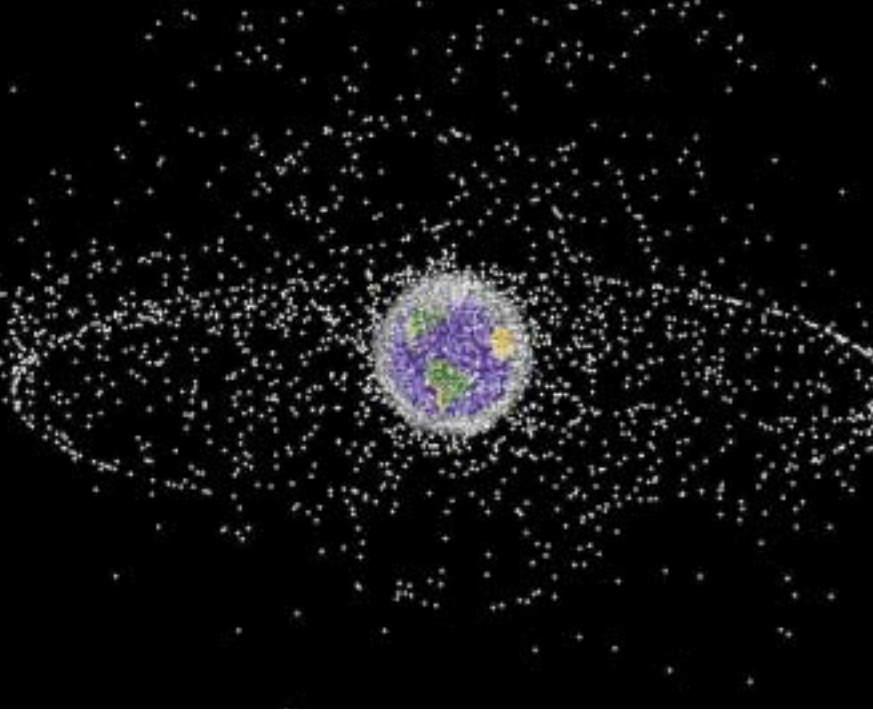




Uzaya Açılan Pencerenin Kapanışı! Uzay Kirliliği

DÜNYANIN önde gelen gazetelerinin, 8 Şubat 2000 tarihli sayılarında, 20 yıl sonra olacak bir felaketin haberi yayımlandı. Ama bu alışılmış bir felaket haberi değildi. Ne bir kasırgadan, ne bir depremde ne de bir taşkından söz ediyordu. Başka bir açıdan bakıldığında aslında bir gökbilim haberi idi bu. Haberde 2000 BF19 adlı 800 m çapında bir asteroidten söz ediliyordu. Bu asteroidi Arizona'da Steward Gözlemevi'ndeki gökbilimciler 28 Ocak'ta keşfetmişlerdi. 2000 BF19'u keşfedenler, onu 3 Şubat'a değin izlediler ve o gün bir açıklama yaptılar. Açıklamada, asteroidin gelecekte izleyeceği rota nedeniyle Dünya için ciddi bir tehlike taşıyabileceği ve sürekli gözlenmesi gerektiği bildirildi. Bu sırada İtalya'daki Pisa Üniversitesi gökbilimcileri de Avustralya'daki gözlemevlerinden gelen verileri de değerlendirerek asteroidin yörüngesini hesapladılar. Üç gün sonra yaptıkları açıklamayla 2000 BF19'un 2022'de milyonda bir olasılıkla Dünya'ya çarpabileceğini duyurdular.

Bu büyüklükte bir göktaşının, Dünya'ya çarptığında, yeryüzündeki yaşamı tehdit edecek, küresel bir etki yaratmayacağı biliniyor. Çarpma sonucunda küresel iklim değişikliklerine yol açacak ve biyolojik çevrimleri kökten değiştirebilecek bir gök cisminin çapının en az 1 km olması gerekiyor. Ancak çapı 800 m olan 2000 BF19'un Dünya'ya çarptığında çok büyük bölgesel etkileri olacağı da açık.

