الأرض ومواردها
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 مايو 2022
doi: 10.3389/frym.2016.00009-ar

طريقة علمية لقياس غاز الميثان المتسرب إلى الهواء الجوي

Jeff Peischl[1,2*]

[1]المعهد التعاوني لبحوث العلوم البيئية، جامعة كولورادوا بولدر، بولدر، كولورادوا، الولايات المتحدة الأمريكية

[2]مختبر أبحاث منظمة الأرض التابع للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي، قسم العلوم الكيميائية، بولدر، كولورادوا، الولايات المتحدة الأمريكية (NOAA)

سيمتلك الإنسان، في الأعوام القادمة، القدرة على اختيار المصادر التي يحصل منها على الوقود الذي يزود مصابيح الإنارة التي نملكها بالطاقة كي نتمكن من الرؤية ليلًا، ويزود مواقدنا بالطاقة لنحصل على وجباتنا ساخنة، ويمد سخانات المياه الخاصة بنا بالطاقة لنستمتع باستحمام دافئ، وسياراتنا كذلك. وستؤثر هذه الخيارات على الهواء الذي نتنفّسه: لأنّ حرق الوقود غالبًا ما يُسبب التلوث، مثل الضباب الدخاني الذي نجده في المُدن، والذي يؤدي غالبًا إلى زيادة غازات الاحتباس الحراري (أو غازات الدفيئة) الموجودة في الهواء. حيثُ يؤثر الدخان وغازات الاحتباس الحراري على الطريقة التي تُحافظ بها الأرض على برودتها. وأحد الخيارات المتاحة لدينا اليوم هي تحديد نوع الوقود الذي ينبغي علينا استخدامه لتشغيل محطات توليد الطاقة؛ أيجب علينا استخدام الفحم أم الغاز الطبيعي؟ قمنا أنا وزملائي في دراسة أجريناها مؤخرًا بقياس نسبة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن ثلاثة من أكبر حقول الغاز الطبيعي الموجودة في الولايات المُتحدة. وقد اكتشفنا أن استخدام الغاز الطبيعي بدلًا من الفحم في تزويد محطات توليد الطاقة بالوقود قد يؤدي إلى وجود نسبة أقل من غازات الاحتباس الحراري في الهواء.

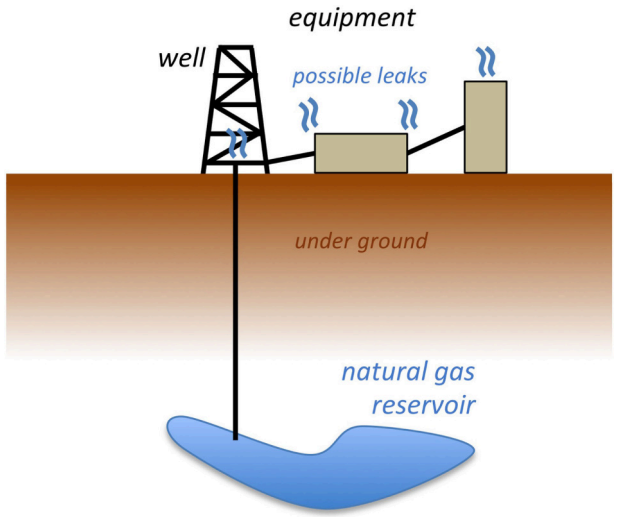
لطالما قام البشر بحرق الفحم للحصول على الطاقة الكهربائية على مدار مئات السنين. ويتكون الفحم بالأساس من عنصر الكربون. وينتشر هذا الكربون في الهواء في شكل غاز ثاني أكسيد الكربون، عندما يتم حرق الفحم لتوليد الكهرباء.

المراجعون الصغار:

ECOLE MOSER GENÈVE
العمر:14-15

الضباب الدُخاني (SMOG)

هو تلوث ضبابي وضار بالصحة يحدث في الهواء



شكل 1

رسم بياني لإحدى آبار الغاز الطبيعي، التي حُفِرت في مستودع عميق في باطن الأرض. ويوجد العديد من الأماكن التي قد يتسرب منها الغاز الطبيعي إلى الهواء بمُجرد استخراجه من هذا المستودع.

