

The Role of Remote Sensing Technology in Flaring Assessment in Iran's Oil and Gas Industries

Elmira Asadi-Fard¹, Samereh Falahatkar^{*1}, Mahdi Tanha Ziyarati^{2,3},
Seyed Kazem Alavipanah⁴

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date

06 October 2025

Revise Date

23 October 2025

Accept Date

06 November 2025

Available online:

21 December 2025

Keywords:

Flaring, Iran,
Detection;
Algorithm; Remote
Sensing.

The flaring process or burning unwanted gases with highly flammable during oil and gas extraction and processing has numerous environmental and public-health consequences. Therefore, comprehensive investigations in this field are important. According to a Global worldwide report, the annual flaring rate is approximately 170 billion cubic meters, which leads to the emission of 300–400 million tons of CO₂ and air pollutants such as SO_x, NO_x, and volatile organic compounds (VOCs), and particulate matter into the atmosphere. As a result, beyond exacerbating climate change and acid rain, these emissions adversely affect human health through respiratory and cardiovascular diseases and cancer. In this paper, we presented and investigated the various algorithms applied for detecting thermal anomalies from flares and estimating flared-gas volumes at both global and national scales based on remote-sensing data. In one of the industrial regions in southern Iran (the Pars Special Energy Economic Zone), the RXD and NHI algorithms demonstrated high accuracy in detecting the thermal anomalies due to flame if flare. For estimating the volumes of gas flare, we compared three multivariable linear regression, artificial neural network, and decision-tree models, using data from the radiance of several satellites including Landsat 8 (bands 6, 7, 10, and 11), Suomi-NPP /VIIRS (M10 band), and Sentinel-5P pollution products. The results showed that the neural-network model outperformed the others. We conclude that by applying appropriate methods such as machine learning in comprehensive remote-sensing information, it is possible to fill existing data gaps in this field and take effective steps toward improved management.

Cite this article: Falahatkar S., Asadi-Fard E., Tanha Ziyarati M., Alavipanah S. K. (2025). 'The Role of Remote Sensing Technology in Flaring Assessment in Iran's Oil and Gas Industries', *Science Cultivation*, 15(2), 159-165



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate professor. Tel: 01144998108, E-mail: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

¹ Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Department of Health, Safety and Environment Engineering, Ferdous Rahjuyan Danesh Higher Education Institute, Borazjan, Bushehr, Iran

³ Department of Health, Safety and Environment, Pars Special Economic Energy Zone, Bushehr, Iran

⁴ Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

نقش فناوری سنجش ازدور در ارزیابی فلرینگ در صنایع نفت و گاز ایران

المیرا اسدی فرد^۱، سامره فلاحتکار^{۱*}، مهدی تنها زیارتی^۲، سید کاظم علوی پناه^۳

چکیده

فرایند فلرینگ یا سوزاندن گازهای ناخواسته و بسیار اشتعال پذیر در زمان استخراج و فراوری نفت و گاز، پیامدهای زیست محیطی و بهداشتی فراوانی دارد. در نتیجه بررسی های جامع در این رابطه بسیار حائز اهمیت است. نرخ فلرینگ سالانه در سطح جهان حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب گاز توسط بانک جهانی گزارش شده است که منجر به انتشار ۳۰۰-۴۰۰ میلیون تن CO₂ و مقادیر قابل توجهی از SO_x، NO_x، VOC و ذرات معلق به جو می شود. در نتیجه علاوه بر تشدید پدیده تغییر اقلیم و باران اسیدی، سلامت انسان را از طریق بیماری های تنفسی، قلبی - عروقی و سرطان تحت تأثیر قرار می دهد. در این راستا در این مقاله به ارائه و بررسی توانایی الگوریتم های استفاده شده در زمینه شناسایی ناهنجاری های حرارتی ناشی از شعله فلرها و برآورد حجم گازهای فلر شده در سطح جهانی و در سطح ملی بر پایه داده های سنجش از دور پرداخته است. در یکی از مناطق صنعتی جنوب کشور (منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس)، الگوریتم های RXD و NHI در زمینه شناسایی ناهنجاری های حرارتی ناشی از شعله فلرها از خود دقت بالای را نشان دادند. از سوی دیگر در بخش برآورد حجم گازهای فلر شده از سه مدل رگرسیون چند متغیر خطی، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم بر پایه مقادیر رادیانس ماهواره های مختلفی از جمله لندست ۸ (باند ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱)، ماهواره Suomi-NPP (باند M10- سنجنده VIIRS) و محصولات آلودگی ماهواره سنتینل-۵ استفاده شد که نتایج حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل شبکه عصبی در این بخش را داشت. در نتیجه امید است که با بهره گیری از روش های مناسب مانند یادگیری ماشین بر پایه اطلاعات جامع سنجش از دوری بتوان خلأهای اطلاعاتی موجود در این حوزه را برطرف کرده و در زمینه مدیریت آن گام مؤثری برداشت.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۱۴ مهر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری

۰۱ آبان ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش

۱۵ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار

۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه ها:

فلرینگ، ایران، شناسایی، الگوریتم،

سنجش از دور.

