التحليل الجغرافي للملوثات البيئية الناتجة عن حرق الغاز المصاحب للنفط في حقول نفط جنوب العراق باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

م.د علي جاسم جوده الكناني

المديرية العامة للتربية في محافظة بابل

lyalknany831@gmail.com

تاريخ استلام البحث : ٢٠٢٦/٩/٧

تاريخ قبول البحث : ٢٠٢٦/٩/٢٨

المستخلص :

يقدم البحث إطارًا تحليليًا جغرافيًا–بيئيًا لتحديد وقياس التأثيرات الحرارية والإشعاعية المترتبة عن عمليات حرق الغاز المصاحب لإنتاج النفط ، مع تقييم انعكاساتها على جودة الهواء في جنوب العراق . جرى توظيف مقاربة تكاملية تجمع بين تقنيات الاستشعار عن بُعد والتحليل المكاني ضمن بيئة رقمية موحدة من خلال توظيف بيانات الحرائق النشطة VIIRS VNP14A1 للكشف عن النقاط الساخنة والشذوذات الحرارية التي تشير الى وجود مناطق توهج حراري ينتج عنها انبعاثات حرارية وإشعاعية مكثفة ضمن النطاقات المتوسطة والأشعة تحت الحمراء داخل حدود الحقول النفطية ، مع استخدام بيانات القمر Sentinel–5P لاستخراج كثافة (CH_4،SO_2،NO_2) في الهواء بوصفهما من أخطر الملوثات المرتبطة بالأنشطة النفطية ، وتبرز أصالة الدراسة في بناء مؤشر شدة حرق الغاز (GFI) لوصف التباين المكاني لمستويات الحرق بين الحقول المنتجة للنفط كشفت من خلاله عن ٤٣ بؤرة ساخنة صنفت على أساسها الحقول النفطية الى ثلاث فئات حسب كثافة الحرق وتكراره ، كما تم تطوير مؤشر مكاني مركب للمخاطر البيئية (CERI) يدمج شدة حرق الغاز مع كثافة الملوثات الغازية ضمن نموذج موحد لتحديد بؤر الخطورة البيئية وترتيبها مكانيًا ، وقد نُفذت هذه التحليلات ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية سبقتها المعالجات قي منصة Google Earth Engine والتعلم الآلي ML . أظهرت النتائج عن ارتفاع مستوى التلوث للغازات فوق الحد المسموح به ، كما كشفت الدراسة عن العلاقة بين متوسط كثافة الحرق وارتفاع متوسطات كثافة التلوث الجوي لا تتبع نمطاً موحداً فقد ظهر تباين في

مستوى التطابق المكاني بينهما ، كما أظهرت النتائج أن الآثار البيئية لا تقتصر على مواقع الحقول النفطية بل تمتد إلى مساحات أوسع من ذلك لتتداخل مع مناطق مأهولة ونظم بيئية مجاورة عملت على ذلك بعض العناصر المناخية التي لعبت دوراً كبيراً في نقل وتشتيت الملوثات الجوية في المنطقة ، وقد وفرت هذه الدراسة نموذجًا تطبيقيًا قابلًا للنقل إلى الأقاليم النفطية الأخرى عالميًا، كما أسهمت في تعزيز استخدام الأدوات الجيومكانية الحديثة، ودعم صناع القرار في وضع استراتيجيات للحد من ملوثات الوقود الاحفوري وتقليل مخاطره الصحية والبيئية.

الكلمات المفتاحية : *حرق الغاز المصاحب ، الملوثات ، الحقول النفطية ، البيئة ، VIRS ،الاستشعار عن بعد ، البؤر الساخنة .*

Geographic analysis of environmental pollutants resulting from the flaring of associated gas in southern Iraqi oil fields using remote sensing and geographic information systems

Dr. Ali Jassim Joudah
General Directorate of Education in Babylon Governorate

lyalknany831@gmail.com

Date received: 7/9/2026
Acceptance date: 28/9/2026

Abstract

This study provides a geo-ecological analytical framework to identify and measure the thermal and radiation effects resulting from the flaring of associated gas in oil production, while assessing its implications for air quality in southern Iraq. An integrated approach combining remote sensing and spatial analysis techniques within a unified digital environment was employed. Data from the VIIRS VNP14A1 used to detect hotspots and thermal anomalies indicating the presence of thermal flare zones. These zones produce intense thermal and radiative emissions in the mid-wave and infrared bands within the boundaries of oil fields. Sentinel-5P satellite data was used to extract atmospheric concentrations of NO2, SO2, and CH4, considered among the most dangerous pollutants associated with oil activities. The study's originality lies in the development of a Gas Flaring Intensity Index (GFI) to describe the spatial variation in flaring levels among oil-producing fields. This index revealed 43 hotspots, classifying the oil fields into three categories based on flaring intensity and frequency. A composite spatial environmental risk index (CERI) was also developed, integrating gas flaring intensity with gaseous pollutant concentrations within a unified model to identify and spatially rank environmental hazards. These analyses were performed within a Geographic Information System (GIS) environment, preceded by processing on the Google platform. Earth Engine and Machine Learning (ML). The results showed that the level of gas pollution exceeded the permissible limit. The study also revealed that the relationship between the average burning intensity and the rise in average air pollution does not follow a uniform pattern, as there was a variation in the level of spatial correspondence between them. The results also showed that the environmental effects are not limited to the oil field sites, but extend to wider areas to interfere with populated areas and neighboring ecosystems. Some climatic elements played a major role in transporting and dispersing air pollutants in the region. This study provided an applied model that can be transferred to other oil regions globally. It also contributed to promoting the use of modern geospatial tools and supporting decision-makers in developing strategies to reduce fossil fuel pollutants and reduce their health and environmental risks.

Keywords: Flaring of associated gas, pollutants, oil fields, The Environment , VIRS ,Remote Sensing, hotspots.

المقدمة:

تمثل عمليات إنتاج النفط واحدة من ابرز التحديات البيئية والاقتصادية في المناطق المنتجة للنفط ، ولا سيما في الدول النامية التي تعاني من محدودية البنية التحتية اللازمة لاستثمار الغاز المصاحب للنفط بكفاءة ، ويُعد العراق من أبرز الدول التي تعتمد على الحرق الروتيني نتيجة لمحدودية البنية التحتية اللازمة وعدم كفاءة أنظمة استخلاص الغاز مما يترتب عليه فقدان مورد طاقوي مهم إلى جانب آثار بيئية متراكمة تتجاوز البعد الاقتصادي إلى تدهور مستمر في جودة الهواء وتهديد الاستدامة البيئية والصحة العامة ، وتتسم الملوثات النفطية بطبيعتها المكانية غير المحلية إذ لا تبقى تأثيراتها محصورة ضمن مواقع الحقول النفطية ، بل تمتد إلى نطاقات جغرافية أوسع ، مما يجعلها ظاهرة جغرافية بيئية معقدة ترتبط بتغيرات في خصائص الغلاف الجوي وتدهور تدريجي في جودة البيئة المحيطة ، ويعزز هذا الامتداد المكاني الحاجة إلى أدوات تحليل قادرة على تفسير التوزيع المكاني للتأثيرات بدل الاقتصار على الوصف الموضعي لمصادر الانبعاث . وفي هذا السياق أسهمت تقنيات الاستشعار عن بُعد في توفير مصادر بيانات واسعة النطاق لرصد الأنشطة المرتبطة بإنتاج النفط ، حيث تتيح بيانات VIIRS الكشف عن البؤر والتوهجات الحرارية المرتبطة بإنتاج النفط ، في حين توفر بيانات Sentinel-5P إمكانات لمتابعة التغيرات في مكونات الهواء ، ومع هذا التطور لا تزال الدراسات السابقة تميل إلى معالجة هذه البيانات بشكل منفصل دون بناء نظام مكاني موحد .

ومن هنا تنبع أهمية هذه الدراسة عن الدراسات السابقة والمشابه إذ ركز بعضها عن كشف مواقع الحرق وربطها بانبعاث الغازات في حين اتجهت الأخرى الى تقييم تأثير الغازات في جودة الهواء وان القليل منها تناول الموضوع من منظور مكاني واستشعاري متكامل يدمج بين تحديد البؤر الحرارية من خلال توظيف بيانات VIRS VNP14A1 وقياس شدة الحرق وتحليلها باستخدام مؤشر GFI الى جانب استخدام Sentinel-5P لتحليل كثافة الملوثات الغازية ، بهدف كشف التباين المكاني عن العلاقة بين نشاط الحرق الغازي وتلوث الهواء في الحقول النفطية ، كما في جدول (١) .

جدول (١) الدراسات السابقة والمشابه

عنوان الدراسة	ما تناولته الدراسة السابقة	ما تضيفه الدراسة الحالية
Satellite-based estimates of nitrogen oxide and methane emissions from gas flaring and oil production activities in Sakha Republic, Russia[1]	اقتصرت الدراسة على حقلين للنفط في روسيا وتقدير انبعاث CH_4, NO_2 وربطها بالحرق ولم تهدف الى بناء تصنيف للحقول النفطية حسب شدة وانتشار البؤر الحرارية وفق مؤشر GFI .	تتوسع الدراسة مكانياً وتضيف مؤشر GFI وتحليل عدد البؤر الساخنة ومساحة الحرق وإضافة غاز SO_2 والتركيز على النمط المكاني للعلاقة بين نشاط الحرق وتلوث الهواء .
Assessment of Gas Flaring on Air Quality in the Al-Rumaila Oil Field Region in Basra Governorate, Iraq[2] .	رصد مكان التلوث ميدانياً لحقل الرميلة ومحيطه لبعض المواقع التي اختلفت بالمسافة وتبين ان الملوثات تتركز بالقرب من الشعلات الغازية .	رصد نشاط الحرق الغازي فضائياً باستخدام VNP14A1 وتحليل بيانات مؤشر GFI وربطها ببيانات Sentinel 5P .
Economic losses from flaring gases in Rumaila Oil Field[3].	اقتصرت الدراسة على الخسائر الاقتصادية لحرق الغاز في حقل الرميلة وتم التحليل اقتصادي وتقني فقط مع طرح إمكانات استثماره .	تربط مكان حرق الغاز وشدته بالملوثات الجوية الناتجة منه .
The concentration of black carbon emissions from natural gas flaring activities in Basra Province, Iraq[4] .	ركزت الدراسة على قياسات نقطية ميدانية في مواقع مختارة مرتبطة بحرق الغاز والتي تبعث الكربون الأسود وقاست تركيزه في محافظة البصرة .	تناولت الدراسة عدة ملوثات للحقول النفطية في جنوب العراق والناتجة من الحرق الغازي وقاست كثافة العمود الراسي للملوثات الجوية .

المصدر : الباحث بالاعتماد على الدراسات السابقة والمشابه .

مشكلة البحث : (الى أي مدى تكشف التقنيات الجغرافية الحديثة الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية عن التباين المكاني لكثافة العمود الراسي للملوثات الغازية في مناطق حرق الغاز المصاحب) ؟

فرضية البحث : مع تطور التكنولوجيا تفترض الدراسة بوجود إمكانات للكشف عن كثافة الملوثات الغازية الناتجة من حرق الغاز المصاحب للنفط بالتقنيات الجغرافية الحديثة مع إمكانية دمجها مع البيانات المكانية .

