المبادئ التوجيهية لغاز الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان: دليل أفضل الممارسات

الحرق

نوفمبر ٢٠١٩

المبادئ
التوجيهية لغاز
الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان:
دليل أفضل الممارسات
الحرق

نوفمبر ٢٠١٩

إخلاء المسؤولية

تم تطوير هذا المستند بواسطة شراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان. توفر كل خلاصة ملخصاً لعمليات التقليل المعروفة حالياً، والتكاليف، والتقنيات المتاحة بالنسبة لتاريخ النشر، ولكنهم قد يتغيرون أو قد يتم تحسينهم مع مرور الوقت. المعلومات المضمنة دقيقة على حد علم المؤلفين، ولكنها لا تعكس بالضرورة وجهات نظر أو مواقف جميع الأطراف الموقعة أو المنظمات الداعمة لشراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان، وسيحتاج القراء إلى إجراء تقييمهم الخاص للمعلومات المقدمة. لا يتم منح أي ضمان للقراء بخصوص اكتمال أودقة المعلومات المضمنة في كل ملخص بواسطة مؤسسة إس إل آر الدولية ومقاوليها، شراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان أو الجهات الموقعة أو المنظمات الداعمة لها.

يصف هذا الدليل الإجراءات التي يمكن أن تتخذها المنظمات للمساعدة في إدارة انبعاثات الميثان.
أي إجراءات أو توصيات ليست إلزامية؛ إنهم ببساطة وسائل فعالة للمساعدة في إدارة انبعاثات الميثان. قد تكون الأساليب الأخرى فعالة بنفس القدر، أو أكثر فاعلية في موقف معين. إن ما يختار القراء القيام به يعتمد في الغالب على الظروف والمخاطر المحددة تحت الإدارة والنظام القانوني المعمول به.

المحتويات

الملخص ٢

المقدمة ٣

تحديد كمية الانبعاثات ٤

استراتيجيات التقليل ٥

قائمة التحقق ١٤

الملحق ١٥

المراجع ١٦

الملخص

المشاعل هي أجهزة للتحكم في الانبعاث تستخدم لحرق الغازات القابلة للاشتعال والتي لولا ذلك يمكن أن تنطلق في الجو. في سلاسل توريد البترول والغاز الطبيعي حول العالم، تشير التقديرات إلى أن الحرق المكشوف يحرق ما يقارب ١٤٥ مليار متر مكعب من الغاز سنويًا.
تقدر كمية انبعاثات غاز الميثان الناتجة عن هذا الحرق بحوالي ٢ مليون طن متري، أو ٢٪ من انبعاثات الميثان المقدرة من إنتاج النفط والغاز العالمي.[١]

هناك طرق متعددة لتقليل الانبعاثات الناتجة عن الحرق. من الناحية المثالية، يتم منع إنتاج الغاز العادم. إذا لم يكن ذلك ممكناً، فإن استرداد الغاز العادم للبيع يمكن أن يدر إيرادات. خلاف ذلك، فإن البديل كذلك هو تخزين (إعادة حقن) الغازات في مكامن النفط والغاز. إذا تعذر استرداد الغاز العادم ليتم بيعه كمنتج غاز طبيعي أو منتج سوائل الغاز الطبيعي، أو لا يمكن تخزينه، فقد يكون من الممكن استخدامه لتوليد الكهرباء. إذا تعذر منع الحرق، فإن تحسين كفاءة المشاعل يمكن أن تقلل من انبعاثات غاز الميثان.

استراتيجيات أفضل الممارسات للحد من انبعاثات غاز الميثان من الحرق:
الاحتفاظ بسجل دقيق لأنشطة حرق الغاز
منع الحرق من خلال تصميم أنظمة لا تنفّس الغازات
استرداد الغازات التي يتم حرقها حالياً، بحيث يمكن بيعها كغاز طبيعي أو كمنتجات سوائل الغاز الطبيعي
تخزين الغازات (عن طريق الحقن في مكامن الغاز أو النفط) التي لا يمكن استعادتها وبيعها على الفور
البحث عن استخدامات بديلة للغازات التي لا يمكن بيعها على أنها غاز طبيعي أو سوائل غاز طبيعي، مثل توليد الكهرباء
التأكد من فعالية احتراق تلك الغازات التي تحتاج إلى حرق
تتبع أنشطة الحرق والتنفيس في سجل سنوي

المقدمة

قد ينشأ الحرق لأسباب تتعلق بالسلامة، بسبب إنتاج غاز أكثر مما يمكن استخدامه، أو بسبب التحكم الروتيني في الانبعاثات.

- قد تكون هناك حاجة للحرق لأسباب تتعلق بالسلامة في الآبار ومنشآت معالجة الغاز أثناء الأنشطة مثل عملية إكمال الآبار (تجهيز البئر للإنتاج)، والصيانة الروتينية وغير الروتينية، وإيقاف التشغيل الطارئ.

- قد تكون هناك حاجة للحرق بسبب إنتاج غاز أكثر مما يمكن استخدامه. قد يكون هذا لعدة أسباب، بما في ذلك الافتقار إلى البنية التحتية لتجميع الغازات، والإمدادات الزائدة واختلال الضغط، وإغلاق المعدات مؤقتاً، وتجميع سوائل الغاز الطبيعي. إذا تم إنتاج الغاز من آبار النفط قبل توفر خطوط تجميع الغاز، فيمكن استخدام الحرق. حتى إذا كانت هناك بنية تحتية لتجميع الغازات، فإن الإنتاج الأولي عالي الضغط وعالي التدفق من الآبار الجديدة يمكن أن يطغى على أنظمة التجميع وقد يتم حرق الغاز الزائد. يمكن أن يؤدي تكوين المكثفات في خطوط التجميع أيضًا إلى الحرق.

