الفصل الثالث

الموارد القابلة للنضوب

Exhaustible Resources

- مقدمة.
- موارد الطاقة.
- المخزون ومعدل الاستخراج والمخزون المتبقي.
- الهدف الاجتماعي من استغلال الموارد.
- أنموذج هوتلينج لمدتين.
- حالة التكاليف المتزايدة والمدى الزمني.
- حالة وجود بديل تقني للمورد الناضب.
- استخراج المورد لثلاث فترات وأكثر.
- تمارين الفصل الثالث.
- مراجع الفصل الثالث.

obeikandi.com

3–1 مقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى توضيح الإطار الاقتصادي لتحليل الموارد القابلة للنضوب، ويقدم بعض التعاريف ذات العلاقة بمكونات التحليل الاقتصادي للموارد القابلة للنضوب كالمخزون الابتدائي والمخزون الحالي ومعدل الاستخراج أو الاستخراج وتكلفة الاستخراج. كما يحاول الإجابة على الاستفسارات الآتية الخاصة باستغلال الموارد القابلة للنضوب:

1. أنستخرج المورد أم لا؟
2. ما هي الكميات التي من الأمثل أن يتم استخراجها؟
3. متى نقوم باستخراج هذه الكميات من المورد؟
4. ما هي تكلفة الفرصة البديلة لاستغلال المورد الآن مقارنة مع حقب زمنية في المستقبل؟

كما يقدم الفصل أمثلة للموارد القابلة للنضوب كالبترول والغاز الطبيعي، ويقدم منهجية نمذجة استغلال الموارد القابلة للنضوب رياضياً أو ما أطلق عليه أنموذج هوتلنج ومن ثم طريقة حلها وحساب الحل الأمثل لاستغلال المورد في حالة حقبتين زمنيتين أو أكثر من ذلك.

كما يقوم الفصل بشرح فروض أنموذج هوتلنج وتوضيح معناها اقتصادياً وكذلك معنى شرطيه الضروري والكافي. كما يوضح الفصل بعض التطويرات أو الإضافات لأنموذج هوتلنج التي تم تقديمها في أدبيات اقتصاديات الموارد.

3–2 موارد الطاقة:

تعد الطاقة Energy عصب الحياة الحديثة والمحرك الرئيس للتقدم الصناعي والتكنولوجي بصفة خاصة والتقدم الاقتصادي بصفة عامة، وتلعب الطاقة دوراً كبيراً بالغ الأهمية بالنسبة للبشرية، فلقد اعتمدت الحضارة الحديثة على الطاقة بمواردها المختلفة؛ لتحويل الموارد الاقتصادية من شكلها الأولي إلى أشكال أخرى

متعددة قادرة على إشباع الحاجات والرغبات المتعددة والمتنوعة، كما أنها تعد عاملاً مهماً في تحقيق الرفاهية الاقتصادية والاجتماعية للإنسان.

ونظراً للدور المهم والحيوي الذي تلعبه الطاقة في الاقتصاديات كافة سواء أكانت متقدمة أم نامية، فقد حظي موضوع الطاقة بالدراسة على مستوى دول العالم بصفة عامة، كما أولته المؤسسات والهيئات العالمية والدولية والإقليمية الكثير من البحث والدراسة. وظهر هذا جلياً في السبعينيات، مع الزيادة الكبيرة التي حدثت في سعر البترول حينئذ؛ والتي أدت إلى زيادة قيمة الواردات البترولية للدول الصناعية بدرجة كبيرة مما أثر في موازين مدفوعاتها، وهذا ما جعلها تعيد النظر في سياسات الطاقة لديها، معتمدة في ذلك على ما لديها من تكنولوجيا متطورة وموارد مالية كبيرة. وقد نجحت هذه الدول في تحقيق أهدافها المرجوة، ونجحت بالفعل في ترشيد استهلاك الطاقة لديها، وتطوير وتنويع مصادر الطاقة البديلة للبترول من فحم وغاز وطاقة نووية وغيرها من مصادر الطاقة، وزيادة البحث والتنقيب عن مصادر جديدة للبترول في أراضيها وأراض أخرى خارج أراضي الدول المنتجة، ولقد أسفرت هذه الجهود عن نتائج ناجحة في اكتشاف البترول في منطقة ألاسكا، وبحر الشمال وغيرها من المناطق.

وكما تتعدد مصادر الطاقة المستخدمة عالمياً، تتعدد المعايير التي تعبر عن حجم الطاقة، فقد تكون مصادر الطاقة أو مصادر الوقود في شكل سائل Liquid مثل البترول Petroleum أو قد تكون في شكل غاز Gaseous مثل الغاز الطبيعي Natural Gas أو في صورة صلبة Solid مثل الفحم Coal، بالإضافة إلى الطاقة الكهرومائية والطاقة النووية Hydro and Nuclear energy. وتقاس الطاقة بشكل عام بوحدات قياس تسمى الوحدات الحرارية البريطانية British Thermal Units (BTU)، وهي الوحدة الكافية لرفع درجة حرارة رطل من الماء بدرجة حرارة فهرنهيت $1F^{o}$ (17.22222222 مئوية تحت الصفر)، ويحتوي برميل البترول الخام القياسي على 5.8 مليون وحدة حرارية بريطانية، والبرميل كوحدة لقياس السوائل يساوي 42 جالوناً أو 306 رطل أو 0.19090909 متر مكعب، وهو المقياس الأكثر شيوعاً بالنسبة لإحصاءات الطاقة في الأمم المتحدة.

ويمكن تقسيم موارد الطاقة طبقاً لمعايير عدة، فمن ناحية قدرتها على التجدد أو النمو تنقسم مصادر الطاقة إلى مجموعتين:

(أ) مصادر طاقة غير متجددة (قابلة للنضوب)، وهي التي توجد بكميات ثابتة عبر الزمن التخطيطي، وتتناقص كمياتها نتيجة لعملية الاستغلال أو الاستخراج، ويؤثر المعدل الذي تستخرج به في الوقت الحاضر على إمكانية إنتاجها في المستقبل، ويتوقف تناقص المخزون من هذه المصادر على معدل الإنتاج السنوي من ناحية وعلى معدل اكتشاف مخزون أو مكامن جديدة لهذه المصادر في العالم من ناحية أخرى ومن أمثلة هذه المصادر البترول، والغاز الطبيعي، والفحم، ورمال القار.

(ب) مصادر طاقة متجددة، وهي التي تنمو أو تزيد عبر الزمن ولا يؤثر معدل استهلاكها الحالي على معدل إنتاجها مستقبلاً، بل تبقى احتياطاتها قائمة مثل الطاقة الشمسية، والطاقة الهوائية (طاقة الرياح) والحرارة الجوفية (الجيوثيرمال) وطاقة الكتلة الحية، وأمواج المحيطات أو كهرباء المساقط المائية.

كذلك يمكن تقسيم مصادر الطاقة من ناحية درجة استخدامها إلى مجموعتين:

(أ) مصادر طاقة أساسية، وهي مصادر الطاقة التقليدية التى يعتمد عليها بصورة أساسية مثل البترول والفحم والغاز الطبيعي والطاقة النووية وتسهم هذه المصادر بنسبة كبيرة في استهلاك العالم من الطاقة.

(ب) مصادر طاقة بديلة، وهي مصادر الطاقة الحديثة، مثل الطاقة الشمسية والطاقة الهوائية والجرفية وطاقة الأمواج والمد والجزر والزيت الثقيل ورمال القطران والوقود الصناعي، وهذه المصادر قليلة الاستخدام في الوقت الحاضر، ولا تستخدم بصور أساسية، ولكن من المنتظر أن تلعب دوراً كبيراً في توفير الطاقة للعالم أو الإسهام بنسبة جيدة من احتياجات العالم من الطاقة في المستقبل، وذلك لتوافرها ونظافتها على البيئة وعدم خطورتها.

من المتوقع خلال العقدين القادمين أن تبقى دوال الطلب والعرض بالنسبة للطاقة العالمية تحت هيمنة مصادر الطاقة التقليدية التي تسيطر على السوق عالمياً،

نظراً لأن وسائل النقل ووحدات الإنتاج والتوزيع في كثير من مناطق العالم مصممة ومجهزة فنياً وتقنياً للعمل على مثل هذه المصادر من الطاقة، وبالطبع فلا بد لنا أن نتوقع بعض التحولات التي قد تكون مهمة في توزيع نمط الطلب من الفحم والغاز الطبيعي والبترول والمصادر الأخرى في المستقبل، إلا أن إجمالي الطلب على الطاقة لن يتأثر بصورة كبيرة جداً، ومن هنا تأتي أهمية دراسة هذه المصادر التقليدية، ولما كان من غير الممكن أن نتناول بالدراسة كل أشكال الطاقة التقليدية فإننا ندرس هنا فقط مصدرين رئيسين هما البترول والغاز الطبيعي على اعتبار أن هذين المصدرين يشكلان في مجموعهما أكثر من 60٪ من إجمالي مصادر الطاقة العالمية المستهلكة في عام 2005م حيث أسهم البترول بمقدار 36.4٪ والغاز الطبيعي بمقدار 23.5٪ (تقرير مؤسسة النقد العربي السعودي، 2006م).

3-2-1 البترول:

كان الفحم هو المصدر الرئيس للإمداد بالطاقة المستهلكة في العالم حتى نهاية الحرب العالمية الثانية، وكان للبترول Petroleum أو الكهرباء المستمدة من المساقط المائية دور ضئيل في الإمداد بالطاقة. وأدى تدمير مناجم الفحم في أوروبا الغربية في أثناء الحرب العالمية الثانية إلى التأثير في ميزان الطاقة وفي الإمداد بها، وكان لا بد من البحث عن مصدر آخر للإمداد بالطاقة، ومن ثم زاد الاعتماد على البترول كمصدر من مصادر الطاقة، خاصة مع تزايد الاكتشافات منه وتوافر العديد من المزايا فيه تلك التي لا تتوافر في الفحم. وبذلك انتشر استخدام البترول وزادت نسبة إسهاماته في ميزان الطاقة العالمي.

وكلمة بترول Petroleum من أصل يوناني، وهي مشتقة من كلمتين: هما كلمة Petro وتعني الصخر، وكلمة Oleum وتعني الزيت، وبذلك فمعناها زيت الصخر، ولقد عرف الإنسان البترول منذ قديم الأزل في مصر وفارس، حيث استخدم في أغراض التدفئة والإضاءة ورصف الطرق، ولكن صناعة البترول بصورتها الحديثة والمعروفة الآن لم تعرف إلا في منتصف القرن التاسع عشر، وذلك حين حفر Drake أول بئر بحثاً عن البترول في ولاية بنسلفانيا الأمريكية وعثر عليه

عام 1859م على عمق 69.5 قدماً. ويصنف البترول الخام إلى ثلاثة أنواع رئيسة وإن كانت تتقارب فيما بينها وهي:

1) البترول البرافيني الذي يحتوي على شمع البرافين ويعطي قدراً ممتازاً من الشمع ومن الزيوت الممتازة.

2) البترول الأسفلتي الذي يحتوي على قدر قليل من شمع البرافين ونسبة عالية من المواد الأسفلتية.

3) البترول الخليط الذي يحتوي على كميات كبيرة من شمع البرافين والمواد الأسفلتية.

وكما أن البترول يختلف من حيث نسبة الشوائب العالقة به، فإنه يختلف أيضاً من حيث كثافته النوعية؛ إذ تتراوح هذه الكثافة في أنواع البترول الخام بين 0.80 وبين 0.98، وكلما قلت درجة الكثافة النوعية للبترول ازدادت فيه نسبة المقطرات الخفيفة ذات الاستعمالات المهمة اقتصادياً كوقود الطائرات والسيارات، والعكس صحيح. ويتم التعبير عن درجة كثافة البترول عالمياً باستخدام مقياس معهد البترول الأمريكي American Petroleum Institute (API) حيث:

$$\text{درجة (API)} = \frac{141{,}5}{\text{درجة الكثافة النوعية عند حرارة } 60^0\text{ف}} - 131{,}5$$

فمثلاً: البترول الخام الذي تبلغ كثافته النوعية 0.855، يعادل درجة 34 (API) هو البترول السعودي المعروف ببترول القياس Standard Oil، الذي تستخدمه منظمة الأوبك كأساس لتحديد أسعار البترول، وتقوم كل دولة بتحديد سعر بترولها على أساس الزيادة أو النقص في درجة الكثافة بالمقارنة ببترول الأساس.

وبعبارة أخرى فإن مقياس API يعبر عن جودة البترول الخام التي تنعكس على سعره، فكلما ارتفعت درجة API كان البترول أخف وذا جودة عالية، مثل بترول شمال أفريقيا وبترول حقل الحلوة في المملكة العربية السعودية الذي تتراوح درجته من 40 إلى 50 على مقياس API، وهكذا إلى أن نصل إلى البترول الخام الثقيل الذي تصل درجته إلى 22 على مقياس API.

3–2–2 مخزون البترول:

توجد مقاييس متعددة لمخزون البترول Petroleum Stock الموجود في باطن الأرض وطرق تصنيفه، ويمكن تقسيم المخزون البترولي إلى ثلاثة أنواع هي:

(1) المخزون المؤكد أو الثابت:

ونعني بذلك كميات البترول المؤكد وجودها فعلاً في باطن الأرض Proved Stock، حيث تؤكد لنا الدراسات والمسوحات الجيولوجية والهندسية إمكانية استخراج هذه الكميات في المستقبل وذلك على أساس التكنولوجيا المعروفة والسائدة، وكذلك على أساس مستويات الطلب والتكاليف والأسعار السائدة في الوقت الحاضر.

(2) المخزون المتوقع (المحتمل):

ويقصد بالمخزون المتوقع (المحتمل) Prospective Stock الكميات الإضافية التي يمكن استخراجها بعد استخراج كميات المخزون المؤكد من البترول، وهذا المخزون يشمل البترول الممكن الحصول عليه عن طريق تطوير الحقول البترولية بحيث تنتج بطاقتها الكاملة إلى جانب اكتشاف وسائل تقنية حديثة في هذا المجال، ويمكن أن نسمي هذا النوع من المخزون بالمخزون الرأسي حيث يتوقف على وجود الآبار البترولية الحالية.

(3) المخزون الممكن:

ويقصد بالمخزون الممكن Possible Stock كميات البترول التي لم يتم اكتشافها بعد، والتي يتصور الجيولوجيون والهندسيون وجودها في أماكن لم يتم مسحها جيولوجياً ولم يتم البحث فيها عن البترول، ويسمى هذا المخزون أحياناً بمخزون البترول الأفقي.

3–2–3 العوامل التي تؤثر في حجم المخزون البترولي:

تخضع تقديرات المخزون المؤكد من البترول إلى التغير بالزيادة أو النقصان بسبب عوامل عديدة هي:

obeikandl.com

1) معدل الاستخراج أو معدل النضوب السنوي، حيث ينخفض المخزون المؤكد من البترول بمقدار ما يتم استخراجه منه، ومن الملاحظ وجود علاقة عكسية بين معدل الاستخراج السنوي من البترول وبين المخزون المتبقي منه، بافتراض ثبات العوامل الأخرى.

2) الاكتشافات البترولية الجديدة، حيث يزداد المخزون المؤكد من البترول بمقدار ما يتم اكتشافه منه، وهناك علاقة طردية بين الاكتشافات البترولية الجديدة والمخزون المؤكد منه بافتراض ثبات العوامل الأخرى.

3) تنمية أو إجراء التوسعات في الحقول الموجودة، حيث تؤدي تنمية الحقول المكتشفة سابقاً وإجراء التوسعات فيها أو استخدام تكنولوجيا حديثة في هذا المجال إلى زيادة المخزون البترولي المؤكد.

4) إعادة تقدير المخزون البترولي إذ إن عملية إعادة تقدير مخزون البترول المؤكد الموجود في الآبار المحفورة في الحقل تؤدي إلى زيادة المخزون البترولي وخاصة عند توافر معلومات جيولوجية جديدة أفضل عن الحقل البترولي من حيث سمك الطبقة الحاملة للبترول ودرجة المسامية لهذه الطبقة، ومن الجدير بالذكر أن حوالي 80٪ مما أضيف إلى المخزون الثابت في الولايات المتحدة الأمريكية كان سببه إعادة التقدير للمخزون القائم، وإلى التوسعات في الحقول القديمة بدرجة أكبر منها إضافات ناتجة عن اكتشافات جديدة. كذلك فإن هناك الكثير من العوامل التي تؤدي إلى تغير تقدير المخزون البترولي، منها على سبيل المثال الاعتبارات الفنية أو الإنتاجية، والاعتبارات السياسية، ويوضح الجدول (3–1) تطور المخزون السعودي، ومخزون أوبك، والمخزون العالمي من البترول في المدة 1984–2005م.

جدول (3–1) تطور مخزون البترول في المدة 1984–2005م (بليون البراميل)

السنة	المخزون العالمي	مخزون أوبك	مخزون السعودية	نسبة مخزون أوبك من المخزون العالمي (٪)	إسهام مخزون السعودية في مخزون أوبك (٪)	إسهام مخزون السعودية في المخزون العالمي (٪)
1984	741.808	509.998	171.710	68.8	33.7	23.1
1985	767.061	535.798	171.490	69.9	32.0	22.4
1986	869.035	643.016	169.744	74.0	26.4	19.5
1987	897.805	674.020	169.585	75.1	25.2	18.9
1988	992.709	760.484	254.989	76.6	33.5	25.7
1989	997.099	764.830	260.050	76.7	34.0	26.1
1990	997.655	765.879	260.342	76.8	34.0	26.1
1991	1.002.805	771.947	260.936	77.0	33.8	26.0
1992	1.009.774	773.702	261.203	76.6	33.8	25.9
1993	1.009.629	774.541	261.355	76.7	33.7	25.9
1994	1.016.749	777.400	261.374	76.5	33.6	25.7
1995	1.025.550	785.066	261.450	76.6	33.3	25.5
1996	1.049.590	802.819	261.444	76.5	32.6	24.9
1997	1.052.508	806.080	261.541	76.6	32.4	24.8
1998	1.057.853	810.144	261.542	76.6	32.3	24.7
1999	1.048.230	818.247	262.784	78.1	32.1	25.1
2000	1.077.500	845.996	262.766	78.5	31.1	24.4
2001	1.085.807	847.884	262.697	78.1	31.0	24.2
2002	1.121.226	881.679	262.790	78.6	29.8	23.4
2003	1.138.574	890.714	262.730	78.2	29.5	23.1
2004	1.145.125	896.659	264.310	78.3	29.5	23.1
2005	1.153.962	904.255	264.211	78.4	29.2	22.9

المصدر: النشرة الإحصائية السنوية، أوبك 2005، العمود الثالث، والرابع والخامس من حساب الباحث.

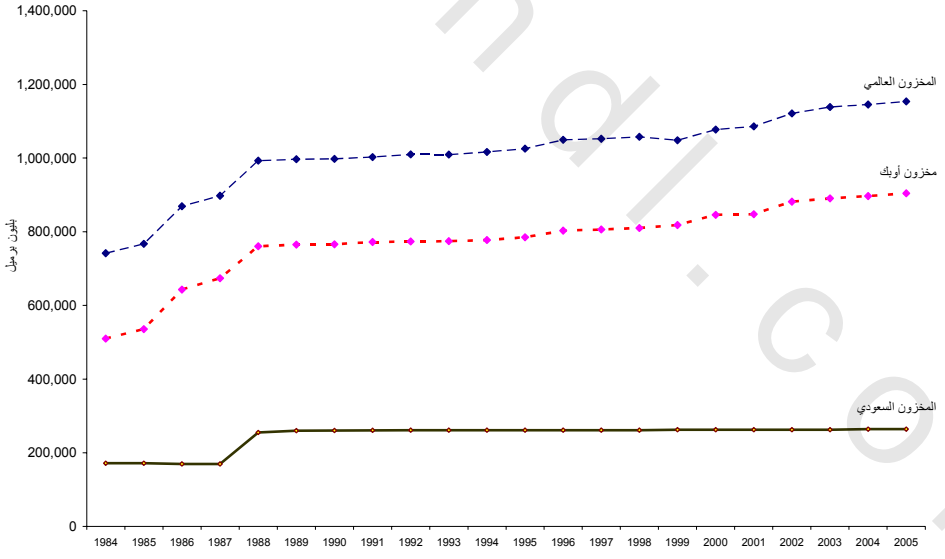
حيث تشير إحصاءات الجدول (3–1) إلى التطور المستمر للمخزون العالمي المؤكد من البترول خلال المدة 1984 – 2005م إذ وصل إلى حوالي 1.153.962 بليون برميل في نهاية عام 2005م مقارنة بحوالي 741.808 بليون برميل في عام 1984م بزيادة إجمالية مقدارها 412.154 بليون برميل أي بنسبة زيادة 55.6٪. ومن جهة أخري بلغ إجمالي المخزون المؤكد لدى دول أوبك حوالي 904.255 بليون برميل في عام 2005م بما يمثل 78.4٪ من المخزون العالمي المؤكد من البترول، مقارنة بحوالي 509.998 بليون برميل عام 1984م بما يمثل 68.8٪ من المخزون

العالمي المؤكد من البترول، بزيادة إجمالية بلغت حوالي 394.257 بليون برميل أي بنسبة زيادة 77.3٪.

أما بالنسبة للمملكة العربية السعودية فقد بلغ حجم المخزون المؤكد لديها حوالي 264.211 بليون برميل في نهاية عام 2005م مقارنة بحوالي 171.710 بليون برميل عام 1984م بزيادة إجمالية مقدارها 92.501 بليون برميل أي بنسبة زيادة 53.9٪. وهذا يرجع إلى الاكتشافات البترولية الجديدة وإجراء التوسعات في الحقول الموجودة، إضافة إلى استخدام التكنولوجيا الحديثة للوقوف على أفضل السبل لتنمية الحقول وتحديث تقديرات المخزون بصفة مستمرة. ويوضح الشكل (3–1) تطور المخزون السعودي مقارنة بمخزون أوبك، والمخزون العالمي في المدة 1984 – 2005م.

الشكل (3–1)

تطور مخزون البترول السعودي مقارنة بمخزون أوبك والمخزون العالمي في المدة 1984 – 2005م



Openkandl.com

3–2–4 إنتاج البترول:

يعد البترول أحد الموارد حديثة الإنتاج تجارياً، إذا ما قورن بإنتاج الفحم أو المعادن الأخرى كالحديد والنحاس وغيرها، ولقد حقق إنتاجه زيادة تدريجية منتظمة بالرغم من أن هذا الإنتاج يتميز بالانتقال من منطقة لأخرى. والواقع أن معظم بترول العالم ينتج في عدد محدود من الدول، ويوضح الجدول (3–2) تطور إنتاج البترول في المدة 1984م – 2005م.

جدول (3–2) تطور إنتاج البترول في المدة 1984م – 2005م (مليون براميل يومياً)

السنة	الإنتاج العالمي	إنتاج أوبك	إنتاج السعودية	نسبة إسهام أوبك في الإنتاج العالمي (٪)	نسبة إسهام السعودية في إنتاج أوبك (٪)	نسبة إسهام السعودية في الإنتاج العالمي (٪)	نسبة إسهام النفط في الطاقة العالمية المستهلكة (٪)
1984	53	16	4	30.2	25.0	7.5	39.1
1985	52	15	3	28.8	20.0	5.8	37.9
1986	55	18	5	32.7	27.8	9.1	38.2
1987	55	17	4	30.9	23.5	7.3	37.6
1988	57	19	5	33.3	26.3	8.8	38.9
1989	58	20	5	34.5	25.0	8.6	38.8
1990	59	22	6	37.3	27.3	10.2	39.9
1991	59	22	8	37.3	36.4	13.6	40
1992	59	24	8	40.7	33.3	13.6	40.4
1993	59	24	8	40.7	33.3	13.6	39.7
1994	60	25	8	41.7	32.0	13.3	39.9
1995	60	25	8	41.7	32.0	13.3	39.8
1996	61	25	8	41.0	32.0	13.1	39.5
1997	63	25	8	39.7	32.0	12.7	39.9
1998	65	28	8	43.1	28.6	12.3	40
1999	63	26	8	41.3	30.8	12.7	39.3
2000	66	28	8	42.4	28.6	12.1	38.9
2001	.465	27	8	41.3	29.6	12.2	38.6
2002	64	.324	7	38.0	28.8	10.9	37.6
2003	.367	27	.48	40.1	31.1	12.5	37.2
2004	.570	.529	.98	41.8	30.2	12.6	36.9
2005	.771	.630	.49	42.7	30.7	13.1	36.4

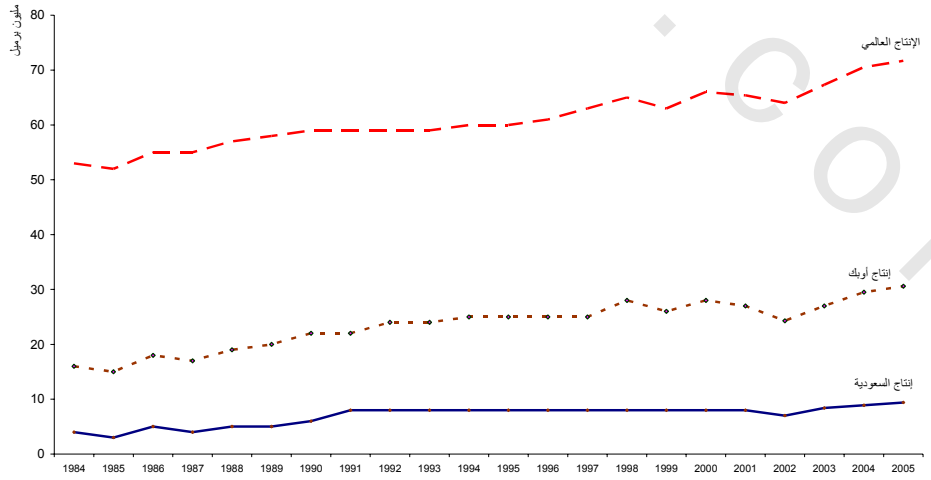
المصدر: النشرة الإحصائية السنوية، أوبك 2005، العمود الثالث، والرابع والخامس من حساب الباحث، والعمود السادس من واقع بيانات مؤسسة النقد العربي السعودي، التقرير السنوي الثاني والأربعون، 2006م.

