GÜVEN VEREN TEKNOLOJİ

SAYI 115 / OCAK 2023

aselsan DERGİ

ISSN 1300-2473

ASELSAN A.Ş. Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfının bir kuruluşudur.

EPISODE 115

ASELSAN UZAYDA

UYDU VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ALANINDA UZUN YILLARDIR ÇALIŞMAKTA OLAN ASELSAN, DENİZ ALTINDAN UZAYIN DERİNLERİNE KADAR GÖREVİNİ SÜRDÜRÜYOR. TÜRKSAT 5B UYDUSUNDAKİ ASELSAN EKİPMANLARI 36 BİN KİLOMETRE YER SABİT YÖRÜNGEDE TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ 8'E ULAŞAN TÜRKİYE'NİN İLK UZAY EKİPMANLARI OLMAYI BAŞARDI. UZAYDA KONUMLANACAĞI YÖRÜNGESİNE YOLCULUĞU BİR SÜREDİR DEVAM EDEN TÜRKSAT 5B UYDUSU VE İÇERİSİNDE YER ALAN ASELSAN EKİPMANLARINA AİT İLK SİNYALLER, UYDUNUN YÖRÜNGESİNE ULAŞMASIYLA BİRLİKTE YER KONTROL İSTASYONUNDAN ALINDI

Birliktelik

Birliktelik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Her durumda birlikte sorumluluk üstleniriz.
- Birbirimizle her durumda dayanışma içinde oluruz.
- Ortamda bulunmayanın hakkını koruruz.
- Ekip amaçları için birbirimizi cesaretlendiririz.
- İş sonuçlarına katkı sağladığını düşündüğümüz davranışları takdir ederiz.
- Bölümler arası iş süreçlerinin uyumu için bilgiyi ve deneyimi paylaşır, iş birliği yaparız.
- Farklılıklara saygı gösterir, farklılıklardan sinerji yaratırız.

Güven

Güven değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Söylediğimizi yapar, yaptığımızı söyleriz.
- Açık, net ve şeffaf iletişim kurarız.
- Verdiğimiz sözleri tutarız.
- İşleri zamanında ve tam olarak teslim ederiz.
- Hatayı kimin yaptığına değil, sorunun çözümüne odaklanırız.

Gelişim

Gelişim değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Sürekli öğrenir ve kişisel gelişimimizin sorumluluğunu alırız.
- Potansiyelimizi zorlayıcı hedeflerle keşfeder ve geliştiririz.
- Gelişim için geri bildirim alırız ve yapıcı geri bildirim veririz.
- İç ve dış paydaşlarımızın gelişimine katkı sağlarız.

Mükemmellik

Mükemmellik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Süreçlere uygun çalışır, süreçlerin etkinliğini sürekli izler ve iyileştirme önerileri sunarız.
- Kaynaklarımızı verimli kullanırız.
- Daha iyisi için bir işin nasıl yapılmayacağını değil nasıl yapılabileceğini konuşuruz.
- İşimizin izlenebilir, tekrar edilebilir olmasını sağlarız.
- Paydaşlarımızın ihtiyaç ve beklentilerini doğru analiz ve tespit eder, karşılıklı teyit ederiz.

Yenilik

Yenilik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Rutini sorgular, yeni fikirler üretir, yaratıcı çözümler deneriz.
- Değişim ihtiyacını anlar, destekler ve değişime öncülük ederiz.
- Hata yapmaktan korkmayız ve hataları bir öğrenme fırsatı olarak görürüz.
- Bireylerin farklı fikirlerini ifade etmelerini destekleriz.
- Dünyadaki yenilikçi yaklaşımları takip eder, proaktif bir anlayışla işlerimize yansıtırız.

GÜCÜMÜZ DEĞERLERİMİZ

aselsan

HAYALLERİMİZ UZAY İÇİN

Prof. Dr. Haluk GÖRGÜN
Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdür

Uzay; kullanım sahalarının artması, başta savunma ve güvenlik olmak üzere, sivil, ticari ve askeri birçok alanda üstünlükler sağlamasıyla oldukça hızla gelişen bir sektör haline geldi. Uzay ve uydu teknolojilerindeki gelişmeler, savunma ve güvenlik alanında sunduğu benzersiz yeteneklerin yanında, insanoğlunun yaşadığı gezegeni ve onu çevreleyen atmosferi daha iyi tanımasına imkân sağladı. Uzay uygulamaları, ülkelerin sosyoekonomik gelişmelerinde olumlu yönde değişiklikler yarattı, insanlığın refah düzeyinin artırılmasında ve yaşam kaynaklarının daha verimli/etkin kullanımında önemli rol oynamaya başladı.

Uzay araştırmaları çerçevesinde geliştirilen teknolojiler ile elde edilen bilgiler günlük yaşantıda; sağlık, tarım, çevre, enerji, ulaşım, iletişim gibi çok farklı alanlarda yoğun olarak kullanım imkânı buldu. Bu sayede yeni iş sahaları, uzmanlık alanları ortaya çıktı ve küresel sanayi ile yeni pazarlar oluştu.

Gelecekte ülkemizin teknolojik durumunun, refah seviyesinin ve uluslararası konumunun uzayın ne ölçüde kullanıldığı ile bağlantılı olacağı tespitinden hareketle ASELSAN, "toplumsal refahı artıracak şekilde uzaydan azami derecede faydalanma ve bunu sahip olduğu milli teknoloji temelinde başarma" yönünde bir strateji belirledi.

Bu strateji doğrultusunda ASELSAN, uydu teknolojilerine yönelik çalışmalarına hız verdi ve uydu teknolojilerinin farklı bileşenlerinde ürün ve sunduğu hizmetler ile önemli roller üstlendi. ASELSAN, Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artıracak, ekonomik ve teknolojik bağımsızlığını sağlayan kritik teknolojilerin yer aldığı Milli Teknoloji Hamlesi yaklaşımı doğrultusunda uydu teknolojileri alanında da büyük hamleler yaptı.

2000'li yıllarda hazır alınan ürünlerle sağlanan uydu haberleşme sistem çözümleri son yıllarda milli çözümlerle geliştirilerek yurt dışı bağımlılığı ortadan kalktı. Savunma Sanayii projeleri destekleriyle uydu modemleri, RF sistemler, anten sistemleri, yazılımlar, uydu sistemlerinde haberleşme altyapısını sağlayacak ekipmanlar yerli ve milli firmalarımızla kurulan ekosistemimiz ile zenginleştirildi. Bu çalışmalar sırasında yan sanayii ve KOBİ'lerin yanı sıra üniversitelerle de yoğun iş birliği içinde çalışmalar yapıldı. ASELSAN ülkemizin "Teknoloji Üreten Güçlü Türkiye" hedefi doğrultusunda her geçen gün yeni teknoloji ve tasarımlarını uydu teknolojileri alanında da artırmaya devam etti.

ASELSAN, ülkemizde ve yurt dışındaki artan ihtiyaçları da kapsayacak şekilde kara, hava ve deniz platformları için, uydu yer kontrol merkezleri de dâhil olmak üzere milli ve güvenilir uydu haberleşmesi çözümleri ile sahada yer almaktadır.

Bugüne kadar sahip olduğu teknoloji birikimi ve çözüm odaklı yaklaşımları neticesinde ASELSAN, uzay sistemlerine yönelik genel sınıflandırma çerçevesinde uzay ve uydu teknolojilerine ilişkin stratejik hedef olarak; uzay kesiminde (yörüngeye yerleştirilen uzay aracı ve/veya uydu) temelde görev yükü ve haberleşme alt sistemlerine ve yer kesiminde de sabit ve taşınabilir yer istasyonları ve kontrol merkezleri ile tüm platformlar için uydu haberleşme terminallerine yönelik çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürüyor.

Temel teknolojilerden teknolojinin bile ötesine geçen düşlerimiz için uzay hakkında söylenecek çok söz var. ASELSAN Dergimizin bu sayısında sonsuz uzayla ilgili yaptıklarımızı, yapacaklarımızı ve hayallerimizi sizlerle paylaşmak istedik.

Keyifli okumalar dilerim.

aselsan DERGİ

ISSN 1300-2473
YIL: 36, OCAK 2023, SAYI: 115

ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Adına Yayın Sahibi
Prof. Dr. Haluk GÖRGÜN

Genel Yayın Yönetmeni
Prof. Dr. Hakan KARATAŞ

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
İbrahim BİLEKLİ

Yayın Kurulu
Hande BALCI
Esra DOĞU
Esra ERKAN
Gülru SELÇUK FİLİZ
Bahar GİRGİNER
Berkan KARAKURT
Serkan KEKEÇ
Cansın MISIRLI
Fuat Taner ÖZDEMİR
Murat SELÇUK
Cemil SEYİS
Çağrı TURNA
Aybeniz YİĞİT

Haber Merkezi
Cengizhan ÇATAL
Simge SADAK

Fotoğraf
Evren BARIŞIK
İbrahim ÖZTÜRK

Dağıtım
Osman ARDOĞAN

Tasarım
EDİTORYAL Tasarım Ltd. Şti.
Bağlar Caddesi, No: 14
Kağıthane Ofispark, C2 Blok Zemin Kat
Kağıthane 34406, İstanbul
www.editoryal.com.tr

Yayın Tarihi
Sayı 115 - 16 Ocak 2023

Yayın İdare Adresi
ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Mehmet Akif Ersoy Mahallesi
İstiklal Marşı Caddesi, No: 16
Yenimahalle 06200, Ankara

Baskı Cilt
16 Ocak 2023 / 09:00
EMSAL Matbaa Tanıtım Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti.
Bahçekapı Mah. 2477. Cad. No: 6, Etimesgut/Ankara
+90 312 278 82 00, Sertifika No: 46753

Yayının Türü
Yerel Süreli Yayın

Dergide yayımlanan yazılardan, kaynak adı gösterilerek alıntı yapılabilir. Dergide yayımlanan yazılar yazarların kişisel görüşüdür. ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketini sorumlu kılmaz. ASELSAN Dergisi, Basın Ahlak Yasasına uymayı taahhüt eder.

ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme
Vakfının bir kuruluşudur.

HÜCRESEL MOBİL HABERLEŞME UZAY İLE BULUŞUYOR: UYDU ÜZERİNDEN 5G ERİŞİM
S/**110**

UYDU HABERLEŞMESİNDE STABİLİZE ANTENLER
S/**130**

ZAMANA KARŞI BİR BAŞARI ÖYKÜSÜ: TÜRKSAT 5B ASELSAN EKİPMANLARI
S/**232**

İÇİNDEKİLER

TARİHÇE

UZAY ÇALIŞMALARININ TARİHÇESİ 004

UZAYA GENEL BAKIŞ

BİLİNMEYEN KARANLIK: UZAY 016
BİLİM KURGUDAN GERÇEĞE: UZAY ARAÇLARI 028
İNSANLI UZAY UÇUŞLARI VE UZAY YÜRÜYÜŞÜ 038
UZAYDA HAREKET: YÖRÜNGELER VE İTKİ SİSTEMLERİ 046
UZAY HUKUKU 056
UZAY SAVAŞLARI: SAVUNMA VE GÜVENLİK BOYUTUNDA UZAY 062

UYDU VE UZAY TEKNOLOJİLERİ

UZAY TEKNOLOJİLERİNDE EĞİLİMLER 072
TEKNOLOJİ PERSPEKTİFİNDE UZAY SEKTÖRÜNÜN DÖNÜŞÜMÜ-UZAY 4.0 082
GEO'DAN LEO'YA: HABERLEŞME UYDULARINDA YENİ YAKLAŞIMLAR 088
ŞEFFAF UYDU GÖREV YÜKÜNDEN ESNEK GÖREV YÜKÜNE 094
HER ORTAMDA UYDU HABERLEŞMESİ 098
UYDULAR ARASI HABERLEŞME: OPTİK VE RF TEKNOLOJİLER 104
HÜCRESEL MOBİL HABERLEŞME UZAY İLE BULUŞUYOR: UYDU ÜZERİNDEN 5G ERİŞİM 110
UYDU HABERLEŞMESİNDE KRİPTO VE KUANTUM TEKNOLOJİLERİ 118
UYDU VERİ LİNKİ TEKNOLOJİLERİ 124
UYDU HABERLEŞMESİNDE STABİLİZE ANTENLER 130
UYDU HABERLEŞMESİNDE DİZİ ANTEN KULLANIMI 134
UZAY TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ 138
DÜNYAMIZA UZAYDAN BAKIŞ: UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ 144
GNSS UYDU TABANLI DÜZELTME SİSTEMİ VE HATA KAYNAKLARI 152
ATOMİK SAATLER VE GNSS İÇİN ZAMAN ÜRETİMİ 158

UZAY İÇİN TASARLAMAK VE TEST ETMEK

UZAY ORTAMININ UYDULARA ETKİLERİ 164
UYDULARIN YAPISINA GENEL BAKIŞ 170
UZAY EKİPMANLARI İÇİN TASARIM GELİŞTİRME VE ÜRETİM YAKLAŞIMLARI 178
ASELSAN BASKI DEVRE ÜRETİM TESİSİ 186
UZAY ORTAMI İÇİN RADYASYON TESTLERİ 190

POPÜLER UZAY

AY İLE İLK TEMAS: TÜRKİYE'NİN AY GÖREVİ 198
ARTEMİS: İNSANLIĞIN AY İLE YENİDEN BULUŞMASI 208
KIZIL GEZEGEN MARS: YENİ DÜNYA UMUTLARI 216
YENİ TATİL ANLAYIŞI: UZAY TURİZMİ 218

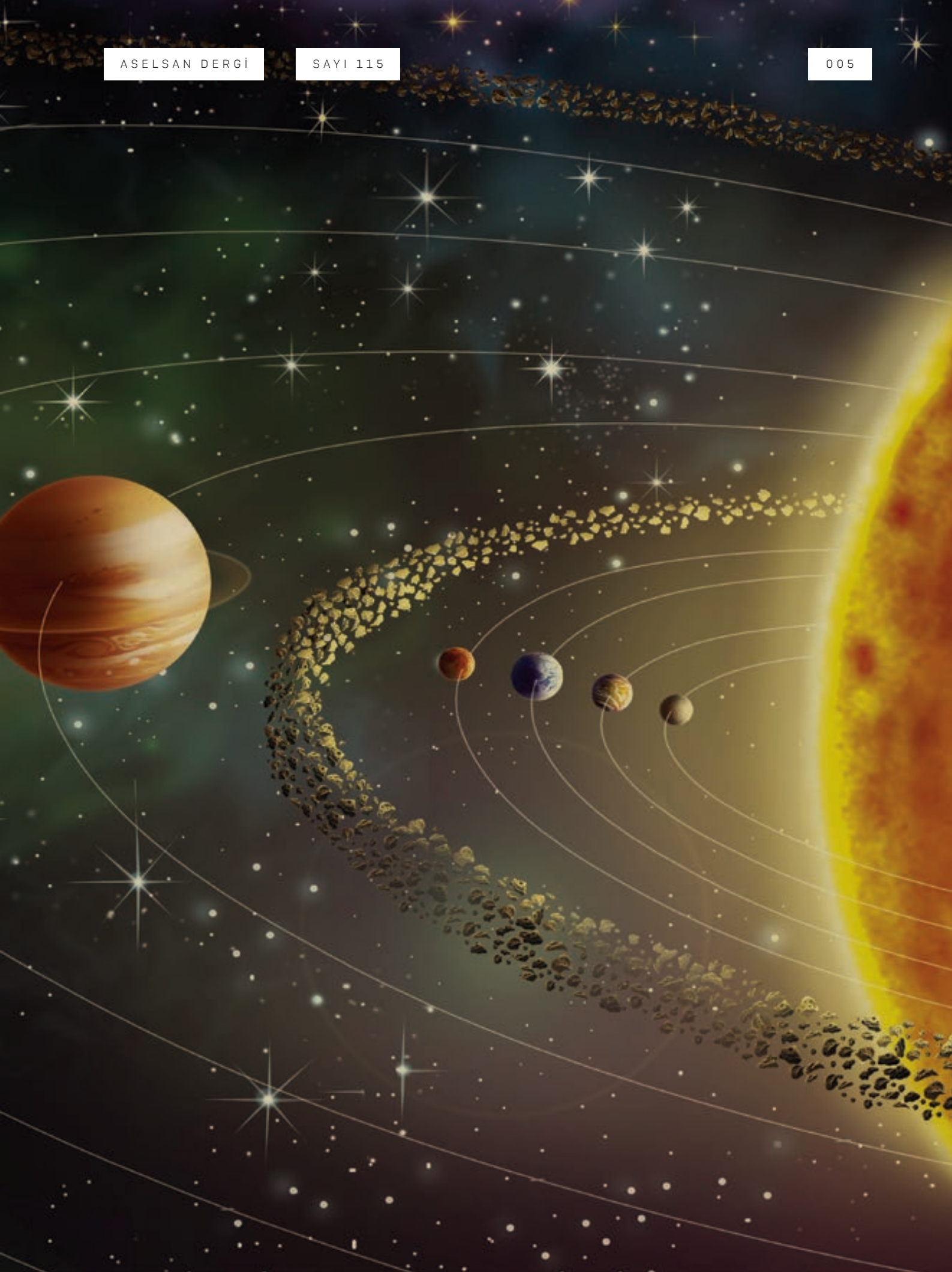
ASELSAN'DA UZAY

ASELSAN VE UZAY: ASELSAN'IN UZAYA BAKIŞI, YETKİNLİKLERİ VE HEDEFLERİ 222
ZAMANA KARŞI BİR BAŞARI ÖYKÜSÜ: TÜRKSAT 5B ASELSAN EKİPMANLARI 232
TÜRKİYE'NİN İLK YERLİ HABERLEŞME UYDUSU TÜRKSAT-6A 234
YÜKSEK HIZLI X-BANT VERİCİ BİRİMİ 238
KEŞİF GÖZETLEMEUYDULARI YER İSTASYONLARI 240
KARA UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ 246
DENİZ UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ 250
İNSANSIZ PLATFORMLAR İÇİN UYDU HABERLEŞMESİ 254
UZAY ALANI DURUMSAL FARKINDALIĞI 258

GÜNCEL HABERLER

ASELSAN KONYA SİLAH SİSTEMLERİ FABRİKASI AÇILDI 264
ASELSAN VE KARSAN'DAN YERLİ VE MİLLİ ELEKTRİKLİ MİNİBÜS 266
GÖKER GÖREVE HAZIR 267
MURAD'IMIZA ERDİK 268
TOBB VE ASELSAN'DAN GÜÇ BİRLİĞİ 270
KUANTUM TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI 271

UZAY ÇALIŞMALARININ TARİHÇESİ



Cem BİLSEL
Göksen DERELLİ

Uzay çalışmalarının kökenine inmeden önce içinde yaşadığımız evren ile ilgili olarak bazı temel sorulara yanıt verelim mi?

Mevcut teori ve gözlemler, Big Bang diye adlandırdığımız Büyük Patlama ile doğumu gerçekleşen evrenimizin yaşının yaklaşık 14 milyar yıl olduğunu öngörmektedir. Evrenin genişleme oranının Einstein'ın izafiyet teorisine uyumlu bir şekilde ilerlediği iddia edilmektedir.

Evrende dünyamız dışında canlılar var mı sorusuna ise hâlâ yanıt aranmakta olup, içinde bulunduğumuz zamanın ötesinin bizlere ne getireceği konusu ise tüm gizemini korumaktadır.

Uzay, gezegenimiz Dünya'nın da içinde bulunduğu gök cisimleri arasında var olan boşluk olup, evren ise güneş sistemleri, gezegenler, galaksiler ile diğer tüm madde ve enerji yapıları da dahil olmak üzere uzay ve zamanın tamamını içermektedir.

Her şeyin zıddıyla birlikte var olduğu kaos (karmaşa) ile kozmostan (düzen) oluşan evrenin bir parçası olan uzay, insanoğlu için hep bir bilinmezlik ve öngörülemezlik içermiş, ulaşılması zor olanı elde etmenin cazibesi ile bilim insanları uzayın sır perdesini aralamak için olağanüstü gayret sarf etmişler, yoğun bir çalışma içerisine girmişlerdir.

Acaba tüm dinozorları dev bir meteor mu yok etmişti? Öyle ise dinozorları yok eden bir meteor insanlığın da sonunu getirebilir mi?

Yıldızlar ölür ve kara delikler ortaya çıkar, ama kara deliklerin ortaya çıkması için yıldızların ölmesi tek başına yeterli midir, aynı zamanda inanılmaz bir şiddetle çökmeleri, etraflarında bulunan her şeyi de birlikte götürecek bir enerji oluşturmaları da gerekmiyor mu? Acaba bu kara delikler sürekli hareket halinde olup, önlerine gelen her şeyi de yutuyorlar mı?

Kızıl gezegen Mars'ta su olduğu ispatlandı, ama acaba mikroskobik boyutlarda da olsa bir yaşam var mıdır? Ya da henüz bilmediğimiz başka gezegenlerde başka canlılar da var mıdır? Onlarla iletişim kurabilir miyiz?

Ölü olup da başka yıldızların enerjilerinden beslenen yıldızlar var mıdır acaba?

Big Ear radyo teleskobu 1977 Ağustos ayında uzayın derinliklerinden bir sinyal aldı; acaba neyin nesiydi bu sinyal, nasıl oluşmuştu?

Acaba Dünya gibi insanların yaşayabileceği başka bir gezegen var mıdır? Varsa kaç ışık yılı ötededir, nasıl ulaşılabilir?

Bu ve benzeri birçok soruya yanıt bulmaya çalışan bilim insanları, bu araştırmalarında hayvanlar da dahil olmak üzere değişik enstrümanlar kullanmışlardır.

Uzaya ilişkin arayışlarda dört bilim insanının ismini öncelikle anmak uygun olacaktır:

Rus Bilim İnsanı Tsiolkovski
(1857-1935)

Roket teorisinin matematiğini geliştirmiş ve çok kademeli roketlerle uzaya yolculuk fikrinin babası olmuştur. Dünya'nın çekim gücünden kurtulmanın ve uzayın derinliklerine doğru yolculuk yapmanın sadece çok kademeli roketlerle mümkün olabileceğini derinlemesine analiz eden ilk kişidir.

Uzun araştırmalardan sonra sıvı hidrojen ve sıvı oksijen karışımının yeterli nozul çıkış süratinin elde edilebilmesi ve bir roketin yükselebilmesi için yeterli olduğunu keşfetmiştir. Daha sonraları ise sıvı hidrojenin başka bir sıvı, asetilen veya petrol gibi yoğunlaştırılmış hidrokarbonla yer değiştirebileceğini öne sürmüştür. Yer çekimi kuvvetini kim yenerse onun evrene yerleşebileceği fikri ona aittir.

Romen Asıllı Alman Bilim İnsanı Hermann Obert
(1894-1989)

Roketle uçuş üzerine 1922 yılında ilk makalesini yazmış ancak Heidelberg Üniversitesi bu makaleyi çok spekülatif bulduğu için kabul etmemiştir. Buna rağmen söz konusu makale Obert'in 1923'te roket teorisinin matematiği, pratik roket modelleri, potansiyel uzay istasyonları ve diğer gezegenlere yolculuk üzerine yazdığı kitabın temelini oluşturmuştur.

Hermann Obert'in 1923 yılında yazdığı kitapta bulunan teoriler pratik uzay araçlarının icat edilmesi fikri için temel olmuştur. Kendi roketinden çıkan gazların süratinden daha süratli hareket edebilen bir roketin vakum ortamında da hareket edebileceğini ve uzaya uydu yerleştirmenin mümkün olacağını ileri sürmüştür. Obert, alkol ve hidrojen karışımını yakıt olarak kullanabilecek roket fikrini ileri sürmüştür.

ABD'li Bilim İnsanı Robert Hutchings Goddard
(1882-1945)

Daha önce sarkaç üzerindeki çalışmalara yoğunlaşan Robert Hutchings Goddard, ABD'nin Birinci Dünya Savaşına girmesiyle beraber çalışmalarına askeri alanda devam etmiş ve onun çalışmalarından esinlenerek İkinci Dünya Savaşında kullanılan Bazuka ortaya çıkmıştır.

Bugün daha bilinen adıyla Rocket Propelled Grenade yani RPG yine onun teorileriyle icat edilmiştir. Bir roketi devamlı olarak katı yakıt parçacıklarıyla beslemenin mümkün olmadığını keşfettikten sonra ilgisini sıvı yakıtlı roketlere yönlendirmiştir.

1926 yılında Tsiolkovsky ve Hermann Obert'in düşüncelerinden bağımsız olarak ortaya attığı yanma odasına iki ayrı yoldan gelen sıvı yakıt ve sıvı oksijen ile yanmanın gerçekleştiği ilk sıvı yakıtlı roket fikrinin babası olmuştur.

Alman Asıllı ABD'li Bilim İnsanı Wernher von Braun
(1912-1977)

İkinci Dünya Savaşında V-2 roketlerini ve balistik füzeleri tasarlamıştır. Savaş sonrası ABD'ye yerleşen Wernher von Braun, burada ABD için çalışmalarına devam etmiş ve kısa sürede fikirleriyle Amerikan Uzay Programına yön veren kişi olmuştur. Nihayet 1955 yılında ise bir ABD vatandaşı olarak kabul edilmiştir.

William Pickering ve James Van Allen ile birlikte geliştirdikleri ilk Amerikan uydusu olan Explorer-1 uzaya fırlatılmış ve Van Allen Radyasyon Kuşaklarını keşfeden ilk uydu olmuştur. Wernher von Braun, 1960 yılında NASA Marshall Uzay Üssünün yöneticisi olmuş ve üzerinde çalıştığı SATURN-5 roketi Ay'a yapılan ilk insanlı yolculukta başarı ile kullanılmıştır.

Bugünkü anlamda uzay çalışmaları, İkinci Dünya Savaşı sonunda V1 ve V2 roketlerini geliştiren Alman bilim insanlarının ABD ve Sovyetler Birliği'ne (SSCB) götürülmeleri ile başlamış, ilk yıllarda SSCB, ABD'den daha önde olmuştur.

SSCB ile ABD arasındaki siyasi düşmanlığın hakim olduğu Soğuk Savaş diye adlandırılan dönemde, SSCB 1957 yılında ilk uzay üsleri olan Baykonur'u inşa etmeye başlamış, 4 Ekim 1957 tarihinde ise ilk yapay uydu olan SPUTNIK I'i Dünya yörüngesine fırlatmıştır. SSCB'nin SPUTNIK'i fırlatması ABD tarafında krize dönüşmüş ve 3 Kasım 1957 tarihinde Rusların içinde Laika adlı bir köpeğin bulunduğu ikinci uyduları SPUTNIK II'yi uzaya yollaması ABD'de Başkan Eisenhower yönetiminin muhalifler ve kamuoyu nezdinde önemli ölçüde eleştirilmesine yol açmıştır.

1945'te Wernher von Braun ve 457 Alman bilim adamı öncülüğünde uzay çalışmalarına başlayan ABD ise ilk uydusunu (Explorer I) 31 Ocak 1958'de yörüngeye yerleştirebilmiş, bu uydu vasıtasıyla ilk olarak Dünya çevresindeki radyasyon kuşağı keşfedilmiş ve bu kuşağa adı geçen buluşu yapan ABD'li bilim adamı Van Allen'ın adı verilmiştir.

Bundan beş ay sonra aynı yıl içinde Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (National Aeronautics and Space Administration– NASA) kurulmuştur. NASA'nın kuruluşu ile ABD'de sivil ve askeri uzay faaliyetleri birbirlerinden ayrılmıştır.

1960 yılında SSCB tarafından içinde canlı olan (Belka ve Strelka adlı köpekler) uydu fırlatılmış, nihayetinde de 12 Nisan 1961 yılında Yuri Gagarin VOSTOK adlı uzay aracı ile uzaya gönderilen ilk insan unvanını almıştır.

ABD'nin ilk insanlı uzay uçuşu ise 5 Mayıs 1961'de Alan B. Shepard tarafından gerçekleştirilmiştir.

Uzay çalışmaları 1960'lı yıllarda Batı blokunu temsilen ABD ve Doğu blokunu temsilen SSCB arasında bir teknolojik yarış şeklinde cereyan etmiş ve her iki ülke de bu alanda üstünlüğü ele geçirmek için çok önemli miktarlarda yatırımlar yapmışlardır.

İlk uyduların geliştirilmesinde askeri gereksinimlerin önemli rolü olmuştur. Çünkü her iki süper güç de uzayı hâkim tepe (ultimate high ground) olarak görmüştür.

ABD ve SSCB'nin uzay çalışmalarını temelde üç temel motivasyon unsuru yönlendirmiştir:

- Alman V1 ve V2 füzelerine ilişkin teknolojinin ABD ve SSCB'nin eline geçmesi sonucu elde edilen avantajla uzun menzile balistik füze ile ulaşma fırsatının doğması ve bu düşüncenin, doğal olarak insanları atmosferin üst katmanlarına yani uzaya taşıyabileceğinin görülmesi,
- Kitle imha silahlarının, kıtalararası menzile sahip balistik füzelerle düşman hedeflerine atılması isteği sonucunda ABD ve Rusya tarafından, Soğuk Savaş döneminin en önemli silahlarından kıtalararası balistik füzelerin (ICBM) ortaya çıkarılması,
- Soğuk Savaş döneminde ABD ve SSCB'nin birbirlerinin askeri yetenekleri hakkında yoğun istihbarat toplama ihtiyacı nedeniyle, hava sahası ihlali yapmadan düşman hedeflerinin keşfinin yapılması ve bunun sonucunda keşif uydularının ortaya çıkmasıdır.

ABD ve SSCB dışındaki diğer ülkelerin uzay teknolojilerine yüksek katılım göstermeleri, genellikle ABD ve SSCB tarafından yürütülen çalışmaların belirli bir seviyeye ulaşmasından oldukça sonra başlamıştır.

1969 yılında ABD ve SSCB arasındaki uzay teknolojileri yarışının bitmesinden ancak on yıl sonra, 1979 yılında Fransa, Ariane-1 roketi ile 1.600 kg ağırlığa sahip deneysel uydusunu alçak dünya yörüngesine yerleştirmeyi başarmıştır.

Uzayda var olmanın avantajlarını tecrübe eden ülkeler bu alanda önemli yatırımlar yaparak, küresel bir yarışı başlatmıştır. Uzay yarışı ağırlıklı olarak savunma ve güvenlik gerekçelerinden beslenmiş ancak kaçınılmaz olarak tüm sektörlerde etkisini hissettirmiştir.

Uzay, iletişimden tarıma, ulaşımdan sağlığa oldukça geniş bir yelpazede, kullanan tarafa büyük yetenek ve avantajlar sunmuştur. Diğer taraftan, günümüzde giderek yaygınlaşan ve bilimsel araştırma, gözetleme, haberleşme, meteoroloji, seyrüsefer, askeri vb. kullanım alanları olan insan yapısı uydular insanoğlunun yaşam standartlarını artırmıştır.

Ay yüzeyine insansız ilk inişi ise Sovyet uzay aracı Luna-2 1959'da gerçekleştirmiştir. Uzay aracı inişte yüksek süratinden dolayı kazaya uğramıştır. ABD'ye ait Ranger-4 uzay aracı ise 1962'de Ay yüzeyine inişi denemiş, ancak kaza sonucu parçalanmıştır.

Sovyet Luna-9 ve Luna-13 uzay araçları Ay yüzeyine sert iniş yapmışlar ve Ay yüzeyine ait ilk fotoğrafları Dünya'ya gönderebilmişlerdir. ABD'ye ait beş insansız uzay aracı da Surveyor görevlerinde Ay yüzeyine yumuşak inişi gerçekleştirebilmişlerdir.

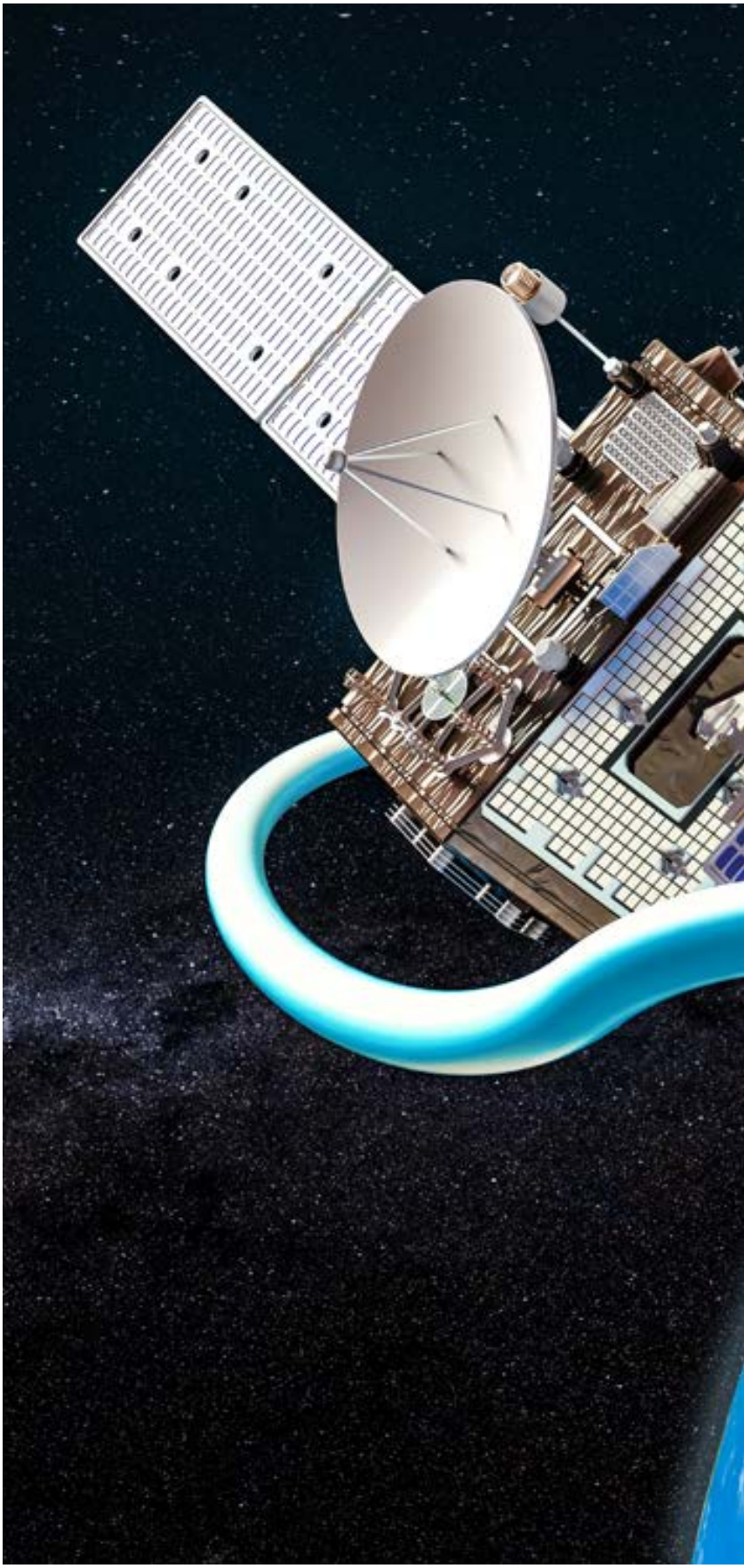
Ay yüzeyine insansız uzay araçlarıyla inişin (çarpma) gerçekleştiği 24 Eylül 1959 yılından günümüze kadar olan sürede ABD, Sovyetler Birliği, Japonya, Avrupa Uzay Ajansı, Hindistan, Çin ve İsrail'e ait insanlı ve insansız olmak üzere yaklaşık 62 adet inişli (sert iniş, yumuşak iniş, gezgin, örnek geri getirme) Ay görevi icra edilmiştir. Bu görevlerden 29 adedi başarılı olarak sınıflandırılmaktadır. İnişli görevlerin yanında Ay yörüngesine oturtulan (orbiter) ve yakın geçiş gerçekleştiren (Flyby) uzay araçlarıyla yaklaşık 72 görev gerçekleştirilmiştir.