ثاني أكسيد الكربون هو أحد **غازات الاحتباس الحراري**، ويعني ذلك أنه عندما يتراكم في طبقة الغلاف الجوي، يسمح لضوء الشمس المرئي بالوصول إلى سطح الأرض، ولكنه يحبس الحرارة المنبعثة من الأرض ويحول دون وصولها إلى الفضاء. ولذلك، تتغير الطريقة التي تُحافظ بها الأرض على درجة حرارتها، وربما يتغير المناخ كنتيجة لتغيير نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء.

غازات الاحتباس الحراري/غازات الدفيئة (GREENHOUSE GAS)

غازات تتواجد في الهواء وتسمح لضوء الشمس المرئي بالعبور من خلاله، وتمتص الحرارة، وتحبسها، وتحول دون التخلص منها في الفضاء.

يمكن استخدام **الغاز الطبيعي**، الذي يتكون في المستودعات الجوفية ويتألف في مُعظمه من غاز يُسمى الميثان، كوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية. ويعد انخفاض كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة منه مقارنة بالتي تنبعث من الفحم المُستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية إحدى مزاياه. وعلى كل الأحوال، يُعد غاز الميثان من الغازات المسببة للاحتباس الحراري بالإضافة إلى كونه أكثر فعالية في حبس حرارة الأرض مقارنة بغاز ثاني أكسيد الكربون. ونتيجة لذلك، فإن انبعاث أي كمية من غاز الميثان أو تسربها إلى الهواء عند استخراجه من باطن الأرض سيُلغي بعض فوائد استخدامه كوقود. ولذلك، سيساعدنا تحديد كمية غاز الميثان التي تتسرب من باطن الأرض قبل أن يتم حرقها كوقود في الاختيار بين الغاز الطبيعي أو الفحم بصفته نوع الوقود الأفضل للمناخ الأرضي.

الغاز الطبيعي (NATURAL GAS)

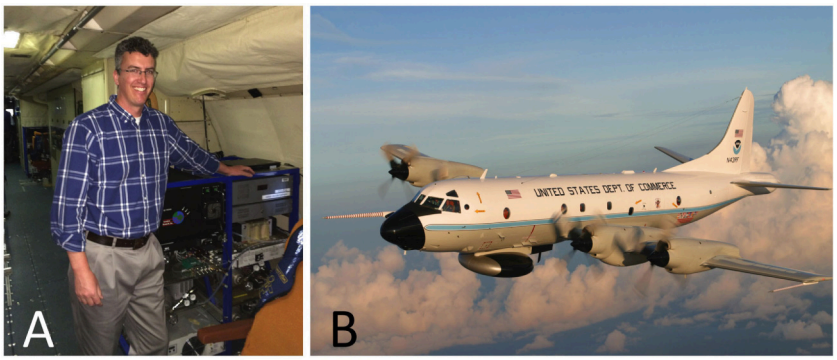
خليط من غاز الميثان ومجموعة من الغازات الأخرى؛ مثل: غاز الإيثان، وغاز البروبان الذي يُستخدم كوقود في المنازل لتشغيل السخانات والمواقد، بالإضافة إلى محطات التوليد للطاقة الكهربائية.

ويُستخرج الغاز الطبيعي من مناطق عدة من مختلف أنحاء البلاد باستخدام آبار عميقة حُفرت جيدًا في الأرض (الشكل 1). وقد يحتوي حقل الغاز الطبيعي الواحد على آلاف الآبار، وقد يحتوي البئر الواحد على عشرات المواضع التي قد يتسرب منها الغاز الطبيعي. ولعل السؤال الأهم هو: كيف نُحدد كمية غاز الميثان التي تتسرب إلى الهواء من أي حقل غاز طبيعي؟

وللإجابة عن هذا السؤال، يُجيب العلماء أمثالي بأن الطريقة المُتّبعة هي قياس نسبة غاز الميثان في الهواء بواسطة جهاز علمي مثبَّت على متن طائرة مُخصصة لمهام البحث. حيثُ أقوم بتثبيت جهاز قياس نسبة غاز الميثان الخاص بي في الطائرة (الشكل 2)، ثم أعلق أنبوبًا صغيرًا خارج الطائرة لسحب الهواء الطلق حتى يستقر داخل الجهاز (الشكل 3). ويوجد عادةً جزيئين من غاز الميثان في الهواء لكل 1 مليون من جزيئات الهواء، ولذلك لا بد أن يكون الجهاز حساسًا ودقيقًا للغاية! ويَدخُل الهواء إلى تجويف خاص مزود بمرآة تعكس الأشياء بدقة، وذلك بمُجرد دخوله في جهاز قياس نسبة الميثان حيث يتم توجيه **شُعاع ليزر** إلى التجويف ليرتد ذهابًا وإيابًا بين المرآتين (الشكل 3). ويمتص غاز الميثان الموجود في الهواء ضوء الليزر. وأستطيع معرفة كمية غاز الميثان الموجودة في

