تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان در ارتباط با متغیرهای محیطی در ایران

سید محسن موسوی[۱]، سامره فلاحتکار[۱*] و منوچهر فرج‌زاده[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶)

چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به‌دلیل افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای باعث به‌وجود آمدن نگرانی‌های گسترده‌ای در جوامع ملی و بین‌المللی شده‌اند. دی‌اکسید کربن و متان به‌عنوان مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بوده که مسئول بیش از ۸۰ درصد گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT، محصولات MOD13Q1 و MOD11C3 ماهواره مودیس و پارامترهای اقلیمی سازمان هواشناسی با استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره به دو شیوه هم‌زمان و گام به گام به بررسی ارتباط غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای NDVI، LST، دما، رطوبت و ارتفاع در سطح ایران پرداخته شد. مطابق با نتایج، ارتباط منفی بین گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای NDVI، HUM، HIG و ارتباط مثبت با متغیرهای LST و TEM در فصول مختلف سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. این روابط بیان می‌کنند که با افزایش رطوبت، ارتفاع و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی و کاهش دمای هوا غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان جو کاهش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج، پوشش گیاهی در فصل بهار مهم‌ترین عامل در تغییرات گاز دی‌اکسید کربن و متان است در صورتی که در سایر فصول سال پارامترهای اقلیمی نقش پررنگ‌تری در ارتباط با این گازها نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دی‌اکسید کربن متان GOSAT، مشاهدات ماهواره‌ای

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. گروه سنجش از دور، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]

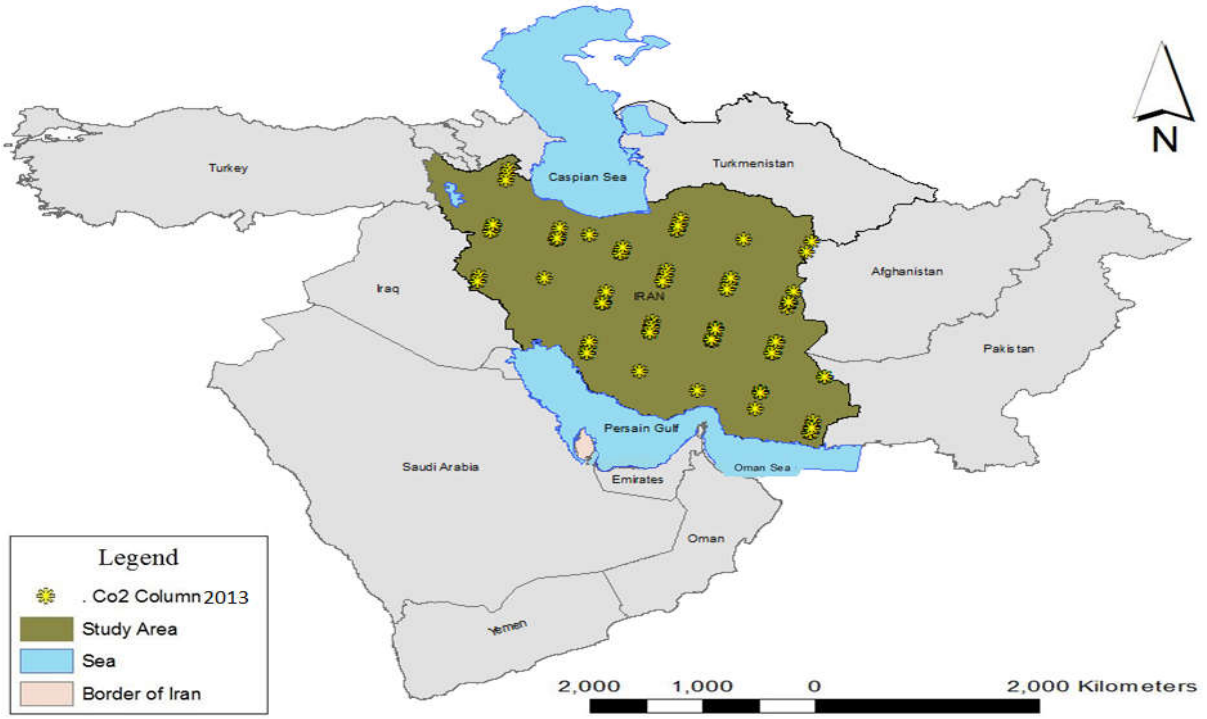
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]

[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به‌دلیل افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای باعث به‌وجود آمدن نگرانی‌های گسترده‌ای در جوامع ملی و بین المللی شده‌اند (۱۱ و ۱۳). به‌طوری که انتشار گازهای گلخانه‌ای به یکی از کانون‌های مورد توجه کارشناسان محیط زیست تبدیل شده است (۶). دی‌اکسید کربن (CO_2) و دیگر گازهای گلخانه‌ای از جملهٔ متان (CH_4)، نیتروز اکسید (N_2O)، هیدروفلوروکربن‌ها (HFC_S)، پرفلوروکربن‌ها (PFC_S) و سولفورهگزا فلورید (SF_6) مواردی هستند که انتشارشان تحت نظارت قوانین پروتکل کیوتو قرار گرفته است (۲۵ و ۲۶). از میان گازهای مذکور، دی‌اکسید کربن و متان به‌عنوان مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بوده که مسئول بیش از ۸۰ درصد گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند (۲۲). تغییر مقدار دی‌اکسید کربن اتمسفر از ppm ۲۸۰ به ppm ۳۸۹ و تغییر میزان متان از ppb ۷۰۰ به ppb ۱۸۰۸ بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۰ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ افزایش ۳۹ درصدی دی‌اکسید کربن و ۱۵۸ درصدی متان از دوران صنعتی شدن تا به‌حال بوده است (۱۵). مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی از مهم‌ترین منابع افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر و تالاب ها، کشاورزی و سوخت‌های فسیلی از مهم‌ترین منابع انتشار متان در صد سال گذشته هستند (۳۰). پایگاه‌های زمینی، هواپیماها، کشتی‌ها، برج‌های بلند، بالن‌ها و ماهواره‌ها از جملهٔ روش‌های اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای هستند (۲۰). در میان روش‌های مذکور ماهواره به‌دلیل پایش‌های مداوم و پوشش جهانی به‌عنوان بهترین روش اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای معرفی شده است (۲۳). درخصوص اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای توسط ماهواره، می‌توان به سنجنده‌های AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)، OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory)، SCIAMACHY (Scanning Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) و GOSAT (Greenhouse Gas Observatory Satellite) اشاره کرد. در حال حاضر GOSAT به‌عنوان تنها ماهوارهٔ پایشگر گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان با دقت اندازه‌گیری کمتر از ۱ درصد معرفی شده است (۱۴ و ۴۰). با توجه به جدید بودن علم پایش گازهای گخانه‌ای توسط ماهواره و در اختیار قرار گرفتن داده‌های آن تا به‌حال مطالعات کاربردی زیادی در این زمینه انجام نشده که در اینجا به مواردی از آنها اشاره می‌شود: پراساد و همکاران (۳۰) با استفاده از داده‌های ماهواره‌های GOSAT و ENVISAT تنوع زمانی و مکانی میانگین غلظت ستون‌های دی‌اکسید کربن و متان را در سراسر هندوستان اندازه‌گیری کردند. شیم و همکاران (۳۱) با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT به بررسی تغییرات گاز دی‌اکسید کربن در کشورهای چین، کره و ژاپن پرداختند. در تحقیقی دیگر، گو و همکاران (۱۵) غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان را با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT در چین و مغولستان اندازه‌گیری کرده و همچنین ارتباط این گازها را با متغیرهای NDVI و LST در منطقه مورد مطالعه خود مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه‌ای دیگر که در چین صورت گرفت، ژاو و همکاران (۴۲) با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT و با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به تولید نقشه‌های فصلی دی‌اکسید کربن از مارس ۲۰۱۰ تا فوریه ۲۰۱۱ در منطقه مورد مطالعه خود پرداختند. وتناب و همکاران (۳۷) در تحقیقی به‌منظور فهم بهتر درخصوص غلظت گازهای گلخانه‌ای، به تهیه نقشه توزیع مکانی گازهای گلخانه‌ای با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT پرداختند آنها در مطالعهٔ خود با توجه به گپ‌ها و عدم هم‌پوشانی‌هایی که در داده‌های سطح ۲ این ماهواره وجود دارد برای تهیهٔ نقشه جهانی گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده کردند. در مورد مطالعاتی که در داخل کشور صورت گرفته می‌توان به تحقیق موسوی و همکاران (۲۷) که با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT تغییرات ماهانه و فصلی گاز دی‌اکسید کربن را مورد بررسی قرار داده و ارتباط این گاز را