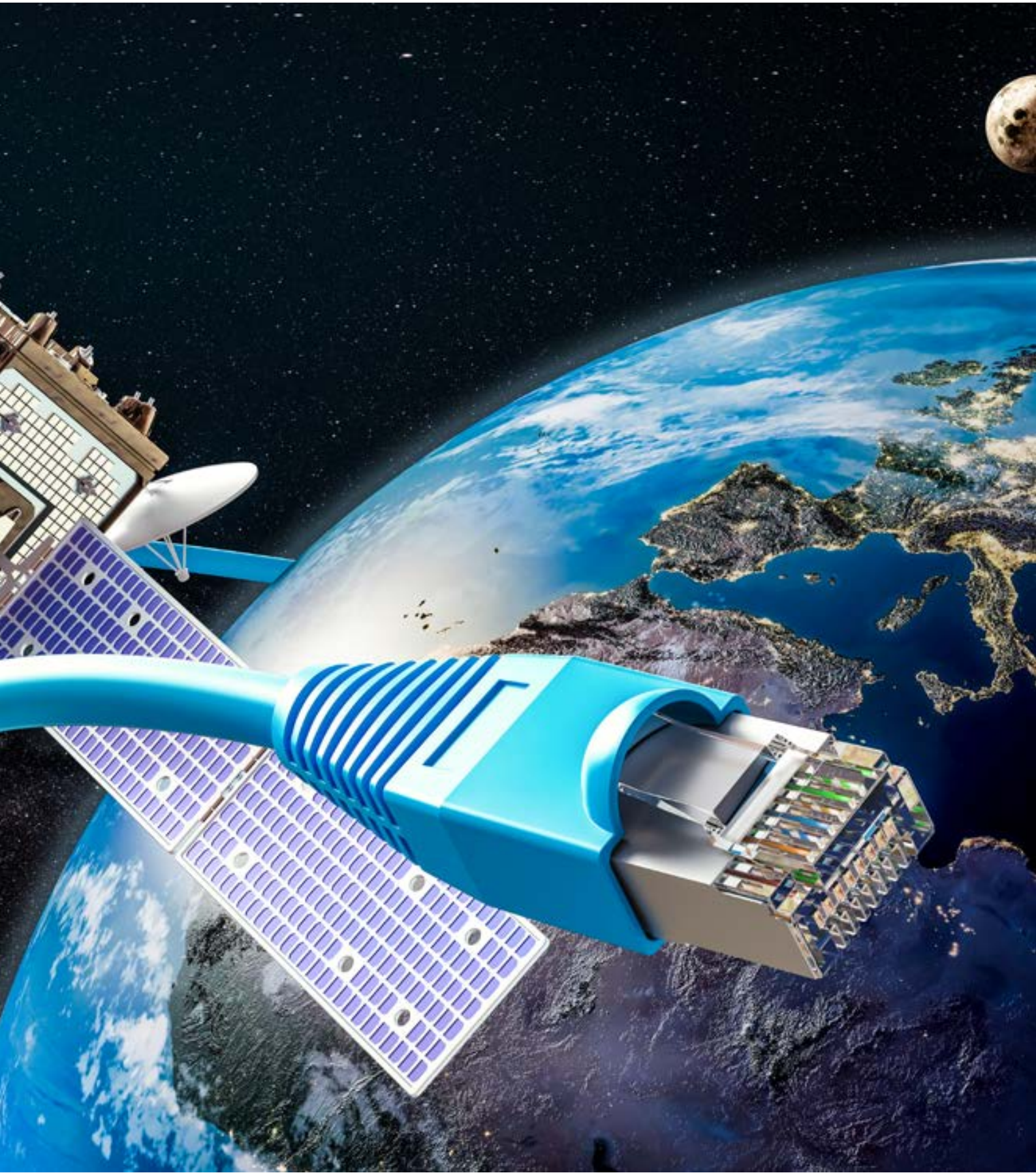
Ay yüzeyine ilk insanlı iniş ise 21 Temmuz 1969'da ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. Ay yüzeyine ilk ayak basan insanlar, Apollo-11 Ay modülüyle ABD'li astronotlar Neil Armstrong ile Buzz Aldrin'dir. Şimdiye kadar toplam altı adet Ay'a insanlı iniş gerçekleştirilmiştir. Bu inişlerin tamamı ABD'ye ait olup Ay yüzeyine ayak basan toplam insan sayısı 12'dir.

Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS), Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) çatısı altında toplam beş Uzay Ajansı iş birliği ile geliştirilmiş olup, ilk kısmı 1998 yılında fırlatılmış, alçak Dünya yörüngesine yerleştirilmiş, yaşanabilen ilk yapay uydudur.

Sonuç olarak;

- Kendi ulusal uzay teknolojilerini geliştirmeyi amaçlayan ülkelerin, deneyim kazanmış olan diğer ülkelerin geçmişte göstermiş oldukları çabaları dikkatle incelemeleri maliyet, zaman ve kaçınılabilecek riskler bakımından önemli avantajlar sunmaktadır.
- Bu yönüyle uzay çalışmalarının tarihçesi, herkes için çıkarılacak birçok dersi ve öğretiyi içermektedir.





BİLİNMEYEN KARANLIK: UZAY

Fuat Taner ÖZDEMİR
İsmail Ergün KOCABIÇAK

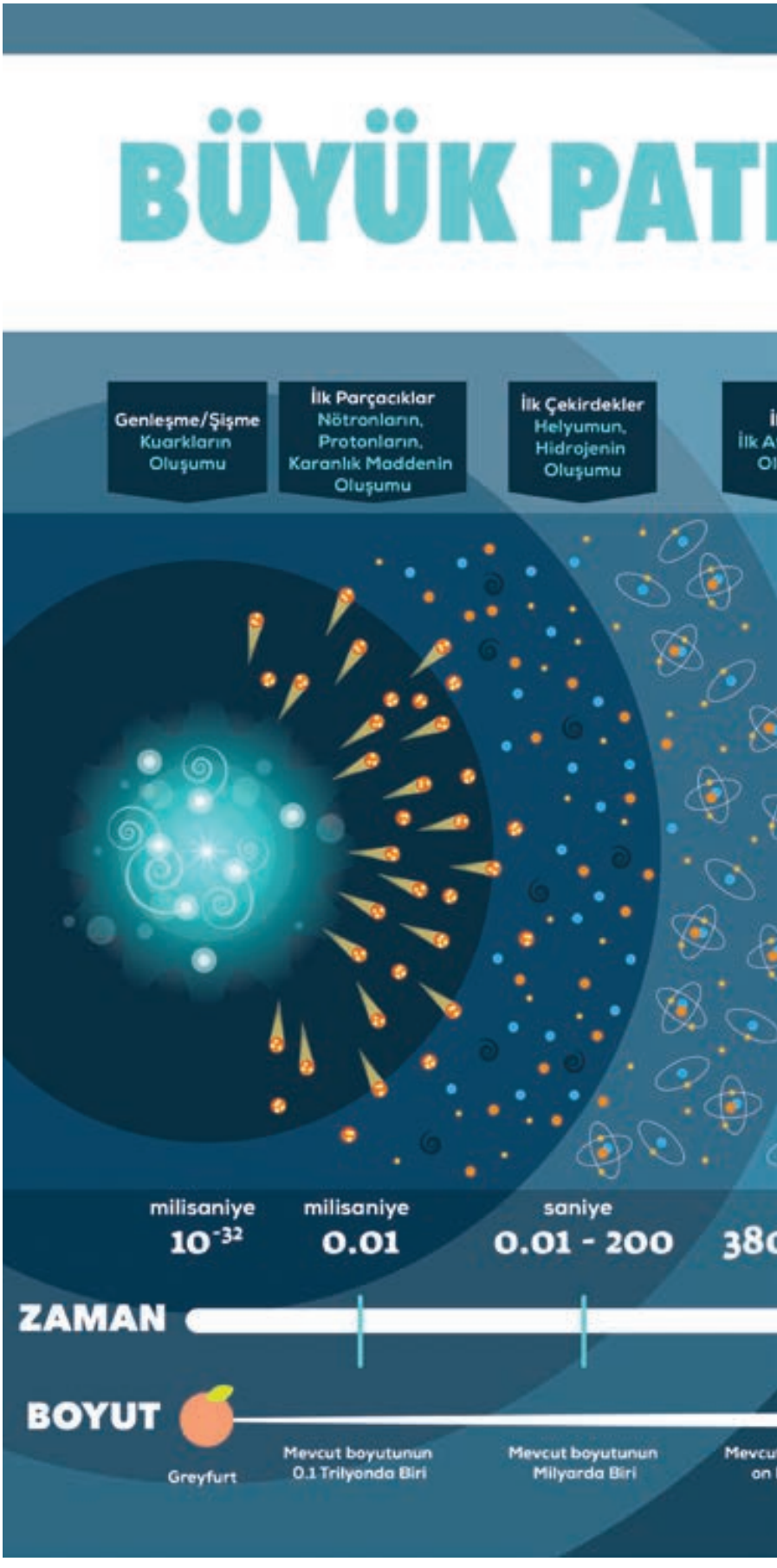
Başımızı kaldırdığımızda gördüğümüz sonsuzluk veya evren; bu kavramı tanımlamak için tek bir kelime kullanıyoruz; uzay. Peki uzay diye tanımladığımız bu ortam nasıl ortaya çıktı, nasıl bir yapısı var, neleri içerir, sınırları var mıdır?

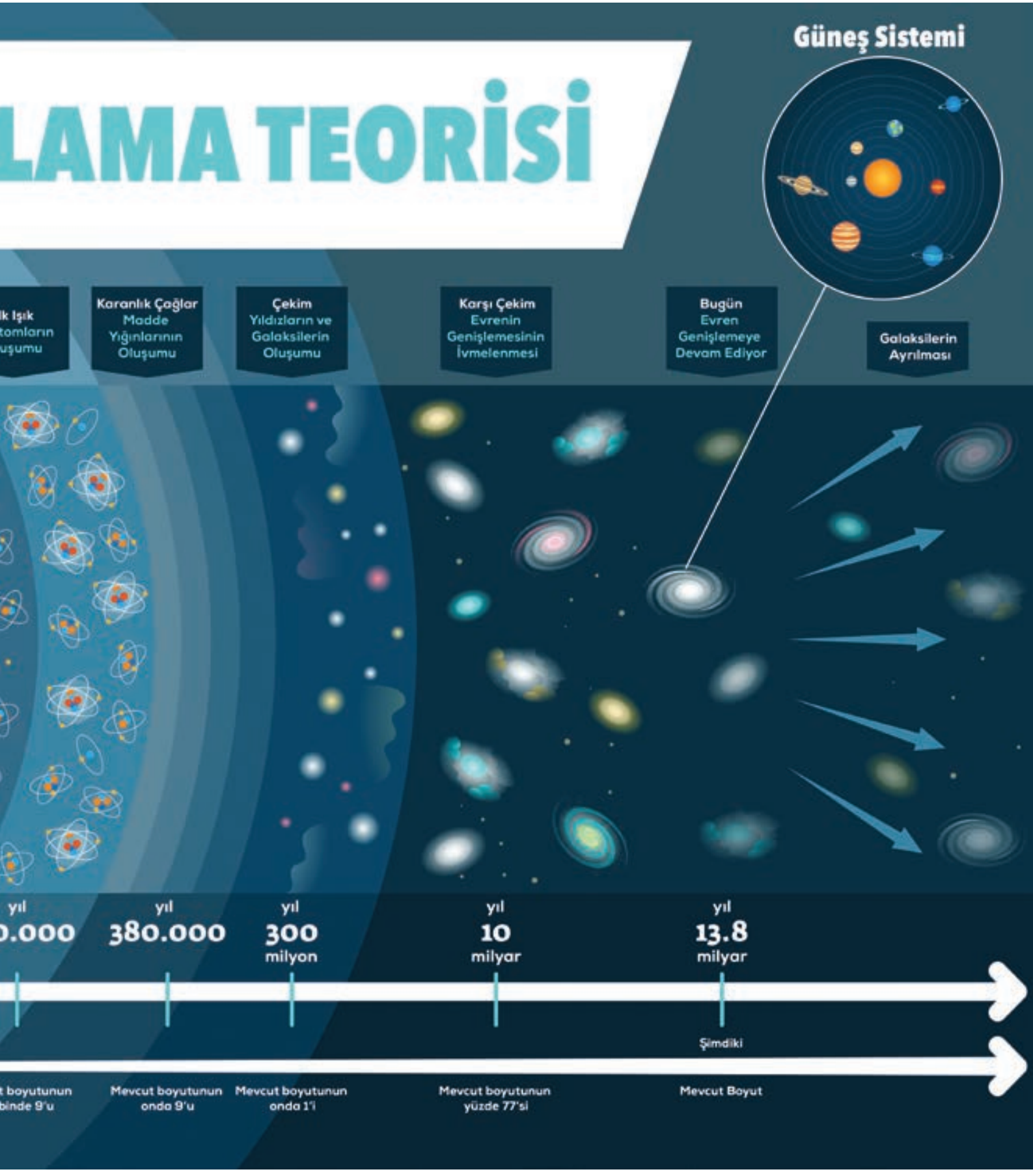
Evrenin oluşumu hakkında en yaygın kabul gören teori; yaklaşık 13,8 milyar yıl önce çok sıcak ve yoğun tek bir noktadan başladığını temel alan Büyük Patlama (Big Bang) teorisidir.

Bilim insanları Büyük Patlamanın, isminden anlaşıldığının aksine, uzayda gerçekleşen bir patlama olmanın ötesinde uzayın tüm evrende meydana çıkması olduğunu ifade etmektedir. Evrenin varoluşuna ilişkin bulgular Büyük Patlama sonrası arta kalan ışımalar ve kozmik mikrodalgaların incelenmesiyle elde edilmektedir. Bu incelemeler neticesinde evrenin 13,8 milyar yıllık var oluş yolculuğu ortaya konmaktadır.

Büyük Patlamanın hemen sonrasında çok sıcak ve yoğun nokta olan evrenin aşırı bir hızda genişlemesi evrenin soğumasını ve yoğunluğunun azalmasını beraberinde getirmiş ve madde oluşmuştur. Büyük Patlamadan sonra ilk 380 bin yıllık sürede yoğun sıcaklık nedeniyle atomların birbirlerine çarpması toz bulutu gibi dağılmış nötron, proton ve elektron plazmalarının oluşmasına neden olmuştur.

Büyük Patlamadan yaklaşık 400 milyon yıl sonra toz bulutları birleşerek ilk yıldızları ve galaksileri oluşturmaya başlamıştır. Bizim içinde bulunduğumuz güneş sistemi de Büyük Patlamadan yaklaşık 9 milyar yıl sonra meydana gelmiş ve 4,6 milyar yaşındadır. Yapılan son araştırmalar Güneş'in, Samanyolu (Milky Way) Galaksisi içinde yer alan 100 milyardan fazla yıldızdan birisi olduğunu ve galaksimizin merkezine kabaca 25 bin ışık yılı uzaklıkta bulunduğunu göstermektedir.




LAMA TEORİSİ
Güneş Sistemi
ık Işık
tomların
uşumu
Karanlık Çağlar
Madde
Yığınlarının
Oluşumu
Çekim
Yıldızların ve
Galaksilerin
Oluşumu
Karşı Çekim
Evrenin
Genişlemesinin
İvmelenmesi
Bugün
Evren
Genişlemeye
Devam Ediyor
Galaksilerin
Ayrılması
yıl
.000
yıl
380.000
yıl
300
milyon
yıl
10
milyar
yıl
13.8
milyar
Şimdiki
t boyutunun
binde 9'u
Mevcut boyutunun
onda 9'u
Mevcut boyutunun
onda 1'i
Mevcut boyutunun
yüzde 77'si
Mevcut Boyut

Dünyaya bağlı bakış açımıza göre, uzayın çoğunlukla deniz seviyesinden yaklaşık 100 kilometre yukarıda, Kármán hattı olarak bilinen yerde başladığı düşünülür. Bu, solunacak veya ışık saçacak miktarda havanın olmadığı yükseklikteki hayali bir sınırdır. Bu irtifayı geçtikten sonra, oksijen molekülleri gökyüzünü mavi yapacak kadar bol olmadığı için mavi yerini siyaha bırakmaya başlar.

Kimse uzayın ne kadar büyük olduğunu tam olarak bilmiyor. Bu durum da uzaydaki mesafeleri ölçmek ve tanımlamak için yeni bir birimin ortaya konmasını kaçınılmaz kılıyor. Bu birim, ışığın bir yılda kat etmesi gereken mesafeyi (yaklaşık 9,46 trilyon kilometre) temsil eden ışık yılıdır. Bugün teleskoplarla evrenimizin oluşumuna kadar uzanan süreçte oluşan galaksilerin haritası çıkarılıyor. Bu, yaklaşık 13,8 milyar ışık yılı uzaklıktaki uzayı görebilmek anlamına gelir. Ancak evren genişlemeye devam ederek uzayı ölçmeyi daha da zorlaştırmaktadır.

GÖRÜNMEYEN UZAY RADYASYONU

Uzay, parlayan benekler şeklinde görünen gök cisimlerine ilave olarak farklı radyasyon biçimlerine de ev sahipliği yapmaktadır. Bu radyasyon için en çarpıcı örnek güneş rüzgârlarıdır (güneşten akan yüklü parçacıklar). Uzaydaki radyasyon zaman zaman dünyanın kutuplara yakın bölgelerinde kutup ışıkları olarak bilinen auroralara neden olur.

Güneş sisteminin dışındaki süpernovalardan (enerjisi biten yıldızın şiddetli patlaması) kaynaklanan kozmik ışınlar da diğer bir radyasyon kaynağıdır. Her ne kadar biz göremesek de kozmik ışınlar aslında bulunduğumuz her ortamda bizi çevreler. Bir bütün olarak uzay esasen, Büyük Patlamadan arta kalan radyasyon olan Kozmik Mikrodalga Arka Planı (Cosmic Microvave Background-CMB) olarak bilinen şeyle doludur. CMB, cihazlarımızın algılayabildiği en eski radyasyondur.

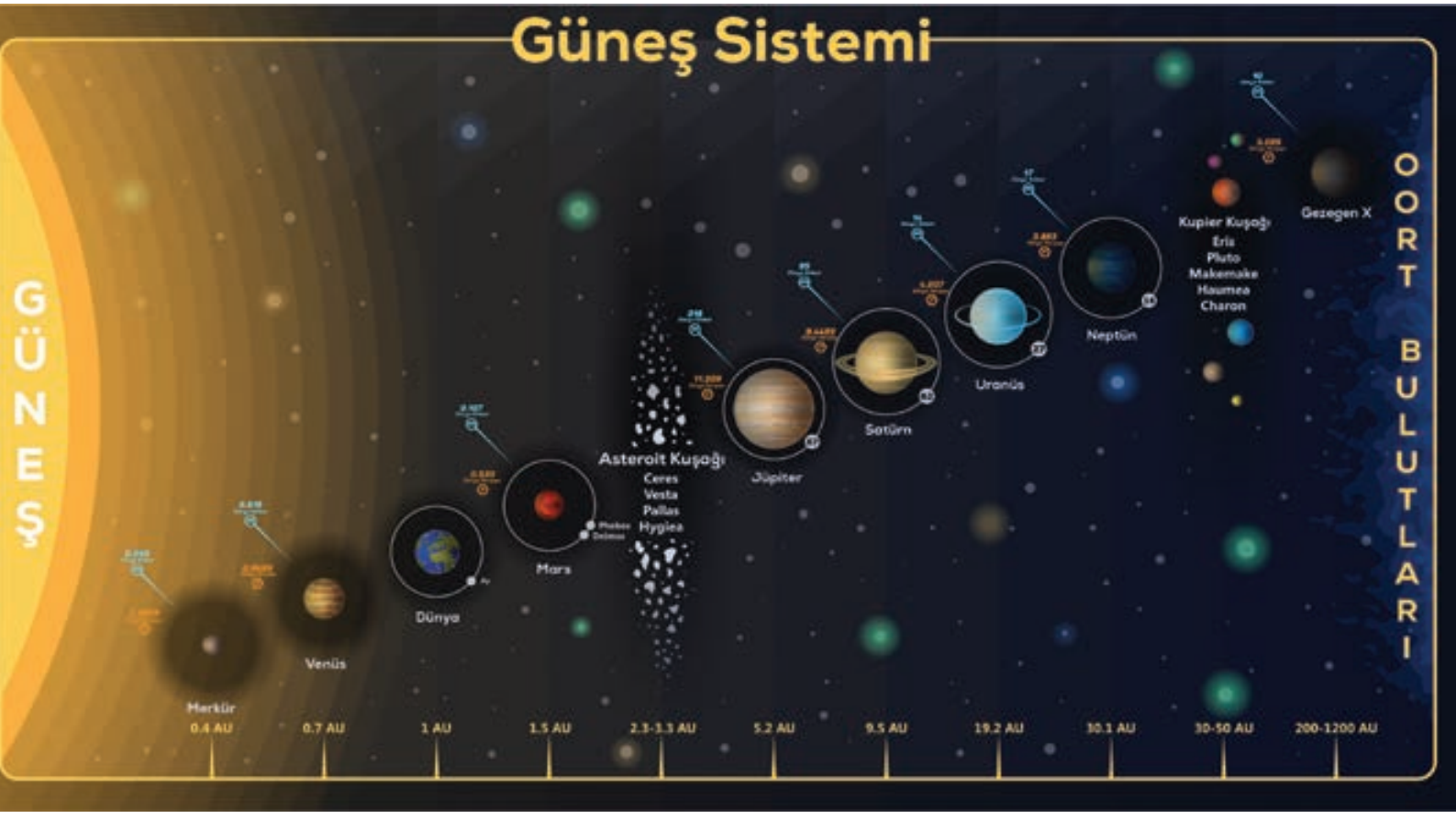
Bu durum aslında bizlere uzayın statik bir ortam olmadığını, meydana gelen uzay olaylarının doğrudan dünyamızı ve yörüngesindeki uzay araçlarını etkileyeceğini gösterir ve uzay havası kavramının da altında yatan olguları ifade eder.

YILDIZLAR, GEZEGENLER, ASTEROİDLER VE KUYRUKLU YILDIZLAR

Yıldızlar (güneşimiz gibi) kendi radyasyonlarını üreten devasa gaz toplarıdır. Kırmızı süper devlerden (0.3-8 güneş kütlesine ve 4.700 °C'den fazla sıcaklığa sahip bir yıldızın evriminin geç aşamaları), süpernovaların artıkları olan soğuyan beyaz cücelere (yaşamının son evresindeki soğuk yıldızlar) kadar değişik yapıda olabilirler.

Yıldız patlamaları, evrene element yaymaktadır ve demir gibi elementlerin var olma sebebidir. Bununla birlikte bu patlamalar, nötron yıldızları adı verilen inanılmaz derecede yoğun nesnelerin oluşmasını da sağlayabilir. Nötron yıldızları radyasyon darbeleri gönderirse, bunlara pulsar yıldızları denir.

Gezegenler, temel olarak kendi yer çekimi sayesinde yuvarlak hale gelecek kadar büyük ancak bir termonükleer füzyon başlatacak kadar büyük olmayan (kendi ışık kaynağı olmayan), etrafındaki gezegenimsileri temizlemiş ve içinde bulundukları sistemin yıldızından aldıkları ışığı yansıtan gök cisimleridir.



Güneş sistemimiz içindeki gezegenler için bu tanım üzerinde tüm bilim çevrelerinin tam mutabakatı yoktur. Ancak Plüton'un bir gezegen olarak kabul edilip edilemeyeceğinin tartışıldığı 2006 yılında Uluslararası Astronomi Birliği (International Astronomy Union-IAU) gezegen için bu tanımlamayı yapmıştır. Bu tanımlama ile Plüton ve benzeri küçük nesneler cüce gezegenler olarak kabul edilmiştir. Yeni Ufuklar (New Horizon) uzay aracı 2015 yılında Plüton'un yanından geçerken, Plüton'daki arazi çeşitliliği gözlemlenmiş ve bu tespit de gezegen tanımı ve Plüton'a yönelik tartışmayı yeniden başlatmıştır.

Güneş sistemi dışındaki gezegenlerin tanımı ise hala IAU tarafından kesinleştirilmemiştir. Ancak kendi sistemimizdeki tanımlamayı referans alırsak bu tanıma uyacak şekilde güneş sistemi dışındaki ilk gezegen 1992'de Pegasus Takımyıldızında bulunmuştur. O zamandan beri binlerce yabancı gezegen doğrulanmıştır. Bununla birlikte güneş sistemlerinde protoplanet adı verilen oluşum sürecini tamamlamamış gezegenler de bulunmuştur.

Asteroitler, cüce gezegen olmak için yeterince büyük olmayan kayalardır. Bilim çevrelerinde asteroitlerin, küçük boyutları nedeniyle genellikle güneş sisteminin oluşum sürecinin kalıntıları olduğu kanısı hakimdir.

Çoğu asteroit, Mars ve Jüpiter gezegenleri arasındaki bir kuşakta yoğunlaşmıştır. Ancak sistemimizde gezegenler ile etkileşime girebilecek şekilde gezegenlerin yörüngesinden geçebilen birçok asteroit de vardır.

Kuyruklu yıldızlar, güneş sistemimizde Oort Bulutu adı verilen geniş bir buz kütlesi topluluğundan kaynaklandığına inanılan nesnelerdir. Eski dönemlerde kuyruklu yıldızlar Dünya için tehlike ve yıkım ile ilişkilendirilirken, Halley Kuyruklu Yıldızı ve ilgili periyodik veya geri dönen kuyruklu yıldızların keşfi, bunların sıradan güneş sistemi fenomenleri olduğunu ortaya koymuş ve kuyruklu yıldızlara bakışı değiştirmiştir.

GALAKSİLER VE KUASARLAR

Galaksiler (gök ada) milyarlarca yıldızdan oluşan topluluklardır; galaksimiz Samanyolu bunun tipik bir örneğidir.

Yıldızlar, galaksinin merkezinin yörüngesinde döner. Bir yıldız evriminin sonuna ulaştığında, gazının çoğunu yeni nesil yıldızların kaynağı olacak şeklide yıldızlar arası ortama geri döndürebilir. Bu nedenle galaksiler, gazı yıldızlara dönüştüren ve tekrar geri getiren sistemler olarak düşünülebilir.

Güneş sistemi ile karşılaştırıldığında, galaksiler çok büyüktür. Galaksilerde yüz milyardan fazla yıldız bulunmaktadır. Bir galaksinin şekli bize, oluştuğu koşullar hakkında bilgi verir. Üç temel galaksi şekli eliptik, sarmal ve düzensiz olarak sıralanabilir.

Galaksiler, merkezlerine gömülü süper kütleli kara deliklere sahiptir. Bu kara delikler aktifse ve içine çok miktarda madde çekerse, devasa miktarda radyasyon üretir. Bu tür bir galaktik nesneye ise kuasar denir.

Bugün kuasarların, son derece enerjik çekirdeklere sahip galaksiler olduğunu biliyoruz. Böyle bir çekirdeğin yaydığı radyasyon miktarı, galaksinin geri kalanından gelen ışığı bastırır, böylece yalnızca özel gözlem teknikleri ile galaksinin geri kalanı görülebilir.

KARANLIK ENERJİ VE KARANLIK MADDE

Uzayla ilgili bir bir aydınlatılan olgular bir yana zihinlerde derin sorular oluşturan bilinmeyenler arasında iki temel konu ön plana çıkıyor: Karanlık madde ve karanlık enerji.

Bilim insanları evrenin bileşimini, yaklaşık yüzde 68 karanlık enerji, yüzde 27 karanlık madde, yüzde 5 normal madde olarak tanımlıyorlar.

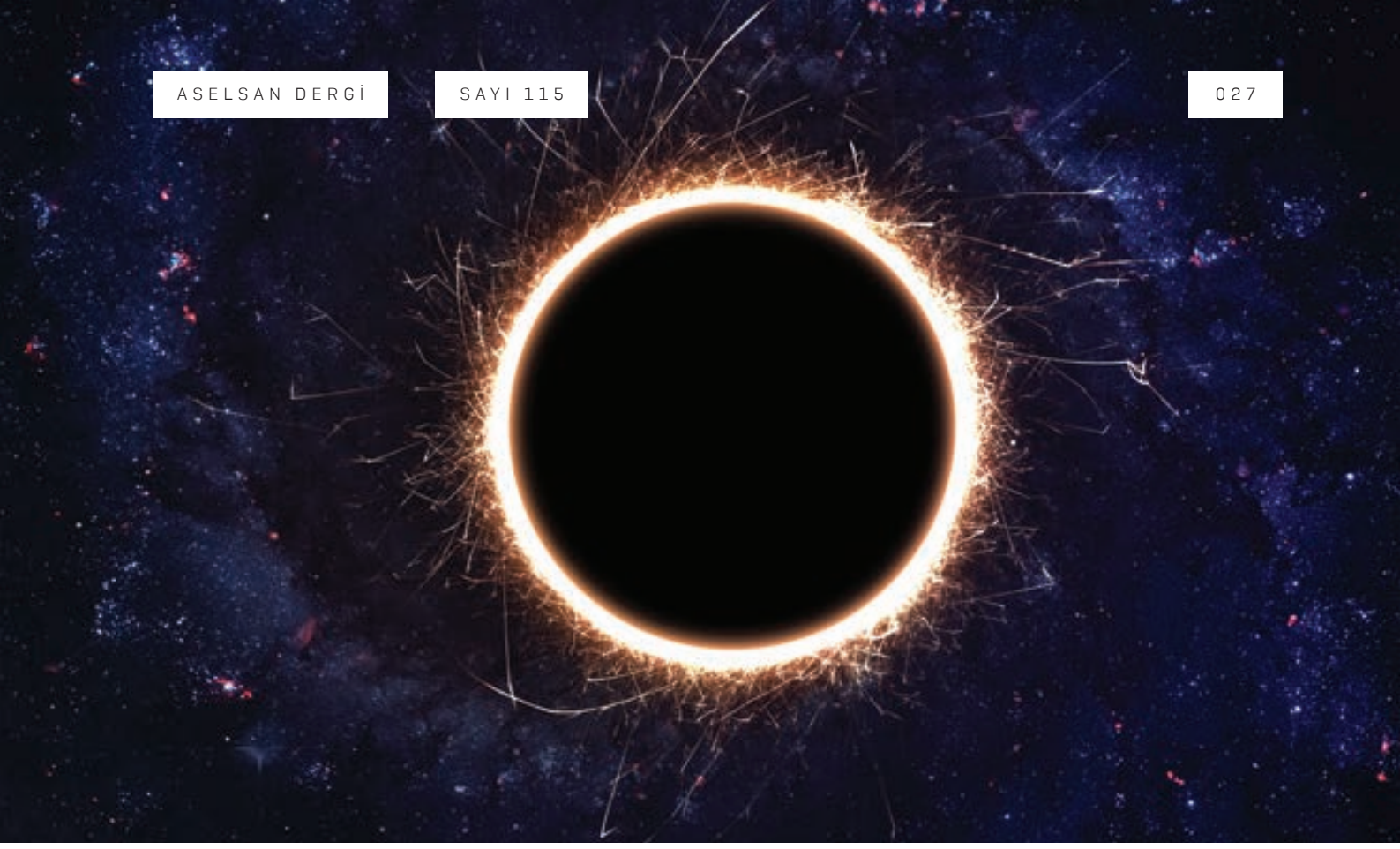
1990'ların başında, evrenin genişlemesi konusunda genişlemenin ve yeniden çökmenin durdurulması için gerekli enerji yoğunluğuna sahip olunup, olunamaması konusunda iki farklı tez tartışılırken, yer çekiminin zaman geçtikçe genişlemeyi yavaşlatacağı konusunda bilim çevrelerinde kesine yakın bir kanı hakimdi. Bugüne kadar genişleme konusunda yavaşlama gözlemlenmemişti ama teorik olarak evrenin yavaşlaması gerekiyordu.

Ancak 1998 yılında Hubble Uzay Teleskobunun (Hubble Space Telescope-HST) çok uzak süpernova gözlemleri, uzun zaman önce evrenin aslında bugün olduğundan daha yavaş genişlediğini gösterdi. Yani evrenin genişlemesi herkesin düşündüğü gibi yer çekimi nedeniyle yavaşlamıyor, aksine hızlanıyordu. Teorisyenler bu duruma hala tatmin edici bir cevap bulamadı ama kavramsal bir tanımlama yaptılar; karanlık enerji.

Karanlık enerji, bilim adamlarının evrenin devam eden genişlemesinden sorumlu olduğunu düşündüğü gizemli ve bilinmeyen bir güçtür. Karanlık enerjiyi tanımlamak için ortaya konan; uzayın bir özelliği, yeni bir dinamik akışkan veya yeni bir yer çekimi teorisi olasılıkları arasında karar vermek için henüz çok erken ve bunun için ise gereken şey daha fazla ve daha iyi veri.

Karanlık enerji kavramına yönelik çalışmalarla iç içe giren karanlık madde konusunda ise bilim çevreleri elde ettikleri sonuçlar itibarıyla karanlık maddenin ne olduğundan çok ne olmadığına yönelik veriler elde ettiler.

Karanlık maddenin gerçekte ne olduğu veya mevcut tanımımıza göre madde olup olmadığı bile bilinmemektedir. Bununla birlikte, karanlık madde ışık veya enerji yaymaz ve bu nedenle doğrudan gözlemlenemezken, bilim insanları, karanlık maddenin uzaydaki maddenin büyük çoğunluğunu oluşturduğuna dair önemli kanıtlar bulmuşlardır. Karanlık madde ve karanlık enerjinin varlığına dair kapsamlı kanıtlar sağlansa da şimdiye kadar yalnızca etkileri gözlemlenebilen ve doğrudan kendisi gözlemlenemeyen karanlık madde hâlâ yeterince anlaşılmamıştır.



KARA DELİKLER

Kara delik, yer çekiminin ışığın bile dışarı çıkamayacağı kadar büyük olduğu bir yerdir. Yer çekiminin çok güçlü olması maddenin oldukça küçük bir alana sıkıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu olgu ancak bir yıldız ölürken ortaya çıkabilir.

Işık dışarı çıkamadığı için insanlar kara delikleri göremezler. Bu yüzden kara deliklerin bulunması için özel donanıma sahip teleskoplar geliştirilmektedir. Bu tür özel gözlem araçları ile kara deliklere çok yakın olan yıldızların diğer yıldızlardan nasıl farklı davrandığı gözlemlenebilir.

Kara delikler büyük veya küçük olabilir. Bilim adamları, en küçük kara deliklerin sadece bir atom kadar küçük olduğunu düşünüyor.

Başka bir tür kara delik yıldız kütleli olarak adlandırılır ve kütlesi güneşin kütlesinden yirmi kat daha fazla olabilir. İçinde bulunduğumuz Samanyolu Galaksisinde bile çok sayıda yıldız kütleli kara delik olabilir.

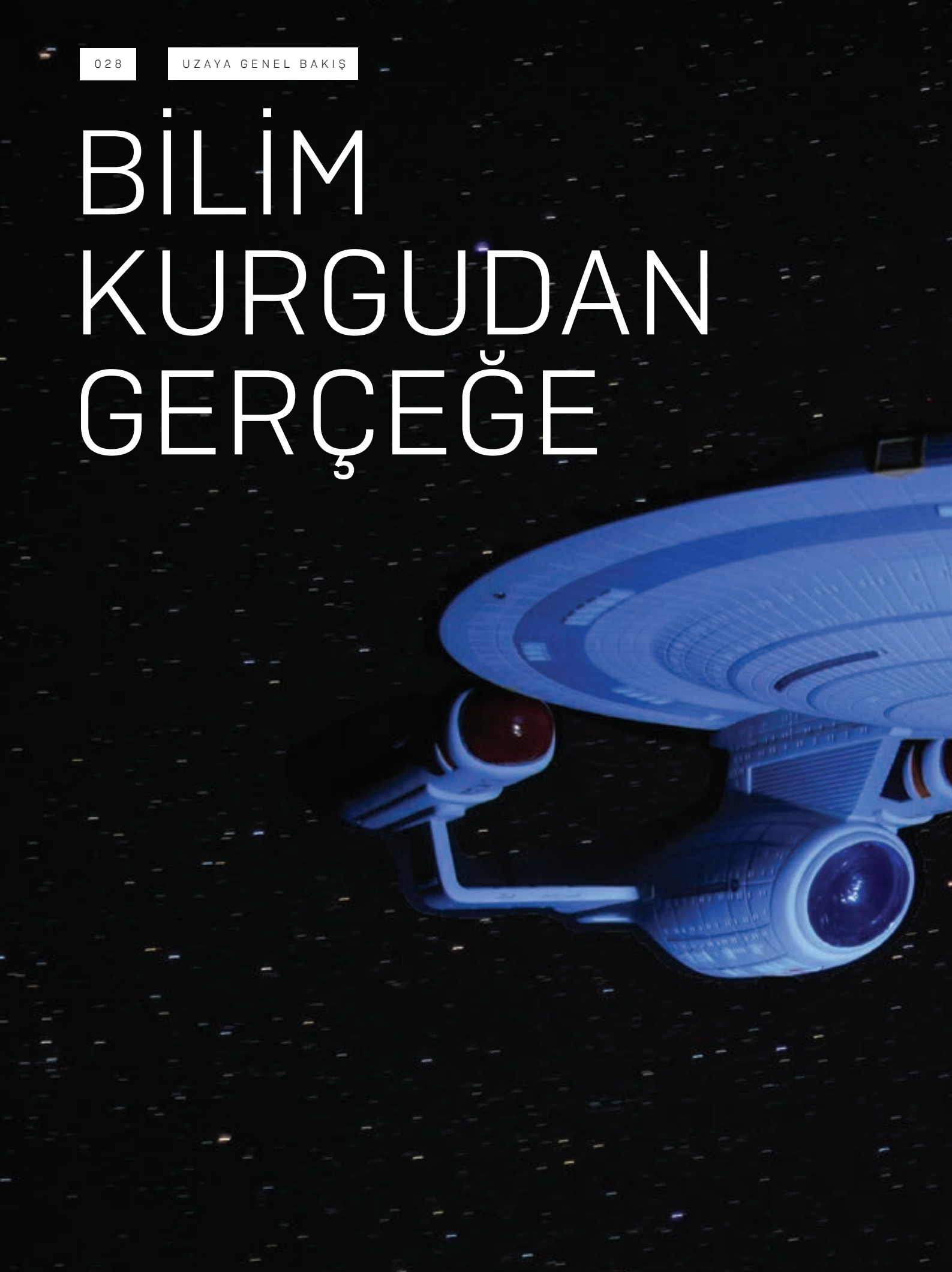
En büyük kara deliklere süper kütleli kara delik denir. Bu kara delikler, güneşin kütlesinin 1 milyon katı kütleye sahip olabilir. Bilim adamları, her büyük galaksinin merkezinde süper kütleli bir kara delik bulunduğuna dair bazı kanıtlar bulmuşlardır. Samanyolu Galaksisinin merkezindeki süper kütleli kara delik Yay A olarak adlandırılır ve yaklaşık 4 milyon güneşe eşit kütleye sahiptir.

