الفصل الثاني

السعي الدائم للحصول على الطاقة الوفيرة
THE UNENDING QUEST FOR ABUNDANT ENERGY

(٢,٠) خلفية تاريخية
Historical Perspective

من الممكن أن تكون المسلمات الخاصة بالطاقة الوفيرة التي قدمت في الفصل الأول محل خلاف، لكن دراسة العلوم الطبيعية أثبتت أن البحث عن الطاقة التي يمكن توفرها بسهولة كان ولا زال مستمراً. ومن المفيد أن نستعرض تاريخ الأرض من خلال الإطارين اللذين يهتم بهما عالم الفيزياء وهما الإطار الزمني وإطار الطاقة. ويلخص الجدول رقم (٢,١) البيانات التي تم تجميعها من الإنتاج العلمي المنشور عن هذين الإطارين.

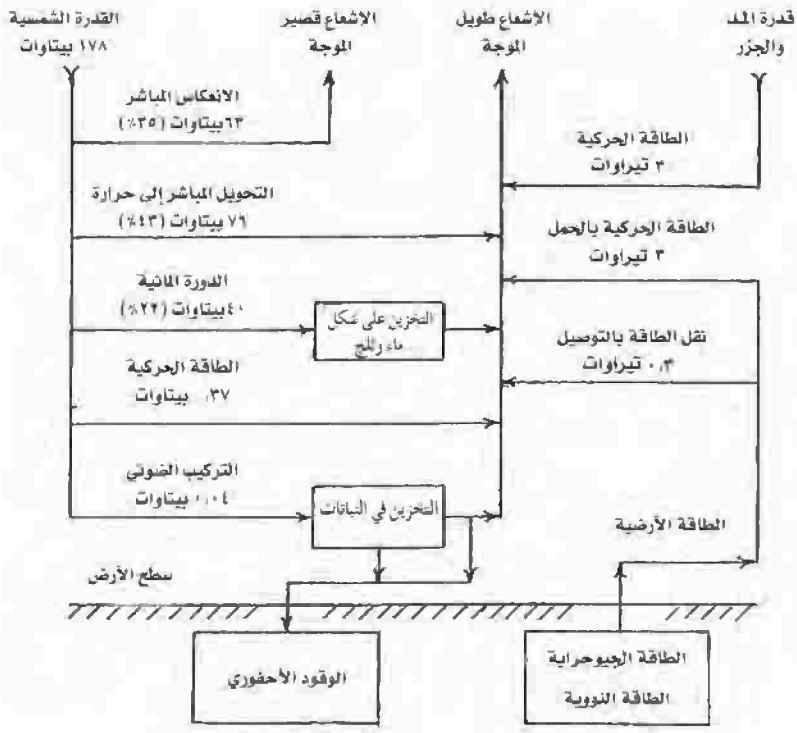
يتضح بمقارنة الجدول رقم (٢,١) مع الشكل رقم (١,١) وجود فجوة زمنية شاسعة تقدر بمليارات السنين بين وقت تكون الأرض وبين بداية حقبة المليوني سنة الخاصة بوجود الإنسان، وحقبة العشرة آلاف سنة من بداية الثورة الزراعية إبان العصر الحجري القديم إلى السنوات الثلاثمائة الأخيرة التي بدأت مع الثورة الصناعية، بالإضافة إلى الثورات الحديثة العديدة منذ أن نشرت المعادلة الشهيرة: $E=mc^2$ عام ١٩٠٥م. شكلت كل هذه الأشياء تاريخ البحث عن الطاقة، وبالتحديد ابتداء من وقت اكتشاف النار. أما البحث عن الطاقة اليوم (بعد اكتشاف الكهرباء والتطورات

المتسارعة في الميكانيكا الكمية المصاحبة لها والطاقة النووية والإلكترونيات) فإنه يأخذنا باتجاه المرحلة القادمة، مرحلة الطاقة النوعية العالية.

الجدول رقم (٢,١). الإطار الزمني وإطار الطاقة على كوكب الأرض.

الإطار الزمني	السنوات
عمر الأرض	~ ٤,٥ × ١٠^٩
وجود الإنسان على الأرض	~ ٢ × ١٠^٦
التاريخ المدون	~ ٥ × ١٠^٣
الثورة الصناعية	~ ٣ × ١٠^٢
عصر الكهرباء	~ ١٥٠
العصر النووي	١٠٠
العصر البيئي (في الولايات المتحدة)	٣٥
عصر الإلكترونيات	بدأ للتو؟
إطار الطاقة	بيتاوات (١٠^١٢ كيلووات)
الطاقة الشمسية من الشمس	الله أعلم
إنتاج طاقة الشمس على الأرض	١٧٨
طاقة الأرض (الحرارية)	٠,٠٠٣٣
طاقة القمر (المد والجزر)	٠,٠٠٣٠

وبنيت القيم الخاصة بإطار الطاقة الموجودة في الجدول رقم (٢,١) على النموذج المقبول عامة لمنظومة تدفق الطاقة على الأرض، كما يظهر من الشكل رقم (٢,١). لقد استطاعت عملية تحول الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض أن تغذي هذا الكوكب لمدة مليوني سنة على الأقل، وهي قادرة على الاستمرار في ذلك إلى الأبد. ويلخص الجدول رقم (٢,٢) توزيع مكونات الطاقة المتحولة، علماً بأن وحدات الطاقة والقدرة ستتم مناقشتها في القسم (٢,١,١) من هذا الفصل.



الشكل رقم (٢,١). رسم تخطيطي لتدفق الطاقة على الأرض.

الجدول رقم (٢,٢). تحول الطاقة الشمسية.

العنصر	النسبة المئوية ٪
الأليبدو (Albedo) (الانعكاس المباشر بعيداً عن الأرض)	~ ٣٥
الحرارة (امتصاص الطاقة الإشعاعية)	٤٣
الدورة الهيدرولوجية (توزيع المياه)	٢٢
الطاقة الحركية (طاقة الرياح)	٠,٢
التمثيل الضوئي (الطاقة الكيميائية)	٠,٠٢

وتوضح البيانات الخاصة بنمو استهلاك الطاقة منذ عصور ما قبل التاريخ (انظر الجدول رقم ١,٢ في القسم ١,٠,١) كيف أن الاستهلاك ازداد من ٢,٩ كيلووات-ساعة/فرد في اليوم (وهو الحد الأدنى من الطاقة اللازم للإنسان) إلى القيمة الحالية البالغة ٢٣٠ كيلووات-ساعة/فرد في اليوم. وقام كوك [1] ببحث ظاهرة بحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة التي وصفها بأنها التغيرات في استخدام الطاقة في كل مرحلة من التطور الإنساني، ويلخص الجدول رقم (٢,٣) البيانات الخاصة بذلك. من خلال هذه البيانات فإن الملاحظة الأساسية هي النمو البسيط في كمية الطاقة المصروفة على تأمين الغذاء (زيادة خمسة أضعاف خلال مليون سنة) مقارنة بالنمو المتسارع (زيادة خمسة أضعاف خلال مائة سنة) في الطاقة المستخدمة للنقل.

(٢,١) خصائص الدول الصناعية

Characteristics of an Industrial Nation

تتفاوت درجة التصنيع (Industrialization) من دولة لأخرى، فتنقسم الدول إلى صناعية ونامية ومتخلفة. إحدى الصفات الرئيسة التي تحدد الفئة التي تنتمي إليها دولة ما هي كيفية استخدام السكان لإمدادات الطاقة فيها، فهذه واحدة من عدد من الخصائص التي نعرّف بها الدولة الصناعية. يمكن أن تصنف هذه الخصائص إلى ثلاثة مؤشرات قابلة للقياس، هي:

١- موارد الطاقة.

٢- الرفاهية.