شُعاع الليزر (LASER)

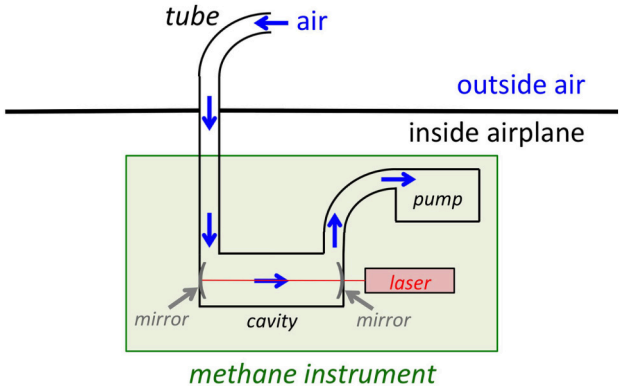
جهاز ينبعث منه ضوء له طول موجي محدد وخاص جدًا



شكل 2

شكل 2

A. هذه صورتي وأنا أقف بجوار أجهزتي داخل الطائرة البحثية NOAA P-3. حيث استغرق الأمر مني أنا وزملائي قرابة الشهر لتثبيت أجهزتنا العلمية في الطائرة. **B**. صورة الطائرة البحثية NOAA P-3. الصورة نقلًا عن http://www.aoml.noaa.gov/hrd/pix/template/NOAA_P3_flight.jpg.



شكل 3

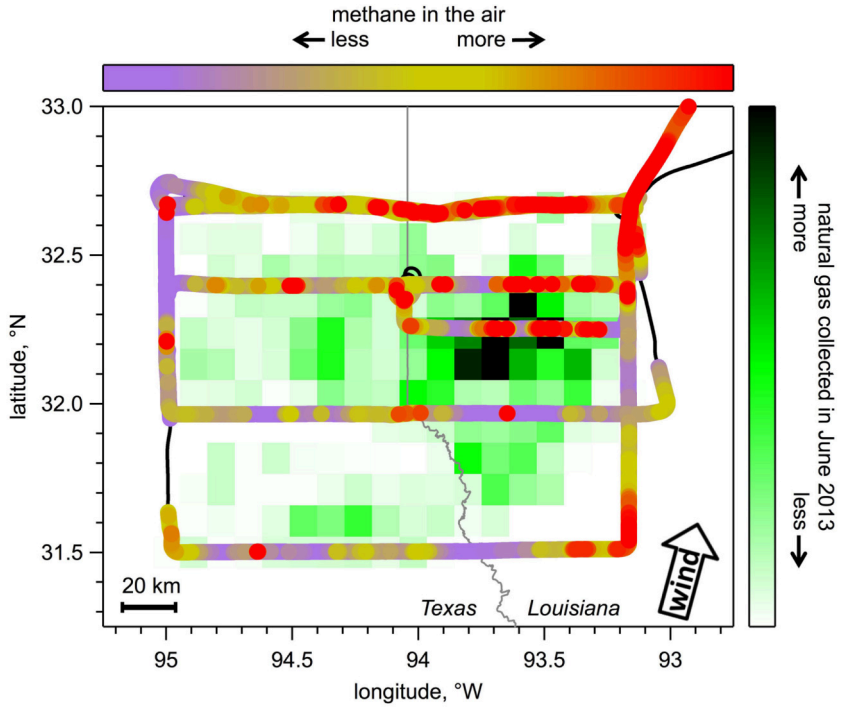
شكل 3

رسم بياني لجهاز قياس نسبة الميثان الخاص بي. حيث يقوم الأنبوب بسحب الهواء الموجود خارج الطائرة. ويدخل هذا الهواء إلى التجويف، ليرتد شُعاع الليزر بين المرآتين. ويمتص غاز الميثان الموجود في الهواء ضوء الليزر. ونستطيع أن نُحدد كمية الميثان الموجودة في الهواء من خلال قياس كمية ضوء الليزر الموجودة في التجويف.

