

تكاليف السياسات المختارة لمعالجة تلوث الهواء في الصين

كيث كرين (Keith Crane)، جيمين ماو (Zhimin Mao)

للحصول على مزيد من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني:

www.rand.org/t/rr861

تمّ نشر هذا البحث بواسطة مؤسسة RAND، سانتا مونيكا، كاليفورنيا
© حقوق الطبع والنشر لعام 2015 محفوظة لصالح مؤسسة RAND
® RAND علامة تجارية مسجلة.

حقوق الطبع والنشر الإلكتروني محدود

هذه الوثيقة والعلامة (العلامات) التجارية الواردة فيها محمية بموجب القانون. يتوفر هذا التمثيل للملكية الفكرية الخاصة بمؤسسة RAND للاستخدام لأغراض غير تجارية حصرياً. يحظر النشر غير المصرح به لهذا المنشور عبر الإنترنت. يصرّح بنسخ هذه الوثيقة للاستخدام الشخصي فقط، شريطة أن تظل مكتمة دون إجراء أيّ تعديلٍ عليها. يلزم الحصول على تصريح من مؤسسة RAND، لإعادة إنتاج أو إعادة استخدام أيّ من الوثائق البحثية الخاصة بنا، بأيّ شكلٍ كان، لأغراض تجارية. للمزيد من المعلومات حول إعادة الطباعة والتصاريح ذات الصلة، الرجاء زيارة صفحة التصاريح في موقعنا الإلكتروني: www.rand.org/pubs/permissions

مؤسسة RAND هي منظمة بحثية تعمل على تطوير حلولٍ لتحديات السياسات العامة وللمساعدة في جعل المجتمعات في أنحاء العالم أكثر أمناً وأماناً، وأكثر صحةً وازدهاراً. مؤسسة RAND هي مؤسسة غير ربحية، حيادية، وملتزمة بالصالح العام.

لا تعكس منشورات مؤسسة RAND بالضرورة آراء عملاء ورعاة الأبحاث الذين يتعاملون معها.

ادعم مؤسسة RAND

تبرّع بمساهمةٍ خيريةٍ معفاةٍ من الضريبة على:

www.rand.org/giving/contribute

www.rand.org

لقد كان تلوث الهواء أحد أخطر النتائج السلبية للعقود الثلاثة الأخيرة من التحول والنمو الاقتصادي في الصين. إن تركزات الملوثات تتجاوز المعايير التي توصي منظمة الصحة العالمية (World Health Organization [WHO]) بعدم تخطيها في كل منطقة حضرية رئيسية تقريباً. إن التكاليف العالية لتلوث الهواء تدفعها للتأثيرات الصحية والخسارة في إنتاجية القوى العاملة، التي سجّلت نسبة 6.5 في المئة من إجمالي الناتج المحلي للصين في كل سنة في الفترة الممتدة بين الأعوام 2000 و2010، وتتصاعد مع اتجاه سكان الصين إلى الطابع الحضري والإنتاجية بصورة متزايدة. إذا كان للصين أن تحسّن جودة الهواء في المناطق الحضرية إلى النقطة التي لا تتجاوز بها الملوثات المستويات المضرة بالصحة البشرية، فسيكون من الضروري تنفيذ سياسات الهواء النقي بشكلٍ عنيف. لكن لهذه السياسات تكاليف. الغرض من هذه الدراسة هو توفير تقديراتٍ تقريبيةٍ للتكاليف المحتملة بالنسبة للصين، من اعتماد إجراءات إضافية موسعة للحد من تلوث الهواء. يُقدّر التقرير تكاليف ثلاثة إجراءاتٍ في السياسات من شأنها الحد بشكلٍ كبيرٍ من تركزات الملوثات الرئيسية في المناطق الحضرية:

1. الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للاستخدام السكني والتجاري
2. الاستعاضة عن الفحم بأنواع من الوقود المتجدد والوقود النووي من أجل توليد الكهرباء
3. إلغاء المركبات القديمة والأكثر تسبباً في التلوث.

يُتوقع أن تكون هذه الدراسة ذات أهمية بالنسبة للحكومة الصينية، والرأي العام الصيني وغير ذلك من الجهات المعنية في الصين والأماكن الأخرى المعنية بالمناقشة التي تتناول إجراءات الحد من تلوث الهواء. تم توفير التمويل لهذا البحث بواسطة هبة سخية من معهد تانغ (Tang Institute). توفّر تمويل إضافي من قبل مركز RAND لسياسات آسيا والمحيط الهادئ (RAND Center for Asia Pacific Policy)، والمجلس الاستشاري لمعهد RAND للعدل والبنية التحتية والبيئة التابع لمؤسسة RAND (RAND Justice, Infrastructure, and Environment Advisory Board). تتمثل مهمة مركز سياسات آسيا والمحيط الهادئ في تحسين السياسات عن طريق تزويد صانعي القرارات والرأي العام بأبحاثٍ دقيقةٍ وموضوعيةٍ هي أحدث ما تم التوصل إليه بشأن التحديات الحرجة التي تواجه آسيا والعلاقات الأمريكية-الآسيوية في مجال السياسات.

عن برنامج مؤسسة RAND للبيئة والطاقة والتنمية الاقتصادية (RAND Environ-ment, Energy, and Economic Development)

أجرى البحث الذي نُقل في هذا التقرير ضمن برنامج مؤسسة RAND للبيئة والطاقة والتنمية الاقتصادية (RAND Environment, Energy, and Economic Development program)، الذي يعالج المواضيع المتعلقة بالجودة البيئية وتنظيمها، وموارد المياه والطاقة وأنظمتها، والمناخ، والمخاطر والكوارث الطبيعية، والتنمية الاقتصادية داخلياً وعالمياً على حدٍ سواء. تم توفير الدعم لأبحاث البرنامج من وكالات حكومية، ومؤسسات، والقطاع الخاص. إن هذا البرنامج جزءٌ من معهد RAND للعدل والبنية التحتية والبيئة (RAND Justice, Infrastructure, and Environment Division)، التابع لمؤسسة RAND، المخصص لتحسين السياسات وعملية صنع القرارات في مجموعةٍ كبيرةٍ من مجالات السياسات، ويشمل ذلك العدالة المدنية والجنائية، وحماية البنية التحتية والأمن الداخلي، وسياسات النقل

والطاقة، وسياسات البيئة والموارد الطبيعية.

ينبغي إرسال الأسئلة أو التعليقات بشأن هذه الدراسة إلى قائدَي المشروع، كيث كرين (Keith Crane) (Keith_Crane@rand.org) وديبرا نويمان (Debra Knopman) (Debra_Knopman@rand.org). للمزيد من المعلومات حول برنامج البيئة والطاقة والتنمية الاقتصادية، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني التالي: <http://www.rand.org/energy> أو الاتصال بالمدير على العنوان الإلكتروني التالي: eed@rand.org

iii	تمهيد
vi	الأشكال والجداول
vi	الأشكال
vi	الجداول
vii	الملخص
vii	المشكلة
vii	الحلول
vii	الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو البروبين (Propane) للاستخدام السكنيّ والتجاريّ
viii	الاستعاضة عن الفحم بأنواع أنقى من الوقود من أجل توليد الكهرباء
viii	إلغاء المركبات القديمة
ix	التكاليف التقريبية لتحسين جودة الهواء
xii	شكرٌ وعرّفان
xiii	الاختصارات
1	1. مقدمة
1	الغرض
1	تنظيم هذه الدراسة
3	2. المشكلة
5	الاتجاهات
7	المصادر
11	3. الحلول
11	الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو البروبين (Propane) للاستخدام السكنيّ والتجاريّ
13	تركيب أجهزة لمكافحة التلوث وتشغيلها والاستعاضة عن الفحم بأنواع أنقى من الوقود من أجل توليد الكهرباء
16	تركيب أجهزة لمكافحة التلوث في المركبات الآلية وإلغاء المركبات القديمة
18	4. تكاليف الحد من تلوث الهواء
18	الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو البروبين (Propane) للاستخدام السكنيّ والتجاريّ
19	الاستعاضة عن الفحم بأنواع من الوقود المتجدد والوقود النوويّ من أجل توليد الكهرباء
20	إلغاء المركبات القديمة
21	المنافع الصافية
23	المراجع

الأشكال

- الشكل رقم 2.1: معدل متوسط تراكُزات ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) في أكبر مدن الصين 6
- الشكل رقم 2.2: معدل متوسط تراكُزات أكاسيد النيتروجين (Nitrogen Oxides) في أكبر مدن الصين 6
- الشكل رقم 2.3: انبعاثات الصين من مجموع الجزيئات المعلقة (Total Suspended Particulates [TSP]) وثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) (1991-2012) 7
- الشكل رقم 2.4: النسبة المئوية لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) من المصادر الثابتة الرئيسية في عام 2010 9
- الشكل رقم 2.5: مصادر انبعاثات المركبات الآلية بحسب تكنولوجيا مكافحة التلوث 10

الجداول

- الجدول رقم S.1: التكاليف السنوية لسياسات الحد من تلوث الهواء في الصين x
- الجدول رقم S.2: التكاليف غير المتكررة لإلغاء المركبات القديمة من أجل الحد من تلوث الهواء في الصين xi
- الجدول رقم 2.1: معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لجودة الهواء 4
- الجدول رقم 2.2: معدلات تراكُزات ملوثات الهواء في مدنٍ صينيةٍ مختارةٍ في عام 2011 (بالميكروغرام في المتر المكعب [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]) 5
- الجدول رقم 3.1: الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للاستخدام السكني والتجاري 13
- الجدول رقم 3.2: الاستعاضة عن 1.9 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh) من الكهرباء التي تم توليدها بواسطة الفحم، بالوقود النووي وأنواع الوقود المتجدد 16
- الجدول رقم 4.1: التكاليف السنوية لسياسات الحد من تلوث الهواء في الصين 19
- الجدول رقم 4.2: التكاليف غير المتكررة لإلغاء المركبات القديمة من أجل الحد من تلوث الهواء في الصين 20

المشكلة

لقد كان تلوث الهواء أحد أخطر النتائج وبالأخص للعقود الثلاثة الأخيرة من التحول والنمو الاقتصادي في الصين. مع أن الحكومات الصينية — الفيدرالية، والإقليمية، والبلدية — قد قامت بجهود كبيرة في هذا المجال، وقد تحسنت جودة الهواء بحسب بعض المقاييس، إلا إن هذا الأمر يظل مشكلة خطيرة: تتجاوز تراكُزات الملوثات المعايير التي توصي منظمة الصحة العالمية (World Health Organization [WHO]) بعدم تخطيها في كل منطقة حضرية رئيسية تقريباً. التكاليف الكبيرة لتلوث الهواء تدفعها التأثيرات الصحية والخسارة في إنتاجية القوى العاملة، التي سجّلت نسبة 6.5 في المئة من إجمالي الناتج المحلي (Gross Domestic Product [GDP]) للصين في كل عام من الفترة الممتدة بين الأعوام 2000 و2010، وتتصاعد مع اتجاه سكان الصين إلى الطابع الحضري والإنتاجية بشكل متزايد. لقد كانت الحكومة الصينية آخذة بتنفيذ إجراءات في سياسات مكافحة تلوث الهواء، مشابهة لتلك التي تعتمدها اقتصادات صناعية أخرى:

1. دعم استخدام أنواع الوقود أو فرضه — مثل الغاز الطبيعي، والوقود النووي وأنواع الوقود المتجدد — التي تنبعث منها ملوثات هواء أقل عند الاحتراق من تلك التي تنبعث من الفحم
 2. فرض إلغاء المركبات الآلية، والغلايات، وغير ذلك من الأجهزة التي تنبعث منها مستويات عالية من الملوثات
 3. فرض تركيب أجهزة لمكافحة التلوث على المصادر الثابتة الرئيسية والمركبات الآلية.
- وإذا كان للصين أن تحسّن جودة الهواء في المناطق الحضرية إلى النقطة التي لا تتجاوز بها الملوثات المستويات المضرّة بالصحة البشرية، فسيكون من الضروريّ تنفيذ سياساتٍ مثل هذه بشكلٍ عنيف. لكنّ لهذه السياسات تكاليف. الغرض من هذه الدراسة هي تقييم التكاليف المحتملة لاعتماد إجراءات إضافية موسعة لمكافحة التلوث، بالمقارنة مع منافع التحسن في جودة الهواء. صُمّمت هذه الدراسة بحيث تساهم في النقاش المتعلق بهذه الإجراءات، والذي يجري في أوساط الحكومة الصينية، والرأي العام الصيني، وغير ذلك من الجهات المعنية في الصين وأماكن أخرى.

الحلول

الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو البروبين (Propane) للاستخدام السكنيّ والتجاريّ

لكي تتمكن مدن الصين من استيفاء معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) في ما يتعلق بجودة الهواء، سوف يضطر المستخدمون السكنيون والتجاريون إلى التوقف عن إحراق الفحم، والكتلة البيولوجية، والنفايات البلاستيكية في المناطق الحضرية. على امتداد العقود العديدة الماضية، وجدت معظم البلدان أنّ الحد الفعال من انبعاثات الغلايات والمواقد المستخدمة للتدفئة والطبخ في المساكن والأماكن التجارية في المناطق الحضرية يستلزم الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ، أو البروبين (propane)، أو الحرارة الكهربائية التي تولدها أنواع وقودٍ سوى الفحم.

لقد أحرقت الأسر والمؤسسات التجارية في الصين 114 مليون طن من الفحم عام 2011، وهي كمية تعادل نسبة 3.2 في المئة من إجمالي الاستهلاك الوطنيّ. الأفران والمواقد المنزلية التي تُحرق الفحم يصعب تزويدها بأجهزة مكافحة التلوث، وكذلك الحال بالنسبة للغلايات المستخدمة لتدفئة المباني السكنية والتجارية؛ في معظم الحالات، ويعتبر استخدام الغاز الطبيعيّ أو البروبين هو أكثر الطرق فعاليةً للحد من التلوث الناتج عن هذه المصادر. ولكن، من أجل

تحقيق استبدالٍ مثل هذا، على الصين شراء 88 مليار مترٍ مكعبٍ إضافيٍّ من الغاز الطبيعيّ — وتلك زيادةٌ تبلغ 60 في المئة على المجموع البالغ 147 مليار مترٍ مكعبٍ من الغاز الطبيعيّ الذي استهلكته الصين عام 2012.

الاستعاضة عن الفحم بأنواع وقودٍ أنقى من أجل توليد الكهرباء

إنّ نصف مجموع الفحم الذي يُحرق في الصين مُستخدَمٌ لتوليد حصّةٍ كبيرةٍ جداً من الكهرباء فيها، وهو ما يساوي نسبة 79 في المئة خلال السنوات الأخيرة. من أجل الوصول إلى مستوياتٍ صحيّةٍ من جودة الهواء، على الصين أن تستبدل كميةً كبيرةً من الطاقة الكهربائية الناتجة عن إحراق الفحم، لاسيما ضمن أو قرب المراكز السكانية الرئيسية، بتوليدٍ من محطاتٍ للطاقة تستخدم أنواع وقودٍ أخرى أقلّ تلويثاً، مثل الغاز الطبيعيّ، أو الوقود النوويّ، أو طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية.

يعادل الفحم حصّةً أصغر بكثيرٍ من توليد الكهرباء في الولايات المتحدة والعديد من البلدان في أوروبا — 40 في المئة بالنسبة للولايات المتحدة عام 2013. لو أرادت الصين أن تتمكن من معادلة الرقم الأمريكيّ، لكان عليها أن تحد من التوليد الناتج عن إحراق الفحم 39 نقطةً مئويةً، أو 1.918 تريليون كيلواط-ساعة (KWh) عام 2012. إنّ هذا الأمر ليس بعيداً عن الواقعية بالكامل، إنما: قد يحدّ إيقاف محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم ذات الأداء الأسوأ في الصين عن العمل من مجموع انبعاثات الجسيمات وثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide) بما يربو على 25 في المئة على المستوى الوطنيّ.