استناد: فلاحتکار سامره، اسدی فرد المیرا، تنها زیارتی مهدی، علوی پناه سیدکاظم. (۱۴۰۴). نقش فناوری سنجش از دور در ارزیابی فلرینگ در صنایع نفت و

گاز ایران^۱، نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۵۹-۱۶۵.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می کنند.

* عهده دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۰۱۱۴۴۹۹۸۱۰۸-۰۹۱۲۵۶۷۷۰۶۹، آدرس الکترونیکی: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

^۱ دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

^۲ ایمنی و محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی فردوس رنجویان دانش، برازجان، بوشهر، ایران

^۳ گروه بهداشت، ایمنی و محیط زیست، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، عسلویه، بوشهر

^۴ دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

هم‌زمان با انقلاب صنعتی سبب برهم خوردن تعادل آن به علت صنایع فعال در سراسر دنیا گردیده و به یک چالش تبدیل شده است. طبق آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۰، تولید این گاز در سطح جهانی بیش از ۵۱ میلیارد تن بوده و ارزش اقتصادی هر تن آن ۱۰۰ دلار گزارش شده است؛ بنابراین، ارزش کل اقتصادی این گاز به حدود ۱/۵ تریلیون دلار می‌رسد. با توجه به این ارقام، ارزش اقتصادی این گاز معادل درآمد سالانه صنایع ناشی از فروش محصولات آن‌ها است. در نتیجه ضروری است که در جهان علی‌الخصوص در کشور ما، ایران، با تکیه بر مزیت رقابتی اصلی خود در صحنه جهانی، یعنی منابع غنی گاز و نفت، و با به‌کارگیری هوشمندانه دی‌اکسیدکربن، محور توسعه اقتصادی را بر صنایع و پتروشیمی قرار دهد تا بتواند سطح تولید ناخالص داخلی را بهبود بخشد [۷].

برای کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید، مجموعه‌ای از راهبردهای مدیریتی شامل سیاست‌های نظارتی، اقتصادی و مشوق‌ها طراحی و اجرا می‌شود. ابزارهای اقتصادی آن شامل قیمت‌گذاری کربن و مالیات کربن است که جزو کارآمدترین راهکارها محسوب می‌شود و صنایع کشور را به کاهش انتشار آلاینده‌ها ترغیب می‌کنند. همچنین، ایجاد بازارهای کربن و سیستم اعتبارات کربنی به واحدهای صنعتی این امکان را می‌دهد که با خرید اعتبار از پروژه‌های کاهشنده انتشار، تعهدات زیست‌محیطی خود را جبران کنند. در کنار این مکانیسم‌های اقتصادی، بهره‌گیری از فناوری‌های جذب، ذخیره‌سازی و استفاده از کربن‌دی‌اکسید و همچنین توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع انرژی‌بر (مانند نیروگاه‌ها، سیمان و فولاد) نقش مکمل و حیاتی در دستیابی به اهداف کربن‌زدایی و تحقق توافق‌نامه‌های بین‌المللی مانند پاریس دارند [۷].

اثرات منفی فلرینگ بر سلامتی

اثرات نامطلوب این فرایند بر سلامت افراد نیز شامل بروز مشکلات و بیماری‌های تنفسی (آسم)، قلبی و عروقی ناشی از ذرات معلق و سرطان‌های مختلف از جمله سرطان خون و ضایعات پوستی است [۲،۵]. سایر اثرات منفی این فرایند بر روی عملکرد کلیه‌ها در بدن است. علاوه‌بر آن تعداد گلبول‌های قرمز، تعداد پلاکت، غلظت هموگلوبین خون را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۸،۹].

فرایند فلرینگ^۱ (سوزاندن گازهای ناخواسته) از آغاز تولید و استخراج نفت و گاز در تمامی صنایع به‌صورت پیوسته یا دوره‌ای در حال انجام است که نرخ سالیانه آن حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب توسط بانک جهانی گزارش شده است [۱]. از جمله دلایل آن نیز می‌توان به عدم دسترسی به بازار به جهت فروش یا زیرساخت‌های حمل‌ونقل گاز و هزینه‌های گزاف مرتبط با انتقال گاز از مناطق دورافتاده اشاره کرد [۲].