1908'de Sibirya'nın Tunguska bölgesine düşen ve yalnızca 100 m çapında olduğu düşünülen kuyruklu yıldız parçası, 2000 km²'lik ormanlık bir alanı yerle bir etmişti.

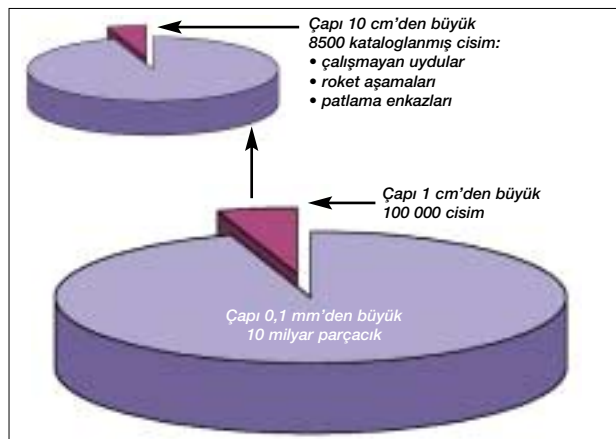
İlk hesaplamalardan sonra daha ayrıntılı yörünge hesapları yapan gökbilimciler, asteroidin 2022'de Dünya'nın 9 milyon kilometre (Dünya-Ay arası uzaklığın 20 katından fazla) uzağından geçeceğini buldular. Böylece Dünya bir kez daha derin bir soluk aldı. 2000 BF19, son iki yıl içinde keşfedilen ve Dünya'ya çarpacağı sanılan beşinci asteroid. Bilim adamları Güneş çevresinde Dünya'ya yakın yörüngelerde dolanan ve çapı 1 km'den büyük 1000 dolayında asteroid olduğunu tahmin ediyorlar. Daha küçük çaplardaysa binlerce göktaşı var. Bunların bir bölümü önümüzdeki yüzyıllarda Dünya'ya çarpacak. Çarptıkları zaman birer felaket oluşturacak bu göktaşları için önlemler şimdiden alınıyor. Öncelikle bu göktaşlarına ilişkin bir veri tabanı (büyüklükleri, yörüngeleri, hızları, yapıları vb bilgileri içeren) oluşturuyorlar.

Büyük göktaşlarının yanı sıra bir de

Dünya'nın çevresinde dolanan çok küçük göktaşları var. Her gün bunlardan binlercesi atmosferimize girerek yanıyor, buharlaşıyor. Bilim adamları birkaç santimetre çapındaki bu göktaşlarına *meteoroid* diyorlar. Atmosfere giren meteoroidler çok parlak bir ışık çıkarıyor. Halk arasında "yıldız kayması" ya da "kayan yıldız" olarak bilinen bu ışık olayına bilim adamları *meteor* der. Yeryüzüne ulaşmadan buharlaşan, çok hızlı hareket eden bu göktaşlarının insanlar için bir zararı yok. Ne var ki aynı şeyi yörüngede dönen uydular için söyleyemeyiz. Çünkü saniyedeki hızları 70-80 km'yi bulabilen bu minik göktaşları, birkaç santimetre çapında da olsalar uydular için ciddi bir tehdit oluşturuyor. 1993'te ESA'nın (Avrupa Uzay Ajansı) Olympus adlı uydusuna böyle küçük bir göktaşı çarpmıştı. Yön denetim birimi parçalanmış uydunun kullanılmaz duruma gelmişti. Günümüzde Dünya'nın çevresinde çalışır durumda 500'ün üzerinde uydu dolanıyor. Minik göktaşları da milyonlarca dolarlık bu uydular için ciddi bir tehdit oluşturuyorlar. Ancak uydular için tehdit oluşturanlar yalnızca meteoroidler değil.