Bilim adamları; en küçük kara deliklerin evrenin başlangıcında, yıldız kütleli karadeliklerin bir yıldızın merkezi kendi üzerine çöktüğünde, süper kütleli kara deliklerin ise içinde bulundukları galaksiyle eş zamanlı olarak oluştuğunu düşünmektedir.

Kara delikler uzayda yıldızları, ayları ve gezegenleri yiyerek dolaşmazlar. Dünya bir kara deliğin içine düşmeyecektir, çünkü güneş sistemine yeterince yakın bir kara delik yoktur.

Güneş ile aynı kütleye sahip bir kara delik Güneş'in yerini alsa bile, Dünya yine de bu kara deliğin içine düşmezdi çünkü kara delik Güneş'le aynı yer çekimine sahip olurdu ve Dünya ile diğer gezegenler, şimdi Güneş'in yörüngesinde döndükleri gibi kara deliğin yörüngesinde de dönerlerdi. Bu arada merak etmeyin, Güneş asla kara deliğe dönüşmeyecek. Çünkü Güneş bir kara delik oluşturacak kadar büyük bir yıldız değil.

BİLİM KURGUDAN GERÇEĞE

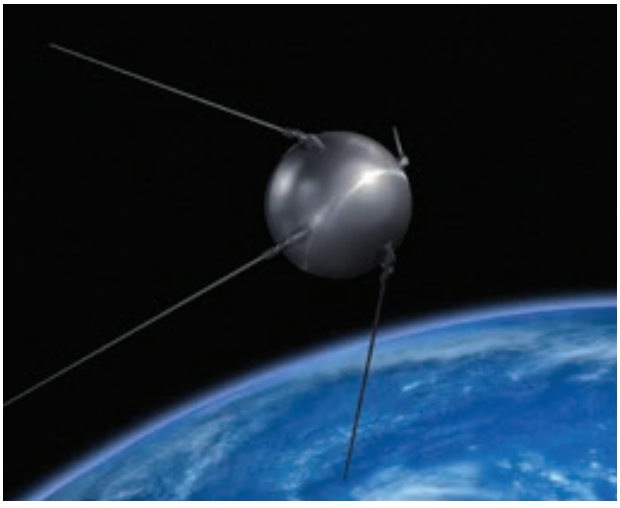


UZAY ARAÇLARI

Kardelen ŞİMŞEK
Barış BULGUN

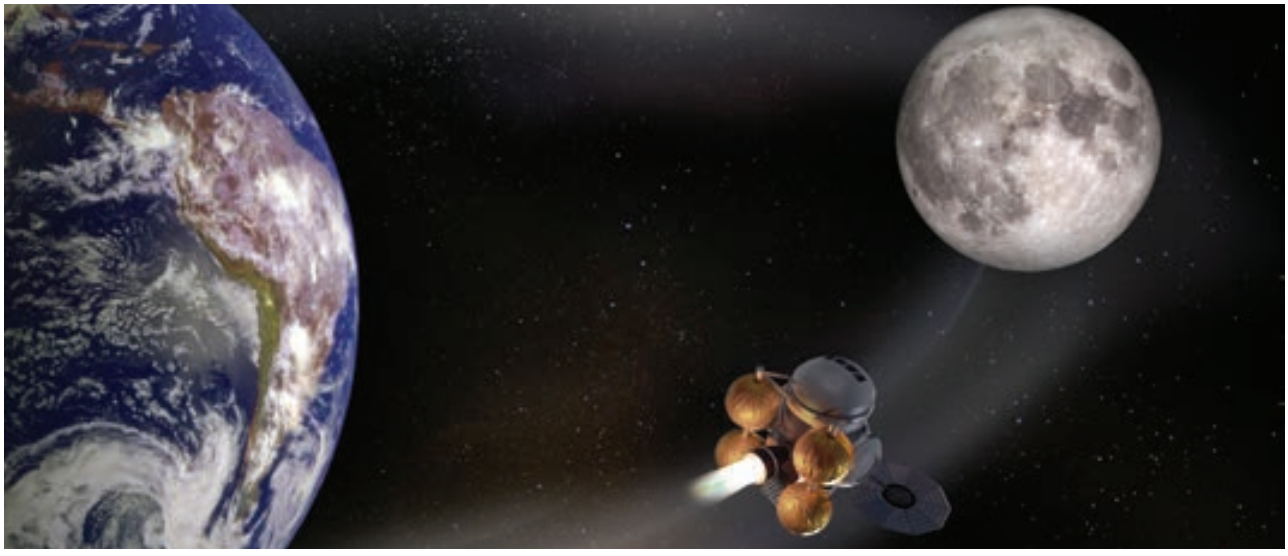
Asırlardır insanoğlunun ilgisini çeken uzay; yirminci yüzyıla kadar astronomların gökcisimlerini incelemesi ve ortaya atılan hipotezlerin ötesine geçememiştir. Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla, uzayı keşfetmek, Dünya ve dış uzayla ilgili bilgimizi artırmak mümkün hale gelmiştir.

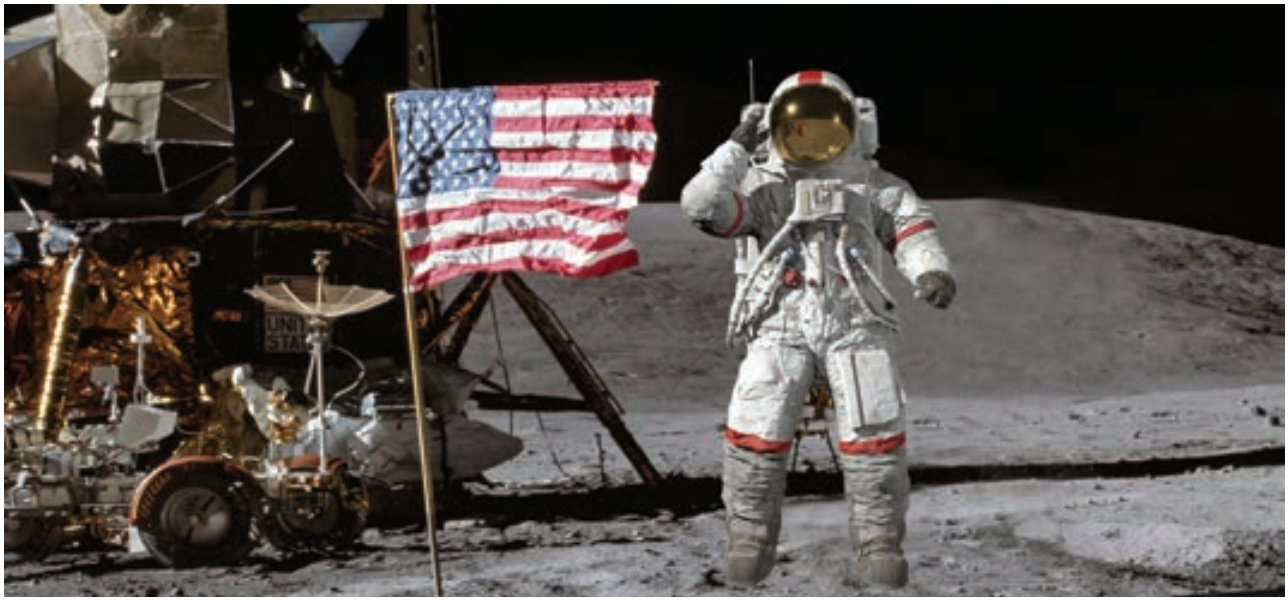
İkinci Dünya Savaşı sırasında Alman bilim adamlarının daha uzun menzile sahip roketler geliştirme çalışmaları, hayalleri gerçeğe dönüştürmede bir dönüm noktası olmuştur. Alman yapımı olan V-2 roketi fırlatılarak, 189 km yüksekliğe ulaştığı için tarihte ilk uzay aracı olarak kabul görmektedir.



SPUTNIK I, 4 Ekim 1957'de fırlatılarak dünyanın ilk yapay uydusu olmuştur. ABD ve Sovyetler Birliği arasında yaşanan Soğuk Savaş döneminde Ruslar SPUTNIK I ve SPUTNIK II uydularını fırlatmıştır. Uyduların fırlatılmasıyla iki ülke arasında uzay yarışı başlamış, uzay faaliyetleri hız kazanmıştır. Rusların girişimine karşı ABD ilk uydusunu (Explorer I) 1958'de yörüngeye yerleştirmiş ve bu uydu sayesinde Dünya çevresindeki radyasyon kuşağı (Van Allen) keşfedilmiştir.

12 Nisan1961 yılında ise Ruslar VOSTOK adlı uzay aracını göndermiş, Yuri Gagarin uzaya gönderilen ilk insan unvanını almıştır.

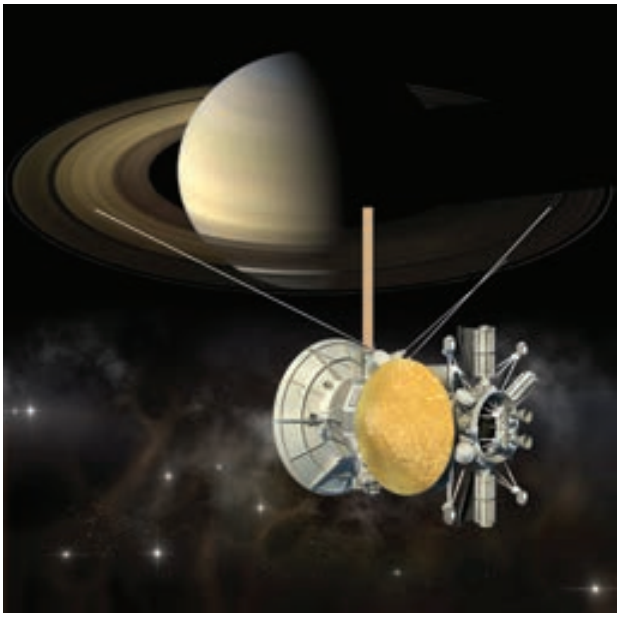




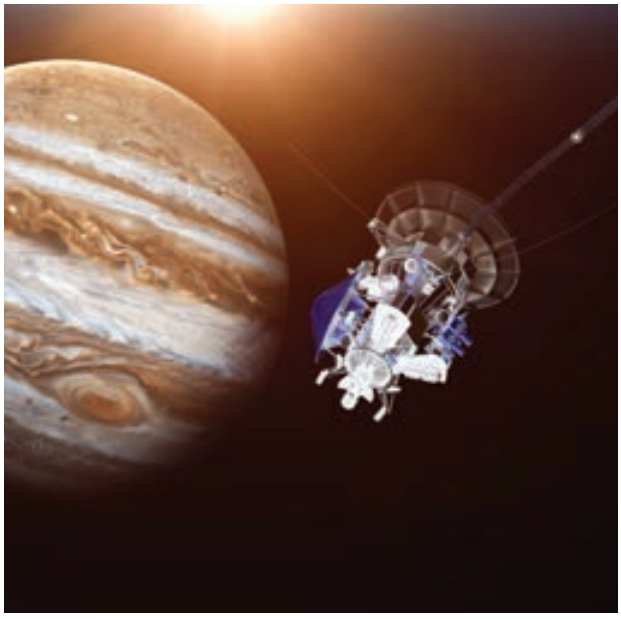
Uzay yarışında iki ülke de sadece roket ya da uydu göndermekle kalmamış, rekabet daha da ileriye ulaşarak Ay'a kadar uzanmıştır. Her iki ülkede ilk çalışmalar başarısız olmasına rağmen faaliyetler hız kesmeden devam etmiştir. Sovyet Luna-9 ve Luna-13 insansız uzay araçlarının başarılı bir şekilde Ay yüzeyine inip ilk fotoğrafları göndermesinden sonra, ABD'ye ait beş insansız uzay aracı da Surveyor görevlerinde Ay yüzeyine yumuşak inişi gerçekleştirmiştir.

Ay yüzeyine ilk insanlı iniş ise, 21 Temmuz 1969'da ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. Ay yüzeyine ilk ayak basan insanlar, Apollo-11 Ay modülüyle ABD'li astronotlar Neil Armstrong ve Buzz Aldrin'dir.

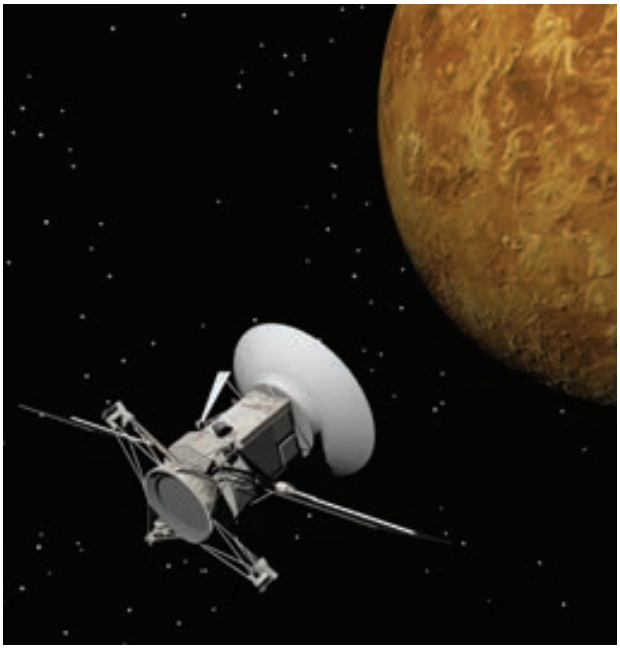
Bugün bakıldığında, kısa tarihini yukarıda özetlediğimiz uzay alanında onlarca ülke oldukça farklı çalışmalarla bu ortamdan istifade etmek için birbirleriyle yarış halindedir. Bu yarışın teknolojik boyutunu bizlere gösteren en önemli unsur, uzayda ait olduğu ülkeyi ve ülkenin elde edeceği kazanımları temsil eden uzay araçlarıdır. Hedeflenen faydaya bağlı olarak çok farklı uzay aracı türü kullanılabilmektedir. Bizlerin en yaygın olarak bildiği uydular, bu geniş ailenin sadece bir türü olmasına rağmen, sayıca en kalabalığıdır. Özellikle uzay bilimleri, astronomi, derin uzay araştırmaları görevlerinin gerekleri nedeniyle uzay aracı ailesinin üyelerinin sayısını artırmıştır. Günümüzde keşfetmenin, gidebilmenin yanı sıra bu yerler hakkında merak edilen sorulara cevaplar üretmemizi sağlayan uzay araçlarının birbirinden farklı kullanımları olan türleri mevcuttur. Şimdi kısaca bu araçları görevleri bazında tanıyalım.



Yakın Geçişli Uzay Araçları (Flyby Spacecraft): Güneş sisteminin keşfinde kullanılmaktadır. Yakınından geçtikleri gezegenle ilgili gözlem yapabilecek ve bunları dünyaya gönderebilecek sensörlere sahiptirler.



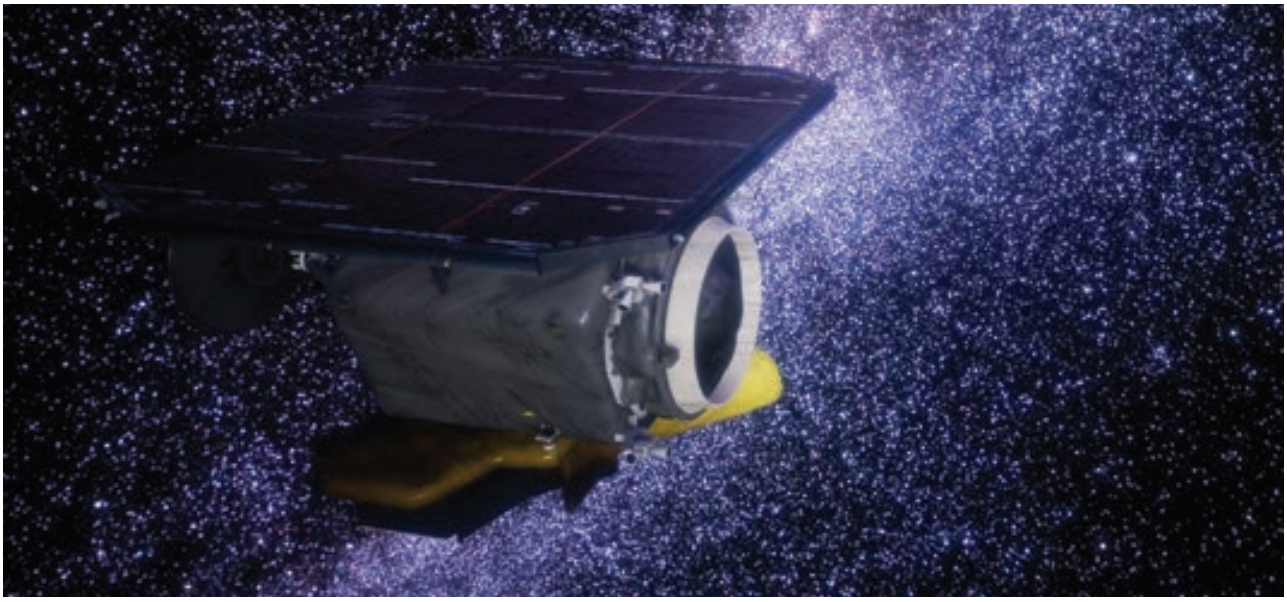
Atmosferik Uzay Araçları (Atmospheric Spacecraft): Adından da anlaşılacağı gibi, bir gök cismi veya gezegenin atmosferine girerek ısı, basınç, yoğunluk, bulut durumu ve benzeri bilgileri toplamak üzere geliştirilmişlerdir.



Yörünge Uzay Araçları (Orbiter Spacecraft): Aslında Dünyamız etrafındaki uydulara benzer şekilde, uzaktaki bir gezegene ulaşarak, onun yörüngesine girip, taşıdıkları görev yüküne göre bize o gezegen hakkında veriler sağlayan araçlardır.

İnişli Uzay Araçları (Lander Spacecraft): Süregelen yeni yaşanabilir gezegen arayışlarında ve evrenin oluşumu başta olmak üzere Dünyamızın var oluş serüvenini daha iyi anlayabilmek, ihtiyaç duyduğumuz verileri toplamak için en çok kullanılan araçlardır. Bunlar, incelenen gök cismi veya gezegen üzerine iniş yaparak, sahip oldukları farklı sensörler ile elde ettikleri verileri Dünya'ya iletir.

Gezgin Uzay Araçları (Rover Spacecraft): Bir gezegen veya gök cisminin yüzeyine indirildikten sonra sabit kalmayıp, kendi üzerinde bulunan hareket sistemleri ile gök cisminin yüzeyinde dolaşarak, inişli uzay araçlarına göre daha geniş alanlardan örnekler alabilen gezgin uzay araçları bugün özellikle Mars ile ilgili çalışmaların en önemli araçları haline gelmiştir. Bu araçlar elde ettikleri örnekleri analiz ederek sonuçlarını Dünya'ya gönderebilmektedir.



Nüfuz Edici Uzay Araçları (Penetrator Spacecraft): Bugüne kadar örneği çok sayıda olmayan ancak etkisi ve kullanım şekli itibarıyla en etkileyici uzay araçları olarak tanımlanabilir. Bu araçlar bir kuyruklu yıldız veya benzeri yapıda bir uzay cisminin yapısı içine nüfuz ederek, buradan topladığı verileri Dünya'ya göndermektedir.

İletişim Uzay Araçları (Communication Spacecraft): Aslında ismi ile özdeşleştirildiğinde görevi açıkça anlaşılan bu araçlar, Dünya yörüngesinde çok sayıda bulunmaktadır. Bununla birlikte uzay bilimleri kapsamında derin uzay araştırmaları gibi görevlerde kullanılan röle uyduları da bir bakıma iletişim uzay aracı sınıfında ele alınmaktadır.

Gözlem Uzay Araçları (Observatory Spacecraft): Aslında bu araçlar Dünya'dan uzaya bakmak ve onu anlamak için kullandığımız teleskopların bir bakıma uzaya yerleştirilmiş halidir. Gözlem uzay araçlarının küresel ölçekte en bilinen örnekleri isimleri ile ikonikleşen Hubble Uzay Teleskobu ile onun yerine alacak yeni nesil uzay teleskobu James Webb'dir. Bu araçlar Dünya yörüngesine yerleştirilerek araştıracağı gök cismini uzaktan gözlemleyen, yörüngede oldukları için de atmosferik olumsuzluklardan etkilenmeden daha yüksek performans elde edilen uzay araçları olarak çalışmalara önemli katkılar sağlamaktadır.

Uydular: Uydu kelimesi kullanıldığı alana göre farklı anlamlar taşıyabilmektedir. Astronomide uydu, bir gezegenin çekiminde bulunarak onun çevresinde dolanan daha küçük gök cismi yani doğal uydu ya da ay (moon) anlamına gelmektedir. Bu tanımlama ile analoji kurularak, kapalı bir yörünge çizerek Dünya çevresinde dolanan ve taşıdıkları görev yükleri vasıtasıyla kendilerinden beklenen verileri elde eden uzay araçlarına yapay uydu veya kısaca uydu denmektedir. Uydular fonksiyonlarına (görüntü uydusu, elektronik istihbarat uydusu, yer gözlem uydusu vb.), bulundukları yörüngelere (LEO uydu, MEO uydu, GEO uydu vb.) veya büyüklüklerine (büyük uydu, küçük uydu, mini uydu, mikro uydu, nano uydu vb.) göre sınıflandırılabilmektedir.

İnsanlı Uzay Araçları (Manned Spacecraft): Buraya kadar anlatılan tüm uzay araçları, aslında bizlerin uzaydaki temsilcileri olarak insana ihtiyaç duymadan belirlenen görevleri gerçekleştiren araçlardı. İnsanın uzaya olan ilgisi için bu araçlar birçok şeyi başarırken, onu bilinmeyen bu karanlığa taşıyacak farklı araçlara duyulan ihtiyaç, zaman içerisinde yok sayılamayacak bir seviyeye ulaştı. İnsanlı uzay araçları işte bu ihtiyacı karşılamak ve uzay ortamında insan varlığını mümkün kılabilmek için tasarlanmış araçlardır. Diğer uzay araçlarından farklı olarak, içerisinde yaşamı sürdürme zorunluluğu bulunduğundan geliştirme süreçleri en zorlu ve en maliyetli uzay araçları unvanına sahiptir. Bu yönleriyle, diğer uzay araçlarına göre tarihsel gelişim sürecinde hem bu araçlar hem de bu araçları geliştirebilen ülkelerin sayıları oldukça azdır.

İNSANLI UZAY UÇUŞLARI VE UZAY YÜRÜYÜŞÜ

Orhan Çağdaş ÜNVER

Yuri Gagarin, 12 Nisan 1961'de Vostok 1 uzay mekiğiyle Dünya yörüngesini turlayarak ilk insanlı uzay uçuşunu gerçekleştirmiş oldu.

Bu olayla birlikte ABD ve Rusya (eski ismiyle SSCB) arasındaki uzaya uydu gönderme yarışı bir sonraki aşaması olan insanlığın uzaya taşınmasına dönüşerek uzay çağının başlamasının habercisi oldu ve iki ülke arasındaki kıyasıya rekabet de uzaya taşınmış oldu. İlk insanın uzaya gönderilmesinden kısa bir süre sonra, ABD Başkanı John F. Kennedy, 12 Eylül 1962'de yaptığı konuşmada, insanlı uzay yolculuğunun yeni hedefi olarak Ay'ı işaret etti ve on yıl içinde Ay'a insan yollama sözü verdi. ABD bu amaçla önce iki kişilik Gemini uzay mekiğini, ardından üç kişilik Apollo uzay mekiğini üretti.

Astronotlar Frank Borman, James Lovell ve William Anders'ı taşıyan Apollo 8 uzay mekiği, Aralık 1968'de Ay yörüngesini on kez kat etmeyi başardı. Ardından 21 Temmuz 1969'da astronotlar Neil Armstrong, Buzz Aldrin ve Michael Collins'i taşıyan Apollo 11 mekiği Ay yüzeyine iniş yaptı. Neil Armstrong, bu sefer sırasında Ay'a ayak basan ilk insan ve Michael Jackson'dan sonra en ünlü ay yürüyüşünü (moonwalk) yapan kişi oldu.

Rusya da aynı yıllarda Ay'a insan yollamak üzere üç kişilik Soyuz mekiklerini üretmeye başladı fakat mekiği yüzeye indirebilecek güçte roket geliştiremediğinden Ay misyonuna 1974'te son verdi. Bu olay ile birlikte iki ülke arasındaki kıyasıya rekabet yerini yavaş yavaş iş birliğine bıraktı. 1975'te Apollo mekiği ile Rus Soyuz 19 mekiği uzayda birbirine kenetlendi. Bu tarihten 2000'lere kadar iki ülke arasındaki rekabet zaman zaman tekrar kızışsa da tam yirmi yıl sonra uzayda inşa edilmeye başlanacak Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) insanlı uzay uçuşları anlamında ülkeler arasındaki iş birliğinin en yüksek zirvesi haline geldi. Tüm bu süre boyunca bu uçuşları gerçekleştirebilen Avrupa, Japonya, Kanada ve Çin gibi yeni ülke ve birlikler de bu konsorsiyuma katılmaya başladılar ve uzay insanlık tarihinde hiç olmadığı kadar çok uluslu ve insan popülasyonu barındıran bir yer haline geldi. Başka bir deyişle tıpkı geçmişte bilinmeyen kıtaların, sonrasında okyanusların derinliklerinin evcilleştirilmesi ve insanlaştırılmasında olduğu gibi, uzay da insanların nasıl evcilleştirileceğini ve bir yaşam ortamı oluşturulacağını öğrenmeye başladığı bir yer haline gelmeye başladı.

İnsanlı uzay uçuşları yeni milenyumda tüm hızıyla devam etti ve bu yolculuklara yeni uluslar katıldı. Uzay teknolojileri alanında kısa sürede büyük aşama kaydeden Çin de kendi taykonotu Yang Liwei'yi, 15 Ekim 2003'te Shenzhou 5 mekiğiyle uzayda yirmi bir saat uçurarak hem ülkesinin ilk insanlı uzay yolculuğunu gerçekleştirdi hem de bu yarışta iddialı olduğunu göstermiş oldu.

Ülkemiz de bu yarışta olduğunu göstermek için yakın bir zamanda Türk Astronot Programını başlattı. Uzun uğraşlar sonucu seçilme sürecinin sonuna yaklaşılan ve uzayda Rusların kozmonot, Batı Dünyasının astronot, Çinlilerin taykonotu gibi bu topraklara ait anlamlar içeren kendine has ismiyle Türk Astronotumuz, ilk uzay uçuşunu yakın bir zamanda gerçekleştirecek.

Günümüzde uzay uçuşları, bilim insanlarının ISS'e taşınması ve burada yer çekimsiz ortam deneylerinin sürdürülmesi çerçevesinde devam etmekte. Gelecekte de başka gezegenlerin kolonizasyonunun gerçekleştirilmesi için bu uçuşların önemi giderek artacak.

Uzayda sürekli işler durumda bir insan yapımı istasyonun olması durumuyla son yirmi senedir daha sık duymaya başladığımız bir başka kavram da insanlığın gündelik hayatına girmeye başladı; uzay yürüyüşü.

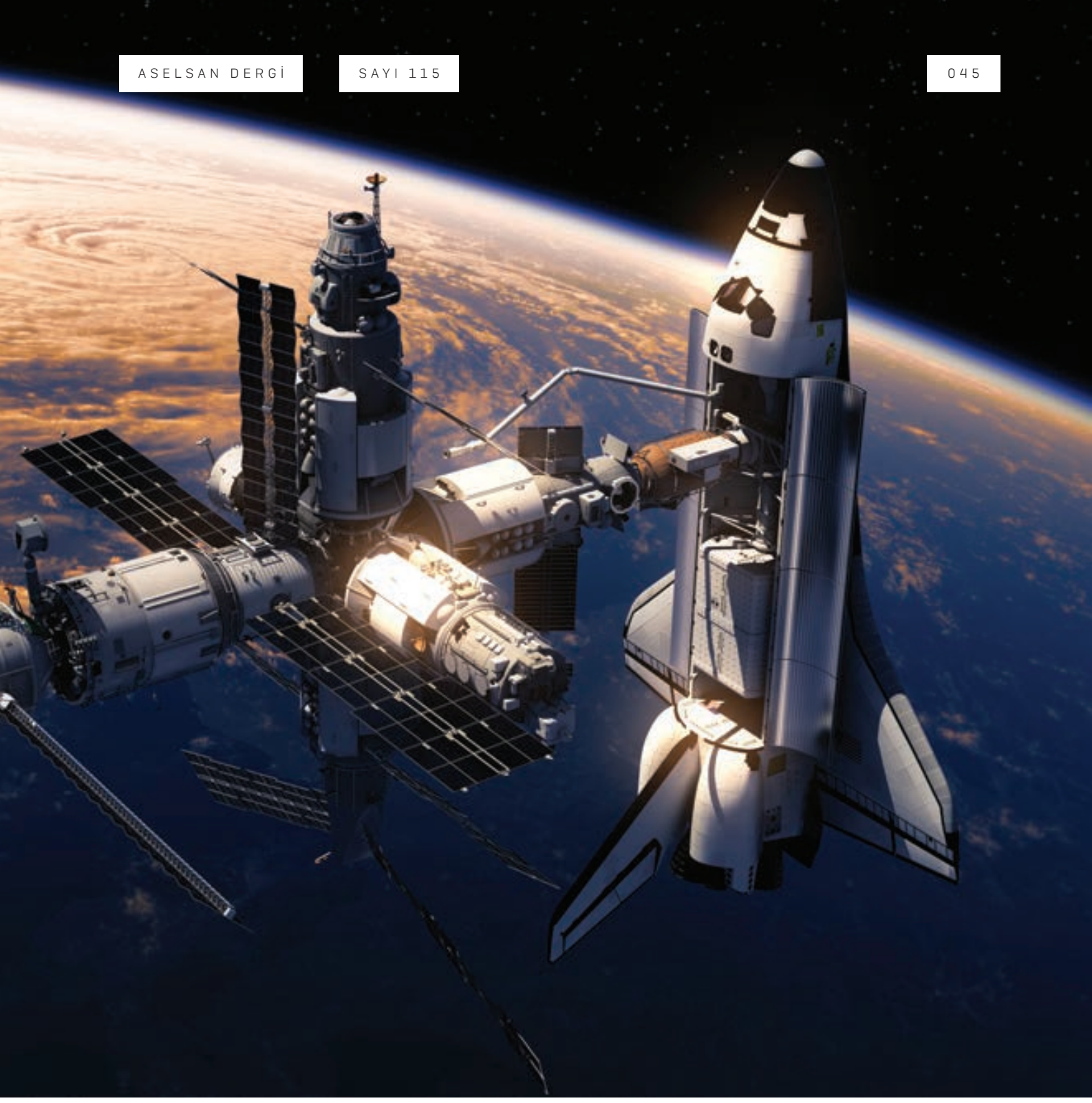
Aslında uzay yürüyüşü kavramının başlangıcı yarım asır öncesine uzanıyor.

Uzay yürüyüşüne çıkan ilk insan Alexei Leonov elli sekiz yıl önce 18 Mart 1965 tarihinde ilk uzay yürüyüşünü gerçekleştirdi ve bu yürüyüş yaklaşık olarak on iki dakika sürdü. Uzay yürüyüşü teknik anlamda, adından da anlaşılacağı üzere, uzay aracındaki astronotların bazı görevler için uzay aracının dışına çıkmasına verilen isim. Bu yürüyüşlerde rekor on altı kez uzay yürüyüşüne çıkan Anatoly Solovyev'de. Solovyev'in uzayda araç dışı görev yaparak geçirdiği toplam süre seksen iki saat. Yani Solovyev ömrünün neredeyse üç buçuk gününde uzayda araç dışında bulunmuştur. 11 Mart tarihinde Susan Helms ve Jim Voss'un STS-102 görevi sırasında ISS dışında geçirdikleri süre sekiz saat elli altı dakika olup, tek seferde yapılan en uzun uzay yürüyüşü olmuştur.

Peki astronotlar bir uzay yürüyüşüne nasıl hazırlanırlar ve ne tarz ekipmanlara sahiptirler? Astronotlar uzay yürüyüşüne çıkmadan birkaç saat önce uzay giysileri giyerler. Basınçlandırılmış yani oksijenle doldurulmuş bu giysilerin içinde, astronotlar birkaç saat boyunca saf oksijen solurlar. Bu işlemin amacı vücut içerisindeki tüm azottan kurtulmaktır. Bu işlem yapılmaz ise ve uzay ortamına vücutlarında azot varken çıkarlarsa, omuzlarında, dirseklerinde, bileklerinde ve dizlerinde acı hissetmelerine neden olacak gaz baloncuklarının oluşma ihtimali vardır. Dalgıçların da sık sık korunmaya çalıştığı vurgun yeme kavramına eşdeğer olan bu olaya bükümler (bends) denir.

Vücutlarındaki azottan kurtulan astronotlar, hava kilidi denilen özel bir kapıdan geçerek uzay aracının dışına çıkarlar. Hava kilidi uzay ve uzay aracı arasında iki farklı kapı ile yalıtılmış bir geçit gibidir. Astronotlar hazır olduklarında ekipmanları ile ilk kapıdan geçerler ve arkalarından bu ilk kapı hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılır. Sonrasında ikinci kapı açılır ve böylece uzay ortamına çıkarlar.

Astronotların uzay yürüyüşüne çıkarken giydiği uzay giysileri yeterli miktarda hava ve su bulunacak şekilde tasarlanır. EMU (Araç Dışı Hareketlilik Birimi) adı verilen bu giysi, astronotu aşırı sıcak ve soğuktan, zararlı uzay tozundan ve radyasyondan koruyacak şekilde üretilmiştir. Ay'a tekrardan insanlı uçuşların başlatılacağı Artemis projesi için, EMU tasarımını esas alan fakat farklı birçok geliştirme içerecek xEMU (araç dışı keşif hareketliliği birimi) adı verilen yeni bir tasarım üzerinde çalışılmaktadır.



Uzay yürüyüşü boyunca astronotlar bir kordon vasıtası ile istasyona yakın kalırlar. Kullandıkları araç gereçler de aynı zamanda kendi uzay giysilerine bağlıdır. Bir diğer güvenlik önlemi de Safer adı verilen sırt çantaları taşımalarıdır. Küçük jet iticileri içeren bu çantalar, eğer bir astronotun güvenlik kordonu kopacak olursa, uzay aracına iticilerle güvenli dönüş yapmasını sağlar. Bu itici çantalar ile kordonsuz olarak yapılan ilk uzay yürüyüşü Bruce McCandless tarafından yapılmıştır ve McCandless uzay aracından doksan metre uzaklaşarak tekrar geri dönmüştür.

Tıpkı coğrafi keşifler sırasında insanoğlunun bilinmeyen kıta ve denizleri keşfetmesinde olduğu gibi, şimdi de uzayın derinliklerini ve bilinmeyen gezegenleri keşfetmeye başladık. Bunu da geçmişte kendi geliştirdiğimiz gemilerle yaptığımız gibi şimdi de uzay gemilerimizle yapıyoruz. Uzayın sonsuz derinliğinde daha keşfedecek çok şey var.

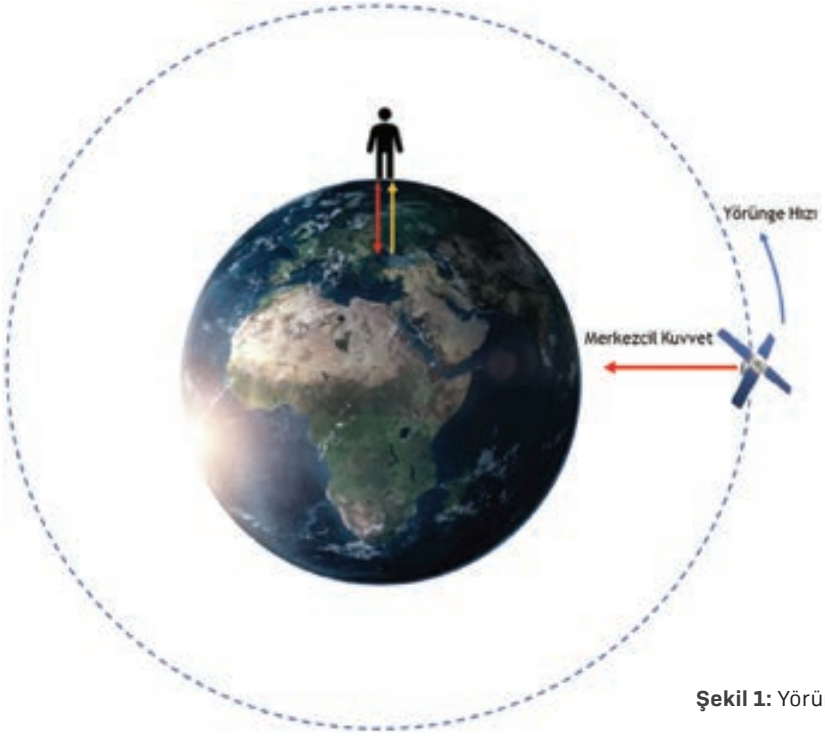
UZAYDA HAREKET: YÖRÜNGELER VE İTKİ SİSTEMLERİ

Sibel TÜRKOĞLU

Günlük hayatımızda hareketlerimize yön veren, kelimenin tam anlamıyla bizi Dünya'ya bağlayan kuvvet, yer çekimidir.