این فرایند در صنایع توسط یک تجهیز احتراقی یا همان مشعل/ فلر به‌صورت زمینی (ground) یا هوایی (stack) انجام می‌شود [۳] که در برخی منابع از آن‌ها تحت عنوان Open Flame Flare و Enclosed Ground Flare نیز نام‌برده شده است [۴]. متداول‌ترین آن‌ها مشعل‌های هوایی هستند که یک سازه‌ی عمودی فلزی با ارتفاع زیادی است (بیش از ۱۰۰ متر) که در بالای آن شعله‌ای در حال سوختن است که ارتفاع آن تا ۱۰ متر و دمای آن نیز ۲۰۰۰ کلوین نیز در منابع مختلف گزارش شده است [۳].

اثرات منفی فلرینگ بر محیط‌زیست

این فرایند اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست دارد. سالانه ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیون تن CO_2 به جو منتشر می‌کند و عامل تولید و انتشار SO_x ، NO_x ، ترکیبات آلی فرار (VOC)، سولفید هیدروژن، مونوکسیدکربن، کربن سیاه و گازهای گلخانه‌ای (مانند کربن‌دی‌اکسید و متان) به جو است که منجر به تغییر اقلیم و گرمایش جهانی شده، از سوی دیگر نیز همراه با رطوبت جو، منجر به باران اسیدی موضعی می‌شود که منجر به مشکلات جدی برای سلامتی محیط اطراف می‌گردد و تأثیرات منفی بر آب شیرین محلی و اکوسیستم‌های اطراف دارد [۱،۵،۶]. این اثر در مناطق مرطوب‌تر مانند مناطق فراساحلی جدی‌تر است. برای مثال در شعاع یک کیلومتری از فلرها، خوردگی قابل توجهی در زیرساخت‌ها مشاهده شده است و این میزان خوردگی در فاصله ۵۰۰ متری، در مقایسه با فاصله ۱ کیلومتری دو برابر بود [۱].

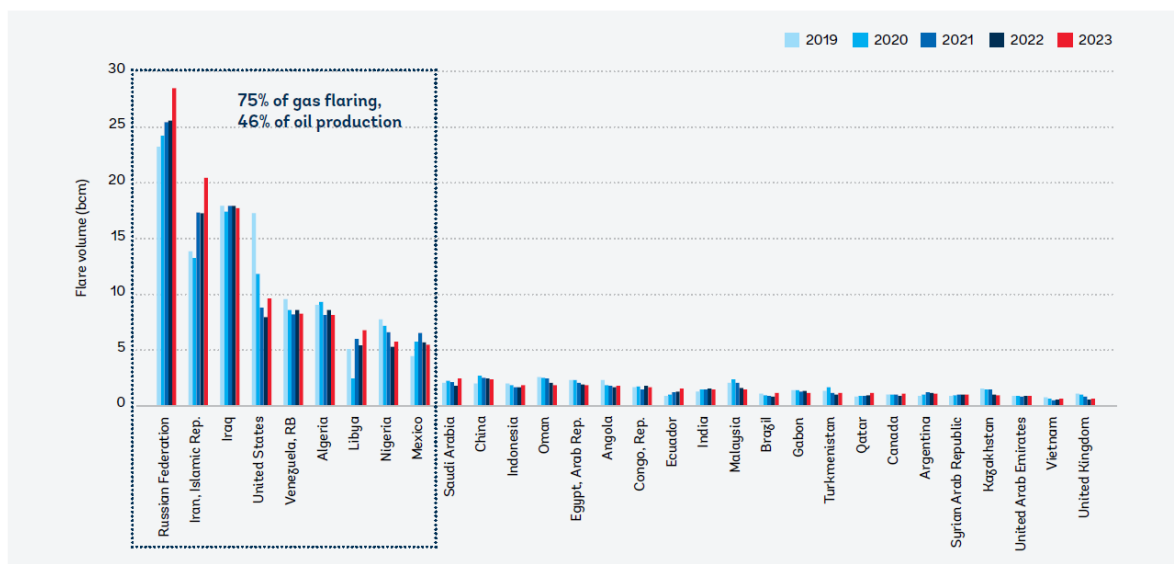
از سوی دیگر شایان ذکر است که CO_2 در فرایندهای چرخه حیات جزو خوراک اصلی و جزو یکی از پایدارترین فرایندهای شیمیایی و بیوشیمیایی در طبیعت محسوب می‌شود؛ اما در وضعیت کنونی

¹ Gas Flaring

گزارش رسمی بانک جهانی در رابطه با میزان فلرینگ

طبق آخرین گزارش رسمی بانک جهانی بر پایه مطالعات سنجش‌ازدور مشخص شد که میزان فلرینگ در تمام تأسیسات نفتی جهان در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۲۲ افزایش ۷ درصدی داشته و این میزان به ۱۴۸ میلیارد مترمکعب رسیده است. روسیه (رتبه اول)،

ایران (رتبه دوم)، عراق (رتبه سوم)، ایالات متحده، جمهوری بولیواریانا ونزوئلا، الجزایر، لیبی، نیجریه و مکزیک جزو ۹ کشور اصلی در زمینه‌ی فلرینگ که مسئول ۷۵ درصد فلرینگ جهانی در سال ۲۰۲۳ بودند. جزئیات بیشتر در شکل ۱ ارائه شده است [۱۰].