كنا قد ذكرنا أنّه سوف يتحتم على الصين أن تستعويض بالغاز الطبيعيّ، أو أنواع الوقود المتجدد، أو الطاقة النووية من أجل الحد من استخدام الفحم في توليد الكهرباء. إنّ لدى الصين مشاريع لتوسيع قوة الطاقة الكهرومائية من 249 جيغاواط (GW) إلى 325 جيغاواط، ما يمكّن من توليد 0.264 تريليون كيلواط-ساعة، أي ما يوازي 5.3 نقاطٍ مئويةً من الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم عام 2012. يمكن أن تولّد الرياح 0.996 تريليون كيلواط-ساعة، أي 20 في المئة من الكهرباء التي تم توليدها في الصين عام 2012. ستحتاج الصين إلى تأسيس منشآت تولد طاقةً إضافيةً من الرياح تبلغ 540 جيغاواط، مما يتجاوز طاقة الرياح التي توفرت لديها عام 2012 وقُدْرُها 62 جيغاواط من أجل بلوغ هذا الهدف، على افتراض أنّ الجيغاواط الإضافي من طاقة الرياح يولد مستوياتٍ من الطاقة مماثلةً لما تولده الحقول الحالية. بوسع محطات الطاقة النووية تزويد الفارق البالغ 0.658 تريليون كيلواط-ساعة، أو 15.2 في المئة من مُخرَج الصين من الطاقة الكهربائية عام 2012. نَقْدَر أنّ الحاجة ستدعو لبناء منشآتٍ إضافيةٍ بطاقةٍ نوويةٍ تبلغ 84 جيغاواط من أجل توليد هذه الطاقة، وذلك يفوق بنسبة 45 في المئة الهدف الحاليّ للصين، الذي يبلغ 58 جيغاواط إضافيٍّ بحلول عام 2020. هذا الهدف لا يأخذ بعين الاعتبار الطلب الإضافي على القدرة التوليدية جراء النمو الاقتصاديّ المستمر.

إلغاء المركبات القديمة

لقد كانت المركبات الآلية مصدراً سريع التصاعد لتلوث الهواء في الصين، لاسيما بالنسبة لانبعاثات أكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides). كانت الصين تعالج هذه المشكلة عن طريق اعتماد معايير الاتحاد الأوروبيّ المتشددة المتعلقة بتلوث الهواء وإنفاذها. معظم المركبات الآلية التي تُباع في الصين تصنعها مشاريعٌ مشتركةٌ بين الشركات الدولية للسيارات والشركات الصينية، مما يعني أنّ المنتجين الصينيين الداخليين يستطيعون الوصول إلى تكنولوجيات مكافحة التلوث التي يستخدمها المصنّعون الدوليون. إذًا، ليس هناك عائقٌ تكنولوجيٌّ في صناعة المركبات الآلية أمام تركيب أجهزةٍ لمكافحة التلوث تتمكن من استيفاء المعايير الأوروبية الحالية بشأن الانبعاثات. في الواقع، إنّ أكثر التكنولوجيات تشدداً متوفرةً في الصين بالفعل، ويجري تركيبها في المركبات التي تُباع في بيجين (Beijing) ومدنٍ أخرى جُعِلت فيها مسألة الحد من التلوث الناشئ من المركبات الآلية أولوية.

إنّ إلغاء المركبات الشديدة التسبب بالتلوث التي بقيت على طرق الصين السريعة، هو أكثر الطرق فعاليةً للحد من تلوث الهواء الصادر عن مركبات آلية موجودة مسبقاً على الطريق. من أجل الحد بشكل كبير من الانبعاثات الصادرة من المركبات الآلية، على الصين أن تلغي كل المركبات البالغ عددها 14,514,000 مركبة، والتي تملك أجهزةً بدائيةً لمكافحة التلوث أو لا تملك أياً منها على الإطلاق. لو كانت هذه المركبات قد أُغيت عام 2009، لأدى إلى إزالة 70 في المئة من أول أكسيد الكربون (carbon monoxide)، و 70 في المئة من الهيدروكربونات المتطايرة، و 61 في المئة من أكاسيد النيتروجين، و 76 في المئة من الجسيمات المنبعثة من السيارات في الصين في ذلك العام.

التكاليف التقريبية لتحسين جودة الهواء

الإجراءات المُقترحة هنا، والتي جرى تنفيذها جميعاً بشكل جزئي من قبل الحكومة الوطنية أو الحكومات البلدية في الصين، من شأنها أن تؤدي إلى تحسينات كبيرة في جودة الهواء في المناطق الحضرية. سوف يتم التوصل إلى الحد من تراكُزات الجسيمات، وثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide)، وأكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) بنسبة الربع على الأقل، وعلى الأغلب، بما يفوق ذلك بكثير، مما سيؤدي إلى الحد بشكل كبير من تكاليف الرعاية الصحية السنوية والخسارة في تكاليف الإنتاجية التي يفرضها تلوث الهواء على البلد.

كما هو مبين في الجدول رقم S.1، هذه الإجراءات لن تكون عديمة الكلفة. نُقدّر أنه، في حال تنفيذها، فإنّ النفقات السنوية المتكررة لهذه السياسات قد تتراوح بين 32 مليار دولار أمريكي و 52 مليار دولار أمريكي، جزاء الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للندفئة في المساكن والأماكن التجارية، و 184 مليار دولار أمريكي للاستعاضة عن نصف عملية توليد الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم في الصين بأنواع الوقود المتجدد أو الطاقة النووية، مما يُضاف إلى مجموع النفقات المتكررة الذي يتراوح بين 215 مليار دولار أمريكي و 235 مليار دولار أمريكي سنوياً. عند طرح قيمة الفحم (75 مليار دولار أمريكي) الذي ستحل محله أنواع الوقود الأخرى، سوف تتراوح التكاليف السنوية الصافية في مجموعها الكلي بين 140 مليار دولار أمريكي و 160 مليار دولار أمريكي سنوياً. وإذا قَدّرنا أنّ الكلفة السنوية لتلوث الهواء في الصين تبلغ 6.5 في المئة من إجمالي الناتج المحلي (GDP) للأمة — أي ما يساوي 535 مليار دولار أمريكي تقريباً عام 2012 — فإنّ هذه الاستثمارات تمثل أقل من ثلث هذا المبلغ.

من بين المبادرات الثلاث في السياسات التي جرت مناقشتها في هذه الدراسة، يجب أن تكون الأولوية القريبة الأمد الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي في الاستخدام السكني والتجاري. الغلايات والمواد التي يكون وقودها الفحم والخشب والنفايات تشتهر ببعث التلوث. التأثيرات الصحية الوخيمة لانبعاثات هذه المصادر على الصحة ومتوسط العمر المُتوقع في الصين، لاسيما شمال الصين، قد جرى توثيقها بشكل جيد. إنّ إنهاء استخدام هذه الأنواع من الوقود سوف يحسّن جودة الهواء بشكل كبير في المناطق الحضرية، لاسيما في أشهر الشتاء، ويحد كثيراً من عدد الأيام التي تكون جودة الهواء فيها سيئة جداً.

بمقدار يتراوح بين 32 مليار دولار أمريكي و 52 مليار دولار أمريكي سنوياً، سوف تكون تكاليف إنهاء الاستخدام السكني والتجاري للفحم أقل بكثير من مبلغ 184 مليار دولار أمريكي، الذي قَدّرنا أنه لازمٌ للاستعاضة عن الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بالطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة النووية. إنّ الاستعاضة عن الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بمصادر أخرى من الطاقة هو أكثر إجراءات السياسات كلفةً من بين الثلاثة التي تُجري تقييماً لها، وإنه سوف يكون الأكثر إسهاماً في الحد من إجمالي انبعاثات مجموع الجزيئات المعلقة (total suspended particulates [TSP]) وثاني أكسيد الكبريت في الصين. ولكن قد لا يكون تأثير الاستبدال على جودة الهواء في المناطق الحضرية بالحجم الذي يشير إليه التراجع المتوقع في الانبعاثات. إنّ معظم محطات الطاقة في الصين لا تقع في المناطق الحضرية. على الرغم من أنّ تلوث الهواء المحمول بواسطة الرياح، والذي تسببه محطات الطاقة التي تعمل بالطاقة الناتجة عن إحراق الفحم هو عاملٌ أساسي في تحديد جودة الهواء في المناطق الحضرية في الصين، فإن مصادر تلوث

الهواء الواقعة داخل حدود المدينة هي بشكلٍ عامٍّ ذات تأثيرٍ أكثر مباشرةً. ستدعو الحاجة لنمذجةٍ تفصيليةٍ من أجل احتسابٍ كميٍّ محددٍ للمساهمات النسبية لهذه المصادر الإقليمية مقابل المصادر المحلية، لكن عند أخذ كل الأمور بعين الاعتبار، من المرجح أن إنهاء استخدام الفحم في الاستخدام السكني والتجاري داخل المناطق الحضرية، سيكون الأعلى من حيث الأولوية في الأمد القريب.

الجدول رقم S.1: التكاليف السنوية لسياسات الحد من تلوث الهواء في الصين

الإجراء في السياسات	الكمية	السعر (بالدولار الأمريكي بقيمة عام 2012)	الكلفة الإجمالية (بمليارات الدولارات الأمريكية بقيمة عام 2012)																																																
الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للاستخدام السكني والتجاري																																																			
متوسط سعر الغاز الطبيعي المُسال (LNG) في شرق آسيا عام 2012	88 مليار متر مكعب	360/متر مكعب	32																																																
سعر الغاز الطبيعي المُسال عند الذروة (LNG) في شرق آسيا عام 2012	88 مليار متر مكعب	587/متر مكعب	52	الاستعاضة عن الكهرباء الناتجة عن إحراق الفحم بأنواع وقودٍ أخرى				الطاقة المائية	0.26 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	90.30 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	24	طاقة الرياح	0.89 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	86.60 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	78	الطاقة النووية	0.76 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	108.40 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	82	المجموع			184	المجموع الإجمالي				الحد المنخفض (يفترض سعراً أدنى للغاز الطبيعي)			215	الحد المرتفع (يفترض سعراً أعلى للغاز الطبيعي)			235	قيمة الفحم الذي جرى توفيره (بملايين الأطنان المترية)	1,009	74	75	مجموع التكاليف السنوية الصافية المباشرة				الحد المنخفض			140	الحد المرتفع			160
الاستعاضة عن الكهرباء الناتجة عن إحراق الفحم بأنواع وقودٍ أخرى																																																			
الطاقة المائية	0.26 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	90.30 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	24																																																
طاقة الرياح	0.89 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	86.60 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	78																																																
الطاقة النووية	0.76 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	108.40 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	82																																																
المجموع			184																																																
المجموع الإجمالي																																																			
الحد المنخفض (يفترض سعراً أدنى للغاز الطبيعي)			215																																																
الحد المرتفع (يفترض سعراً أعلى للغاز الطبيعي)			235																																																
قيمة الفحم الذي جرى توفيره (بملايين الأطنان المترية)	1,009	74	75																																																
مجموع التكاليف السنوية الصافية المباشرة																																																			
الحد المنخفض			140																																																
الحد المرتفع			160																																																

المصدر: حسابات مؤسسة RAND

لقد قطعت الصين شوطاً طويلاً في طريق إلغاء المركبات "ذات الوسم الأصفر"، أي السيارات والشاحنات القديمة والشديدة التسبب بالتلوث. أكثر من ثلث هذه المركبات التي كانت تسير عام 2012 تَقَرَّرَ إلغاؤها مع نهاية عام 2015؛ وجميعها يجب أن تختفي بنهاية عام 2017. لكن إبعاد السيارات والشاحنات الأسوأ من حيث التسبب بالتلوث عن الطرقات بأسرع وقتٍ ممكنٍ من شأنه أن يكون نافعاً. قد ترغب الصين في تنفيذ برامجٍ محدودةٍ لإعادة الشراء، مثل

ذاك الذي في دونغوان (Dongguan)، في إقليم غوانغدونغ (Guangdong)، من أجل تسريع إيقاف هذه المركبات عن العمل. إنَّ برامجٍ مثل هذه تكون قصيرة الأجل نسبياً؛ كل هذه المركبات يجب أن تُوقف عن العمل بحلول عام 2017 في ظل اللوائح القائمة. التكاليف غير المتكررة لإلغاء المركبات الشديدة التسبب بالتلوث قد تتراوح بين 21 مليار دولار أمريكي و42 مليار دولار أمريكي (الجدول رقم S.2).

الجدول رقم S.2: التكاليف غير المتكررة لإلغاء المركبات القديمة من أجل الحد من تلوث الهواء في الصين

إلغاء المركبات القديمة	الكمية	السعر (بالدولار الأمريكي بقيمة عام 2012)	التكلفة الإجمالية (بمليارات الدولارات الأمريكية بقيمة الدولار عام 2012)
على افتراض أنَّ كل المركبات القديمة هي سيارات	14.5 مليون	1,430	21
على افتراض أنَّ كل المركبات القديمة هي شاحنات	14.5 مليون	2,860	42

المصدر: حسابات مؤسسة RAND

نودُ أن نتقدم بالشكر لمؤسسة تانغ (Tang Foundation) لدعم هذا البحث. أود أيضاً أن أشكر مايكل لوستومبو (Michael Lostumbo) والمجلس الاستشاري لمركز سياسات آسيا والمحيط الهادئ التابع لمؤسسة RAND (Advisory Board of the RAND Center for Asia Pacific Policy) لدعم موضوع البحث، الذي كانت نتيجته إتمام هذا العمل. الدعم المبكر للبحث من قبل سياو وانغ (Xiao Wang) يحظى بأعظم التقدير. ساعدت المراجعات التي تنم عن التبصر التي قام بها ماثيو إي. كاهن (Matthew E. Kahn) ونيكولاس برغر (Nicholas Burger) في تحسين الورقة بشكل كبير. كانت التعليقات التي قدمها كلٌّ من ديبرا نوبمان (Debra Knopman) ومايكل لوستومبو (Michael Lostumbo) مفيدة جداً في نقاطٍ متعددةٍ خلال مسار البحث. نود أيضاً أن نشكر آروين بيكنيل (Arwen Bicknell) وبلير سميث (Blair Smith) لإنتاجهما الوثيقة بشكلها النهائي.

BTU	British thermal unit وحدة الحرارة البريطانية
CO	carbon monoxide أول أكسيد الكربون
GDP	gross domestic product إجمالي الناتج المحلي
GW	gigawatt جيجاواط
KWh	kilowatt hour كيلوواط-ساعة
LNG	liquefied natural gas الغاز الطبيعي المُسال
PM ₁₀	particulate matter less than 10 microns in diameter جسيماتٍ يَقلُّ قُطْرُها عن 10 ميكرون
PM _{2.5}	particulate matter less than 2.5 microns in diameter جسيماتٍ يَقلُّ قُطْرُها عن 2.5 ميكرون
RMB	renminbi رَنمينبي
TSP	total suspended particulate matter مجموع الجزيئات المعلقة
µg/m ³	micrograms per cubic meter ميكروغرام في المتر المكعب
VOC	volatile organic compounds مُرَكَّبَاتٌ عضويَّةٌ متطايرة
WHO	World Health Organization منظمة الصحة العالمية

لقد كان تلوث الهواء أحد أخطر النتائج السلبية للعقود الثلاثة الأخيرة من التحول والنمو الاقتصادي في الصين. مع أن الحكومات الصينية — الفيدرالية، والإقليمية، والبلدية — قد قامت بجهود كبيرة في هذا المجال، وقد تحسنت جودة الهواء بحسب بعض المقاييس، فإن هذا الأمر يظل مشكلة خطيرة: تتجاوز تراكُزات الملوثات المعايير التي توصي منظمة الصحة العالمية (World Health Organization [WHO]) بعدم تخطيها في كل منطقة حضرية رئيسية تقريباً¹. لقد كانت الحكومة الصينية آخذةً بتنفيذ إجراءات في سياسات مكافحة تلوث الهواء، مشابهة لتلك التي تعتمدتها اقتصاداتٌ صناعيةٌ أخرى:

1. دعم أو فرض استخدام أنواع الوقود — مثل الغاز الطبيعي، والوقود النووي وأنواع الوقود المتجدد — التي تنبعث منها ملوثات هواء أقل من الفحم عند الاحتراق
2. فرض إلغاء المركبات الآلية، والغلايات، وغير ذلك من الأجهزة التي تنبعث منها مستويات عالية من الملوثات
3. فرض تركيب أجهزة لمكافحة التلوث على المصادر الثابتة الرئيسية والمركبات الآلية.