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و موقعیت ستون‌های دی‌اکسید کربن و متان

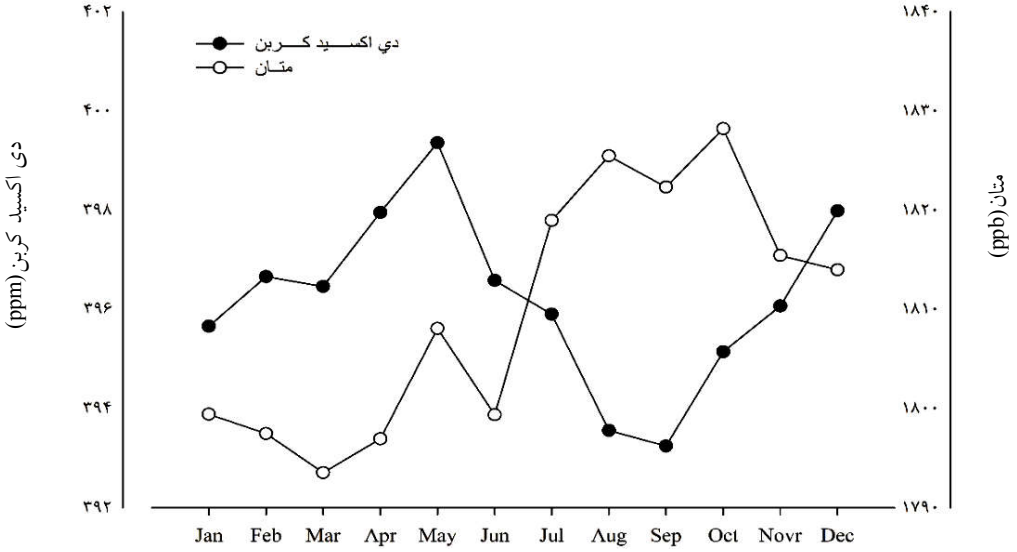
با پارامترهای محیطی در ایران سنجیدند اشاره کرد. فلاحتکار و همکاران (۱۱) با استفاده از ماهواره GOSAT به تهیه نقشه توزیع مکانی گاز دی‌اکسید کربن ایران و تحلیل پراکنش این گازها در کشور پرداختند. در مطالعه دیگر موسوی و همکاران (۵) با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT و داده‌های ماهواره مودیس به بررسی نوسانات ماهانه و فصلی گاز گلخانه‌ای متان در ایران پرداخته‌اند. با توجه به عدم وجود پایگاه‌های زمینی پایشگر گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و متان در کشور و قرارگیری ایران در بین ۱۰ کشور پیشرو انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای، ضرورت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای گوست به منظور تحلیل ارتباط بین این دو گاز و پارامترهای محیطی جهت پی بردن به منابع احتمالی انتشار و جذب کربن و برنامه‌ریزی در سیاست‌های کلان اقلیمی و اقدامات محیط زیستی احساس می‌شود. از این‌رو مطالعه حاضر به منظور بررسی ارتباط بین گازهای دی‌اکسیدکربن و متان با مؤلفه‌های پوشش اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران کشوری است در غرب آسیا و مرکز خاورمیانه که بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ شمالی و طول‌های ۴۴ تا ۶۴ درجهٔ شرقی واقع شده است (شکل ۱). ایران دارای مساحت تقریبی ۱۶۵ میلیون هکتار بوده، به‌طوری که شامل ۹۰ میلیون هکتار (۵۴/۶ درصد) مرتع، ۳۴ میلیون هکتار (۲۰/۶ درصد) بیابان، ۱۲/۴ میلیون هکتار (۷/۵ درصد) جنگل، ۱۸/۵ میلیون هکتار (۱۱/۲ درصد) زمین‌های کشاورزی، ۱۰/۱ میلیون هکتار (۶/۴ درصد) مناطق مسکونی، ساختارهای زیربنایی و توده‌های آبی است (۱۲). طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۷۵ میلیون و ۱۴۹ هزار نفر و با نرخ رشد ۱/۳ است که طی ۳۵ سال گذشته جمعیت آن تقریباً دو برابر شده است. میانگین بارندگی و ارتفاع ایران به‌ترتیب ۲۳۹/۱۹ میلی‌متر و ۱۲۰۰ متر بالای سطح دریا است (۲). ایران به‌ترتیب با سهم

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]



شکل ۲. بررسی تغییرات ماهانه دی‌اکسید کربن و متان سال ۲۰۱۳ در ایران

۱۸/۲ و ۹/۳ درصدی ذخایر گازی و نفتی جهان، بزرگ‌ترین دارنده گاز و چهارمین منبع نفتی جهان است (۷).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT به‌منظور استخراج غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان

ماهوارهٔ GOSAT ماهواره‌ای ژاپنی است که در ۲۳ ژانویه ۲۰۰۹ در جزیرهٔ تانگاشیما ژاپن به فضا پرتاب شد (۳۹). این ماهواره پروژهٔ مشترک وزارت محیط زیست، انجمن ملی مطالعات محیط زیست و آژانس اکتشافات فضایی ژاپن است. این ماهواره در ارتفاع ۶۶۶ کیلومتری سطح زمین قرار گرفته و هر بار گردش خود را تقریباً در ۱۰۰ دقیقه کامل کرده و زمان محلی گردش آن ۱۲:۴۸ دقیقه است (۴۰). این ماهواره خورشید آهنگ بوده و زاویهٔ انحراف ۹۸ درجه است. قدرت تفکیک طیفی آن ۰/۲ بر سانتی‌متر و تفکیک مکانی ۱۰/۵ کیلومتر است (۳۶). ماهواره GOSAT اندازه‌گیری‌های خود را در نواحی SWIR (Short Wave Infra-Red) انجام داده و هر سه روز یک بار تمام اندازه‌گیری‌های خود را کامل می‌کند. این ماهواره دارای دقت اندازه‌گیری کمتر از ۱ درصد است (۳۶).