Yer çekimi ya da genel adıyla kütle çekimi, evrendeki dört temel kuvvetten biridir. Dolayısıyla, bizim hareketlerimizi etkilediği gibi diğer gök cisimlerini ve uyduların hareketlerini de etkilemesini bekleriz. Ancak kütle çekimi bizi yeryüzünde tutarken, Dünya'nın doğal uydusu olan Ay 384.400 km uzağımızda dolanır. Yapay bir uydu olan Uluslararası Uzay İstasyonu, Ay'dan dokuz yüz altmış kat daha yakındır ve sadece dört yüz km irtifada hareketine devam eder. Peki ya yeryüzündeki bir cismi Ay'dan ya da Uzay İstasyonu'ndan ayıran nedir?

Kısa yanıt, farklı kuvvetlerin dengesinde olmasıdır. Aslında yeryüzündeki birinin bastığı zemin yerçekimine ters yönde ve eşit büyüklükte bir kuvvet uygular, bu sayede Dünya'nın merkezine doğru yolculuk etmesine engel olur. Dolayısıyla, uzaydaki bir cismin farklı bir kuvvetle yer çekimini veya merkezcil kuvveti dengelemesi gerekir. Merkezcil kuvveti dengeleyen olgu ise bu cismin Dünya etrafında belirli bir hızla dönmesidir. Buradan da anlaşılacağı gibi bir uzay aracının Dünya'ya düşmeden kapalı bir yörüngede hareket edebilmesi için bulunduğu yörüngenin yüksekliğine bağlı olarak belirlenen bir hızla Dünya etrafında dönmesi gerekmektedir.



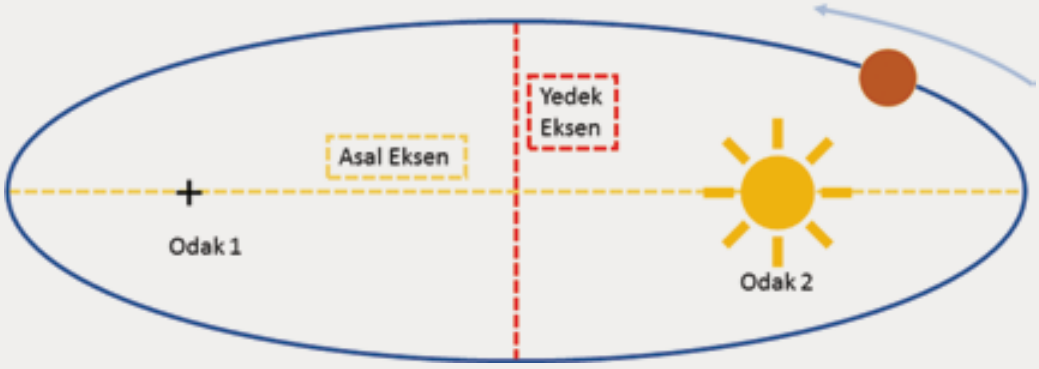
Şekil 1: Yörüngede Kuvvetlerin Dengesi

YÖRÜNGEDE HAREKET

Gök cisimlerinin ya da uyduların bu dönüşleri sırasında izledikleri güzergâh ise yörünge olarak isimlendirilir. Güneş'in etrafındaki Jüpiter ile Dünya etrafında ilerleyen 1 kg'lık küp uydu da aynı evrensel kanunlara uygun biçimde yörüngelerinde hareket eder.

Yörüngelerin genel özelliklerini anlayabilmek için 17. yüzyılda yaşamış Johannes Kepler'in gezegenler üzerinde yaptığı gözlemlerden edindiği çıkarımlara göz atalım.

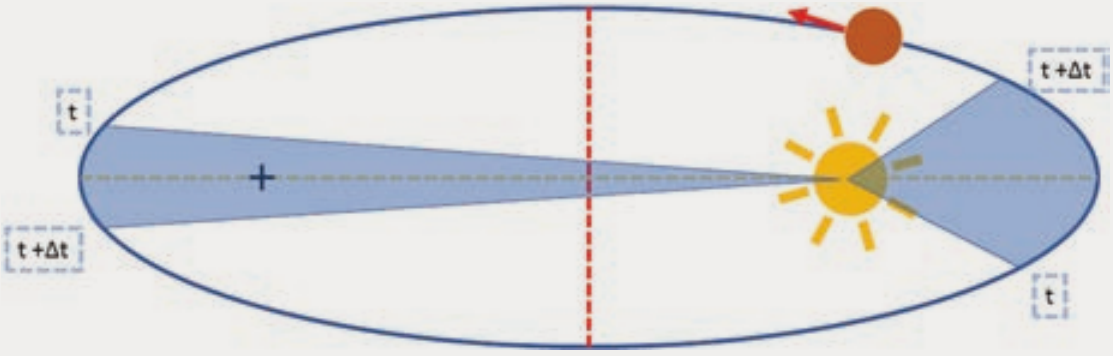
"Gezegenler bir düzlem içinde hareket eder. Yörüngeleri ise odaklarından birinde Güneş'in yer aldığı elipslerdir."



Şekil 2: Kepler'in 1. Yasası

Başka bir deyişle, gezegenler düzgün bir elips çizer. Daire de asal ve yedek eksenleri eşit olan bir elipstir.

"Güneş'ten gezegene çizilen bir vektör, eşit zaman dilimlerinde eşit alanlar tarar."



Şekil 3: Kepler'in 2.Yasası

Yukarıdaki alanların aynı sürede taranabilmesi için gezegenin Güneş'e yakın olduğunda hızlanması, uzaklaştıkça yavaşlaması gerekir. Kütle çekimi mesafe azaldıkça artar, buna karşı koyabilmek için de gezegen daha hızlı dönerek merkezkaç kuvvetini artırır. Basitçe bir ifade ile gezegen Güneş'e ne kadar yakınsa o kadar hızlıdır.

"Gezegenlerin yörünge periyotlarının kareleri ile Güneş'e olan ortalama uzaklıklarının küplerinin oranı sabittir."

Yörünge periyodu, gezegenin yörüngesindeki bir turunu ne kadar sürede tamamladığını ifade eder. Diğer bir deyişle, gezegenimiz Güneş'e ne kadar uzaksa bir turunu tamamlaması o kadar uzun sürer. Güneş'e en yakın gezegen olan Merkür'ün periyodu sadece seksen sekiz Dünya günü sürerken, dış gezegenlerden olan Uranüs için bu süre seksen dört Dünya yılıdır.

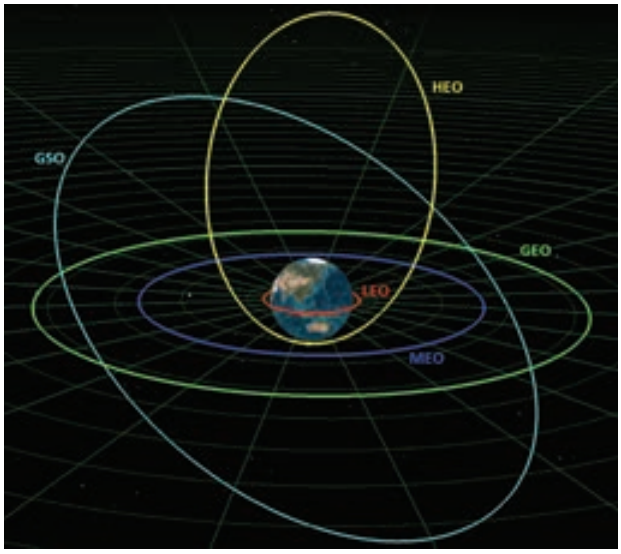
YÖRÜNGE TÜRLERİ

Elimizdeki bu bilgileri kullanarak, uydumuza görev gereksinimlerine uygun bir yörünge seçmek istediğimizde üç temel parametrenin üzerinden geçmeliyiz.

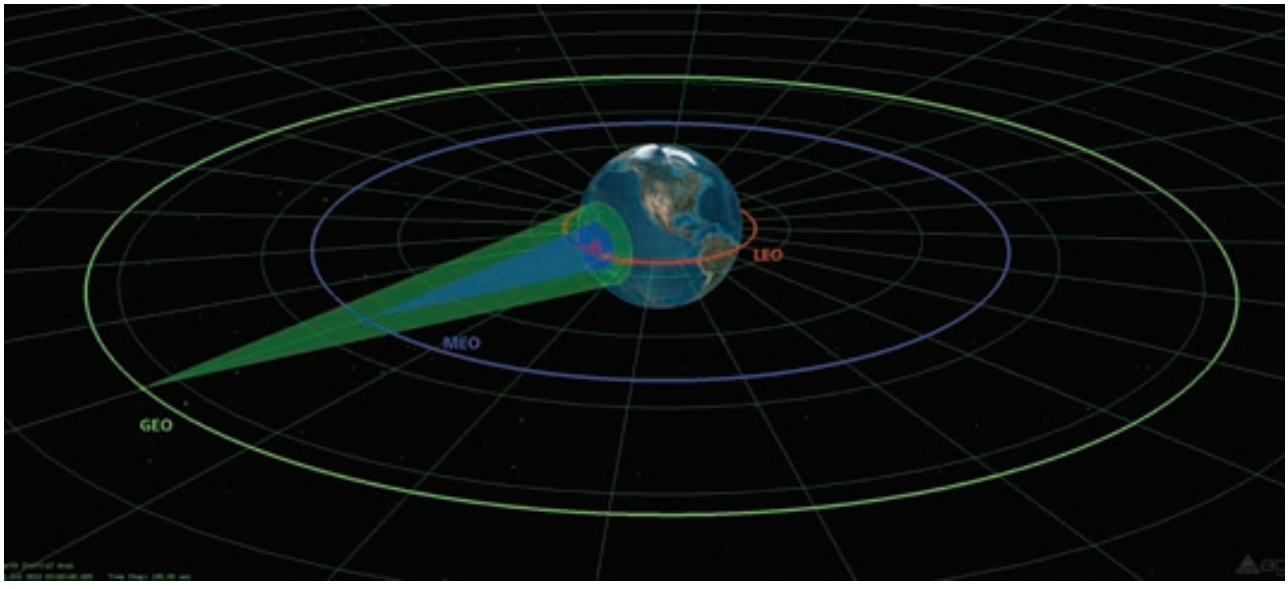
- Yörüngenin irtifası (yerden yüksekliği)
- Yörünge düzlemi
- Yörünge eliptikliği

YÖRÜNGENİN İRTİFASI

İrtifaya göre uydular 3 sınıf altında değerlendirilirler, LEO (Low Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit), GSO (Geosyncronous Orbit). Uydunun yerden yüksekliği ne kadar fazla ise kapsayabileceği alan da o kadar fazladır. Aynı sensörün farklı irtifalarda kapsama alanlarının nasıl değiştiği Şekil 5'te görülebilir. Ancak yeryüzü ile aradaki mesafe arttığından, uyduda kullanılacak haberleşme ve optik sistemlerin uygun bir biçimde seçilmesi önemlidir.



Şekil 4: Yörünge Türleri (LEO, MEO, GSO, GEO, HEO)



Şekil 5: Farklı İrtifalardaki Yörüngelerde Kapsama Alanları

LEO (Low Earth Orbit): Türkçe'ye yer yakın yörünge olarak çevrilebilen bu yörünge türünde uydular yerden 160 km ile 2.000 km arasındaki bir irtifadadır. Yere en yakın yörünge türü bu olduğundan uydular çok hızlı hareket eder. 500 km irtifaya sahip bir LEO uydunun periyodu yaklaşık bir buçuk saattir ve yaklaşık 6.8 km/sn'lik bir hızla hareket eder.

GSO (Geosyncronous Orbit): Yersenkron yörünge (GSO) türünün en önemli özelliği yerden 35.786 km yükseklikte olduğu için periyodunun bir güne eşit olmasıdır. Başka bir deyişle bir turunu Dünya'nın kendi etrafındaki turuyla aynı anda tamamlar.

MEO (Medium Earth Orbit): MEO yörüngesi ise LEO ve GSO arasında kalır. GPS, GLONASS ve Galileo gibi navigasyon sistemleri MEO yörüngelerdedir. Van Allen Kuşağı olarak adlandırılan Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıkların yoğunlaştığı bölgeler de MEO'nun sınırlarındadır. Bu parçacıklar uydudaki sistemleri olumsuz etkileyebileceği için, bu parametre yörünge seçiminde dikkate alınmalıdır.

YÖRÜNGE DÜZLEMİ

Yörünge düzleminin Ekvator düzlemiyle yaptığı açı eksen eğikliği olarak adlandırılır ve uydunun yeryüzünde hangi enlemler arasında dolaşacağını belirler. Eğer eksen eğikliği, 45° ise uydu ±45° enlemleri arasında dolaşacak, yüksek enlemlerdeki yerleşimlerin -örneğin Norveç- üzerinden geçmeyecektir. Ancak 90° eksen eğikliğine sahip bir uydu hareketi boyunca tüm enlemleri dolaşabilecektir.

Eğiklik değeri 0° ise daima Ekvator etrafında dolaşacaktır. Eğer Dünya ile aynı hızla dönerse, yeryüzündeki biri için uydu daima sabit görünür. Bu yörünge yersabit (GEO-Geostationary Orbit) olarak adlandırılır ve 35.786 km irtifadaki yersenkron yörüngenin özel bir türüdür. Yersenkron yörünge herhangi bir eksen eğikliğinde olabilir ve eğikliğine uygun enlemlerde düzgün bir "8" çizerek hareket ederken, yersabit yörünge hep aynı nokta üzerindedir.

Yersabit yörüngeler, hareketsiz olduğundan tek bir uydu ile kapsama alanına kesintisiz hizmet sağlayabilir. Bu avantajından dolayı televizyon yayını yapan uydular GEO yörüngededir.

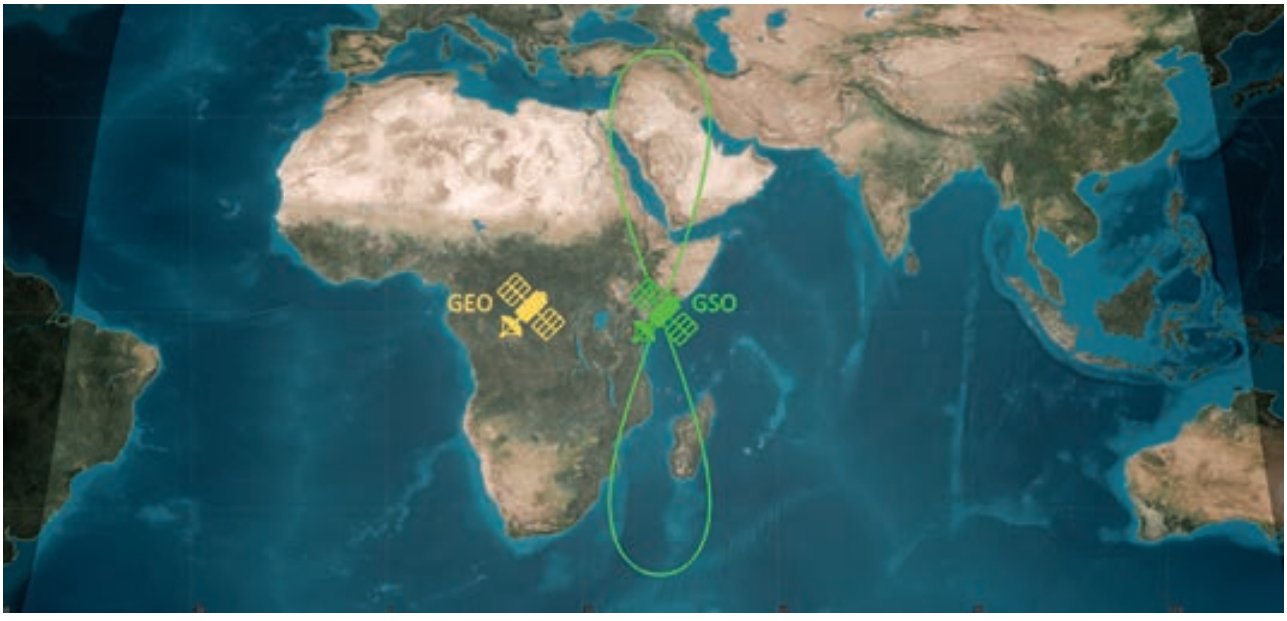
Ayrıca teoride 3 adet GEO uydu ile tüm Dünya kapsanabilir. Ancak Şekil 7'de de görülebileceği üzere, kutuplara yakın olan yüksek enlemdeki bölgeler tam olarak kapsanamaz. Bu bölgeler için farklı çözümler gerekir.

YÖRÜNGENİN ELİPTİKLİĞİ

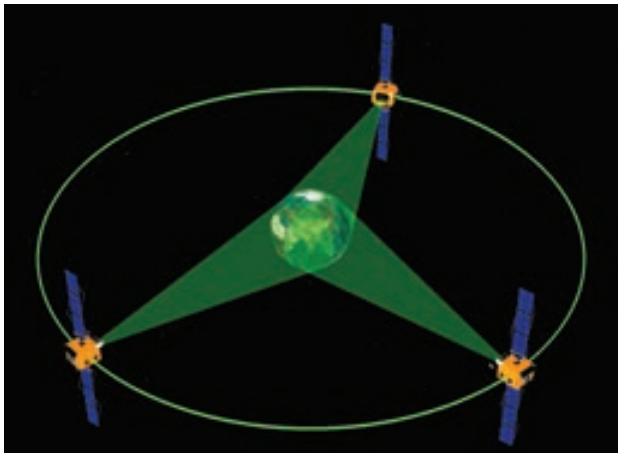
Yüksek enlemleri kapsayabilmek için, bu bölgelerin üzerinden geçecek bir yörünge tasarlayabiliriz. Yörünge ile Ekvator düzlemi arasındaki açıyla uydunun üzerinden geçtiği en yüksek enlem aynıydı. Dolayısıyla uygun bir eksen eğikliği verilmiş yörünge ile bu sorun çözülmelidir. Hedefimiz Kuzey Yarımküre'nin yüksek enlemleri olsun. Şekil 8'de görülen düzgün 8, dairesel bir yersenkron yörüngenin yer izidir.

Ancak bu yörüngede Ekvator 8'in tam ortasından geçerek yörüngeyi ikiye böler, başka bir deyişle uydu turunun yarısını Güney Yarımküre üzerinde dolaşarak harcar. Ancak uydu Kuzey Yarımküre üzerinde yavaşlayıp, Güney Yarımküre'de hızlanırsa çözüme yaklaşılabilir. Uydunun hızlanması için yere yakın, yavaşlaması için de uzak olması gerekiyor. Bu da yörüngenin artık daire değil elips olması demektir.

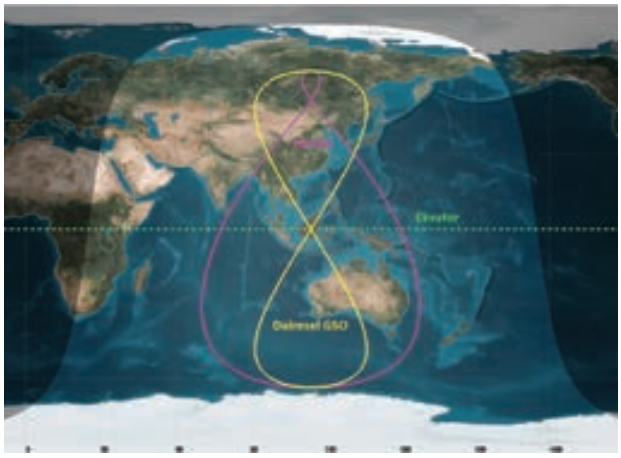
Şekil 9'da sarı yörünge dairesel iken pembe yörünge eliptiktir. Pembe yörünge artık Kuzey Yarımküre'de on yedi saatini geçirirken, yüksek enlemlerde (Şekil 8'de orantısız 8'in üst kısmı) yaklaşık yedi saat bulunmaktadır. Bu yörünge türü özeldir, Tundra yörüngesi olarak anılır. Ayrıca, Tundra'ya ek olarak periyodu yarısı olan benzer özelliklerde Molniya adında bir yörünge türü de mevcuttur. Böylesi yörüngeler, Eliptikliği Yüksek Yörüngeler (HEO-Highly Eliptical Orbits) olarak isimlendirilir ve yüksek enlemlerdeki ülkeler tarafından kullanılır. Bununla beraber, uydunun görünür olmadığı bir zaman aralığı her halükârda olduğundan, tek uydu ile sürekli kapsama yüksek enlemler için mümkün değildir.



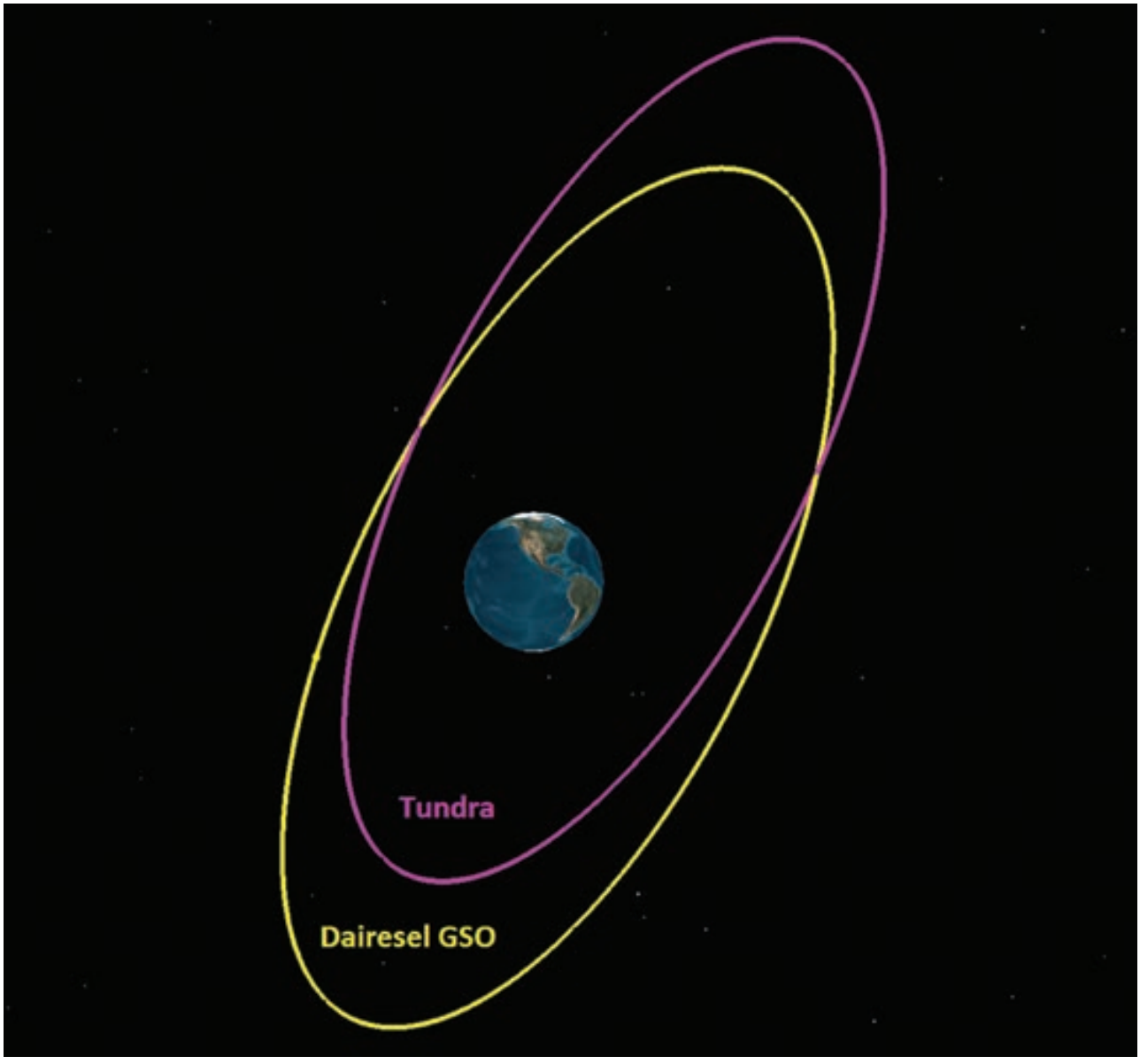
Şekil 6: Yersabit (GEO) ve Yersenkron (GSO) Yörüngelerin Yerizleri



Şekil 7: 3 Adet GEO Uydu ile Dünya'nın Kapsanması



Şekil 8: Tundra ve Dairesel GSO'nun Yer İzleri

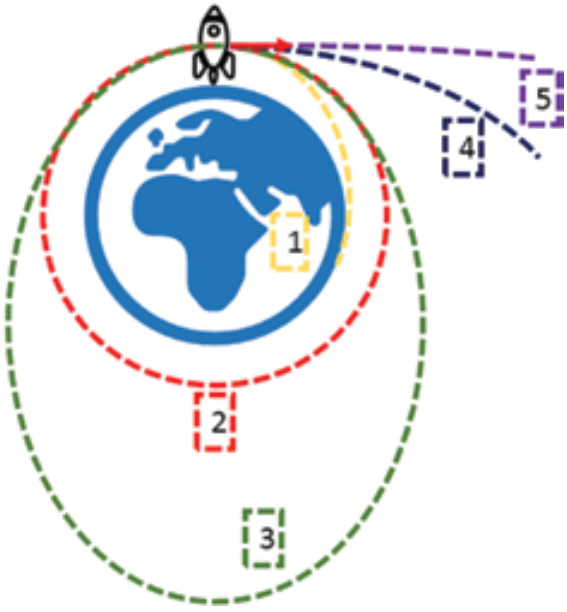


Şekil 9: Tundra ve Dairesel GSO

YÖRÜNGEYE ULAŞMAK VE ONU KORUMAK

Bir uyduyu hedef yörüngeye yerleştirebilmek için hem ilgili irtifaya çıkarmak hem de sahip olması gereken dönüş hızını sağlayabilmek gerekir. Bunu yaparken de yer çekimi kuvvetini ve atmosferden kaynaklanan kayıpları yenmelidir. Uydu hızı gerekenden farklı bir değerde olursa farklı yörüngeler elde edilir.

Eğer fırlatma hızı düşükse, özellikle de Dünya'dan kaçış hızı olan 11.2 km/sn'nin altında ise, Şekil 10'daki 1 numaralı yörünge-altı (suborbital) uçuşunu gerçekleştirir ve yörüngeye ulaşamaz. Hız yeterli ise hedefimiz olan 2 numaralı dairesel yörüngeye oturur. Ama hız gerekenden daha yüksek ise 3 numaradaki gibi bir eliptik yörünge oluşur. Hız daha da artırılırsa parabolik (4) ve hiperbolik (5) yörüngeler elde edilir. Ancak bunlar açık yörüngelerdir, yani uydu uzay sonsuzluğuna doğru ilerler.



Şekil 10: Hız ve Yörünge Tipleri

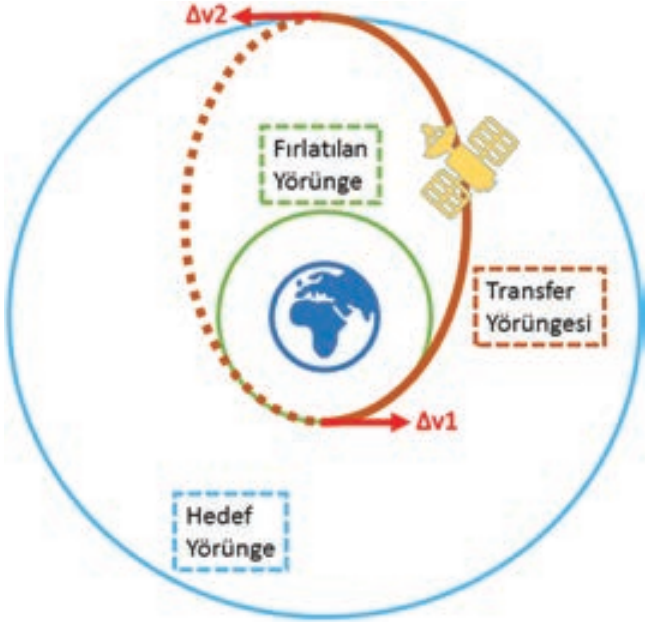
İtki

Yörüngeye ulaşabilmek için gereken bu hızlanma itki ile sağlanır. İtki, sistemden hızla fırlatılan kütle sonucunda sistemin ters yönde ivmelenmesinden ibarettir. Yüksek miktarda kütle, kısa sürede ve yüksek hızda fırlatılabilirse, yüksek itkiye ulaşılabilir.

Uyduları yörüngeye çıkarmanın yanı sıra uydu fırlatıldıktan sonra da itki sistemlerine ihtiyaç duyabilir. Genel olarak üç temel sebep ile uydularda itki sistemlerine yer verilir:

- **Yörünge Manevrası:** Yörüngenin yükseltilmesi, alçaltılması ya da düzleminin değiştirilmesi için gerçekleştirilen işlem manevra olarak anılır. Özellikle GEO uyduların ulaşması gereken irtifa çok yüksektir ve fırlatıcılar uyduları uygun bir transfer yörüngesine (GTO-Geostationary Transfer Orbit) bırakır. Sonraki aşamada ise uydu üzerindeki itki sistemiyle uygun manevralar gerçekleştirilerek hedef yörüngesine ulaştırılır.

Genel hatlarıyla bir yörünge manevrasını Şekil 11'da görebilirsiniz. Aynı düzlemdeki iki yörünge arasında geçiş için Hohman Transfer Yörüngesi'nin kullanımı verilmektedir. Bu işlemde itki kullanılarak iki defa hız değişimi yapılır (Δv1, Δv2).



Şekil 11: Hohman Transferi ile Yörünge Değişimi

- **Uydu Yörüngesinin Korunması:** Uydu uzayda yörüngesini bozacak pek çok etkiye maruz kalır. Dünya'nın kütlesinin homojen dağılmayışı, atmosferden kaynaklanan sürüklenme, manyetik bozuntular, uzaydan özellikle de Güneş'ten gelen ışımalar ilk akla gelenlerdir. Bu etkiler yüzünden uyduların yörüngesi ya da takım uydular arasında uyum bozulabilir. Bu bozulmaları belli bir seviyede tutmak ve düzeltmek için itki sistemleri kullanılır.
- **Uydu Yöneliminin Kontrolü:** Uyduların uzayda istenen yöne bakmasını yönelimini kontrol ederek sağlarız. Yönelim kontrolü, diğer yöntemlerin yanı sıra birbirine dik 3 ekseninin her birinde iki tane olacak şekilde altı adet küçük itki sistemiyle sağlanabilir.

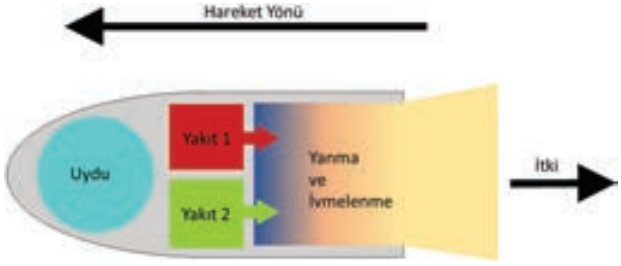
İtki Sistemleri

Farklı itki ihtiyaçlarını karşılamak için farklı sistemler mevcuttur. Bir uydu görevi için uygun itki sistemi seçilirken çeşitli parametreler göz önüne alınır. Bunlardan ikisi sistemin üretebildiği itki ve itki yönteminin verimliğinin göstergesi olan özgül itki (specific impulse) değerleridir.

Aşağıdaki tabloda, küçük uydular için kullanılan itki sistemleri bu iki ölçüte dayanarak kıyaslanmıştır. İtki sistemlerini daha rahat inceleyebilmek adına yakıtları kullanım yöntemlerine göre üç temel gruba ayırılmıştır: Kimyasal İtki, Soğuk Gaz İtkisi, Elektrik İtkisi.

İTKİ SİSTEMİ	İTKİ (N)	ÖZGÜL İTKİ (S)
KİMYASAL İTKİ		
Tek Yakıtlı	0.25 – 25	200-285
Alternatif Tek ve Çift Yakıtlı	10 mili – 120	160-310
Hibrit	1 – 230	215-300
Katı Yakıtlı	0.3 – 260	180-280
SOĞUK/SICAK GAZ İTKİSİ		
Soğuk/Sıcak Gaz	10 mikro – 3	30-110
ELEKTRİK İTKİSİ		
Elektrotermal	0.5 – 100 mili	50-185
Elektrostatik		
Elektrosprey	10 mikro – 1 mili	225-5000
Izgarlı İyon	0.1 – 20 mili	1000-3500
Hall Etkili	1 – 60 mili	800-1950
Elektromanyetik		
Atımlı Plazma ve Vakum Arkı	1 – 600 mikro	500-2400

Kimyasal İtki (Chemical Propulsion): Kimyasal yakıtlar yakılarak yüksek hızlarda ve kısa sürede büyük miktarlarda kütle çıkışı sağlanır. Böylelikle diğer itki sistemlerinden çok daha yüksek itki sağlandığından, uydu fırlatma sistemi olarak günümüzde kullanılan roketler kimyasal itki ile çalışır. Kimyasal itki kendi içinde, tek yakıtlı (monopropellant), çift yakıtlı (bipropellant), katı yakıtlı (solid), hibrit (katı ve sıvı yakıtlı) olarak üç temel gruba ayrılır.



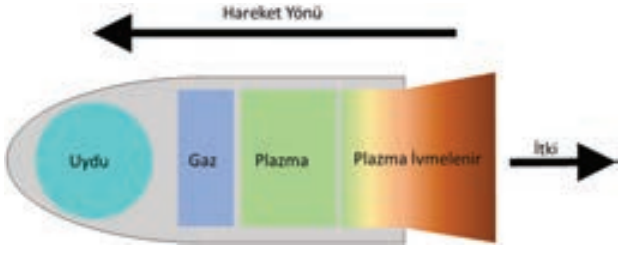
Şekil 12: Kimyasal İtki (Çift Yakıtlı)

Soğuk/Sıcak Gaz İtkisi (Cold/Warm Gas Propulsion): Soğuk Gaz, en basit itki sistemlerinden biridir. Basınçlandırılmış gaz itki sisteminin arkasından bırakılarak itki elde edilir. Yönelim kontrolü ve yörünge manevraları için kullanılır. Sıcak gaz itkisinde ise fark yakıtın ısıtılmasıdır, ancak yanma gerçekleşmez.

Şekil 13: Soğuk Gaz İtkisi

Elektrik İtki (Electrical Propulsion): Bu itki türünde kütleyi ivmelendirmek içi kullanılan yöntem elektrik olduğundan bu ad ile anılır. İtki üretmek için üç farklı yöntem kullanıldığından üç grup altında incelenebilir. Elektrotermal, elektrostatik ve elektromanyetik. Bu gruplardan elektrostatik ve elektromanyetik olanlar Plazma İtkisi olarak da anılır. Günümüzde özellikle de GEO yörüngedeki uydularda kullanılmaya başlanan Hall Etkili İtki Sistemleri (Hall Effect Thruster) de birer plazma itki sistemidir.

Plazma İtkisi (Plasma Propulsion): Bu sistemde gaz halindeki yakıt, düşük sıcaklıklardaki plazmaya dönüştürülür. Ardından bu plazmadaki yüklü parçacıklara elektriksel kuvvet uygulanarak itki üretilir. Yakıt çok verimli kullanılır ve yüksek itki hızı sağlayabilir. Ancak, sistemden atılan kütle miktarı küçük olduğundan, üretilen kuvvet kimyasal itkiye kıyasla düşüktür. Bu sebeple, kısa sürede yüksek itki kuvveti gerektiren fırlatma aşamasında kullanılmaz.



Şekil 14: Plazma İtkisi

Buna karşın yakıt verimliliği yüksek olan bu sistemler ile eşit miktardaki yakıttan daha fazla itki sağlanabilir. Böylelikle, yörüngede düzeltme ve manevra ihtiyacı olan GEO uyduların görev süresi uzarken, gezegenler arası yolculuk yapan uzay araçları da hedefine ulaşabilir. Bununla beraber, düşük itki nedeniyle plazma sistemlerinin manevraları daha uzun sürer. Transfer yörüngesine (GTO) bırakılan bir uydu GEO yörüngesine ulaşmak için plazma itki sistemi kullanırsa yaklaşık altı ay içinde hedefine varır. Dolayısıyla, plazma itki sistemini kullanırken bekleme süresi göze alınmalıdır.

İHTAR

Anti-Drone Sistemi

İHTAR, ASELSAN'ın mini ve mikro İHA tehdilerini şehir ve kırsal ortamda etkisiz hale getirmek için geliştirmiş olduğu bir drone karşı tedbir sistemidir. Kritik tesislerin korunması, yasadışı sızmalara karşı sınır güvenliği, kalabalık organizasyonların korunmasında kullanılmaktadır.

www.aselsan.com

aselsan

UZAY HUKUKU

Av. Buket KOLDAŞ ÜNVER

İnsanların bir arada yaşamalarının doğal sonucu olarak hukuk doğmuştur. Nerede toplum varsa orada hukuk vardır. Hukuk, toplumsal yaşamın ayrılmaz bir parçası olması sebebiyle, toplum ile birlikte şekillenir, değişir ve gelişir. İhtiyaçlar, imkânlar değiştikçe ve teknoloji geliştikçe, yeni alanlarda yeni kavramların, anlayışların ortaya çıkması ve ilişkileri düzenleyen, yaptırımlarla donatılmış kurallar bütününe ihtiyaç duyulması çok muhtemeldir.