إذا كان للصين أن تحسّن جودة الهواء في المناطق الحضرية إلى النقطة التي لا تتجاوز بها الملوثات المستويات المضرّة بالصحة البشرية، فسيكون من الضروريّ تنفيذ سياساتٍ مثل هذه بشكلٍ أكثر عنفاً. لكنّ هذه التدابير سوف يكون لها تكاليف. الغاز الطبيعي، والطاقة النووية، وأنواع الوقود المتجدد أكثر كلفةً من الفحم في الصين، وإنّ عمليات استبدال واسعة النطاق سيكون من شأنها زيادة كلفة الكهرباء. سوف يتحتم إغلاق محطات الطاقة والمركبات المسببة للتلوث أو تفكيكها مع ما ينطوي عليه الأمر من خسارة في هذا النوع من رأس المال. سوف يتحتم على المستهلكين وشركات الأعمال شراء مركبات، وأجهزة ومحطات للطاقة مزودة بأجهزة مكافحة التلوث وتشغيلها، والتي سوف يكون بعضها أعلى ثمناً من المركبات والأجهزة المشابهة التي تسبب نسبة تلوث أعلى.

الغرض

الغرض من هذه الورقة هو توفير تقديراتٍ تقريبيةٍ للتكاليف المحتملة بالنسبة للصين، من اعتماد إجراءاتٍ إضافيةٍ موسعةٍ للحد من تلوث الهواء، ومقارنة هذه التقديرات مع تكاليف الوضع القائم. تُقيّم الورقة ثلاثة إجراءاتٍ في السياسات التي من شأنها الحد بشكلٍ كبيرٍ من تراكُزات الملوثات الرئيسية في المناطق الحضرية:

1. الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane) للتدفئة في المساكن والأماكن التجارية واستخداماتٍ أخرى
2. الاستعاضة عن الفحم بأنواع من الوقود المتجدد والوقود النووي من أجل توليد الكهرباء
3. إلغاء المركبات القديمة التي تخلص من أجهزة مناسبة لمكافحة التلوث.

تنظيم هذه الدراسة

في الفصل الثاني، نَصِفُ ضخامة تلوث الهواء في الصين، مع التركيز على جودة الهواء في المناطق الحضرية

¹ راجع الجدولين رقم 2.1 و2.2، وهما يستندان إلى المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية (WHO) حول جودة الهواء، في ما يتعلق بالجسيمات، والأوزون، وثنائي أكسيد النيتروجين (nitrogen dioxide) وثنائي أكسيد الكبريت (sulfur dioxide).

الرئيسية، والأحجام الكلية للانبعاثات ومصادر الانبعاثات، والتكاليف الصحية لجودة هواءٍ رديئة. يعرض الفصل الثالث الخيارات الثلاثة في السياسات المذكورة سابقاً، فيحسب التحولات في استخدام الوقود وأعداد المركبات التي ينبغي إلغاؤها بشكلٍ كميّ. في الفصل الرابع، نُقدّر تكاليف هذه الإجراءات في السياسات، ونختم بمناقشةٍ تتناول المنافع الصافية.

2. المشكلة

إنّ النمو الاقتصاديّ السريع في الصين لم يرفع الدخل فحسب، فقد تَنَجَّت عنه أيضاً زياداتٌ كبيرةٌ في تلوث الهواء والمياه والأرض. إن تكاليف هذا التلوث كبيرة، وتقارب نسبة 10 في المئة من إجماليّ الناتج المحليّ (GDP) سنوياً على امتداد العقد الماضي. تعد هذه النسبة أعلى بأضعافٍ مما هي عليه في اقتصادات السوق الآسيويّ المتقدمة مثل كوريا واليابان، وأعلى بدرجةٍ كبيرةٍ مما هي عليه في الولايات المتحدة.² ويعد تلوث الهواء هو القسم الأكبر من هذه التكاليف التي سجّلت نسبة 6.5 في المئة من إجماليّ الناتج المحليّ للصين في الفترة الممتدة بين الأعوام 2000 و2010؛ سجّلت تكاليف تلوث المياه نسبةً إضافيةً قدرها 2.1 في المئة من إجماليّ الناتج المحليّ، أما تدهور التربة، فقد سجّل 1.1 في المئة.³ وعلى الرغم من الإبلاغ عن انخفاضاتٍ في التلوث، فإنه مع الارتفاع في الدخل الصيني، كذلك يكون الأمر بالنسبة لتكاليف التلوث.⁴ التحضّر أيضاً يدفع نحو الزيادة في تكاليف التلوث، إذ تتعرض شريحة أكبر من الشعب لهواء ذي جودةٍ رديئة.⁵

تتفرّع التكاليف العالية لتلوث الهواء عن تأثيره على الصحة البشرية. يبيّن الجدول رقم 2.1 معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لجودة الهواء في ما يتعلق بالملوثات الرئيسية. توصي منظمة الصحة العالمية بحدٍ للمتوسط السنويّ من التركّزات اليومية للجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 10 ميكرون (PM_{10})، لا يتجاوز 20 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$) من الهواء، وحدّاً للمتوسط السنويّ من التركّزات اليومية للجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 2.5 ميكرون ($PM_{2.5}$)، والتي هي أكثر إضراراً بالصحة البشرية، لا يتجاوز 10 ميكروغرام في المتر المكعب من الهواء (الجدول رقم 2.1). يجب ألا يتجاوز ثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide) 20 ميكروغرام في المتر المكعب من الهواء من حيث المعدل خلال 24 ساعة، كما يجب ألا تتجاوز أكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) 40 ميكروغرام في المتر المكعب الواحد من الهواء في اليوم من حيث المعدل خلال السنة. كما يمكن ملاحظته في الجدول رقم 2.2، تتجاوز كل المدن الصينية

² البنك الدوليّ (World Bank) ومركز أبحاث التنمية التابع لمجلس الدولة (Development Research Center of the State Council)، جمهورية الصين الشعبية (People's Republic of China)، "الصين عام 2030: بناء مجتمعٍ ذي دخل مرتفع، يكون حديثاً ومنسجماً وخلقاً" (*China 2030: Building a Modern, Harmonious, and Creative High-Income Society*)، واشنطن العاصمة: البنك الدوليّ، 2012، ص. 39؛ نيكولاس ز. ملر (Nicholas Z. Muller) وروبرت مندلسون (Robert Mendelsohn)، "قياس أضرار تلوث الهواء في الولايات المتحدة" (*Measuring the Damages of Air Pollution in the United States*)، برنستون، نيوجيرسي: كلية جامعة ييل لعلم الغابات والدراسات البيئية (Yale University School of Forestry and Environmental Studies)، 9 يناير/كانون الثاني، 2007.

³ البنك الدوليّ وآخرون (World Bank et al.)، 2012، ص. 39، وزارة الحماية البيئية والأكاديمية الصينية للهندسة (Ministry of Environmental Protection and Chinese Academy of Engineering)، "استراتيجية كليةً لبيئة الصين: استراتيجية لحماية العوامل البيئية الصينية" [باللغة الصينية] (*MacroStrategy for China's Environment: Strategy for Protection of China's Environmental Factors [in Chinese]*)، بيجين: تشاينا إنفايرنومننتل ساينسز برس (Environmental Sciences Press)، 2011.

⁴ مع ارتفاع الدخل، كذلك يكون الأمر بالنسبة لتكاليف التلوث. مع زيادة إنتاجية العمل تزداد قدرتهم على كسب المزيد من المال، ولذا فإنهم حين يمرضون ولا يعملون، فإن خسائر أكبر تترتب على ذلك. للاطلاع على مناقشة تتناول التكاليف المتزايدة للتلوث المتفرع عن النمو الاقتصاديّ، راجع: نيكولاس ز. ملر (Nicholas Z. Muller)، روبرت مندلسون (Robert Mendelsohn)، ووليام نوردهاوس (William Nordhaus)، "الحسابات البيئية للتلوث في اقتصاد الولايات المتحدة" (*Environmental Accounting for Pollution in United States Economy*)، أميركان إيكونوميك ريفيو (*American Economic Review*)، مجلد رقم 101، عدد رقم 5، 2011، ص. 1649-1675؛ ودورا ل. كوستا وماثيو إي. كاهن (Dora L. Costa and Matthew E. Kahn)، "التغيرات في قيمة الحياة، 1980-1940" (*Changes in the Value of Life, 1940-1980*)، دجورنال أوف ريسك أند أنسرنتنتي (*Journal of Risk and Uncertainty*)، مجلد رقم 29، عدد رقم 2، 2004، ص. 159-180.

⁵ للاطلاع على مناقشة تتناول تبعات التحضر على تكاليف التلوث، راجع بينغ دجو (Ying Zhou)، جونathan آي. ليفي (Jonathan I. Levy)، جون س. إيفانز (John S. Evans)، وجيمس ك. هاميت (James K. Hammitt)، "تأثير الموقع الجغرافي على تعرّض السكان إلى انبعاثاتٍ من محطات الطاقة في جميع أنحاء الصين" (*The Influence of Geographic Location on Population Exposure to Emissions from Power Plants Throughout China*)، إنفايرنومننت إنترناشونال (*Environment International*)، مجلد رقم 32، عدد رقم 3، 2006، ص. 365-373.

الرئيسية هذه المستويات، باستثناء عددٍ قليلٍ يستوفي معايير منظمة الصحة العالمية بالنسبة لأكاسيد النيتروجين؛ أكثرها تتجاوز حدود المعدلات اليومية بالنسبة للجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 10 ميكرون (PM_{10}) بخمسة أضعافٍ أو أكثر. إنَّ الإخفاق في الحد من تراكُزات ملوثات الهواء إلى ما دون معايير منظمة الصحة العالمية له تكاليفٌ جسيمةٌ من حيث الصحة. وَجَدَت دراسةٌ حديثةٌ أنَّ متوسط العمر المُتَوَقَّع في الصين يتراجع ثلاث سنواتٍ تقريباً لكلِّ 100 ميكروغرامٍ إضافيٍّ من مجموع الجزيئات المعلقة ($total\ suspended\ particulate\ matter\ [TSP]$) من كل الأحجام، ويشمل ذلك الجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 10 ميكرون، والجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 2.5 ميكرون، في المتر المكعب الواحد من الهواء محسوباً في المعدل خلال سنةٍ واحدة.⁶ وَجَدَت الدراسة نفسها أنَّ مستوياتٍ عاليةً جداً من مجموع الجزيئات المعلقة قد أنقَصَت متوسط العمر المُتَوَقَّع في شمال الصين (حيث تميل جودة الهواء لأن تكون الأسوأ) بمعدلٍ يبلغ 5.5 سنوات بالمقارنة مع الجنوب، الذي هو مُلوَّثٌ بشدةٍ أيضاً. بالإضافة إلى تأثيراته على الصحة البشرية، فإنَّ تلوث الهواء يفرض تكاليفَ أخرى، تشمل تدهور الأراضي الزراعية، والإضرار بصحة الغابات، والنبات، وحيوانات المزارع، والحياة البرية. هو أيضاً يسبب تآكل واجهات المباني الخارجية وغيرها من المنشآت.

الجدول رقم 2.1: معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لجودة الهواء

المتوسط السنوي	المتوسط خلال 24 ساعة	المتوسط خلال 8 ساعات	
الجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 2.5 ميكرون ($PM_{2.5}$)	10 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)	25 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)	الجسيمات (Particulate matter)
الجسيمات التي يَقلُّ قطرها عن 10 ميكرون (PM_{10})	20 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)	50 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)	
		100 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)	الأوزون (Ozone)
	20 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)		ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur dioxide)
ثاني أكسيد النيتروجين وغيره من مُركِّبات النيتروجين	40 ميكروغرام في المتر المكعب ($\mu g/m^3$)		أكاسيد النيتروجين (Nitrogen oxides)

المصدر: منظمة الصحة العالمية (World Health Organization)، "المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية حول جودة الهواء، في ما يتعلق بالجسيمات، والأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت: التحديث العالمي 2005" (*WHO Air Quality Guidelines For Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide And Sulfur Dioxide: Global Update 2005*)، جنيف، سويسرا، منظمة الصحة العالمية، 2006.

⁶ يو يو تشين (Yuyu Chen)، أفراهام إبنستين (Avraham Ebenstein)، مايكل غرينستون (Michael Greenstone)، وهونغبين لي (Hongbin Li)، "الأدلة على تأثير التعرُّض المستدام لتلوث الهواء على متوسط العمر المُتَوَقَّع، من سياسات الصين بالنسبة لنهر هُواي" (*Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy*)، محاضر الأكاديمية الوطنية للعلوم (Proceedings of the National Academy of Science)، 28 مايو/أيار، 2013.

الجدول رقم 2.2: معدلات تراكُزات ملوثات الهواء في مدنٍ صينيةٍ مختارةٍ في عام 2011 (بالميكروغرام في المتر المكعب [µg/m³])

المدينة	جسيماتٌ يَقلُّ قُطْرُها عن 10 ميكرون (PM ₁₀)	ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide)	أكاسيد النيتروجين (Nitrogen Oxides)
معايير منظمة الصحة العالمية (WHO)	المعدل السنويّ البالغ 20 في اليوم	المعدل اليوميّ البالغ 20	المعدل السنويّ البالغ 40 في اليوم
بيجين (Beijing)	113	28	56
تيانجين (Tianjin)	93	42	38
هاربين (Harbin)	99	41	46
شانغهاي (Shanghai)	80	29	51
نانجينغ (Nanjing)	97	34	49
هافي (Hefei)	113	22	25
ووهان (Wuhan)	100	39	56
تشانغشا (Changsha)	83	40	47
غوانجزو (Guangzhou)	69	28	49
تشونغتشينغ (Chongqing)	93	38	31
تشنغدو (Chengdu)	100	31	51
شيّيان (Xi'an)	118	42	41

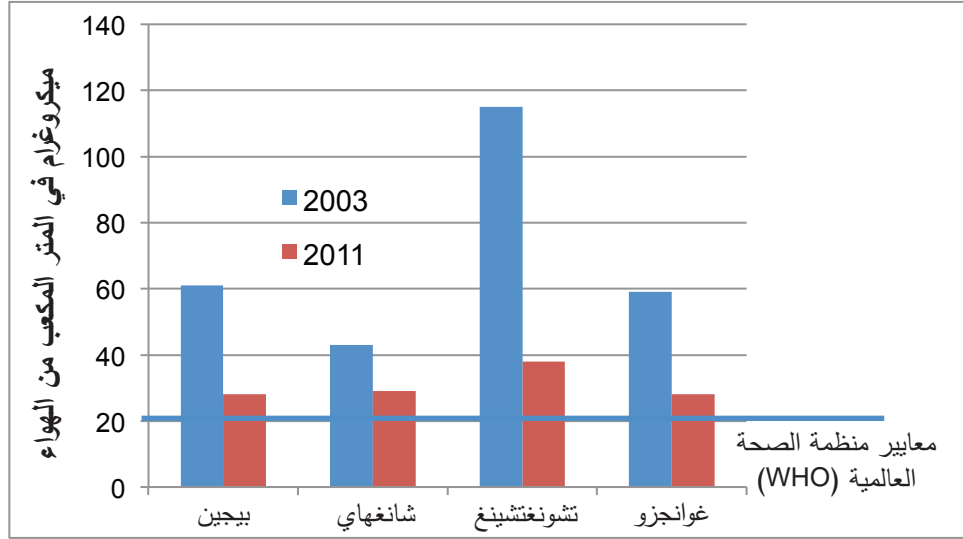
المصدر: "الحوالية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2012، الجدول رقم 12-19.

الاتجاهات

بحسب الإحصاءات الصينية، تحسّنت جودة الهواء في معظم المدن الصينية خلال العقد الأخير.⁷ يبيّن الشكل رقم 2.1 الاتجاهات في جودة الهواء كما تم قياسها من خلال تراكُزات ثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide)، ويبيّن الشكل رقم 2.2 الاتجاهات في أكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) في المدن الأربع الأكبر في الصين: بيجين (Beijing)، وتشونغتشينغ (Chongqing)، وغوانغجو (Guangzhou)، وسانغهاي (Shanghai). لقد هبط معدل التراكُزات السنوية من ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين في المتر المكعب من الهواء في هذه المدن الأربع منذ عام 2003 بحسب الإحصاءات الصينية الرسمية. بالرغم من هذه التحسينات التي تم الإبلاغ عنها، فإنّ تراكُزات مجموع الجزيئات المعلقة (TSP)، وأكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت ما زالت أعلى من معايير منظمة الصحة العالمية (WHO). إنّ استخدام الصين لمعدلات تراكُزات الملوثات خلال السنة من أجل قياس التلوث لا يُعتبر الطريقة الأفضل لقياس جودة الهواء؛ إذ تضع منظمة الصحة العالمية المعايير لفترتين هما 24 ساعة و 8 ساعات (الجدول رقم 2.1). إنّ عدد الأيام التي يكون التلوث فيها شديداً هو مؤشر مهمّ آخر.

