مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(3) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (3) 2022

دراسة وتحليل البارامترات المؤثرة على مدة حياة قمر صناعي مكعب بحجم 1U يدور على مدار منخفض

د. بلال شيحا*

د. حسن الأحمد**

م. ربيع صبيره***

(تاريخ الإيداع 15 /2 /2022 . قُبِل للنشر في 27 /4 /2022)

□ ملخّص□

تطرق هذا البحث إلى دراسة وتحليل جميع العوامل المؤثرة على مدة حياة قمر صناعي مكعب ذي حجم 1U وأبعاده $10*10*10cm^3$ و $11*11*11cm^3$ و $12*12*12cm^3$على ارتفاعات منخفضة تتراوح بين 200km إلى 600km، بوزن 0.75 Kg إلى 1.33 Kg، وذلك بالاعتماد على تحليل مجموعة من المعادلات الرياضية، باستخدام بيئة MATLAB/R2014a. طبيعة المدار الذي يدور ضمنه القمر الصناعي المكعب دائري وبانزياح قطبي قيمته تقريباً 97.3° لكي يغطي منطقة سوريا أثناء حركته.

بيَّن هذا البحث بأن مدة حياة القمر الصناعي المكعب تتأثر بأربع بارامترات مهمة ذات قيم متغيرة تبعاً للارتفاع أو محددات متعلقة ببعض البارامترات لمدار دائري ذي ارتفاع منخفض وهي، كثافة الغلاف الجوي التي تؤثر بدورها على مقياس كثافة الارتفاع عند درجة حرارة معينة للغلاف الجوي ومساحة سطح القمر الصناعي المكعب ووزنه بالإضافة إلى معامل الانجراف الأيروديناميكي(الهوائي الديناميكي)، حيث تزداد مدة الحياة عند تناقص قيمة كل بارامتر مع ثبات قيم البارامترات الأخرى باستثناء وزن القمر الصناعي المكعب يكون العكس، تبين أيضاً بأن كثافة الغلاف الجوي المرتفعة تؤثر سلبا بشكل ملحوظ على مدة حياة القمر الصناعي المكعب في حين أن كثافة الغلاف الجوي المنخفضة هي الأفضل.

الكلمات المفتاحية: قمر صناعي مكعب، مدة حياة قمر صناعي مكعب، المدار المنخفض، كثافة الغلاف الجوي، معامل الانجراف الأيروديناميكي.

* استاذ مساعد، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية ، سوريا.

** مدرس في قسم المعلوماتية ، كلية الهندسة، جامعة المنارة، اللاذقية ، سوريا.

*** طالب دراسات عليا(دكتوراه هندسة تحكم ألي)، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية ، سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(3) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (3) 2022

Studying and Analysis of Parameters Affecting on Lifetime of a 1U CUBESAT Spins in a Low Orbit

Dr. Bilal Chiha*
Dr. Hasan Al Ahmad **
Eng. Rabih Sbera ***

(Received 15 / 2/ 2022 . Accepted 27/ 4/ 2022)

□ ABSTRACT □

This search deals with the study and analysis of all factors affecting on the life time of a **CUBESAT** with a size of 1U and dimensions of 10 * 10 * 10 cm ^ 3 and 11 * 11 * 11 cm ^ 3 and 12 * 12 * 12 cm ^ 3 at low altitudes, the area between 200 km to 600 km, with a weight of 1Kg and 1.33Kg, based on mathematical equation set analysis, using the MATLAB/R2014a environment. The nature of the orbit in which the **CUBESAT** revolves is circular and with a polar inclination of approximately 97.3° In order to cover the area of Syria during his movement.

This research showed that the lifetime of a **CUBESAT** is affected by four important parameters with variable values depending on the altitude or determinants related to some parameters of a circular orbit of low altitude, namely the atmospheric density, which in turn affects the density scale of height at a certain temperature of the atmosphere and the surface area of the **CUBESAT** and its weight, in addition to the aerodynamic drift coefficient, where the lifetime increases when the value of each parameter decreases with the stability of the values of other parameters except for the weight of the **CUBESAT** is the opposite,It was also found that high atmospheric density significantly negatively affects the lifetime of a **CUBESAT**, while low atmospheric density is preferable.

Key words: CUBESAT, CUBESAT lifetime, low orbit, atmospheric density, aerodynamic drift coefficient.

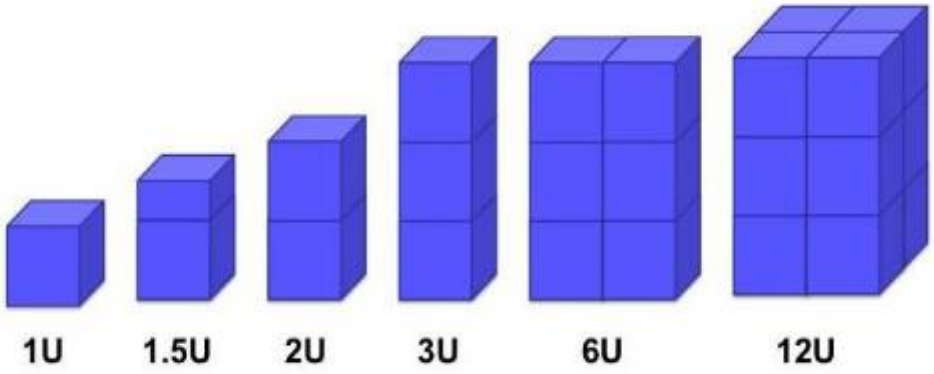
* Assistant Sir, Department Of Computer And Control Engineering ,Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia , Syria.
** Teacher, Department of Informatics ,Faculty Of Engineering, Manara University , Lattakia , Syria.
***Doctoral Student(Control Engineering), Department Of Computer And Control Engineering , Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia , Syria.

