثبـت و امیـدوار کننده‌ی آن می‌توان به کاهش چشمگیر گاز آلاینده‌ی مونوکسیدکربن در سطح ایران اشاره کرد.

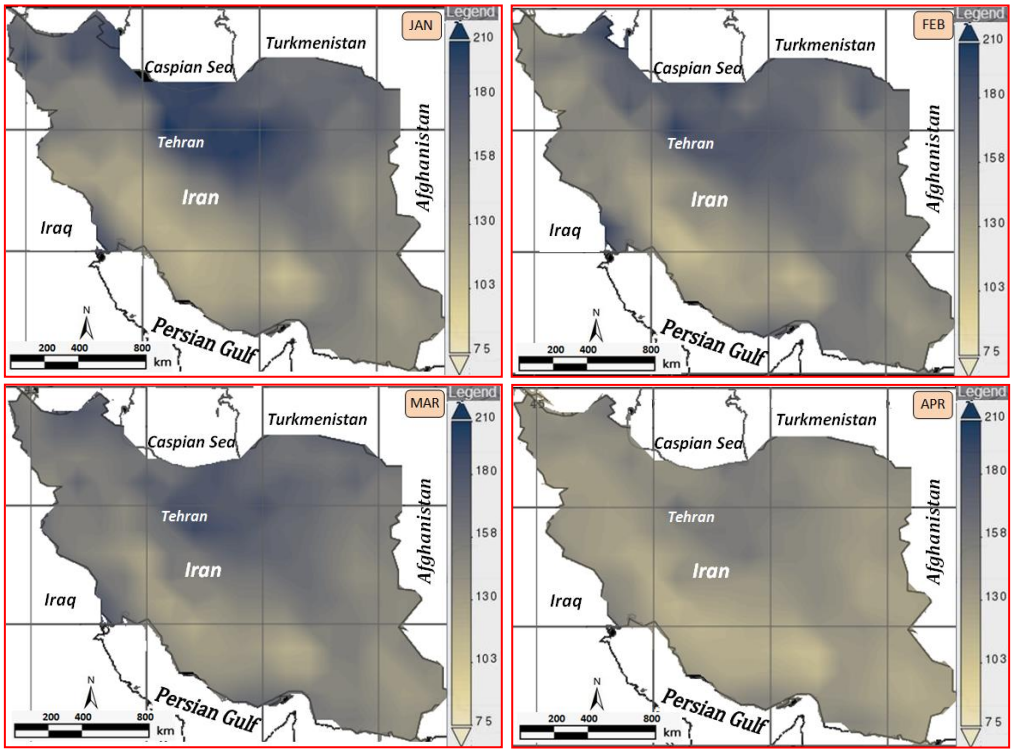
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]



شکل ۳: میانگین ماهانه‌ی مونوکسید کربن سطحی بر فراز ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)



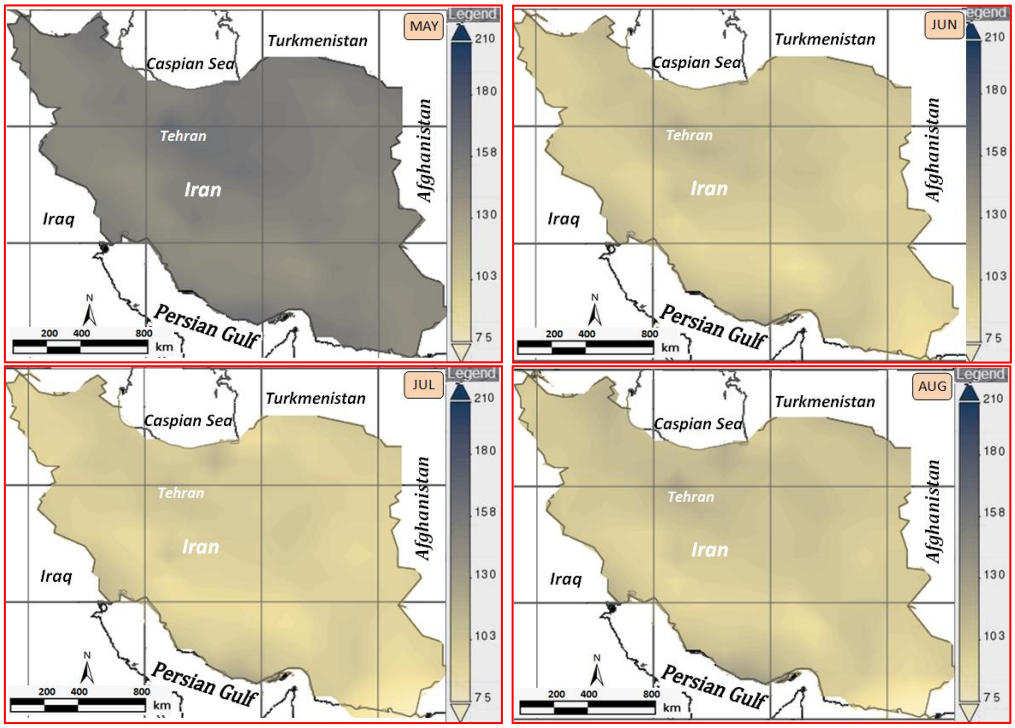
شکل ۴: سری زمانی توزیع مونوکسید کربن در ماههای بیشینه و کمینه بر فراز ایران (۲۰۱۷ – ۲۰۰۳)