اندازه‌گیری‌های گازهای گلخانه‌ای توسط ماهواره GOSAT به‌وسیلهٔ دو سنجنده TANSO-FTS و TANSO-CAI انجام می شود. اندازه‌گیری‌های دی‌اکسید کربن و متان در اتمسفر به صورتی است که مولکول‌های این دوگاز در اتمسفر اشعه‌هایی را با طول موج خاصی جذب می‌کنند، ماهواره GOSAT با اتکا به این فرایند مقادیر این دو گاز را از سطح زمین تا بالای جو اندازه‌گیری می‌کند (۲۹). از آنجایی که این ماهواره هر سه روز یک‌بار کل کره زمین را پایش می‌کند، مشاهدات فراوانی در این خصوص وجود دارد، اما تنها کمتر از ۱۰ درصد این مشاهدات به دلیل وجود ابر و آئروسل موجود در جو قابل استفاده هستند (۲۶). انجمن ملی مطالعات محیط زیست ژاپن مسئول اعتبارسنجی و توسعهٔ الگوریتم‌هایی برای بازیابی میانگین ستون‌های دی‌اکسید کربن و متان از داده‌های سطح ۱ است. بعد از اعتبارسنجی‌های انجام شده توسط پایگاه‌های زمینی و یا به‌وسیلهٔ هواپیما داده‌های سطح ۲ تولید می‌شوند (۲۵). دقت مشاهدات فراوانی ستون‌های بازیابی شده برای GOSAT در بیشتر موارد کمتر از یک درصد است (۴۰). در این مطالعه با توجه به هدف تحقیق از داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT برای سال ۲۰۱۳ استفاده شد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

محصولات ماهواره MODIS به‌منظور پایش پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

سنجندهٔ MODIS یکی از قابل اعتمادترین منبع داده‌ها در مقیاس قاره‌ای است که بر ماهواره‌های Terra و Aqua نصب شده است (۴۱). این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی است که در محدودهٔ طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر به جمع آوری داده‌ها می پردازد و در طول دو تا سه روز کل سطح زمین را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد. پوشش جهانی، قدرت تفکیک طیفی بالا و کالیبراسیون دقیق در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی از نقاط قوت این سنجنده است (۱۷). در حالی که بیش از ده نوع شاخص از این سنجنده قابل استخراج است، در این مطالعه محصولات MOD13Q1 و MOD11C3 مورد استفاده قرار گرفت، که به ترتیب معرف شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI: Normalized difference vegetation index) و دمای سطح زمین (LST: Land surface temperature) هستند. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه وسیع بوده و در بلوک‌های مختلفی قرار داشته لذا پس از دانلود این محصولات از سایت زمین گشت (Earth Explorer) با استفاده از روش موزاییک‌کردن، داده‌ها در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۳در کنار هم قرار گرفتند و در ادامه با استفاده از روش bilinear یکسان‌سازی داده‌های مورد مطالعه انجام شد. با توجه به ۱۶ روزه بودن داده‌های NDVI، بعد از تبدیل این داده‌ها به داده‌های ماهانه با استفاده از روش ترکیب مقادیر حداکثر(Maximum Value Composite) بیشترین ارزش پیکسل هر ماه برای تهیه نقشه‌های فصلی درنظر گرفته شد (۱۹). این روش سبب کاهش قابل توجه اثرات اتمسفری، اثر زاویه اسکن، ابرناکی و اثر زاویه زنیت خورشیدی می‌شود (۲۴). با توجه به ماهانه بودن محصول LST برای تبدیل این محصول به داده‌های فصلی از روش میانگین‌گیری استفاده شد.

داده‌های هواشناسی

پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد (داده‌های ۱۷۱ ایستگاه سینوپتیک) شامل میانگین دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)، میانگین رطوبت نسبی روزانه درصد سال ۲۰۱۳ هستند. از آنجایی که داده‌های این سازمان داده‌های روزانه بوده لذا با استفاده از این داده‌ها ابتدا به تهیهٔ میانگین ماهانه و سپس میانگین فصلی این داده‌ها پرداخته شد. در پایان با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی و با استفاده از نرم‌افزار GS^+ تهیه نقشه‌های توزیع مکانی این دو متغیر برای فصول مختلف سال ۲۰۱۳ ایران پرداخته شد.

مدل روش رگرسیون خطی

این مدل به‌عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی، با استفاده از ضرایب همبستگی به یافتن رابطه بین دو یا چند متغیر پرداخته و بر این اساس این روابط را تحلیل می‌کند (۱). متغیری که تغییرات آن تابع تغییرات سایر متغیرها است را متغیر وابسته یا پاسخ و سایر متغیرها را متغیر مستقل می‌نامند (۴). روش‌های مورد استفاده ورود متغیرها در رگرسیون خطی که مورد استفاده قرار گرفت شامل:

روش رگرسیون هم‌زمان (Enter)

در روش رگرسیون هم‌زمان کلیهٔ متغیرهای جمع‌آوری شده وارد مدل می‌شوند و مدل براساس کلیهٔ متغیرهای مورد توجه محاسبه می‌شود. در این روش ممکن است تعدادی از متغیرها در مدل آورده شوند که حضور آنها معنی‌دار نباشد، به همین جهت مقدار R^2 در این روش به‌شدت کاهش می یابد (۳).

روش رگرسیون گام به گام (Stepwise)

در این روش متغیرهای مستقل از مهم‌ترین متغیر تا کم اهمیت ترین آنها به صورت مرحله‌ای وارد مدل می‌شوند. معیار میزان اهمیت متغیر در مدل را نیز مقدار سطح معنی‌داری یا آماره F متناظر با آن که در جدول‌های آزمون معنی‌داری وجود دارند،

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

تعیین می‌کند. در واقع در این روش متغیرها به ترتیب وارد معادله می‌شوند ولی با ورود هر متغیر جدید، کلیه متغیرهای موجود در معادله مورد بررسی قرار می‌گیرند، اگر هرکدام از آنها سطح معنی‌داری خود را از دست داده باشند، قبل از ورود متغیر جدید، این متغیر از معادله خارج می‌شود و در پایان عملیات، هر متغیری که سطح معنی‌داری کمتری از سطح تعیین شده داشته باشد، در معادله حضور نخواهد داشت (۳). در این مطالعه داده‌های فصلی دی‌اکسید کربن و متان به‌طور جداگانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرهای NDVI، LST، دما، رطوبت و ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

تغییرات ماهانه غلظت دی‌اکسید کربن و متان

در این مطالعه با توجه به هدف تحقیق از داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT برای سال ۲۰۱۳ استفاده شد. گازهای دی‌اکسید کربن و متان در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۳ دارای نوسان بودند به طوری که حداکثر غلظت دی‌اکسید کربن در ماه می (فصل بهار) و حداقل غلظت این گاز در ماه سپتامبر (فصل تابستان) به‌ترتیب ۳۹۹/۳۶ppm و ۳۹۳/۲۴ ppm ملاحظه شد. برای گاز متان، حداکثر غلظت این گاز در ماه اکتبر و حداقل آن در ماه مارس مشاهده شد که مقادیر آن به‌ترتیب ۱۸۲۸/۲۳ ppb و ۱۷۹۳/۵۳ ppb است. اختلاف بین حداقل غلظت و حداکثر غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان برای سال ۲۰۱۳ به‌ترتیب ۶/۱۲ ppm و ۳۴/۷ ppb است. از آنجایی که دو پدیده تنفس و فتوسنتز مهم‌ترین عوامل تبادل گاز دی‌اکسید کربن بین اتمسفر و بیوسفر در مقیاس وسیع هستند، بنابراین شدت و کاهش هر یک از آنها می‌تواند در تغییر غلظت این گاز نقش قابل توجهی داشته باشد (۳۳). وجود روند سینوسی تغییرات دی‌اکسید کربن در طول سال با استفاده از نمودار کلینگ به اثبات رسیده است که بیشترین غلظت آن در ماه می و کمترین آن در آگوست و سپتامبر است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. با آغاز فصل بهار و افزایش تدریجی درجه حرارت، تنفس ارگانیسم‌های خاک افزایش یافته در حالی که رشد پوشش گیاهی به حداکثر خود نرسیده است. بنابراین شدت تنفس در مقابل پدیده فتوسنتز در انتشار دی‌اکسید کربن قوی‌تر عمل نموده و منجر به افزایش حداکثری این گاز در فصل بهار می‌شود (۲۸).

شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح کشور بر مبنای داده‌های ماهواره مودیس

پس از موزاییک نمودن بلوک‌های محصولات NDVI وLST سایت ناسا، نقشه‌های این محصولات بعد از بریده شدن مطابق با مرز ایران، برای فصل‌های مختلف سال ۲۰۱۳ تهیه شد.

نقشه توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی دما و رطوبت

پس از دریافت داده‌های ساعتی دما و رطوبت از سازمان هواشناسی و میانگین‌گیری این داده‌ها، با استفاده از روش درون یابی کریجینگ به تهیهٔ نقشهٔ توزیع مکانی این متغیرها پرداخته شد که در شکل‌های ۳ تا ۴ نشان داده شده است.

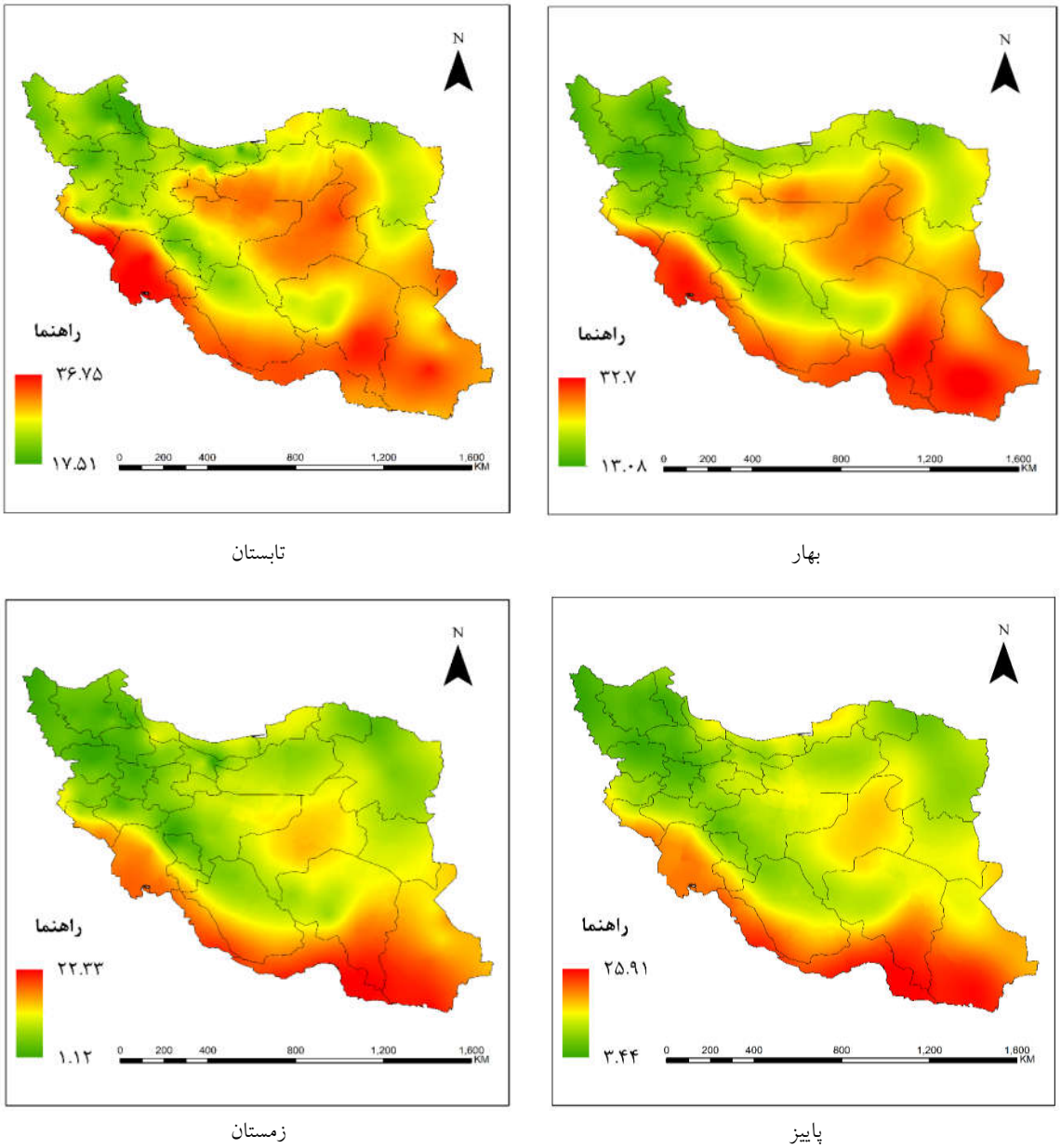
داده ارتفاعی

براساس مطالعات صورت گرفته پستی و بلندی‌های سطح زمین می‌توانند یکی از عوامل مؤثر در پراکندگی و رقیق کردن گازهای گلخانه‌ای باشند (۸ و ۹). لذا در این خصوص مدل رقومی ارتفاع (DEM: Digital elevation model) به‌دست آمده از شاتل رادارى SRTM (Shuttle Radar Topography Mission (http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/) به ابعاد پیکسل ۹۰×۹۰ متر برای سراسر ایران مورد استفاده قرار گرفت.

همبستگی بین غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای محیطی

نتایج همبستگی بین گاز دی‌اکسید کربن و متان با سایر پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده

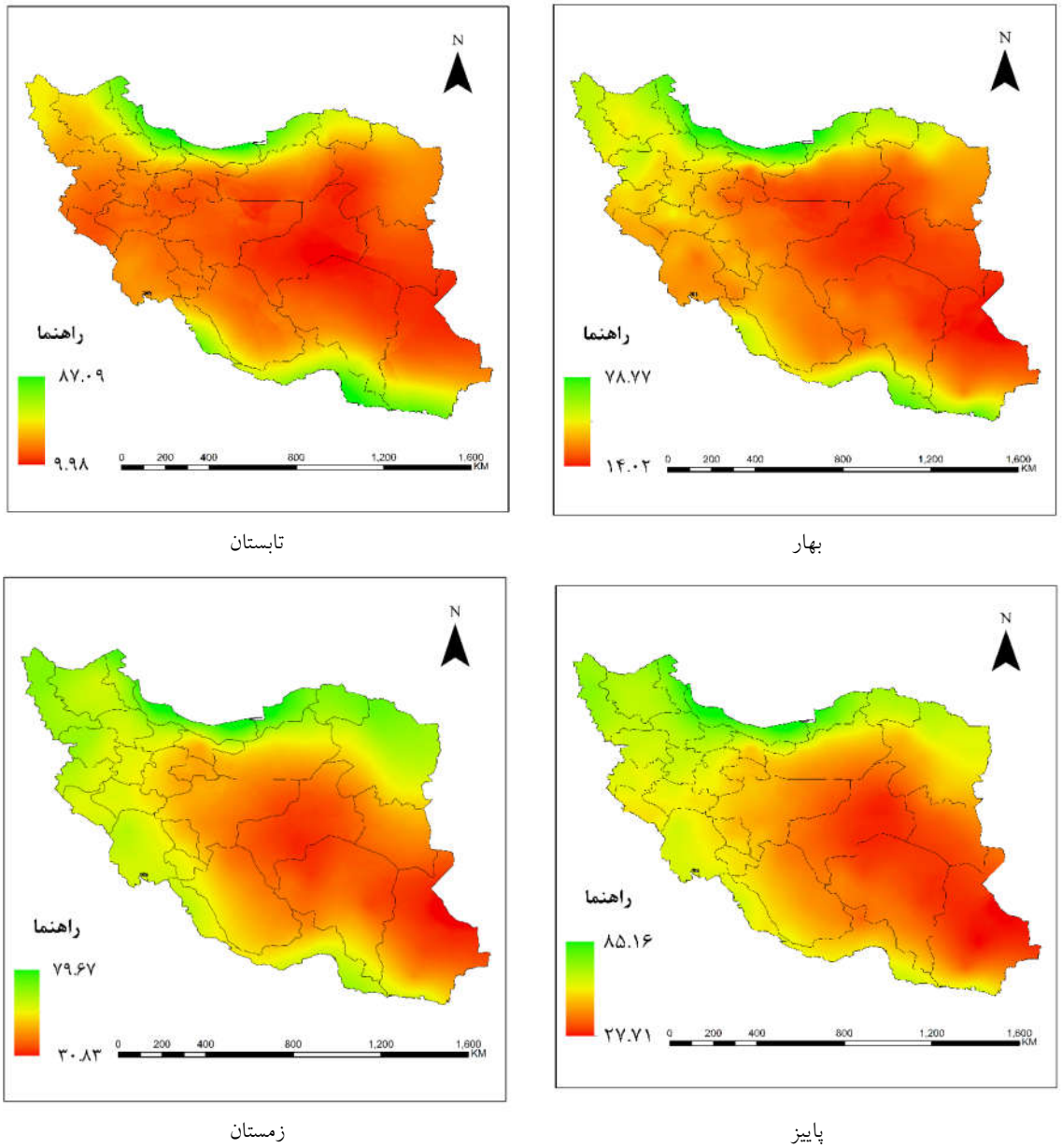
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]



شکل ۳. نقشه توزیع مکانی دما در فصل‌های مختلف سال ۲۰۱۳

شده است. براساس این نتایج ارتباط منفی بین گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای NDVI،(humidity) HUM، (Height) HIG و ارتباط مثبت با متغیرهای LST و(Temperature) TEM در فصول مختلف سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. این روابط بیان می‌کند که با افزایش رطوبت، ارتفاع و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی و کاهش دمای هوا و درجه حرارت سطح زمین غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان جو کاهش پیدا می‌کند. لازم به‌ذکر است که تعداد ستون‌های غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان ماهواره GOSAT در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]



شکل۴. نقشه توزیع مکانی درصد رطوبت در فصل‌های مختلف سال ۲۰۱۳

به‌ترتیب ۳۸، ۴۵، ۴۸ و ۴۵ ستون است. پوشش گیاهی در فصل بهار با غلظت گاز دی‌اکسید کربن همبستگی بالاتری را نسبت به سایر فصول در ایران نشان می‌دهد. با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک رابطه معنی‌داری بین غلظت گازهای گلخانه‌ای با شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی وجود ندارد. قابل ذکر است که همبستگی بالاتری بین NDVI و گاز CO_2 در مقایسه با گاز CH_4 در تمامی فصول دیده می‌شود که این امر نشان‌دهنده تأثیر بیشتر پوشش گیاهی در چرخه کربن اتمسفر از طریق فرایند فتوسنتز در جذب گاز دی‌اکسید کربن است. همبستگی منفی بین گاز متان با درصد رطوبت هوا و

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

جدول ۱. نتایج همبستگی بین پارامترهای مختلف مورد مطالعه در بهار ۲۰۱۳

فصول		NDVI	LST	HUM	TEM	HIG
بهار	CO_2	−۰/۶۹*	۰/۵۶*	−۰/۴۴	۰/۲۹	−۰/۰۳
	CH_4	−۰/۴۸*	۰/۶۰*	−۰/۲۳	۰/۳۶	−۰/۳۹
تابستان	CO_2	−۰/۱۹	۰/۲۲	−۰/۵۱*	۰/۱	−۰/۰۸
	CH_4	−۰/۰۷	۰/۲۲	−۰/۳۸*	۰/۱۶	−۰/۰۲
پاییز	CO_2	−۰/۴*	۰/۵۳*	−۰/۵۷*	۰/۴۱*	−۰/۱۱
	CH_4	−۰/۲۴	۰/۴۷*	−۰/۵۹*	۰/۴۹*	−۰/۲۹
زمستان	CO_2	۰/۴۹*	۰/۵۴*	−۰/۶۳*	۰/۴۷*	−۰/۲۶
	CH_4	−۰/۴۰*	۰/۶۳*	−۰/۵۳*	۰/۶۳*	−۰/۵۴*

* معنی داری در سطح ۹۵ درصد

جدول ۲. فاکتور هم‌خطی چندگانه (VIF) متغیرهای مورد بررسی در فصول مختلف سال ۲۰۱۳

متغیر مستقل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
NDVI	۴/۷	۱/۸۴	۱/۹۱	۲/۲۶
LST	۶/۵۸	۳/۱۳	۶/۸۲	۹/۷۸
HUM	۲/۷۸	۲/۰۱	۳/۱۹	۲/۴۸
TEM	۳/۳۹	۳/۲۵	۴/۵۲	۷/۸۹
HIG	۴/۵۳	۴/۰۳	۳/۱۲	۴/۸۱

همبستگی مثبت این گاز با درجه حرارت هوا معرف این است که غلظت این گاز در مناطق خشک و گرم بیشتر از مناطق سرد و مرطوب است. قابل ذکر است از واکنش‌های متداول گاز متان در اتمسفر واکنش آن با هیدروکسیل آزاد موجود در اتمسفر است که در شرایط گرم و خشک مقدار تشکیل آن در اتمسفر کاهش چشمگیری می‌یابد و این امر منجر به تجمع گاز متان در این مناطق می‌شود (۲۱ و ۳۵).

مدل‌سازی متغیرهای دی‌اکسید کربن و متان براساس داده‌های محیطی

در این تحقیق به منظور بررسی رابطه متغیرهای مورد بررسی در پیش‌بینی احتمالی گازهای دی‌اکسید کربن و متان از روش رگرسیون خطی چند متغیره به دو شیوه هم‌زمان و گام به گام استفاده شد. در این مدل‌سازی متغیرهای مستقل شامل NDVI، LST، دما، درصد رطوبت و ارتفاع هستند.