1- مقدمة

تشير الإحصاءات إلى وجود أكثر من 22300 جسم من صنع الإنسان يدور حول الأرض، بكتلة إجمالية تزيد عن 8400000 كغ. حوالي 89٪ من هذه الأجسام متوقفة عن العمل وبدون أي إمكانية للتحكم فيها، وهذا ما يجعلها تعتبر حطاماً مدارياً، وهذه الإحصائيات تعبر عن الأجسام ذات الأبعاد الأكبر من 10 سم. إلى جانب هذه الأرقام، هناك أيضاً حوالي 2000 قمر صناعي قيد العمل في مدارتها في الوقت الحاضر، مما يجعل الحطام الفضائي يشكل خطراً كبيراً على الأقمار الصناعية التي هي في حالة عمل، كما أن هذا العدد آخذ في الازدياد مشكلاً بذلك مصدر قلق رئيسي في الآونة الأخيرة، بالإضافة إلى ذلك فإن تطوير الأقمار الصناعية المكعبة قد ازداد بشكل كبير في السنوات الأخيرة، مما أدى إلى زيادة عدد الأجسام في الفضاء كما هو في مبين في الشكل(1)، وخاصة في المدارات الأرضية المنخفضة (LEO) نظراً لقصر مدة حياتها، وعندما تتوقف هذه الأقمار عن عملها يؤدي ذلك بدوره إلى زيادة عدد الحطام، لذلك يتم السعي دوما لدراسة وتحليل البارامترات التي تؤثر على مدة الحياة وزيادتها قدر الامكان وبالتالي تقليل الحطام الفضائي[1].

الشكل(1): الحطام الفضائي لأنواع مختلفة من المركبات الفضائية[1].

كان أول ظهور للأقمار الصناعية المكعبة الصغيرة في العام 1999، حيث اقترح نموذجاً جديداً من هذا الأقمار في جامعة كاليفورنيا بوليتكنيك في كاليفورنيا وجامعة ستانفورد التي اقترحت منصة تعليمية من أجل التدريب واستكشاف الفضاء. النموذج المقترح عبارة عن قمر صناعي ذي أبعاد صغيرة من مرتبة سم، وقُسِّمت هذا الأقمار إلى حجوم مختلفة ذات أوزان مختلفة مبينة في الشكل(2)، هذه الأحجام مقسمة إلى وحدات حجم تتراوح من 1U إلى 12U أبعاد كل وحدة حجم (U) هي $10 * 10 * 10cm^3$ [2].



الشكل(2): أشكال الأقمار الصناعية المكعبة وفقا لحجمها[2].

2- أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية هذا البحث في تقديم دراسة وتحليل لجميع البارامترات المؤثرة على مدة حياة القمر الصناعي المكعب ضمن مدار منخفض يقع ضمن المجال [200km 600km]، وهذا يساهم في زيادة المعرفة حول كيفية زيادة عمر القمر الصناعي المكعب في مداره، وبالتالي تقليل الحطام الفضائي قدر الامكان.

3- طرائق البحث

يعتمد البحث على المنهج الوصفي والتحليلي والتجريبي:

تم التطرق إلى دراسة مدة حياة القمر الصناعي المكعب وتبين بأن حياته تتعلق ببارامترات خاصة بالقمر الصناعي المكعب كارتفاعه عن سطح الأرض وأبعاده وكتلته وسرعته الزاوية والمدارية وانزياحه بالنسبة لخط الاستواء ومساحة سطحه، أو بمجموعة من البارامترات الجوية مثل كثافة الغلاف الجوي وكثافة الارتفاع ومعامل الانجراف الأيروديناميكي.

تم تحليل المعادلة الخاصة بمدة حياة القمر الصناعي المكعب، وتم التوصل إلى بعض قيم البارامترات الخاصة بهذه المعادلة من جداول مأخوذة من قواعد بيانات مقاسة مسبقاً أو بعد حسابها كزمن مدار القمر وسرعتيه الزاوية والمدارية.

تمت دراسة مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند بارامترات مختلفة تشمل ارتفاعات مدارات منخفضة مختلفة تتراوح بين km [600 200]، وثلاثة أوزان 0.75kg و 1kg و 1.33kg ومساحات سطح وجه المكعب الأمامي المختلفة $0.01m^2$ و $0.0121m^2$ و $0.0144\ m^2$ وكثافة غلاف جوي عند نشاط إشعاع شمسي مرتفع ومعتدل ومنخفض كون هذه البارامترات ذات التأثير الأكبر على مدة حياة القمر الصناعي المكعب في حال تغيرها.

3-1 مدة حياة القمر الصناعي المكعب

تعرف مدة حياة قمر صناعي مكعب على أنها مدة بقاء القمر فعّال في مداره الذي يتحرك ضمنه قبل أن يخرج عن السيطرة أو يُتلف نتيجة تأثير مجموعة من العوامل [4] ليتحرك بعدها ضمن الفضاء بشكل عشوائي دون إمكانية إعادته إلى مداره[5].

تحسب مدة حياة القمر الصناعي المكعب τ_L في مدار دائري[3] وفق العلاقة التالي:

$$\tau_L = \frac{HT_0}{2\pi\rho_0 {a_0}^2 \delta}\left[1 - e^{\beta a_0((\frac{T_f}{T_0})^{\frac{2}{3}}-1)}\right] \quad (1)$$

حيث دلالة بارامترات علاقة مدة حياة القمر الصناعي المكعب مبينة في الجدول التالي:

الجدول(1): بارامترات مدة حياة قمر صناعي مكعب.

البارامتر	دلالاته
$\rho_0[\mathrm{kg/m^3}]$	كثافة الغلاف الجوي المرجعية.
H[km]	مقياس كثافة الارتفاع.
a_0[km]	ارتفاع المدار المرجعي(البعد عن مركز الكرة الأرضية).
T_0[sec]	زمن المدار(الزمن اللازم ليتم القمر دورة كاملة حول الكرة الأرضية عند الارتفاعات المدروسة).
T_f[sec]	زمن المدار الأطول أي عند الارتفاع 600km.