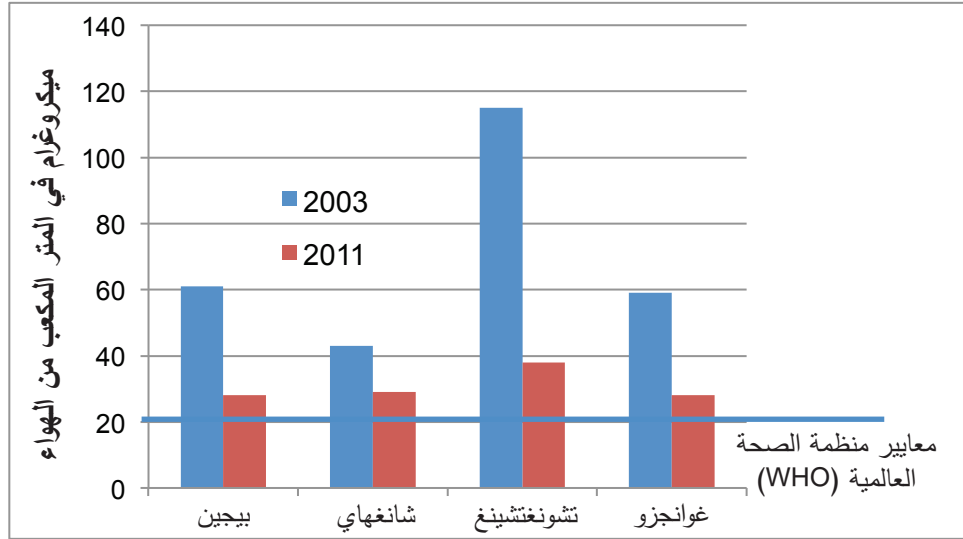
⁷ "الحوالية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2012، الجدول رقم 12-19.

الشكل رقم 2.1: معدل متوسط تراكُزات ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) في أكبر مدن الصين



المصدر: "الحوالية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2004 و 2012، الجدول رقم 12-19.

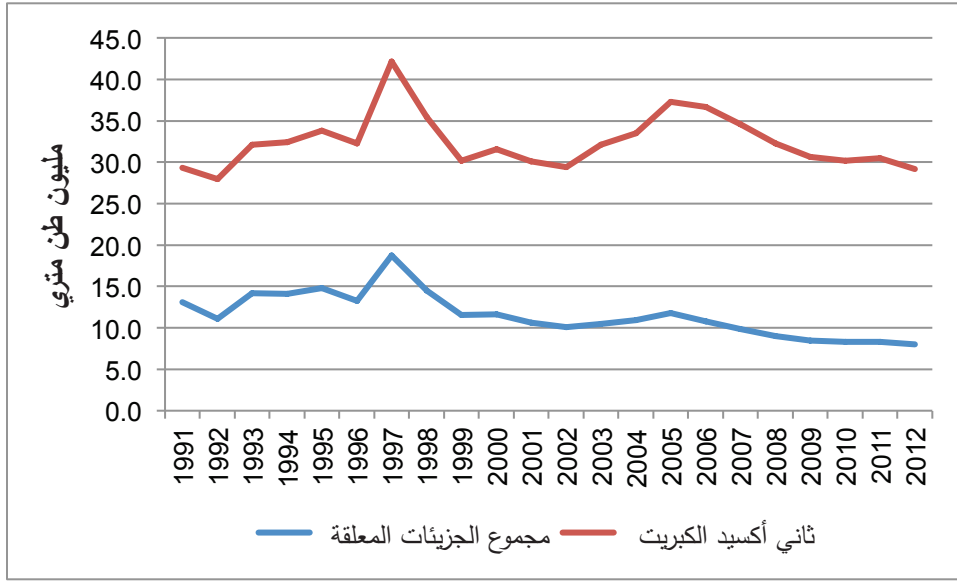
الشكل رقم 2.2: معدل متوسط تراكُزات أكاسيد النيتروجين (Nitrogen Oxides) في أكبر مدن الصين



المصدر: "الحوالية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2004 و 2012، الجدول رقم 12-19.

يبين الشكل رقم 2.3 مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت ومجموع الجزيئات المعلقة بالنسبة للصين بأكملها بملايين الأطنان من الملوثات. هنا أيضاً، تُظهر الصين تحسينات. لقد هبطت الكميات الإجمالية من مجموع الجزيئات المعلقة وثاني أكسيد الكبريت على حدٍ سواء منذ العام 2005، بنسبة 32 في المئة و 17 في المئة على التوالي.

الشكل رقم 2.3: انبعاثات الصين من مجموع الجزيئات المعلقة (TSP) وثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) (1991-2012)



المصدر: "الحويلة الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 1995، 2000، 2005، 2010، 2014، الجدول رقم 12-15.

تستند الأشكال من رقم 2.1 وحتى رقم 2.3 إلى الإحصاءات الصينية الرسمية. لقد نقلت دراساتٌ عديدةٌ أنّ بيانات تلوث الهواء في الصين مشكوكٌ في صحتها. لقد تلاعب المسؤولون في بعض المدن ببيانات التلوث من أجل تحقيق الأهداف التنظيمية.⁸ قد تكون البيانات المتعلقة بانبعاثات أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت مُخَفَّفة. وجد أوهارا وآخرون (O'Hara et al.) أنّه في عام 2003، ربما كانت انبعاثات الصين من ثاني أكسيد الكبريت أعلى بنسبة 70 في المئة مما تم نقله في الإحصاءات الرسمية.⁹ إذا تم الإبلاغ عن الانبعاثات وتُرَكِّزات الملوثات بشكلٍ مُخَفَّفٍ، فإنّ التخفيضات التي تقترحها بالنسبة لاستخدام الفحم من شأنها أن تؤدي إلى انخفاضاتٍ أكبر في الانبعاثات وتحسيناتٍ في جودة الهواء.

المصادر

كما يمكن ملاحظته في الشكل رقم 2.4، فإنّ توليد الطاقة الكهربائية يمثل معظم انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide) في الصين. وإنّ إضافة انبعاثات الأسمنت والتعدين إلى هذا تساوي قرابة ثلاثة أرباع المجموع. إن الوقود المسؤول بشكلٍ أوليٍّ عن هذه الانبعاثات هو الفحم، وهو لا يساوي فحسب معظم انبعاثات الصين من ثاني أكسيد الكبريت وإنما أيضاً من مجموع الجزيئات المعلقة (TSP). لقد تضاعف استهلاك الصين من الفحم ثلاث مرات بين عامي

⁸ ي. تشين، ج. ز. دجين وآخرون (Y. Chen, G. Z. Jin et al.)، "اللعب ببيانات تلوث الهواء؟ دروس من الصين" (Gaming in Air Pollution Data?) (Lessons from China)، بي إي دجورنال أوف إيكونوميك أناليسيس أند بوليسي (BE Journal of Economic Analysis and Policy)، مجلد رقم 12، عدد رقم 3، 2012؛ س. ك. أندروز (S. Q. Andrews)، "حالات غياب الاتساق في قياسات جودة الهواء: أيام 'السماء الزرقاء' وتُرَكِّزات الجسيمات التي يَقلُّ قُطْرُها عن 10 ميكرون في بيجين" (Concentrations in Beijing) 'Blue Sky' Days and PM₁₀ Concentrations in Beijing)، إنفايرونمنتل ريسرتش لترز (Environmental Research Letters)، مجلد رقم 3، عدد رقم 3، 2008؛ د. غانم وج. دجانغ (D. Ghanem and J. Zhang)، "الكَمال بدون مجهود": هل تتلاعب المدن الصينية ببيانات تلوث الهواء؟ (Effortless Perfection: Do Chinese Cities Manipulate Air Pollution Data?)، دجورنال أوف إنفايرونمنتال إيكونوميكس أند ماناجمنت (Journal of Environmental Economics and Management)، مجلد رقم 68، عدد رقم 2، 2014.

⁹ ت. أوهارا وآخرون (T. O'Hara et al.)، "قائمة جرد أسبوعية لانبعاثات تُعنى بمصادر الانبعاثات البشرية المنشأ لفترة 1980-2020" (An Asian Emission Inventory of Anthropogenic Emission Sources for the Period 1980-2020)، أتموسفيريك كيميسترى أند فيزيكس (Atmospheric Chemistry and Physics)، مجلد رقم 7، عدد رقم 16، 2007، ص. 4419-4444.

1990 و 2010.¹⁰ على الرغم من هذه الزيادة الكبيرة، فإنّ انبعاثات مجموع الجزينات المعلقة من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم هبطت بما يقارب نسبة 40 في المئة خلال هذه الفترة، إذ فُرِضَت الحكومة الصينية الوطنية على محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم أن تتجهز بمُرَشَّحاتٍ كيسيّةٍ وأجهزة تنقية الغاز من أجل الحد من انبعاثات هذه الملوثات.¹¹ مع ذلك، ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت من محطات الطاقة بنسبة 31 في المئة كما تظلّ تتركّزات مجموع الجزينات المعلقة مرتفعة.¹² كمية الغبار التي تولدها الصناعة والإعمار هبطت أيضاً بشكلٍ حاد، بنسبة الثلثين بين الأعوام 1991 و 2012، مع أخذ حكومات المدن خطواتٍ للحد من كمية الغبار الناتج عن البناء عن طريق فرض أغطيةٍ للشاحنات القلابة ونُضج مواقع البناء والشوارع بالماء.

في المناطق الحضرية من الصين، يشكل استخدام الأسر وشركات الأعمال الصغيرة حصصاً غير متناسبة من انبعاثات مجموع الجزينات المعلقة، لاسيما بالمقارنة مع الحصة من الطاقة التي يستهلكها هؤلاء المستخدمون.¹³ المشكلة الأولية هي أنّ المنشآت السكنية والمؤسسات التجارية تُحرِقُ الفحم، والنفايات المنزلية والصناعية، والخشب والكتلة البيولوجية من أجل الحرارة، مما ينتج انبعاثاتٍ أكثر. تاريخياً، كانت الحكومة الصينية توفر الفحم دون مستوى الكلفة (أو مجاناً في بعض الأحيان) للأسر من أجل الاستخدام في التدفئة والطبخ. في عام 2011، أحرقت الأسر والمؤسسات التجارية 114 مليون طن من الفحم في سنة، مما يساوي نسبة 3.2 في المئة من كل الفحم الذي أُحرِقَ في الصين (114 مليون طن كان يساوي 12.6 في المئة من مجموع الاستهلاك الأمريكي عام 2011).¹⁴ الغلايات أو المواقد التي يحترق فيها هذا الفحم تنقصها أجهزة فعالة لمكافحة التلوث. إضافةً إلى ذلك، تتخلص شركات الأعمال الصغيرة والأسر في أحيانٍ كثيرة من البلاستيك، والكيميائيات والزيوت التي يُنوى التخلص منها، وغير ذلك من المنتجات المشابهة عن طريق إحراقها في الخارج أو في الأفران المنزلية. كثيرٌ من المواد تحترق بشكلٍ جزئيٍّ فحسب، مُصدرةً كمياتٍ كبيرةً من الانبعاثات التي تكون سامةً في كثيرٍ من الأحيان، مثل الهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات (polyaromatic hydrocarbons). بالإضافة إلى ذلك، تساهم الممارسات الزراعية في التتركّزات الأعلى لمجموع الجزينات المعلقة في المناطق الحضرية والريفية: بعد الحصاد، يُضرمُ المزارعون الصينيون النار في حقولهم في أحيانٍ كثيرةٍ لقتل بذور الأعشاب الضارة والحد من مهاد القش الواقي (ما يبقى من الزرع بعد الحصاد)، مما يُصدِرُ كمياتٍ كبيرةً من مجموع الجزينات المعلقة.

¹⁰ "الحولية الإحصائية للصين لعام 2011" (China Statistical Yearbook 2011)، 2012، الجدول رقم 5-7.

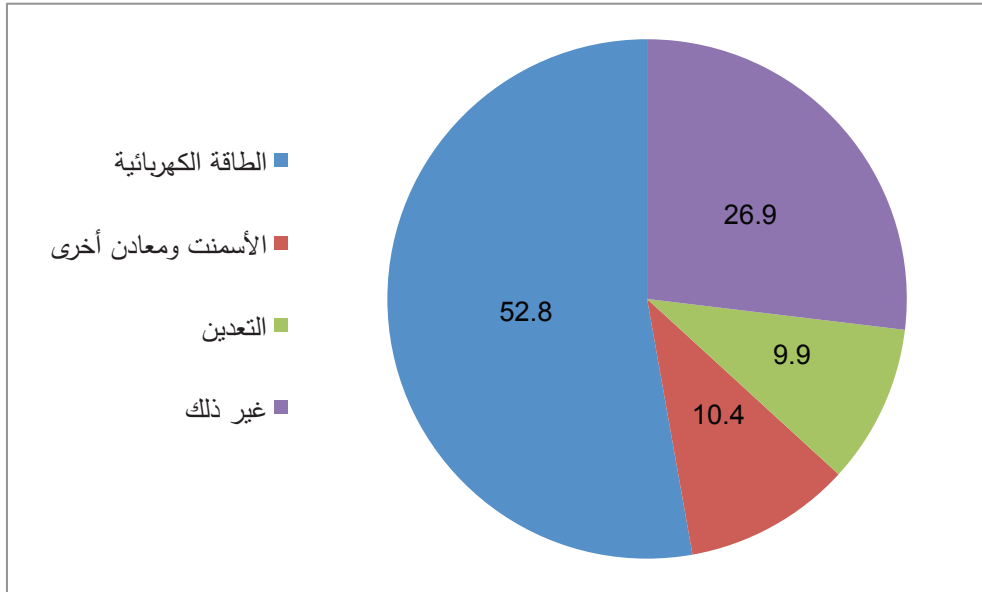
¹¹ المرشحات الكيسية هي مرشحات من قماشٍ تلتقط الجسيمات من غاز العوادم عند مرورها عبر القماش. يعمل المرشّح بشكلٍ دوريٍّ بين الترشيح والتنظيف. أثناء مرحلة التنظيف، تُزالُ الأعبرة المتراكمة من سطح القماش، ويتم ترسيبها للتخلص منها. تُستخدَم أجهزة تنقية الغاز لإزالة الجسيمات وثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide) من مجاري العوادم في المنشآت التي تُحرِقُ الفحم، باستخدام محاليلٍ مائيةٍ في أغلب الأحيان. "الحولية الإحصائية البيئية للصين" (China Environmental Statistical Yearbook)، 2005، 2006، 2007، 2008، 2009، و 2010، جداول انبعاثات غاز العوادم ومعالجته.

¹² "الحولية الإحصائية البيئية للصين" (China Environmental Statistical Yearbook)، 2005 و 2006 و 2007 و 2008 و 2009، و 2010، جداول انبعاثات غاز العوادم ومعالجته.

¹³ "الحولية الإحصائية للصين لعام 2011" (China Statistical Yearbook 2011)، 2012، الجدول رقم 5-7.

¹⁴ "الحولية الإحصائية للصين لعامي 2012 و 2013" (China Statistical Yearbook 2012, 2013)، الجدول رقم 12-15، الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (Energy Information Administration [EIA])، إنترناشونال إنرجي أوتلوك (International Energy Outlook)، 2014a.

الشكل رقم 2.4: النسبة المئوية لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) من المصادر الثابتة الرئيسية في عام 2010



المصدر: "الحولية الإحصائية البيئية للصين" (China Environmental Statistical Yearbook)، 2010، جداول انبعاثات غاز العوادم ومعالجته.

