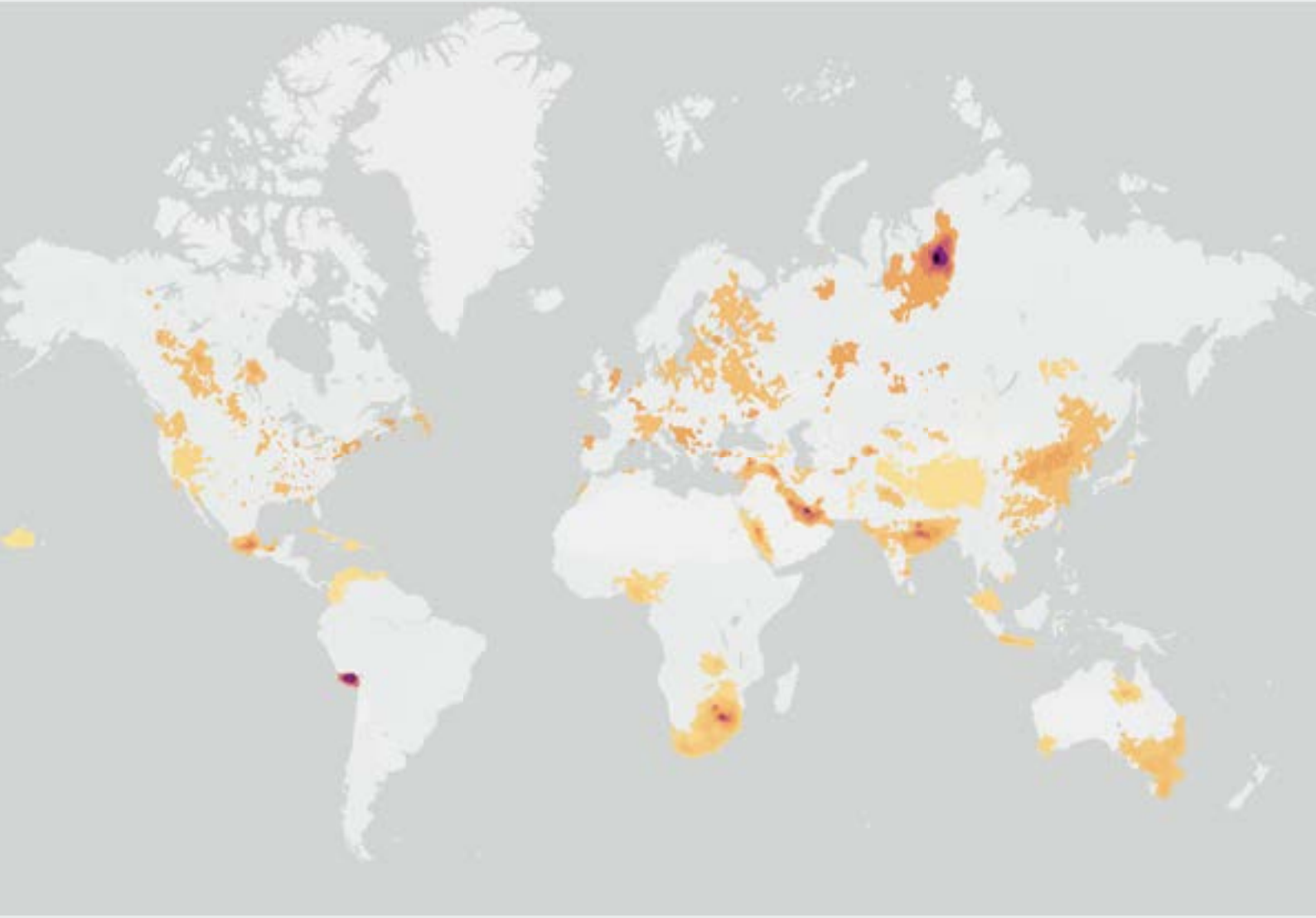
تصنيف بؤر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم: ٢٠١٩-٢٠٢٠

نظرة عن قربٍ إلى هذا الغاز العديم اللّون
الذي يسمّم هواءنا وصحّتنا



CREA
Centre for Research on Energy and Clean Air

GREENPEACE
غرينبيس

المؤلّفون:
سونيل داهيا، أندرياس آينهاوزر، آيدان فارو، هيوبرت ثييريو، أفيناش شانشال، لوري ميليفيرتا

تحليل البيانات والرسومات البيانيّة:
هيوبرت ثييريو، أندرياس آينهاوزر، لوري ميليفيرتا

منسّقو المشروع:
زنيي شين، إيرين نيوبورت، مينوو صان، جيون تشوي

المساهمون:
إيزابيلا سواريز، ميغلينا أنطونوفا، غوخان إرسوي، جوناثان مويلان، نلانلا سيبيسي، بابلو راميريز، إيلينا ساكيركو، أحمد الدروبي، بوندان أندريانو، دينيس سيسكو، إيريكا ووسيفووري

التحرير:
كاثرين ميللر

تصميم التقرير الأصلي:
لورين أوستن

التصميم للنسخة العربية:
جيهان أبو خاطر

الإقتباس المقترح:
داهيا، س.، آينهاوزر، أ.، فارو، آ.، ثييريو، هـ.، شانشال، أ.، ميليفيرتا، ل. قاعدة بيانات بؤر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم. دلهي: مركز أبحاث الطاقة والهواء النقي ومنظّمة "غرينبيس" الهند. 46 صفحة. تشرين الأوّل/أكتوبر 2020.
Dahiya, S., Anhäuser, A., Farrow, A., Thieriot, H., Kumar, A., & Myllyvirta, L. Global SO_2 emission hotspot database. Delhi: Center for Research on Energy and Clean Air & Greenpeace India. 46 pp. October 2020.

النشر:
مركز أبحاث الطاقة والهواء النقي ومنظّمة "غرينبيس" الهند

مُلخَّص تنفيذي

يُعدّ ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ملوّثًا للهواء عديم اللّون لا تراه العين المجرّدة، وهو منتشرٌ ويشكّل خطراً على صحّة الإنسان. يزيد استنشاق ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من خطر التعرّض لمشاكل صحيّة كالسكتة الدماغيّة وأمراض القلب والربو وسرطان الرئة والوفاة المبكّرة.

يعتبر حرق الوقود الأحفوري - بما في ذلك الفحم والنفط والغاز - المصدر الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2). فغالباً ما يصل التلوّث الناتج عن ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) إلى مستويات خطرة بالقرب من المحطّات التي تعمل على الفحم ومن مصافي النفط وفي المناطق ذات الطابع الصناعي.

إستنتاجات التقرير

بهدف تحرير هذا التقرير الصادر عن منظّمة "غرينبيس"[1] ومركز أبحاث الطاقة والهواء النقي، عمد الباحثون، من أجل كشف بؤر الانبعاثات، إلى استخدام بيانات الأقمار الصناعيّة والفهرس العالمي لمصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) للإدارة الوطنيّة للملاحة الجويّة والفضاء في الولايات المتّحدة (ناسا). وقد تمّ تحليل هذه البيانات بغية تحديد الصناعات المصدر واتّجاهات الانبعاثات.

وتشير النتائج إلى انخفاضٍ عالميٍّ بنسبة 6 في المئة تقريباً في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في العام 2019. وللمرّة الثانية فقط على الإطلاق، شهدت البلدان الثلاثة ذات أعلى نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) - الهند وروسيا والصين - إنخفاضاً في هذه النسبة. وقد سجّلت الهند إنخفاضاً كبيراً في نسبة انبعاثاتها للمرّة الأولى منذ أربع سنوات بسبب انخفاض استخدام الفحم.

وفي العام 2019، شكّلت إنبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في الهند 21 في المئة من مجمل الانبعاثات العالميّة؛ أي ما يقارب ضعف النسبة في روسيا، ثاني أكبر باعثٍ لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم. وقد سجّلت الهند هذه النسبة المرتفعة من الانبعاثات أساساً بسبب توسّع عمليّة توليد الكهرباء من الفحم طوال العقدين الماضيين.

وعلى الرغم من أن الصين كانت في يومٍ من الأيام أكبر باعثٍ لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، فقد انخفضت انبعاثاتها بنسبةٍ كبيرةٍ وصلت إلى نسبة 87 في المئة منذ ذروتها في العام 2011. ويعود ذلك بشكلٍ كبيرٍ إلى تعزيز معايير الانبعاثات وزيادة استخدام أجهزة غسل الغاز في محطات الطاقة. وفي العام 2019، شهدت الصين انخفاضاً بنسبة 5 في المئة في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية، وهو أبطأ معدل انخفاض في العقد الماضي.

كما شهدت جنوب إفريقيا انخفاضًا حادًّا في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العام 2019، مما أدى إلى بلوغ هذه الانبعاثات أدنى مستوياتها على الإطلاق. وتبرز الحاجة إلى مزيدٍ من التحقيقات لفهم أسباب هذا الانخفاض؛ علماً أن الخفض المؤقت لقدرة التوليد عبر حرق الفحم قد يكون أحد العوامل المحتملة التي أدت إلى ما يسمى ب"فصل الأحمال" في ذلك العام.

في المقابل، ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بنسبة 14٪ في تركيا في العام 2019، فأصبحت بذلك واحدة من البلدان القليلة التي زادت فيها الانبعاثات في ذلك العام. ويبقى إنتاج الطاقة من الفحم، المصدر الرئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تركيا.

في العام 2019، شكّل مصهر نوريلسك في روسيا أكبر مصدر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في العالم. واحتلت بؤرة رابغ للنفط والغاز في المملكة العربية السعودية المرتبة الثانية، وأتت زاغروس في إيران في المرتبة الثالثة.

في جنوب شرق آسيا، تحديداً في بنتن في أندونيسيا، تُعتبر محطّة "سورالايا" التي تعمل على الفحم أكبر بؤرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، تليها عن قرب مصافي النفط والغاز في سينغافورة.

[1] تشير "غرينبيس" في هذا التقرير إلى "غرينبيس" الهند، ما لم يشر إلى غير ذلك

على الصعيد العالمي، لا تزال تركيزات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مرتفعة بصورةٍ خطرة بيد أن مستوياتها تشهد انخفاضاً كبيراً خلال العام 2020؛ ويعود ذلك على الأرجح إلى انخفاض الطلب على الطاقة بسبب جائحة الفيروس التاجي المستجدّ COVID-19. وقد سجّل قطاعي الفحم والمصاهر النسبة الأعلى للإنخفاضات. وأظهرت الأقمار الصناعيّة مستويات انخفاضٍ كبيرة في الكثير من المناطق الصناعيّة.

تدعو "غرينبيس" الحكومات كافّةً إلى وقف الاستثمار في الوقود الأحفوري والانتقال إلى مصادر طاقة أكثر أماناً واستدامةً كالطاقة الريحيّة والشمسيّة. كما تبرز حاجةٌ ملحّة إلى تعزيز معايير الانبعاثات وتطبيق تكنولوجيا التحكّم بتلوّث غاز المداخن في محطّات الطاقة والمصاهر وغيرها من البواعث الصناعية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2).

صحيحٌ أن انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العام 2019 في البلدان الثلاثة ذات المستويات الأعلى أعلى المستويات هو تطوّرٌ مشجّعٌ للغاية، لكن التلوّث من جرّاء ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لا يزال يهدّد صحّة مليارات الأشخاص. ويُعتبر حرق الوقود الأحفوري المصدر المنفرد الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2). وغالباً ما تكون التكنولوجيا الجديدة المعتمدة على طاقة الرياح والشمس أقلّ كلفةً من الفحم والنفط والغاز، حتّى قبل احتساب كلفة تلوّث الهواء والتغيّر المناخي.

أمّا الحلول لمشكلة تلوّث الهواء فهي واضحة ومتاحة بشكلٍ كبير. على الحكومات أن تعطي الأولويّة للطاقة المتجدّدة وأن تخفّض إلى النصف استثماراتها في الوقود الأحفوري وأن تضمن نفاذ الجميع إلى هواءٍ آمنٍ ونظيف.

قائمة المحتويات

مُلخَّص تنفيذي **3**
استنتاجات التقرير 3

قائمة المحتويات **5**

المقدّمة **6**

المنهجيّة **8**
فهرس انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لجهاز رصد الأوزون (OMI) وبرنامج MEaSUREs 8

محدودية عمليات الرصد عبر الأقمار الصناعيّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وتقديرات الانبعاثات **10**
تغطية البيانات 10
دقة البيانات 10
أمريكا الجنوبية: الانحراف في بيانات منطقة جنوب المحيط الأطلسي 10
إعادة تصنيف وتسمية نوع المصدر 11
الترتيب 12
خريطة التلوّث التفاعلية 12
تحليل التركيزات في العام 2020 13

النتائج والتحليل **14**
المناطق الجغرافيّة 18
الهند 19
روسيا 20
الصين 21
المملكة العربيّة السعوديّة 22
المكسيك 23
جنوب أفريقيا 24
تركيا 25
أوروبا 26
أستراليا 28
منطقة جنوب شرق آسيا 29
أبرز القطاعات الملوِّثة 30
حرق الوقود الأحفوري 30
تكرير وتصفية النفط والغاز/توليد الطاقة 33
المصاهر 35

اتّجاهات سنة 2020 - وفقاً لبيانات جهاز رصد الأوزون OMI **37**
المناطق 37
القطاعات 38

التطلع المستقبلي **42**

الملحق A. هامش الشكّ بالبيانات **43**

الملحق B. معايير انبعاثات محطّات توليد الطاقة **45**

المقدّمة

تنبعث مواد ضارة عند حرق الوقود الأحفوري، ولها آثار خطيرة على كل من المناخ والصحة العامة[2,3]، إذ تطلق عمليات الاحتراق الغازات الدفيئة في الهواء. ويقدّر عدد الأشخاص الذين يموتون سنويّاً بسبب التعرض لتلوث الهواء الخارجي أو الهواء الطلق بـ 4.2 مليون شخص، بالإضافة إلى 3.2 مليون حالة وفاة ناجمة عن تلوّث الهواء الداخلي والمنزلي وفقًا لتقدير منظمة الصحة العالمية (WHO) إستنادًا إلى بيانات[4] العام 2016. وقد خلصت الأبحاث المنشورة في العام 2020 من خلال منهجية مصقولة وعوامل خطر محدّثة لملوثات مختلفة إلى النتيجة التالية: سبّب احتراق الوقود الأحفوري لوحده بما يقدر بنحو 4.5 مليون حالة وفاة مبكّرة في العام 2019 وهو مسؤولٌ عن خسارةٍ في الناتج المحلي الإجمالي على المستوى العالمي[5] بلغت نسبتها ما يقارب 3.3 في المئة.

يُعدّ ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) غازاً سامّاً ينبعث عند حرق موادٍ تحتوي على الكبريت - أحد العناصر المكوّنة لأنواع موارد الفحم والنفط كافّة. وتنتج التأثيرات الصحية الناجمة عن الملوّثات عن التعرض المباشر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) والمادّة الجسيميّة [6] (PM2.5) التي تنتج من تفاعل ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مع ملوثات الهواء الأخرى. إذاً يؤدي التعرض لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) والمادّة الجسيميّة (PM2.5) إلى مشاكل صحيّة. وتشمل الأعراض الحادة التي تظهر بعد التعرض لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ما يلي: حرقةٌ في الأنف والحلق والرئتين وصعوبة في التنفس وأضرارٌ في الجهاز التنفسي. أمّا الآثار الصحيّة الحادّة والمزمنة فتشمل ما يلي: الخرف[7] ومشاكل الخصوبة[8] وتراجع القدرة المعرفية[9] وأمراض القلب والرئة والوفاة المبكّرة[10]. ويقدّر الباحثون أن الجسيمات الثانوية (الكبريتات والنترات) التي تشكّلت عبر التفاعلات الكيميائية من الغازات مثل ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين تحتوي على أكثر من 10 في المئة من الجسيمات الدقيقة في الصين[11] والهند[12]، وأكثر من ذلك بكثير في خلال بعض فترات التلوّث الشديد[13].

وإلى جانب الآثار الصحيّة، تؤدّي عمليّة الاحتراقِ التي ينبعث منها ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) إلى إطلاق كميّاتٍ كبيرة من الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وبالتالي، تؤثّر مصادر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بشكلٍ سلبيّ ومباشر على صحّة الإنسان؛ كما لها تأثيرٌ سلبي بعيد الأمد على رفاهية الإنسان بسبب انبعاثات الغازات الدفيئة المرتبطة بها والتي تؤدّي إلى الاحتباس الحراري.

[2] رمثان، في. التغيّر المناخي وتلوّث الهواء والصحة: مصادر مشتركة وتأثيرات متشابهة وحلول مشتركة. Climate Change, Air Pollution, and Health: Common Sources, Similar Impacts, and Common Solutions. نشر في: الدليمي، و.، رمثان، في.، سانشيز سوروندو، م. (محررون): صحّة الأشخاص والكوكب ومسؤوليّتنا. سبرينغر، (2020) على الرابط: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31125-4_5

[3] بيريرا، ف. التلوث الناجم عن احتراق الوقود الأحفوري هو التهديد البيئي الرئيسي لصحة الأطفال العالمية والإنصاف: الحلول متوفّرة Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. Environ. Res. Public Health مجلّة دوليّة 2017 16 (1), 15). على الرابط: https://doi.org/10.3390/ijerph15010016

[4] شراوفناغل، د.إ. وآخرون. تلوث الهواء والأمراض غير المعدية: مراجعة من قبل المنتدى الدولي للجهاز التنفسي. لجنة المجتمع للبيئة، الجزء الأول: الآثار الضارة لتلوث الهواء. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. Chest 155(2), 409–416 (2019). على الرابط: https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042

[5] فارو، أ.، ميللر، ك.أ.، ميليفيرتا، ل. الهواء السام: سعر الوقود الأحفوري. سيول: غرينبيس جنوب شرق آسيا. 44 صفحة فبراير 2020. Toxic air: The price of fossil fuels

[6] جسيمات بقطر ديناميكي هوائي يبلغ حوالي 2.5 ميكرومتر

[7] وو، ي.س. وآخرون. العلاقة بين ملوثات الهواء وخطر الإصابة بالخرف عند كبار السن. مرض ألزهايمر. Amst. Neth. 1(2), 220–228 (2015) على الرابط: https://doi.org/10.1016/j.dadm.2014.11.015

[8] كاري، ج. وآخرون. هل يلعب تلوث الهواء دورًا في العقم؟: مراجعة منهجية Does air pollution play a role in infertility?: A systematic review. بيئة. الصحة 16, 82 (2017) على الرابط: https://doi.org/10.1186/s12940-017-0291-8

[9] شهاب، م.أ. وبوب، ف. د. آثار التعرض قصير المدى لتلوث الهواء بالجسيمات على الأداء الإدراكي Effects of short-term exposure to particulate matter air pollution on cognitive performance. Sci. Rep. 9, 8237 (2019) على الرابط: https://doi.org/10.1038/s41598-019-44561-0

[10] كوهين، أ.ج. وآخرون. تقديرات واتجاهات العبء العالمي للأمراض التي تعزى إلى تلوث الهواء المحيط على مدى 25 عامًا: تحليل بيانات من دراسة العبء العالمي للأمراض لعام 2015 Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. Lancet 389(10082), 1907–1918 (2017): https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6

[11] هوانغ، ر.ج. وآخرون. مساهمة عالية من الهباء الجوي الثانوي في تلوث الجسيمات أثناء أحداث الضباب في الصين. الطبيعة، High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. Nature 514 (7521) 218-222 (2014): https://doi.org/10.1038/nature13774

[12] ناجار، ب. وآخرون. توصيف المادة الجسيمية في دلهي: دور الهباء الجوي الثانوي وتأثيره وحرق الكتلة الحيوية النفايات الصلبة البلدية والمواد القشرية. Characterization of PM2.5 in Delhi: role and impact of secondary aerosol, burning of biomass, and municipal solid waste and crustal matter. Environ. Sci. Pollut. Res. 24(32), 25179–25189 (2017): https://doi.org/10.1007/s11356-017-0171-3

[13] وانج، ج. وآخرون. تشكل الكبريتات المستمر من ضباب لندن إلى الضباب الصيني. Persistent sulfate formation from London Fog to Chinese haze. PNAS USA 113(48), 13630–13635 (2016): https://doi.org/10.1073/pnas.1616540113

وفقًا لفهرس بيانات برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا فإن أكثر من ثلثي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) أي 68 في المئة هي ناتجة عن الأنشطة البشرية. وينبعث ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بشكلٍ أساسيّ من المنشآت الصناعية التي تعتمد على حرق الوقود الأحفوري إمّا لتوليد الطاقة الكهربائية أو لاستخراج المعادن من الخام (المصهر)؛ ناهيك عن المصادر الأخرى الناتجة عن الأنشطة البشرية مثل القطارات والسفن وغيرها من المركبات والمعدات الثقيلة التي تحرق الوقود الذي يحتوي على نسبةٍ عالية من الكبريت.

تُعتبر البراكين المصدر الطبيعي الرئيسي الوحيد لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، والمسؤولة حاليا عن أقل من ثلث (٣٢٪) من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)

يمكن اتخاذ تدابيرٍ للحدّ من التلوث الناجم عن ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) والتقليل من الآثار الصحية لتلوّث الهواء، وفضح عواقب استخدام الوقود الأحفوري السامّة من خلال توثيق المصادر العالمية لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وفهمها.

حيث يبحث هذا التقرير الصادر عن منظّمة "غرينبيس" ومركز أبحاث الطاقة والهواء النقي في مصادر الصناعات المسؤولة عن انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الرئيسة التي حددتها الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء بالولايات المتحدة (ناسا) في جميع أنحاء العالم وفي توزيعها الجغرافي.

المنهجيّة

يتّضح في بعض الأحيان أنّ فهارس مصادر انبعاثات الملوثات التي يحفظها الإنسان، كقاعدة بيانات الانبعاثات للبرنامج العالمي لأبحاث الغلاف الجوّي "إدغار"[14]، هي ناقصة أو قديمة. وتشمل أسباب عدم اكتمال قاعدة البيانات هذه ما يلي: قد يكون المصدر جديدًا، وقد تكون قوة الانبعاثات تغيّرت منذ المراجعة السابقة، أو قد يكون المصدر غير معروف، أو غير مصرّح عنه. يقوم هذا التقرير الصادر عن منظّمة "غرينبيس" ومركز أبحاث الطاقة والهواء النقي، بدراسة فهرس بيانات برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا الذي يسرد مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) استناداً إلى ما رصدته الأقمار الصناعيّة. ويحدّد هذا الفهرس المناطق والقطاعات الصناعيّة الباعثة أكبر نسب من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)؛ كما يقيّم قياس الانبعاثات على مرّ السنين. وتكمن ميزة استخدام بيانات الأقمار الصناعيّة لاكتشاف المصادر الرئيسة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وتعدادها في إمكانيّة تأمين تغطية عالميّة شبه كاملة ومحدّثة للبيانات سنويًا، لا تعتمد على تقارير الإبلاغ عن الانبعاثات من الأرض.