الهواء من خلال قياس كمية ضوء الليزر الموجود في التجويف، لأنه كلما زادت كمية غاز الميثان، زادت كمية ضوء الليزر الممتصة.

وفي عام 2013، قمت بتثبيت هذا الجهاز على الطائرة البحثية NOAA P-3 (الشكل 2)، وهي الطائرة المعروفة بقدرتها على التحليق أعلى الأعاصير. ولحسن الحظ، لم أضطر إلى التحليق أعلى أي إعصار! ولكن أنا وزملائي حلقنا أعلى ثلاثة من أكبر حقول الغاز الطبيعي في الولايات المُتحدة لقياس كمية غاز الميثان التي تتسرب من هذه الحقول. ويوضح الشكل 4 مثالًا على رحلة متجهة إلى حقل غاز طبيعي يقع على الحدود التي تفصل بين ولاية تكساس وولاية لويزيانا. حيثُ قِستُ نسبة غاز الميثان المنبعثة من كل حقل غاز طبيعي عندما كان انبعاثه عكس اتجاه الرياح وعندما كان انبعاثه في اتجاه الرياح، وحددتُ كمية غاز الميثان التي تسربت من كل حقل، وذلك باستخدام الطائرة البحثية P-3. كيف فعلت ذلك؟ تخيل أنك تصطحب معك فطيرة طازجة للخارج في يوم عاصف. وأنك ستتمكن من شم رائحة الفطيرة بشكل أفضل عندما تكون في اتجاه الرياح بوضعها في عكس اتجاه الرياح. وذلك نتيجة لتحرك الرائحة الذكية للفطيرة مع اتجاه الرياح. وفي هذه الحالة، تكون الفطيرة هي مصدر الرائحة الذكية، حيثُ يكتشف أنفك الرائحة بشكل أفضل بكثير عند وضع مصدرها في اتجاه الرياح.

وبالمثل، يكتشف جهاز قياس نسبة غاز الميثان الخاص بي (الذي يعمل بمثابة الأنف) كمية أكبر من الميثان (الفطيرة ذات الرائحة الشهية) في الهواء الذي تتجه فيه الرياح إلى مناطق إنتاج الغاز الطبيعي (الفطيرة). وفي الشكل 4، تُمثل المربعات السوداء والخضراء مناطق إنتاج الغاز الطبيعي،



