التداعيات طويلة الأمد للتلوث الفضائي على أزمة المناخ

على الرغم من حداثة الاهتمام بظاهرة التغيرات المناخية، فإن أسبابها قد بدأت منذ زمن بعيد قد يصل إلى عدة قرون، بل قد ترجع حتى إلى عصر ما قبل الثورات الصناعية، وذلك مع زيادة النشاط البشري غير المنظم للتنقيب عن المعادن وإزالة الغابات. ويبدو أن البشرية على موعد مع تكرار نفس الخطأ مرة أخرى ولكن هذه المرة من خارج كوكب الأرض، فمن شأن تصاعد ظاهرة السفر إلى الفضاء وإرسال آلاف من الأقمار الاصطناعية سنوياً إلى مدارات قريبة من الأرض، أن يؤدي على المدى البعيد إلى تلوث الفضاء وتعريض الغلاف الجوي لخطر التآكل وظهور الفجوات والثقوب. فلا تكاد البشرية تنظم جهود الانبعاثات الكربونية الصادرة من ناحية الأرض، حتى تصطدم بوجود مشكلة أخرى، ولكن هذه المرة من ناحية السماء.

وتتمثل أهمية الغلاف الجوي للأرض في كونه جدار حماية الكوكب، فيحافظ على النظام البيئي الداخلي ويحمي الأرض من الإشعاعات الضارة والعواصف الشمسية التي تسبب ارتفاع درجة الحرارة مما يؤدي إلى نفوق الحيوانات وتدمير المحاصيل وحرائق الغابات. ويؤدي إرسال آلاف من الأقمار الاصطناعية تحملها صواريخ تنفث أطناناً من الملوثات في طبقات الغلاف الجوي، إلى تآكل طبقات الجو العليا من ناحية، وتحويل المدارات القريبة من الأرض إلى حاويات لنفايات الأقمار الاصطناعية من ناحية أخرى، مما يزيد من الخلل البيئي، ويجعل مهمة التعامل مع التغيرات المناخية أمراً شديد الصعوبة.

نفايات الفضاء:

تتنوع مصادر التلوث نتيجة للنشاط البشري في الفضاء، ومنها الأقمار الاصطناعية سواءً النشطة أم التي خرجت عن الخدمة وظلت تسبح في الفضاء، وأجزاء الصواريخ التي تنفصل بعد أن تنطلق المركبات الفضائية، والشظايا الناتجة عن الاصطدامات أو الانفجارات، فضلاً عن الغازات والسوائل التي تطلقها بعض المركبات الفضائية أثناء حركتها. يُضاف إلى ذلك، ظاهرة سياحة الفضاء التي بدأت تظهر في الآونة الأخيرة. ويمكن توضيح ذلك في التالي:

١- **الأقمار الاصطناعية:** حتى عام ٢٠٠٥، كان عدد الأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض ٦,٧١٨، وتزايد هذا العدد ببطء نسبي حتى وصل في يونيو ٢٠٢٣ إلى ١١,٣٣٠ قمراً اصطناعياً، ونصف هذا العدد تقريباً تمتلكه شركة "سبيس إكس" (SpaceX) وحدها من خلال مشروعها

"ستارلينك" بإجمالي ٥,٤٢٠ قمراً حتى نوفمبر ٢٠٢٣. لكن من المتوقع أن يتضاعف عدد الأقمار الاصطناعية الموجودة في الفضاء خلال السنوات القليلة المقبلة بوتيرة أسرع من ذي قبل. فوفقاً لتقرير أصدرته شركة (Northern Sky Research)، سوف يصل عدد الأقمار الاصطناعية، بحلول عام ٢٠٣٠، إلى ما يقرب من ٢٤,٧٠٠ قمر، فضلاً عن تخطيط شركة "سبيس إكس" ليكون عدد الأقمار التي تمتلكها في الفضاء لبث خدمة الإنترنت حوالي ٤٢ ألفاً خلال السنوات العشر المقبلة، أضف إلى ذلك الأقمار الاصطناعية التي تمتلكها شركات منافسة لها مثل: (OneWeb) و(Virgin). وهذا العدد الضخم من الأقمار الاصطناعية قادر على أن يخلق أزمة مرور في الفضاء في المستقبل القريب، ينتج عنها تداخل الإشارات وزيادة احتمالية التصادم وخطر تناثر الحطام الفضائي.