فهرس انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لجهاز رصد الأوزون (OMI) وبرنامج MEaSUREs

منذ العام 2004، يقوم جهاز رصد الأوزون التابع لوكالة ناسا (OMI) والذي يعتمد على الأقمار الصناعية لرصد جودة الهواء من الفضاء بدرجة اتّساقٍ عالية. ويلجأ برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا إلى القياسات لاكتشاف المصادر الرئيسة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في جميع أنحاء العالم[15] وتعدادها. وتقدّر عمليّات الرصد التي تنفّذها الأقمار الصناعيّة كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الغلاف الجوّي فوق نقطةٍ معيّنة على سطح الأرض من أجل تحديد بؤر التلوّث (الخانة 1). وتستخدم وكالة ناسا تقنيّةً تستند إلى مقارنةٍ بين مستويات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في اتجاه الرياح وعكسه لإجراء تقديرٍ كميٍّ لمعدلات الانبعاثات في كلّ بؤرةٍ. ويتم التحقق من صحة تقديرات الانبعاثات هذه، عبر مقارنتها بقياسات الرصد الموقعي في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي[16,17]. وبما أنّ هذه التقنية لا تعتمد على معرفة مسبقة بمواقع المصدر، فهي تكشف كذلك مصادر جديدة أو غير مدرجة في قوائم جرد الانبعاثات الأخرى. تتيح تغطية المراقبة العالمية لوكالة ناسا تحديد بؤر[18] التلوث العالمي.

ويدرج فهرس مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لبرنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا الموقع الجغرافي للبؤر ومعدلات الانبعاثات فيها لكلّ سنة تقويميّة. ويُستخدم هذا الفهرس لجمع المصادر التي تمّ الكشف عنها وتصنيفها في أربع فئات: فئة طبيعية واحدة (البراكين) وثلاث فئات ناتجة عن الأنشطة البشرية (محطات توليد الكهرباء والنفط والغاز والمصاهر). للحصول على قائمةٍ كاملة ببؤر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية كما حدّدها جهاز رصد الأوزون التابع لوكالة ناسا (NASA_Aura Satellite) (OMI)، أنقر هنا.

[14] المفوضية الأوروبية، مركز البحوث المشتركة JRC وكالة التقييم البيئي الهولندية PBL. قاعدة بيانات الانبعاثات العالمية EDGAR، الإصدار 4.3.1: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431, 2016

[15] فهرس مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO2) لبرنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. https://so2.gsfc.nasa.gov/measures.html في 14 سبتمبر 2020

[16] فيوليتوف، في.إ. وآخرون. استرجاع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت متعددة المصادر واتساق القياسات الساتلية والسطحية مع التقارير. Multi-source SO2 emission retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions. Atmos. Chem. Phys. 17, 12597–12616 (2017): https://doi.org/10.5194/acp-17-12597-2017

[17] فيوليتوف، في.إ. وآخرون. قاعدة بيانات متعددة الأقمار الصناعية حول نوعيّة الهواء وانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO2) طويلة الأجل. L4 Global V1, Greenbelt, MD, USA, Goddard الولايات المتحدة الأمريكية، مركز خدمات بيانات ومعلومات علوم الأرض. (23 (2019) (GES DISC) سبتمبر 2020. على الرابط: https://doi.org/10.5067/MEASURES/SO2/DATA403

[18] فيوليتوف، في.إ. وآخرون. فهرس عالمي لمصادر وانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت الكبيرة مستمدة من جهاز رصد الأوزون.2016) 11519–11497 ,16 .Chem. Phys). على الرابط: https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016

ما هي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وكميّته العموديّة؟

معدل الانبعاث:
يشير مصطلح الانبعاث أو معدّل الانبعاث إلى كمّية الملوثات (مثل ثاني أكسيد الكبريت SO_2) التي يتم إطلاقها في الغلاف الجوي من قبل مصدرٍ معيّن خلال فترة زمنية محدّدة. وتُعتبر محطات الطاقة التي تعمل على الفحم والمصاهر وصناعات النفط والغاز والبراكين. أبرز مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2). أمّا أبرز وحدات الانبعاث، فهي "كيلوغرام في الساعة "و" في السنة "و" ميغا طن في السنة". وتكون كميّة الانبعاثات أو معدّلها ذات مغزى فقط لمصادر ثاني أكسيد الكبريت وليس للمواقع البعيدة عن المصادر.

الكميّة العموديّة:
تشير عبارة الكميّة العموديّة للطبقة الحدوديّة، ومختصرها الكميّة العموديّة، إلى إجمالي كمية ملوّث الهواء الموجودة في الطبقة الأدنى من غلاف الأرض الجوي التي تسمّى "طبقة الحدود الجوية"[19]. فعلى سبيل المثال، قد تشير "الكميّة العموديّة" إلى التلوث الناجم عن ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في عمود الهواء (الافتراضي) الذي يغطّي مساحة كيلومترٍ مربعٍ واحدٍ بين سطح الأرض وأعلى الطبقة الحدودية. وتشكّل الكميّة العموديّة كمية الملوثات التي تقيسها أجهزة الأقمار الصناعية عادةً بفضل قدرتها على اختراق كامل سماكة الغلاف الجوي. أمّا وحدات تسجيل كمية ملوثات الهواء، فهي "كيلوغرام للمتر المربع" أو وحدة دوبسن (DU) الخاصة. وبما أنّ مصادر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) تقع على سطح الأرض، فإنها تنبعث داخل الطبقة الحدودية. وبشكلٍ عام، قليلاً ما يحصل اختلاط عموديّ من الطبقة الحدودية إلى طبقات الغلاف الجوي فوقها؛ فيبقى الجزء الأكبر من التلوث الناجم عن ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) داخل الطبقة الحدودية قبل أن يترسّب أو يتحول إلى موادٍ كيميائية أخرى.

ما هي العلاقة بين معدّل الانبعاث والكميّة العموديّة؟
تتبدد الملوثات المنبعثة في الغلاف الجوي وتحملها الرياح و التقلبات الجويّة بعيداً عن المصدر ثمّ تترسّب أو تتحوّل إلى مواد كيميائية أخرى. لذلك قد تعاني مواقع بعيدة عن مصادر الانبعاث من التلوّث أيضًا، ولكن يبقى احتمال تلوّث الهواء أكبر بالقرب من مصدر الانبعاث. وعلى الخريطة، عادةً ما تحيط بمصادر الانبعاث منطقةٌ ذات كميّة عموديّة مرتفعة.

يجوز استخدام الكميّات العموديّة كبديل للانبعاثات، ولكن من المهم ملاحظة أن الاثنين ليسا نفس الشيء. فعلى سبيل المثال، تدفع الرياح القوية حتماً التلوث بعيدًا عن مصدر الانبعاث حتى لو كانت الانبعاثات عالية؛ بالتالي تكون الكميّة العموديّة في المنطقة القريبة من مصدر الانبعاثات منخفضةً نسبيًا. ومع ذلك، فإنّ استخدام متوسّط الانبعاثات السنوية يعيد التوازن الذي تخلّ به انحرافات البيانات الناجمة عن بعض الأحوال الجويّة مثل الرياح العاتية. على خريطة متوسط الانبعاثات السنوية، تحيط بالبؤر جميعها تقريبًا مناطقَ ذات كميات عموديّة عالية من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2).

الخانة 1: تعريف انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وكميّته العموديّة

[19] تصل سماكة الطبقة الحدودية إلى بضع كيلومترات. تختلف سماكتها حسب الوقت والموقع العالمي. تُعرف الطبقة المتاخمة لكوكب الأرض أيضًا باسم طبقة الحدود الجوية.

محدودية عمليات الرصد عبر الأقمار الصناعيّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وتقديرات الانبعاثات

تغطية البيانات

توفّر المقاربات المعتمِدة على الأقمار الصناعية لكشف المصادر الرئيسية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) تغطيةً شبه مستمرة وعالميّة للبيانات. ولكن تبقى الأقمار الصناعية مقيّدة بدقّة البيانات والتشويش في عملية الرصد. يتعذّر بذلك كشف مصادر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وتحديد كميتها بشكل موثوق ما لم تكن كبيرة؛ فالمصادر التي تبعث أقل من 50 كيلوطن في السنة تحمل نسبة شكوكٍ كبيرة[20] وبحسب وكالة ناسا، لا يتمّ رصد المصادر التي تبعث أقل من 30 كيلوطن في السنة بشكلٍ موثوقٍ ويدرج فهرس برنامج MEaSUREs التابع لها نصف انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية المعروفة في جميع أنحاء العالم[21]. وتُعدّ نسبة الرصد ثابتة نسبيًا في معظم البلدان والمناطق الكبيرة (50±15%) مقارنةً بقوائم الجرد التصاعدية للانبعاثات في مناطق مختلفة. وبالتالي، يمكن استخدام مجموعة البيانات لرصد اتجاهات الانبعاثات الإقليمية على الرغم من أن القيم المطلقة لتقديرات الانبعاثات لا تساوي بالضرورة إجمالي الانبعاثات في بلدٍ أو منطقة ما.

دقة البيانات

تختلف دقة تقديرات الانبعاثات بين بؤرةٍ وأخرى. ويزداد الشكّ في بيانات الأقمار الصناعية الأساسية في خطوط العرض العليا، ما يقلّل الثقة في تقديرات البؤر في هذه المناطق. أمّا بالنسبة إلى البؤر ذات الانبعاثات المنخفضة، فلا يمكن الوثوق بتقديرات الفهرس لكميّة الانبعاث لأن هامش الشكّ قد يوازي القيمة نفسها. وفي ما خصّ مجموع البلدان الواردة في الجزء الرئيسي لهذا التقرير، فقد تمّ أخذ كافّة البؤر المدرجة في الفهرس بعين الاعتبار. وعند احتساب مجموع البلدان، يتمّ النظر إلى هوامش الشكّ التي تّقدمها وكالة ناسا بجديّةٍ، حتى بالنسبة لقيم الانبعاثات الصغيرة ويتمّ إعتبار الأخطاء بين البؤر المختلفة غير مترابطة (لا خطأ منهجي).

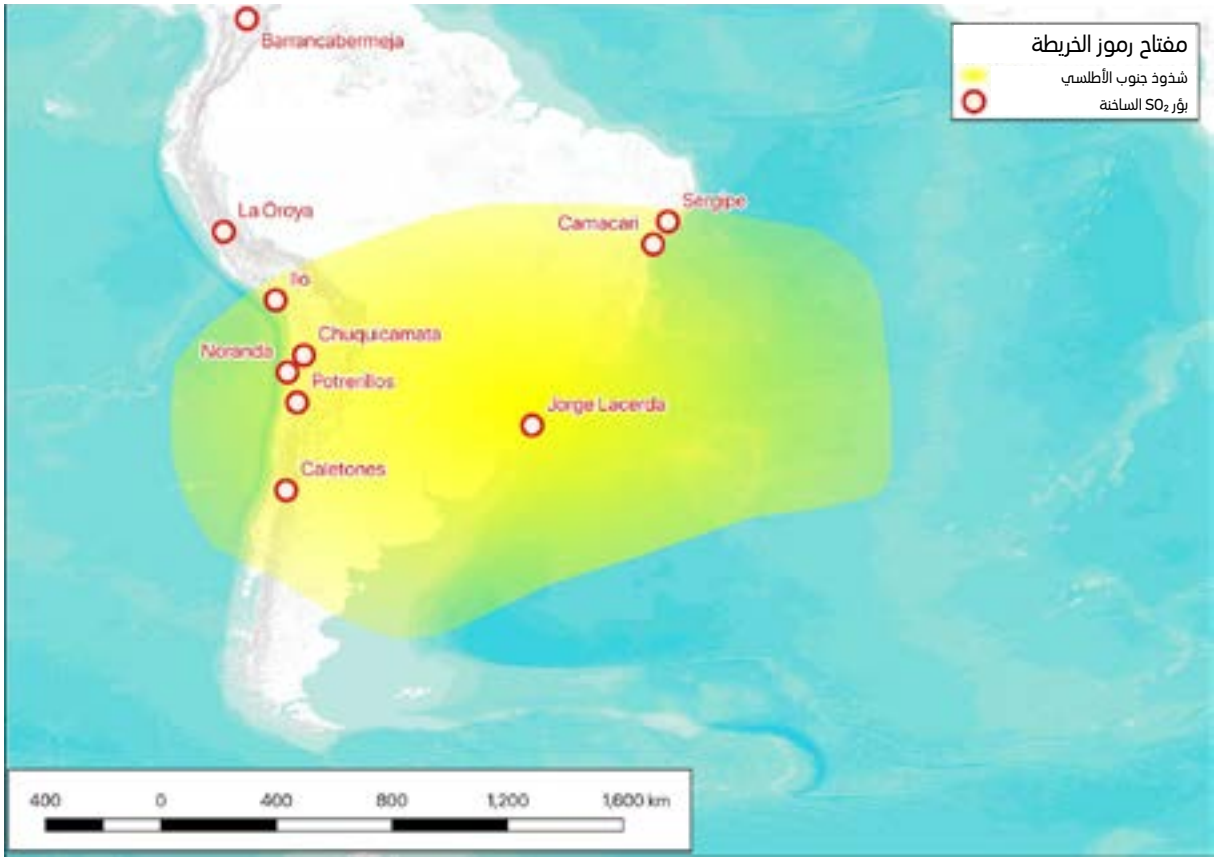
أمريكا الجنوبية: الانحراف في بيانات منطقة جنوب المحيط الأطلسي

يُشكّل الانحراف في بيانات جنوب الأطلسي (SAA) مصدراً إضافيّاً للشكّ له أهمية خاصة (الرسم 1). ويؤثر هذا الانحراف في شمال الأطلسي على منطقةٍ تغطي جزءًا من أمريكا الجنوبية وجنوب المحيط الأطلسي حيث يحبس المجال المغناطيسي للأرض فوق هذه المنطقة جسيماتٍ مشحونةٍ عالية الطاقة تؤثّر بشكلٍ كبيرٍ على جودة قياسات مستشعر جهاز رصد الأوزون (OMI)، ما يزيد الشكّ في تقديرات الانبعاثات[22]. ونتيجة لذلك، من المستحيل أن تتّصف بيانات الانبعاثات الناجمة عن الأرجنتين والبرازيل وتشيلي والبيرو وبوليفيا والباراغواي والأوروغواي (الثلاثة الأخيرة غير مدرجة بتاتاً في مجموعة البيانات) بمستوى الدقة والتكامل نفسه السائد في مناطق أخرى من العالم. تنصح إذاً وكالة ناسا، بالحذر في معالجة البيانات الصادرة من أمريكا الجنوبية ومنطقة جنوب المحيط الأطلسي .

[20] أنظر القائمة الكاملة للبؤر الساخنة

[21] فيوليتوف، في.إ. وآخرون. فهرس عالمي لمصادر وانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت الكبيرة مستمدة من جهاز رصد الأوزون.2016) Chem. Phys. 16, 11497–11519). على الرابط: https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016

[22] تشانغ، واي. وآخرون. استمرار مراقبة التلوث بثاني أكسيد الكبريت العالمي على المدى الطويل من OMI إلى OMPS. Atmos. Meas. Tech. 10, 1495–1509 (2017) على الرابط: https://doi.org/10.5194/amt-10-1495-2017



الرسم 1: صورة عن المنطقة المتأثّرة بانحراف البيانات في الجنوب الأطلسي (باللون الأصفر) مستقاةً من رسومات بيانيّة وشروحاتٍ وصفيّة واردة في المرجعين: شانغ وآخرون (2017)[23] والمعهد الملكي البلجيكي لعلم الطيران الفضائي[24]. تصوّر البؤر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المتأثّرة باللون الأحمر. يجب أن تعالج البيانات الصادرة من المنطقة التي يغطّيها الإضطراب بحذر. قد لا يتمّ رصد مصادر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الجنوب الأمريكي. بيانات الخريطة محفوظة الحقوق. المساهمون في OpenStreetMap. متاح من https://www.openstreetmap.org.

إعادة تصنيف وتسمية نوع المصدر

تمنح مجموعة البيانات الأصلية لبرنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا اسمًا لكلّ بؤرةٍ وتحدّد نوع المصدر. وتتراوح أنواع المصادر بين "محطة توليد الطاقة" أو "نفط وغاز" أو "مصهر" أو "بركان". من الممكن أن تكون الصناعة المهيمنة على مجموعة البؤر قد تغيّرت على مرّ السنين منذ تاريخ النشر الأوّل في سنة 2005، ولكن التغيير قد لا ينعكس في تصنيف نوع المصدر في فهرس وكالة ناسا.

في هذا التقرير الصادر عن منظّمة "غرينبيس" ومركز أبحاث الطاقة والهواء النقي، تمّ تحديث التصنيفات والأسماء في الفهرس، خصوصا عندما ثَبُت أن القطاعات المصدر قد تغيّرت أو عندما تكون تسمية البؤر غير بديهية. يتم إجراء التعديلات التالية:

- إعادة التصنيف. يتم استبدال نوع المصدر "محطة توليد الطاقة" الذي حدّدته وكالة ناسا بنوع المصدر "فحم" إذا كانت محطة طاقة تعمل على الفحم؛ ويستبدل بـ "نفط وغاز" لمحطات الطاقة التي تعمل على الغاز. وقد أجريت مراجعة يدوية للبؤر الناتجة عن النشاط البشري المدرجة في الفهرس الأصلي وأعيد تصنيفها في الخانات الثلاثة "فحم" أو "نفط وغاز" أو "مصهر".

[23] تشانغ، واي. وآخرون. استمرار مراقبة التلوث بثاني أكسيد الكبريت العالمي على المدى الطويل من OMI إلى OMPS. Atmos. Meas. Tech. 10, 1495–1509 (2017) على الرابط: https://doi.org/10.5194/amt-10-1495-2017

[24] المعهد الملكي البلجيكي لعلم الطيران الفضائي. على الرابط: https://sacs.aeronomie.be/info/saa.php في 28-09-2020

- الصناعات الثانوية. في الواقع، من الممكن أن تتشكّل البؤر من المصادر الباعثة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) القريبة من بعضها البعض و الناتجة عن أكثر من صناعة واحدة. وفي مثل هذه الحالة، أضيفت المعلومات التي تُميِّز الصناعات الثانوية لتبرز مساهمات البواعث الفردية بشكل أفضل ضمن بؤرةٍ واسعة النطاق، بدلاً من الاكتفاء ببيانات الباعث الأكبر. وتُرِد المعلومات الثانوية في مجموعة البيانات النهائيّة. أمّا بالنسبة إلى الترتيب، فيجري بناءً على نوع المصدر الرئيسي.

- إعادة التسمية. جرت في بعض الحالات إعادة تسمية البؤر الواردة في الفهرس بحيث يسهل على القارئ التعرف عليها. وتُعتَمَد أسماء الملوثين الرئيسيين حيث استخدمت وكالة ناسا اسم شركة، وكان ذلك المصدر الوحيد الذي يمكن تحديده في المنطقة، لم يتغيّر خيار التسمية هذا. أمّا في الحالات التي رُصدت فيها مصادر محتملة إضافية، فيُعتَمَد اسم المنطقة الجغرافية.

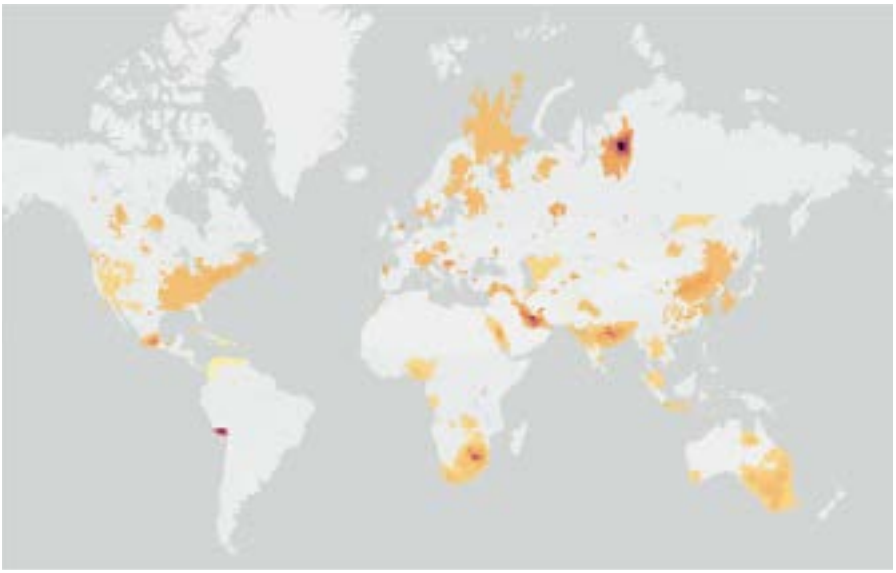
تمّ توثيق التعديلات كافّةً في قائمة البؤر الكاملة.

الترتيب

استخدمنا الفهرس المعدّل لترتيب البلدان وفقاً لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في البؤر الرئيسيّة. كما رتّبنا مجموعات الانبعاثات وفقًا لمستويات الانبعاثات السنوية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية الناجمة عنها.

خريطة التلوّث التفاعلية

تجدون خريطةً تفاعليّةً تظهر الكميّات العموديّة الأوليّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بحسب جهاز رصد الأوزون (OMI) ومواقع مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المدرجة في فهرس وكالة ناسا على الرابط energyandcleanair. github.io/202008_hotspots/. (راجع الخانة 1 لمعرفة الفرق بين الكميّات العموديّة ومعدل الانبعاث). الرسم 2 هو صورة شاشةٍ للخريطة.