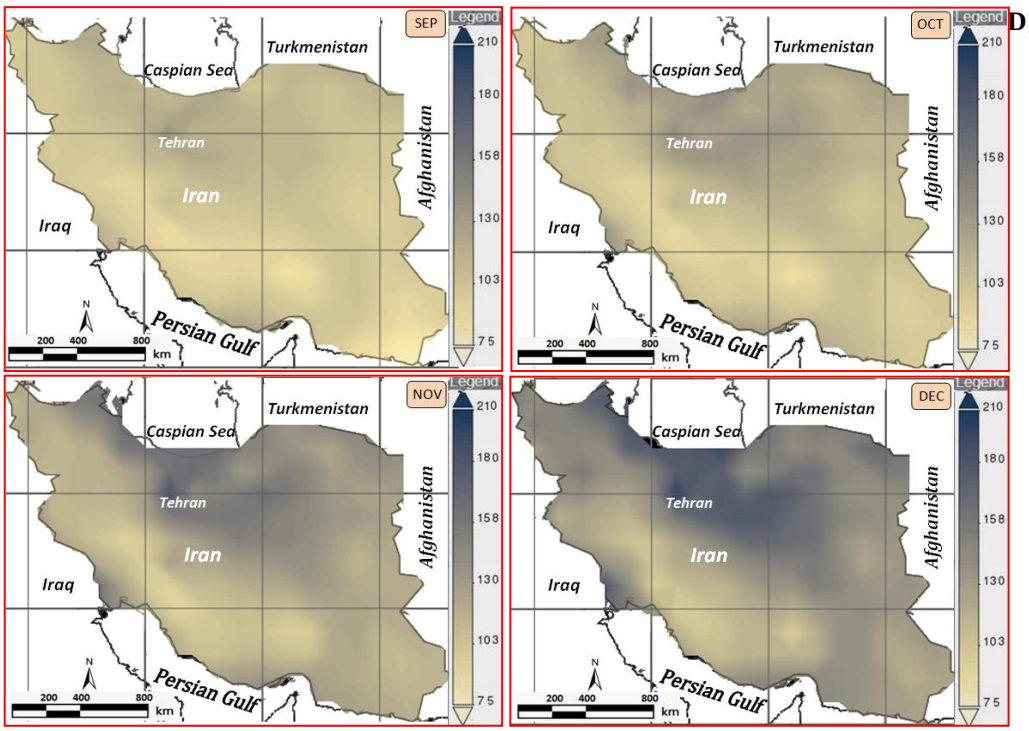
شکل ۵: توزیع مکانی مونوکسید کربن سطحی در ماههای مختلف بر فراز ایران (A): ژانویه، (B): فوریه، (C): مارس، (D): آوریل.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]



شکل ۶: توزیع مکانی مونوکسید کربن سطحی در ماههای مختلف بر فراز ایران (A): می، (B): ژوئن، (C): ژوئیه، (D)

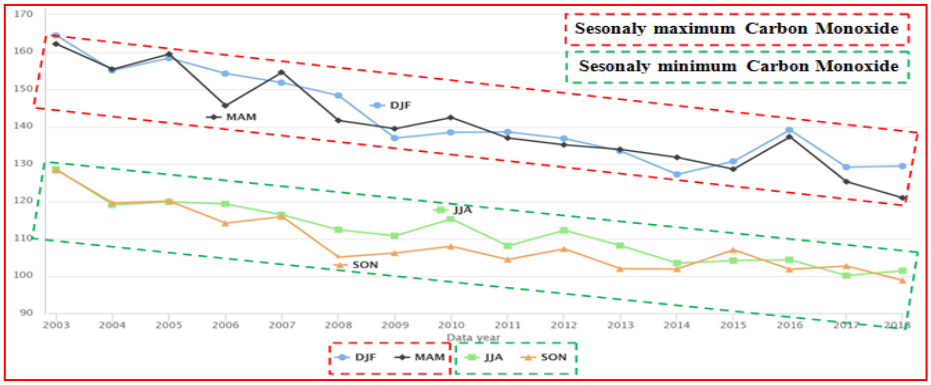


شکل ۷: توزیع مکانی مونوکسید کربن سطحی در ماههای مختلف بر فراز ایران (A): سپتامبر، (B): اکتبر، (C): نوامبر، (D): دسامبر.

