

## الفصل الثامن

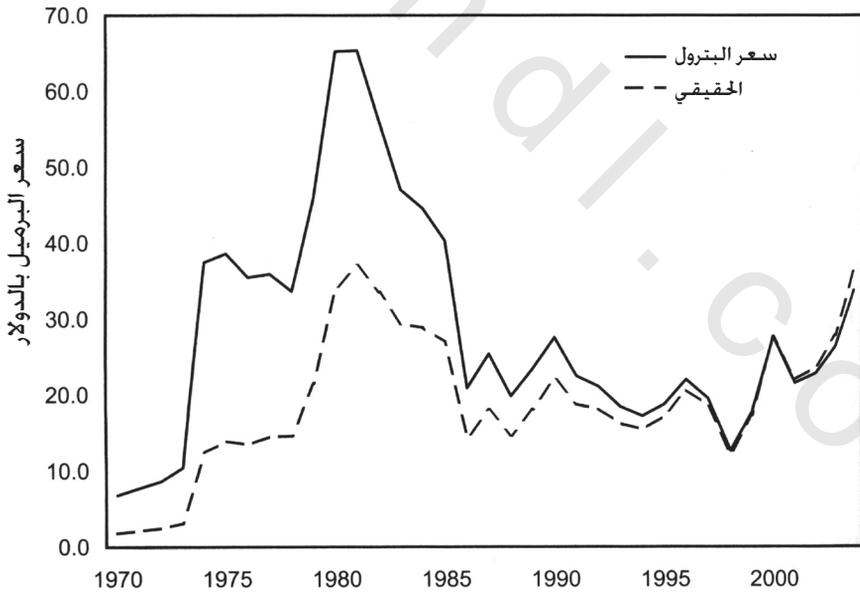
### الطاقة

شهد نظام الطاقة العالمي في القرن العشرين تحولين مهمين. أولاً، زاد استهلاك الفرد للطاقة العالمية بشكل كبير — بعامل نحو ستة، ويقارب الآن 1.5 طن من الزيت المعادل لكل شخص كل سنة. ثانياً، تغيرت المصادر الرئيسية للطاقة من الخشب والفحم في بداية القرن العشرين إلى الزيت والغاز في سبعينيات القرن الماضي. وعلى الرغم من أن هناك الكثير من التنوع عبر الدول في خلط الوقود الحجري إلا أن هناك القليل من الاستثناءات بالنسبة للاعتماد عليها (عدا في الدول الفقيرة جداً، والتي ما زالت الأخشاب تكون مصدراً أساسياً للطاقة). ويوفر الزيت، والفحم، والغاز مجتمعة نحو 90% من الطاقة العالمية التجارية.

قادت «صدمتا الطاقة» في سبعينيات القرن الماضي، وهو عقد قفزت فيه أسعار البترول بعامل عشرة تقريباً (انظر الشكل 1 - 8)، العديد من المهتمين إلى النتيجة الخاطئة بأن نقص الوقود الحجري كان على وشك الوقوع وأنه من الضروري التحول حالاً إلى طاقة متجددة. وفي الواقع، فإن المخزون المعروف من البترول والغاز والفحم سيكفي المستويات الحالية من الطلب العالمي لـ 41.67 و164 سنة على التوالي (البترول البريطاني 2005، British Petroleum). ونمت هذه الأرقام منذ عام 1973 حين تعدت الاكتشافات والتطوير لتقنية استخلاص جديدة لزيادة الإنتاج. وبيانات الاحتياطي المعروف أو الموجود هي رقم محافظ مبني على بيانات جيولوجية وهندسية والاقتصاد الموجود وعلى ظروف العمل. وتقدر وزارة الطاقة في الولايات المتحدة (DOE) مصادر البترول العالمية التي يمكن إعادة استخدامها المطلق بنحو 2.5 عدد مرات الرقم المعروف للاحتياطي المؤكد. ويشير النموذج الجيولوجي إلى أن هناك مزيداً من البترول في الأرض ليس من الجدوى الاقتصادية إيجاده أو إنتاجه الآن.

يمثل الافتراض الأساسي في برنامج IFs النظرة التقليدية بأن الوقود لن ينفد من العالم. وسيستمر إنتاج البترول في الارتفاع لعقود قادمة، وسوف تكون القيود على مصادر البترول والغاز واضحة في نهاية الأمر، وتظهر في ارتفاع أسعار الإنتاج، وارتفاع أسعار البترول والغاز، وسوف يظهر تكيف اقتصادي على شكل تقنيات جديدة ومصادر طاقة جديدة.