Yörüngedeki Hurdalar

Dünya'ya yakın yörüngelerde dönen, insan yapımı kataloglanmış iki cisim, ilk kez 24 Temmuz 1996'da çarpıştı. Bu cisimlerden biri Fransızların, 7 Temmuz 1995'te bir Ariane 4 roketiyle fırlattığı, Alca-



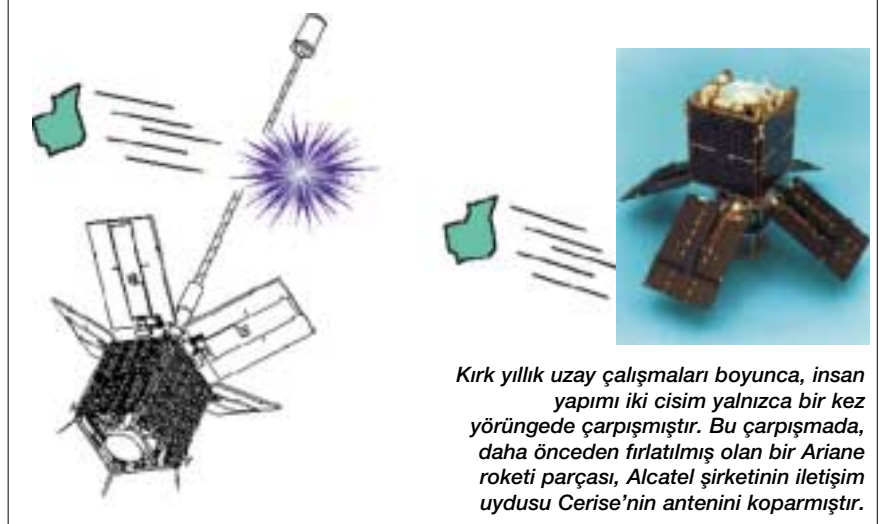
tel şirketine ait 50 kg'lık iletişim uydusu Cerise'di. Öteki cisimse daha önce fırlatılmış bir Ariane 4 roketinin, uzaya bırakılmış üst aşamalarından birinin bir parçasıydı. Küçük roket parçasının hızı saniyede 15 km'yi buluyordu. Şiddetli çarpışmanın sonunda mikrouydunun 6 m'lik anteni koptu (ve o da artık kendi başına Dünya'nın çevresinde doluyor). Cerise, 700 km yüksekteki yörüngesinde kendi çevresinde dönmeye başladı. Uydunun otomatik kontrolünü yitirmişti. Hemen yeni bir yazılım geliştirildi ve radyo dalgalarıyla uydudaki bilgisayara yüklendi. Sonra da Cerise Dünya'dan kontrol edilmeye başlandı.

Cerise örneğinde de görüldüğü gibi, büyük bir bölümü Dünya'ya yakın yörüngelerde dönen uydular için bir başka tehdit de uzay kirliliğidir. Peki nedir uzay kirliliği?

Uzay kirliliği son 40 yılda ortaya çıkan bir sorundur. Dünya'nın çevresinde, değişik yörüngelerde dönen ve artık herhangi bir işlevi olmayan, insan yapımı cisimlerin tümü, uzay kirliliği olarak adlandırılır. Bunların arasında ömrünü tüketmiş uyduların yanı sıra roketlerin uzaya bırakılan üst aşamaları ve yörüngede oluşan patlamaların artıkları vardır.

Uzay kirliliğinin şimdilik insanların günlük yaşamlarına doğrudan bir etkisi yoktur. Bu nedenle de genellikle göz ardı edilen ya da unutulmuş bir sorun olmuştur. Hatta insanların büyük bir bölümü böyle bir sorunun varlığından bile habersizdir. Ancak eğer önlem alınmazsa, uzay kirliliği önümüzdeki 25-30 yıl içinde uzay araştırmaları açısından çok ciddi bir sorun olacaktır.

