

الماكنة الحرارية الأرضية والاحتباس الحراري

بسام محمود مصطفى

كلية العلوم- جامعة الموصل

الخلاصة

في هذا البحث سوف نحاول تفسير ظاهرة الاحتباس الحراري استنادا إلى نموذج ينظر إلى كوكب الأرض كماكنة حرارية تستقبل الطاقة الحرارية والضوئية من الشمس لكي تتجز شغلا يتمثل في إنجاز الفعاليات الأرضية من حيوية وغيرها ، ثم يتم التخلص من الطاقة الفائضة من خلال عملية إشعاع الطاقة إلى الفضاء . وتمثل هذه المنظومة ماكنة حرارية عكوسية ، تخضع للقانون الثاني للtermوديناميك وبفاءة حوالي 56 % . أن تزايد استهلاك المحروقات أدى إلى تزايد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون ونظرًا لكون جزيئاته تستطيع امتصاص الإشعاعات المنبعثة من الأرض ، فسيودي ذلك إلى زيادة التوليد الإنترولي وتحول الماكنة الحرارية إلى ماكنة غير عكوسية ، والزيادة هذه تتناسب طرديًا مع التزايد في نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون ومن حساب هذه الزيادة ، تم حساب معدل التوليد الإنترولي . إن زيادة الإنترولي سوف تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة وحدوث ظاهرة الاحتباس الحراري .

The Earth Thermal Machin And The Green House Effect

Bassam M. Mustafa

Department Of physics , College Of Science ,Mosul University

Abstract

In this research we try to explain the greenhouse effect by suggesting a model looking to the earth-atmosphere system as a thermal machine. In this model earth absorbed heat and light energy from the sun, doing work in achieving biological and other activities. the access energy is transmitted to the space. This system really represent a reversible thermal machine obey the 2nd law of thermodynamics and with efficiency about 56%. But the increase in the burning materials lead to an increase in the percentage of CO₂, and since its molecules can absorb the radiation from the earth. thus leads to form irreversible engine with entropy production, by calculating the increase in CO₂ the increase in entropy production is calculated. The increase in entropy increase earth's temperature and lead to the greenhouse effect.

Key Words : Green house, Global otel for Green house, Atouspheric changes.

مقدمة في 2005/10/22

الاحتباس الحراري greenhouse effect (1) يعني ظاهرة البيوت الخضراء أو البيوت الزجاجية (وقد يبدو المصطلح غريباً، ولكن البيوت والقصور الملكية في أوروبا، كانت تحتوي على بيوت زجاجية تمثل حدائق داخلية مزهرة رغم الشتاء القارص هناك) هو ظاهرة ارتفاع درجة حرارة الأرض ربما بسبب تراكم غاز ثانوي أكسيد الكربون وهذا الارتفاع في درجة حرارة الكره الأرضية سوف يؤدي إلى نتائج كارثية تهدد البشرية بأكبر العواقب ربما بغرق مساحات شاسعة من الكره الأرضية (2) أو انتشار ظاهرة التصحر بأثارها الاقتصادية المدمرة، أو حدوث تغيرات دراماتيكية مناخية لا تعرف نتائجها (3).

إن مصطلح البيت الخضراء أطلقه أول مرة العالم الفرنسي الكبير فوريه (1) عام 1827. حيث توصل إلى أن الفراغ خارج الأرض بارد جداً وان الغلاف الجوي هو الذي يحمينا من التجمد كما تفعل البيوت الزجاجية مع النباتات في الشتاء. وفي عام 1850 قام العالم الإنكليزي جون تندل (4) بتحليل غازات الهواء ليرى ، من المسؤول عن ظاهرة البيوت الزجاجية حيث توصل إلى أن 99 بالمائة من مكونات الهواء غير مسؤولة عن ذلك وان المسؤول عن هذه الظاهرة هو ثانوي أكسيد الكربون وبخار الماء والأوزون. بعد ذلك أكد العالم الإنكليزي جون تندل على أن اللاعب الرئيسي هو غاز ثانوي أكسيد الكربون. عام 1897 أكد العالم السويدي الكبير اريينيوس (4) (اول جائز نوبيل في الكيمياء) أن النشاط الصناعي يؤدي إلى إطلاق ملايين الأطنان من غاز ثانوي أكسيد الكربون الذي يؤدي إلى ظاهرة البيوت الخضراء. ولكن في السنوات العشرين الأولى من القرن العشرين لم يعر أحداً اهتماماً لذلك.