Havacılık alanındaki gelişmeler, zaman içinde havacılık faaliyetlerine duyulan ilgi ve yapılan yatırımlar sonucunda, hava sahasındaki egemenliğin nereye kadar uzandığı, uzayın nereden başladığı ve uzay üzerindeki hakimiyet tartışma konusu olmaya başlamıştır. Uzay üzerindeki hakimiyet tartışması, her ülkenin kendi ülke sınırlarının üstünde yer alan hava ve uzay üzerinde mülkiyeti olduğu görüşünden başlayarak, Ay ve Güneş sisteminin tıpkı derin deniz yatağındaki madenler gibi insanlığın ortak mirası olduğu görüşüne kadar evrilen bir tarihçeye sahiptir. Uzay üzerindeki hakimiyet konusu ayrıca uzay sınırının belirlenmesi ve hava faaliyetlerinden ayrılmasını da gündeme getirmiştir. Ülkelerin hava üzerindeki egemenlik haklarının uzay için de geçerli olup olmamasını etkileyecek uzay sınırının belirlenmesi amacı ile günümüze kadar birçok yaklaşım ortaya çıkmış olmasına rağmen, ortak bir sonuç henüz belirlenmemiştir. Genel olarak bu yaklaşımları anlatmak gerekirse; Sahacı (Territorialist) Yaklaşım, hava sahası ile uzay arasında kesin bir ayrım olması ve hava hukuku ve uzay hukukunun uygulanabileceği alanları açık ve net şekilde sınırlandırmak gerektiğini savunurken, İşlevselci (Functionalist) Yaklaşım ise uzay ve hava arasında kesin bir sınırın çizilmesini doğru bulmayıp, uzay ve hava araçlarının çıkabileceği yüksekliğe göre sınırın belirlenmesini savunmaktadır. Günümüzde uzay sınırının, uluslararası alanda da kabul görmüş ancak henüz bir teamül olmamış, Von Kármán Çizgisi olan deniz seviyesinden 100 km yukarıda başladığı görüşü yaygındır.

İlk insan yapımı uydu olan Sputnik-1'in Sovyetler Birliği tarafından fırlatılması ve yörüngeye yerleştirilmesi uzay hukuku için çok önemli bir dönüm noktasıdır. Bu olaydan sonra uzay hukuku, bu alanda çok önemli bir role sahip olacak olan Birleşmiş Milletlerin ilgi alanına girmiştir. Uzayda yapılan her faaliyetin diğer tüm ülke ve kişileri, hatta dünyadaki faaliyetleri etkilemesi, uzayın büyük stratejik öneme sahip olması ve özellikle teknik ve yasal açıdan uzay faaliyetlerinin güvenliği ve sürdürülebilirliğine duyulan ihtiyacın artışı sebebiyle, bu faaliyetler kapsamında yasal düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur.

Bu doğrultuda Birleşmiş Milletler Uzayın Barışçıl Amaçlı Kullanımı Komitesi (BMUBAKK-United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space [UNCOPUOS]) 1959 yılında oluşturulmuştur. İlk kurulduğunda yirmi dört üyeye sahip UNCOPUOS'a Türkiye 1977 yılında dahil olmuştur. Günümüzde yüz üyesi bulunan bu komite Birleşmiş Milletlerin en çok üyeye sahip komiteleri arasındadır. Uzayın barışçıl yollarla kullanımına ve keşfine yönelik faaliyetlerin izlenmesi ve bu alanda iş birliklerinin sağlanması ve geliştirilmesi amacı ile kurulan UNCOPUOS ayrıca alanında en önemli uluslararası organdır. Bilimsel ve Teknik Alt Komite ve Hukuk Alt Komitesi olmak üzere iki alt komitesi bulunan UNCOPUOS, Hukuk Alt Komitesi ile uzayın tanımı ve sınırlanmasına ilişkin üye ülkelerin ulusal mevzuat ve uygulamaları hakkında bilgi toplamakta ve tüm ülkelerin üzerinde mutabakat sağlayacağı tanımlar oluşturulması çalışmalarını yürütmektedir. Uzay hukukunun gelişmesinde büyük katkı sağlayan UNCOPUOS, uzay hukukunun asli kaynaklarını oluşturan uluslararası anlaşmaların hazırlanması ve alandaki kılavuz kuralların oluşturulmasında büyük rol oynamıştır, oynamaktadır.

Uluslararası hukukun bir alt dalı olarak kabul edilebilecek uzay hukukunun temelini uluslararası anlaşmalar ve uluslararası örf ve âdet hukuku kuralları, bir diğer adıyla teamüller oluşturmaktadır. Uzay hukuku alanındaki beş temel uluslararası anlaşmaya kısaca değinmek gerekirse;

1967 Tarihli Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil, Uzayın Keşif ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Antlaşma (Uzay Antlaşması-Outer Space Treaty)

Türkiye'nin 1968'de taraf olduğu Uzay Antlaşması, on yedi maddeden oluşmakta ve uzayın barışçıl amaçlarla keşfi ve kullanımının sağlanması, hak ve özgürlüklerin korunması, sorumlulukların belirlenmesi, uluslararası barış ve güvenliğin sağlanmasına yönelik temel ilkeleri düzenlemeyi amaçlamaktadır. Uzay hukukunun temel çerçevesini çizen bu antlaşmada, taraf devletlerin sorumlulukları, uzayın barışçıl yollarla kullanımı, astronotların durumu gibi diğer anlaşmalarda detaylı olarak ele alınacak konular ilk defa düzenlenmiştir.

1968 Tarihli Astronotların Kurtarılması, Astronotların Dönüşü ve Uzaya Fırlatılmış Olan Cisimlerin İadesi Hakkında Anlaşma (Kurtarma Anlaşması-Rescue Agreement)

Türkiye'nin 1968 yılında imzaladığı ve 2006 yılında onayladığı on maddeden oluşan Kurtarma Anlaşması, insanlığın uzaydaki temsilcileri olan astronotların

ve uzay araçları veya cisimlerinin, kaza, tehlike acil durum veya istenmeyen iniş sonucunda, başka bir devletin egemenliği altındaki bölgeye inmeleri halinde, bu devlet tarafından kurtarılmaları, ülkelerine dönüşlerinin veya fırlatma makamına iadelerinin sağlanması ve gerekli bilgilendirme ve yardımların yapılmasını düzenlemektedir. Anlaşma kapsamında fırlatma makamı ayrıca tanımlanmış ve bu makamın bir devlet olabileceği gibi uluslararası devletlerarası bir kuruluş da olabileceği düzenlenmiştir.

1972 Tarihli Uzay Cisimlerinin Neden Olduğu Zararlardan Dolayı Uluslararası Sorumluluğa İlişkin Sözleşme (Sorumluluk Sözleşmesi-Liability Convention)

2006 yılında Türkiye tarafından onaylanan yirmi sekiz maddelik bu sözleşme daha önce bahsettiğimiz Uzay Antlaşmasının tazmin yükümlülüğünü ele alan yedinci maddesini daha detaylı düzenlemektedir. Fırlatan devletin, kendi uzay cisminin uçuş halindeki hava aracına veya dünya üzerinde verdiği zararın tazmininden, mutlak sorumluluğu olduğunu düzenleyen Sorumluluk Sözleşmesi, aynı zamanda fırlatan devlet tanımının kimleri ifade ettiğini açıklarken, zarar, fırlatma ve uzay cismi gibi kavramları da tanımlamıştır. Dünya yüzeyi dışında herhangi bir yerde, fırlatan devletin uzay cismi tarafından, diğer fırlatan devletin uzay cismine veya uzay cismi içindeki mallara veya kişilere verilen zararlarda ancak kusur sorumluluğu ile sorumlu olunabileceğini düzenleyen sözleşmede, ilave olarak fırlatan devletlerin birbirlerine ve üçüncü kişilere karşı sorumluluğu gibi birçok önemli konu da düzenlenmiştir.

1975 Tarihli Uzaya Fırlatılan Araçların Tescilleri Hakkında Sözleşme (Tescil Sözleşmesi-Registration Convention)

Birleşmiş Milletler Hukuk Alt Komitesi tarafından 1962 yılından itibaren çalışılan ve müzakere edilen Tescil Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler tarafından 1974 yılında onaylanmış ve 1975 yılında imzaya açılmıştır. Türkiye Tescil Sözleşmesine 2006 yılında katılmıştır. Uzay cisimlerinin kimliğinin belirlenmesi konusunda devletlere yardımcı olacak bir mekanizma kurmayı ve taraf devletlerin kendilerine ait uzay cisimlerine yönelik sorumluluklarını belirlemeyi amaçlayan Tescil Sözleşmesi on iki maddeden oluşmaktadır. Sözleşme uluslararası ve ulusal olmak üzere iki tane tescil mekanizması düzenlemiştir. Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği, uluslararası tescilleri muhafaza etmekte ve devletlerin ve uluslararası devletlerarası organizasyonların bu bilgilere tam ve açık erişimini güvence altına almaktadır. Ulusal tescilin içeriği ve tutulma yöntemi devletlere bırakılmıştır. İlave olarak Türkiye'nin hala bir tescil kaydı olmadığını belirtmek isteriz.

1979 Tarihli Ay ve Diğer Gök Cisimleri Üzerinde Devletlerin Faaliyetlerini Düzenleyen Anlaşma (Ay Anlaşması-Moon Agreement)

Uzay aktivitelerine karşı ciddi anlamda kısıtlayıcı hükümler içeren, Ay ve diğer gök cisimlerinin, barışçıl amaçlarla ve zarar verilmeden kullanımını ele alan ve yirmi bir maddeden oluşan Ay Anlaşması, 1979 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulunda onaylanmış ancak yürürlüğe girmesi 1984 yılını bulmuştur. Türkiye anlaşmaya 2011

yılında katılmıştır. Uzay Antlaşması'nda Ay ve diğer gök cisimleri kapsamında düzenlenen birçok hükmü tekrar eden ve ayrıntıları ile düzenleyen Ay Anlaşmasında, maddeler Ay özelinde yazılmıştır. Ancak anlaşmanın birinci maddesinde Ay'a yönelik tüm hükümlerin, Dünya dışında Güneş sistemindeki diğer gök cisimleri için de uygulanacağı belirtilmiştir. Bu kapsamda Ay Anlaşmasının hükümleri Ay'ın yanında, gezegenler, bunların uyduları, gök taşları için de uygulanabilir olacaktır. Anlaşmaya göre Ay'ın keşfi ve kullanımı tüm insanlığın yetkisindedir, bu doğrultuda yapılacak tüm faaliyetler, taraf devletlerin iş birliği ve karşılıklı yardımıyla ve tüm ülkelerin iyiliği ve yararına yürütülmelidir. İlave olarak anlaşma uyarınca Ay ve onun doğal kaynakları insanlığın ortak mirasıdır ve bunlardan yararlanma durumu mümkün olduğunda, bu kaynaklardan yararlanmayı yönetecek uluslararası bir rejim oluşturulmalıdır. Diğer bahsedilen antlaşmalardan farklı olarak Ay Anlaşmasına taraf ülke sayısı düşüktür, sadece on sekiz devlet tarafından kabul edilmiştir. Bunun sebebi belki de kısıtlayıcı hükümler içermesi, teknolojinin ve edinimlerin iş birliği amacı ile paylaşılmasını ve yararlanmayı yönetecek uluslararası bir rejimin oluşturulmasını düzenlemesi olarak gösterilebilir.

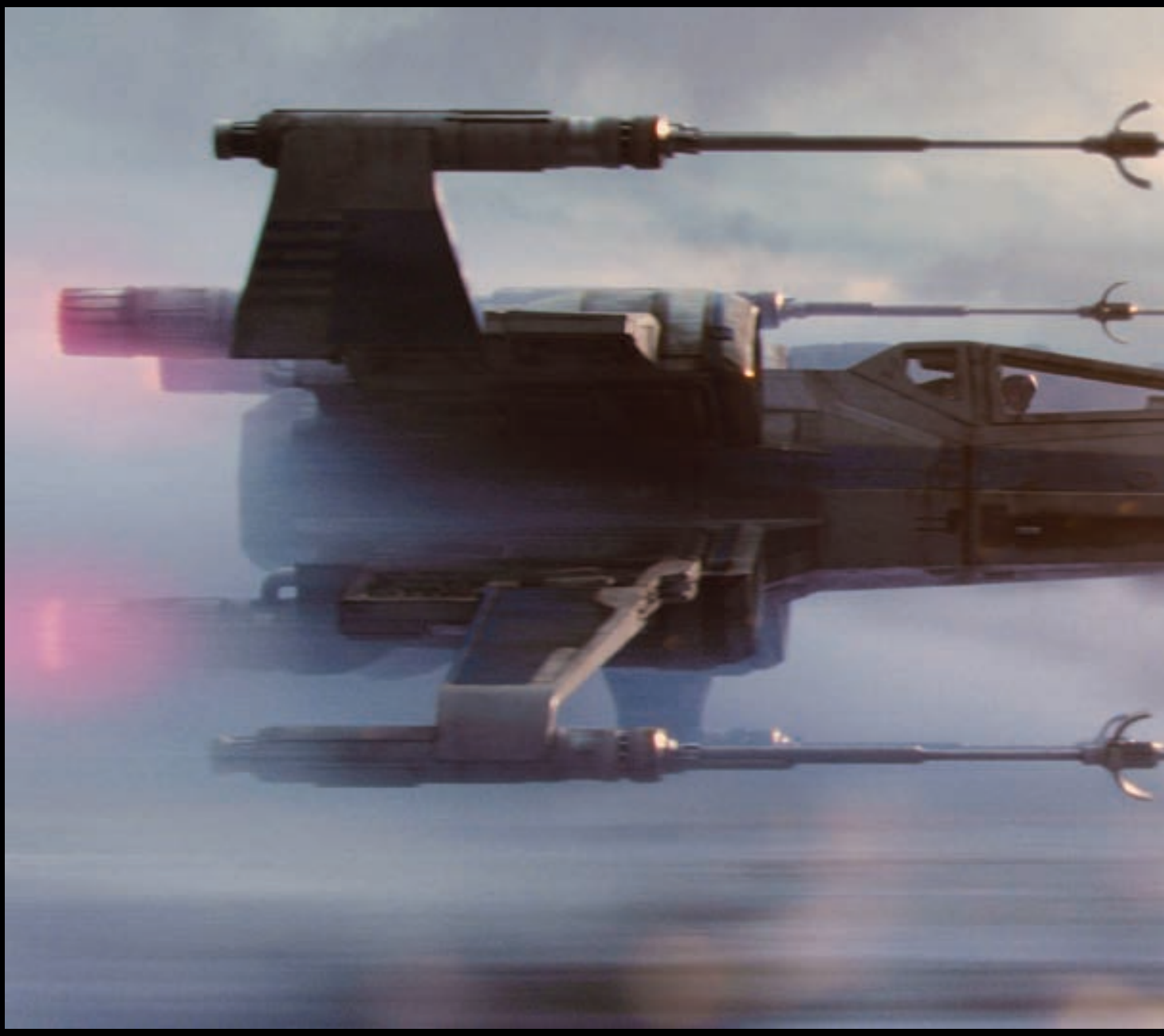
Birleşmiş Milletler Hukuk Alt Komitesi uzay alanında çalışmalarına oluşturduğu çalışma grupları ile devam etmekte ve bu alanda soft law olarak tanımlanabilecek uluslararası alanda konuları düzenleyen ancak bağlayıcı olmayan nitelikte kurallar ortaya koymaktadır. Uzay çöplüğünün azaltılmasına yönelik yayınladığı ilkeleri bu kapsamda örnek olarak gösterebiliriz.

Uzay hukukunun uluslararası boyutu uzun zamandır gündemdedir ve hızla gelişmekte ve şekillenmektedir. Ancak Uzay Antlaşmasının, uzay faaliyetlerinin yürütülmesinde devletlere yüklediği uluslararası sorumluluk, devletlerce kendi kurumlarına ve özel hukuk kişilerine yansıtılmalı ve bu faaliyetler denetlenmelidir. Uzay hukukunun ülkelerin iç hukukunda da ele alınması ve bu kapsamda iç mevzuatta düzenlemelerinin yapılması günümüzde artan öneme sahiptir. Avustralya, ABD, Çin, Danimarka, Fransa, Belçika, Brezilya gibi birçok devlet iç mevzuatlarında uzay hukukuna yer vermiştir ve iç mevzuatında düzenlemeye giden ülke sayısı artmaya devam etmektedir. Türkiye ise, taraf olduğu anlaşmalardan doğan uluslararası sorumluluğunu henüz iç mevzuatında tam olarak düzenlememiştir, ancak 2018 yılında Türk Uzay Ajansının kurulması ülkemiz için bu alanda büyük bir adımdır. Uzay ve havacılıkla ilgili uluslararası kuruluşlarda Türkiye'yi temsil etmek, uzaya yönelik hak ve menfaatlerin korunması ve güvence altına alınması için ulusal ve uluslararası kuruluşlarla koordinasyonu yürütmek, uzay ve havacılık bilim ve teknolojilerine yönelik yayınlar çıkarmak, faaliyetleri desteklemek, alanda bilimsel ve teknolojik altyapıyı oluşturmak gibi görevleri olan Türk Uzay Ajansı hukuk alanında da çalışmalar yapmaya yetkilidir.

Uzay Antlaşmasından bu yana teknolojinin hızla gelişmesine rağmen, günümüzde yavaş ancak emin adımlarla ilerleyen uzay hukuku, yeni iş birlikleri ve teknolojik gelişmelere paralel olarak hukuk alanına nüfuzunu sürdürecek ve getireceği yeni tartışmalar ve ilkelerle gelişimini devam ettirecektir.

UZAY SAVAŞLARI

SAVUNMA VE GÜVENLİK BOYUTUNDA UZAY



Fuat Taner ÖZDEMİR
Yunus Sarp YILDIRIM
Mutlu AKINCI

“Bir gün insanoğlu uçaksız da göklerde yürüyecek, gezegenlere gidecek, belki de Ay’dan bize mesajlar yollayacaktır. Bu mucizenin tahakkuku için 2000 yılını beklemeye hacet kalmayacaktır. Gelişen teknoloji bize daha şimdiden bunu müjdeliyor. Bize düşen görev ise, Batı'dan bu konuda fazla geri kalmamayı temindir."

Mustafa Kemal ATATÜRK
Eskişehir Tayyare Alayını ziyaretinde, Yıl: 1936

Yaratılışından itibaren insanın dikkatini çeken, astronomi ve astroloji alanında asırlar önce erken dönem çalışmalarına başlanan uzay; yirminci yüzyılın ilk yarısından itibaren bugünkü anlamada kullanım konseptlerinin gündeme gelmeye başladığı bir döneme girmiştir. İkinci Dünya Savaşı yıllarında Alman bilim insanlarının uzun menzile sahip roketler geliştirme çalışmaları, hayallerin gerçeğe dönüşmesinde bir dönüm noktası olmuştur.

Alman bilim insanlarının İkinci Dünya Savaşı sonunda ABD ve SSCB’ye götürülmeleri ile bugünkü anlamda uzay çalışmaları yoğun bir şekilde başlamıştır. İlk uydu olan Sputnik-1’in Ekim 1957 yılında SSCB tarafından yörüngeye fırlatılması ile başlayıp, Ay yüzeyine ilk insanlı inişin 21 Temmuz 1969’da ABD tarafından gerçekleştirilmesine kadar olan süreçte sadece ABD ile SSCB arasındaki Soğuk Savaşın yeni bir enstrümanı olan uzay çalışmaları aynı zamanda askeri uzay yarışının da başladığı dönem olarak ele alınıyor.

Tarihin ilk zamanlarından itibaren, askerî açıdan yüksekleri ele geçirmenin ve hâkim tepe elde etmenin savaşan taraflara daima avantaj sağladığı, bu avantajın bilincinde olan devletlerin güvenlik ve bekaları için sahip oldukları tüm olanakları seferber ettikleri görülmüştür. Bu nedenle yirminci yüzyılın sonlarından itibaren hava boyutuna yeni bir boyut daha eklenmiş ve silahlanma yarışı sınırları olmayan uzaya taşınmıştır.

İncirlik’ten 1960 yılında kalkan ABD’nin U-2 casus uçağının Rusya üzerinde düşürülmesinden sonra o dönemin ABD Başkanı Eisenhower U-2 uçuşlarını yasaklamıştır. Ancak bu yasaklamanın ardında; uzayda kazanılan yeni bir yeteneğin keşif görevlerini daha güvenli, daha geniş bir kapsama alanında ve hiçbir kısıtlama olmaksızın gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamasının öz güveni vardı. U-2 uçuşlarının yasaklanmasından sadece üç ay sonra ABD aynı verileri uydu vasıtasıyla alabilmişti. Bu ilk askeri keşif uydu sistemi olarak kayıtlara geçen Corona programıydı ve o zamanlarda bir bilimsel araştırma programı olarak topluma sunulmuştu.

Bunu haberleşme ve seyrüsefer uyduları izlemiştir. Kendi egemen hava sahalarının çok yüksek irtifalardan kat edilerek değerli hedeflerin fotoğraflarının istem dışı olarak çekilmesi, Rusları buna karşı önlem almaya sevk etmiştir. Benzer şekilde Rusların nükleer silahları uzaya yerleştirebileceği iddialarının ciddi bir tehdit oluşturacağını değerlendiren ABD’liler de buna bir önlem alma gereğini hissetmişlerdir. Bu ihtiyaç, her iki ülkenin de karşı ülkenin istenmeyen uydularını etkisiz hale getirmek amacıyla karşı uydu (Antisatellite) sistemlerini geliştirmelerine yol açmıştır.

Uzaydaki silahlanma yarışının bu ilk işaretleri sonrasında ABD’de askeri uzay için belki de yeni ilham kaynağı Holywood oldu. 1977 yılında Dünya, Jedi şövalyeleri, ışın kılıçları, hiper uzay araçları, lazer silahları ve güç ile tanıştı. Yıldız Savaşları, 1977'de sinema salonlarında patladı ve bir anda popüler oldu.

Çok geçmeden de bir bakıma uzay fantezisinin unsurları olarak görülen Star Wars, gerçek hayatta uzay teknolojisinin gelişiminin bir sembolü oldu. 1983'te ABD Başkanı Ronald Reagan, nükleer füzelerin saldırısından korumaya yardımcı olmak için Stratejik Savunma Girişimini gündeme getirdi. Eleştirmenler alaycı bir şekilde onun bu girişimine ve tanımladığı programa Yıldız Savaşları adını verdiler. Yıldız Savaşları o dönem için askeri uzay kavramını tanımlayan bir girişim olarak tarihteki yerini aldı. Bu dönemde, lazerler, parçacık ışınlı silahlar, yer ve uzay tabanlı füze sistemleri dahil olmak üzere, tam da Star Wars filmlerinde olduğu gibi, gelişmiş silah konseptleri, çeşitli sensörler, komuta ve kontrol ağları ile yüksek performanslı bilgisayar sistemleri üzerinde önemli çalışmalar yapıldı.

Yıldız Savaşları Programı, ABD ile SSCB arasında tesis edilen karşılıklı güvenceye dayalı imha (Mutually Assured Destruction-MAD) doktrinine zarar vermesi ve saldırı amaçlı bir silahlanma yarışını yeniden ateşlemesi potansiyeli nedeniyle büyük eleştiriler aldı. Ayrıca 1990'ların başında, Soğuk Savaşın sona ermesi ve nükleer cephaneliklerin hızla azalmasıyla, bu programa verilen siyasi destek çöktü ve Clinton Yönetimi 1993 yılında Yıldız Savaşları Programını resmen sona erdirdi.

Yıldız Savaşları Programının sonlandırılması askeri uzay için bir son değildi tabii ki. Uzayda konuşlu sistemler; Dünya'nın herhangi bir yerine anında erişim imkânı sağlaması, sunduğu konumlama verileri vasıtasıyla hedeflere hassas angajmanı mümkün kılması, bilgi üstünlüğüne katkı sağlaması gibi özellikleri ile savunma ve güvenlik açısından caydırıcılığı artırması ve muharebe sahasının kontrolünün sağlanması noktasında önemli roller oynuyordu.

UZAYIN STRATEJİK BOYUTU

Uzay sistemleri askeri harekâtta kilit rol oynar
Harekâtın etkinliğini artırır. Haberleşme, istihbarat, erken ihbar ve navigasyon yetenekleri ön plandadır.

Uzay, hedef alınan (kötü niyetli tehditler) ortam haline gelmektedir
Engellemeden, direkt olarak yörüngedeki sistemi imhaya kadar geniş bir yelpazede tehditler artmaktadır.

Askeri uzay, güç gösterimi aracı ve caydırıcılık unsuru olarak kullanılmaktadır
Kinetik imha silahları ile Çin Halk Cumhuriyeti (ÇHC) Fengyun 1C uydusunu imha ettiği bir testi 2007 yılında, benzer bir testi Hindistan da 2020 yılında gerçekleştirdi. ABD, RF, ÇHC, Fransa ve Hindistan bu alanda yetenek sahibi ülkeler arasındadır.

Uzay sistemleri bilgi çağı olan yirmi birinci yüzyılda, küresel bilgi ağı, bilgi teknolojisi ve ağ merkezli harekât çerçevesinde tamamen bilginin gerçek zamanlı ve küresel olarak toplanması ve dağıtılmasına imkân tanıyor, bu da güç unsurları (diplomatik, enformatik, askerî ve ekonomik) arasında sinerji yaratacak şekilde bağlantı ve etkileşim sağlıyor. Diğer bir deyişle bugün için hâkim tepe olan uzay, artık askerî harekât açısından önemi en fazla olan ortam haline geldi.

Buraya kadar ortaya konan bilgiler askeri uzay denince akla sadece silah sistemleri ve taarruz yeteneklerini getirmemelidir. Uzayın kullanım alanlarının genişlemesi askerî açıdan da uzayın kullanım yaklaşımını şekillendirmiştir. Bugün uzay askeri açıdan;

- Silahlı kuvvetlerin tüm unsurlarının (kara-deniz-hava) desteği noktasında etkinliğini artıran bir kuvvet çarpanı,
- Harekâtın mevcut boyutlarına (kara, deniz, hava, siber) ilâve olarak, silahlı kuvvetlerin harekât icra edebildiği yeni bir boyut olmak üzere iki farklı yaklaşımla ele alınmaya başladı.

Artık uzay tabanlı yetenekler sınır ötesi istihbaratın sürekliliği, durumsal farkındalığın artırılması ve hayati iletişimi kolaylaştırmanın neredeyse tek yolu. Bu noktadan hareketle dünya genelinde gelişen yeni uzay stratejileri temel olarak uzayın askerî açıdan başlı başına bir hareket alanı olarak ele alınması ve bu alanda faaliyet gösterecek askeri organizasyonun kara, deniz ve hava gibi ayrı bir kuvvet olarak yapılanması yönündedir.

GELİŞEN ULUSAL UZAY STRATEJİLERİ

ABD Uzay Komutanlığı
2019 yılında kurulmuştur. Uzay operasyonlarını ABD Uzay Komutanlığı icra etmektedir. 2021 bütçesi 15,4 milyar dolardır.

Fransa Uzay Kuvvetleri
Uzay gözlem ve savunma görevi ile kurulmuştur. 2020-2025 yılları arasında 700 Milyon Avro bütçe kullanması beklenmektedir.

ÇHC Stratejik Destek Kuvvetleri
Uzay sistemlerini korumak amacıyla kurulmuştur. 2015 yılında askeri uzay, siber ve E/H bileşenlerini yönetebilecek şekilde Stratejik Destek Kuvvetlerini oluşturmuştur.

Burada icra edilen görevler temelinde, dünya geneli ve NATO literatürü açısından askeri uzayı daha derinlemesine ele alırsak Kuvvet Artırma, Uzay Kontrol ve Uzay Durumsal Farkındalığı olmak üzere üç ana başlık altında tanımlandığını görürüz.

Kuvvet Artırma; satıh kuvvetlerinin (kara, deniz, hava) harekâtını destekleyici yetenekleri kapsamaktadır. Bu destek genellikle; komuta kontrol ve haberleşme, seyrüsefer, istihbarat, keşif ve gözetleme erken ihbar, çevresel gözlem (meteoroloji de dahil olmak üzere), harita ve jeodezi alanlarında olmaktadır.

Uzay Kontrol; bir yandan uzaya güvenli ulaşım ve kesintisiz bir uzay kullanım olanağı sağlarken, aynı olanakların düşmana tanınmaması anlamına gelmektedir. Uzay Kontrol kavramının savunma ve taarruz olmak üzere iki farklı amaca yönelik yetenek bileşenleri bulunmaktadır. Uzay Kontrol görev alanının taarruzi yönü Karşı Uydu (AntiSatellite-ASAT) Sistemlerini de içermektedir. Halen tartışmalı olan uzay hukuku bakımından kullanımı doğrudan yasaklanmamış, ancak bunun yanında serbest de bırakılmamış olan ASAT Sistemleri konusunda başta ABD, ÇHC, RF ve Fransa olmak üzere bazı ülkelerin, satıhta veya yörüngede konuşlu farklı silah platformları vasıtasıyla yörüngedeki uydu

sistemlerini imha edebilecek yetenekleri geliştirmekte olduğu ve hatta bu yeteneklerini test ettiği bilinmektedir.

Uzay Durumsal Farkındalığı (UDF) temel olarak, uzay alanının gerçek zamanlı resminin oluşturulmasını ve böylece buradan gelebilecek tehditleri önceden tespit ederek gerekli önlemleri almayı mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte UDF ile uydu operatörleri, varlıklarının potansiyel tehditlere ve çarpışma risklerine yakınlığını daha iyi izleyebilir ve kontrol edebilir.

Özellikle alçak Dünya yörüngesinde (Low Earth Orbit-LEO) uzay çöpünden (space debris) kaçınmak için UDF yetenekleri ile uzay trafik yönetim sisteminin geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır. UDF ayrıca, karşı eylemlerin ve ASAT sistemlerinin neden olabileceği olumsuz olayların faillerinin inkâr edilemeyecek şekilde tespit edilmesine de imkân tanıyacaktır.

Uzaya olan bağımlılığın artması, bu ortamda sahip olunan yeteneklerin her koşulda muhafazası ve güvenliğinin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Askeri açıdan konu değerlendirildiğinde de bu durum, harekâtın planlamadan, icra aşamasına kadar her evresinde sahip olunan sistemlerin kullanılabilirliğinin garanti altına alınmasını dikte ettirmektedir.

Uzaydaki genişleyen tehdit yelpazesi her şeyi kapsamamaktadır. Şu an için, bu tehditler temel olarak, LEO'daki uzay varlıklarıyla ilgilidir. Siber uzay, uzayla buluştuğunda, askeri iletişim için ikili bir güvenlik açığı ortaya çıkmaktadır. Yer ve uzaya dayalı varlıklar arasındaki komuta kontrol ve bilgi kanalları, yanıltma, bozulma, karıştırma ve diğer müdahale biçimlerine karşı oldukça hassastır.

Optik iletişim, kriptoloji, frekans atlamalı radyo iletişimi yoluyla veri ve bilgi akışlarının güvenliğini sağlamak, hayati bir yetenek olarak kendini gösteriyor. Uyduların kendilerinin de onları daha az etkili ve hatta işe yaramaz hale getirmek için saldırgan eylemlere konu olma olasılıkları giderek artıyor.

Uzaydaki askeri aktörler, uzaya dayalı varlıkların fiziksel saldırılara, yüksek enerji radyasyonuna maruz kalmaya, elektromanyetik karıştırmaya ve dünyadan ortaya çıkan bir dizi yeni tehdide karşı nasıl korunabileceğini düşünmeye başladılar. Bu noktada sistemlerde özel kaplamalar ve katmanlar, karıştırmayı algılayan sensörler, savunma ve uygun karşı önlemler dikkate değer temel hususlar olarak kendini gösteriyor. Bunlara ilave olarak askeri otoritelerin, uzay durumsal farkındalığı, uzay trafiği yönetimi, uzayda manevra kabiliyeti, hızlı reaksiyon ve görev yükü uyarlanabilirliği ile uzayda kurallara dayalı bir düzen oluşturmaya yönelik uluslararası iş birliği konularında yeni yollar ve araçlar üretmeleri de gerekmektedir.

Karşı tarafın saldırgan eylemleri veya doğal koşullar ve hatta bir kaza sonucunda uyduların kaybedilmesi durumunda, kaybedilen yeteneğin mümkün olan en kısa sürede yeniden kazanılması kritik olacaktır. Gerçekten de askeri uyduların geleceği, eski uzay sistemlerine kıyasla geliştirilmesi ve fırlatılması daha az maliyetli ve daha az zaman alan mikro veya nano uydularda yatmaktadır. Modülerlik ve uyarlanabilirlik de yakın geleceğin askeri uydu sistemleri için küçülme ile birlikte maliyet ve hızlı reaksiyon bakımından hızla yükselen bir eğilim olarak karşımız çıkıyor.

Uzayın askeri kullanımı önlenemez bir şekilde giderek yaygınlaşacağından silahlı kuvvetlerin uzay varlıklarını nasıl kullanabileceğini, onları nasıl koruyacağını ve bu eşsiz çevre ile etkileşmenin yeni yollarını tasarlaması zorunludur. Askeri gelişmelerin ve gereksinimlerin nereye doğru gideceğini askeri uzay alanında izlenecek stratejiler belirleyecektir. Bu konuda kayda değer olan birkaç öngörü aşağıda sıralanmıştır:

Programlanabilir Uydular ve Sensörler

Hızla uyarlanabilen uygulamalara ihtiyaç duyulduğunda, bu talebe uzaktan kolayca yönlendirilebilen uydular ile cevap verilebilir. Daha fazla minyatürleştirme ve yeni çip teknikleri bu gelişmeyi desteklemede önemli bir rol oynayacaktır.

Gelişmiş Optik İletişim

Güvenli, düşük gecikmeli ve geniş bant gereksinimi ile LEO haberleşme uydularının kullanımı artacaktır. Bu durum, uydular arasında haberleşmeyi zorunlu kılacaktır. Uydular arası haberleşme dışında, uydular ile satıh platformları ve yer istasyonları arasında da yüksek kapasiteli haberleşme ihtiyacı optik haberleşme konusunda daha fazla çalışmayı gerektirecektir.

Uzay Durumsal Farkındalığı

Kazara veya kasıtlı olarak müdahale ve çarpışmalara karşı korunma, uzaydan gelebilecek tehditleri yeteri kadar önceden tespit edebilme ve etkin uydu operasyonları için hassas uzay resminin oluşturulması zorunlu olacaktır.

Donanımın Güçlendirilmesi

Güvenli, düşük gecikmeli ve geniş bant gereksinimi ile LEO haberleşme uydularının kullanımı artacaktır. Bu durum, uydular arasında haberleşmeyi zorunlu kılacaktır. Uydular arası haberleşme dışında, uydular ile satıh platformları ve yer istasyonları arasında da yüksek kapasiteli haberleşme ihtiyacı optik haberleşme konusunda daha fazla çalışmayı gerektirecektir.

Görev Yüklerinin Güçlendirilmesi

Karşı tarafın yörüngede yakınsama operasyonları ve kullanabileceği ASAT silahları yerleşik sensörleri hedef alarak uyduları kör, sağır ve sessiz hale getirebilecektir. Zararlı lazerlere ve elektromanyetik radyasyona karşı daha iyi koruma, beka kabiliyetini ve kullanım ömrünü artıracaktır.

Dahili Kendini Koruma

Otomatik veya özerk kendini koruma uygulamaları, harici karıştırmayı önleyerek veya bir kendini savunma aracı olarak saldıran uyduları devre dışı bırakarak uyduları koruyabilecektir.

Uydu Platformu Çevikliği

Diğer uyduları geride bırakabilen-yörüngede yüksek manevra kabiliyetine sahip olan uyduların hayatta kalma şansı daha yüksek olacaktır. Bunun için uzun süre sürdürülebilir güç sağlamanın bir yolu, güneş pilleri yoluyla enerjinin kazanıldığı elektrik tahrikidir.

Yaklaşma Operasyonları

Uydular; UDF, uzay trafik yönetimi ve hassas yönlendirme konusunda yaşanacak gelişmelere bağlı olarak daha yakın bir yörünge formasyonunda çalışabilecektir. Böylece küçük uydu platformlarında dağıtık mimaride tasarlanacak sensörler ile yüksek performans elde edilmesi sağlanabilecektir.

Zamana Duyarlı Tasarım, Geliştirme, Üretim ve Fırlatma

Yeniden programlanabilir uydular, yeni uydular üretme ve fırlatma baskısını hafifletebilse de tüm askeri gereksinimleri karşılayamayabilir. Gelişmiş yeteneklere sahip uydular için zamana duyarlı geliştirme ve fırlatma yaklaşımlarının çalışılması, uzay varlıklarının hızlı bir şekilde yenilenebilmesi bakımından önemli bir ihtiyaç olacaktır.

Gelişen teknoloji ve uzayın kullanımına yönelik eğilimler, askeri ve sivil tüm uygulamalar için uzaya bağımlılık ve uzay alanının artarak kullanımının kaçınılmaz olduğunu bizlere göstermektedir.

UZAY TEKNOLOJİLERİNDE EĞİLİMLER

Hacer SELAMOĞLU

Son yıllardaki yeni sensör teknolojileri, fonksiyonel malzemeler, yeni itki teknolojileri, yapay zekâ, ileri robotik teknolojileri, eklemeli imalat üretim yöntemi, verimli enerji depolama teknikleri, optik haberleşme gibi teknolojilerdeki gelişmeler, uzay alanında sadece artımsal teknolojilerde değil, yıkıcı ve ezber bozan teknolojilerde de inovasyon yaratmaya odaklanılacağının ipuçlarını vermeye başlamıştır.