ضرایب ثابت و متغیر مدل رگرسیون دی‌اکسید کربن و متان و روابط مربوط به این دو گاز به روش‌های هم‌زمان و گام به گام برای فصل‌های مختلف در جدول‌های ۳ و ۴ گزارش شده است. در روش گام به گام متغیرهایی که وارد مدل شده‌اند برای پیش‌بینی گاز دی‌اکسید کربن در فصول بهار (NDVI)، تابستان (رطوبت)، پاییز (رطوبت) و زمستان (رطوبت و دما) و برای متان در فصول بهار (NDVI)، تابستان (رطوبت)، پاییز

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

جدول ۳. مدل پیش‌بینی مقادیر CO_2 و CH_4 با استفاده از روش هم‌زمان

فصل	R	R^2	مدل
بهار	۰/۷۷	۰/۵۹	$CO_2 = ۲۸۲/۲۱ - ۱۷/۰۵(NDVI) + ۳/۳(LST) + ۰/۱۱(HUM) + ۰/۱۸(TEM) + ۰/۰۰۴(HIG)$
تابستان	۰/۵۵	۰/۳۱	$CO_2 = ۳۵۰/۲۵ - ۴/۰۶(NDVI) + ۱/۵۹(LST) - ۰/۲۱(HUM) - ۰/۱۵(TEM) + ۰/۰۰۱(HIG)$
پاییز	۰/۶۴	۰/۴۱	$CO_2 = ۳۵۲/۰۵ - ۲/۸۱(NDVI) + ۱/۴۶(LST) - ۰/۰۵(HUM) + ۰/۰۶(TEM) + ۰/۰۰۱(HIG)$
زمستان	۰/۷۰	۰/۴۹	$CO_2 = ۳۸۷/۴ - ۱/۹(NDVI) + ۰/۳۲(LST) - ۰/۱۲(HUM) + ۰/۲۸(TEM) + ۰/۰۰۲(HIG)$
بهار	۰/۶۲	۰/۳۸	$CH_4 = ۱۱۳۸/۴۸ - ۹/۸۳(NDVI) + ۲۰/۲۶(LST) + ۰/۳۶(HUM) + ۰/۰۸(TEM) + ۰/۰۰۳(HIG)$
تابستان	۰/۴۲	۰/۱۸	$CH_4 = ۱۴۴۹/۰۱ + ۴۵/۱۶(NDVI) + ۱۱/۵(LST) - ۰/۷۵(HUM) + ۰/۱۶(TEM) + ۰/۰۰۵(HIG)$
پاییز	۰/۷۲۲	۰/۵۲۱	$CH_4 = ۲۲۵۲/۰۶ + ۲۷/۴۵(NDVI) - ۱۲/۴۶(LST) - ۱/۳۲(HUM) + ۱/۲۱(TEM) - ۰/۰۱(HIG)$
زمستان	۰/۷۱	۰/۵۰	$CH_4 = ۱۸۹۹/۱ + ۲/۸۹(NDVI) - ۲/۴۸(LST) - ۰/۷۸(HUM) + ۱/۲۴(TEM) - ۰/۰۰۶(HIG)$

جدول ۴. مدل پیش‌بینی مقادیر CO2 و CH4 با استفاده از روش گام به گام

فصل	معادله	R	R^2	مدل
بهار	۱	۰/۶۹۲	۰/۴۷۹	$CO_2 = ۴۰۱/۱۲۵ - ۲۲/۳۹۶(NDVI)$
تابستان	۱	۰/۵۰۴	۰/۲۵۴	$CO_2 = ۳۹۸/۴۶۹ - ۰/۲۱۴(HUM)$
پاییز	۱	۰/۵۷۳	۰/۳۲۹	$CO_2 = ۴۰۱/۶۷۴ - ۰/۱۳۲(HUM)$
زمستان	۱	۰/۶۲۷	۰/۳۹۴	$CO_2 = ۴۰۵/۱۳۹ - ۰/۱۹۴(HUM)$
	۲	۰/۶۷۶	۰/۴۵۷	$CO_2 = ۴۰۱/۹۷۲ + ۰/۱۴۲(TEM) - ۰۱۶۳(HUM)$
بهار	۱	۰/۶۰	۰/۳۶	$CH_4 = ۱۲۷۰/۶۰۷ + ۱۶/۵۸۴(NDVI)$
تابستان	۱	۰/۳۸۳	۰/۱۴۶	$CH_4 = ۱۸۴۱/۰۵۲ - ۰/۹۰۱(HUM)$
پاییز	۱	۰/۵۹۲	۰/۳۵۱	$CH_4 = ۱۸۶۳/۸۷۴ - ۰/۹۴۵(HUM)$
	۲	۰/۶۵۷	۰/۴۳۲	$CH_4 = ۱۸۷۴/۴۳۵ - ۰/۹۳۸(HUM) - ۰/۰۰۹(HIG)$
زمستان	۱	۰/۶۳۴	۰/۴۰۲	$CH_4 = ۱۴۲۴/۲۲۴ + ۱۲/۴۴۶(HUM)$

(ارتفاع و رطوبت) و زمستان (رطوبت) است. شاخص VIF (Variance inflation factor) که شدت هم‌خطی چندگانه در رگرسیون را مورد بررسی قرار می‌دهد، در واقع بیان می‌کند که چه مقدار از تغییرات مربوط به ضرایب برآورد شده، بابت هم خطی بین متغیرها افزایش یافته است (جدول ۲). هرچه مقدار این ضریب افزایش یابد، باعث می‌شود که واریانس ضرایب افزایش یافته و در نتیجه مدل رگرسیون را برای پیش‌بینی نامناسب جلوه می‌دهد. در این بررسی حد آستانه ۱۰ برای بیان

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

VIF در نظر گرفته شد.

در معادلات فوق، HIG (ارتفاع از سطح دریا برحسب متر)، HUM (رطوبت برحسب درصد) و TEM (درجه حرارت برحسب درجه سانتی‌گراد) است.