ويتضح من الجدول (3–2) أن إنتاج البترول في العالم قد زاد خلال المدة 1984–2005م بصفة عامة، فقد زاد إنتاجه من 53 مليون برميل يومياً إلى 71.7 مليون برميل يومياً بزيادة إجمالية مقدارها 18.7 مليون برميل يومياً، أي: بنسبة زيادة 35.3٪، وذلك بسبب زيادة الطلب نتيجة للنمو الاقتصادي العالمي وزيادة عدد السكان، وزيادة متوسط الدخل للفرد على مستوى العالم، إضافة إلى النمو الصناعي والاقتصادي المتزايد لدى كثير من الدول الواعدة مثل الصين وكوريا والهند، وغيرها. كذلك يبين الجدول تطور الإنتاج لدى دول منظمة أوبك، حيث بلغ الإنتاج حوالي 30.6 مليون برميل يومياً عام 2005م بما نسبته 42.7٪ من الإنتاج العالمي مقارنة بحوالي 16 مليون برميل يومياً عام 1984م بما نسبته 30.2٪ من الإنتاج العالمي، إذ بلغ مقدار الزيادة خلال هذه المدة حوالي 14.6 مليون برميل سنوياً بنسبة 91.2٪.

أما بالنسبة للمملكة العربية السعودية فقد تضاعف الإنتاج خلال هذه المدة؛ إذ زاد من 4 مليون برميل يومياً في عام 1984م إلى 9.4 مليون برميل يومياً عام 2005م، بزيادة إجمالية مقدارها 5.4 مليون برميل يومياً، أي بنسبة زيادة تصل إلى نحو 135٪، ويوضح الشكل (3–2) تطور إنتاج البترول السعودي مقارنة بإنتاج دول منظمة أوبك، والإنتاج العالمي في المدة 1984 – 2005م.

الشكل (3–2)

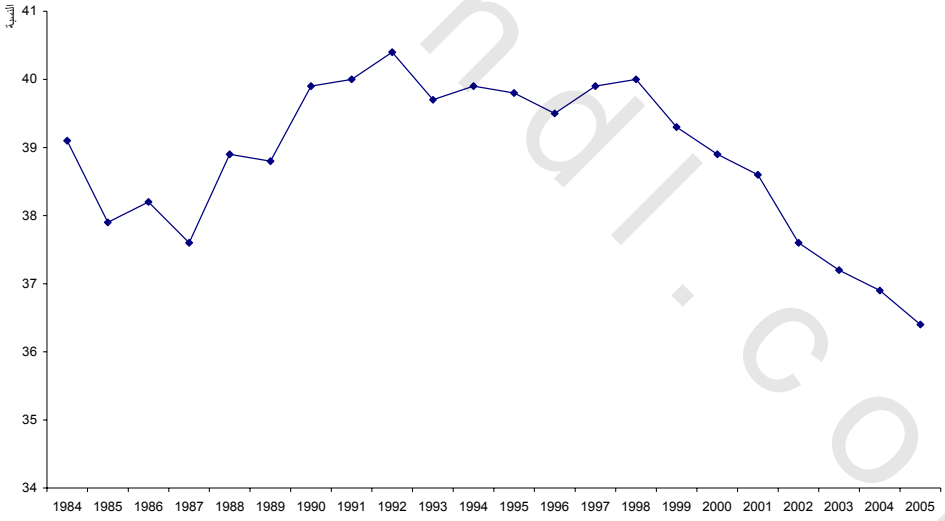
تطور إنتاج النفط السعودي مقارنة بإنتاج أوبك، والإنتاج العالمي في المدة 1984 – 2005م



obeikandl.com

كما يبين لنا جدول (3–2) أن نسبة إسهام البترول في الاستهلاك العالمي للطاقة خلال المدة 1984–2005م، إذ كانت نسبة إسهام البترول في الاستهلاك العالمي للطاقة 39.1٪ من الاستهلاك العالمي للطاقة لعام 1984م، ثم أخذت هذه النسبة في الانخفاض بصفة عامة حتى عام 1988م، إلا أنها بدأت في الزيادة حتى وصلت أقصاها في عام 1992م إذ بلغت 40.4 ٪ ثم تقلبت بعد ذلك بين الزيادة والنقصان حتى وصلت إلى 36.4٪ عام 2005م، وقد يكون هذا بسبب سياسة الدول الصناعية في تقليل نسبة اعتمادها على البترول، والعمل على تطوير وتنويع عناصر الطاقة البديلة الأخرى وزيادة نسبة إسهامها في إجمالي الطاقة المستهلكة. وهو ما يعني زيادة نسبة إسهام مصادر الطاقة الأخرى مثل الغاز الطبيعي والفحم والكهرباء والمساقط المائية، وغيرها من مصادر الطاقة المستهلكة، ويوضح الشكل (3–3) نسبة إسهام النفط في الطاقة العالمية المستهلكة في المدة 1984–2005م.

الشكل (3–3) نسب إسهام البترول في الطاقة العالمية المستهلكة في المدة 1984–2005م



3–2–5 مدد كفاية المخزون للإنتاج:

البترول كما أسلفنا من الموارد الناضبة التي توجد بكميات ثابتة ويمكن أن تنضب اقتصادياً مع وجودها جيولوجياً، ومن المفيد معرفة نسبة المخزون إلى

الإنتاج S_t/R_t أي عدد سنوات كفاية المخزون المؤكد من البترول للإنتاج T ، ومن الجدير بالذكر أن المدة الزمنية لكفاية المخزون للإنتاج تتوقف على التغير في معدل الاستخراج، ومستوى المخزون الحالي، وغيرها.

فمثلاً: في المملكة العربية السعودية قُدرت المدة التي يكفي فيها المخزون للإنتاج في عام 1976م حوالي 48 سنة، واستمرت الزيادة في المدة حتى أصبح المخزون يكفي للإنتاج لمدة تجاوزت مائة سنة في عام 1984م إذ تزيد هذه المدة عن المدد في كثير من دول مجلس التعاون الخليجي مثل قطر وعمان والبحرين والإمارات قبل عام 1985م، كما تقترب من متوسط المدة الخاصة بدول مجلس التعاون الخليجي مجتمعة. (المصدر: المطيري، السيد خالد، الجغرافيا الاقتصادية، دار الشواف للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، الرياض، 1996م). واستمرت مدة كفاية المخزون في الارتفاع لتصل أقصاها سنة 1985م، ومع زيادة الإنتاج بمعدل يفوق زيادة المخزون تراجعت هذه المدة لتصل إلى 93 سنة عام 1986م. إلا أن مدة كفاية المخزون عاودت الارتفاع مرة أخرى بسبب زيادة المخزون والتذبذب الطفيف في معدل الاستخراج؛ وفي عام 1990م ومع قرار المملكة بزيادة إنتاجها من 6 مليون برميل إلى 8 مليون برميل يومياً انخفضت مدة كفاية المخزون لتصل إلى 89 سنة، وظلت شبه ثابتة حتى عام 2001م الذي أعقبه قرار المملكة بتخفيض الإنتاج ليصل إلى 7 مليون برميل يومياً عام 2002م. إلا أن المملكة عاودت الزيادة من إنتاجها اليومي ليصل إلى 8.4 مليون برميل يومياً عام 2003م لتلبية لزيادة في الطلب العالمي، واستمرت الزيادة في الإنتاج مع الانخفاض في المدة لتصل عام 2005م إلى نحو 77 سنة، ويوضح الجدول (3–3)، والشكل (3–4) مدد كفاية المخزون للإنتاج من 1984 إلى 2005م.

جدول (3–3) مدد كفاية المخزون للإنتاج في 1984 إلى 2005م

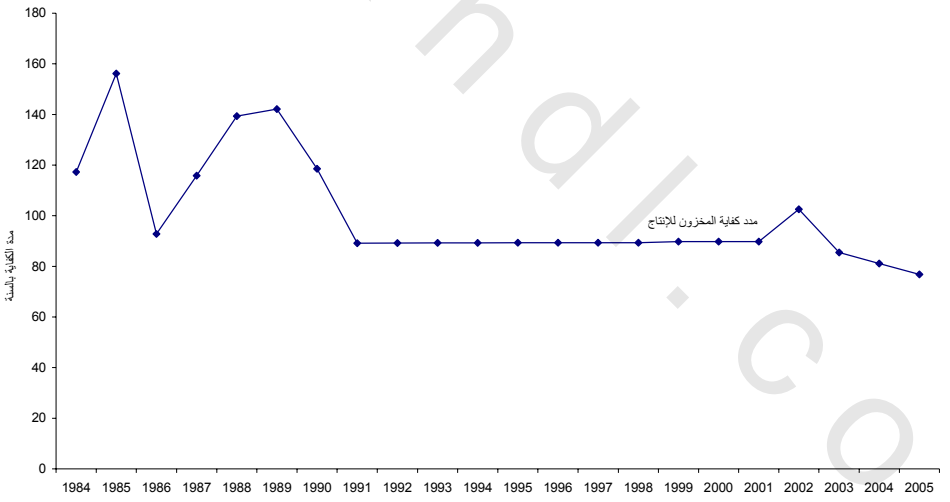
السنة	المخزون السنوي	الإنتاج السنوي	عدد سنوات الإنتاج
1984	171710	1464	117
1985	171490	1098	156
1986	.8169743	1830	93
1987	169585	1464	116
1988	254989	1830	139
1989	260050	1830	142
1990	260342	2196	119

obeikandl.com

السنة	المخزون السنوي	الإنتاج السنوي	عدد سنوات الإنتاج
1991	260936	2928	89
1992	261203	2928	89
1993	261355	2928	89
1994	261374	2928	89
1995	261450	2928	89
1996	261444	2928	89
1997	261541	2928	89
1998	261542	2928	89
1999	262784	2928	90
2000	262766	2928	90
2001	262797	2928	90
2002	262790	2562	103
2003	262730	.43074	85
2004	264310	.43257	81
2005	264211	.43440	77

المصدر (من حساب الباحث بناءً على بيانات النشرة السنوية الإحصائية، أوبك، 2005م).

الشكل (3–4) مدد كفاية المخزون للإنتاج من 1984 إلى 2005م



3–2–6 الغاز الطبيعي:

يعد الغاز الطبيعي Natural Gas من مصادر الطاقة الحديثة التي زاد استخدامها في الآونة الأخيرة، وتشير الإحصاءات إلى زيادة نسبة إسهام الغاز الطبيعي في إجمالي الطاقة العالمية المستهلكة، حيث زادت النسبة من 20٪ عام 1984م إلى 23.5٪ في عام

2005م. كذلك تزايد استهلاك الغاز الطبيعي كمصدر من مصادر الطاقة الحديثة في الدول العربية وخاصة الدول المنتجة له، مما يعكس تزايد معدلات التحديث في القطاعات الاقتصادية المختلفة وخروجها من النمط التقليدي، فقد زادت نسبة استهلاك الغاز الطبيعي في الدول العربية من 53٪ من جملة الإنتاج العربي في عام 1992م إلى حوالي 79٪ في عام 1996م (المصدر: عبدالله، محمد حامد، اقتصاديات الموارد والبيئة، عمادة النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، الرياض، 2000م)، أما على مستوى المملكة العربية السعودية فيلاحظ الارتفاع المستمر في استخدام الغاز الطبيعي؛ فقد ارتفعت نسبة إسهام الغاز الطبيعي في إجمالي الطاقة المستهلكة محلياً من 23.7٪ عام 1984م إلى 45٪ في عام 2005م (مؤسسة النقد العربي السعودي، التقرير السنوي الثاني والأربعون، 2006م)، ويوضح الجدول (3–4) نسب إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة عالمياً، وفي الطاقة المستهلكة على المستوى المحلي السعودي في المدة 1984–2005م.

الجدول (3–4)

نسب إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة محلياً وعالمياً، في المدة 1984–2005م

السنة	إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة محلياً (٪)	إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة عالمياً (٪)
1984	23.8	20
1985	27.2	20.1
1986	29.6	19.6
1987	30.3	19.9
1988	33.0	20.9
1989	37.9	21.3
1990	33.8	22.5
1991	34.4	22.8
1992	37.5	22.6
1993	37.0	23.3
1994	37.4	23
1995	40.0	23.2
1996	39.2	23.5
1997	39.9	23.5
1998	38.9	23.7
1999	38.2	23.7
2000	39.5	24.2

السنة	إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة محلياً (٪)	إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة عالمياً (٪)
2001	41.4	24.2
2002	42.3	24.2
2003	42.1	23.9
2004	43.5	23.6
2005	45.1	23.5

المصدر: مؤسسة النقد العربي السعودي، التقرير السنوي الثاني والأربعون، 2006م

ويوضح الشكل (3–5) نسب إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة عالمياً، وفى الطاقة المستهلكة على المستوى المحلي السعودي في المدة 1984–2005م.

الشكل (3–5)

نسب إسهام الغاز الطبيعي في الطاقة المستهلكة عالمياً ومحليا في المدة 1984–2005م

والغاز الطبيعي هو عبارة عن خليط من الأيدروكربونات منها أساساً الميثان والبروبان والبيوتان، ويظهر متحداً مع البترول في آباره أو ذائباً فيه، أو يوجد منفصلاً في حقول غازية، كما يمكن استخلاص الغاز الطبيعي صناعياً من الفحم. ويعد الغاز الطبيعي وقوداً مثالياً للبيئة، وتتلخص طرق الاستفادة من الغاز الطبيعي في فصل غازات الميثان والإيثان التي يمكن استخدامها كوقود في عمليات

إنتاج الحديد والألمنيوم والأسمنت وتوليد الكهرباء وتحلية المياه المالحة، وكذلك يستخدم الغاز في الحصول على الهيدروجين اللازم لصناعة الأسمدة، والنترات، والأمونيا، كما تعتمد كثير من صناعات البلاستيك والمنظفات الصناعية والألياف الصناعية والكيماويات والمطاط الصناعي وغيرها على غازي الميثان والبروبان كمادة خام. ويسمى الغاز المستخدم في الأغراض الصناعية باللقيم، ويشكل اللقيم عصب الصناعات البتروكيماوية التي تطورت بشكل سريع في المملكة العربية السعودية، اعتماداً على وجود الغاز الطبيعي المصاحب للبترول الذي كان يحرق في السابق، مما يشكل استغلاله في أغراض الصناعات البتروكيماوية قيمة اقتصادية مضافة كبيرة للاقتصاد الوطني، مقابل تكلفة فرصة بديلة عند حرقه تساوي الصفر. ومن أهم ميزات استغلال الغاز الطبيعي ما يأتي:

1. اعتماد كثير من الصناعات البتروكيماوية على الغاز الذي يدخل في كثير من الصناعات الحديثة ذات القيمة الاقتصادية المضافة العالية.
2. اعتماد أكثر محطات تحلية المياه المالحة الحديثة على غاز الإيثان كمصدر للطاقة لإنتاج المياه المحلاة والطاقة الكهربائية.
3. يتميز الغاز الطبيعي بالنظافة في الاستعمال وذلك لخلوه من الشوائب الكبريتية، ولذلك فإن استخدامه وحرقه في الأفران لا يؤدي إلى تلوث البيئة، فلا ينتج من استهلاكه كوقود أكاسيد الكبريت والنيتروجين التي تنتج من استخدام زيت الوقود، كما أنه لا يؤثر في أنابيب الأفران (وهذا يعد حلاً لمشكلة تلوث البيئة والهواء والمياه خصوصاً في المدن الصناعية المكتظة بالسكان).
4. يتميز الغاز الطبيعي بأنه سريع الاشتعال، ولذلك فهو يعد وقوداً مثالياً وخاصة في الاستعمالات المنزلية.
5. كذلك لبعض مكونات الغاز (كالميثان، والإيثان) ميزات تساعد على التحكم في درجة حرارة الأفران إلى أقرب درجة مئوية مرغوب فيها، وذلك لوجودها في الحالة الغازية، كما أنها تتميز بارتفاع محتواها الحراري أيضاً.

openkandil.com

6. رخص ثمن الغاز الطبيعي النسبي (تكلفة الفرصة البديلة) بالمقارنة بالبترول، وارتفاع المردود الاقتصادي لاستخدامه في الأسواق المحلية خاصة إذا كان يخرج مصاحباً للبترول، حيث لا يوجد له تكلفة فرصة بديلة.

3–2–7 مخزون الغاز الطبيعي:

أدى الاهتمام المتزايد بإنتاج الغاز الطبيعي واستهلاكه إلى الاهتمام بتقدير مخزون الغاز الطبيعي Natural Gas Stock القابل للاستخلاص في مختلف أنحاء العالم. ويختلف نمط التوزيع الجغرافي لمخزون الغاز الطبيعي المؤكد حتى الآن عن نمط توزيع المخزون العالمي للبترول. فعلى سبيل المثال حين يتركز الجانب الأكبر من المخزون البترولي في دول لا تستهلك من إنتاجها إلا نسبة ضئيلة (دول أوبك)، بينما مخزون الغاز الطبيعي المكتشف حالياً في هذه الدول لا يتجاوز 46٪ من المخزون العالمي للغاز الطبيعي في عام 2005م، ونسبة 49.6٪ من المخزون العالمي للغاز الطبيعي في عام 2005م (المصدر: النشرة السنوية الإحصائية، أوبك 2005م)، والجانب الأكبر من هذه النسبة يوجد في حقول البترول، مما يجعل إنتاج هذا المخزون مرهوناً بالسياسة المستخدمة في إنتاج البترول ومتوقفاً عليه. فعلى سبيل المثال تشير الإحصاءات إلى أن 78٪ من الغاز السعودي يستخرج مصاحباً للبترول، وتبلغ هذه النسبة في العراق وإيران حوالي 65٪، في حين تبلغ في الولايات المتحدة 27٪، بينما يبلغ متوسط هذه النسبة على مستوى العالم 40٪. (المصدر: يونس، محمود، وآخرون، مقدمة في الموارد واقتصادياتها، الدار الجامعية 1992م).

ومن ناحية أخرى فإن تقديرات مخزون الغاز الطبيعي المكتشف حالياً لا تمثل الواقع، فالبحث عن الغاز وتقدير المخزون منه لم يبدأ إلا منذ مدة قصيرة نسبياً في الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام 1945م ويتحدد مخزون الغاز كل عام بما يضاف إلى المخزون التراكمي بالزيادة أو النقصان نتيجة عمليات الإنتاج والاستهلاك والاكتشافات الجديدة وإعادة تقدير مخزون الحقول القديمة، ويوضح الجدول (3–5) تطور المخزون السعودي، ومخزون أوبك، والمخزون العالمي من الغاز الطبيعي في المدة 1984–2005م.

جدول (3–5) تطور مخزون الغاز في المدة 1984–2005م (ببلايين الأمتار المكعبة القياسية)

السنة	المخزون العالمي	مخزون أوبك	مخزون السعودية	إسهام أوبك في المخزون العالمي (٪)	إسهام السعودية في مخزون أوبك (٪)	إسهام السعودية في المخزون العالمي (٪)
1984	98.281	35.658	3.608	36.3	10.1	3.7
1985	101.960	36.151	3.687	35.5	10.2	3.6
1986	108.915	41.092	4.021	37.7	9.8	3.7
1987	110.916	41.943	4.190	37.8	10.0	3.8
1988	114.890	45.526	5.020	39.6	11.0	4.4
1989	129.024	49.849	5.218	38.6	10.5	4.0
1990	132.927	50.729	5.223	38.2	10.3	3.3
1991	141.071	56.572	5.221	40.1	9.2	3.7
1992	142.957	56.564	5.249	39.6	9.3	3.7
1993	145.541	57.705	5.249	39.6	9.1	3.6
1994	148.795	59.428	5.260	39.9	8.9	3.5
1995	147.231	60.149	5.545	40.9	9.2	3.8
1996	152.196	64.215	5.693	42.2	8.9	3.7
1997	154.315	65.021	5.882	42.1	9.0	3.8
1998	157.471	68.434	6.068	43.5	8.9	3.9
1999	155.926	67.704	6.146	43.4	9.1	3.9
2000	164.865	75.569	6.301	45.8	8.3	3.8
2001	176.100	86.817	6.456	49.3	7.4	3.7
2002	176.826	87.687	6.646	49.6	7.6	3.8
2003	179.231	88.761	6.754	49.5	7.6	3.8
2004	179.697	89.260	6.834	49.7	7.7	3.8
2005	180.238	89.357	6.900	49.6	7.7	3.8

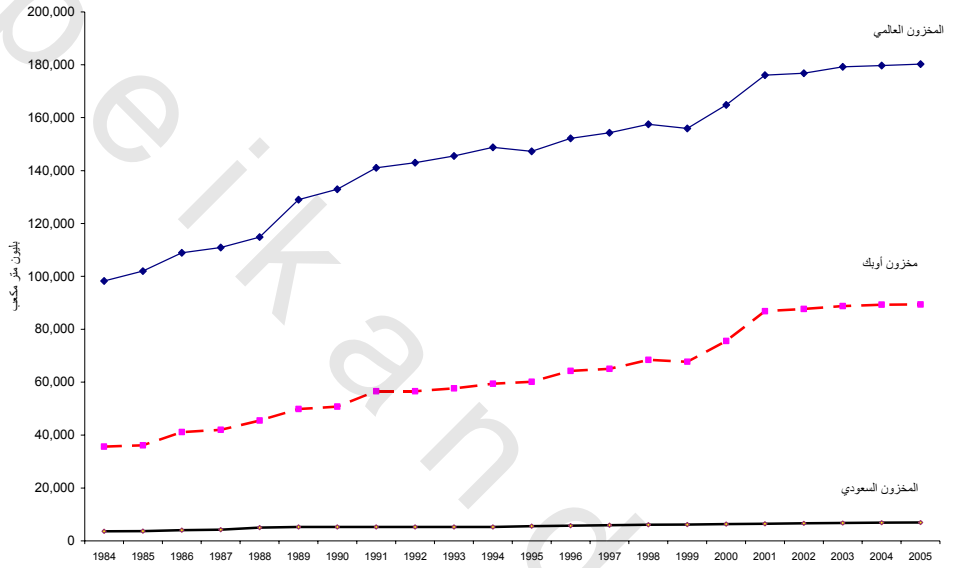
المصدر: النشرة السنوية الإحصائية، أوبك 2005، الثالث، والرابع، والخامس من حساب الباحث.

يوضح الجدول (3–5) تطور المخزون العالمي المؤكد من الغاز الطبيعي في المدة 1984 – 2005م، إذ زاد المخزون العالمي من 98.281 بليون متر مكعب في عام 1984م إلى 180.238 بليون متر مكعب في نهاية عام 2005م، بزيادة إجمالية مقدارها 81.957 بليون متر مكعب، أي بنسبة زيادة 83.4٪، بينما زاد مخزون أوبك بمقدار 53.699 بليون متر مكعب، أي بنسبة زيادة 150.6٪، حيث أسهمت أوبك بنحو 65.5٪ من الزيادة العالمية في مخزون الغاز الطبيعي. هذا وقد زاد مخزون الغاز الطبيعي السعودي بمقدار 3.292 بليون متر مكعب، أي بنسبة زيادة 91.2٪، حيث أسهمت السعودية بنحو 6.13٪ فقط من الزيادة لدي أوبك، بينما تظل نسمة الإسهام في الزيادة العالمية ضئيلة حيث وصلت إلى 4٪. ويوضح الشكل

(3–6) تطور المخزون السعودي، ومخزون أوبك، والمخزون العالمي من الغاز الطبيعي في المدة 1984–2005م.