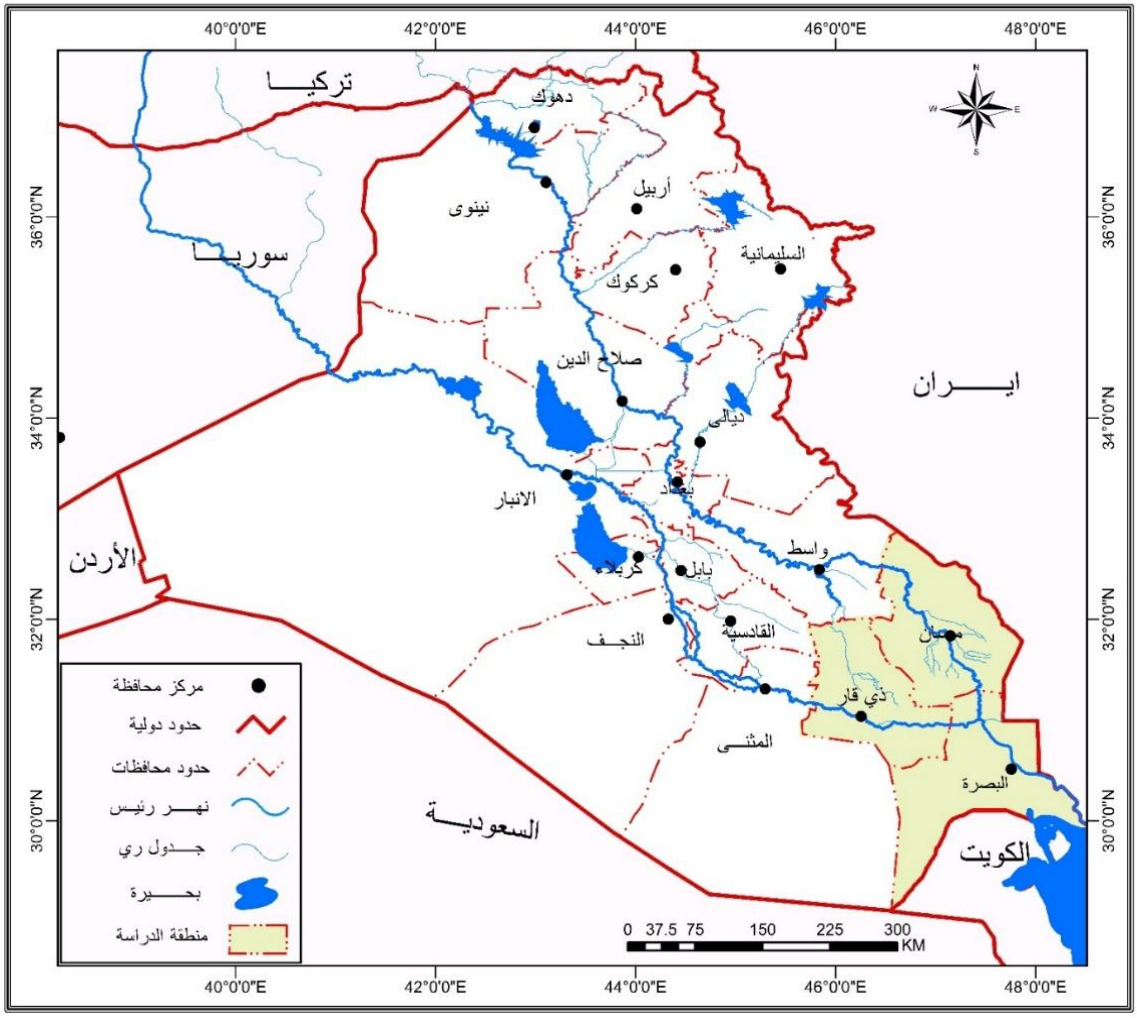
هدف الدراسة : تهدف الدراسة إلى دمج بيانات مكانية مع بيانات الاستشعار عن بعد (VIIRS) وبيانات (Sentinel–5P) مع العناصر المناخية (رياح ، درجة الحرارة ، أمطار) في إطار جغرافي–بيئي متكامل لغرض تحليل العلاقة المكانية بين مواقع الحرق في الحقول النفطية وتحديد مستوى التلوث ، وإجراء تقييم للبيانات الناتجة من VIRS في رصد مشاعل حرق الغاز المصاحب ، وبناء نماذج لشدة حرق الغاز المصاحب للنفط الخام واستخدامه في تصنيف الحقول ونموذج مركب للمخاطر البيئية يساعد في تحديد مناطق الأولوية البيئية المرتبطة بالنشاط النفطي .

مناهج البحث : اعتمد البحث على منهج الوصفي التحليلي الذي يعتني بفهم وتفسير الظواهر الجغرافية من خلال جمع واستخدام البيانات الجغرافية المتغيرة عبر الزمن ، واعتمد أيضا على منهج التحليل الكمي الذي يهتم بعرض الصور والبيانات الفضائية وتحويلها الى قيم قابلة للقياس والمقارنة في نظم المعلومات الجغرافية .

حدود منطقة الدراسة : تغطي خريطة (١) كامل مساحة المحافظات التي تشمل (البصرة وميسان وذي قار) باعتبارها منطقة الدراسة التي تقع في جنوب العراق بين خطي طول (″48°35′08–″45°18′02) شرقاً،ودائرتي عرض (″32°54′05–″29°03′28) شمالًا ، وتتميز المنطقة بحرق الغاز الطبيعي المصاحب لإنتاج النفط بشكل واضح ، وتتميز بمناخ جاف الى شبه جاف ترتفع فيها درجات حرارة ويقل فيها هطول أمطار مما يجعلها منطقة محورية لدراسة حرق الغاز وتأثيراتها البيئية .

أما الحدود الموضوعية الزمانية للدراسة : فقد اقتصرت مدة الدراسة بالفترة ٢٠٢١ – ٢٠٢٥ اعتمدت فيها على بيانات الاستشعار عن بعد وبيانات مكانية لمنطقة الدراسة ، لتحليل بعض الملوثات الجوية الناتجة من حرق الغاز المصاحب للنفط في جنوب العراق من خلال دمج البيانات الاستشعارية مع البيانات المكانية لبيان علاقة الحرق بتلوث البيئة .

خريطة (١) الموقع الجغرافي والفلكي لمنطقة الدراسة



المصدر :جمهورية العراق،وزارة الموارد المائية ، الهيئة العامة للمساحة ، خريطة العراق الإدارية،بمقياس ١:٥٠٠٠٠٠٠ ، ٢٠١٠ .

المبحث الأول / التوزيع الجغرافي للحقول النفطية وأنشطة حرق الغاز في منطقة الدراسة للفترة(٢٠٢١-٢٠٢٥):-

أن التوزيع المكاني للحقول النفطية يمثل الأساس الذي تنطلق منه دراسة تحليل أنشطة الحرق الغازي وتحليل آثاره البيئية ، وقد استخدمت بيانات الاستشعار عن بعد لهذه الدراسة ، وكما يلي :

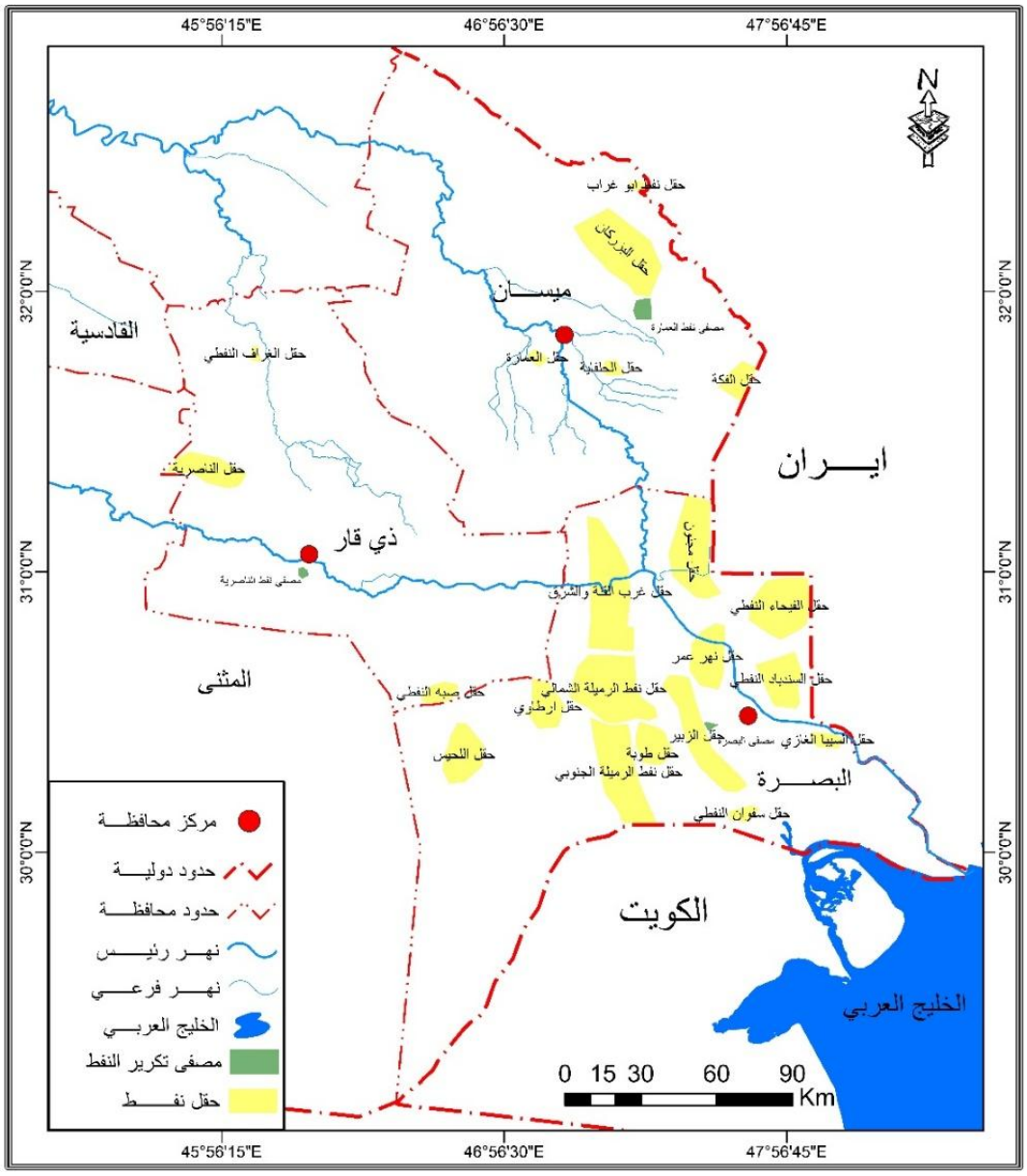
أولا- توزيع الحقول النفطية في منطقة الدراسة :- تمثل دراسة التوزيع المكاني خطوة أولية ضرورية في التحليل المكاني لفهم العلاقة بين الأنشطة النفطية والظواهر البيئية المختلفة التي سنتناولها لاحقاً ، إذ ان الحقول النفطية

في العراق عموما وبالخصوص منطقة الدراسة شهدت توسعاً ملحوظاً في عمليات الإنتاج والاستكشاف خلال العقود الأخيرة من خلال جولات التراخيص البترولية لمراحل مختلفة لأن منطقة الدراسة تساهم بنسبة تزيد عن ٦٥% من إجمالي الإنتاج الكلي في العراق[٥]. تتباين الحقول النفطية كما في الخريطة (٢) من حيث الموقع والمساحة والإنتاج والاحتياطي وكميات الغاز المصاحب للنفط ، كما يتضح ان الحقول النفطية العملاقة التي تزيد كمية الاحتياطي من النفط عن (٥ مليار برميل) والمتوسطة تتركز في محافظة البصرة والتي تضم اثنا عشر حقلا نفطياً منتجة وتضم حقلي الراجي وجريشان وهما في طور التقييم والتطوير بالإضافة الى أنها تضم حقل السيبة الغازي ، ثم محافظة ميسان التي تضم احد عشر حقلاً نفطياً خمس حقول منها منتجة والباقي غير منتجة ، اما محافظة ذي قار فتضم ثلاثة حقول نفطية واحد منها غير منتج وحقلين منتجين .