بحث و نتیجه‌گیری

نگرانی‌های گسترده در جوامع ملی و بین‌المللی درخصوص تغییر اقلیم و گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهۀ اخیر به اوج خود رسیده، این در حالی است که ایران مطابق گزارش‌های جهانی در بین ۱۰ کشور پیشرو انتشار دهندۀ گازهای گلخانه‌ای معرفی شده است. با توجه به عدم پایگاه اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای برای پایش و اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای در ایران به منظور برنامه‌ریزی سیاست‌های کلان اقلیمی در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT به بررسی ارتباط گازهای دی‌اکسید کربن و متان با پارامترهای اقلیمی NDVI، LST، دما، رطوبت و ارتفاع پرداخته شد. همان‌گونه که در نتایج بیان شد، گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای رطوبت، NDVI و ارتفاع دارای رابطه منفی و معنی‌دار بوده و همبستگی این گازها با LST و دما مثبت و معنی‌دار ملاحظه شد. این روابط بیان می‌کنند در مناطقی که رطوبت و پوشش گیاهی پایین و درجه حرارت سطح زمین بالا است (خود نشان‌دهندۀ مناطق کم تراکم و فاقد پوشش گیاهی است) حداکثر غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج بیان شده درخصوص تأثیر مستقیم پوشش گیاهی بر کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات کاربری اراضی و کاهش پوشش گیاهی می‌تواند سبب افزایش غلظت انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شود. گو و همکاران (۱۸) انتشار و جذب دی‌اکسید کربن را متأثر از پوشش‌های گیاهی و فتوسنتز ناشی از آن دانسته، آنها در مطالعه خود فعالیت‌های انسانی را نادیده گرفتند. تیواری و همکاران (۳۴) بیان داشتند که ارتباط منفی بین پوشش گیاهی و گاز دی‌اکسید کربن می‌تواند به‌دلیل افزایش پوشش گیاهی در اثر بارندگی باشد. در مطالعه‌ای دیگر، گو و همکاران (۱۷) که به بررسی رابطۀ دی‌اکسید کربن و NDVI کل جهان پرداختند رابطۀ NDVI با این گاز را منفی بیان کرده به‌طوری که ضریب رگرسیون برای آفریقا، اوراسیا، شمال آمریکا و اقیانوسیه را به‌ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴۴، ۰/۶۵ و ۰/۳۸ گزارش دادند. سرینیواس و همکاران (۳۲) روابط متغیرهای NDVI، LST و رطوبت را با گاز دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار دادند. آنها رابطۀ بین دی‌اکسید کربن و NDVI را منفی اعلام کرده به‌طوری که در فصل زمستان با کاهش پوشش گیاهی و فتوسنتز غلظت دی‌اکسید کربن جو به بیشترین مقدار خود و در فصل تابستان با افزایش پوشش گیاهی غلظت این گاز به حداقل مقدار خود در منطقه مورد مطالعه رسیده است. همچنین ارتباط مثبت و معنی‌دار این گاز را با دما در تمام فصول به‌جز زمستان گزارش داده‌اند و علت این ارتباط منفی در فصل زمستان را پاسخ‌های متفاوت نرخ فتوسنتز در شرایط دمایی متفاوت ذکر کردند. در این مطالعه ارتباط منفی رطوبت با گاز دی‌اکسید کربن را به‌دلیل نقش کمکی این متغیر به رشد گیاهان و جذب این گاز از اتمسفر بیان شده است. گو و همکاران (۱۶) رابطۀ بین دی‌اکسید کربن و متان را با NDVI منفی گزارش داده و همچنین ضریب رگرسیون این دو گاز با NDVI را به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۵۰ بیان کردند. گو و همکاران (۱۵) که به بررسی توزیع مکانی دی‌اکسید کربن و متان در شرق آسیا پرداخته، ارتباط پارامترهای محیطی با گازهای گلخانه‌ای را چنین بیان کردند که NDVI با دی‌اکسید کربن و متان رابطه منفی و معنی‌داری داشته به‌طوری که افزایش NDVI سبب کاهش CO_2 و CH_4 در منطقه مورد مطالعه می‌شود. آنها ضریب رگرسیون این دو متغیر با NDVI را به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۵ گزارش دادند. آنها مهم‌ترین دلایل کاهش دی‌اکسید کربن و متان را به‌ترتیب جذب توسط فتوسنتز گیاهان و اکسیداسیون متان به وسیلۀ رادیکال آزاد هیدروکسیل بیان کرده‌اند. تمام مطالعات انجام شده حاکی از نقش پر رنگ فرایند فتوسنتز در جذب دی‌اکسید کربن به عنوان خروجی اصلی این گاز از

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

اتمسفر و انتقال آن به بیوسفر و پدوسفر است.

در خصوص مدل‌سازی رگرسیون خطی به روش گام به گام مهم‌ترین پارامترها برای دی‌اکسید کربن در فصول بهار (NDVI)، تابستان (رطوبت)، پاییز (رطوبت) و زمستان (رطوبت و دما) بوده و همچنین برای گاز متان در فصول بهار (NDVI)، تابستان (رطوبت)، پاییز (ارتفاع و رطوبت) و زمستان (رطوبت) بیان شد. گو و همکاران (۱۸) رابطهٔ بین شاخص‌های NDVI ، EVI و LST ماهواره MODIS را با دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار دادند، آنها به‌ترتیب در ماه‌های می، ژوئن، ژولای، اگوست، سپتامبر و اکتبر ارتباط بین NDVI (۰/۳۸، ۰/۱۶، ۰/۳۰، ۰/۳۹، ۰/۴۵ و ۰/۵۱)، EVI (۰/۳۴، ۰/۱۷، ۰/۳۵، ۰/۳۱، ۰/۴۲ و ۰/۴۶) و LST (۰/۳۰-، ۰/۲۹-، ۰/۲۵-، ۰/۴۲-، ۰/۱۸- و ۰/۰۹) با این گاز را قابل قبول بیان کردند. البته قابل ذکر است که R^2 تمامی مدل‌های ارائه شده به‌روش رگرسیون خطی، دقت پایین این مدل‌سازی را در پیش‌بینی غلظت گازهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. این امر می‌تواند بیان کننده رابطه غیرخطی حاکم بین میزان گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای مورد مطالعه است. قطعاً عوامل متعددی علاوه بر متغیرهای مورد بررسی در انتشار این دو گاز نقش دارند. به‌عنوان مثال توپوگرافی (در اثر انتقالات این گازهای و برخورد با عوارض سطح زمین)، بارندگی (در اثر شستن گازها و انتقال آن به قسمت‌های زیرین زمین)، جریانات هوا و وجود باد از عوامل مهم در پخش، رقیق شدن و پراکندگی این گازها محسوب می‌شوند (۹ و ۱۰). با توجه به تأثیر سایر عوامل بر غلظت گازهای گلخانه‌ای، علاوه بر متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه، لذا پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از متغیرهای محیطی مانند GPP (Gross Primary Productivity)، NPP(Net Primary Productivity) و SOC(Soil Organic Carbon) بیشتر استفاده شده و همچنین علاوه بر روش‌های خطی سایر روش‌های ناپارامتریک مانند شبکه عصبی و جنگل تصادفی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. ادب، ح. ۱۳۸۸. مدل‌سازی برآورد محصول کلزای پاییزه با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در محیط GIS مطالعه موردی شهرستان سبزوار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۲، سالنامهٔ آماری ایران. *انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی.*

۳. فرج‌زاده، م. ۱۳۸۶، تکنیک‌های اقلیم شناسی. *انتشارات سمت*، تهران. ۲۸۳ ص.

۴. کینیر، پ. و اُ. کالین، چاپ سوم. ۱۳۸۱. کتاب آموزشی Spss10. فتوحی اردکانی، ا. (مترجم). انتشارات شایگان، تهران.

۵. موسوی، س. م.، س. فلاحتکار و م. فرج‌زاده. ۱۳۹۶. پایش تغییرات ماهانه و فصلی گاز متان با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی* ۴۹(۲): ۳۴۰-۳۲۷.

۶. مهدی‌پور، ل. و ا. لندی، ۱۳۹۰. تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر تصاعد گازهای گلخانه‌ای، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک* ۵۲: ۱۴۷-۱۳۹.