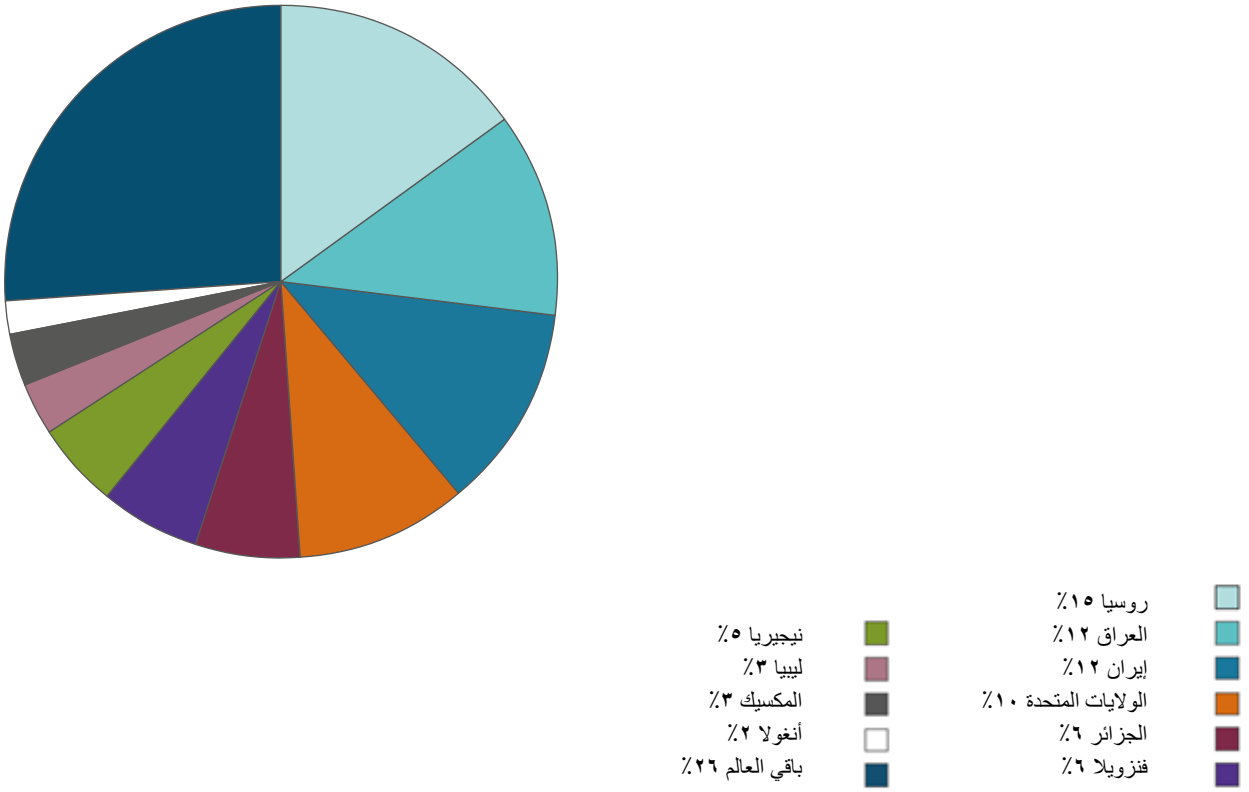
- يمكن استخدام الحرق كوسيلة روتينية للتحكم في الانبعاثات للتحكم في بعض أنواع الانبعاثات التي خلاف ذلك قد يتم تنفيسها وإطلاقها في الغلاف الجوي.

يتم قياس حجم الحرق بشكل روتيني بناءً على قياسات الأقمار الصناعية لكثافة الضوء.

لا تشمل هذه الانبعاثات الحرق في الأماكن المغلقة، ولكنها مع ذلك تعطي مؤشراً على حجم وتوزيع الحرق في أي وقت.

في عام ٢٠١٨، أفادت الشراكة العالمية للحد من حرق الغاز التابعة للبنك الدولي (البنك الدولي، ٢٠١٩) أن الحرق المكشوف يحرق ما يقارب ١٤٥ مليار متر مكعب (bcm) من الغاز سنوياً.[١] كان هذا ما يقارب ٤٪ من ٣،٨٧٠ مليار متر مكعب من الغاز الطبيعي المنتج في جميع أنحاء العالم في عام ٢٠١٨. ويظهر توزيع هذا الحرق في الشكل ١ أدناه. إذا كان من الممكن بيع ١٤٥ مليار متر مكعب من الغاز الذي تم حرقه، فستكون قيمته ١٥ مليار دولار أمريكي إلى ٢٠ مليار دولار أمريكي سنوياً (بناءً على قيمة الغاز التي تتراوح من ٣ دولارات أمريكية إلى ٤ دولارات أمريكية لكل ألف قدم مكعب قياسي (٠،١١ دولار أمريكي إلى ٠،١٤ دولار أمريكي لكل متر مكعب قياسي).

الشكل ١: كميات الغاز المشتعل حسب الدولة (أعلى ١٠ دول وبقية العالم)، محسوبة على أساس كمي



المصدر: المرجع ١

قياس الانبعاثات

ينتج عن حرق الغاز انبعاثات كبيرة من غاز الميثان. يُفترض عمومًا أن المشاعل تعمل بكفاءة ٩٨٪، مما يعني أن ٢٪ من الغاز العادم لا يتم حرقه، وأن ما يقرب من ٢ مليون طن متري سنويًا من الميثان يُطلق في الغلاف الجوي كغاز غير محترق.

في معظم البلدان التي لديها نشاط حرق واسع النطاق (على سبيل المثال، روسيا والعراق وإيران)، يرتبط الحرق بإنتاج النفط والغاز التقليدي. ومع ذلك، في الولايات المتحدة، يرتبط الحرق بشكل أساسي بإنتاج النفط والغاز غير التقليدي.[٢]

يمكن أن تختلف معدلات تدفق الغاز المشتعل بشكل كبير بين المواقع. يشير تحليل المعلومات الواردة من الولايات المتحدة وكندا إلى أن جزءاً صغيراً من المواقع تميل إلى احتساب غالبية الغاز المشتعل.[٣،٤]
في ألبرتا، شكلت حوالي ١٠٪ من المواقع نصف الغاز المشتعل،[٣] بينما في الولايات المتحدة، أقل من ٥٪ من ٢٠،٠٠٠ شعلة مثلت نصف الحجم الإجمالي للغاز المشتعل.[٤] وهذا يعني أن استراتيجيات التقليل قد تكون اقتصادية فقط لعدد صغير من المواقع حيث تعمل المشاعل بمعدلات تدفق عالية، والتي تمثل جزءاً كبيراً من الغاز المشتعل.

يمكن أن تختلف معدلات تدفق الغاز المشتعل أيضًا بمرور الوقت، خاصةً لإنتاج النفط غير التقليدي (حيث ينخفض الإنتاج بسرعة)، أو في المناطق التي يتم فيها إنشاء البنية التحتية لاستخدام الغاز. قد تؤثر مدة الحرق أيضًا على مدى الجدوى الاقتصادية لاستراتيجيات تخفيف معينة.

استراتيجيات التقليل

تشمل أفضل الممارسات لتقليل الحرق منع تولد الغازات العادمة، واسترداد الغاز العادم لبيعه، وحقن الغاز العادم في مكامن النفط والغاز.

إذا تعذر استرداد الغاز العادم لبيعه أو حقنه في مكامن الغاز أو النفط، فقد يكون من الممكن استخدامه لتوليد الكهرباء. كخيار أخير، عندما يتعذر تجنب الحرق، فإن تحسين كفاءة الحرق يمكن أن يقلل انبعاثات الميثان.