Denebilir ki uzay kirliliği sorunu, insan yapımı ilk uydunun Sputnik I'in, 4 Ekim 1957'de fırlatılmasıyla ortaya çıkmıştır. Sputnik I yörüngede üç ay



Kırk yıllık uzay çalışmaları boyunca, insan yapımı iki cisim yalnızca bir kez yörüngede çarpışmıştır. Bu çarpışmada, daha önceden fırlatılmış olan bir Ariane roketi parçası, Alcatel şirketinin iletişim uydusu Cerise'nin antenini koparmıştır.

kalmıştır, ama çalışma süresi daha kısadır; yalnızca üç hafta. Bu yüzden de uzay çağını açan Sputnik I, gerçekte uzay kirliliğine güzel ve somut bir örnektir. Ömrü tükenen uydunun Dünya'nın çevresinde, yüksek bir hızla boş yere iki aydan fazla dönüp durmuştur. Sonra da Dünya'ya düşmüştür.

Sputnik I'den günümüze geçen 40 yıl içinde uzay araştırmaları alanında çok sayıda ve çok önemli gelişmeler yaşandı: Ay'a, Mars'a ve Venüs'e sondalar, uzay araçları gönderildi, Ay'a inildi, Mars'ın çevresine uydular yerleştirildi, Jüpiter'e, Satürn'e, asteroidlere, kuyrukluysıdılara hatta Güneş sisteminin dışına uzay araçları yollandı, değişik amaçlı binlerce uydunun Dünya'nın çevresine yerleştirildi, uzay istasyonları kuruldu, farklı dalgalarda uzayı inceleyen uzay teleskopları yörüngeye yerleştirildi.

Tüm bunları gerçekleştirmek için dört binden fazla, çok aşamalı roket uzaya gönderildi. Bunların üst aşamaları hep uzaya bırakıldı. Bu yolculuklar sırasında kimi zaman roketlerde, kimi zaman da taşıdıkları yüklerde patlama-

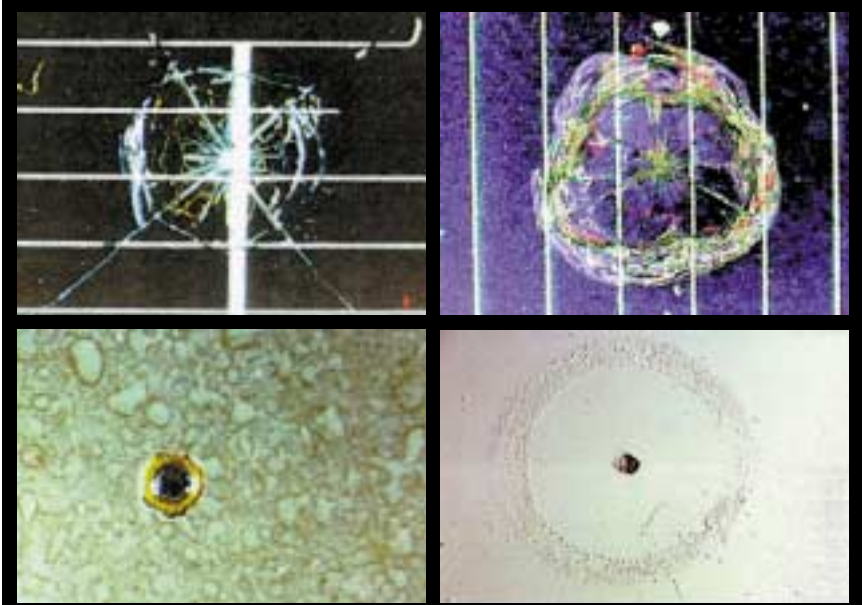
lar oldu; patlamaların enkazı uzaya yayıldı. Yörüngedeki uyduların büyük bir bölümünün ömrü tükendi; şu anda başıboş dolanıyorlar. Tüm bu işe yaramayan cisimler, roket parçaları, ölü uydular, yakıt tankları ve uzay aracı artıkları, günümüzde Dünya çevresinde dolanan bir çeşit hurda yığını oluşturdu. Bugün uzay araştırmaları tüm hızıyla sürüyor. Yörüngedeki bu hurda yığını da ne yazık ki giderek büyüyor.

