

S. Egemen İmre¹

C. Levent Ertürk¹

Altuğ Okan²

Bora Dikmen³

¹Dr., Havacılık ve
Uzay Mühendisi

²Y.Müh.,
Havacılık Mühendisi

³Dr., Elektrik ve
Elektronik Mühendisi

TÜBİTAK
Uzay Teknolojileri
Araştırma Enstitüsü

Bir Uydunun Anatomisi

Uyduları pek azımız görmüştür, ama ürettikleri verileri hepimiz günlük yaşamımızda kullanıyoruz.

Bu veriler nasıl üretiliyor, bir uydu neye benzer, hiç düşündünüz mü?

Yaşamımızın her anında uydulara ne kadar bağımlı olduğumuzu hiç düşünmüş müydünüz? İzlediğimiz televizyon yayınlarından hava durumunun belirlenmesine, evimizde kullandığımız internetten uydu görüntüleriyle desteklenen Google Earth gibi uygulamalara kadar, uydular ve onların ürettiği veriler artık günlük yaşamımızın her alanında yer alıyor. Uyduların yaşamımızdaki yeri bunlarla da sınırlı değil; birçok kurum uydulardan gelen görüntülerle tarım alanlarındaki hastalıklar ve hasat miktarını tespit ediyor, kaçak yapılaşma alanlarını belirliyor, afetlerin boyutlarını saptayıp yardımların nasıl ulaştırılabileceğini planlıyor, hatta deniz korsanlarıyla mücadele ediyor. Askeri amaçlı casus uyduları saymıyoruz bile! Şifreli haberleşmeyi sağlamak ve bulutlu günlerde bile çok detaylı görüntüler çekilebilir gibi özellikleriyle casus uydular günümüzde askeri kuvvetlerin vazgeçilmez yardımcıları.

Peki neye benzer bu uydular? Filmere bakılırsa, kahramanımızı nereye giderse gitsin izleyen, binanın içine bile girdiğinde yüzünü tanıyıp her hareketini dünyayı ele geçirmeye çalışan kötü adamlara bildiren, fısıltıları bile duyabilen, büyük bir şemsiyeye benzeyen antenleri olan, kocaman metal “şeyler”. Elbette gerçek yaşamda her şey biraz daha farklı. Uydular, birkaç yüz gramdan onlarca tona kadar değişen kütlelerde ve görevlerine göre her biri farklı şekillerde olabilir. Biliriz ki çocukların erişkinlerden, daha kilolu olanların zayıf olanlardan, erkeklerin kadınlardan farklı vücut yapıları olsa da, hepsinde benzer ilkelerle çalışan sindirim sistemi, solunum sistemi gibi yapılar vardır. Benzer şekilde, neredeyse tüm uydular görevlerini yapabilmek için antenlerinin ya da görüntüleyicilerinin doğru yere bakmasını sağlamak, yörüngelerini hesaplayıp gerektiğinde değiştirebilmek, iletişim sistemlerini kullanarak yer istasyonu ile haberleşmek ve tüm bunları gerçekleştirirken uzayın son derece zorlu ortam koşullarından etkilenmemek için birçok elektronik ve mekanik bileşenden oluşan “alt

sistemlerle” donatılırlar. Şimdi uyduların bu “alt sistemlerine” ya da diğer bir deyişle anatomilerine bir göz atalım.

Faydalı Yük

“Faydalı yük” uyduyu uzaya yollamamızın başlıca nedenidir. Tabii bu, diğer alt sistemlerin faydasız olduğunu göstermez. Diğer alt sistemler faydalı yüke gerekli enerji ile çalışabilmesi için gerekli koşulları sağlamak ve ürettiği verileri yer istasyonuna aktarmak gibi kritik görevler üstlenir. Örneğin, uzayın derinliklerini yerden 560 kilometre yukarıdaki yörüngesinden fotoğraflayan Hubble Uzay Teleskobu’nun faydalı yükü 2,4 metre çapında bir teleskoptan oluşan görüntüleyicisidir. Hubble örneğinde olduğu gibi, uydunun diğer alt sistemlerinin dev bir faydalı yükün “çevresine” monte edilmesi sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Uydunun amacı ya da görevi neyse faydalı yük de buna göre tasarlanır. Örneğin bütün Dünya’nın (ya da en azından Dünya’nın bir yüzünün!) bulutluluğunu ve hava hareketlerini görüntüleyebilmek için yerden 36.000 kilometre yükseklikteki meteoroloji uydularını kullanırız. Yani neredeyse Dünya’nın çevresinin uzunluğu kadar bir mesafe-

deki uyduları! Ama detayları görmek istiyorsak yeryüzüne çok daha fazla yaklaşmamız gerekir; bu durumda örneğin 600-700 kilometre yükseklikteki “uzaktan algılama” uydularını tercih ederiz. “Cassini uydusu” da denilen askeri görüntüleme uyduları yerde çok fazla detay seçmek istedikleri için 200-300 kilometreye kadar alçalır.