يصدر العراق اكثر من ٧٥% من إجمالي النفط الخام الى دول مختلفة لعدم استغلاله في الصناعات التحويلية ، وينتج العراق من محافظة البصرة تحديداً حقول نفط الرميلة الشمالية والجنوبية وحقل الزبير ثلاث أنواع من النفط الخام هما (البصرة الخفيف بنسبة كبريت تتراوح بين ٠,٢٧-٠,٣% و٣٤ درجة ، والمتوسط بنسبة كبريت ٠,٢٦% وبدرجة API ٣٠ درجة ، والثقيل بنسبة كبريت ٠,٣٤% وبدرجة API تتراوح بين ٢٢-٢٤ درجة) ، وتمزج هذه الأنواع لغرض التصدير ويطلق عليه (مزيج البصرة) بمعدل API ٣٢درجة ونسبة محتوى كبريتي (٠,٢%)[٦] .

ثانيا– تكرير النفط : تعد عملية صناعة النفط في العراق واحدة من اخطر مصادر التلوث البيئي على مستوى الموقع والإنتاج وعلى مستوى الاستهلاك ، نتيجة طرحها بعض المواد الكبريتية والنتروجينية أثناء التصنيع الى الجو مباشرة في كلتا الحالتين (السائلة والغازية) ، من مداخن الأفران أو محابس تنفيس الخزانات وأجهزة الضغط [٧] . يستهلك العراق ٢٥% من أجمالي النفط الخام يذهب ٥% منه الى محطات الكهرباء التي تستهلك النفط الخام الخفيف بينما يذهب ٢٠% الى مصافي التكرير للحصول على المشتقات النفطية التي تستهلك محلياً[٨] ، تضم شركة مصافي الجنوب مصفاة البصرة (الشعيبة) لتكرير النفط الذي يضم أربع وحدات فرعية طاقة كل واحدة منها ٧٠ ألف برميل يوميا ، كما تضم محافظة ميسان مصفاة ميسان بطاقة تكريرية تصل الى ٤٠ ألف برميل يومياً ، كما تضم محافظة ذي قار مصفاة ذي قار لتكرير النفط بطاقة تصل الى ٣٠ ألف برميل يومياً[٩].

خريطة (٢) التوزيع المكاني للحقول النفطية في جنوب العراق



المصدر :جمهورية العراق،وزارة النفط،خريطة العراق الإدارية ، دائرة العقود والتراخيص البترولية،بمقياس ١:٥٠٠٠٠٠٠ ، ٢٠١٠ .

ثالثا– أنشطة الحرق الغازي : أن عملية استخراج النفط في العراق عموماً ومنطقة الدراسة خصوصاً مرتبطة بحرق الغاز الطبيعي المصاحب للنفط في اغلب الحقول النفطية ويعد من ابرز مصادر الانبعاثات الحرارية والغازية في مناطق الإنتاج ، ويختلف نشاط الحرق بين الحقول النفطية المنتشرة في منطقة الدراسة تبعاً لكميات الإنتاج وكفاءة البنية التحتية المتاحة لمعالجة واستثمار الغاز الطبيعي المصاحب للنفط الأمر الذي أدى الى

تباين واضح في كثافة الحرق الغازي ، وقد أتاح تطور تقنيات الاستشعار عن بعد رصد وكشف الانبعاثات الحرارية الناتجة من الحرق الغازي بدقة زمنية ومكانية عاليتين . ومع التحديات الاقتصادية والبيئية الكبيرة فان الصناعات النفطية تسهم بتعقيد الأزمة من خلال حرق الغاز الطبيعي بكميات مهوله جدا من خلال عدد المشاعل التي تزيد عن ١٤٠٠ موقد وبزيادة الاستهلاك المحلي والانتاج الى العالم ارتفع حرق الغاز من ٤٢٣ مليار م٣ سنة ٢٠١٣ الى ٦٣٢ مليار م٣ سنة ٢٠١٩ ليحتل العراق المرتبة الثانية بعد روسيا كاكبر مصدر للغاز المحروق حسب تقرير البنك الدولي[١٠] .

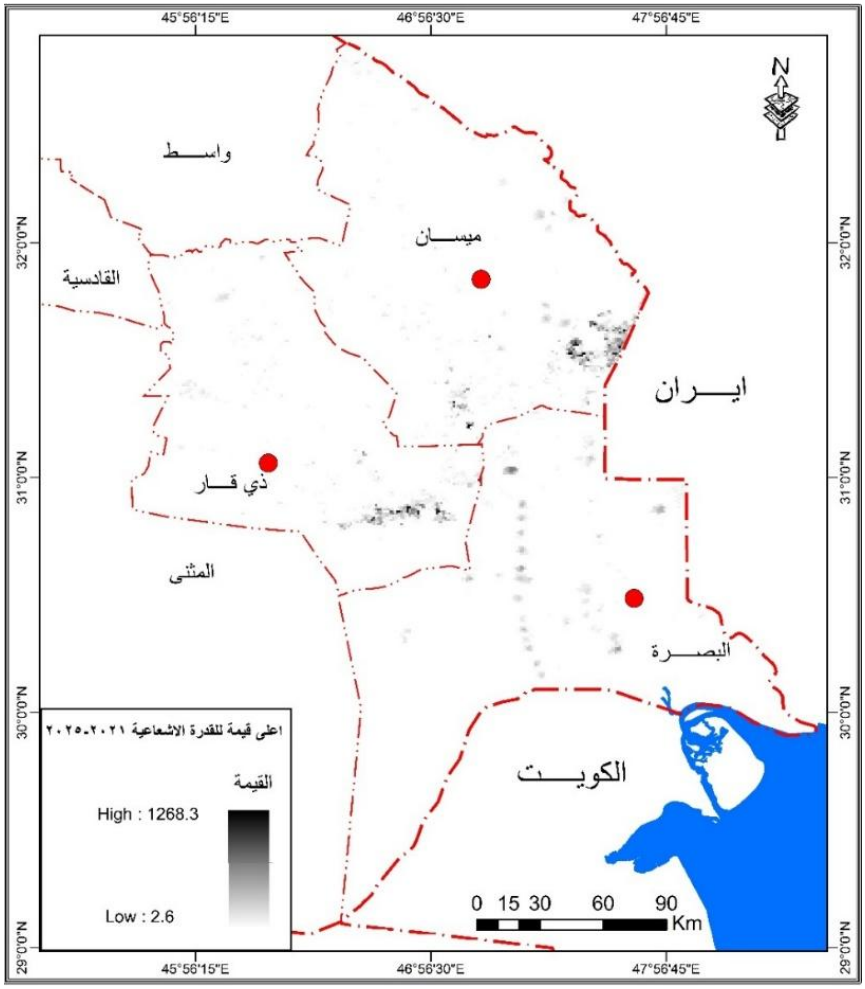
ومن أهم وسائل الاستشعار عن بعد المستخدمة في البحث هي :

١- منظومة التصوير بالأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء VIRS : هو منتج بيانات تابع لوكالة ناسا يُعرف باسم NASA/VIIRS/002/VNP14A1 وهو جزء من سلسلة منتجات أجهزة الاستشعار Infrared Visible Imaging Radiometer Suiteالمحمولة على متن أقمار Suomi NPP ، تم تطوير المنتج ضمن برنامج NASA Earth Observing Systemلتوفير قياسات موحدة بالشذوذ الحراري والحرائق على سطح الأرض ، وصممت منتجاتVNP14 على غرار مجموعة منتجات الشذوذ الحراري/الحرائق التابعة لجهاز قياس الإشعاع الطيفي التصويري متوسط الدقة (MODIS) [١١] ، ويعتمد على بيانات الأشعة تحت الحمراء والانبعاث الحراري للكشف عن اعلى النقاط الساخنة Max FRP التي تشير إلى وجود بكسلات الحرائق ، يحتوي المنتج على طبقات متعددة تشمل درجة الثقة في الكشف وسطوع الحريق ودرجة حرارة السطح عند البكسل النشط . تتم المعالجة عبر خوارزميات تجمع بين الإشارات الحرارية في القنوات المتوسطة والبعيدة من طيف الأشعة تحت الحمراء لتقليل الإيجابيات الكاذبة الناتجة عن السحب أو الانعكاسات[١٢] . ان القدرة الفائقة والتناسق المكاني والدقة العالية لإشارات الحرق المستمرة تجعل VIIRS مناسب بشكل خاص لرصد حرق الغاز المرتبط بالنفط في العراق، اذ تُمكّن الدقة الزمنية الشهرية لـ VIIRS من إجراء تحليل مكاني–زماني فعال طويل الأمد لديناميكيات الحرق والآثار البيئية المصاحبة له[١٣] .

جرى توظيف بيانات MaxFRP اختصاراً Maximum Fire Radiative Power باعتبارها اعلى قيمة للقدرة الإشعاعية الناتجة عن الاحتراق الحراري ويتم تقديرها بواسطة منظومة VIRS خلال فترات الرصد اليومية

وتحليل التباين المكاني لشدة الحرق بين الحقول النفطية وصولا لبناء مؤشر GFI ، وخلال المدة ٢٠٢١-٢٠٢٥ بلغت (١٢٦٨,٣ MW) أي انها اعلى بؤرة حرارية مرصودة وصلت اليها احدى الخلايا ، وحدد ادنى بؤرة بلغت قيمتها (٢,٦ MW) ، كما في خريطة (٣) ، ونستنتج بوجود تباين مكاني كبير في شدة النشاط الحراري في منطقة الدراسة .

خريطة (٣) القدرة الإشعاعية الناتجة من حرق الغاز في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



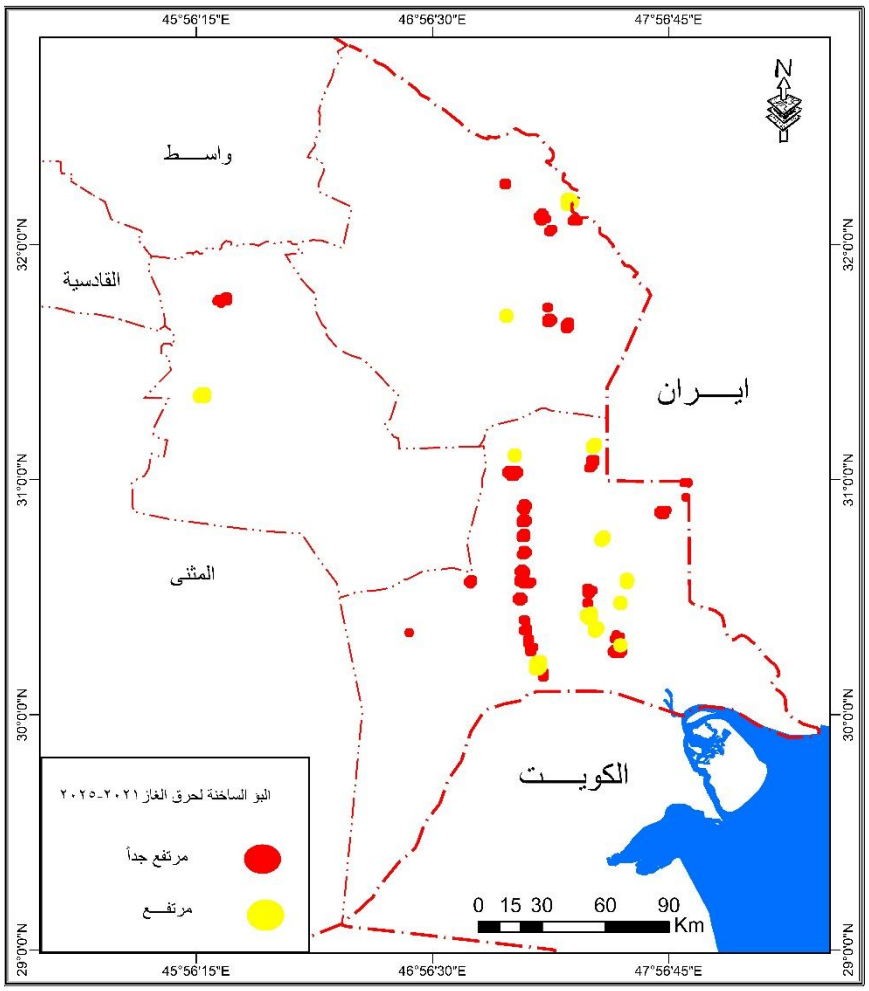
المصدر: VIIRS/002/VNP14A1 ، Google Earth Engine ، ArcMap .