الثلاثينيات من القرن العشرين وأثناء موجة من الحر استمرت لعدة سنوات قام العالم الإنكليزي جورج (4) ووجد تزايداً في نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون وكذلك أهملت حساباته.

1954 قام باحث شاب هو جارلس كيلنج (5) بأجراء سلسة من التجارب لقياس نسبة غاز ثانوي أكسيد الكربون في بخار الماء والهواء وقد قادته سلسلة تجاربه إلى أن نسبة الكربون في تزايد مع تزايد النشاط الصناعي .

يهدف البحث إلى دراسة ظاهرة الاحتباس الحراري استناداً إلى افتراض أن الكروة الأرضية تمثل ماكينة حرارية تمتلك الطاقة من الشمس وهذه الماكنة الحرارية تتجزء شغلاً يتمثل في إنجاز الفعاليات الحيوية الأرضية. أما باقي الطاقة فيتسرب إلى الفضاء. يناقش البحث دور الغلاف الجوي في امتصاص وانبعاث الإشعاع ودور ثاني أكسيد الكربون. في هذا البحث سوف نحاول أن نطبق مفاهيم الماكنة الحرارية على امتصاص الطاقة وإشعاعها والإحتفاظ بها كيف يفسر هذا النموذج ظاهرة الاحتباس. وبناءً على ذلك سيتم حساب التزايد في غاز ثاني أكسيد الكربون بالمقارنة مع استهلاك وكذلك التوصل إلى معادلات لحساب المعدل السنوي للزيادة في غاز ثاني أكسيد الكربون وبالتالي حساب معدل التوليد الإنترولي.

الجانب النظري

إن الملاحظة الأساسية لهذا البحث وجدت أن البحث حول موضوع الاحتباس على زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون جماعياً وفهم العوامل الكامنة وراء هذا التزايد من حيث كونه اضطراباً في منظومة الأرض - الجوي التي ستكون أساس نظام الماكنة الحرارية وعلاقتها بامتصاص وإشعاع الاحتباس الحراري كخلل في عمل هذه الماكنة.

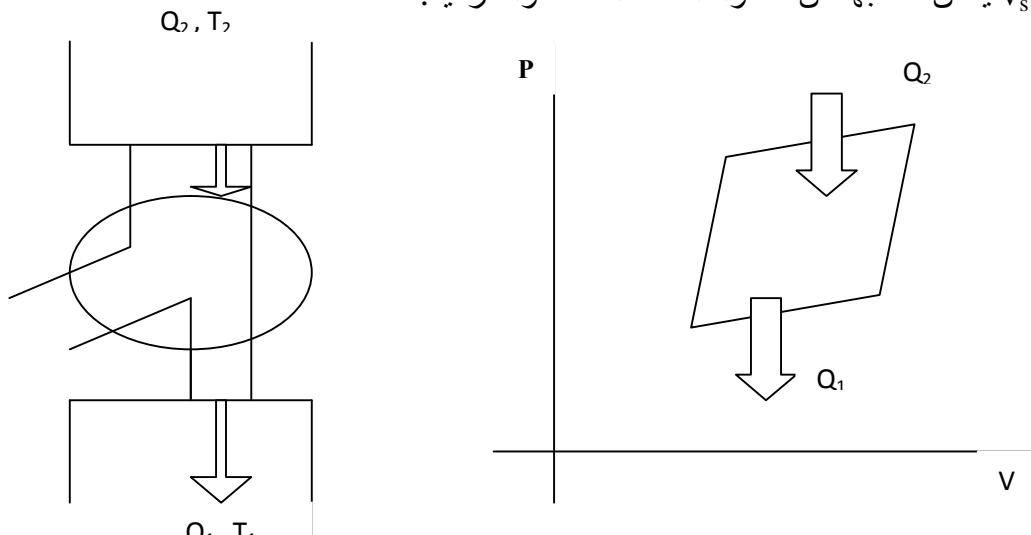
الماكنة الحرارية (6) تتالف في أبسط صورها من مصدر درجة حرارته T_2 يزود الماكنة الحرارية بطاقة مقدارها Q_2 ويسمى المصدر الحراري source