7. British Petroleum. 2015. http:// www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/energy-outlook. last visited at 16/9/2015.
8. Britter, R. E. 1989. Atmospheric dispersion of dense gases. *Annual Review of Fluid Mechanics* 21(1): 317-344.
9. Chow, F. K., P. W. Granvold and C. M. Oldenburg. 2009. Modeling the effects of topography and wind on atmospheric dispersion of CO_2 surface leakage at geologic carbon sequestration sites. *Energy Procedia* 1(1): 1925-1932.
10. Dai, L., J. Jia, D. Yu, B. J. Lewis, L. Zhou, W. Zhou, W. Zhao and L. Jiang. 2013. Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest*

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

Ecology and Management 300: 106-116.
11. Falahatkar, S., S. M. Mousavi and M. Farajzadeh. 2017. Spatial and temporal distribution of carbon dioxide gas using GOSAT data over IRAN. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(12): 627-640.
12. Food and Agriculture Organization. 2015. http://ag/agp/agpc/doc/counprof/iran/iran .htm. last visited at 23/04/2015.
13. Fu, L., Y. Zhao, Zh. Xu and B. Wu. 2015. Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes. *Soils Sediments* 15(2): 249-259.
14. Galli, A., S. Guerlet, A. Butz, I. Aben, H. Suto, A. Kuze, N. Deutscher, J. Notholt, D. Wunch, P. Wennberg and D. W. Griffith. 2014. The impact of spectral resolution on satellite retrieval accuracy of CO_2 and CH_4. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions* 6(6): 10399-10441.
15. Guo, M., X. F. Wang, J. Li, K. P. Yi, G. S. Zhong, H. M. Wang and H. Tani. 2013a. Spatial distribution of greenhouse gas concentrations in arid and semi-arid regions: A case study in East Asia. *Journal of Arid Environments* 91: 119-128.
16. Guo, M., X. Wang, J. Li, H. Wang and H. Tani. 2013b. Examining the relationships between land cover and greenhouse gas concentrations using remote-sensing data in East Asia. *International Journal of Remote Sensing* 34(12): 4281-4303.
17. Guo, M., X. Wang, J. Li, K. Yi, G. Zhong and H. Tani. 2012a. Assessment of global carbon dioxide concentration using MODIS and GOSAT data. *Sensors* 12(12): 16368-16389.
18. Guo, M., J. Xu, X. Wang, H. He, J. Li and L. Wu. 2015. Estimating CO_2 concentration during the growing season from MODIS and GOSAT in East Asia. *International Journal of Remote Sensing* 36(17): 4363-4383.
19. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83(1): 195-213.
20. Inoue, M., I. Morino, O. Uchino, Y. Miyamoto, Y. Yoshida, T. Yokota, T. Machida, Y Sawa, H. Matsueda, C. Sweeney and P. P. Tans. 2013. Validation of XCO_2 derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13(19): 9771-9788.
21. Kim, H. S., Y. S. Chung, P. P. Tans and E. J. Dlugokencky. 2015. Decadal trends of atmospheric methane in East Asia from 1991 to 2013. *Air Quality*, *Atmosphere and Health* 8(3): 293-298.
22. Kobayashi, N., G. Inoue, M. Kawasaki, H. Yoshioka, M. Minomura, I. Murata, T. Nagahama, Y. Matsumi, T. Tanaka, I. Morino and T. Ibuki. 2010. Remotely operable compact instruments for measuring atmospheric CO_2 and CH_4 column densities at surface monitoring sites. *Atmospheric Measurement Techniques* 3(4): 1103-1112.
23. Maksyutov, S., H. Takagi, V. K. Valsala, M. Saito, T. Oda, T. Saeki and T. Yokota. 2013. Regional CO_2 flux estimates for 2009-2010 based on GOSAT and ground-based CO_2 observations. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13(18): 9351-9573..
24. Maselli, F. and M. Chiesi. 2006. Integration of multi-source NDVI data for the estimation of Mediterranean forest productivity. *International Journal of Remote Sensing* 27(1): 55-72.
25. Miao, R., N. Lu, L. Yao, Y. Zhu, J. Wang and J. Sun. 2013. Multi-year comparison of carbon dioxide from satellite data with ground-based FTS measurements (2003–2011). *Remote Sensing* 5(7): 3431-3456.
26. Morino, I., O. Uchino, M. Inoue, Y. Yoshida, T. Yokota, P. Wennberg and M. Rettinger. 2010. Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra. *Atmospheric Measurement Techniques* 4(2):1061-1076.
27. Mousavi, S. M., S. Falahatkar and M. Farajzadeh. 2017. Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in Iran using GOSAT data. *Natural Resources Forum* 41: 83-91.
28. Oechel, W. C., G. L. Vourlitis, S. J. Hastings and S. A. Bochkarev. 1995. Change in arctic CO_2flux over two decades: effects of climate change at Barrow, Alaska. *Ecological Applications* 5(3): 846-855.
29. Parker, R., H. Boesch, A. Cogan, A. Fraser, L. Feng, P. I. Palmer and P. O. Wennberg. 2011. Methane observations from the greenhouse gases observing satellite: comparison to ground-based TCCON data and model calculations. *Geophysical Research Letters* 38(15): 1-6.
30. Prasad, P., S. Rastogi and R. P. Singh. 2014. Study of satellite retrieved CO_2 and CH_4 concentration over India. *Advances in Space Research* 54(9): 1933-1940.
31. Shim, C., J. Lee and Y. Wang. 2013. Effect of continental sources and sinks on the seasonal and latitudinal gradient of atmospheric carbon dioxide over East Asia. *Atmospheric Environment* 79(85): 853-860.
32. Sreenivas, G., P. Mahesh, J. Subin, A. L. Kanchana, P. V. N. Rao and V. K. Dadhwal. 2016. Influence of Meteorology and interrelationship with greenhouse gases (CO_2 and CH_4) at a suburban site of India. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16(6): 3953-3967.
33. Sun, Y. L. 2001. The study on CO_2 of karst eco-system of vertical zone in Jinfo Mountain in summer. PhD thesis.
34. Tiwari, Y. K., J. V. Revadekar and K. R. Kumar. 2013. Variations in atmospheric Carbon Dioxide and its association with rainfall and vegetation over India. *Atmospheric Environment* 68: 45-51.
35. Vaghjiani, G. L. and A. R. Ravishankara. 1991. New measurement of the rate coefficient for the reaction of OH with

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]

methane. *Nature* 350(6317): 406-409.
36. Wang, T., J. Shi, Y. Jing, T. Zhao, D. Ji and C. Xiong. 2014. Combining XCO_2 measurements derived from SCIAMACHY and GOSAT for potentially generating global CO_2 maps with high spatiotemporal resolution. *PLoS ONE* 9(8): 1-9.
37. Watanabe, H., K. Hayashi, T. Saeki, S. Maksyutov, I. Nasuno, Y. Shimono, Y. Hirose, K. Takaichi, S. Kanekon, M. Ajiro and Y. Matsumoto. 2015. Global mapping of greenhouse gases retrieved from GOSAT Level 2 products by using a kriging method. *International Journal of Remote Sensing* 36(6): 1509-1528.
38. World Research Institute. 2015. http://www.wri.org. last visited at 15/8/2015.
39. Yokota, T., Y. Yoshida, N. Eguchi, Y. Ota, T. Tanaka, H. Watanabe and S. Maksyutov. 2009. Global concentrations of CO_2 and CH_4 retrieved from GOSAT: First preliminary results. *Sola* 5: 160-163.
40. Yoshida, Y., Y. Ota, N. Eguchi, N. Kikuchi, K. Nobuta, H. Tran, I. Morino and T. Yokota. 2011. Retrieval algorithm for CO_2 and CH_4 column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite. *Atmospheric Measurement Techniques* 4(4): 717-734.
41. Zhang, Y., M. Xu, H. Chen and J. Adams. 2009. Global pattern of NPP to GPP ratio derived from MODIS data: effects of ecosystem type, geographical location and climate. *Global Ecology and Biogeography* 18(3): 280-290.
42. Zhou, C., R. Shi and W. Gao. 2013. Interpolation of XCO2 retrieved from GOSAT in China using fixed rank kriging. Paper presented at the Conference of the International Society for Optics and Photonics, 24-28 September 2013. https://doi.org/10.1117/12.2020946.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1396.6.4.4.7]
[DOI: 10.29252/ijae.6.4.65]