٢- تحليل البؤر الساخنة (Hotspots) : يستخدم تحليل البؤر الساخنة في الدراسات الجغرافية والبيئية لكشف وتحديد مواقع تركز عمليات حرق الغاز المصاحب بشكل متكرر مقارنة مع المناطق المحيطة مستنداً الى الارتباط المكاني من مبدأ أن الظواهر الجغرافية تميل الى التجمع في مواقع محددة بتقنية الاستشعار عن بعد

التي توفرها الأقمار الصناعية ولا سيما VIRS بدقة مكانية وزمانية مناسبة[١٤] ، ولا يقتصر هذا التحليل فقط بكشف البؤر الساخنة وإنما يمتد الى قياس كثافة السخونة وتكرارها تمهيداً لقياس تراكيز الملوثات الجوية بواسطة بيانات القمر Sentinel-5P لفهم التأثيرات البيئية الناتجة من استمرار الحرق التي سنتناولها لاحقاً[١٥] .

تظهر نتائج تحليل البؤر الساخنة في الخريطة (٤) عن وجود ٤٣ بؤرة حرارية داخل حدود منطقة الدراسة وقد صنفت الى مستويين تبعا لقيم مؤشر Gas Flaring Index .

خريطة (٤) البؤر الساخنة في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



المصدر: الخريطة (٣) ، Google Earth Engine ، ArcMap .

استحوذ الصنف الأول فئة (مرتفع جداً) على ٣١ بؤرة ساخنة وبنسبة بلغت ٧٢,١% في حين استحوذت فئة (مرتفع) على ٢١ بؤرة حرارية وبنسبة ٢٧,٩ % من إجمالي البؤر الساخنة للمنطقة ، كما يتضح ايضا ان قيم Mean GFI في الفئة الأولى تراوحت بين ١-٠,٦١٨ وهي قيماً مرتفعة تشير الى قوة الإشعاع الناتج من مواقع الحرق ، أما الفئة الثانية فتراوحت قيمها بين ٠,٥٦٠-٠,٣٠٤ وهو نشاط حراري ايضا ولكنه اقل حرارة من الفئة الأولى . تشير نتائج البيانات أعلاه أن فئة (مرتفع جداً) قد سيطرت على أكثر من ثلثي البؤر الساخنة والتي توحي أن عمليات حرق الغاز في المنطقة تتركز في مواقع تتميز بأنها ذات نشاط حراري مرتفع ومستمر ، وهذا يتفق مع الحقول النفطية ذات الإنتاج النفطي الكبير والتي تعتمد على حرق الغاز المصاحب للتخلص منه .

٣- مؤشر حرق الغاز المركب GFI (Gas Flaring Index) : ويقصد به قوة الحرق في نقطة أو منطقة معينة تم اقتراحه وتصميمه في هذه الدراسة داخل منصةGoogle Earth Engine والتعلم الآلي ML لقياس شدة الحرق الغازي التي تتراوح قيمته بين (١-٠) لعدم وجود معادلة موحدة لمؤشر GFI ، من خلال دمج الطاقة الإشعاعية للحرق (FRP) لأنه يمثل الطاقة الحرارية المنبعثة ، مع التكرار الزمني لعدد مرات ظهور المواقد المشتعلة خلال فترة الدراسة ، وشدة المشاعل الليلية Night Light لان المشاعل الغازية ثابتة وتظهر ليلاً بإضاءة عالية ، والقرب من الحقول النفطية والخصائص الطيفية ، لان دمج المتغيرات يقلل من الأخطاء كحرق المحاصيل الزراعية إذ تولد حرارة مرتفعة والمشاعل الغازية التي تعمل بطاقة منخفضة وغير مستمرة بالاشتعال ، وفقاً للمعادلة الآتية :

$$GFI = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i$$

حيث $n = 5$ تصبح :

$$GFI = w_1 FRP_n + w_2 Freq_n + w_3 NL_n + w_4 D_n + w_5 P_n$$

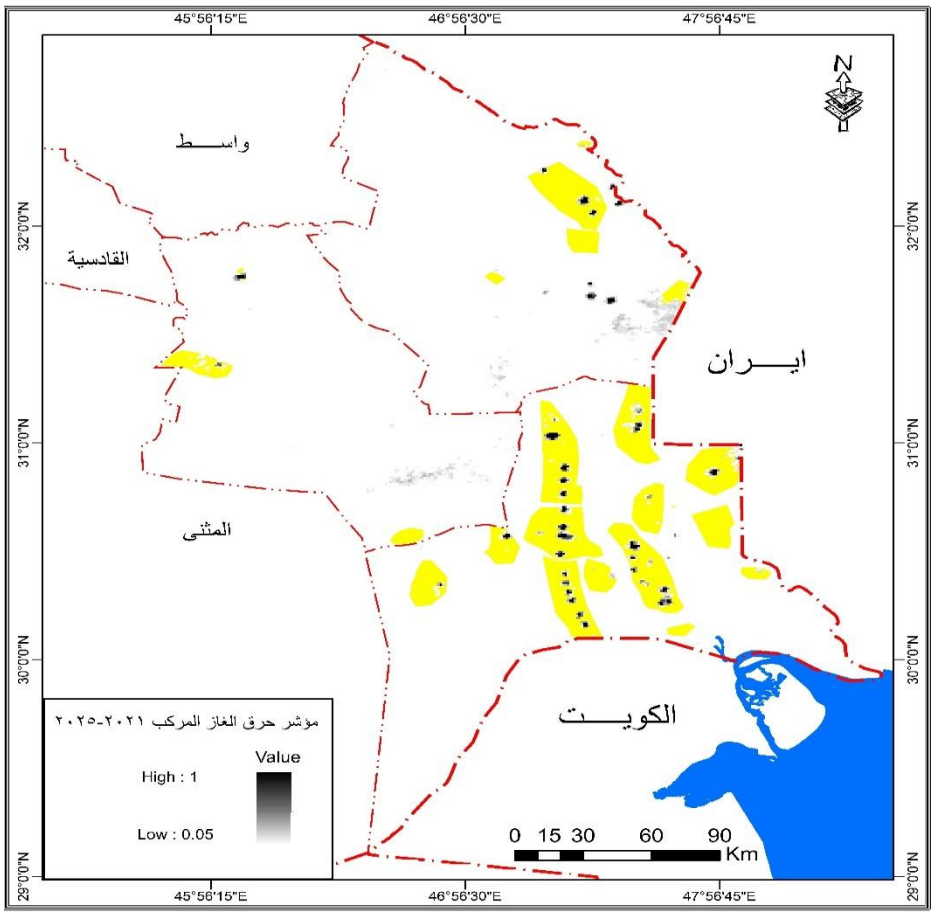
حيث :

- FRP_n= القيمة المطبعة لـ Fire Radiative Power. .
- $Freq_n$= القيمة المطبعة لتكرار ظهور البؤرة الحرارية .
- NL_n= القيمة المطبعة للإضاءة الليلية.(Night Light) .
- D_n= القيمة المطبعة لمؤشر القرب من الحقول النفطية، بحيث تمثل القيم الأعلى مسافات أقرب .

- P_n= القيمة المطبعة للاستمرارية الزمنية.(Persistence) .
- w_i = أوزان المتغيرات تساوي (٠,٢٠) .

تم إجراء تحليل مكاني لنتائج مؤشر GFI كخطوة أولى بعد استخدام بيانات VIRS ، باعتباره احد المؤشرات المهمة لكشف مناطق حرق الغاز الطبيعي المصاحب للنفط في محطات العزل الغازي داخل الحقول النفطية ، وقد أظهرت الخريطة (٥) نتائج تنحصر بين ١ كحد أقصى الذي يشير الى مناطق حرق غاز مستمرة خلال مدة الدراسة وبين ٠,٠٥ كحد أدنى الذي يشير الى نشاط منخفض جداً أو احتمالية ضعيفة لحرق الغاز في منطقة الدراسة .

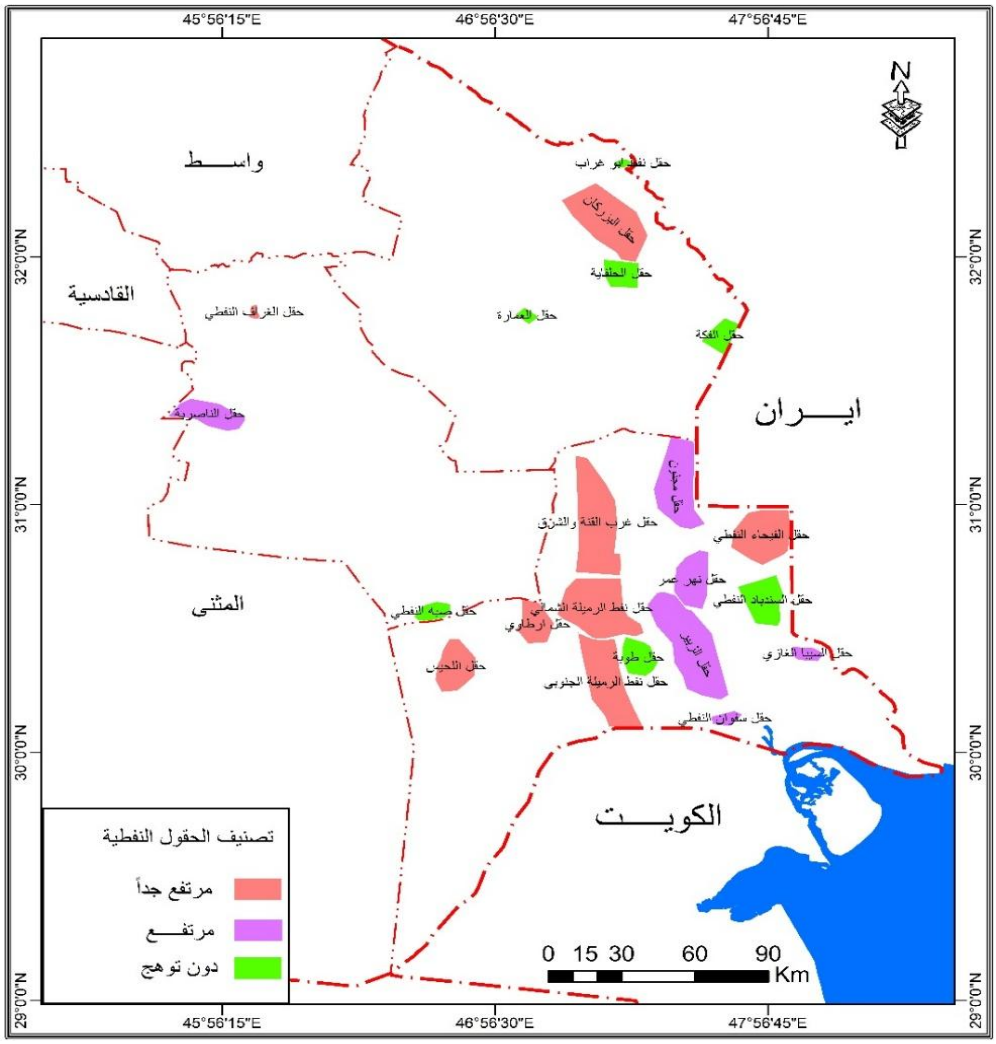
خريطة (٥) أنشطة الحرق GFI في الحقول النفطية جنوب العراق خلال المدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



المصدر: خريطة (٣) و (٤) ، ومنصة Google Earth Engine ، و ArcMap .