Haberleşme uydularında ise faydalı yük, iletişimi ya da yayını sağlayan sistemlerdir. Örneğin birçoğumuz evimizde televizyon yayınlarını TürkSat gibi haberleşme uydularından alıyoruz. Haberleşme uydularının üzerinde, yer istasyonundan alınan sinyalleri toplayan alıcılar ve bu verileri, yani televizyonda izlediğimiz yayınları bize yollayan verici antenler faydalı yükü oluşturur. Başka haberleşme uydularında ise bu alıcı ve vericiler telefon konuşmaları ve kısa mesajları aktarmak için kullanılır.

Bunların dışında, genellikle bilimsel amaçlar için kullanılan çok çeşitli faydalı yükler vardır. Örnek olarak 2009’un başlarında fırlatılan GOCE uydusunda Dünya’nın potansiyel alanını ölçmek için kullanılan hassas ivmeölçerler ve yine aynı tarihlerde fırlatılan Herschel Uzay Gözlemevi’ndeki (<http://herschel.esac.esa.int/>) gibi, gözle görünme-



yen frekanslardaki zayıf elektromanyetik dalgaları incelemek için kullanılan tayföllerler sayılabilir.

Yörünge Belirleme ve Kontrol Alt Sistemi

Uydunun görevini doğru yapabilmesi için doğru yörüngede olması gerektiğinden “faydalı yük” konusunda bahsetmiştik. Uydunun yörüngesinin saptanması, “nerede olduğunun” ve “nereye gideceğinin” bilinmesi anlamına gelir. Diğer bir deyişle, şu an konumu ve hızı bilinen bir uydunun 24 saat sonra nerede olacağı, Dünya’daki bir bölge üzerinden ilk kez ne zaman geçeceği ya da ne zaman atmosfere girip düşeceği hesaplanabilir. Tabii bunu hesaplamak için uyduyu etkileyen en büyük kuvvet olan Newton’un ünlü kütle çekiminin yönünü ve büyüklüğünü bilmek gerekir. Nerede olduğumuzu (ve tabii nerede olacağımızı) yüksek bir doğrulukla bilmek istiyorsak uydunun yörüngesini etkileyen birçok küçük kuvveti de hesaplamak zorundayız. Güneş ve Ay’ın çekimi, alçak irtifa uyduları için sürtünme, Dünya’nın kütlelerinin dağılımını değiştiren gelgitler ve diğer kütle hareketleri, Güneş’ten gelen ve Dünya’dan yansıyan fotonların basıncı ve hatta göreliliğin Dünya’nın çekim kuvvetinin milyarda birini geçmeyen etkileri, diğer gezegenlerin ve bunların aylarının çekimleri gibi son derece küçük kuvvetleri bile hesaba katarız. Elbette tüm bunları hesaplayabilmek için karmaşık sayısal analiz ve hesaplama yöntemlerinden, atmosfere dair gözlemlerden ve birçok matematiksel modelden yararlandığımızı ve bu kadar yüksek bir doğruluğu sağlamanın son derece güç olduğunu söylemeye bile gerek yok!

Uydumuzun nerede olacağını hesaplayabiliyoruz ama nerede olduğunu nasıl biliyoruz? Bunun için yerden teleskoplarla ya da radarlarla gözlemleyip uydunun yörüngesini bulabiliriz ama bunların hassasiyeti birkaç yüz metre ila birkaç kilometre olabilir. Bizi uğraştırmadan, uydunun konumunu kendi kendine ve 15-20 metre hata payıyla bulabilme-

si için uydunun üzerinde bulunan Küresel Konumlama Sistemi (GPS) alıcısını kullanması yeterlidir. Daha anlaşılır kılmak için bunun, Antalya’dan baktığımızda Sinop’taki arkadaşınızın, evinde hangi odada olduğunu bilebilmenizle aynı şey olduğunu belirtmeliyiz!