٢- **الصواريخ الفضائية:** عند إطلاق الصواريخ لكي تحمل الأقمار الاصطناعية إلى الفضاء، ينتج عنها انبعاثات الأيروسول التي تؤثر في طبقة الستراتوسفير التي يوجد بها الأوزون في الغلاف الجوي. وجزيئات الأيروسول هي عبارة عن جسيمات صلبة أو سائلة متناهية الصغر تظل عالقة في الهواء وتؤدي إلى تراجع الأمطار الموسمية، كما أنها تمتص الإشعاع الشمسي وتقوم بتسخين الهواء المحيط، مما ينتج عنه ظاهرة الاحتباس الحراري. وأظهرت الدراسات أن انبعاثات الكربون الأسود الناجمة عن إطلاق الصواريخ الفضائية في عام ٢٠٢٢ تُقدر بحوالي ١ جيجاغرام، ومن المُتوقع أن تصل هذه النسبة بحلول ٢٠٤٠ إلى ١٠ جيجاغرامات سنوياً، وهي قادرة على رفع درجات الحرارة في الستراتوسفير بمقدار ١,٥ درجة مئوية من انبعاثات الصواريخ الفضائية وحدها.

٣- **سياحة الفضاء:** المفهوم الذي كان يُعد يوماً ما مجرد خيال علمي، أصبح الآن واقعاً ملموساً، فقد انطلقت أولى رحلات سياحة الفضاء في ٢٨ إبريل ٢٠٠١، والتي حملت رجل الأعمال الأمريكي دينيس تيتو، إلى محطة الفضاء الدولية على متن مركبة الفضاء الروسية "سويوز"، مما فتح الباب لعصر جديد من الاستكشاف والمغامرة. وتتنافس حول هذه السوق الجديدة شركات مثل (Blue Origin) و(SpaceX) و(Virgin Galactic)، وتسعى لتطوير صواريخ ومركبات فضائية قابلة لإعادة الاستخدام ورخيصة التكلفة، بل إنها تطمح لأبعد من ذلك، مثل بناء الفنادق الفضائية وربما حتى المستعمرات البشرية على القمر أو المريخ؛ مما يعني مزيداً من الملوثات في الفضاء الخارجي.

تداعيات طويلة الأمد:

قد لا تظهر تداعيات نفايات الفضاء أو حطام الفضاء، في القريب العاجل، بل تمتد لعقود أو حتى قرون حتى تظهر تداعياتها على كوكب الأرض، لكن من المؤكد أن تداعياتها سوف تؤثر في بعض جوانب الطقس الفضائي وبيئة الفضاء القريب من الأرض وكذلك الغلاف الجوي، مما يجعل مكافحة التغيرات المناخية أمراً شديد الصعوبة. ومن هذه الآثار ما يلي:

١- **تآكل طبقة الغلاف الجوي:** تؤدي الانبعاثات والغازات الناجمة عن إطلاق الصواريخ الفضائية، إلى ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي بسبب الكربون الأسود، وكذلك إلى تآكل الغلاف الجوي بسبب بعض أنواع الوقود الصاروخي الذي يحتوي على مواد كيميائية تضر بطبقة الأوزون، مثل الكلور، بما يسهم في تحلل جزيئات الأوزون.

٢- **زيادة المخاطر العارضة أثناء العواصف الشمسية:** خلال فترات النشاط الشمسي المكثف، يمكن لغلاف الأرض الجوي أن يتمدد، مما يزيد من السحب على الأقمار الاصطناعية المدارية المنخفضة والحطام الفضائي، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تغيير مداراتها وزيادة احتمالية التصادم مع أجسام فضائية أخرى.

٣- **خطر تصادم الأقمار الاصطناعية:** قد يؤدي الحطام الفضائي المتناثر في الفضاء إلى خطر تصادم الأقمار الاصطناعية التشغيلية، وفي ظل انعدام الجاذبية وغياب الهواء قد تتسبب القطع الصغيرة المكسورة من الأقمار الاصطناعية في سلسلة لا نهائية من التصادمات مع الأقمار الاصطناعية، وخروج عدد كبير منها من الخدمة.