GELECEĞİN OYUN BOZUCU UZAY TEKNOLOJİLERİ

Dünyanın ilk yapay uydusu Sputnik 1'in yörüngeye oturtulmasının üzerinden altmış beş yıl, Apollo 11 ile Ay yüzeyine yapılan insanlı ilk uzay uçuşunun gerçekleşmesinin üzerinden ise elli üç yıl geçmiştir. Bu süre zarfında uzay sektörü sivil ve askeri amaçlı kullanılmıştır. Uzayın haberleşme, veri aktarımı, navigasyon ve görüntüleme amaçlı kullanımı için teknolojiler geliştirilmiştir. Uzay ortamının ağır operasyonel ve çevresel gereksinimleri, her türlü aracı ve görev yükünü uzaya taşımanın getirdiği zorluklar, ilgili teknolojilerin uzun sürelerde ve yüksek maliyetlerle geliştirilebilmesi sonucunu doğurmuştur. Bu durum da uzay teknolojileri konusunda daha düşük risk içeren ve var olan teknolojiler üzerine göreceli olarak küçük eklemeler yapılarak devam edilen artımsal teknolojilere yönelmeyi zorunlu kılmıştır.

Son yıllardaki yeni sensör teknolojileri, fonksiyonel malzemeler, yeni itki teknolojileri, yapay zekâ, ileri robotik teknolojileri, eklemeli imalat üretim yöntemi, verimli enerji depolama teknikleri, optik haberleşme vb. teknolojilerindeki gelişmeler, bu döngüyü kırarak uzay alanında sadece artımsal teknolojilerde değil, yıkıcı ve ezber bozan teknolojilerde de inovasyon yaratmaya odaklanılacağının ipuçlarını vermeye başlamıştır.

Bu teknolojiler, uyduların yörüngede servis hizmetlerinin sağlanabilmesini, sistemlerin minyatürleşmesini ve ucuzlamasını, göreceli olarak daha az maliyetli sivil uzay uçuşlarını, paradigma değiştirici alçak yörünge küçük uydu takımlarının kullanımını, uzaydan çok büyük boyutlu bilgi toplanmasını sağlayacağı gibi çok daha uç nokta teknolojik araştırmalar için de cesaret vermektedir.

Derin uzay araştırmaları, Ay'dan ve asteroitlerden maden çıkarma, uzayda kolonizasyon, Mars atmosferinden solunabilir hava elde etme, uzaydan enerji hasadı ve uzay çöpünün değerlendirilmesi yeni uzay kavramı içerisinde gelişen ve dikkat çeken radikal çalışma alanlarından bazılarıdır. Bu teknolojiler, geleceğin şekillendirilmesinde oyun bozucu etki yaratma potansiyeli barındırmaktadır.

DERİN UZAY ARAŞTIRMALARI

Derin uzay araştırmaları, Dünya'yı, güneş sistemini, evreni anlamak ve daha sonra güneş sistemindeki diğer gök cisimlerini araştırmak, keşfetmek ve uygun olanlara yerleşmek için bir ilk adımdır. Bu ilk adımlar, insanoğlunun bilinmeyen uzaya gitmesini, geniş mesafelerin ve aşırı zor çevresel koşulların üstesinden gelmesini ve uzay teknolojisinde yeni bir sıçrama elde etmesini sağlayacaktır. Günümüzde, derin uzay araştırmaları şu altı ana yönde ilerlemektedir: Ay'ın keşfi, Mars'ın keşfi, asteroitlerin ve kuyruklu yıldızların keşfi, Güneş'in keşfi, Merkür ve Venüs'ün keşfi, dev gezegenlerin ve uydularının keşfi.

Bugüne kadar, derin uzay araştırma faaliyetlerini bağımsız veya iş birliği içinde yürüten ülkeler ve kuruluşlar arasında ağırlıklı olarak ABD, Rusya Federasyonu, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), Japonya, Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan yer almaktadır. Bu ülkeler ve kuruluşlar yaklaşık iki yüz kırk bir derin uzay sondası fırlatmıştır. Şu anda güneş sistemindeki Ay, Mars, Venüs, Merkür, Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün, asteroitler ve kuyruklu yıldızlar gibi gök cisimleri araştırılmış ve Ay, Mars, Venüs, Titan'a, asteroitlere ve kuyruklu yıldızlara başarılı inişler yapılmıştır. Ayrıca Ay'dan ve asteroitlerden örnekler toplanmıştır.

Derin uzay keşif misyonları, geniş hedef aralığı, uzun uçuş mesafesi ve zaman gibi tipik özelliklere sahiptir. Bu sebeplerle, geleneksel Dünya yörüngesindeki veya Dünya'ya yakın uzay araçlarıyla karşılaştırıldığında, sondalar ve alt sistemler bazında çok farklı gereksinimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimler de radikal teknolojiler ve yaklaşımlarla karşılanabilecektir.

Örneğin, derin uzay aracı yörünge tasarımı, çoklu gök cisimlerinin etkisi altında yörünge tasarım yönteminin dikkate alınmasını gerektirmekte ya da atmosferli gök cisimleri için aerobraking gibi yeni tasarım konseptleri ve yöntemleri gerektirebilmektedir.

Derin uzay sondasında gezegen yüzeyinde çalışan gezici otonom araçlarının (rover), özerk navigasyona sahip olması, bazı olası arızaları otonom olarak belirleyebilmesi, teşhis edebilmesi ve onarabilmesi veya yeniden oluşturabilmesini sağlayan teknolojilere sahip olması gerekmektedir.

Sondanın saniyede birkaç kilometre veya daha fazla ivme ile güçlü manevra kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Geleneksel kimyasal tahrikin özgül itici kuvvetinin sınırları, derin uzay araştırma görevlerinin güçlü manevra kabiliyeti taleplerini karşılamayı zorlaştırır. Bu da derin uzay sondasında, daha yüksek özgül itici kuvvet, daha uzun hizmet ömrü ve üstün performans sunan elektrik, güneş ve nükleer gibi tahrik teknolojilerini zorunlu kılmaktadır.

ASTEROİT MADENCİLİĞİ

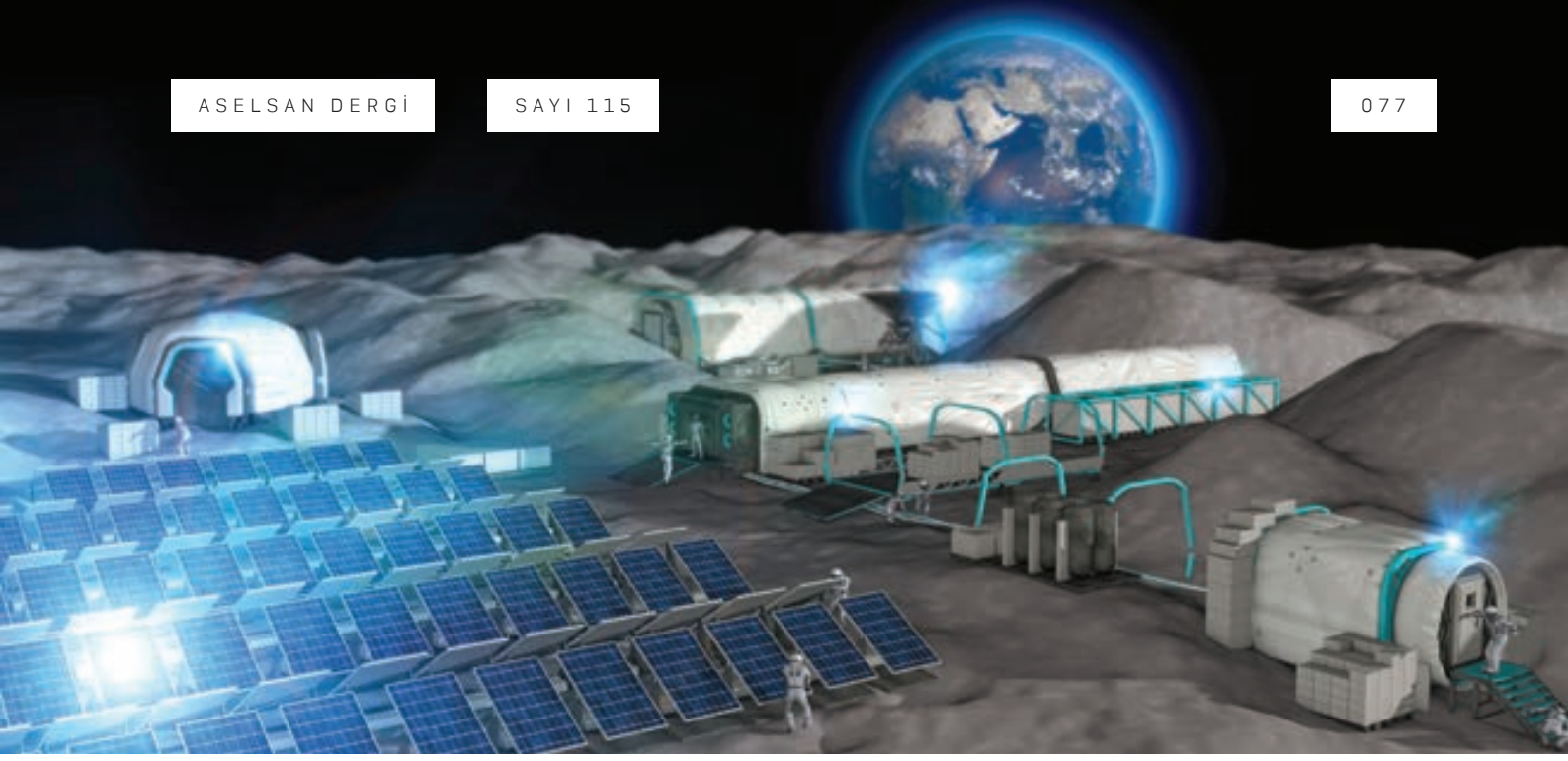
Derin uzay araştırmalarının itici güçlerinden birisi de asteroit madenciliğidir. Asteroitler, meteorlardan daha büyük, gezegenlerden ise daha küçük olan güneş sistemindeki kaya oluşumlarıdır. Temel olarak karbonlu kondrit (C-tipi), taşlı (S tipi) ve metalik (M tipi) olmak üzere üç çeşit olan asteroitlerin en yaygın türü, asteroit kuşağının dış kısmında bulunan C-tipidir ve bunlar bilinen tüm asteroitlerin yaklaşık yüzde yetmiş beşini oluşturmaktadır. S-tipi asteroitler, bilinen tüm asteroitlerin yaklaşık yüzde on yedisini oluşturmakta ve esas olarak metalik nikel-demir ve magnezyum silikat karışımından meydana gelmektedir. Ayrıca yapılarında kobalt, altın, platin ve rodyum da barındırmaktadır. M-tipi asteroitler ise tipik olarak asteroit kuşağının ortasında bulunur. M-tiplerinin bileşimi tam olarak bilinmemekle birlikte, S-tipine kıyasla da çok daha fazla miktarda metal içerdiği, esas olarak nikel-demirden oluştukları ve ayrıca nikel, iridyum, paladyum, platin, altın, magnezyum, osmiyum, ruteryum ve rodyum benzeri metaller barındırdığı tahmin edilmektedir. Asteroitlerin bileşimindeki farklılıklar Güneş'e olan yakınlıklarıyla ilgilidir.

Asteroit madenciliği, Dünya'ya yakın asteroitlerdeki değerli mineral ve metallerin tespit edilmesi, yüzeylerinden ve çekirdeklerden çıkarılması, analizi, metallerin ayrıştırılması gibi işlemleri içerir. Tüm bu işlemler için, uzay araçlarıyla, asteroitlere gönderilecek üç boyutlu yazıcılara, madencilik robotlarına, spektrofotometriye ve termal modelleme cihazları ile delme, patlatma, kırma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Asteroit madenciliğinin, zorlu ve maliyetli olmasına rağmen, artmakta olan nüfusa karşılık dünyadaki değerli kaynakların azalması ve hatta tükenmekte olması, bu alana olan ilgi ve ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır. Bu kapsamda NASA, 2016'da OSIRIS-REx isimli uzay aracını Bennu isimli asteroide göndermiştir. Bu aracın 2023'te topladığı numunelerle birlikte Dünya'ya ulaşması beklenmektedir.

ABD, 2015'te Amerikan şirketlerine Ay ve asteroitlerdeki kaynakları kullanma izni veren bir yasa çıkarmıştır. Şirketlerin araştırmalarına göre bu asteroitlerde, Dünya yüzeyinde bulunanlardan trilyonlarca kat daha fazla değerli maden bulunmaktadır. Örneğin, Dünya'da nadir bulunan elementlerden biri olan platin elementinin, asteroitlerde çok daha fazla rezerve sahip olması sebebiyle Ocak 2022'de AstroForge şirketi kurulmuştur. AstroForge, asteroitlerden platin madenciliği yapabilmek için halihazırda var olan ticari uzay teknolojisini kullanmayı planlamaktadır. Diğer bir örnek de İngiltere'de 2016 yılında kurulan ve ilk uzay madenciliği kuruluşu olan AMC şirketidir. 2022 yılında Tohoku Üniversitesi-Uzay Robotik Laboratuvarı (SRL) ile iş birliği yaparak Uzaya Uyumlu Robotik Asteroit Kaşifi (SCAR-E) projesi kapsamında, asteroitlerin içine gömülü malzemeleri çıkarmayı, işlemeyi ve kullanmayı hedeflemektedir.

Mars'ta bir üs kurarak madencilik yapmanın, Dünya'dan yürütülecek faaliyetlere kıyasla çok daha düşük maliyette gerçekleşeceği, Mars'ın ve özellikle de uydusu Phobos'un, uzay araçlarını fırlatmak ve nakliyat gerçekleştirmek için uygun bir yörüngeye sahip olması da yapılan bilimsel öngörüler arasında yer almaktadır.



UZAY KOLONİZASYONU

Derin uzay araştırmalarındaki motivasyon kaynaklarından bir diğeri de uzay kolonizasyonu veya uzayda kalıcı yerleşimin sağlanmasıdır. Uzay kolonizasyonu insanlığın gelecekte var olabilmesi bakımından en önemli şanslarından biri olarak kabul edilmektedir. Uzayda koloniler kurabilmek için en temelde su, yiyecek, atmosfer, yapı malzemeleri, enerji, ulaşım, haberleşme, yapay yer çekimi, radyasyon önleme ve yaşam destek sağlayacak teknolojiler üzerinde çalışılması gerekmektedir.

Bu kapsamda, uzay kolonizasyonunu mümkün kılabilecek şu teknolojilerin önem kazanacağı öngörülmektedir:

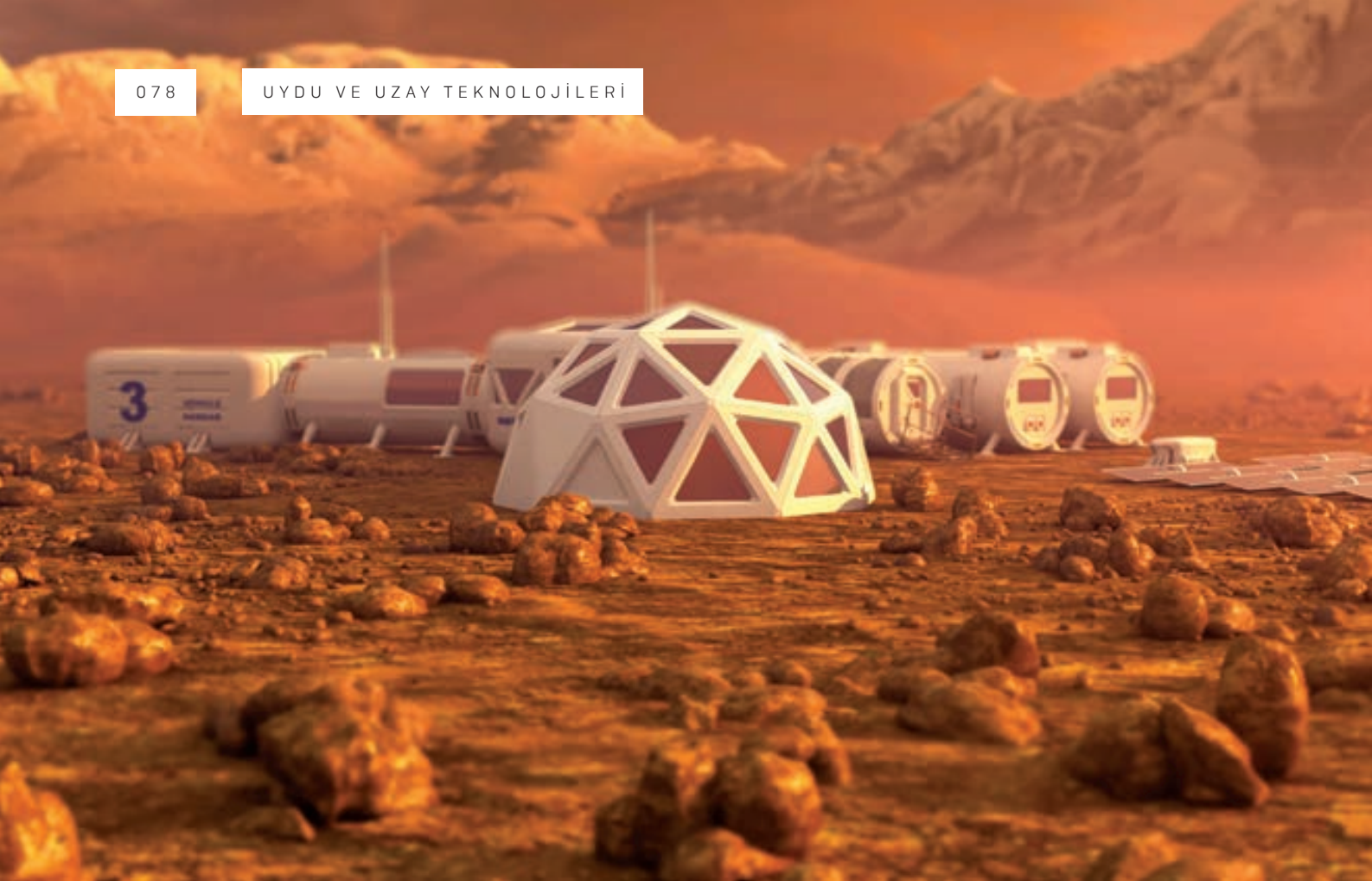
- Sadece ilk malzemeler ve sistemler Dünya'dan sağlanacağından şişirilebilir habitatların, geçiş sırasında ve koloni kurulurken kolonistleri barındırmak için kullanılması,
- Ek sistemlerin, tesislerin inşasının, gök cisminden türetilen malzemeler ve eklemeli imalat gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilmesi,
- Yörüngeleri Güneş'e yakın gök cisimleri için elektrik enerjisi sağlamak üzere dönüştürme verimliliği yüksek olan fotovoltaik teknolojiler,
- Güneş'ten daha uzak gök cisimleri için fotovoltaik teknolojiler yeterli enerjiyi sağlamayacağından nükleer enerji gibi başka enerji kaynakları,
- Kapalı devre olacak şekilde su ve atmosfer taleplerini karşılamak üzere önemli geri dönüşüm ve geri kazanım teknolojilerini içeren yaşam destek sistemi,
- Hava ve suyun geri dönüştürülmesi için çok verimli biyolojik teknolojileri içeren gıda üretim tesisleri ve bunların yaşam destek sistemine entegre edilmesi.

Uzay kolonizasyonu söz konusu olduğunda dünyalaştırma (terraforming) kavramı da ayrıca ön plana çıkmaktadır. Burada dünya harici bir gezegenin yeryüzündeki yaşam imkânlarına kavuşturulması ifade edilmektedir. Ancak bu kapsamdaki faaliyetlerden fayda elde etmenin çok uzun yıllar sonrasında, örneğin Mars için yüz bin yılda gerçekleşebileceği ön görülmektedir.

Ay'da uzun süreli insan kolonisini inşa etmek için başlatılan çok uluslu ARTEMİS Projesi de önümüzdeki yıllar boyunca gerçekleştirilecek görevler dikkate alındığında insanlık için çığır açacak gelişmelere sahne olacak bir program olarak görülmektedir.

"Tek bir gezegenle sınırlı kaldığı sürece insan ırkının uzun vadede varlığı risk altındadır. Er ya da geç, bir asteroid çarpması veya nükleer savaş gibi felaketler hepimizi yok edebilir. Ama uzaya yayılıp bağımsız koloniler kurduğumuzda geleceğimiz güvende olacak. Güneş sisteminde Dünya'ya benzer bir gezegen yok, bu yüzden başka bir yıldıza gitmemiz gerekecek."

Stephen Hawking



MARS ATMOSFERİNDE SOLUNABİLİR HAVA

Mars'ta koloni kurma hedefi ile yürütülen faaliyetler, NASA'nın en kritik misyonları arasında yer almaktadır. Kızıl Gezegen ve çevresindeki yaşamı, iklimi ve çevreyi keşfetmek görevlerinden sonra gelen dördüncü ve en kritik görev ise Mars'a insan göndererek yerinde deneyler yürütmektir. Bu amaçla Mars atmosferinden solunabilir hava elde etmek üzere çalışılmaktadır.

Mars atmosferi, yüzde 20,95 oranında oksijen içeren Dünya'dan farklı olarak içeriğinde yüzde 0,16 oranında oksijen muhteva etmektedir. Bu seviyenin yükseltilmesi için yapılan araştırmalar sonucunda katı oksit elektroliz hücresi teknolojisi ön plana çıkmaktadır.

Katı oksit elektroliz hücresi, hidrojen gazı (ve/veya karbon monoksit) ve oksijen üretmek için bir katı oksit veya seramik elektrolit kullanarak suyun (ve/veya karbon dioksit) elektrolizini sağlamak için rejeneratif şekilde çalışmaktadır. Katı oksit elektroliz hücreleri, tipik olarak 500 ile 850°C arasında, yüksek sıcaklıkta elektrolizin gerçekleşmesine izin veren sıcaklıklarda çalışmaktadır. Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen bir reaksiyonu ihtiva ediyor olması bu teknolojinin en önemli dezavantajını oluşturmaktadır.

NASA, MOXİE (The Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment) adı verilen bir çalışma ile Mars'a gönderilen insanların görevleri boyunca soluyabileceği oksijeni üretme misyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu teknoloji ile birlikte ayrıca Mars yüzeyinden dünyaya geri dönüş için ihtiyaç duyulacak sıvı oksijenin de üretilebileceği değerlendirilmektedir. MOXIE, 20 Nisan 2021'de Mars atmosferinde katı oksit elektrolizi kullanarak karbondioksitten oksijen üretmeyi başarmıştır. NASA yaklaşık bir araç akü büyüklüğünde olan MOXIE ile saatte yaklaşık olarak 6-10 gr aralığında oksijen üretebildiğini açıklamıştır. Ancak bir insanın bir saatte ortalama 35 gr oksijen tükettiği göz önüne alındığında, bu miktar oldukça düşük seviyede kalmaktadır.

NASA MOXIE ile gerçekleştirdiği deneysel çalışmalardan olumlu sonuç elde etmesi durumunda, gelecekte yine katı oksit elektroliz hücre teknolojisini kullanarak daha büyük çapta (yüz kat daha büyük) bir sistem ile saatte 2 kg oksijen üretebilmeyi hedeflemektedir.

UZAYDAN ENERJİ HASADI VE UZAY ÇÖPÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uzaydan enerji hasat etmek için tipik bir sistem; uzayda konuşlanmış istasyonlarda fotovoltaik enerji panellerinden elde edilen DC enerjinin mikrodalga veya lazer enerjisine çevrilmesi ile enerjinin kablosuz olarak yer istasyonlarına gönderilmesi sonrası yer istasyonlarında elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır.

GEO yörüngeye yerleştirilecek olan bu enerji uydularının panellerine çok büyük aynalarla Güneş enerjisinin yansıtılması da sistemin parçası olarak görülmektedir. Enerji uydularının GEO yörüngeye yerleştirilmeleri sebebi olarak, uyduların tüm yıl boyunca güneş ışınlarından yararlanacak olması, bu yörüngede yeryüzüne göre beş kat daha fazla güneş enerjisine ulaşım kapasitesinin bulunması, bu yörüngenin periyodunun Dünya'nın kendi etrafında dönme hızına eşit olması nedeniyle Dünya üzerindeki yer istasyonuna kesintisiz olarak enerji gönderebilme kapasitesine sahip olması sayılabilir. Öte yandan Space Island Group tarafından 10 ila 24 MW arası bir sistemi dünyanın alçak yörüngesine kurmanın maliyetinin yaklaşık iki yüz milyon dolar civarında olduğu öngörülmektedir.

Bu maliyetin büyük kısmının fırlatma maliyetlerinden kaynaklandığı düşünüldüğünde, Dünya yörüngelerindeki uzay çöplüğünde bulunan dokuz bin ton civarında malzemenin yeniden kullanımı gündeme gelmektedir. Bu malzemelerin ayda kurulacak bir uzay üssüne yönlendirilip, orada üs inşaatında ve güneş enerjisini dünyaya yollayacak dev uydu gibi projelerde kullanımının mümkün olabileceği değerlendirilmektedir. Bunun için de büyük boyutlu nakliye sağlayacak teknolojiler ile uzay çöpünün yeniden kullanımı için sistemleri monte edip, üretecek robotik teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Enerjinin mikrodalga ya da lazerle Dünya'ya gönderilmesi esnasında insanlara zarar verilmesinden kaçınılması da dikkat edilmesi gereken konulardan birisi olarak öne çıkmaktadır. Bunun için uyduların yer istasyonları ile çok hassas hizalanması probleminin çözülmesi gerekmektedir. Aksi durumlarda enerji istasyonları büyük hasarlar oluşturan silahlara dönüşebilecektir.

Uzay çöpünün geri dönüşümü için henüz erken olmakla birlikte kapasitesi küçük de olsa alçak yörüngeye yerleştirilebilecek enerji istasyonu çalışmalarına halen devam edilmektedir. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ve Mitsubishi

önümüzdeki yirmi ila otuz sene içerisinde bu yönde çalışarak, 1 GW'a varan yatırım yapmayı planlamaktadır.

ABD, Çin, İngiltere ve Hindistan'da da bu konuda çalışmalara devam edilmektedir. ABD, Japonya ve Avrupa'da mikrodalga ve lazerle enerji transferi testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Uzay teknolojileri, gelişim sürecinde dönemsel olarak kendini gösteren oldukça farklı unsurlardan etkilenmektedir. Radikal ve oyun bozucu uzay programlarının ülkelerin uzun vadeli gündemlerinde yer almasını, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve blok zinciri gibi sayısal teknolojiler, eklemeli imalat gibi üretim teknolojileri, otonom sistemler ve ileri robotik teknolojileri gibi yenilikçi teknolojiler sağlamakta ve bir temel hazırlamaktadır.

Bir diğer unsur olarak savunma ve güvenlik, diğer tüm teknoloji alanlarında olduğu gibi uzay ve uydu teknolojilerine de yön veren ana unsurlardan biri olmayı sürdürmektedir. Savunma ve güvenlik kaygıları, hem uzayda sahip olunan sivil, ticari her türlü kapasiteyi korumak hem de askeri açıdan bu ortamı kullanarak doğrudan avantaj sağlamak gerekçeleriyle uzay teknolojilerinin hangi yöne doğru evrileceği ve hangi yeni uygulama alanlarında kendine yer bulacağı konusunda hiç kuşkusuz ana belirleyici faktör olmaya aday durumdadır.

Savunma, uzay faaliyetleri için her zaman itici güçlerden biri olsa da artan ölçüde uzayın askerileşmesi ve uzayın silahlandırılması noktasında yeni tür tehditler ve egemenlik gösterimine sahne olmaktan kaçınamamaktadır. Çin Halk Cumhuriyeti 2007 yılında, kendi uydusu Fengyun 1C'de kinetik bir imha yöntemi kullanarak karşı uydu (antisatellite-ASAT) uygulamasını denemiştir. Daha yakın zamanlarda, 2020'de Hindistan, bir alçak yer yörünge (Low Earth Orbit-LEO) uydusunu hedef alan benzer bir test gerçekleştirmiştir.

Şimdiye kadar, yalnızca birkaç ülke (ABD, Rusya, Çin ve Hindistan) yabancı bir uzay aracını potansiyel olarak etkisiz hale getirme yeteneğini göstermiş olmakla birlikte, diğer ülkelerin, bu tür senaryoların gerçekleşmesini önlemek ve karşı saldırı yöntemlerini geliştirmek için bu yeteneği elde etmeleri beklenmektedir. Bu durum, uzay egemenliğini ve gözetimini sağlamak için özel savunma birimlerinin teşkil edilmesi sonucunu da doğurmaktadır. ABD Uzay Kuvvetleri ve Fransız Uzay Komutanlığının teşkili ile NATO'nun uzayı

resmi olarak yeni harekât alanı olarak tanımlaması bu konuda kaydedilen en dikkate değer ve uzay teknolojilerine yönelik eğilimleri derinden etkileyecek gelişmeler arasında gösterilmektedir.

Kurumsal aktörlerin; ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve uzay ortamının sürdürülebilirliği gibi yaklaşan zorluklarla yüzleşmek için uzay politikalarının tanımlanması, güncellenmesi ve uygulanmasında öncü bir rol üstlenmeleri uzay teknolojilerine yönelik eğilimleri belirleyecektir. Bu duruma en güzel örneği yeşil ekonomiye yönelik birkaç büyük uzay programının yenilenmesinin, uzay tabanlı uygulamalar ve hizmetler için yeni fırsatlar yaratması gösterilebilir.

Uzay programları için ülkelerin harcamaları COVID-19 pandemisine rağmen yüzde 10,7 artışla 92 milyar ABD doları seviyesine ulaşmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 2021 yılında yaklaşık 54,6 milyar ABD doları harcayarak, dünyanın en fazla uzay harcaması yapan ülkesi konumundadır. Çin ise uzay programlarına yaklaşık 10,3 milyar ABD doları harcayarak ikinciliğe yerleşmiştir. Üçüncülüğü ise 3,95 milyar ABD doları uzay harcaması ile Fransa almıştır.

Çin'in dört yüz km yükseklikte alçak Dünya yörüngesinde kalıcı uzay istasyonu kurmak için faaliyetleri devam etmektedir. Tiangong uzay istasyonu, yaşam destek sistemleri ve yaşam alanlarının yer alacağı aynı zamanda çeşitli araştırmaların yürütüleceği büyük bir laboratuvar olarak tasarlanmıştır. Atmosferde gezinen asteroidlerden örnekler toplanarak bu uzay istasyonunda 2025 yılında incelemelerin başlaması hedeflenmiştir. Çin'in 2030 yılında Ay'a ayak basma hedefinin yanı sıra 2040 yılında nükleer enerjili uzay araçları ile uzaya seyahat etme hedefi yer almaktadır.

Birçok ülke uzaya erişim ve uzayda bulunmak için önemli çalışmalar yapmaktadır. Gelecek yirmi yılda sivil alandaki gelişmelerin uzayda domine edeceği öngörülmektedir. Küçük takım uyduların büyük ölçekte kullanımı uzayın kullanımını kolaylaştıracak ve artıracak, özellikle uzay tabanlı verinin kullanımına yönelik teknolojiler ön planda olacaktır. Tüm bu gelişmeler, önemli hukuki ve etik düzenlemeler konusunda çalışma gerekliliğini zorunlu kılacaktır. Yapılan tüm teknoloji eğilim analizleri ve teknoloji öngörüleri kapsamında uzun vadeli uzay teknolojilerinin getireceği yıkıcı ve oyun değiştirici etkileri bugün itibarıyla tam olarak tahmin edebilmek hayal sınırlarını bile aşmaktadır.

TEKNOLOJİ PERSPEKTİFİNDE UZAY SEKTÖRÜNÜN DÖNÜŞÜMÜ

UZAY 4.0

Şahabeddin KUTLU

17 Temmuz 1975 tarihinde Apollo ve Soyuz uzay araçlarının uzayda birbirine kenetlenmesi ile SSCB ile ABD arasındaki uzay yarışında da yeni bir döneme geçilmişti. Aradan geçen yaklaşık kırk yıllık süreçte uzayın navigasyon, haberleşme ve gözlem amaçlı kullanımı çalışmalarına onlarca ülke daha dahil oldu. Ancak 2030 yılına doğru yaklaşırken yaşanılan süreçte alçak dünya yörüngesinin odak noktası olduğu yeni bir uzay yarışının fitili ateşlenmiş gözükmektedir.

Son yıllarda küreselleşen dünyanın her yerinde artan kullanıcı ihtiyaç ve taleplerini karşılama adına LEO (Low Earth Orbit) uyduların daha düşük gecikmelerle kesintisiz iletişim sağlamaya imkân tanıması, haberleşme ağlarının bu altyapı üzerine kurulması konularını da gündeme getirmiştir. Özellikle 5G teknolojisinin beraberinde getirdiği nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) uygulamalarının hem pazar olarak önemli bir yer edineceği hem de mevcut altyapılarda köklü bir değişikliğe yol açacağı düşünülmektedir. Gerek Türkiye gerekse dünya için yeni bir gelişme olan ve haberleşme sektöründe yeni kırılımların yaşanması kuvvetle muhtemel olan bu alanda, LEO uydular üzerinden altyapı kurma planları olan dünyanın önemli teknoloji firmalarının çalışmaları, sektörde yer alan herkes için bir fırsat olduğu kadar bir tehdit olarak da karşımıza çıkmaktadır.

17 Temmuz 1975 tarihinde Apollo ve Soyuz uzay araçlarının uzayda birbirine kenetlenmesi ile SSCB ile ABD arasındaki uzay yarışında da yeni bir döneme geçilmişti. Aradan geçen yaklaşık kırk yıllık süreçte uzayın navigasyon, haberleşme ve gözlem amaçlı kullanımı çalışmalarına onlarca ülke daha dahil oldu. Ancak 2030 yılına doğru yaklaşırken yaşanılan süreçte alçak dünya yörüngesinin odak noktası olduğu yeni bir uzay yarışının fitili ateşlenmiş gözükmektedir.

Sektörü yakından takip eden kimi araştırmacılar tarafından Yeni Uzay (New Space) olarak tanımlanan bu yarış, öncelikli olarak ticari müşterileri hedefleyen, bir getiri arayan risk sermayesi ile desteklenen, uzayda veya uzay için geliştirilen yenilikçi ürünlerden veya hizmetlerden kâr sağlamaya çalışan küresel bir şirketler ve girişimciler endüstrisi haline gelmiştir.

Kimi araştırmacılar tarafından da Uzay 4.0 (Space 4.0) olarak adlandırılan bu yeni dönem; yıllardır yapılan geliştirme faaliyetleri neticesinde, fırlatma maliyetlerini oldukça düşüren yeniden kullanılabilir fırlatma araçları ile birlikte uzaya eşi görülmemiş bir ölçekte erişim sağlayan yeni bir uzay altyapısı ortaya çıkarmıştır. Bu altyapı ile birlikte uydu tabanlı haberleşme, navigasyon ve gözlem hizmetlerinde mevcut pazarların artarak yeni iş ve endüstrilerin genişlemesine olanak sağlaması kesin gözükmektedir. Ekonomik kalkınma yoluyla uzay sınırını insan yerleşimine açmak için çalışan tüm kişiler, işletmeler ve kuruluşlar da bu yeni yarışın yeni oyuncuları olmuşlardır. Yeni Uzay veya Uzay 4.0, hangi ismi verirsek verelim bu yeni yarışta haberleşme, navigasyon ve yer gözlem uygulamaları için yeni fırsatlar ve imkânlar her geçen gün daha çok öne çıkmaya başlamış durumdadır.

DÜNYA NEREYE GİDİYOR?

Tarihsel olarak alçak yörünge uyduları üzerinden erişim hizmetleri sağlamaya çalışan ilk şirketler iyi bir şekilde lanse edilmemeleri, yüksek hızda erişim sağlayamamaları, bunun sonucunda az sayıda kullanıcının ilgisini çekmeleri ve yüksek maliyetlerle engellenmeleri gibi nedenlerle yeterince büyüyememiş veya iflas etmek durumunda kalmışlardı. Uydu telefon hizmetlerini halen sunmakta olan Iridium 1999 yılında iflas koruma başvurusunda bulunmuş; petrol-madencilik, kamu hizmetleri, ormancılık, balıkçılık, askeri, ulaşım ve acil durum uygulamaları olan Globalstar ise 2002 yılında aynı durumla karşılaşmıştır. Globalstar, daha sonraları ikinci nesil uyduları ile varlığını devam ettirse de istenilen pazar payını hiç yakalayamamıştır. Teledesic firması da proje maliyetini 9 milyar ABD doları olarak çıkarmış fakat yatırımcı bulamadığı için Ekim 2002'de uydu yapım çalışmalarını resmen askıya alarak faaliyetlerini sonlandırmıştır. Rusya merkezli Gonets uydularının mesajlaşma, M2M (makine-makine) haberleşmesi ve GLONASS navigasyon uydularından gelen verilerin yere iletilmesi servislerine rağmen kullanım alanı Rusya ile sınırlı kalmıştır.