يلخص الجدول ١ أدناه استراتيجيات الحرق والتقليل. قد تؤدي استراتيجيات التقليل الأخرى التي تمنع تنفيس الغازات (على سبيل المثال، منع تكثيف الغاز الطبيعي من التجمع في خطوط المعالجة) إلى تقليل الحرق. المزيد من تدابير التقليل موصوفة في أدلة أفضل الممارسات الأخرى.

يصف الجزء المتبقي من هذا المستند استراتيجيات التقليل المدرجة في الجدول ١ أدناه. تم توفير روابط لمزيد من المعلومات في الملحق.

الجدول ١: طرق تقليل الحرق

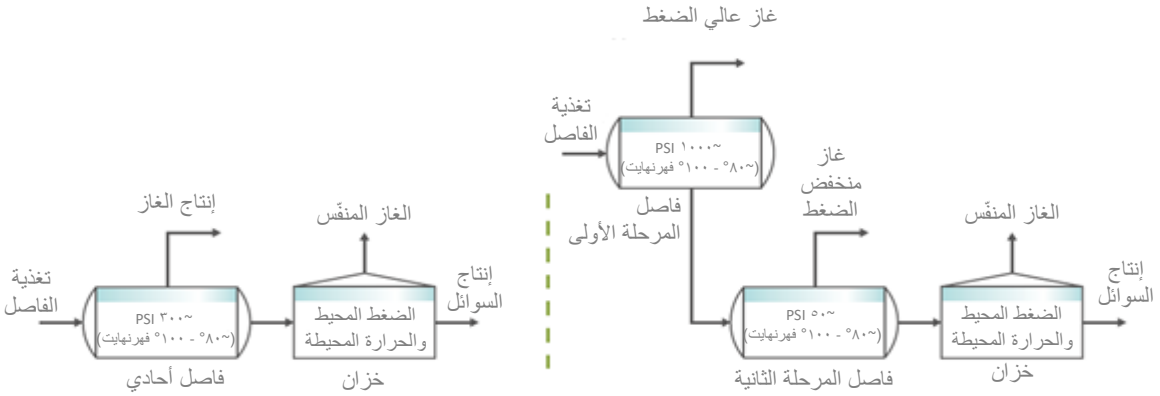
استراتيجية التقليل	الوصف
١. منع الحاجة للحرق	إضافة فاصلًا ثانياً عند تصميم الآبار
٢. استرداد الغازات المشتعلة وبيعها على أنها غاز طبيعي أو سوائل الغاز الطبيعي	٢ أ إضافة وحدات استرداد البخار على الخزانات
	٢ ب تقليل الحرق أثناء اختبار وإكمال الآبار
	٢ ج ضغط الغاز الطبيعي ونقله براً
	٢ د استعادة سوائل الغاز الطبيعي
٣. تخزين الغازات التي من الممكن أن تشتعل	تخزين الغازات عن طريق حقنها في مكامن النفط أو الغاز
٤. البحث عن استخدامات بديلة للغازات المشتعلة	استخدام الغازات العادمة لتوليد الكهرباء
٥. تحسين كفاءة الحرق	٥ أ تحسين الاحتراق في المشاعل المأهولة التي تعمل بمساعدة البخار أو الهواء
	٥ ب تحسين الاحتراق في المشاعل الصغيرة في المواقع غير المأهولة

استراتيجية التقليل ١: إضافة فاصلًا ثانيًا عند تصميم الآبار°

ترسل مواقع الإنتاج الأولية المنتجة للمكثفات والزيت الخام سائلاً هيدروكربونياً من فاصل مضغوط إلى خزان تكثيف غير مضغوط. سوف "يومض" الميثان من السائل الموجود في الخزان وقد يتم حرقه. يمكن تقليل حرق "غاز الفلاش" بشكل كبير عن طريق تركيب فاصل ثانٍ في الموقع.

يتم فصل الزيت والماء والغاز عن طريق إرسال السوائل إلى فاصل يعمل بضغط متوسط بين الضغط عند فوهة البئر والضغط الجوي في خزان التكثيف. إذا تم وضع الفصل على مرحلتين، كما هو موضح في الشكل ٢ أدناه، يمكن زيادة إنتاج السوائل الهيدروكربونية وتقليل التنفيس.

الشكل ٢: إضافة مرحلة ثانية من الفصل يزيد من إنتاج سائل الهيدروكربون والغاز الهيدروكربوني مع تقليل كمية غاز التنفيس الذي سيتم حرقه



يكون الفصل على مرحلتين ممكناً فقط مع بئر عالي الضغط، وقد تكون هناك حاجة لضغط الغاز منخفض الضغط الناتج عن المرحلة الثانية من الفصل. سيزداد ضغط بخار ريد (RVP) للمكثفات أو النفط الخام المنتج من خلال الفصل على مرحلتين مقارنة بالكمية المنتجة من خلال الفصل أحادي المرحلة، ولكن يمكن أن يظل أقل من القيم المنظمة في العديد من السلطات القضائية.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

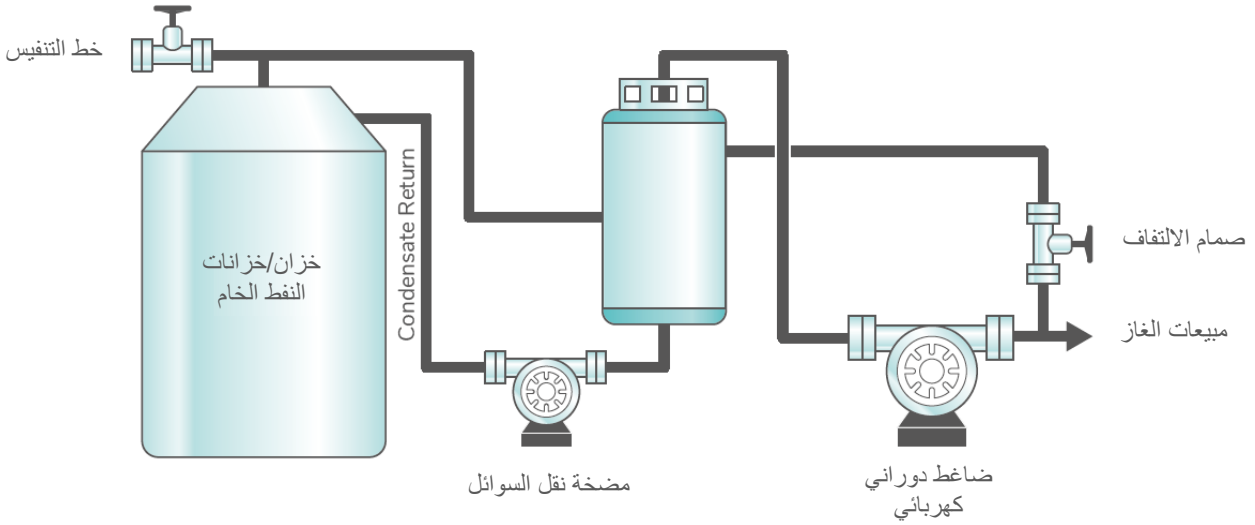
تم تقييم الفصل ذو المرحلتين في منطقة إنتاج Eagle Ford في جنوب وسط تكساس.[5] مع الفاصل الثاني، زاد الإنتاج الإجمالي لغاز الهيدروكربون بحوالي ١٥ إلى ٢٠٪، وزاد إنتاج سائل الهيدروكربون بحوالي ١ إلى ٤٪، وانخفضت غازات التنفيس بحوالي ٦٥ إلى ٧٥٪. كانت التكاليف المقدرة لتركيب الفصل ذو المرحلتين تقريباً أكثر بثلاث مرات من تركيب الفصل أحادي المرحلة. بينما ل لم يتم الإبلاغ عن الأوقات المحددة لاسترداد التكاليف (المدة التي يستغرقها استرداد التكاليف الإضافية)، فإن زيادة الإنتاج المرتبط بإضافة فاصل ثان يشير إلى وقت استرداد تكاليف يصل إلى عدة أشهر.[٥]

