

حساب تغيرات كثافة الغلاف الجوي العلوي من خلال تأثيرها بمعاملات النشاط الشمسي (معامل الفيض الراديوي الشمسي F10.7 والمعامل الجيومغناطيسي Kp)

رواء مزهر عبيد

جامعة بابل - كلية العلوم - قسم الفيزياء

الخلاصة

تم دراسة ويرمجة تغيرات كثافة الغلاف الجوي تحت تأثير النشاط الشمسي عند ارتفاع الأقمار الصناعية الواطئة، حيث تم حساب الكثافة من خلال تأثيرها بمعاملات النشاط الشمسي (معامل الفيض الراديوي الشمسي (F10.7) والمعامل النشاط الجيومغناطيسي (Kp))، اعتمدت هذه الدراسة على نموذج Total Density (TD88) لحساب تلك التغيرات، أظهرت النتائج بأن كثافة الغلاف الجوي العلوي المحسوبة تتغير تبعاً لتغير معاملات النشاط الشمسي والتغيرات اليومية والسنوية.

Abstract

The atmospheric density variations is studied under the effect of solar activity at altitude of low orbital satellites, the atmospheric density is determined from through its influence by the solar activity parameters (The radio solar flux parameter (F10.7) and geomagnetic activity parameter (Kp)). This study based on Total Density (TD88) model for calculating this variations. The results show that, the determined upper atmospheric density is changing according to change the solar activity parameters, diurnal and annual variations.

المقدمة:

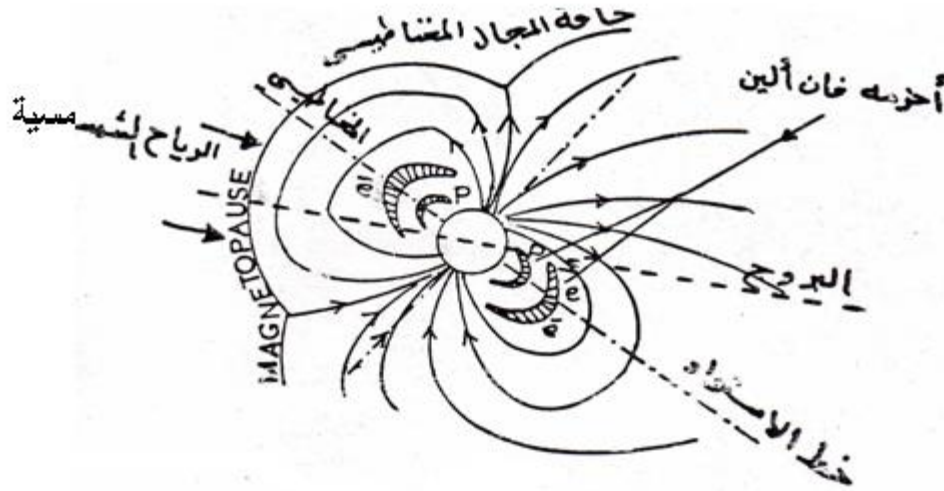
في وقت مبكر وتحديداً عام ١٩٥٩ بدأ العلماء بملاحظة العلاقة بين ارتفاع النشاط الشمسي والزيادة في الكبح على الأقمار الصناعية. وعزا بضعة علماء هذا إلى الزيادة في كثافة الغلاف الجوي عند الارتفاعات العالية (Jacchia, 1959). منذ ذلك الوقت، عمل الفيزيائيون والمهندسون وعلماء آخرون بجد في محاولة لفهم ونمذجة هذه التفاعلات ليحصلوا على نماذج للغلاف الجوي يعتمد عليها ويجب أن يكون النموذج الكامل للغلاف الجوي قادراً على تمثيل جميع الخصائص الفيزيائية للغلاف العلوي للأرضي. وكما هو معروف منطقة الترموسفير الأرضي تقع بين 500-90 كم فوق سطح الأرض وتدعى بالترموسفير واما المنطقة فوق 500 كم تدعى بالأكسوسفير الطبقة وتمتد مرتفعة فوق طبقة الترموسفير وحتى نهاية الغلاف الجوي عند ارتفاع يناهز 6400 كم. تكون دراسة منطقة الترموسفير مهمة جداً لسببين وهما السبب الأول انه بالرغم من الكثافة القليلة، ولكن هناك عزوم وكبح ينتج على المركبات الفضائية والسبب الثاني هو ان الكثافة تعادل فيض الأشعاع المتراكم المنهمر عند الارتفاعات المدارية حالة الغلاف الجوي توصف بدلالة التغيرات المكانية والزمانية ضمن هذا الوسط.