٤- تصنيف الحقول النفطية حسب شدة نشاط حرق الغاز المصاحب : تم الاعتماد على متوسط GFI في تصنيف الحقول النفطية الى ثلاث فئات كما في الخريطة (6) هي (مرتفع جدا) و(مرتفع) و(لا يوجد توهج) للحقول التي لم تسجل فيها حرق أو عدم استمرار وتكرار حالات الحرق فيها ، واذا تم ترتيب الحقول النفطية تنازليا حسب متوسط مؤشر GFI الذي يجمع بين كثافة الحرق والمساحة وعدد تكرار الحرق وعدد اليؤر الساخنة وأعلى شدة ، إذ نجد أن انبعاثات غازية مرتفعة جدا من ثمان حقول نفطية موضحة في جدول (٢) وخمس حقول اقل كثافة وانتشار مقارنة مع الحقول السابقة ، أما باقي الحقول النفطية لم تسجل فيها بؤر حرق مستمرة خلال مدة الدراسة .

خريطة (٦) تصنيف الحقول النفطية حسب شدة حرق الغاز في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



المصدر: خرائط (٣ ، ٤ ، ٥) ، وGoogle Earth Engine ، وبرنامج ArcMap .

جدول (٢) تصنيف الحقول النفطية حسب مؤشر GFI

اسم الحقل النفطي	متوسط GFI	التصنيف
حقل نفط ارطاوي	0.877	مرتفع جداً
حقل نفط البزركان	0.852	مرتفع جداً
حقل نفط اللحيس	0.823	مرتفع جداً
حقل نفط الرميلة الشمالي	0.713	مرتفع جداً
حقل نفط الرميلة الجنوبي	0.701	مرتفع جداً
حقل نفط غرب وشرق القرنة	0.693	مرتفع جداً
حقل نفط الغراف	0.647	مرتفع جداً
حقل نفط الفيحاء	0.640	مرتفع جداً
حقل نفط الزبير	0.584	مرتفع
حقل نفط مجنون	0.540	مرتفع
حقل نفط سفوان	٠,٥٠١	مرتفع
حقل نفط الناصرية	0.439	مرتفع
حقل نفط نهر عمر	0.367	مرتفع
باقي الحقول	0	لا يوجد توهج

المصدر : خريطة (٥) . الحد الفاصل للتصنيف عند متوسط GFI=0.60 .

نستخلص مما سبق عدة نتائج وهي كما يلي :

أ- أن نسبة ٤٢% من الحقول النفطية تقع ضمن فئة مرتفع جداً ثمانية حقول من أصل تسعة عشر حقل نفطي في منطقة الدراسة .

ب- أن حقول نفط الرميلة الشمالي والجنوبي وغرب القرنة وشرقها شمل بؤر حرارية رئيسة للحرق الغازي وهو مطابق لكميات انتاجها من النفط الخام .

ت- أن حقل الزبير النفطي يمتلك اكبر مساحة حرق من بين بقية الحقول النفطية الا أن مؤشر GFI لدية اقل من عتبة الحقول في فئة مرتفع جداً وهذا يدل أن الحرق فيه اكثر انتشارا واقل كثافة في المعدل .

ث- أن حقل نفط ارطاوي بلغت فيه قيمة GFI ٠,٨٧٧ وهي اعلى قيمة سجلت رغم أن مساحة الحرق ليست الأوسع وهذا يعكس كثافة اشعاعية عالية للحرق .

ح- أن سبعة حقول نفطية لم يرصد فيها أي نشاط لحرق الغاز خلال فترة الدراسة لأسباب منها عدم تكرار عمليات الحرق فيها بصورة مستمرة أو انه خارج نظام التصنيف المتبع في الدراسة .

المبحث الثاني / التحليل المكاني للتأثيرات البيئية لأنشطة حرق الغاز المصاحب في جودة الهواء لمنطقة الدراسة للفترة (٢٠٢١-٢٠٢٥) :-

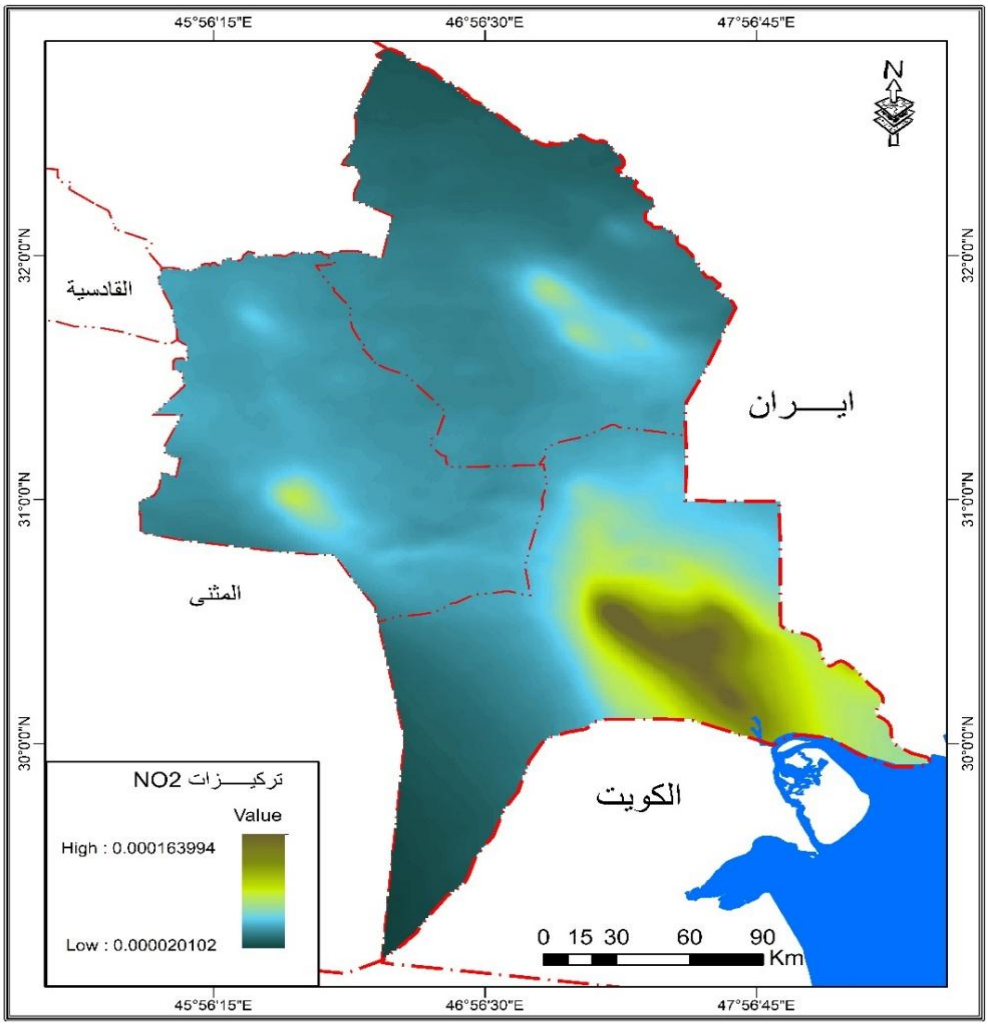
يعد العراق من الدول النفطية الرئيسة في العالم وان استخراجه يسهم بتعقيد الأزمة البيئية من خلال حرق الغاز الطبيعي بكميات مهوله جدا وانبعاث غازات ضارة الى الجو مباشرة ، وسيتم تناول الموضوع كالآتي :

أولا- التحليل المكاني لتوزيع كثافة بعض ملوثات الهواء : أتاحت التطورات الحديثة في مجال الاستشعار عن بعد ، ولا سيما القمر Sentinel-5P رصداً دقيقاً للملوثات الجوية المرتبطة بالأنشطة النفطية على نطاقات واسعة ولا يقتصر على التوزيع والكثافة فقط وإنما يشمل طريقة انتقال الملوثات وانتشارها ، ومنها :

١- مستويات الخطورة البيئية لغاز NO_2 : تم تحليل تأثير إنتاج النفط على كثافة (NO_2) باعتباره احد المؤشرات المهمة لتلوث الهواء الناتج عن عمليات احتراق الغاز المصاحب في محطات العزل ، وقد أظهرت الخريطة (٧) وجود تباين مكاني واضح داخل منطقة الدراسة لكثافة NO2 إذ سجلت

(٠,٠٠٠١٦٣٩٩٤ mol/m^2) كأعلى قيمة للمؤشر وهي قيمة مرتفعة كما في الدراسات العالمية المنشورة المعتمدة على بيانات Sentinel-5p ، وقد توافقت هذه النتيجة مع مناطق تركز كثافة الأنشطة النفطية والحرق الغازي وبالخصوص محافظة البصرة التي تحتضن اكبر الحقول النفطية كحقل الرميلة الشمالي والجنوبي وحقل الزبير حقل نهر عمر وحقل غرب القرنة وحقل مجنون النفطي بالإضافة الى ارتفاع عدد المشاعل لحرق الغاز واستمرارها طيلة فترة الدراسة وهذا يفسر ان محافظة البصرة أكثر المحافظات تعرضاً للتلوث .

خريطة (٧) تباين كثافة NO_2 في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥

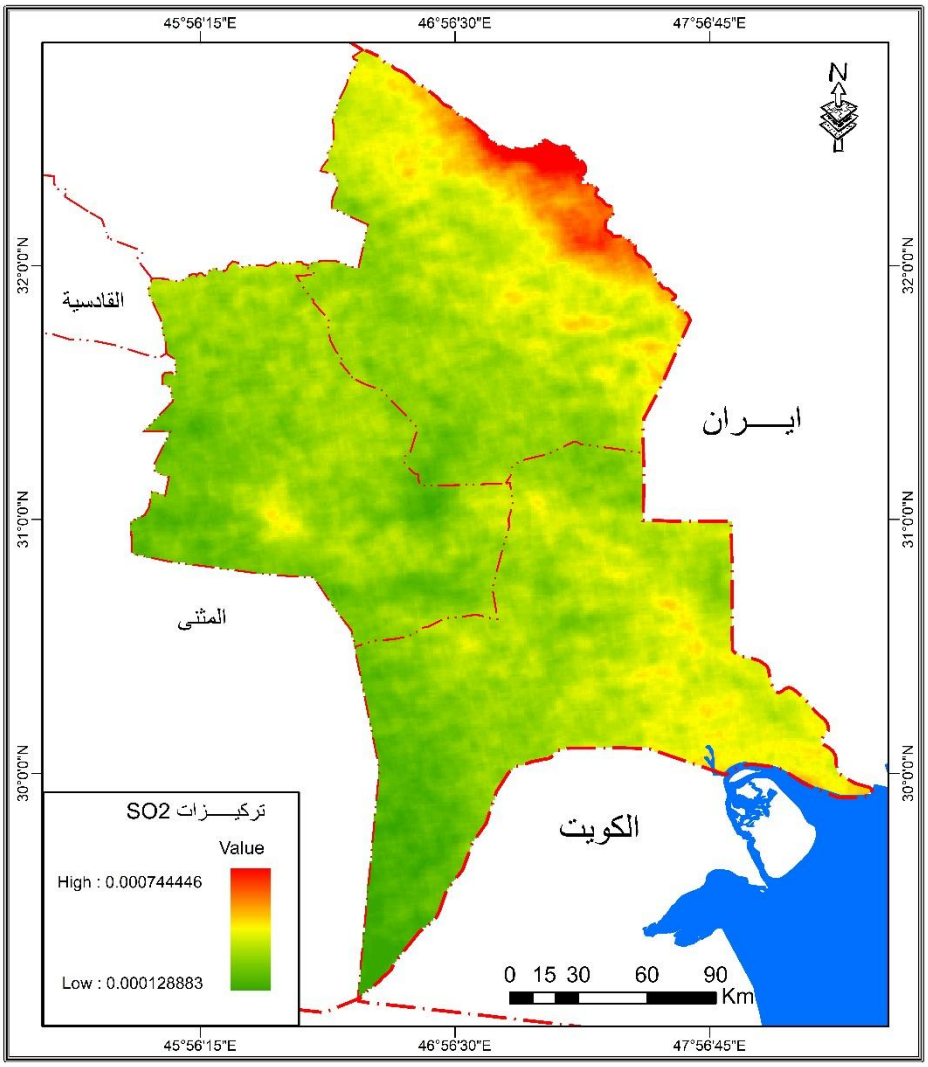


المصدر: بيانات Sentinel-5P ، ومنصة Google Earth Engine ،وبرنامج ArcMap .