Bilim adamları bu konunun, ciddi bir soruna dönüşeceğini 20 yıl kadar önce öngörmüşlerdi. Bu öngöründen yola çıkarak, Dünya'nın çevresinde başıboş dönen bu parçaları izlemek amacıyla sistemler kurdular. Örneğin ABD'de yirmiden fazla radar ve optik algılayıcıdan oluşan bir Uzay İzleme Ağı var. Rusya'daki Uzay İzleme Ağı'ndaysa on radar ve on iki optik algılayıcı bulunuyor. Bu sistemlerle, Dünya çevresinde dönen 10 cm'den büyük bütün cisimler sürekli izleniyor. Yerden gönderilen radar sinyalleri yörüngedeki cisimlere çarpıp yansıyor ve yerdeki aygıtlarla algılanıyor. Böylece cisimlerin konumları, hızları ve yörüngeleri saptanıyor. Her cisme bir katalog numarası veriliyor.

Dünya yörüngesinde kataloglanmış olarak dönmekte olan 9000 dolağındaki cisimden, çalışır durumdaki uydular çıkartıldığında geriye 8500 kadar 10 cm'den büyük uzay döküntüsü kalıyor. Yerdeki radarlar, bu döküntüdeki çapları 3 mm-10 cm arasında değişen parçaları saptayabiliyor (ama sürekli izleyemiyor). Yapılan araştırmalar yörüngedeki, çapı 1-10 cm arasındaki cisim sayısının 100 000'in üzerinde olduğunu ortaya koyuyor. On milyar do-



Uzay kirliliğinin iki temel nedeni var: Ömrü tükenen uydular ve fırlatılan roketlerin yörüngede terk ettikleri üst aşamaları.



Çapları 1 cm'den küçük döküntülerin, yüksek hızları nedeniyle, uzay araçlarında yıpratıcı etkileri olur. Bu etki optik aygıtlarda ve araçların pencerelerinde ciddi sorunlara yol açabilir.

layında da çapı 0,1 mm ile 1 cm arasında değişen parçacık olduğu tahmin ediliyor. Kuşkusuz bu denli küçük parçacıkların büyük bir bölümünü yerden gözlemek olanaksız. Onlara ilişkin veriler görevi bitip dünyaya dönen uzay araçlarından elde ediliyor. LDEF ve EuReCa adlı uzay araçları bu yönde araştırmalar yapmak amacıyla uzaya gönderildi. LDEF, 1990'da Dünya'ya döndüğünde aracın yüzeyinde en büyüğü 5 mm çapında, otuz bini aşkın çarpma izi bulunuyordu.

Uzayda kirlilik yaratan parçacık sayısı her geçen gün biraz daha artıyor. Her ne kadar bu döküntülerin bir bölümü zamanla Dünya'ya düşse de uzay kirliliğinin oluşum hızı, yok olma hızından daha büyük. Döküntüler Dünya'nın çevresinde iki bölgede yoğunlaşıyor. Birinci bölge Dünya'dan 36 000 km uzaktaki bölgedir. Bu bölgenin özelliği, buradaki uyduların periyotlarının 24 saat olmasıdır. Bir başka deyişle, bu yörüngedeki bir uydu, batıdan doğuya hareket ettiği için, sürekli Dünya'nın aynı bölgesi üzerinde yer alır (tıpkı Türksat 1B ve Türksat 1C gibi). Bu yörüngede 150'si roket üst aşaması olmak üzere 700 büyük cisim saptanmış ve kataloglanmıştır. Bu bölgedeki döküntülerin hızları Alçak Dünya Yörüngesi'ndekilere göre daha düşüktür; saatte 7000 km kadar. Bu döküntülerin uzay çalışmaları açısından yarattığı tehlike de çok azdır.