٣- التوجهات المستقبلية.

توجد موارد الطاقة في الطبيعة على عدة أشكال، قد يكون مصدرها شمسياً أو قمرياً أو أرضياً. وتذلل التقنية الصناعية عملية معالجة موارد الطاقة الطبيعية لتتخذ

أشكالاً أكثر تنوعاً وأنسب لاستخدامات مختلفة. لقد ذكر في الشكل رقم (١,٥) أن الطاقة النوعية للوقود الكيميائي والنووي تتفاوت في مدى كبير من ١٠٠٠٠ كيلوجول/كجم إلى ١٠٠ مليار كيلوجول/كجم. وأحد المؤشرات على درجة التصنيع هو أنواع الطاقة المستخدمة لدفع عجلة الاقتصاد القومي، حيث إن الدول الأكثر تقدماً من الناحية الصناعية تستخدم عامة أنواعاً من الوقود ذات طاقة نوعية أعلى. هناك مؤشر ثانٍ وهو كمية الطاقة المستخدمة والتي يمكن قياسها بوحدة "الطاقة المستهلكة لكل فرد" (كيلوجول/فرد مثلاً) أو "الطاقة المستهلكة مقابل كل دولار من الناتج المحلي الإجمالي" (بوحدة كيلوجول/دولار مثلاً). في هذه الحالة، كما في الحالة السابقة، فإن الدول الأكثر صناعية تستهلك طاقة أكثر لكل فرد وتستهلك طاقة أكثر لكل دولار من الناتج المحلي الإجمالي. وهناك مؤشر ثالث أيضاً وهو كفاءة استخدام إمدادات الطاقة والتي يمكن قياسها بوحدة "نسبة الشغل المفيد الناتج لكل وحدة طاقة مستهلكة من مورد طاقة رئيس". بالنسبة لهذا المؤشر بالتحديد، فإنه ليس من الواضح ما إذا كانت الدول الأكثر صناعية تستهلك الوقود بشكل أكثر كفاءة.

الجدول رقم (٢,٣). النمو في استهلاك الطاقة مع مراحل التطور الإنساني.

مرحلة التطور	الغذاء	التدفئة المركزية	الصناعة والزراعة	النقل	المجموع
الإنسان البدائي (قبل ~ ١٠^٦ سنة)	٢				٢
الصيد (قبل ~ ١٠^٥ سنة)	٣	٢			٥
الزراعة البدائية (~ ٥٠٠٠ قبل الميلاد)	٤	٤	٤		١٢
الزراعة المتطورة (~ ١٤٠٠م)	٦	١٢	٧	١	٢٦
الصناعة (~ ١٨٧٥م)	٧	٣٢	٢٤	١٤	٧٧
التقنية (~ ١٩٧٠م)	١٠	٦٦	٩١	٦٣	٢٣٠

يمكن أن نعبر عن الرفاهية على أنها مقياس لمستوى المعيشة. ويمكن التعبير عن المؤشرات التي تستخدم في هذا الخصوص على أنها مقدار النمو الاقتصادي (بوحدة الناتج المحلي الإجمالي لكل فرد)، ومقدار تأثير رفاهية الدولة على الدول الأخرى، ومدى التأثير الحاصل على البيئة العالمية. إلا أن هذه المؤشرات تلعب دوراً أقل أهمية في عملية البحث عن الطاقة الوفيرة.

في الوقت نفسه فإن للتوجهات المستقبلية دوراً هاماً في البحث عن الطاقة. وتشمل هذه التوجهات الجوانب الاجتماعية الخاصة بالحصص غير المتكافئة من استعمال الطاقة (كالطاقة المستهلكة لكل فرد) وأنواع الوقود المستخدمة (موارد الطاقة الثابتة أم العائدة، كما سيأتي في القسم ٢,١,١) ومدى وجود خيار بين الراحة وبين توفير الطاقة عند سكان الدولة.

(٢,١,١) تدفق الطاقة الوفيرة Flow of Abundant Energy

بما أن كميات الطاقة الوفيرة في الدول الصناعية هائلة، فإنه من المناسب في هذا المقام استعراض مصطلحات الطاقة والشغل. تعرّف الطاقة على أنها المقدرة على القيام بالشغل، بينما تعرف القدرة على أنها المعدل الزمني للقيام بالشغل. يعبر عن الطاقة بشكل عام بوحدات الشغل الميكانيكي. توجد ثلاثة أنظمة مستخدمة عالمياً للتعبير عن وحدات الطاقة، ويبين الجدول رقم (٢,٤) معاملات التحويل بينها. والأنظمة الثلاثة هي :

١- النظام العالمي، حيث وحدة الطاقة هي الجول :

١ جول = ١ كجم.م^{٢}/ثانية^{٢}

٢- النظام المتري، حيث وحدة الطاقة هي الإرج (١ إرج = ١ جم.سم^{٢}/ثانية^{٢}) :

١ جول = ١٠^{٧} إرج = ٢,٣٩×١٠$^{-٤}$ سعر حراري = ٢،٧٨ × ١٠$^{-٧}$ كيلووات.ساعة

٣- النظام الإنجليزي، حيث وحدة الطاقة هي قدم.رطل أو وحدة حرارية بريطانية :

١ جول = ٠،٧٣٨ قدم.رطل = ٩,٤٧٨×١٠$^{-٤}$ وحدة حرارية بريطانية

الجدول رقم (٢,٤). معاملات تحويل وحدات الطاقة والقدرة.

الطاقة	كيلووات–ساعة	وحدة حرارية بريطانية	سعر حراري	قدم–رطل	جول (10^{7} إرج)
كيلووات–ساعة	١	٣٤١٢	٨٦٠	$10^{6}\times2,65$	$10^{6}\times3,6$
وحدة حرارية بريطانية	$10^{-4}\times2,93$	١	٠,٢٥٢	٧٧٨	١٠٥٤
سعر حراري	$10^{-6}\times1,16$	$10^{-3}\times3,97$	١	٣,٠٩	٤,١٨
قدم–رطل	$10^{-7}\times3,77$	$10^{-3}\times1,28$	$10^{-4}\times3,24$	١	١,٣٦
جول	$10^{-7}\times2,78$	$10^{-4}\times9,48$	$10^{-4}\times2,39$	٠,٧٣٨	١

القدرة	كيلووات	حصان	قدم–رطل/دقيقة
كيلووات	١	١,٣٤	$10^{4}\times4,44$
حصان	٠,٧٤٦	١	$10^{4}\times3,3$
قدم–رطل/دقيقة	$10^{-4}\times2,25$	$10^{-4}\times3,03$	١

أما وحدات القدرة في الأنظمة الثلاثة فهي كما يأتي:

النظامان العالمي والمتري: وات:

١ وات = ١ جول/ثانية = 10^{7} إرج/ثانية = ٣,٤١٢ وحدة حرارية بريطانية/ساعة

النظام الإنجليزي: الحصان:

١ حصان = ٣٣٠٠٠ قدم.رطل/دقيقة = ٠,٧٤٦ كيلووات

يتم التعبير عن الكميات الهائلة من الطاقة التي تستخدم على المستوى الوطني بمجموعتين من الوحدات:

في الولايات المتحدة: كواد ١ كواد = 10^{15} وحدة حرارية بريطانية

في بقية العالم: بيتاجول ١ بيتاجول = 10^{15} جول

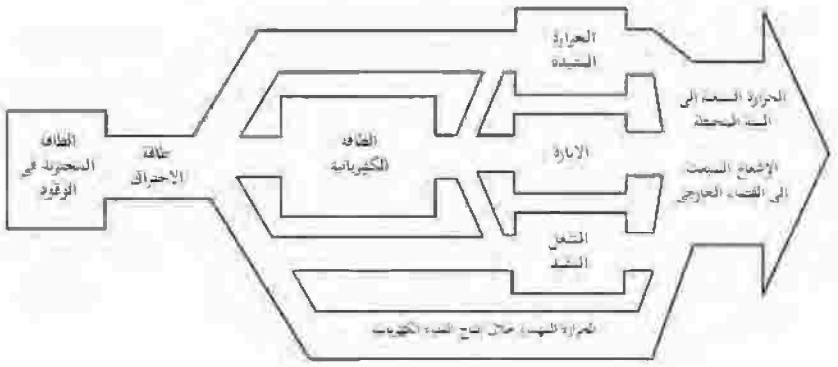
يمكن توضيح نطاق قيم الطاقة (في النظام العالمي) عن طريق مقارنة كميات الاستهلاك اليومي للطاقة "البيئية" والطاقة "التقنية". تغطي الأحداث المبينة في الجدول رقم (٢,٥) نطاقاً مقداره $١٠^{٥٠}$، وهو رقم يمكن التعبير عنه بكتابة الرقم ١ متبوعاً بخمسين صفراً. بالنسبة للكميات الضخمة من الطاقة، يعتبر البيتاجول ($١٠^{١٥}$ جول) والكواد ($١٠^{١٥}$ وحدة حرارية بريطانية) وحدتين مناسبتين. المصطلحات المستخدمة في هذا الكتاب والتابعة للنظام العالمي هي كيلو (ويعبر عن $١٠^{٣}$) وميجا (ويعبر عن $١٠^{٦}$) وجيجا (ويعبر عن $١٠^{٩}$) وتيرا (ويعبر عن $١٠^{١٢}$) وبيتا (ويعبر عن $١٠^{١٥}$).

الجدول رقم (٢,٥). القيم النمطية للطاقة للأحداث البيئية والتقنية.

الطاقة البيئية اليومية	القيمة بالجول
تدفق الطاقة من الشمس	$١٠^{٣١}$
الطاقة الواصلة إلى الأرض	$١٠^{٢٢}$
التمثيل الضوئي في العالم	$١٠^{١٩}$
الطلب الإنساني على الطاقة	$١٠^{١٧}$
الطاقة التي يتم تحويلها من شلالات نياجرا	$١٠^{١٤}$
متوسط استخدام الفرد في الولايات المتحدة	$١٠^{٩}$
الطاقة الغذائية للفرد (٢٠٠٠ كيلوسعر حراري)	$١٠^{٧}$
الطاقة الناتجة من الأحداث التقنية	
انشطار نواة واحدة من اليورانيوم-٢٣٥ (U-235)	$١٠^{-١١}$
احتراق ذرة واحدة من الكربون	$١٠^{-١٩}$

في عام ١٩٧١م لاقت إحدى الطرق المصورة للتعبير عن تدفق الطاقة في المجتمعات الصناعية رواجاً وهي الطريقة التي قدمها إي.كوك والمسماة (رسم السباجيتي البياني). والرسم الموضح في الشكل رقم (٢,٢) هو رسم مأخوذ من الرسم

المذكور في مقالة كوك [1] والذي يبين تدفق الطاقة بالنسبة لأنواع الوقود القابلة للاحتراق المستخدمة لغرض توليد طاقة كهربائية للحصول على التدفئة والإنارة والشغل، كما يبين الرسم هدر الطاقة خلال هذه العملية وتبديد الطاقة إلى البيئة بما يتبعه من إشعاع إلى الفضاء الذي هو جزء من دورة الطاقة الشمسية.



الشكل رقم (٢,٢). تدفق الطاقة في المجتمع الصناعي (مقتبس من المرجع [1]).

(٢,١,٢) موارد الطاقة الثابتة (غير المتجددة) والعائدة (المتجددة)

Capital and Income Energy Resources

من السمات المميزة الأخرى للدول الصناعية وجود خيارات واسعة من موارد الطاقة الرئيسة وأشكال الطاقة الثانوية. تصنف موارد الطاقة الرئيسة على أنها موارد "ثابتة"، للدلالة على أنها تستخلص من مصدرها مرة واحدة دون إمكانية إعادة تزويد المصدر بالطاقة (غير متجددة)، وموارد "عائدة" للدلالة على أنها تستخلص من مصادر يعاد تزويدها بالطاقة (موارد طاقة متجددة).

تتكون موارد الطاقة الثابتة من الوقود الأحفوري (مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي) الذي يحتاج إلى ملايين السنين لاستعادته جيولوجياً بالإضافة إلى الوقود

النووي (مثل الثوريوم واليورانيوم) وهو وقود قابل للتحويل ولكنه غير قابل للاستبدال. أما بالنسبة للطاقة الجيوحرارية، والتي تدرج عامة مع الموارد المتجددة، فإن إحلال الطاقة الحرارية المستخلصة من الترسبات الجيولوجية للموارد الحرارية التجارية الخاصة بها (عن طريق التوصيل الحراري والحمل الحراري) يتطلب فترات تتراوح من مئات إلى آلاف السنين. تتضمن موارد الطاقة "العائدة" (المتجددة) إمكانية الاستفادة من الطاقة القمرية (على هيئة قوى المد والجزر في المحيطات)، كما تتضمن كذلك الطاقة الشمسية (على هيئة الطاقة الحرارية والمائية وطاقة الرياح والطاقة الحيوية). يشكل الاستخدام الواسع للسدود المبنية على الأنهار بغرض إنتاج القدرة الكهرومائية الجزء الأكبر من استغلال الطاقة المتجددة في العالم. وسيتم استعراض كل من أشكال الطاقة هذه في الفصول القادمة.

وأدى السعي إلى الراحة وسهولة استغلال الطاقة إلى طلب متزايد على الطاقة الثانوية "المنقولة" التي تعرّف على أنها أشكال الطاقة المنقولة من موارد رئيسة للطاقة، لسهولة استخدامها أو لنظافتها أو لاستخدامها في تطبيقات معينة. وتعتبر الكهرباء من أبرز أشكال الطاقة الثانوية "المنقولة" على الرغم من أن الاستفادة منها صناعياً لاستهلاك الطاقة لا يزيد بالكاد عن ١٠٠ سنة. يُختم هذا الكتاب باستعراض إمكانية إنتاج وقود الهيدروجين على نطاق واسع ليكون بذلك مصدراً تكميلياً للطاقة الثانوية "المنقولة" يحل محل الوقود الأحفوري في إنتاج الكهرباء لمحطات التوليد الثابتة، وليكون كذلك وقوداً للمواصلات خالياً من الكربون في بداية القرن الحادي والعشرين.

يبين الجدول رقم (٢,٦) تاريخ تنوع أشكال الوقود المستخدمة في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٢٥ - ٢٠٠٠م (وهي معلومات تم تجميعها من بيانات وزارة الطاقة الأمريكية)، وذلك كتوضيح مبدئي لعملية السعي إلى أنواع نظيفة من الوقود وأنواع من الطاقة الثانوية "المناسبة" سهلة الاستخدام.

الجدول رقم (٢,٦). تاريخ تنوع أشكال الوقود (بالنسبة المئوية) من ١٩٢٥ – ٢٠٠٠م.