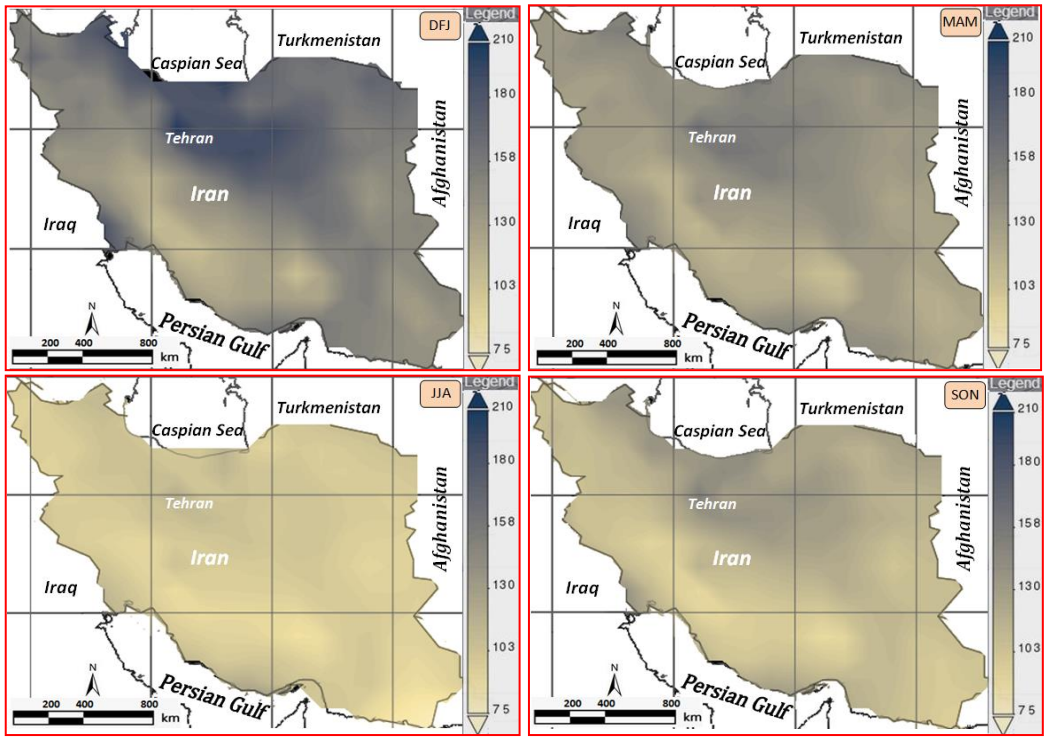
آنالیز حاصل از داده‌های آماری مونوکسیدکربن در فصول چهارگانه ایران نیز، بیانگر بیشترین میزان مونوکسیدکربن سطحی در فصل زمستان (ماههای ژانویه، فوریه و مارس) و کمترین میزان آن مربوط به فصل تابستان (آگوست، سپتامبر و اکتبر) بوده‌است. همان طوری که در مباحث بالا نیز اشاره گردید، از جمله مهمترین عوامل اقلیمی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

(جغرافیایی) موثر در افزایش میزان مونوکسید کرین در دوره‌ی سرد سال، می توان به وارونگی‌های دمایی اشاره کرد که به دو صورت تابشی و سینوپتیکی ایجاد می‌شوند. وارونگی‌های تابشی بر اثر سرد شدن شدید سطح زمین و وارونگی‌های سینوپتیکی عمدتا" بر اثر استقرار سیستم‌های پرفشار پایدار جوی تشکیل می‌شوند. هر دو پدیده از ویژگیهای اصلی شرایط آب و هوایی ایران در دوره‌ی سرد سال می‌باشند. علاوه بر موارد مطرح شده، از دیگر عوامل موثر بر افزایش میزان مونوکسیدکربن در این دوره از سال، می‌توان به بالا بودن حجم ترافیک (به دلیل باز بودن مدارس، دانشگاهها و ادارات)، افزایش میزان مصرف سوختهای فسیلی برای تأمین گرمایش فضاهای مسکونی، اداری، آموزشی و بهداشتی اشاره کرد. این نتایج با بیشینه و کمینه‌ی مونوکسیدکربن فصلی در پهنه‌ی جهانی کاملا" منطبق می‌باشد. اَشکال شماره‌ی ۸ و ۹ میزان مونوکسیدکربن را برای فصول بهار (MAM)، تابستان (JJA)، پاییز (SON) و زمستان (DFJ) نشان می‌دهد. براساس این اَشکال میزان مونوکسیدکربن سطحی فصلی به ترتیب از بیشترین میزان به کمترین میزان شامل فصول زمستان (DFJ)، بهار (MAM)، پاییز (SON) و تابستان (JJA) می‌باشد.



شکل ۸: سری زمانی تغییرات فصلی مونوکسید کربن سطحی بر فراز ایران (۲۰۰۳ – ۲۰۱۸)

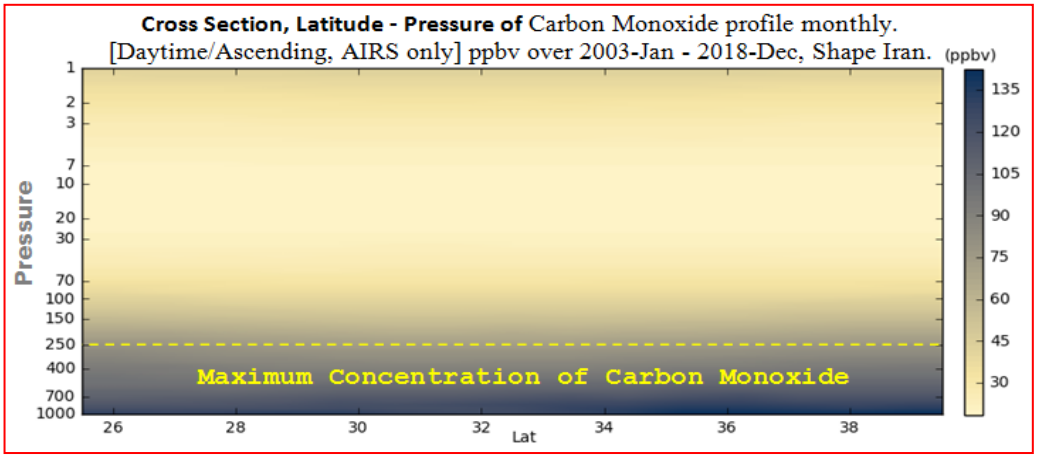


شکل ۹: توزیع مکانی مونوکسید کربن سطحی در فصول مختلف بر فراز ایران (A): زمستان، (B): بهار، (C): تابستان، (D): پاییز.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