استراتيجية التقليل ٢ أ: إضافة وحدات استرداد البخار في الخزانات[٦]

ترسل مواقع الإنتاج الأولية المنتجة للمكثفات والزيت الخام سوائل هيدروكربونية من فاصل مضغوط إلى خزان مكثفات غير مضغوط. سوف 'يومض' الميثان من السائل الموجود في الخزان وقد يتم تنفيسه أو حرقه.

هذا الوميض من الميثان ممكن أيضاً حدوثه في الخزانات التي تحتوي على الماء (وإن كان بدرجة أقل بكثير لأن الميثان قابل للذوبان بدرجة عالية في الهيدروكربون السائل ولكنه غير قابل للذوبان في الماء).

الشكل ٣: يمكن لوحدات استرداد البخار تحويل غازات الفلاش حتى يمكن بيعها



خط عودة المكثفات = Condensate Return

يمكن لأنظمة استرداد البخار التقاط غاز الفلاش وضغطه ونقله عبر خط غاز ليتم بيعه، بدلاً من تنفيسه في الجو أو حرقه. يمكن أن يكون نظام استرداد البخار بسيطاً مثل ضاغط صغير مصمم للعمل عندما يصل الضغط في الخزان إلى مستوى معين، أو

يمكن أن يكون برجاً لاستعادة البخار (VRT) يعمل كفاصل لغاز الفلاش ويسمح لضاغط وحدة استرداد البخار بالعمل في أوضاع أكثر استقراراً.

قد يشتمل نظام استرداد البخار أيضاً على شعلة إذا لم يكن مصمماً لاستعادة الحد الأقصى لتدفق الغاز المحتمل من الموقع. ثم تعمل الشعلة عندما يأتي غاز الفلاش الزائد من الخزانات، وبالتالي يمنع التنفيس.

يمكن لأي موقع إنتاج ينتج غازات فلاش أن يقلل الانبعاثات بإضافة نظام استرداد البخار. يجب أن تمتلك بعض المواقع (مثل كندا والولايات المتحدة) هذه القواعد التنظيمية للخزانات التي تطلق أكثر من حجم معين من الغاز. في أمكن آخرى، يمكن إضافة أنظمة استرداد البخار لمنفعة اقتصادية، إذا كان الغاز المسترد يساوي أكثر من تكلفة إضافة استرداد البخار، أو بسبب سياسة طوعية في الشركة.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

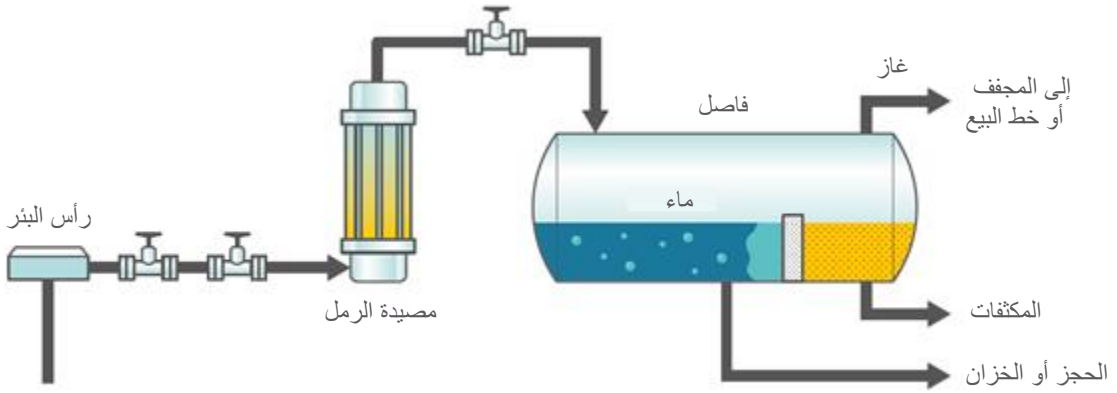
يمكن تصميم أنظمة استرداد البخار لاستعادة أكثر من ٩٠٪ من الغاز الذي قد يتم تنفيسه أو حرقه.[٦] ومع ذلك، نظراً لأن استعادة البخار غالباً ما يتطلب ضغطاً ومعدات أخرى، فيجب مقارنة قيمة البخار المسترد الذي يمكن بيعه بعد ذلك بالتكاليف الأولية والتشغيلية لجميع أجزاء نظام استرداد البخار.

استراتيجية التقليل ٢ ب: الحد من الحرق أثناء اختبار وإكمال الآبار[٧]

بعد حفر آبار جديدة، يدخل البئر في الإنتاج باستخدام عملية تسمى الإكمال. أثناء الإكمال، يتم استرداد مستخرجات الحفر والرمل وسائل التكسير (السوائل من التكسير) قبل توصيل البئر بخطوط الغاز. يمكن أن تؤدي هذه العملية إلى تنفيس أو حرق الغاز الذي يتدفق مرة أخرى أثناء الإكمال. يمكن أن يؤدي تقليل حجم الغاز المتدفق إلى تقليل كمية الحرق أو التنفيس. تتطلب العديد من السلطات القضائية مثل الولايات المتحدة وكندا الآن 'إكمال أخضر' أو 'إكمال منخفض الانبعاثات' حيث يتم استخدام الفواصل أثناء الإكمال لالتقاط الغاز الذي سيتم تنفيسه خلاف ذلك. إذا تم بيع الغاز الملتقط من الفاصل، سيتم تقليل الانبعاثات والحرق. إذا تم حرق الغاز الذي تم التقاطه، فستظل الانبعاثات منخفضة مقارنة بالتنفيس (راجع دليل تقليل الانبعاثات الناتجة عن التنفيس لمزيد من التفاصيل).