الرسم 2: الكميّات العموديّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) كما رصدها مستشعر جهاز رصد الأوزون (OMI) في العام 2019. تجدون الخريطة التفاعليّة على هذه الرابط https://energyandcleanair.github.io/202008_hotspots/

تحليل التركيزات في العام 2020

لم ينشر برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا بعد بيانات الانبعاثات العالمية لعام 2020. لذلك، يتمّ تحليل ما رُصِد من كميّات عموديّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) كمؤشّرٍ غير مباشر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2). وقد استُخرجت بيانات الكميّات العموديّة (التي تقاس بوحدات دوبسن) من مستشعر جهاز رصد الأوزون (OMI) التابع لوكالة ناسا، ضمن نطاق دائرة يبلغ شعاعها 50 كم حول كل بؤرة فرديّة.

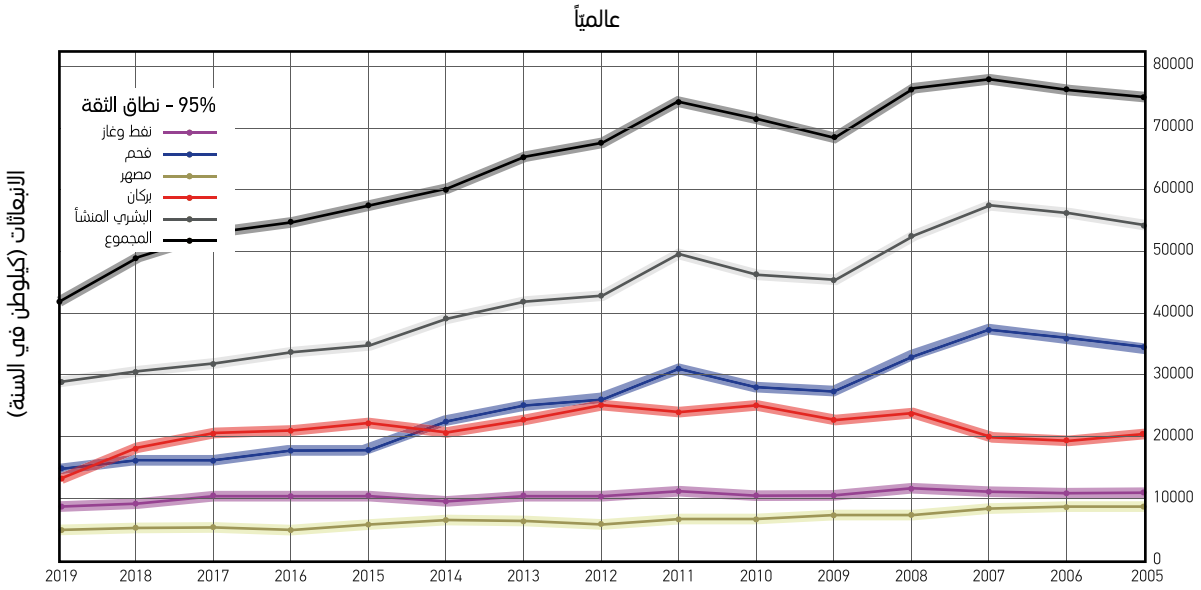
تشكّل بيانات الكميّات العموديّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مؤشرًا غير مباشر لانبعاثات هذا الغاز؛ فالعلاقة بين الكميّات العموديّة المرصودة وكميّة الانبعاثات من المصدر تتأثر بالأحوال الجوية وبتشتّت الملوثات. ومع ذلك، يساهم تحليل الكميّات العموديّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المرصودة منذ بداية العام 2020 في تحديد أحدث الاتجاهات (أنظر القسم: اتجاهات سنة 2020).

يقوم هذا التحليل المشترك بين منظّمة "غرينبيس" ومركز أبحاث الطاقة والهواء النقي، بتقدير مستوى انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية، من خلال الكميّات العموديّة التي رصدتها الأقمار الصناعيّة، وتشمل كلاً من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية وذلك المنبعث من البراكين. وتتمّ تصفية المشاهدات الأوليّة وفقاً للحدود القصوى الواردة في منهجيّة برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا لتقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2).[25]

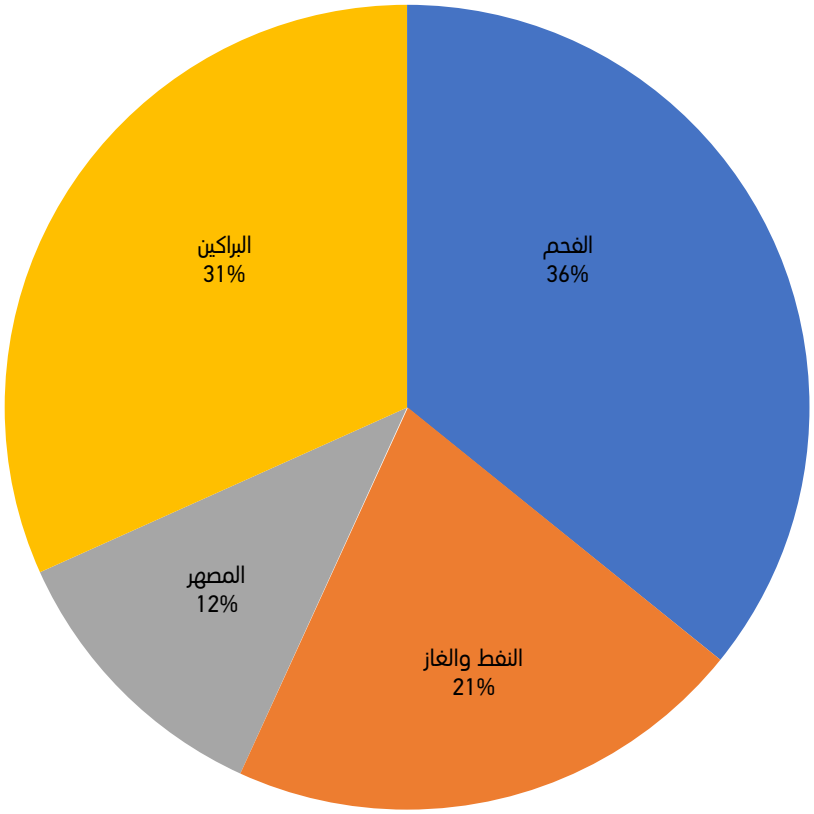
[25] فيوليتوف، في.إ. وآخرون. فهرس عالمي لمصادر وانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت الكبيرة مستمدة من جهاز رصد الأوزون. (2016) Chem. Phys. 16, 11497–11519 على الرابط: https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016

النتائج والتحليل

في سنة 2019، تسبّبت النشاطات البشريّة بثلثي إجمالي الانبعاثات (أي 68 في المئة)، التي رصدها برنامج MEaSUREs. وتتمركز مصادر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في المواقع التي تسجّل نسبة استهلاك مرتفعة للوقود الأحفوري (احتراق الفحم وتصفية النفط واحتراقه) أو المواقع التي فيها مصاهر.

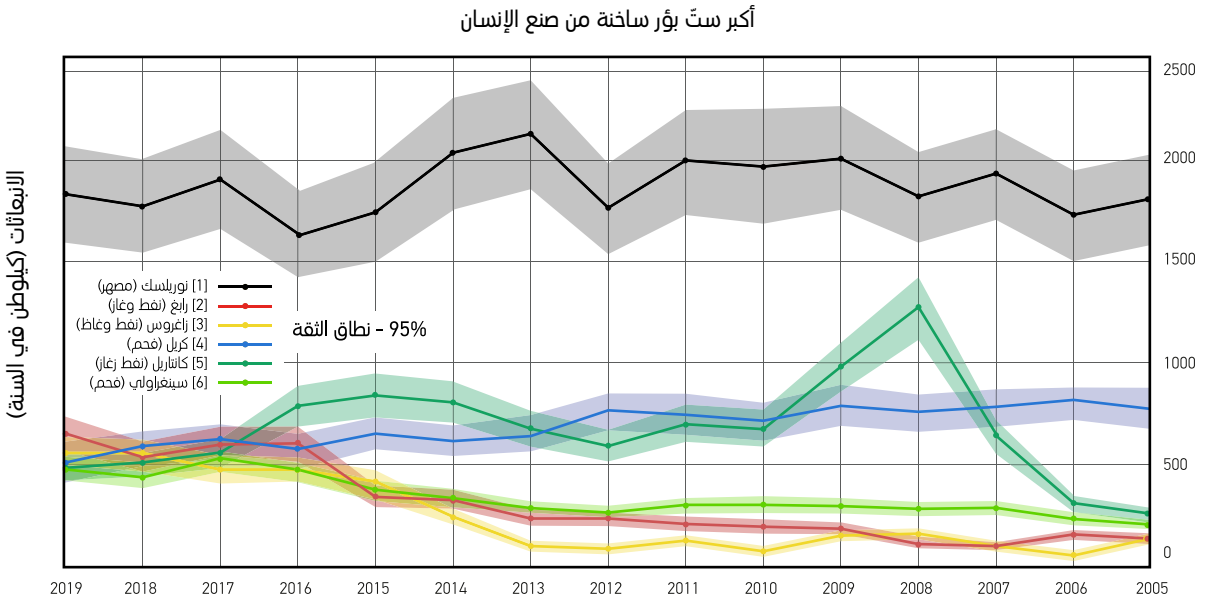


الرسم 3: الإسهامات العالميّة لقطاعات الصناعة الرئيسية والمصادر الطبيعيّة (البراكين) في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بين سنة 2005 و 2019 ب(كيلو طن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.



الرسم 4: الإسهامات العالميّة لقطاعات الصناعة الرئيسيّة والمصادر الطبيعيّة (البراكين) في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في سنة 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

نجمت عن المواقع التي تعتمد على احتراق الفحم لتوليد الطاقة والصناعات نسبة 36 في المئة من الانبعاثات العالميّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن النشاط البشري؛ أمّا بالنسبة للمواقع التي تعتمد على تصفية واحتراق النفط والغاز فقد أنجمت عن ـ 21 في المئة، وحسبت نسبة 12 في المئة للمواقع التي تعتمد على المصاهر (الرسمان 3 و4، الجدول 1).



الرسم 5: الإسهامات الستة الأكبر لمصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن النشاط البشري بين سنة 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

لا يزال موقع مصهر نوريلسك (Норильск) في روسيا البؤرة الأكبر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في العالم[26]؛ تليها بؤر النفط والغاز في رابغ (المملكة العربية السعودية) وزاغروس (إيران) ومنطقة احتراق الفحم في كريبل في مقاطعة مبومالانجا في جنوب أفريقيا (الرسم 5، الجدول 2). أمّا البلدان الأخرى التي تستهلك الفحم بشكلٍ كبير أو تنشط فيها عمليّات لتصفية النفط والغاز واحتراقهما، مثال كانتاريل (المكسيك) وسينغرولي[27] (الهند) فتسجّل مستويات انبعاثات عالية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بسبب ارتفاع استهلاك الوقود الأحفوري وعدم الصرامة في تنفيذ قياس معايير الانبعاثات.

الجدول 1: الإسهامات العالميّة لقطاعات الصناعة الرئيسيّة والمصادر الطبيعيّة (البراكين) في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العامين 2018 و2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العامين 2018 و 2019 (كيلوطن في السنة) من جميع المصادر		
المصدر	2018	2019
فحم	16,038	14,972
نفط وغاز	9,337	8,850
مصهر	5,229	4,883
بركان	18,384	13,227
المجموع	48,987	41,932

[26] في كثير من الحالات، لا يمكن أن يُعزى إجمالي الانبعاثات في منطقة ما إلى مصدر دقيق لأن الانبعاثات من مصادر كبيرة قد تحجب الباعثين الآخرين الأصغر حجمًا القريبة منها. عندما تضمّ المجموعة صناعاتٍ عدّة، نأخذ أكبر المصادر (الفحم والنفط والغاز أو المصهر) لتمثيل المصادر جميعها.

[27] وتسمّى "فيندهياشل" في فهرس وكالة ناسا الأصلي.

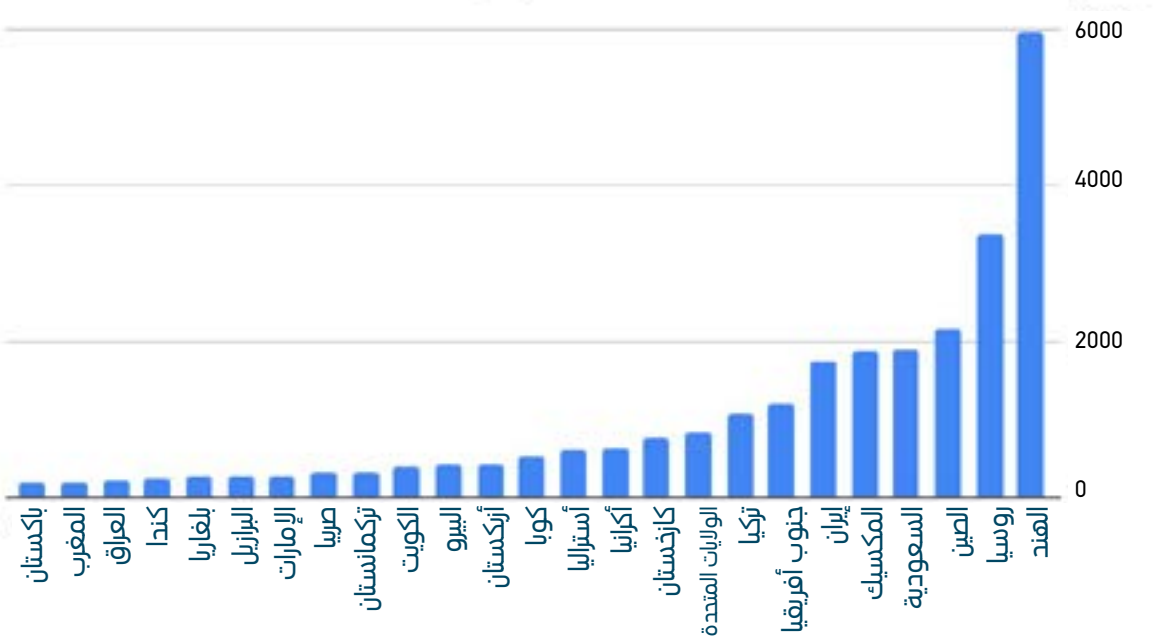
الجدول 2: البؤر الخمسون الأولى لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن النشاط البشري .المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

التصنيف	البؤرة	البلد/المنطقة	نوع المصدر	انبعاثات العام 2019 (بال) (95 في المئة – نطاق الثقة)		
				أفضل تقدير	أدنى تقدير	أعلى تقدير
1	نوريلسك	روسيا	مصهر	1,833	1,598	2,068
2	رابغ	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	652	569	735
3	زاغروس	إيران	نفط وغاز	558	484	632
4	كريل	جنوب أفريقيا	فحم	504	443	564
5	كانتاريل	المكسيك	نفط وغاز	482	420	544
6	سينغرولي	الهند	فحم	479	420	538
7	ريفورما	المكسيك	نفط وغاز	415	349	481
8	إيلو	البيرو	مصهر	414	338	489
9	ماتيمبا	جنوب أفريقيا	فحم	362	319	406
10	الدوحة	الكويت	نفط وغاز	351	307	395
11	كيمركوي	تركيا	فحم	328	280	376
12	أفشين البستان	تركيا	فحم	307	266	348
13	الشيبة	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	301	260	342
14	نتيلي	الهند	فحم	299	260	338
15	فريدون	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	291	243	339
16	شرتششمة	إيران	مصهر	289	253	326
17	كوربا	الهند	فحم	282	244	320
18	جزيرة داس	الإمارات العربية المتحدة	نفط وغاز	271	229	312
19	مبارك	أوزبكستان	نفط وغاز	245	212	278
20	جدّة	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	233	197	268
21	تالشير	الهند	فحم	221	189	253
22	جبل إيسا	أستراليا	مصهر	208	180	237
23	تولا	المكسيك	نفط وغاز	200	170	230
24	نيكولا تسلا	صربيا	فحم	197	158	236
25	ألماميق	أوزبكستان	مصهر	188	162	215
26	كوراخوفسكايا	أوكرانيا	فحم	180	142	218
27	فيساخاباتنام	الهند	فحم	172	141	203
28	المجمّع الصناعي ماريتسا إيست	بلغاريا	فحم	170	135	205
29	موندرا	الهند	فحم	164	135	193
30	خانجيران	إيران	نفط وغاز	162	139	185
31	كوتش	الهند	فحم	161	136	186
32	كورادي	الهند	فحم	158	134	182

33	جيزكازغان	كازاخستان	فحم	155	125	185
34	الجبيل	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	154	128	180
35	ماجوبا	جنوب أفريقيا	فحم	149	125	173
36	تشيناي	الهند	فحم	142	119	166
37	فوليهيرسكا	أوكرانيا	فحم	138	100	177
38	إيكيباستوز	كازاخستان	فحم	137	96	179
39	بافلودار	كازاخستان	فحم	136	96	175
40	شاندرابور، ماهاراشترا	الهند	فحم	135	115	156
41	ليتابو	جنوب أفريقيا	فحم	135	114	156
42	بغداد	العراق	نفط وغاز	134	113	155
43	توزلا	البوسنة والهرسك	فحم	132	99	165
44	توكسبان	المكسيك	نفط وغاز	130	103	158
45	نوبيتاس	كوبا	نفط وغاز	130	104	156
46	سورالايا	أندونيسيا	فحم	128	108	149
47	سنغافورة	سنغافورة	نفط وغاز	127	102	152
48	ووان	الصين	فحم	125	100	151
49	نيكارو	كوبا	مصهر	125	100	150
50	نوفوتشركاسك	روسيا	فحم	121	77	165

تختلف مستويات انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من بلدٍ إلى آخر (الرسم 6، الجدول 2) بناءً على توفّر الصناعات الباعثة وعلى صرامة الأنظمة والصرامة في تنفيذها. تتم مناقشة أهمّ مصادر التلوث بثاني أكسيد الكبريت (SO_2) فيما يلي؛ يمكن استكشاف مجموعة البيانات الكاملة في خريطة تفاعلية على الرابط التالي:
https://energyandcleanair.github.io/202008_hotspots/

البلدان الـ 25 الأولى الباعثة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من صنع الإنسان في العام 2019



الرسم 6: البلدان الـ 25 التي بعثت الكميّة الأكبر من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية في العام 2019 (في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

الجدول 3: البلدان الـ 25 التي بعثت الكميّة الأكبر من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية في العامين 2018 و2019 (كيلوطن في السنة) وفقاً لتقديرات وكالة ناسا[28]. راجع الجدولين A1 وA2 للاطلاع على هامش الشكّ والمصطلحات المستخدمة. المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

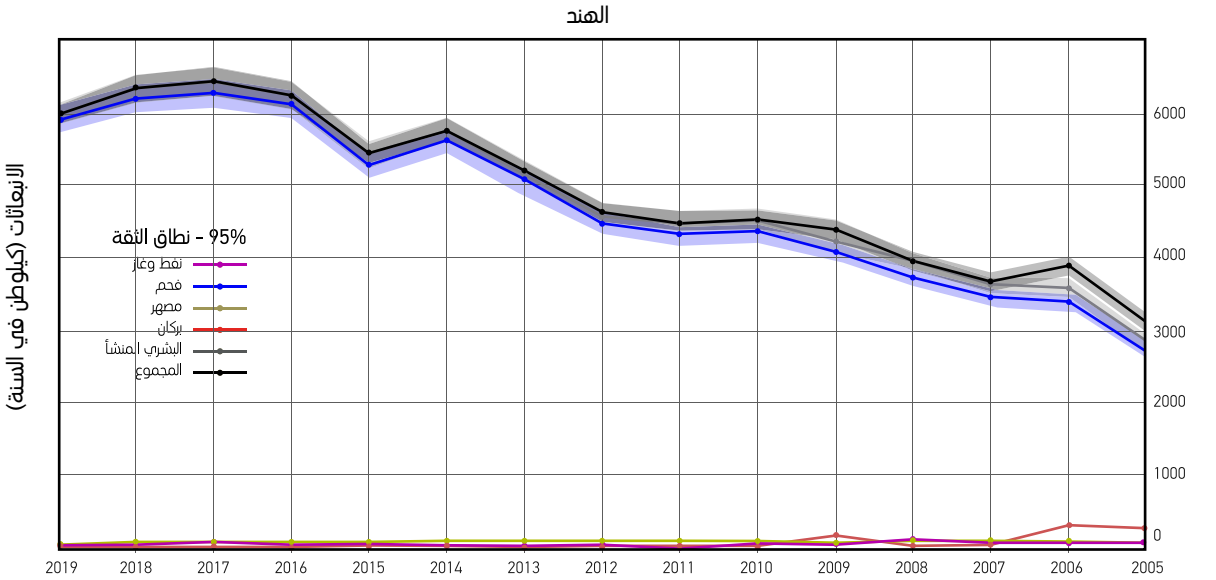
الترتيب	البلد / المنطقة	2018	2019	التغيير النسبي	اتجاه التغيير	الثقة في اتجاه التغيير
-	عالمياً	30,604	28,704	-6%	أدنى	شبه أكيدة
1	الهند	6,329	5,953	-6%	أدنى	شبه أكيدة
2	روسيا	3,635	3,362	-8%	أدنى	محتملة
3	الصين	2,263	2,156	-5%	أدنى	محتملة
4	المملكة العربية السعودية	1,861	1,910	3%	غير أكيد	
5	المكسيك	1,809	1,873	4%	أعلى	محتملة
6	إيران	1,977	1,746	-12%	أدنى	شبه أكيدة
7	جنوب أفريقيا	1,388	1,187	-15%	أدنى	شبه أكيدة
8	تركيا	938	1,072	14%	أعلى	شديدة الاحتمال
9	الولايات المتحدة	864	823	-5%	غير أكيد	
10	كازخستان	776	760	-2%	غير أكيد	
11	أكرانيا	861	628	-27%	أدنى	شبه أكيدة
12	أستراليا	627	610	-3%	غير أكيد	
13	كوبا	543	530	-2%	غير أكيد	
14	أزبكستان	319	433	36%	أعلى	شبه أكيدة
15	البيرو	396	414	5%	غير أكيد	
16	الكويت	394	396	1%	غير أكيد	
17	تركمانستان	251	325	30%	أعلى	شبه أكيدة
18	صربيا	349	309	-12%	أدنى	محتملة
19	الإمارات	419	271	-35%	أدنى	شبه أكيدة
20	البرازيل	205	262	28%	أعلى	محتملة
21	بلغاريا	263	258	-2%	غير أكيد	
22	كندا	187	240	28%	غير أكيد	
23	العراق	370	223	-40%	أدنى	شبه أكيدة
24	المغرب	171	197	15%	أعلى	محتملة
25	باكستان	235	180	-23%	أدنى	شديدة الاحتمال

المناطق الجغرافيّة

يعرض القسم التالي لمحةً سريعةً عن المناطق التي تسجّل المستويات الأعلى لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم؛ كما يستعرض الأسباب وراء نسبة الانبعاث المرتفعة واتّجاهات الانبعاثات والتغيّرات المحتملة في المستقبل.