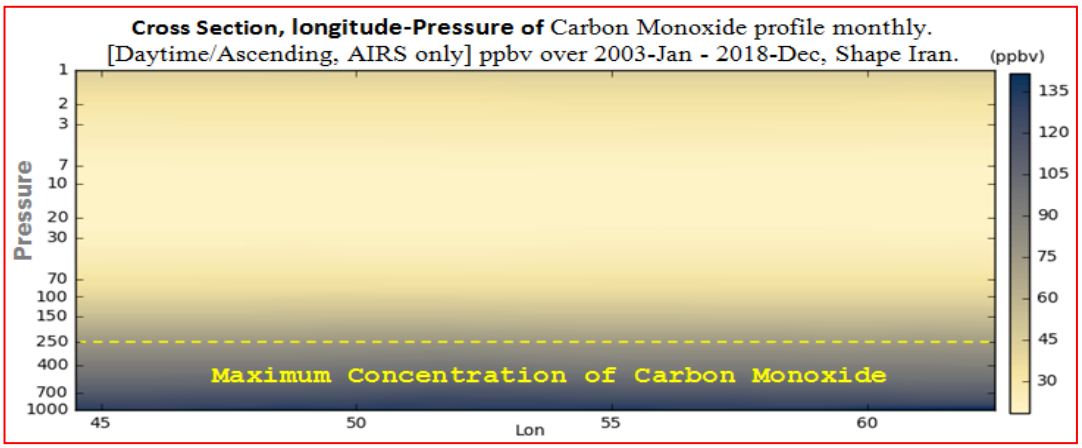
- **ارزیابی توزیع قائم میزان مونوکسیدکربن**

اندازه‌گیری میزان مونوکسیدکربن تروپوسفر ایران در راستای قائم جو که در واقع نشان دهنده‌ی توزیع عمودی مونوکسیدکربن موجود در جو می‌باشد، با استفاده از پروفیل‌های قائم در راستای طول و عرض جغرافیایی بارزسازی شده‌است. نتایج حاصل از این پیمایش‌های قائم جوی به خوبی تبیین کننده‌ی توزیع و تغییرات عمودی مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران می‌باشد. شکل شماره‌ی ۱۰ مربوط به توزیع قائم مونوکسیدکربن در امتداد عرض جغرافیایی و در راستای ترازهای ۱۴ گانه فشار هوا بر حسب هکتوپاسکال (ترازهای ۱۰۰۰، ۷۰۰، ۴۰۰، ۲۵۰، ۱۵۰، ۱۴۰۰، ۷۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۷، ۳، ۲، ۱ هکتوپاسکال) می‌باشد. براساس این شکل، حداکثر تراکم مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران در تراز سطحی بوده و با کاهشی تدریجی تا تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (محدوده زیر خط زرد منقطع) امتداد می‌یابد. بدین مفهوم که هرچه از ترازهای تحتانی جو به سمت ترازهای فوقانی حرکت نمائیم میزان مونوکسیدکربن کاهش یافته به طوری که در بالاترین تراز مورد مطالعه (تراز ۱هکتوپاسکال) به حداقل مقدار ممکن می‌رسد. در این میان بیشترین تراکم مونوکسیدکربن در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و درحوالی عرض ۳۵ درجه شمالی مشاهده می‌شود که منطبق بر عرض جغرافیایی شهر تهران (بزرگترین کلانشهر کشور ایران) می‌باشد (اَشکال شماره‌ی ۱۰ و ۱۳A). توزیع عمودی مونوکسیدکربن موجود در اتمسفر ایران در راستای طول جغرافیایی نیز بیانگر تراکم مونوکسیدکربن در ترازهای تحتانی تروپوسفر (محدوده‌ی زیر خط زرد منقطع) می‌باشد که تقریبا" شرایط مشابهی را با توزیع مونوکسیدکربن اتمسقر ایران در امتداد عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. در این میان نیز بیشینه‌ی چگالی مونوکسیدکربن منطبق بر طول جغرافیایی کلانشهر تهران می‌باشد. همچنین سری زمانی پیمایش قائم لایه‌ی مونوکسیدکربن طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه به خوبی از کاهش تدریجی میزان مونوکسیدکربن حکایت دارد به طوری که بیشترین میزان مونوکسیدکربن در ۵ سال اول دوره‌ی آماری (۲۰۰۷ - ۲۰۰۳) مشاهده شده و هر چه به سالهای آخر دوره‌ی آماری نزدیک می‌شویم از چگالی لایه‌ی مونوکسیدکربن کاسته شده‌است. در این پروفیل نیز در تمامی سالهای آماری، بیشترین تمرکز گرد و غبار مربوط به ماههای دوره‌ی سرد سال (بیضویهای زردرنگ) و کمترین میزان آن مربوط به ماههای دوره‌ی گرم سال می‌باشد که در شکل مربوطه (شکل ۱۲) به خوبی مشهود می‌باشد.