تتناقص القيم أعلاه تدريجيا نحو الشمال باتجاه محافظة ميسان فيكون مستوى متوسط كثافه تتركز بالقرب من حقول نفط الحلفاية والبزركان وحقل نفط العمارة وتعكس هذه النتيجة انخفاض كثافة إنتاج النفط وحرق الغاز المصاحب مقارنة بمحافظة البصرة ، وتمتد الكثافة بالانخفاض نحو الأجزاء الغربية لمنطقة الدراسة بالتحديد محافظة ذي قار نتيجة قلة عدد الحقول النفطية وبالتالي انخفاض كثافة حرق الغاز المصاحب وقد تظهر بعض التراكيز بالقرب من حقل الناصرية النفطي ، كما بلغت أدنى قيمة للتلوث غاز NO_2 (٠,٠٠٠٠٢٠١٠٢ mol/m^2)في المناطق المجاورة والبعيدة عن مصادر أنتاج النفط الخام والتي تشتت بفعل عوامل بيئية سنتناولها لاحقاً .

٢- مستويات الخطورة البيئية لغاز SO_2 : حللت كثافة غاز ثاني اوكسيد الكبريت (SO_2) الذي يعد مؤشراً أكثر دقة على الأنشطة النفطية من بقية المؤشرات البيئية في العمود الراسي للهواء ، وذلك لارتباطه المباشر بحرق الوقود الاحفوري المحتوي على الكبريت وينبعث الى الجو مباشرة عند فصل الغاز الطبيعي والشوائب الأخرى وفي تكرير النفط ، وقد أظهرت الخريطة (٨) نتائج متباينة لقيم SO_2 إذ بلغت أعلى قيمة (٠.000744446 mol/m^2) وهي قيمة مرتفعة نسبياً ضمن بيانات القمر Sentinel-5P وتدل عن وجود انبعاث كبريتية مكثفة في مناطق إنتاج النفط الرئيسة ، ولاسيما محافظة البصرة التي تضم اكبر الحقول المنتجة للنفط والتي تبعث مواد كبريتية الى الجو وهي ايضا سجلت قيما مرتفعة لمؤشر GFI والبؤر الساخنة . سجلت حقول ابو غراب والبزركان وحقل الحلفاية النفطي وحقل الفكة في محافظة ميسان تركزاً مرتفعا للمواد الكبريتية ، أما حقول النفط في محافظة ذي قار فقد تبدو أنها اقل تركزاً بغاز SO_2 مع ظهور بؤر تنتشر بعموم اجزاء المحافظة ، وتؤكد هذه النتيجة بشكل قاطع أن عمليات انتاج النقط وحرق الغاز المصاحب والنشاطات الأخرى المرتبطة بالنفط تمثل مصدرا رئيساً لانبعاث غاز SO_2 في الغلاف الجوي والذي يقدم دليلا قويا يعزز فرضية ان التلوث في المنطقة ذو أصل نفطي ، وقد بلغت اقل قيمة للتلوث للمؤشر ذاته (٠.000128883 mol/m^2).

خريطة (٨) تباين كثافة SO_2 في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥

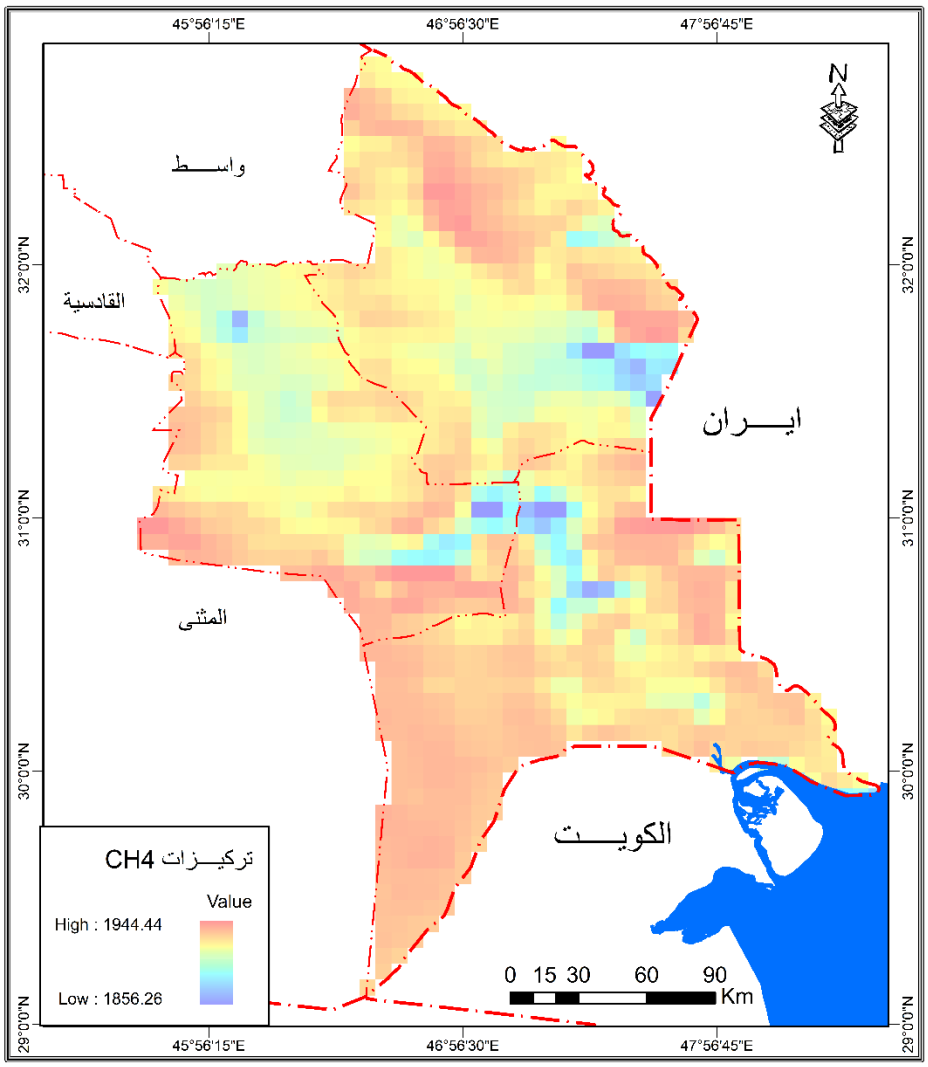


المصدر: بيانات Sentinel-5P ، ومنصة Google Earth Engine ،وبرنامج ArcMap .

٣- مستويات الخطورة البيئية لغاز CH_4 : يختلف نمط التوزيع المكاني لكثافة غاز CH_4 عن النمط الذي أظهره NO_2 وSO_2 لانه يتميز بخصائص منها هو غاز مستقر نسبياً يبقى في الغلاف الجوي فترات طويلة مقارنة مع الغازات اعلاه لذلك ينتشر بفعل خصائص المناخ لمسافات اكبر وينتج من تسريبات الغاز المصاحب للنفط والاحتراق غير الكامل له ، تظهر الخريطة (٩) أن اعلى قيمة لغاز CH_4 بلغت 1944.44 ppb ، في حين بلغت ادنى قيمة له 1856.26 ppb ويعكس هذا الفرق بوجود تباين مكاني واضح في انبعاث CH_4 ، كما

تشير القيم المرتفعة الى عمليات انتاج النفط وحرق الغاز المصاحب ، بينما تشير القيم المنخفضة الى المناطق الأقل تركزاً بالنشاط النفطي .

خريطة (٩) تباين كثافة CH_4 في جنوب العراق للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



المصدر: بيانات Sentinel-5P ، ومنصة Google Earth Engine ،وبرنامج ArcMap .

ثانياً- تحليل العلاقة المكانية بين أنشطة حرق الغاز وتلوث الهواء :

اظهرت نتائج استخراج الإحصاءات المكانية لبيانات الملوثات مع الحقول النفطية باستخدام أداة الإحصاء ألمناطقي Zonal Statistics at Table في بيئة ArcMap في جدول (٣) قيماً متباينة ، إذ

بلغت قيم NO_2 أعلى معدلاتها في حقول الطوبة والزبير وسفوان على التوالي ، في حين كانت أدنى القيم في حقول الفكة والبزركان والحلفاية واللحيس. أما معدلات SO_2 فقد سجلت أعلى متوسط لها في حقل البزركان النفطي يليه على التوالي حقول الحلفاية والفكة ونهر عمر ، بينما سجلت الناصرية واللحيس أدنى المعدلات . وبالنسبة لمعدلات CH_4، فقد تركزت اعلاها في حقول نفط الفكة ومجنون واللحيس ، في حين سجل حقلا غرب القرنة والشرق والرميلة الشمالي أدنى المعدلات ، ونستخلص من التحليل أن توزيع الملوثات لا يتبع نمطًا مكانيًا موحدًا بين الحقول ، لذا يجب مقارنة متوسط الملوثات مع شدة حرق الغاز ممثلة بمؤشر GFI للكشف عن طبيعة العلاقة المكانية بين مصادر الحرق ومستويات التلوث .

جدول (٣) العلاقة بين متوسط GFI وملوثات الهواء في الحقول النفطية للمدة ٢٠٢١–٢٠٢٥

اسم الحقل النفطي	GFI Mean–	Mean– NO_2	Mean– SO_2	Mean– CH_4
الفكة	0.000000	0.000034	0.000323	1924.48
البزركان	0.852174	0.000035	0.000393	1923.72
الحلفاية	0.000000	0.000035	0.000324	1931.84
الناصرية	0.438629	0.000047	0.000189	1930.87
مجنون	0.540187	0.000050	0.000248	1932.35
نهر عمر	0.367340	0.000074	0.000285	1924.90
الزبير	0.583912	0.000135	0.000279	1922.65
طوبة	0.000000	0.000141	0.000265	1929.27
الرميلة الجنوبي	0.701317	0.000075	0.000247	1925.34
اللحيس	0.822657	0.000035	0.000206	1932.22

ارطاوي	0.877155	0.000048	0.000253	1928.35
الرميلة الشمالي	0.713382	0.000090	0.000236	1919.88
غرب القرنة والشرق	0.693135	0.000060	0.000261	1904.89
الفيحاء	0.640428	0.000050	0.000272	1927.06
السندباد	0.000000	0.000065	0.000274	1934.94
صبة	0.000000	0.000042	0.000232	1931.17
السيبا الغازي	0.000000	0.000078	0.000297	1928.80
سفوان	0.000000	0.000136	0.000288	1930.11

المصدر : الخرائط (٥ ، ٧ ،٨ ، ٩) ، وبرنامج ArcMap .