Birçok uydü görevi için özel bir yörüngede kalmak ya da yörünge değiştirmek zorundadır. Örneğin uzayın derinliklerine gidecek araçlar önce bir geçici bekleme yörüngesine yerleştirilir, sonra da doğru yörüngelerine geçerler. Ama uydunun yörüngesinde etkili olan kuvvetler belliyken bu yörüngeden bir başka yörüngeye nasıl geçebiliriz? İmdadımıza Newton’un etki-tepki ilkesi yetişiyor. Uydunun yörüngesini değiştirmek aslında gitmek istediği yörünge ve içinde bulunduğu yörüngeyi kesişim noktasında hızını değiştirip yeni yörüngesine “atlamasından” başka bir şey değil. Uydunun hızını, daha doğrusu momentumunu değiştirebilmek için hızlanmak istediğimiz yönün ters yönüne doğru bir miktar kütleli mümkün olduğunca hızlı bir şekilde yollamalıyız ki biz de ters yönde hız ya da momentum kazanabilelim. İşte bunu yapan sistemler de “itki sistemleri”. Uydunun ters yönünde hızlandırdığımız şey kimi zaman yüksek basınç altındaki gaz, kimi zaman patlayarak çıkan yanıcı maddeler ve hatta kimi zaman da elektrik alanında hızlandırılmış iyonlar olabiliyor!

Yönelim Belirleme ve Kontrol Alt Sistemi

Düşünün ki heyecanlı bir maç izliyorsunuz. Birdenbire yayın bozulmaya başlıyor. Dışarıya bakıyorsunuz, yayınları almanızı sağlayan uydü anteni sağlam ve hava da açık. Neler oluyor? Sinirlenip uydü alıcınıza vurmadan önce bir daha düşünün. Uyduların yöneliminin, yani bir anlamda nereye baktıklarının niye bu kadar önemli olduğunu artık siz de biliyorsunuz.

Birçok faydalı yük sadece belirli bir yöne bakıp çok hassas bir şekilde belirlenmiş bir alana yayın yapacak vericilerle (örneğin televizyon yayını yapan vericiler) ya

da çok küçük bir alandan veri toplayacak alıcılarla (örneğin görüntüleyiciler) donatılmıştır. Daha kötüsü, bu faydalı yükler genellikle kendi başlarına dönemezler; tüm uydunun doğru yöne bakacak şekilde döndürülmesi ve genellikle de çok kararlı bir şekilde bu yönelimin korunması gerekir. Bu iş gerekli doğrulukla yapılamazsa neler olabileceğiyle ilgili bir örnek verelim. 700 kilometre irtifadaki bir uydunun sadece bir derecelik sapmayla fotoğraf çekmesi yerde tam 12 kilometre uzaklıktaki bir bölgenin fotoğraflanması anlamına gelir; yani görüntülemek istediğimiz yeri hiç göremeyebiliriz bile! Ya da televizyon yayınları yapan 36.000 kilometre yükseklikteki bir uydunun birkaç derecelik sapması, yayın yapılan bölgenin kısmen ya da tamamen kapsama alanı dışına çıkmasıyla sonuçlanabilir.

Yönelimimizi ölçmek için Dünya’nın manyetik alanından veya Güneş’in nerede olduğundan yararlanabiliriz. Ama hepsinden daha iyisi, tıpkı yüzyıllar önce denizcilerin yaptığı gibi yıldızlara bakmak. Çok uzaktaki yıldızlar gökyüzünde neredeyse hiç hareket etmedikleri için, yıldızların fotoğrafını çekip bir yıldız haritasıyla karşılaştırarak yönelimimizin ne olduğunu hesaplayabiliriz. Hem de 0,1 dereceden daha az bir hata payıyla!