$$W = Q_2 - Q_1 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ثم تطرح طاقة Q_1 عند درجة حرارة T_1 بحيث أن ($T_1 > T_2$) يبدوا في

إن الماكنة الحرارية ينبغي أن تتتوفر فيها الإمكانيات لتداول الطاقة والشغل كما هو الحال في مكبس السيارة مع العزل الحراري مع القابلية على الحركة الميكانيكية لتداول الشغل مع المحيط. السؤال الذي دفعني إلى دراسة موضوع الاحتباس الحراري من هذا المنظور (خلل في الماكنة الحرارية) هو التالي: لو لم تكن الأرض لتدور هل كان من الممكن أن يحدث التبادل الحراري سيحدث للغلاف الجوي ..

إن دوران الكروة الأرضية هو الذي جعلها تحافظ بالغلاف الجوي وبالتالي أدى إلى استمرار الحياة على كوكب الأرض حيث أصبح بالإمكان توزيع الحرارة وتفادى إفلات جزيئات الهواء وذلك لأن سرعة v_s يمكن حسابها من مساواة الطاقة الكامنة والحركية.



(1) : إلى اليسار ماكينة كارنو الحرارية المثالية وإلى اليمين دورة كارنو المثلية

ان تراكم الحرارة يزيد من الطاقة الحركية تزيد من السرعة الحرارية v_T حيث نرى أن

$$\frac{1}{2}mv_T^2 = 2k_B T \dots \dots \dots \quad (4)$$

وبذلك تكون السرعة الحرارية

فإذا تذكرنا انه في حالة عدم دوران الأرض سيستمر التسخين إلى أن تصبح

وعندما سيهرب الغلاف الجوي إلى الفضاء . إن الذي يحفظ توازن الغلاف الجوي هو دوران والذي يحول الأرض إلى ماكينة حرارية فعلية لها (output) input

أجزاء الماكنة الحرارية الأرضية

- مصدر الطاقة وهو الشمس وهي تزودنا بالطاقة بشكل إشعاع كهرومغناطيسي و بطيق واسع من الأطوال الموجية . وتعمل الشمس كجسم اسود يبعث الطاقة بشكل اشعة كهرومغناطيسية من سطح الشمس الذي درجة حرارته تصل 5800 درجة مئوية و بقمة إشعاع عند 0.5 ميكرون حيث تستلم

- الأرض بأغلفتها : الهواء
بدرجة حرارة عالية وهي T_2
القشرة الأرضية . تستام الطاقة Q_2 من الأشعة الشمسية و
مضاء من سطح الأرض (القيمة
المتوسطة لتلك القيمة عند منطقة الزوال) .

- الغلاف الجوي الأرضي يعتبر الوسيلة الأساسية لاستلام الطاقة والاحتفاظ بها وهو يمتلك القدرة على تبادلها وتوزيعها وإنجاز الشغل من الطاقة المنتصبة .