النشاط الشمسي:

إن التغير في النشاط الشمسي هو احد الظواهر الأكثر أهمية والذي يرتبط بدورة الـ ١١ سنة شمسية ومدة دوران الأرض حول محورها وبدء العواصف الشمسية المفاجئة. هناك عدة مؤشرات للنشاط الشمسي

مثل البقع الشمسية التي هي مناطق مظلمة تظهر على سطح الشمس او من خلال تغير معاملات النشاط الشمسي (معامل الفيض الراديوي الشمسي F10.7 والمعامل النشاط الجيومغناطيسي Kp) أو التغيرات في طبقة الأيونوسفير.

عند حدوث التاج الشمسي فان الشمس تلفظ خارجاً كمية كبيرة من الكتلة تتكون بصورة رئيسية من فوتونات شمسية وجسيمات مشحونة عند سرعة تتراوح بين 300-400 Km/sec. عند تلك السرعة، الكتلة المقذوفة تستغرق يومين إلى أربعة لتصل مدار الأرض. فإذا وصلت الجسيمات المشحونة للأرض، فأنها تبدأ سلسلة معقدة من التفاعلات مع طبقة الماكنيتوسفير للأرض وهي حافة المجال المغناطيسي الأرضي حيث يتواجد داخل هذا الحد المجال المغناطيسي وما يرافقه من أحزمة أشعاع الناتجة من اصطياح الجسيمات المشحونة (الكترونات وبروتونات) والقادمة من الفضاء الخارجي، ووقوعها تحت تأثير المجال المغناطيسي الأرضي. وكما موضح في الشكل (١) (AlFaia, 1982). وبسبب امتلاك الجسيمات المشحونة شحنات كهربائية ترافق بعض الجسيمات المشحونة فأنها تصبح مصطادة في المجالات المغناطيسية وهي أخيراً تتجه نحو المغنوتوسفير، وتحمل الجسيمات على طول خطوط المجال المغناطيسي ومن ثم تعجل باتجاه الأرض وعلى الغلاف الجوي قرب القطبين الشمالي والجنوبي للأرض. وعندما تنتقل الجسيمات المشحونة عبر المجال المغناطيسي سوف تسبب مجالات كهربائية التي بدورها تولد تسخين في الغلاف الجوي (Hedin, 1987).



الشكل (١) أحزمة الاشعاع والمجال المغناطيسي الرضي

لقياس الفعالية الجيومغناطيسية التي تنتج من تفاعل الرياح الشمسية مع المجال المغناطيسي الأرضي تقدر أو تكتم هذه الفعالية بعدد من المعاملات الجيومغناطيسية والتي تتضمن المعامل الكوكبي Kp الذي يحسب كل ٢٤ ساعة ، وقيمته تتراوح فوق الصفر في وقت الهدوء الشمسي ، ولكنه يرتفع إلى أعلى من ٩ (بدون وحدات) عند وقت العواصف (Carbary, 2005).

نمذجة كثافة الغلاف الجوي

بينما يحاول العلماء فهم النظرية وراء التفاعلات الشمسية - الأرضية (solar - terrestrial interactions) لأكثر من 40 سنة، فإن المقدرة الحاسوبية على نمذجة التأثيرات المباشرة على كثافة الغلاف الجوي عند ارتفاع معين تحدد بالتطورات في التكنولوجيا مقرونة بتوفر البيانات من الأقمار الصناعية.

وضعت نماذج شبه تجريبية على أساس مفاهيم فيزيائية مبسطة أثبتت لتكون أكثر نجاحاً في تمثيل

تبدأ الطاقة المتولدة في الغلاف الجوي عند المناطق العالية من خطوط العرض تعرف بمناطق للشفق القطبي (The auroral regions)، ومن ثم تنتقل إلى خطوط العرض الواطئة. ومن ثم تنتشر الطاقة المتكونة في أعالي الغلاف الجوي إلى ارتفاعات تكون محتلة من قبل الأقمار الصناعية الأرضية الواطئة.