أما بالنسبة لحساب قيم بارامترات العلاقة(1) فهناك مجموعة من العلاقات المستخدمة حيث تحسب قيمة البارامتر β وفق العلاقة التالية[3]:

$$\beta = \frac{1}{H} \quad (2)$$

أما البارامتر δ تحسب قيمته وفق العلاقة التالية[3]:

$$\delta = \frac{FSC_D}{m} \quad (3)$$

حيث: m كتلة القمر الصناعي المكعب، S مساحة السطح الأمامي للقمر الصناعي المكعب، $\mathrm{C_D}$ معامل الانجراف الأيروديناميكي (تقع قيمته ضمن المجال [2 2.5]).

البارامتر F تحسب قيمته وفق العلاقة التالية[3]:

$$F = (1 - \frac{r\omega}{v}\cos i)^{\,2} \quad (4)$$

حيث: i الانزياح، r نصف قطر المدار، ω السرعة الزاوية للقمر، v سرعة القمر في المدار. تحسب السرعة الزاوية وفق العلاقة التالية[4]:

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu}{r^3}} \quad (5)$$

بالنسبة للثابت μ تحسب قيمته وفق العلاقة التالية:

$$\mu = G(M+m) \quad (6)$$

حيث:

M كتلة الكرة الأرضية $M = 5.972 * 10^{24}\ \mathrm{kg}$، G ثابت الجاذبية العام $= G$.

$6.670.10^{-11}\ \mathrm{N.\ m^2}/\mathrm{kg^2}$

يتم حساب سرعة القمر في المدار وفق العلاقة التالية:

$$v = \sqrt{\frac{G\ .\ M\ .\ m}{r}} \quad (7)$$

نلاحظ من العلاقات السابق بأن علاقة مدة حياة القمر الصناعي المكعب تتعلق بالعديد من البارامترات التي لابد من تعريف ودراسة وتحليل كل منها على حدا لمعرفة مدى أهميتها وتأثيرها على مدة حياة القمر الصناعي المكعب، حيث أكدت بعض الأبحاث عن تدني مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند الارتفاعات المنخفضة جدا كالارتفاع 200km وما دون[6] والتي قد تصل إلى بضع ساعات معتمدين في ذلك على برمجيات معينة مثل STK9.0 دون الخوض في تفاصيل المعادلات الخاصة بحساب مدة حياة القمر الصناعي أو من خلال قياسات فعلية لأقمار صناعية مكعبة تعمل في مدارات معينة، حيث تم اقتراح حلول تتعلق بتعديل تصميم القمر الصناعي المكعب لزيادة مدة حياة القمر الصناعي المكعب، في هذه الدراسة لم يتم التطرق إلى الآليات المتبعة لزيادة مدة حياة القمر الصناعي المكعب.

2-3 كثافة الغلاف الجوي(Atmospheric Density)

تعتمد قيمة كثافة الغلاف الجوي عند ارتفاع مدار منخفض(LEO) على عدة بارامترات، منها النشاط الشمسي، النشاط المغناطيسي الأرضي[7]، تحسب قيمة كثافة الغلاف الجوي في جزء المدار المشمس وفق العلاقة الأسية التقريبية التالية:

$$\rho = \rho_0 exp\left[-\frac{h-h_0}{H}\right] \quad (8)$$

حيث h هي ارتفاع مدار القمر الصناعي المكعب عن سطح الأرض، h_0 ارتفاع مرجعي و ρ_0 هي كثافة الغلاف الجوي عند الارتفاع المرجعي، تؤخذ قيمتهما من قاعدة بيانات[8]، أما H فهي مقياس كثافة الارتفاع.

في حال الكسوف فإن كثافة الغلاف الجوي تحسب وفق العلاقة التالية[9] :

$$\rho = \frac{1}{2}\rho_0 \quad (9)$$

كما يمكن حساب قيمة كثافة الغلاف الجوي بالاعتماد على منحنيات بيانية تقريبية عند ارتفاعات مختلفة[4]، أما الطريقة التي سوف يتم اعتمادها في هذه الدراسة تعتمد على قيم مقاسة مأخوذة من قاعدة بيانات[10] التي تطرح بشكل دوري كل ست سنوات وتتميز بدقتها العالية مقارنة بالطرق السابقة لأنها تواكب التغيرات في قيمة المغناطيسية الأرضية. جزء من قاعدة البيانات موضوع في الجدول(2) والذي يحتوي على قيمة كثافة الغلاف الجوي في حالاته الثلاث أي عند نشاط اشعاع شمسي منخفض تقع قيمته ضمن المجال [5.3E-7 kg/m^3 1.65E-15 kg/m^3] ومعتدل تقع قيمته ضمن المجال 8.01E-[5.57E-7 kg/m^3 15 kg/m^3] ومرتفع تقع قيمته ضمن المجال[5.49E-14 kg/m^3 5.44E-7 kg/m^3] تبعا لارتفاعات مدار القمر الصناعي المكعب المدروس التي تقع ضمن المجال [200km 600km]، حيث يتبين من الجدول(2) بأن قيمة كثافة الغلاف الجوي مع زيادة الارتفاع تتناقص(أي يقل نشاط الاشعاع الشمسي)، وهذا بدوره يؤثر بشكل عكسي على مدة حياه القمر الصناعي المكعب كما توضحه العلاقة(1).

الجدول(2): كثافة الغلاف الجوي عند نشاط اشعاع شمسي :[10].