ومثل معظم المواضيع المهمة التي يغطيها هذا الكتاب، فإن وجهات النظر تختلف والمجازفة للحصول على الجواب الصحيح كبيرة جداً. يناقش كتاب Beyond Oil للجيولوجي (Kenneth Deffeyes 2005)، والذي يستخدم نموذج منحني هربرت، عدم وجود مصادر بترول مهمة تقليدية للبحث عنها وبأن إنتاج البترول العالم سيبدأ بالانخفاض قريباً. وإذا لم يكن هناك وقت كافٍ للتحول بسلاسة إلى مستقبل طاقة بديل فإن مثل هذا التطور قد يكون له أثر عميق على الاقتصاد العالمي وحتى على السلام العالمي. وسوف نرى في قسم العوارض، كيف يمكن لبرنامج IFs أن يساعدنا في التفكير بسيناريوهات طويلة المدى مختلفة جداً ومبنية على رؤى مختلفة لمصادر الطاقة.



الشكل 1 - 8: أسعار بترول الولايات المتحدة المستورد.

ملاحظة: السنة الأساسية للأسعار الحقيقية 2000.

المصدر: قاعدة بيانات وزارة الطاقة الأمريكية، 2005.

<http://www.eia.doe.gov.emeu/cabs.chron.html>

تتفاوت سيناريوهات مستقبل الطاقة العالمية في توقعاتها عن نفس المتغيرات والتي تغيرت بشكل سريع في الماضي. المستوى العام للطلب على الطاقة، والقوالب العامة لأنواع الطاقة التي سترضي هذا الطلب، واحتمالات عوارض التموين المهمة على المدى القصير. بالإضافة، إلى أن محلي مستقبلات الطاقة ينظرون الآن باهتمام خاص إلى النتائج البيئية لاستخدام الطاقة. وسوف نستعرض باختصار ما يقوله المتوقعون عن كل جانب من نظام الطاقة.

تميل وزارة الطاقة والهيئة الاقتصادية الدولية (IEA) لمنظمة OECD<sup>(2)</sup> إلى التوقع على مدى عشرين أو خمس وعشرين سنة فقط. وفي الولايات المتحدة تتوقع مجلة DOE لعام 2004، (2004: 163-167 International Energy Outlook) بأن يكون معدل النمو العالمي 1.8% GDP في السنة مع بقاء أسعار البترول الحقيقية ثابتة تقريباً. وافترض توقع IEA لعام 2004<sup>(2)</sup> أن يكون النمو الاقتصادي الدولي أعلى خلال عام 2030 — 3.2% للسنة — ولكن نمو الطلب العالمي للطاقة سيكون أقل، نحو 1.7%، مشيراً إلى مكاسب أعظم في الطاقة. ويتوقع DOE وIEA أن يبقى البترول المصدر المسيطر على الطاقة لعدة عقود قادمة. وسوف تتغير قليلاً حصص مصادر الطاقة في وضع خطهم الرئيس بين الآن وعام 2025 أو 2030، بزيادة الغاز الطبيعي وانخفاض بسيط في الفحم. ولا تتوقع أي من الهيئتين أن تزيد حصة الطاقة المستمدة من المصادر المتجددة كثيراً في هذه الفترة على أساسي عالمي، إلا إذا أخذت الحكومات مبادرات رئيسية.

درست الهيئة الدولية لتغير المناخ (IPCC) أفقاً أطول وفي تقييمها في دورتها الثالثة أخرجت أربعين سيناريو يغطي نطاقاً واسعاً من الاحتمالات خلال عام 2100. وبقي الرابط بين نمو GDP واستخدام الطاقة قوياً في جميع السيناريوهات تقريباً. مع تعادل نمو الطاقة بنحو النصف لكل سنة في نمو GDP مظهرأً مكاسباً كافية ومستمرة ومستقرة مع ما تمت تجربته في العقود الماضية. وفي سيناريوهات النمو الاقتصادي العالية افترض أن GDP العالمي سينمو بأكثر من 3% في السنة للسنوات المئة القادمة منتجاً 21 مرة زيادة في GDP العالمي - ومفترضة مكاسب كافية وواضحة - وزيادة سبع مرات في مجموع استخدام الطاقة (الجدول 1 - 8).

كيف يمكن للعالم أن يشبع الطلب المستقبلي على الطاقة والذي هو أكبر بمرتين إلى سبع مرات عن طلب اليوم؟ أو لكي نركز بصورة أوضح على السؤال المهم، كم المخزون المتوقع أن يتوافر مستقبلاً من الوقود الحجري المتضرر بيئياً ومن كم شكل طاقة متجددة؟ في بعض سيناريوهات IPCC يرتفع عالياً استخدام البترول خلال عشرين أو ثلاثين سنة ثم ينحدر تدريجياً إلى صفر بحلول عام 2100، وفي أخرى، يستمر استخدام البترول في الارتفاع - إلى أربع مستويات عن المستخدم الآن - ويستمر في الصعود بنهاية القرن. واستخدام البترول بهذا المعدل سوف يستنفذ في النهاية حتى التقدير العالي المتوقع DOE للمصادر الأبعد تقريباً ثلاثة تريليونات برميل، معاكساً الاحتياطي المعروف لـ 1.2 تريليون برميل. وفي نطاق زمني يتجاوز المئة عام فإن جميع السيناريوهات الأربعين تفترض زيادة كبيرة في استخدام الوقود المتجدد، ولكن مرة أخرى النطاق كبير جداً، ومن زيادة بثلاث مرات للحجم الحالي في جانب متطرف إلى أربعين مرة زيادة الجانب الآخر.