الشكل (3–6)

تطور المخزون السعودي، ومخزون أوبك، والمخزون العالمي من الغاز الطبيعي في المدة 1984 – 2005م



3–2–8 إنتاج الغاز الطبيعي:

يشكل الغاز الطبيعي مورداً مهماً من موارد الطاقة خصوصاً في الدول الصناعية المتقدمة، نتيجة المزايا الفنية والاقتصادية والبيئية التي يتمتع بها، ولسهولة استخدامه كوقود ذي محتوى حراري عالٍ. لذلك تطور إنتاج واستهلاك الغاز بشكل سريع منذ بداية القرن الحالي، ويوضح الجدول (3–6) تطور إنتاج الغاز الطبيعي في المدة 1984–2005م.

obeikandl.com

جدول (3–6) تطور إنتاج الغاز الطبيعي في المدة 1984 – 2005م (بملايين الأمتار المكعبة القياسية)

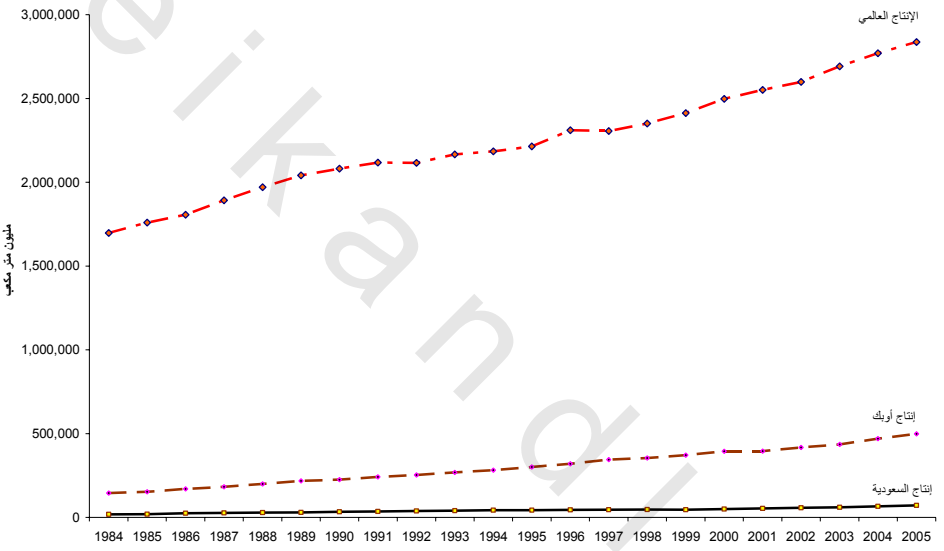
السنة	الإنتاج العالمي	إنتاج أوبك	إسهام أوبك في الإنتاج العالمي (٪)	إنتاج السعودية	إسهام السعودية في إنتاج أوبك (٪)	إسهام السعودية في الإنتاج العالمي (٪)
1984	1.697.201	145.615	8.6	18.200	12.5	1.1
1985	1.759.152	152.821	8.7	18.800	12.3	1.1
1986	1.806.358	169.607	9.4	25.200	14.9	1.4
1987	1.891.804	182.630	9.7	26.800	14.7	1.4
1988	1.970.796	199.858	10.1	29.100	14.6	1.5
1989	2.041.480	217.484	10.7	29.800	13.7	1.5
1990	2.081.040	225.656	10.8	33.520	14.9	1.6
1991	2.117.118	241.172	11.4	35.170	14.6	1.7
1992	2.116.012	253.274	12.0	38.250	15.1	1.8
1993	2.166.389	268.155	12.4	40.040	14.9	1.8
1994	2.184.280	281.875	12.9	42.770	15.2	2.0
1995	2.213.711	300.843	13.6	42.930	14.3	1.9
1996	2.310.715	320.346	13.9	44.510	13.9	1.9
1997	2.306.050	344.381	14.9	45.840	13.3	2.0
1998	2.350.671	354.637	15.1	46.720	13.2	2.0
1999	2.412.201	371.592	15.4	46.200	12.4	1.9
2000	2.497.435	394.890	15.8	49.810	12.6	2.0
2001	2.551.025	395.640	15.5	53.690	13.6	2.1
2002	2.599.325	417.589	16.1	57.320	13.7	2.2
2003	2.691.474	435.972	16.2	60.060	13.8	2.2
2004	2.769.768	469.715	17.0	65.680	14.0	2.4
2005	2.836.888	498.375	17.6	71.240	14.3	2.5

المصدر: النشرة السنوية الإحصائية، أوبك 2005، العمود الثالث، والرابع، والخامس من حساب الباحث.

توضح إحصاءات الجدول (3–6) أن الإنتاج العالمي من الغاز الطبيعي بلغ 2.836.888 مليون متر مكعب في نهاية عام 2005م مقارنة بحوالي 1.697.201 مليون متر مكعب عام 1984م إذ بلغت الزيادة الإجمالية حوالي 1.139.687 مليون متر مكعب بنسبة زيادة 67.1٪ ، بينما ارتفع إنتاج أوبك بمقدار 352.760 مليون متر مكعب بنسبة زيادة 242.2٪. كما تشير الإحصاءات إلى زيادة إسهام أوبك في الإنتاج العالمي إذ زادت من 8.6٪ عام 1984م إلى نحو 17.6٪ عام 2005م، كذلك تطور إنتاج المملكة العربية السعودية خلال هذه المدة فقد زاد من 18.200 مليون متر مكعب

عام 1984م إلى حوالي 71.240 مليون متر مكعب بنسبة زيادة 291.4٪. كما تشير الإحصاءات إلى زيادة إسهام المملكة العربية السعودية في الإنتاج العالمي إذ زادت من 1.1٪ عام 1984م إلى نحو 2.5٪ عام 2005م، بينما زادت نسبة إنتاج المملكة إلى إنتاج أوبك من 12.5٪ عام 1984م إلى 14.3٪ عام 2005م. ويوضح الشكل (3–7) تطور إنتاج الغاز الطبيعي في المدة 1984–2005م.

الشكل (3–7) تطور إنتاج الغاز الطبيعي في المدة 1984–2005م



3–2–9 مدد كفاية المخزون للإنتاج:

كما هو الحال بالنسبة للبترول أيضاً يمكن معرفة مدد كفاية المخزون T أي نسبة المخزون إلى الإنتاج S_t/R_t بالنسبة للغاز الطبيعي؛ ويوضح الجدول (3–7) مدد كفاية المخزون المثبت من الغاز الطبيعي للإنتاج عالمياً وعلى مستوى أوبك والمملكة العربية السعودية في المدة 1984–2005م.

obeikandl.com

جدول (3–7) مدد كفاية المخزون المثبت من الغاز الطبيعي للإنتاج في المدة 1984–2005م

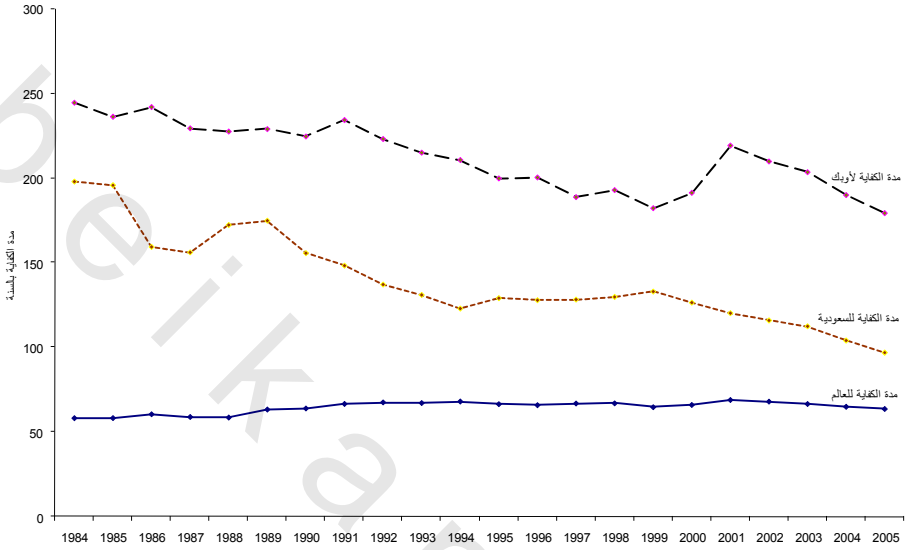
السنة	عدد السنوات بالعالم	عدد السنوات بأوبك	عدد السنوات بالسعودية
1984	58	245	198
1985	58	237	196
1986	60	242	160
1987	59	230	156
1988	58	228	173
1989	63	229	175
1990	64	225	156
1991	67	235	148
1992	68	223	137
1993	67	215	131
1994	68	211	123
1995	67	200	129
1996	66	200	128
1997	67	189	128
1998	67	193	130
1999	65	182	133
2000	66	191	127
2001	69	219	120
2002	68	210	116
2003	67	204	112
2004	65	190	104
2005	64	179	97

المصدر: من حساب الباحث بناءً على بيانات النشرة السنوية الإحصائية، أوبك، 2005م.

توضح إحصاءات الجدول (3–7) أن المخزون المثبت من الغاز الطبيعي عالمياً يكفي للإنتاج بمعدلاته الحالية لعام 2005م لمدة 64 سنة، بينما يكفي مخزون أوبك للإنتاج لمدة 179 سنة، بينما يكفي المخزون السعودي للإنتاج لمدة 79 سنة، ويوضح الشكل (3–8) التغير في مدد كفاية المخزون المثبت من الغاز الطبيعي للإنتاج عالمياً وعلى مستوى أوبك والمملكة العربية السعودية خلال المدة 1984–2005م.

obeikandl.com

الشكل (3–8) مدد كفاية المخزون المثبت من الغاز الطبيعي للإنتاج عالمياً ولأوبك والمملكة العربية السعودية في المدة 1984–2005م.



3–2–10 الطلب على الطاقة:

الطلب على مصادر الطاقة Demand of Energy هو طلب مشتق من الطلب على الصناعات أو السلع والخدمات النهائية التي تستخدم الطاقة في مراحل إنتاجها أو توفيرها المختلفة، وبشكل عام فإن الطلب على الطاقة هو طلب متزايد (موجب) عبر الزمن يتأثر بالعديد من المتغيرات والعوامل التي تتباين من حيث الأهمية ودرجة التأثير من مجتمع لآخر، ومن وقت لآخر، إلا أنه يجب أخذ مجملها في الاعتبار في أي دراسة لتقدير حجم الطلب على الطاقة ومن أهم هذه العوامل أو المحددات:

1) متوسط دخل الفرد:

من خلال الدراسات الإحصائية التطبيقية في هذا المجال هناك توافق على علاقة طردية بين مستوى دخل الفرد ومستوى معيشته واستهلاكه من الطاقة؛ فكلما ارتفع دخل الفرد ازداد مستوى استهلاكه من الطاقة. ونلاحظ ذلك بشكل واضح عند دراسة الأرقام الخاصة بمتوسط استهلاك الفرد من الطاقة في كل من البلاد الصناعية المتقدمة والبلاد النامية، فاستهلاك الفرد من الطاقة في البلاد

الصناعية المتقدمة (معبراً عنه بالاستهلاك من الفحم) وصل إلى 7495 كيلو جرام في المتوسط في عام 1980م، وفي داخل هذه المجموعة من الدول يعد متوسط الاستهلاك في الولايات المتحدة وكندا من أعلى المعدلات. أما بالنسبة للدول النامية فإن متوسط استهلاك الفرد من الطاقة قد وصل إلى 368 كيلو جرام من الفحم للعام نفسه، وهو ما يساوي 5٪ فقط من متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في البلاد الصناعية المتقدمة، وحتى في داخل مجموعة البلاد النامية منخفضة الدخل فيلاحظ أن متوسط استهلاك الفرد من الطاقة منخفض جداً في البلاد الأشد فقراً، فمثلاً نجد أن متوسط استهلاك الفرد في السودان وأثيوبيا وصل 101 كيلو جرام، 25 كيلو جرام على التوالي عام 1980م. (المصدر: إسماعيل، محمد محروس، اقتصاديات البترول والطاقة، دار الجامعات المصرية، 1988م).

2) أسعار الطاقة:

الطلب على الطاقة شأنه شأن السلع الأخرى يخضع لقانون الطلب، فكلما انخفضت أسعار الطاقة ارتفع الاستهلاك منها، والعكس صحيح. أي إن هناك علاقة عكسية بين سعر الطاقة والكمية المطلوبة منها. إلا أن تأثير السعر على حجم الاستهلاك من الطاقة يتوقف على مدى وجود بدائل أخرى للطاقة، فكلما أرتفع سعر مصدر معين للطاقة يتم التحول إلى المصادر البديلة الممكنة التي تكون أرخص نسبياً وخاصة في المدى الطويل. كما أن سعر الزيت الخام أو المصدر الرئيس للطاقة يعتمد على مواصفات الزيت الخام، ففي حالة البترول هناك فرق بين سعر الزيت الخام الخفيف وسعر الزيت الخام الثقيل، لأن المنتجات التي يمكن إنتاجها من الخام الخفيف عند تكريره تعتبر ذات قيمة اقتصادية أعلى من تلك التي تنتج من الخام الثقيل، ويلاحظ أن مرونة الطلب السعرية للزيت الخام تكون أكثر انخفاضاً في المدى القصير، أي إن المستهلك سوف يكون مضطراً لاستهلاك الكمية نفسها أو كمية أقل قليلاً في حالة ارتفاع السعر؛ بينما تميل مرونة الطلب السعرية إلى الكبر نسبياً في المدى الطويل، الأمر الذي يجعل المستهلك يتحول إلى استهلاك سلع بديلة أرخص نسبياً في المدى الطويل. ومن المفيد في هذا النطاق معرفة أن هناك فرقاً بين السعر الاسمي للزيت الخام وسعره الحقيقي، فعلى سبيل المثال

السعر الحقيقي لبترول أوبك OPEC هو متوسط السعر الفوري للزيت الخام مقارناً بأسعار تصدير السلع المصنعة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OCED إلى دول أوبك، وهو بعبارة أخرى القوة الشرائية لبرميل خام أوبك من السلع والخدمات المختلفة؛ فعلى سبيل المثال كان السعر الفوري لبرميل النفط عام 1991 حوالي 18 دولاراً، بينما السعر الحقيقي له حوالي 14 دولاراً.

3) هيكل الإنتاج ومعدل النمو الاقتصادي:

تشير الإحصاءات إلى وجود علاقة طردية بين معدل النمو الاقتصادي ومعدل الاستهلاك من الطاقة، فيلاحظ أن الدول الصناعية هي الأعلى في معدلات استهلاك الطاقة؛ ويرجع ذلك جزئياً إلى زيادة معدل النمو الصناعي والاقتصادي فيها، على عكس الدول النامية التي تعتمد اقتصادياتها على الزراعة، وتمثل الصناعة جزء بسيطاً فيه. ويعد معدل استهلاك الطاقة للفرد الواحد مؤشراً رئيسياً لطبيعة التطور الاقتصادي ودرجة النمو. وتكشف الإحصاءات أنه بالرغم من توفر الموارد الاقتصادية الضخمة لدى الدول النامية (خاصة البترول والغاز)، ورغم أن عدد سكان البلدان النامية يزيد بأكثر من أربعة أضعاف عدد سكان الدول الصناعية المتقدمة؛ إلا أن استهلاك الطاقة في البلدان النامية لا يشكل إلا جزء صغيراً من استهلاك الطاقة في العالم. يلاحظ تزايد استهلاك البلدان النامية من الطاقة كلما زاد معدل نموها الاقتصادي. ويمثل البترول الجزء الأكبر من مصادر الطاقة المستهلكة في الدوال النامية حيث بلغت نسبته 54.7٪ يليه الفحم 21.7٪ فالغاز 13.4٪ أما الطاقة المائية فقد شكلت نسبة 9.3٪ في حين كانت نسبة الطاقة النووية 0.9٪ من إجمالي الطاقة المستهلكة. (المصدر، الماشطة، محمد على عبد الكريم، الطاقة والنفط واتجاهات الطلب حتى عام 1985م، مطبعة الأديب البغدادية، 1977م؛ مندور، أحمد محمد وآخرون، اقتصاديات الموارد والبيئة، مؤسسة شباب الجامعة، 1995م).

4) التوقعات المستقبلية بمدى وفرة أو كفاءة استخدام الطاقة:

يتأثر الطلب على الطاقة في المستقبل بمدى التقدم الذي يتحقق في كفاءة استخدام الطاقة ومدى التقدم التقني في وسائل الإنتاج، فكلما تطورت التقنية مع

مرور الزمن، كلما زادت الكفاءة في استخدام الطاقة. فعلى سبيل المثال ترتب على إحلال زيت الديزل محل الفحم في قاطرات السكك الحديدية؛ ازدياد الكفاءة في استخدام الطاقة حيث أستطاع كل طن من الزيت أن يوفر من الفحم كمية تصل إلى 7 أطنان مع أن كل طن زيت يعادل فقط من حيث القيمة الحرارية 1.5 طن. كما أن محركات السيارات كانت تعبر مسافة 4 كيلو متر للتر الواحد، والآن أصبحت تعبر مسافة 12 كيلو للتر الواحد، وبمعنى أن كفاءة الاحتراق فيها قد تضاعفت ثلاث مرات. (المصدر: مندور، أحمد محمد وآخرون، اقتصاديات الموارد والبيئة، مؤسسة شباب الجامعة، 1995م).

5) القدرة على تنسيق السياسات النفطية:

تعد منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) OPEC التي تأسست سنة 1960م أهم تكتل في سوق البترول والغاز الطبيعي، وتتكون هذه المنظمة من ثلاثة عشرة دولة هي (السعودية، الكويت، العراق، إيران، فنزويلا، قطر، الأمارات، اندونيسيا، ليبيا، الجزائر، نيجريا، الأكوادور، الجابون)، وتمتلك مجتمعة ما يربو على 78.4٪ من مخزون البترول العالمي، وحوالي 49.6٪ من مخزون الغاز الطبيعي العالمي عام 2005م. ويبلغ إنتاج دول هذه المنظمة مجتمعة حوالي 42.7٪ من إنتاج البترول العالمي، وحوالي 17.6٪ من إنتاج الغاز الطبيعي العالمي لنفس العام (المصدر، الجداول السابقة). . كما أن منظمة الدول العربية المصدرة للنفط (أوابك) OAPEC التي أنشأت عام 1968م، وتضم ثلاثة عشر دولة هي (الأمارات، البحرين، تونس، الجزائر، السعودية، سوريا، العراق، قطر، الكويت، ليبيا، مصر، عمان، اليمن)، وتملك متجمعة حوالي 62٪ من مخزون العالم عام 1996م، ويبلغ إنتاجها حوالي 27.5٪ من الإنتاج العالمي لنفس العام تكتل آخر ولكن أقل أهمية في سوق البترول، (المصدر، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول، تقرير الأمين العام السنوي الثالث والعشرون 1996م)، وتمثل قدرة أوبك على تنسيق قوى العرض والطلب في سوق النفط العالمي أهم عامل في تحديد الأسعار لهذا الخام؛ وتحديد مستوى العائد الاقتصادي المجزي لهذه الدول مقابل هذا المورد القابل للنضوب.

Obeikandl.com

6) معدل التلوث البيئي:

يعتمد النمو الصناعي والاقتصادي على استهلاك كميات متزايدة من الطاقة (خاصة مصادر الطاقة القابلة للنضوب من البترول والفحم والطاقة النووية)، وبالرغم من أن النمو الاقتصادي والصناعي يهدف إلى الارتفاع بمستوى الرفاهية الاقتصادية للإنسان وتحسن ظروف ونوعية الحياة، إلا أنه أيضاً يؤدى إلى تلوث البيئة Environment of Pollution، حيث يؤدى تصريف النفايات وفضلات المصانع إلى تلوث مصادر المياه، ويؤدى دخان المصانع وعوادم السيارات إلى تلوث الهواء، كذلك يؤدى ضجيج الآلات والماكينات إلى التلوث الضوضائي، وأيضاً يؤدى تلوث التربة الناتج عن دفن النفايات والمخلفات الصناعية وغيرة من أنواع التلوث التي وصلت إلى التلوث الجيني. وقد أدراك علماء الايكولوجي أن كتلة المواد والطاقة التي تخرج من البيئة يجب أن تعادل كتلة النفايات العائدة إليها خصوصاً في ظل عدم وجود نظام لتدوير الموارد وعدم تراكم أي مخزون سلعي. وهذا يبرز العلاقة الطردية بين التلوث البيئي ومعدلات استهلاك الطاقة التقليدية. الأمر الذي جعل معظم دول العالم تفرض رسوم كربونية على الدول المصدرة لهذه المصادر، وإلى بالبحث عن مصادر طاقة نظيفة. أيضاً هناك مجموعة أخرى من العوامل التي تؤثر على طلب الطاقة؛ الطقس أو المناخ، وعدد السكان، والقوانين المنظمة لاستهلاك الطاقة، والتباين في مستويات التقدم الاقتصادي والصناعي، والضرائب المفروضة على الواردات أو المنتجات من مصادر أو منتجات الطاقة، والسياسات الأخرى في الدول المستهلكة.

3-3 المخزون ومعدل الاستخراج والمخزون المتبقي:

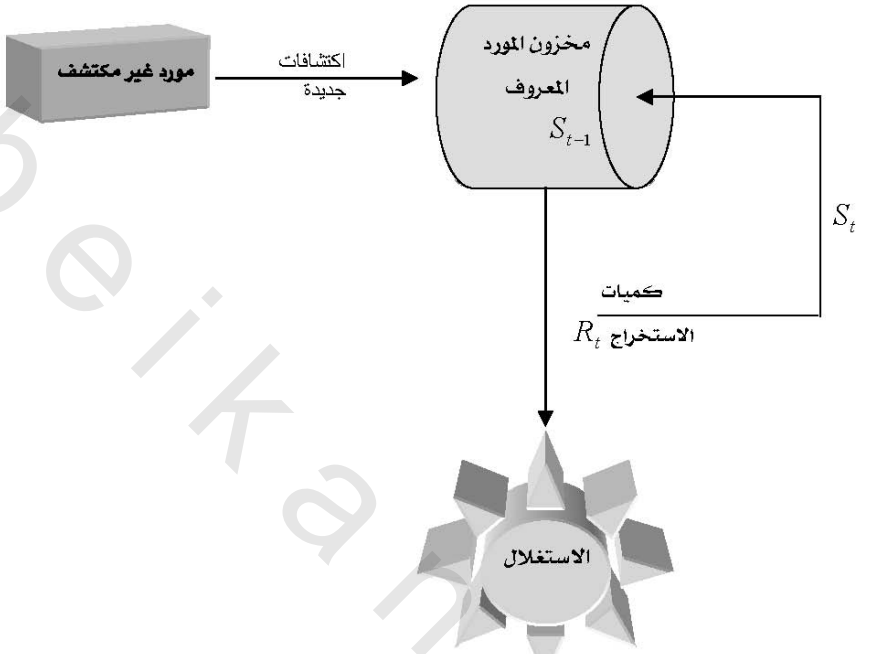
سبق لنا تعريف المورد القابل للنضوب بأنه ذلك المورد الطبيعي الموجود في الطبيعة بكميات معروفة ومحددة وأنه غير قابل للنمو أو التكاثر في مدى زمني قابل للتخطيط من الناحية الاقتصادية، وبذلك يكون معدل نموه أو تكاثره قليل نسبياً خلال أي مدى زمني تخطيطي ولكن ليس في المدى الزمني الجيولوجي. ويعد النفط والمعادن بأنواعها أمثلة نمطية على المورد القابل للنضوب، حيث إنه يمكن اعتبار أنه لا يمكن نمو كمياتها الموجودة في الأرض

حالياً إلا خلال أزمنة جيولوجية قد تصل إلى ملايين السنين لا اعتبار لها في أي مجال تخطيطي منطقي. ويعرف أنتوني فشر (1981م) الاحتياطيات بأنها الكميات المعروفة من المورد الممكن الربح من وراء استخراجها وبيعها بأسعار السوق السائدة للمورد ووسائل الإنتاج التي استخدمت في استخراجها وتنقيته ليكون جاهزاً للبيع. كما يوضح بروبست❖ (1966م) أن هناك احتياطيات غير اقتصادية يمكن أن تصبح اقتصادية، عن طريق تغير الظروف الاقتصادية (الأسعار) أو تغير التقنيات المستخدمة في استخراجها (التكاليف)، كما يفرق بروبست بين النضوب الجيولوجي والنضوب الاقتصادي حيث يقصد بالأول استخراج كامل الاحتياطي الموجود في حقل أو منجم وهو يعد نفاذ نهائي للمورد، بينما النضوب الاقتصادي يعني عدم ربحية الاستمرار في الاستخراج من هذا الحقل أو المنجم لارتفاع التكاليف أو انخفاض الأسعار أو غيرها من العوامل المؤثرة على الربحية منه. وعادة ما توجد هذه الموارد في تكوينات يمكن علمياً تقدير كمياتها يطلق عليها مخزون المورد المعروف Reserves أو Stocks، وسيرمز لها في هذا الكتاب بـ S_t حيث ترمز t إلى المدة الزمنية التي حسب فيها مخزون المورد القابل للنضوب؛ ويعد مستوى المخزون S_t متغيراً حالياً State variable يوضح حالة المخزون عند فترات زمنية مختلفة يرمز لها بـ t. هذا المورد يمكن استغلاله أو استخراجه Extraction بمعدل R_t حيث ترمز t إلى المدة الزمنية التي يتم فيها الاستخراج ويعد مستوى الاستخراج R_t متغيراً خارجياً أو قرارياً أو متغيراً تحكمياً Control Variable or Decision Variable حيث يمكن لمتخذ القرار الاقتصادي التحكم فيه أو اتخاذ قرار حياله. فإذا تم استخراج الكمية R_t في المدة t من المخزون S_{t-1} المتوفر في المدة $t-1$ فإن "المخزون المتبقي" للمدة التالية t هو S_t وهو ما يمكن تمثيله في المعادلة التالية:

$$S_t = S_{t-1} - R_t \qquad (1)$$

❖ انظر Kamien & Schwartz.

الشكل (3–9) ديناميكية مخزون المورد



وتوضح المعادلة (1) وكذلك الشكل (3–9) أن مخزون المورد في المدة الحالية S_t = مخزون المورد في المدة السابقة S_{t-1} مطروحاً منه الكمية المستخرجة من المورد في المدة الحالية R_t ؛ هذه المعادلة أو القيد الرياضي هي متطابقة تعريفية لنضوب المخزون، ويطلق عليها أحياناً "قيد النضوب" حيث توضح معادلة الفروق الديناميكية التي يتغير بها مخزون المورد، وكذلك سلوك المخزون المتبقي S_t عند أي مدة من الزمن التخطيطي. كما يمكن كتابة معادلة قيد المخزون أنفة الذكر بأشكال مختلفة منها:

$$S_t = S_0 - R_t$$

حيث تشير S_0 إلى المخزون الابتدائي، أي الذي يمكن استخراجه عند أول مدة زمنية، والذي ينخفض بمعدل الاستخراج الحالي R_t ، ليكون الناتج S_t هو

المخزون الحالي في آخر مدة الاستخراج. كما يمكن أيضاً كتابة المعادلة بالصيغة التجميعية كما يأتي:

$$S_t = S_0 - \sum_{t=1}^{T} R_t$$

حيث تشير المعادلة إلى أن المخزون الحالي S_t يساوي المخزون الابتدائي S_0 مطروحاً منه مجموع ما تم استخراجه خلال المدة $(1,2.....,.,T)$ أو $\sum_{t=1}^{T} R_t$ وهو ما يمكن أيضاً كتابته بطريقة مفصلة كما يأتي:

$$S_t = S_0 - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - .....R_t$$

ويوضح الشكل (3–9) أن العوامل المؤثرة على المخزون المتبقي S_t هي معدل الاستخراج R_t والاكتشافات الجديدة، وحيث إن الاكتشافات الجديدة لمكامن جديدة للمورد تعد عاملاً خارجياً لا علاقة له بالمخزون الحالي أو معدل الاستخراج الحالي، وبالتالي فإنها لا تدخل في معادلة ديناميكية النضوب للمورد.