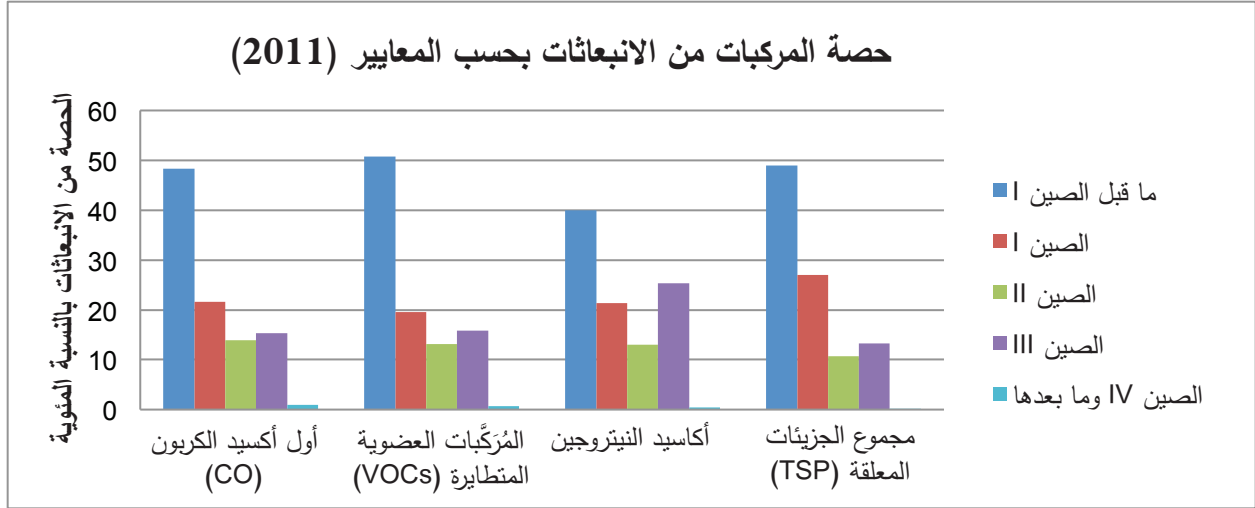
ارتفع عدد السيارات في الصين من 17.4 مليون مركبة عام 2004 إلى 74.8 مليون مركبة عام 2011.¹⁵ منذ عام 2011، استمر الأسطول بالتوسع بمقدار 20 مليون مركبة سنوياً. أما عدد الشاحنات البالغ 17.9 مليون عام 2011، فقد ارتفع بحدّة أقل، فتضاعف بين العامين 2004 و 2011.¹⁶ مع تصاعد أعداد السيارات والشاحنات في الصين، أصبحت المركبات الآلية مصدراً يزداد تسبباً بتلوث الهواء في المناطق الحضرية، لاسيما بأكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides)، والمركبات العضوية المتطايرة (volatile organic compounds [VOCs])، ومجموع الجزيئات المعلقة الصادرة من محركات الديزل (diesel engines). لقد اتبعت الصين معايير الاتحاد الأوروبي بالنسبة للسيارات والشاحنات. لقد شدد الاتحاد الأوروبي معاييرها المتعلقة بالانبعاثات مع مرور الزمن؛ كل مجموعة من معايير الانبعاثات الأكثر تشدداً أُشيرَ إليها برقم. معايير الانبعاثات الحالية، وهي المجموعة الخامسة، تُسمى يورو V/5 (Euro 5/V)، والاتحاد الأوروبي هو الآن في طور بدء العمل بالمجموعة السادسة، يورو VI/6 (Euro 6/VI) هذا العام. شددت الصين هي أيضاً معايير الانبعاثات لديها بشكلٍ تدريجيّ اقتداءً بالاتحاد الأوروبي. يتوافق معيار الانبعاثات الأول لدى الصين، الصين I (China I) مع يورو I/1 (Euro 1/I)؛ إن المعيار الساري المفعول الآن هو الصين IV (China IV). تضع هذه المعايير حدوداً على انبعاثات السيارات من أول أكسيد الكربون (carbon monoxide [CO])، والمركبات العضوية المتطايرة (volatile organic compounds [VOCs])، وأكاسيد النيتروجين ومجموع الجزيئات المعلقة (TSP). بما أنّ كل السيارات الجديدة يتحتم بيعها ومزودة بهذه الأجهزة لمكافحة التلوث، ويتم التركيب في مصنع التجميع، فإنّ الانبعاثات من السيارات الجديدة تستوفي هذه المعايير.¹⁷ من الممكن أن تخفق أنظمة التفقيش في الصين مع مرور الزمن في ضمان أن تستمر المركبات في استيفاء هذه المعايير. ولكن، كما هو مبين في الشكل رقم 2.5، فإن معظم الانبعاثات تولدها المركبات القديمة التي تفتقر إلى أجهزة مكافحة التلوث.

¹⁵ "الحولية الإحصائية للصين لعام 2012" (China Statistical Yearbook 2012)، 2013، أسطول المركبات.

¹⁶ "الحولية الإحصائية للصين لعام 2012" (China Statistical Yearbook 2012)، 2013، أسطول المركبات.

¹⁷ وزارة الحماية البيئية في جمهورية الصين الشعبية (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China)، "التقرير السنوي لمكافحة انبعاثات المركبات في الصين" (China Vehicle Emission Control Annual Report)، الإدارة البيئية الوطنية للمركبات الحديثة الإنتاج (National Environmental Management of New Production Vehicles)، 2014، القسم رقم III.

الشكل رقم 2.5: مصادر انبعاثات المركبات الآلية بحسب تكنولوجيا مكافحة التلوث



المصدر: تم حسابها من بياناتٍ في "الحوالية الإحصائية للصين" (*China Statistical Yearbook*)، 2012؛ ووزارة الحماية البيئية في جمهورية الصين الشعبية (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China)، 2014.

لقد نجح عددٌ من البلدان في الحد من تلوث الهواء إلى حدٍ كبير. بحسب الإحصاءات الرسمية، لقد أحرزت الصين بالفعل بعض التقدم في الحد من انبعاثات مجموع الجزيئات المعلقة (TSP)، وثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide)، وأكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides)، مما أنتج بعض التحسينات في جودة الهواء في المدن الرئيسية، كما هو مبينٌ في الشكلين رقم 2.1 و 2.2 في الفصل السابق. وعلى الرغم من ذلك، فإن مستويات تلوث الهواء بالجسيمات في الصين ما زالت أعلى من تلك التي كانت سائدةً في الولايات المتحدة قبل إقرار قانون الهواء النقي (Clean Air Act) عام 1970.¹⁸ وعلى الرغم من أن كل الأمم المتطورة حدّت من تلوث الهواء بنجاح، فإنّ أياً منها لم تواجه حجم الانخفاضات التي تحتاجها الصين.

تشمل إجراءات الحد من تلوث الهواء التي حطّيت ببعض النجاح في الصين وبلدانٍ أخرى:

- 1) إنهاء الاستخدام السكني والتجاري للفحم عن طريق الاستعاضة عنه بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane)
- 2) تركيب أجهزة لمكافحة التلوث على المصادر الثابتة الرئيسية وتشغيلها
- 3) إغلاق محطات توليد الكهرباء التي تعمل بإحراق الفحم والاستعاضة عنها بمحطاتٍ تعمل بأنواع وقودٍ أنقى مثل الغاز الطبيعي، أو الطاقة النووية، أو أنواع الوقود المتجدد
- 4) فرض تركيب أجهزة لمكافحة التلوث في المركبات الآلية الجديدة وتشغيلها بينما يتم إيقاف المركبات القديمة التي تخلو من هذه الأجهزة عن العمل
- 5) إغلاق المحطات الصناعية التي لا يمكن تركيب أجهزة لمكافحة التلوث فيها من حيث الجدوى الاقتصادية، أو تلك التي تقع في المناطق المكتظة بالسكان.

لقد سبق أن استخدمت الصين جميع هذه الإجراءات في السياسات. نوفر في هذه الدراسة تقديراتٍ للتدرّج من حيث الحجم في ما يتعلق بمدى حاجة بعض هذه الإجراءات للتوسعة بحيث تكون التحسينات الأساسية الإضافية في جودة الهواء في المدن الصينية ممكنة.

الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane) للاستخدام السكني والتجاري

إذا كان للمدن الصينية أن تستوفي معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لجودة الهواء، فإنّ ممارسة إحراق الفحم، والكتلة البيولوجية، والنفايات البلاستيكية في المناطق الحضرية من قبل المُستخدِمين من السكان والتجاربيين سوف يتحتم أن تنتهي. إنّ إحراق الكتلة البيولوجية والنفايات في الخارج أو في المواقف المنزلية يُنتج أحجاماً كبيرة جداً من الملوثات في الكيلوغرام الواحد من المادة المُحرّقة على مقربةٍ شديدةٍ من المراكز السكانية.¹⁹ إنّ العديد من الغلايات والأفران في مناطق الصين الحضرية التي تُحرقُ هذه الأنواع من الوقود غير مجهزةٍ بأجهزةٍ لمكافحة التلوث. على ضوء عُمر هذه

¹⁸ تم حسابها بناءً على معلوماتٍ من تشين وإبنستين وغرينستون ولي (Chen, Ebenstein, Greenstone, and Li)، 2013.

¹⁹ وكالة حماية البيئة (Environmental Protection Agency)، "المخاطر الخفية للإحراق في الفناء الخلفي" (The Hidden Hazards of Backyard Burning)، واشنطن العاصمة، 2003.

الوحدات وضيّق نطاقها، فإنّ تركيب أجهزة مكافحة التلوث وتشغيلها بحيث يصبح من الممكن الحد من الانبعاثات إلى مستوياتٍ تتسبّق مع معايير منظمة الصحة العالمية لجودة الهواء إما لن يكون مجدداً أو أنه سيكون أكثر كلفةً من الانتقال إلى مصادرٍ بديلةٍ بالنسبة للوحدات الأكبر حجماً. سوف يكون ضمان أن تعمل هذه الوحدات بشكلٍ صحيحٍ صعباً أيضاً. على امتداد عدة عقود ماضية، وَجَدَت معظم البلدان أنّ الفحم ينبغي الاستعاضة عنه بالغاز الطبيعيّ أو الحرارة الكهربائية التي تولدها أنواع وقودٍ غير الفحم، من أجل الحد بشكلٍ فعالٍ من انبعاثات الغلايات المُستخدَمة للتدفئة في المساكن والأماكن التجارية. خلال القرن الأخير، فَرَضَت لندن وبودابست الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو غير ذلك من أنواع الوقود من أجل التدفئة، بوصف ذلك وسيلةً للحد من تلوث الهواء. وتسير بيجين بالفعل في الاستعاضة عن جميع منشآتها العاملة بإحراق الفحم، ويشمل ذلك محطات التوليد المشترك للحرارة والطاقة، بمحطاتٍ تعمل بإحراق الغاز. كان من المقرّر أن تكون جميع المحطات التي تعمل بإحراق الفحم قد أُغْلِقَت مع نهاية عام 2014.²⁰ إنّ إحراق الغاز الطبيعيّ أو البروبين (propane) لا يُصدِرُ شيئاً تقريباً من الجُسيماتِ أو ثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide)، وإن كان يُصدِرُ أكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) وأول أكسيد الكربون (carbon monoxide). إذا كان للغاز الطبيعيّ أن يحل محل الفحم أو الكتلة البيولوجية أو البلاستيك وغير ذلك من القمامة في كل الغلايات في المدن الصينية، فإنّ تَرَكُّزات الجُسيماتِ وثاني أكسيد الكبريت في المناطق الحضرية سوف تهبط بشكلٍ حاد، كما حدث في مدنٍ في الولايات المتحدة وأوروبا.

سوف تحتاج حكومات المدن والمقاطعات إلى تنفيذ إجراءٍ كهذا. لقد برهنت حكومات المدن الكبرى — لاسيما بيجين، حيث أضحى تلوث الهواء مشكلةً سياسيةً حادة — عن الإرادة السياسية والإمكانية والتمكن من إنفاذ إجراءٍ كهذا، على الأقل بالنسبة للبنى التحتية السكنية والمؤسسات التجارية. مع إعلان الحكومة الصينية "الحرب" على التلوث، أصبحت الحكومات البلدية في المدن الأصغر عالفةً بين شِقَي الرّحى: بما أنها تنقِر إلى الموارد المالية التي لدى شانغهاي وبيجين، فإنها قد تكون أكثر ممانعةً لفرض هذه التكاليف على شركات الأعمال، ولكنها أيضاً واقعةً تحت ضغط تنفيذ إجراءات الحد من التلوث.²¹ لأسبابٍ مرجعها العادة والكلفة، من المرجح أن تقاوم العديد من الأسر والمنشآت الاستعاضة عن الفحم والقمامة بالغاز الطبيعيّ أو البروبين، لاسيما إذا احتاجت لشراء فرنٍ أو موقدٍ جديد، وكذلك، بالنسبة للغاز الطبيعيّ، إذا احتاجت لتركيب أنبوب تغذيةٍ رابط. في هذه الحالات، يجب على الحكومات المحلية أن تُنَبِّت أنشطة المفتشين الذين أظهروا الاستعداد للإغضاء في مقابل رشوة.²² قد يكون تخصيص خطوطٍ ساخنةٍ أو غير ذلك من وسائل الإبلاغ عن الانتهاكات خطوةً إضافيةً ضروريةً على الأرجح.

بيّن الجدول رقم 3.1 تقديراتنا للكمية الإضافية من الغاز الطبيعيّ التي قد تحتاج الصين لشراؤها من أجل الاستعاضة عن كل الفحم الذي يُستخدَم حالياً من قِبَل المستخدمين السكنيين والتجاربيين. (لتسهيل العملية الحسابية، اخترنا أن نركّز على الغاز الطبيعيّ فقط، لا البروبين، ولكنّ الكلفة في وحدة الحرارة البريطانية [BTU] بالنسبة لهذين النوعين من الوقود متماثلةً في شرق آسيا.) من أجل حساب هذه الأرقام، افترضنا أنّ الطاقة التي يحتويها الطن المتريّ المعياريّ من الفحم تبلغ 27.8 مليون وحدة حرارة بريطانية (British Thermal Units [BTUs])، وأنّ محتوى الطاقة لألف مترٍ مكعبٍ من الغاز الطبيعيّ يبلغ 36.1 مليون وحدة حرارة بريطانية.²³ بعد ذلك نفترض أنّ وحدة حرارة بريطانيةٍ من الغاز الطبيعيّ يمكنها أن

²⁰ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "الصين" (China)، صفحة إنترنت، فبراير/شباط 2014b.

²¹ مايكل مارتيئا وآخرون (Michael Martina et al.)، "الصين تعتزم 'إعلان الحرب' على التلوث، على حد قول رئيس الوزراء" (China to 'Declare War' on Pollution, Premier Says)، رويترز (Reuters)، 5 مارس/آذار، 2014.

²² يوان شو (Yuan Xu)، "التحسينات في تشغيل أجهزة تنقية الغاز من ثاني أكسيد الكبريت في محطات الطاقة الصينية العاملة بإحراق الفحم" (Improvements in the Operation of SO₂ Scrubbers in China's Coal Power Plants)، إنفايرونمنتال ساينس أند تكنولوجي (Environmental Science & Technology)، مجلد رقم 45، عدد رقم 2، 2011، ص. 385-380.

²³ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، غير مؤرّخ.

تحلّ محل وحدة حرارة بريطانية من الفحم في الاستخدام السكني والتجاري. هذا الافتراض مُحافظ، إذ نتوقع أن تكون الأفران الجديدة التي تعمل بإحراق الغاز الطبيعي أكثر فعاليةً من الغلايات التي تعمل بإحراق الفحم بالنسبة للاستخدامات السكنية والتجارية.

الجدول رقم 3.1: الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للاستخدام السكني والتجاري

الاستخدام	استخدام الفحم (ملايين الأطنان من المقابل المعياري للفحم)	التحويل (آلاف الأمتار المكعبة في الطن المتري)	المقابل من الغاز الطبيعي (مليارات الأمتار المكعبة)
التجاري	22.1	0.77	17.0
السكني	92.1	0.77	70.8
المجموع	114.2		87.8

المصدر: "الحولية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2013، الجدول رقم 5-8؛ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "التحويلات إلى المقابل الطاقوي" (Energy Equivalent Conversions)، صفحة إنترنت، غير مؤرّخ.