Tüm bu gelişmeler neticesinde geçmişten günümüze bu alanda faaliyet gösteren operatörler, aslında başarısız birer girişimler olarak öne çıkmışlardır. Ancak günümüzde küreselleşen dünyanın her yerinde artan kullanıcı ihtiyaç ve taleplerini karşılama adına alçak yörünge uydularının daha düşük gecikmelerle kesintisiz iletişim sağlamaya imkân tanıması, haberleşme ağlarının bu altyapı üzerine kurulması konularını da gündeme getirmiştir. Özellikle 5G teknolojisinin beraberinde getirdiği IoT uygulamalarının hem pazar olarak önemli bir yer edineceği hem de mevcut altyapılarda köklü bir değişikliğe yol açacağı düşünülmektedir. Bu noktada alçak yörünge uyduları üzerinden altyapı kurma planları olan dünyanın önemli teknoloji firmalarının çalışmaları her geçen gün dünyanın gündemine daha çok gelmektedir. Bunun yanı sıra birçok firma da 5G teknolojisini uydu haberleşme altyapısı ile buluşturmak üzere çalışmalar yürütmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda Yeni Uzay alanında her geçen gün değişik büyüklükteki yeni işletmeler piyasaya girmektedir. Girişim sermayeli kurulan şirketler de hesaba katıldığında yarısı ABD merkezli bu şirketlerin sayısı iki yüz elliyi aşmaktadır. Aynı zamanda bu işletmelerin çalışma alanları incelendiğinde en önde gelen uygulamaların IoT alanındakiler olduğu görülmektedir. Bununla beraber Yeni Uzay'ın en önemli bileşenlerinden birisi de düşük maliyetli küp uydular ile uzaya

erişimin sağlanarak hizmetlerin veriliyor olmasıdır. 1999 yılında ilk defa gündeme gelen bu küp uyduların uzaya fırlatılma sayısı bugün iki bin adete yaklaşmıştır. Özellikle de fırlatılan bu uyduların sayısının son on yılda otuz kat; haberleşme amaçlı olanlarının pazar payının ise dört kattan fazla bir artış göstermesi çok dikkat çekicidir.

Sahip olunan yeni imkânlarla 2030 yılına doğru yol alırken birim maliyetlerin de düşmesi ile birlikte tüm dünyada fırlatılması planlanan uydu sayısının on bin adedi aşacağı tahmin edilmektedir. Bu da bugün yörüngedeki aktif uydu sayısının beş katına çıkması anlamına gelmektedir. Bu yeni uyduların önemli bir kısmı 5G ve IoT uygulamaları için planlanmıştır. Özellikle 5G uygulamalarının uydular üzerinden verilmesi ve iletişim altyapılarının bu yöne evrilmesi için çok sayıda çalışma halihazırda yürütülmektedir. Böylece küresel bazda gerçek zamanlı geniş bant iletişimi sağlayan küçük uydu filolarının yer durağan uyduları (GEO) tamamlayan bir yapıya ulaşması ve 2030 yılına kadar küresel bir etkiye sahip olması beklenmektedir. Küçük uydulara yönelik eğilim sadece uyduların inşa, fırlatma ve işletme maliyetlerini azaltmakla kalmamış, aynı zamanda uzayda daha hızlı ve daha esnek bir dağılım alarak oluşturdukları büyük uydu filolarını uygulanabilir hale getirmiştir.

Elde edilen teknolojik ve ekonomik ilerleme sonrasında son yıllarda SpaceX, OneWeb, Telesat ve O3b gibi firmaların başını çektiği uydu operatörleri bugüne kadar görülmemiş büyüklükte uydu filoları oluşturmaya başlamışlardır. Sayıları binler ile ifade edilen bu uydu filoları ile birlikte dünya adeta bir ağ gibi örülerek dünyanın her yerine yüksek hızlarda erişim hizmetinin sunulması mümkün hale gelmektedir.

Özellikle SpaceX'in Kasım 2020 itibarıyla beta sürümü adıyla kullanıma başlamış olması, dünya kamuoyunun söz konusu projelerin uygulanabilirliğine daha güçlü bir şekilde inanmasını sağlamıştır. SpaceX'in iletişim uydusu ağı fikri Ocak 2015'te ilan edilmiştir. Kendi fırlatma roketi Falcon 9 ile fırlatma başına 60 Starlink uydusu iki haftalık periyotlar halinde fırlatılmaktadır. Tüm sistemin yaklaşık kırk iki bin uydu ile tamamlanması planlanmaktadır. Bu süreçte SpaceX, bazı uyduları yeni teknolojilerin gösterimi ve doğrulanması amacıyla kullanmaktadır. SpaceX, yetersiz hizmet alan bölgelere internet hizmeti vermeyi amaçlamış olup yaklaşık 30 milyar ABD doları harcayacağı projeden, 2025 yılı itibarıyla yılda 10 milyar ABD dolarının üzerinde kazanmayı hedeflemektedir. Ticari servislerinin yanı sıra ilerleyen dönemde Starlink sisteminin bir kısmının askeri haberleşme amaçlı olarak kullanılması da planlanmaktadır.

Kanada merkezli TELESAT, alçak yörüngede çalışacak yüz yirmi uydudan oluşan TELESAT LEO ismini verdikleri bir uydu filosu fırlatmayı hedeflediğini 2016 yılında belirtmiştir. 2020 yılında ise bu uydu takımının bin altı yüz uydudan oluşmasını hedeflemişlerdir. 2021 yılında 3 milyar ABD dolarlık bir büyüklüğe sahip, iki yüz doksan sekiz uydu ve ilgili yer hizmetlerini içeren bir sözleşmeyi Thales Alenia Space firması ile imzaladığını duyuran şirket, düşük gecikmeli internet kullanımı ve 5G altyapı hizmetini 2023 yılı itibarıyla kırsal ve kentsel bölgelerde sunmayı planlamaktadır.

2016 yılında Lüksemburg merkezli SES uydu operatörü tarafından satın alınan O3b ise hali hazırda yörüngesinde bulunan orta irtifa (MEO) uydular ile mobil cihazlara ses ve veri haberleşmesi ile birlikte mobil operatörlere de internet sağlayan bir firmadır. O3b (Other 3 billion) ismi, dünyada henüz geniş bant internet hizmeti alamayan üç milyar insanı temsilen konulmuştur. O3b, Yeni Uzay yarışında geniş bant haberleşme hizmeti vermeye başlayan ilk operatör olup düşük gecikmeli, yüksek hızlı uydu haberleşmesi sağlanması için ABD Savunma Departmanı ile 2018 yılında bir anlaşma yapmıştır.

İngiltere'nin 2018 yılında Avrupa Galileo Navigasyon Sisteminden; 2020 yılında da Avrupa Birliği'nden ayrılması ile birlikte OneWeb'e ortak olması uydu haberleşme ve navigasyon projelerine Avrupa ülkelerinden bağımsız bir şekilde devam etmesi anlamında önemli bir aşama olmuştur. Bununla beraber süreç içerisinde OneWeb'in, uyduların üretimi için Airbus ile bir ortaklığa giderek OneWeb Satellites şirketini kurması nedeniyle de Avrupa'dan tamamen bağımsız olması pek mümkün gözükmemektedir. Bu dört şirketin yanı sıra Kepler (Kanada), Kuiper (ABD), Hongyun (Çin) gibi farklı şirketlerin de ilerleyen zaman içerisinde bu alanda servislerine başlaması beklenmektedir.

PEKİ YA TÜRKİYE?

Türkiye açısından bakıldığında, 90'lı yıllarda adım attığı uydu haberleşme sektörü ile bu yüksek teknolojili ve stratejik alanda söz sahibi olmak her zaman Türkiye'nin gündeminde olmuştur. Bu hedefle çıktığı yolda önceleri hizmet alımı daha sonra kendi uydusunu dış temin yoluyla tedarik ederek işletmeye başlamış ve en nihayetinde de artık kendi gözlem uydularını ve haberleşme uydularını kendisi üretme noktasına gelmiştir. Aradan geçen bu yaklaşık otuz yıllık süreçte Türkiye artık kendi uydu projelerine yön verebilecek konuma gelmiş ve bu konuda kurum/kuruluşları vasıtasıyla çeşitli iş birliği modelleri de geliştirmiştir. Gerek milli olarak gerekse uluslararası iş birlikleri ile gerçekleştirilen her proje Türkiye'nin bu sektördeki tecrübesini daha da artırmıştır. Gelinen noktada Türkiye Uzay Ajansı (TUA) 2018 yılında kurulmuş ve Milli Uzay Programı da Şubat 2021 itibarıyla ilan edilmiştir durumdadır. Gerek Türkiye gerekse dünya için yeni bir gelişme olan ve haberleşme sektöründe yeni kırılımların yaşanması kuvvetle muhtemel olan Yeni Uzay hem bir fırsat hem de bir tehdit olarak Türkiye'nin gelecek dönemlerde sık sık karşılaşacağı bir konu olarak yerini almaktadır.

FIRSAT MI TEHDİT Mİ?

Toplumun geniş coğrafyalar üzerinde sürekli bilgiye olan ihtiyacı nedeniyle yüksek hassasiyetli uydulardan bilgi ihtiyacı artmaktadır. Bu ihtiyacın ancak geleneksel çözümlerin yeniden değerlendirilmesi ile karşılanabilmesi mümkün gözükmektedir. Alçak yörüngede servis sağlayan ve çok sayıda küçük uydudan oluşan uydu filolarının getirdiği daha fazla kapasite ile birlikte fiyatların düşmesi öngörülmektedir.

Alçak yörünge uydularının kullanıldığı haberleşme altyapıları genel olarak uzay kesimi, yer kesimi ve kullanıcı kesiminden oluşmaktadır. Uzay kesiminde dünyayı devamlı olarak tarayan bir uydu filosu yer alırken; yer kesiminde ağ geçitleri, kullanıcı kesiminde ise kullanıcı terminalleri yer almaktadır. Devamlı olarak hareket halinde olan ve belirli bir alanı kısa süre görebilen uydular kendi aralarındaki iletişimi zamanla inter-satellite link (ISL) adı verilen uydular arası haberleşme alt sistemleri ile yapmaya başlayacaktır. Bununla beraber yer kesimi üzerinden erişim sağlanan yüksek bant genişliği ve düşük iletişim gecikmesi olan internet altyapısı küçük güç ve anten boyutları ile kullanıcı terminallerine uydular üzerinden iletilmektedir.

Bununla beraber, her ne kadar dünya genelinde bu yeni gelişmelere doğru bir eğilim gözükse de küçük uydulardan oluşan bir uydu filosu inşa ederken aşılması gereken birçok engel vardır. İlk olarak, projelerin finanse edilmesi, düzenleyici onayların alınması ve diğer uydu sistemleriyle güvenli bir şekilde bir arada işletilmesini sağlamak için frekansların ve yörüngelerin koordine edilmesi gerekmektedir. Üstelik uyduların çarpışmalardan kaçınarak ilave bir uzay çöpüne de neden olmaması gerekir. Ayrıca birçok uydunun düzenli, zamanında ve ekonomik olarak fırlatılması gerekmektedir. Uyduların büyük bir kısmı fırlatılıp faaliyete geçene kadar hizmete başlanması mümkün olmayacaktır. Gelişmiş antenlerin ve modemlerin tasarımı, kullanıcı ekipmanlarının geliştirilmesi, uyduların kısa ömürlü

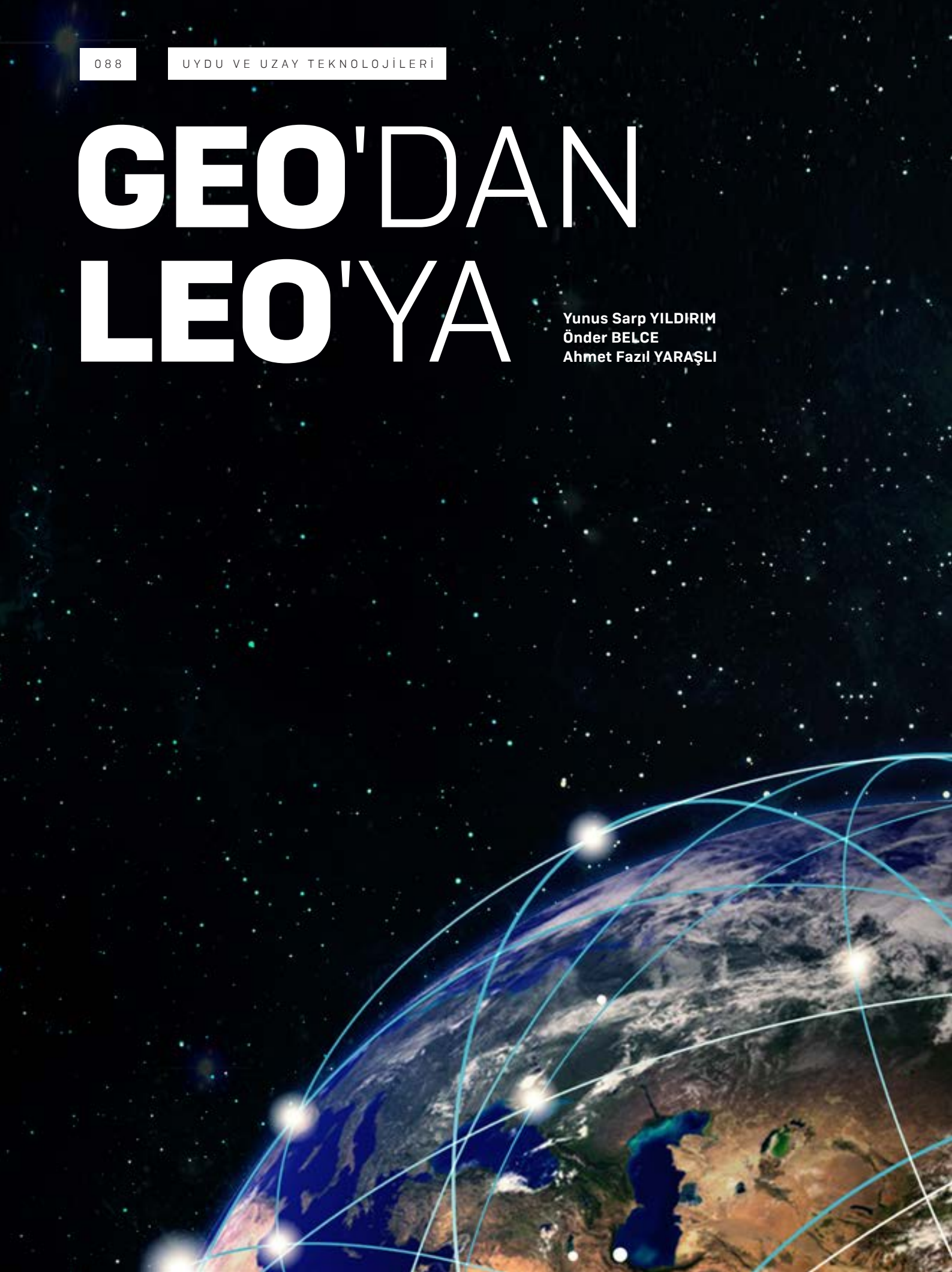
olması gibi karmaşık ve yüksek teknolojili teknik gereksinimler ciddi bir risk oluşturmaktadır. Birçok girişim şirketi ve yatırımcı, bu risklere gerektiği kadar önem vermemeleri nedeniyle ya başlamadan sona ermiş ya da büyük finansal risklerle mücadele etmek zorunda kalmıştır.

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı olmasına karşın uluslararası boyutta düzenleyici çalışmalar nispeten daha geriden gelmektedir. Ulusal ölçekte ise henüz çoğu ülkenin bu yeni duruma hazır olmadığı da bir gerçektir. Bu da hem mevcut ve hem de yeni girişimler için bir belirsizlik anlamına gelmektedir. Yine de bu engellerin aşılması ile beraber alçak yörünge uydu filolarının tüm dünya için yeni teknolojik, ekonomik ve sosyal fırsatlar oluşturabilmesi çok mümkün gözükmektedir.

Radyo ve televizyon yayıncılığı başta olmak üzere veri haberleşmesi, ses haberleşmesi, askeri haberleşmeler, navigasyon uygulamaları gibi birçok kullanım alanı olan GEO uydular, yüksek bir irtifada olmaları nedeniyle daha uzun bir gecikme süresine sahiptirler. Ayrıca geniş kapsama alanlarına rağmen bütün dünyaya hizmet sunabilme açısından tek başlarına yeterli gelmemektedirler. Bu nedenle, birçok kritik iletişim kablo üzerinden veya daha hızlı bağlantı sağlayan LEO takım uyduları üzerinden sağlanmaktadır. Yaşanan teknolojik ilerlemeler ve özellikle 5G/IoT alanındaki gelişmelerle birlikte değişen ihtiyaçlar-talepler doğrultusunda LEO uyduların önemi son on yılda daha da öne çıkmaya başlamıştır. Bu noktada LEO uydular üzerinden sağlanan servisleri geniş bant ve dar bant olarak ikiye alarak incelemekte fayda vardır. Zira; geniş bant haberleşme hizmetlerinde sahip olunması gereken teknik kabiliyetler ve finansal ihtiyaçlar oldukça büyük çaplı projelerin hayata geçmesine bağlıdır. Bununla beraber dar bant haberleşmede ise IoT uygulamaları ile teknolojiyi yakalayabilmek ve yetkinlik kazanabilmek için daha etkin ve ekonomik bir başlangıç noktası olarak öne çıkmaktadır. Dünyada genel itibarıyla mini uydu sınıflarında uydu filolarının kurulmaya başlandığı bu dönemde teknolojiyi sosyal ve toplumsal birçok alanda kullanarak ekonomik faydalar elde etmek mümkün gözükmektedir. İnsanoğlunun uzay serüveninde yeni bir dönüm noktası olabilecek bu aşamada elde edilecek kazanımlar iklim değişikliği, demografik kalkınma, göç, kaynak sıkıntısı, çatışmalar ve felaketler, enerji, dijital bölünme ve sağlık gibi küresel sorunlarla başa çıkmak için bir araç olarak kullanılabilecektir. Bu sürecin henüz başındayken karar vericiler için de kritik dönem başlamış durumdadır. Bu kritik dönemde doğru karar verme ve politika oluşturma, gelecek nesillere ilham ve motivasyon sağlamadır.

GEO'DAN LEO'YA

Yunus Sarp YILDIRIM
Önder BELCE
Ahmet Fazıl YARAŞLI



HABERLEŞME UYDULARINDA YENİ YAKLAŞIMLAR

Mekândan bağımsız olarak istediğimiz bilgiye anında ulaşabildiğimiz, birçok otonom aracın ve makinenin pürüzsüzce işlerini yapıp bize rapor verdiği, sanal gerçeklikle istediğimiz kişilerle istediğimiz ortamlarda ve hatta istediğimiz bir zaman diliminde vakit geçirmenin mümkün olduğu bilim kurgu filmlerinden çıkmış bir geleceğe, internetin hayatımıza girmesiyle birlikte hızla ilerlemekteyiz. Sürekli olarak gelişen uygulamaların bant genişliği ihtiyaçlarını karşılamak üzere özellikle 5G-6G gibi teknolojiler ile bant genişlikleri sürekli olarak artsa da kapsanan coğrafya ve nüfusun sınırlı kalması, uydu teknolojilerinin daha yaygın ve maliyet etkin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Bütün bu gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan ihtiyaçların karşılanabilmesi için haberleşme uydularında da yeni yaklaşımlar ve yenilikler zaruri hale gelmiştir. Peki ama bu gelişmelere bağlı olarak uydu haberleşmesinde ya da haberleşme uydularında ne tip yeni yaklaşımlar mevcuttur?

YER SABİT YÖRÜNGE (GEO) HABERLEŞME UYDULARI

Artur C. Clarke ilk olarak 1945 tarihinde dile getirdiği yeryüzünden yaklaşık 36.000 km irtifadaki yer sabit uydular üzerinden haberleşme fikri ancak yirmi yıl sonra fırlatılan ilk ticari uydu ile hayata geçebilmiştir. Dünya'nın açısal dönüş hızına eşit açısal dönüş hızına sahip yer sabit yörünge haberleşme uyduları televizyon ve radyo yayınları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu uydular internet ve veri iletişimi için de özellikle karasal ve mobil şebekelerin ulaşamadığı coğrafyalarda kullanım alanı bulmaktadır. Birkaç gigabit seviyesinde toplam veri iletim oranına sahip geleneksel yer senkron haberleşme uyduları maliyet etkin bir bağlantı sağlama noktasında zorlanmaktadır. Uydu haberleşmesinde kıt kaynak olarak karşımıza çıkmakta olan kullanılabilir bant genişliği aynı uydu üzerinde oluşturulan birçok küçük spot kapsama üzerinde tekrar kullanmak suretiyle uydunun toplam bant genişliğini artırma yaklaşımı özellikle veri haberleşmesi için kullanılmakta olan uydularda yaygınlaşmaktadır. Bu şekilde uyduya tahsis edilmiş frekanslar defalarca kullanılarak maliyetlerin düşürülmesine çalışılmaktadır. Özellikle Ka-Band olarak nitelendirilen 27.5-31 GHz radyo frekans bandının kullanıldığı bu tip uydular yüksek/çok yüksek veri hızlı uydular (HTS/VHTS, High/Very High Throughput Satellites) olarak adlandırılmakta ve halihazırda 500 Gbps'lik veri aktarım hızlarına ulaşabilmektedir. Yakın gelecekte Q (33- 50 GHz), V (40–75 GHz), W (75- 110 GHz), E (60 GHz- 90 GHz) frekans bantlarının uydu haberleşmesinde yaygın kullanımı ile terabit seviyelerinde veri iletim hızlarına ulaşılması beklenmektedir.

Frekansların bu denli tekrar kullanımının da girişim olarak bilinen haberleşme sinyali üzerindeki bozucu etkisini kontrol altına alınması gerekmektedir. Radyo dalgalarının girişiminin daha kontrol edilebilir düzeyde olduğu ve kullanıcı bant genişliklerini artırmak için ilave bant genişliği sağlayan optik haberleşme teknolojilerinin en azından ağ geçidi (Gateway) bağlantılarında kullanılması için çalışmalar/denemeler devam etmektedir. Gelecekte radyo frekans bantlarında çalışan yer senkron yörünge uydularında optik görev yüklerinin de yer bulacağı ve giderek ağırlığını artıracağı değerlendirilmektedir. Hali hazırda alçak yörünge uydularına optik veri iletim hizmeti vermek üzere uzaya fırlatılmış yer sabit haberleşme uyduları bulunmaktadır.

Uydularda yaşanan kapasite artışı kadar bu kapasitenin de verimli kullanılması günümüzde geliştirilmeye devam edilen bir diğer husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda uydu üzerinde var olan kapasitenin en verimli şekilde değerlendirilmesi ve değişen pazar ihtiyaçlarına ayak uydurabilmesi için esnek görev yüklerine sahip uydulara rağbet giderek artmaktadır. Bu esneklik uyduya iletilen sinyallerin içeriğinin birler ve sıfırlar seviyesinde çözülerek uydu üzerinde anahtarlama yapılmasını mümkün kılacak şekilde gerçekleştirilebilse de günümüz haberleşme altyapılarının hızlı değişmesi ve kullanıcı donanımlarının birbiri ile yaşadıkları uyumluluk problemleri sebebiyle çok tercih edilmemektedir. Günümüzde sinyallerin sayısal teknikler vasıtasıyla ayrıştırıldığı ve yönlendirilebildiği yarı saydam görev yükleri ile gerçekleştirilmektedir. Yeniden yapılandırılabilir yazılım tanımlı uydu/görev yükü (Software Defined Satellite-Payload) ve hüzmeleme (Beam Forming Network) teknolojilerini birlikte kullanan bu tip uydular ile birlikte uydu üzenindeki tekrarlayıcı kapasitesi, kapsama alanları, frekans planları yörüngede değiştirilebilmektedir. Bu sayede tek tip üretilen uyduların yörüngede özelleştirilmesi uydunun görevine özgü yürütülen tasarım, üretim ve test yaklaşımının bırakılmasına ve bu süreçlerin standartlaştırılarak seri üretim yaklaşımının benimsenmesinin yolu açılmaktadır. Uydu/uzay endüstrisinde köklü bir değişikliğe sebebiyet veren bu yeni yaklaşım ile uyduların çok daha uygun maliyet ve teslim tarihleri ile operatörlere teslimi mümkün olmaktadır.

Sürekli artan kapasite ihtiyaçları uyduların görev yükü ve anten alt sistemlerinin yanı sıra güç alt sistem ve ısıl alt sistem sınırlarını da zorlamakta. Üreticiler bu kapsamda TWT vericilerinin veriminin yükseltilmesi, uzay platformlarında elektrikli itki sistemlerinin yaygınlaşması ve eklemeli katman üretim tekniklerinin uzay sektöründe kullanılması gibi birtakım çalışmalara yoğunlaşmaktadırlar.

ALÇAK YÖRÜNGE (LEO) HABERLEŞME UYDULARI

Yeryüzünden 500 ila 2.000 km irtifada işletilen uydular alçak yörünge haberleşme uyduları olarak nitelendirilmekte olup özellikle mobil haberleşme servisleri için 1990'lı yıllardan itibaren kullanılagelmektedir. Yer sabit yörüngeye kıyas ile oldukça düşük irtifalarda işletilmesi düşük veri iletim gecikmeleri ve düşük verici gücü gereksinimleri ile avantaj sağlamakla beraber kesintisiz bir haberleşme sağlanabilmesi için yüzlerce uydunun fırlatılması gerekliliği ile oldukça yüksek ilk yatırım maliyeti ortaya çıkmaktadır. Buna karşın yeniden kullanılabilir roketler ve seri üretim yaklaşımının benimsenmesi ile uydu üretim ve fırlatma maliyetleri bir miktar düşürülmüştür. Böylelikle Starlink, Oneweb, Kuiper, Leosat ve Telesat gibi firmaların binlerce uydudan oluşan Mega Takım uyduları (Mega Constellations) mümkün hale gelmektedir. Bu uydular ile fiber hızında ve düşük gecikmeli küresel bağlantı hizmetlerinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu denli yüksek sayıdaki uydunun işletilmesi de ciddi maliyetler getirmekle birlikte takım uyduların belirli bir amaç kapsamında otonom olarak faaliyet gösterebilmesi için yapay zekâ temelli sistemler ile operasyonları yürütme yaklaşımına gidilmektedir.

Özellikle geniş bantlı uygulamalar için çoklu uydu kullanımı, uyduların takibini mümkün kılan antenlerin kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Geleneksel olarak mekanik yöntemleri ile parabolik antenlerin hareket ettirilmesi ile gerçekleştirilen uydu takip yöntemleri alçak yörünge uydularında ise elektronik takip kabiliyetli aktif faz dizilimli anten sistemlerinin kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.

Çoklu uydular üzerinden hizmet sağlanmasının bir diğer güçlüğü ise aktarılan kullanıcı trafiğinin belirli ağ geçidi yer istasyonuna indirilebilmesi için uydular arasında iletişim hatlarının (Inter Satellite Links) kurulması gerekliliğidir. Uydular arası optik/lazer bağlantı sistemleri ile kullanıcı trafiği yer istasyonuna en yakın uyduya iletilmektedir. Günümüzde uydular arasında terabit seviyesinde optik lazer iletim hatlarının kurulumuna ilişkin çalışmalar devam etmektedir.

Otonom araçlar, insansız hava platformlarındaki gelişmelerin de katkısıyla yakın gelecekteki internet trafiğinin yüzde 70'nin makineler tarafından oluşturulacağı tahmin edilmektedir. Bu trafiğin büyük bir kısmının geniş bant haberleşme ihtiyacının olacağı aşikâr olsa da düşük bant genişliğine ihtiyaç duyacak düşük verici gücüne sahip birçok sensörün de azımsanmayacak sayıda olacağı tahmin edilmektedir. Bu kapsamda alçak yörünge uyduları üzerinden nesnelerin interneti (IoT-Internet of Things) uygulamalarına yönelik çeşitli uygulamalar da geliştirilmektedir. NB-IoT, LoRa, SigFox gibi düşük güç gereksinimlerini sağlayan çeşitli LPWAN (Low Power Wide Area Network) haberleşme teknolojilerinin uygulandığı LEO uydular vasıtasıyla küresel ölçekte nesnelerin çevrim içi hale gelmesi hedeflenmektedir. 3GPP organizasyonu tarafından desteklenmekte olan NB-IoT dalga formu ile global ölçekte cep telefonlarına hizmet sunmak üzere denemeler başlamış ve yakın gelecekte yaygınlaşması beklenmektedir. Böylelikle yakın gelecekte ortaya çıkacak cep telefonlarıyla uydu üzerinden de haberleşme imkanını bulacağız.

Özellikle düşük bant genişliği ve düşük güç tüketimi gerektiren nesnelerin interneti gibi uygulamalar için 10 cm ve katları şeklinde boyutlandırılan birkaç kiloluk küçük küp uyduların kullanımı artmaktadır.

ORTA DÜNYA YÖRÜNGESİ (MEO) HABERLEŞME UYDULARI

Orta Dünya yörüngesi uyduları yeryüzünden 5.000 ila 20.000 km irtifada yer sabit yörünge ile alçak yörünge uyduları arasında işletilmektedir. İrtifaları sebebiyle sinyal gecikmesi ve verici gücü gereksinimi noktasında yer sabit ve alçak yörünge uyduları arasında bir konuma sahiptir. Bu uyduların alçak yörünge uydularına nazaran Dünya etrafındaki dönüşünün daha yavaş olması sebebiyle daha basit kullanıcı terminalleri ile haberleşebilme imkânı sunmaktadır.

Orta Dünya yörüngesi daha ziyade konum belirleme uyduları tarafından yaygın olarak kullanılsa da geniş bant veri iletimi için de kullanılmaktadır. Özellikle gemi ve uçak gibi mobil platformların haberleşmesinde MEO uyduların kullanımının artacağı değerlendirilmektedir. Frekans tekrar kullanımının olduğu esnek görev yükleri ile veri haberleşmesinin bu yörüngede de artacağı değerlendirilmekle birlikte alçak dünya yörüngesindeki uydular arası optik/lazer şebekenin bir parçası olarak da kullanılabilmesi için çalışmalar mevcuttur.

	GEO (36.000 km)	**MEO** (5.000-20.000 km)	**LEO** (500-2.000 km)
Sinyal gecikme	Yüksek	Düşük	Çok düşük
Kapsama alanı	Çok büyük	Büyük	Küçük
Küresel kapsama için gerekli olan uydu sayısı	3	6	>100
Yer anteni özelliği	Sabit	Takip özellikli	Hızlı takip özellikli

Yüksek maliyetler ve iletişim imkânlarının sınırlı olmasına bağlı olarak uydu merkezli gelişmiş uydu haberleşme teknolojileri günümüzde hizmet tabanlı sistemlere doğru evrim geçirmektedir. Gelecekte kullanıcı verisinin değişik gecikme ve bant genişliği ihtiyacına göre farklı yörüngedeki uydular arasında anahtarlanarak en optimum iletim hattı üzerinden verinin iletilmesini sağlayacak, karasal/mobil haberleşme ağları ile tam entegre uydu haberleşme ağlarının kullanılacağı düşünülmektedir. Gelecek yıllarda insanoğlu uyduları yeryüzündeki haberleşme ihtiyaçlarının yanı sıra Ay ve Mars gibi gezegenlerdeki koloniler ve makinalar ile daha etkin haberleşebilmemiz içinde kullanabilmenin yollarını arayacaktır.

ŞEFFAF UYDU GÖREV YÜKÜNDEN **ESNEK GÖREV YÜKÜNE**

Özlem İPEK
Bengül BAYRAKTAROĞLU KARA
Ezgi BIYIKLI
Sibel TÜRKOĞLU

Hayatın her alanında esneklik; değişime ayak uydurmak ve böylece değişime karşı hayatta daha dirençli durarak, hedeflerimize ulaşabilmemizi sağlar.

İş hayatında ve teknolojik çalışmalarda esnek olabilmek, elimizdeki mevcut kaynakları da en iyi şekilde kullanmamızı gerektirir ve bunun sonucu olarak esneklik, bize başarıyı getiren en önemli unsurlardan biridir.

Esneklik, kısa bir süre içinde çok az bir maliyet ve çabayla değişebilme veya değişime uyum sağlayabilme yeteneği olarak da tanımlanır.

Uydular İçin Esneklik Kavramı Var mı?

Cevabın evet olduğunu tahmin etmişsinizdir. Çünkü, görev ömrü çok uzun olan (15-30 yıl) haberleşme uydularının fırlatılması sonrasında; yerden müdahale imkânı çok kısıtlı olan bir uzay sistemini, uzun yıllar boyunca değişen dünyaya ve kullanıcı ihtiyaçlarına karşın verimli kullanabilmek ve değişikliklere adapte edebilmek, çok büyük avantaj sağlayacaktır.

Aksi takdirde; Haberleşme Uydusu Görev Yükünü tasarlarken, önümüzdeki uzun yıllar boyunca değiştiremeyeceğimiz frekans bant genişliği, çıkış gücü ve kapsama alanını sabit şekilde 15-30 yıl öncesinden planlamak gerekiyor. Bu nedenle; yeni nesil haberleşme uydularının en önemli özelliklerden biri de Görev Yükünün esnek yapıda tasarlanması olarak öne çıkmaktadır.

Uydu Haberleşme Görev Yükü için Esneklik Tam Olarak Ne Anlama Geliyor?

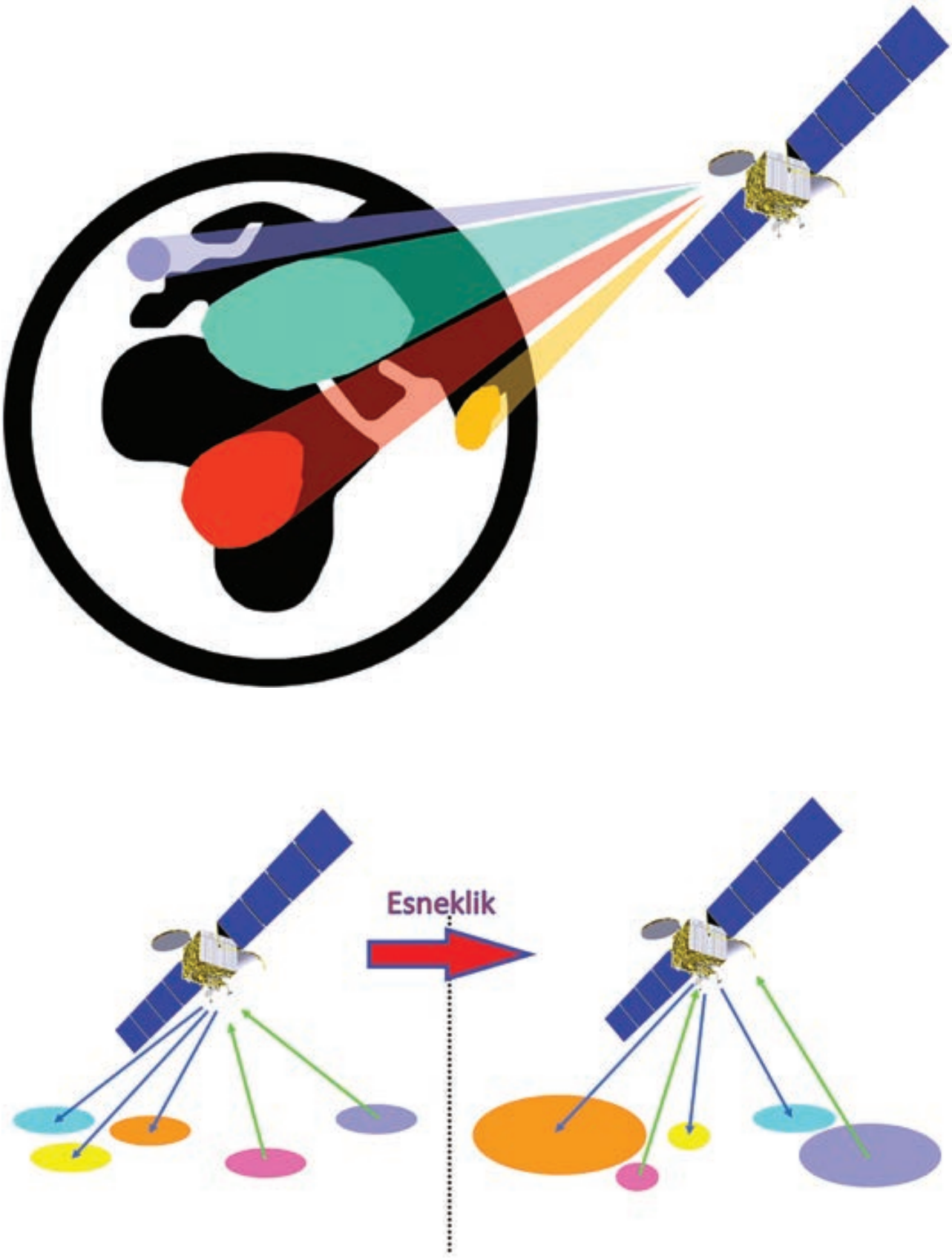
Uydu Haberleşme Görev Yükü, uydunun fırlatılma amacı olan Haberleşme Alt Sistemidir. Uydu Haberleşme Görev Yükünün ana kaynakları; frekans, bant genişliği, çıkış gücü ve kapsama alanıdır. Haberleşme Görev Yükü, bu kaynaklar sayesinde yerdeki kullanıcıların haberleşme ihtiyaçlarını karşılar.

Görev Yükünün kaynaklarını en optimum şekilde kullanabilmek, Görev Yükü kaynaklarının etkin olarak kullanılmasını ve yerdeki kullanıcıların ihtiyaçlarının en düşük maliyet ve en yüksek veri hızı ile karşılanmasını gerektirir.

Görev Yükünün esnek olması sayesinde; Görev Yükü kaynaklarının kullanıcı ihtiyaçlarına ve operasyonel koşullara göre gereken miktarlarda tahsis edilmesi, yönetilmesi ve Görev Yükünün verimliliğinin artırılması sağlanabilir. Bu esneklik sayesinde, uydu fırlatıldıktan sonra da Görev Yükünün ana kaynaklarının, yerden gönderilen komutlarla yönlendirilebilme ve değiştirilebilme şansı olacaktır.