شکل ۱: آمار جهانی GFMR^۱ وابسته به آمار بانک جهانی میزان فلرینگ کشورها [۱۰].

است [۸]. در نتیجه کنترل و پایش این فرایند و کاهش نرخ فلرینگ جزو اهداف اصلی کشور محسوب می‌شود.

نقش سنجش از دور در فرایند فلرینگ

علم و فناوری سنجش از راه دور این قابلیت را دارد که نگرانی‌های فنی مربوط به تشخیص سایت‌های حاوی فلرها را برطرف کند و روش‌های مشاهده‌ای مستقلی را برای به‌دست‌آوردن اطلاعات جامع در مورد این مناطق، مشخصات فلرها (دما و مساحت شعله فلرها)، حجم فلرینگ و انتشار گازهای مرتبط با آن و همچنین در مورد تغییرات مکانی-زمانی آن‌ها را ارائه دهد [۱۲]. این سیستم یک پوشش جهانی ایجاد می‌کند که توانایی ارائه مشاهدات مستقیم و قابل‌اعتماد منظم از فعالیت‌های فلرینگ در سطح جهانی فراهم می‌کند [۳]. این سیستم به دلیل مشاهدات به‌موقع و مکرر (پیوسته) و قابلیت مشاهده چند طیفی، توانایی بازیابی اطلاعات از مکان‌های خطرناک، برای شناسایی و نظارت بر پدیده فلرینگ و اثرات آن‌ها را دارد [۱۳]. خود فلرها نیز تأسیسات زیر پیکسلی^۲ محسوب می‌شوند که اندازه آن‌ها

شایان ذکر است که ایران حاوی مخازن نفت و گاز است و صنعت نفت نقشی اساسی در اقتصاد کشور دارد. کشور ما دارای پالایشگاه‌های عظیم نفت و گاز و صنایع پتروشیمی متعدد است که حضور و استقرار آنها عمده‌تاً در بخش جنوبی کشور مخصوصاً در استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و کرمانشاه است. در این صنایع، فرایند فلرینگ گازها به صورت پیوسته در حال انجام است. به همین علت مدیریت این فرایند حائز اهمیت می‌باشد [۱۱]. از این رو باید به این موضوع مخصوصاً در استان‌های جنوبی کشور و در مقیاس محلی توجهی ویژه شود.

تعهدات بین‌المللی کشور

از آنجاکه این فرایند، منبع اصلی تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌آید، مشکلات زیستی محیطی فراوانی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، ایران نیز بر اساس توافق‌نامه پاریس (COP21) به کاهش ۴ الی ۸ درصدی گازهای گلخانه‌ای متعهد شده

¹ Global Flaring and Methane Reduction Partnership

² Sub pixel

دادند. مقادیر درصد تشخیص در الگوریتم RXD برای بازه زمانی مذکور در تمامی ماه‌ها، بالای ۷۰ درصد بود و فقط ماه اکتبر سال ۲۰۱۹ به دلیل ابرناکی بودن تصویر، این میزان به ۵۰ درصد رسید. از سوی دیگر الگوریتم NHI نیز با اضافه کردن باند مادون‌قرمز نزدیک در فرایند شناسایی از خود دقت بالای ۹۰ درصد را نشان داد. لازم به ذکر است که در طی فرایند شناسایی با استفاده از الگوریتم RXD مشخص شد که باندهای مادون‌قرمز حرارتی ماهواره لندست ۸ قابلیت خوبی در زمینه شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها از خود نشان ندادند. نتایج میزان درصد تشخیص هر دو الگوریتم بر اساس باندهای استفاده شده در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شدند [۱۹، ۲۰].

جدول ۱: میزان تشخیص ناهنجاری‌های ناشی از فلرها براساس الگوریتم RXD با استفاده از باندهای ۶ و ۷ سنجنده OLI [۱۹].

آشکارسازی ناهنجاری در باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه (B6-B7)						
۲۰۱۹		۲۰۱۸		سال		ماه‌های
تعداد فلرهای شناسایی شده	درصد تشخیص	تعداد فلرهای شناسایی شده	درصد تشخیص	تعداد فلرهای شناسایی شده	تعداد فلرهای شناسایی شده	میلادی
۱۵	۷۶/۵٪	۴۹	۸۶٪	۹	۵۵	ژانویه
۱۲	۸۱/۲۵٪	۵۲	۸۶٪	۹	۵۵	فوریه
۱۶	۷۵٪	۴۸	۸۱٪	۱۲	۵۲	مارس
-	-	-	-	-	-	آوریل
۱۳	۸۰٪	۵۱	۷۹٪	۱۳	۵۱	می
۱۷	۷۳/۴٪	۴۷	۸۴٪	۱۰	۵۴	جون
۱۷	۷۳/۴٪	۴۷	۸۴٪	۱۰	۵۴	جولای
۱۷	۷۳/۴٪	۴۷	۷۳٪	۱۷	۴۷	آگوست
۱۵	۷۶/۵٪	۴۹	۷۸٪	۱۴	۵۰	سپتامبر
۳۳	۴۸/۴٪	۳۱	۷۸٪	۱۴	۵۰	اکتبر
۱۷	۷۳/۴٪	۴۷	۷۹٪	۱۳	۵۱	نوامبر
۱۰	۸۴/۳٪	۵۴	۸۱/۲۵٪	۱۲	۵۲	دسامبر