السؤال المهم هنا هو كيف يتم استخراج أو استغلال المورد، أي ما هي قيمة كل من $(R_t, R_{t+1}.....R_{t+n})$ من المخزون المعروف للمورد S_0 بحيث يؤدى ذلك الاستخراج إلى تعظيم العائد على المدى الزمني التخطيطي للمورد؟ أو بعبارة أخرى متى يتم الاستخراج وما هي الكميات التي يتم استخراجها خلال كل مدة زمنية؟

3–4 الهدف الاجتماعي من استغلال المورد:

يختلف هدف المجتمع من استغلال المورد القابل للنضوب عن هدف المنتج الخاص من عدة جوانب؛ فالمنتج الخاص هدفه تعظيم ربحه على مدى زمني قصير أو متوسط بحسب عمره أو خططه الاستثمارية الحالية والمستقبلية، وهو ما يمكن تمثيله بتعظيم Maximization القيمة الحالية لمجموع فائض المنتج فقط الذي تمثل بيانياً بالمنطقة المحصورة بين خط السعر ومنحنى التكاليف. بينما المجتمع يهدف إلى تعظيم القيمة الحالية لمجموع فائض المنتج وفائض المستهلك الذي يطلق عليه

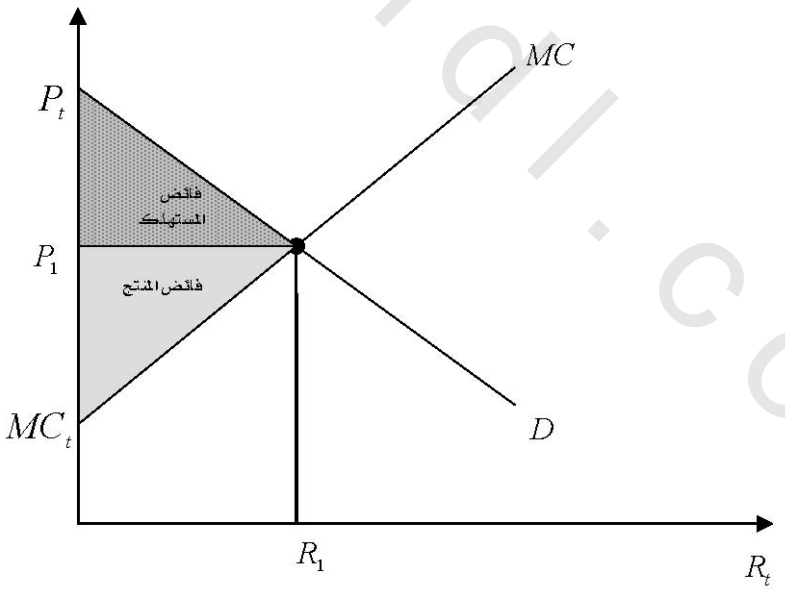
فائض المجتمع ويمكن تمثيله بيانياً بالمنطقة المحصورة بين منحنى الطلب ومنحنى التكاليف الحدية أي منحنى العرض. وحيث إن كل الموارد تعود ملكيتها إلى المجتمع حتى وإن امتلك بعضها الأفراد، حيث إنهم جزء من المجتمع، فإن الهدف الاجتماعي لاستغلال المورد هو الهدف الصحيح من وجهة نظر المجتمع أو المخطط الاجتماعي، أي تعظيم فائض المجتمع (مجموع فائض المستهلك والمنتج) والتي يمكن حسابها كما يأتي:

$$P_t = P(R_t)$$

$$MC_t = MC(R_t)$$

حيث R_t هي كمية المورد المستخرجة في المدة الزمنية t، بينما P_t هو سعر المورد آنذاك، و MC_t هي التكلفة الحدية للمورد في المدة الزمنية t، ويوضح الشكل (3–10) توازن المنتج الخاص من إنتاجه للسلع العادية.

الشكل (3–10) هدف المنتج للسلع العادية



ويوضح الشكل (3–10) أن شرط التوازن في إنتاج السلع العادية هو أن السعر يساوي التكلفة الحدية MC_t، حيث:

$$P_t = MC_t$$

ولكن هذا الشرط يمكن تطبيقه وقبوله في حالة السلعة العادية القابلة لإعادة الإنتاج؛ بينما المورد القابل للنضوب محدود الكمية وغير قابل لإعادة الإنتاج (أو الاستخدام) في أغلب الأحيان. فالنفط مثلاً لا يمكن إعادة استخدامه، وحتى لو كان هناك موارد قابلة للنضوب ولكنها قابلة لإعادة الاستخدام كبعض المعادن، فإن كمياتها تعد قليلة، إضافة إلى ارتفاع تكاليف تدويرها. وعليه، فإن استهلاك وحدة واحدة من مخزون المورد القابل للنضوب يكون له تكلفة فرصة بديلة (Opportunity Cost (OC لأن المخزون سينخفض بحجم كمية الاستخراج أو الإنتاج. وعليه فإن شرط التوازن السابق لا يمكن قبوله اقتصادياً، بل أن شرط التوازن للمورد القابل للنضوب الذي يمكن قبوله اقتصادياً هو أن السعر يساوي التكاليف الحدية لاستخراج المورد مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة OC لنضوب المورد أي:

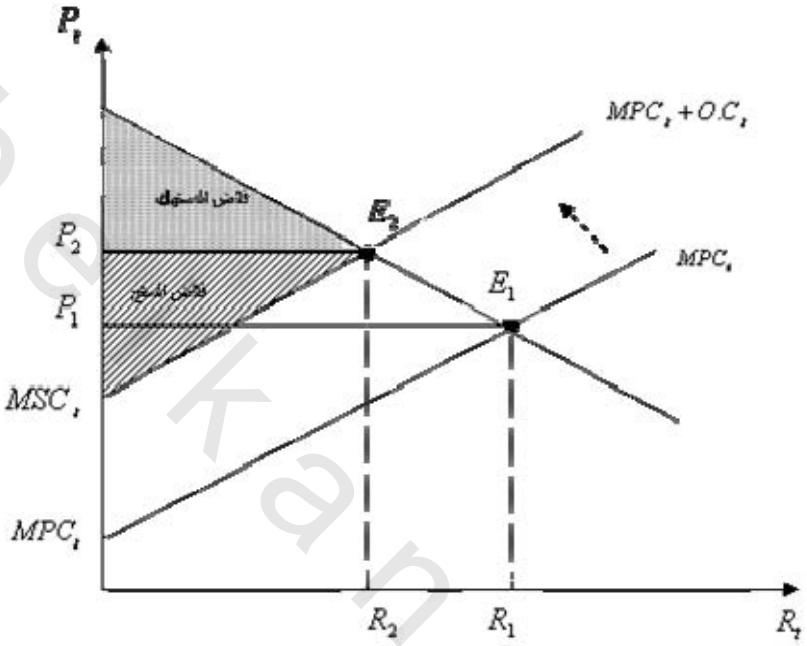
$$P_t = MC_t + OC_t$$

حيث تصبح التكاليف الاجتماعية الحدية) MSC_t Marginal Social Cost (تساوي التكاليف الحدية الخاصة MPC مضافاً إليها تكاليف الفرصة البديلة OC أي:

$$MSC_t = MC_t + OC_t$$

وبذلك يتغير كما في الشكل البياني فائض المنتج والمستهلك في حالة وجود تكاليف فرصة بديلة نتيجة لزحف منحني التكاليف إلى أعلي بما يوازي تكاليف الفرصة البديلة O.C إلى منحني التكاليف الاجتماعية MSC_t.

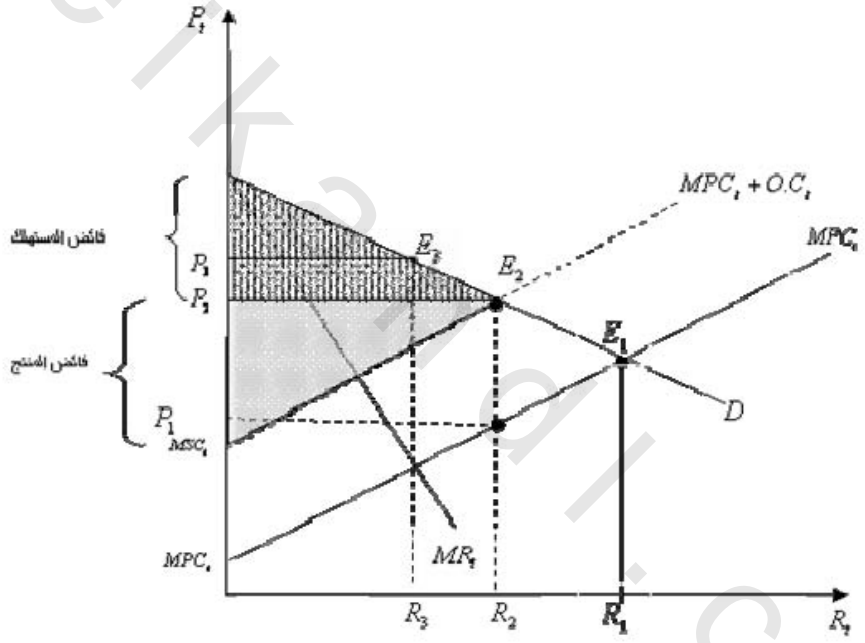
الشكل (3–11) هدف المنتج للمورد الناضب في سوق المنافسة التامة



نلاحظ من الشكل (3–11) أن نقطة التوازن للسلع العادية في الأسواق الكفؤة هي E_1 ، بينما نقطة التوازن الجديدة للمورد القابل للنضوب (حيث الأسواق لا تعبر عن تكلفة النضوب) هي E_2 ؛ وأن السعر التوازني في حالة أخذ تكلفة الفرصة البديلة OC في الاعتبار يصبح P_2 وهو أعلى من السعر بدون أخذ الفرصة البديلة في الاعتبار P_1 ، حيث يتم تحديد الكميات المثلى للاستخراج R_1 والسعر التوازني P_1 عند نقطة التوازن E_1 كما أن الكمية التوازنية المنتجة في حالة وجود تكلفة الفرصة البديلة للنضوب هي R_2 وهي أقل من الكمية التوازنية R_1 في حالة عدم أخذ تكلفة فرصة بديلة للنضوب في الاعتبار، بينما السعر التوازني هو P_2 وهو أعلي من السعر التوازني السابق P_1 . كما نلاحظ أن حجم كل من فائض المستهلك وفائض المنتج قد انخفضا مع أخذ تكلفة الفرصة البديلة للمورد القابل للنضوب في الحسبان، وهو ما يؤثر أيضاً على حجم فائض المجتمع.

من الجدير بالذكر هنا أن المنتج لو كان محتكراً، كما هو الحال للمخطط الاجتماعي الذي يسيطر على كل موارد البترول لبلد ما ويحاول تحديد مستوى الإنتاج الأفضل فيه، فإن نقطة توازنه لن تكون عند E_2 ولن ينتج الكمية R_2 ولكن سيكون إنتاجه حسب قواعد إنتاج المحتكر؛ التي يمكن توضيحها من خلال الشكل (3–12) التالي:

الشكل (3–12) هدف المنتج للمورد الناضب في سوق الاحتكار



ونلاحظ من الشكل (3–12) السابق أن المنتج المحتكر سيقوم بالإنتاج عند نقطة تساوي التكاليف الاجتماعية الحدية أي التكاليف الحدية مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة للنضوب مع الإيراد الحدي أي تساوي $MPC_t + O.C_t$ مع MR_t، وستكون نقطة توازنه عند نقطة E_3، وسيكون الإنتاج عند هذه النقطة هو R_3 وهو مستوى إنتاجي أقل من R_1 و R_2 السابقتين وسيفرض المحتكر سعراً أعلى من P_1 و P_2 هو P_3. وبذلك يكون منتج المورد الناضب المحتكر الذي يتصرف كمحتكر ينتج كمية أقل من المورد ويفرض سعراً أعلى للمورد الناضب؛ من ذلك

المنتج الذي يتصرف كأنه في سوق منافسة تامة E_2. كما نلاحظ أن فائض المستهلك في توازن المحتكر E_3 ينخفض عن ما كان عليه في الحالتين E_1 و E_2 بينما فائض المنتج المحتكر يزيد على حساب فائض المستهلك.

ونعني بتكلفة النضوب (الفرصة البديلة) OC أنها القيمة التي كان بالإمكان الحصول عليها من المورد فيما لو تم الاحتفاظ بالمورد واستخراجه في مدة زمنية لاحقة في مدة نضوبة، أو التكلفة التي يجب أن يتحملها الجيل الحالي في حال نضوب المورد من أجل تعويض الجيل المستقبلي. ويعني هذا أن المورد القابل للنضوب يجب أن تكون كمية استغلاله أقل مما لو كان سلعة عادية أو مورداً غير قابل للنضوب. وتمثل المسافة بين R_1 و R_2 الفرق بين مستوى الاستخراج للمورد العادي والمورد القابل للنضوب، كما تمثل المسافة بين P_1 و P_2 الفرق المثالي بين سعر المورد العادي وسعر المورد القابل للنضوب، كما أن هذا الفرق يمثل تكلفة الفرصة البديلة (تكلفة النضوب) أو ما يسمى أحياناً ريع المورد القابل للنضوب، أو إيجار المورد. كما تمثل المسافة بين R_2 و R_3 الفرق بين مستوى الاستخراج للمورد القابل للنضوب في حالة سوق المنافسة التامة مع مستوى الاستخراج في حالة سوق الاحتكار، كما تمثل المسافة بين P_2 و P_3 الفرق المثالي بين سعر المورد الناضب في حالة سوق المنافسة التامة عنه في حالة سوق الاحتكار وبعبارة أخرى يصبح شرط التوازن:

في حالة المنافسة التامة:

$$P_t = MPC_t + OC_t$$

في حالة الاحتكار:

$$MR_t = MPC_t + OC_t$$

ونلاحظ في تحليلنا السابق لحالة السلع العادية أننا نفترض حالة ساكنة (Static)، أي إنه لا توجد فترات زمنية غير الحاضر؛ أو بعبارة أخرى هناك مدة زمنية واحدة فقط بينما في حالة المورد الناضب هناك فترات زمنية تعتمد على المدى الزمني للتخطيط الاجتماعي، مما سبق يمكن تحديد هدف المنتج المحتكر من استخراج

المورد القابل للنضوب بأنه تعظيم القيمة الحالية لإجمالي العوائد الناتجة من استغلال المورد خلال المدة الزمنية التخطيطية للمنتج (المدة الزمنية المأخوذة بالاعتبار). وهو ما يمكن التعبير عنه رياضياً:

$$Max\sum_{t=1}^{T}\pi_t = \sum_{t=1}^{T}\frac{TR_t - TC_t}{(1+r)^{t-1}}$$

هذه المعادلة أو الصيغة تعني أن $\sum_{t=1}^{T}\pi_t$ هي القيمة الحالية لعائد أو ربح استخراج المورد خلال المدى الزمني التخطيطي T، وتعتمد قيمة هذه المعادلة على سعر المورد خلال كل مدة زمنية t حيث الإيراد الكلي TR_t لاستخراج المورد $TR_t = P_t \cdot R_t$ وتكلفة الاستخراج TC_t وكمية المخزون S_t ومعدل الخصم r، هذه الدالة أو القيمة العظمى هي هدف المنتج المحتكر ولذلك تسمى (دالة الهدف). ونقوم بإيجاد القيمة الحالية لصافي العائد أو الربح من استخراج المورد بطرح القيمة الحالية لتكلفة الاستخراج في كل مدة زمنية من القيمة الحالية لمجموع الإيراد الحدي في كل مدة زمنية؛ وهي خاضعة لقيود أو بعبارة أخرى يجب أن يتم تحقيقها مع مراعاة القيود الكمية أو المخزونية أو الرياضية المفروضة على هذا الهدف، ومن هذه القيود أو الشروط على وجه التحديد هي:

أن مجموع ما يتم استخراجه خلال الفترات الزمنية المختلفة لا يتجاوز كمية المخزون الابتدائي S_0 المتوفر للاستخراج، أي إن:

$$\sum_{t-1}^{T} R_t \le S_\circ$$

ونلاحظ هنا أن كمية المخزون المتبقية تعتمد على كمية المخزون الابتدائي ومجموع الكميات المستخرجة وأي كميات جديدة مكتشفة، وبعبارة أخرى فإن:

$$S_t = S_{t-1} - R_t$$

أن معدل الاستخراج أو الإنتاج من المورد لا يمكن أن يكون سالباً، وبمعنى آخر لا يمكن أن تتم إعادة حقن أو إمداد مخزون المورد بالكميات التي تم استخراجها سابقاً:

$$R_t \geq 0$$

أى أن مستوى أو معدل الاستخراج لأي مدة أما أن يكون موجب أو يكون صفراً لكل الفترات الزمنية في المدى التخطيطي.

هذا الأنموذج الرياضي المكون من معادلة الهدف والقيود المفروضة عليها يمثل ما يسمي رياضياً بأنموذج تحكم أمثل Optimal Control ويمكن حله لإيجاد كميات الاستخراج المثلي بطرق مختلفة. فهناك منهجيات رياضية مختلفة لحل مسائل التحكم الأمثل مثل طريقة لاجرانج أو البرمجة الحركية Dynamic Programming أو المعادلات التفاضلية Differential Equations، أو معادلات الفروق Differences Equation التي نستخدمها كما أن هذا الأنموذج للتحكم الأمثل يمكن حله رياضياً بسهولة في حالة أن المدى الزمني لتعظيم دالة الهدف هو وحدة أو وحدتين زمنيتين، أي إن المدى الزمني هو: $T = 1$ أو $T = 2$.

ولكن متى ما كان المدى الزمني Time Horizon لتعظيم دالة الهدف أكبر من مدتين زمنيتين، فإن الحل يتطلب برمجيات استخدام الحاسب الآلي لإيجاد الحل الأمثل. وحل مثل هذه المسائل بالحاسب رقمياً يمكن أن يتم بطرق مختلفة، منها لغات البرمجيات المختلفة مثل Visual BASIC أو FORTRAN أو برامج الجداول مثل EXCEL أو البرامج الجاهزة لحل مسائل البرمجة الرياضية مثل برنامج LINDO أو GAMS أو غيرها. وسنستعرض في الأجزاء القادمة طريقة الحل الرياضية في حالة أن المدى الزمني هو مدتين ومن ثم نتطرق للحل باستخدام البرمجيات في حالة أن المدى الزمني لأكثر من مدتين.

ولعل من المفيد هنا أن نلخص الأنموذج المبسط السابق الذي يعد الأنموذج الأساسي في الموارد القابلة للنضوب والذي أشتهر باسم من قدمه هارولد هوتلنج (1931م) في شكله الرياضي بطريقة مبسطة يمكن إعادة عرضها كما يأتي:

تعظيم دالة الهدف: $$Max \quad \sum_{t=1}^{T} \pi_t = \sum_{t=1}^{T} \frac{TR_t - TC_t}{(1+r)^{t-1}}$$

تحت قيود: S.T

قيد ديناميكية المخزون: $\sum_{t=1}^{T} R_t \le S_0$

قيد عدم السالبية: $R_t \ge 0$

3-5 أنموذج هوتلينج لمدتين:

يعد قراي (L.C.Gray;1914) أول من قدم تحليلاً اقتصادياً مبسطاً لمورد قابل للنضوب، كان ممثلاً في منجم نحاس. كما يعد أنموذج هوتلينج (Hoteling, H.1931) أول تطبيق تحليلي رياضي متكامل في مجال الاستغلال الأمثل للموارد القابلة للنضوب من وجهة نظر المخطط الاجتماعي، حيث إن أحد أهم افتراضات هذا الأنموذج هو أن المنتج لهذا المورد محتكر للسوق، وهذا لا يتوفر غالباً إلا في المخطط الاجتماعي.

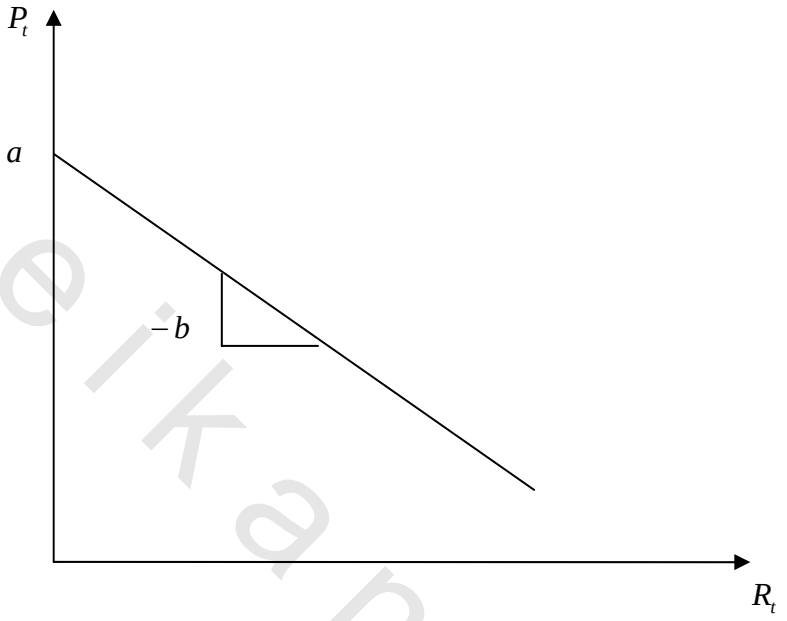
ومن الجدير بالذكر هنا أن كلاً من التحليل الاقتصادي لقراي وهوتلينج كانا على مستوى القطاع؛ أي: على مستوى المخطط الاجتماعي، لأنه لا يمكن أن يمتلك قطاع بالكامل للدولة التي يمثلها المخطط الاجتماعي؛ وكلاهما وصل إلى الشروط الضرورية نفسها والكافية للاستغلال الأمثل للمورد القابل للنضوب ويمكن بطرق مختلفة.

نقدم هنا الحالة العامة لأنموذج هوتلينج عندما لا يتم تحديد المدى الزمني لاستغلال المورد القابل للنضوب؛ أي إن المدى الزمني يعد مفتوحاً. نفترض هنا أولاً أن لدينا مورداً قابلاً للنضوب دالة الطلب عليه خطية، وبمعنى آخر فإن معكوس دالة الطلب على هذا المورد هي:

$$P_t = a - bR_t$$

obeikandl.com

الشكل (3–13) منحنى طلب المورد القابل للنضوب



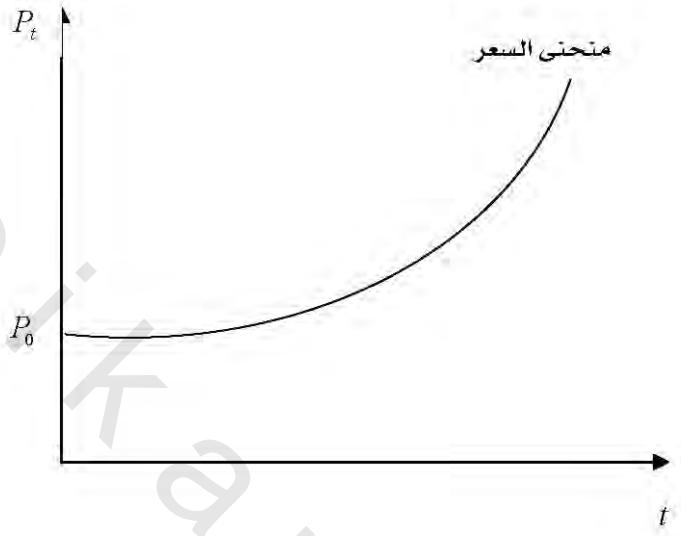
ويوضح الشكل (3–13) رسم دالة معكوس الطلب حيث P_t هو سعر المورد في المدة t ، و R_t هي الكمية المستخرجة منه، ويمثل a قاطع منحنى الطلب، وهي ترمز إلى الكمية المطلوبة في حال كون السعر يساوي صفراً، بينما $-b$ هي معامل مرونة الطلب، الذي يربط تغير السعر للمورد الناضب مع الكمية المستخرجة من المورد القابل للنضوب R_t ، بينما R_t هي كمية المورد القابل للنضوب المستخرجة في المدة t.