الوقود	السنة			
	١٩٢٥م	١٩٥٠م	١٩٧٥م	٢٠٠٠م
الخشب	٧	٣	٠	٠
الفحم	٦٥	٣٧	٢١	٣٢
النفط	١٩	٣٩	٣٨	٢١
الغاز الطبيعي	٥	١٨	٣٢	٢٧
مجموع الوقود الأحفوري	٩٧	٩٧	٩١	٨١
الوقود النووي	٠	٠	٦	١١
الطاقة المتجددة	٣	٣	٣	٨
نسبة المستخدم للكهرباء من المجموع	<١	~٢	~١٥	٣٨

(٢,٢) ديناميكية النمو الأسّي

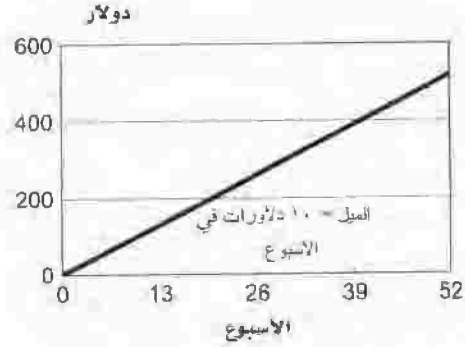
Exponential Growth Dynamics

لفهم القيود المفروضة على البحث عن الطاقة الوفيرة، من المفيد أن نفهم حسابات النمو الأسي المتسارع. هناك عدة أنواع مهمة من النمو سواء بالنظر إلى الاعتبارات الشخصية أو إلى اعتبارات الطاقة. فالنوعان الرئيسان من النمو هما النمو الخطي والنمو الأسّي. كما أن أحد الأشكال الهامة هو ذلك المسمى بنمو التشبع وكذلك معدلات النمو (أو الانحسار) الخاصة باستخلاص الموارد المحدودة المبنية على مبدأ "ما ارتفع شيء إلا وعاد وانخفض". وسيتم استعراض كل نوع من هذه الأنواع الأربعة من أساليب النمو قبل دراسة الإحصاءات الخاصة بموارد الطاقة.

(٢,٢,١) النمو الخطي Linear Growth

يمكن وصف النمو الخطي على أنه الزيادة بكمية ثابتة خلال مدة ثابتة. فإذا وضعت ١٠ دولارات تحت مرتبتك في الأسبوع الأول من شهر يناير وأضفت إليها

١٠ دولارات كل أسبوع إلى نهاية السنة ، فإن المبلغ الموجود تحت المرتبة في نهاية السنة سيكون ٥٢٠ دولاراً (١٠ دولارات من الأسبوع الأول ثم ١٠ دولارات كل أسبوع لمدة ٥١ أسبوعاً إضافياً). يوضح الشكل رقم (٢,٣) النمو في الأموال المودعة "تحت المرتبة" (دون تحصيل فوائد).



الشكل رقم (٢,٣). النمو الخطي لحساب الادخار "تحت المرتبة".

إذا كان المبلغ الابتدائي عند زمن $t = 0$ هو N_0 ، وإذا كانت هناك إضافة ثابتة مقدارها k لكل مدة زمنية ثابتة t ، فإنه يمكن التعبير عن المبلغ الإجمالي N(t) بعد زمن مقداره t بالمعادلة الحسابية الآتية :

$$N(t) = N_0 + k\,t \qquad (٢,١)$$

في المثال السابق عن حساب الادخار فإن N_0 تساوي ١٠ دولارات للأسبوع الأول ، و k تساوي ١٠ دولار/أسبوع ، و t تساوي ٥١ أسبوعاً إضافياً. وعليه فإن k في الشكل رقم (٢,٣) تكون هي ميل الخط المستقيم (بوحدة دولارات/أسبوع).

أما في الأنظمة الخطية المعقدة فإن المعادلة رقم (٢,١) يمكن أن يعبر عنها بالشكل التفاضلي (الكثير من الزيادات الصغيرة dN التي تحدث على مدى الكثير من الفترات الزمنية القصيرة dt) كما يأتي:

$$dN = k\,dt \qquad (٢,٢)$$

حل هذه المعادلة التفاضلية هو:

$$N(t) = N_0 + k\,t \qquad (٢,٣)$$

وهذا الحل يشبه المعادلة رقم (٢,١)، حيث إن N_0 هنا تساوي ١٠ دولارات، فإذا كانت dt= ١ثانية فإن k ستكون ٠,٠٠٠١٦٥ دولار/ثانية بناء على ١٠ دولارات/ أسبوع (٧ أيام/أسبوع × ٢٤ ساعة/يوم × ٣٦٠٠ ثانية/ساعة).

(٢,٢,٢) النمو الأسّي Exponential Growth

يمكن وصف النمو الأسّي بأنه الزيادة بنسبة ثابتة من الكمية خلال مدة ثابتة. ويعني ذلك أن الزيادة خلال مدة زمنية ما، يتناسب مع الكمية الإجمالية بعد كل مدة زمنية، مما يجعل الزيادة تصبح أكبر بعد كل خطوة زمنية. تعطى المعادلة التفاضلية للنمو الأسّي المستمر كما يأتي:

$$dN/N = kdt \quad \text{أو} \quad dN = kNdt \qquad (٢,٤)$$

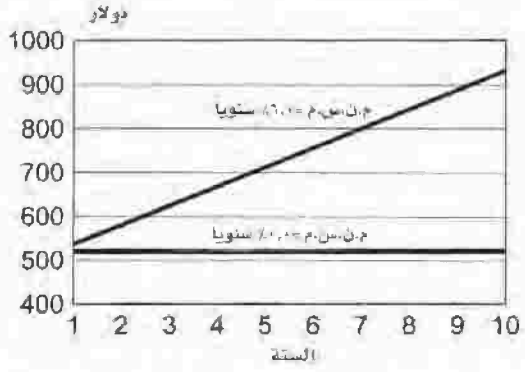
إذا كان $N=N_0$ عند الزمن $t = 0$ فإن حل هذه المعادلة هو:

$$N(t) = N_0\, e^{kt} \qquad (٢,٥)$$

بعد أن تضع ١٠ دولارات أسبوعياً تحت المرتبة لمدة سنة لتركها تنمو خطياً إلى ٥٢٠ دولاراً، فإنك لو وضعت هذا المبلغ في مصرف يعطي فائدة مقدارها ٦٪ سنوياً (أي أن k تساوي ٠,٠٦/سنة) بدلاً من إبقاء المبلغ كما هو تحت المرتبة دون تقاضي أي فوائد عليه، فإن المبلغ سيصبح بعد ١٠ سنوات :

$$N(10) = 520 \exp(0.06 \times 10) = \$947.50 \qquad (٢,٦)$$

يبين الشكل رقم (٢,٤) نمو الـ ٥٢٠ دولاراً مقارنة بإبقاء المبلغ بعد جمعه في السنة الأولى تحت المرتبة للسنوات العشر المقبلة.



الشكل رقم (٢,٤). النمو الأسي بمعدل ٦٪ سنوياً مقارنة بحالة عدم النمو بمعدل ٠٪ سنوياً.

(٢,٢,٣) الزمن اللازم للمضاعفة Doubling Time

من المؤشرات المفيدة للنمو ما يسمى بالزمن اللازم للمضاعفة (DT)، وهو المدة الزمنية اللازمة لقيمة ما لتنمو من N إلى 2N. يمكن حساب هذا المؤشر للنمو الخطي والنمو الأسّي على حد سواء :

١- بالنسبة للنمو الخطي، فإن المعادلة رقم (٢,١) تصبح: $2N = N + k(DT)$ مما يؤدي إلى: $DT = N/k$.

٢- بالنسبة للنمو الأسّي، فإن المعادلة رقم (٢,٥) تصبح: $2N = N\, e^{k(DT)}$ مما يؤدي إلى: $DT = \ln(2)/k$.