ρ[kg/m^3] / h (km)	[5.3E-7 1.65E-15] **منخفض** [kg/m^3]	[5.57E-7 8.01E-15] **معتدل** [kg/m^3]	[5.44E-7 5.49E-14] **مرتفع** [kg/m^3]
200	1.47E-10	3.17E-10	4.10E-10
220	6.96E-11	1.77E-10	2.46E-10
240	3.54E-11	1.05E-10	1.56E-10
260	1.88E-11	6.47E-11	1.04E-10
280	1.03E-11	4.12E-11	7.12E-11
300	5.86E-12	2.69E-11	5.00E-11
320	3.40E-12	1.80E-11	3.59E-11
340	2.02E-12	1.23E-11	2.61E-11
360	1.22E-12	8.48E-12	1.93E-11
380	7.46E-13	5.95E-12	1.44E-11
400	4.63E-13	4.22E-12	1.09E-11
420	2.92E-13	3.02E-12	8.32E-12
440	1.87E-13	2.18E-12	6.40E-12
460	1.21E-13	1.59E-12	4.96E-12
480	8.04E-14	1.17E-12	3.87E-12
500	5.44E-14	8.60E-13	3.04E-12
520	3.77E-14	6.39E-13	2.40E-12
540	2.68E-14	4.77E-13	1.91E-12
560	1.96E-14	3.58E-13	1.52E-12
580	1.47E-14	2.71E-13	1.22E-12
600	1.14E-14	2.06E-13	9.82E-13

3-3 مقياس كثافة الارتفاع density scale of height

يعبر مفهوم مقياس كثافة الارتفاع عن تناقص قيمة الضغط الجوي بشكل أسي مع زيادة الارتفاع، وتتعلق قيمته بدرجة حرارة الغلاف الجوي وكثافة الغلاف الجوي والضغط الجوي[9][8].

ولحساب قيمة مقياس كثافة الارتفاع يوجد طريقتين: إما باستخدام العلاقات الرياضية أو باستخدام جداول مأخوذة من قاعدة بيانات[3].

عند استخدام طريقة العلاقات الرياضية يتبين من العلاقتين التاليتين اعتمادية مقياس كثافة الارتفاع على درجة حرارة الغلاف الجوي[12][11].

$$H = \frac{KT}{mg} \quad (10)$$

$$H = \frac{RT}{Mg} \quad (11)$$

حيث:

$K = 1.38 * 10^{-23} j.k^{-1}$: ثابت بولتزمان، T: درجة الحرارة الغلاف الجوي مقاسة بالكلفن عند ارتفاع معين، m: متوسط كتلة الجزيء، g: تسارع الجاذبية الأرضية، R : ثابت الغاز، M متوسط كتلة مول واحد من جسيمات الغلاف الجوي = 0.029 كجم / مول بالنسبة للأرض.

أما عند استخدام طريقة الجداول، فإنه يمكن الحصول مباشرة على قيمة مقياس كثافة الارتفاع تبعاً لدرجة الحرارة الموافقة لذلك الارتفاع بعد الاخذ بالحسبان حالات نشاط الإشعاع الشمسي الثلاثة المنخفضة والمعتدلة والمرتفعة كما هو موضح في الجدول(3)، وهي الطريقة التي اعتمدت في هذه الدراسة.

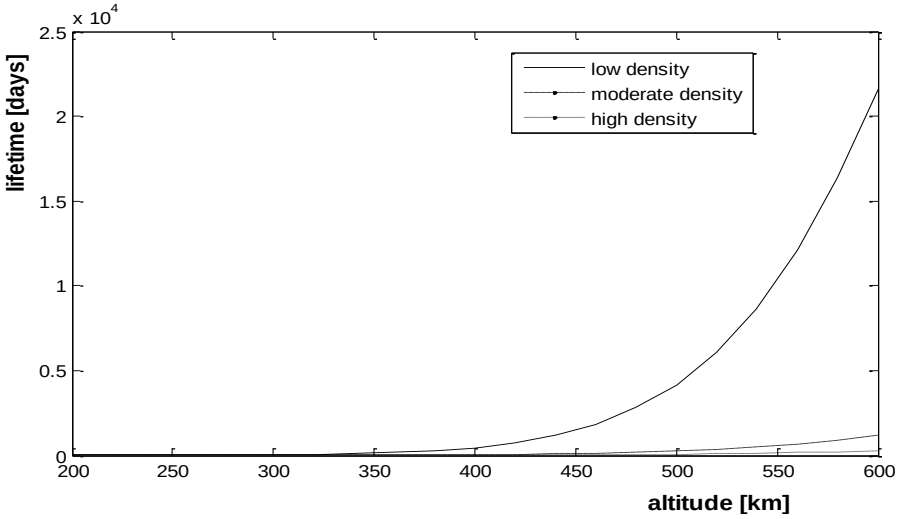
الجدول(3): مقياس كثافة الارتفاع بدلالة ارتفاعات مختلفة عند نشاط إشعاع شمسي:[3].