[28] يجب النظر بحذر في الأرقام الخاصة بالبرازيل والبيرو؛ أنظر إلى النقاش حول شذوذ جنوب الأطلسي في قسم المنهجيّة.

الهند



الرسم 7: إسهامات القطاعات الصناعية الرئيسيّة والمصادر الطبيعيّة (البراكين) في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الهند منذ سنة 2005 ولغاية سنة 2019 ب(كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفهابشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

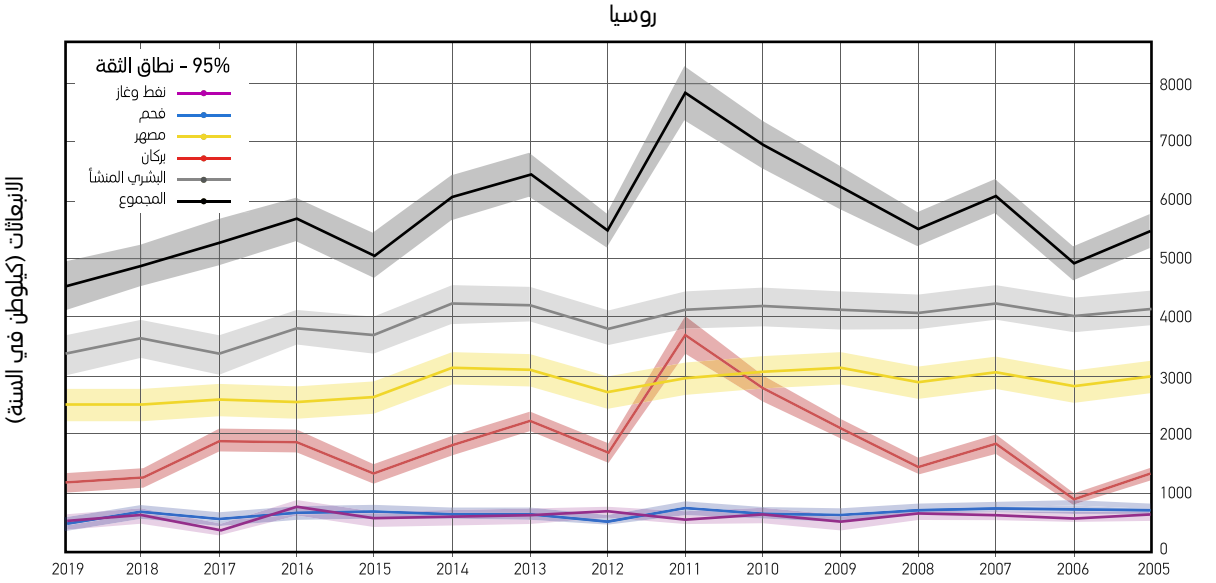
تُعتبر الهند الباعث الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم، إذ تتخطّى نسبها 21 في المئة من الانبعاثات العالميّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، الناتجة عن الأنشطة البشرية وفقاً لفهرس برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. وقد انخفضت انبعاثات الهند لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) للمرّة الأولى منذ أربع سنوات بنسبة 6 في المئة تقريباً في سنة 2019. بالرغم من ذلك، يبقى مستوى الانبعاثات في الهند مرتفعاً. ويعود السبب الرئيسي لذلك إلى توسّع عمليّات توليد الطاقة المعتمدة على الفحم في خلال العقدين الماضيين (الرسم 7). تفتقر معظم محطّات الطاقة في الهند إلى تقنيّة إزالة الكبريت من غاز المداخن، التي تسمح بخفض انبعاث ملوّثات الهواء. وتشكّل محطّات الطاقة الحراريّة (أو مجموعات محطّات الطاقة) بؤر الانبعاثات الأكبر في البلاد: سينغرولي[29] ونيّيلي وسيبات وموندرا وكوربا وبوندا وتمنار وتالشير وجهارسكودا وكورباوكوتش وراماغندام وشاندرابور وكورادي.

قامت وزارة البيئة والغابات وتغيّر المناخ في الهند بخطوةٍ أولى للحدّ من ارتفاع تلوّث الهواء. ففرضت للمرّة الأولى منذ كانون الثاني/ ديسمبر 2015 حدوداً قصوى لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في محطّات الطاقة التي تعمل على الفحم. ولكن فشلت كافّة الوحدات بتطبيق تقنيّة إزالة الكبريت من غاز المداخن في محطّات توليد الطاقة ضمن المهلة الزمنيّة المحدّدة[30] (كانون الثاني/ ديسمبر 2017)،حيث تمّ تمديد هذه المهلة لغاية كانون الثاني/ ديسمبر 2022. وتظهر التقارير أنّ معظم محطّات توليد الطاقة التي تعمل وفق جداول زمنيّة مرحليّة (جدول زمني متدرّج للوحدات المختلفة) تنتهي في حزيران/ يونيو2020، قد فشلت بتطبيق تقنيّة إزالة الكبريت من غاز المداخن حتّى بعد تمديد المهلة وهي تعمل الآن من دون الامتثال للمعايير المفروضة[31]. وقد ينطبق ذلك على معظم محطّات توليد الطاقة الأخرى بسبب غياب تقدّمٍ ملحوظٍ في الالتزام بجداولها الزمنيّة المرحليّة قبل انقضاء المهلة المحدّدة في كانون الثاني/ ديسمبر 2022.[32]

وأوصت الحكومة الهنديّة هذه السنة بإغلاق محطّات توليد الطاقة الحراريّة القديمة التي لم تعد تستوفِ معايير الحدود القصوى للانبعاثات[33]؛ كما خصّصت 4400 كرور (ما يوازي 600 مليون دولار أميركي) لمعالجة أزمة تلوّث الهواء[34]. وفي إطار الخطوات الايجابيّة والواعدة، بدأت الهند عمليّة الانتقال إلى الطاقة الخضراء وحدّدت لنفسها أهدافا من الأكثر طموحاً في العالم في مجال الطاقة المتجدّدة. وبالفعل، اتّخذت الهند خطواتٍ عدّة لتعزيز قطاع الطاقة المتجدّدة؛ فلا تنفكّ قدرة البلاد على توليد الطاقة المتجدّدة تزداد ليشكّل إنتاجها أكثر من ثلثي زيادات الإنتاج في قطاع الطاقة في خلال السنة الماليّة 2019/2020.[35]

[29] وتسمّى "فيندهياشل" في فهرس وكالة ناسا الأصلي.
[30] باتيل، د. معايير ثاني أكسيد الكبريت السام: ٪90 من محطات توليد الطاقة بالفحم غير ممتثلة. انديان اكسبريس. على الرابط: https://indianexpress.com/article/india/toxic-sulphur-dioxide-norms-90-coal-power-plants-are-not-compliant-4878396/
[31] وزارة البيئة والغابات وتغير المناخ. جريدة الهند: استثنائي. الجزء الثاني، القسم 3، القسم الفرعي (2) S.O. 3305 (س). نيودلهي 2016. على الرابط: http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf
[32] ٪70 من محطات الطاقة لن تطبق معايير الانبعاثات بحلول العام 2022. الهندوس على الرابط: https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/70-power-plants-wont-meet-emission-standards-by-2022-deadlinecse/article31642317.ece
[33] وزارة البيئة والغابات وتغير المناخ. جريدة الهند: استثنائي. الجزء الثاني، القسم 3، القسم الفرعي (2) S.O. 3305 (س). نيودلهي 2016. على الرابط: http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf
[34] سنها، أ.، أشوك، س. "ميزانية الاتحاد: سيتم إغلاق محطات طاقة الفحم القديمة والملوثة"، وفقًا لتقرير إخباري FM نُشر في 2 فبراير 2020. إنديان إكسبرس. على الرابط: https://indianexpress.com/article/india/union-budget-old-polluting-coal-power-stations-to-be-closed-says-fm-6246629/ في 23 سبتمبر 2020.
[35] غارج، في. "معهد اقتصاديات الطاقة والتحليل المالي في الهند: اتجاهات الاستثمار في الطاقة المتجددة" تقريرإخباري نُشر في 9 يونيو 2020. على الرابط: https://ieefa.org/ieefa-india-investment-trends-in-renewable-energy-2019-20/ في 23 سبتمبر 2020.

روسيا



الرسم 8: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة والمصادر الطبيعيّة (البراكين) في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في روسيا منذ العام 2005 ولغاية العام 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

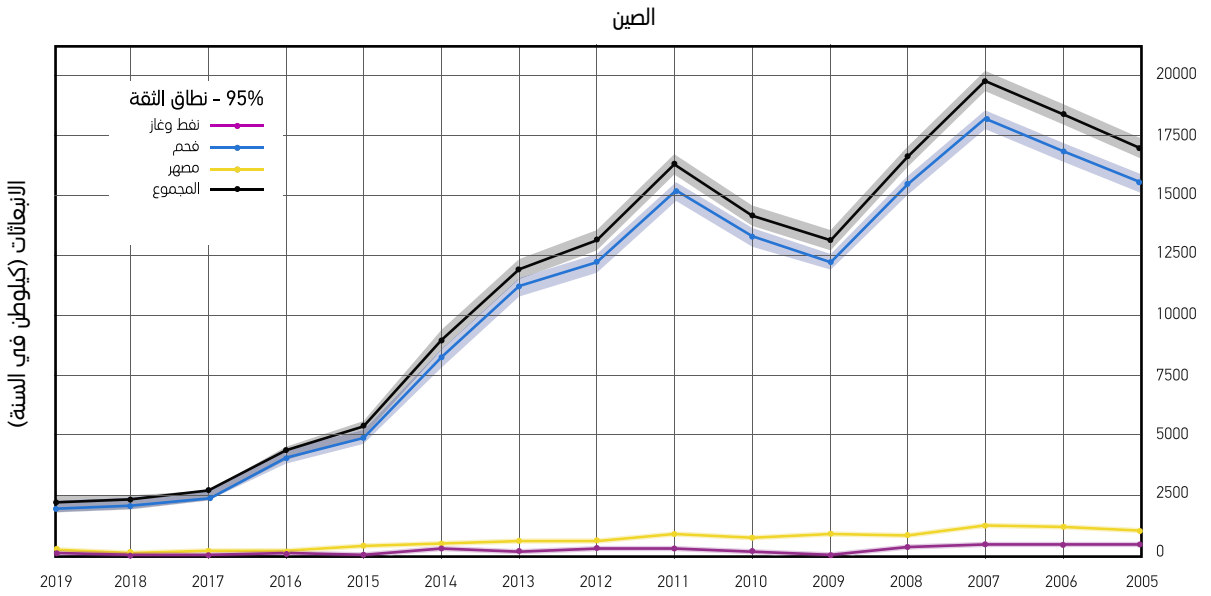
تُعتبر روسيا ثاني أكبر باعث لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم بعد الهند، إذ تصل نسبة مساهمتها بالانبعاثات العالميّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية إلى 12 في المئة تقريباً. وقد بقيت هذه النسبة شبه ثابتة في خلال السنوات الخمسة عشرة الماضية بما أنّ انخفاضات سنةٍ يمحيها ارتفاع النسبة في السنة التالية. وتشير البيانات إلى اتّجاهاتٍ نحو الانخفاض على الأمد البعيد بمعدّل 10 في المئة في العقد الواحد. في سنة 2019، نجحت روسيا بخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية بمعدّل 8 في المئة تقريباً مقارنةً بالعام 2018، فسجّلت بالتالي رقماً قياسياً بالغةً المستوى الأكثر انخفاضاً منذ 15 سنة. بحسب تقديرات وكالة ناسا، ساهمت بؤر الفحم بثلثي هذا الانخفاض وبؤر النفط والغاز بالثلث المتبقّي؛ بينما شهدت انبعاثات المصاهر ارتفاعاً بسيطاً. وتعود أسباب الانخفاض في مستوى الانبعاثات هذا جزئيّاً إلى خفض توليد الطاقة من الفحم بنسبة 4 في المئة في سنة 2019 وخفض عمل مصافي النفط بنسبة 0.6 في المئة[36].

وتُعتبَر المصاهر الباعث الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)؛ إذ تبلغ نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية الناجمة عن هذا القطاع الصناعي حوالي 75 في المئة، يليها قطاع النفط والغاز بنسبة 15 في المئة، ثمّ الفحم بنسبة 10 في المئة (الرسم 8). ويبقى موقع نوريلسك للصهر في القطب الشمالي أكبر بؤرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم؛ مسؤولٌ عن أكثر من 50 في المئة من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية في روسيا.و تُعتبر نوفوتشركاسك ونيكل[37] وكيروفغراد أيضًا من البؤر الرئيسية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في روسيا، حيث توجد المصاهر ومصافي الغاز و منشآت توليد الطاقة من الفحم، ونشاط الصناعات الرئيسية.

ونلفت الانتباه إلى أنّ تقديرات وكالة ناسا تشوبها درجةٌ كبيرة من الشكّ. إذ لا تتوفر عمليات استرجاع الأقمار الصناعية لمستويات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) إلا لمدة أربعة أشهر سنويًا في بعض البؤر، بما في ذلك نوريسلك ونيكل، نظرًا لارتفاع خطّ العرض. ويزداد الشكّ هذا بسبب الأرقام الرسمية التي تشير إلى أن إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية ظلّت ثابتة في العام 2019 (0.3+ في المئة)[38].

[36] BP. المراجعة الإحصائية للطاقة العالمية 2019. على الرابط:
https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
[37] كُتبت خطأ في بيانات وكالة ناسا. Nickel بدل Nikel.
[38] يشمل هذا الرقم كافّة مصادر ثاني أكسيد الكبريت من صنع الإنسان خارج المجموعات الصناعية التي ترصدها خدمة الإحصاء الفيدرالية التابعة لوكالة ناسا. على الرابط
https://rosstat.gov.ru/folder/11194

الصين



الرسم 9: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الصين منذ العام 2005 لغاية العام 2019 (في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/ أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

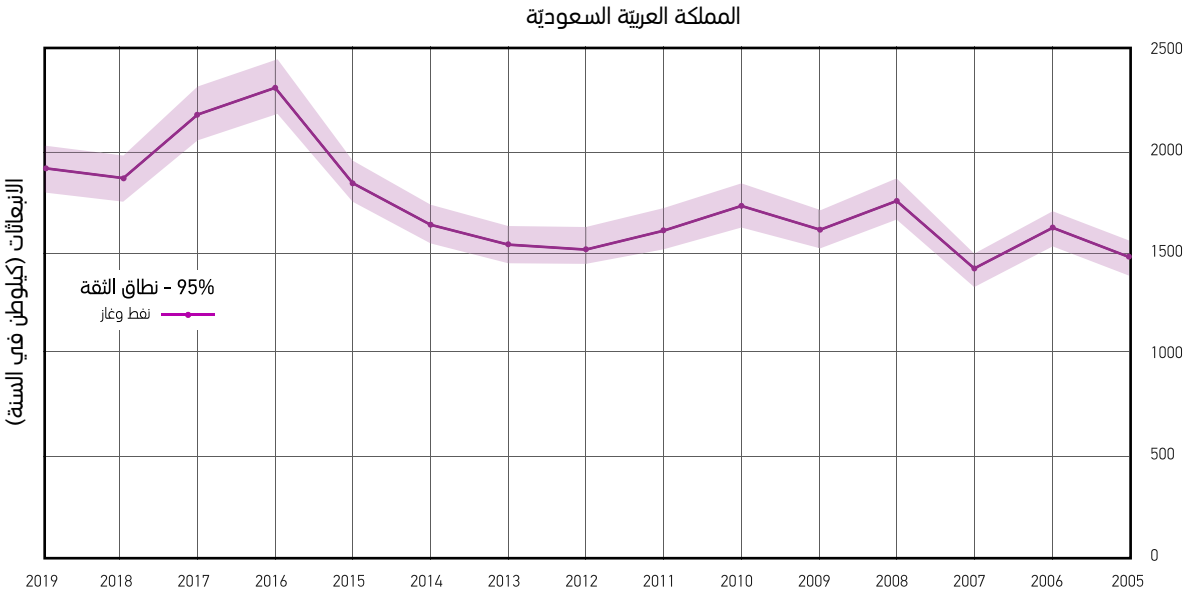
تُعتبر الصين ثالث أكبر باعث لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم، إذ وصلت نسبة مساهمتها بالانبعاثات العالميّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية إلى 8 في المئة تقريباً في سنة 2019. حتى سنة 2010، كانت الصين أكبر باعثٍ لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم، لأنها تمتلك القدرة العالميّة الأكبر على توليد الطاقة من الفحم. بدأت الصين بتطبيق تقنيّة إزالة الكبريت من غاز المداخن في قطاع توليد الكهرباء وتنفيذ ما يُعرف بمعايير الانبعاثات الفائقة الانخفاض Ultra-Low Emission Standards[39]، وهو معدل انبعاثات قريب من انبعاثات مولدات الغاز. فأحرزت بذلك تقدمًا كبيرًا في الحدّ من تلوث الهواء. وفي نهاية سنة 2018، تم تعديل 80 في المئة من أسطول توليد الطاقة من الفحم في الصين للامتثال مع معايير الانبعاثات الفائقة الانخفاض؛ وقد بلغت هذه النسبة 86 في المئة بحلول نهاية سنة 2019. وانخفضت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الصين بنسبة 87 في المئة منذ ذروتها سنة 2011. وفي سنة 2019[40]، سجّلت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية أبطأ معدل انخفاض في العقد الماضي بنسبة 5 في المئة (الرسم 9). ومن المحتمل أن تنخفض الانبعاثات أكثر بعد، لأن الصين تعمل على توسيع معايير الانبعاثات شديدة الانخفاض من قطاع توليد الطاقة من الفحم إلى الصلب والأسمنت. ومع ذلك، لا تزال جودة الهواء في الصين بعيدة عن المستويات التي أوصت[41] بها منظمة الصحة العالمية (WHO)، ما يشير إلى الحاجة الملحة لتسريع انتقال البلاد بعيدًا عن الوقود الأحفوري.

[39] مجلس الكهرباء الصيني، التقرير السنوي لتطوير قطاع الطاقة الصيني لعام 2020. على الرابط: https://www.cec.org.cn/detail/index.html?3-284218 في 23 سبتمبر 2020

[40] مجلس الكهرباء الصيني، التقرير السنوي لتطوير قطاع الطاقة الصيني لعام 2020. على الرابط: https://www.cec.org.cn/detail/index.html?3-284218 في 23 سبتمبر 2020

[41] بكين نيوز، رأي حول بيانات جودة الهواء، نُشر في 6 يونيو 2019. على الرابط: http://www.bjnews.com.cn/opinion/2019/06/06/587991.html

المملكة العربيّة السعوديّة



الرسم 10: مساهمات القطاعات الصناعة الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في المملكة العربيّة السعوديّة منذ العام 2005 ولغاية العام 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

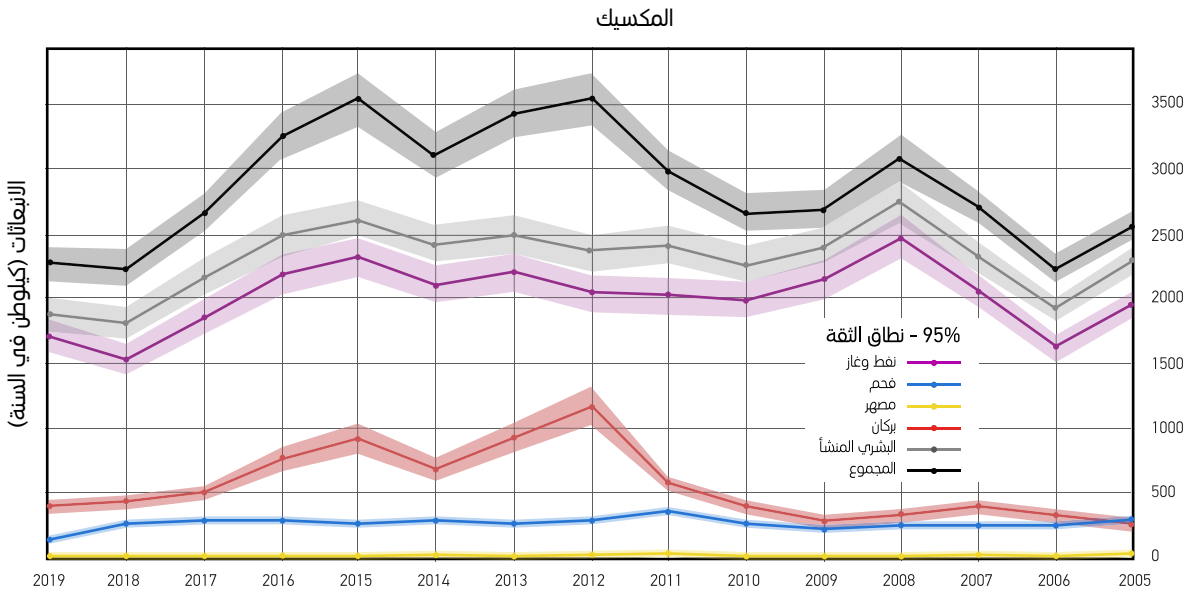
تُعتبر المملكة العربيّة السعوديّة الباعث الرابع الأكبر في العالم لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) والأكبر على الإطلاق في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. بعد الانخفاض الكبير الذي حقّقته المملكة في العامين 2017 و 2018، حافظت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) على مستوياتها تقريباً مع تسجيل ارتفاعٍ بسيطٍ في سنة 2019[42].

وتنجم كافّة الانبعاثات الواردة في مجموعة البيانات عن احتراق النفط والغاز (الرسم 10). نلاحظ في مكّة المكرّمة، وهي إحدى المحافظات الأكثر كثافةً بالسكان، مجموعاتٍ كبيرة من مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مثال رابغ والشيبة وجدّة.

في سنة 2019، ساهمت محطّات توليد الطاقة من النفط ومصافي النفط في هذه المواقع الثلاث بنسبة 62 في المئة من إجمالي انبعاثات المملكة العربيّة السعوديّة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)؛ ذلك بالإضافة إلى مصادر أساسيّة أخرى لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) كمحطّات توليد الطاقة والمصافي في فريدون والجبيل وينبع والهفوف والرياض والعثمانية وبريدة.