يعتمد بشكل رئيس التوزيع المستقبلي للوقود الحجري ومصادر الطاقة المتجددة على الأسعار النسبية للحجريات، والطاقة النووية، والأشكال الأخرى من الطاقة المتجددة. وأصبحت واقعياً الطاقة النووية أغلى، لأن التكلفة الكاملة لتدمير الوقود النووي، بما في ذلك التخلص طويل المدى من مخلفات الطاقة النووية طويلة المدى، يزداد ويناسب جزءاً من التكلفة. وهناك خطوات واسعة اتخذت في استخدام القوة الهوائية في السنوات الماضية، ونما الإنتاج بسرعة من قاعدة صغيرة جداً. وعلى الرغم من أن تكلفة الطاقة المتجددة استمرت في الانخفاض إلا أنها بقيت عالية نسبياً خاصة في التطبيقات الصناعية والمواصلات والتي تحتاج إلى طاقة مكثفة أكثر مما هو مطلوب في التطبيقات السكنية أو التبريد والتدفئة التجارية. بالإضافة، إلى أن معظم الأشكال «الجديدة المتجددة» متقطعة في غياب التخزين الغالي أو شبكات قوة مترابطة وواسعة جداً<sup>(6)</sup>.

الجدول 1 - 8 سيناريو IPCC: النمو العالمي واستخدام الطاقة.

زيادة 100 سنة <sup>2</sup>	عال 2100	منخفض 2100	2000 <sup>1</sup>	
				<b>GDP</b>
×20.6	×7.3	555.0	197.0	26.9
				(تريليون \$ أمريكي في عام 1990 سعر الصرف والأسعار)
				<b>السكان</b>
×2.5	×0.9	15.1	5.3	6.1
				(بالبلايين)
				<b>مجموع الطلب الرئيس على الطاقة</b>
×6.9	×1.3	2.737.0	514.0	397.0
				(خارجي)
				<b>الطلب على البترول</b>
×4.5	—	690.0	0.0	153.0
				(خارجي)
				<b>إنتاج الطاقة من مصادر متجددة</b>
×29.5	×4.1	1.742.0	242.0	59.0
				(خارجي)

<sup>1</sup> تتفاوت القيم المبدئية قليلاً في السيناريوهات.

<sup>2</sup> رقم يظهر رقم 2100 كما هو مضاعف في رقم 2000.

المصدر: جداول IPCC/SRES بتاريخ 1 يوليو 2000. موجودة على <http://sres.ciesin.org>.

لا تتوقع DOE وIEA أن تزيد الأشكال المتجددة الجديدة للطاقة زيادة حصتهم في إنتاج الطاقة العالمي في العقود القليلة القادمة، ومجلس الطاقة العالمي ليس أكثر تفاعلاً منهم<sup>(7)</sup>. وصممت سيناريوهات IPCC لتظهر التأثير البيئي لنطاق رائع من سيناريوهات استخدام الطاقة أكثر مما هي لكيفية التحول من مستقبل بديل لآخر.

وستعتمد سرعة تحول العالم من الوقود الحجري على الحركة في الأسعار، والتطورات التقنية، والقرارات السياسية والتي هي غير قابلة للتوقع. ويزودنا نموذج IFs بأداة مفيدة للتفكير بكيفية حدوث التحول.

وفي اتجاه العالم ببطء إلى نظام طاقة متجدد وجديد ما هي احتمالات حدوث خضات مستقبلية في المخزون مثل صدمات الطاقة في سبعينيات وثمانينيات القرن الماضي؟ والاعتماد على بترول الشرق الأوسط مرتفع ومستمر. وجاء نحو 28% من إنتاج العالم في عام 2004 من دول على الخليج العربي — وهي منطقة مليئة بالنزاع السياسي. وحتى إذا لم يكن هناك حاكم واحد قادر على احتكار مصادر بترول المنطقة فإن معظم بترول المنطقة يحمل بالخزانات عبر مضيق هرمز، وهي نقطة ضيقة ليس من السهولة استبدالها لو أقفلت أو هددت بحرب أو إرهاب. وأي اضطراب جدي لمخزون البترول في منطقة الخليج العربي قد يرفع بأسعار البترول في العالم وقد يشعل سقوطاً اقتصادياً عالمياً.