الارتفاع [km]	منخفض[5.3E-7 1.65E-15] [kg/m^3]		معتدل[5.57E-7 8.01E-15] [kg/m^3]		مرتفع[5.44E-7 5.49E-14] [kg/m^3]	
	درجة الحرارة [k]	مقياس كثافة الارتفاع[Km]	درجة الحرارة [k]	مقياس كثافة الارتفاع[Km]	درجة الحرارة [k]	مقياس كثافة الارتفاع[Km]
200	684,9187	26,3234	931,2806	33,5804	1423,6469	49,7766
220	692,6487	28,6112	963,2701	37,3389	1493,7864	56,8205
240	696,1697	30,7226	982,4191	40,5638	1538,9154	62,8153
260	697,7811	32,6731	993,9173	43,3273	1568,0294	67,5214
280	698,5220	34,6129	1000,8427	45,9808	1586,8613	71,6228
300	698,8644	36,3499	1005,0267	48,3416	1599,0743	75,3036
320	699,0233	37,6859	1007,5620	50,2822	1607,0154	78,1849
340	699,0973	39,0274	1009,1030	52,2731	1612,1920	80,8340
360	699,1320	40,0512	1010,0423	53,9613	1615,5751	83,4085
380	699,1483	40,9778	1010,6166	55,6560	1617,7916	85,6516
400	699,1561	41,9519	1010,9688	57,1177	1619,2476	87,5157
420	699,1597	42,8975	1011,1853	58,4012	1620,2062	89,5633
440	699,1615	43,8193	1011,3188	59,4317	1620,8390	90,8765
460	699,1623	45,1370	1011,4014	60,4864	1621,2577	92,6589
480	699,1627	46,6954	1011,4526	61,5528	1621,5354	94,5872
500	699,1629	48,3084	1011,4845	62,4024	1621,7200	96,3381
520	699,1630	50,8992	1011,5043	63,4137	1621,8430	97,6136
540	699,1630	53,8186	1011,5168	63,9820	1621,9253	98,0937
560	699,1631	58,2364	1011,5245	65,3319	1621,9803	99,3060
580	699,1631	63,5906	1011,5294	66,4024	1622,0172	100,6720
600	699,1631	71,0934	1011,5325	68,1361	1622,0421	102,6271

4- النتائج والمناقشة

بعد دراسة وتحليل المعادلة الخاصة بمدة حياة القمر الصناعي المكعب والمبينة في العلاقة(1)، تبين بأنه يوجد أربع بارامترات تساهم بشكل فعلي في تغيير مدة حياة القمر الصناعي المكعب، وهي كثافة الغلاف الجوي ومساحة السطح الأمامي والوزن ومعامل الانجراف الأيروديناميكي، حيث تم الحصول على النتائج بعد تثبيت قيمة ثلاث من البارامترات ودراسة تغير البارامتر الرابع لمعرفة تأثيره على مدة حياة القمر الصناعي المكعب.

أولاً تم دراسة تأثير تغيير قيمة كثافة الغلاف الجوي على مدة حياة القمر الصناعي المكعب، وذلك عند نشاط إشعاع شمسي منخفض ومعتدل ومرتفع، ومساحة سطح أمامي $0.01m^2$ لقمر صناعي ذي حجم $10*10*10\ cm^3$ ومعامل انجراف أيروديناميكي 2.2 ووزن 1.33kg وارتفاع منخفض يقع ضمن المجال [200km 600km]، ومن ثم رسم المنحني البياني الخاص بمدة الحياة عند كثافات الغلاف الجوي المختلفة بدلالة الارتفاع كما هو مبين في الشكل(3)، وتبين بأن مدة الحياة تزداد مع ازدياد الارتفاع في حالات كثافة الغلاف الجوي الثلاث، حيث أن مدتها عند نشاط إشعاع شمسي منخفض هي الأعلى وتنخفض عند نشاط إشعاع شمسي معتدل لتتناقص أكثر بشكل ملحوظ عند نشاط إشعاع شمسي مرتفع كما هو مبين في الجدول(4).



الشكل(3): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند كثافات جوية مختلفة.

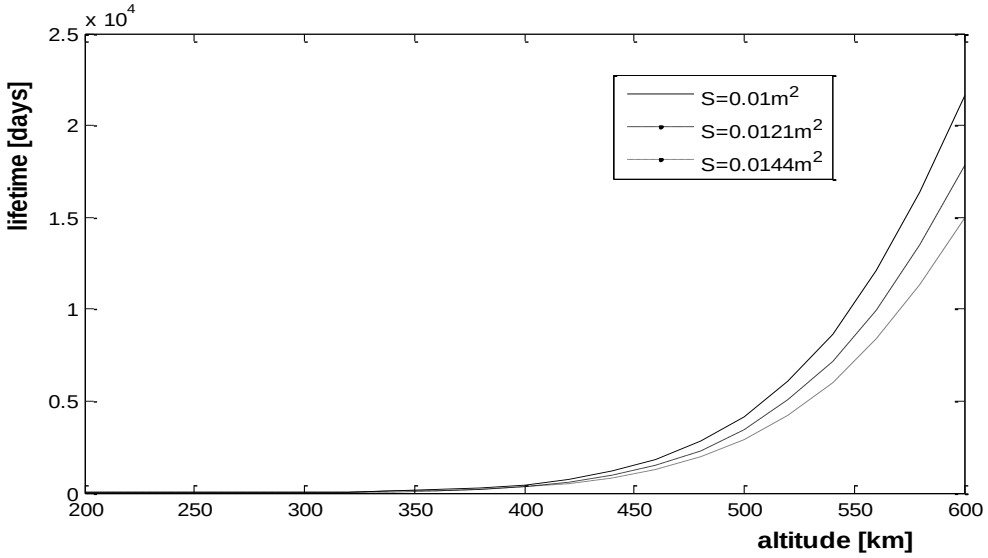
الجدول(4): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند كثافات جوية مختلفة(نشاط إشعاع شمسي منخفض-معتدل-مرتفع).

مدة حياة القمر الصناعي المكعب [days].			
النشاط الاشعاعي الشمسي / الارتفاع [km]	كثافة الغلاف الجوي المنخفضة	كثافة الغلاف الجوي المعتدلة	كثافة الغلاف الجوي المرتفعة
200	0.85	0.39	0.3
300	3.47	6.63	3.57
400	452.3	49.62	19.21
500	4175	264.1	74.72
600	21600	1195	250.7

ثانياً تم دراسة تأثير تغير مساحة السطح الأمامي للقمر الصناعي المكعب على مدة حياة القمر الصناعي المكعب، وذلك عند ثلاث مساحات سطوح $0.01m^2$ و$0.0121m^2$ و$0.0144m^2$ لقمر صناعي مكعب ذي

أبعاد cm^3 10*10*10 و cm^3 11*11*11 و cm^3 12*12*12 على الترتيب، وذلك عند وزن 1.33 kg و معامل انجراف أيروديناميكي 2.2 وكثافة غلاف جوي منخفضة ذات التأثير الإيجابي في زيادة مدة حياة القمر الصناعي المكعب كما ثبت ذلك في الحالة الأولى وارتفاع منخفض ضمن المجال [200km 600km].