Uzay kirliliğinin yoğunlaştığı ikinci

bölge Alçak Dünya Yörüngesi'dir (Dünya'dan uzaklığı 2000 km'ye kadar olan bölge). Şu anda Alçak Dünya Yörüngesi'nde 2000 ton döküntü bulunuyor. Bunların çok büyük bir bölümü 1000-1500 km yüksekte yer alır. Gök bilimcileri tedirgin edenler işte bunlardır. Milyarlarca parçadan oluşan bu döküntüler, ne oldukları yerde dururlar ne de kendi hallerinde Dünya çevresinde ağır ağır dönerler. Tersine çok yüksek hızlarda devinirler. Bunların ortalama hızı saniyede 10 km'dir; bazılarıninki saniyede 15 km'yi aşar. Bu yüzden bu döküntüler yalnızca uydular için değil uzay istasyonu Mir için, 4-5 yıla kadar bitirilecek ve yaklaşık 100 milyar dolar değerindeki Uluslararası Uzay İstasyonu için, uzay mekikleri için ve uzayda yürüyüş yapan astronotlar için de ciddi bir tehlike oluşturuyor.

Tehlikeler

İlk modülü 1986'da fırlatılan Rus uzay istasyonu Mir, 14 yıldır yörüngede dolanıyor. Bu sürede Mir'e birkaç milimetre ya da daha küçük çaplarda binlerce meteoroid ve uzay döküntüsü çarpmış. Çarpmaların oluşturduğu izler, Mir'in dış yüzeylerini gösteren fotoğraflarda açıkça görülüyor. Bu çarpmalar özellikle istasyona enerji sağlayan güneş panellerinde önemli hasarlara yol açmış. Ancak çarpmaların hiçbirisi de Mir'deki bilimsel çalışmaları aksatacak denli büyük olmamış.

Yalnızca Mir değil, yörüngedeki uydular ve zaman zaman göreve çıkan uzay mekikleri de böyle küçük artıklarla sürekli çarpışıyor. Örneğin 1983'te, tırnak büyüklüğündeki bir boya parçası uzay mekiği Challenger'ın camına çarparak ciddi ve tehlikeli bir hasara yol açmıştı. Uzay mekiklerinin camları bugüne değin 50 kezden fazla değiştirildi. Genelde bu tür küçük çarpmaların etkileri de küçük olduğundan, uzay araçlarının işlevlerini engellemiyor. Çok önemli ve pahalı uzay araçları da zaten özel zırhlarla kaplanıyorlar. Buna en güzel örnek Uluslararası Uzay İstasyonu. İstasyon gelmiş geçmiş en iyi korunma önlemleri taşıyan uzay aracı olacak. Kritik önem taşıyan bölmeler, başta astronotların yaşayacağı modüller, 1 cm çapındaki cisimlerin çarpmalarına dayanabilecek kalınlıkta duvarlara sahip olacak. Ayrıca istasyonun bu tür çarpmaları önleyebilecek bir manevra yeteneği de bulunacak. Uluslararası Uzay İstasyonu'na 1-10 cm büyüklüğünde bir cismin çarpma olasılığı düşük. Ama bilim adamları böylesi düşük bir olasılıkla bile istasyonun zarar görmemesi için alınacak kimi önlemler üzerinde çalışıyorlar.