يلاحظ أنه يمكن تحويل المعادلة رقم (٢,٥) إلى شكل خطي بأخذ اللوغاريتم الطبيعي للطرفين:

$$\ln[N(t)] = \ln[N_0] + kt \qquad (٢,٧)$$

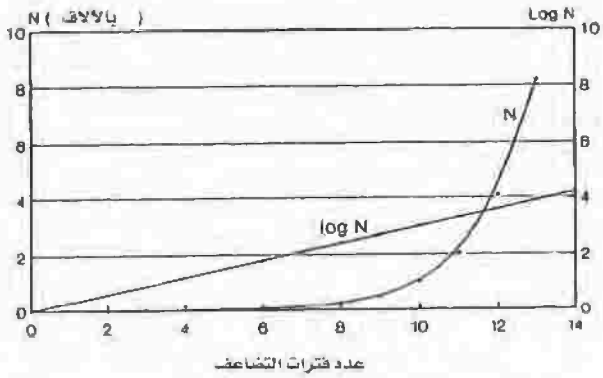
(٢,٢,٤) سيناريوهات النمو الأسّي Exponential Growth Scenarios

تتطلب ترجمة نمو العوامل التي تؤثر على سعي الإنسان للطاقة الوفيرة استخدام ثلاثة سيناريوهات للنمو الأسي، هي: (١) النمو الأسّي المستمر؛ (٢) نمو التشبع إلى القيمة القصوى؛ و(٣) نمو المنحنى اللوجستي.

النمو الأسّي المستمر

يوضح الشكل رقم (٢,٥) معادلات النمو الأسّي المستمر والمعطاة في المعادلات رقم ٢,٥ و٢,٧ كدالة في عدد فترات التضاعف أسّياً وخطياً في حالة $N_0 = 1$ و $k = \ln(2)/DT$.

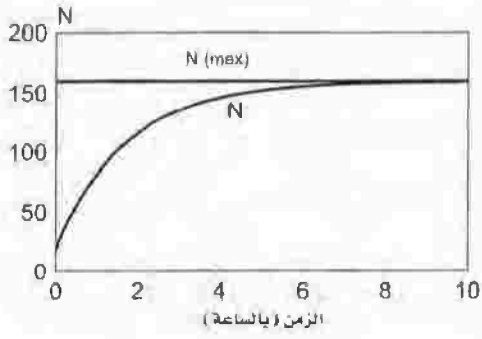
يمكن ملاحظة أن القيمة N ستصل إلى ١٦ ألف بعد تضاعفها للمرة الرابعة عشرة، وهي قيمة خارج مقياس الرسم بكثير. لذا فإن الشكل الخطي من النمو الأسّي المستمر مفيد في حالة عوامل النمو واسع النطاق. إلا أن معظم العمليات الطبيعية التي يظهر في بدايتها نمو أسّي مستمر لا يمكن أن تحافظ على هذا النمو لمدة طويلة لأن المدة اللازمة للتضاعف التالي تؤدي إلى إضافة تساوي مجموع كل الإضافات التي سبقتها.



الشكل رقم (٢,٥). النمو الأسي كدالة في عدد فترات التضاعف.

نمو التشبع

يحدث نمو التشبع عندما يتناقص معدل النمو كلما زادت الكمية الإجمالية، وذلك إلى حد أقصى قيمته N^{∞} يتم الوصول إليه بعد زمن لانهائي. يوضح الشكل رقم (٢,٦) هذا النوع من النمو.



الشكل رقم (٢,٦). نمو التشبع حتى N(max) عندما يكون N_0= ٢٠ وk= ٠,٥/الساعة وdt= ٠,٥ ساعة وN^{∞}= ١٦٠.

يمكن التعبير عن المعادلة التفاضلية الخاصة بنمو التشبع كما يأتي :

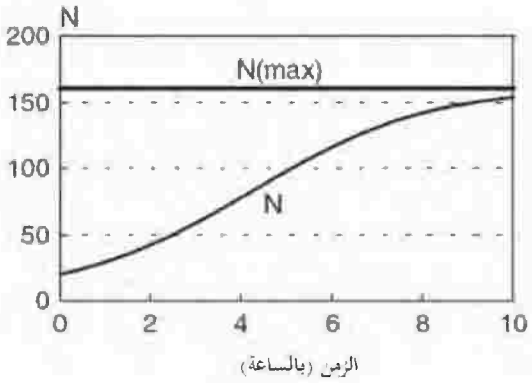
$$dN/dt = k(N^{\infty} - N) \qquad (٢,٨)$$

وحل المعادلة عندما تكون $N = N_0$ عند $t = 0$ هو :

$$N(t) = N^{\infty} - (N^{\infty} - N_0)\, e^{-kt} \qquad (٢,٩)$$

نمو المنحنى اللوجستي

يستخدم المنحنى اللوجستي لوضع نموذج للإنتاج التكاملي لمورد محدود. ويتسم هذا النوع بفترة نمو مبكر سريع (أسّي) لمعدل الإنتاج، إلا أنه بالنسبة لمورد محدود لا بد لمعدل الإنتاج أن يصل إلى قيمة قصوى ثم يبدأ بالتناقص عندما يصل الإنتاج التكاملي إلى الكمية الإجمالية للمورد (المحدود). يوضح الشكل رقم (٢,٧) نمو المنحنى اللوجستي.



الشكل رقم (٢,٧). المنحنى اللوجستي لقيمة محددة N عندما يكون N_0=٢٠ و b = ٠,٥/الساعة و dt=٠,٥ ساعة و N^{∞}=١٦٠.

يمكن التعبير عن المعادلة التفاضلية كما يأتي :

$$dN/dt = k\,N\,(1 - N/N^{\infty}) \qquad (٢,١٠)$$

وحل المعادلة، عندما تكون N = 0 عند t = 0، هو :

$$N(t) = \frac{N^{\infty}}{\left(1 + a e^{-bt}\right)} \qquad (٢,١١)$$

حيث إن :

a و b هما ثابتان تجريبيان

وN^{∞} هو الإنتاج الإجمالي المتوقع.

(٢,٢,٥) حساب معدلات النمو باستخدام تحليل الانحدار

Calculation of Growth Rates by Regression Analysis

تعتمد التوقعات بالقيم المستقبلية لمتغير حديث، بشكل عام، على التقدير الاستقرائي (extrapolation) لأحدث تسلسل لقيم المتغير السابقة التي لها معدل نمو تاريخي معروف. ومن الوسائل المفيدة في تقدير متوسط معدل النمو الطريقة الإحصائية المعروفة بتحليل الانحدار، فهذه الطريقة مفيدة بشكل خاص في تقييم العلاقة بين متغيرين، مثل علاقة السلوك الزمني لعامل ما كتعداد السكان مع الزمن. وقد تتبع البيانات علاقة خطية أو أسّية أو لوغاريثمية أو علاقة متتالية قوة (power series). وبالنسبة للتوقعات بالطلب المستقبلي على الطاقة فإن العلاقات الخطية والأسّية تعتبر الأكثر أهمية.

يقدم تحليل الانحدار معلومات عن المعامِلات الخاصة بعلاقة ما، كما يقدم طريقة لقياس مدى موافقة هذه العلاقة للبيانات. بالنسبة لمتسلسلة زمنية سنوية لمتغير ما فإن تحليل الانحدار (الذي يمكن القيام به بسهولة باستخدام جدول بيانات spreadsheet) يقدم تقديراً لمعدل النمو السنوي المتوسط (م.ن.س.م) الخاص ببيانات الفترة الزمنية

التي تتم دراستها، كما ينتج عنه معامِل الانحدار، وهو قيمة تدل على مدى موافقة البيانات للعلاقة المختارة، إذ أنه كلما اقتربت قيمة معامل الانحدار من ١ كلما كان من الممكن الثقة في العلاقة الناتجة بشكل أكبر. ويمكن الحصول على تفاصيل عن استخدام معامِلات الانحدار من الكتب الدارسية الخاصة بالإحصاء.