شكل 4

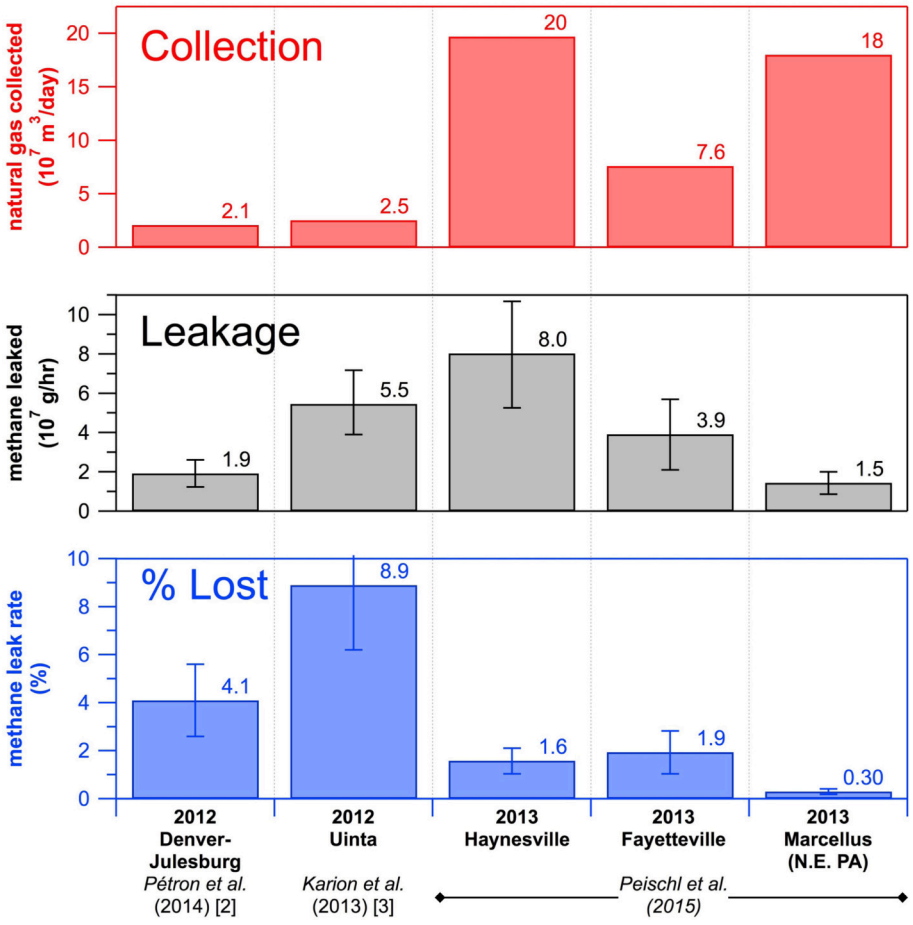
شكل 4

توضح هذه الخريطة مسار رحلة الطائرة البحثية NOAA P-3 (الخط الأسود السميك) وتم تلوينه وفقًا لكمية غاز الميثان التي قِسناها في الهواء أثناء الرحلة. ويمكنك رؤية مقياس الرسم بالأعلى - وتُشير الألوان الأكثر دفئًا، الأصفر والأحمر، إلى الكمية الأكبر من غاز الميثان، كما يُشير اللون الأرجواني إلى المستويات الأساسية من غاز الميثان. ويوضح ذلك وجود نسبة دائمة من غاز الميثان في الهواء. كما يوضح نسبة إنتاج الغاز الطبيعي في المنطقة التي حلقنا فوقها، وتُشير المُستطيلات ذات اللون الأخضر والأحمر الداكن إلى المناطق التي تُستخرج منها الكمية الأكبر من الغاز الطبيعي من باطن الأرض. وبشكل عام، وجدنا كمية أكبر من الميثان في هواء حقل الغاز الطبيعي الذي يتوافق مع اتجاه الرياح (اتجاه الرياح موضح بالسهم الموجود في الزاوية اليمنى) مقارنةً بالهواء المعاكس لاتجاه الرياح، كما أننا وجدنا الكمية الأكبر من غاز الميثان في الهواء الذي يتوافق مع اتجاه الرياح في المناطق التي يُستخرج منها مُعظم كمية الغاز الطبيعي. وبصيغة أخرى، توجد مناطق باللون الأحمر تُشير إلى توافق الهواء مع اتجاه الرياح أكثر من المناطق ذات اللونين الأسود والأخضر.

ويُمثل الخط الأسود مسار رحلة الطائرة، حيث يغطي مُعظمه بألوان مُتنوعة تُشير إلى كمية غاز الميثان المُكتشفة. حيث وُجدت النسبة الأكبر من غاز الميثان في الهواء الذي يتوافق مع اتجاه الرياح في هذه المناطق، كما هو موضح في الأجزاء الحمراء من مسار الطائرة. وبعد ذلك، أدخلت هذه البيانات في مُعادلة رياضية، هي بالأساس عبارة عن الفرق بين نسبة غاز الميثان الموجودة في الهواء عند قياسها في الهواء المتوافق مع اتجاه الرياح مقابل عند قياسها في الهواء المعاكس لاتجاه الرياح، مضروبًا في سرعة الرياح وحجم الطبقة السفلى من الغلاف الجوي. وفي هذه الحالات، تكون الطبقة السفلى من الغلاف الجوي كبيرة: حيثُ يبلغ عرضها عشرات الكيلومترات، وارتفاعها من 1 إلى 2 كم. وتوضح لي هذه المُعادلة كمية غاز الميثان المُنبعثة من حقل الغاز الطبيعي.