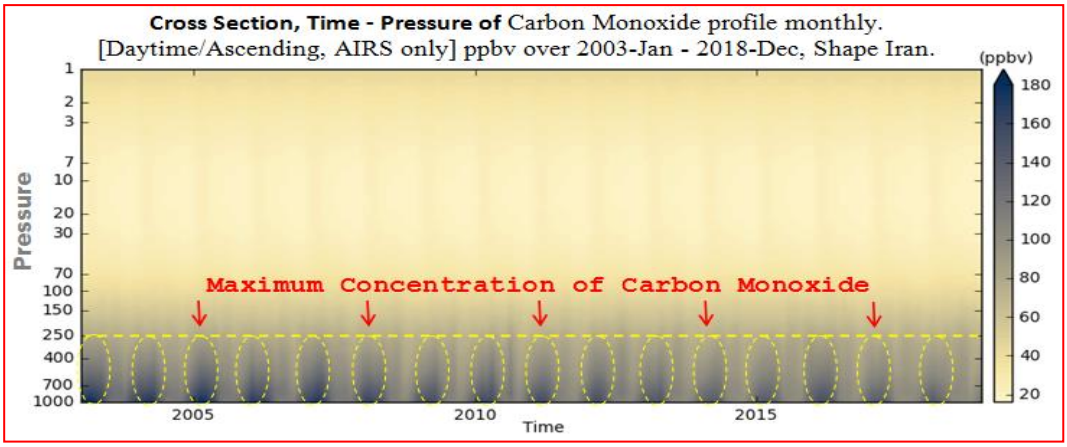


شکل ۱۰: نمایه‌ی قائم توزیع مونوکسید کربن در امتداد عرض جغرافیایی بر فراز ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)

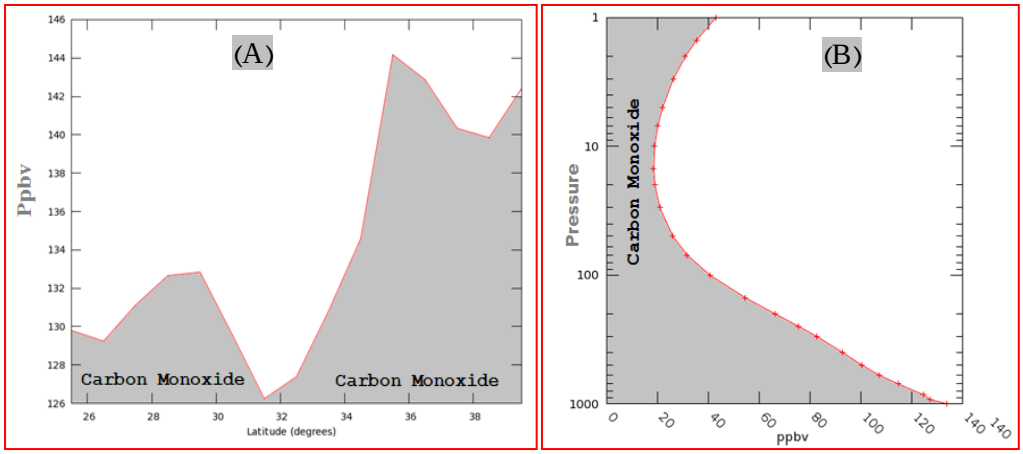
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]



شکل ۱۱: نمایه‌ی قائم توزیع مونوکسید کربن در امتداد طول جغرافیایی بر فراز ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)



شکل ۱۲: نمایه‌ی قائم سری زمانی توزیع مونوکسید کربن بر فراز ایران (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)



شکل ۱۳: میانگین مداری توزیع مونوکسید کربن بر فراز ایران (A) و پروفیل قائم توزیع مونوکسید کربن در امتداد تراز عمودی ارتفاع ژئوپتانسیل بر فراز ایران(B) ـ طی دوره آماری (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی پراکندگی مکانی - زمانی گاز مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی ابرطیفی AIRS مستقر بر روی ماهواره Aqua که به صورت تخصصی برای آشکارسازی تغییرات مونوکسیدکربن اتمسفری طراحی گردیده پرداخته شده‌است. نتایج حاصله به خوبی تصویر روشنی از وضعیت پراکندگی گاز مونوکسیدکربن را در راستای افقی و قائم اتمسفر ایران نشان داده‌است. براساس نتایج به دست آمده از داده‌های ماهانه‌ی مونوکسیدکربن جمع‌آوری شده مربوط به دوره‌ی آماری (۲۰۱۸ – ۲۰۰۳) که در یک فضای سه بعدی و ناحیه‌ای به وسعت محدوده‌ی جغرافیایی کشور ایران به انجام رسیده‌است، میانگین مونوکسیدکربن سطحی از بیش از ۱۵۰ppbبر فراز کلانشهر تهران و سواحل شمال ایران تا به کمتر از ۱۱۵ ppbبر روی ارتفاعات زاگرس متغیر می‌باشد. در این دوره‌ی آماری میانگین مونوکسیدکربن سطحی در اتمسفر ایران ۱۳۶ ppb (۴ ppb کمتر از میانگین جهانی مونوکسیدکربن)، بیشینه‌ی مونوکسیدکربن کلی ستونی ۵۲۰ ppb و کمینه‌ی آن ۶۶ ppb بوده‌است. از دیگر نتایج به دست‌آمده می‌توان به تفاوتهای چشمگیر در میان میانگین ماهانه‌ی مونوکسیدکربن در تروپوسفر سطحی ایران اشاره‌کرد به طوری که در میان ماههای دوازده گانه، بیشترین میزان مونوکسیدکربن در ماههای سرد سال و کمترین میزان آن به ترتیب در ماههای گرم سال مشاهده شده‌است. به لحاظ فصلی نیز بیشترین میزان مونوکسیدکربن فصلی در فصل زمستان و کمترین میزان فصلی آن در فصل تابستان اتفاق افتاده‌است. داده‌های حاصل از پروفیل‌های قائم (نمایه‌ی قائم) تغییرات مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران در راستای طول و عرض جغرافیایی، نشان دهنده‌ی حداکثر تراکم مونوکسیدکربن در ترازهای پایینی جو می‌باشد به طوری که حداکثر میزان مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران در ترازهای تحتانی متمرکز شده و به ندرت از تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال به بالاتر فراتر می‌رود. ولی به طور مشخص بیشترین چگالی گاز مونوکسیدکربن از تراز سطحی تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشهود می‌باشد. لایه‌ی مذکور تشکیل دهنده‌ی تروپوسفر تحتانی می‌باشد که به شدت از خصوصیات فیزیکی سطح زمین و لایه‌ی مرزی سیاره‌ای تأثیر می‌پذیرد. همچنین نتایج حاصله بیانگر کاهشی بودن روند میزان گاز آلاینده‌ی مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران بوده‌است به‌طوری که در سالهای آخر دوره‌ی آماری در مقایسه با سالهای آغازین دوره‌ی آماری، حدود ۳۰ درصد از میزان مونوکسیدکربن در اتمسفر ایران کاهش یافته‌است.