Ölçüm yapmak güzel ama yönelimimizi nasıl değiştirebiliriz? Öyle ya, biz Yeryüzü’nde dönebilmek için bir yerlerden kuvvet almak zorundayız, ama uzayda bunu nasıl başarabiliriz? Örneğin küçük roket motorlarını uydunun uzak köşe ve kenarlarına yerleştirip ateşleyerek uydüyü döndürebiliriz. Ama yakıt hem ağırlık yapar hem de uydunun ömrü bu yakıt miktarıyla sınırlanır. Yenilenebilir bir kaynak olarak Dünya’nın manyetik alanını kullanabiliriz. Danimarkalı bir bilim insanı olan Hendrik Lorentz’in adıyla anılan Lorentz yasası der ki: Bir manyetik alanda belli bir hızla hareket eden yüklü bir parçacığın üzerinde hız ve manyetik alana dik yönde bir kuvvet oluşur. Şu halde, Dünya’nın manyetik alanında hareket eden uydumuzun içinde, üzerinden akım geçirdiğimiz bir çubuğun üzerinde bir kuvvet oluşacaktır. Bu

kuvveti kullanarak yönelimimizi istediğimiz kadar değiştirebiliriz.

Ancak Dünya'nın manyetik alanı çok zayıf olduğu ve tüm uydular bu manyetik alanın içinde hareket etmediği için yönelimini hızla değiştirmek zorunda olan ya da yüksek yörüngelerdeki uydular bu kuvvetten yararlanamazlar. Bu işin bir çözümü var, hem de çok tanıdık! Newton'un ünlü etki ve tepki ilkesi bizi tekrar kurtarıyor. Duran bir cismi ittiğimizde biz de ters yönde hareket etmeye başladığımız gibi, duran bir cismi döndürdüğümüzde biz de ters yönde dönmeye başlarız. İşte bu da açısal momentumun korunumundan başka bir şey değildir. Şu halde, belli bir yöne bakan ama dönmeyen uydumuzun içine taktığımız bir tekeri harekete geçirdiğimizi düşünelim. İlk durumda sıfır olan açısal momentumunu korumak isteyen uydu ters yönde dönmeye başlayacaktır. Teker durdurursak uydunun dönmesi de duracaktır. Eğer bu tekeri istediğimiz gibi yukarı aşağı ya da sağa sola hareket ettirebilirsek, uyduyu istediğimiz yönde döndürebiliriz. Tabii uydular ne kadar büyürse bu tekerler de o kadar büyümek zorunda. Örneğin Uluslararası Uzay İstasyonu'nda saniyede 100 defadan fazla dönen, her biri 200 kilogramdan daha ağır dört tane teker var.

Güç

İnsanların, yiyeceklerinden enerji sentezlemeye ve acil durumda kullanmak için bunu vücutta depolamaya ihtiyaçları olduğunu biliriz. Aynı şekilde, uyduların da üzerlerindeki birçok elektronik ve mekanik donanımın çalışabilmesi ve gerektiğinde, enerji üretilemezken bile uydunun hayatta kalabilmesi için güç üretmeye ve depolamaya gereksinimi vardır.

Güneş'ten çok uzaklaşmayan, Dünya'nın çevresindeki uydular ya da Mars'a giden uzay araçları yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisinden yararlanır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten küçük hücrelerden oluşan güneş panelleri aslında evlerimizde kullandığımız hesap makinelerinden çok da farklı değildir. Bu hücreler değişik malzemelerden yapılabilir ama uydularda genellikle yarıiletken yapı-

daki galyum ve arsenik bileşiminden (Ga-As) oluşan hücreler kullanılır. Bu hücrelerin döşendiği paneller de uyduların yan panellerine yerleştirilebilir ya da uyduda çok fazla güce gerek varsa bir mekanizmayla açılabilen ve hatta ayçiçekleri gibi sürekli Güneşe doğru bakan paneller kullanılabilir.

İlk yapay uydu Sputnik-1 gibi kısa ömürlü uydularsa bu enerjiyi bir pilden alırlar. Güneş enerjisinden yararlanan uydular, örneğin Dünya'nın gölgesine girdiklerinde, enerji ihtiyacını karşılamak için yine pilleri kullanırlar.

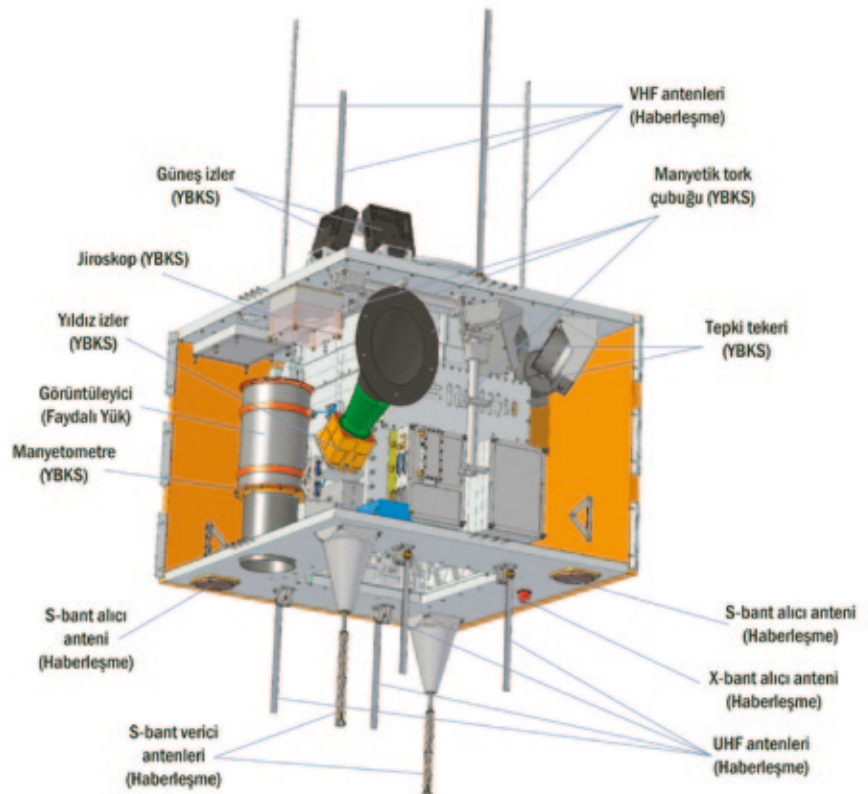
Yapısal Alt Sistem

Şimdiye değin bir uydu ile insan arasında yaptığımız benzetmeye devam edersek, yapısal sistem tam olarak işleme karşılık gelmektedir. Diğer sistemleri görev boyunca maruz kalacakları kuvvetlere karşı desteklemek ve bir arada tutmak, uydu yapısının başlıca görevidir. Ancak bunu yaparken, yapının olabildiğince hafif olmasını sağlamanın getireceği ekonomik avantajlar oldukça önemlidir. Tıpkı bir uçaktaki gibi hafif tasarlanan bir uydu da, eğer itki sistemine sa-

hipse, görevini yerine getirmek için az yakıt harcar. Ayrıca, uydunun yörüngeye yerleştirilebilmesi için gereken fırlatma maliyeti de kütlesine bağlıdır!

Uydu yapılarının tasarımını en çok etkileyen faktör fırlatma esnasında ortaya çıkan yüklerdir. Roketten uyduya iletilen sabit ve ani ivmelenmelerle yüksek seviyeli titreşim ve akustik yükleri, uydu için hiç de dostça olmayan bir ortam yaratır. Bu zor koşullara dayanmak ve diğer sistemlerin en az düzeyde etkilenmesini sağlama görevi ise yapısal alt sisteme düşer. Neyse ki bu yüksek seviyeli yükler sadece birkaç dakika sürer ve bu süre sonunda yapısal sistem görevinin büyük kısmını tamamlamış olur.

Elbette bu kadar zor koşullara dayanmak zorunda bıraktığımız uydumuzun, bu koşullardan sağlam çıkacağını baştan garantilemeliyiz. Bu nedenle uydu yapısının dayanımı birçok analiz ve testle kanıtlanmış olmalıdır. Uydunun üç boyutlu modeli üzerinde yapılan yapısal analizler ile uydunun yüklere dayanımı ve dinamik özellikleri, testlerin öncesinde tahmin edilebilir ve bu tahminler tasarımın iyileştirilmesinde kullanılır. Ancak tüm



bu analizlerin sonuçlarını destekleyip doğrulamak için uydunun her bir parçasını, mekanik bir kopyasını ve sonra da tamamını zorlu testlerden geçiririz. Öyle ki birbirinin tıpatıp aynı iki uydu üretip, birinin üzerindeki testlerin başarılı olduğunu gösterdikten sonra, bu kadar ağır testlerle yorulmamış olanı uzaya yollarız!

Yersabit Yörünge ve İletişim Uyduları

Uyduların küresel iletişim aracı olarak kullanılması fikri ilk olarak İngiliz bilim insanı ve bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke tarafından 1945'te öne sürülmüştür. O zamanlar böyle bir teknoloji yoktu, hatta ilk uydu olan ve uzay çağını başlatan Sputnik henüz fırlatılmamıştı bile. Tasarım çalışmalarına 1954'te başlanan ve son derece basit bir uydu olan Sputnik için bile 1957'ye kadar beklemek gerekmişti. Ancak, bu tarihten sonraki gelişmeler olağanüstü bir hızla gerçekleşti. 1958'de ABD Başkanı Eisenhower Amerika'ya uydu üzerinden yılbaşı mesajı gönderdi. 1960'ta ilk yansıtıcı uydu Echo kullanıldı. Bu, 30 m çapında alüminyum yansıtıcı bir yüzeyi olan bir balondu. Üzerine gelen radyo dalgalarını pasif olarak yansıtıyordu. Aynı yıl ilk aktif yansıtıcı uydu olan Courier 1B de fırlatıldı. Bundan sonraysa gelişmeler baş döndürücü bir hızla ilerledi.

Uydu Veri Kotarma Sistemi

İnsanlar birçok hayati organdan oluşsa da, bu organlar arasında iletişimi sağlayan sinir sistemi ve bu iletişimi düzenleyip vücudun neler yapacağına karar veren ve bilgileri depolayan bir beyin olmadığı sürece hayatta kalamayız. Benzer şekilde, uydunun içindeki birçok elektronik ve mekanik sistemin bir arada çalışabilmesi, birbirlerine veri aktarması, gerekli verilerin depolanması ve tüm bunların belli bir merkezden idare edilmesi ve kontrolü gerekir.

Uydunun bileşenleri arasındaki iletişim, sinir sistemi gibi tüm uyduyu saran veriyolu üzerinden sağlanır. Veriyolu üzerinden taşınan bilgileri işleyen ve gerekirse komutlar üreterek uyduyu yöneten bir işlemci ve depolanması gereken verileri biriktiren bir bellek bulunur. Örneğin yer istasyonundan komut vererek uydunun veri depolama birimini açmak istediğimizi düşünelim. Yer istasyonundan yollanan komut haberleşme alt sisteminde alınır ve güç alt sistemine yollar. Güç alt sistemi komutun gereğini yerine getirir ve veri depolama birimine güç verir. Veriyolundaki sinyalleri dinleyen işlemci de veri depolama biriminin açıldığını öğrenir. Tabii uyduya yaptırabileceklerimiz sadece haberleşebildiğimiz süreyle sınırlı değildir. Yer istasyonunun üzerinden geçerken, birçok komut gerektiği zaman uygulanmak üzere belgeye yüklenir ve uydu Dünya'nın hangi bölgesinin üzerinde olursa olsun zamanı geldikçe bu komutları uygular. Böylece Türkiye'nin üzerinden geçerken yüklenen komutlar örneğin Kuzey Kutbu'nun üzerinden geçerken netkinleşir ve buzulların fotoğrafı çekilebilir.

Isıl Kontrol Sistemi

İnsanlar kutuplardan çöllere, tropik ormanlardan yüksek dağlara kadar değişik sıcaklık, nem ve atmosfer şartlarında yaşayabilmelerini neredeyse sınırsız uyum yeteneklerine ve Dünya'nın görece yumuşak koşullarına borçludurlar. Ama bir de Güneş'in ve uzayın kozmik ışınlarını engelleyen ve bize yaşanır bir ortam sunan atmosferden çıkıp yaklaşık -270°C sıcaklıkta, havasız koşullarda ve uzayın sert ışınım ortamında yaşadığımızı düşünelim.

Böyle bir ortam biz canlılar için olduğu kadar karmaşık elektronik ve mekanik sistemler içeren uydular için de son derece zordur. Uydular Güneş'ten gelen ısı yükleriyle yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Bunu gözümüzün önüne getirmek için orta boylu bir insanın hemen önünde çalıştırılacak 1400W'lık bir ısıtıcıyı düşünmek yeterli. Diğer yandan, uzaya bakan

yüzeylerden -270°C'deki uzaya ışınım yoluyla çok miktarda ısı kaybedilir ve bu yüzeyler çok düşük sıcaklıklara inebilir.

Ancak uyduların içindeki elektronik sistemler genellikle ancak 20-25°C'lik bir sıcaklık aralığında çalışabilir. Hassas yakıt tanklarının ve pillerin 0°C'nin altına inmesi büyük tehlike oluşturur. Görüntüleyicilerin sıcaklıkla genleşmesi ve uzayıp kısalmaları odağın ve görüntü kalitesinin bozulmasına yol açacağı için çalışabilmeleri ancak birkaç derecelik bir sıcaklık aralığında olanaklıdır. Çok soğukta mekanizmalar donabilir, yüksek sıcaklıkta eriyebilir.

Bu nedenle, her uydu öncelikle uzayın sert ortamları dikkate alınarak tasarlanır ve üretilir. Uyduların ısı kontrol alt sistemiyle bir yanda Güneş'ten ve Dünya'dan gelen ısı yükleri ve uydudan uzaya kaçan ısı kontrol edilirken diğer yandan uyduda çalışırken ısı açığa çıkaran diğer elektronik donanımlar kontrol edilerek uydunun her bir bileşeninin kendi uygun sıcaklık aralığında tutulması sağlanır.

Önemli olan uydunun belli bölgelerini ısıtmak ya da soğutmak olduğuna göre, aktif, yani elektrikle çalışan, istediğimiz zaman açıp kapatabileceğimiz ısıtıcılar ya da soğutucular kullanmak bir çözüm olabilir. Fazladan güç gerektirmeleri kusur kabul edilebilirse de, bir bileşenin kısa süre içinde ısıtılması ya da çok kısıtlı sıcaklık aralığında tutulması gibi işleri ancak aktif kontrolle sağlayabiliriz.

Diğer bir çözüm olarak, yerde kullandığımız vantilatör gibi içerideki havayı dağıtıp sıcaklığı dağıtan ya da klima gibi soğuk ya da sıcak hava üfleyen sistemler akla gelebilir, tabii uzaya fırlatıldıklarında içlerinde hava kalmayan uydularda bunları kullanmanın imkânsız olduğunu unutmamak gerek!

Son ve aslında en basit çözüm, soğuk kalan yerlerde üretilen ısıyı koruyacak, yüksek ısıya maruz kalan yerlerde ısıyı emmeyecek ve çabucak dağıtacak yalıtım kaplamaları gibi özel ısı-optik özellikleri olan malzemeler kullanmaktır. Bu türden bir ısı kontrol sistemini evlerdeki çift camlı pencerelere ve yalıtım malzemelerine benzetmek mümkündür. Bu malze-

melerle uydunun belli bölgelerini kaplamak ucuz, basit ve güvenilir bir yöntem olsa da, uydu bir kez fırlatıldıktan sonra bunları değiştirmek şansımız kalmaz.

Bunun gibi pasif bir yöntem iyi bir örnek olarak BİLSAT uydusunu verebiliriz. BİLSAT'ın dış yüzeylerinde kullanılan ve pasif eleman olarak tanımlanan ilk yüzey aynaları Güneş'ten gelen ısı yüklerinin yaklaşık %90'undan fazlasını yansıtarak, uydunun Güneş'ten yararlanacağı miktarda ısıyı almasını sağlar, düşük yayılım katsayısıyla da uzaya ısı kaçışını engeller.

BilSat Isıl Tasarımı

Bu alt sisteme en iyi örnek olarak BİLSAT'ı verebiliriz. BİLSAT'ın dış yüzeylerinde kullanılan ve pasif eleman olarak tanımlanan ilk yüzey aynaları (alttaki resimde BİLSAT'ın uzaya bakan yüzeyinde görünen kaplamanın rengi yanılmasın, pembe katman fırlatmanın hemen öncesinde çıkartılmıştır). Güneş'ten gelen ısı yüklerinin yaklaşık %90'undan fazlasını yansıtarak uydunun Güneş'ten yararlanacağı miktarda ısıyı alması sağlanmış, düşük yayılım katsayısıyla uzaya ısı kaçışı engellenmiştir.

Yapısal birim için hayati öneme sahipse kullanılan Alüminyum malzemenin ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle, birbiriyle olan ısı transferi artırılarak modüllerin benzer ısı ortamında seyretmesi ve aşırı ısınmanın engellenmesi sağlanmıştır.

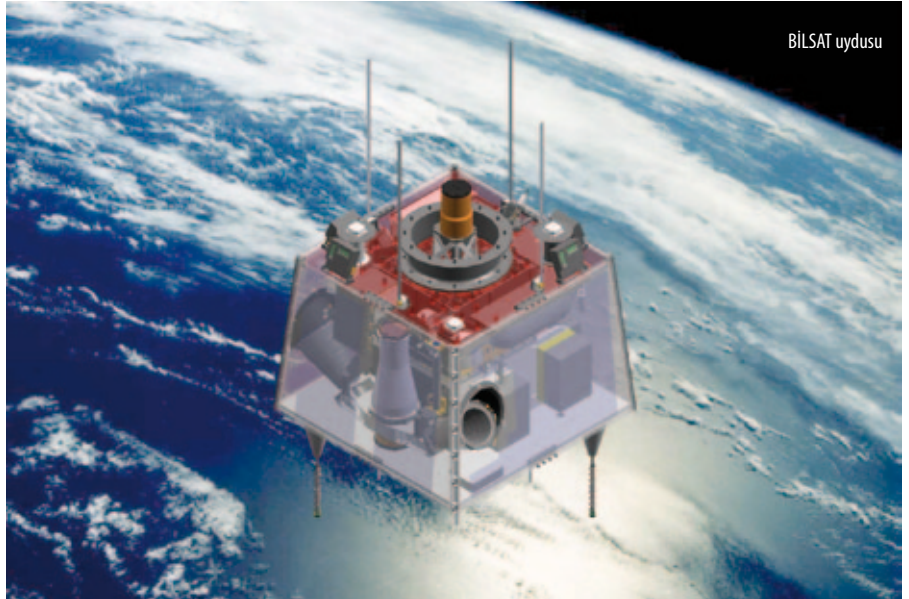


BİLSAT'ın "uzaya bakan" yüzündeki pasif ısı kontrol kaplamaları. Görünen kaplamanın rengi sizi yanıltmasın, pembe katman fırlatmanın hemen öncesinde çıkartılmıştır.

Haberleşme

Uzayda çalışacak insansız bir araç tasarlanmanın, dünyada çalışacak bir araç tasarlamaya göre belki de en büyük zorluğu bir sorun çıkması durumunda düzeltme şansının hemen hemen hiç olmamasıdır. Çok pahalı ve kritik sistemler dışında hiçbir uzay aracı ya da uydu için uzaya gidip veya cihazı dünyaya getirip onarım veya bakım yapılamaz; hemen her şey yerden yönetilmeye çalışılır. Bu açıdan düşünüldüğünde haberleşme sistemi en kritik sistemlerden biridir. Bizden

yonlarca kilometre ötede olabileceğinden bahsetmiştik. Bu kadar uzaktaki uydulara "sesimizi duyurmak" için epeyce barmamız gerekir! Diğer bir deyişle uydularını kontrol edebilmek için yer istasyonlarından bu komutları çok kuvvetli radyo dalgaları olarak yollarız, ancak mesafe nedeniyle uydular bunları zayıf bir şekilde algılayabilir. Daha da kötüsü, uyduların üzerinde yerde kullandıklarımız gibi metrelerce büyüklükte antenler ve çok enerji gerektiren yükselticiler bulunmayacağı için yere yolladıkları verileri içeren dalgalar elimize çok zayıflamış bir şekilde



BİLSAT uydusu

çok uzaklarda olan uzay araçları veya uydularla çok güvenilir bir iletişim içinde olmalıyız. Bu, uydudan bize gelen verileri doğru edinebilmemiz ve onu doğru şekilde kontrol edebilmemiz için zorunludur. Haberleşmemizin koptuğu, kontrol edemediğimiz bir uzay aracı kaybedilmiş demektir.

Bir uydu için haberleşme sistemi, insan için başkalarıyla iletişimi sağlayan organları gibidir. Nasıl bir insan başkalarıyla iletişim kurabilmek için göze, kulağa, ağza veya uzuvlarına gereksinim duyuyorsa, bir uydu da haberleşme sistemi sayesinde bizimle iletişim kurar.

Uyduların kimilerinin 600 kilometre, kimilerinin 36.000 kilometre ve hatta uzayın derinliklerine gittiklerinde mil-

ulaşır. Bu "fısıltıları" duymak için dev kulaklar gibi görünen çanak antenlerle sinyalleri toplayıp hassas yükselticilerle yükseltmemiz gerekir ki uydularımızın bize neler söylemeye çalıştığını anlayabilelim!

Kaynaklar

Wertz, J.R., ve Larson, W.J., *Space Mission Analysis and Design*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
Maini, A.K., ve Agrawal, V., *Satellite Technology: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, 2007.
Sellers, J., Astore, W., Giffen, R., ve Larson, W., *Understanding Space: An Introduction to Astronautics*, McGraw-Hill, 2005