يوضح أنموذج هوتلينج استنتاجاً مهماً يسمى قاعدة هوتلينج Hoteling's Principle هو أن سعر المورد القابل للنضوب يتزايد عبر الزمن بمعدل يساوى الفائدة أو معدل الخصم، هذا الاستنتاج هو ما سمي فيما بعد بقاعدة هوتلينج ويمكن التعبير عنها رياضياً في الدالة الآتية وبيانياً في الشكل (3–14) كما يأتي:

$$P_t = P_0(1+r)^t$$

obeikandl.com

الشكل (3–14) قاعدة هوتلنج



وبعبارة أخرى تقول قاعدة هوتلنج إن سعر المورد في المدة t يساوي سعره في المدة الابتدائية P_O مركباً بمعدل r. وبذلك فإن مالك المورد سيكون سيان بالنسبة لوحدة من المورد الآن بسعر P_O أو في المستقبل t بسعر يساوي $P_0(1+r)^t$؛ هذا المبدأ هو ما تم تأكيده في الفصول السابقة من وجهة نظر اقتصاديات الموارد القابلة للنضوب، من اعتبار مخزون المورد القابل للنضوب غير المستخرج ثروة رأسمالية للمجتمع تعبر عن مخزون رأسمالي للمجتمع. كما يمكن التعبير عن هذه القاعدة كما يأتي:

فإذا كان السعر الابتدائي للمورد P_0 والسعر في المدة t هو P_t فإن:

$$P_t = MC_t + \frac{(P_0 - MC_t)}{(1+r)^t}$$

$$P_t = MC_t + (P_0 - MC_t)(1+r)^{-t}$$

$$P_t - MC_t = (P_0 - MC_t)(1+r)^{-t}$$

obeikan.com

وتوضح المعادلة السابقة أن صافي الربح $P_t - MC_t$ من الاستخراج الحالي في الزمن t ، يساوي القيمة الحالية لصافي الربح من الاستخراج $P_0 - MC_t$ في المدة الابتدائية. كما يمكن إعادة كتابة القاعدة السابقة لهوتلنج كما يأتي:

$$\frac{(P_t - MC_t) + P_0 - MC_t}{P_0 - MC_t} = r$$

حيث توضح القاعدة أنه كلما ارتفع السعر، فإن ريع المورد ينمو زمنياً بمعدل يساوي معدل الفائدة.

يفترض أنموذج هوتلنج هذا أن الطلب على المورد الناضب لن يتغير في المستقبل، ورجوعاً إلى هذا الأنموذج الذي يتعامل مع الموارد الطبيعية القابلة للنضوب في مكانها أو مناجمها على أنها أصل رأسمالي يستنتج ما يأتي:

أولاً: أن سعر المورد سيرتفع بمعدل الفائدة، بمعني أن:

$$\frac{dP}{dt} = rP$$

حيث يكون الحل لهذه المعادلة التفاضلية هو:

$$P_t = P_0^{e^{rt}}$$

حيث P_0 هو السعر الابتدائي.

ثانياً: أن مجموع ما سيتم استخراجه من المورد عبر المدى الزمني لن يزيد عن المخزون الابتدائي، وهو ما يمكن التعبير عنه رياضياً بطرق عدة، منها أن:

$$S_0 \geq \int_0^{\infty} R(t)dt$$

أو

$$S_0 \leq \frac{dR_t}{dt}$$

ثالثاً: سيكون هنالك توازن بين عرض وطلب المورد القابل للنضوب بمعنى أن سوق هذا القابل للنضوب سيكون في حالة توازن.

obeikandl.com

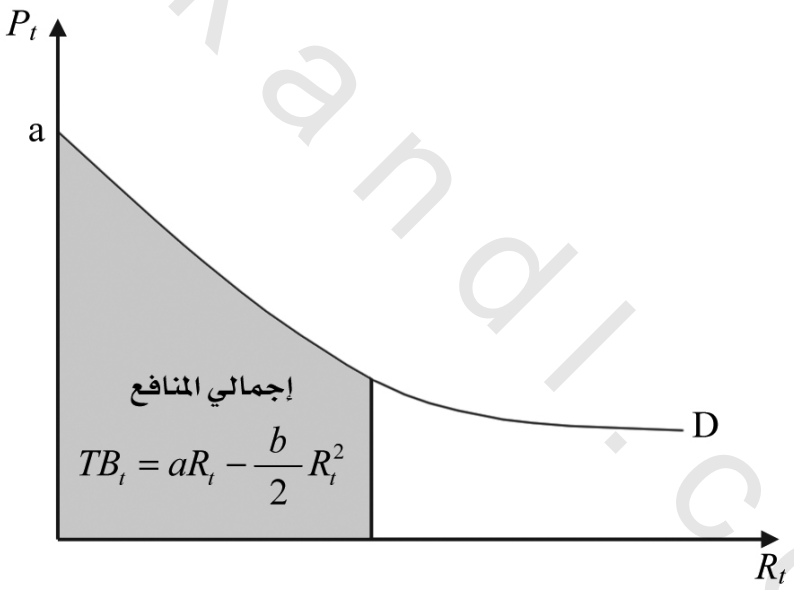
ومن خلال معادلة معكوس دالة الطلب (دالة السعر) المشار إليها يمكن الحصول على المنافع الإجمالية (TB_t) Total Benefit للمورد أو المساحة التي تكون تحت منحنى الطلب التي يمكن حسابها بتكامل المساحة تحت منحنى الطلب:

$$TB_t = \int_O^{R_t} (a - bR_t)dR$$

$$TB_t = aR_t - \frac{b}{2}R_t^2$$

وهي المساحة المظللة التي تحت منحنى الطلب كما في الشكل (3–15)

الشكل (3–15) المنافع الإجمالية للموارد القابلة للنضوب



وإذا كانت التكاليف الحدية (MC) Marginal Cost لاستخراج المورد ثابتة Constant عند C فيمكننا الحصول على التكاليف الكلية (TC_t) Total Cost بحساب تكاملها كما يأتي:

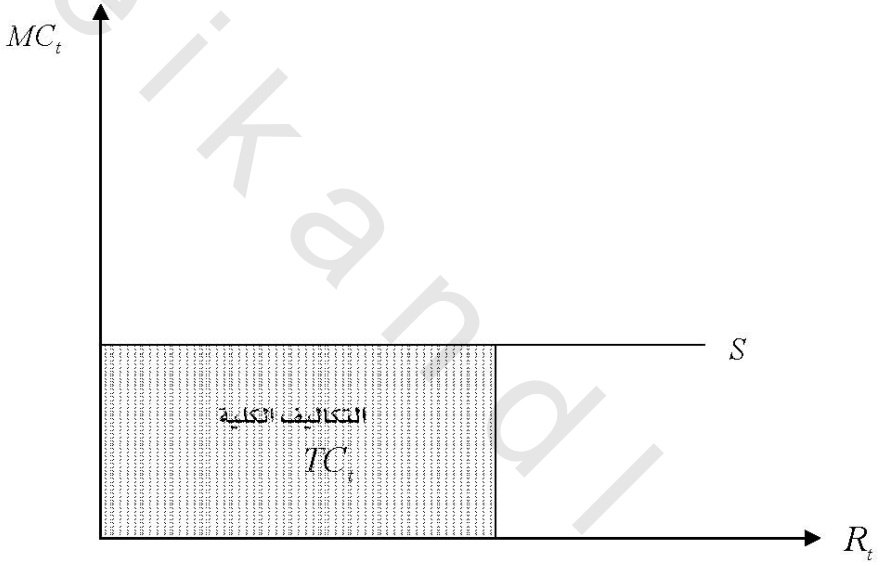
obeikandl.com

$$MC_t = C$$

$$TC_t = CR_t$$

وبذلك تكون التكاليف الكلية هي المساحة التي تحت منحنى العرض S كما في الشكل (3–16) الآتي:

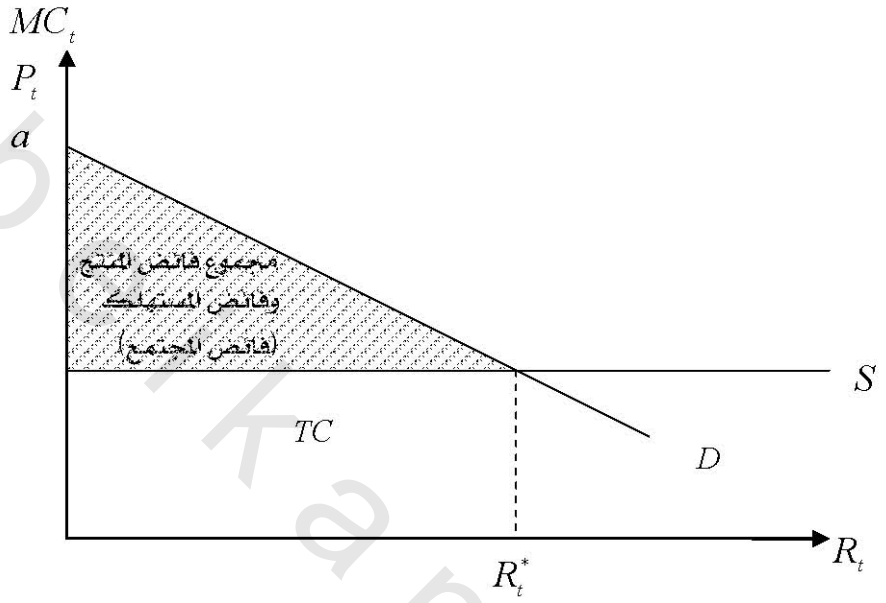
الشكل (3–16) التكاليف الكلية لإنتاج المورد القابل للنضوب



ومعروف أن فائض المجتمع هو المنطقة التي تحت منحنى الطلب وفوق منحنى العرض أي: هي المساحة المظللة في الشكل (3–17)، وهي تمثل مجموع فائض المستهلك وفائض المنتج.

obeikandl.com

الشكل (3–17) فائض المجتمع



إذا كان المخزون الموجود من هذا المورد هو S_0 بحيث تكون كمية المخزون الابتدائية هي $S_O = 20$ ، وكان المدى الزمني لاستغلال هذا المورد هو T ، فتكون بذلك مسألة التوزيع الأمثل للمورد (أنموذج التحكم الأمثل) خلال المدة T هي تعظيم قيمة دالة الهدف:

$$\underset{R_t}{Max}\sum_{t=1}^{T}\frac{\left(aR_t-\frac{b}{2}R_t^2-CR_t\right)}{(1+r)^{t-1}}$$

ويمكن إعادة كتابة معادلة الهدف السابقة كما يأتي:

$$\underset{R_t}{Max}\sum_{t=1}^{T}\frac{aR_t-\frac{b}{2}R_t^2}{(1+r)^{t-1}}-\frac{CR_t}{(1+r)^{t-1}}$$

حيث يمثل بسط الجزء الأول من المعادلة تكامل معكوس دالة الطلب على المورد القابل للنضوب؛ أي: المنطقة التي تحت منحنى الطلب، بينما يمثل الجزء الثاني من المعادلة تكامل دالة التكاليف(العرض)، أي: المنطقة التي تحت منحنى العرض.

openkanal.com

ويكون الفرق بينهما مجموع فائض المنتج والمستهلك (فائض المجتمع) الذي يحاول المخطط الاجتماعي تعظيمه على المدى الزمني المحدد لاستغلال هذا المورد*.

تحت القيود الآتية: Subject to:

$$S_O \geq \sum_{t=1}^{T} R_t$$

$$R_t \geq 0$$

ويوضح القيد الأول أن مجموع ما يتم استخراجه من المورد خلال المدى الزمني $\sum_{t=1}^{T} R_t$ يجب أن يكون أقل من المخزون الابتدائي للمورد S_0 أو يساويه، بينما يوضح القيد الثاني أن معدل الاستخراج لكل مدة من مدد التعظيم لا يمكن أن يكون سالباً. حيث إن مستوى الاستخراج للمورد لا يمكن أن يكون سالباً.

ومن خلال المعطيات السابقة يمكن تكوين دالة لاجرانج التعظيمية لأنموذج التحكم السابق بإضافة قيد النضوب بعد مساواته بالصفر وضربه في مضروب الفرصة البديلة (لأمدا) λ كما يأتي:

$$L(R_t,\lambda) = \sum_{t=1}^{T} \frac{\left(aR_t - \frac{b}{2}R_t^2 - CR_t\right)}{(1+r)^{t-1}} + \lambda\left(S_O - \sum_{t=1}^{T} R_t\right)$$

وعن طريق التفاضل يمكن أن نحصل منها على الحل الأمثل:

الشرط الضروري الأول:

$$\frac{\partial L}{\partial R_t} = \frac{a - bR_t - C}{(1+r)^{t-1}} - \lambda = 0 \qquad (t = 1,.....T)$$

الشرط الضروري الثاني:

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{t=1}^{T} R_t - S_O = 0$$

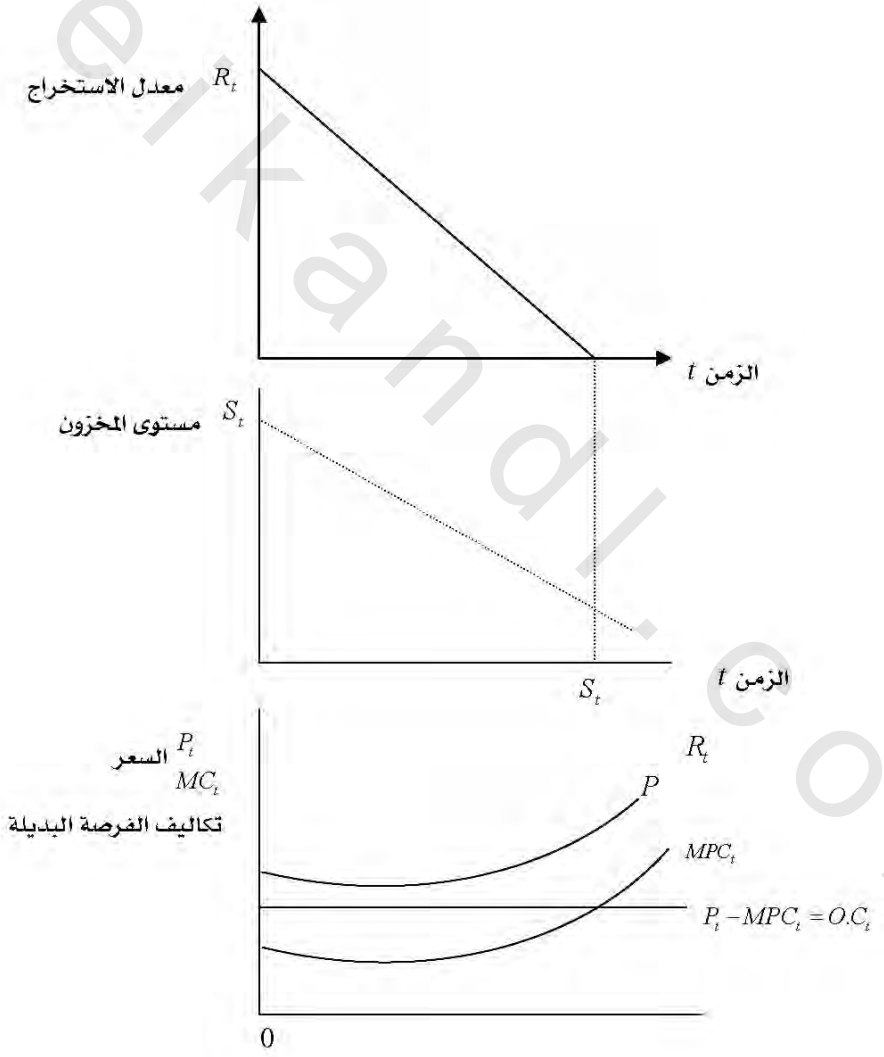
* لاستيضاح أكبر لمعنى فائض المستهلك وفائض المنتج وفائض المجتمع وطريقة حسابها أنظر الملحق الرياضي في الفصل الأخير.

وبعبارة أخرى فإن الشرط الضروري الثاني هو:

$$S_0 - \sum_{t-1}^{T} R_t = 0$$

وتمثل المعادلتان السابقتان شرطي التوازن الضروريين للاستخراج الأمثل للمورد خلال المدة T.

الشكل (3–18) سلوك الإنتاج والمخزون والسعر وتكلفة الفرصة البديلة



وتوضح الرسوم البيانية الثلاثة في الشكل (3–18) أعلاه:

1) أن معدل استخراج المورد R_t ينخفض مع مرور الزمن إذا كانت التكاليف الحدية للاستخراج متزايدة وكان معدل الخصم موجباً.

2) أن مخزون المورد S_t ينخفض تدريجياً مع مرور الزمن إلى أن يصبح المخزون الاقتصادي يساوي صفراً، يلاحظ هنا أن المخزون الاقتصادي هو ذلك الذي يمكن استخراجه بالأسعار والتكاليف الحالية أو المستقبلية المعروفة، لا يعني هذا بالضرورة نضوب المورد جيولوجياً، ولكنه يعني نضوب المورد اقتصادياً حسب الأسعار والتكاليف الحاليين. وهذا ما يعرف بالنضوب الاقتصادي للمورد.

3) كما يوضح الرسم البياني للسعر والتكاليف الحدية أن السعر والتكاليف الحدية للاستخراج سيتزايدان مع الزمن وأن الفرق بينهما عند كل مدة زمنية يساوي تكلفة الفرصة البديلة للنضوب.

ولتوضيح المسألة السابقة بشكل كافٍ نقوم بتحديد المدى الزمني $T = 2$ أي إن استغلال المورد السابق (ولنفترض أنه حقل نفطي) سيتم خلال مدتين زمنيتين، هما المدة الحالية $t = 1$ والمدة المستقبلية $T = 2$ وهذا يعني أنه لا بد من حساب القيمة الحالية لفائض المجتمع في المدة الثانية. ولنفترض أيضاً أن دالة التكاليف الكلية لاستخراج المورد هي $TC = cR_t$ حيث $c = 3$ ، وأن معكوس دالة الطلب على المورد هو $P_t = a - bR_t$ حيث $b = 0.5$ بينما $a = 20$ ؛ كما نفترض أن المخزون الابتدائي لحقل النفط هو $S_O = 40$ ، بينما معدل الخصم (سعر الفائدة تقريباً) يساوي $r = 10\%$. وعليه يمكن أولاً تكوين مسألة أو أنموذج التحكم الأمثل من خلال خطوتين؛ تعد الأولى منهما تحضيرية وتتمثل في اشتقاق تكامل معكوس منحنى الطلب الذي يحسب الإيراد الكلي أو المنطقة التي تحت منحنى الطلب أو فائض المستهلك وهي:

$$\int_O^{R_t} (a - bR_t) dR = aR_t - \frac{b}{2} R_t^2$$

تكامل معكوس دالة الطلب = دالة الإيراد الكلي

واشتقاق تكامل دالة التكاليف الحدية الذي هو في الحقيقة التكاليف الكلية TC أو المساحة التي تحت منحنى التكاليف الحدية (العرض)، وهي هنا سهلة الاستنتاج لأن التكاليف الحدية ثابتة أي إن التكاليف الكلية خطية وتساوي $TC = cR_t$ حيث c هي التكاليف الحدية.

الخطوة التالية هي تكوين دالة الهدف كما يأتي:

$$Max\pi = \sum_{t=1}^{2} \frac{aR_t - \frac{b}{2}R_t^2 - cR_t}{(1+r)^{t-1}} \qquad (1)$$

تحت القيود: S.t.:

$$S_O \geq \sum_{t=1}^{2} R_t \qquad (2)$$

$$R_t \geq 0 \qquad (3)$$

ومن مسألة أو أنموذج التحكم السابق يمكن تكوين دالة لاجرانج التعظيمية لمدتين زمنيتين بشكل تفصيلي كما يأتي:

$$L(R_1, R_2, \lambda) = 20R_1 - \frac{0.5}{2}R_1^2 - 3R_1 + \frac{20R_2 - \frac{0.5}{2}R_2^2 - 3R_2}{1.10} + \lambda(40 - R_1 - R_2) \qquad (4)$$

السنة الأولى A — السنة الثانية B — قيد النضوب C

حيث نلاحظ أن الجزء الأول من المعادلة المشار إليه بـ A الآتي:

$$20R_1 - \frac{0.5}{2}R_1^2 - 3R_1$$

هو الإيراد الحدي مطروحاً منه التكاليف الحدية خلال المدة الزمنية الأولى، أي إنه يساوي عائد أو ربح استخراج المورد في المدة الزمنية الأولى.

كما أن الجزء الثاني من المعادلة المشار إليه بـ B الآتي:

obeikandl.com

$$\frac{20R_2 - \frac{0.5}{2}R_2^2 - 3R_2}{1.10}$$

هو القيمة الحالية للإيراد الحدي في المدة الزمنية الثانية مطروحاً القيمة الحالية للتكاليف الحدية لاستخراج المورد في المدة الثانية، أي إنه يمثل القيمة الحالية لعائد أو ربح الاستخراج في المدة الزمنية الثانية.

كما أن الجزء الثالث من المعادلة المشار إليه بـ C الآتي:

$$\lambda(40 - R_1 - R_2)$$

هو قيد المخزون مضروباً في معامل لاجرانج λ (لامدا) الذي يمثل تكلفة الفرصة البديلة (النضوب) للمورد بعد مساواته بالصفر، أو ما يطلق عليه أحياناً بريع المورد القابل للنضوب.

للوصول إلى الحل الأمثل أي الكميات الاستخراجية المثلى في المدتين الزمنيتين الأولى والثانية التي تعظم دالة الهدف، أي القيم (R_2, R_1) نقوم بأخذ تفاضل دالة لاجرانج السابقة بالنسبة إلى متغيراتها الداخلية (λ, R_2, R_1) على التوالي ونساويها بالصفر كما يأتي:

$$\frac{\partial L}{\partial R_1} = 20 - 0.5R_1 - 3 - \lambda = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial R_2} = \frac{20 - 0.5R_2 - 3}{1.10} - \lambda = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 40 - R_1 - R_2 = 0 \quad (7)$$

حيث تمثل المعادلة (5)، (6) الشرط الضروري (أو الأول) للأمثلية أي إن الإيراد الحدي لاستخراج المورد MR_t يساوي التكلفة الحدية مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة للنضوب $MPC_t + O.C_t$. بينما تمثل المعادلة (7) الشرط الضروري الثالث

للأمثلية، أي إن إجمالي المستخرج من المورد في المدتين لا يمكن أن يتجاوز المخزون الابتدائي.

الخطوة التالية هي القيام بحل المعادلات الثلاث مع بعضها بعضاً للوصول إلى قيمة كل من R_1، R_2، λ. أي إيجاد الحلول المثلى باستخدام المعادلة الأولى والثانية.

من (5)
$$20 - 0.5R_1 - 3 = \lambda$$

من (6)
$$\frac{20 - 0.5R_2 - 3}{1.10} = \lambda$$

وبما أن كلا المعادلتين السابقتين تساوي λ، فإن الطرفين على اليسار متساويان، أي إن:

$$20 - 0.5R_1 - 3 = \frac{20 - 0.5R_2 - 3}{1.10}$$

$$22 - 0.55R_1 - 3.3 = 20 - 0.5R_2 - 3$$

$$18.7 - 0.55R_1 = 17 - 0.5R_2$$

$$-0.55R_1 = 17 - 0.5R_2 - 18.7$$

$$-0.55R_1 = -0.5R_2 - 1.7$$

$$R_1 = \frac{0.5R_2}{0.55} + \frac{1.7}{0.55}$$

$$\therefore R_1 = 0.91R_2 + 3.09 \quad (8)$$

وبالتعويض عن قيمة R_1 في المعادلة رقم (7) (الشرط الكافي):

$$(40 - R_1 - R_2 = 0)$$

حيث:

$$40 - (0.91R_2 + 3.09) - R_2 = 0$$

opelkanal.com

$$40 - 0.91R_2 - 3.09 - R_2 = 0$$

$$1.91R_2 = 36.91$$

وعليه فإن الكمية المستخرجة في المدة الثانية هي:

$$R_2 = 19.32$$

وبالتعويض عن R_2 في المعادلة (7) نحصل على قيمة R_1 الكمية المستخرجة في المدة الأولى:

$$R_1 = 0.91(19.32) + 3.09$$

وعليه فإن الكمية المثلى للاستخراج في المدة الأولى هي:

$$R_1 = 20.68$$

كما يمكننا بالتعويض عن قيمة R_1 أو R_2 في إحدى معادلتي الشرط الضروري (5) أو (6) الحصول على قيمة λ ، وبالتعويض عنها في المعادلة (5):

$$20 - 0.5(20.68) - 3 = \lambda$$

$$\lambda = 6.66$$

وهي تمثل قيمة الفرصة البديلة لنضوب المورد، أي بعبارة أخرى القيمة الإضافية لدالة الهدف فيما لو زاد حجم المخزون من المورد الناضب بوحدة واحدة، أو حجم الخسارة أو التكاليف للوحدة الواحدة من المورد القابل للنضوب على المجتمع من خلال نضوب المورد.

كما يمكن الحصول على سعر المورد في المدتين الزمنيتين التخطيطيتين بالتعويض عن R_1 و R_2 في دالة السعر كما يأتي:

$$P_t = a - bR_t$$

$$P_1 = 20 - 0.5(20.68) = 9.66$$

$$P_2 = 20 - 0.5(19.32) = 10.34$$

obeikandl.com

كما يمكننا أيضاً التحقق من صحة الشرط الضروري الكافي للأمثلية بأن الحلول المثلى (الكميات الاستخراجية العظمى) السابقة تمثل نهايات كبرى، من خلال التحقق من قيمة محددة هيشيان المطوقة بأنها أكبر من صفر أو بعبارة أخرى أن $\left|\overline{H}\right| > 0$ حيث $\left|\overline{H}\right|$ ترمز إلى محددة هيشان المطوقة. ويمكننا إيجاد محددة هيشيان المطوقة بأخذ التفاضل الثاني للمعادلات التفاضلية الثلاث (5)، (6)، (7) لكل المتغيرات السابقة $(R_1 \ , \ R_2 \ , \ \lambda)$ كما يأتي:

من (5) $\dfrac{\partial L}{\partial R_1 \partial R_1} = -0.5$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial R_1 \partial R_2} = 0$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial R_1 \partial \lambda} = -1$

من (6) $\dfrac{\partial L}{\partial R_2 \partial R_1} = 0$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial R_2 \partial R_2} = -0.5$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial R_2 \partial \lambda} = -1$

من (7) $\dfrac{\partial L}{\partial \lambda \partial R_1} = -1$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial \lambda \partial R_2} = -1$ ؛ $\dfrac{\partial L}{\partial \lambda \partial \lambda} = 0$

وعليه يمكن تكوين محددة هيشيان المطوقة $\left|\overline{H}\right|$ بالترتيب من العناصر السابقة، ومن ثم استخراج قيمة المحددة بطريقة فك المحدد، كما يأتي:

$$\left|\overline{H}\right| = \begin{vmatrix} -0.5 & 0 & -1 \\ 0 & -0.5 & -1 \\ -1 & -1 & 0 \end{vmatrix} = -0.5\begin{vmatrix} -0.5 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} - 0 - 1\begin{vmatrix} 0 & -1 \\ 0.5 & -1 \end{vmatrix}$$

$$\left|\overline{H}\right| = -0.5(0-1) - 1(0-0.5)$$

$$\therefore \left|\overline{H}\right| = +0.5 + 0.5 = 1 > 0$$

$$\therefore \quad \left|\overline{H}\right| > 0$$

وحيث إن قيمة المحددة الهيشية المطوقة لمسألة التعظيم أكبر من صفر، فإن الشرط الثاني (الكافي) لتحقيق نهاية كبرى قد تحقق، وعليه فإن مستويات الاستخراج المحددة في الحل R_1 و R_2 تمثل نهاية كبرى.