تم رسم المنحني البياني الخاص بمدة الحياة بدلالة الارتفاع عند مساحات سطوح أمامية مختلفة للقمر الصناعي المكعب كما هو مبين في الشكل(4)، وتبين بأن قيمتها تزداد مع ازدياد الارتفاع و تتناقص بزيادة مساحة السطح الأمامي كما هو مبين في الجدول(5)، الذي يظهر بأن قيمة مدة الحياة أعلى عند مساحة سطح $0.01m^2$ لتنخفض عند مساحة سطح $0.0121m^2$ وتنخفض أكثر عند مساحة سطح $0.0144m^2$.



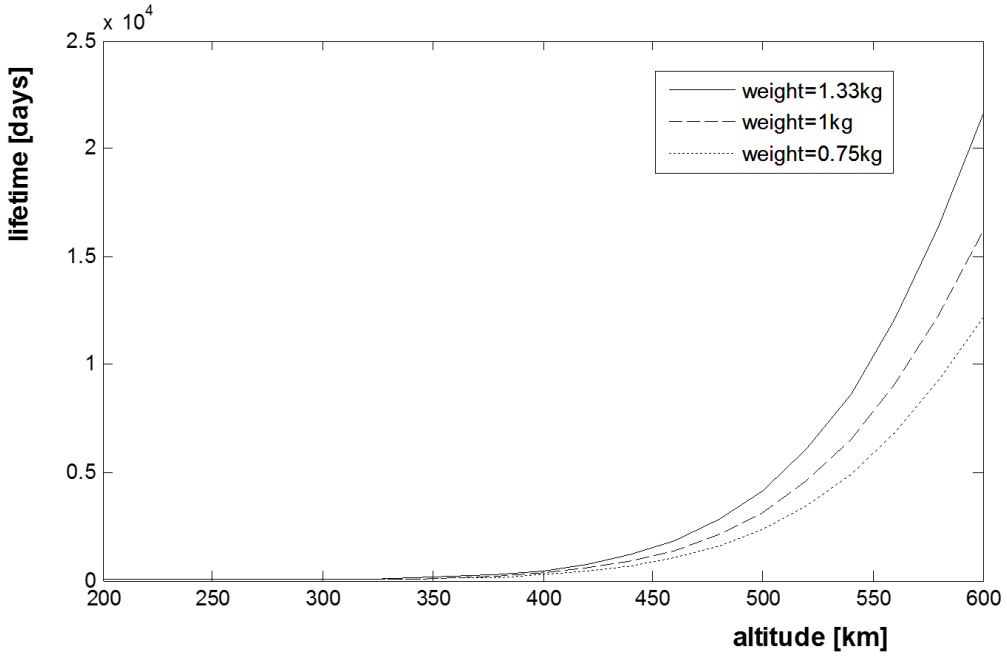
الشكل(4): مدة حياة القمر الصناعي المكعب بدلالة الارتفاع عند مساحة سطوح أمامية مختلفة له.

الجدول(5): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند ارتفاعات مختلفة ومساحات سطوح أمامية مختلفة.

مدة حياة القمر الصناعي المكعب [days].			
$0.0144m^2$	$0.0121m^2$	$0.01m^2$	مساحة سطح أمامي $[m^2]$ / الارتفاع [km]
0.59	0.7	0.85	**200**
21.16	25.18	3.47	**300**
314.1	373.8	452.3	**400**
2899	3451	4175	**500**
15000	17850	21600	**600**

ثالثاً تم دراسة تأثير تغير وزن القمر الصناعي المكعب على مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند ثلاثة أوزان له وهي 1.33kg و1kg و 0.75kg، وذلك عند مساحة سطح $0.01m^2$ ، حيث تبين لنا سابقاً بأن

هذه المساحة تعطي أفضل مدة حياة لقمر صناعي مكعب ذي حجم $10*10*10\ cm^3$ ومعامل انجراف أيروديناميكي 2.2 وكثافة جوية منخفضة وارتفاع منخفض ضمن المجال [200km 600km]، بعد ذلك تم رسم المنحني البياني الخاص بمدة حياة القمر الصناعي المكعب بدلالة الارتفاع عند أوزان مختلفة للقمر الصناعي المكعب كما هو مبين في الشكل(5)، وتبين بأنه قيمتها تزداد مع ازدياد الارتفاع و تتناقص مع تناقص وزن القمر الصناعي المكعب كما هو مبين في الجدول(6)، حيث يظهر أعلى قيمة لمدة الحياة عند وزن 1.33Kg وعند إنقاص الوزن إلى القيمة 1kgتتناقص المدة وتنخفض أكثر عند الوزن 0.75kg.