أثناء اختبار البئر، يتم إطلاق الغاز لاختبار معدلات التدفق، مما قد يؤدي إلى التنفيس أو الحرق. تستخدم المعدات المؤقتة لالتقاط الغاز المنطلق. في كثير من الأحيان، يكون فاصل الغاز من اختبار البئر أكبر بكثير من الفاصل الدائم للبئر، لذلك قد يتم إحضاره إلى الموقع فقط لفترة اختبار البئر.

الشكل ٤: عمليات الإكمال المخفضة الانبعاثات يمكن أن تقلل من تنفيس الغاز، وإذا أمكن بيع الغازات الملتقطة، فيمكن أيضاً تقليل الحرق



المصدر: المرجع ٧

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

تشمل الفوائد الاقتصادية من الإكمال منخفض الانبعاثات تقليل تنفيس غاز الميثان في الجو. يوضح دليل EPA Gas Star حول هذا الموضوع[٧] عائداً مالياً كبيراً لهذه الممارسات إذا تم بيع الغاز المسترد. إذا تم حرق الغاز بدلاً من استعادته، فلا تزال انبعاثات الميثان منخفضة.

استراتيجية التقليل ٢ ج: ضغط الغاز الطبيعي ونقله براً[٨]

يمكن معالجة الغاز الذي سيحرق خلاف ذلك لإزالة الماء والكبريت وثاني أكسيد الكربون، ثم ضغطه في الموقع لإنتاج غاز طبيعي مضغوط (CNG). يجب عادةً معالجة الغاز الطبيعي المضغوط بشكل أكبر لجعله ذو جودة تناسب خطوط الأنابيب، بحيث يمكن نقله براً إلى منشأة معالجة الغاز.

عادةً ما يكون نقل الغاز الطبيعي المضغوط إلى منشأة معالجة الغاز مجدياً اقتصادياً لمواقع الآبار الفردية البرية والتي تقع في نطاق ٣٠ إلى ٤٠ كم من المنشأة. قد يظل نقل الغاز الطبيعي المضغوط عن طريق البر لمسافات أطول مربحاً للمواقع ذات الآبار المتعددة.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

اقترحت التحليلات[٨] أن أحجام الغاز المثالية لهذه الإستراتيجية هي ما يقرب من ٢٠٠،٠٠٠ قدم مكعب قياسي في اليوم (٥٧٠٠ متر مكعب قياسي في اليوم) لمواقع الآبار الفردية و٦٠٠،٠٠٠ إلى ٧٠٠،٠٠٠ قدم مكعب قياسي يومياً (١٧٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ متر مكعب قياسي في اليوم) للمواقع متعددة الآبار. يمكن أن تحقق الحلول الأكثر فعالية من حيث التكلفة انخفاضاً بنسبة ٩٠٪ في الحرق وهو ما يمثل انخفاضاً نموذجياً في معدلات الإنتاج.

يمكن تحقيق نسب أعلى من التخفيضات في الحرق بالتضحية ببعض الربحية.

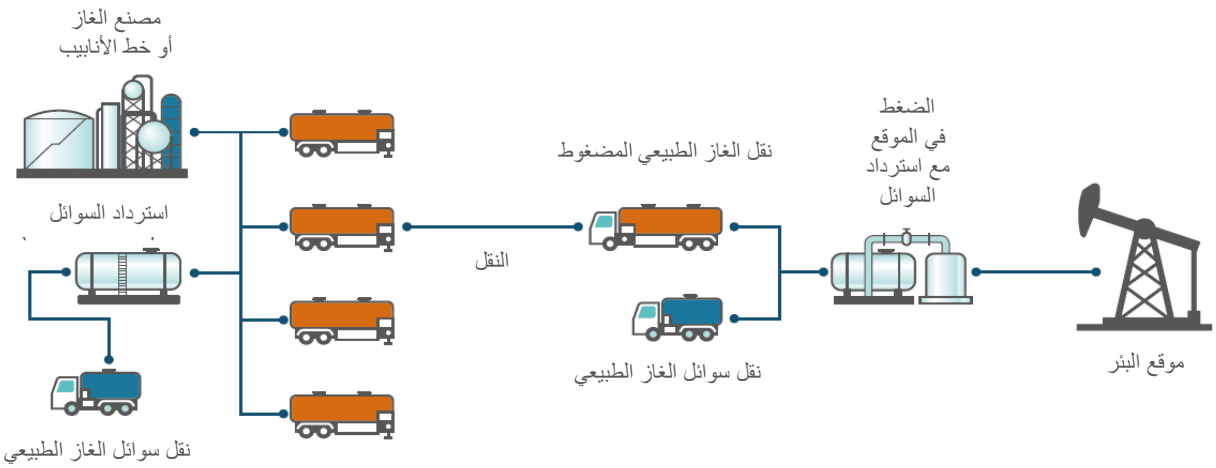
استراتيجية التقليل ٢ د: استعادة سوائل الغاز الطبيعي[٨]

إن استعادة الغاز الطبيعي بجودة خط الأنابيب من الغاز العادم الذي قد يتم حرقه خلاف ذلك سيشمل أيضاً بشكل عام استعادة سوائل الغاز الطبيعي (NGL). تتراوح أنظمة استرداد سوائل الغاز الطبيعي من أنظمة صمامات التمدد البسيطة التي تكثف فقط سوائل الغاز الطبيعي الأثقل (البنتان والأثقل)، إلى تكنولوجيا التبريد المعقدة باستخدام درجات حرارة دون الصفر. يعتمد اختيار النظام على محتوى الغاز الطبيعي المسال والاستخدامات النهائية لسوائل الغاز الطبيعي.