بعد إجراء تحليل لمتوسطات كثافة الملوثات فقد كان لابد من المقارنة بين قيم مؤشر حرق الغاز GFI ومتوسطات تراكيز NO_2 ، SO_2 ، CH_4 داخل الحقول النفطية كما في نتائج جدول (٣) فقد ظهر وجود تباين في درجات التطابق المكاني بين شدة الحرق من جهة ومستويات الملوثات من جهة اخرى ، فقد سجلت بعض الحقول النفطية ذات قيم مرتفعة لمؤشر GFI تراكيز مرتفعة أيضا من بعض الملوثات كما في حقل البزركان الذي سجل قيمة GFI مرتفعة بلغت 0.852 بالتزامن مع ارتفاع متوسط SO_2 الى 0.000393 mol/m² ولكن في المقابل ظهرت حقول ذات شدة حرق مرتفعة نسبيًا مع تركيز أقل من بعض الملوثات كما في حقل نفط ارطاوي الذي بلغت قيمة GFI فيه 0.877 في حين بلغ متوسط تراكيز NO_2 0.000048 mol/m²وبلغ متوسط تراكيز SO_2 0.000253 mol/m² ، كما سجل حقل طوبة الذي صنف ضمن الحقول التي لم ترصد فيها أنشطة حرق وفق GFI متوسط NO_2 مرتفعًا بلغ 0.000141 mol/m² .

تشير المقارنة الى أن توزيع كثافة الملوثات لا يتطابق بصورة ثابتة مع شدة حرق الغاز داخل الحقول النفطية لان مستويات الملوثات تتأثر بعوامل مكانية ومناخية سننتقل لها لاحقا .

ثالثا- تحليل بعض عناصر المناخ في تشتت ونقل الملوثات في الهواء :-

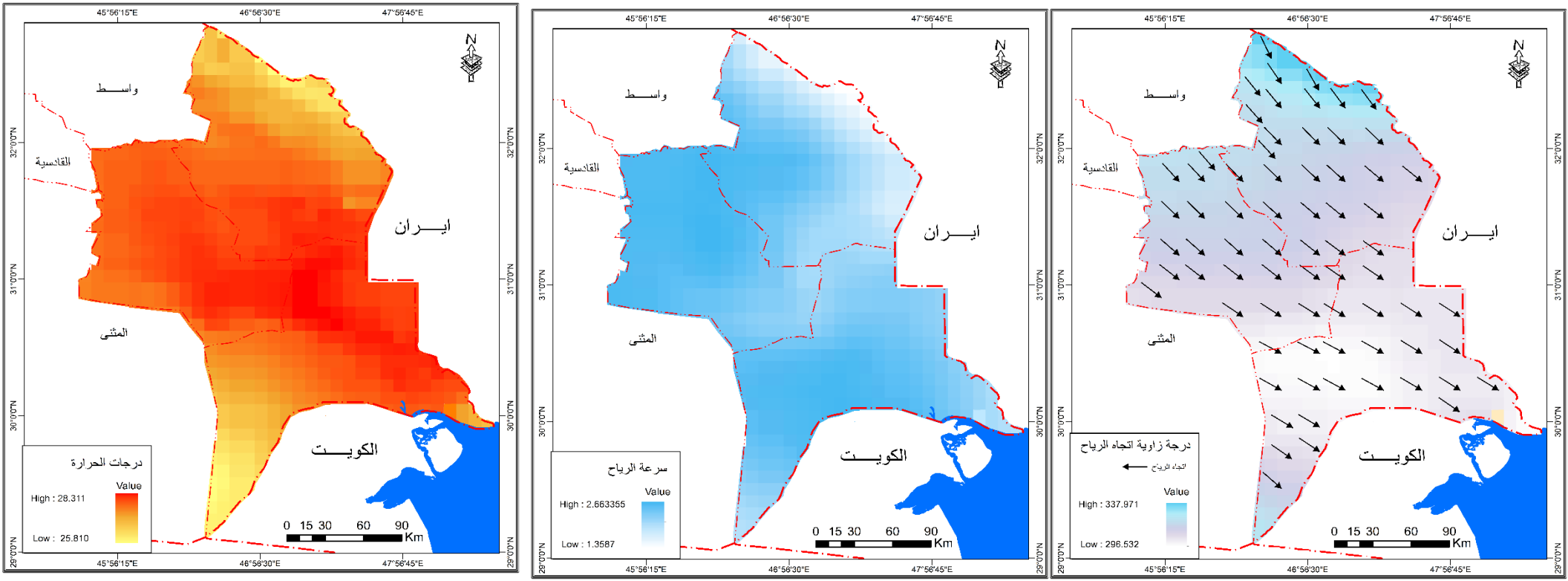
يبرز تحليل الظروف الجوية باستخدام بيانات ERA5 ECMWF الدورَ الهام لتغيرات الغلاف الجوي في تشكيل أنماط تلوث الهواء في جنوب العراق ، وهي اختصاراً European Centre for Medium-Range Weather Forecastsوتعني المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى[١٦] ، هي قاعدة بيانات مناخية عالمية متقدمة توفّر سجلات مناخية طويلة الأمد تشمل متغيرات الغلاف الجوي واليابسة والمحيطات صيغتيه الحتمية (Deterministic) التي تمثل أفضل تقدير لحالة الغلاف الجوي[١٧] ، إذ تشير نتائجها في الخريطة (١٠) إلى أن اتجاه الرياح بلغ متوسطه (٣١٠,٣١٢ْ) وهذا يقابل الاتجاه العام نحو الشمالي الغربي وبذلك تعد هي الرياح السائدة على منطقة الدراسة ويفترض أن تميل الملوثات مع حركة الرياح ، وبلغ معدل سرعتها (2.312 م/ث) خلال مدة الدراسة كما في الخريطة (١١) ، وتلعب دوراً هاماً في انتشار الملوثات المنبعثة أفقيا من مواقع إنتاج النفط ، وهذا يُفسر وجود تركز الملوثات ليست فوق الحقول النفطية ، فسرعة الرياح واتجاهها تحددان أين تذهب الملوثات وأي المناطق تتأثر بها ، وتبقى العامل المهيمن لانتشار الملوثات في المناطق القاحلة وشبه القاحلة ، فتكون هي الأداة الرئيسة الناقلة للملوثات إلى ما وراء المناطق المجاورة مباشرةً لحقول النفط أو قد تقل في بعض الحالات بالاعتماد على سرعتها ، علاوة على ذلك تشير تحليلات بيانات درجات الحرارة من مشروع ERA5 ECMWF في خريطة (١٢) التي وصلت الى معدل بلغ (٢٧,٥٦ْ) خلال فترة الدراسة لسطح الأرض في جنوب العراق الذي يقع ضمن نطاق المناخ شبه الجاف ، وهذا يُعزز التفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي ويُسهم في زيادة تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت في مناطق إنتاج النفط إذ تبقى الحرارة المتحكم الرئيس بالخصائص الديناميكية للهواء وبالتالي في ظروف بقاء الملوثات أو تشتتها .

ويقتصر اثر الإمطار والرطوبة النسبية في الجو على الملوثات بسبب قلتها إذ يعاني العراق ومنطقة الدراسة بالخصوص من نوبات جفاف قاسية لذا يكاد أن يكون أثرها شبه معدوم .

خريطة (١٠) معدل اتجاه الرياح في منطقة الدراسة للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥

خريطة (١١) معدل سرعة الرياح في منطقة الدراسة للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥

خريطة (١٢) معدل درجة الحرارة في منطقة الدراسة للمدة ٢٠٢١-٢٠٢٥



المصدر : بيانات European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ، ومنصة Google Earth Engine .

رابعا– بناء مؤشر المخاطر البيئية المركب(CERI)اختصارا Environmental Risk Model Equations :

طُور نموذج مكاني مركب كجزء من مشروع بيئي وجوي لتقييم المخاطر البيئية في Google Earth Engine باستخدام النمذجة المكانية استنادًا الى حساب متوسط بيانات أربع طبقات رئيسة هي : GFI مؤشر الحرق ، تركيز NO_2 ، تركيز SO_2 ، تركيز CH_4 .

بعد إجراء عملية توحيد القيم(Normalization) للطبقات الثلاث أعلاه لتأخذ نفس المدى (٠–١) حسب المعادلة ١ ، ودمج هذه المؤشرات مع بعض باستخدام أوزان نسبية (٠,٤، ٠,٢، ٠,٢، ٠,٢) على التوالي وفق المعادلة ٢ :

١– معادلة توحيد القيم :

$$Xnorm = (X - Xmin) / (Xmax - Xmin)$$

حيث ان :

$Xnorm$ = القيم المعيارية للمتغير .

X = القيمة الأصلية .

$Xmin$ = القيمة الدنيا .

$Xmax$ = القيمة القصوى .

٢– معادلة مؤشر المخاطر البيئية المركب (وفق أوزان نسبية مجموعها ١) :

$$\text{CERI} = 0.4(GFI_{norm}) + 0.2(NO_{norm}) + 0.2(SO_{norm}) + 0.2(CH_{norm})$$

حيث ان :

GFI_{norm} = الإشعاع الموحد .

NO_{2norm} = تركيز ثاني اوكسيد النتروجين الموحد .

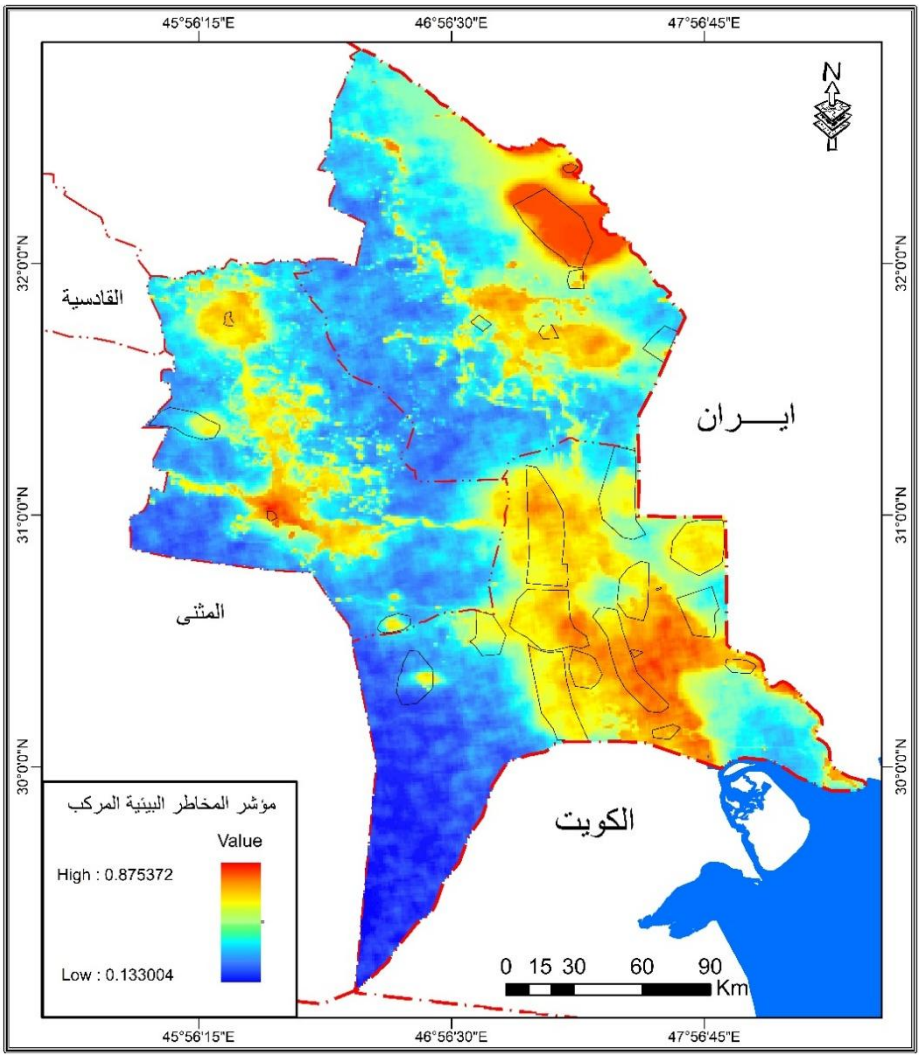
SO_{norm} = تركيز ثاني اوكسيد الكبريت الموحد .