- دوران الكرة الأرضية يشكل العامل الحاسم في عملية التبادل الحراري فعندما تدور الأرض سوف تنتقل الحرارة إلى الجزء المظلم من الكرة الأرضية من خلال نقلها للغلاف الغازي مع طاقته الحرارية

– بانتقال الجزء المضاء من الأرض مع حرارته إلى الجزء المظلم عند ذلك ستعمل الأرض الجوى كجسم أسود يشع طاقة حرارية Q_1 . T₁

الماكنة الحرارية هي منظومة الأرض- ولقد بينما انه لولا دوران الأرض لت bx الغلاف الجوي في فترة وجيزة ولكن دوران الأرض حول نفسها يتبيح لعملية التبادل الحراري أن تحد

تكون وجهين للأرض مضاء ومظلم أحدهما يمتص الحرارة عند درجة حرارة عالية والآخر يشعها عند درجة حرارة واطئة وبين هاتين العمليتين ينجز هذا النظام شغلاً يتيح للدورات الحياتية للأرض والتي هي أساس الحياة أن تتم . وبذلك يمتص النظام الحرارة عند درجة حرارة عالية في الجزء المضاء من الأرض ولينجز شغلاً ثم يقذف الحرارة إلى الفضاء بدرجة حرارة واطئة وتتكرر هذه العملية بصورة دورية .

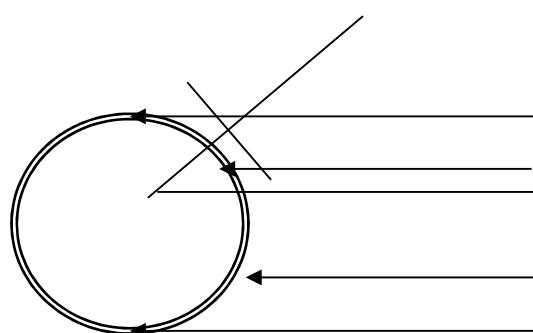
ما تقدم نستطيع أن نقول أن الأرض تمثل ماكنة حرارية وفق القانون الثاني للtermodynamics الذي ينص على أن الحرارة تنتقل من الجسم الحار إلى الجسم البارد وليس العكس أو أنه لا يمكن لاماكنة حرارية تعمل بدورات أن يكون الناتج النهائي لها هو تحويل الطاقة الحرارية الممتصة عند درجة الحرارة العالية إلى شغل بشكل كامل .

٦٧ وفق التعريف السابق للقانون الثاني للtermodynamics فإن كفاءة الماكينة الحرارية

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

حيث أن Q_1, Q_2 تمثلان الحرارة الممتضية والمنبعثة من قبل الماكينة الحرارية بين مستودعي الحرارة العالية والواطئة.

لحساب قيمة Q_2 بالنسبة للمكائن الحرارية الأرضية ينبغي حساب كمية الطاقة الحرارية الساقطة على الجزء المضيء من الكورة الأرضية . والذى يمثل نصف كرة (2)



(2) : رسم مقطعي للأرض والجزء المضاء وتأثير انحناء سطح الأرض على شدة الأشعة الساقطة حيث تقل الشدة الساقطة على وحدة المساحة مع تغير زاوية العمود على السطح والأشعة الساقطة .

فإذا كانت كمية الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة العمودية على الأشعة الساقطة والتي تسمى بالثابت الشمسي هي (σ) واط لكل متر مربع . وكان نصف قطر الأرض هو R فإن كمية الطاقة الحرارية الكلية Q_2 الساقطة على الوجه المضاء للأرض

$$Q_2 = \iint \sigma \cos \theta dS \dots \dots \dots \quad (8)$$

حيث dS هو عنصر تفاضلي سطحي و θ هي الزاوية بين العمود على سطح الأرض والأشعة (2). ويمكن تبسيط هذا التكامل باستخدام الإحداثيات القطبية . فلو أخذنا عنصراً تفاضلياً بشكل حلقة دائريّة على سطح الكرة عند ذلك ستكون قيمة dS