٤- **تعقيد رصد الطقس الفضائي:** يمكن أن تشكل النفايات الفضائية أيضاً تحدياً لرصد الطقس الفضائي والتنبؤ به، إذ يمكن أن تتضرر أو تدمر الأقمار الاصطناعية المستخدمة لمراقبة وقياس ظواهر الطقس الفضائي بسبب التصادمات مع حطام الفضاء، مما يؤدي إلى فجوات في البيانات وتقليل دقة التنبؤات.

٥- **خطر العودة إلى الأرض:** قد تعود بعض النفايات الفضائية إلى الغلاف الجوي للأرض، إذ تحترق أثناء الدخول، وهو ما يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات محتملة، على الرغم من أن الغالبية العظمى من هذه المواد تحترق وتتلاشى قبل أن تصل إلى سطح الأرض.

٦- **التأثيرات طويلة الأمد في بيئة الفضاء:** يمكن أن يكون لتراكم حطام الفضاء آثار طويلة الأمد على بيئة الفضاء المحيطة بالأرض ويخل بها.

في الختام، يمكن القول إن التداعيات المباشرة وغير المباشرة للملوثات الفضائية على المناخ واردة، حتى وإن لم تكن في القريب العاجل، وتزداد حدتها مع زيادة النشاط البشري في الفضاء. لذا أصبح من الضروري أن تتزامن الجهود الرامية للحفاظ على كوكب الأرض من الانبعاثات الكربونية التي مصدرها الأنشطة البشرية على سطح الأرض، مع الجهود الرامية للحفاظ على الفضاء الخارجي من الملوثات التي مصدرها الأنشطة البشرية في الفضاء، حتى لا تتفاجأ البشرية بعد قرون بأن الكوكب الأزرق قد تغير لونه ولم يعد صالحاً لأي مظاهر حياة بشرية أو غير بشرية.

ما هو تغير المناخ؟

يشير تغير المناخ إلى التحولات طويلة الأجل في درجات الحرارة وأنماط الطقس. يمكن أن تكون هذه التحولات طبيعية، بسبب التغيرات في نشاط الشمس أو الانفجارات البركانية كانت الأنشطة البشرية هي المحرك الرئيسي لتغير الكبيرة. ولكن منذ القرن التاسع عشر، .. ويرجع ذلك أساسًا إلى حرق الوقود الأحفوري مثل الفحم والنفط والغاز المناخ

ينتج عن حرق الوقود الأحفوري انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي تعمل مثل غطاء .ملفوف حول الأرض، مما يؤدي إلى حبس حرارة الشمس ورفع درجات الحرارة

تشمل غازات الدفيئة الرئيسية التي تسبب تغير المناخ ثاني أكسيد الكربون والميثان. تأتي هذه من استخدام البنزين لقيادة السيارة أو الفحم لتدفئة مبنى، على سبيل المثال. يمكن أن يؤدي تطهير الأراضي وقطع الغابات أيضًا إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون. تعتبر عمليات الزراعة والنفط والغاز من المصادر الرئيسية لانبعاثات غاز الميثان. تعد الطاقة والصناعة والنقل المسببة لانبعاثات غازات القطاعات الرئيسية والمباني والزراعة واستخدام الأراضي من بين مسؤولية الإنسان في ظاهرة الاحتباس الحراري الاحتباس الحراري

فعليًا عن كل الاحترار العالمي على مدار الـ ٢٠٠ عام البشر مسؤولون أظهر علماء المناخ أن الماضية. تتسبب الأنشطة البشرية مثل تلك المذكورة أعلاه في حدوث غازات الدفيئة التي .تعمل على ارتفاع درجة حرارة العالم بشكل أسرع من أي وقت في آخر ألفي عام على الأقل

مما كان عليه أصبح متوسط درجة حرارة سطح الأرض الآن حوالي ١,١ درجة مئوية أكثر دفئًا في أواخر القرن التاسع عشر (قبل الثورة الصناعية) وأكثر دفئًا من أي وقت في آخر ١٠٠٠٠٠ ، وكان كل عقد من العقود الماضي (٢٠١١-٢٠٢٠) هو الأكثر دفئًا على الإطلاق عام. كان العقد .الأربعة الماضية أكثر دفئًا من أي عقد سابق منذ عام ١٨٥٠

يعتقد الكثير من الناس أن تغير المناخ يعني أساسًا ارتفاع درجات الحرارة. لكن ارتفاع درجة الحرارة ليس سوى بداية القصة. نظرًا لأن الأرض عبارة عن نظام، حيث كل شيء متصل، فإن .التغييرات في منطقة واحدة يمكن أن تؤثر على التغييرات في جميع المناطق الأخرى