كان الاستهلاك الإجمالي للفحم في الصين 3.61 مليار طن من المقابل المعياري للفحم (standard coal equivalent) عام 2011. استهلك منها 114 مليون طن (3.2 في المئة من الاستهلاك الإجمالي) من قبّل الأسر والمؤسسات التجارية. بما أن الغلايات والأفران التي تُحرق هذا الوقود تخلو أحياناً كثيرةً من أجهزة مكافحة التلوث، ولأنّ الفحم يجري حرقه داخل المدن، فإنّ درجة عدم التناسب في تأثير الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي على تحسين جودة الهواء في المنطق الحضرية كبيرة؛ قد تهبط تركّزات مجموع الجزيئات المعلقة (TSP) وثاني أكسيد الكبريت بما يتجاوز نسبة 3.2 في المئة بكثير في المناطق الحضرية.

لكن من أجل أن تقوم الصين بهذا الأمر، فإنها قد تحتاج لشراء 88 مليار متر مكعب إضافي من الغاز الطبيعي. إنّ هذه كمية كبيرة، لاسيما بالنظر إلى كمية الغاز الطبيعي التي استهلكتها الصين عام 2012، والتي تبلغ 147 مليار متر مكعب — مما يعني أنّ هذا الإجراء في السياسات سوف يستتبع شراء كمية من الغاز الطبيعي تتجاوز ما استهلكته الصين منه ذلك العام بنسبة 60 في المئة. تساوي هذه الزيادة 13 في المئة تقريباً من الاستهلاك الأمريكي الإجمالي من الغاز الطبيعي عام 2012. إن التوقعات الصينية بشأن الإمداد المتزايد للغاز الطبيعي (من الإنتاج الداخلي والواردات) تطرح تصوراً لزيادة تبلغ 48 مليار متر مكعب بحلول عام 2015. سيحتج على الصين إنتاج أو استيراد 40 مليار متر مكعب إضافي من الغاز الطبيعي علاوةً على الزيادات المُخطّط لها حالياً من أجل استخدامه بدلاً من كل الفحم الذي تستهلكه الأسر والمؤسسات التجارية حالياً.²⁴

تركيب أجهزة مكافحة التلوث وتشغيلها والاستعاضة عن الفحم بأنواع أنقى من الوقود من أجل توليد الكهرباء

إنّ قرابة 90 في المئة من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم في الصين قد ركبّت أجهزة لمكافحة التلوث من أجل الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide).²⁵ لقد ساهمت هذه الأجهزة في التراجعات التي أُبلغ عن

²⁴ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، 2014b.

²⁵ احشيت استناداً إلى بان لي (Pan Li)، "الوضع الحالي لمسألة مكافحة الملوثات بالنسبة لمحطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم في الصين" (Current Status of Pollutant Control for Coal-fired Power Plants in China)، مكتب الأبحاث (Research Office) (مركز صناعة الطاقة والحماية البيئية وتغير المناخ [Center of Power Industry Environmental Protection & Climate Change])، مجلس الكهرباء الصينية (China Electricity Council)، مايو/أيار 2014.

حدثها في هذه الانبعاثات في الصين (الشكل رقم 2.3). بسبب الفعالية الأكبر لمحطات الطاقة الصينية فوق الدرجة والدرجة للغاية التي تعمل بإحراق الفحم، مترافقاً مع تركيب أجهزة تنقية الغاز واستخدامها، أصبحت الصين اليوم تُصدِرُ كمية ثاني أكسيد الكبريت في الكيلوواط-ساعة (KWh) من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم، أقل مما تُصدِرُه الولايات المتحدة. في المحطات الجديدة، تستخدم الصين أكثر التكنولوجيات تقدماً في مجال مكافحة التلوث مما هو متوفّر تجارياً. رُكِّبَت الصين أيضاً أجهزة لمكافحة التلوث من أجل الحد من انبعاثات الجسيمات. إنَّ نسبة تسعين في المئة من القدرة الصينية الناتجة عن إحراق الفحم تستخدم الترسيب الكهروستاتي (electrostatic precipitation) من أجل الحد من انبعاثات الجزيئات؛ إنَّ نسبة 10 في المئة من القدرة تستخدم المرشحات الكيسية. ساهمت هذه الإجراءات في تراجع في انبعاثات الجسيمات الصادرة عن محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم من 16.5 غرام في الكيلوواط-ساعة (grams per KWh) عام 1980 إلى 0.39 غرام عام 2012.²⁶

حتى مع وجود أجهزة مكافحة التلوث، من الصعب التقاط كل انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم. كما هو مبين في الجدول رقم 2.2، فإنَّ معدل مستويات الجسيمات التي يقلُّ قطرها عن 10 ميكرون (PM_{10}) في مدن الصين الرئيسية تظل خمسة أضعاف ما نصَّت منظمة الصحة العالمية (WHO) على أنه متوافق مع الصحة البشرية. تتجاوز تركّزات ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) أيضاً معايير منظمة الصحة العالمية بشكلٍ كبيرٍ في معظم المدن الصينية.

في سبيل الحد من تركّزات الجسيمات وثاني أكسيد الكبريت، استخدمت كل البلدان تقريباً مزيجاً يتمثل في الاستعاضة عن الفحم بأنواع وقودٍ أقلّ تسبباً بالتلوث بالإضافة إلى تركيب أجهزة لمكافحة التلوث في المحطات التي تعمل بإحراق الفحم. إنَّ نصف مجموع الفحم الذي يجري إحراقه في الصين مُستخدَم لتوليد الكهرباء، وهذه المحطات مسؤولة عن نصف مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (الشكل رقم 2.3). من أجل الوصول إلى مستوياتٍ لملوّثات الهواء تدرج تحت معايير منظمة الصحة العالمية، سيكون على الصين أن تستعيض عن كميةٍ كبيرةٍ من الطاقة الكهربائية الناتجة عن إحراق الفحم على الأرجح، لاسيما ضمن أو قرب المراكز السكانية الرئيسية، بتوليدٍ من محطاتٍ للطاقة تستخدم أنواع وقودٍ أخرى أقلّ تلويثاً، مثل الغاز الطبيعي، أو الوقود النووي، أو طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية. معظم البلدان التي حاولت معالجة تلوث الهواء جدياً قد اعتمدت هذه الاستراتيجية.

في عام 2012، كانت نسبة 79 في المئة من كهرباء الصين (3.91 تريليون كيلوواط-ساعة) تولدها أنواع الوقود الحفري، وكانت كلها تقريباً من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم.²⁷ إذا كان للصين أن تحد من استخدامها للفحم من أجل توليد الكهرباء بحيث تُطابق الرقم الأمريكي البالغ 40 في المئة لعام 2013 — وهي نسبةٌ أكثر شيوعاً في البلدان الصناعية — فسيحتّم عليها أن تحد من التوليد عن طريق إحراق الفحم بمقدار 39 نقطة مئوية، أي 1.918 تريليون كيلوواط-ساعة. باستخدام البيانات المُقدَّرة لعام 2012 خطأً مرجعياً، فإنَّ هذا الأمر يستتبع الحد من استهلاك الفحم في قطاع الطاقة من 1,824 مليون طنٍ سنوياً إلى 929 مليون طن، أي 49 في المئة. إذا تم إيقاف محطات الطاقة العاملة بإحراق الفحم وذات الأداء الأسوأ عن العمل أولاً، فمن شأن سياسات كهذه أن تحد من مجموع انبعاثات الجسيمات وثاني أكسيد الكبريت في الصين بما يتجاوز نسبة 25 في المئة بكثير (نصف النصف من مجموع الفحم الذي يجري إحراقه لتوليد الكهرباء).

كانت تقديراتنا بشأن الزيادة الضرورية في استخدام الغاز الطبيعي من أجل التوقف عن استخدام الفحم للتدفئة في المساكن والأماكن التجارية وغير ذلك من الاستخدامات في الصين كبيرة. توجد حدودٌ لتوفر الغاز الطبيعي المُسال (liquefied natural gas [LNG]) عالمياً، كما أنَّ الكلفة أيضاً من العوامل. في ما يتعلق بالسنوات العديدة القادمة، لا نرى دوراً كبيراً

²⁶ لي (Li)، 2014.

²⁷ لي (Li)، 2014.

للغاز الطبيعي من حيث حلوله محل الفحم في توليد الطاقة الكهربائية في الصين، إذا كانت الصين تقوم أيضاً بمحاولة متضافرة من أجل الحد من استخدام الفحم من قِبَل الأسر والقطاعات التجارية. إننا نرى أنه سيتحتم على الصين، لكي تُحدِّد من استخدام الفحم في توليد الطاقة الكهربائية، أن تستعيض عنه بأنواع الوقود المتجدد أو الطاقة النووية.

وفرت الطاقة الكهرومائية للصين 0.866 تريليون كيلوواط-ساعة عام 2012، أي 17.4 في المئة من مجموع الكهرباء التي تم توليدها في البلد. لدى الصين خططاً لتوسيع قدرة الطاقة الكهرومائية من 249 جيجاواط إلى 325 جيجاواط.²⁸ هذه القدرة الإضافية بوسعها توليد 0.264 تريليون كيلوواط-ساعة، أي ما يساوي 5.3 نقاطٍ مئوية عام 2012، من الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم. ولدت الرياح 0.102 تريليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء عام 2012. في عام 2012، كان لدى الصين 61 جيجاواط من قدرة الرياح موصولةً بالشبكة. لقد كانت الصين توسع قدرتها بسرعة، فتخطت لامتلاك ما مجموعه 100 جيجاواط متصلةً بالشبكة بحلول عام 2015. هذه القدرة الإضافية بوسعها توليد 0.064 تريليون كيلوواط-ساعة، أي ما يساوي 1.6 نقاطٍ مئوية من الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم عام 2012. ما زالت الطاقة الشمسية مصدرًا هامشيًا للكهرباء، بوجود 3 جيجاواط فقط تم الإعداد لها عام 2012. لكنَّ الحكومة الصينية تخطِّط لتوسيع القدرة إلى 35 جيجاواط عام 2015.

إنَّ طاقة الرياح والطاقة الشمسية كلاهما متقطع. فسرعات الرياح تتقلب وهي أحياناً تنتفي بالكامل. أما الخلايا الشمسية فتتوقف عن العمل عند غروب الشمس كما أنها تولِّد طاقةً قليلةً في الأيام الغائمة. لقد واجهَ مشغلو الشبكة مصاعبَ في إبقاء إمدادات الطاقة الكهربائية مستمرةً على نحوٍ متساوٍ عندما تصبح الحصة التي توفرها الأنواع المتقطعة من الوقود المتجدد كبيرة. بالاستناد إلى المناقشات الصناعية، اعتمد المؤلفون قاعدةً عامةً هي أنَّ طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية سوف تدعو الحاجة لتقيدهما لكي تُوفَّر حدًّا أقصى قدره 20 في المئة من طاقة الصين؛ في ما يتجاوز هذه العتبة، تنشأ مصاعبُ في إدارة الشبكة. إذا كان للصين أن تستخدم الرياح من أجل توليد 0.996 تريليون كيلوواط-ساعة (20 في المئة من الكهرباء التي استهلكتها الصين عام 2012)، فإنها ستحتاج لتركيب 540 جيجاواط إضافيٍّ من القدرة لبلوغ هذا الهدف، على افتراض أنَّ كل جيجاواط إضافيٍّ من القدرة يولِّد مستوياتٍ ماثلةً من الطاقة كما هو الوضع حالياً. إنَّ هذا يفوق القدرة القائمة الحالية من طاقة الرياح والطاقة الشمسية بتسعة أضعافٍ تقريباً.

يمكن أيضاً بناء محطاتٍ جديدةٍ للطاقة النووية بحيث توفر الكهرباء التي يولدها الفحم حالياً. إذا كان للطاقة المائية أن توفر 0.264 تريليون كيلوواط-ساعة إضافيٍّ، وإذا وفرت الرياح 0.894 تريليون كيلوواط-ساعة إضافيٍّ، فإنَّ هذا سيعني أنَّ المحطات الإضافية للطاقة النووية ستضطر لإنتاج 0.658 تريليون كيلوواط-ساعة، أي 15.2 في المئة من مُخرَج الصين من الطاقة الكهربائية عام 2012، من أجل السماح لها بالحد من الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بقدرٍ يبلغ 39 نقطةٍ مئوية. في عام 2012، تم توليد 2.0 في المئة (0.098 تريليون كيلوواط-ساعة) مما تستهلكه الصين من طاقةٍ بواسطة الطاقة النووية. نُقدِّر أنه في عام 2012، حَقَّقَت محطات الطاقة النووية الصينية استخداماً للقدرة بَلَغَ 90 في المئة، أي أفضل من الولايات المتحدة بشكلٍ طفيف، حيث حَقَّقَت محطات الطاقة النووية معدلاً لاستخدام القدرة بَلَغَ 86 في المئة ذلك العام.²⁹ على افتراض محافظة الصين على أدائها لعام 2012، فإنها ستحتاج لبناء 84 جيجاواط من الطاقة النووية الإضافية الجاهزة للاستخدام، وذلك أكثر بعض الشيء من الهدف الحالي البالغ 58 جيجاواط إضافيٍّ بحلول عام 2020.³⁰

²⁸ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، 2014b.

²⁹ الرقم الذي يخص الصين تم احتسابه من بياناتٍ تتعلق بتوليد القدرة وأعداد الكيلوواط-ساعة (KWh) التي ولَّتها المحطات النووية، "الحولية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2013؛ البيانات التي تخص الولايات المتحدة مستقاة من الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "ما هو مقدار الكهرباء التي تُولِّد محطة نووية نموذجية؟" (How Much Electricity Does a Typical Nuclear Power Plant Generate?)، صفحة إنترنت، تم تحديثها بتاريخ ديسمبر/كانون الأول 2013b.

³⁰ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، 2014b. لاحظ أنَّ الإضافات المطروحة في ما يتعلق بالقدرة تحل فقط محل محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم والتي كانت تعمل عام 2012. إنها لا تأخذ النمو المُحتَمَل في الطلب الصيني على الكهرباء بعين الاعتبار، مما سوف يجعل من القدرة الإضافية أمراً ضرورياً.

استناداً إلى هذه المناقشة، يبيّن الجدول رقم 3.2 كيف يمكن للصين أن تستعوض بأنواع الوقود المتجدد والطاقة النووية عن 1.918 تريليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء التي تولدها محطات الطاقة العاملة بإحراق الفحم. نلاحظ أنّ هذه التقديرات تستند إلى توليد الطاقة الكهربائية عام 2012. مع أنّ الزيادات في استهلاك الطاقة الكهربائية في الصين قد تباطأت بشكلٍ كبيرٍ عامي 2013 و2014، فإنّ خطط توسيع القدرة التي ناقشناها تستند إلى زياداتٍ مستمرةٍ في الطلب. سيحتّم تلبية هذه الزيادات من خلال الإضافات في القدرة بما يفوق ويتجاوز تلك المبيّنة في الجدول رقم 3.2.

الجدول رقم 3.2: الاستعاضة عن 1.9 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh) من الكهرباء التي تم توليدها بواسطة الفحم، بالوقود النوويّ وأنواع الوقود المتجدد

الوقود	القدرة الإضافية (جيجاواط) (GW)	المُخرَج الإضافي (تريليون كيلوواط-ساعة) (KWh)	الزيادة عن مُخرَج عام 2012 (بالنسبة المئوية)
المائيّ	76	0.264	31
الرياح	540	0.894	890
النوويّ	84	0.758	769
المجموع	700	1.918	

المصادر: حسابات مؤسسة RAND استُخدمت فيها "الحولية الإحصائية للصين" (China Statistical Yearbook)، 2013، الجدول رقم 6-8؛ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، 2014b؛ ولي (Li)، 2014.

تركيب أجهزة مكافحة التلوث في المركبات الآلية وإلغاء المركبات القديمة

لقد كانت المركبات الآلية مصدراً تزداد سرعته في التسبب بالتلوث في الصين، لاسيما بانبعاثات أكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides). كما تمت ملاحظته مسبقاً، كانت الصين تعالج هذه المشكلة عن طريق اعتماد معايير تلوث الهواء الأكثر تشدداً التي لدى الاتحاد الأوروبي (EU) وإنفاذها. إن معظم المركبات الآلية التي تُباع في الصين تصنعها مشاريعٌ مشتركةٌ بين الشركات الدولية للسيارات والشركات الصينية،³¹ مما يعني أنّ المنتجين الصينيين الداخليين يستطيعون الوصول إلى تكنولوجيات مكافحة التلوث التي يستخدمها المصنّعون الدوليون، وأنّ ليست هناك عوائقٌ تكنولوجيةٌ أمام تركيب هذه الأجهزة في المركبات الآلية. لقد صُممت جميع السيارات الصينية بحيث تكون قادرةً على استيفاء معايير الانبعاثات الأوروبية. إنّ أكثر التكنولوجيات تشدداً متوفرةً لدى الصين بالفعل، ويجري تركيبها في المركبات التي تُباع في بيجين (Beijing) ومدنٍ أخرى جُعِلت مسألة الحد من التلوث الناشئ من السيارات فيها أحد الأولويات. تعمل هذه التكنولوجيات بشكلٍ فعالٍ فقط عندما يستوفي الوقود المُستخدَم المعايير المنصوص عليها. لقد وضعت هيئة التنمية الوطنية والإصلاح (National Development and Reform Commission) مواصفاتٍ حازمةً للبنزين والديزل ذي المحتوى الأدنى من الكبريت، بحيث تتمكن تكنولوجيات مكافحة التلوث من العمل بالطريقة التي صُممت لأجلها. لقد اعتمدت معايير الاتحاد الأوروبي المسماة يورو 4/4 (Euro 4/IV) بالفعل بالنسبة لأنواع وقود النقل لعموم الصين بنهاية عام 2014؛ وقد اعتمدت المعايير المسماة يورو 5/5 (Euro 5/V) بالفعل بالنسبة لأنواع وقود المركبات

³¹ أنجلو يَنغ (Angelo Young)، "مبيعات الصين من السيارات الجديدة عام 2013: لقد اشترى المستهلكون الصينيون أكثر من 20 مليون مركبة عام 2013 مع تسابق صانعي السيارات الأجانب للحصول على حصة من السوق" (China New Auto Sales 2013: Chinese Consumers Bought Over 20 Million Vehicles in 2013 as Foreign Automakers Jockey for Market Share)، إنترناشونال بزنس تايمز (International Business Times)، 7 يناير/كانون الثاني، 2014.

الآلية التي تُباع في شانغهاي (Shanghai) وبيجين، وتقرّر اعتمادها لعموم الصين بنهاية عام 2017.³² كما تُبيّنهُ مصادر انبعاثات المركبات الآلية في الشكل رقم 2.3، فإنّ هذه الإجراءات ستؤدي إلى انخفاضات كبيرة في الانبعاثات فقط في حال تم إلغاء المركبات الشديدة التسبب بالتلوث. في الصين، المركبات الأكثر إيداءً مُعلّمةً بلوحات إجازة السير الصفراء، ويُشار إليها بالمركبات ذات "الوسم الأصفر". من أجل الحد من انبعاثات المركبات الآلية بشكلٍ كبير، سيحتّم على الصين أن تُلغى كل أمثال هذه المركبات — تلك التي تخلو من أجهزة لمكافحة التلوث تماماً أو التي تملك أجهزةً بدائيةً فقط، مثل فئة أجهزة الصين I (China I). في عام 2012، كان هناك 14,514,000 من هذه المركبات.³³ لقد التزمت الحكومة الصينية بالفعل بإلغاء 5,000,000 منها بحلول عام 2015، وما تبقى، بحلول عام 2017.³⁴ كما هو مبينٌ في الشكل رقم 2.5، فإنّ إلغاء المركبات الآلية التي تخلو من أيّ أجهزة لمكافحة التلوث أو التي تملك أجهزة الصين I فحسب، كان من شأنه إزالة 70 في المئة من أول أكسيد الكربون (CO)، و70 في المئة من مُركّبات الهيدروكربون المتطايرة (volatile hydrocarbons)، و61 في المئة من أكاسيد النيتروجين، و76 في المئة من الجسيمات التي انبعثت من السيارات في الصين عام 2009.

³² الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "الصين" (China)، 2014b.

³³ وزارة الحماية البيئية (Ministry of Environmental Protection)، 2014.

³⁴ وزارة الحماية البيئية (Ministry of Environmental Protection)، 2014.

4. تكاليف الحد من تلوث الهواء

لقد قدمنا ملاحظة تفيد بأن كلفة تلوث الهواء في الصين قُدِّرت بنسبة 6.5 في المئة من إجمالي الناتج المحلي (GDP). إذا طَبَّقنا هذا الرقم على إجمالي الناتج المحلي للصين، البالغ 8,227 تريليون دولار أمريكي عام 2012، وهو العام الذي تُسندُ إليه الكثير من تحليلنا، يُشير ذلك ضمناً إلى أن الحد من تلوث الهواء في الصين إلى المستويات التي تُعدّ مقبولةً من قِبَل منظمة الصحة العالمية (WHO)، من شأنه أن يعود بمنافع سنوية تبلغ 535 مليار دولار أمريكي. مع ارتفاع الدخل وطغيان الطابع الحضري على الصين بشكلٍ متزايد، فإن هذه التكاليف تتصاعد. وعلى الرغم من أن الإجراءات التي حددناها لن تُفيد على الأرجح في الوصول إلى المستويات التي تُعدّها منظمة الصحة العالمية مقبولة، فإنها ستؤدي بالتأكيد إلى تحسيناتٍ كبيرة في جودة الهواء في الصين؛ إنَّ إجراءات وقف إحراق الفحم والقمامة من قِبَل المُستخدِمين السكنيين والتجاربيين في المناطق الحضرية سيكون مفيداً بشكلٍ خاص.

إنَّ اعتماد هذه الإجراءات سوف يقطع حصةً كبيرةً من كمية الفحم المُستهلك في الصين. إنَّ الاستعاضة عن الفحم المُستخدَم سكنياً وتجارياً، وقرابة نصف مجموع الفحم المُستخدَم لتوليد الكهرباء عام 2012، كان من شأنه أن يؤدي إلى تراجع في استخدام الفحم يبلغ 1.009 مليون طنٍ متري، وهذا يمثل 27 في المئة من استهلاك الصين من الفحم في ذلك العام. عند تقييم هذا الانخفاض بحسب الكلفة الحدية (أي كلفة الفحم المستورد، التي بلغت 74 دولار أمريكي في الطن المتري عام 2012)، فإنَّ انخفاضاً كهذا في استخدام الفحم كان سيُنشِجُ عنه إنفاقٌ أقل على الفحم ذلك العام يبلغ 75 مليار دولار أمريكي.³⁵

تُقدَّر تكاليف ثلاثة إجراءات للحد من تلوث الهواء في الصين:

1. الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane) للاستخدام السكني والتجاري
2. الاستعاضة عن الفحم بأنواعٍ من الوقود المتجدد والوقود النووي من أجل توليد الكهرباء
3. إلغاء المركبات القديمة.

الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane) للاستخدام السكني والتجاري

إنَّ الانبعاثات من الغلايات والأفران المُستخدَمة لتدفئة المباني السكنية والمؤسسات التجارية هي مصدرٌ رئيسيٌ لتلوث الهواء الصيني في المناطق الحضرية. بوسع الصين أن تحسّن من هذا الأمر بشكلٍ كبيرٍ عن طريق الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane). في عام 2011، استُهلك 114 مليون طن من الفحم في الاستخدامات السكنية والتجارية. كان يتحتم على الصين، من أجل الاستعاضة عن هذا الفحم، أن تستخدم 88 مليار متر مكعب (7.84 تريليون قَدَم مكعب) من الغاز الطبيعي أو البروبين؛ في عام 2012، دَفَعَت الصين، في المتوسط، 360 دولار أمريكي في المتر المكعب (أي 10.20 دولار أمريكي في القَدَم المكعب) من الغاز الطبيعي؛ ارتفعت الأسعار ارتفاعاً حاداً عام 2013 بسبب الطلب المتزايد على الغاز الطبيعي المُسال (LNG) في شرق آسيا، مما دفع بالأسعار إلى 587 دولار أمريكي للمتر المكعب (16.60 دولار أمريكي للقَدَم المكعب).³⁶ بحسب معدلات الأسعار لعام 2012، فإنَّ كلفة 221

³⁵ حسابات مؤسسة RAND استناداً إلى الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "التقرير الفصلي حول الفحم، أبريل/نيسان-يونيو/حزيران 2014" (Quarterly Coal Report, April-June 2014)، الجدول رقم 10.

³⁶ الوكالة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "الصين" (China)، مايو/أيار 2014b.

مليار متر مكعب إضافي من الغاز الطبيعي كانت ستبلغ 80 مليار دولار أمريكي؛ بحسب السعر الأعلى، كانت الكلفة ستبلغ 130 مليار دولار أمريكي. يعرض الجدول رقم 4.1 هذه التكاليف السنوية.

الجدول رقم 4.1: التكاليف السنوية لسياسات الحد من تلوث الهواء في الصين

الإجراء في السياسات	السعر (بالدولار الأمريكي بقيمة عام 2012)	الكلفة	الكلفة الإجمالية (بمليارات الدولارات الأمريكية بقيمة عام 2012)																																																
الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للاستخدام السكني والتجاري																																																			
متوسط سعر الغاز الطبيعي المُسال (LNG) في شرق آسيا عام 2012	360/متر مكعب	88 مليار متر مكعب	32																																																
سعر الغاز الطبيعي المُسال (LNG) عند الذروة في شرق آسيا عام 2012	587/متر مكعب	88 مليار متر مكعب	52	الاستعاضة عن الكهرباء الناتجة عن إحراق الفحم بأنواع وقودٍ أخرى				الطاقة المائية	90.30 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.26 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	24	طاقة الرياح	86.60 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.89 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	78	الطاقة النووية	108.40 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.76 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	82	المجموع			184	المجموع الإجمالي				الحد المنخفض (يفترض سعراً أدنى للغاز الطبيعي)			215	الحد المرتفع (يفترض سعراً أعلى للغاز الطبيعي)			235	قيمة الفحم الذي جرى توفيره (بملايين الأطنان المترية)	74	1,009	75	مجموع التكاليف السنوية الصافية المباشرة				الحد المنخفض			140	الحد المرتفع			160
الاستعاضة عن الكهرباء الناتجة عن إحراق الفحم بأنواع وقودٍ أخرى																																																			
الطاقة المائية	90.30 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.26 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	24																																																
طاقة الرياح	86.60 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.89 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	78																																																
الطاقة النووية	108.40 لآلاف كيلوواط-ساعة (KWh)	0.76 تريليون كيلوواط-ساعة (KWh)	82																																																
المجموع			184																																																
المجموع الإجمالي																																																			
الحد المنخفض (يفترض سعراً أدنى للغاز الطبيعي)			215																																																
الحد المرتفع (يفترض سعراً أعلى للغاز الطبيعي)			235																																																
قيمة الفحم الذي جرى توفيره (بملايين الأطنان المترية)	74	1,009	75																																																
مجموع التكاليف السنوية الصافية المباشرة																																																			
الحد المنخفض			140																																																
الحد المرتفع			160																																																

المصدر: حسابات مؤسسة RAND

الاستعاضة عن الفحم بأنواعٍ من الوقود المتجدد والوقود النووي من أجل توليد الكهرباء

تختلف دوافع كلفة الكهرباء بشكلٍ كبيرٍ بحسب المصدر. مثلاً، كلفة طاقة الرياح تدفعها كلفة رأس المال المتعلقة بتركيب التربينات الهوائية. كلفة محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الغاز الطبيعي تدفعها بشكلٍ أولي كلفة الغاز الطبيعي. تكاليف الطاقة النووية تدفعها تكاليف البناء؛ تكاليف الوقود النووي متواضعة نسبياً.

من أجل تقييم كلفة الاستعاضة عن الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بمصادر الكهرباء الثلاثة التي تمت مناقشتها (الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة النووية)، نستخدم الكلفة المستوية (levelized cost) للكهرباء لكل نوعٍ من أنواع الطاقة. نعني بهذا معدل كلفة توليد كيلوواط-ساعة (KWh) واحد من الكهرباء على مدى حياة المنشأة؛ أي عندما يتم احتساب معدل تكاليف رأس المال المتعلقة ببناء المنشأة بالنسبة للكهرباء التي تم توليدها على مدى حياة المحطة. تُقيّم الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA) التكاليف المستوية لكلٍ من هذه المصادر للكهرباء بشكلٍ دوري.

لقد افترضنا أنّ الطاقة الكهرومائية الجديدة يمكنها الحلول محل 0.264 تريليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء المُنتَجة بإحراق الفحم، وأنّ الطاقة الجديدة من الرياح يمكنها أن تحل محل 0.758 تريليون كيلوواط-ساعة، وأنّ الطاقة النووية الجديدة يمكنها أن تحل محل 0.785 تريليون كيلوواط-ساعة. تُقدّر الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة أنّه في عام 2012، كُفّت الطاقة المائية الجديدة 90.30 دولار أمريكيّ في الألف كيلوواط-ساعة، وأنّ الرياح الساحلية كُفّت 86.60 دولار أمريكيّ، وأنّ الطاقة النووية المتقدمة كُفّت 108.40 دولار أمريكيّ.³⁷ مع أنّ التكاليف في الصين قد تكون مختلفةً بعض الشيء بسبب الاختلافات في الأجور وعمليات الحصول على التصاريح التي يُحتمل أن تكون أسرع، نعتقد أنّ أوجه التشابه في التكاليف تبرر استخدام هذه الأرقام. تستخدم الصين تكنولوجياتٍ وموادٍ — وفي كثير من الحالات، أجهزةً — مشابهةً لما تستخدمه الشركات الأمريكية في هذا المجال. في أعقاب كارثة فوكوشيما (Fukushima disaster) في اليابان، أصبحت الصين تعتمد تفتيشاً، وتصريحاً، وإجراءاتٍ للسلامة كتلك التي تستخدمها المرافق التي بنّت وتُشغّل مفاعلاتٍ في الولايات المتحدة. بالاستناد إلى هذه التقديرات من التكاليف، فإنّ استخدام هذه المصادر للطاقة من أجل توليد الكميات المُخطّط لها من الكهرباء سوف يَنْتُج عنه نفقاتٌ سنويةً متكررةً تساوي 23.9 مليار دولار أمريكيّ، و77.5 مليار دولار أمريكيّ، و82.2 مليار دولار أمريكيّ على التوالي، بقيمة الدولار الأمريكيّ عام 2012.

إلغاء المركبات القديمة

كما تم بيانه في الشكل رقم 2.4، فإنّ المركبات المجهزة بمكافحاتٍ بدائيةٍ للتلوث أو تلك التي تخلو منها، تمثل معظم الانبعاثات من المركبات الآلية. لقد كان هناك 14,514,000 من هذه المركبات ذات "الوسم الأصفر" في الصين عام 2012. وعلى الرغم من أنّ الحكومة الوطنية الصينية سبقَ وأن فرّضت إلغاء 5,000,000 من هذه المركبات بحلول عام 2015، وما تبقى بحلول عام 2017، فإنّ إزالة هذه المركبات على الفور، سيَنْتُج عنه انخفاضاتٌ كبيرةٌ في التلوث. معظم هذه المركبات كانت قد أهلّكت قيمتها بالكامل، وقيمتها محدودةٌ في إعادة البيع. بدأت مدينة دونغوان (Dongguan) في إقليم غوانغدونغ (Guangdong) العمل ببرنامجٍ لشراء هذه المركبات القديمة وإلغائها. السعر الأقصى الذي وفرته دونغوان هو 9,000 رنمينبي (RMB) بالنسبة للسيارات، و18,000 رنمينبي بالنسبة للشاحنات، أي 1,430 دولار أمريكيّ و2,860 دولار أمريكيّ، على التوالي، بقيمة الدولار الأمريكيّ عام 2012. إنّ ضرب عدد المركبات المتبقية ذات "الوسم الأصفر" في هذه الأسعار يُنتُج كلفةً إجماليةً على الصين تتراوح بين 21 مليار دولار أمريكيّ و42 مليار دولار أمريكيّ، من أجل الإلغاء الفوريّ لهذه المركبات، إذا كان للحكومة الوطنية أن تعتمد برنامج دونغوان بالنسبة للبلد بأكمله (الجدول رقم 4.2). لاحظ أنه على عكس تكاليف الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعيّ أو غيره من أنواع الوقود، فإنّ تكاليف الإلغاء الفوريّ للمركبات ذات "الوسم الأصفر" هي تكاليفٌ غير متكررة ولن تدعو إليها الحاجة ثانيةً.