$$dS = 2\pi \sin \theta R^2 d\theta \dots \dots \dots \quad (9)$$

وبذلك تكون الطاقة الحرارية الكلية على الوجه المضاء

$$Q_2 = \int_0^{\pi/2} 2\pi R^2 \sigma \sin \theta \cos \theta d\theta \dots \dots \dots \quad (10)$$

$$Q_2 = \sigma \cdot \pi R^2 \dots \dots \dots \quad (11)$$

و هذه النتيجة تشير إلى أن الطاقة الكلية الساقطة على الوجه المضاء تساوي حاصل ضرب الثابت الشمسي في مسقط السطح نصف الكروي والذي يساوي مساحة الدائرة التي نصف قطرها يساوي R . وهذه النتيجة سوف نستخدمها في حساب الطاقة المشعة من الجزء المظلم للأرض Q_1 .

وينبغي أن نذكر أن دقائق الغبار الصلبة والغيمون تعكس 31 بالمائة من الطاقة الشمسية فعندما تكون قيمة الطاقة الشمسية الحقيقة Q_2 :

$$Q_2 = 0.69 \sigma \cdot \pi R^2 \dots \dots \dots \quad (12)$$

من ناحية ثانية يعمل الجزء المظلم من الأرض كجسم أسود يشع الحرارة بدرجة حرارة واطئة . هذا وإن جميع أجزاء الجزء المظلم تشع الحرارة ويمكن أن نعتبر (7) أن الجزء المظلم يشع عند درجة

حرارة متوسطة تساوي 15 . عند ذلك تكون الطاقة المنبعثة لوحدة المساحة تساوي ($\sigma_E = 0.55 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) وعندما تكون الطاقة المشعة للجزء المظلوم تساوي :

$$Q_1 = \sigma_E \cdot \pi R^2 \dots \dots \dots \quad (13)$$

وبذلك تكون كفاءة الماكنة الحرارية الأرضية تساوي :

$$\eta = \frac{0.69\sigma - \sigma_E}{0.69\sigma} \pi R^2 \dots \dots \dots \quad (14)$$

إذا ما عرفنا أن قيمة الثابت الشمسي تساوي (8) ($\sigma = 1.88 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) فإن كفاءة الماكنة الحرارية الأرضية تساوي 0.56 .

إن الماكنة الحرارية الأرضية التي حسبت كفاءتها وفق المعادلة 14 تمثل ماكنة حرارية متوازنة ثرموديناميكيا وبذلك تكون ماكنة حرارية عكوسية reversible طالما بقيت كل من الحرارة الداخلية Q_1 والحرارة الخارجة Q_2 ضمن معادلاتها . ولكن الاستهلاك الهائل للوقود العضوي وخصوصا في المائة عام الأخيرة والذي أدى إلى ارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون مما أثر على Q_1 لأن هذه الطاقة تشع عند الأطوال الموجية الطويلة والتي تكون جزيئه غاز ثاني أكسيد الكربون قابلة لامتصاصها حيث أن هذه الجزيئة لها حرمة امتصاص قوية للطول الموجي الذي يساوي 15 مي μ فقل قيمة Q_1 المشعة وبالتالي تحفظ الماكنة الحرارية الأرضية بمزيد من الطاقة الحرارية . وتكون النتيجة هي تحول الماكنة الحرارية الأرضية التي حسبت كفاءتها وفق المعادلة 14 إلى ماكنة حرارية غير وبذلك تكون ماكنة حرارية غير irreversible .

$$I_Q = \frac{dQ_1}{dt} \dots \dots \dots \quad (15)$$

إن هذا التيار الحراري سيؤدي إلى زيادة مستمرة في الإنتروبي . ويكون معدل التوليد : entropy production

$$I_s = \frac{I_Q}{T} \dots \dots \dots \quad (16)$$

وبالنتيجة فإن معدل التوليد الإنتروبي

$$I_s = \frac{1}{T} x \frac{dQ_1}{dt} \dots \dots \dots \quad (17)$$

أي أن التوليد الإنترولي عند درجة حرارة معينة بتناسب مع المعدل الزمني للحرارة التي يحتفظ بها النظام . ولكن المعدل الزمني للحرارة المتزايدة بتناسب مع معدل تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون أي أن :

$$\frac{dQ_1}{dt} \propto \frac{dV_{CO_2}}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

ويمكن تحويل التناوب إلى مساواة بالضرب بكمية ثابتة

$$\frac{dQ_1}{dt} = \tau \frac{dV_{CO_2}}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

حيث أن τ يمثل ثابت التناوب ويمكن إيجاد قيمته تجريبيا كما هو حال كل العمليات غير العكوسية (6) . وبالتعويض من المعادلة 17 يكون معدل التوليد الإنترولي .

$$I_s = \tau \frac{1}{T} x \frac{dV_{CO_2}}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

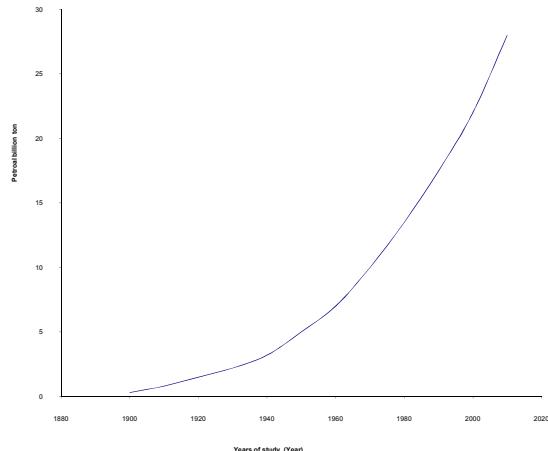
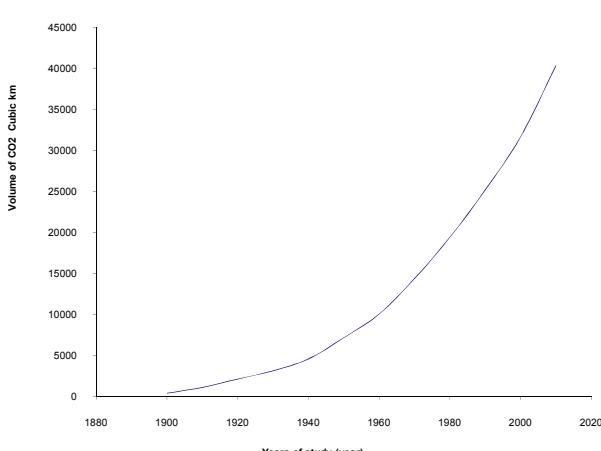
فيما يلي سوف نحاول أن نقدر الزيادة في حجم غاز ثاني أو كسيد الكربون وبالتالي نستطيع تقدير التوليد الإنترولي وذلك من خلال حسابات احتراق النفط استنادا على البيانات المتوفرة عن معدلات استهلاكه (9) . علما أن النفط يمثل والى حد بعيد المصدر الأساسي لزيادة غاز ثاني أو كسيد الكربون في الجو أن هناك تزايدا في نسبة هذا الغاز بسبب المفعول التراكمي لهذه الزيادة عبر الفورة الهائلة في حرق النفط وكما نرى في الشكل 3 علما أننا حسبنا لغاية 2010 استنادا للتوقعات في استخدام النفط لهذه الفترة .

إن كمية ثاني أو كسيد الكربون التي يطلقها احتراق المشتقات النفطية تشكل حوالي 12 بالمائة من كمية الهواء اللازمة لحرق كمية معينة من الوقود . علما أن كتلة الهواء اللازمة لحرق كتلة من مشتقات النفط هي حوالي 15 (9) . إذن فإن كتلة غاز ثاني أو كسيد الكربون M_{CO_2}

من المشتقات النفطية تساوي :

$$M_{CO_2} = M_H \times 15 \times \frac{12}{100} \quad \dots \dots \dots \quad (21)$$

وهكذا وبالاستناد إلى 21 ومن خلال البيانات في الشكل 3 قمنا بحساب زيادة كتلة غاز ثاني أو كسيد الكربون نتيجة لاحتراق النفط .

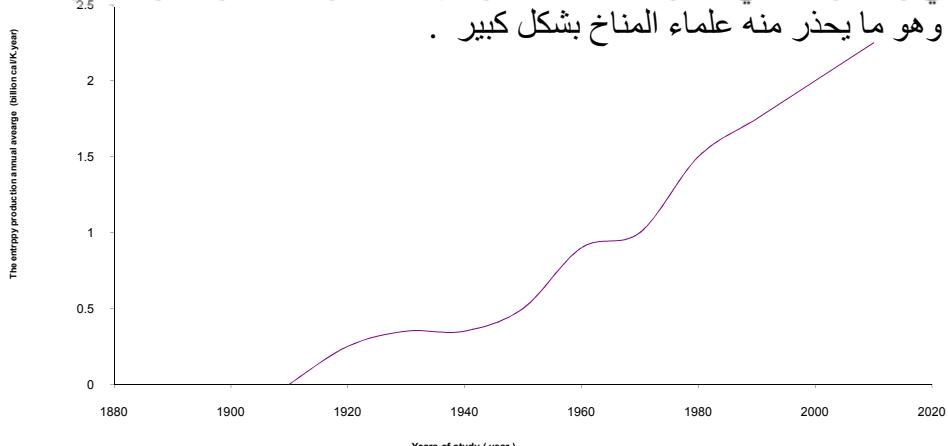


(3) تزايد محروقات المنتجات النفطية
على الكره الأرضية(9).

بما أن الكثافة النسبية للمشتقات النفطية هي حوالي 0.8 (كسيد الكربون يساوي :) فإن حجم غاز ثاني أو

تم حساب حجم غاز ثانوي أو كسيد الكربون المترافق عبر سنوات الدراسة والتي تمثل السنوات التي شهدت فوره متزايدة في حرق النفط وكما في الشكل 4 حيث يرينا مقدار الزيادة الهائلة في هذا الغاز وخصوصاً في العقود الثلاثة الأخيرة.

ومن الزيادة في حجم غاز ثاني أو كسيد الكربون **الملخص**: تهمة التلخيماء المحاملة في 20 غاندشالي أمحكم التوليد الإنتروليبي للماكنة الحرارية الأرضية الكربون للمراحكم تم سلسلة 4 على ستقيمة المصالح السنوي للتوليد الإنتروليبي عبر سنوات الدراسة وكما في الشكل 5 والذي يمكن من خلاله احتساب الزيادة في درجة حرارة الأرض بعد احتساب قيمة الثابت 20 والذي ينبغي أن يحسب تجريبيا من خلال حساب العلاقة بين المعدل الزمني للتوليد الحرارة والمعدل الزمني لازدياد غاز ثاني أو كسيد وهو ما نأمل إنجازه في دراساتنا القادمة. 5 يرينا أن هنالك زيادة مطردة في التوليد الإنتروليبي وخصوصا في العقود الثلاثة الأخيرة إن هذه الزيادة أكبر حدود منظومة الأرض - الغلاف الجوي وهو ما يحذر منه علماء المناخ بشكل كبير .
2.5



(5) تغير المعدل السنوي للتوليد الإنثروبي عبر سنوات الدراسة. حيث أن المحور الصادي يمثل المعدل السنوي للتوليد الإنثروبي وهذه الكمية مصروبة بالـ ٢٠ والذى يحدد تجريب

إن الاحتباس الحراري سوف ينتج عن الزيادة في التوليد الإنترولي في الماكنة الحرارية الأرضية وبالذات من خلال تغير التركيز المتساوى للغازات التي تشكل مواد العمل لهذه الماكنة. إن هذه الزيادة في الإنترولي سوف تؤدي حيث من نتائجها ارتفاع درجة حرارة الأرض وتغيرات مناخية ربما أدت إلى ارتفاع منسوب المياه في المحيطات وغرق مساحات واسعة من اليابسة (4).

الاستنتاجات

- 1 - تعمل الأرض ككل ماكنة حرارية من خلال وجود الغلاف الجوي للماكنة الحرارية الأرضية كما لأية ماكينة أخرى إدخال الحرارة بعملية ايزوثرمية () درجة حرارة عالية في الجزء المضاء من الأرض ويتم فقدانها بعملية ايزوثرمية أخرى () الجانب المظلم من الأرض . وتُخضع هذه الماكنة للقانون الثاني للtermوديناميك وبكفاءة حوالي 56 بالمائة وهي تعتبر ماكنة عكوسية طالما بقيت الحرارة الممتصة والمنبعثة ضمن معدلاتها المتوازنة .
- 2 - إن تزايد نسبة غاز ثاني أو كسيد الكربون يمكن أن يؤدي إلى حدوث اختلال في عمل الماكنة الحرارية الأرضية نظراً لامتلاك جزيئات هذا الغاز حزم امتصاص ضمن المدى الطيفي للموجات الحرارية المنبعثة من الجزء المظلم من الأرض مما يؤدي إلى حبس الحرارة المشعة وزيادة التوليد الإنترولي مما يؤدي إلى تحول الماكنة إلى ماكنة غير عكوسية وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة وحدوث اختلالات مناخية كبرى .
- 3 - نعزى الزيادة في نسبة غاز ثاني أو كسيد الكربون إلى الاستخدام الهائل للوقود وبصورة لا تراعي متطلبات البيئة ولعل الاستخدام العقلي للوقود واستخدام الطاقات البديلة كطاقة البحر وطاقة الرياح والطاقة الشمسية يمكن أن تبدد الطاقة الزائدة وأن تؤدي إلى إزالة هذه الظاهرة و إعادة الماكنة الحرارية الأرضية إلى ماكنة عكوسية مرة أخرى .

المصادر

- 1 -Ramanathan ,V“ .The Green house theory of Climate Change : A test by an Inadvertent Experiment “ Science 240 , April 1988 : pp. 293-298.
- 2- Peltier ,W.R. and A.M. Tushingham” Global Sea Level and the Greenhouse Effect ; Might they be Connected ? ,”, Science 244 , May 1989 ; PP 806-810 .
- 3 -Henderson-Sellers and K. McGuffie” The threat from melting ice caps “ New Scientist , June ,1986,pp. 24-25.
- 4- Weiner , J “ .The Next One Hundred Years “ Bantam Books , New York , 1990 .
- 5- Bacastow , R. , C. D. Keeling , et al“ .Seasonal Amplitude Increase in Atmospheric CO₂ Concentration at Mauna Lao , Hawaii,1959 –1982 ,” Journal of Geophysical Research ,90 (1985) : pp.10,529 – 10,540 .
- 6 - Holman ,J. P “ .Thermodynamics “ McGraw – Hill, Inc. ,New York ,1980 .

7 -Riehl , H " .Introduction To The Atmosphere " McGraw – Hill, Inc.,
New York ,1978

8 - .. "الخلايا الشمسية من المكونات إلى الجهاز " ترجمة نور الدين الاخوة و
عبد الوهاب شيخ رحيم و احمد الحصائرى المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم . 1994
9- سليمان حسن أمين و احمد قدرى أبو العيط " 1985

تم اجراء البحث في كلية الهندسة - جامعة الموصل