الآن، من بين أمور أخرى، الجفاف الشديد، وندرة المياه، والحرائق تغير المناخ تشمل عواقب الشديدة، وارتفاع مستويات سطح البحر، والفيضانات، وذوبان الجليد القطبي، والعواصف .الكارثية، وتدهور التنوع البيولوجي

الناس يعانون من تغير المناخ بطرق شتّى

يمكن أن يؤثر تغير المناخ على صحتنا وقدرتنا على زراعة الغذاء والسكن والسلامة والعمل. البعض منا أكثر عرضة بالفعل لتأثيرات المناخ، مثل الأشخاص الذين يعيشون في الدول الجزرية الصغيرة والبلدان النامية الأخرى. لقد تطورت ظروف مثل ارتفاع مستوى سطح البحر وتسلل المياه المالحة إلى النقطة التي اضطرت فيها مجتمعات بأكملها إلى الانتقال، كما أن فترات الجفاف التي طال أمدها تعرض الناس لخطر المجاعة. في المستقبل، من المتوقع ."أن يرتفع عدد "لاجئي المناخ

كل زيادة في ظاهرة الاحتباس الحراري مهمة

، اتفق الآلاف من العلماء والمراجعين الحكوميين على أن تقارير الأمم المتحدة في سلسلة من الحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية إلى ما لا يزيد عن ١,٥ درجة مئوية سيساعدنا على

تجنب أسوأ التأثيرات المناخية والحفاظ على مناخ صالح للعيش. ومع ذلك، تشير السياسات بحلول نهاية القرن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢,٨ درجة مئوية المعمول بها حاليًا إلى.

بعض تأتي الانبعاثات التي تسبب تغير المناخ من كل جزء من العالم وتؤثر على الجميع، ولكن الاتحاد، والبرازيل) يمثلان حوالي نصف جميع انبعاثات . الدول تنتج أكثر بكثير من غيرها غازات الاحتباس الحراري العالمية في عام ٢٠٢٠.

يجب على الجميع اتخاذ إجراءات مناخية، لكن الناس والبلدان التي تخلق المزيد من المشكلة تتحمل مسؤولية أكبر للعمل أولاً.

<u>نواجه تحديات كبيرة، ولكننا لدينا العديد من الحلول</u>

يمكن أن تقدم العديد من حلول تغير المناخ فوائد اقتصادية مع تحسين حياتنا وحماية أهداف التنمية البيئة. لدينا أيضًا أطر عمل واتفاقيات عالمية لتوجيه التقدم، مثل ثلاث فئات واسعة . باريس واتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ واتفاقية المستدامة من الإجراءات هي: خفض الانبعاثات، والتكيف مع تأثيرات المناخ، وتمويل التعديلات المطلوبة.

مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة سيؤدي تحويل أنظمة الطاقة من الوقود الأحفوري إلى إلى تقليل الانبعاثات التي تؤدي إلى تغير المناخ. لكن علينا أن نتحرك الشمسية أو طاقة الرياح يجب بحلول عام ٢٠٥٠، انبعاثات صفرية الآن. بينما يلتزم عدد متزايد من البلدان بصافي للحفاظ على الاحترار أقل من ١,٥ درجة خفض الانبعاثات إلى النصف بحلول عام ٢٠٣٠ يجب :مئوية. يعني تحقيق ذلك حدوث انخفاضات هائلة في استخدام الفحم والنفط والغاز بحلول عام الاحتفاظ بأكثر من ثلثي الاحتياطيات المؤكدة اليوم من الوقود الأحفوري في الأرض ٢٠٥٠. من أجل منع المستويات الكارثية لتغير المناخ

مع العواقب المناخية يحمي الناس والمنازل والشركات وسبل العيش والبنية التحتية التكيف والنظم البيئية الطبيعية. ويغطي التأثيرات الحالية وتلك المحتملة في المستقبل. سيكون التكيف مطلوبًا في كل مكان، ولكن يجب إعطاء الأولوية الآن للأشخاص الأكثر ضعفًا الذين لديهم أقل الموارد للتعامل مع مخاطر المناخ. يمكن أن يكون معدل العائد مرتفعًا