منابع

Ait El Cadi, M.; Y. Khabbal, and L. Idrissi .۲۰۰۹. Carbon monoxide poisoning in Morocco during ۱۹۹۹-۲۰۰۷. *J Forensic Leg Med*. ۱۶: ۳۸۵-۳۸۷.

Arellano Jr, A. F.; K. Raeder, J. L. Anderson, P. G. Hess, L. K. Emmons, D. P. Edwards, G. G. Pfister, T. L. Campos, and G. W. Sachse .۲۰۰۷. Evaluating model performance of an ensemble based chemical data assimilation system during INTEX-B fieldmission, *Atmos. Chem. Phys*, ۷: ٥٦٩٥_٥٧١٠. **DOI**:۱۰,٥۱۹٤/acp-۷-٥٦٩٥-۲۰۰۷.

Aumann, H.; D. Gregorich, S. Gaiser, and M. Chahine.۲۰۰٥. AIRS hyper-spectral measurements for climate research: Carbon dioxide and nitrous oxide effects, Geophys. Res. Lett, **۳۲**: L۰٥۸۰٦. **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/ ۲۰۰٤GL۰۲۱۷۸٤.

Bascom, R. ۱۹۹٦. Health effects of outdoor air pollution (Part ۲). *American journal of respiratory and critical care medicine*, **۱٥۳:** ٤۷۷–٤۹۸. DOI: org/۱۰,۱۱٦٤/ajrccm.۱٥۳,۲,۸٥٦٤۰۸٦.

Bowman, K.; W. Rodgers, C. D. Kulawik, S. S. Worden, J. Sarkissian, E. Osterman, G. Steck, T. Luo, M. Eldering, A. Shephard, M. Worden, H. Lampel, M. Clough, S. Brown, P. Rinsland, C. Gunson, M. and R.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

Beer.۲۰۰٦. Tropospheric Emission Spectrometer: Retrieval method and error analysis, IEEE T. *Geosci. Remote*, **٤٤**: ۱۲۹۷–۱۳۰۷. **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/TGRS.۲۰۰٦,۸۷۱۲۳٤.

Cullis, C.F.; M. Man's.۱۹۸۹. emissions of carbon monoxide and hydrocarbons into the atmosphere. *Atmospheric environment*, **۲۳:**۱۱۹۵–۱۲۰۳.

De Souza, S. G.; L.Strow, B. Imbiriba, K. McCann, R. Hoff, M. Hannon and O. Torres.۲۰۱۰. Infrared retrievals of dust using AIRS: Comparisons of optical depths and heights derived for a North African dust storm to other collocated EOS ATrain and surface observations, *J. Geophys. Res*, ۱۱۵: D۱۵۲۰۱. **DOI**: org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۹JD۰۱۲۸٤۲.

Deeter, M.; D. Edwards, J. Gille, and J. Drummond. ۲۰۰۷. Sensitivity of MOPITT observations to carbon monoxide in the lower troposphere, *J. Geophys. Res*, **۱۱۲**: D۲٤۳۰٦. **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۷JD۰۰۸۹۲۹.

DeSouzaS, L.; A.Strow, X.Tangborn, X. Huang, X. Liu and Q. Yang. ۲۰۱۸. inglefootprint retrievals for AIRS using a fast TwoSlab cloudrepresentationmodel and the SARTA all-sky infrared radiative transfer algorithm, *Atmos. Meas. Tech*, **۱۱:** ۵۲۹–۵۵۰, **DOI**:org/۱۰,۵۱۹٤/amt-۱۱-۵۲۹.

Di Maio, V.J.; D. Di Maio. ۲۰۰۱. *Forensic pathology. Boca Raton, London, New York, Washington*: CRC Press.

Ernst, A.; J.Zibrak.۱۹۹۹. *Carbon monoxide poisoning*. *N Engl J Med* ,۳٤۰:۱۲۹۰ .

Flachsbart, P.G. ۱۹۹۵. Long-term trends in United States highway emissions, ambient concentrations, and in-vehicle exposure to carbon monoxide in traffic, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **۵**:٤۷۳-٤۹۵.

Guerova, G.; I.Bey, J.Attié, R. V.Martin, J.Cui and M.Sprenger.۲۰۰٦. Impact of transatlantic transport episodes on summertime ozone in Europe, *Atmos. Chem. Phys*, **٦:** ۲۰۵۷–۲۰۷۲. **DOI**:۱۰,۵۱۹٤/acp-٦-۲۰۵۷-۲۰۰٦.