ولإيضاح هذا المفهوم الأساسي في فهم نظرية الموارد الناضبة نقدم بعض الأمثلة الآتية:

مثال (1)

حقل نفط له دالة تكاليف استخراج $TC = 100R_t + R_t^2$ ومعكوس دالة الطلب عليه هي $P_t = 1000 - R_t$ ، علماً بأن المخزون الابتدائي في هذا الحقل هو 400 وسعر الخصم $r = \%5$ والزمن $T = 2$. أوجد مستويات الاستخراج المثلى والسعر الأمثل للمورد لمدتين زمنيتين؟ ثم احسب تكلفة النضوب لهذا الحقل؟

الحل:

نبدأ بتكوين مسألة التعظيم أو أنموذج التحكم الأمثل:

حيث:

$\because TC = 100R_t + R_t^2$ دالة التكاليف الكلية هي:

$\because TR = \int_0^t (1000 - R_t)dR = 1000R_t - \frac{1}{2}R_t^2$ بينما دالة الإيراد الكلي:

وبالتالي تكون دالة الهدف:

$$\because Max \sum_{t=1}^{t} \frac{1000R_t - \frac{1}{2}R_t^2 - 100R_t - R_t^2}{(1+0.05)^{t-1}}$$

أو:

$$\therefore Max \sum_{t=1}^{t} \frac{900R_t - \frac{3}{2}R_t^2}{(1+0.05)^{t-1}}$$

تحت قيود S.T:

$$R_1 + R_2 \leq 400$$

$$R_1, R_2 \geq 0$$

obeikandi.com

وبذلك يمكن تكوين دالة لاجرانج لمسألة التعظيم السابقة كما يأتي:

$$\because L(R_t,\lambda)=\sum_{t=1}^{t}\frac{900R_t\ -\frac{3}{2}R_t^2}{(1+0.05)^{t-1}}+\lambda\left(400-\sum_{t=1}^{t}R_t\right)$$

التي يمكن إعادة كتابتها بشكل مفصل:

$$L(R_1,R_2,\lambda)=900R_1\ -\tfrac{3}{2}R_1^2+\frac{900R_2\ -\frac{3}{2}R_2^2}{(1.05)}+\lambda(400-R_1-R_2)$$

ومن ثم يمكن إيجاد الشروط الضرورية لأمثلية دالة لاجرانج السابقة لتعظيم عائد الإنتاج(تعظيم دالة الهدف):

$$\frac{\partial L}{\partial R_1}=900-3R_1-\lambda=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial R_2}=\frac{900-3R_2}{1.05}-\lambda=0 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda}=400-R_1-R_2=0 \qquad (3)$$

وبإعادة كتابة المعادلتين (1)، (2)، يمكن إيجاد مستويات الإنتاج المثلى R_1, R_2 حيث:

$$900-3R_1=\lambda \qquad (4)$$

$$\frac{900-3R_2}{1.05}=\lambda \qquad (5)$$

وبما أن كلا المعادلتين السابقتين تساوي λ ، فإن الطرفين على اليسار متساويان أيضاً، أي إن:

$$\because 900-3R_1=\frac{900-3R_2}{1.05}$$

$$\therefore R_1=\frac{45+3R_2}{3.15}$$

obeikandl.com

$$\therefore R_1 = 14.28 + 0.952R_2 \qquad (6)$$

وبالتعويض عن قيمة R_1 في المعادلة رقم (3) حيث:

$$\because 400 - R_1 - R_2 = 0 \qquad (3)$$

$$400 - 14.28 - 0.952R_2 - R_2 = 0$$

$$\therefore 1.952R_2 = 385.75$$

وعليه فإن الكمية المستخرجة في المدة الثانية هي:

$$\boxed{\therefore R_2 = 197.6}$$

وبالتعويض عن R_2 في المعادلة (6) نحصل على قيمة R_1 حيث:

$$\therefore R_1 = 14.28 + 0.952(197.6) \qquad (6)$$

فإن الكمية المثلى للاستخراج في المدة الأولى هي:

$$\boxed{\therefore R_1 = 202.34}$$

وبما أن المخزون المتبقي من النفط = المخزون الابتدائي في الحقل – الكميات المستخرجة في المدتين

$$\because S_t = S_0 - (R_1 + R_2)$$

$$S_2 = 400 - 202.34 - 197.6$$

فإن المخزون المتبقي: $\boxed{\therefore S_2 \approx 0}$

ولإيجاد مستويات الأسعار المثلى P_1, P_2 نعوض عن قيمة R_1 ، R_2 في دالة السعر حيث:

$$P_1 = 1000 - 202.34$$

$$\boxed{\therefore P_1 = 797.66}$$

$$P_2 = 1000 - 197.6$$

obeikandl.com

$$\therefore P_2 = 802.4$$

ولإيجاد تكلفة النضوب للحقل λ :

نسأل ما هو المقصود بتكلفة النضوب للحقل؟ هل هي قيمة الفرصة البديلة لنضوب المورد (الحقل)؟ بعبارة أخرى القيمة الإضافية لدالة الهدف فيما لو زاد حجم المخزون من الحقل بوحدة واحدة أو حجم الخسائر أو التكاليف للوحدة الواحدة من الحقل على المجتمع من نضوب المورد، ويمكن الحصول عليها بالتعويض عن قيم R_1 و R_2 في إحدى معادلات الشرط الضروري (4) أو (5) حيث:

$$\because 900 - 3R_1 = \lambda \qquad (4)$$

$$\because \lambda_1 = 900 - 3(202.34)$$

وبذلك فإن تكاليف النضوب للمدة الزمنية الأولى هي:

$$\because \lambda_1 = 292.98$$

بينما تكاليف النضوب للمدة الزمنية الثانية من المعادلة (5) هي:

$$\lambda_2 = \frac{307.2}{1.05} = 292.57$$

3-6 حالة التكاليف المتزايدة والمدى الزمني:

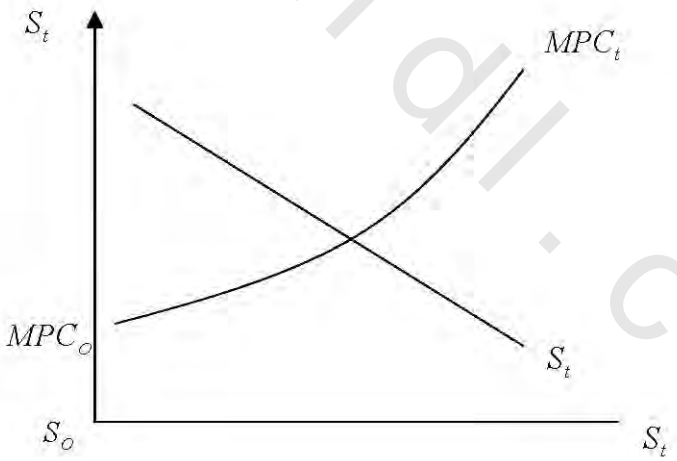
في الجزء السابق افترضنا أن التكاليف الحدية ثابتة عند كل المستويات الإنتاجية أو الاستخراجية من المخزون أي إن $MC = C$ أو إن التكاليف الكلية هي $TC = CR_t$. غير أن التكاليف الحدية لاستخراج الموارد القابلة للنضوب في الواقع تتزايد كلما انخفض مستوى المخزون وأحياناً كلما زاد المستوى الإنتاجي لمورد ارتفع مستوى التكاليف الحدية لاستخراج الوحدة الواحدة من المورد، وأحياناً كلما زاد الإنتاج وانخفض مستوى المخزون المتبقي من المورد ارتفع معدل تكلفة استخراجه. ويدخل في هذا المجال أي تكوين جيولوجي محصور إما مائي أو نفطي أو منجم ذهب، حيث إنه في الحقب الأولى للاستخراج عادة ما يكون المخزون متوافراً بكثرة في هذا التكوين مما يجعل تكاليف استخراجه منخفضة نسبياً؛

openkandl.com

وبعد استمرار الاستخراج أو الإنتاج ينخفض مستوى المخزون مما يستلزم جهداً أكبر في استخراج المتبقي منه، فسحب الماء من مستويات ماء منخفضة بعد انخفاض المخزون تستلزم إنزال أنابيب أكثر في البئر واستخدام مستويات أعلى من الطاقة، وكذلك ضخ النفط من تكوين انخفض مخزونه إلى مستوى منخفض، وكذلك البحث عن الذهب في منجم انخفض مخزونه إلى النصف، فعادة كلما انخفض المخزون ارتفعت تكاليف البحث واستخلاص أو استخراج هذا المخزون المتبقي.

وبعبارة أخرى فإن الافتراض التبسيطي الذي استخدمناه في الجزء السابق وهو أن التكاليف الحدية لاستخراج المورد الناضب ثابتة $MPC_t = c_t$ حيث إن التكاليف الكلية $TC_t = cR_t$ تعد افتراضاً غير دقيق، خاصة في المدى الزمني الطويل. وهو ما يمكن توضيحه برسم السلوك الأكثر توقعاً للتكاليف الحدية MPC_t مع مستوى المخزون S_t في الرسم البياني الآتي:

الشكل (3–19) سلوك التكاليف الحدية مع مستوى مخزون المورد الناضب



يوضح الشكل رقم (3–19) أنه كلما انخفض مستوى المخزون S_t ارتفع مستوى التكاليف الحدية $MPC_t(S_t)$ لاستخراج المتبقي من رصيد أو مخزون المورد. ويمكن الإشارة إلى أنه يوجد بعض الموارد التي تزيد التكلفة الحدية لاستخراج الوحدة الواحدة منها كلما زاد معدل الاستخراج ولو أن مستوى المخزون

لم يتغير؛ فمثلاً تؤدي زيادة السرعة في تشغيل مضخة الماء لرفع كميات مياه أكبر في الساعة، إلى زيادة التكلفة الحدية لاستخراج المتر المكعب من الماء، أي إن التكاليف الحدية للاستخراج تصبح دالة في حجم الاستخراج الآني $MPC_t(R_t)$.

المسألة التفصيلية الثانية في هذا الصدد تتعلق بسعر المورد القابل للنضوب P_t؛ حيث إن السعر P_t يمكن أن يكون متزايداً كلما انخفض المخزون المتبقي من المورد، وعليه فيمكن للسعر أن يكون دالة في المخزون المتبقي. كما أن اختيار المدى الزمني T لاستغلال المورد ليست مسألة حيادية، حيث إنها تعني أن أي استهلاك خارج هذا المدى الزمني لا يعد ذا منفعة للمخطط الاجتماعي، وبعبارة أخرى أنه لا يمكن إدخال أي منفعة للمورد المتبقي في دالة الهدف ما لم يتم استخراجه خلال الأفق الزمني المحدد. وعليه فإن أي مخزون متبقٍّ عند نهاية الأفق الزمني لا يعد ذا فائدة أو منفعة للمخطط الحالي حتى وإن كان ذا عائد ومنفعة للأجيال القادمة بعد الأفق الزمني المحدد. مما يعني أنه قد يكون هناك إجحاف في حق الأجيال القادمة إذا اخترنا مدى زمنياً قصيراً لا ينظر إلى المنفعة العائدة للأجيال القادمة. قد يتبادر إلى الذهن هنا أن الحل يكمن في زيادة المدى الزمني لاستغلال المورد بحيث يشمل الجيل القادم على الأقل، خاصة إذا كان هذا المورد الطبيعي قابلاً للنضوب ولا يتكون إلا عبر عصور جيولوجية طويلة كالنفط أو التكوينات المائية غير المتجددة أو المعادن بأنواعها. ولكن استخدام مدى زمني طويل مع تطبيق معدل للخصم موجب r على السعر أو الإيراد من المورد مهما كان منطقياً سيؤدي إلى أن تكون القيمة الحالية للمنفعة من استخراج المورد في السنوات المتأخرة من الأفق الزمني تساوي صفراً تقريباً. وذلك بسبب تخفيض القيمة المستقبلية للمنفعة الحاصلة للأجيال القادمة من خلال معدل الخصم الموجب. ولذلك يعد بعض الاقتصاديين والجماعات البيئية أن استخدام أي معدل خصم مهما كان منخفضاً في تقدير القيمة الحالية لمنفعة الأجيال القادمة غير عادل، بل يعد مجحفاً في حق الأجيال القادمة.

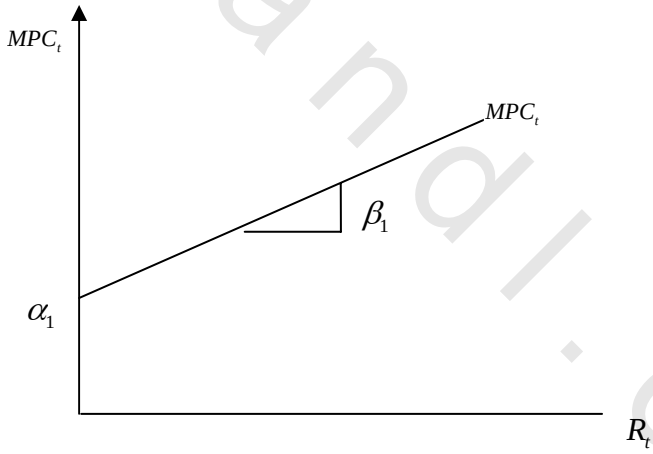
ولعلنا هنا نبدأ أولاً بترسيخ ومعالجة فكرة التكاليف الحدية المتزايدة ومعرفة تأثيرها على الحل، وهو ما سيفيد أيضاً في ترسيخ طريقة الحل لنماذج التحكم

الأمثل لمدى زمني يتكون من مدتين. لنفترض في هذه الحالة أن لدينا دالة تكاليف استخراج (إنتاج) كلية TC_t لمورد ما ممثلة في معادلة من الدرجة الثانية الآتية:

$$TC_t = a_1 R_t + \beta_1 R_t^2$$

توضح المعادلة السابقة أن التكاليف الكلية للاستخراج TC_t تتزايد كلما زاد معدل الاستخراج، ومعنى ذلك أن التكاليف الحدية MPC_t لن تكون دالة خط مستقيم كما هي في المثال السابق، بل إنها ستكون غير خطية، ويمكن الحصول عليها (دالة التكاليف الحدية) بأخذ التفاضل الأول لمعادلة التكاليف الكلية TC بالنسبة لـ R_t.

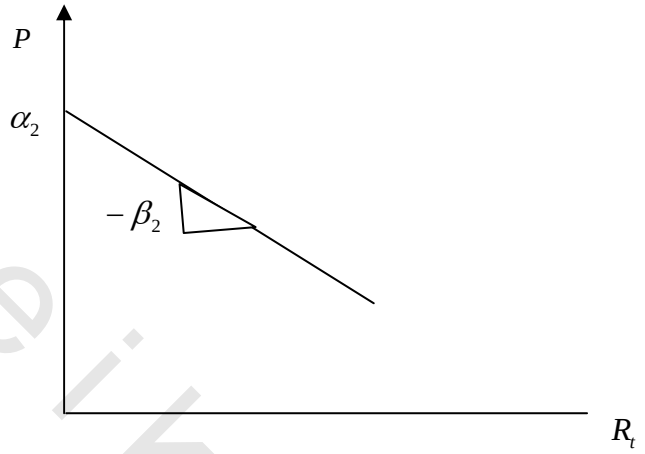
$$MPC_t = \frac{dTC_t}{dR_t} = a_1 + 2\beta_1 R_t$$



ولنفترض الآن أن معاملات هذه الدالة هي $\beta_1 = 0.5$ وأن $\alpha_1 = 5$؛ وأن معكوس دالة الطلب لهذا المورد هو:

$$P_t = a_2 - \beta_2 R_t$$

obeikandl.com



حيث $\beta_2 = 0.5$ و $\alpha_2 = 50$ بينما المخزون الابتدائي المتوافر من هذا المورد $S_O = 105$ ، بينما معدل الخصم هو $r = 10\%$ والمدى الزمني لاستغلال هذا المورد هو $T = 2$. من خلال هذه المعطيات نستطيع تكوين مسألة التعظيم للمخطط الاجتماعي لهذا المورد ومن ثم استنتاج دالة لاجرانج، واستخراج الشروط الضرورية والكافية لتعظيم عائد الإنتاج من هذا المورد، وتحديد مستويات الاستخراج المثلى في المدد المختلفة والمتبقي من المخزون بعد نهاية المدى الزمني التخطيطي لاستغلال المورد كما تم في الأمثلة السابقة.

لتبسيط الحل نكوّن أولاً رياضياً قيمة العائد من استخراج المورد في المدة الأولى أي المساحة التي تحت منحنى الطلب وفوق منحنى التكاليف الحدية، وذلك بأخذ تكامل منحنى الطلب وطرحه من تكامل منحنى التكاليف الحدية كما يأتي:

$$\int_0^1 \left[(a_2 - \beta_2)R_1 - a_1 R_1 - \beta_1 R_1^2\right] dR_1$$

بينما العائد من استخراج المورد في المدة الثانية هو:

$$\int_0^2 \frac{\left[(a_2 - \beta_2)R_2 - a_1 R_2 - \beta_1 R_2^2\right] dR_2}{(1+r)^{t-1}}$$

وعليه يمكن تكوين دالة الهدف والقيود المفروضة عليها التي تكون في مجملها مسألة التعظيم للمنتج:

obeikandl.com

$$\underset{R_t}{Max}\int_0^{R_1}\left[(a_2-\beta_2)R_1-a_1R_1-\beta_1R_1^2\right]dR_1+\int_0^{R_2}\frac{\left[(a_2-\beta_2)R_2-a_1R_2-\beta_1R_2^2\right]dR_2}{(1+r)^{t-1}} \qquad (9)$$

العائد في المدة الأولى — العائد في المدة الثانية

تحت القيود .S.t:

(10) قيد المخزون: $R_1+R_2\le 105$

(11) قيد عدم السالبية: $R_1,R_2\ge 0$

(12) قيد لا سالبية المخزون: $S_t\ge 0$

ومن مسألة التعظيم السابقة يمكننا إيجاد معادلة لاجرانج التعظيمية كما تم توضيحها سابقاً كما يأتي:

$$L(R_1,R_2,\lambda)=\underset{R_t}{Max}\int_0^{R_1}\left[(a_2-\beta_2)R_1-a_1R_1-\beta_1R_1^2\right]dR_1$$
$$+\int_0^{R_2}\frac{\left[(a_2-\beta_2)R_2-a_1R_2-\beta_1R_2^2\right]}{(1+r)^{t-1}}+\lambda(105-R_1-R_2) \qquad (13)$$

كما يمكننا استخراج الشروط الضرورية الأول والثاني لتعظيم عائد استخراج هذا المورد القابل للنضوب من اشتقاق التفاضل الأول لمعادلة لاجرانج بالنسبة لكل من المتغيرات الداخلية R_1 و R_2 و λ على التوالي:

$$\frac{\partial L}{\partial R_1}=a_2-\beta_2-a_1-2\beta_1R_1-\lambda=0 \qquad (14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial R_2}=\frac{a_2-\beta_2-a_1-2\beta_1R_2}{(1+r)^{t-1}}-\lambda=0 \qquad (15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda}=105-R_1-R_2=0 \qquad (16)$$

حيث تمثل المعادلتان (14)، (15) الشرط الضروري الأول للمدة الأولى ثم الثانية، بينما تمثل المعادلة (16) الشرط الضروري (الثاني)، وبالتعويض عن قيم α_1

obeikandl.com

و α_2 و β_1 و β_2 كما وردت في المعطيات، يمكننا إعادة كتابة الشروط الضرورية كما يأتي:

الشرط الضروري الأول للمدة الأولى:

$$50 - 0.5 - 5 - 2(0.5)R_1 - \lambda = 0$$

$$\therefore 44.5 - R_1 - \lambda = 0 \quad (17)$$

والشرط الضروري للمدة الثانية:

$$\frac{50 - 0.5 - 5 - 2(0.5)R_2}{1.10} - \lambda = 0$$

$$\therefore \frac{45.5 - R_2}{1.10} - \lambda = 0 \quad (18)$$

والشرط الضروري الثاني:

$$105 - R_1 - R_2 = 0 \quad (19)$$

ويعني الشرط الضروري الأول للمدة الأولى (17) وللمدة الثانية (18) أن القيمة الحالية للعائد من المورد المستخرج تساوي القيمة الحالية للتكلفة الحدية لاستخراجه مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة للنضوب λ ، أو بعبارة أخرى:

فإن الإيراد الحدي= التكلفة الحدية الخاصة للاستخراج + تكلفة فرصة البديلة للنضوب.

$$MR_t = MPC_t + OC_t$$

ويعني الشرط الضروري الثاني أن مجموع ما يمكن استخراجه من المورد لا يمكن أن يتجاوز المخزون الابتدائي؛ وبعبارة أخرى فإنه لا يمكن استخراج أي شيء إذا نضب المورد (أي انتهى مخزونه).

ولإيجاد قيم مستويات الاستخراج المثلى R_1 و R_2 وقيمة تكلفة الفرصة البديلة λ نقوم بحل المعادلات الثلاث السابقة. فمن المعادلتين (17) و (18) وبنقل λ إلى الطرف الأيمن نجد أن كلا الطرفين على اليسار متساويان أيضاً.

obeikandl.com

$$44.5 - R_1 = \frac{45.5 - R_2}{1.10}$$

$$44.5 - R_1 = 41.36 - 0.91R_2$$

وعليه فإن الطرفين على اليمين سيكونان متساويين:

$$3.14 - R_1 = -0.91R_2$$

$$\therefore R_1 = 0.91R_2 + 3.14 \qquad (19)$$

بالتعويض عن R_1 في المعادلة رقم (19):

$$105 - (0.91R_2 + 3.14) - R_2 = 0$$

$$105 - 0.91R_2 - 3.14 - R_2 = 0$$

$$1.91R_2 = 105 - 3.14$$

$$1.91R_2 = 101.86$$

$$\therefore R_2 = 53.33$$

وهذا يعني أن كمية الاستخراج المثلى في المدة الأولى:

$$\therefore R_2 = 53.33$$

وبالتعويض عن قيمة R_2 في الصيغة السابقة رقم (19) نستطيع الحصول على قيمة R_1 ، حيث:

$$R_1 = 0.91(53.33) + 3.14$$

$$R_1 = 48.53 + 3.14$$

$$\therefore R_1 = 51.67$$

وهذا يعني أن كمية الاستخراج المثلى في المدة الثانية:

obeikandl.com

$$R_1 = 51.67$$

أما المخزون المتبقي فيمكن الحصول عليه من معادلة قيد المخزون:

$$S_t = S_O - R_1 - R_2$$

$$S_t = 105 - 51.67 - 53.33$$

أي إن المخزون يساوي صفراً، حيث:

$$S_t = 0$$

كما يمكننا الحصول على السعر الأمثل للمورد القابل للنضوب خلال المدتين الأولى والثانية كما يأتي:

$$P_1 = 50 + 0.5(51.67)^1 = 75.835$$

$$P_2 = 50 + 0.5(53.33)^2 = 1472.04$$

مثال (2)

حقل نفط دالة تكاليف استخراجه هي: $MC = 5 + R_t$ ومعكوس دالة الطلب عليه هي $P_t = \alpha - bR_t$ حيث $b = 0.5$ ، $\alpha = 50$ ؛ علماً بأن المخزون الابتدائي في هذا الحقل هو 105 وسعر الخصم $r = 0.1$ والزمن $T = 2$.

1. كون مسألة التعظيم لعائد الإنتاج ودالة لاجرانج في هذه الحالة.
2. استنتج الشروط الضرورية والكافية لتعظيم عائد الإنتاج من هذا الحقل مع شرحها.
3. أوجد مستويات الاستخراج المثلي والمخزون المتبقي.
4. ما هي القيمة الحالية لربح منتج المورد عبر الزمن؟
5. في حالة كون التكاليف الحدية لاستخراج النفط كمورد ناضب أصبحت متزايدة كلما أنخفض المخزون المتبقي، فكيف يمكن تمثيلها رياضياً في هذه الحالة؟ وكيف ستؤثر بيانياً على دالة التكاليف؟

obeikandl.com

خطوات الحل:

1. تكوين مسألة أو أنموذج التحكم الأمثل:

الهدف من استخدام أنموذج هوتلنج هو تحديد الكمية المثلى خلال المدة الزمنية التخطيطية المأخوذة في الاعتبار التي تعظم القيم الحالية لعوائد استغلال المورد القابل للنضوب خلال تلك المدة ويتم هذا بعمل خطوتين:

الخطوة الأولى: تكوين دالة الهدف:

حيث يتم تعظيم القيمة الحالية لعوائد استغلال المورد القابل للنضوب $\sum_{t=1}^{T}(\pi_t)$ خلال المدى الزمني تساوي:

$$\frac{\text{دالة الإيراد الكلي} - \text{دالة التكاليف الكلية}}{\text{سعر الخصم}}$$

وهذا يعني:

$$Max \sum_{t=1}^{t} \pi_t = Max \sum_{t=1}^{t} \frac{TR_t - TC_t}{(1+r)^t}$$

ومن ثم نوجد دالة الإيراد الكلي TR_t ، وبما أن الإيراد الكلي هو المنطقة الموجودة تحت منحنى الطلب فإن الإيراد الكلي يساوي تكامل معكوس دالة الطلب.