Uzay mekiklerinin zırhları Uluslararası Uzay İstasyonu'nunkiler denli dayanıklı değil. Bu nedenle onları korumak için de başka bir yöntem geliştirilmiş. Mekiklerden biri göreve çıkacağı zaman ABD Uzay Komutanlığı uzay kirliliğinin durumuna bakıyor. Mekiğin görevi sırasında bulunacağı bölgelerde ve rotalarında herhangi büyük bir enkaz parçasıyla yaklaşmış yaklaşmayacağı inceleniyor. Mekiğin fırlatılacağı zaman ve izleyeceği rota böyle belirleniyor. Mekik uzaydayken eğer büyükçe bir parçanın rotası mekiğinkine birkaç kilometre yaklaşacak gibi olursa, mekikteki uyarılıyor; mekik manevra yaparak yeni ve daha güvenli bir rotaya geçiyor. Bu, çok sık karşılaşılan bir durum değil; her yıl ancak 1-2 kez oluyor.

Yüksek hızlarda başıboş dolaşan enkaz parçaları yalnız uzay araçları için değil, aynı zamanda uzay yürüyüşü yapan astronotlar için de tehlikeli. Araçları, kimi çarpışmalara karşı koruyacak zırhlar yapılabilir ama benzer önlemleri astronot giysileri için almak olanaksız. Gerçi onların giysileri de birkaç milimetrelik parçacıkların çarpmasına da-

yanacak yapıda. Ne var ki saniyede 10 km hızla çarpacak 1 cm çapında bir enkaz parçası bir astronotu ağır biçimde yaralayabilir; hatta öldürebilir.

Uzay kirliliğinin oluşturduğu tehlike yörüngedeki araç ve insanlarla da sınırlı değildir. Çok küçük de olsa yeryüzündekiler için de bir tehlike söz konusu. Bu döküntülerin bir bölümü zamanla yerçekimi ya da güneş ışınması basıncıyla Dünya'ya düşer. 600 km'nin altındaki yörüngelerde dolanan enkaz parçalarının yerçekiminin etkisiyle Dünya'ya düşmesi (ve kirlilik olmaktan çıkması) birkaç yıl alıyor. 800 km dolayındakiler 10-15 yıl kalabiliyorlar. 1000 km'nin üzerindekiyse yüz yılı aşkın bir süre dönmeyi sürdürecekler. Bir başka deyişle uzay kirliliğini oluşturan parçalar eninde sonunda Dünya'ya düşüyorlar. Atmosfere giren parçaların çok büyük bölümünün, sürtünmenin yarattığı ısınmadan kurtulması olası değil. Ancak büyük parçalar, bir bölümü yanmış, buharlaşmış ve sonunda küçülmüş olarak yeryüzüne ulaşabilirler. Dünya'ya ulaşan bu parçalar da büyük olasılıkla okyanuslara düşüyorlar. Kentler, karaların çok küçük bir bölümünde yer alıyor. Karaların büyük bir bölümünü çöller, ormanlık alanlar, çayır, dağlık bölgeler ya da tarım alanları oluşturuyor. Bu nedenle, Dünya'ya ulaşabilen parçaların, eğer denize düşmezlerse, seyrek nüfuslu bölgelere düşme olasılıkları çok yüksek (Sovyetler Birliği'nin Kozmos 954 adlı uzay aracı, 1978'de Kanada'nın karla kaplı kuzey bölgelerine düşmüştü).

Ama yörüngedeki döküntülerin gökbilimcilerde yarattığı asıl kaygı gelecekteki uzay araştırmalarına yönelik. Döküntü sayısındaki artış zamanla bir eşik değerini aşacak ve bir dizi zincirleme çarpışma başlayacak. Bilim adamları buna *çığ etkisi* diyorlar ve onları korkutan da bu. Çünkü bu çarpışmalar sonucunda büyük parçalar binlerce küçük parçaya dönüşecek ve döküntü sayısı da çok artacak. Bu artış, bir gün uzay çalışmalarına onlarca yıllık bir ara verilmesine yol açabilir.