Homer, C.D.; DA. Engelhart.۲۰۰۵. Carbonmonoxide – related deaths in a Metropoloten County in the USA: an ۱۱-year study. *Forensic Sci Int* ۲۰۰۵, **۱٤۹**:۱۵۹–٦۵.

Irion, F.W.; B.H.Kahn, M.M.chreier, E.J.Fetzer, E.Fishbein, D.Fu, P.Kalmus, R.C.Wilson, S.Wong and Q.Yue. ۲۰۱۸. Singlefootprint retrievals of temperature, water vapor and cloud properties from AIRS, *Atmos. Meas. Tech*, **۱۱**: ۹۷۱-۹۹۵.

Kanakidou, M.; and P. J. Crutzen.۱۹۹۹. The photochemical source of carbon monoxide: Importance, uncertainties, and feedbacks, *Chemosphere Global Change Sci*, **۱:** ۹۱–۱۰۹. **DOI**:۱۰,۱۰۱٦/S۱٤٦۵-۹۹۷۲(۹۹)۰۰۰۲۲-۷.

Kopacz, M.; D.Jacob, J. A.Fisher, J. A.Logan, L.Zhang, I. A.Megretskaia, R. M.Yantosca, K.Singh, D. K. Henze, J. P.Burrows and P.Nedelec.۲۰۱۰. Global estimates of CO sources with high resolution by adjoint inversion of multiple satellite datasets (MOPITT, AIRS, SCIAMACHY, TES*), Atmos. Chem. Phys*, **۱۰**: ۸۵۵–۸۷٦. **DOI**:۱۰,۵۱۹٤/acp-۱۰-۸۵۵-۲۰۱۰.

Li, L.; A. Hsu, PK. Moore. ۲۰۰۹. Actions and interactions of nitric oxide, carbon monoxide and hydrogen sulphide in the cardiovascular system and in inflammationa tale of three gases!. *Pharmacology & Therapeutics*. **۱۲۳**: ۳۸٦–٤۰۰. **DOI**:۱۰,۱۰۱٦/j.pharmthera.۲۰۰۹,۰۵,۰۰۵. PMID ۱۹٤۸٦۹۱۲

Maddy, E. S, and C. D. Barnet. ۲۰۰۸. Vertical resolution estimates in version ۵ of AIRS operational retrievals, IEEE Trans. *Geosci and Remote Sensing*, ۸: AUGUST ۲۰۰۸.

Maddy, E. S.; S. G.DeSouza-Machado, N. R. Nalli, C. D.Barnet, L.Strow, W.Wolf, H.Xie, and P.Schou.۲۰۱۲. On the effect of dust aerosols on AIRS and IASI operational level ۲ products, Geophys. *Res. Lett*, ۳۹: L۱۰۸۰۹. **DOI**: org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۲GL۰۵۲۰۷۰.

Martinie, R.J.; J.Bultema, N.Vander Wal, B.J.Burkhart, D.A.Vander, and L. Roger. ۲۰۱۱. Bond Order and Chemical Properties of BF, CO, and N۲. *Journal of Chemical Education*. ۸۸ : ۱۰۹٤–۱۰۹۷. **DOI**:۱۰,۱۰۲۱/ed۱۰۰۷۵۸t. ISSN ۰۰۲۱-۹۵۸٤.

McMillan, W. W.; J. X. Warner, M.McCourt Comer, E.Maddy, A.Chu, L.Sparling, E.Eloranta, and W.Wolf. ۲۰۰۸. AIRS views transport from ۱۲ to ۲۲ July ۲۰۰٤ Alaskan/Canadian fires: Correlation of AIRS CO and MODIS AOD with forward trajectories and comparison of AIRS CO retrievals with DC-۸ in situ measurements during INTEX-A/ICARTT, *J. Geophys. Res*, **۱۱۳**: D۲۰۳۰۱.**DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۷JD۰۰۹۷۱۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

McMillan,W.W.; K.Evans, C.Barnet, E.Maddy, G.Sachse, and G.Diskin. ۲۰۱۰. AIRS Version ۵ CO retrieval: Algorithm description and validation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **٤٩**: ۲۸۰۲ - ۲۸۱۳ . **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/TGRS.۲۰۱۱,۲۱۰٦۵۰۵.

Myhre, G.; D. Shindell, F. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J. Lamarque, D. Lee, and B. Mendoza. ۲۰۱۳. *Anthropogenic and natural radiative forcing, in Climate change*. The Physical Science Basis. Pp: ٦۵۸–۷٤۰, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., and New York.

Penney, D.G. ۲۰۰۰. *Carbon Monoxide Toxicity*, CRC Press, p. ۵, ISBN ۰-۸٤۹۳-۲۰٦۵-۸.

Pfister, G.; P. G. Hess, L.Emmons, J.Lamarque, C.Wiedinmyer, D.Edwards, G.Pétron, J.Gille and G.Sachse.۲۰۰۵. Quantifying CO emissions from the ۲۰۰٤ Alaskan wildfires using MOPITT CO data. *Geophys Res Lett*, **۳۲**: ۲۵ -۳٦. **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۵GL۰۲۲۹۹۵.

Popovic , V.M.; T.C. Atanasijevic, S.D Nikolic, J.R. Micic. ۲۰۰۹. *Concentration of carbon-monoxide in carbonized bodies – Forensic aspects. Legal Medicine* ,۱۱:S۳۱۸–S۳۲۰. DOI.org/۱۰,۱۰۱٦/j.legalmed.۲۰۰۹,۰۱,۰٤۵.