حيث يكون تكامل معكوس دالة الطلب:

$$\because \int_0^t (\alpha - bR_t)\, dR = TR$$

وبالتالي تكون قيمة تكامل معكوس دالة الطلب (دالة الإيراد الكلي) هي:

$$\therefore TR = \alpha R_t - \frac{b}{2} R_t^2$$

وكذلك للحصول على دالة التكاليف الكلية، نقوم بإيجاد تكامل دالة التكاليف الحدية كما يأتي:

openkanal.com

$$\because TC = \int_0^t (5 + R_t)dR$$

وهذا يعني أن دالة التكاليف الكلية هي:

$$\boxed{TC = 5R_t + 0.5R_t^2}$$

وبالتعويض عن دالة الهدف، وفقاً لمسألة التحكم الأمثل تصبح دالة الهدف:

$$Max\sum_{t=1}^{2} \frac{50R_t - \frac{1}{4}R_t^2 - 5R_t - 0.5R_t^2}{(1+0.1)^t}$$

الخطوة الثانية: نوجد قيود دالة الهدف وهي شرط المخزون الديناميكي وشرط عدم السالبية حيث:

قيد المخزون الديناميكي هو:

$$R_1 + R_2 \leq 105$$

بينما قيد عدم السالبية هو:

$$R_1, R_2 \geq 0$$

2. حل الأنموذج واستخدم دالة لاجرانج لحل هذا الأنموذج باتباع الخطوات التالية:

الخطوة الأولى: نكوّن دالة لاجرانج من مسألة التحكم الأمثل حيث:

دالة لاجرانج $L(R_1, R_2, \lambda)$ = عائد أو ربح استخراج المورد في المدة الأولى+ القيمة الحالية لعائد استخراج المورد في المدة الثانية + (قيد النضوب) * λ

(1) حيث عائد أو ربح استخراج المورد في المدة الأولى هو:

$$45R_1 - \frac{3}{4}R_1^2$$

(2) القيمة الحالية لعائد أو ربح استخراج المورد في المدة الثانية هو:

obeikandi.com

$$\frac{45\ R_2\ -\ \frac{3}{4}R_2^{\ 2}}{1.1}$$

(3) بينما قيد النضوب الذي يمثل تكلفة الفرصة البديلة للمورد وهو عبارة عن قيد المخزون مضروباً في معامل لاجرانج، حيث:

$$\lambda(105 - R_1 - R_2)$$

وبذلك تكون دالة لاجرانج:

$$L(R_1, R_2, \lambda) = 45R_1 - \frac{3}{4}R_1^2 + \frac{45R_2 - \frac{3}{4}R_2^2}{1.10} + \lambda(105 - R_1 - R_2)$$

وهذا هو المطلوب الأول

الخطوة الثانية: إيجاد الشروط الضرورية والكافية لدالة لاجرانج لتعظيم عائد الإنتاج(تعظيم دالة الهدف):

حيث نفاضل دالة لاجرانج إلى متغيراتها الداخلية ونساويهما بالصفر كما يأتي:

(1) الشرط الضروري الأول لتعظيم دالة الهدف في المدة الأولى هو تفاضل دالة لاجرانج بالنسبة لـ R_1 مساوياً للصفر في المدة الأولى حيث:

$$\frac{\partial L}{\partial R_1} = 45 - \frac{3}{2}R_1 - \lambda = 0$$

(2) الشرط الضروري الأول لتعظيم دالة الهدف في المدة الثانية وهو تفاضل دالة لاجرانج بالنسبة لـ R_2 مساوياً للصفر في المدة الثانية حيث:

$$\frac{\partial L}{\partial R_2} = \frac{45\ -\ \frac{3}{2}R_2}{1.1} - \lambda\ =\ 0$$

obeikandl.com

(3) الشرط الضروري الثاني للأمثلية، وهو أن إجمالي المورد المستخرج في المدتين لا يمكن أن يتجاوز المخزون الابتدائي، وهنا نفاضل دالة لاجرانج بالنسبة لـ λ ونساويهما بالصفر حيث:

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 105 - R_1 - R_2 = 0$$

وبالتالي فإن الشروط الضرورية الأولي والثانية لتعظيم عائد الإنتاج من هذا الحقل هي:

$$\frac{\partial L}{\partial R_1} = 45 - 1.5R_1 - \lambda = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial R_2} = \frac{45 - 1.5R_2}{1.1} - \lambda = 0 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 105 - R_1 - R_2 = 0 \qquad (3)$$

وهذا هو المطلوب الثاني.

الخطوة الثالثة: هي القيام بحل المعادلات الثلاث للوصول إلى قيمة كلّ من λ, R_2, R_1 باستخدام المعادلة الأولى والثانية:

حيث:

من (1) $45 - 1.5R_1 = \lambda$

من (2) $\frac{45 - 1.5R_2}{1.1} = \lambda$

وبما أن كلا المعادلتين السابقتين تساوي λ ، فإن الطرفين على اليسار متساويان، أي إن:

$$45 - 1.5R_1 = \frac{45 - 1.5R_2}{1.1}$$

$$49.5 - 1.65R_1 = 45 - 1.5R_2$$

$$49.5-1.65R_1-45+1.5R_2=0$$

$$4.5-1.65R_1+1.5R_2=0$$

$$\therefore 1.65R_1=4.5+1.5R_2$$

$$\boxed{\therefore R_1=2.73+0.91R_2 \qquad (4)}$$

وبالتعويض عن قيمة R_1 في المعادلة رقم (3) (الشرط الكافي) $(105-R_1-R_2=0)$

حيث:

$$105-(0.91R_2+2.73)-R_2=0$$

$$105-0.91R_2-2.73-R_2=0$$

$$1.91R_2=102.27$$

وعليه فإن الكمية المستخرجة من الحقل في المدة الثانية هي:

$$\boxed{R_2=53.54}$$

وبالتعويض عن R_2 في المعادلة (4) نحصل على قيمة R_1 حيث:

$$R_1=0.91(53.54)+2.73$$

وعليه فإن الكمية المثلى للاستخراج من الحقل في المدة الأولى هي:

$$\boxed{R_1=51.4}$$

المخزون المتبقي من النفط = المخزون الابتدائي في الحقل – الكميات المستخرجة في المدتين

$$\because S_t=S_0-(R_1+R_2)$$

$$S_t=105-51.4-53.54$$

$$\boxed{\therefore S_t\approx 0}$$

وهذا هو المطلوب الثالث.

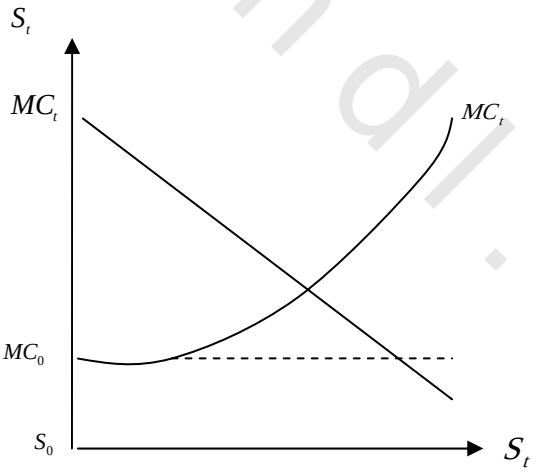
الخطوة الرابعة: إيجاد القيمة الحالية لربح منتج المورد عبر الزمن، بالتعويض عن قيم R_1 و R_2 المستخرجة في دالة الهدف حيث:

$$L_t = 45\lceil 51.4\rceil - \frac{3}{4}\lceil 51.4\rceil^2 + \frac{45\lceil 53.54\rceil - \frac{3}{4}\lceil 53.54\rceil^2}{1.10} + \lambda(105 - R_1 - R_2)$$

$$L_t = 331.53 + 235.82 = 567.34$$

وهذا هو المطلوب الرابع.

شكل التكاليف الحدية: التكاليف الحدية لاستخراج المورد القابل للنضوب تتزايد كلما انخفض مستوى المخزون وأحياناً كلما زاد المستوى الإنتاجي للمورد خاصة في المدى الطويل، وبالتالي فإن دالة التكاليف الحدية ستصبح متزايدة وليست ثابتة (أفقية).



حيث يوضح الشكل السابق أنه كلما انخفض مستوى المخزون S_t ارتفع مستوى التكاليف الحدية MC_t لاستخراج المتبقي من رصيد المورد، وذلك بسبب تزايد تكلفة الفرصة البديلة (تكلفة النضوب) للمورد، وعليه فإن سعر المورد

القابل للنضوب يتزايد كلما انخفض المخزون المتبقي من المورد، وهو ما يمكن تمثيله رياضياً كما يأتي:

$$TC = aR_t + bR_t^2 + cR_t^3 + eR_t\left(S_0 - S_t\right) \ /S_t$$

وهذا هو المطلوب الخامس.

7–3 حالة وجود بديل تقني للمورد الناضب:

في هذه الحالة نفترض أن التكاليف الحدية لاستخراج المورد تتزايد كلما انخفض مستوى المخزون المتبقي $MC_t = C(S_t)$ ، ولكن يوجد هناك بديل تقني مكتشف يمكن تسميته "تقنية بديلة أو رديفة"Backstop Technology لهذا المورد، تكاليف إنتاج هذا البديل التقني تساوي $MC_t = w$. ولكن w الآن أكبر من C التكاليف الحدية لاستخراج المورد الناضب الطبيعي. وبعبارة أخرى فإن التكاليف الحدية لإنتاج المورد التقني البديل (التقنية البديلة) أعلى من تكاليف إنتاج استخراج المورد الطبيعي. وكمثال لذلك، فلنفترض أن التكاليف الحدية لاستخراج المياه في التكوينات المائية العميقة (الآبار الجوفية) لبلد ما تتزايد كلما انخفض مخزون المياه في هذه التكوينات وأن البديل التقني لمورد المياه من هذه التكوينات، هو تقنية تحلية مياه البحر المالحة التي تتوافر بكميات غير محدودة عند تكلفة إنتاجية ثابتة. هناك عدد من التساؤلات التي تتبادر إلى الذهن في هذا الإطار.

أولها: ما هو التوزيع الديناميكي (التوزيع عبر الزمن) المثالي لاستخراج المورد الطبيعي القابل للنضوب؟ الثاني: متى يبدأ إنتاج البديل التقني أو الرديف (تحلية المياه المالحة) في هذه الحالة؟

الثالث: هل يمكن إنتاج المورد من المصدر الطبيعي ومن التقنية البديلة في آن واحد؟ وهل هذا يعد مثالياً اقتصادياً؟

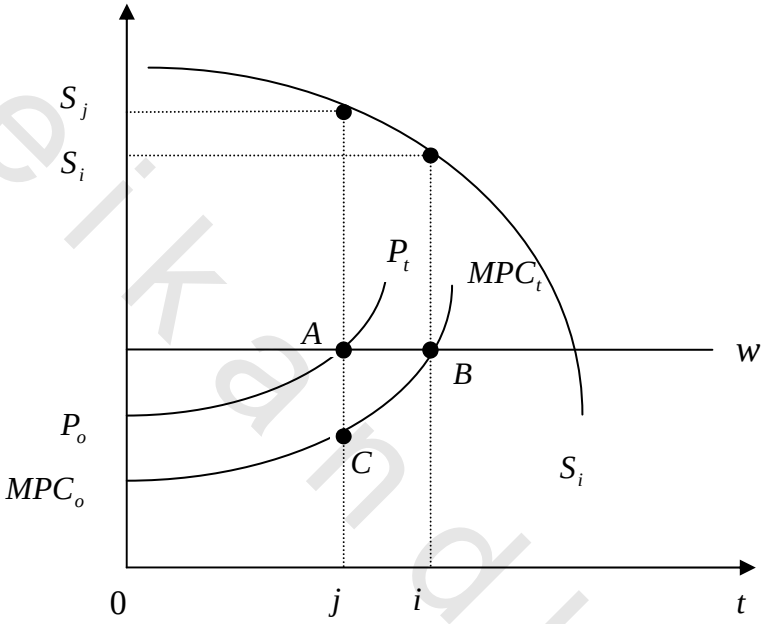
الرابع: متى يتوقف إنتاج المورد الطبيعي؟

الخامس: ماذا لو كان المورد الطبيعي يتم إنتاجه من تكوينات مختلفة لها تكاليف حدية للاستخراج مختلفة المستوى؟

obeikandl.com

السادس: هل لتكلفة نقل المورد المنتج بالتقنية البديلة أو الرديفة (تقنية تحلية المياه) أثر على أي مدينة يتم إمدادها بالمياه من المورد الطبيعي أو من المورد البديل تقنياً؟

الشكل (3–20) ديناميكية استغلال المورد الناضب مع وجود بديل تقني



يوضح الشكل (3–20) أن التكاليف الحدية لاستخراج المورد الطبيعي القابل للنضوب هي $MC_t = C(S_t)$ التي هي دالة عكسية في حجم المخزون الحالي S_t ، بمعني أن التكاليف الحدية للاستخراج تتزايد كلما انخفض مستوى مخزون المورد. كما أن سعر المورد الحالي P_t يتزايد كلما تقدمنا في المدى الزمني. كما أن الخط الأفقي w يمثل تكاليف الإنتاج الثابتة لإنتاج المورد من التقنية البديلة (تحلية المياه المالحة بالنسبة للمياه الجوفية) التي تعتبر تكاليف إنتاجها ثابتة في المدى الزمني القصير والمتوسط. ويوضح الشكل (3–20) أن الإنتاج سيعتمد من بداية المدى الزمني التخطيطي $t = 0$ وحتى المدة الزمنية j على المورد الطبيعي القابل للنضوب، حيث السعر أعلى من التكاليف الحدية لاستخراج المورد الطبيعي. كما أن التكاليف الحدية لاستخراج المورد الطبيعي MPC_t أقل من التكاليف الحدية

لإنتاج المورد البديل w خلال ذلك المدى الزمني. وعلى وجه التحديد، عند المدة j فإن السعر يساوي A، بينما التكلفة الحدية لاستخراج المورد الطبيعي تساوي C، بينما الفرق بينهما هو المسافة بين A و C وتساوي تكلفة الفرصة البديلة لنضوب المورد الطبيعي.

نلاحظ أيضاً أننا كلما تقدمنا في المدى الزمني بعد المدة j فإن السعر لن يتزايد بالدرجة نفسها. لأن السعر إذا زاد عن A فإنه سيصبح مساوياً لـ w عند النقطة B ومن ثم سيتوقف إنتاج المورد الطبيعي ويبدأ إنتاج المورد من البديل التقني وسيكون السعر أعلى من w بنسبة ثابتة.

مما سبق يتضح أن إنتاج المورد الطبيعي سيستمر في المدى الزمني من المدة الابتدائية إلى المدة i، نلاحظ هنا أن ربح المنتج يبدأ بالانخفاض بين المدتين i و j وهو ما يساوي تكلفة الفرصة البديلة للنضوب حتى يصل إلى صفر عند المدة i عند النقطة B، حيث تساوي التكاليف الحدية لاستخراج المورد الطبيعي سعر المورد الطبيعي وتساوي كذلك التكلفة الحدية لإنتاج المورد من البديل التقني w. ويشار إلى النقطة B أو المدة الزمنية i، بأنها مرحلة التغيير Switching من المورد الطبيعي إلى البديل التقني.

لتبسيط الحالة السابقة ولنتمكن من تمثيلها رياضياً، نفترض أن لدينا معكوس دالة الطلب الخطية الآتية على المورد الطبيعي:

$$P_T = A - B(R_t + \beta R_t)$$

حيث ترمز R_t : إلى المورد المستخرج في المدة t، بينما ترمز BR_t : إلى المورد المنتج بالتقنية البديلة في المدة t، علماً بأن إنتاج البديل التقني BR_t ذو تكلفة حدية ثابتة تساوي w.

وبذلك تصبح دالة الهدف لمسألة التعظيم كما يأتي:

$$\underset{R_t, BR_t}{Max} \sum_{t=1}^{T} \int_0^{R_t} \int_0^{\beta R_t} \frac{\{(A-B)(R_t + \beta R_t) - C(S_T) - w(\beta R_t)\}}{(1+r)^{t-1}} \qquad (1)$$

تحت القيود S.t.:

$$S_O \geq \sum_{t=1}^{T} R_t \qquad (2)$$

$$R_t \geq 0 \qquad (3)$$

$$BR_t \geq 0 \qquad (4)$$

نستطيع من مسألة التعظيم السابقة تكوين دالة هاملتون Hamiltonian Function التي يمكن تمثيلها في صيغتها المختصرة Reduced Form كما يأتي:

$$H(R, BR, S, \lambda, t) = J(R, BR, S, t) + \lambda . g(R, BR, S, t) \qquad (5)$$

والتي شروط تعظيمها الضرورية والكافية كالآتي:

$$\frac{\partial H}{\partial R} = 0 \qquad (6)$$

$$\frac{\partial H}{\partial S} = \lambda \equiv -\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right) \qquad (7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \lambda} = \dot{X} \qquad (8)$$

ولعلنا الآن نعيد صياغة المسألة السابقة العامة بطريقة أكثر تبسيطاً نوضح فيها الإيراد الكلي والتكاليف الكلية كلاً على حدة، وبطريقة التجميع من التكامل، حيث يمكن حساب الإيراد الكلي TB لاستخراج وإنتاج المورد كما يأتي:

$$TB_t = \int_0^{R_t} a - bR_t . dR_t + \int_0^{BR_t} a - bBR_t . dBR_t$$

حيث الجزء الأول يمثل إيراد المورد الطبيعي بينما الجزء الثاني يمثل إيراد المورد البديل.

$$\therefore TB_t = aR_t - \frac{b}{2}R_t^2 + aBR_t - \frac{b}{2}BR_t^2$$

بينما التكاليف الكلية TC لاستخراج وإنتاج المورد ستكون معادلة من الدرجة الثانية للمورد الطبيعي، ومن الدرجة الأولى للمورد البديل التقني؛ حيث تكون التكاليف الحدية لاستخراج المورد الطبيعي هي:

obeikandl.com

$$MPC_t = \alpha_1 + 2B_1R_t$$

وبذلك تكون التكاليف الكلية لاستخراج المورد الطبيعي:

$$TC_t = \alpha + \alpha_1 R_t + \beta R_t^2$$

وبذلك يكون العائد من استخراج المورد في المدة الزمنية الأولى كما يأتي:

$$\int_O^1 \left[(a-b)(R_1 + BR_t) - \alpha_1 R_1 - \beta R_1^2 - wBR_1\right] dR_1$$

بينما العائد من المورد في المدة الزمنية الثانية هو:

$$\int_O^2 \frac{\left[\ \left[(a-b)(R_2 + BR_2) - \alpha_1 R_2 - \beta R_2^2 - wBR_2\ \right]\ dR_2\right.}{(1+r)^t}$$

وبذلك يمكن تكوين دالة الهدف والقيود المشروطة عليها التي تكون في مجموعها مسألة التعظيم التي يمكن تكوين دالة هاملتون منها وتشبه دالة لاجرانج:

$$\underset{R_t, BR_t}{Max} \int_0^1 \left[(a-b)(R_1 + BR_t) - \alpha_1 R_1 - \beta R_1^2 - wBR_1\right] dR_1$$

$$+ \frac{\left[\int_0^2 (\alpha - b)(R_2 + BR_2) - \alpha_1 R_2 - \beta R_2^2 - wBR_2\right] dR_2}{(1+r)^{t-1}} + \lambda\left(S_O - \sum R_t\right) \quad (9)$$

وبذلك يمكن استنتاج كميات الاستخراج المثلى من اشتقاق التفاضل الأول لمعادلة هاملتون السابقة بالنسبة لـ R_1 ، R_2 ، BR_1 ، BR_2 ، λ على التوالي:

$$\frac{\partial L}{\partial R_1} = \alpha - b - \alpha_1 - 2\beta R_1 - \lambda = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial R_2} = \frac{\alpha - b - \alpha_1 - 2\beta R_2}{(1+r)^{t-1}} - \lambda = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial BR_1} = \alpha - b - w - \lambda = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial BR_2} = \frac{\alpha - b - w}{(1+r)^{t-1}} - \lambda = 0 \quad (13)$$

obeikandl.com

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = S_O - \sum_{t=1}^{T} R_t = 0 \qquad (14)$$

وتوضح المعادلات الأربع الأولى (13–10) الشروط الضرورية الأولى لأمثلية الحل، حيث توضح المعادلة الأولى رقم (10) أن الإيراد الحدي للمورد ناقصاً تكاليف استخراجه الحدية ناقصاً تكاليف الفرصة البديلة يساوي صفراً، أو بعبارة أخرى فإن شرط التوازن هنا أن يكون الإيراد الحدي للمورد مساوياً لتكاليف استخراجه الحدية مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة. كما أن المعادلة الثانية رقم (11) توضح الشيء نفسه ولكن من خلال مقارنة القيمة الحالية لإيراد تكاليف المدة الثانية، وهي الشروط الضرورية نفسها التي رأيناها في تحليلاتنا السابقة. المعادلة الثالثة رقم (12) والرابعة رقم (13) هي الجديدة هنا، حيث إنها مرتبطة بإنتاج المورد من التقنية البديلة.

فالمعادلة الثالثة رقم (12) توضح أن التقنية البديلة سيبدأ استخدامها إذا كان إيرادها الحدي يغطي التكلفة الحدية لإنتاجها مضافاً إليها تكلفة الفرصة البديلة لنضوب المورد البديل. وهكذا بالنسبة للشرط الضروري الرابع، أي المعادلة رقم (13) ولكن آخذاً في الاعتبار القيمة الحالية لقيم المدة الثانية.

كما أن المعادلة (14) تقدم الشرط الضروري الثاني لمسألة التعظيم وهو أن مجموع ما يتم استخراجه من المورد الطبيعي خلال المدى الزمني التخطيطي لا يمكن أن يتجاوز المخزون الابتدائي الموجود من المورد الطبيعي.

3–8 استخراج المورد لثلاث مدد وأكثر:

يعد طول المدى الزمني التخطيطي لاستغلال المورد مهماً من جوانب عدة؛ فمن جهة فإنه في حالة وجود معدل خصم موجب، فإن هذا يؤثر على أهمية قيمة العائدات المستقبلية للمورد خاصة المدد البعيدة منها، حتى وإن كان سعر الخصم منخفضاً. كما أن طول المدى الزمني التخطيطي يؤثر فنياً على مستوى صعوبة حل المسألة التعظيمية لاستغلال المورد. فكلما طال المدى الزمني لاستغلال المورد الناضب، زاد مستوى صعوبة حل الأمثلية فنياً ورياضياً وبرمجياً. لقد كان بإمكاننا الوصول إلى مستويات الاستخراج المثلى R_t و R_2 في حالة كون المدى

الزمني التخطيطي يتكون من مدتين زمنيتين فقط. وسبقت الإشارة إلى أن حل مثل هذه المسائل التخطيطية لاستغلال الموارد في الواقع تستلزم بالضرورة استخدام مدى زمني أكثر من مدتين. كما أن الحل في هذه الحالة يعتمد على الحلول الرقمية التي يتم الوصول إليها من خلال البرمجة الحاسوبية. وهذه الحلول الرقمية تعتمد أصلاً على تطبيق الحلول التحليلية التي وصلنا لها في حالة المدتين الزمنيتين، أي إنها تعتمد على الشروط الضرورية والكافية لاستغلال المورد الأنفة الذكر.

أما طريقة تطبيق هذه الشروط الضرورية والكافية، وإدخال معطيات أنموذج التحكم الأمثل في الحاسب فإنها تعتمد بشكل كبير على نوع ومستوى البرمجيات المراد استخدامها في الحل. فبعض المسائل يمكن حلها بكتابة برنامج قصير على لغة فيجوال بيسك Vasual Basic أو لغة فورتران Fortran؛ وبعضها الآخر يمكن استخدام برامج البرمجة الرياضية الجاهزة مثل برنامج LINDO أو GAMS أو غيرها؛ كما يمكن أيضاً استخدام برامج الجداول مثل برنامج Excel لإيجاد الحل. وجميع هذه الطرق تعتمد أولاً على فهم المسألة بأسلوب برمجي، وثانياً على القدرة على التمييز بين المتغيرات الداخلية والخارجية والحالية والتحكمية وعلى الفرق بين المدخلات والعمليات والمخرجات للمسألة من الناحية البرمجية. وأخيراً تعتمد على وضع إطار لخوارزمية الحل؛ ويمكننا هنا أن نقدم رياضياً المعادلتين الأساسيتين في الحل:

$$\frac{\alpha - bR_t - C}{(1+r)^t} - \lambda = 0 \qquad (1)$$

$$S_O - \sum_{t=1}^{T} R_t \geq 0 \qquad (2)$$

المعادلتان (1)، (2) هما شرطا الحل الأمثل اللذان تم تقديمهما في الجزء (3–4) عن قاعدة هوتلينج، ويمكن أن نقترح آلية الحساب الرقمي الآتية التي يمكن إطلاق المصطلح المعروف برمجياً بالخوارزمية Algorithm للوصول إلى الحل الأمثل رقمياً:

1. نفترض قيمة ابتدائية تقديرية لتكلفة الفرصة البديلة لنضوب المورد لـ λ ،

2. نستخدم المعادلة الأولى أعلاه لنحل قيمة R_t اعتماداً على قيمة λ التقديرية.