يرتبط أيضاً بدأ العواصف الشمسية بنشاط البقع الشمسية التي تتكرر كل ٢٧ يوم (طول الدوران الشمسي) وهذه الفعالية ستؤول إلى أن تتبع دورة ال ١١ سنة شمسية ، يشار إلى مقياس النشاط الشمسي بالمعامل F10.7 الذي هو مؤشر يكافئ مقدار الطاقة الإشعاعية عند الطول الموجي (10.7cm) أو بكلام آخر يستخدم الفيض الشمسي الراديوي بطول (10cm) لقياس فيض الأشعة الشمسية ويتغير هذا الفيض من أقل من حوالي ٦٥ الى أعلى من ٣٠٠ وحدة فيض شمسي SFU (Solar Flux Unit) $1\text{SFU} = 10^{-22} \text{ W/m}^2\text{Hz}$ أما المعامل Kp يستعمل بشكل واسع

الجيوغناطيسي وعوامل أخرى مثل التوقيت المحلي واليوم في السنة وخط العرض. نموذج TD88 هو نموذج كثافة تجريبي ذو معاملات عددية تحدد بمطابقة كثافات TD88 لبيانات كبح القمر الصناعي وقيم نموذج 78 DTM (Barliar 1978) خلال ارتفاع مداه (٧٥٠-١٥٠).

هناك مركبة مهمة لحركة الأقمار الصناعية الأرضية هي قوة كبح الغلاف الجوي (atmospheric drag) والجزء المهم لتحديد هذه القوة هو معرفة كثافة الغلاف الجوي التي تحدد عن طريق نماذج الغلاف الجوي التي تزود بتقديرات المتوسط الحسابي لدرجة الحرارة والكثافة الإجمالية والتوقيت المحلي والتوقيت العالمي والمعاملات الشمسية والجيوغناطيسية. ولكن الشيء الأكثر أهمية لجماعة علم الحركة الفلكية هي كثافة الغلاف الجوي العلوي، هذه الدراسة ستستخدم نموذج TD88.

نموذج TD88 :

يعتمد نموذج الكثافة الثرموسفيرية TD88 بطريقة معقدة على عدة متغيرات أساسية (i) الارتفاع h فوق المنطقة واصفاً تركيبها العمودي (ii) خط العرض وخط الطول الجيوغرافي المتعلق بالاتجاه عند مصادر الطاقة كمناطق القطبين أو الشمس، (iii) صفاتها النظامية والغير النظامية التي تصف التركيب العمودي الذي يقل اسياً مع سمك الارتفاع H الذي يعتمد نفسه على الارتفاع h ، وبهذه الطريقة تعكس التغيرات الموقعية وبعض الظواهر الفيزيائية. الكثافة المحسوبة وعادة يعبر عنها بدلالة الفعالية الشمسية والجيوغناطيسية والتغيرات المكانية والزمنية. نموذج TD هو نموذج وضعي يعرف بان التغير في الكثافة ناتج عن البيئة الفضائية والتي تحدد كدالة للفيض الراديوي الشمسي $F_{10.7}$ والمعامل الجيو مغناطيسي Kp [King-hele1987]. وهنالك مصطلحان

تغيرت كثافة طبقة الثرموسفير المرصودة، بدءاً بنموذج جاشيا عام ١٩٦٥ (Barliar, Berger, 1983, Marcos. 2002; Lathu iere et al, 2002). ان سلسلة النماذج شبه التجريبية المستخدمة بشكل واسع مثل نموذج جاشيا (Jacchia, 1977)، ونموذج DTM (Barliar et al, 1978; Berger, 1998) أو نموذج (Hedin, 1987, 1991; Picone et al., 2002) MSIS مكونة من بعض النظريات الفيزيائية المبسطة مثل التوازن الانتشاري المستقر (Static diffuse equilibrium) لمكونات الثرموسفير المختلفة فوق قاعدة الهيتروسفير (heterosphere)، مع مطابقة البيانات المقاسة.

وأخيراً توجد هناك نماذج تجريبية صرفة لقياس كثافة الثرموسفير والتي توضع على أساس موافقة النماذج شبه التجريبية مع هدف سرعة الحساب القصوى (Gill, 1996).