Raub, J.; M. Nolf and N. Hampson. ۲۰۰۰. Carbon monoxide poisoning--a public health perspective. *Journal of Toxicology*, **۱٤۵**: ۱-۱٤.

Richard, P. ۲۰۱۲. *Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens* (۲ ed.). Elsevier. p. ۵۷۲. ISBN ۹۷۸-۱-٤۳۷۷-۷۸٦۹-٤. Retrieved ۵ September ۲۰۱۵.

Rsser, D.; B.Schneider. ۱۹۹۵. Carbon monoxide-related deaths from ۱۹۸٤ to ۱۹۹۳ in Vienna, Austria. *J Forensic Sci*, **٤۰**:۳٦۸–۷۱.

Rudolf, W.۱۹۹٤. *Concentration of air pollutants inside cars driving on highways and in downtown areas*. The science of the total environment, **۱٤٦/۱٤۷**: ٤۳۳–٤٤٤ .

Shahbazi, H.; M.Reyhanian, V.Hosseini, H.Afshin. ۲۰۱٦. The Relative Contributions of Mobile Sources to Air Pollutant Emissions in Tehran, Iran an Emission Inventory Approach." *Emission Control Science and Technology*, **۱**: ٤٤-۵٦.

Sun, Wong.; E. J. Fetzer , M. Schreier , G. Manipon, E. F. Fishbein , B.H. Kahn, Q.Yue ,F. W. Irion. ۲۰۱۵. Cloud-induced ncertainties in AIRS and ECMWF temperature and specific humidity, J. *Geophys. Res. Atmos*, **۱۲۰**: ۱۸۸۰–۱۹۰۱. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۲/۲۰۱٤JD۰۲۲٤٤۰.

Susskind, J.; J. M.Blaisdell, L.Iredell, and F.Keita.۲۰۱۰. Improved temperature sounding and quality control methodology using AIRS/AMSU data: the AIRS Science Team Version ۵ retrieval algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **٤۹:** ۸۸۳ – ۹۰۷.**DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/TGRS.۲۰۱۰,۲۰۷۰۵۰۸.

Theilade, P. ۱۹۹۰. Carbon Monoxide Poisoning: Five Years' Experience in a Defined concentrations, and in-vehicle exposure to carbon monoxide in traffic. American. *Journal of Forensic Medicine and Pathology*, **۱۱**: ۲۱۹–۲۲۵.

Tikuisis, P.; D.M. Kane, T.M. McLellan, F. Buick, S.M. Fairburn. ۱۹۹۲. Rate of formation of carboxyhemoglobin in exercising humans exposed to carbon monoxide. *Journal of Applied Physiology*: ۱۳۱۱–۹. **DOI**:۱۰,۱۱۵۲/jappl.۱۹۹۲,۷۲,٤,۱۳۱۱. PMID ۱۵۹۲۷۲۰.

Verschueren, K. ۲۰۰۱. *Handbook of environmental data on organic chemicals*, ٤th ed. New York, NY, John Wiley & Sons.

Waring, R.H.; G.B. Steventon, S.C.Mitchell. ۲۰۰۷. *Molecules of death. Imperial College Press*. p. ۳۸. ISBN ۹۷۸-۱-۸٦۰۹٤-۸۱٤-۵.

Warner, J.; M.McCourt Comer, C. D. Barnet, W. W.McMillan, W.Wolf, E.Maddy and G. Sachse.۲۰۰۸. A comparison of satellitetropospheric carbon monoxide measurements from AIRS and MOPITT during INTEX-A. J. *Geophys. Res*, **۱۱۲**: D۱۲S۱۷, **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰٦JD۰۰۷۹۲۵.

Wong, S.; E. J. Fetzer, M. Schreier,G. Manipon, E. F. Fishbein, B. H. Kahn,Q. Yue, and F. W. Irion. ۲۰۱۵. Cloud-induced uncertainties in AIRS and ECMWF temperature and specific humidity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **۱۲۰**: ۱۸۸۰-۱۹۰۱.

Worden, H. M. ۲۰۱۳. Decadal record of satellite carbon monoxide observations, Atmos. *j. Chem. Phys*. **DOI**:۱۰,۵۱۹٤/acp-۱۳-۸۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]

Yue, Q .۲۰۱۳. Transitions of cloud-topped marine boundary layers characterized by AIRS, MODIS, and a large eddy simulation model. *J. Geophys. Res*, ۱۱۸: ۸۵۹۸-۸۶۱۱. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۲/jgrd.۵۰۶۷۶.

Yue, Q.; B. H. Kahn, M. Schreier, H. Xiao, E. J. Fetzer, J. Teixeira, and K. uselj. ۲۰۱۳. Transitions of cloud-topped marine boundary layers layers characterized by AIRS, MODIS, and a large eddy simulation model. *J. Geophys. Res. Atmos*, ۱۱۸: ۸۵۹۸–۸۶۱۱. **DOI**:۱۰,۱۰۰۲/jgrd.۵۰۶۷۶.

Yurganov, L. N.; W. W.McMillan, A. V. Dzhola, E. I.Grechko, N. B.Johnes, and G. R.vanderwerf. ۲۰۰۸. Global AIRS and MOPITT CO measurements: Validation, comparison, and links to biomass burning variations and carbon cycle. *J. Geophys. Res*, ۱۱۳: D۰۹۳۰۱. **DOI**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۷JD۰۰۹۲۲۹.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.137]