يمكن فصل البنتان وسوائل الغاز الطبيعي الأثقل من الغاز العادم باستخدام أنظمة الأغشية المضغوطة وأنظمة الامتزاز/الامتصاص. هذه الأنظمة مناسبة بشكل عام للأنظمة واسعة النطاق. يعد التبريد والفصل بصمامات التمدد للبنتان وسوائل الغاز الطبيعي الأثقل مناسبين بشكل عام للعمليات ذات النطاق الصغير وهما غير مكلفين إلى حد ما. لاستعادة سوائل الغاز الطبيعي الأخف مثل البروبان، يعد التبادل الحراري والتبريد الميكانيكي من الأساليب الاقتصادية بشكل عام. بالنسبة لأنظمة الضغط العالي، يمكن استخدام وحدات 'جول-طومسون'، على الرغم من أن تكاليفها الأولية أعلى عموماً من التبريد الميكانيكي. الاسترداد بـ 'التمدد التوربيني المبرد' هو الخيار الأكثر تكلفة ولكن يمكنه استرداد المزيد من الغازات.[٨]

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

يمكن أن تكون التكاليف المبلغ عنها أقل من ٠,٠٧ دولار أمريكي لكل متر مكعب قياسي (٢,٠٠ دولار أمريكي لكل ألف قدم مكعب قياسي)، بناءً على تدفقات الغاز البالغة ١٠،٠٠٠ متر مكعب قياسي في اليوم والمواقع البرية في حدود ٨٠ كيلومتراً من منشأة معالجة الغاز.[٨]



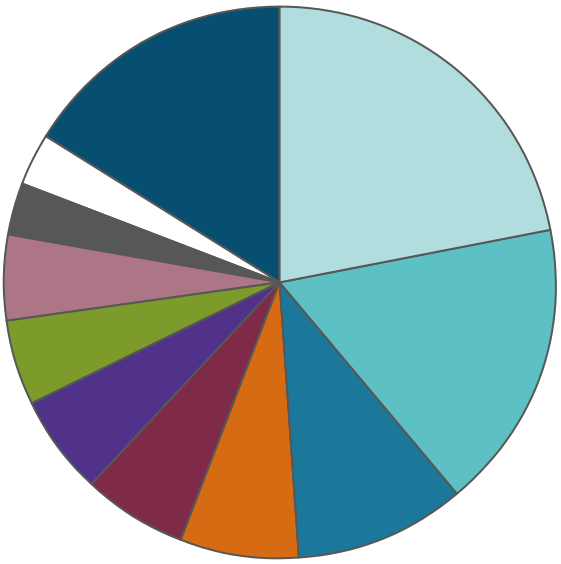
المصدر: المرجع ٧

يمكن حقن الغاز العادم مرة أخرى في المكامن التي تم إنتاجه منها، أو المكامن الأخرى، لزيادة إنتاج النفط. في عام ٢٠١٥، تم إعادة ضخ ١٧,٥ تريليون قدم مكعب من الغاز العادم في جميع أنحاء العالم،[٩] أكثر بكثير من الحجم الإجمالي للغاز المشتعل في جميع أنحاء العالم (٥ تريليون قدم مكعب أو ١٤٥ مليار متر مكعب).

تتوزع عمليات إعادة حقن الغاز بشكل غير متساو في جميع أنحاء العالم (انظر الشكل ٦ أدناه)، حيث تحدث معظم عمليات إعادة الحقن في الجزائر وكندا وإيران وكازاخستان والنرويج والولايات المتحدة والإمارات العربية المتحدة وفنزويلا.[٩]

تعتمد فعالية إعادة حقن الغاز على المكمن المعين.

الشكل ٦: التوزيع العالمي للغاز الطبيعي المعاد حقنه



المصدر: المرجع ٩

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

استناداً إلى فعالية إعادة حقن الغاز في منطقتي إنتاج Bakken و Eagle Ford في الولايات المتحدة، قد تنتج عوائد إيجابية من زيادة إنتاج النفط بإعادة حقن الغاز.[١٠]

استراتيجية التقليل ٤: استخدام الغازات المشتعلة لتوليد الكهرباء[٨]

يمكن لتوربينات الغاز و'المحركات الترددية' تحويل الغازات إلى كهرباء. تتراوح الأحجام النموذجية للعمليات من ٠,٢ إلى ١٠ ميجاواط، على الرغم من وجود توربينات صغيرة من ٣٠ إلى ٢٥٠ كيلوواط. يمكن استخدام الكهرباء في الموقع لتشغيل معدات أخرى (بما في ذلك وحدات التحكم والمضخات وضواغط الهواء) أو يمكن بيعها للشبكة.

تتطلب التوربينات عموماً غازات تحتوي على القليل من السوائل الهيدروكربونية أو لا تحتوي على الإطلاق، ومستويات منخفضة من الكبريت. بالنسبة للغازات الأخرى، قد يلزم دمج التوربينات مع أنظمة استرداد سوائل الغاز الطبيعي (انظر استراتيجية التقليل ٢ د). يؤدي خلط الغاز الخام مع وقود الديزل لاستخدامه في المحركات الترددية إلى التخلص من الحاجة إلى استعادة سوائل الغاز الطبيعي. يعد اختيار نوع وحجم الجهاز المراد استخدامه أمراً معقداً. أثناء الحفر والإكمال، يمكن أن تتراوح كمية الطاقة المطلوبة من ٠,٥ ميجاواط إلى أكثر من ١٥ ميجاواط. أثناء الإنتاج الروتيني، تتراوح كمية الطاقة المطلوبة عادةً من ٠,١ إلى ٠,١٥ ميجاواط (لمواقع الآبار الفردية) و٠,٢٥ إلى ٠,٤ ميجاواط (لمواقع الآبار المتعددة). نظراً لأن مصدر الطاقة يجب أن يكون مستقراً أثناء الإنتاج، وغالباً ما يكون تدفق الغاز العادم متغيراً، هناك حاجة بشكل عام إلى شكل من أشكال الطاقة الاحتياطية.

يعد اختيار المعدات التي تحتاجها أمراً معقداً، ليس فقط بسبب الاختلافات في تدفق الغاز، ولكن أيضاً بسبب الانخفاض طويل الأجل في الإنتاج، مما قد يجعل تصميماً واحداً أفضل في وقت مبكر من عمر البئر وتصميم مختلف أفضل في المراحل اللاحقة.

بالنسبة للآبار المتصلة بالشبكة، فإن بيع الكهرباء المولدة للشبكة هو الخيار الأفضل عموماً.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