الجدول رقم 4.2: التكاليف غير المتكررة لإلغاء المركبات القديمة من أجل الحد من تلوث الهواء في الصين

إلغاء المركبات القديمة	الكمية	السعر (بالدولار الأمريكيّ بقيمة عام 2012)	الكلفة الإجمالية (بمليارات الدولارات الأمريكية بقيمة عام 2012)
على افتراض أنّ كل المركبات القديمة سيارات	14.5 مليون	1,430	21
على افتراض أنّ كل المركبات القديمة شاحنات	14.5 مليون	2,860	42

المصدر: حسابات مؤسسة RAND

³⁷ الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (EIA)، "الكلفة المستوية لموارد الجيل الجديد في التوقعات السنوية بشأن الطاقة لعام 2013" (Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2013)، يناير/كانون الثاني 2013a.

المنافع الصافية

كما هو مبيّن في الجدولين رقم 4.1 و4.2، فإن الإجراءات لن تكون عديمة الكلفة. النفقات السنوية المتكررة لهذه السياسات قد تتراوح بين 32 مليار دولار أمريكي و52 مليار دولار أمريكي، جزاء الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي للتدفئة في المساكن والأماكن التجارية، و184 مليار دولار أمريكي للاستعاضة عن نصف عملية توليد الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم في الصين بأنواع الوقود المتجدد أو الطاقة النووية — مما يؤدي إلى مجموع النفقات المتكررة يتراوح بين 215 مليار دولار أمريكي و235 مليار دولار أمريكي سنوياً. عند طرح قيمة الفحم (75 مليار دولار أمريكي) الذي لن يُستخدَم، سوف تتراوح التكاليف السنوية الصافية في مجموعها الكلي بين 140 مليار دولار أمريكي و160 مليار دولار أمريكي. هذه الإجراءات التي جرى تنفيذها جميعاً بشكلٍ جزئيٍّ من قِبَل الحكومة الوطنية وحكومات المدن، ينبغي أن تؤدي إلى تحسيناتٍ كبيرةٍ في جودة الهواء في المناطق الحضرية. سوف يتم التوصل إلى الحد من تراكُزات الجُسيمات، وثاني أكسيد الكبريت (sulfur dioxide)، وأكاسيد النيتروجين (nitrogen oxides) بنسبة الربع على الأقل، وعلى الأغلب، بما يفوق ذلك بكثير، مما سيؤدي إلى الحد بشكلٍ كبيرٍ من التكاليف السنوية لتلوث الهواء في الصين. يُرجَّح أن تكون المنافع الاقتصادية الصافية كبيرة. إن التكاليف السنوية الصافية للإجراءين الأولين تُساوي أقل من ثلث التكاليف المُتوقَّعة لتلوث الهواء في الصين؛ والتي تُقدَّر بـ535 مليار دولار أمريكي تقريباً عام 2012 (6.5 في المئة من إجمالي الناتج المحلي [GDP] للصين).

نحن لا نفوض في المساهمات النسبية في تلوث الهواء الآتية من الإحراق السكني والتجاري للفحم، أو الفحم المُستخدَم لتوليد الكهرباء، أو من المركبات الآلية لأنه، بالإضافة إلى القيود الناجمة عن توفر البيانات، فإن الأسباب الأولية لتلوث الهواء في المناطق الحضرية تختلف من مدينةٍ لمدينةٍ بحسب الطقس، والهيكلية الصناعية، ومُلكية المركبات الآلية، والتضاريس الطبيعية. على الرغم من نقاط الاحتراز هذه، فإننا نرى أنه من بين المبادرات الثلاث التي ناقشناها في السياسات، ينبغي أن تكون أولوية الأمد القريب الاستعاضة عن الفحم بالغاز الطبيعي أو البروبين (propane) للاستخدام السكني والتجاري. لقد وثَّق تشين وآخرون (Chen et al.) التأثيرات الوخيمة للانبعاثات من الغلايات والمواد التي تتعدى بالفحم أو الخشب أو النفايات، على الصحة ومتوسط العمر المُتوقَّع في شمال الصين.³⁸ إن إنهاء استخدام هذه الأنواع من الوقود في المناطق الحضرية سيؤدي إلى قطع مسافةٍ كبيرةٍ باتجاه الحد من تلوث الهواء في المناطق الحضرية، لاسيما في أشهر الشتاء.

سوف تقع كلفة هذه السياسات بشكلٍ أوليٍّ على ساكني المناطق الحضرية، وبدرجةٍ أقل، على المؤسسات التي تعمل بالتجزئة وغيرها من المؤسسات التجارية. لكنَّ هؤلاء هم بالتحديد الأفراد الذين يعانون إلى الحد الأقصى من تلوث الهواء هذا. كما في البلدان الأخرى، من شأن الإعانات البلدية الهادفة إلى توسيع شبكات توزيع الغاز الطبيعي، أو شراء أفرانٍ جديدة، أن تخفف بعض هذه الأعباء. إنَّ تكاليف هذه السياسات، بِحَدِّها اللذين يتراوحان بين 32 مليار دولار أمريكي و52 مليار دولار أمريكي سنوياً، ستُرتَّبُ من 50 دولار أمريكي إلى 100 دولار أمريكي للفرد بالنسبة لسكان المناطق الحضرية، أي 4 دولارات أمريكية إلى 9 دولارات أمريكية شهرياً. هذه التكاليف وإن لم تكن تافهة، فإنَّ معظم السكان الحضريين في الصين يقدرّون على احتمالها. إنَّ الانخفاضات في التكاليف الصحية (التي من الممكن أن تُعدَّل كلفة السياسات) تشير إلى أن هذا الأمر هو تحركٌ نافعٌ جداً من المنظور الاقتصادي والصحي على حدٍّ سواء.

إننا نقدر أن تكون كلفة الاستعاضة عن نصف الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بالطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة النووية 184 مليار دولار أمريكي. إنَّ الاستعاضة عن الطاقة الناتجة عن إحراق الفحم بمصادرٍ طاقةٍ أخرى هو أكثر الإجراءات في السياسات كلفةً من بين الثلاثة التي نقيّمها، ومن شأن هذا الإجراء أن يكون المساهم الأكبر في الحد من مُجمَل انبعاثات مجموع الجزيئات المعلقة (TSP) وثاني أكسيد الكبريت في الصين. لكنَّ تأثير الاستبدال على جودة

³⁸ تشين، إبنستين، وآخرون (Chen, Ebenstein, et al.)، 2013.

الهواء في المناطق الحضرية قد لا يكون بالحجم الذي يُشير إليه التراجع المتوقَّع في الانبعاثات. فمعظم محطات الطاقة في الصين لا تقع في المناطق الحضرية. على الرغم من أن تلوث الهواء المحمول بواسطة الرياح، والذي تسببه محطات الطاقة التي تعمل بالطاقة الناتجة عن إحراق الفحم هو عاملٌ أساسيٌّ في تحديد جودة الهواء في المناطق الحضرية في الصين، فإنّ مصادر تلوث الهواء الواقعة داخل حدود كل مدينة هي بشكلٍ عامٍّ ذات تأثيرٍ مباشرٍ أكثر. لذا، نضع هذا الإجراء في السياسات في المرتبة الثانية من حيث الأولوية، بعد إنهاء استخدام الفحم للأغراض السكنية والتجارية. إن تكاليف هذه السياسات ستُحمَل على نطاقٍ أوسع من سياسات إنهاء استخدام الفحم في الأنشطة السكنية والتجارية. سترتفع كلفة الكهرباء، فنقتطع من ربحية التصنيع الكثيف الاستهلاك للطاقة، كما تزيد من تكاليف الطاقة بالنسبة لكل الأسر الصينية.

أخيراً، أصبحت المركبات الآلية بالفعل على مسارٍ يقود نحو التحسن. لقد قطعت الصين شوطاً في إلغاء المركبات ذات "الوسم الأصفر"؛ أكثر من ثلث هذه المركبات التي كانت على الطريق عام 2012 تَقَرَّرَ إلغاؤها بنهاية عام 2015، وينبغي أن تكون كلها قد اختفت بنهاية عام 2017. لكنّ إزالة السيارات والشاحنات الأسوأ من حيث التسبب بالتلوث في أقرب وقتٍ ممكنٍ سوف يكون نافعاً. في مدنٍ مثل دجوهاي (Zhuhai) حيث تعد المركبات الآلية مصدرًا أساسياً لتلوث الهواء، قد ترغب الصين في تنفيذ برامجٍ محدودةٍ لإعادة الشراء مثل برنامج دونغوان (Dongguan) من أجل تسريع إيقاف هذه المركبات عن العمل. سيكون البرنامج ذا أجلٍ قصيرٍ نسبياً، إذ إنّ فرصة إلغاء هذه المركبات تختفي عام 2017 عندما يصبح إيقاف كل هذه المركبات عن العمل إلزامياً.

- Andrews, S. Q., “Inconsistencies in Air Quality Metrics: ‘Blue Sky’ Days and PM₁₀ Concentrations in Beijing,” *Environmental Research Letters*, Vol. 3, No. 3, 2008.
- Chen, Yuyu, Avraham Ebenstein, Michael Greenstone, and Hongbin Li, *Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China’s Huai River Policy*, Proceedings of the National Academy of Science, May 28, 2013. As of November 20, 2014: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1300018110>
- Chen, Y., G. Z. Jin, et al., “Gaming in Air Pollution Data? Lessons from China,” *BE Journal of Economic Analysis & Policy* Vol. 12, No. 3, 2012.
- China Environmental Statistical Yearbook—See National Bureau of Statistics and Ministry of Environmental Protection of China.
- China Statistical Yearbook—See National Bureau of Statistics.
- Ghanem, D., and J. Zhang, “‘Effortless Perfection.’ Do Chinese Cities Manipulate Air Pollution Data?” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 68, No. 2, 2014.
- Costa, Dora L., and Matthew E. Kahn, “Changes in the Value of Life, 1940–1980,” *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 29, No. 2, 2004.
- EIA—See Energy Information Administration.
- Energy Information Administration, *Energy Equivalent Conversions*, web page, undated. As of November 20, 2014: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/docs/units.cfm>
- , *The Transition to Ultra-Low-Sulfur Diesel Fuel: Effects on Prices and Supply*, SR/OIAF/2001-01, May 2011. As of April 2014: <http://www.walshcarlines.com/pdf/ulsd.pdf>
- , *Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2013*, January 2013a. As of May 15, 2014: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/electricity_generation.pdf
- , *How Much Electricity Does a Typical Nuclear Power Plant Generate?* web page, updated December 2013b. As of May 7, 2014: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=104&t=3>
- , *International Energy Outlook*, 2014a. As of May 2014: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2014).pdf)

- , *China*, web page, February 2014b. As of May 8, 2014:
<http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/China/china.pdf>
- , *Quarterly Coal Report, April-June 2014*, 2014c. Table 10. As of May 19, 2014:
<http://www.eia.gov/coal/production/quarterly/pdf/t10p01p1.pdf>
- Li, Pan, “Current Status of Pollutant Control for Coal-fired Power Plants in China,” Research Office (Center of Power Industry Environmental Protection & Climate Change), China Electricity Council, May 2014. As of May 5, 2014:
[http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/current_status_of_pollutant_control_for_coal-fired_power_plants_in_china\(23_05_2013\).pdf](http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/current_status_of_pollutant_control_for_coal-fired_power_plants_in_china(23_05_2013).pdf)
- Lidderdale, Tancred, and Aileen Bohn, *Demand and Price Outlook for Phase 2 Reformulated Gasoline, 2000*, Energy Information Administration, August 6, 1999. As of September 2014:
<http://www.eia.gov/forecasts/steo/special/pdf/rfg4.pdf>.
- Martina, Michael, et al., “China to ‘Declare War’ on Pollution, Premier Says,” Reuters, March 5, 2014. As of November 20, 2014:
<http://uk.reuters.com/article/2014/03/05/china-parliament-pollution-idUKL3N0M20IS20140305>
- Ministry of Environmental Protection of the People’s Republic of China, *China Emission Control Annual Report*, Part III, National Environmental Management of New Production Vehicles, 2013.
- Ministry of Environmental Protection, *China Vehicle Emission Control Annual Report*, 2013. As of May 15, 2014:
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201401/t20140126_266973.htm
- Ministry of Environmental Protection and Chinese Academy of Engineering, *MacroStrategy for China’s Environment: Strategy for Protection of China’s Environmental Factors* (in Chinese), Beijing: China Environmental Sciences Press, 2011
- Muller, Robert Mendelsohn, and William Nordhaus, “Environmental Accounting for Pollution in the United States Economy,” *American Economic Review*, Vol. 101, No. 5, 2011.
- Muller, Nicholas Z., and Robert Mendelsohn, *Measuring the Damages of Air Pollution in the United States*, Princeton, N.J.: Yale University School of Forestry and Environmental Studies, January 9, 2007. As of May 20, 2014:
http://aida.econ.yale.edu/~nordhaus/Resources/Muller_overview.pdf
- National Bureau of Statistics, *China Statistical Yearbook* (in Chinese), 2012, 2013. As of May 2014:
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>

- , “Statistical Communiqué of the People’s Republic of China on the 2013 National Economic and Social Development” (in English), web page, February 24, 2014. As of April 2014:
http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/201402/t20140224_515103.html.
- National Bureau of Statistics and Ministry of Environmental Protection of China, *China Environmental Statistical Yearbook*, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, and 2010.
- O’Hara, T., et al. “An Asian Emission Inventory of Anthropogenic Emission Sources for the Period 1980–2020,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 7, No. 16, 2007.
- People’s Republic of China Ministry of Environmental Protection, “Regarding the Publication of Desulfurization Equipment and Other Major Air Pollution Abatement Projects for Coal-Fired Power Plants in China” (in Chinese), web page, April 25, 2013. As of April 2014:
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201305/t20130506_251654.htm
- U.S. Environmental Protection Agency, “The Hidden Hazards of Backyard Burning,” Washington, D.C., 2003. As of September 19, 2014:
<http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/backyard/pubs/residents.pdf>
- , “Control of Air Pollution from Motor Vehicles: Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards Final Rule: Regulatory Impact Analysis,” EPA-420-R-14-005, March 2014. As of September 2014:
<http://www.epa.gov/otaq/documents/tier3/420r14005.pdf>.
- U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership, “Efficiency Metrics for CHP Systems: Total System and Effective Electric Efficiencies,” web page, undated. As of April 21, 2014:
http://www.arb.ca.gov/cc/ccei/presentations/chpefficiencymetrics_epa.pdf
- WHO—*See* World Health Organization.
- World Bank and Development Research Center of the State Council, the People’s Republic of China, *China 2030: Building a Modern, Harmonious, and Creative High-Income Society*, Washington, D.C.: World Bank, 2012
- World Health Organization, *WHO Air Quality Guidelines For Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide And Sulfur Dioxide: Global Update 2005*, Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2006. As of November 20, 2014:
http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- Xu, Yuan, “Improvements in the Operation of SO₂ Scrubbers in China’s Coal Power Plants,” *Environmental Science & Technology* Vol. 45, No. 2, 2011.
- Young, Angelo, “China New Auto Sales 2013: Chinese Consumers Bought Over 20 Million Vehicles in 2013 as Foreign Automakers Jockey For Market Share,” *International Business*

Times, January 7, 2014. As of May 8, 2014:

<http://www.ibtimes.com/china-new-auto-sales-2013-chinese-consumers-bought-over-20-million-vehicles-2013-foreign-automakers>.

Zhou, Ying, Jonathan I. Levy, John S. Evans, and James K. Hammitt, “The Influence of Geographic Location on Population Exposure to Emissions from Power Plants Throughout China,” *Environment International*, Vol. 32, No. 3, 2006.



www.rand.org

Arabic Translation
*"Costs of Selected Policies to
Address Air Pollution in China"*
RR-861/2-T1