Çözüm

Dünya çevresindeki döküntülerin büyükçe olanları sürekli izleniyor. Daha küçük parçaların da iz-



On dört yıldır yörüngede olan Mir'e 1 cm'den küçük çaplı, on binlerce uzay döküntüsü çarpmıştır. Aynı şey 4-5 yıla kadar bitirilecek olan Uluslararası Uzay İstasyonu'nun da başına gelecektir. Bu yüzden istasyonda özel güvenlik önlemleri alınıyor.

lenebilmesi için çalışmalar sürdürülüyor. Döküntülere ilişkin eldeki verilere ve yapılan gözlemlere dayanarak Rusya, İngiltere, İtalya, Almanya ve Amerika'da bilgisayar modelleri geliştiriliyor. Bilim adamları bu modelleri kullanarak, Dünya çevresinde farklı yörüngelerde dönen küçük büyük bütün döküntülerin hareketlerini ortaya koymaya çalışıyor. Bu hareketler incelenerek de ileriye yönelik tahminler ve risk hesapları yapılıyor.

Bugünkü çalışmalar şimdilik uzay kirliliği sorununu anlamaya yönelik. Her geçen gün büyüyen bu sorunun çözümüne yönelik yapılan bir şey yok. Yörüngedeki kirlilik konusunda, uluslararası bir anlaşma daha yapılmış değil. Ama uzay ajansları, kendi aralarında Uzay Ajanslararası Uzay Kirliliği Eşgüdüm Komitesi adında bir yapı oluşturmuş bulunuyor. Bunun yanı sıra, uzay kirliliği konusu 1994 yılından bu yana, Birleşmiş Milletler'in Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanımı Komitesi'nin, Bilimsel ve Teknik Altkomitesi'nce bir tartışma ve değerlendirme başlığı olarak ele alınıyor. Bu tür uluslararası girişimlerin yanında uzay ajanslarının önyak olduğu çalışmalar da var. Örneğin, NASA ve NASDA'nın

(Japon Uzay Ajansı) uzay kirliliğine yönelik yayımladığı ve uygulamaya koyduğu kılavuzlar bulunuyor. Rusya, Fransa ve ESA da benzer kılavuzlar hazırlama ve geliştirme çalışmalarını sürdürüyor.

Kirlilik konusunda ortaya atılan değişik öneriler var, ama üzerinde anlaşılan ve uygulamaya konulan ciddi bir plan yok. Tüm uzay ajanslarının anlaştıkları nokta ilk aşamada, uzay kirliliğinin artış hızının önünü kesmek. Uzay ajansları, bundan böyle uzaya çıkacak araçların, fırlatılışları ve yörüngeye yerleştirilmeleri sırasında uzayı en düşük düzeyde kirliletmelerini sağlayacak. Ayrıca bundan böyle ömrü tükenen uyduların ve uzay araçlarının Dünya'ya düşmeleri sağlanacak.

İkincil olarak yapılması gereken, bugünkü kirliliğin ortadan kaldırılması. Ancak bu "temizlik" teknolojik ve daha çok da ekonomik bir konu. Bu iş için değişik öneriler var. Bunlardan birine göre, temizlik iki koldan yapılmalı. Birinci kolda, uzay mekikleri ya da geliştirilecek benzer bir araçla, yörüngedeki büyük parçalar toplanıp Dünya'ya getirilecek. Geriye kalan milyonlarca küçük cisim de geliştirilecek bir "uzay süpürgesi"yle toplanacak. Bir başka öneri de tüm hurdaları Dünya yörüngesinde belirli bir bölgede, bir "uzay aracı mezarlığı"nda toplamak. Ama tüm bunlar şimdilik düşünce aşamasında olan projeler.

Çağlar Sunay

Konu Danışmanı: Zeki Aslan

Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fak., Fizik Böl.

Kaynaklar

Unispace III-UN/IAU Symposium 196, Viyana, 14 Temmuz 1999

<http://www.etamax.de/debrisweb/foto97/sld002.htm>

<http://sn-callisto.jsc.nasa.gov/faq/faq.html>

<http://www.msnbc.com/news/319598.asp>