3. إذا كان مجموع R_t في المدى الزمني للمسألة أي $\sum_{t=1}^{T} R_t$ يتعدى S_O ، فنقوم بتخفيض قيمة λ التقديرية، والعكس صحيح.

4. نعيد الخطوات 2 و 3 حتى نصل إلى مجموع R_t حيث يتحقق الشرط أن $\sum_{t=1}^{T} R_t = S_O$ ويعد الحل صحيحاً في هذه الحالة.

5. نقوم بحساب قيمة العائد π_t ومقارنته لكل حل لنتوقف عند أعلى قيمة عائد؛ ونحسب تكلفة الفرصة البديلة λ_t ومستوى المخزون المتبقى S_t بناءً على مستويات الاستخراج R_t التي تم حسابها باستخدام الخوارزمية.

ويمكن تطبيق الخوارزمية السابقة على مجموعة من لغات البرمجة الأولية مثل فورتران Fortran أو C++ أو Visual Basic.

كذلك من الممكن حل المسائل السابقة رقمياً لعدد كبير من السنوات دون استخدام الخوارزمية عن طريق برامج البرمجة الرياضية Mathematical Programming الجاهزة مثل برنامج LINDO أو GAUSS أو AMPLE أو GAMSأو غيرها، بالإضافة إلى إمكانية الحل عن طريق بيئة برامج الجداول مثل Excel وسنستعرض هنا الخطوط العريضة لطريقة الحل باستخدام جداول أكسل التي تعد تقريباً معروفة الآن لكل مستخدمي الحاسب.

طريقة الحل باستخدام جداول أكسل Excel:

تعتمد طريقة الحل على معرفة المستخدم ببرنامج جداول أكسل وعلى معرفته بحل المسألة رياضياً وعلى دقة تطبيقه للخوارزمية المناسبة للحل، ويمر حل المسألة رقمياً بجداول أكسل بخطوات يمكن تلخيصها فيما يأتي:

1. مرحلة تحليل المسألة المراد حلها رياضياً لمدتين زمنيتين ومعرفة الشروط الضرورية والكافية للحل.

obeikandl.com

2. مرحلة تنظيم المسألة في شكل مدخلات وعمليات وشروط ومخرجات.
3. استدعاء الخادم Solver المناسب.
4. تطبيق الشروط الضرورية والكافية على الحاسب.
5. تنظيم المخرجات المطلوبة في شكل جداول ورسوم بيانية.

ويوضح المثال الآتي طريقة تنظيم الحل من مسائل الموارد القابلة للنضوب على جداول أكسل حيث يتم وضع المدخلات أو معطيات المسألة والافتراضات الضرورية، ثم يلي ذلك تطبيق العمليات على المخرجات المطلوبة مع تطبيق الشروط الضرورية والكافية واستدعاء الخادم Solver المناسب، وللاستزادة حول هذا الموضوع يمكن الرجوع إلى (آل الشيخ، 1428هـ). يوضح المثال الرقمي (1) استخدام برنامج حاسوبي يطبق الخوارزمية السابقة لحل مسألة التعظيم لاستخراج مورد قابل للنضوب.

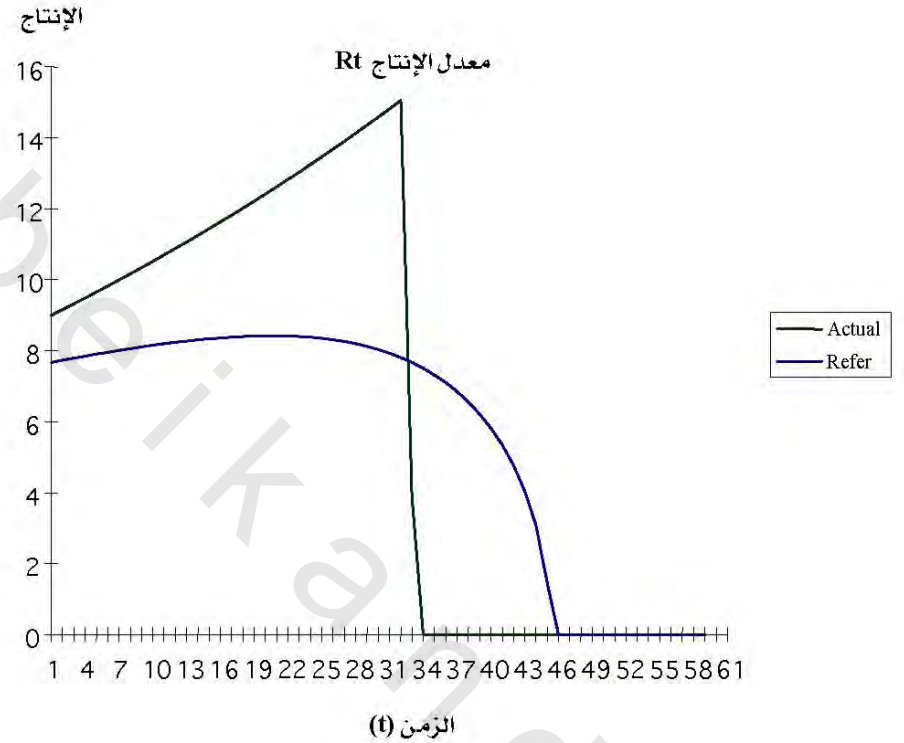
obeikandl.com

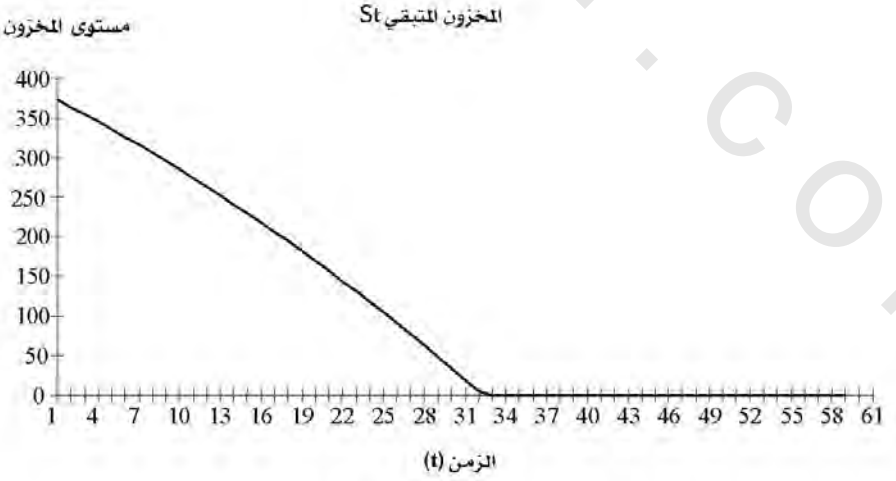
1	الضريبة الإضافية	$1.877	تكلفة الفرصة البديلة
1.00%	معدل نمو الضريبة	4.00%	سعر الخصم
30	السعر الإبتدائي	400	المخزون الإبتدائي
4.00%	معدل نمو السعر	50	المدى الزمني
1.00%	معدل نمو التكاليف		معاملات دالة التعظيم
0.00	المخزون النهائي	4	'a' of aR + bR^2 + cR^3
271.88	تباين معدل الإنتاج	0.03	'b' of aR + bR^2 + cR^3
$7,439.469	القيمة الحالية للربح مخفضاً عبر الزمن	0.1	'c' of aR + bR^2 + cR^3

برنامج استغلال المورد الناضب

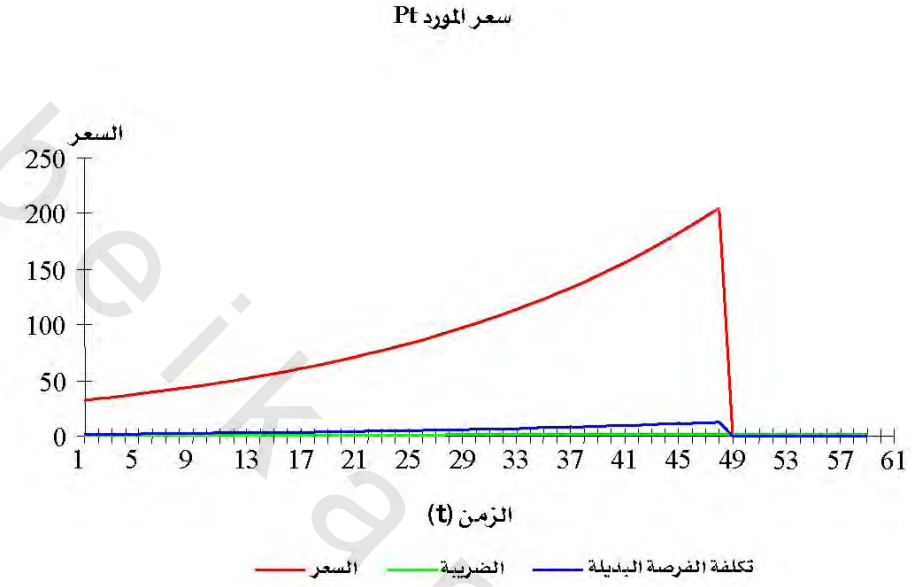
الزمن	سعر المورد	الضريبة	تكلفة الفرصة البديلة	معدل الإنتاج المرغوب فيه	المخزون المتبقي	الإنتاج السنوي	الربح السنوي
1	30	1	2	8.68	391.32	8.68	149
2	31	1	2	8.84	382.48	8.84	159
3	32	1	2	9.00	373.49	9.00	169
4	34	1	2	9.16	364.33	9.16	180
5	35	1	2	9.32	355.01	9.32	192
6	36	1	2	9.48	345.53	9.48	204
7	38	1	2	9.65	335.87	9.65	217
8	39	1	2	9.82	326.05	9.82	230
9	41	1	3	9.99	316.06	9.99	245
10	43	1	3	10.16	305.90	10.16	260
11	44	1	3	10.34	295.56	10.34	276
12	46	1	3	10.52	285.05	10.52	294
13	48	1	3	10.70	274.35	10.70	312
14	50	1	3	10.88	263.47	10.88	331
15	52	1	3	11.06	252.41	11.06	351
16	54	1	3	11.25	241.16	11.25	373
17	56	1	4	11.44	229.73	11.44	396
18	58	1	4	11.63	218.10	11.63	420
19	61	1	4	11.82	206.28	11.82	445
20	63	1	4	12.02	194.26	12.02	472
21	66	1	4	12.22	182.05	12.22	501
22	68	1	4	12.42	169.63	12.42	531
23	71	1	4	12.62	157.01	12.62	563
24	74	1	5	12.83	144.18	12.83	596
25	77	1	5	13.04	131.14	13.04	632
26	80	1	5	13.25	117.89	13.25	670
27	83	1	5	13.46	104.43	13.46	709
28	87	1	5	13.68	90.75	13.68	752
29	90	1	6	13.90	76.84	13.90	796
30	94	1	6	14.13	62.71	14.13	843
31	97	1	6	14.35	48.36	14.35	893
32	101	1	6	14.58	33.78	14.58	946
33	105	1	7	14.82	18.96	14.82	1,001
34	109	1	7	15.05	3.90	15.05	1,060
35	114	1	7	15.29	0.00	3.90	408

obeikandl.com





obeikandl.com



obeikandl.com

تمارين الفصل الثالث

س1) عرف ما يأتي مستعيناً بالرسم البياني إذا لزم:

1. فائض المستهلك وفائض المنتج.
2. فائض المجتمع.
3. مفهوم فيشر للاحتياطيات.
4. أنواع النضوب عند بروبست.
5. هل مصادر الطاقة مورد متجدد؟ أم هو ناضب؟ وما هو سلوك الطلب على الطاقة عبر الزمن؟ ولماذا؟ وما هي محدداته؟ وضح ذلك بالتمثيل البياني.

س2) قارن بين القاعدة الاقتصادية التي يتم على أساسها استغلال السلع الاقتصادية، وتلك التي يتم على أساسها استغلال الموارد الطبيعية مع ذكر الفرق بينهما.

س3) وضح الفروق بين حالات التوازن في حالة الاحتكار والمنافسة التامة لسلعة عادية عنها لمورد قابل للنضوب مع الرسم البياني.

س4) وضح مع الرسم البياني التغير في فائض المجتمع في حالتي الاحتكار والمنافسة التامة لسلعة عادية عنها لمورد ناضب.

س5) يوجد حقل نفط له دالة تكاليف لاستخراجه هي: $TC = CR_t$ حيث $C = 3$ ، ومعكوس دالة الطلب عليه هي $P_t = \alpha - bR_t$ حيث $b = 0.5$ ، $\alpha = 20$ ؛ علماً بأن المخزون الابتدائي في هذا الحقل هو 40 بينما سعر الخصم $r = 10\%$ والزمن $T = 2$ ، والمطلوب:

1. كون مسألة التعظيم لعائد الإنتاج ودالة لاجرانج في هذه الحالة.

obeikandl.com

2. استنتج الشروط الضرورية والكافية لتعظيم عائد الإنتاج من هذا الحقل مع شرحها.
3. أوجد مستويات الاستخراج المثلى والمخزون المتبقي.
4. ما هي القيمة الحالية لربح منتج المورد عبر الزمن؟
5. في حالة كون التكاليف الحدية لاستخراج النفط كمورد ناضب أصبحت متزايدة كلما انخفض المخزون المتبقي، فكيف يمكن تمثيل التكاليف رياضياً في هذه الحالة؟ وكيف ستؤثر بيانياً على دالة التكاليف؟

س6) إذا كان هناك مورد قابل للنضوب يواجه دالة تكاليف استخراج كلية هي: $TC = \alpha R_t + bR_t^2 + CR_t^3$ حيث: $C = 0.08$ ، $b = 0.03$ ، $\alpha = 2$ ؛ وإذا كان سعر الخصم $r = 7\%$ ، وكمية المخزون الابتدائي للمورد $S_O = 400$ ، والسعر الحالي للمورد $P = 30$ للطن، ومن المتوقع زيادة السعر بنسبة 4% في كل سنة، إذا كان المنتج يستخدم مدة 50 عاماً كمدى زمني تخطيطي لتعظيم أرباحه فأوجد ما يأتي:

1. كون وحل مسألة التعظيم السابقة موضحاً عناصر مسألة التعظيم ومعادلة لاجرانج والشروط الضرورية والكافية لمدتين زمنيتين.
2. ما هي القيمة الحالية لربح منتج المورد عبر هذه المدة (50 عاماً) مستعيناً ببرنامج أكسل؟
3. من البرامج في 2، متى سيتم استخدام المورد بالكامل؟
4. من البرامج في 2، أوجد معدلات الاستخراج المثلى والمخزون المتبقي عبر الزمن.

س7) أعد إجابة الفقرات (2، 3، 4) في السؤال السابق في حالة كون المنتج محتكراً في السوق، وكون دالة الطلب على المورد هي: $P_t = \alpha_2 - b_2 R_t$ حيث: $\alpha_2 = 200$ ، $b_2 = 0.5$.

obeikandl.com

س8) أعد إجابة الفقرات (2، 3، 4) في السؤال السادس في حالة كون دالة التكاليف لاستخراج المورد هي: $TC = \alpha R_t + bR_t^2 + CR^3 + eR(S_O - S +) \big/ S_t$ حيث: $e = 3$.

س9) أعد إجابة الفقرات (2، 3، 4) في السؤال السادس في حالة كون صيغة معادلة المخزون الحالي هي: $S_t = S_t - 1 + G(S_t - 1) - R_t$ حيث: $G(S)$ هي دالة نمو المورد وكون $G = 0.03$.

س10) أجب على هذه الأسئلة مستعيناً بالرسم والتحليل الرياضي والبياني ما أمكن:

1. وضح أنواع النضوب.
2. وضح المقصود بنظرية هوتلينج وأهميتها. وما هي قاعدة هوتلينج على وجه الخصوص؟

س11) بعد تخرجك من جامعة الملك سعود عملت بقسم التحليل الاقتصادي في شركة أرامكو، حيث علم رئيسك بأنك خبير في اقتصاديات الموارد فكلفك بإجراء تحليل اقتصادي لحقل جديد تم اكتشاف معطياته كما يأتي: دالة تكاليف الإنتاج من حقل النفط المقدرة من قسم الهندسة القيمية هي: $TC = 5R_t + 0.5R_t^2$؛ بينما معكوس دالة الطلب عليه هي: $P_t = 50 - 0.5R_t$

وتم تقدير المخزون الابتدائي في الحقل بـ 105 وسعر الخصم بـ 10% والزمن T سنتان.

1. كون مسألة التعظيم لعائد الإنتاج مع التوضيح.
2. كون معادلة لاجرانج في هذه الحالة.
3. استنتج الشروط الضرورية لتعظيم عائد الإنتاج من الحقل الجديد مع شرحها.

openkanal.com

4. أوجد كميات الاستخراج المثلى والمخزون المتبقي والقيمة الحالية لربح المنتج وسعر المورد في هذه الحالة.

5. أعد الفقرة في حالة كون الزمن (المدى التخطيطي) 50 سنة؟

س12) يتأثر المسار السنوي لإنتاج المورد الناضب بعوامل عدة منها هيكل السوق (منافسة أو احتكار)، سعر الخصم، حجم المخزون، مرونة الطلب السعرية، وغيرها من العوامل. اشرح هذه العوامل بافتراض أن دالة الطلب هي:

$$P_t = 100 - R_t \qquad t = 1,2,$$

ودالة التكاليف هي: $C = 1000 + 2R_t$

بينما: $Q = Q_1 + Q_2 = 400$

ومعدل الخصم 5٪.

س13) وضح مرحلة التغيير من المورد الطبيعي إلى البديل التقني مع الرسم البياني وتوضيح الشروط اللازمة لذلك.

س14) ماذا تعني الشروط الضرورية والكافية في حالة وجود بديل تقني للمورد الطبيعي مع التمثيل والتوضيح الرياضي؟

س15) أجب فيما إذا كانت العبارات التالية صحيحة أو خاطئة مع تصحيح العبارة الخاطئة وتعليل العبارة الصحيحة.

أ) تأسست منظمة أوبك في طهران عام 1959م.

ب) يبلغ إنتاج المملكة وحصتها الحالية في أوبك 6.5 مليون برميل يومياً ومخزونها 200 بليون برميل.

ت) مصادر الطاقة الأحفورية تشمل البترول والغاز والفحم.

ث) مرونة الطلب على الطاقة في المدى القصير أكبر منها في المدى الطويل.

ج) عدم انعكاسية الطلب تعني أن تأثر الكمية المطلوبة نتيجة انخفاض الأسعار تختلف عن نتيجة التأثير عند ارتفاع الأسعار.

opelkandi.com

ح) تبعاً لأنموذج الطلب المكمل على بترول منظمة أوبك فإن مرونة الطلب على بترول منظمة أوبك أكبر من مرونة الطلب العالمية بسبب العرض من مصادر أخرى.

خ) يقوم بإنتاج وتصدير البترول في المملكة شركة أرامكو السعودية فقط.

د) تقوم منظمة أوبك بتحديد الأسعار على أساس القوة الشرائية للبرميل بعد الأخذ بعين الاعتبار التضخم وانخفاض قيمة الدولار الأمريكي الشرائية.

ذ) من الناحية النظرية يعد المنتج المحتكر أقل حفاظاً على المورد الناضب من منتج المنافسة التامة، حيث يقوم المحتكر بمساواة التكاليف الحدية للإنتاج مع الإيرادات الحدية الذي يعد أقل سعراً.

ر) يتميز سوق الغاز الطبيعي في العالم بقدر أكبر من التركز الاحتكاري في جانب الطلب، بينما يتميز سوق البترول بقدر أكبر من التركز الاحتكاري في جانب العرض.

ز) يختلف الطلب على الطاقة باختلاف هيكل الإنتاج ومعدلات النمو الاقتصادي.

س) يزداد الطلب على مصادر الطاقة الناضبة نتيجة انخفاض أسعار مصادر الطاقة البديل.

ش) سلوك الطلب على الطاقة عبر الزمن متزايد.

س16) ما هي وكالة الطاقة الدولية، وما هو دورها في سوق الطاقة الدولية، وما تأثير هذا الدور على سعر النفط الخام؟

س17) عرف مرونة الطلب السعرية على الطاقة في كل من المدى الطويل والمدى القصير مع رسم منحنى الطلب المتوقع في المدى الطويل والقصير.

س18) لديك جدولان الجدول (أ) يعبر عن إنتاج الغاز الطبيعي، والجدول (ب) يعبر عن إنتاج البترول خلال المدة 1984–2000م:

openkandil.com

أ)

السنة	إجمالي الإنتاج العالمي	نسبة إسهام أوبك في الإنتاج العالمي (٪)	نسبة إسهام السعودية في إنتاج أوبك (٪)	نسبة إسهام السعودية في الإنتاج العالمي	نسبة إسهام الغاز الطبيعي في إجمالي الطاقة العالمية المستهلكة (٪)
1984	1.697.201	9	12	1.1	20
1986	1.806.358	9	15	1.4	19.6
1988	1.970.796	10	15	1.5	20.9
1990	2.081.040	11	15	1.6	22.5
1992	2.116.012	12	15	1.8	22.6
1994	2.184.280	13	15	2	23
1996	2.310.715	14	14	1.9	23.5
1998	2.350.671	15	13	2	23.7
2000	2.497.435	16	13	2	24.2

ب)

السنة	الإنتاج العالمي	نسبة إسهام أوبك في الإنتاج العالمي (٪)	نسبة إسهام السعودية في إنتاج أوبك (٪)	نسبة إسهام السعودية في الإنتاج العالمي (٪)	نسبة إسهام النفط في إجمالي الطاقة العالمية المستهلكة (٪)
1984	53	30	25	8	39.1
1986	55	33	28	9	38.2
1988	57	33	26	9	38.9
1990	59	37	27	10	39.9
1992	59	41	33	14	40.4
1994	60	42	32	13	39.9
1996	61	41	32	13	39.5
1998	65	43	29	12	40
2000	66	42	29	12	38.9

والمطلوب:

openkandil.com

أ) ما هي المؤشرات التي تستطيع استخراجها من الجداول؟ وما مدلولها الاقتصادي وما تعليقك عليها؟

ب) وضح اتجاه الاستهلاك العالمي للطاقة لكل من الغاز الطبيعي والبترول مبرراً استنتاجاتك.

ت) اقترح أنموذجاً رياضياً لتوقع الطلب على البترول في الأسواق العالمية.

ث) قم بإجراء بحث بالإنترنت عن نماذج توقعات الطلب على البترول عالمياً واذكر أهم ثلاثة منها.

obeikandl.com

مراجع الفصل الثالث

- إسماعيل، محمد محروس. اقتصاديات البترول والطاقة، دار الجامعات المصرية، الإسكندرية، 1987م.
- آل الشيخ، حمد بن محمد. استخدامات جداول أكسل في حل مسائل البرمجة الرياضية، ورقة عمل، قسم الاقتصاد، جامعة الملك سعود، 1428هـ.
- مقلد، رمضان محمد، وآخرون. اقتصاديات الموارد والبيئة، الدار الجامعية، الإسكندرية، 2003م.
- Barnett, H.J. and C. Morse (1963) Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Burt, O.R. ,1964 “Optimal Use of Resources Over Time.” Management Science 2:80–93.
- Burt, O.R. ,1967 “Groundwater Management Under Quadratic Criterion Functions.” Water Resources Research 3:673–82.
- Burt, O.R. “Groundwater Storage Control Under Institutional Restrictions.” Water Resources Research 6:1540–8,1970.
- Burt, O.R. 1970., and Cummings, R.G. “Production and Investment in Natural Resource Industries.” American Economic Review 60:576–90.
- Coase, R.H1960. “The Problem of Social Cost.” Journal of Law and Economics 3:1–44.
- Conrad, J. and C. Clark (1987) Natural Resource Economics: Notes and Problems, Cambridge: Cambridge University Press.
- Dasgupta, P., and Heal, G. 1974 “The Optimal Depletion of Exhaustible Resources.” Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources 3:28,.
- Dasgupta, P., and Stiglitz, J.E. 1975. “Uncertainty and The Rate of Extraction Under Alternative Institutional Arrangement.” Unpublished Manuscript, Stanford University.
- Farzin, Y. H. (1992) “The Time Path of Scarcity Rent in the Theory of Exhaustible Resources”, Economic Journal, 102,813–30.

openkanal.com

- Fisher, A. C. (1981) Resource and Environmental Economics, Cambridge University Press.
- Gray, L.C. 1913. "The Economic Possibilities of Conservation." Quarterly Journal of Economics 27:497–519,
- Gray, L.C. 1914. "Rent Under the Assumption of Exhaustibility." Quarterly Journal of Economics 28:466–89.
- Hall, D. and J. Hall (1984) "Concepts and Measures of Natural Resource Scarcity With a Summery of Recent Trends", Journal of environmental Economics and Management, 11,363–79.
- Heal, G. 1975a "Economic Aspects of Natural Resource Depletion." In The Economics of Natural Resource Depletion, Edited by D.W. Pearce and J. Rose, PP. 118–39. New York: John Wiley & Sons.
- Heal, G. M. and M. M. Barrow (1980) "The Relationship Between Interest Rates and Metal Price Movements". Review of Economic Studies, 48, 161–81.
- Hotelling, H. 1931 "The Economic of Exhaustible Resources." Journal of Political Economy 39:137–75.
- Kamien, M.I., and Schwartz, N.L. "Optimal Exhaustible Resource Depletion with Endogenous Technical Change." Review of Economic Studies, 45:179–96,1978.
- Koopmans, T. C. (1974) "Proof of the Case where Discounting Advances Doomsday", Review of Economic Studies Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 117–20.
- Tietenberg, T. (1992) Environmental and Natural Resources Economics, New York: Harper– Collins.
- Hartwick, J. and Olewiler, N. 1986. The Economics of Natural Resource Use. Har Per. Row.

Openkandil.com