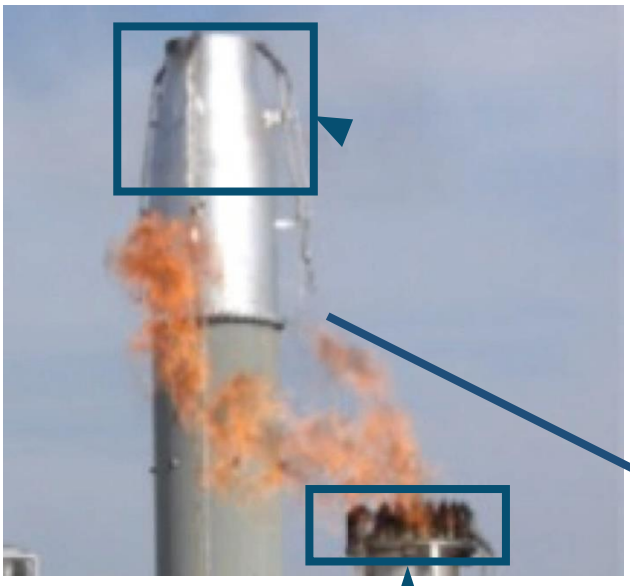
قد لا يؤدي حرق الغاز العادم في التوربينات فضلاً عن حرقها في الشعلة إلى تقليل الانبعاثات. ومع ذلك، فإن الكهرباء التي يتم توليدها قد تقلل من الحاجة إلى الأنشطة الأخرى التي تسبب الانبعاثات - في الموقع أو خارج الموقع. تم الإبلاغ عن التكاليف الأولية لهذا الخيار[٨] في حدود ٦٠٠،٠٠٠ دولار أمريكي لوحدة ٠,٥ ميجاواط و١,٢ مليون دولار أمريكي لوحدة ٢ ميجاواط. وحدة ٢ ميجاواط تعمل بكامل طاقتها تولد كهرباء بقيمة ٣٥٠،٠٠٠ دولار أمريكي إلى ١ مليون دولار أمريكي (مع كهرباء بسعر ٠,٠٢ دولار أمريكي لكل ٠,٠٦ كيلوواط / ساعة)، لذلك تكون أوقات الاسترداد عادةً أكثر من عام، وعادة ما يكون للوحدات الأكبر أوقات استرداد أقصر. قد تكون أوقات الاسترداد لاستخدام الغاز المشتعل لاستبدال الديزل في المحركات أكثر ملاءمة، لكن هذا يعتمد على أنواع المحركات.[٨]

استراتيجية التقليل ٥: تحسين الحرق في المشاعل المأهولة أو التي تعمل بمساعدة الهواء أو البخار[١١-١٤]

إذا تعذر تجنب الحرق، يمكن تقليل انبعاثات الميثان إذا كان الحرق فعالاً قدر الإمكان. يعتمد تصميم الشعلة بشكل أساسي على حجم وتغيرات تدفق الغاز. غالبًا ما يتم تصميم المشاعل التي تحرق كميات كبيرة من الغاز بأجهزة مساعدة بالهواء أو البخار توفر أكسجيناً إضافياً في منطقة الاحتراق (انظر الشكل ٧ أدناه). يمكن أن يؤدي زيادة تدفق الهواء أو البخار إلى منطقة الاحتراق في الشعلة إلى تقليل كمية الدخان المتكون، ولكن إذا تمت إضافة الكثير من الهواء أو البخار، يمكن أن تنخفض كفاءة الشعلة. أظهرت الدراسات الحديثة[١١،١٢] عن المشاعل الكبيرة، عن أنواع التصميم التي يمكن توقعها لأحجام كبيرة من الغاز، أن عملية الحرق التي حققت احتراقاً شبه كامل (> ٩٨٪)، مع تقليل تكوين الدخان، تتطلب تحكماً دقيقاً للغاية في معدلات المساعدة.

الشكل ٧ ب: شعلة مدعومة بالهواء مع أقسام تدفق متعددة على شكل إسفين، بالتناوب بين تدفق الهواء وتدفق الغاز

الشكل ٧ أ: المشاعل المدعومة بالبخار (في المقدمة، مع لهب مدخن) والمشاعل المدعومة بالهواء (في الخلفية) التي تحرق الغازات العادمة بمعدلات تدفق عالية



الشكل ٧ ج: فوهات حقن البخار تحيط طرف شعلة تعمل بمساعدة البخار

المصدر: جامعة تكساس

وجدت الدراسات الحديثة[١١،١٢] أنه من الصعب تقليل الدخان والحفاظ على كفاءة الاحتراق، خاصةً إذا كانت الغازات العادمة ذات قيم تسخين منخفضة نسبياً وكانت المشاعل تعمل عند جزء صغير من قدرتها.

غالباً ما يمكن تحقيق الحفاظ على معدلات المساعدة التي تقلل من الدخان وتعظيم الاحتراق من خلال التشغيل الماهر. يتوفر التدريب على تشغيل الشعلة،[١٣] ولكن قد يكون تحقيق ظروف الاحتراق المرغوبة أمراً صعباً بالنسبة للشعلات ذات معدلات مساعدة ثابتة، كما هو الحال عند تثبيت السرعة.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

يمكن أن يكون التشغيل الماهر فعالاً في تحسين كفاءة الاحتراق.[١٣] ومع ذلك، قد تتطلب بعض التحسينات في الكفاءة تطوير المشاعل.

استراتيجية التقليل ٥ ب: تحسين الاحتراق في المشاعل الصغيرة في المواقع غير المأهولة

معظم المشاعل الصغيرة توجد في مواقع عمليات التنقيب والإنتاج غير المأهولة.[٤] تم تصميم هذه المشاعل للتعامل مع تدفقات الغاز العادم الصغيرة، والعمليات الغير اعتيادية، مثل الفترات التي تتعرض فيها وحدة استرداد البخار (VRU) للضغط الزائد أو تكون خارج الخدمة، أو أثناء الإكمال. إذا تعرضت أي شعلة لإنطفاء اللهب (حيث ينطفئ اللهب ولا يحدث الاحتراق)، فإنها تعمل كمدخنة تنفيس وبالتالي فهي غير فعالة.

في حين أن العديد من المشاعل الصغيرة تمنع انطفاء اللهب من خلال وجود لهب دليلي، أو جهاز إشعال شرارة مزود بمراقب لهب، يحتاج ا اللهب الدليلي عادةً إلى تيار غاز منفصل ومستقر، مثل الإمداد من خط الغاز. يحتاج جهاز إشعال الشرارة إلى طاقة كهربائية أو بطارية.

تتطلب بعض الولايات القضائية، مثل كندا والولايات المتحدة، الآن لهباً دليلياً أو جهاز إشعال شرارة لبعض أو كل الآبار ومواقع الإنتاج.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

يمكن إضافة اللهب الدليلية أو أجهزة الإشعال بالشرارة إلى العديد من المشاعل الحالية، أو يمكن تضمينها في الشعلة.

يمكن موازنة تقليل الانبعاثات الناتجة عن تحسين كفاءة الشعلة مقابل تكلفة إضافة هذه الأجهزة.

قائمة التحقق

تسمح لك قائمة التحقق التالية بتقييم التقدم في تقليل الانبعاثات من ومن خلال الاستخدام الأفضل للمشاعل.