ولعل السؤال الذي يدور في خاطرك الآن هو: كيف نعرف أن غاز الميثان يتسرب من حقل الغاز الطبيعي، وليس من مصدر آخر، على سبيل المثال، من قطيع ضخم من الماشية معروف بكميات غاز الميثان الضخمة التي يُنتجها؟ بالإضافة إلى ذلك، قسنا أنا وزملائي مجموعة أخرى من المواد الكيميائية على متن الطائرة بجانب غاز الميثان، ومنها غاز الأمونيا وغاز الإيثان. وينبعث غاز الميثان وغاز الأمونيا من الأبقار إلى الهواء، لكن لا ينبعث منها غاز الإيثان. وعلى النقيض، يحتوي الغاز الطبيعي على غاز الميثان وغاز الإيثان دون غاز الأمونيا. ولذلك، يُمكننا أن نُحدد مصدر غاز الميثان بناءً على النسبة الأكبر من غاز الأمونيا أو غاز الإيثان في الهواء. وتتوافق الزيادة في نسبة غاز الميثان الموجود في الهواء المتوافق مع اتجاه الرياح في كل حقل من الحقول الثلاثة التي درسناها مع نسبة غاز الإيثان، على عكس غاز الأمونيا. وبذلك نستنتج أن عمليات إنتاج الغاز الطبيعي هي السبب الرئيسي لوجود الميثان في الغلاف الجوي.

وأخيرًا، قارنا كمية غاز الميثان التي تسربت من حقول الغاز الطبيعي بكمية الغاز الطبيعي المُستخرج من باطن الأرض (الشكل 5). يوضح الشكل 5 نتائج الدراسات التي توصلنا إليها حتى الآن، والتي



شكل 5

شكل 5

مُلخص لعملية إنتاج الغاز الطبيعي، وانبعاثات غاز الميثان، ومُعدلات تسرب غاز الميثان من مناطق إنتاج الغاز الطبيعي الخمسة التي درسناها باستخدام جهاز قياس نسبة غاز الميثان المُثَبَّت على متن الطائرة البحثية. حيث تظهر الحقول الثلاثة التي درسناها في هذا البحث على يمين الشكل. وهي حقل هاينسفيل الموجود على حدود ولايتي تكساس ولويزيانا، وحقل فايتفيل الموجود في أركانساس، وحقل مارسيلوس الموجود في بنسلفانيا. وتُنتج هذه الحقول الثلاثة الكمية الأكبر من الغاز الطبيعي (الرسم البياني العلوي) مع وجود نسبة أقل من تسرب غاز الميثان (الرسم البياني السفلي) مُقارنة بحقل دنفر-جولسبيرج الموجود في كولورادو وحقل أوينتا الموجود في يوتا المُدرجين على يسار الشكل، وهما من دراسة أخرى لم نقم بها بعد.

يُستخدم فيها جهاز قياس نسبة الميثان وطائرة لقياس نسبة تسرب الميثان من حقول الغاز الطبيعي.

ويوضح العمودان جهة اليسار في الشكل 5 نتائج الدراسات التي أُجريت في كولورادو ويوتا قبل دراستنا. كما توضح الثلاثة أعمدة جهة اليمين نتائج دراستنا. ويوضح الجزء الأعلى من الشكل 5 كمية الغاز الطبيعي المُستخرجة من باطن الأرض، أو المُنتَجَة من حقول الغاز الطبيعي الخمسة. ويُمكنك مُلاحظة أن الثلاثة حقول التي تناولناها في دراستنا تمثل الجزء الأكبر من إنتاج الغاز الطبيعي! ويوضح الجزء الأوسط كمية غاز الميثان التي تسربت للهواء من هذه الحقول. ويُمثل الجزء أسفل الشكل، مُعدل الفقد أو الخسارة، وهو مُقارنة النسبة التي تسربت بالنسبة المُستخرجة من الغاز. على سبيل المثال، تتسرب نسبة 1.6% من الغاز الطبيعي المُستخرج من حقل هاينسفيل، وتُفقد في الغلاف الجوي. وقرر عُلماء آخرون [1] أن محطات توليد الطاقة التي تعمل بالغاز الطبيعي تنبعث منها نسبة من غازات الاحتباس الحراري أقل من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم، وذلك إذا لم يتجاوز مُعدل التسرب 3.2%. والأخبار السارة هي أن نسبة تسرب غاز الميثان المُنبعثة من حقول الغاز الطبيعي الضخمة هذه إلى الهواء لم تتجاوز 3.2%. كما أن الكمية المُتسربة من غاز الميثان أقل مما تم العثور عليه في الدراسات السابقة المُتعلقة بحقول الغاز الطبيعي الأخرى الموجودة في كولورادو ويوتا، والتي لم نعرف عنها حتى درسنا هذه الحقول الكبيرة لإنتاج الغاز الطبيعي.