[42] نسبة الارتفاع الملحوظة أصغر بكثيرٍ من هامش الشكّ. يستحيل إذاً التحدّث بشكلٍ أكيدٍ عن أيّ تغيير.

المكسيك



الرسم 9: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الصين منذ العام 2005 لغاية العام 2019 (في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/ أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

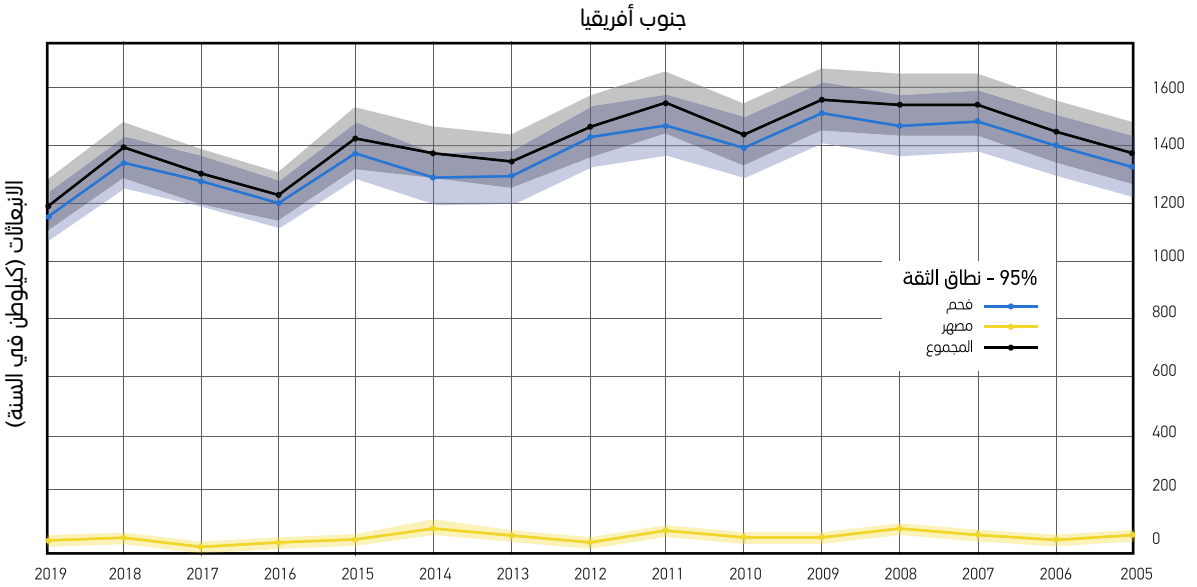
حافظت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في المكسيك على مستوى شبه ثابت أو ارتفعت بشكلٍ بسيط[43] في العام 2019 بعد أن شهدت انخفاضاً كبيراً طوال ثلاث سنوات متتالية. وازدادت عمليّات احتراق النفط والغاز، المسؤولة عن 90 في المئة من انبعاثات المكسيك لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية، بشكلٍ ملحوظ في سنة 2019. أمّا نسبة الانبعاثات المتبقيّة فتأتي من احتراق الفحم. لم تتبع المكسيك التوجهات العالميّة في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، فأصبحت اليوم الباعث الخامس الأكبر لهذا الغاز في العالم.

تُعتبر حقول النفط في المكسيك من أكبر البؤر في العالم؛ تساهم البؤرتان في ريفورما وكانتاريل وحدهما بحوالي 48 في المئة من انبعاثات البلاد لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية. أمّا بؤر الانبعاثات الرئيسيّة في المكسيك فهي نظام التكرير الوطني ومحطّات توليد الطاقة بالديزل، بما في ذلك تولا وتوكسبان (الرسم 11). وتهدف سياسة الطاقة للحكومة الحاليّة إلى زيادة قدرة التكرير وتوليد الكهرباء عبر وقود الديزل والفحم. من المحتمل إذاً أن ترتفع مستويات انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في السنوات المقبلة، ما سيؤثّر بشكلٍ كبيرٍ على نوعيّة الهواء في مدنٍ كبيرة مثال مكسيكو سيتي حيث أنظمة تلوّث الهواء ضعيفة.

وقد شهدت عمليّات توليد الطاقة من الفحم انخفاضاً تدريجيّاً في خلال العقد المنصرم بفضل الجهود التي بُذلت في سبيل الحدّ من انبعاثات الملوّثات العالية وبسبب ارتفاع كلفة الفحم (الرسم 11). ولكن ينوي البرنامج الإقطاعي للطاقة في خلال السنوات الأربعة المقبلة زيادة إنتاج الفحم وتوليد الطاقة من الفحم، ما سيؤدّي حتماً إلى ارتفاع مستوى انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2).

[43] مع هامش الشكّ الملحوظ، هناك 76% احتمال أن تكون الانبعاثات قد ارتفعت (أنظر الجدول A2)

جنوب أفريقيا



الرسم 12: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في جنوب أفريقيا منذ العام 2005 لغاية العام 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

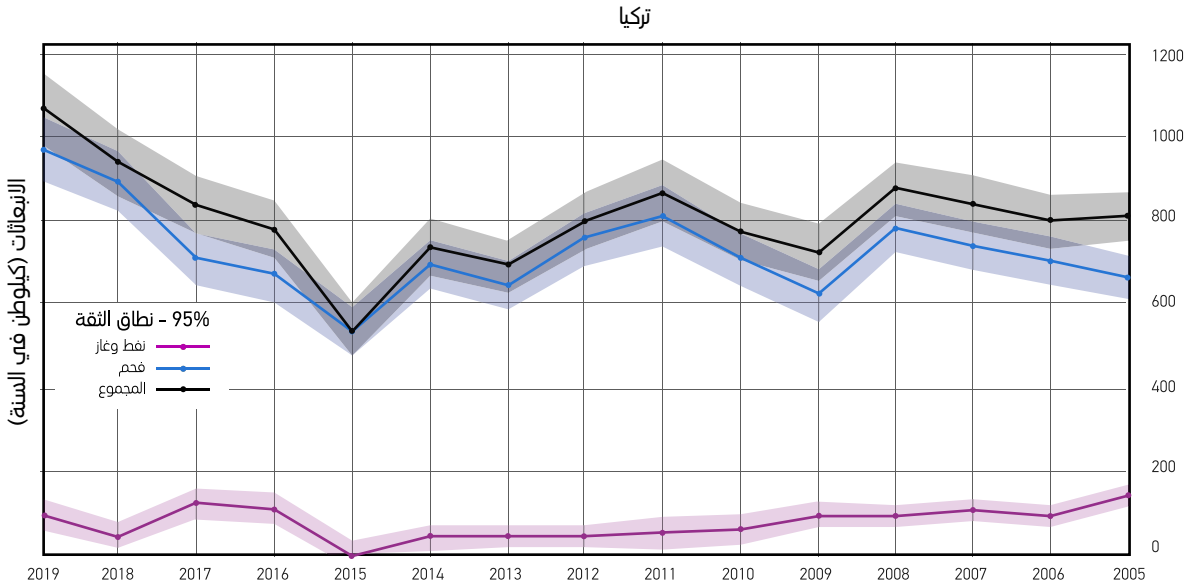
إنّ انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في جنوب أفريقيا بالكامل هي بشرية المنشأ. في سنة 2019، انخفضت انبعاثات البلد بنحو 15 في المئة لتصل إلى أدنى مستوى لها على الإطلاق في 15 عامًا ولكنّه مع ذلك، يُعتبر مرتفع للغاية (الرسم 12). يشير التحليل الأولي إلى أن انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) يتزامن مع فترات "فصل الأحمال" الناتجة عن فقدان القدرة على توليد الطاقة. وقد لا تنحصر الأسباب بهذا العامل فحسب؛ من الضروري القيام بالمزيد من التحقيق لفهم أسباب هذا الانخفاض بشكل أفضل.

تُعتبر مبومالانجا في جنوب أفريقيا أكبر بؤرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أفريقيا. تعدّ مجموعة محطات الطاقة الضخمة في انكانغالا، بما في ذلك محطات توليد الطاقة بالفحم دوفا وكيندال وكريبل، أكبر مصدرٍ باعث لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) داخل مبومالانجا. وتضمّ المحافظة 12 محطة توليد طاقة بالفحم تقع على بعد 100-200 كيلومتر من غوتنغ سيتي، أكبر منطقة سكنيّة في جنوب أفريقيا؛ ما يشكل تهديدًا كبيراً على صحّة السكّان. وقامت حكومة جنوب أفريقيا هذه السنة بالتخفيف من صرامة الأنظمة التي ترعى انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في محطات توليد الطاقة بالفحم، فضاعفت معدل الانبعاثات المسموح به.

دخل التغيير حيز التنفيذ في الأوّل من نيسان/أبريل 2020 على الرغم من التلوث الشديد بثاني أكسيد الكبريت (SO_2) على امتداد المنطقة[44]. وقد أتى التخفيف من صرامة المعايير كامتياز مباشر لشركات مرافق الطاقة في البلاد "إكسوم" و"ساسول للوقود الاصطناعي" التي رأت أنّ الامتثال لمعايير انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مكلفٌ للغاية[45].

[44] فلافيانوس، س. موافقة الصحف الرسميّة في جنوب أفريقيا على تفاقم تلوّث الهواء. بيان صحفي نشرته غرينبيس إفريقيا في 30 مارس 2020. على الرابط: https://www.greenpeace.org/africa/en/press/9221/sa-government-gazettes-approval-for-air-pollution-increases/ في 23 سبتمبر 2020.
[45] السيدة كريسي، ب.د. وزارة الغابات ومصايد الأسماك والبيئة. جمهورية جنوب أفريقيا. رسالة إلى السيدة كيت هاندلي. 20 يوليو 2020. على الرابط: https://drive.google.com/file/d/1nekGK0_CFh10EwjldodUVCk-64oN-Q-y/view

تركيا



الرسم 13: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تركيا منذ العام 2005 لغاية العام 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

انضمّت تركيا في سنة 2018 إلى البلدان العشرة الباعثة الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم، إذ أطلقت أكثر من 1000 كيلوطن من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية في الغلاف الجوي. وتعدّ تركيا واحدة من البلدان القليلة التي شهدت ارتفاعاً كبيراً (14 في المئة) في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) سنة 2019 وذلك للسنة الرابعة على التوالي. وقد بلغت مستويات انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تركيا سنة 2019 ضعف ما كانت عليه سنة 2015. وأصبحت تركيا اليوم ثامن أكبر باعثٍ لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بعد أن كانت في المركز العاشر سنة 2018. ويبقى توليد الطاقة من الفحم المصدر الرئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تركيا (الرسم 13)[46].

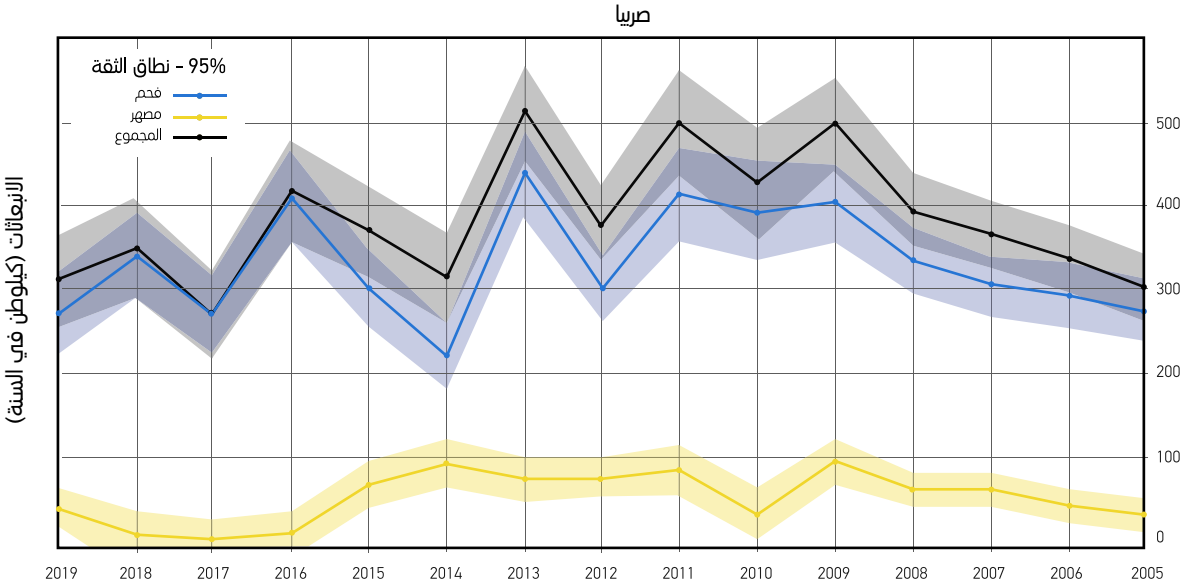
يُعتبر تجمّع محطات توليد الطاقة بالفحم كيمركوي ويانيكوي وياتاكان أبرز مجموعة بؤرةٍ لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في موغلا وهي الأكبر في تركيا. كما تحتل المركز الحادي عشر بين أكثر الباعثين لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج عن الأنشطة البشرية في العالم؛ تليها المنطقة المحيطة بمحطة كانغال لتوليد الطاقة بالفحم ومحطات توليد الطاقة بالفحم في أفشين البستان.

ويُتوقّع أن تستمرّ الاتّجاهات التصاعديّة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تركيا، لأن الحكومة تطمح إلى زيادة القدرة الوطنية على توليد الطاقة بالفحم من خلال افتتاح مناجم فحم حجري جديدة. وتتمتّع تركيا بعد الصين[47] بثاني أعلى قدرة في مجال خدمات ما قبل التشييد تصل إلى 31.7 جيغاواط. وعلى الرغم من المعارضة الشعبية والأزمة الاقتصادية التي تشهدها البلاد، تواصل الحكومة التركية دعم تمديد خدمة محطات توليد الطاقة بالفحم القديمة من خلال آداء آليات السعة. قد تدفع هذه العوامل مجتمعةً تركيا إلى مراتب أعلى في ترتيب انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في السنوات المقبلة.

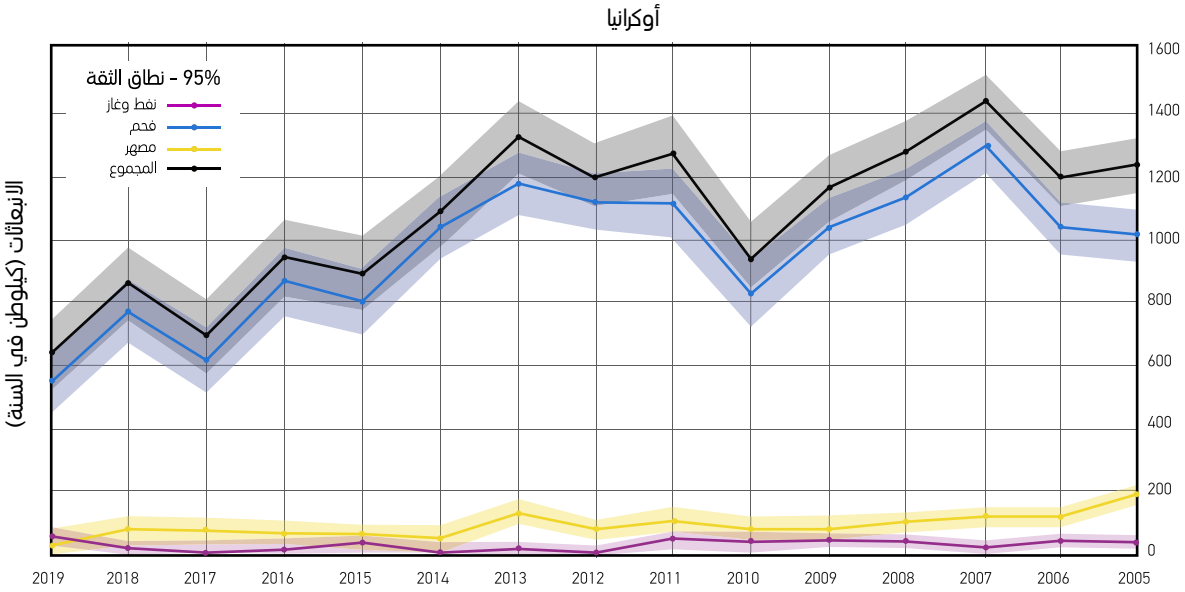
[46] غرفة المهندسين البيئيين (2020). تقرير تلوث الهواء 2019، أنقرة، (باللغة التركية). على الرابط: http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/7666bf4c3e1e4bb_ek.pdf في 23 سبتمبر 2020

[47] شيرر، سي. وآخرون. 2020 Boom and Bust: تتبع خط أنابيب مصنع الفحم العالمي. مراقب الطاقة العالمي. غرينبيس العالميّة وCREA ونادي سيبرا 2020. على الرابط: https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust_2020_English.pdf في 23 سبتمبر 2020

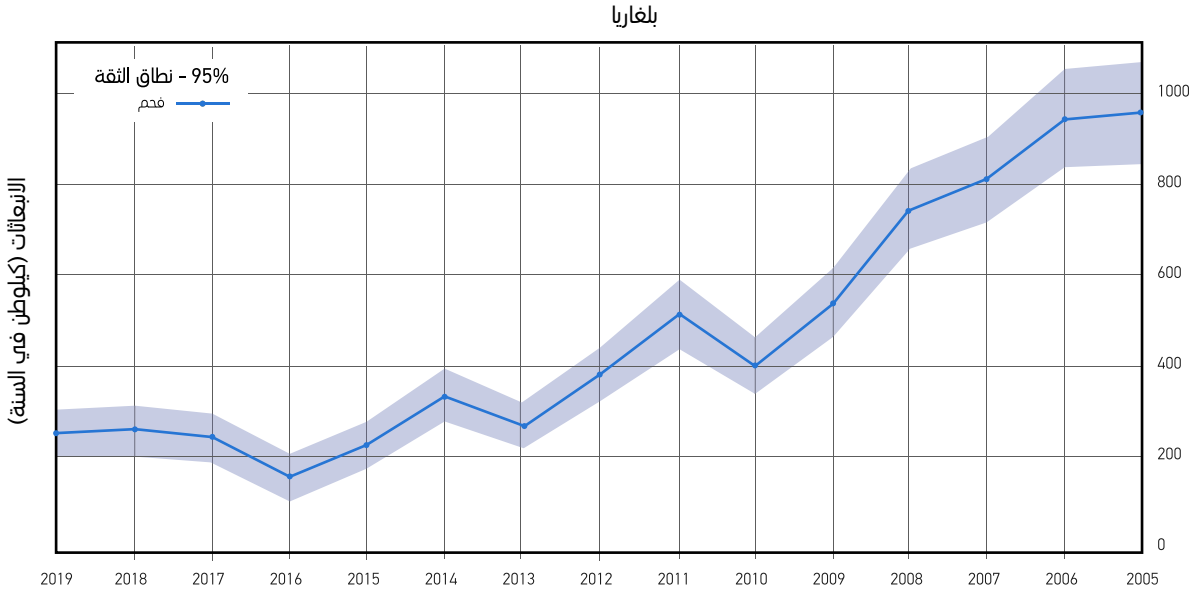
أوروبا



الرسم 14: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في صربيا منذ سنة 2005 لغاية 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).



الرسم 15: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أوكرانيا منذ سنة 2005 لغاية 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).



الرسم 16: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في بلغاريا منذ العام 2005 لغاية العام 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

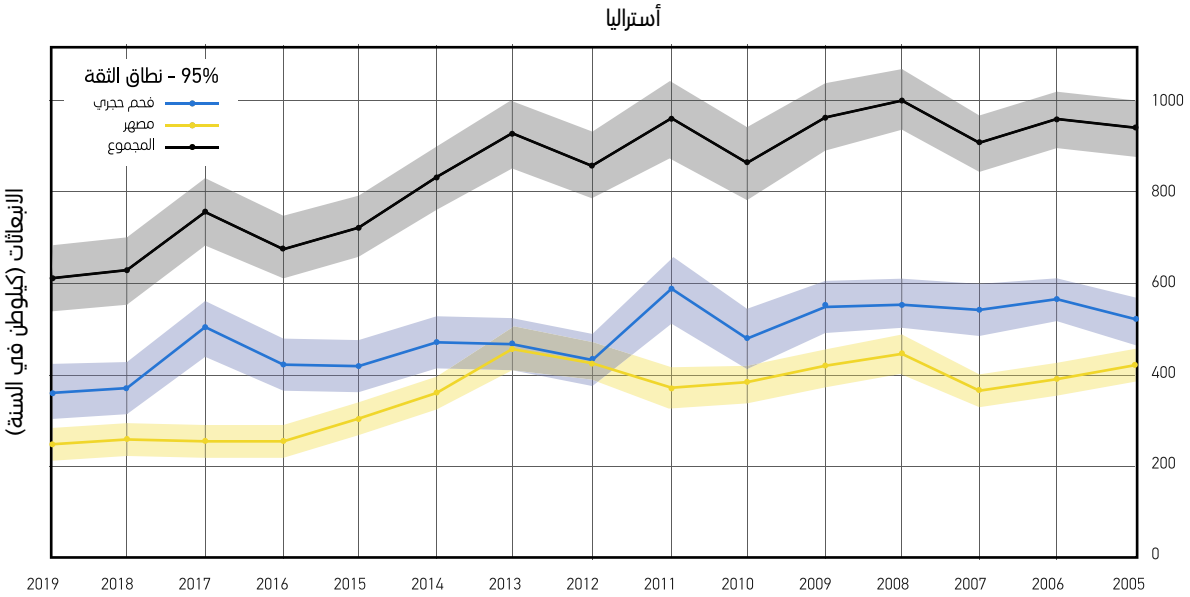
تُعتبر أوكرانيا وصربيا وبلغاريا الباعثين الأكبر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أوروبا ومن بين الأكثر الباعثين الـ 25 في العالم؛ والجدير بالذكر أن بلغاريا هي عضو الاتّحاد الأوروبي الوحيد في هذه القائمة. وتنجم انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بشكلٍ أساسي في هذه البلدان من احتراق الفحم. وقد انخفض معدّل الانبعاثات الناجمة عن احتراق الفحم في صربيا (الرسم 14) وأوكرانيا (الرسم 15) سنة 2019 ولكنّه بقي شبه ثابتٍ في بلغاريا (الرسم 16). وفي صربيا، عوّض ارتفاع مستوى الانبعاثات من المصاهر عن هذا الانخفاض الجزئي.

في سنة 2017، اعتمد الاتّحاد الأوروبي حدود قصوى صارمة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن محطّات توليد الطاقة بالفحم؛ إلا أن الحكومة البلغاريّة تعارض هذه القوانين الجديدة وتستمرّ بالسماح لمحطّات توليد الطاقة بمستوى انبعاثات أعلى من الحدود القصوى التي يسمح بها قانون الاتحاد الأوروبي. وتسعى بلغاريا إلى الحصول على عفوٍ من هذه القوانين بدلاً من اتّخاذ الخطوات المناسبة للحدّ من استخدام الفحم. وقد تمّ السماح لإحدى أكبر محطّات توليد الطاقة من الفحم في شبه جزيرة البلقان - ماريتسا إيست 2 التي تملكها الدولة - بإصدار انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) بمستوياتٍ تفوق بأربع مرّات الحدود القصوى التي حدّدها الاتحاد الأوروبي عبر توجيهات الانبعاثات الصناعيّة[48,49].

[48] غرينبيس بلغاريا. من أجل الأرض-الوصول إلى العدالة يستأنف تقييد TPP Maritsa East 2 ويصر أن تثبت الشركة أنها وضعت خطة لمستقبل أنظف. بيان صحفي لمنظمة غرينبيس بلغاريا في 24 يناير 2019. على الرابط: https://www.greenpeace.org/bulgaria/press/1377 باللغة البلغاريّة. 14 سبتمبر 2020

[49] دويل، د.، ستويلوفا، ر. أكبر محطة طاقة في البلقان -لماذا التفكير في ما بعد Maritsa East 2 مهمّ جدّاً. تقرير إخباري Energypost.eu. 23 سبتمبر 2020. الرابط على: https://energypost.eu/the-balkans-biggest-power-station-why-thinking-beyond-maritsa-east-2-matters/ باللغة الإنكليزيّة

أستراليا

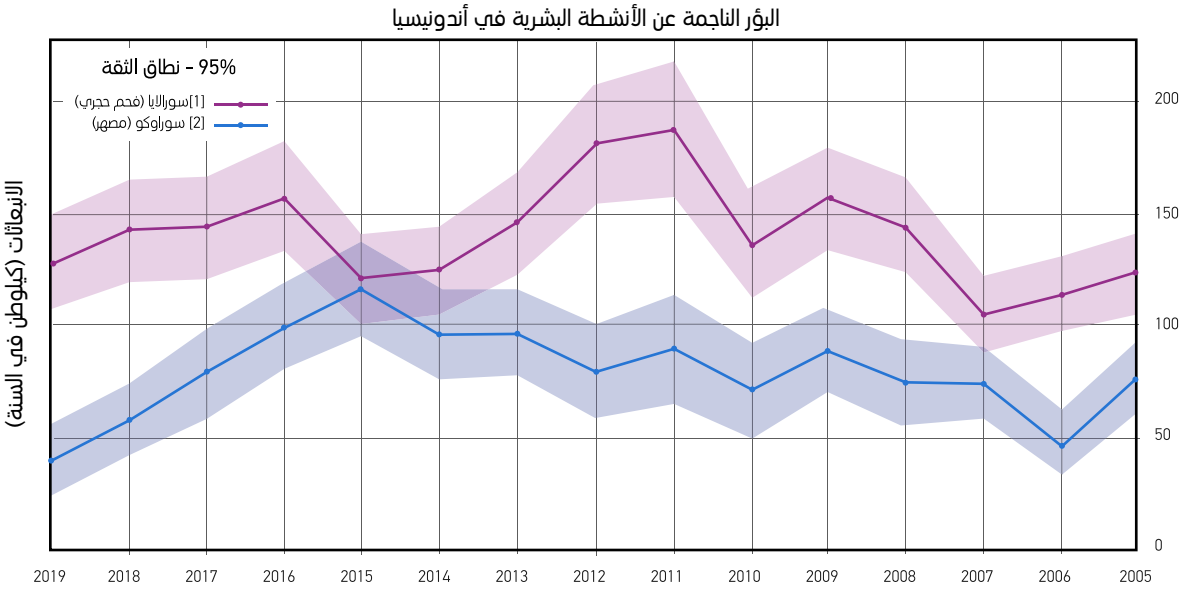


الرسم 17: مساهمات القطاعات الصناعية الرئيسيّة في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أستراليا منذ سنة 2005 لغاية 2019 ب(كيلو طن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا. (وقد تمّت إعادة تسميتها و/أو إعادة تصنيفها بشكلٍ جزئيّ كما هو مبيّنٌ أعلاه).

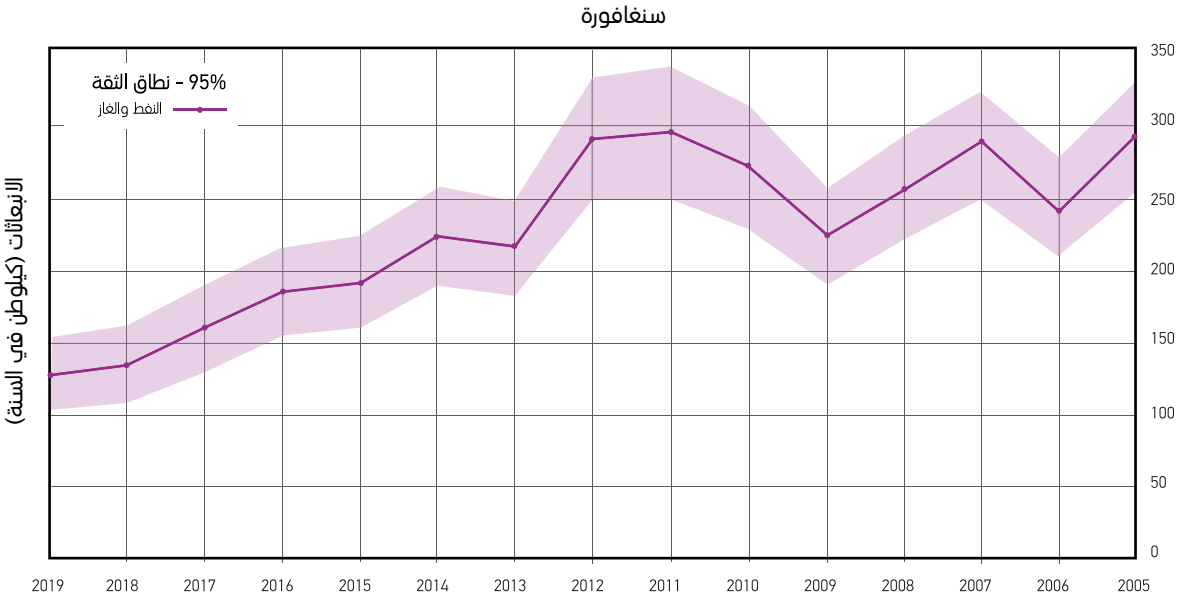
يعود مصدر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أستراليا احصرًا إلى الأنشطة البشرية. في سنة 2019، احتلّت أستراليا المرتبة الثانية عشر كأكثر باعث لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم – بعد أن احتلّت المرتبة نفسها سنة 2018 – إذ لم تحدّ بشكل ملحوظ من هذه الانبعاثات. وفي التفاصيل، تُعتبر البؤرة الأكبر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في أستراليا مدينة "ماونت إيزا" في كوينزلاند (حيث يوجد مجمّع لعمليّات التعدين مع مصاهر للرصاص والنحاس) تليها مدينة "لايك ماكواري"، ثمّ منطقة "هانتر فالي" في نيو ساوث ويلز، فمنطقة "لاتروب فالي" في فيكتوريا. في المواقع الأربعة، تُعزى النسب العالية من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) إلى محطّات توليد الطاقة بالفحم (الرسم 17). على الرغم من وجود بؤر بارزة على الصعيد العالمي لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، تفتقر محطّات توليد الطاقة بالفحم في هذه المناطق إلى تقنيّة التخلص من الكبريت في غاز المداخن، للتحكّم بانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، كما أنّ الحدود القصوى لهذه الانبعاثات ضعيفة أو معدومة.

تجدر الإشارة إلى أنّ النظام المتّبع في أستراليا لضبط التلوّث الناجم عن ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لا يزال متأخرا مقارنةً بالصين والولايات المتحدة الأميركية والاتحاد الأوروبي.

منطقة جنوب شرق آسيا



الرسم 18: انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من أكبر البؤر في إندونيسيا بين سنة 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).



الرسم 19: انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من أكبر البؤر في سنغافورة بين سنة 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة). مصدر البيانات: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا.

في سنة 2019، استأثرت إندونيسيا (الرسم 18) وسنغافورة (الرسم 19)معا بنسبة 90 في المئة تقريبًا من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية في منطقة جنوب شرق آسيا، فيما تسبَّب احتراق الفحم في تايلاند بالنسبة المتبقّية. مع أنّ غالبيّة انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في إندونيسيا ناجمة عن النشاط البركاني وانبعاثات سنة 2019 سجّلت انخفاضًا في الإجمال، إلا أنّ مجمّع "بانتن سورالايا" لتوليد الطاقة يُسجّل ثلاثة أرباع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن الأنشطة البشرية في البلاد. يُعتبر إقليم "سورالايا" البؤرة الأكبر في المنطقة، وتليه بفارق بسيط محطّات تكرير النفط والغاز في سنغافورة، التي تُعزى إليها كافة الانبعاثات المحلية. أمّا الربع المتبقّي من الانبعاثات في إندونيسيا، فيعود إلى مصاهر النيكل في "سورواكو" التي تُسجّل انخفاضاً ثابتًا في الانبعاثات منذ سنة 2015.

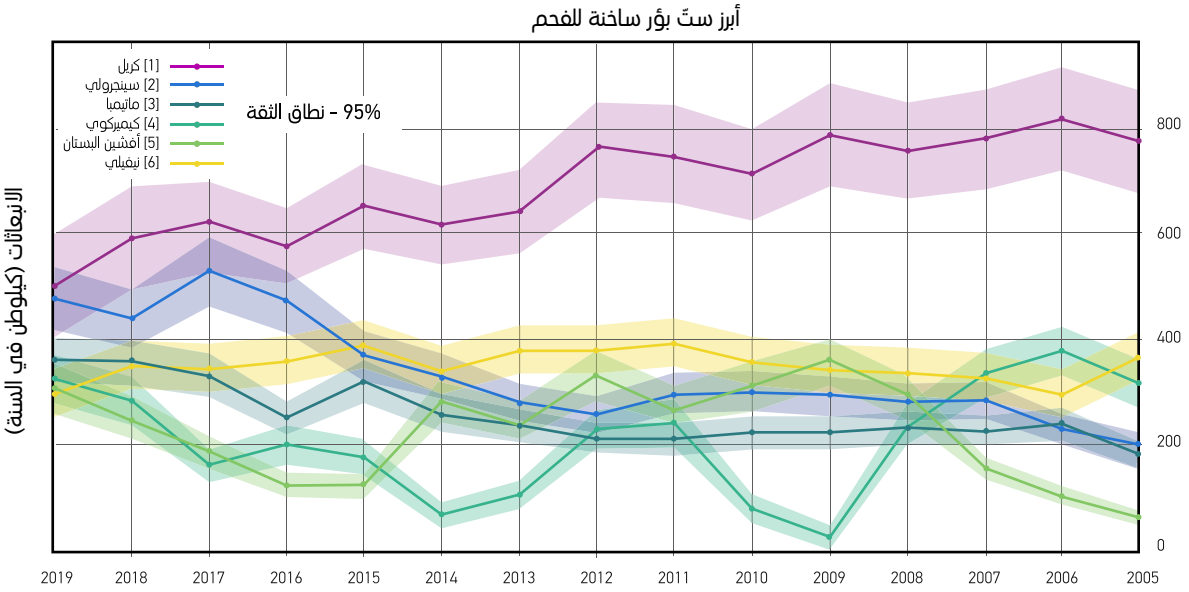
فرضت وزارة البيئة والغابات الإندونيسيّة، معايير جديدة للانبعاثات من المصادر الثابتة سنة 2019، بانتظار التأكّد ممّا إذا كان فرض الأنظمة الصارمة للحدّ من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) قد أدّى إلى تركيب التقنيّات اللازمة للتحكّم بالانبعاثات.

تعمل الوحدات الأولى والثانية في مجمّع "بانتن سورالايا" بشكل متواصل منذ قرابة الخمسة وثلاثين عامًا[50] ، ومن المفترض تحديد موعد إيقافها عن العمل كليًا[51]. غير أنّها لا تزال قيد التشغيل وتنبعث منها نسب عالية من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في المنطقة. بالرغم من المراجعة التي أجرتها الحكومة لأشغال وعمليات محطّات "سورالايا"، تدعو شركة الكهرباء التابعة للدولة (PLN) إلى تأجيل تطبيق المعايير التنظيمية الجديدة المتعلّقة بالانبعاثات على المحطّات القديمة لتوليد الطاقة بالفحم[52].

أبرز القطاعات الملوِّثة

يستعرض القسم الآتي لمحة عامّة عن القطاعات المسؤولة عن انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2).

حرق الوقود الأحفوري



الرسم 20: انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من أكبر ستّ بؤر على صعيد العالم بين الأعوام 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

تستأثر البؤر التي تستخدم احتراق الفحم لتوليد الطاقة والصناعة بنسبة تتعدّى 52 في المئة من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية على صعيد العالم. يُفصّل الجدول 4 بؤر الفحم الخمسين التي تُصدر أعلى نسبة من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وفقًا لبيانات برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا، فيما يكشف الرسم 20 عن حركة الانبعاثات في البؤر الستة التي تُصدر أعلى نسبة من الانبعاثات.

تُشكّل محطات توليد الطاقة بالفحم المصدر الرئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الهند والصين وجنوب أفريقيا وتركيا والولايات المتحدة الأميركية وكازاخستان و/أوكرانيا وأستراليا وروسيا وصربيا وبلغاريا.

على مرّ العقد الأخير من الزمن، عمدت دول ومناطق كثيرة، منها الصين والهند وجنوب أفريقيا وإندونيسيا، إلى فرض أو تحسين معايير التحكّم بانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، واستخدام تقنيّة التخلص من الكبريت في غاز المداخن. غير أنّ الأنظمة وطريقة تطبيقها تختلف بين دولة وأخرى، ولا تزال معايير الانبعاثات في معظم المناطق ضعيفة جدًا وبالتالي غير كافية لتحسين نوعيّة الهواء. يؤدّي التباين بين معايير الانبعاثات وفعاليّة التحكّم بالتلوّث الناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) إلى تفاوت كبير بين انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لكل وحدة إنتاج من هذه المنشآت التي تعمل بحرق الوقود الأحفوري. يشمل الملحق "ب" قائمة مفصّلة بمعايير الانبعاثات الخاصة بمحطّات توليد الطاقة على الصعيد المحلي، ويظهر فيه النطاق الواسع للحدّ الأقصى من الانبعاثات الذي يتراوح من 10mg/Nm3 (ميليغرام/معيار متر مكعّب عادي) إلى أكثر من4000mg/Nm3 على امتداد مناطق جغرافية مختلفة.

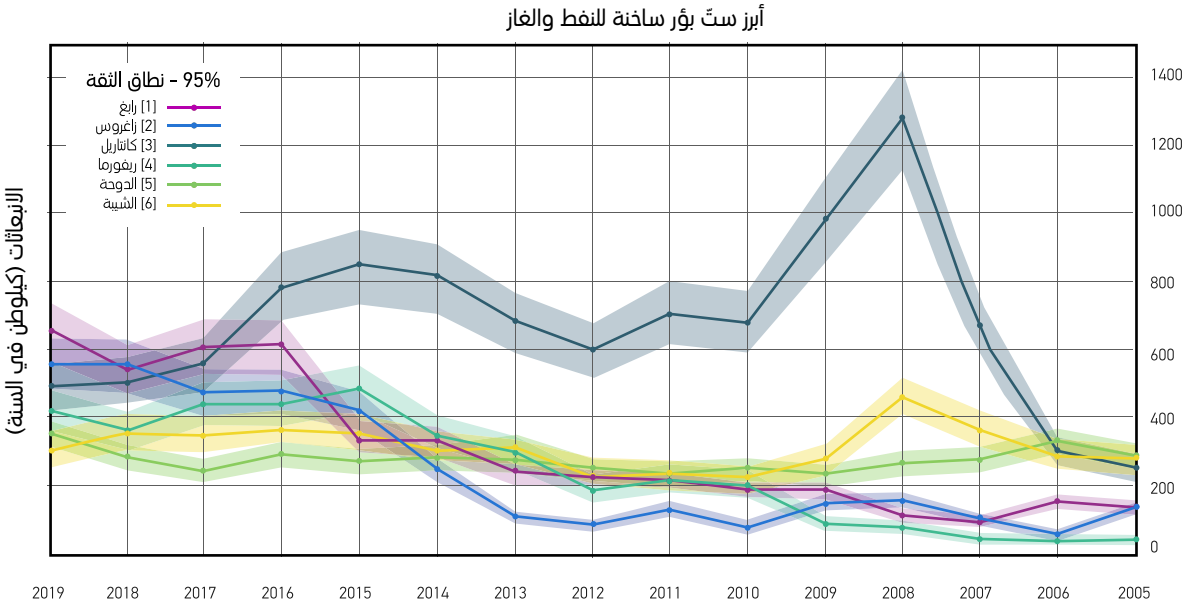
[50] يُمكن الاطلاع على السنوات التشغيلية على الرابط الآتي: www.gem.wiki/Banten_Suralaya_power_station
[51] الحكومة تُقفل محطة قديمة وتستبدلها بمولّدات للطاقة المتجدّدة. تقرير إخباري. 30 يناير 2020. www.merdeka.com/uang/pemerintah-tutup-pltu-tua-digantikan-dengan-pembangkit-energi-terbarukan.html
[52] مُثقلةً بالمعايير الجديدة، شركة توليد الكهرباء PLN تُطالب بالتهاون معها في مسألة فرض معايير الانبعاثات على محطات توليد الطاقة. 26 سبتمبر 2020. متوفّر على: www.dunia-energi.com/merasa-terbebani-pln-minta-relaksasi-pemberlakuan-baku-mutu-emisi-pembangkit-listrik/

الجدول 4: أكبر 50 بؤرة عالمية لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) تستخدم احتراق الفحم كمصدر أساسي لتوليد الطاقة. المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

التصنيف	البؤرة	البلد/المنطقة	نوع المصدر	انبعاثات العام 2019 (بال) (95 في المئة – نطاق الثقة)		
				أفضل تقدير	أدنى تقدير	أعلى تقدير
1	كريل	جنوب أفريقيا	فحم	504	443	564
2	سينجرولي	الهند	فحم	479	420	538
3	ماتيمبا	جنوب أفريقيا	فحم	362	319	406
4	كيمركوي	تركيا	فحم	328	280	376
5	أفشين البستان	تركيا	فحم	307	266	348
6	نيفيلي	الهند	فحم	299	260	338
7	كوربا	الهند	فحم	282	244	320
8	تالشر	الهند	فحم	221	189	253
9	نيكولا تسلا	صربيا	فحم	197	158	236
10	كوراخوفسكايا	أوكرانيا	فحم	180	142	218
11	فيساخاباتنام	الهند	فحم	172	141	203
12	مجمّع "ماريتسا" الشرقي الصناعي	بلغاريا	فحم	170	135	205
13	موندرا	الهند	فحم	164	135	193
14	كوتشي	الهند	فحم	161	136	186
15	كورادي	الهند	فحم	158	134	182
16	جيزكازغان	كازاخستان	فحم	155	125	185
17	ماجوبا	جنوب أفريقيا	فحم	149	125	173
18	تشيناي	الهند	فحم	142	119	166
19	فوغليكيرسكا	أوكرانيا	فحم	138	100	177
20	إيكيباستوز	كازاخستان	فحم	137	96	179
21	بافلودار	كازاخستان	فحم	136	96	175
22	شاندرابور، ماهاراشترا	الهند	فحم	135	115	156
23	ليثابو	جنوب أفريقيا	فحم	135	114	156
24	توزلا	البوسنة والهرسك	فحم	132	99	165
25	سورالايا	أندونيسيا	فحم	128	108	149
26	ووان	الصين	فحم	125	100	151
27	نوفوتشركاسك	روسيا	فحم	121	77	165
28	تاغشان	الصين	فحم	120	90	151
29	صندانس	كندا	فحم	118	77	159
30	الجرف الأصفر	المغرب	فحم	107	80	134
31	راماغوندام	الهند	فحم	102	85	119
32	لايك ماكواري	أستراليا	فحم	101	77	124

33	زوبينغ، بينزهو	الصين	فحم	98	72	124
34	شيزويشان-ووهاي	الصين	فحم	97	80	113
35	رايجاره	الهند	فحم	92	70	113
36	سيوتمر	تركيا	فحم	87	65	110
37	بوبوف دول	بلغاريا	فحم	84	60	108
38	كوثاجوديم	الهند	فحم	83	66	101
39	سوتو دي ريبيرا	إسبانيا	فحم	82	51	114
40	تورسيني	رومانيا	فحم	76	51	102
41	بيتاكالكو	المكسيك	فحم	75	47	103
42	هازيرا	الهند	فحم	75	55	94
43	كاربون	المكسيك	فحم	73	53	93
44	كوستولاك	صربيا	فحم	73	44	102
45	هانتر فالي	أستراليا	فحم	72	54	90
46	ميامي فورت	الولايات الأميركية المتحدة	فحم	71	40	102
47	لاتروب فالي	أستراليا	فحم	69	34	105
48	نوفاتسي	مقدونيا (جمهورية مقدونيا اليوغوسلافية السابقة)	فحم	69	48	91
49	زابوريجيا	أوكرانيا	فحم	69	36	102
50	سورات	الهند	فحم	68	50	85

تكرير وتصفية النفط والغاز/توليد الطاقة



الرسم 21: انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الصادرة عن أكبر ستّ بؤر للنفط والغاز في العالم بين الأعوام 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة).
المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

تُشكّل قطاعات تكرير النفط والغاز/توليد الطاقة مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ، في المكسيك والمملكة العربية السعودية وإيران وروسيا والإمارات العربية المتحدة.