CH_{norm} = تركيز الميثان .

وقد نتج عن تطوير النموذج خريطة الخطر البيئي (١٣) تباين مكاني في مستويات المخاطر لمنطقة الدراسة إذ تراوحت قيم المؤشر بين (٠,١٣٣ – ٠,٨٧٥) وبمتوسط خطر بيئي بلغ (٠,٤٤١) ، وقد أشارت القيم

المرتفعة الى مناطق التداخل المكاني بين شدة النشاط النفطي وتركيزات ملوثات الهواء المدخلة في بناء المؤشر كما اتخذت القيم ذاتها نمطاً مكانياً متجمعاً في رقع رئيسة مع تفرق وعدم تجانس بعض من هذه الرقع ، ويعكس هذا النمط تجانس توزيع المخاطر البيئية مكانيا ، ويتوافق هذا التوزيع مع مناطق تركز النشاط النفطي .

خريطة (١٣) المخاطر البيئية في جنوب العراق



المصدر : الخرائط (٥ ، ٧ ، ٨ ، ٩) ، ومنصة Google Earth Engine .

الاستنتاجات :

١- أن الدمج بين تقنيات الاستشعار عن بعد وبعض العوامل الجغرافية المكانية في اطار موحد يجمع بيانات VIRS وبيانات Sentinel-5P والتحليل المكاني في ArcMap أعطى رصد مكاني واضح وتفسير بيئي وتحليل علاقة الأنشطة النفطية والتلوث الجوي .

٢- أن مؤشر GFI أعطى بعداً مكانياً للتحليل فقد بين أن الحقول النفطية تتباين في مستوى حرق الغاز المصاحب فبعض الحقول النفطية سجلت مستويات FRP شديدة مستمرة ومتكررة زمنياً وهي عدة مناطق حقيقية في حين أن البعض الآخر سجل شدة منخفضة في مستوى الحرق خلال السنة وبالتالي أصبح بالإمكان تصنيف الحقول النفطية حسب شدة نشاط الحرق ومقارنتها بصورة كمية .

٣- تمثل بعض الحقول بؤراً رئيسة لحرق الغاز مثل حقل نفط الزبير والبزركان وارطاوي والرميلة الجنوبية وحقل نفط اللحيس والتي ظهرت ضمن المستويات المرتفعة وفق مؤشر GFI وهذا يعني أن مستويات حرق الغاز ليس متساوياً وانما يعتمد البنى التحتية للحقل وعلى كمية الانتاج واحتواء النفط الخام على الغاز المصاحب .

٤- لم تتخذ الملوثات الثلاثة نمط مكاني موحد فلكل واحد منها خصائص ومصادر انبعاث مختلفة ، إذ ظهر أن NO_2 يرتبط مكانيا مع مناطق النشاط النفطي وحرق الغاز المصاحب للنفط ، أما غاز SO_2 فهو يرتبط مباشرة بعمليات حرق الغاز المحتوي على الكبريت لذا أن ارتفاع قيمته يعد مؤشراً على تاثير عمليات الحرق في نوعية الهواء ، أما CH_4 فوجوده لا يرتبط بالحرق فقط وانما من خلال تسريبات وانبعاثات غاز غير محترق من المواقع النفطية وهذا يساهم في زيادة الانبعاثات في الهواء .

٥- ظهر من مؤشر المخاطر البيئية المركب (CERI) وجود تباين في مستوى الخطر البيئي بحيث تركزت قيم التلوث المرتفعة في مناطق التي تتكرر فيها نشاطات الحرق بصورة مستمرة والعكس صحيح ، كما انه ينتج عن التداخل المكاني بين الملوثات المدروسة .

المقترحات

١- الاعتماد على التقنيات الجغرافية الحديثة بصورة مستمرة لرصد انشطة حرق الغاز المصاحب للنفط الخام ، ورسم خرائط رقمية للبؤر الساخنة ومستويات شدة الخرق الغازي بما يتيح للمختصين متابعة التغير المكاني والزماني للانشطة داخل الحقول النفطية .

٢- الحد من الانبعاثات الحرارية الناتجة من الحقول النفطية والمنشات المرتبطة بها عن طريق وضع برامج تزيد من كفاءة استثمار الغاز محليا وعالميا تبدأ من جمعه ومعالجته وتنتهي باستهلاكه في المكان المخصص له والاستفادة منه اقتصادياً .

٣- مراعاة استخدام البيانات المناخية التي تخص اتجاه وسرعة الرياح والمسافة عن مصدر حرق الغاز المصاحب وعدم الاعتماد على مصدر الحرق وحده عند تحديد النطاقات المتأثرة بالتلوث .

الهوامش

(1) Ialongo, I.et al, (2021). Satellite-based estimates of nitrogen oxide and methane emissions from gas flaring and oil production activities in Sakha Republic, Russia. Atmospheric Environment: X, 11, 100114.

(2) Khreebsh, H. T., & Azeez, N. M. (2024). Assessment of Gas Flaring on Air Quality in the Al-Rumaila Oil Field Region in Basra Governorate, Iraq. EnvironmentAsia, 17(3), 105–115. DOI: 10.14456/ea.2024.39.

(3) Abbas, H. A., & Sultan, H. S. (2024). Economic losses from flaring gases in Rumaila Oil Field. Basrah Journal for Engineering Sciences, Vol 24, NO(2), 88–95.

(4) Alsabbagh, M. R.et al. (2024). The concentration of black carbon emissions from natural gas flaring activities in Basra Province, Iraq. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3891943/v1.

(٥) جمهورية العراق ، وزارة النفط العراقية ، دائرة العقود والتراخيص البرولية ، جولات التراخيص الأولى والثانية والثالثة والرابعة .

(٦) وزارة النفط العراقية ، ٢٠٠٧ ، مكتب المفتش العام ، تقرير الشفافية الثالث ، تصدير النفط الخام العراقي ، ١٩٩٦-٢٠٠٦ ، بغداد ، ص١٨ .

(٧) يحيى حمود حسن ، ٢٠٢٢ ، نفط البصرة بين ضخامة الاحتياطات والهدر في الموارد ، سلسلة إصدارات مركز البيان للدراسات والتخطيط ، ص٢٣ .

(٨) وزارة النفط العراقية ، مكتب المفتش العام ، تقرير الشفافية الأول ، أداء القطاع النفطي لعام ٢٠٠٤-٢٠٠٥ ، بغداد ، ٢٠٠٦ ، ص١٠ .

(٩) منى علي دعيج ، ٢٠٠٢ ، صناعة تصفية النفط في العراق للفترة من (١٩٦٨-١٩٩٨) دراسة في جغرافية الصناعة ، رسالة ماجستير ، كلية التربية للبنات ، جامعة بغداد ، ص٨٨ .

(١٠) مركز تمكين السلام في العراق ، ٢٠٢٤ ، حرق الغاز المصاحب في العراق : الآثار وجهود المعالجة ومعوقاتها ، ترجمة فيصل عبد العزيز ، مؤسسة غداً لإدارة المخاطر ، العدد ٥٧ ، ص١١ .

(11) https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/NASA_VIIRS_002_VNP14A1?hl=ar&utm_source=chatgpt.com .

(12) Product User's Guide Version 1.4, NASA VIIRS Land Science Investigator Processing System (SIPS) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products,2018,P11.

(13) Elvidge, C. D.et al. 2016. Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data. Energies 9 (1): 14. doi:10.3390/en9010014.
(14)Caihong Ma et al., "Assessing Heavy Industrial Heat Source Distribution in China Using Real-Time VIIRS Active Fire/Hotspot Data," Remote Sensing, 2018.p3.
(15) Mikhail Zhizhin et al., "Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire," Remote Sensing, 2021, 13, 3078, p. 5.
(16) Jessica K, et al. ERA5–Drought: Global drought indices based on ECMWF reanalysis, Scientific Data volume 12, Article number: 616 (2025), https// doi.org/10.1038/ s41597-025-04896-y, p1.

(17) A study performed by Evenflow for ECMWF.(2023). The value generated by ERA5. Study on ERA5 socio-economic benefits (CJS2_154a_Lot3_Evenflow_2023),P6.

المصادر

١. جمهورية العراق ، وزارة النفط العراقية ، دائرة العقود والتراخيص البرولية ، جولات التراخيص الأولى والثانية والثالثة والرابعة .
٢. وزارة النفط العراقية ، (٢٠٠٧) ، مكتب المفتش العام ، تقرير الشفافية الثالث ، تصدير النفط الخام العراقي ، ١٩٩٦–٢٠٠٦ ، بغداد .
٣. يحيى حمود حسن ، (٢٠٢٢) ، نفط البصرة بين ضخامة الاحتياطات والهدر في الموارد ، سلسلة إصدارات مركز البيان للدراسات والتخطيط .
٤. وزارة النفط العراقية ، (٢٠٠٦) ، مكتب المفتش العام ، تقرير الشفافية الأول ، أداء القطاع النفطي لعام ٢٠٠٤–٢٠٠٥ ، بغداد .
٥. منى علي دعيج ، (٢٠٠٢) ، صناعة تصفية النفط في العراق للفترة من (١٩٦٨–١٩٩٨) دراسة في جغرافية الصناعة ، رسالة ماجستير ، كلية التربية للبنات ، جامعة بغداد .
٦. مركز تمكين السلام في العراق ،(٢٠٢٤)، حرق الغاز المصاحب في العراق : الآثار وجهود المعالجة ومعوقاتها ، ترجمة فيصل عبد العزيز ، مؤسسة غداً لإدارة المخاطر ، العدد ٥٧ .
7. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/NASA_VIIRS_002_VNP14A1?hl=ar&utm_source=chatgpt.com .
8. Product User's Guide Version 1.4, NASA VIIRS Land Science Investigator Processing System (SIPS) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products,2018.
9. Elvidge, C. D.et al. 2016. Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data. Energies 9 (1): 14. doi:10.3390/en9010014.
10. Caihong Ma et al., "Assessing Heavy Industrial Heat Source Distribution in China Using Real-Time VIIRS Active Fire/Hotspot Data," Remote Sensing, 2018.
11. Mikhail Zhizhin et al., "Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire," Remote Sensing, 2021, 13, 3078.

12. Jessica K, et al. ERA5–Drought: Global drought indices based on ECMWF reanalysis, Scientific Data volume 12, Article number: 616 (2025), https// doi.org/10.1038/ s41597-025-04896-y.
13. A study performed by Evenflow for ECMWF.(2023). The value generated by ERA5. Study on ERA5 socio-economic benefits (CJS2_154a_Lot3_Evenflow_2023.
14. Ialongo, I.et al, (2021). Satellite-based estimates of nitrogen oxide and methane emissions from gas flaring and oil production activities in Sakha Republic, Russia. Atmospheric Environment: X, 11, 100114.
15. Khreebsh, H. T., & Azeez, N. M. (2024). Assessment of Gas Flaring on Air Quality in the Al-Rumaila Oil Field Region in Basra Governorate, Iraq. EnvironmentAsia, 17(3), 105–115. DOI: 10.14456/ea.2024.39.
16. Abbas, H. A., & Sultan, H. S. (2024). Economic losses from flaring gases in Rumaila Oil Field. Basrah Journal for Engineering Sciences, Vol 24, NO(2), 88–95.
17. Alsabbagh, M. R.et al. (2024). The concentration of black carbon emissions from natural gas flaring activities in Basra Province, Iraq. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3891943/v1.