عندما تكون هناك مجموعة بيانات تحتوي على N من البيانات الثنائية ;x(1),y(1) x(2), y(2); . . . ; x(N), y(N) فإن تحليل الانحدار يوصلنا إلى المعادلة الآتية :

$$\hat{y}=a+bx \qquad (٢,١٢)$$

حيث إن :

$\hat{y}$ = القيمة المتوقعة للمتغير y لقيمة معطاة للمتغير x

a = تقاطع المتغير y (intercept) عندما يكون x = صفراً

b = ميل العلاقة الخطية

ينتج عن تحليل الانحدار الأسّي المعادلة الآتية :

$$y = a\, e^{bx} \qquad (٢,١٣)$$

والتي يمكن التعبير عنها بشكل خطي كما يأتي :

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \qquad (٢,١٤)$$

حيث إن :

ln(a) = التقاطع الذي تكون قيمة a عنده تساوي $a = e^{\ln(a)}$

b = معدل النمو السنوي المتوسط (م.ن.س.م) للمتغير y إذا كان المتغير x متسلسلة زمنية تعطى بعدد السنوات.

يقدم الجدول رقم (٢,٧) مثالاً للانحدار الأسّي خاصاً بتعداد السكان من عام ١٩٨٠م وحتى ٢٠٠٠م، استخدمت فيه بيانات تم الحصول عليها من الموقع الإلكتروني لمكتب الإحصاءات الأمريكي www.census.gov/ipc.

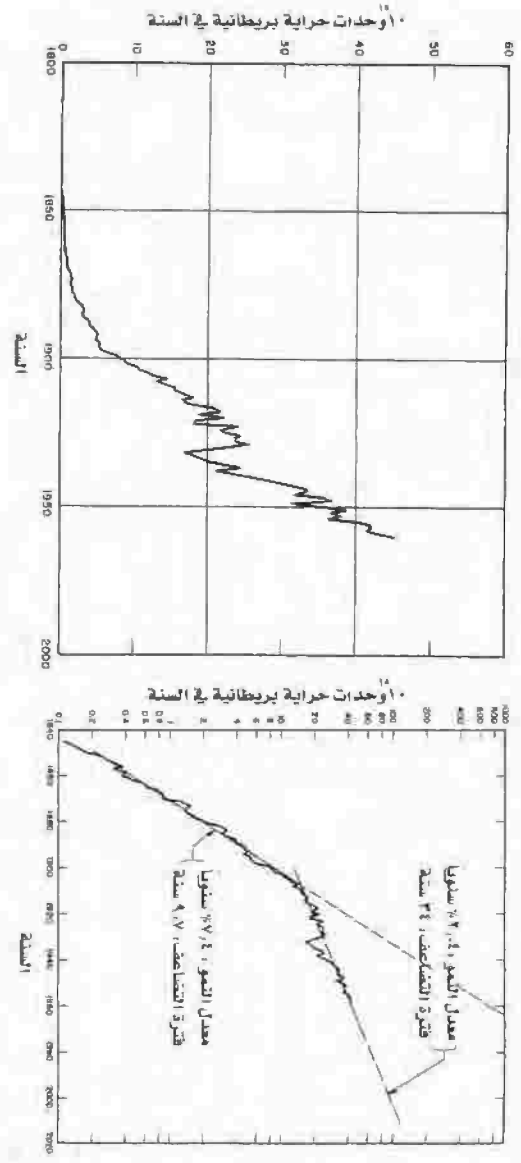
الجدول رقم (٢,٧). التحليل الانحداري لتعداد سكان العالم من ١٩٨٠ – ٢٠٠٠م.

التعداد					
السنة	العدد بالمليار	السنة	العدد بالمليار	السنة	العدد بالمليار
١٩٨٠م	٤,٤٥٧	١٩٨٠م	٤,٤٥٧		
١٩٨١م	٤,٥٣٣	١٩٨١م	٤,٥٣٣		
١٩٨٢م	٤,٦١٣	١٩٨٢م	٤,٦١٣		
١٩٨٣م	٤,٦٩٣	١٩٨٣م	٤,٦٩٣		
١٩٨٤م	٤,٧٧٤	١٩٨٤م	٤,٧٧٤		
١٩٨٥م	٤,٨٥٥	١٩٨٥م	٤,٨٥٥		
١٩٨٦م	٤,٩٣٧	١٩٨٦م	٤,٩٣٧		
١٩٨٧م	٥,٠٢٤	١٩٨٧م	٥,٠٢٤		
١٩٨٨م	٥,١١٠	١٩٨٨م	٥,١١٠		
١٩٨٩م	٥,١٩٦	١٩٨٩م	٥,١٩٦		
١٩٩٠م	٥,٢٨٤	١٩٩٠م	٥,٢٨٤	١٩٩٠م	٥,٢٨٤
١٩٩١م	٥,٣٦٧			١٩٩١م	٥,٣٦٧
١٩٩٢م	٥,٤٥٠			١٩٩٢م	٥,٤٥٠
١٩٩٣م	٥,٥٣١			١٩٩٣م	٥,٥٣١
١٩٩٤م	٥,٦١١			١٩٩٤م	٥,٦١١
١٩٩٥م	٥,٦٩١			١٩٩٥م	٥,٦٩١
١٩٩٦م	٥,٧٦٩			١٩٩٦م	٥,٧٦٩
١٩٩٧م	٥,٨٤٧			١٩٩٧م	٥,٨٤٧
١٩٩٨م	٥,٩٢٥			١٩٩٨م	٥,٩٢٥
١٩٩٩م	٦,٠٠٢			١٩٩٩م	٦,٠٠٢
٢٠٠٠م	٦,٠٨٠			٢٠٠٠م	٦,٠٨٠
معدل النمو السنوي المتوسط (٪/سنة)	١,٥٧		١,٧		١,٤

يمكن عقد مقارنة على شكل جدول بيانات لمعدل النمو السنوي المتوسط خلال فترة العقدين تلك. يقع معدل النمو السنوي المتوسط للفترة من عام ١٩٨٠ - ٢٠٠٠م البالغ ١,٥٧٪/السنة بين القيمة ١,٧٠٪/السنة للفترة ١٩٨٠ - ١٩٩٠م وبين القيمة ١,٤٠٪/السنة للفترة ١٩٩٠ - ٢٠٠٠م، فأي قيمة لمعدل النمو السنوي المتوسط ينبغي علينا استخدامها لتقدير هذه البيانات للتوقعات بتعداد سكان العالم عام ٢٠١٠م أو عام ٢٠٢٠م مثلاً؟ تبين نتائج تحليل الانحدار أن معدل النمو يتناقص كل عقد، لذا لا بد من تكوين رأي حاسم حول ما إذا كان معدل النمو سيستمر بالهبوط خلال العقد أو العقدين القادمين أو أن الفروق بين معدلات النمو السنوي المتوسط لفترات السنوات العشر تدخل في نطاق الانحراف المعياري الطبيعي لمعدلات نمو السكان على مدى ٢٠ سنة. يمكن أن تساعد النماذج المستقاة من مجال الإحصاء الرياضي في اتخاذ هذا القرار، لكن من المفترض أن يسمح استخدام أي من القيمتين بإنتاج توقع ما (وإن كان توقعاً أكثر عرضة للشك).

(٢,٣) النمو الحالي في استهلاك الطاقة
Current Growth in Energy Consumption

يمكن اعتبار عام ١٨٠٠م بداية الفترة الحالية فيما يتعلق بالنمو السريع في استهلاك الطاقة. يوضح الشكل رقم (٢,٨) النمو السريع في استهلاك الوقود الأحفوري والطاقة المائية (الكهرومائية) في الولايات المتحدة (من هبرت [2]) منذ عام ١٨٠٠م وحتى ستينيات القرن العشرين، كما يوضح الشكل التغير المفاجئ في معدل النمو السنوي المتوسط بُعيد بداية القرن العشرين (هبرت [2]).