يستخدم تمثيل حالة الوصف الفني لتغيرات كثافة الثرموسفير والنماذج شبه التجريبية في التنبؤ عن سلوك القمر الصناعي القصيرة الأمد ونوعاً ما تكون أعلى من بضعة أيام بطرق التكامل العددي. وعلى أي حال، فأن التعرف على ديناميكيات الأقمار المدارية الطويلة الأمد والتنبؤ عن أعمارها وكذلك استهلاكها للوقود أيضاً من الضروريات لمعرفة تطور الأقمار الصناعية .

واحد من أكثر النماذج التي تحاول حساب الكثافة المعطاة كمجموعة من الشروط الشمسية هو نموذج TD88 حيث الفكرة وراء بناء نموذج TD88 وما يتعلق بنظرية الحركة كانت لتطوير نوع جديد من النظريات الشبه تحليلية التي تعبر عن كبح الغلاف الجوي للأقمار الصناعية الأرضية ،

يتضمن نموذج TD88 عوامل فيزيائية مؤثرة على كثافة الهواء كالفيض الشمسي والمعامل

هذه النماذج تطبق لحساب معدلات الاضطراب والأعمار المدارية للأقمار الصناعية .

البرنامج الحاسوبي:

تم بناء برنامج حاسوبي لحساب الكثافة مستند على متغيرات أساسية تؤثر على الكثافة الترموسفيرية كالفيض الشمسي المعامل الجيومغناطيسي والتغيرات اليومية والسنوية. حيث اعتمد نموذج TD88 لحساب الكثافة الذي يعبر عنها كدالة لثلاثة مقاطع للارتفاع وهو مماثل بتعبيره الرياضي لنماذج أخرى ولكن تختلف في الثوابت المعروفة، نموذج التام لهذا النموذج هو كدالة خطية حتى يمكن العملية العكسية من حساب الثوابت من التغيرات في العناصر المدارية. البرنامج الحاسوبي لنموذج TD88 قاد إلى تحليل تأثير الفيض الشمسي، التأثير الجيومغناطيسي والتغيرات اليومية والسنوية وكما يلي:

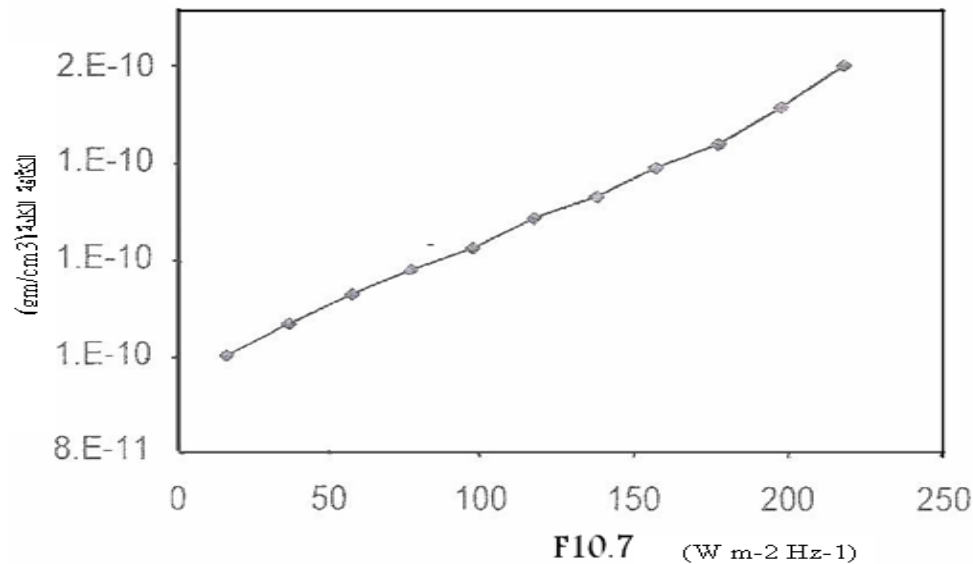
تأثير الفيض الشمسي:

المصدر الرئيسي الذي يؤثر على الترموسفير الأرضي هو الفيض الشمسي عند 10.7cm فهو ينشأ عند الكورونا الشمسية وهي كتلة طبقة الإكليل الشمسي حيث ينتج بعض من الفيض الشمسي العنيف. حساب تأثير هذا الفيض على الكثافة تم عند ارتفاع 500 Km، أما الزيادة في كثافة الترموسفير بتأثير الفيض الشمسي مبينة في الشكل (٢):

يستخدمان في النموذج يصفان التأثيرات لفعلين مختلفين ، كلاهما ينتج من الشمس. الفعل الأول هو الأشعة السينية (X-ray) الشمسية الخارجة والساقطة على الأرض والممتصة بصورة عامة عند قاعدة الترموسفير (حوالي 120 Km) (W/m^2Hz). الفعل الآخر هو تسرب الجسيمات (وهي بصورة رئيسية عبارة عن إلكترونات وبروتونات) من الماكنتوسفير إلى الأسفل من الترموسفير. تنشأ معظم هذه الجسيمات من الشمس وتلفظ من مقذوفات كتلة طبقة الأكليل الشمسي (Coronal) ، تنتقل خلال الوسط ما بين الكواكب (Interplanetary Medium) ، وتصل أخيراً إلى الأرض. الوصف الرياضي لهذا النموذج في مصدر (Sehnal, 1988)، (Bezdek, 2004a).

الهدف من البحث :

أما الهدف من البحث هو دراسة وحساب كثافة الغلاف الجوي وكيفية استجابتها لمتغيرات البيئة الفضائية وهي مهمة في دراسة الاضطرابات التي تحدث في الأقمار المدارية الأرضية والتي من ضمنها التغيرات التي تحدث في كثافة الغلاف الجوي العلوي حيث التنبؤ عن أعمار الأقمار الصناعية الأرضية أو رجوعها إلى جو الأرض يعتمد على معرفة متغيرات عديدة ومن ضمنها كثافة الغلاف الجوي وإنجاز هذا العمل تستعمل نماذج للغلاف الجوي التي تصف الكثافة كدالة لمتغيرات البيئة الفضائية، وكذلك فإن

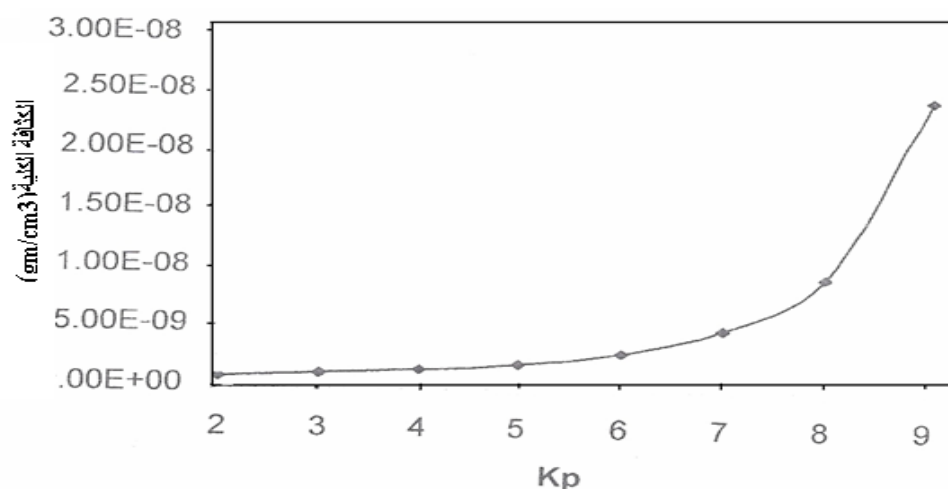


شكل (٢): الكثافة الكلية كدالة للفيض شمسي F10.7

الفعالية الجيومغناطيسية

المصدر الثاني المهم للطاقة متعلق بالفعالية الجيومغناطيسية المتمثلة بالمعامل الكوكبي Kp، هذه الطاقة الناتجة من هطول الجسيمات على طول خطوط المجال الأرضي مؤدية الى حصول تسخين

وعزم للغازات الترموسفيرية عند خطوط العرض العالية، بعض من هذه التسخين والعزم ينتقل إلى خطوط العرض الواطئة وبالتالي تزداد الكثافة الترموسفيرية وتؤثر هذا المعامل يبينه الشكل أدناه؟، حيث يوضح الشكل إن

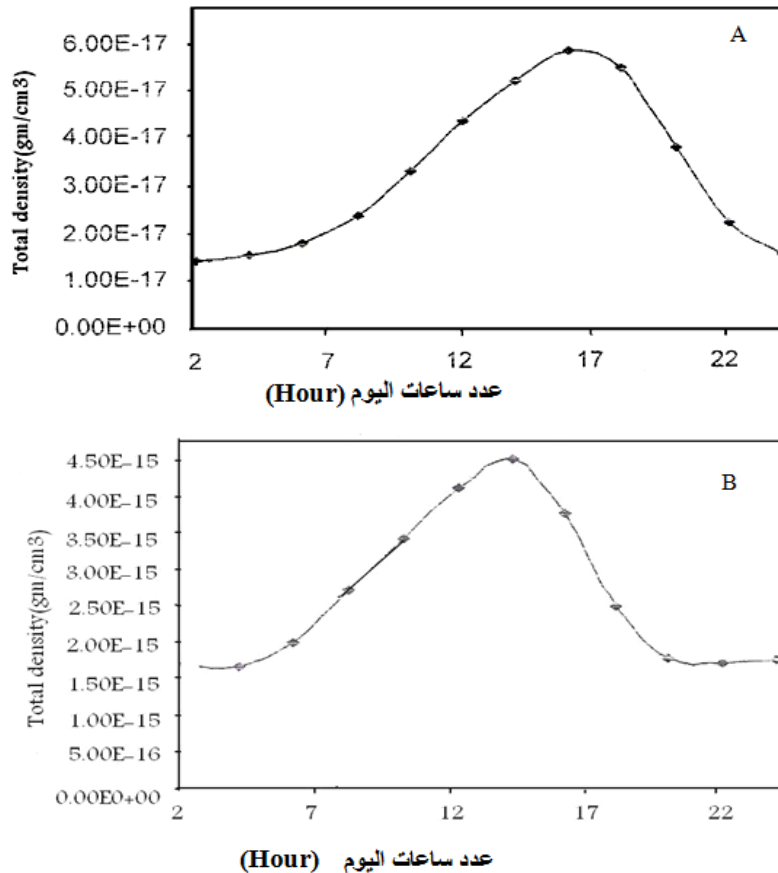


شكل (٣): الكثافة الكلية كدالة للمعامل الجيومغناطيسي الشمسي Kp

التغيرات اليومية:

في هذه الفقرة الصورة العامة للغلاف الجوي الأرضي سوف تبين لفعاليتين مختلفتين، الفعالية الشمسية والجيومغناطيسية الواطئة ($F=90 \times 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$; $Kp=1$)

والفعالية العالية ($F=150 \times 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$; $Kp=2$).
التغير اليومي في الكثافة الكلية يبين في شكلي (A) و (B) عند ظروف شمسية واطئة وعالية وعند ارتفاع 500Km.

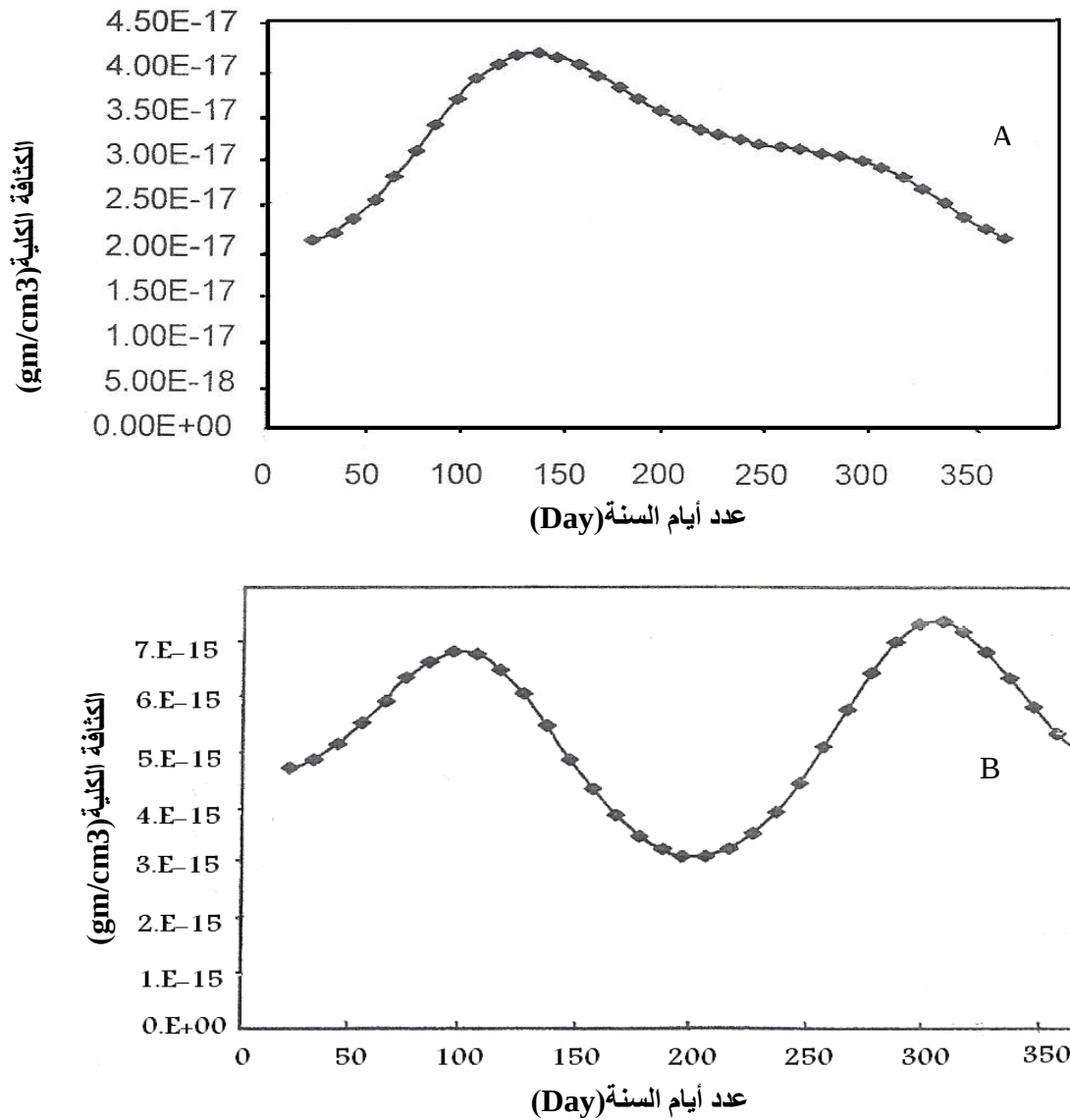


شكل (٤) التغيرات اليومية للكثافة عند ارتفاع مقداره ٥٠٠ كم في حالة النشاط الشمسي (A) الواطئ (B) العالي

التغيرات السنوية :

في هذه الفقرة الصورة العامة للغلاف الجوي الأرضي سوف تبين لفعاليتين مختلفتين، الفعالية الشمسية والجيومغناطيسية الواطئة ($F=90 \times 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$; $Kp=1$) والفعالية العالية ($F=150 \times 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$; $Kp=2$).

التغير اليومي في الكثافة الكلية يبين في شكلي (A) و (B) عند ظروف شمسية واطئة وعالية وعند ارتفاع 500Km.



شكل (٥) التغيرات السنوية للكثافة عند ارتفاع مقداره ٥٠٠ كم في حالة النشاط الشمسي (A) الواطئ و (B) العالي

في الإشعاع الكهرومغناطيسي عند الأطوال الموجية فوق البنفسجية EUV الذي بدوره يزداد مع زيادة مستوى النشاط الشمسي حيث الإشعاع EUV يسخن الغلاف الجوي وبالتالي يؤدي إلى الزيادة في كثافة الغلاف الجوي.

٢- من خلال الشكل (٣) الذي يوضح الزيادة في الكثافة الكلية للغلاف الجوي العلوي مع الزيادة في معامل الجيومغناطيسي (المشار إليه بالمعامل Kp)

المناقشة والاستنتاجات:

اعتماداً على النتائج المستحصلة من النموذج المستخدم في هذا العمل، تم استنتاج الملاحظات التالية:

١- من خلال الشكل (٢) الذي يوضح الزيادة في الكثافة الكلية للغلاف الجوي العلوي مع الزيادة في معامل النشاط الشمسي F10.7 وذلك بسبب الزيادة

- Sciences of the Czech Republic, Fričova 298, 251 65 Ondřejov, Czech Republic bInstitute of Astronomy, Charles University, V Holešovičkách 2, 180 00 Prague 8, Czech Republic.
- Barlier, F., Berger, C., Falin, J.L., Kockarts, G., and Thuillier, G.(1978), A thermospheric model based on satellite drag data, Geophysics. 34, 9-24.
- Barlier, F., Berger, C.(1983) A point of view on semi-empirical thermospheric models. Planet. Space Sci. 31(9), 945-966.
- Benjamin Noll, B.A., (2006). Atmospheric Density Fluctuations due to Solar Modulation & Orbital Debris Modeling, M.Sc. thesis, the Graduate Faculty of Texas Tech Universityer Density Fluctuations Due.
- Berger, C., Biancale, R., Ill, M., and Barlier, F., (1998), Improvement of the empirical thermospheric model DTM: DTM94 – a comparative review of various temporal variations and prospects in space geodesy applications. J.Geodesy 72, 161-178.
- Carbary, J, F, (2005), A Kp – based model of auroral boundaries, Space Weather, 3, 1-10.
- Gill, E., (1996), Smooth Bi-Polynomial Interpolation of Jacchia 1971 Atmospheric Densities For Efficient Satellite Drag Computation. DLR-GSOC IB, 96-1.
- Hedin, A.E., (1987), MSIS-86 Thermospheric Model. J. Geophys. Res. 92, 4649.
- Hedin, A.E., (1991). Extension of the MSIS Thermosphere Model into the
- وذلك يعود إلى ان التفاعل بين الرياح الشمسية والمغناتوسفير يؤدي الى تسخين في خطوط العرض العليا وعزوم مغناطيسية في غازات الترموسفير وبعض من هذه الحرارة ينتقل إلى خطوط العرض الواطئة وبهذا يعمل على الزيادة في الكثافة الكلية للترموسفيرية .
- ٣- يمكن اعزاء شكل المنحنيات التي تم الحصول عليها في الأشكال (4A) (4B) التي توضح علاقة التغير اليومي للكثافة عند النشاط الشمسي الواطئ والعالي إلى عدم استجابة الترموسفير الى مصدر الحرارة EUV في أوقات معينة خلال دوران الأرض حول محورها والذي يعمل الى تغيرات يومية خلال (٢٤ ساعة) في درجة حرارة وكثافة الترموسفير ويتغير هذا تبعاً لتغير النشاط الشمسي ٤- من ملاحظة النتائج الموضحة في شكل (٥)(A,B) الذي يوضح التغير السنوي لكثافة الترموسفير عند النشاط الشمسي الواطئ والعالي حيث هناك تغيرات للكثافة خلال السنة وذلك بسبب التسخين لخطوط العرض العليا للترموسفير وهو (كنتيجة للتغيرات السنوية للفعالية الجيومغناطيسية) وتبعاً لمستوى النشاط الشمسي.

المصادر:

AlFaiaad,N,Al Megual,H, (1982) Atmosphere and space physics, First Edition,Baghdad.

Bezdek a, D. Vokrouhlický b Semianalytic, (2004), theory of motion for close-earth spherical satellites including drag and gravitational perturbations astronomical stitute, Academy of

- to the Earth's atmosphere: an overview of scientific models available for space weather developments. *Ann. Geophys.* 20, 1,081–1,104.
- Picone, J. M., Hedin, A. E., Drob, D.P., Aikin, A.C., (2002). NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues. *J. Geophys. Res.* 107(A12), 1468.
- Sehnal, L., (1988). Thermospheric total density model TD. *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 39, 120–127.
- Sehnal, L., (1990). Comparison of the thermosphere total density model TD 88 with CIRA 86, *Adv. Space Res.* 10(6), 27–31.
- Sehnal, L., Pospíšilová, L., (1991). Lifetime of the ROHINI A satellite. *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 42, 295–297.
- Sehnal, L. (2003). Space Project Mimosa, *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, 75, 195–208.
- Middle and Lower Atmosphere. *J. Geophys. Res.* 96, 1159.
- Jacchia, L. G., (1959), Two Atmospheric Effects in the Orbital Acceleration of Artificial Satellites. *Nature* 183, 526–527.
- Jacchia, L. G., (1964). Static Diffusion Models of the Upper Atmosphere with Empirical Temperature Profiles. *SAO Special Report* 170.
- Jacchia, L. G., (1977), Thermospheric Temperature, Density, and Composition: New Models. *SAO Special Report* 375.
- de Lafontaine, J., Hughes, P., (1983). An Analytic Version of Jacchia's 1977 Model Atmosphere. *Celes. Mech.* 29, 3–26.
- Montenbruck, O., and E. Gill, (2001). *Satellite Orbits*, Springer-Verlag, Berlin.
- Lathuillère, C., Menvielle, M., Lilensten, J., Amari, T., and Radicella, S. M., (2002). From the Sun's atmosphere