لا يزال أمامنا الكثير لنفعله لمعرفة مدى تطابق مُعدل التسرب المنخفض هذا مع المناطق الأخرى لإنتاج الغاز الطبيعي في الولايات المُتحدة. ولذلك نستخدم الطائرة البحثية P-3 وطائرات بحثية أخرى

للحصول على النسب الدقيقة لتسرب غاز الميثان في العديد من الأماكن الأخرى للتأكد من أننا نفهم ما يحدث في هوائنا حقًا. ولذلك فإن هذه المعلومات ضرورية لاختيار أفضل أنواع الوقود لتقليل الآثار السلبية على مناخ الأرض.

مقال المصدر الأصلي

Peischl, J., Ryerson, T. B., Aikin, K. C., de Gouw, J. A., Gilman, J. B., Holloway, J. S., et al. 2015. Quantifying atmospheric methane emissions from the Haynesville, Fayetteville, and northeastern Marcellus shale gas production regions. *J. Geophys. Res. Atmos.* 120:2119–2139. doi: 10.1002/2014JD022697

المراجع

1. Alvarez, R. A., Pacala, S.W., Winebrake, J. J., Chameides, W. L., and Hamburg, S. P. 2012. Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109:6435–40. doi: 10.1073/pnas.1202407109
2. Pétron, G., Karion, A., Sweeney, C., Miller, B. R., Montzka, S. A., Frost, G., et al. 2014. A new look at methane and nonmethane hydrocarbon emissions from oil and natural gas operations in the Colorado Denver-Julesburg Basin. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119:6836–52. doi: 10.1002/2013JD021272
3. Karion, A., Sweeney, C., Pétron, G., Frost, G., Hardesty, R. M., Kofler, J., et al. 2013. Methane emissions estimate from airborne measurements over a western United States natural gas field. *Geophys. Res. Lett.* 40:4393–7. doi: 10.1002/grl.50811

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 مايو 2022

حرره: Berend Smit

مرشدو العلوم: Anjali Nursimulu

الاقتباس: Peischl J (2022) طريقة علمية لقياس غاز الميثان المتسرب إلى الهواء الجوي. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2016.00009-ar

مُترجَم ومقتبس من: Peischl J (2016) Measuring the Methane Leaks to the Air from Three Large Natural Gas Production Regions. Front. Young Minds 4:9. doi: 10.3389/frym.2016.00009

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2016 © 2022 Peischl. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

ECOLE MOSER GENÈVE، العمر: 14-15

نحن طلاب في الصف الحادي عشر، قسم الكيمياء الحيوية، ومُدرسنا هو السيد/ بوستامانتي. ويتسم صفنا المدرسي بأجواء جيدة، لأننا نعمل بجد (للأمانة، مُعظم الوقت!). وقد اخترنا هذا المجال لأننا انجذبنا نحوه، مما يجعلنا مُتحمسين دائمًا. كما أتيحت لنا الفُرصة لاكتشاف جانب آخر من جوانب العلوم من خلال مُراجعة المقالات العلمية. وقد انتابتنا الدهشة عندما راجعنا هذا المقال لرؤية مرحلة ما قبل النشر التي تخضع لها المقالات، الأمر الذي كان مُثيرًا للاهتمام. كما أننا نفتخر بإسناد هذه المُهمة الثمينة لنا. وإجمالًا، حظينا جميعًا في الصف المدرسي بتجربة عظيمة.

المؤلفون

JEFF PEISCHL

أنا عالم أرصاد جوية أعيش في كولورادو. درستُ في كلية القانون بعد أن أنهيت دراستي الجامعية، ومارست مهنة المُحاماة لبضع سنوات، ولكنني في النهاية بدلت مهنتي وأصبحت عالمًا! والآن، أقوم بقياس نسبة غازات الاحتباس الحراري في الهواء، ودراسة المكان الذي أتت منه، والكمية المُنبعثة منها في الهواء. وفي وقت فراغي، أستمتع بالتنزه في الجبال وعزف البيانو. يُمكنك التواصل معي عبر البريد الإلكتروني. *jeff.peischl@noaa.gov

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology