

UZAY ÇÖPLERİYLE MÜCADELEDE

# teknolojik adımlar

İlay Çelik Sezer [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Farkında olsak da olmasak da modern hayatta sahip olduğumuz pek çok imkân yeryüzünden yüzlerce, binlerce kilometre yükseklikte dünya yörüngesinde dolanan uyduların ve başka uzay araçlarının işlevlerine bağlı. Uzay denince gözümüzde genellikle sessiz ve sakin bir boşluk canlansa da gezegenimizi çevreleyen yörüngeler bu sıfatlardan hayli uzak bir kalabalığa ve trafiğe sahip. Bu kalabalığın bir kısmını kontrol edilebilen aktif uydular ve uzay araçları oluştururken önemli bir kısmını ise uzay çöpleri adı verilen farklı büyüklüklerdeki çok sayıda nesne oluşturuyor.

İşte tamamı insanlığın uzay faaliyetleri sonucunda oluşmuş bu atıklar, yine tüm uzay faaliyetlerini giderek artan şekilde tehdit ederek tüm insanlık için önemli bir risk oluşturuyor. İşin kötüsü, uzaya gönderilen araçların sayısı son yıllarda hızla arttığı için uzay çöplerinin de buna bağlı olarak hızla artacağı öngörülüyor. Bu yüzden de uzay çöplerinin artışının durdurulmasına ve var olanların temizlenmesine yönelik girişimler gitgide önem kazanıyor.



**E**ep telefonlarından navigasyon sistemlerine, TV yayınlarından hava durumu tahminlerine, günlük hayatımızı kolaylaştıran ve aslında artık neredeyse temel ihtiyaçlarımız hâline gelmeye başlayan pek çok teknoloji, uyduların sağlıklı şekilde işlemesine dayanıyor. Uydular günlük hayatlarımızın ötesinde de bilimsel, ticari ve askeri pek çok amaç için vazgeçilemeyecek ve yeri başka teknolojilerle doldurulamayacak imkânlar sağlıyor. Dolayısıyla uyduların herhangi bir şekilde zarar görerek işlevini yitirmesi hem ekonomilerimiz hem de yaşamlarımız açısından felaketle sonuçlanabilir.



# Uzay Giderek Kalabalıklaşıyor

Astronomların ve başka ilgililerin uzay çöpleriyle ilgili kaygıları 1960'lara dayanıyor. 1963'te ABD ordusu, yüksek irtifalı nükleer denemelerin, atmosferin radyo dalgalarını uzak mesafelerden yansıtmasını sağlayan iyonosfer katmanını yok etmesi durumunda radyo iletişimini sürdürülebilmek amacıyla Dünya yörüngesine milyonlarca minik bakır iğne gönderdi. Gönderilen iğneler gerçekten de yansıtıcı bir kuşak oluşturdu. İlerleyen yıllarda iğnelerin çoğu doğal biçimde yörüngeden çıkıp atmosfere düşse de uzayın "kirlenmesine" ilişkin kaygılar projenin sonlandırılmasına katkı sağladı. Bu olaya uzayın tıpkı Dünya yüzeyi gibi kirlenmeye karşı korunması gereken bir "çevre" olarak algılanmaya başlandığı bir milat olarak tarihe geçti.

İnsanın uzayda faaliyet gösterdiği yaklaşık 60 yılda gerçekleşen 5500'e yakın fazla uzay aracı kalkışı sonucunda, yörüngede 42.000 civarında takip edilebilir nesne birikti, bunların yaklaşık 22.300 kadarı hâlâ uzayda ve ABD Uzay İzleme Ağı tarafından düzenli olarak takip ediliyor. Alçak Dünya Yörüngesi'nde (yerden 200-2000 km yükseklikteki bölge) bulunan yaklaşık 5-10 cm'den büyük çaplı ve Dünya ile Senkronize Yörünge'de (yerden yaklaşık 35.800 km yükseklikteki yörünge) bulunan yaklaşık 30 cm-1m'den büyük çaplı bu takip edilebilir nesnelere yeryüzünden yapılan radar temelli ve optik ölçümlerle izlenip ABD Uzay İzleme Ağının kataloğunda kayıt altında tutuluyor. Bu nesnelerin sadece 1950 kadarını sağlam ve çalışır hâldeki uydular oluşturuyor. Tüm bu nesnelere toplamda 8400 tonun üzerinde bir kütleyle sahip. Bazı özelleşmiş sensörlerle santimetreden küçük ölçekli nesnelere de tespit edilebiliyor ancak bunlar çoğunlukla kataloglanamıyor ve hangi uzay aracından kaynaklandıkları kestirilemiyor. 1 mm'nin altındaki daha küçük uzay çöplerinin varlığı ise uzaydan dönen donanımların üzerindeki darbe izlerinin incelenmesi ve uzaya çöp takibi için özel olarak gönde-

rilen dedektörler yoluyla çıkarsanıyor. Çöp miktarlarını belirlemek amacıyla geliştirilen modellerle yapılan hesaplamalara göre, 10 cm'den büyük çöplerin sayısı yaklaşık 34.000, 1-10 cm büyüklükteki çöplerin sayısı yaklaşık 900.000 ve 1 mm-1 cm büyüklükteki çöplerin sayısı yaklaşık 128 milyon olarak tahmin ediliyor.

Uzay çöpü miktarındaki iki ani artışın biri, 2007'de Çin hükümeti kendine ait bir uyduyu füzeyle vurduğunda, diğeri ise 2009'da Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) aktif hâldeki uydusuyla Rusya'nın işlevsiz hâldeki uydusu çarpıştığında gerçekleşti. Avrupa Uzay Ajansının (ESA) uzay çöpleriyle ilgili Almanya Darmstadt'ta yerleşik ofisinin yöneticisi Holger Krag, bu olayların oluşturduğu binlerce parçanın ESA uydularının her yıl çarpışmadan kaçınmak için yapmak zorunda kaldığı ortalama 20 manevranın yaklaşık yarısından sorumlu olduğunu belirtiyor.

Sadece 2017 yılında, ticari şirketler, askeri ve sivil kurumlar ve amatörler Dünya yörüngesine 400'den fazla uydu gönderdi. Bu sayı 2000-2010 aralığındaki yıllık ortalamanın dört katıydı. 2018'de de yine 390'ın üzerinde cisim uzaya gönderildi. Bu yıllık sayının daha da artması bekleniyor. Elon Musk'ın SpaceX şirketi uzaydan internet ağı sağlamak amacıyla 12.000 uydu göndermek için izin aldı. OneWeb de yine aynı amaçla 900 kadar uydu göndermeyi planlıyor. ABD'deki Morgan Stanley yatırım bankasının tahminlerine göre, küresel uzay endüstrisinin bugün 350 milyar ABD doları civarındaki hacmi 2040'a gelindiğinde 1,1 trilyon ABD dolarına ulaşacak. Bu istatistikler uzaydaki çöp miktarının da uydu sayısına bağlı olarak ne kadar hızlı artacağını gösteriyor.

# KESSLER SENDROMU

Uzay çöpleriyle ilgili asıl korkutucu olan çöp sayısının kümülatif olarak artmasından ziyade Kessler Sendromu olarak adlandırılan bir olgu sonucunda çöp sayısının katlanarak artması ihtimali. NASA araştırmacısı Donald J. Kessler'in 1978'de ortaya koyduğu bu senaryoya göre, uzay çöpleri belirli bir yoğunluğa ulaştığında birbirleriyle ya da aktif uzay araçlarıyla çarpışmaya başlayıp zincirleme çarpışma olayları tetikleyecek. Yani bir nesne başka bir nesneyle çarpışınca çevreye saçılan parçalar başka nesnelere çarpacak ve o çarpışmalardan da çevreye başka

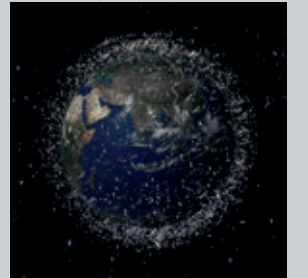
parçalar saçılacak. Zincirleme çarpışmalar böyle devam edince de Dünya yörüngesindeki tüm aktif cihazlar bozulup işlevini yitirecek. Daha da kötüsü, Dünya yörüngesi uzay görevleri için kullanılamaz hâle gelecek. İşte, uzay çöplerinin bir an önce bertaraf edilmesi gereken acil bir sorun oluşturmasının sebebi de bu.

Uzaya hiçbir yeni cisim göndermesek bile patlamalar ve var olan çöpler arasındaki çarpışmalar sonucu çöp miktarının katlanarak artacağını gösteren simülasyonlar Kessler'in öngörüsünü doğruluyor. Bu durum, uzay çöplerinin artışı durdurmaya yönelik tedbirlerle yetinilmeyip mevcut çöplerin aktif olarak yörüngeden uzaklaştırılması gerekliliğini de beraberinde getiriyor. İşte bu yüzden özellikle son yıllarda uzay çöplerinin Dünya yörüngesinden uzaklaştırılmasını amaçlayan çok sayıda

## Uzay Çöplerini Temizleme / Çöp Oluşumunu Azaltma Projeleri

### Space Fence ile Gelişmiş Nesne Takibi

Teorik olarak Dünya'nın çevresinde tüm uyduların birbirlerine yaklaşmadan güvenle uçmasına rahatlıkla yetecek yer olması gerekiyor. Bu yüzden de bazı bilim insanları uzay çöprü sorununa tüm uzay çöplerinin konumlarını yüksek hassasiyetle belirlemeye çalışarak çözüm arıyor. Bu gerçekleşirse bugünkü imkânlarla potansiyel çarpışma olarak öngörülen ancak aslında tehlikesiz olan yakınlaşmalarda gereksiz yere manevralar yapılmasına gerek kalmayabilir. ABD Hava Kuvvetlerinin Lockheed Martin adlı şirketle birlikte çalışarak geliştirdiği Space Fence isimli yeni radar sistemi işte bu amaca hizmet edecek. Space Fence uzay çöplerinin şimdikinden çok daha büyük bir hassasiyetle izlenebilmesini sağlayacak. Yer temelli bir radar sisteminden oluşan ve mevcut sistemlerle bağlantılı olarak çalışacak olan Space Fence, konumundan dolayı ve daha yüksek dalga boyu kullanacağı için mevcut sistemlerin tespit edemediğinden çok daha küçük mikro-uyduları ve uzay çöplerini tespit edebilecek.



proje geliştiriliyor. Üstelik bu iş gelecekte rutin bir hizmet sektörü oluşturabileceği için özel şirketler de bu alanda projeler üretmeye başladı. Öyle ki uzay ve teknoloji danışmanlık firması Technavio, uzay çöpü izleme ve temizleme pazarının 2022'ye gelindiğinde 2,9 milyar ABD dolarını bulacağını, çöp temizleme teknolojilerinin ise bu değer yarından fazlasını oluşturacağını tahmin ediyor.

ESA tarafından yapılan araştırmalar, nesne yoğunluğunun yüksek olduğu yörünge bölgelerinden çöplerin (yılda en az 5-10 büyük nesne olmak üzere) aktif olarak uzaklaştırılmasının uzay çöplerinin artışı dengeleyebileceğini, ancak bu müdahaleye hemen başlanması gerektiğini, aktif müdahalenin örneğin 2060'da başlamasının bugün başlamaya göre %25 daha az etkili olacağını gösteriyor.

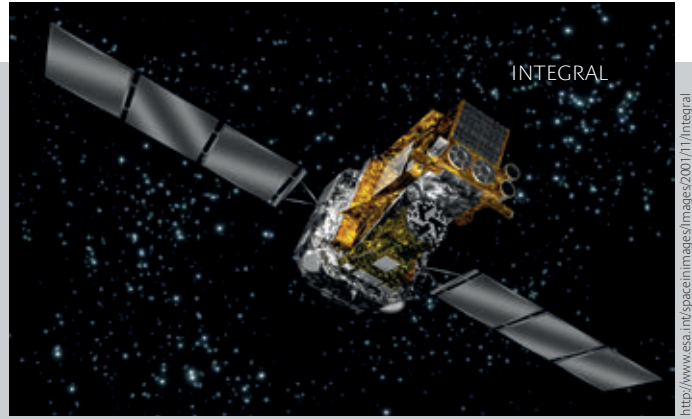
Ayrıca uydu operatörlerinin olası tehlikelerden çok daha vakitli haberdar olmasını sağlayacak. Space Fence'in Dünya yörüngesinde takip edilebilen nesne sayısını (yaklaşık 22.300) beş katına çıkarması bekleniyor. Space Fence'in sağlayacağı verilerin, mevcut uzay görevlerinin tehlikelerden korunmasına yardımcı olmanın yanı sıra çöp temizleme projelerine de katkı sağlama potansiyeli bulunuyor.

## Pasif Yolla Temizlik

Bazı uzmanlara göre ise uzay çöplerinden kurtulmanın en iyi yolu Güneş'in ve Ay'ın çekim kuvvetlerinin rezonansından yararlanarak uyduları güvenli biçimde yanarak yok olacakları şekilde belirli bir zaman dilimi içinde atmosfere sokmak. Tucson'daki (ABD) Arizona Üniversitesi'nden Aaron Rosengren bu yaklaşımı benimseyenler arasında. Rosengren bu fikri Orta Yükseklikteki Dünya Yörüngesi'ndeki uyduların akıbetleri üzerine çalışırken geliştirdi. Bu uydular, Alçak Dünya Yörüngesi'nin bittiği 2000 kilometreden yer sabit Dünya yörüngesinin başladığı 35.000 kilometreye uzanan aralıkta bulunuyor. Alçak Dünya Yörüngesi'ndeki uydular atmosfere girmeye zorlanarak yok edilebiliyor. Görece daha az trafiğe sahip



Don Kessler



yer sabit yörüngedeki uydularsa güvenli bir şekilde başka nesnelere hiçbir şekilde etkileşmeyecekleri "mezar" yörüngelere yerleştirilebiliyor. Ancak orta yükseklikteki Dünya yörüngesinde uydular kütleçekimsel rezonanslardan dolayı uzun vadede istikrarsız oluyor. Bu olgunun uydu operatörleri tarafından kullanılabilmesine ilişkin ilk ipucu ESA'nın 2002'de fırlatılan INTEGRAL gama ışını teleskobundan geldi. INTEGRAL alçak Dünya yörüngesinden orta yükseklikteki Dünya yörüngesine, oradan da yer sabit yörüngeye uzanan bir yörüngede bulunuyor. INTEGRAL normalde yüz yıldan fazla bir süre uzayda kalacakken ESA 2015'te INTEGRAL'in yörüngesinde küçük bir değişikliğe karar verdi. Görevin operatörleri birkaç iticiyi kısa süreli ateşleyerek teleskobu kütleçekimsel rezonanslarla etkileyeceği bir yörüngeye soktu. Şimdi INTEGRAL onlarca yıl sonra değil, 2029'da atmosfere girecek.



## Uzay Çöpleri Ne Kadar Tehlikeli?

Alçak yörüngelerdeki çöpler için tipik bir çarpışma hızı olan 10km/s hızda milimetre boyutlu nesnelerin çarpması bir uyduda bölgesel hasar oluşturabilir ve çalışan bir uydunun bir alt birimini bozabilir. Aynı hızdaki 1 cm'den büyük bir uzay çöpünün çarpması, çalışan bir uydunun tamamen bozulmasına, bir uydunun ya da roket gövdesinin parçalanmasına yol açabilir. Yine aynı hızdaki 10 cm'den büyük bir uzay çöpünün çarpması uydunun tamamen parçalanarak yeni bir uzay çöpü bulutu oluşturmaya neden olabilir.

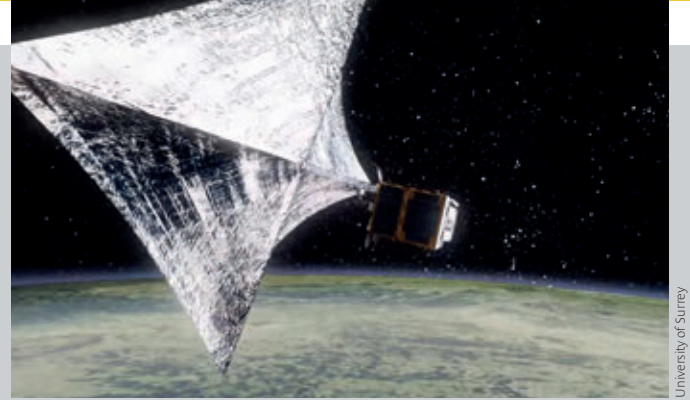
Büyük boyutlu uzay çöpleri (örneğin uydular, kullanılmış roket gövdeleri ve büyük parçalar) atmosfere kontrolsüz şekilde girdiklerinde yeryüzüne ulaşarak insanlar için bir risk oluşturabilir. Söz konusu risk tek bir birey için günlük yaşamdaki risklerden kat kat daha küçükse de (örneğin bir motorlu taşıt kazasında ciddi şekilde yaralanma riski 30 milyon kat daha yüksek) genel nüfus hesaba katıldığında dikkate alınması gereken bir tehlikeye işaret ediyor.

RemoveDebris

Rosengren ile Fransa'dan ve İtalya'dan çalışma arkadaşları 2016'da Alçak Dünya Yörüngesi ile Dünya ile Senkronize Yörünge arasında kalan Orta Yükseklikteki Dünya Yörüngesi'nde nesnelerin nasıl hareket ettiğini belirleyen yoğun bir yörünge rezonansları ağı bulunduğunu gösterdi. Bu rezonans ağı içinde nesnelere Orta Yükseklikteki Dünya Yörüngesi'ne değil doğrudan atmosfere yönlendirilen yollar da var. İşte, araştırmacılar uydu operatörlerinin uyduları nihai sonlarına yönlendirmek için bu yollardan yararlanabileceğini düşünüyor. Rosengren ve ekibi uyduların fırlatıldığı tarihin, hatta sadece 15 dakikalık farkın bile uydunun yörüngede ne kadar kalacağı üzerinde belirleyici olduğunu keşfetti. Bu bilginin de uyduların fırlatılması için en iyi zamanın seçilmesine yardımcı olacağı düşünülüyor.

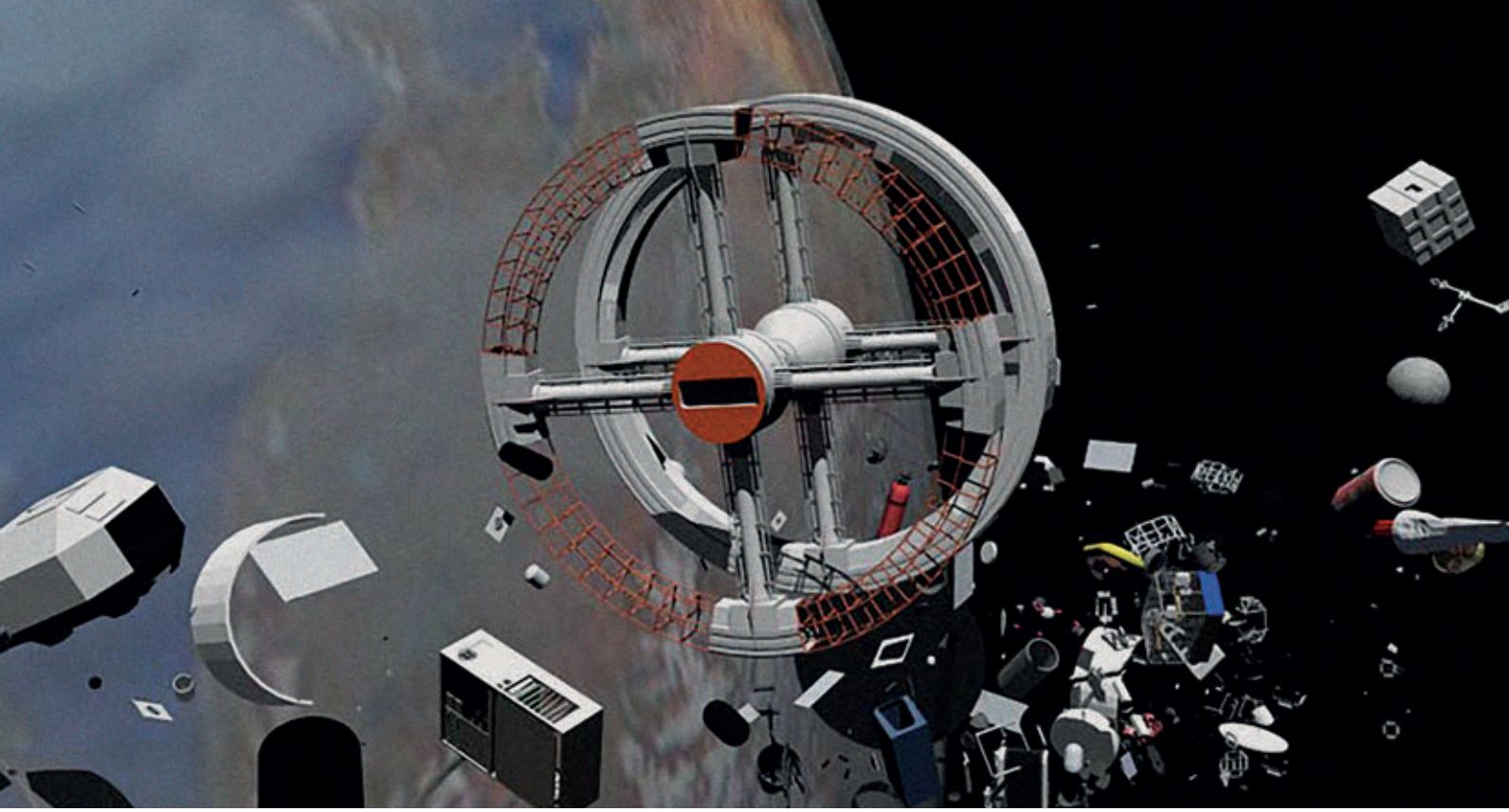
## RemoveDebris

Birleşik Krallık'taki Surrey Üniversitesi tarafından koordine edilen bir proje olan RemoveDebris uzay çöplerini aktif olarak temizlemeye yönelik ilk girişimlerden biri. RemoveDebris kapsamında uzay çöpleriyle mücadeleye yönelik geliştirilen birkaç teknolojinin demonstrasyon amaçlı denemesi gerçekleştirildi. Geçen yıl 2 Nisan'da uzaya gönderilen

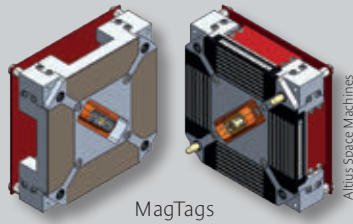


University of Surrey

RemoveDebris uzay aracı (üstte) önce Eylül ayında kontrolsüz biçimde kendisinden uzağa gönderdiği bir cisim (bir kutu) cisme doğru fırlattığı bir ağla yakalamayı başardı. İşlem sına amaçlı olduğu için ağ ve yakaladığı cisim uzay aracına çekilmedi ve atmosfere düşerek yanıp yok olmak üzere serbest bırakıldı. Teknoloji ileride gerçek çöpler için kullanılırsa ağla yakalanan çöplerin uzay aracına çekilmesi hedefleniyor. RemoveDebris'de ikinci olarak uzay çöplerinin takibinde kullanılmak üzere geliştirilen üstün performanslı bir görüntüleme sisteminin kullanımı denendi. Bir kamera ile bir LIDAR'dan (hedefe lazer atımları gönderip yansıyan atımı analiz ederek hedefin üç boyutlu yapısı hakkında bilgi toplayan görüntüleme sistemi) oluşan bir görüntüleme ve konumlandırma sistemi, uzay çöpleriyle ilgili, çöplerin üç boyutlu görüntülerini de içeren verileri çöplerin takibinde kullanılmak üzere yeryüzüne gönderiyor.



RemoveDebris'in üçüncü denemesinde ise bir çeşit zıpkın biçimindeki çöp toplama düzeneği test edildi. RemoveDebris son denemesinde de bir çeşit yelken kullanarak kendini yanıp yok olmak üzere atmosfere yönlendirecek ki bu da görevi sonlanan bir uydunun kendini güvenli bir şekilde atmosfere sokup yok edebileceğini gösteren güzel bir örnek olacak.



## MagTags'la Uyduların Ömrünü Uzatmak Hedefleniyor

Colorado'da yerleşik Altius Space Machines adlı firma MagTag olarak adlandırdıkları manyetik bağlantı birimleri üzerinde çalışıyor. Uydulara yerleştirilecek bu bağlantı birimlerine uydu uzaya fırlatıldıktan sonra çeşitli işlevleri yerine getirecek modüllerin bağlanmasıyla uyduda geliştirmeler sağlanabileceği umuluyor. Bu modüllerle örne-

ğin bataryaları tükenen bir uyduya batarya takviyesi yapılabileceği, uyduların robotik yöntemlerden de faydalanılarak tamir edilebileceği ya da teknolojisi eskiyen birimlerin yerine yenilerinin takılabileceği umuluyor. Bu yaklaşım günün birinde pek çok uydunun kullanım ömrünü uzatıp uzaya gönderilen uydu sayısının azalmasına yardımcı olarak uzay çöplü sorununun çözümüne katkı sağlayabilir.

## Hüsranla Sonuçlanan KITE Denemesi

Japon Uzay Araştırmaları Ajansı (JAXA) 28 Ocak 2017 tarihinde, uzay çöplerini azaltma hedefine hizmet etmek üzere tasarladığı bir çeşit kablo biçimindeki sistemin denemesini yaptı. Bu, uzay çöplerini temizlemeye yönelik araştırmalar kapsamında yapılan ilk deneydi. Kounotori Entegre Kablo Deneyi (KITE) olarak adlandırılan deneyde, Kounotori 6 adlı uzay aracına entegre edilmiş 700 metrelik metal kablonun fırlatılarak açılması, bu sırada kablonun içinden geçirilecek olan elektrik akımının Dünya'nın manyetik alanıyla etkileşerek uzay aracını yörüngesinden çıkarıp -yanıp yok olmasını sağlamak üzere- atmosfere yönlendirecek bir çekiş gücü oluşturması planlanıyordu.



# Uluslararası İlkeler

Uzay çöpü sayısının giderek artması ve uzaya gönderilen araç sayısındaki yükselmeye bu artışın daha da hızlanacak olması, hiçbir önlem alınmaması durumunda Dünya yörüngelerinin hayli tehlikeli ortamlara dönüşeceğini garantiliyor. Bu durum şirketleri, hükümetleri ve uzay faaliyetleriyle ilgili başka paydaşları bu ortak tehlikeyi bertaraf edebilmek için yeni işbirliklerine yönlendiriyor. 2000'lerden bu yana Ajanslar Arası Uzay Çöpü Koordinasyon Komitesi gibi uluslararası gruplar, uzayda sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla bazı ilkeler belirliyor. Uzay araçlarının kullanım süreleri bitince artan yakıtlarını ya da patlamaya neden olabilecek başka basınçlı maddeleri boşaltarak kendilerini etkisizleştirmelerinin sağlanması bu ilkeler arasında.

Hükümetler arası grupların tavsiyelerinden biri de artık kullanılmayacak olan uyduların atmosfere 25 yıl içinde yanıp yok olmalarını sağlayacak şekilde yaklaştırılmasının sağlanması. Görev sonrası imha kuralları olarak adlandırılan bu tür ilkelerin hiçbiri uluslararası yasaların yaptırımına tabi olmasa da yaklaşık 20 yıllık izleme çalışmaları çöp miktarının artışında (Çin'in 2007'deki uydu vurma vakası ve 2009'daki uydu çarpışması hariç) önemli bir azalma olduğunu gösterdi. Yani, bu ilkelerin uzaya uydu gönderen şirketler ve kurumlar tarafından bir ölçüde de olsa benimsendiği söylenebilir. Ancak ESA'dan Holger Krag'ın belirttiğine göre, uzaya gönderilen uyduların sadece yarısı 25 yıl ilkesine uygun olarak tasarlanmış. Yani görev sonrası imha kurallarının işlerlik kazanması için daha alınacak çok yol var.

KITE / JAXA

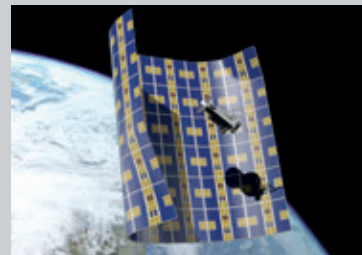


Ancak ne yazık ki bir aksaklık sonucunda kablo uzay aracından fırlatılmadı. Sorun, Kounotori 6'nın programlanmış rotası gereği atmosfere girdiği 28 Ocak 2017 tarihine kadar çözülmediği için KITE deneyi başarısızlıkla sonuçlanmış oldu. Bu tür sistemlerin -başarıyla geliştirilebilirleri durumunda- özel uzay araçları tarafından mevcut uzay çöplerine tutturulması yoluyla, çöplerin atmosfere sokulup yok edilebileceği, ayrıca yeni uydulara entegre edilmeleri durumunda da uyduların görevleri sona erdiğinde atmosferde yanmalarını sağlayabileceği düşünülüyor.

## Aerospace'in Brane Craft Projesi

Aerospace tarafından tasarlanan Brane Craft adlı sistem yaklaşık 10m x 10m boyutlarında, görünümü paket kağıdını andıran bir çeşit uzay aracı. İnsan saç telinin yarısı incelikteki Brane Craft sıra dışı ölçüde hafif, manevra kabiliyetli ve yakıt tasarruflu bir cihaz. Brane Craft uzay çöplerinin çevresini sarıp onları atmosferde yanıp yok olmalarını sağlamak amacıyla atmosfere sürüklemek üzere tasarlanmış. Çok hafif olduğu için hem uzaya gönderilme maliyeti çok düşük hem de çok uzun mesafe katedebilme kapasitesine sahip olan Brane Craft'ın uzay çöpü temizleme dışında çok çeşitli amaçlara da hizmet edeceği düşünülüyor.

Henüz tasarım aşamasındaki proje 2017'de NASA Yenilikçi İleri Konseptler (NIAC) Faz II ödülü kazandı.



Brane Craft / NASA

Ayrıca Krag'a göre, uzaya büyük uydu takımları göndermeyi planlayan SpaceX ve OneWeb gibi şirketler uzay güvenliği konusunda sorumluluk taşıyacaklarını söylediler de tüm iyi niyetlerine rağmen çeşitli sorunlara yol açabilirler. Örneğin uyduların bozulması ya da şirketlerin iflası durumunda uydularını uzaydan temizlemek için para harcamayacaklarını düşünüyor. Sonuç olarak, uzayın gelecekte de uzay görevleri için güvenli bir yer olabilmesinin ve barışçıl amaçlarla kullanımının garanti altına alınabilmesi, ayrıca önceden öngörülemeyebilen durumlarda ilgili tarafların sorumluluk almasının sağlanabilmesi için uluslararası yasalar yoluyla yaptırımlar uygulanmasının gerekli olduğu düşünülüyor.

Uzay çöpleri hâlihazırda endişe verici bir sorun iken, geçtiğimiz 27 Mart'ta Hindistan'ın bir uydu vurma dene-

mesi amacıyla, Alçak Dünya Yörüngesi'nde bulunan kendine ait bir uyduyu füzeyle vurması, kamuoyunda uzay güvenliği açısından endişe uyandırıcı bir gelişme olarak karşılandı. ABD'deki Endişe Taşıyan Bilim İnsanları Birliği, olayı uzayın artan şekilde militarize edilmesine bir örnek olarak kaygı verici bulduklarını açıkladı. NASA başkanı Jim Bridenstine de operasyonu eleştirerek kasıtlı olarak fazladan uzay çöpü oluşturacak bu eylemi insanlığın uzay faaliyetleri açısından sürdürülebilirliğe aykırı olarak niteledi. NASA söz konusu uydu vurma eyleminden kaynaklı 400 kadar parça tespit etti. Toplamda oluşan parça sayısının bunun on katını bulabileceği tahmin ediliyor. Takip edilebilecek kadar büyük yani en az 10 cm çaplı olanların sayısı ise 60 civarında. Bu olay uluslararası yaptırımların önemini bir kez daha hatırlatıyor.

## NASA'dan Gecko Gripper



NASA'nın Jet İtici Güç Laboratuvarı'ndan bilim insanları hem uzayda hem de yeryüzünde çok çeşitli amaçlarla kullanılabilecek bir yüzeye tutunma teknolojisi üzerinde çalışıyor. Gekogiller ya da ev kelerleri olarak bilinen kertenkelelerin ayaklarındaki özel yapılardan esinlenilerek geliştirilen Geko Gripper (keko tutunucu) adlı yapıların pek çok başka amacın yanı sıra uzaydaki çöpleri yakalamaya yönelik tasarlanacak sistemlerde de kullanılabileceği öngörülüyor. Gekogiller ayaklarında bulunan tüyümsü mikroskopik çıkıntılar sayesinde dikey hatta aşağı bakan

yüzeyle bile sağlam şekilde tutunabiliyor. NASA'nın Gecko Gripper'larının yapışkan yüzeyinde de takoz biçiminde ve tepesi mantarimsı sentetik tüyler bulunuyor. Tutunucu yüzey bir nesneye hafifçe dokunduğunda tüylerin sadece en uç kısımları nesnenin yüzeyiyle temas ediyor. Ancak tutunucu yüzeye bir kuvvet uygulandığında tüyler ile nesnenin yüzeyi arasındaki temas alanı artarak güçlü bir yapışma etkisi sağlanıyor. Bu geçici yapışma van der Waals kuvveti denen moleküller arası zayıf etkileşimlerin bileşkesi sonucunda elde ediliyor. Gecko Gripper'ların uzaydaki uç koşullarda bile işlev görecektir ve defalarca kullanılabilecek özellikte olması onları uzay çöplerinin temizleme sistemleri için hayli çekici kılıyor.

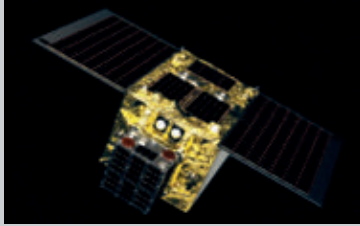
Uluslararası Uzay İstasyonu'nda yapılan deneyler Gecko Gripper'ların farklı nesnelere tutup bırakabildiğini gösterdi ancak uzay boşluğunda henüz deneme yapılmadı.

## Astroscale'den ELSA-d Çöp Toplama Sistemi

Astroscale şirketinin 2020'de uzaya göndermeyi planladığı ELSA-d görevi birbirine bağlı iki uzay aracından oluşuyor.



Servicer adlı uzay aracı uzay çöplerine yaklaşmasını sağlayan teknolojilerle ve manyetik bir yükleme mekanizmasına sahip iken Client adlı araçta yük almasını sağlayan ferromanyetik bir levha bulunuyor. Yapılacak uzay denemelerinde Servicer'ın uzay çöplerini bulup Client'a yükleme yeteneği sergilenecek.



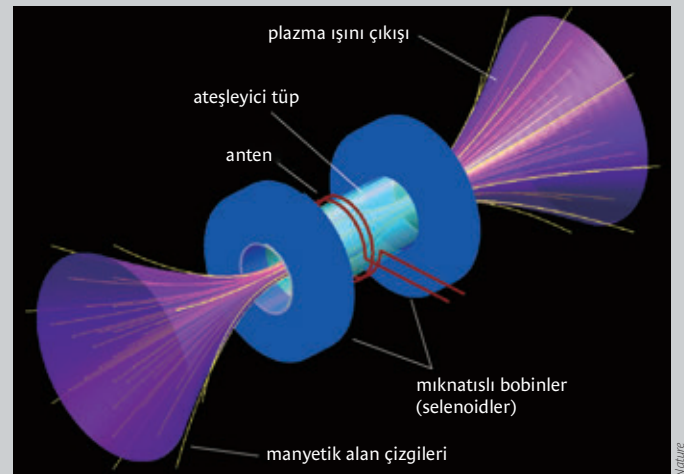
ELSA-d

Astroscale

## Plasma Thruster Sistemiyle Temassız Temizlik

Uzay çöplerini temizlemeye yönelik temassız çözümlerden birini sunan Plasma Thruster sistemi uzay çöpu niteliğindeki nesnelere bir plazma ışını gönderilerek çöpu -yanıp yok olmak üzere- atmosfere yönlendirilmesini amaçlıyor. Ancak uzay çöpuüne doğru plazma ışını göndermek ışını gönderen uydunun da ters yönde ivmelenmesine neden oluyor.

Bu yüzden de projeyi yürüten Japon ve Avustralyalı araştırmacılar iki zıt yönde ışın gönderebilen tek bir plazma ateşleme sistemi geliştirdi. Araştırmacılar sistemin laboratuvar ortamındaki denemelerinde, ateşleyiciden iki yönlü plazma ışını çıkışını, bir manyetik alan ve gaz enjeksiyonuyla hassas şekilde kontrol etmeyi başardılar. Bu hassas kontrollerle, uzay çöpuünün yerini tutan bir cisim üzerinde uzay ortamında olsa atmosfere yönlendirilmesini sağlayabilecek büyüklükte bir kuvvet oluşturulurken ateşleyici üzerinde hiçbir net kuvvet oluşmaması sağlandı.



Plasma Thruster

Nature

# Ortak Sorun için Ortak Çözüm

Uzay çöplerinin birincil sorumlusu uzayda faaliyet gösteren ülkeler. Ancak uzay faaliyetlerinin nimetlerinden neredeyse tüm dünya toplumları yararlandığı için bu aslında bir açıdan tüm insanlığın ortak sorunu. Bu yüzden uzay çöpü sorununa karşı gerek uluslararası yasal düzenlemelerle, gerekse tüm ülkelerin birlikte sağlayacağı kamu kaynaklarıyla da desteklenecek aktif temizleme ve kirlenmeyi önleme teknolojileriyle ortak çözümler aranması uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, dolayısıyla insanlığın geleceği açısından büyük bir önem taşıyor. ■

## Kaynaklar

[https://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/Space\\_Safety\\_Security/Space\\_Debris/](https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Safety_Security/Space_Debris/)

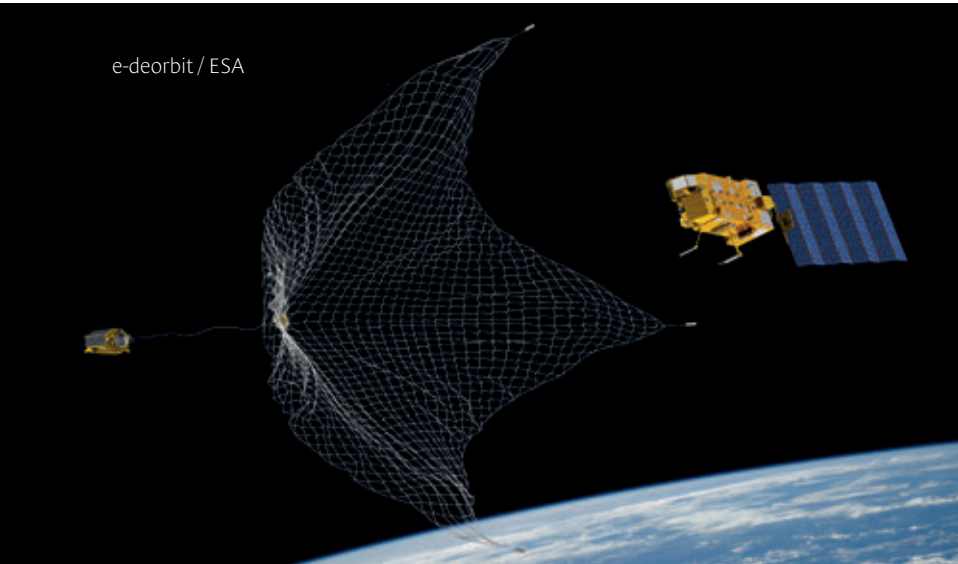
[https://download.esa.int/esoc/downloads/BR-336\\_Space\\_Debris\\_WEB.pdf](https://download.esa.int/esoc/downloads/BR-336_Space_Debris_WEB.pdf)

<https://www.science.org.au/curious/space-junk>

<https://www.newscientist.com/article/mg24132230-100-theres-so-much-junk-in-space-that-our-satellites-will-soon-be-at-risk/>

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-06170-1>

Ocak, M. E., "Uzay Çöpleri Günlük Hayatımızı Tehdit Ediyor", *Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayı 559, s. 30-33, 2014



e-deorbit / ESA

## ESA'dan e.deorbit

ESA'nın Clean Space inisiyatifi 2023 yılında uzaya gönderilmesi hedeflenen e.deorbit adlı bir aktif çöp temizleme görevi üzerinde çalışıyor. Görevin amacı özel olarak tasarlanan bir uzay aracını kullanarak ESA'ya ait artık kullanılmayan uzay çöpü niteliğindeki bir uyduyu kontrollü ve hızlı bir biçimde atmosfere sürükleyip uydunun yanarak yok olmasını sağlamak. Uzay aracının görevini eksiksiz olarak yerine getirebilmesi için başarılı bir hedef tanıma

sistemine ve etkin bir yakalama mekanizmasına sahip olması, ayrıca yakaladığı hedefle birlikte yörüngede ve yeryüzünde hiçbir güvenlik tehdidi oluşturmadan kontrollü biçimde -yanıp yok olmak üzere- atmosfere girebilmesi gerekiyor.

## Lazerlerle Temizlik

Güçlü lazer atımlarıyla uzay çöplerinin küçük olanlarının buharlaştırılarak yörüngeden temizlenmesi, büyük olanlarının ise hedef yörüngelere, tercihen -yanıp yok

olmaları için- atmosfere yönlendirilmeleri uzay çöplerinin aktif temizliğine yönelik öne sürülen çözüm tasarıları arasında. Ancak bu yaklaşımın daha fazla çöp oluşumuna neden olma ve çöpleri öngörülemeyen yörüngelere yönlendirme gibi riskleri olduğu ve bu konudaki araştırmalar henüz başlangıç aşamasında olduğu için yakın vadede uygulanabileceği düşünülmüyor.