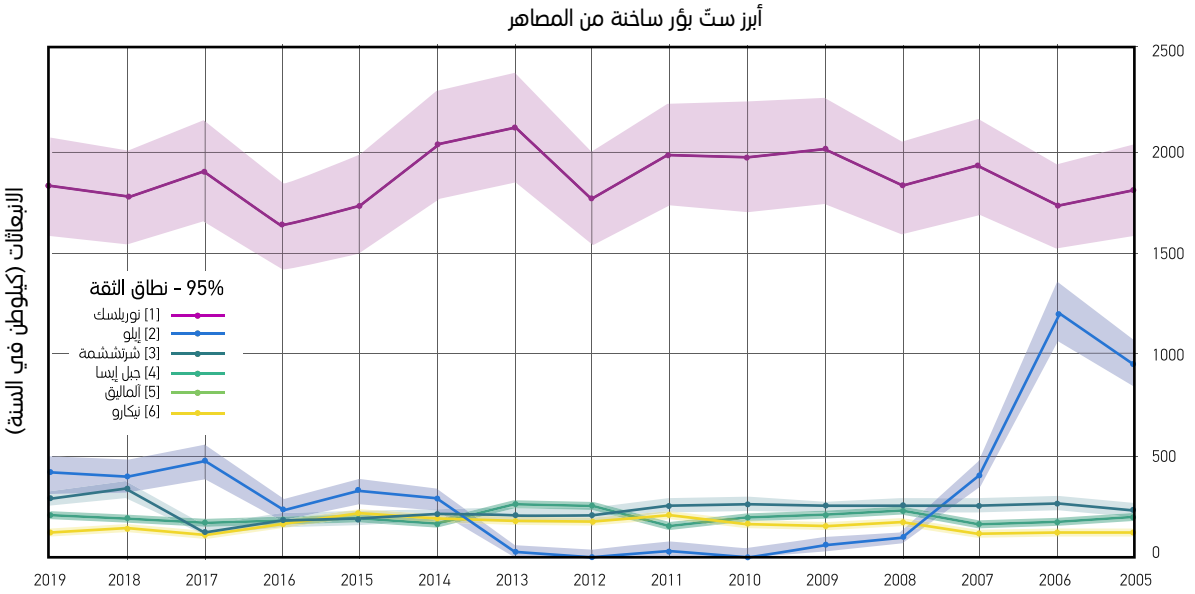
تُعتبر حقول كانتاريل وريفورما/كاكتوس وتولا النفطية في المكسيك، أكبر البؤر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، وذلك بشكل أساسي من تكرير النفط ومعالجة الغاز. و تقع أبرز بؤر الانبعاثات الناجمة عن تكرير واحتراق النفط في الشرق الأوسط، بما في ذلك المملكة العربية السعودية التي تُعدّ البؤرة الأكبر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من احتراق النفط والغاز على صعيد العالم (الرسم 21، الجدول 5).

الجدول 5: أكبر 50 بؤرة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) حيث يُشكّل احتراق النفط والغاز المصدر الرئيسي للانبعاثات. المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

التصنيف	البؤرة	البلد/المنطقة	نوع المصدر	انبعاثات العام 2019 (بال) (95 في المئة – نطاق الثقة)		
				أفضل تقدير	أدنى تقدير	أعلى تقدير
1	رابغ	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	652	569	735
2	زاغروس	إيران	نفط وغاز	558	484	632
3	كانتاريل	المكسيك	نفط وغاز	482	420	544
4	ريفورما/كاكتوس	المكسيك	نفط وغاز	415	349	481
5	الدوحة	لكويت	نفط وغاز	351	307	395
6	الشيبة	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	301	260	342
7	فريدون	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	291	243	339
8	جزيرة داس	الإمارات العربية المتحدة	نفط وغاز	271	229	312
9	مبارك	أوزبكستان	نفط وغاز	245	212	278
10	جدّة	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	233	197	268
11	تولا	المكسيك	نفط وغاز	200	170	230
12	خانجيران	إيران	نفط وغاز	162	139	185

13	الجبيل	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	154	128	180
14	بغداد	العراق	نفط وغاز	134	113	155
15	توكسبان	المكسيك	نفط وغاز	130	103	158
16	نويبيتاس	كوبا	نفط وغاز	130	104	156
17	سنغافورة	سنغافورة	نفط وغاز	127	102	152
18	ميناتيتلان	المكسيك	نفط وغاز	116	87	145
19	غيتيراس	كوبا	نفط وغاز	115	95	135
20	أوفا	روسيا	نفط وغاز	98	47	149
21	ينبع	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	98	78	119
22	أستراخان	روسيا	نفط وغاز	97	67	127
23	أورينبورغ	روسيا	نفط وغاز	94	56	131
24	عبادان	إيران	نفط وغاز	91	70	112
25	مانزانيلو	المكسيك	نفط وغاز	86	65	106
26	ألياغا كارديمير	تركيا	نفط وغاز	84	50	119
27	دهلران	إيران	نفط وغاز	77	62	92
28	باراغوانا	فنزويلا	نفط وغاز	76	51	101
29	جاناجول	كازاخستان	نفط وغاز	76	47	104
30	سالينا كروز	المكسيك	نفط وغاز	72	51	92
31	مسيعيد	قطر	نفط وغاز	70	54	86
32	أنغارسك	روسيا	نفط وغاز	70	41	99
33	السويداء	سوريا	نفط وغاز	70	55	84
34	الرياض	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	67	56	79
35	نكا	إيران	نفط وغاز	65	41	88
36	بندر عباس	إيران	نفط وغاز	64	46	83
37	لفان	قطر	نفط وغاز	61	39	84
38	القاهرة	مصر	نفط وغاز	59	43	74
39	تامبيكو	المكسيك	نفط وغاز	58	36	81
40	أراك	إيران	نفط وغاز	58	47	70
41	ماريل	كوبا	نفط وغاز	54	36	73
42	الهفوف	المملكة العربية السعودية	نفط وغاز	53	42	64
43	ريازان	روسيا	نفط وغاز	53	11	94
44	كييف	أوكرانيا	نفط وغاز	53	19	86
45	نوفوكويبيشفسك	روسيا	نفط وغاز	51	4	97
46	زان	غواتيمالا	نفط وغاز	49	30	68
47	نارفا	إستونيا	نفط وغاز	49	0	103
48	الزور الجنوبية	الكويت	نفط وغاز	45	27	63
49	تشولوما	هندوراس	نفط وغاز	44	27	62
50	بيجي	العراق	نفط وغاز	43	26	61

المصاهر



الرسم 22: انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من أكبر ستّ بؤر مصاهر بين سنة 2005 و 2019 (كيلوطن في السنة). المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

تنبعث كميّات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الغلاف الجوّي جرّاء تشغيل مصاهر المعدن والبنى التحتيّة المتعلّقة بها، لا سيّما تلك التي تفتقر إلى الأجهزة المناسبة للتحكّم بالتلوّث. تُشكّل المصاهر المصدر الأساس لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العديد من البؤر الكبرى التي رصدها البرنامج. يُفصّل الجدول 6 نسب الانبعاثات من أكبر 15 بؤرة، فيما يُظهر الرسم 22 أبرز ستّ بؤرٍ.

يبقى مصهر "نوريلسك" في روسيا من دون منازع أكبر بؤرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) حول العالم. أمّا ثاني أكبر بؤرة بحسب بيانات برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا فهي "إيلو" في البيرو، يليها "سرششمة" في إيران، ثمّ "ماونت إيزا" في أستراليا و"ألماليك" في أوزبكستان وهيكارو في كوبا.

الجدول 6: أكبر 15 بؤرة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2) حيث تُشكّل المصاهر المصدر الرئيسي للانبعاثات. المصدر: برنامج MEaSUREs التابع لوكالة ناسا (أعيدت تسمية و/أو تصنيف هذه البيانات جزئياً، على النحو المحدّد أعلاه).

التصنيف	البؤرة	البلد/المنطقة	نوع المصدر	انبعاثات العام 2019 (بال) (95 في المئة – نطاق الثقة)		
				أفضل تقدير	أدنى تقدير	أعلى تقدير
1	نوريلسك	روسيا	مصهر	1,833	1,598	2,068
2	إيلو	البيرو	مصهر	414	338	489
3	شرتششمة	إيران	مصهر	289	253	326
4	جبل إيسا	أستراليا	مصهر	208	180	237
5	آلماميق	أوزبكستان	مصهر	188	162	215
6	نيكارو	كوبا	مصهر	125	100	150
7	نيكل	روسيا	مصهر	106	36	177
8	كيروفوغراد	روسيا	مصهر	102	42	162
9	كاماكاري	البرازيل	مصهر	87	52	122
10	نوراندا	تشيلي	مصهر	83	45	122
11	ميدنوغورسك	روسيا	مصهر	83	47	120
12	كراسنورالسك	روسيا	مصهر	82	26	138
13	مانشستر	جامايكا	مصهر	81	61	101
14	تشي غيفارا	كوبا	مصهر	72	49	96
15	كاراباش	روسيا	مصهر	68	20	116

اتّجاهات سنة 2020 (وفقاً لبيانات جهاز رصد الأوزون OMI)

قلبت جائحة كوفيد19 الحياة اليومية رأساً على عقب سنة 2020 في العديد من المناطق حول العالم. في ظلّ فرض الحجر الصحي والإقفال التامّ، سجّل الطلب العالمي على الطاقة والكهرباء انخفاضاً ملحوظاً، لكن على الأرجح مؤقّتًا، في النصف الأول من سنة 2020. أدّى تراجع الطلب على الطاقة إلى تحسّن نوعيّة الهواء في مواقع عديدة، شهدت انخفاض الطلب على الطاقة من الوقود الأحفوري. في أوروبا على سبيل المثال، تراجع توليد الطاقة من الفحم بنسبة 37 في المئة، وساهمت التدابير المتّبعة للحؤول دون انتشار فيروس كورونا المسبّب لمتلازمة مرض الالتهاب الرئوي الحادة. في انخفاض متوسّط معدّل انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين (NO2)[53] بنسبة تقارب الـ 40 في المئة.

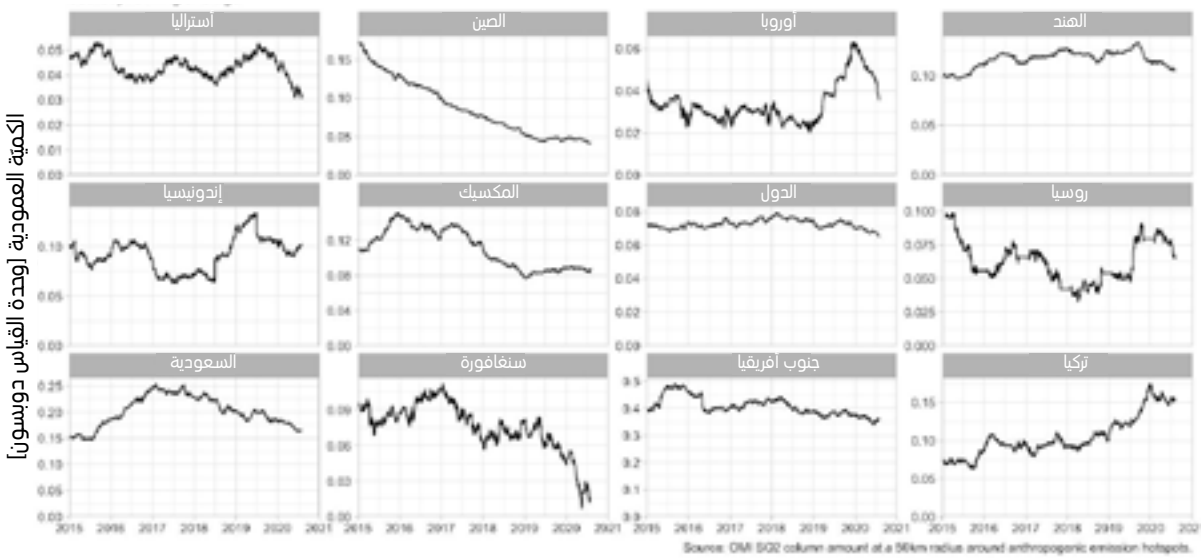
لم تتوفّر بعد تقديرات وكالة ناسا لسنة 2020. في هذا القسم، نعتمد على كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية حول بؤر الانبعاثات كمؤشّر غير مباشر للانبعاثات بحدّ ذاتها (الرجوع إلى الخانة 1 في قسم المنهجيّة للتمييز بين انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وكميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية).

يُظهر تحليل كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية لسنة 2020 تراجعاً بالنسبة إلى سنة 2019 (الرجوع إلى الرسمين 23 و24)، مع الإشارة إلى أنّ التغيرات البين السنوية الكبيرة وآثار الطقس غير المحتسبة، تحول دون إسناد هذا التراجع الملحوظ إلى جائحة "كوفيد19" بشكل حتميّ.

المناطق

يعرض الرسم 23 نظرةً على متوسّط كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية المحيطة بالبؤر الناجمة عن الأنشطة البشرية ضمن حدود أبرز البلدان أو المناطق الباعثة لثاني أكسيد الكبريت (SO_2). يُعتمد المتوسّط الجاري على مدار 365 يوماً للحدّ من آثار التبدّلات الموسمية.

كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية المحيطة بالمصادر الناجمة عن الأنشطة البشرية
متوسّط جارٍ على مدار 365 يومًا



الرسم 23: كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من صنع الإنسان بين الأعوام 2015-2020 ضمن حدود 50 كلم في البلدان التي تُصدر انبعاثات هائلة. متوسّط جارٍ على مدار 365 يوماً. تُشير خانة "الدول الأخرى" إلى كل الدول الأخرى مجتمعةً. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI)

[53] ميليفيرتا، ل. وثيريو، هـ. تفادي 11 ألف حالة وفاة مرتبطة بتلوّث الهواء في أوروبا مع تراجع استهلاك الفحم الحجري والنفط. مركز أبحاث الطاقة والهواء النظيف (2020). متوفّر على الرابط التالي: https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/up

تُسجّل مناطق وبلدان كثيرة تراجعًا ملحوظًا في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) سنة 2020، بحيث وحدها إندونيسيا شهدت ارتفاعًا بعد تسجيل انخفاض ملحوظ سابقًا (الرسم 23). لوحظ تراجع مفاجئ في أستراليا وسنغافورة وتركيا وأوروبا وروسيا، فيما الانخفاضات كانت أقلّ حدّة في الهند والسعودية.

في 1 كانون الأوّل/ يناير 2020، علّق العمل في خمس محطّات لتوليد الطاقة بالفحم الحجري في تركيا من أصل 16، ممّا ساهم في الحدّ من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في تلك المنطقة بشكل مفاجئ ومتزامن[54].

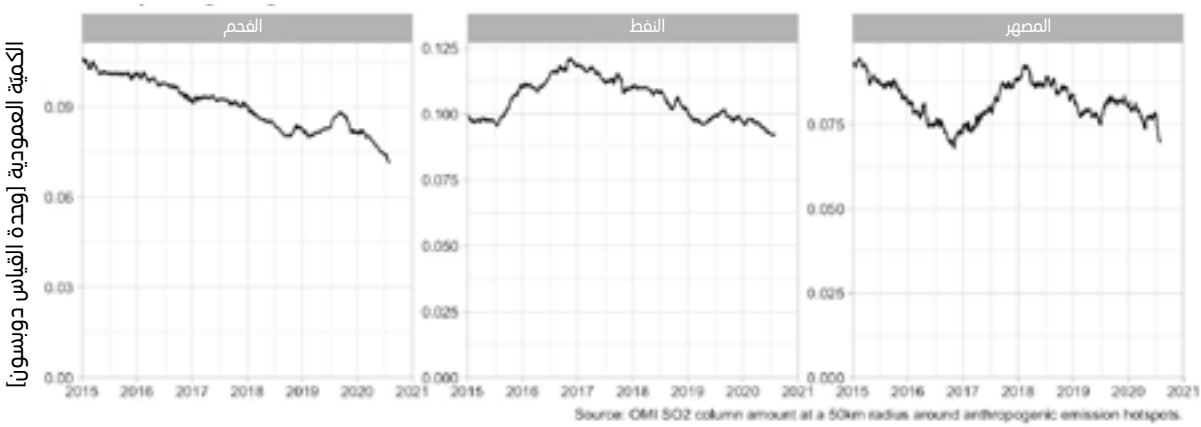
تُفيد التقارير أنّ تكرير النفط في سنغافورة (القطاع الرئيسي المسبّب للانبعاثات) شهد تراجعًا في معدّل الإنتاج إلى حوالى 60 في المئة من قدرته[55]. أمّا في الهند، فقد انخفض استهلاك الفحم لتوليد الطاقة بنسبة 10.4 في المئة في الفترة الممتدّة بين كانون الأوّل/ يناير وآب/ أغسطس 2020 مقارنةً بالفترة نفسها من سنة 2019، وفقًا للإحصائيات الرسمية[56].

وتُظهر كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية المدروسة في السنوات الخمسة الأخيرة اتّجاهات بعيدة الأمد وتقلّبات سنوية في الكثير من المناطق المحدّدة. يُعزى التراجع في كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية بين سنة 2019 و 2020 إلى عوامل عدّة، وليس أزمة كوفيد19 فحسب. حيث سجّل المتوسّط الجاري على امتداد 365 يومًا لكميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية تراجعًا ثابتًا في السنوات الخمسة الأخيرة في محيط بؤر الفحم والنفط والغاز. في المقابل، يبدو تراجع كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية سنة 2020 أكثر حدّة في قطاعات الفحم والمصاهر (الرسم 24)، ممّا يُشير إلى وقع أكبر لجائحة كوفيد19 على هذين القطاعين.

القطاعات

تبيّنت الاتّجاهات العالمية للانبعاثات من بؤر الفحم والنفط والغاز والمصاهر،بعد تحليل كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية في الغلاف الجوّي المحيطة بالبؤر المنسوبة إلى قطاعات مختلفة.

كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية المحيطة بالمصادر الناجمة عن الأنشطة البشرية
متوسّط جارٍ على مدار 365 يومًا

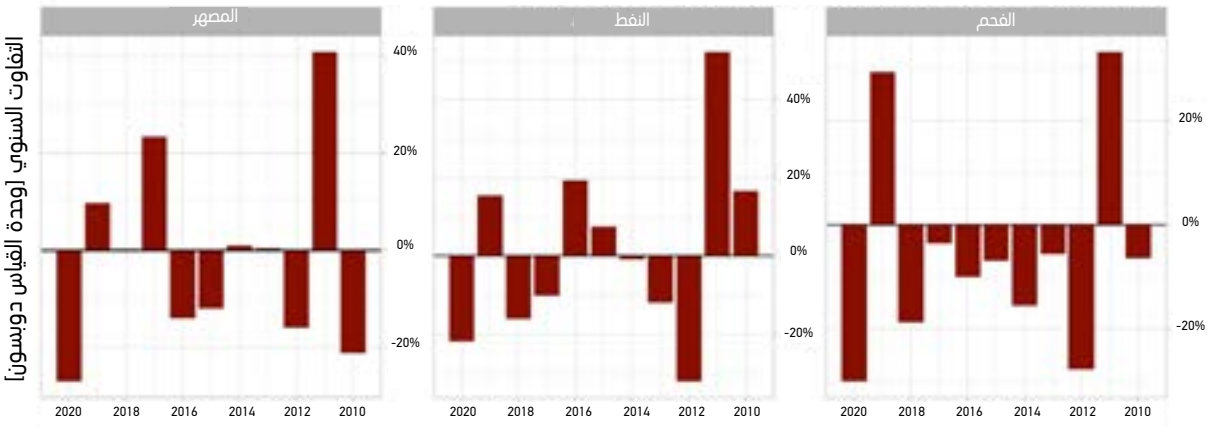


الرسم 24: كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من صنع الإنسان بين الأعوام 2015-2020 في قطاعات مختلفة. متوسّط جارٍ على مدار 365 يوماً.
المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI)

سجّلت معدّلات انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في قطاعَي الفحم والمصاهر أعلى نسبة في السنوات العشرة الأخيرة، في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس (الرسم 25، الجدول 7). في القطاعات الثلاثة، تخطّت معدّلات الانخفاض نسبة 20 في المئة سنويا (الجداول 8 و9 و10).

[54] غوندوزيلي، إ. وكوتولاي، د. "معضلة تركيا: الفحم الحجري المحفوف بالمخاطر أو النمو النظيف". تقرير إخباري على Europe Beyond Coal في 7 فبراير 2020. متوفّر على الرابط التالي: https://beyond-coal.eu/2020/02/07/turkeys-dilemma-risky-coal-or-clean-developmen/ [تاريخ زيارة الرابط 23 سبتمبر 2020].
[55] بلومبرغ. "ساحل سنغافورة مُكتظّ بسفن نفط لا يُريدها أحد" 'Singapore Coastline Packed With Ships Full of Oil No One Wants'، نُشر في 27 أبريل 2020. متوفّر على الرابط التالي: https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-04-27/oil-glut-swells-off-asian-trading-hub-on-global-storage-scramble [تاريخ زيارة الرابط 29 سبتمبر 2020].
[56] الهيئة المركزية للكهرباء، وزارة الطاقة، حكومة الهند، بيان الفحم الحجري الشهري، http://cea.nic.in/monthlycoal.html [تاريخ زيارة الرابط 25 سبتمبر 2020].

التغيّر السنوي في نسبة تركيز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) للفترة الممتدّة بين أبريل وأغسطس



الرسم 25: متوسّط تفاوت كميّات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية على أساس سنوي في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس، بحسب القطاعات. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI).

تُظهر المشاهدات تراجعًا مستمرًا في كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية خلال سنة 2020 بين قطاع وآخر ومنطقة وأخرى. صحيح أنّه يجوز استخدام كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية (أي نسبة تركيزها) كمؤشّر بسيط لبيانات الانبعاثات، إلا أنّ الرابط بين كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية وانبعاثات هذا الغاز مُعقّد، بفِعل عوامل كثيرة منها أحوال الطقس. لذا، لا بدّ من إجراء تحاليل إضافية لأرقام الانبعاثات، قبل التوصّل إلى استنتاجات حاسمة حول اتّجاهات انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) سنة2020.

الجدول 7: متوسّط التغيّرات السنوية في إجمالي كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية على صعيد البلد، في محيط بؤر الانبعاثات، في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل و آب/ أغسطس 2020. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI).