الشكل رقم (٢,٨). استهلاك الولايات المتحدة للوقود الأحفوري والطاقة الكهرومائية منذ عام ١٨٠٠م وحتى الستينيات من القرن العشرين والتغير في معدل النمو المتوسط بعد بداية القرن العشرين.

(٢,٣,١) الاتجاه في استهلاك الطاقة Trends in Energy Consumption

حدث تغير مفاجئ في معدل النمو في استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة بعد عام ١٩٠٠م من متوسط مقداره ٧,٤٪/السنة إلى متوسط مقداره ٢,٠٤٪/السنة بحلول عام ١٩٦٠م، وقد ارتفع استهلاك الطاقة خلال هذه الفترة من ١٥ كواد في السنة عام ١٩٠٧م إلى ٤٥ كواد في السنة عام ١٩٦٠م. يمكن مقارنة هذه البيانات ببيانات وزارة الطاقة الأمريكية الخاصة بالقرن المنصرم (الجدول رقم ٢,٨). يدل هذا التناقص في معدل النمو على عدم استدامة معدلات النمو المرتفعة في الطلب على الوقود الأحفوري.

الجدول رقم (٢,٨). استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة من ١٩٠٠ - ٢٠٠٠م.

السنة	الاستهلاك (كواد/سنة)	معدل النمو السنوي المتوسط (٪ / سنة)
١٩٠٠م	٥	-
١٩٦٠م	٤٥	٣,٧
١٩٩٠م	١٠٠	٢,٧
٢٠٠٠م	١١٩	١,٧

يمكن مقارنة استمرار التناقص في معدل النمو في استهلاك الطاقة إلى ١,٧٪/السنة بحلول عام ٢٠٠٠م في الولايات المتحدة، بمتوسط معدل النمو في بقية العالم خلال القرن نفسه والبالغ ١,٤٪/السنة، والذي زاد من ٣٤٨ كواد عام ١٩٠٠م إلى ٣٩٩ كواد عام ٢٠٠٠م.

تأثر التوجه في استهلاك الطاقة بشكل كبير بالتغيرات في نوع الطاقة على مر القرن العشرين، فقد كان مصدر الطاقة الرئيس في الولايات المتحدة عام ١٩٠٠م هو

الفحم، حيث كان يشكل عام ١٩٢٠م ما نسبته ٨٩٪ من استهلاك الطاقة الإجمالي. وتم استبدال الفحم بشكل ملحوظ بعد عشرينيات القرن العشرين بالنفط والغاز الطبيعي. يشير هبرت [2] أنه بحلول عام ١٩٦٠م انخفض استهلاك الطاقة المستخلصة من الفحم إلى ٢٣٪، بينما ازداد استهلاك الطاقة المستخلصة من النفط والغاز الطبيعي من ٨٪ عام ١٩٢٠م إلى ٧٣٪ عام ١٩٦٠م.

من التوجهات الرئيسة خلال القرن الماضي، لا سيما في الولايات المتحدة، النمو السريع في إنتاج الطاقة الكهربائية، والذي ارتفع من ٠,٤ بيتاوات-ساعة عام ١٩٥٠م إلى ٣,٩ بيتاوات-ساعة عام ٢٠٠٠م. والجدير بالذكر أن البيتاوات-ساعة هو 10^{15} وات-ساعة. ويلاحظ هنا مرة أخرى التناقص في معدل النمو السنوي المتوسط خلال النصف الثاني من القرن، كما توضح البيانات في الجدول رقم (٢,٩).

الجدول رقم (٢,٩). إنتاج الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة من ١٩٥٠ - ٢٠٠٠م.

الفترة	الإنتاج (بيتاوات-ساعة / سنة)	معدل النمو السنوي المتوسط (٪ / سنة)
١٩٥٠ - ٢٠٠٠م	٠,٤-٣,٩	٤,٨
١٩٨٠ - ٢٠٠٠م	٢,٢-٣,٩	٢,٨
١٩٩٠ - ٢٠٠٠م	٢,٩-٣,٩	٢,٤

(٢,٣,٢) كثافة الطاقة Energy Intensity

يمكن دراسة توزيع استهلاك الطاقة باستخدام "كثافة الطاقة" والمقصود بها كمية الطاقة التي يستخدمها تجمع سكاني أو دولة بوحدة الطاقة لكل فرد، أو الطاقة لكل وحدة نقدية من الناتج المحلي الإجمالي. وتقوم وزارة الطاقة الأمريكية بتجميع هذه

الإحصاءات ونشرها سنوياً [3]. ويضم الجدول رقم (٢,١٠) ملخصاً للبيانات الخاصة بالولايات المتحدة وبقية العالم من عام ١٩٩٠ - ٢٠٠٠م، وذلك من تقرير عام ٢٠٠٣م.

(٢,٣,٣) تقديرات مستقبلية لقيم كثافة الطاقة

Projections of Energy Intensities

تقدم وزارة الطاقة الأمريكية أيضاً تقديرات لقيم كثافة الطاقة، وهي حالياً تصل إلى عام ٢٠٢٥م. ويلخص الجدول رقم (٢,١١) التوقعات الحالية [3]. تأتي هذه التقديرات من عدد كبير من الافتراضات التي يأخذها في الاعتبار موظفو وكالة معلومات الطاقة (EIA) التابعة لوزارة الطاقة.

يمكن أن تنتج عدة ملاحظات من مقارنة التقديرات في الجدول رقم (٢,١١) بالبيانات التاريخية في الجدول رقم (٢,١٠) إحدى هذه الملاحظات هي التساوي النسبي بين الولايات المتحدة وبقية العالم في كثافة الطاقة المبنية على الناتج المحلي الإجمالي، بينما يصل التباين إلى ستة أضعاف عندما تكون المقارنة مبنية على استهلاك الطاقة لكل فرد. وهناك ملاحظة ثانية، وهي التناقص المستمر في كثافة الطاقة المبنية على الناتج المحلي الإجمالي على مدى ١٢٥ سنة مقارنة بالانخفاض شديد البطء في كثافة الطاقة المبنية على استهلاك الطاقة لكل فرد (م.ن.س.م أقل من ١٪/السنة). تتطلب منا هذه البيانات التفكير المتمعن عندما ننظر إلى السنوات الخمسين القادمة.

(٢,٣,٤) تقديرات مستقبلية لاستهلاك الطاقة الأولية

Projections of Future Primary Energy Consumption

قبل دراسة تاريخ عصر الوقود الأحفوري وتوقعاتنا له في الفصل القادم، فإنه من المفيد استعراض تقديرات وكالة معلومات الطاقة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية لتوزيع مصادر الطاقة الأولية المتوقع استخدامها في الولايات المتحدة خلال العقدين

القادمين. كما أنه من المفيد مقارنة التقديرات التي تم إعدادها إلى عام ٢٠٢٠م والمذكورة في تقرير عام ١٩٩٩م [4] بالتقديرات التي تم إعدادها إلى عامي ٢٠٢٠ و٢٠٢٥م في تقرير عام ٢٠٠٥م [5]. يقدم الجدول رقم (٢,١٢) البيانات المأخوذة من هذين التقريرين، حيث إن معدلات النمو السنوي المتوسط معطاة على شكل النسبة المئوية/السنة ابتداءً من عام ٢٠٠٠م.