در تحقیقات تقریباً 10×10 مترمربع یا حتی کمتر گزارش شده است و از سوی دیگر باتوجه به درجه حرارت آن‌ها، بیشترین تابش حرارتی خود را طبق قانون جابه‌جایی وین در ناحیه مادون‌قرمز طیف الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند [۳، ۱۴].

شناسایی سایت‌های حاوی فلر

طی بررسی مختلف در تحقیقات مشخص شده که روش‌های شناسایی و تشخیص ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود. روش اول، شناسایی بصری^۱، روش دوم، روش شناسایی بر اساس آستانه و یا حد ثابت^۲، روش سوم، روش شناسایی دوطیفی^۳ و آخرین روش، روش شناسایی زمینه‌ای^۴ است. طبق روش‌های ذکر شده، محققان الگوریتم‌های خاصی را توسعه داده و از آن‌ها برای شناسایی فلرها بهره گرفتند. برخی از این الگوریتم‌ها بر اساس یکی از ۴ روش و برخی دیگر هیبریدی از آن‌ها هستند (۳). مروری بر الگوریتم‌های استفاده شده در بخش شناسایی سایت‌های حاوی فلر نیز به شرح زیر است:

الگوریتم‌های مختلفی از سال ۲۰۱۵ تاکنون برای شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها توسط محققان مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این الگوریتم‌ها که بر اساس داده‌های شبانه و روزانه (باندهای مادون‌قرمز و مرئی) و سنجش‌گرهای مختلف از جمله OLI^۵ و MSI^۶ شکل گرفته‌اند شامل: الگوریتم‌های SMACC^۷، TAI^۸، NHI^۹ و DAFI^{۱۰} هستند [۱۵-۱۸، ۱]. در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در ایران نیز به‌منظور شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در شهرستان عسلویه واقع در استان بوشهر، از الگوریتم جدید RXD^{۱۱} بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی با طول‌موج کوتاه (باند ۶ و ۷ و نیز باند ۱۰ و ۱۱)، ماهواره لندست ۸ [۱۹] و از الگوریتم NHI بر اساس باندهای مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز کوتاه (باند ۵، ۶ و ۷) و لندست ۸ استفاده شد [۲۰]. برای در این دو تحقیق نتایج حاکی از این داشت که هر دو الگوریتم در شناسایی فلرها فعال منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از خود قابلیت بسیار خوبی نشان

¹ Visual Identification

² Fixed Thresholding

³ Bi-spectral Method

⁴ Contextual Methods

⁵ Operational Land Imager

⁶ Multi-Spectral Instrument

⁷ Sequential maximum Angle Convex Cone

⁸ Tri-Spectral Thermal Anomaly Index

⁹ Normalized Hotspot Indices

¹⁰ Daytime Approach for gas Flaring Investigation

¹¹ Reed-Xiaoli Detector

برای منطقه مورد مطالعه ذکر شده در بالا، توانایی الگوریتم NHI نیز بر پایه باندهای مادون‌قرمز حرارتی (باند ۲۰ و ۳۱) سنسجش‌گر MODIS مورد بررسی قرار گرفت و روش کار در بخش شناسایی، هیبریدی از دو روش دو طیفی و آستانه ثابت بود. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که برخلاف باندهای مادون‌قرمز حرارتی لندست ۸ الگوریتم بر پایه باندهای مادون‌قرمز حرارتی سنسجش‌گر MODIS برای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس عملکرد بسیار بهتری دارند [۲۱].