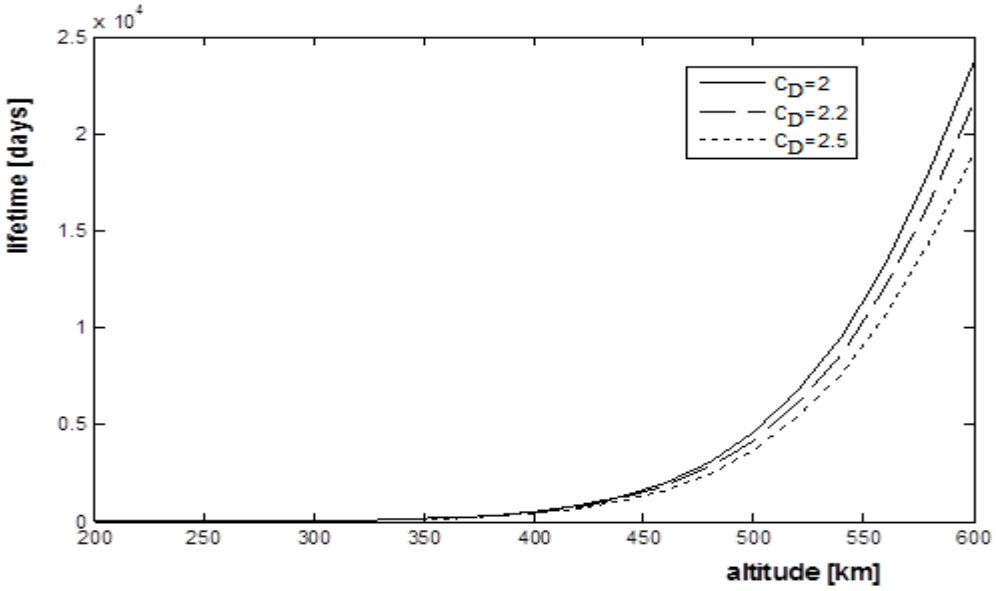
الشكل(5): مدة حياة القمر الصناعي المكعب بدلالة الارتفاع عند أوزان مختلفة له.

الجدول(6): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند أوزان مختلفة.

مدة حياة القمر الصناعي المكعب [days].			
0.75kg	**1kg**	**1.33kg**	**الوزن[kg] / الارتفاع [km]**
0.47	0.63	0.85	**200**
17.18	22.91	3.47	**300**
255	340.1	452.3	**400**
2354	3139	4175	**500**
12180	16240	21600	**600**

رابعاً بالنسبة لتأثير تغير معامل الانجراف الأيروديناميكي، تم دراسة مدة الحياة عند ثلاث قيم مختلفة لهذا المعامل وهي على الترتيب 2 و 2.2 و2.5 ، وذلك عند مساحة سطح أمامي $0.01m^2$ لقمر صناعي ذي حجم $10*10*10\ cm^3$ وكثافة غلاف جوي منخفضة ووزن 1.33kg وارتفاع منخفض ضمن المجال [200km 600km]، حيث أعطت هذه البارامترات الثابتة أفضل قيمة لمدة حياة القمر الصناعي المكعب في الحالات المدروسة السابقة، ومن ثم تم رسم المنحني البياني الخاص بمدة الحياة بدلالة الارتفاع عند قيم مختلفة لمعامل

الانجراف الأيروديناميكي كما هو مبين في الشكل(6)، وتبين بأنه قيمتها تزداد مع ازياد الارتفاع وتتناقص بزيادة قيمة معامل الانجراف الأيروديناميكي كما هو مبين في الجدول(6)، الذي يظهر أفضل قيمة لمدة الحياة عند معامل أيروديناميكي 2 لتنخفض عندما تصبح قيمة معامل الانجراف 2.2 وتنخفض أكثر عند قيمة معامل انجراف 2.5.



الشكل(6): مدة حياة القمر الصناعي المكعب بدلالة الارتفاع عند قيم مختلف لمعامل الانجراف الأيروديناميكي.

الجدول(7): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند قيم مختلفة لمعامل الانجراف الأيروينامكي.

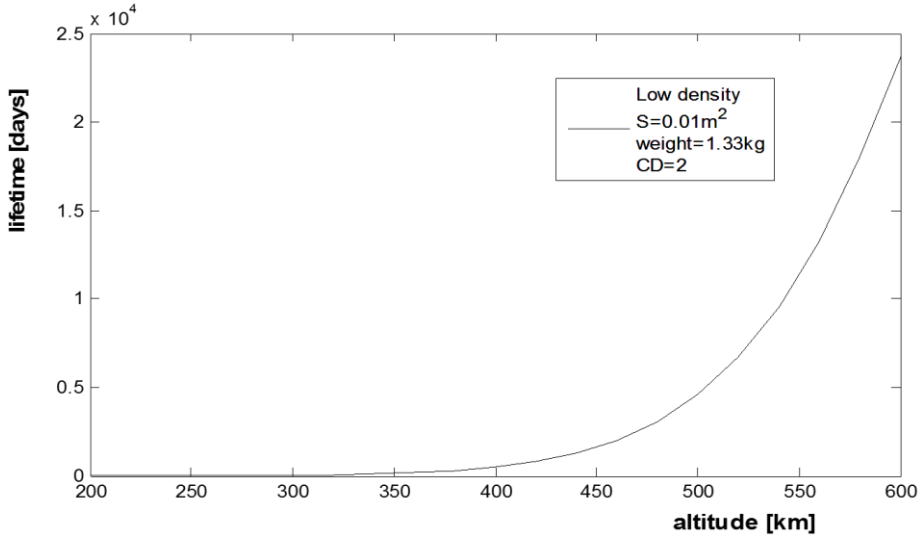
مدة حياة القمر الصناعي المكعب [days].			
معامل الانجراف / الارتفاع [km]	C_D=2	C_D=2.2	C_D=2.5
200	0.93	0.85	0.74
300	33.52	3.47	26.82
400	497.5	452.3	398
500	4593	4175	3674
600	23760	21600	19010

وبعد أن تم دراسة وتحليل مدة حياة القمر الصناعي المكعب بالنسبة للبارامترات الأربع المذكورة أعلاه تم التوصل إلى الجدول(8)، الذي يضم أفضل مدة حياة للقمر الصناعي المكعب بدلالة الارتفاع وذلك عند كل حالة من الحالات الأربع المدروسة المتمثلة بكثافة الغلاف الجوي و معامل الانجراف الأيروديناميكي والوزن ومساحة السطح الأمامي للقمر الصناعي المكعب، وتبين بأن الحالات الثلاث الأولى لها نفس أعلى قيمة لمدة حياة القمر الصناعي وذلك بسبب تشابه شروط الحالة المدروسة وتقاطعها.