تبين البيانات عدة توجهات واضحة في توقعات وكالة معلومات الطاقة لموارد الطاقة الأولية المتاحة في الولايات المتحدة. فمن المتوقع أن ينمو استخدام الموارد الثلاثة الأولى، وهم أنواع الوقود الأحفوري الرئيسة، من ٨٥,٦٪ من استهلاك الطاقة الإجمالي عام ٢٠٠٠م إلى ٨٧,٥٪ عام ٢٠٢٥م. تبين البيانات الخاصة بالطاقة النووية إحجام الوكالة عن القبول بالحاجة إلى القدرة النووية في المستقبل، إلا أن الوكالة تتوقع ازدياد استخدامها بسبب زيادة كفاءة التشغيل وتمديد مدة تراخيص العديد من محطات القدرة النووية الحالية من ٤٠ - ٦٠ سنة، وتتوقع الوكالة أيضاً أنه لن تبنى أي محطات قدرة نووية في الولايات المتحدة في السنوات العشرين القادمة. أما بيانات الطاقة المتجددة فهي في الغالب تخص محطات القدرة الكهرومائية الحالية، ولا تتوقع الوكالة أي عمل يذكر في مجال بناء سدود إضافية، كما تفترض أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحيوية ستنمو ببطء شديد. ومن ضمن مصادر الطاقة الأولية الأخرى الطاقة الجيوحرارية، وستتم دراسة إمكانية استخدام هذه الموارد في الفصول القادمة.

الجدول رقم (٢,١٠). كثافة الطاقة في الولايات المتحدة وبقية العالم.

السنة	الناتج المحلي الإجمالي تريليون دولار ١٩٩٧م				الكثافة (كيلو وحدة حرارية بريطانية / دولار)				الكثافة (ميجا وحدة حرارية بريطانية / فرد)	
	أميركا	العالم	أميركا	العالم	أميركا	العالم	أميركا	العالم	أميركا	العالم
١٩٩٠م	١٠١	٣٤٨	٦,٨٤	٢٤,٤	٠,٢٥٥	٥,٢٥٥	١٤,٧	١٤,٣	٣٩٥	٦٦,٣
٢٠٠٠م	١١٩	٣٩٩	٩,٣٧	٣١,٩	٠,٢٧٦	٦,٠٤٩	١٢,٧	١٢,٥	٤٣٠	٦٥,٩
م.ن.س.م (٪/سنة)*	١,٦٥	١,٣٥	٣,١٤	٢,٦٧	٠,٧٩	١,٤	-١,٥	-١,٣٢	٠,٨٦	-٠,٠٦

* م.ن.س.م: معدل النمو السنوي المتوسط.

الجدول رقم (٢,١١). تقديرات كثافة الطاقة في الولايات المتحدة وبقية العالم.

السنة	الطاقة (بالكواد)		الناتج المحلي الإ (تريليون دولار ٧		الكثافة (ميجا وحدة حرارية بريطانية / فرد)		الكثافة وحدة حرارية انية / دولار)			
	أميركا	العالم	٣,٠	العالم	أميركا	العالم	أميركا	١,٢-	ميركا	العالم
٢٠٠٥م	١٢٥	٤٣٣	١٠,٦	٣٦,٣	٠,٢٨٨	٦,٤٣	١١,٨	١٢,٠	٤٣٣	٦٧,٤
٢٠١٥م	١٤٩	٥٣٢	١٤,٦	٥٠,١	٠,٣١٣	٧,٢٠	١٠,٢	١٠,٦	٤٧٥	٧٣,٩
٢٠٢٥م	١٧١	٦٤٠	١٩,٣	٦٧,٤	٠,٣٣٨	٧,٩٣	٨,٩	٩,٥	٥٠٧	٨٠,٧
م.ن.س.م (٪/سنة)*	١,٧	١,٩	٣,٠	٣,١	٠,٨	١,١	١,٤-	١,٢-	٠,٨	٠,٩

*م.ن.س.م: معدل النمو السنوي المتوسط.

الجدول رقم (٢,١٢). تقديرات الاستهلاك المستقبلي للطاقة الأولية في الولايات المتحدة.

المورد	الاستهلاك الفعلي				التقدير ٢٠٢٠م		التقديرات [6]					
	٢٠٠٠م						(٢٠٢٠م				٢٠٣٠م	
	كواد	(٪)	كواد	(٪)	م.ن.س.م	كواد	(٪)	م.ن.س.م	كواد	(٪)	كواد	(٪)	م.ن.س.م
النفط	٣٨,٥	٣٨,٧	٤٨,١	٤٠,١	١,١١	٥٢,٦	٤٠,٤	١,٥٦	٥٦,٦	٤٠,٧			١,٥٣
الغاز الطبيعي	٢٤,١	٢٤,٢	٣٣,٢	٢٧,٧	١,٦	٣٣,٠	٢٥,٤	١,٥٧	٣٥,٨	٢٥,٧			١,٥٨
الفحم	٢٢,٦	٢٢,٧	٢٦,٣	٢١,٩	١,٧٤	٢٧,٧	٢١,٣	١,٠٠	٢٩,٤	٢١,١			١,٠٤
اليورانيوم	٧,٩	٧,٩	٣,٨	٣,٢	-٠,٤٤	٨,٤	٦,٥	٠,٣٤	٨,٤	٦,٠			٠,٢٧
الطاقة المتجددة	٦,٠	٦,٠	٨,٢	٦,٨	٠,٦٧	٨,٣	٦,٤	١,٦٤	٨,٨	٦,٣			١,٥٥
غيرها	٠,٣	٠,٣	٠,٤	٠,٣	١,١٥	٠,٢	٠,٢	-٣,٠	٠,١	٠,١			-٦,٠
الإجمالي	٩٩,٤		١٢٠		٠,٩٤	١٣٠,١		١,٣٤	١٣٩,١				١,٣٤

* م.ن.س.م: معدل النمو السنوي المتوسط.

(٢,٤) الخلاصة

Summary

تواصل في هذا الفصل مناقشة سعي الإنسان بحثاً عن الطاقة الوفيرة، وتم استعراض نمو الطلب على الطاقة منذ عصور ما قبل التاريخ إلى يومنا هذا مع توقعات للمستقبل القريب. وتم التركيز على النمو في استهلاك الطاقة بعد الثورة الصناعية وحتى عصرنا الإلكتروني والنووي الحالي. وقد حدث النمو المتسارع خلال فترة من التقدم التقني في الدول الصناعية التي حل فيها الاعتماد على أنواع الوقود المصنعة من مواد أحفورية مستخرجة من قشرة الأرض محل الاعتماد على تدفق الطاقة من الشمس، وهو تغير من موارد الطاقة العائدة (المتجددة) متمثلة بالطاقة المستمدة يومياً من الشمس إلى موارد الطاقة الثابتة (غير المتجددة) متمثلة في أنواع الوقود الأحفوري القابلة للنضوب، كما افترضت المسلمة الثانية. كما تضمن هذا الفصل استعراضاً مختصراً بجوانب علم الرياضيات المتعلقة بالنمو الأسّي لتساعدنا على تفسير البيانات المتوفرة عن معدلات التغير في استهلاك الطاقة اليوم وفي المستقبل. واختتم الفصل باستعراض للتوجهات في استهلاك الطاقة، تمهيداً لدراسة تاريخ ومستقبل موارد الطاقة المتوفرة للنمو المستدام في إمدادات الطاقة للأعداد المتنامية من السكان في الولايات المتحدة والعالم، كما تم النظر في التأثيرات الناتجة عن الآثار البيئية المترتبة على ذلك على مقياس عالمي ومحلي.

المراجع References

[1] E. Cook, "Energy Flow in an Industrial Society." Scientific American 225(3): 1971.
[2] M. King Hubbert, Energy Resources: A Report to the Committee on Natural Resources. National Academy of Sciences-National Research Council Publication 1000-D. Washington, DC, 1962.
[3] U.S. Department of Energy, Energy Information Agency, International Energy Outlook. Report No. DOE/EIA-0484(2003). Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2004.
[4] U.S. Department of Energy, Energy Information Agency, Annual Energy Outlook. Report No. DOE/EIA-0383(1999). Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2000.
[5] U.S. Department of Energy, Energy Information Agency, Annual Energy Outlook. Report No. DOE/EIA-0383(2004). Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2004.