بر آورد حجم گازهای ناشی از فلرها

طبق تحقیقات مختلف، محدوده مادون‌قرمز (SWIR/MIR/TIR) قابلیت بسیار خوبی در تخمین زدن حجم گاز فلر شده دارند. الگوریتم‌های مختلفی مانند Nighttime Lights, Night Fire (بر اساس باندهای M از VIIRS)، RST-FLARE (بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی)، MOVET (بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی)، SWIR-radiance FRP (آتش-توان تابشی) و سنسجدهای DMSP, VIIRS, MODIS, SLSTR, ATSR برای تخمین حجم فلرینگ گاز استفاده شدند [۳، ۱۳، ۲۲-۲۶]. در اکثر تحقیقات ذکر شده در بالا در مرحله آخر یک مدل رگرسیون خطی ساده به‌کار گرفته می‌شود که در آن یک پارامتر ماهواره‌ای با مقادیر

جدول ۲: درصد تشخیص ناهنجاری‌های حرارتی توسط اجرای الگوریتم RXD در باندهای مادون‌قرمز حرارتی

سال	۲۰۱۸		۲۰۱۹		ماه‌های میلادی
	تعداد فلرهای شناسایی شده	درصد تشخیص شده	تعداد فلرهای شناسایی شده	درصد تشخیص شده	
ژانویه	۰	۶۴	۰	۶۴	۰
فوریه	۸	۵۶	۶	۵۸	۹۳٪
مارس	۰	۶۴	۰	۶۴	۰
آوریل	-	-	-	-	-
می	۰	۶۴	۰	۶۴	۰
ژوئن	۰	۶۴	۷	۵۷	۱۱٪
ژوئیه	۰	۶۴	۹	۵۵	۱۴٪
آگوست	۹	۵۵	۰	۶۴	۱۴٪
سپتامبر	۶	۵۸	۰	۶۴	۹۳٪
اکتبر	۴	۶۰	۱۵	۴۹	۲۳٪
نوامبر	۰	۶۴	۰	۶۴	۰
دسامبر	۱۰	۵۴	۱۱	۵۳	۱۷٪

جدول ۳: میزان تشخیص ناهنجاری‌های ناشی از فلرها براساس الگوریتم NHI با استفاده از باندهای ۵، ۶ و ۷ سنسجده OLI (۲۰)

شاخص‌ها	۲۰۱۸				۲۰۱۹			
	NHI SWNIR	NHI SWIR	NHI SWIR	NHI SWNIR	NHI SWNIR	NHI SWIR	NHI SWIR	NHI SWNIR
ماه‌های میلادی	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص
ژانویه	۵۷	۸۹٪	۴۲	۶۵٪	۶۰	۹۳٪	۴۱	۶۴٪
فوریه	۶۱	۹۵٪	۴۵	۷۰٪	۶۳	۹۸٪	۳۵	۵۴٪
مارس	۶۳	۹۸٪	۴۶	۷۱٪	۵۷	۸۹٪	۳۷	۵۷٪
آوریل	-	-	-	-	-	-	-	-
می	۶۲	۹۶٪	۳۷	۵۷٪	۶۳	۹۸٪	۴۱	۶۴٪
جون	۶۳	۹۸٪	۴۴	۶۸٪	۶۱	۹۵٪	۳۷	۵۷٪
جولای	۶۳	۹۸٪	۳۸	۵۹٪	۶۳	۹۸٪	۳۴	۵۳٪
آگوست	۶۳	۹۸٪	۳۴	۵۳٪	۶۳	۹۸٪	۳۷	۵۷٪
سپتامبر	۶۳	۹۸٪	۳۰	۴۶٪	۶۳	۹۸٪	۳۸	۵۹٪
اکتبر	۶۲	۹۶٪	۴۱	۶۴٪	۴۷	۷۳٪	۳۲	۵۰٪
نوامبر	۶۰	۹۳٪	۴۵	۷۰٪	۶۳	۹۸٪	۴۳	۶۷٪
دسامبر	۶۲	۹۶٪	۴۲	۶۵٪	۵۳	۸۲٪	۳۵	۵۴٪

سازد. در ایران برای شناسایی فلرها در یکی از مناطق صنعتی کشور از دو الگوریتم RXD و NHI استفاده شد که هر دو الگوریتم در جهت شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از مشعل‌ها از خود دقتی بیش از ۷۰ تا ۹۰ درصد نشان دادند. همچنین برای منطقه موردنظر با استفاده از روش‌های مدل‌سازی مختلف مانند به‌کارگیری مدل‌های یادگیری ماشین-شبکه عصبی MLP حجم گازهای فلر شده برآورده شد که استفاده از این روش‌ها بر پایه اطلاعات ماهواره‌ای می‌تواند وابستگی به داده‌های میدانی را به طرز چشمگیری کاهش دهد. بنابراین، ادغام پایش ماهواره‌ای مستمر با الگوریتم‌های هوشمند و ارتقای زیرساخت‌های انتقال و بهره‌برداری از گاز مازاد، می‌تواند ضمن کاهش مستقیم فلرینگ، به بهبود کیفیت هوا، کاهش اثرات اقلیمی و تحقق اهداف زیست‌محیطی کشور کمک شایانی نماید.

نویسندگان اعلام می‌دارند که این مقاله توسط هوش مصنوعی نگارش نشده است. کل و یا بخشی از آن نیز در هیچ‌کدام از پایگاه‌های اطلاعاتی چاپ نشده است.

