

HEDEFLenen YÖRÜNGE ÇEVRESİNDEKİ KÜÇÜK UYDU VE UZAY ÇÖPLERİNİ TOPLAMA GÖREVİNİN KAVRAMSAL TASARIMI

Seda AYDIN¹
TÜBİTAK UZAY, Ankara

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HELVACI²
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

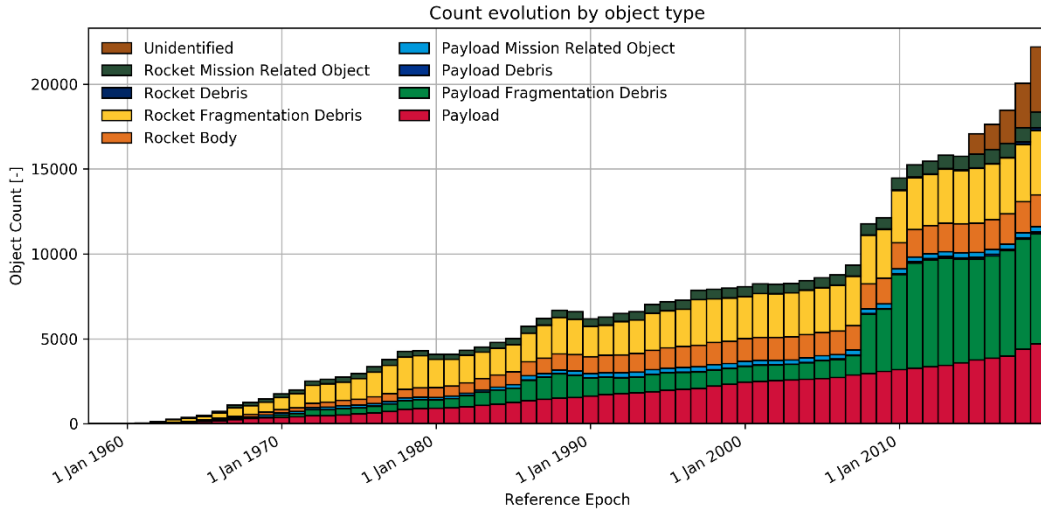
Gün geçtikçe giderek artan uzay çöpleri, mevcut görevlerin yanı sıra yeni fırlatılacak görevler için de risk oluşturmaktadır. ESA (European Space Agency)'nin Şubat 2020 yayınına göre, Yer yörüngesinde boyutları 10 cm'den büyük 34 000, 1-10 cm arası 900 000, 1 mm – 1 cm arası 128 000 000 adet cisim dolanmaktadır [ESA Space Debris Numbers, 2020]. Aynı yörüngede ve yakın hızlarda hareket eden uydu ve uzay çöpü çarpıştığında, uyduda yaklaşık 10 km/s bir etki oluşturabilmektedir. Bu çarpışmalarda, 10 cm çapındaki bir cisim uyduda çok büyük hasara neden olurken, 1.0 cm çapındaki bir cisim çarpıştığında uydu çalışamaz hale gelebilmekte, 1.0 mm çapındaki cisim ise uydunun alıcılarını bozabilmektedir. Yerdeki gözlem sistemleriyle büyük cisimlerin yörüngeleri tespit edilebilirken küçük cisimler için bu sistemler yetersiz kalmaktadır. Mevcut ve özellikle yeni görevlerin küçük cisimlerle çarpışma riskini azaltabilmek için uzay görev tasarımının konsepti bu çalışmada yapılmıştır. Tasarımda, belirlenen hedef yörünge ve çevresinin gözlemlenmesi, cisimlerin toplanması ve görevin yörüngeden çıkartılmasını kapsamaktadır.

GİRİŞ

1957'de fırlatılan ilk yapay uydu olan Sputnik-1 ile uzaya görevler gönderilmeye başlanmış ve günümüzde aktif uydu sayısı 2000'i aşmıştır. Uzayda aktif uyduların haricinde pasif uydular ile birlikte farklı boyutlarda uzay çöpleri de yer yörüngesinde dolanmaktadır (Şekil 1). Yer yörüngesinde toplamda 8800 tondan fazla uzay cismi bulunmaktadır. Uzay cisimlerinin gözlemlenmesinde farklı sistemler kullanılmaktadır. Başlıca gözlem sistemleri RADAR (Radio Detecting and Ranging), LIDAR (Light Detection and Ranging) ve AO (Adaptive Optics)'dir. Bu sistemler yerden ve uzaydan gözlemlenmesi sonucu uzay cisimleri kataloglamaktadır. Yerden gözlemlerle boyutu 10 cm'nin üzerinde olan cisimlerin kataloglanması sağlanabilmektedir.

¹ Uzman Araştırmacı, Yönelim ve Yörünge Kontrol Sistemleri Grubu, E-Posta: seda.aydin@tubitak.gov.tr

² Dr. Öğretim Üyesi, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama, Bilişim Enstitüsü, E-Posta: helvacim@itu.edu.tr



Şekil 1 Uzaydaki cisimlerin yıllara göre dağılımı [ESA Space Debris Analysis, 2020]

Giderek artan uzay çöpleri insanlı uzay araçlarının yanı sıra yüksek bütçelerle yapılan görevler için de tehlike oluşturmaktadır. LEO (Low Earth Orbit)'da bu tehlike oranı daha yüksektir. NASA (National Aeronautics and Space Administration)'da görev yapan bilim insanı Kessler'e göre her bir çarpışmanın daha fazla uzay çöpü yaratacağını ve daha fazla uzay çöpünün daha fazla çarpışmaya yol açacağını ileri süren bir makaleyi 1978 yılında yayınlamıştır [Kessler, Cour-Palais, 1978]. İki büyük çarpışma olan Feng Yun-1C uydusavar testi (2007) ve Iridium 33 – Cosmos 2251 çarpışması (2009), Kessler Sendromu'nu destekler niteliktedir.

Yeni uzay görevleri, ateşlemelerle kataloglanan çöplerden kaçabilmektedir. Ancak, boyutu 10 cm'nin altındaki cisimler hala büyük risk taşımaktadır. Uzay çöplerini azaltan görevlerin de maliyeti yüksek olabilmektedir. Gelecekte çöpler önlenemez riskler oluşturacağından, belirli bir hedef yörünge ve çevresi için, küçük boyutlu cisimleri küçük takım uydularıyla azaltılmasının kavramsal tasarımından bu bildirimde bahsedilecektir.

YÖNTEM

Uzay Çöpleri, irtifası 600 km'nin aşağısında birkaç yıl, 800 km civarında onlarca yıl, 1000 km üstünde yüzyıllar boyunca yer yörüngesinde dolanmaktadır. Yakın gelecekte katlanarak artan uzay çöplerinden korunabilmek için yeni görevler, daha fazla yakıt ihtiyacı duyacaklardır. Yakıt artışı görevin boyutunu ve sonucunda maliyetini artırmaktadır. Ortalama bir uzay görevinin fırlatmaya kadar hazırlanma süresi 5 yıl civarındadır. Yeni uzay görevi için fırlatma yörüngesi belirlendikten sonraki aşamada, bağımsız olarak ucuz maliyetli küçük boyutlu uzay çöpü azaltma göreviyle, ana uzay görevinin az tehlikeli ve maliyetini azaltacak şekilde görevine başlayabilmesi sağlanabilir.

Günümüzde küçük uydu görevleriyle birçok alanda uzayda denemeler yapılmaktadır. Bu denemeler uzay çöpü popülasyonunu da artırmaktadır. Diğer yandan maliyeti düşük küçük uydulardan yararlanarak uzay çöpü azaltılmasına gidilebilir.



Şekil 2 Uzay Çöpü Toplama Takım Uydu Genel Yapısı

Uzay çöpü azaltma görevinde küçük uydu takımı oluşturulması hedeflenmektedir. Bu takımda bir adet Ana Uydu ve hedef yörünge türüne göre sayısı belirlenecek Görev Uydular yer almaktadır (Şekil 2). Ana Uydu'nun temel görevi görev uydularını yönetmek, yer ile haberleşmeyi sağlamak ve yörünge çevresini taramaktır. Ana Uydu üzerinde yörünge çevresindeki çöpleri taramak ve tespit etmek için RADAR/LIDAR gözlem sistemlerinin çalışma prensibine göre sensör bulunmaktadır. Ayrıca, bu sensör, görev uydularının başarısız olması halinde, uyduların konumunun tespiti için de kullanılmaktadır. Yer istasyonu ve Görev Uyduları ile haberleşmeyi sağlayan haberleşme sistemi, ateşleme için itki sistemi kullanılmaktadır. Görev Uyduları, itki sistemi ile küçük ateşlemeler yaparak tüm yörünge çevresinde gezinmekte ve üzerindeki poliüretan köpük ile yüzeyine çarpan küçük cisimleri toplamaktadır. Her uydunun görev bitiminden sonra açılabilir yelken yapısı barındırarak daha hızlı uyduların atmosfere girişi sağlanabilir.

İlk olarak, belirli bir uydu görevinin, yörüngeye yerleştikten sonra ateşleme yapmadığını varsayarak, kuvvet modellerine göre yörünge evrimi belirli bir süre için çıkartılır. Yörünge evrimine göre yörünge üzerinde taranacak alan ve süreye göre Görev Uydu sayısı belirlenir. Küçük uydu takımı yörüngeye yerleştikten sonra Ana Uydu, sensörle yörünge çevresini tarayarak uzay cisimleri hakkında konum bilgisini toplar.

Görev Uyduları ise, yörüngeye yerleştikten sonra, poliüretan köpük sistemi aktif hale getirilerek belirli bir seviye köpüğün uydu yüzeyine kaplanması sağlanır. Köpük yüzey sayesinde üzerine çarpan cismin kuvvetini sönmemesinin yanı sıra, çöpün görev uydusuna kenetlenmesi sağlamaktadır. Görev Uyduları'na belirli periyotlarla, belirlenen delta-V hızda görev uydusunun gidiş yönünde (along track) ateşlemeler yapılarak, o düzlemdeki tüm alan taranır. Daha sonra yörünge evrimine göre düzlem geçiş yönüne ateşleme yapılarak, aynı gidiş yönü ateşlemeleriyle düzlem taraması yapılır. Bu şekilde süreç devam edilerek yörünge evrim düzlemleri taranarak görev tamamlanır. Görev tamamlanma sonrası poliüretan köpük sisteminden kalan malzeme yüzeylere aktararak Görev Uyduları'nın erken atmosfere giriş sağlanır.

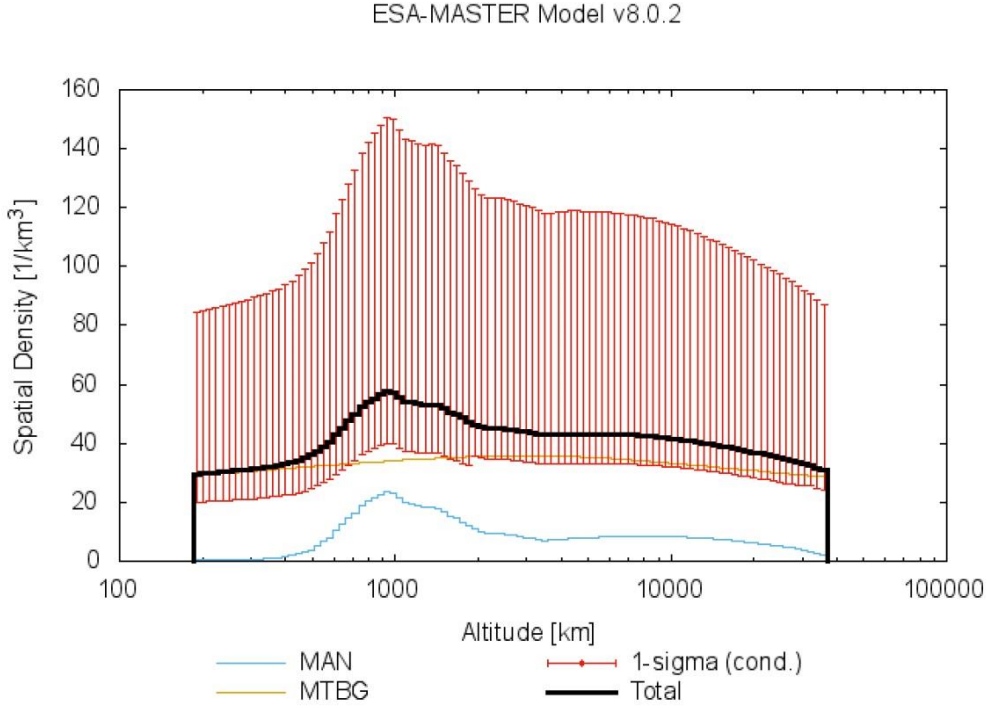
UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Küp uydu trendi ile özellikle LEO'da uzay çöplerinin miktarı katlanarak artmaktadır. Gelecekte internet erişimi için kullanılacak uyduların sayısı göz önüne alındığında bu miktar daha da artacağı aşikârdır. Sadece SpaceX'in Starlink uydularının [Starlink, 2020] uzayda toplamda 42000'e çıkartılması hedeflenmektedir.

Uzay görevleri için fırlatılan roket gövdeleri çöp olarak uzayda kalırken, teknolojiyle tekrar kullanılabilir halde yer yüzeyine indirilebilmektedir. Bu durum fırlatma maliyetlerinin düşürmesinin yanı sıra roket gövdelerinin uzayda çöp olarak dolanmasına da engel olmaktadır. Benzer olarak uyduların ateşleme sistemleriyle görevlerinin sonlarında GEO (Geostationary Orbit)'da enkaz

yörüngesine gönderilirken, LEO'da daha alçak irtifaya ateşleme yapılarak veya yelken sistemleri kullanılarak atmosfere daha yakın zamanda giriş yapılması sağlanmaktadır.

Uzay çöplerini azaltmakta birçok AR-GE (Araştırma- Geliştirme) çalışması yapılarak farklı yöntemler denenmektedir. Fırlatılan uzay görevlerinin sayısı ile uzay çöpu azaltma projelerinin sonuçları, uzaydaki temiz alanı dengeleyememektedir. Uzay çöplerini azaltmak maliyet gerektirdiğinden, belirli bir zaman sonra uzay alanındaki kuruluşların, bu durumun önüne geçemeyeceği öngörülmektedir. ESA – MASTER programı [ESA MASTER, 2020] ile 2020 yılı için uzaysal yoğunluk grafiğine (Şekil 3) bakıldığında 1000 km irtifalarda yoğunlukta artış olduğu gözlenmektedir (MAN: insan yapımı, MTGB: Meteoroid).

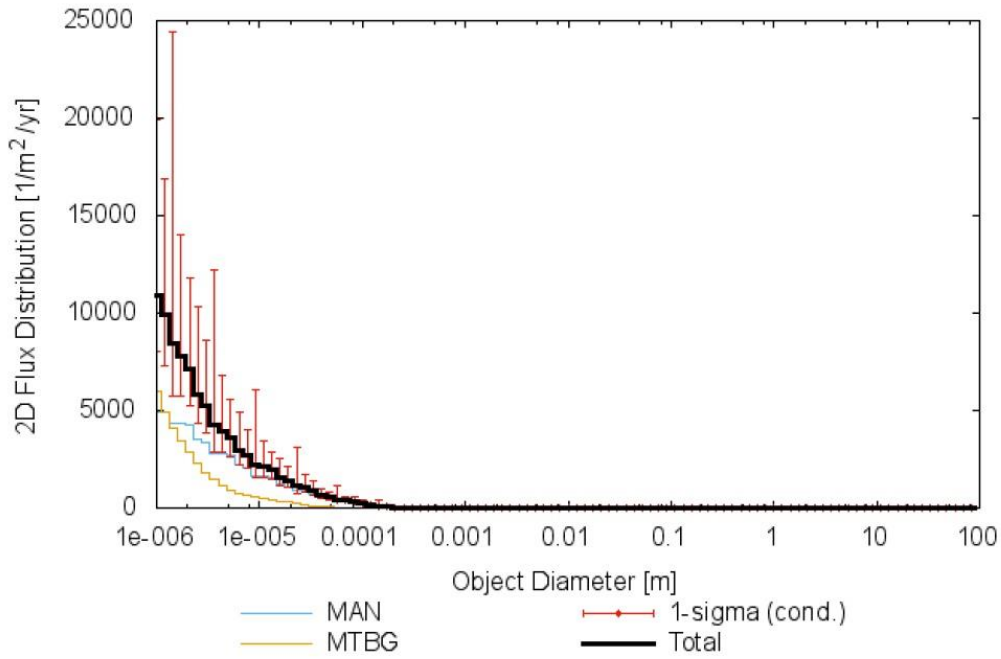


Şekil 3 ESA MASTER Uzaysal Yoğunluk- İrtifa Grafiği

Yerdeki uzay gözlem sistemleriyle çapı 10 cm'den büyük cisimler gözlemlenmekte ve yörüngeleri kataloglanmaktadır. Ancak, daha düşük boyuttaki cisimler için yerdeki sistemler yetersiz kalmaktadır. Çarpışma uyarısıyla uydulara ateşleme yaptırılarak, uydular büyük cisimlerden kurtulabilmektedir.

İrtifası 700 km, ağırlığı 700 kg olan bir uydunun 1 yılda maruz kalacağı cisimlerin çapına göre akı dağılım grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. Grafikte çapı 10 cm'nin altındaki cisimler için akı yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir.

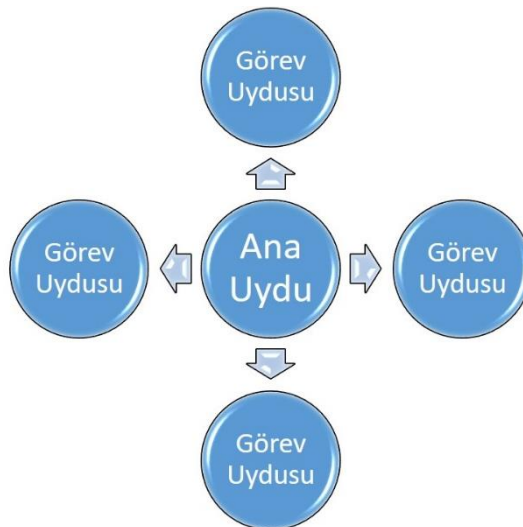
ESA-MASTER Model v8.0.2



Şekil 4 ESA MASTER Uzay Çöpü Akı- Cisim Çapı Grafiği

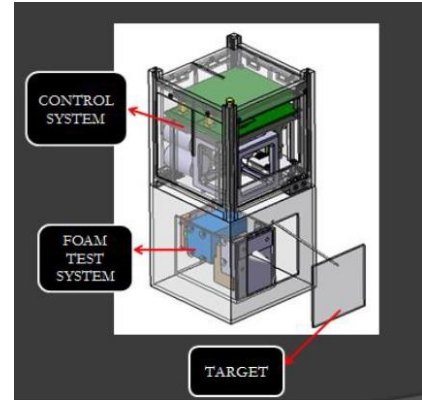
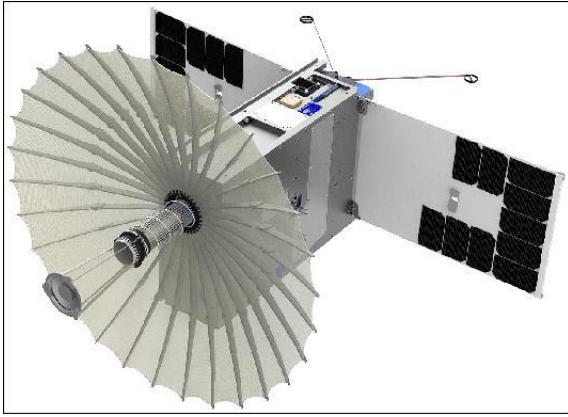
Küçük Uydu Takımı ile Uzay Çöpü Azaltma Konsepti

Artan uzay çöplerinden kaçınabilmek ve uyduların ömrünü artırabilmek için daha fazla yakıt gerekmektedir. Bu durum gelecekteki uzay görevlerinin maliyetini de artırmaktadır. Ancak, yakıt artırılarak alınacak önlem, küçük boyutlu cisimlerle uydunun çarpışma riskini azaltamamaktadır. Bu konseptte LEO'da bir uzay görevinin ömrü boyunca bulanabileceği yörünge alanları küçük uydularla taranarak boyutu 10 cm'nin altındaki cisimlerin toplanması amaçlanmaktadır. Bu şekilde, yeni fırlatılacak görevler için, giderek artan küçük boyutlu cisimlerle uyduların öngörülemeyen çarpışma risklerinin azaltılması sağlanabilecektir.



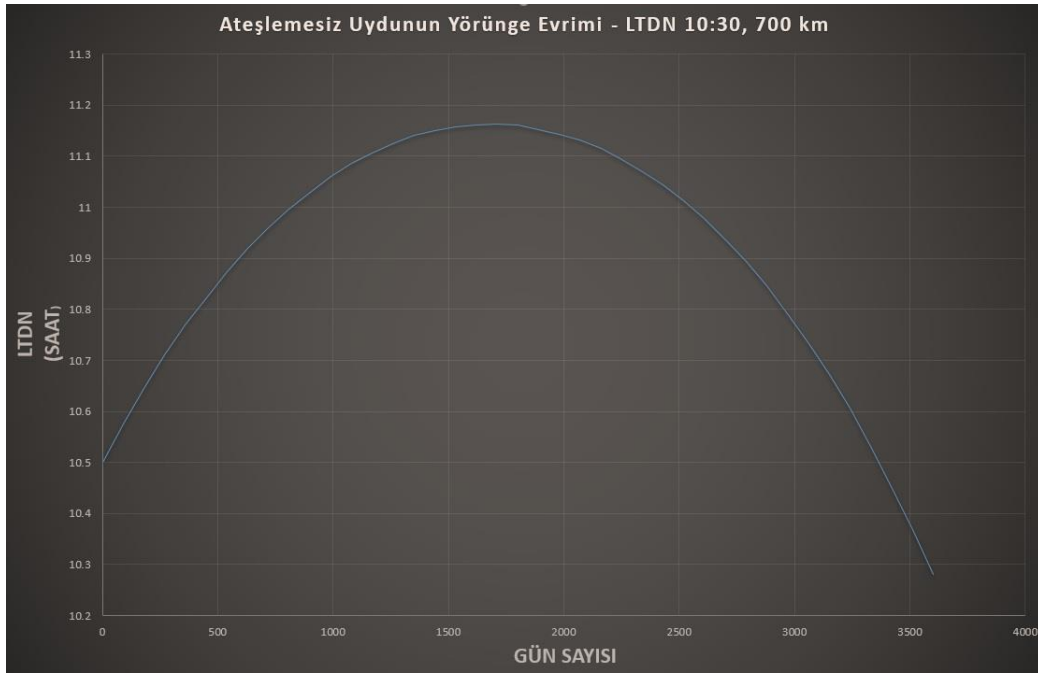
Şekil 5 Takım Uydu Haberleşme

Konsepte, bir adet Ana Uydu, uydu takımlarının kontrol merkezi görevi üstlenmektedir. Görev Uyduları, Ana Uydu ile haberleşebilmekte, Ana Uydu'dan görev planı alabilmektedir (Şekil 5). Ana Uydu üzerinde taranacak yörünge düzlemlerini kapsayacak güçte sensör bulunmaktadır. Güç miktarının az olması sebebiyle küçük takım uydu konsepti korunacaktır. Sensörün amacı, küçük boyutlu cisimlerin yoğunluklarını ve konumlarını saptamaktır. Şekil 6 (a)'da RainCube [Peral,Tanelli, Statham, 2019] uydusunun görseli yer almaktadır. Bu bilgiler, Yer İstasyonu'nda işlenerek görev planlamasının oluşturulması hedeflenmektedir. Görev Uyduları'nda ise Poliüretan Köpük Sistemi [Piergentili, Battagliere, Candini, 2011] (Şekil 6 (b)) bulunmaktadır. Yaklaştığı uzay çöpünün boyutuna göre yeterli miktarda dışarı köpük çıkartılarak uzay çöpünün Görev Uydusu'na tutunması sağlanır.



Şekil 6 (a) RainCube [Peral,Tanelli, Statham, 2019] (b) Poliüretan Köpük Sistemi [Piergentili, Battagliere, Candini, 2011]

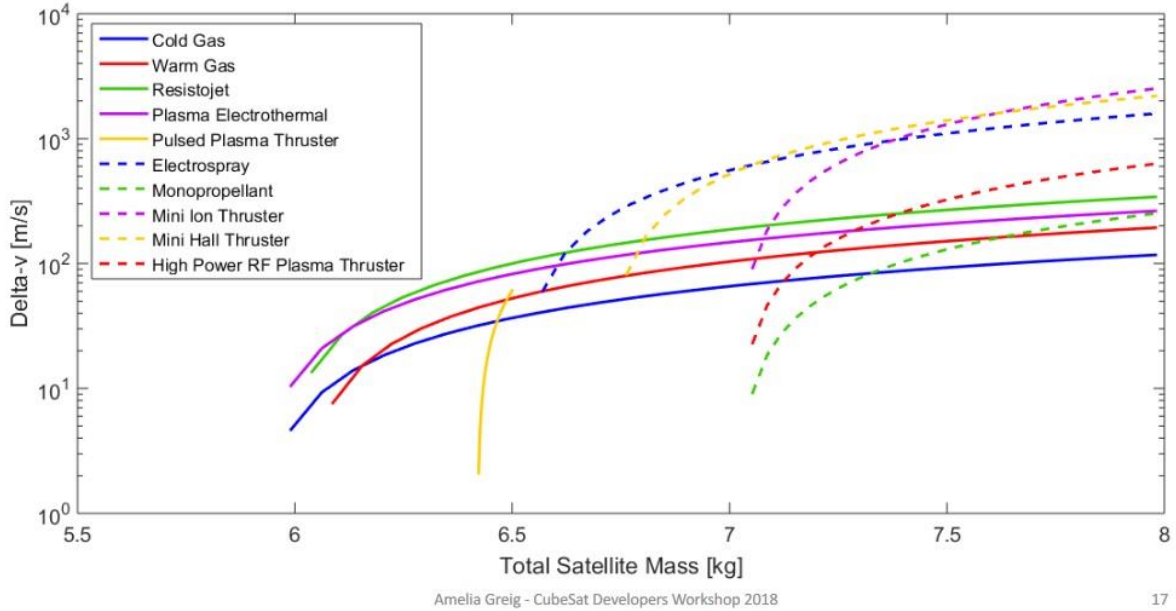
LEO'da, 700 km irtifada, Güneş-senkron LTDN (Local Time of Descending Node) 10:30 yörüngede yeni bir uydu görevinin fırlatılacağını varsayalım. Bu uydu hiç ateşleme yapmadan bulunduğu yörüngedeki kuvvetlerden dolayı Şekil 7'deki grafikteki gibi yörünge evrimi gerçekleşmektedir. 10 yıllık evrim boyunca 10:30 düzleminden yaklaşık 11:15'e kadar çıkmakta, 10:00 düzlemine doğru evrimleşmektedir.



Şekil 7 Uydunun Yörünge Evrimi

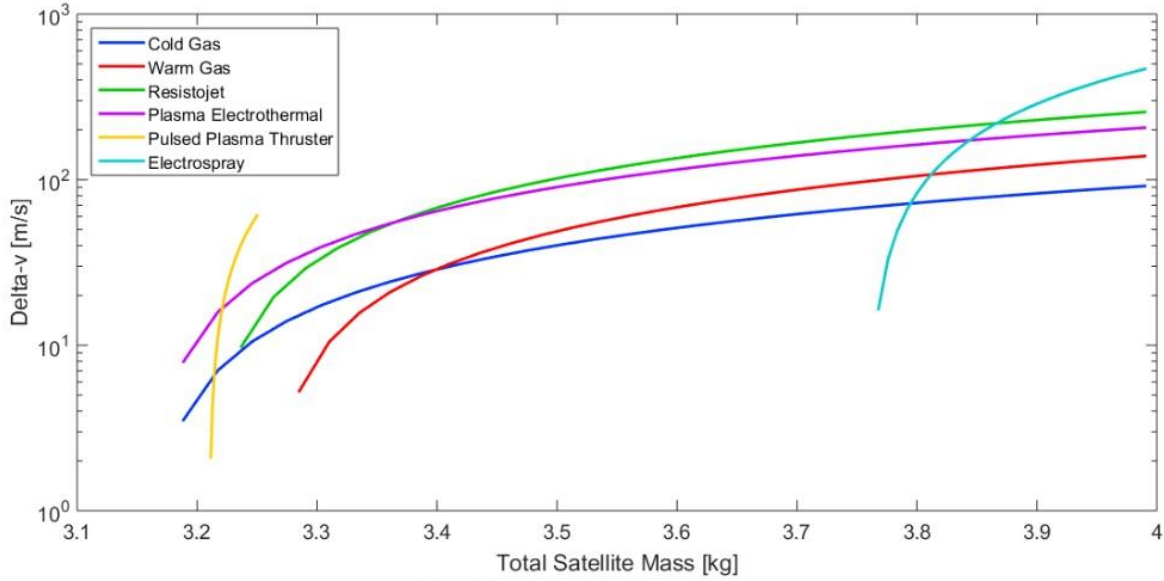
Yörünge evrimine göre küçük takım uydularının yakıt miktarı ve türüne göre Görev Uydu sayısı belirlenir. Şekil 8-9'da 6U ve 3U uyduları için yakıt türlerine göre gereken delta-V değerleri gösterilmiştir. Ana Uydu 6U, Görev Uyduları 3U boyutlarında olduğu varsayılırsa, yakıt olarak maliyeti düşük soğuk gaz kullanılması halinde 50-100 m/s aralığında delta-V sağlanmaktadır [Greig, 2018].

Results – 6U delta-V



Şekil 8 6U Uydu İtici Yakıtları için Delta-V- Kütle Eğrileri [Greig, 2018].

Results – 3U delta-V

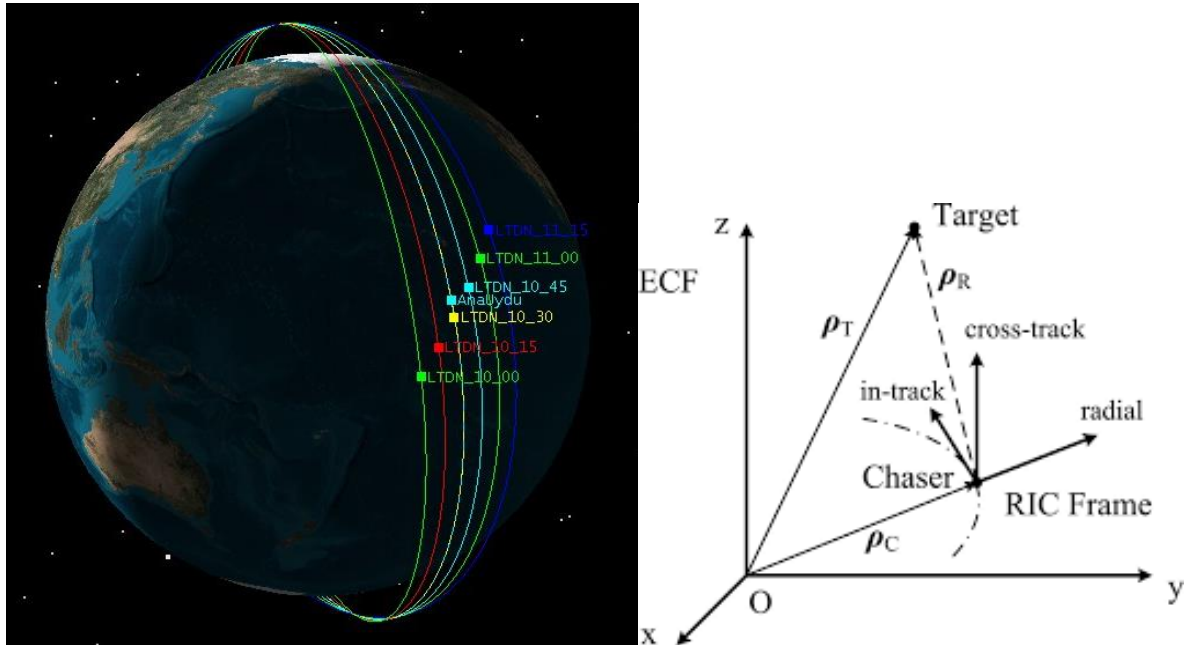


Amelia Greig - CubeSat Developers Workshop 2018

15

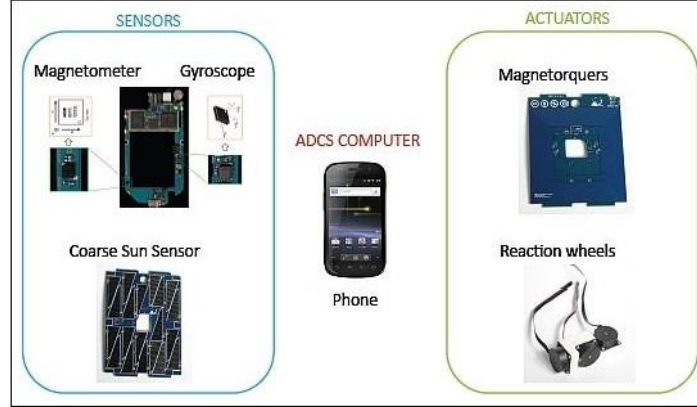
Şekil 9 3U Uydu İtki Yakıtları için Delta-V- Kütle Eğrileri [Greig, 2018].

İtki sistemi ile birlikte küçük uyduların görev ömrünün kısıtlı olmasını da dikkate alarak, Görev Uydu sayısı belirlendikten sonra, belirli periyotlarla along track (in-track) yönünde ateşlemeler yapılarak bulunduğu düzlemi Görev Uyduları tarar. Düzlem tarandıktan sonra, cross track (yörünge düzlemine dik yön) yönünde küçük düzlem değişikliğine geçilir. Şekil 10 (a)'da Ana Uydu 10:30 düzleminde, Görev Uyduları 10:00-11:15 arası 15 dakika aralıklı düzlemlerde dizilmiştir. LTND 11:15, kendi düzlemini taradıktan sonra 11:00 düzlemine doğru kayarak tarama işlemleri gerçekleştirilir. Benzer şekilde diğer düzlemdaki Görev Uyduları 5'er dk. düzlem kayması ile tarama işlemini gerçekleştirir.



Şekil 10 (a) Ana ve Görev Uyduları'nın Düzlemler üzerinde Dağılımı, (b) Uydu Üzerinde RSW Referans Koordinat Sistemi Gösterimi

Takım uyduları Ana Uydu ile haberleşmeyi kesmeden diğer Görev Uyduları'yla koordinasyonlu şekilde görevlerini tamamlaması gerekmektedir. Görev bitiminde Görev Uyduları üzerinde kalan köpükler salınır, böylelikle görevi biten küçük uydular sürtünme ile atmosfere girişi hızlandırılır. Takım uydularda görevi daha hızlı sonlandırmak için yelken sistemleri de kullanılabilir.



Şekil 11 PhoneSat Uydusunun Sistem Yapısı [ESA PhoneSat, 2020]

NASA'nın PhoneSat [NASA Town Hall Meeting, 2012] görevleriyle cep telefonu teknolojisi uzay alanında kullanılmaktadır. ADCS (Attitude Determination and Control Subsystem) altsisteminde Android İşletim Sistemi kullanılarak uydunun yönelim ve yörünge belirleme görevleri yapılmaktadır (Şekil 11). Android ya da IOS (iPhone Operating System) İşletim Sistemi'ne sahip cep telefonları uzay alanına uyarlanarak uçuş bilgisayarı olarak görev yapabilir.

SONUÇ

İlk uydunun fırlatılmasından bu yana Dünya yörüngesinde farklı boyutlarda birçok uzay çöprü dolanmaktadır. Boyutu büyük olan cisimler yerden gözlemlenebilmekte ve aktif uydular bu cisimlerden kurtulabilmektedir. Diğer taraftan boyutları yerden gözlemlenemeyecek kadar küçük cisimler uydulara zarar vermekte ve gün geçtikçe sayıları artmaktadır. Yakın gelecekte büyük boyuttaki uzay çöpleri (roket gövdeleri, görevi bitmiş uydular vs.) farklı yöntemler kullanılarak, uzay çöprü toplayan projelerle, uzayda sayıları azaltılabilir. Ancak, uzayda sayısı giderek artan küçük uydu ve uzay çöpleri için çarpışma sonuçları (Kessler Sendromu) dikkate alındığında, çözüm üretme ihtiyacı doğacaktır. Çarpışmalar ile çöplerin artması ve aktif uyduların görev ömürlerinin azalması uzayda belediyeçilik anlayışına itecektir. Bu durumda, uzayda şirketleşmelerle uydu fırlatılmadan önce uydunun fırlatılacağı yörüngeyi çöplerden temizleme hizmetinin verilmesi öngörülmektedir. Bu çalışmada, yakın gelecekteki Dünya yörüngesindeki çöp sorunu için belirlenen hedef yörünge ve çevresini küçük cisimlerden temizlenmesinin kavramsal tasarımından bahsedilmiştir. Bu sistem ile proje aşamasında fırlatılacak olan uzay görevinin yörüngesi belirlendikten sonra, uydunun yörüngesinin yakın çevresindeki küçük boyutlu çöpler, uzay çöprü temizleme firmalarıyla düşük maliyetle toplanabilir. Bu konsept ile insansız uzay görevlerinin yakıt maliyetinin azaltılması ve uzay görevlerinin ömrünü uzatılması sağlanabilecektir. Ayrıca, uzayda çalışan astronotların ve yakın gelecekte uzay turizminin başlatılmasıyla turistlerin sağlığı açısından küçük uydu ve uzay çöprü toplama projesi yakın gelecekte önem arz edecektir.

Kaynaklar

ESA MASTER, <https://sdup.esoc.esa.int/master/> 20.07.2020

ESA PhoneSat 1-2, <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/p/phonesat-1-2>, Erşim Tarihi: 03.03.2020

ESA Space Debris Analysis, https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Analysis_and_prediction, Erşim Tarihi: 03.03.2020

ESA Space Debris Numbers, https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers, Erişim Tarihi: 03.03.2020

Greig, A., 2018 “Comparative Study of CubeSat Propulsion Systems”

Kessler,D.J., Cour-Palais, B.G., 1978 "Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt", Journal of Geophysical Research, Vol. 83, No. A6, sayfa 2637-2646.

Peral, E., Tanelli, S., Statham, S. 2019 “RainCube: The First Ever Radar Measurements From a CubeSat in Space”

Piergentili, F., Battagliere, M. L., Candini, G. P., 2011 “Redemption: A Microgravity Experiment To Test Foam For Space Debris Removal”

NASA Town Hall Meeting, “Small Spacecraft Technology,” NASA Town Hall Meeting, 2012 Small Satellite Conference, Utah State University, August 13, 2012, URL: http://www.nasa.gov/pdf/675932main_SmallSat_presentation_8_2012_Petro.pdf

Starlink, <https://www.starlink.com/>, Erşim Tarihi: 03.03.2020