النشاط	ضع علامة عند الانتهاء	نسبة المواقع المشمولة في النشاط
الاحتفاظ بسجل دقيق لمصادر الغاز المنفّس		
الاحتفاظ بسجل دقيق لمصادر الغازات المشتعلة، مع تحديد أحجام الغاز المشتعل ومدة الحرق		
لكل استراتيجية تقليل، قم بتقييم ما إذا كانت أحجام الغاز المشتعل ومدة الحرق ستجعل استراتيجية التقليل قابلة للتطبيق. إذا كانت الاستراتيجية قابلة للتطبيق، فتتبع استخدام استراتيجية التقليل.		
منع الحرق (من خلال مراحل متعددة للفصل في الآبار)		
استرداد الغازات المشتعلة المتبقية لبيعها كغاز طبيعي أو سوائل الغاز الطبيعي		
أ. إضافة وحدات استرداد البخار إلى الخزانات		
ب. تقليل الاشتعال أثناء اختبار وإكمال الآبار		
ج. ضغط الغاز الطبيعي ونقله براً		
د. استرداد سوائل الغاز الطبيعي		
تخزين الغازات من خلال إعادة حقنها في مكامن الغاز أو النفط		
البحث عن استخدامات بديلة للغازات المشتعلة التي لا يمكن استعادتها		
تحسين كفاءة المشاعل (إذا كان الحرق ضرورياً)		
هـ. تحسين كفاءة المشاعل المأهولة التي تعمل بمساعدة الهواء أو البخار		
و. تحسين كفاءة المشاعل الصغيرة في المواقع غير المأهولة		

الملحق ١

روابط لمزيد من المعلومات حول استراتيجيات التقليل.

استراتيجية التقليل	الوصف	رابط لمزيد من المعلومات
١. **منع الحاجة للحرق**	إضافة فاصلاً ثانياً عند تصميم الآبار	(٥)
٢. **استعادة الغازات المشتعلة وبيعها على أنها غاز طبيعي أو سوائل الغاز الطبيعي**	٢ أ إضافة وحدات استعادة البخار إلى الخزانات	(٦)
	٢ ب تقليل الحرق أثناء اختبار وإكمال الآبار	(٧)
	٢ ج ضغط الغاز الطبيعي ونقله براً	(٨)
	٢ د استعادة سوائل الغاز الطبيعي	(٨)
٣. **تخزين الغازات التي ستحرق خلاف ذلك**	تخزين الغازات عن طريق حقنها في مكامن النفط أو الغاز	(٩-١٠)
٤. **البحث عن استخدامات بديلة للغازات المشتعلة**	استخدام الغازات العادمة لتوليد الكهرباء	(٨)
٥. **تحسين كفاءة الحرق**	٥ أ تحسين الاحتراق في المشاعل المأهولة التي تعمل بمساعدة البخار أو الهواء	(١١-١٤)
	٥ ب تحسين الاحتراق في المشاعل الصغيرة في المواقع غير المأهولة	(١٣)

تم الإبلاغ عن مزيد من المعلومات حول الحرق في الشراكة العالمية للحد من حرق الغاز التابعة للبنك الدولي،[١] وجونسون وكودير،[٣] وألين وآخرون؛[٤] ووكالة حماية البيئة الأمريكية،[١٥] والأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم والهندسة والطب،[١٦] وبورتر وآخرون.[١٧]

المراجع

1 World Bank, Global Gas Flaring Reduction Partnership; Estimates of Flaring using Satellite Data, available at **http://pubdocs. worldbank.org/en/603281560185748682/ pdf/Gas-flaring-volumes-Top-30- countries-2014-2018.pdf** (2019)

2 International Energy Agency, 2019, Methane tracker: Reducing methane emissions from oil and gas operations, available at: **www.iea.org/ weo/methane**.

3 MR Johnson and AR Coderre, 'Compositions and greenhouse gas emission factors of flared and vented gas in the Western Canadian Sedimentary Basin', Journal of the Air & Waste Management Association, 62:9, 992-1002, doi: 10.1080/10962247.2012.676954 (2012).

4 DT Allen, D Smith, VM Torres, and F Cardoso Saldaña, 'Carbon dioxide, methane and black carbon emissions from upstream oil and gas flaring in the United States', Current Opinion in Chemical Engineering, 13, 119-123 (2016).

5 Richard Roehner, Panja Palash and Deo Milind, 'Reducing gas flaring in oil production from shales', Energy & Fuels 30.9 (2016): 7524-7531

6 US Environmental Protection Agency (US EPA) **https://www.epa.gov/sites/production/ files/2016-06/documents/ll_final_vap.pdf** (2019).

7 US Environmental Protection Agency (US EPA) **https://www.epa.gov/sites/production/ files/2016-06/documents/reduced_ emissions_completions.pdf**, (2019)

8 Carbon Limits/Clean Air Task Force, 'Improving utilization of associated gas in US tight oil fields', Report and appendices available at **www.catf.us/wp-content/uploads/2015/04/ CATF_Pub_PuttingOuttheFire.pdf** and **www. catf.us/wp-content/uploads/2018/10/CATF_ Pub_PuttingOuttheFire_Appendix.pdf** (2015)

9 US Energy Information Administration (2017), Reinjected Gas, available at: **www.eia.gov/beta/international/data/ browser/#/?pa=002&c=ruvvvvvfvtvnvv1 urvvvvfvvvvvvfvvvou20evvvvvvvvvvnvvuvo &ct=0&tl_id=3002-A&vs=INTL.48-1-AFG-BCF.A&cy=2015&vo=0&v=H&end=2017**

10 B. Todd Hoffman, Steve Sonnenberg, Hossein Kazemi and Qi Cui, 'The benefits of reinjecting instead of flaring produced gas in unconvential oil reservoirs, Available at **www.onepetro. org/conference-paper/URTEC-1922257-MS** (2014)

11 VM Torres, S Herndon, Z Kodesh, R Nettles and DT Allen, 'Industrial flare performance at low flow conditions: Part 1. Study Overview' Industrial & Engineering Chemistry Research, 51,

12559-12568, DOI: 10.1021/ie202674t (2012)

12 VM Torres, S Herndon and DT Allen, 'Industrial flare performance at low flow conditions: Part 2. Air and Steam assisted flares' Industrial & Engineering Chemistry Research, 51, 12569- 12576, DOI: 10.1021/ie202675f (2012)

13 University of Texas, 'Supplemental Flare Operations Training' available at **https://sfot.ceer.utexas.edu/** (2019)

14 FM Al-Fadhli, VM Torres and DT Allen, 'Impacts of air assist flare blower configurations on flaring emissions' Industrial & Engineering Chemistry Research, 51, 12606-12610, DOI: 10.1021/ie3012209 (2012)

15 US Environmental Protection Agency (US EPA), Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990−2017 April 2019.

16 National Academies of Science, Engineering and Medicine (NASEM) 'Improving Characterization of Anthropogenic Methane Emissions in the United States' National Academy Press, Washington, DC (2018)

17 MD Porter, R Natili and A Strathman, 'Marcellus Shale Production Facility Emissions: Overcoming Challenges in the Liquids-Rich Area' Society of Petroleum Engineers, Eastern Regional Meeting (2016).