فهرست منابع

- [1]. Sarkari, M., Jamshidi, B., Khoshooei, M. A., & Fazlollahi, F. (2022). Flare gas reduction: A case study of integrating regeneration gas in flash gas compression network, *Fuel*, Vol. 318, 1-11.
- [2]. Aigbe, G. O., Cotton, M., & Stringer, L. C. (2023). Global gas flaring and energy justice: An empirical ethics analysis of stakeholder perspectives, *Energy Research & Social Science*, Vol. 99, 1-17.
- [3]. Faruolo, M., Caseiro, A., Lacava, T., & Kaiser, J. W. (2021). Gas flaring: a review focused on its analysis from space. *IEEE geoscience and remote sensing magazine*, Vol. 9, No.1, 258-281.
- [4]. Clemente-Reyes, A., Martin-Del-Campo, C., Nelson, P. F., & Duran-Moreno, A. (2023). A comparative assessment of open flame flares and enclosed ground flares for cleaner and safer hydrocarbon production in Mexico, *Cleaner Engineering and Technology*, Vol.16, 1-16.
- [5]. Motte, J., Alvarenga, R. A., Thybaut, J. W., & Dewulf, J. (2021). Quantification of the global and regional impacts of gas flaring on human health via spatial differentiation, *Environmental Pollution*, Vol. 291, 1-6.
- [6]. Orisaremi, K. K., Chan, F. T., Chung, S. H., & Fu, X. (2022). A sustainable lean production framework based on inverse DEA for mitigating gas flaring, *Expert Systems with Applications*, Vol. 206, 1-13.

حجم گازهای زمینی گزارش شده جفت می‌شود. از اشکالات اصلی این روش وابستگی آن به داده‌های زمینی با دقت بالا است [۳]. به‌منظور تخمین حجم گازهای فلر شده منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از سه روش مدل‌سازی با رویکردهای متفاوت و بر پایه تصاویر ماهواره‌ای بهره‌گیری شد، از جمله مدل رگرسیون چندمتغیره خطی (Enter-Stepwise)، شبکه عصبی مصنوعی (MLP-RBF) و درخت تصمیم. داده‌های ماهواره‌ای این بخش شامل مقادیر باند‌های ۶ و ۷ سنجنش‌گر OLI و باند‌های ۱۰ و ۱۱ سنجنش‌گر TIRS ماهواره لندست ۸، باند M10 سنجنش‌گر VIIRS از ماهواره Suomi-NPP و داده‌های آلاینده‌های NO₂، SO₂، مونوکسیدکربن و ازن سنجنش‌گر TROPOMI و ماهواره سنتینل-۵ بود. در بخش مدل‌سازی، میزان حجم فلرینگ به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر استخراج شده از ماهواره‌ها به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. با توجه به توانایی بالای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در شناسایی روابط غیرخطی متغیرها، این مدل با رویکرد MLP در بین سایر مدل‌ها از خود دقت بسیار بالاتری را نشان داد و میزان R_۲ آن ۷۳ درصد بود [۲۷،۲۸].

در تحقیق دیگری در منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، از دو الگوریتم MOVET و BTE در جهت برآورد حجم گازهای فلر شده بر پایه باند‌های ۲۰، ۲۲ و ۳۱ (در محدوده مادون‌قرمز حرارتی) سنجنده MODIS استفاده شد که نتایج حاکی از این بود مدل MOVET نسبت به مدل BTE در بخش برآورد حجم قابلیت بهتری دارد [۲۱].

نتیجه‌گیری

در نهایت، باتوجه به نقش پیامدهای زیست‌محیطی فرایند فلرینگ در زمینه انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محلی، مدیریت همه‌جانبه آن و وضع مقررات کارآمد در راستای کاهش میزان فلرینگ در سطح کشور و جهان بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر، کشورهای مختلف در جهت پیروی از تعهدات بین‌المللی مانند توافق‌نامه پاریس و به‌منظور حفظ سلامت عمومی و پایداری زیست‌محیطی مستلزم به کاهش نرخ فلرینگ سالیانه خود می‌باشند. در این راستا، فناوری سنجش‌ازدور با ارائه پوشش جهانی، تکرارپذیری بالا و قابلیت چندطیفی، امکان شناسایی به‌موقع و دقیق سایت‌های فلرینگ و ردیابی تغییرات مکانی-زمانی آن‌ها را فراهم می‌کند و توانسته خلأهای اطلاعاتی موجود را تا حدودی بر طرف