الجدول(8): أفضل مدة حياة للقمر الصناعي المكعب عند كل حالة مدروسة.

مدة الحياة عند CD=2 [days]	مدة الحياة عند وزن 1.33Kg [days]	مدة الحياة عند مساحة سطح $0.01m^2$ [days]	مدة الحياة عند كثافة جوية منخفضة [days]	الارتفاع [km]
0.93	0.85	0.85	0.85	200
33.52	3.47	3.47	3.47	300
497.5	452.3	452.3	452.3	400
4593	4175	4175	4175	500
23760	21600	21600	21600	600

بعد أن تم دراسة وتحليل الحالات الأربع ورسم المنحنيات البيانية الخاصة بكل حالة ومقارنة النتائج كما هو موضح في الجدول(8)، تم التوصل إلى أفضل مدة حياة للقمر الصناعي المكعب التي قد تصل إلى 23760 يوماً أي ما يعادل تقريباً 65 عام ، ويتحقق ذلك عند وزن 1.33kg وكثافة جوية بنشاط إشعاع شمسي منخفض ومعامل انجراف أيروديناميكي C_D=2 ووزن ومساحة سطح $0.01m^2$ ، تم رسم المنحني البياني الخاص بأفضل مدة حياة للقمر الصناعي بدلالة الارتفاع كما هو موضح في الشكل(8) وإيجاد مدة الحياة عند كل ارتفاع كما هو موضح في القسم المظلل من الجدول(8).



الشكل(8): مدة حياة القمر الصناعي المكعب عند أفضل قيم للبارامترات المدروسة.

5- الاستنتاجات

من خلال الدراسة التحليلية لمدة حياة القمر الصناعي المكعب، تبين بأن مدة حياة القمر الصناعي المكعب تزداد مع الارتفاع بشكل أسي وتتأثر بأربع بارامترات هي، كثافة الغلاف الجوي ومعامل الانجراف الأيروديناميكي والوزن ومساحة السطح الأمامي، تبين أيضاً بأن لكثافة الغلاف الجوي عند نشاط إشعاع شمسي منخفض تجعل مدة الحياة أطول مقارنة مع كثافة الغلاف الجوي عند نشاط إشعاع شمسي معتدل ومرتفع على الترتيب، إضافة إلى ذلك عندما تكون كثافة الغلاف الجوي بنشاط إشعاع شمسي مرتفع تسبب نقصان شديد في مدة حياة القمر والتي تصل إلى 250.7 يوماً في أحسن حالاتها، كذلك عند تناقص مساحة سطح القمر الصناعي المكعب تزداد مدة حياته، أما عند ازدياد وزنه أيضاً تتزايد مدة الحياة، في حين أن تناقص قيمة معامل الانجراف الأيروديناميكي تسبب زيادة مدة حياة القمر الصناعي المكعب.

6- التوصيات

1- دراسة مدة حياة القمر الصناعي المكعب على أنواع مختلفة من الأقمار الصناعية ذات أحجام وأشكال مختلفة كالأسطوانية.

2- إجراء دراسة لمدة حياة القمر الصناعي المكعب تتعلق بالمواد التي يصنع منها هيكل القمر الصناعي ومدى فعاليتها في تحسين مدة الحياة.

3- دراسة مدة حياة القمر الصناعي المكعب على مدارات مغايرة عن التي درسنها وذات ارتفاعات مختلفة.

4- دراسة تأثير الخلايا الشمسية المستخدمة لشحن البطاريات الموجودة ضمن القمر الصناعي المكعب على مدة حياته.

7- المراجع

[1]- PIÑEROS,J.O.M; SANTOS,W.A;PRADP,A.B. *Analysis of the orbit lifetime of CubeSats in low Earth orbits including periodic variation in drag due to attitude motion*. Advances in Space Research. Vol. 67, Issue 2, 15 January 2021, (902-918).

[2]- CHEN,Z. *Universal CUBESAT Platform Design Technique*.MATEC Web of Conferences 179, 01002 (2018).

[3]- KERR,E; MACDONALD,M. I*ncorporating Solar Activity into General Perturbations Analysis of Atmospheric Friction*. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, G1 1XJ.2011.

[4]- *CHIHA,B;SBERA,R. Studying the effects of the external disturbances on a 1U CUBESAT. Tishreen University Journal*,vol.43,No.4,2021.

[5]- BROCCIA,G. Cubesats in Low Earth Orbit: Perils and Countermeasure. LA REVUE GESTION ET ORGANISATION , 2014.

[6]- QIAO,L; RIZOS,C; DEMPSTER,A.G. Analysis and Comparison of CubeSat Lifetime. Australian Centre for Space Engineering Research, School of Surveying and Geospatial Engineering, University of New South Wales, Sydney,Australia,2011.

[7]- KEDARE,S.S. *Space Environment Modelling and Torque-Optima Guidance for CubeSat Applications*.Carleton University,2014.

[8]- CECIO,F.D. *Modeling and simulation of a CubeSat atmospheric re-entry trajectory*. Aerospace Engineering,Bologna,2019.

[9]- GEUZAINE,C; LAVET,V.F. *Study of passive and active attitude control systems for the OUFTI nanosatellites*. University of Liège ,2010.

[10]- *COSPAR INTERNATIONAL REFERENCE ATMOSPHERE* (CIRA-2012).

[11]- KENYO,K.E. *ATMOSPHERE'S SCALE-HEIGHT: A COMMENT*. European International Journal of Science and Technology, Vol. 9 ,No. 12 ,December 2020.

[12]-MEEHAN,J.L. *29-Day Analysis of Scale Heights and the Inference of the Topside Ionosphere Over Millstone Hill During the 2002 Incoherent ScatterIonosphere Over Millstone Hill During the 2002 Incoherent Scatter Radar CampaignRadar Campa*.UtahState University UtahStateUni.8-2017.