البلد/المنطقة	كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية نيسان/ أبريل 2020 – آب/ أغسطس 2020 مقارنة بالسنة السابقة
أستراليا	-14%
الصين	-38%
أوروبا[57]	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
الهند	-23%
إندونيسيا	13%
المكسيك	-12%
روسيا	-73%
السعودية	-24%
جنوب أفريقيا	0%
تركيا	-23%

[57] يقبل النظام الحساب لاسترجاع المعلومات الذي يعتمده جهاز رصد الأوزون التابع للناسا القيمة السلبية للكميّات العمودية في الطبقة التيّ تحدّ كوكب الأرض، وإن لم تكن واقعيّة على الصعيد المادي، إلا أنّه يُمكن تفسيرها كتراجع حادّ جداً. في هذا التحليل، حُدّد سقف التراجع عند 100%-.

الجدول 8: التغيّرات في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن الفحم على صعيد البلد، في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس 2020 مقارنةً بالفترة ذاتها من العام 2019. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI).

البلد/المنطقة	كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية نيسان/ أبريل 2020 – آب/أغسطس 2020 مقارنة بالفترة ذاتها في السنة السابقة
أستراليا	0%
الصين	-38%
أوروبا	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
الهند	-23%
إندونيسيا	26%
المكسيك	-16%
روسيا	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
السعودية[58]	-
جنوب أفريقيا	3%
تركيا	-4%

الجدول 9: التغيّرات في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن النفط والغاز على صعيد البلد، في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس 2020 مقارنةً بالفترة ذاتها من العام 2019. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI).

البلد/المنطقة	كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية نيسان/ أبريل 2020 – آب/أغسطس 2020 مقارنة بالفترة ذاتها في السنة السابقة
أستراليا	-
الصين	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
أوروبا	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
الهند	-25%
إندونيسيا	-
المكسيك	-9%
روسيا	-89%
السعودية	-24%
جنوب أفريقيا	-
تركيا	-100%

[58] نسبة تغيّر انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO2) غير متوفّرة هنا نظراً إلى غياب بؤرة للانبعاثات الناجمة عن الفحم الحجري كمصدر رئيسي في السعودية. الأمر نفسه ينطبق على بلدان وقطاعات أخرى، ويتجلّى ذلك باستخدام علامة "-" في الجداول.

الجدول 10: التغيّرات في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناجمة عن المصاهر على صعيد البلد، في الفترة الممتدّة بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس 2020 مقارنةً بالفترة ذاتها من العام 2019. المصدر: جهاز رصد الأوزون (OMI).

البلد/المنطقة	كميّة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) العمودية نيسان/ أبريل 2020 – آب/ أغسطس 2020 مقارنة بالسنة السابقة
أستراليا	-
الصين	0%
أوروبا	141%
الهند	-26%
إندونيسيا	-8%
المكسيك	-100% (الرجوع إلى الملاحظة 57 في الحاشية)
روسيا	-53%
السعودية	-
جنوب أفريقيا	-38%
تركيا	-

التطلع المستقبلي

يؤدّي احتراق الوقود الأحفوري إلى انبعاث ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وغيره من الملوّثات الخطرة في الأنظمة الإيكولوجية الهوائية والمائية والبرية. حيث يتسبّب التلوّث بتدهور الأنظمة الإيكولوجية وله أيضًا تداعيات سلبيّة على صحّة الإنسان، بما في ذلك الوفاة المبكرة. حدّد هذا التقرير الذي أعدّه مركز أبحاث الطاقة والهواء النقي بالتعاون مع منظّمة "غرينبيس" أكبر البؤر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في العالم، وكلّها تُعزى إلى احتراق الوقود الأحفوري على نطاق واسع. نستخلص أنّ احتراق الوقود الأحفوري هو المسبّب الرئيسي لتلوّث الهواء وحالة الطوارئ المناخية، وتتشارك الأزمتين الطارئتين العديد من الحلول المشتركة.

يتوجّب على البلدان التي تُصدر أكبر كميّات من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) أن تتوقّف عن الاستثمار في الوقود الأحفوري وتستبدله بمصادر آمنة ومستدامة أكثر، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وأن تُعزّز القيود على الانبعاثات. من شأن إلزام محطّات توليد الطاقة بالفحم بتطبيق تقنيّات التخلص من الكبريت في غاز المداخن أن يحبس أكثر من 99 في المئة من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في هذه العملية[59,60]، ويُساهم بذلك في الحدّ من الآثار السلبيّة على صحّة الإنسان.

في حين تستعدّ الحكومات للتعافي من جائحة كوفيد19، تتّضح أكثر فأكثر أهميّة توجيه الأموال المخصّصة لمصادر الطاقة إلى الطاقة المتجدّدة. بات الوقود الأحفوري سنة 2020 مصدراً مندثراً للطاقة، إذ نجد العديد من محطات توليد الطاقة بالفحم حول العالم مُهملة إلى حدّ كبير أو متوقّفة عن العمل أو حتّى على وشك الإقفال[61,62]. لذا فإنّ أي استثمار جديد في الوقود الأحفوري مُهدّد بأن يُصبح من الأصول المندثرة، مع لجوء العالم إلى تقنيّات أقل كلفةً وأكثر مراعاة للمناخ.

[59] بوليكاس، أ. مراجعة اعتبارات التصميم والتشغيل والكلفة لأنظمة إزالة الكبريت من غاز المداخن. مجلة Energy Technol. السياسة 2 (1)، 103-92 (2015). https://doi.org/10.1080/23317000.2015.1064794

[60] كاربنتر، أ. م. تقنيّات إزالة ثاني أكسيد الكبريت (SO2) من غاز المداخن Low water FGD technologies. مركز الفحم الحجري النظيف التابع لوكالة الطاقة الدولية. متوفّر على الرابط التالي: https://usea.org/sites/default/files/112012_Low%20water%20FGD%20technologies_ccc210.pdf [تاريخ زيارة الرابط 23 سبتمبر 2020]

[61] ترياثي، س. "السعة لمحطّة توليد الطاقة على الفحم الحجري في الهند تنخفض في الهند، والهدف المحدّد في اتفاقية باريس يبقى بعيد المنال". Coal power plant capacity falls in India, Paris Agreement goal still far. تقرير إخباري في جريدة Business Standard عدد 27 مارس 2020. متوفّر على الرابط التالي: https://www.business-standard.com/article/companies/coal-power-plant-capacity-falls-in-india-paris-agreement-goal-still-far-120032700712_1.html [تاريخ زيارة الرابط 29 سبتمبر 2020]

[62] بيفن، ب. "الانبعاثات الناجمة عن قطاع الطاقة في الاتحاد الأوروبي تنخفض مع انهيار الفحم الحجري في أنحاء أوروبا". تقرير إخباري على الجزيرة بتاريخ 5 فبراير 2020. متوفّر على الرابط التالي: https://www.aljazeera.com/economy/2020/02/05/eu-power-sector-emissions-drop-as-coal-collapses-across-europe/ [تاريخ زيارة الرابط 29 سبتمبر 2020

الملحق A. هامش الشكّ بالبيانات

الجدول A1: أبرز 25 بلدًا تصدر فيها انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت بسبب الأنشطة البشرية العام[63] 2019.

التصنيف	البلد/المنطقة	انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت الناتجة عن الأنشطة البشرية في العام 2019 (بالكيلوطن) (95 في المئة – نطاق الثقة)		
		أدنى تقدير	أفضل تقدير	أعلى تقدير
-	حول العالم	28,704	28,050	29,358
1	الهند	5,953	5,768	6,138
2	روسيا	3,362	3,335	3,717
3	الصين	2,156	2,044	2,344
4	السعودية	1,910	1,874	2,027
5	المكسيك	1,873	1,849	1,998
6	إيران	1,746	1,708	1,858
7	جنوب أفريقيا	1,187	1,167	1,270
8	تركيا	1,072	1,072	1,157
9	الولايات المتحدة الأميركية	823	814	1,025
10	كازاخستان	760	657	863
11	أوكرانيا	628	580	740
12	أستراليا	610	589	681
13	كوبا	530	509	584
14	أوزبكستان	433	422	476
15	البيرو	414	289	490
16	الكويت	396	396	444
17	تركمنستان	325	282	364
18	صربيا	309	300	364
19	الإمارات العربية المتحدة	271	271	315
20	البرازيل	262	262	350
21	بلغاريا	258	258	312
22	كندا	240	229	353
23	العراق	223	186	259
24	المغرب	197	197	240
25	باكستان	180	104	217

[63] يجب النظر بحذر في الأرقام الخاصة بالبرازيل والبيرو؛ أنظر إلى النقاش حول شذوذ جنوب الأطلسي في قسم المنهجيّة.

الجدول A2: البلدان الـ 25 الأبرز الباعثة لثاني أكسيد الكبريت الناتجة عن الأنشطة البشرية[64] (SO_2). التغيّرات النسبية من سنة 2018 إلى سنة 2019 إلى جانب هامش الشكّ. تُترجَم الثقة باتّجاه التغيير من الأرقام إلى الكلمات باتّباع هذا المعيار: >99 في المئة – شبه أكيدة، >95 في المئة –شديدة الاحتمال، >75 في المئة –محتملة، غير ذلك – غير مؤكّدة.

إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتجة عن الأنشطة البشرية									
التصنيف	البلد/المنطقة	الانبعاثات (بالكيلوطن) (أفضل تقدير)		التغيّر النسبي (95 في المئة – نطاق الثقة)			اتّجاه التغيير	الثقة باتّجاه التغيير	
		2018	2019	أفضل تقدير	أدنى تقدير	أعلى تقدير		بالأرقام	بالكلمات
-	حول العالم	30,604	28,704	-6%	-9%	-3%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
1	الهند	6,329	5,953	-6%	-10%	-2%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
2	روسيا	3,635	3,362	-8%	-20%	5%	انخفاض	88%	محتملة
3	الصين	2,263	2,156	-5%	-16%	7%	انخفاض	79%	محتملة
4	السعودية	1,861	1,910	3%	-6%	11%	متقلّب	72%	
5	المكسيك	1,809	1,873	4%	-6%	13%	ارتفاع	76%	محتملة
6	إيران	1,977	1,746	-12%	-20%	-4%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
7	جنوب أفريقيا	1,388	1,187	-15%	-23%	-6%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
8	تركيا	938	1,072	14%	1%	27%	ارتفاع	98%	شديدة الاحتمال
9	الولايات المتحدة الأميركية	864	823	-5%	-37%	27%	متقلّب	61%	
10	كازاخستان	776	760	-2%	-21%	17%	متقلّب	59%	
11	أوكرانيا	861	628	-27%	-43%	-11%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
12	أستراليا	627	610	-3%	-19%	13%	متقلّب	63%	
13	كوبا	543	530	-2%	-17%	12%	متقلّب	63%	
14	أوزبكستان	319	433	36%	16%	56%	ارتفاع	100%	شبه أكيدة
15	البيرو	396	414	5%	-24%	33%	متقلّب	62%	
16	الكويت	394	396	1%	-16%	17%	متقلّب	52%	
17	تركمنستان	251	325	30%	7%	52%	ارتفاع	99%	شبه أكيدة
18	صربيا	349	309	-12%	-33%	10%	انخفاض	85%	محتملة
19	الإمارات العربية المتحدة	419	271	-35%	-49%	-21%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
20	البرازيل	205	262	28%	-44%	100%	ارتفاع	78%	محتملة
21	بلغاريا	263	258	-2%	-31%	27%	متقلّب	55%	
22	كندا	187	240	28%	-61%	117%	متقلّب	73%	
23	العراق	370	223	-40%	-51%	-28%	انخفاض	100%	شبه أكيدة
24	المغرب	171	197	15%	-24%	54%	ارتفاع	78%	محتملة
25	باكستان	235	180	-23%	-43%	-3%	انخفاض	99%	شبه أكيدة

[64] يجب دراسة البرازيل والبيرو بحذر، الرجاء الرجوع إلى النقاش المتعلّق بظاهرة منطقة جنوب المحيط الأطلسي الخارجة عن المألوف في قسم المنهجية

الملحق B. معايير انبعاثات محطّات توليد الطاقة

الجدول B1: المعايير المحلية لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في محطّات توليد الطاقة بالفحم الكبرى (ملغ/متر مكعّب عادي)[65]

البلد/المنطقة	المحطّات/الوحدات القديمة		المحطّات/الوحدات الجديدة	
الصين[66,67]	باقي البلاد		معايير "الانبعاثات المنخفضة جدًا" تُعتمَد بحلول العام 2020 (تنطبق أصلًا على الوحدات الجديدة)	35
	أبرز المناطق	50		
الهند[68]	الوحدات المشغّلة حتّى العام 2003	600	الوحدات المشغّلة بعد العام 2017	100
	الوحدات المشغّلة بين الأعوام 2004 و 2016	200		
الولايات المتحدة الأميركية[69]	محطّات توليد الطاقة المشغّلة بعد 1997-2011	160	المحطّات الجديدة لتوليد الطاقة بعد العام 2011	60
	محطّات توليد الطاقة المشغّلة بعد 1978-1996	640		
الاتحاد الأوروبي[70]	مراجل تُسخَّن بالوقود المسحوق سعتها ≤ 300 ميغاواط	10-130	مفاعل فرشة مميعة تُسخَّن بالوقود المسحوق سعتها ≤300 ميغاواط	10-75
	مراجل[71] ذات قاعدة مميّعة سعتها ≤300 ميغاواط	20-180	مفاعل ذات قاعدة مميّعة سعتها ≤ 300 ميغاواط	10-75
المكسيك[72]	منطقة المدينة الكبرى، الوحدات المشغّلة في المكسيك قبل العام 2011	1441	منطقة المدينة الكبرى، الوحدات الجديدة في المكسيك	79
	المناطق الحسّاسة، الوحدات القديمة	2882	المناطق الحسّاسة، الوحدات الجديدة	183-262
	باقي البلاد، الوحدات القديمة	5765	باقي البلاد، الوحدات الجديدة	576-1834

[65] حوّلت من وحدات أخرى بحسب المقتضى. تُحدّد معظم البلدان محتوى الأكسجين في غاز المداخن عند 6 و7 في المئة، والحرارة عند صفر أو 25 في المئة. يُحدث ذلك تبايناً أقلّ من 10 في المئة وغير موحّد. تستخدم جنوب أفريقيا محتوى الأكسجين المرجعي عند 10 في المئة، محوّل إلى 6 في المئة.

[66] إدارة المقاييس في الصين. معيار الانبعاثات لملوّثات الهواء الصادرة عن محطّات توليد الطاقة الحرارية. GB 13223-2011. http://english.mee.gov.cn/Resources/standards/Air_Environment/Emission_standard1/201201/W020110923324406748154.pdf

[67] وزارة الإيكولوجيا والبيئة الصينية. خطة العمل لمعايير "الانبعاثات المنخفضة جدًا" في محطّات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم الحجري. متوفّرة على الرابط التالي: https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/W020151215366215476108.pdf

[68] وزارة التغيّر المناخي والبيئة الهندية. نشرة The Gazette of India: Extraordinary. الجزء الثاني، القسم الثالث، الفقرة S.O. 3305(S) (ii). نيو دلهي 2016. متوفّرة على الرابط التالي: http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf

[69] قانون اللوائح الفيدرالية الإلكتروني. متوفّر على الرابط التالي: http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr60_main_02.tpl [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

[70] اللجنة الأوروبية. المجلة الرسمية للاتّحاد الأوروبي L212/1، 31 يوليو 2017. متوفّرة على الرابط التالي: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D1442&from=EN . [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]، تدخل حيّز التنفيذ في 17.8.2021

[71] يُطحن الفحم إلى جزيئات ناعمة ثمّ يُحقن بالهواء الساخن عبر عدد من المحارق في الجزء الأسفل من الفرن. تحترق الجزيئات وهي معلّقة في الهواء وتُصدر الحرارة التي تُحوّل إلى دورة البخار.

[72] Las Normas Oficiales Mexicanas. Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Nom 085, Semarnat, 2011 متوفّرة على الرابط التالي: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4632/semarnat/semarnat.htm [accessed Sep. 24, 2020] المعايير الرسمية المكسيكية. Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Nom 085, Semarnat، 2011. متوفّرة على الرابط التالي: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4632/semarnat/semarnat.htm [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

كوريا الجنوبية [73]	الوحدات المشغّلة حتّى العام 2014	142	الوحدات المشغّلة بعد العام 2015	71
جنوب أفريقيا [74]	الوحدات المشيّدة قبل العام 2010، والمشغّلة قبل العام 2030 [75]	4760	كل محطّات توليد الطاقة بعد العام 2025	680
تايلندا [76]	السعة < 300 ميغاواط المحطّات المشغّلة بين الأعوام 1996 و2010	1830	السعة <50 ميغاواط المحطّات المشغّلة بعد العام 2010	1030
	السعة 300-500 ميغاواط المحطّات المشغّلة بين الأعوام 1996 و2010	1287	السعة > 50 ميغاواط المحطّات المشغّلة بعد العام 2010	515
	السعة > 500 ميغاواط المحطّات المشغّلة بين الأعوام 1996 و2010	912		
إندونيسيا [77]	المحطّات المشيّدة قبل تطبيق القانون رقم 15/2019 الصادر عن وزارة البيئة والغابات	550	المحطّات المشيّدة بعد تطبيق القانون رقم 15/2019 الصادر عن وزارة البيئة والغابات	
الفيليبين [78]	المحطّات المشيّدة قبل العام 2000	1500	المحطّات المشيّدة بعد العام 2000	700
فييتنام [79]	المحطّات المشغّلة قبل 17 أكتوبر 2005	1500	المحطّات المشغّلة بعد 17 أكتوبر 2005	500
روسيا [80]	الوحدات المركّبة قبل العام 2001 السعة ≥300 ميغاواط (مُلزمة)	2000 – 3000	الوحدات المركّبة بعد العام 2001 السعة ≥ 250 ميغاواط (مُلزمة)	700
	المنشآت المرخّصة قبل العام 2002 والمشغّلة قبل العام 2003 السعة > 300 ميغاواط (موصى بها)	400	المنشآت المرخّصة قبل العام 2013 والمشغّلة قبل العام 2014 السعة ≥ 300 ميغاواط (موصى بها)	200
أستراليا [81]	تفاوت كبير بين ولاية قضائية وأخرى. لا تزال العديد من محطّات توليد الطاقة في أستراليا تفتقر إلى أي نوع من القيود على انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.	820-2692 أو غير محدود	تفاوت كبير بين ولاية قضائية وأخرى. لا تزال الكثير من محطّات توليد الطاقة في أستراليا تفتقر إلى أي نوع من القيود على انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.	820-2692 أو غير محدود
تركيا [82]	المحطّات المشغّلة قبل العام 2019 100 ميغاواط ≥ القيمة الحرارية للوقود ≥ 500 ميغاواط	في 200 العام 2004 و في 400 العام 2019	المحطّات الجديدة المشغّلة بعد العام 2019 للوحدات ≥ 300 ميغاواط	200
	المحطّات المشغّلة قبل العام 2019 القيمة الحرارية للوقود ≥ 500 ميغاواط	في 1000 العام 2004 و في 400 العام 2019		

[73] وزارة البيئة في جمهورية كوريا. معايير ملوّثات الهواء (المرتبطة بالمادة 15). لوائح فرض قانون الحفاظ على الهواء. المرسوم رقم 866. 27 مايو 2020. متوفّرة على الرابط التالي: http://www.law.go.kr/lsBylInfoPLinkR.do?bylCls=BE&lsNm=%EB%8C%80%EA%B8%B0%ED%99%98%EA%B2%BD%EB%B3%B4%EC%A0%84%EB%B2%95+%EC%8B%9C%ED%96%89%EA%B7%9C%EC%B9%99&bylNo=0008&bylBrNo=00 (باللغة الكورية) [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

[74] الأنشطة المدرجة ومعايير الانبعاثات الدنيا المرتبطة بها والمحدّدة بموجب القسم 21 من الإدارة البيئية الوطنية: قانون جودة الهواء، 2004 (قانون 39 لسنة 2004). متوفّرة على: https://www.environment.gov.za/sites/default/files/gazetted_notices/nemaqa_listofactivities_g33064gon248_0.pdf

[75] يتوجّب على المحطات القديمة التقيّد بالحد الأقصى للانبعاثات وبلغ 1000 ملغ/متر مكعّب طبيعي (عند مستوى الأكسجين 10 في المئة، 273 كلفن و1 أتموسفير) بحلول العام 2030 (أي ما يقارب 1367 ملغ/متر مكعّب طبيعي عند مستوى الأكسجين 6 في المئة)

[76] إدارة مراقبة التلوّث. معايير تلوّث الهواء للمصادر الثابتة. متوفّرة على الرابط التالي: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd03.html (باللغة التايلندية) [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

[77] وزارة البيئة والغابات في جمهورية إندونيسيا. رقم القانون 209- 4 – 1 .P.15. متوفّر على الرابط التالي: https://app.box.com/s/zc4547qjic4jxzv8yvk2780ga02oq2zi (باللغة الإندونيسية) [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

[78] تطبيق الأنظمة والقوانين للقانون الجمهوري رقم 8479. القرار الإداري رقم 2000 81- الصادر عن إدارة البيئة والموارد الطبيعية. 7 نوفمبر 2000. متوفّر على الرابط التالي: http://pab.emb.gov.ph/wp-content/UPLOADS/2017/07/RA-8749-IRR-DAO-2000-81.pdf

[79] https://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/vietnam/files/law/QCVN%2022-2009.pdf

[80] المعايير المحلية للاتحاد الروسي. معيار GOST رقم 1 ..95-50831 R يناير 1997. متوفّر على الرابط التالي: http://docs.cntd.ru/document/1200026436 (باللغة الروسية) [تاريخ زيارة الرابط 24 سبتمبر 2020]

[81] ليسكي، ب.، ريفرز، ن.، ويلان، ج. سامّة ومزمنة: كيف تخذل الأنظمة المتعلّقة لمحطات توليد الطاقة بالفحم الحجري المجتمعات الأسترالية. متوفّرة على الرابط التالي:.https://www.envirojustice.org.au/sites/default/files/files/EJA_CoalHealth_final.pdf

[82] يتاك، أ. الملوّثات في غاز المداخن المنبعث من محطّات توليد الطاقة الحرارية التي تعمل بالفحم الحجري، الحدود القصوى للانبعاثات المسموح بها، الوضع الراهن لمحطّات معالجة غاز المداخن في محطات توليد الطاقة في تركيا. غرفة المهندسين الميكانيكيين، مجموعة العمل المعنية بالطاقة، 2018. متوفّر على الرابط التالي: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/9_3.pdf (باللغة التركية) [تاريخ زيارة الرابط: 24 سبتمبر 2020].