- gas flaring investigation by means of daytime satellite imagery, *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 24, 1-18.
- [19]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziyarati, M., Zhang, X., & Faruolo, M. (2023). Assessment of RXD Algorithm Capability for Gas Flaring Detection through OLI-SWIR Channels, *Sustainability*, Vol.15, No. 6, 1-20.
- [20]. اسدی فرد، المیرا، فلاح‌تکار، سامره. تنها زیارتی، مهدی. (۱۴۰۳). ارزیابی و مقایسه پتاسیل دو الگوریتم NHI و RXD برای شناسایی ناهنجاری های حرارتی مشعل سوزی با استفاده از باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه ماهواره لندست ۸، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۵۶، دوره ۱، ۱۰۳-۱۲۲.
- [21]. رکنی، زهرا. (۱۴۰۳). برآورد حجم گاز مشعل سوزی با استفاده از الگوریتم BTE و MOVET در استان‌های بوشهر و خوزستان. پایان‌نامه ارشد مهندسی محیط زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [22]. Elvidge, C.D., Ziskin, D., Baugh, K.E., Tuttle, B.T., Ghosh, T., Pack, D.W., Erwin, E.H., & Zhizhin, M. (2009). A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data, *Energies*, Vol.2, No. 3, 595-622.
- [23]. Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Baugh, K., Hsu, F., Ghosh, T. (2015). Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data, *Energies*, Vol. 9, No.14, 1-15.
- [24]. Faruolo, M., Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V. (2014). A satellite-based analysis of the Val d'Agri Oil Center (southern Italy) gas flaring emissions, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 14, No.10, 2783-2793.
- [25]. Faruolo, M., Lacava, T., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2018). On the potential of the RST-FLARE algorithm for gas flaring characterization from space, *Sensors*, Vol.18, No.8, 1-21.
- [26]. Faruolo, M., Lacava, T., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2020). The VIIRS-Based RST-FLARE Configuration: The Val d'Agri Oil Center Gas Flaring Investigation in Between 2015-2019, *remote sensing*, Vol. 12, No. 819, 2-20.
- [27]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziyarati, M., & Zhang, X. (2024a). A new perspective on estimation of gas flaring volume from space: OLI/TIRS, VIIRS, and TROPOMI. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 129, No.11, 1-12.
- [28]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziyarati, M., & Zhang, X. (2024b). A new achievement of satellite-based gas flaring volume estimation: decision tree modeling, *Earth Science Informatics*, 1-15.
- [7]. شعبانی، احمد. (۱۴۰۳). کربن دی اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن. نشاء علم، دوره ۱۵، شماره ۱، ۴۳-۵۹.
- [8]. وهاب پور، امیر، شجاعی، سیدمحمد، طهماسب زاده، محمد، رسولی، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی آثار محیط زیستی گاز مشعل در ایران و اهمیت آن در راستای تعهدات کشور در توافق پاریس. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۸، شماره ۲۷، ۱۳۳-۱۵۴.
- [9]. Egwurugwu, J. N., Nwafor, A., & Ezekwe, S. (2013). Impacts of prolonged exposure to gas flares on some blood indices in humans in the Niger Delta Region, Nigeria. *Archives of Applied Science Research*, 2013, Vol. 5, No. 1, 98-104.
- [10]. <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction>.
- [11]. Saeed, M., Roayaei, E., Jazayeri, M.R., Saboormaleki, M., Minaei, M. & National Emadi, M.A. (2012). Database of CO₂ Emission Sources and Analysis of Geological Structures for a Carbon Sequestration Project in Iran. SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition, Abu Dhabi 2-4 April 2012. Society of Petroleum Engineers, 1-10.
- [12]. Wu, W., Liu, Y., Rogers, B. M., Xu, W., Dong, Y., & Lu, W. (2022). Monitoring gas flaring in Texas using time-series sentinel-2 MSI and landsat-8 OLI images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 1-12.
- [13]. Anejionu, O. C., Blackburn, G. A., & Whyatt, J. D. (2015). Detecting gas flares and estimating flaring volumes at individual flow stations using MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 158, 81-94.
- [14]. Zhang, X., Scheving, B., Shoghli, B., Zygarlicke, C., & Wocken, C. (2015). Quantifying Gas Flaring CH₄ Consumption Using VIIRS, *Remote sensing*, Vol. 7, No. 8, 9529-9541.
- [15]. Chowdhury, S., Shipman, T., Chao, D., Elvidge, C. D., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2014, July). Daytime gas flare detection using Landsat-8 multispectral data, In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (258-261). IEEE.
- [16]. Liu, Y., Zhi, W., Xu, B., Xu, W., & Wu, W. (2021). Detecting high-temperature anomalies from Sentinel-2 MSI images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 177, 174-193.
- [17]. Faruolo, M., Falconieri, A., Genzano, N., Lacava, T., Marchese, F., & Pergola, N. (2022a). A daytime multisensor satellite system for global gas flaring monitoring, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 60, 1-17.
- [18]. Faruolo, M., Genzano, N., Marchese, F., & Pergola, N. (2022b). A tailored approach for the global