وموضع آخر مهم سياسي - اقتصادي هو موافقة المنتجين الكبار للبترول والغاز الطبيعي مثل روسيا، والسعودية، والكويت، وقطر، والعراق بزيادة الإنتاج والتصدير في الوقت الذي يتزايد استنفاد العالم لمصادره في أماكن أخرى وعلى الرغم من أنهم يملكون المصادر لذلك فقد لا يكون من مصلحتهم أن يزيدوا الإنتاج جوهرياً لسنوات قليلة ثم يواجهوا هبوطاً متلاحقاً وسريعاً في الإنتاج والأرباح. وبدلاً من ذلك، يمكنهم أن يختاروا تحجيم الإنتاج في مستويات توفر أرباحاً أساسية وربما أيضاً بأسعار أعلى مما لو أنتجوا أكثر، وليطيلوا عمر ثرواتها الطبيعية. إذا كان الوضع كذلك فإن منحنى هربرت لإنتاج العالم المستقبلي قد يبرهن على أنه مسطح بشكل كبير عما لو كانت المصادر العالمية الباقية منتشرة حول العالم.

ازداد استيراد الولايات المتحدة من البترول في السنوات الماضية، باستمرار الطلب وهبوط الإنتاج المحلي (الولايات المتحدة هي ثالث منتج للبترول في العالم). ويعني النمو السريع في الاقتصاد الصيني بالإضافة إلى إنتاج البترول أن دولة أصبحت

مستوردة كبيرة للبتروول ومهمته بتأمين حاجتها من الطاقة. وتمر الهند أيضاً بنمو سريع في الطلب على الطاقة وهي معتمدة بشكل كبير على مخزون الخليج العربي. وفي المقابل، ارتفع بقوة إنتاج الطاقة في روسيا وعدة دول أخرى في الاتحاد السوفيتي سابقاً في العقد الماضي، وهناك احتمال لزيادة جوهريّة في تصدير الطاقة إذا حافظ الاستكشاف على مستواه والاستثمار في البنية التحتية وهناك رغبة سياسية لرفعهما. وعلى الرغم من أن سيناريوهات DOE وIEA وIPCC تلمح إلى أن الطاقة في بعض الأشكال ستكون متاحة بكميات كافية وأسعار منخفضة لتسمح باستمرار نمو اقتصادي قوي، فإن استخدام المحاكاة في نموذج IFS يسمح لنا بتحليل الأوضاع التي يمكن للافتراضات البديلة أن تختبر وتتكشف احتمالاتها الجغرافية السياسية.

### القوى المحركة للطاقة والدافعية

تشبه كثيراً القوى المحركة الرئيسة لنظام الطاقة العالمي (انظر الشكل 2 - 8) القوى المحركة التي رأيناها في نظام الغذاء العالمي (انظر الشكل 2 - 8). ومرة أخرى نكرر أن للطلب أهمية كبيرة في النظام، ولكن محرراته الرئيسة هي حجم الاقتصاد (بدلاً من السكان) وسمة ذلك الاقتصاد. وتتغير جوهرياً متطلبات الطاقة كلما تزايد GDPs للفرد كما تحول الاقتصاد عبر الزمن من الزراعة إلى الصناعة ومن الصناعة إلى الخدمات وأخيراً إلى قطاع المعلومات.

يبحث معظم نظام الطاقة إلى تزويد طلب الطاقة عبر مجموعة من دوائر التغذية الراجعة السلبية. وكما هي الحال مع الزراعة، تلعب الأسعار دوراً رئيساً في هذه الدوائر بما في ذلك الدائرة التي تتحكم بالاستثمار وتلك التي تحدد مستويات استيراد وتصدير الطاقة. وأحد الاختلافات بين الطاقة العالمية وأنظمة الغذاء أنه من المهم عرض أنواع مضاعفي الطاقة في نظام الطاقة ليسمح للنظام بالتقل بين أشكال تزويد الطاقة بما أن التكلفة النسبية تختلف بمرور الوقت.



أن ينفصل عن النمو الاقتصادي. وقبل 1970 كانت الحكمة التقليدية أن استخدام الطاقة يرتفع في خطوات متابعة لـ GDP.

ولكي يلبي النموذج الطلب فإنه يفترض احتمالات كبيرة جداً لبدائل عبر أنواع الطاقة على المدى الطويل. ويفترض أيضاً في سيناريو الافتراض الأساسي كمية كبيرة من التغير التقني في الاستفادة من الطاقة، ويتوقع أن تكون الحاجة لوحدة طاقة قليلة في المستقبل للحصول على المعدل نفسه من المخرجات. والسيارات المجهزة على سبيل المثال، توضح الإمكانية المتاحة لتحسين استهلاك الجازولين.

يعتمد مخزون الطاقة على فرص الربح المتوافرة لمنتجات الطاقة الحاليين والمحتملين. ويفترض برنامج IFs أن مجموع طلب الطاقة بالدولة يمكن أن يلبي باستخدام واحد من ستة مصادر: هي البترول، والغاز الطبيعي، والفحم، والكهرباء المولدة، والنووي، والمصادر المتجددة الأخرى للطاقة. كما يظهر النموذج أيضاً مصادر بترول غير تقليدية بأسعار عالية.

يفترض أن تستمر التكنولوجيا في التقدم من ناحية المخزون سامحة للمنتجين باستخلاص البترول والمصادر الأخرى بأسعار أرخص وتحولها وتنقلها بكفاءة أكثر. ويوقع أن تصبح المصادر المتجددة للطاقة أكثر مصدر مهم للطاقة - الرياح، والكهرباء ضوئي، والحرارة الأرضية - وأن يجعلها التقدم التقني منافسة أكثر للوقود الحجري التقليدي. وليس هناك أي طريقة علمية لتوقع هذه النسب المهمة للتغير التقني. والخط الرئيس الافتراضي في برنامج IFs يوضح أن النسب المختلفة التقنية للتغير والمتجسدة في النموذج تستمر في اتجاه المعدلات. ويسمح لمستخدم النموذج بتغيير النسب البديلة لاستكشاف نطاق من المخرجات ولكن هناك بالضرورة حزام كبير من الغموض يحيط بأي توقع لتغير تقني.

والنقاط الدافعة الرئيسة لاستكشاف مستقبلات الطاقة هي: 1- النمو الاقتصادي، 2- التقدم التقني للمخزون والجغرافيا. 3- توقف المخزون بسبب عوامل مختلفة وهناك أيضاً غموض واضح يصوغ ويحيط بالمصادر النهائية للزيت والغاز.

## تحليل السيناريو والعوارض

المواضيع الرئيسية في نظام الطاقة هي مستوى الطلب، وطبيعة قالب المخزون المتوافر لإشباع ذلك الطلب، وإمكانية انقطاع قصير المدى للمخزون (مرتبط بمستويات الاعتماد الخارجي). وسوف نتناول كل واحدة من هذه المواضيع على حدة. وتشمل المؤشرات المهمة في الطاقة: إنتاج الطاقة (ENP)، والطلب على الطاقة (ENDEM)، ونسبة الطلب على الطاقة إلى (GDP ENRGDP)، وأسعار الطاقة (ENPRI). وسوف نلقي نظرة على النموذج العالمي لإنتاج الطاقة (WENP) والأسعار (WEP). انظر إلى رزم العروض، مصادر الطاقة الدولية، وخط البيانات؛ لتأخذ فكرة عن تحول الطاقة المطبقة في الافتراض الأساسي والسيناريوهات الأخرى. أو انظر إلى التقرير الأساسي؛ لترى توقعات متغيرات الطاقة الرئيسية سواء عن طريق الدولة أو المنطقة.

أشرنا سابقاً إلى أنه يمكن أن يكون هناك احتمال أكبر للدافعية في جانب الطلب لنظام الطاقة عما هو في جانب المخزون. وبالنسبة للطلب، هناك أربع معايير رئيسية: الأول مضاعف مباشر على طلب الطاقة (endemm)، ويمكن أن تعدل إذا أردت أن تختبر تأثير تخيل ارتفاع الطلب على الطاقة أسرع أو أبطأ نسبياً من نمو GDP عن النسبة الداخلية. المعيار الثاني مطاطية طويلة المدى لمرونة أسعار طلب الطاقة (elasde). لاحظ أن هذه المطاطية لها علامة سلبية (كلما ارتفعت الأسعار هبط الطلب على الطاقة). وعلى الرغم من عدة محاولات لتقدير هذا المعيار المبني على بيانات الأسعار والطلب، وما زالت قيمته تخمينية. والقيمة المستخدمة في النموذج قد تحسب عالية جداً لبعض المحللين لتأثير قصير المدى ولكن منخفضة جداً للتأثير طويل المدى. ويمكن أن يؤثر دراماتيكياً تغيير أسعار الطاقة المباشرة عن طريق زيادة الضرائب (carbtax) على طلب الطاقة. ويمكنك أيضاً تغيير نسبة النمو المتخيل في كفاية الطاقة (enrgdpr). ولكن وكما رأينا في نقاشنا عن سيناريوهات DOE و IPCC فإن هذه النسب توقعات في الأساس عن نسب تحولات تقنية والتي يمكن للتجربة التاريخية أن تقودنا فيها ولكنها لا توفر قاعدة صلبة للتوقع.

وجانب مخزون الطاقة يعد أصعب بالنسبة للنموذج. ويفترض أن يعتمد إنتاج الطاقة (ENP) على رأس مال الأسهم في ظل قطاع الطاقة (الفحم، البترول... إلخ) في كل دولة، ورأس المال / نسب المخرجات (QE) لذلك النوع من الطاقة. وتصاغ رأس المال / نسب المخرجات بدورها بقوة للوقود الحجري بمستوى الاحتياطي (RESER) والمصادر الأساسية (RESOR)، وتبنى المعايير التي تربط الاحتياطي والأرباح بقرارات الاستثمار والاستكشاف والتغيرات في الإنتاج على الاتجاهات التاريخية ولكنها محفوظة بقدر كبير من الغموض وأعطى المستخدم مساحة كبيرة في تعديل العلاقات في تحليل السيناريو.

وهناك العديد من البوابات في برنامج IFs للدخول إلى المخزون، وإعادة صياغة التعادل عبر البترول والغاز والتوليد الكهربائي، والنووي وأنواع الطاقة الأخرى المتجددة (تصنيفات داخل البرنامج). ويمكنك أن تجرب مع مثل هذه الدافعيات مباشرة عبر المضاعف على أنواع الإنتاج الفردي (enpm). وفي الواقع، يمكنك فرض نسبة نمو معينة على شكل من أشكال الطاقة عبر معيار نسبة التحكم بنمو إنتاج الطاقة (eprodr). والقيمة العادية لمثل هذا المعيار هي صفر، وتسمح للنموذج بالحساب الداخلي لإنتاج الطاقة حسب المنطقة ونوع الطاقة. وتفرض القيم الأعلى من الصفر مثل 0.035 نسبة نمو الإنتاج على النموذج (في هذا المثال، نسبة 3.5% كل سنة). مرة أخرى، انظر إلى نظام المساعدة أو الملحق لشرح أكثر عن معايير معينة.

← يؤثر مضاعف إنتاج الطاقة (enpm) على إنتاج الطاقة بحسب نوعها. وافترض الخط الرئيس يقول: إن مصادر الطاقة المتجددة سوف تنمو أهميتها بسرعة (انظر إلى WENP لجميع أنواع الطاقة). ماذا يحدث إذا كان الافتراض متفائلاً جداً؟ إذا قطعت قيمة enpm للطاقة المتجددة (يمكنك القيام بذلك عن طريق شجرة السيناريو) من 1.0 إلى 0.2 لمجموعة العالم. فما هو التأثير على أسعار الطاقة العالمية والمخرجات الاقتصادية؟ لاحظ أنه على الرغم من ارتفاع استخدام البترول والفحم في السيناريو، فإن فاعلية

الطاقة أيضاً ارتفع استجابة لارتفاع أسعار الطاقة، محسنة بعض النتائج البيئية والاقتصادية السلبية للبطء في التحول إلى مصادر الوقود المتجددة.

وعلى الرغم من أن هذه المعايير سوف تجبر النموذج على إنتاج الكثير أو القليل من نوع الطاقة المطلوب، فإن النموذج أيضاً يشتمل على معايير تتحكم بأوجه معينة لنظام الطاقة والتي تسمح بارتفاع داخلي لمستويات إنتاج مختلفة. على سبيل المثال، سوف تؤثر الوفرة الأساسية لمصادر الوقود الحجري على مستقبلات إنتاج الطاقة. ارجع إلى الافتراض الأساسي وانظر إلى القيم عبر الزمن للاحتياطي العالمي المعروف للبتروال والغاز (WRESER). ويزداد الاحتياطي المعروف بالتوسع في الاكتشافات (إلى أن نصل إلى الحد المفترض للمصادر) ويقل بالإنتاج. وسقط احتياطي البتروال في النصف الأول من القرن الواحد والعشرين وسقوطه يحد من الإنتاج. وحتى إذا افترضت (من خلال enpm) التحسينات التقنية في إنتاج البتروال فإن القيود على مجموع الاحتياطي يبقى كما هو؛ لأن البتروال والغاز يميلان إلى أن يكونا أرخص من أشكال الطاقة الأخرى (مثل النووي، الفحم، أ، الطاقة المتجددة) ويضع القيود على إنتاجهم ضغطاً عالياً على أسعار الطاقة الدولية (WEP).

ويطرح بعض المراقبين مقولة: إن المتشائمين قللوا من احتياطي البتروال والغاز في الأرض بشكل روتيني (على سبيل المثال، بتوقعهم بنضوب مخزون الولايات المتحدة في بداية القرن العشرين، قبل اكتشاف حقول البتروال الكبيرة في تكساس). وربما تكون الافتراضات عن احتياطي العالمي الأساسي من البتروال والغاز (WRESOR) في النموذج موافقة جداً.

← يمكنك إدخال افتراضات أكثر تفاقماً عن مصادر الطاقة الدولية وذلك بتغيير قيمة مضاعف المصدر (resorm). جرب مضاعفته لمصادر البتروال والغاز في العالم. زد باستمرار نسبة الاكتشاف العالمي للبتروال والغاز وذلك بمضاعفة مضاعف نسبة الاكتشاف (rdm). ما هو تأثير ذلك على احتياطي العالم والأسعار؟ هل يؤثر على GDP في العالم للفرد (WGDP) أو نوعية الحياة (WPQLI)؟ وماذا عن GDP لـ SOPEC

← ومن الممكن أيضاً أن تكون الاحتمالات للافتراض الأساسي متفائلة جداً. يوجد في مكونات السيناريو المخزن (تحت صياغة سيناريو، مصادر الطاقة) سيناريو اسمه .....2010 طوره مازك سندور ويظهر افتراضات مصادر البترول والغاز أقرب لتلك التي وضعها ديفيز (2005). وأضاف ذلك إلى الافتراض الأساسي في الشجرة واستكشف المضامين.

وقد يتساءل بعضهم عن الاحتمالات الموجودة في الافتراض الأساسي في برنامج IFs الخاصة بتكلفة إنتاج الطاقة المستقبلي. ويمكن للتقدم التقني أن يزيد إنتاج الطاقة الممكنة بمستويات الاستثمار نفسها. وإذا كنت مهتماً بالموضوع، فيمكنك سبر غور مضامين خفض (أو زيادة) تكلفة إنتاج الطاقة في منطقة أو مستوى محدد لنوع الطاقة. ويسمح لك مضاعف تكلفة رأس مال الطاقة (qem) بذلك. وترفع القيم العالية رأس مال التكلفة لإنتاج الطاقة وتقلل القيم المنخفضة هذه التكلفة. وهذه طريقة جيدة لمعرفة اتجاهات التغييرات الممكنة في تكلفة تقنيات الطاقة المتجددة. (وكما هي الحال مع المضاعفات الأخرى، يجب أن تبقى القيمة المبدئية عند حد 1.0 وتستكمل إلى قيمة جديدة عبر الوقت).

وما زال هناك معيار لإنتاج الطاقة هو مضاعف للاستثمار في الطاقة (eninv). يساعدك هذا المعيار في إدخال تغييرات إذا كنت تعتقد أن الضرائب الحكومية أو سياسة الإعانات الحكومية قد تقود إلى زيادة أو انخفاض في استثمار الطاقة. ويزيد المعيار أو يخفض مجموع استثمار الطاقة، تاركاً النموذج يكمل تقسيم ذلك الاستثمار بين أنواع الطاقة على اعتبارات تكلفة نسبية. وتذكر، أن النموذج عادة «يرفض» التغييرات التي تدخلها عبر مثل هذه السياسات. على سبيل المثال، قد تقود زيادة في استثمار الطاقة مفروضة بالمضاعف eninv إلى إنتاج أعلى، وأسعار أقل، وأرباح أقل لمنتجي الطاقة. وهذا قد يدفع بميكانيكية الاستثمار الداخلية للنموذج في أن تخفض الاستثمار الذي تطبق عليه المضاعف.

ولأنه لم يكن مرضياً ترك قوالب العرض والطلب تتحكم بأسعار الطاقة، فقد حاول مصدري الطاقة ومستوردي الطاقة بدرجة أقل أن يتحكموا مباشرة بأسعار

الطاقة في الماضي. إذا وضعت المعيار enprix إلى أي قيمة عدا الصفر فإنه سيضع خارجياً أسعار الطاقة (ENPRI) لتلك المنطقة. وهذا النوع من السيناريو، مثل تثبت الأسعار في الأسواق، يمكن أن يكون له نتائج عكسية وخاصة إذا أدى إلى نقص.

وبغض النظر عن التطور في العرض والطلب لأنظمة الطاقة العالمية فإن من الممكن حصول انقطاع قصير المدى. ويملك مستوردو البترول ومصدروه أيضاً الخيار في وضع حدود مباشرة على كمية البترول والغاز الذي يستوردونه أو يصدرونه .

← يمكنك أن تختبر كيف بنى سيناريو IFs. لاستكشاف سياسة أوبك OPEC متخيلة لمنع مخزون بترول عالمي. اذهب إلى القائمة الأساسية وانقر على تحليل السيناريو، تحليل سيناريو سريع مع شجرة، ملفات السيناريو، افتح، أخرى، سيناريوهات العالم مدمجة — NIC 22020. الخلافة الجديدة. هذه المجموعة من الأوامر حملت إلى الشجرة سيناريو استخدم لمساندة مشروع مجلس الاستخبارات الوطني للولايات المتحدة 2020 (2004). افحص العوارض في الشجرة وخاصة قطع الإنتاج في مخرجات البترول في دول الأوبك. أدر السيناريو وقارن نتائجه بالافتراض الأساسي. ماذا حدث لأسعار الطاقة؟ GDP؛ ولأن السيناريو يفترض اضطراب سياسي اجتماعي واسع، بالإضافة إلى قصور مخزون البترول، يمكن أن يؤثر GDP أكثر مما يمكن أن يؤثر سيناريو يصاغ بدرجة أقل سياسياً لانقطاع مخزون البترول.

توصيات البحث. لاستخدام بحث فعال للنموذج، فمن الأفضل أن تبدأ بسؤال محدد: ماذا يمكن أن تكون احتمالات نمو أبطأ في طلب الطاقة لمعتمدي الاستيراد للولايات المتحدة؟ كيف يمكن لأشكال الطاقة المتجددة أن تصل سريعاً إلى تمويل 50 % من احتياجات الطاقة العالمية؟ ما هو مقدار الضرر الذي قد تحدثه حرب تدخل فيها دول الأوبك على اقتصاد الدول المستوردة للبترول؟ وبعد أن تحدد سؤالك بوضوح، فكر بكيف ستطبق السيناريو المطلوب التحقق منه (وليس بالضرورة الإجابة). ودائماً راجع نتائجك بعناية لتتأكد من أن السيناريو الذي تنوي تطبيقه هو الذي رسمته. وربما

وهو الأهم، ألا تقبل النتائج ببساطة من النموذج بوصفها جواباً لأسئلتك. افحصها جيداً وحاول أن تشرح لماذا أنتجها النموذج. هل هناك منطق؟ لماذا وماذا لا؟ استخدم النموذج «أداة تفكير» وليس كرة سحرية. أين يمكن أن يكون النموذج غير دقيق؟

## الخاتمة

في هذا الفصل فحصنا العرض والطلب على الطاقة. والنموذج الثانوي للطاقة لبرنامج IFS أساسي في المقاس والغطاء للنظام. ومع ذلك هناك العديد من النواحي في نظام الطاقة العالمي مقلقه جداً (سقف احتياطي البترول، مثلاً، أو مطاطية الأسعار على المدى الطويل للطلب على البترول) وليس هناك نموذج - بما في ذلك برنامج IFS - قادر عن الإجابة على كل هذه الأسئلة المهمة. بني برنامج IFS مع نقاط عوارض كافية؛ حتى يمكن لعدة جهات نظر مختلفة أن تجرب وتستكشف بنماذج المحاكاة. وعلى الرغم من أننا ركزنا حتى الآن في الغالب على النواحي الاقتصادية لنظام الطاقة العالمي، فإن النتائج البيئية لاستخدام الطاقة لها اهتمام متنامٍ. وسوف نتحدث عنها في الفصل القادم.

## الملاحظات

- 1- أعاد د. إيفان هيلبراند Evan Hillebrand كتابة هذا الفصل لهذه الطبعة.
- 2- IEA وكالة منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، وهي اتحاد ترعاها حكومات 30 دولة صناعية. وتركز على الأبحاث الاقتصادية والتنسيق السياسي.
- 3- تحتسب أشكال المتجددة الجديدة - الرياح، الشمسية، الحرارة الأرضية، الاحتراق لتوليد الطاقة من المخلفات بأقل من 1% من توليد الطاقة الرئيسية في العالم في عام 2002. انظر IEA, World Energy Statistics 2004. وتحميل مجاني من [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
- 4- تشغيل الخط الرئيس لـ IFS للنمو الاقتصادي العالمي حين كتبت هذا الإصدار (2005) كان نحو 2.6% في السنة لـ 100 عام قادمة (نحو 3% للخمسة

والعشرين عاماً القادمة)، منتجة ارتفاعاً مهولاً في مستويات المعيشة في جميع الدول تقريباً وزيادة هائلة في الطلب العالمي على الطاقة. وارتفع الطلب العالمي على الطاقة إلى نحو 1.5% في السنة، وبناء على الافتراض الموجود فإن فاعلية الطاقة ستستمر بالارتفاع بنحو 1.1% للسنة. ويفترض النموذج أن يرتفع مخزون البترول العالمي قبل الذروة ثم يتراجع تدريجياً بوجود مصادر طاقة متجددة أكثر منافسة اقتصادياً وتأخذ حصة متنامية في السوق. ويتغير الافتراض الأساسي في IFS باستمرار مع البيانات وتحديث النموذج.

5- الهيئة الدولية لتغير المناخ، (Special Report on Emissions Scenarios، Cambridge University Press, 2000). أخذت البيانات المستخدمة من إصدارات «منقحة» (الإصدار 1.1 يوليو 2000) لنسخة الغلاف المقوى المتوافرة على <http://sres.ciesin.org>.

6- الطاقة المتجددة غير القوة المولدة - مثل الرياح، الشمسية، الحرارة الأرضية، الاحتراق لتوليد الطاقة من المخلفات - تحتسب بأقل من 1% من توليد الطاقة الرئيسي العالمي في عام 2002. انظر، IEA, Key World Energy Statistics, 2004 على [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

7- ولعمل مجلس الطاقة الدولي انظر <http://www.worldenergy.org>.

8- يناسب هذا الافتراض تقريباً افتراضات المكاسب الفعالة المستخدمة من وزارة الطاقة في توقعاتهم طويلة المدى. انظر الولايات المتحدة/DOE/EIA، 2004: 165- 166.