Esnek (Flexible) Görev Yükleri Neden Giderek Yaygınlaşıyor?

GEO'da (Yer Sabit Yörünge, 36.000 km) görev yapmakta olan uydu haberleşme Görev Yükleri, 2010 yıllarına kadar çoğunlukla Geleneksel Şeffaf



Görev Yükü Esnekliği Sayesinde Görev Yükünün Kapsama Alanında Örnek Konfigürasyon Değişikliği

(Transparent) Görev Yükü tipindeydi. Yani; uydu, uzaydaki yörüngesine yerleştirildikten sonra, uydu içinde bulunan Haberleşme Görev Yüklerinin frekans ve kapsama alanı özellikleri; o anki kullanıcı talep ve ihtiyaçlarına göre yerden komutla konfigüre edilemiyordu. Çünkü, Geleneksel Şeffaf Haberleşme Görev Yükleri; çıkış gücü, frekans planı, bant genişliği ve kapsama alanı sabit olacak şekilde tasarlanmaktadır. Diğer yandan; bu durum, teknik açıdan daha basit ve karmaşık olmayan bir Görev Yükü mimari yapısı kullanılması avantajını da sağlamaktadır.

GEO'da (36.000 km) yer alan Esnek (Flexible) Görev Yüküne sahip uyduların çalışmaları yaklaşık 2000 yıllarının başlarında başladı. 2010-2011 yıllarından itibaren ise; esnek görev yüküne sahip uydular uzayda hizmet vermeye başladı.

Esnek Görev Yüklerinin, hem sivil hem de askeri haberleşme uydularında kullanımı giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Esnek Görev Yükleri sayesinde; haberleşme uyduları görev aldığı uzay yörüngesinde iken, kullanıcıların ihtiyaç durumuna göre en kritik frekans ve güç kaynaklarının esnek bir şekilde yeniden tahsis edilebilmesine olanak sağlanmaktadır.

Esnek Görev Yükünün Avantajları

- Görev Yükü kapasitesinin kullanımını, haberleşme veri hızının birim maliyetini düşürebilmek için optimize edebilmesi
- Görev Yükü kapasitesinin, uydunun görev ömrü boyunca kullanıcı ihtiyaçları ve taleplerine göre aşağıdaki alanlarda yeniden konfigüre edilebilmesi:
  - Frekans esnekliği
  - Bant genişliği esnekliği
  - Kapsama alanı esnekliği (Huzmenin sayısı, büyüklüğü ve hizmet yeri açısından esneklik)
  - Çıkış gücü esnekliği

Görev Yükü Esnek Olduğunda Görev Yükü Mimarisi Nasıl Değişiyor?

Bir Haberleşme Görev Yükünün esnek yapıda olması, geleneksel Şeffaf Görev Yüklerinde kullanılanlardan farklı yeni tip yapıların ve teknolojilerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu yapılara örnek olarak; aktif faz dizili antenler, çoklu portlu güç yükselteç yapıları, huzme anahtarlamalı yapılar ve giriş-çıkış rotalaması da yapabilen frekans kanallayıcı yapıları verilebilir. Kullanıcı ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, bu yapılardan biri veya birkaçı en uygun çözüm olarak Esnek Görev Yüklerinde kullanılabilmektedir. Tabii bu yapılar Esnek Görev Yüklerinin, Şeffaf Görev Yüklerine göre, daha karmaşık mimaride olmasına da neden olmaktadır.

Esnek GEO Görev Yükünün Kullanıldığı Frekans Bantları

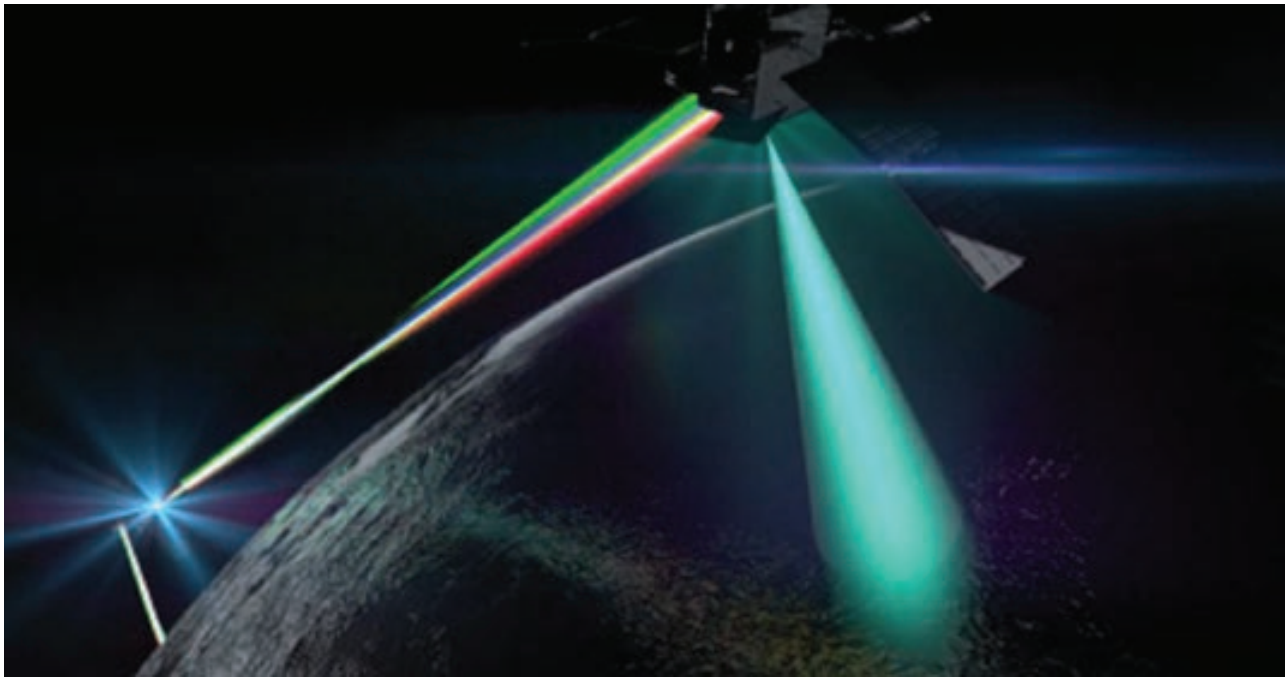
Esnek Görev Yükleri kapsamında; geliştirilen görev yükleri çoğunlukla Ka-Bant frekansında çalışmaktadır. Buna ek olarak; X-Bant, Ku-Bant, UHF Bant ve L-Bant gibi diğer frekans bantlarında çalışacak şekilde tasarlanan Esnek Görev Yükü çalışmaları da bulunmaktadır.

Tüm dünyada GEO Haberleşme Görev Yükleri açısından, Ka-Bant frekansının yaygın olarak kullanılmaya başlandığı ve diğer frekans bantlarına göre öne çıktığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni; Ka-Bant frekansının geniş bant ve yüksek haberleşme veri kapasitesi sunması ve de Ka-Bant Esnek Görev Yükleri sayesinde; kanal, bant genişliği ve veri hızının kullanıcı ihtiyacına göre, hem askeri hem de sivil uygulamalarda anlık olarak değiştirilmesini sağlamasıdır. Ayrıca; Ka-Bant Esnek Görev Yüklerinde, çok sayıda dar spot kapsama alanı huzmeleri de oluşturulabildiğinden, karıştırmaya karşı yüksek koruma sağlanmaktadır.

ASELSAN'ın Esnek Görev Yüküne Yönelik Bilgi Birikimi

Mevcut durumda devam etmekte olan ve 2023'te gerçekleştirilecek uydu fırlatılmasına doğru başarıyla ilerlediğimiz TÜRKSAT 6A Ku-Bant Görev Yükü ve TUMSİS X-Bant Görev Yükü projelerinden elde ettiğimiz GEO Görev Yükü sistem/ekipman tasarımı bilgi birikimi sayesinde ASELSAN olarak Şeffaf Görev Yükü geliştirme tecrübemiz bulunmaktadır.

Şeffaf Görev Yükü tecrübemize ek olarak; Nisan 2014'te fonksiyonel ve performans testleri başarı ile tamamlanmış olan EHF Bant İşlemsel Görev Yükü Mühendislik Modelinin aşağı hat gönderme frekans bandı Ka-Bant'tır ve alma hattında aynı reflektörü kullanan toplam oluşturulabilen huzme sayısında alma feed yapısı ve de gönderme hattında faz dizili anten yapısı bulunmaktadır. Bu kapsamda; EHF Bant İşlemsel Görev Yükünde çok sayıda huzme arasından seçilebilir iki adet huzme oluşturma yapısı özelliği, tipik bir Ka-Bant Esnek Görev Yükünde de kullanılabilecek bir yapıdır. Buna göre; başarı ile tamamlanmış olan EHF Bant İşlemsel Görev Yükü projesinden elde edinilmiş olan Görev Yükü sistem geliştirme bilgi birikimi de olası bir Esnek Görev Yükünün ASELSAN tarafından geliştirilebilmesinde büyük fayda sağlayacaktır.



Esnek Görev Yükünün Kullanıcı İhtiyacına Göre Esnekliği

HER ORTAMDA UYDU HABERLEŞMESİ

Mutlu AKINCI
Özge DEMİR ÖZCAN
Ahmet Nuri SEZER

İnsan var olduğundan itibaren haberleşme ihtiyacı hissetmiş ve haberleşmek için çeşitli yöntemler kullanmıştır. Haberleşmenin ucuz, erişilebilir ve hızlı olması tercih edildiğinden, haberleşmede uyduları kullanmak her geçen gün daha önemli hale gelmektedir.

Uyduları kullanarak küresel iletişim fikri ilk olarak ünlü İngiliz bilim adamı ve bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke tarafından Mayıs 1945'te ortaya atılmıştır. 2000'li yılların başında tamamlayıcı haberleşme sistemi olarak kullanılan uydu haberleşme sistemleri, günümüzde ana haberleşme sistemleri olarak kullanıma geçmiştir.

Uydu haberleşmesi, birden fazla yer istasyonu arasında iletişimi sağlamak için radyo sinyallerinin iletilmesi ile gerçekleşen kablosuz bir iletişim yöntemidir. Uzayda bir röle misali görev yapan uydular üzerinden iletişim sağlanır. Esnek ağ oluşturma, güvenilir bağlantı, geniş sinyal kapsamı ve çığır açan coğrafi sınırlama avantajlarına sahip olmasının yanı sıra her zaman ve her yerde talep üzerine kullanılabilir. Şeffaf iletim özellikleriyle uydu iletişimi ses, video, veri, internet vb. multimedya erişimi sağlayabilir. Bu tip haberleşme sistemleri; kamu güvenliği, acil durum, yayın, telekomünikasyon, denizcilik, ormancılık, enerji ve diğer sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde, sivil ve askeri kullanımda, tüm hizmetlerin her yerde ve her an alınabilmesi önemli bir beklenti haline gelmiştir. Askeri uydu haberleşme sistemleri her yerde her an kesintisiz iletişim, taktik sahadan alınan önemli verilerin aktarılması, en uç noktalardaki coğrafi koşullar nedeniyle iletişim kurma imkânı olmayan kullanıcılara tıpkı karargâhtaki gibi bir hizmet altyapısı sağlamaktadır. Uydu haberleşmesi, araçta, açık denizlerde su üstü ve su altı sistemlerde, hatta kıtalar arası uçan uçaklarda veya dünyanın en ücra köşesinde aynı hızda ve kalitede hizmet sağlanabilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber artık yüksek bantlı haberleşme gereksinimi artmış, karasal bağlantının yetersizliği ve coğrafi koşulların zorlukları nedeniyle uydu haberleşme ihtiyacı kaçınılmaz hale gelmiştir. Uydu haberleşmesi, Kara/Hava/Deniz Kuvvetleri için tüm projelerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş olup NATO görevleri, kıtalararası görevler, terörle mücadele kapsamında gerçekleştirilen tüm harekatlarda önemli kabiliyetler sağlamaktadır. Askeri alanın yanı sıra evimizde, iş yerimizde kullandığımız geniş bant bağlantı ihtiyacı her şeyin otomatize olduğu günlük yaşamda gereklilik haline gelmiştir.

Uydu haberleşmesi her bir yörüngeye göre farklılık göstermektedir. Uydu yörüngeleri dünyadan uzaklıklarına göre isimlendirilmektedir. Uyduları yörüngelerine göre sınıflandıracak olursak LEO, MEO, HEO, PEO, GEO ve Geosenkron yörüngelerde çalışan uydular bulunmaktadır. Öncelikle GEO uydular üzerinden haberleşme yetenekleri dünyada ve ülkemizde yaygınlaşmış olsa da MEO ve LEO haberleşmelerin sağladığı avantajlar arttıkça bu sistemlerin kullanımlarının gelecekte daha da yaygınlaşacağı değerlendirilmektedir. Ülkeler özellikle enlem boylam olarak dünyadaki konumlarına göre hangi yörüngede uyduları olması gerektiğini belirleyebilirler. Örneğin kutuplara yakın olan ülkeler için bazı yörünge kullanımları avantaj sağlayabilirken, Türkiye gibi orta kuşakta yer alan ülkelerde bu yörüngede bir uydu olması durumunda verimli bir haberleşme yapılamayacağı

görülmektedir. Ülkemizin kendi kontrolünde olan uyduları ile her türlü veriler alınarak, en kritik anlarda en kritik bilgilerin zaman kaybı olmaksızın iletilebilmesi taktik ve stratejik anlamda önem arz etmektedir. Bu verilerden askeri veya sivil amaçlı pek çok alanda faydalanılmaktadır.

Bir uydunun uçabileceği en alçak irtifa yaklaşık 150 km civarındadır. Ancak, uluslararası belgelere bakıldığında uzay için bir başlangıç noktasının net tanımı bulunmamaktadır. Kullanım alanlarına göre uydular farklı irtifalarda görev yapmaktadır. Örneğin, haberleşme uyduları ekvatordan yaklaşık 36.000 km uzaklıkta yer almaktadır. Bu uyduların yörüngedeki hızı düşük olduğundan yer yüzü ile bağlantı kurduğu noktayı sürekli görebilmektedir. Bu durum iletişimin kopmaması ve sürekli veri bağının devam etmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Öte yandan daha alçak yörüngede hareketine devam eden uydular, dünya etrafında tur atmakta ve bu turun zamanı 15-30 dakika süresine kadar inebilmektedir. Genellikle görüntü toplama ve bu görüntülerin anlık işlenmesi hususunda faydalı olan bu tip uydular istihbarat, tarımsal alanların kontrolü ve güvenlik gibi konularda veri akışı sağlayarak haberleşme sistemlerinde devrimsel bir yaklaşım sergilemişlerdir.

Uyduların dünya etrafındaki hareketleri; fırlatma sonrası bırakıldıkları yere, bırakılma durumuna, devamında itki motorlarıyla uydu üzerinde yaptırılan manevralara bağlı olarak belirlenmektedir. Uydu, bu etmenler doğrultusunda yörüngeye oturmaktadır. Yörüngeye yerleştirme aşaması, fırlatma esnasında kullanılan yakıtın en çok kullanıldığı durumdur. Daha sonrasında içinde kalan yakıt miktarına göre uydunun yörüngede kalan ömrü belirlenir.

Uydu haberleşmesi gözlem uyduları, istihbarat uyduları, önemli radar iz bilgilerinin taşınabilmesi, istenmeyen hareketlerin ve değişimlerin tespiti ile bunun önemli karargâhlarla paylaşılması açısından da kritiktir. Uydu haberleşme ürünleri sırtta taşınabilen küçük kompakt ve çeşitli iletişim yeteneklerini içinde bulunduran sistemlerden, büyük anten çaplarına sahip taşınabilir ve sabit terminallere kadar geniş bir yelpaze içerisinde dünyanın çok büyük bir bölgesinde haberleşme olanağı sağlamaktadır.

Dünyada uydu haberleşme ihtiyaçları sadece insanlar arası ve askeri bağlamda değil, aynı zamanda etrafımızdaki tüm cihaz ve araçlar ağ üzerinden bizlere hayatı kolaylaştırabilmek amacıyla kullanıma başlanmıştır. Bu haberleşme ağı sayesinde cihazlar birbirleri ve sabit istasyonlar ile haberleşebilmekte, anlık veri transferinin sağladığı tüm avantajlardan yaralanabilmektedir.

Halihazırda, uydu haberleşme sistemleri; istihbarat toplamadan, navigasyona, dünyanın dört bir yanındaki güçleri izlemeden, füze fırlatmalarını tespit etmeye kadar çok çeşitli faaliyetler için kullanılmaktadır. Bir ülkenin ne kadar güçlü bir haberleşme ve izleme altyapısı olursa, olası tehditlere karşı caydırıcılığı ve savunması da o kadar yüksek olacaktır. Gelişen teknolojiler ile önümüzdeki dönem için IoT uydularının, gözlem uydularının, Starlink benzeri alçak yörünge uydularının da yaygınlaşması ile uydu haberleşmesi hayatın içerisine daha çok dahil olacak ve haberleşme alışkanlıklarımızı değiştirmeye devam edecektir.

UYDULAR ARASI HABERLEŞME: OPTİK VE RF TEKNOLOJİLER

Önder BELCE

NEDEN ISL?

Uydular arası iletişim, yeni uzay yaklaşımıyla birlikte daha büyük uydu takımlarına ve giderek daha fazla çoklu ancak birbirine bağlı olan bir uzay kesimine, yani karasal olmayan ağlara doğru ilerledikçe daha fazla ihtiyaç duyulan bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir tahmine göre 2030 yılına kadar fırlatılacak uyduların yaklaşık yüzde seksen beşini uydu takımları oluşturacak.

Bu uydular görev konseptleri gereği, sadece Dünya üzerinde bulunan yer istasyonlarıyla değil, aynı zamanda birbiriyle doğrudan iletişim kuracaktır. Uydular arası iletişim veya çapraz bağlantı (cross-link) teknolojisi, Iridium gibi sistemler vasıtasıyla onlarca yıldır kullanılıyor olsa da büyük uydu takımlarının sayısı arttıkça ve çok farklı görevler için bu uydu takımları kullanıldıkça gelişmiş RF, mikrodalga ve optik uydular arası bağlantı (Inter-Satellite Link-ISL) teknolojilerine yatırım yapılması kaçınılmaz olmaktadır.

ISL için ilk uygulamalar RF temelli olarak kendini göstermiştir. Iridium bu durum için en güzel örneklerden birini teşkil etmektedir. Iridium LEO haberleşme takım uydularında, kesintisiz ve kayıpsız iletişim için uyduların birbirleriyle haberleşmesinde Ka-Bant RF linkler kullanılmaktadır.

En temel düzeyde, ISL'ler özellikle, her bir uydu bazında ilgili yer kesimleriyle sürekli bir iletişim pencereleri olmayan alçak Dünya yörüngesinde (Low Earth Orbit-LEO) oluşturulan uydu ağlarının her bir düğümünün veri gönderecek ve alacak şekilde donatılmasıyla, herhangi bir uydunun yer istasyonu haberleşme konisi içerisinde olması gerekliliğini ortadan kaldırmakta veya bunun için gereken süreyi en aza indirme imkânı sunmaktadır. Bu şekilde yapılanmış uydu takımları için ISL; elde edilen uzay tabanlı verinin en kısa sürede kullanıcıya iletilmesi için uydu takımı içerisinde ilgili yer istasyonuna en yakın uyduya ulaştırılmasını veya hangi uydu tarafından işletileceğinden bağımsız olarak, görev komutlarının en kısa sürede uydu takımı içindeki ilgili uyduya iletilebilmesi için oldukça fazla seçenek sunmaktadır.

ISL kullanımı, uydu takımının görev türüne göre uygulamada farklılıklar gösterebilmektedir. Telekomünikasyon ve geniş bant sağlayıcıları, LEO'dan daha yüksek veri, daha yüksek bant genişliği ve daha düşük gecikme süresi sağlamayı hedeflemektedir. Savunma ve güvenlik makamları için ise ISL sürekli bağlantı, yedeklilik ve zamana duyarlı bilgilere gerçek zamanlı erişim olanağı anlamına gelmektedir. ISL aynı zamanda formasyon uçuşu için veya keşif gözetleme uyduları tarafından alınan çok büyük boyutlu görüntülerin yüksek hızlarda ve yer istasyonu haberleşme konisi bağımlılığını ortadan kaldırmak için de kullanılmaktadır.

Son yıllarda uydular tarafından toplanan görev yükü verilerinin hacmi gelişen teknoloji ve elde edilen verilerin hassasiyetleri nedeniyle giderek artmaktadır. Bu nedenle uydular arası haberleşme teknolojileri de gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Çeşitli uygulamalarıyla ISL, uydu takımı yönetimi, izleme, uz ölçüm ve komuta (Tracking, Telemetry & Command-TT&C) ile görev yükü verisi indirme için çoklu yer istasyonları veya röle uyduları kullanma gibi alternatif konseptlere göre her geçen gün biraz daha fazla tercih edilen ve böylece ISL ile birbirine bağlı uydu takımlarını temel alan sistem mimarilerini ön plana taşıyan bir uygulama olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte ISL kullanmayan uygulamalara bakıldığında, ONEWEB sistemi (toplamda yörüngede iki bin uyduya ulaşmayı hedeflenmektedir) haberleşme sürekliğinin sağlanması ve veri kaybının önlenmesi için Dünya üzerinde farklı lokasyonlarda kırk adet ağ geçidi (gateway) kurmaktadır.

ISL İÇİN OPTİK HABERLEŞME

Lazer haberleşme RF haberleşmeye alternatif olarak veri transferini lazer ışınları ile yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Uzayda lazer haberleşme ise genel olarak dış uzay (deniz seviyesinden yaklaşık 100 km ve üzeri yükseklik) için optik haberleşme olarak tanımlanmaktadır. Öncelikli olarak, hem dış uzayda çok yüksek mesafelerde (binlerce kilometre) uydular arası haberleşme amacı ile hem de alçak yörüngede son yıllarda oluşturulan çoklu uydu konseptlerinde daha düşük mesafelerde uydular arası haberleşme amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca bu iletişim yöntemi ile derin uzayda görev yapacak uzay araçları ile milyonlarca kilometre öteden haberleşme imkânı da bulunmaktadır.

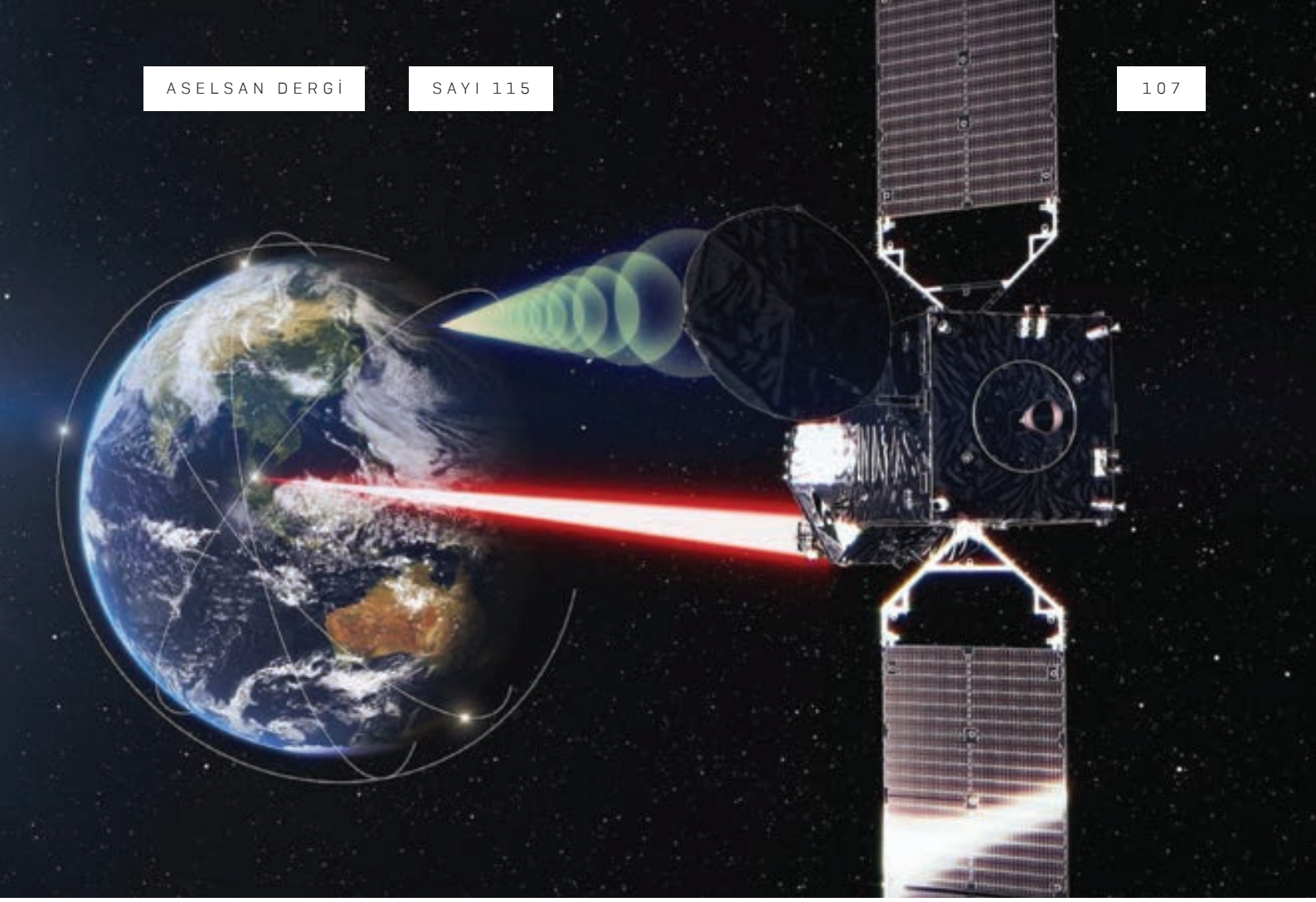
Uzay teknolojilerinde, özellikle son yıllarda yaşanan değişim ile birlikte, LEO'da görev yapan takım uydular aracılığı ile Dünya üzerinde haberleşme (askeri ve sivil), internet, IOT (Internet of Things), vb. hizmetler sunulmaktadır. Alçak yörüngedeki uyduların sunduğu bu hizmetler Dünya'ya eşzamanlı (Geostationary Orbit, GEO) yörüngedeki uydulara yönelik bazı avantajlar sunmakla birlikte, Dünya etrafındaki hızlı dönüşlerinden kaynaklanan sürekli yer değişimi dolayısı ile veri kaybı olmaması için birbirleri arasında yüksek hızlı veri iletimi yapılması zorunluluğunu da getirmektedir. Söz konusu yüksek hızlı veri alışverişini yapabilmek için de optik haberleşme güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu noktada RF temelli çözümler geliştirilmeye ve uygulanmaya devam ederken, yüksek kapasiteli veri iletimine yönelik artan talep ile birlikte optik iletişim konusundaki çalışmalar ve uydular arası optik haberleşme ağlarına yönelik uygulamalar da artmaktadır.

Bugün LEO uydu takımlarını desteklemek için ISL kapsamında optik haberleşmenin kullanımına yönelik geliştirilen terminallerle 2,5 Gbps ila 1.000 Gbps arasında değişen hızlarda veri iletimi gerçekleştirilebilmektedir. Optik bağlantıların belki de en iyi bilinen uygulamalarından biri, yaklaşık 2.500 uydusunun yüzlercesini lazer iletişim terminalleriyle donatan SpaceX'in Starlink sistemidir. Ocak 2021'den bu yana şirket, küresel geniş bant hizmeti sağlamak için düzinelerce optik bağlantılı LEO uyduyu kullanmaktadır. Optik bağlantıların Starlink internet servisini iyileştirmesi ve gecikmeyi kabaca 55 milisaniyeden 20 milisaniyeye düşürmesi, özellikle ulaşılması zor yerlerde uydu internetinin kullanılabilirliğini sağlaması beklenmektedir.

ISL kapsamında optik haberleşmeyi temel olarak iki alt başlıkta inceleyebiliriz. Bunlardan birincisi, LEO'da görev yapan keşif ve gözetleme uydularının görev yükü verilerinin yer istasyonlarına indirilmesini içeren uzaydan-yere haberleşme, diğeri ise, LEO uydu takımlarının (haberleşme, navigasyon, vb. amaçlı) yüksek boyutlu uydular arası haberleşme ihtiyacının karşılanmasını içeren uzay-uzay haberleşmesidir.

Optik haberleşme sinyallerinin atmosferden geçerken zayıflama etkilerinden kaynaklanabilecek zorluklarından büyük oranda kaçınmak amacıyla uzaydan-yere haberleşmede optik haberleşme tercih edilmemektedir. Uzay-yer (veya yer-uzay) optik haberleşmesi için bulutluluğun yüksek olması, türbülans ve diğer atmosferik etkiler kayıplara yol açabilmekte ve yerde konuşlu alıcılar için direkt gün ışığı bir bozuntu kaynağı teşkil etmektedir. Bu nedenlerle, uzaydan-yere yüksek kapasiteli, yüksek veri hızları gerektiren görev yükü verilerinin yer istasyonuna indirilmesi gibi uygulamalarda, görev yükü verisinin (uydu üzerinde veri depolama kapasitesi ve yer istasyonuna X-Bantta veri indirme hızlarının limitlerinden kurtularak) GEO'da bulunan röle uyduları kullanılarak yer istasyonlarına indirilmesine yöneliktir. Bu yaklaşımda LEO'daki uydu ile GEO'daki röle uydusu arasında ISL optik haberleşme ile sağlanırken, röle uydusu ISL ile aldığı veriyi yer istasyonuna RF temelli olarak Ka-Bant vericiler ile indirmektedir.

Optik temelli ISL uygulaması sadece haberleşme hattının tasarımı ötesinde uydu tasarımında da önemli isterleri dikte ettirmektedir. Optik haberleşme huzme genişliği RF vericilere kıyasla çok dar olduğu için uydunun yönelim kontrolünün RF verici ihtiyaçlarına kıyasla çok daha hassas olması gerekmektedir.



Huzme genişliğinin oldukça dar olmasının gerektirdiği hassas yönelim kontrol gereksinimi; uydunun Yörünge Yönelim Belirleme & Kontrol Sistemi (YYBKS) tasarımını zorlaştırmakta, sistem seviyesinde güç ve kütle bütçelerinde zorlayıcı hedeflere ulaşılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle ISL için optik haberleşme uygulaması bu tür hassas yönelime sahip çok yüksek çözünürlüklü görüntüleme uydularında görece daha kolay uygulanabilmektedir. Ancak küçük uyduların (<500 kg) kullanıldığı alçak yörünge haberleşme, elektronik istihbarat ve sinyal istihbaratı gibi uygulamalarda ISL için optik haberleşmenin kullanımı görev yükü tasarımında boyut/kütle/güç bakımından ayrıca ve hassas olarak dikkate alınmalıdır.

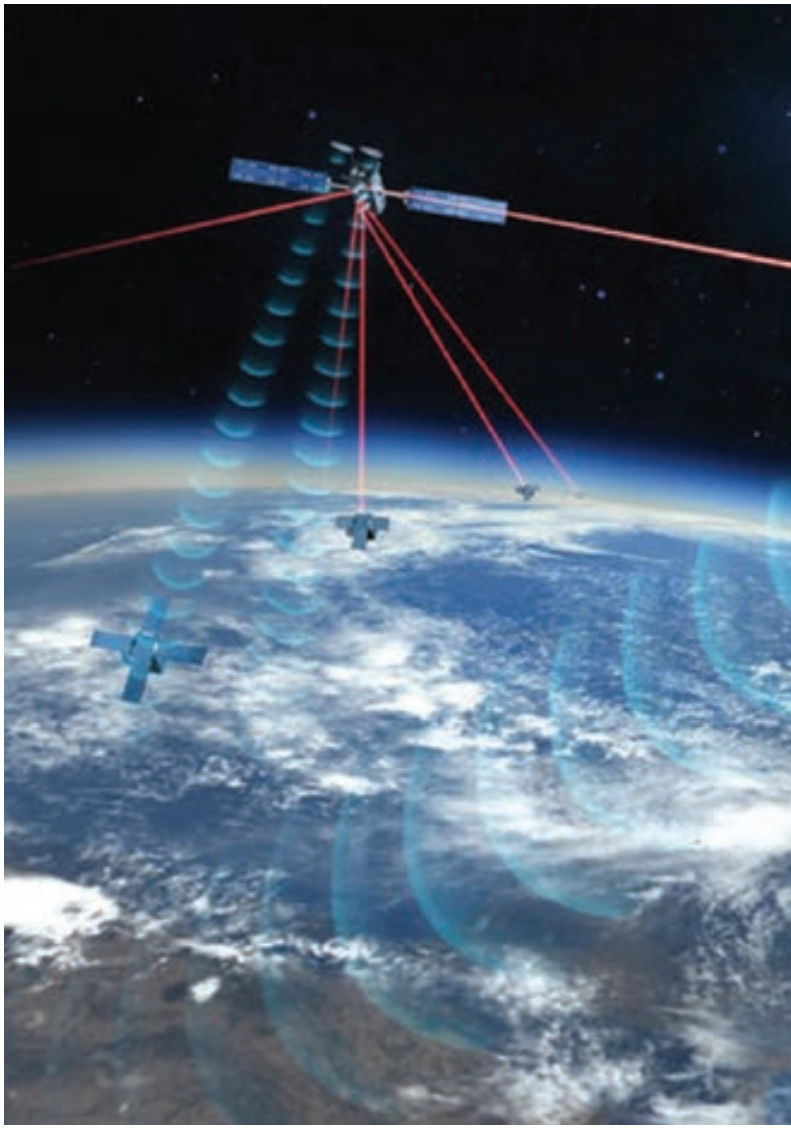
ISL İÇİN RF ARTIK ESKİ BİR TEKNOLOJİ Mİ?

Optik haberleşme serbest uzayda yüksek kapasite ve veri hızları için ideal olsa da yer kesiminde hala alışamamış zorlukları nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Bu durum aslında teknoloji olgunlaşana kadar, optik bağlantılarla donatılmış uyduların muhtemelen birden fazla frekansta iletişim kurmasını bir süre daha gerektirecektir. Optik ISL'in aslında klasik RF uzaydan-yere haberleşmeye bir yönüyle ilave yükler getirdiği de görülmektedir. Yüksek bant genişliğine sahip optik ISL kullanılması, RF aşağı hat bağlantılarının yükünü artırmaktadır. Bu, yüksek veri hızlı RF beslemelere olan talebi artırmaktadır.

Bu duruma karşılık olarak sektörde uzay ve yer kesimleri arasında çoklu frekanslarda iletişim kurmak için faydalı yükler geliştirilmektedir. Buna örnek olarak Kepler'in Aether uydularının ilk nesli, çeşitli görevler arasındaki uyumluluğu optimize etmek, uydular arasında tutarlı bir iletişim sağlamak ve büyük miktarda veriyi yer istasyonlarına indirmek için yere yüksek kapasiteli bir ana taşıyıcı bağlantısı olarak hizmet etmek üzere Ku-bant terminali ile uydular arası iletişim için optik bağlantılar ve her zaman açık bir S-bant ISL içeren çoklu bir haberleşme altyapısı kullanmayı planlamaktadır.

Elbette, birden fazla terminalle birlikte görev yükleri taşımak her uydu takımı için tercih edilebilecek bir çözüm değildir. Bu nedenle hâlâ birçok şirket, birbirine bağlı LEO uydu takımlarına yönelik artan ISL talebini karşılamak için mevcut teknolojiyi kullanan çözümlerden vazgeçmemektedir. CesiumAstro, formasyon konfigürasyonlara ve çarpışmadan kaçınmaya yardımcı olmak için hazır bir çözüm olarak tanımladığı CommPack adlı bir S-bant ISL'yi piyasaya sürmüştür. CommPack, NASA tarafından otonom sürü teknolojilerini göstermek için bir CubeSat görevi olan Starling Programı için de seçilmiştir.

Bununla birlikte RF teknolojilerinin kullanımı noktasında Ka-bant, ISL ve uydu-yer bağlantıları ile yeni nesil LEO uydu takımlarının geliştirilmesinde tercih edilmektedir. Katlanabilir, geniş diyafram tasarımı, ağırlık veya boyut bakımından ilave yük getirmeden bant genişliğini artırmayı amaçlamaktadır. Diğer bir deyişle RF, gelişmeye devam eden güvenilir, çok yönlü bir teknoloji olmaya devam etmektedir. Son derece yüksek frekans bant genişlikleri (Q/V-bandı, W-bandı ve Ka-bandı gibi) ile yapılan denemeler, 400 Mbps aralığında veri hızlarına ulaşarak, RF/mikrodalga ISL'leri gelecekte optik ISL'in değerli bir rakibi haline getireceğinin işaretlerini vermektedir.



OPTİK Mİ, RF Mİ?

Uydular arası iletişim ağları, 1970'lerdeki ilk ISL deneylerinden bu yana çok yol kat etmiştir. Ancak teknolojinin geniş çapta benimsenmeden önce daha kat etmesi gereken uzun bir yol olduğu düşünülmektedir. 2030 yılına kadar olan dönem ilişkin projeksiyonlarda Dünya'nın yörüngesinde olacağı düşünülen elli bin veya daha fazla sayıdaki uyduların güvenli ve etkin operasyonları için ISL daha önemli hale gelecektir. Aynı zamanda, karasal telekomünikasyon ve internet hizmetlerindeki gelişmeler, kullanıcıların beklediği birlikte çalışabilirlik, bağlantı ve ağ yetenekleri için yüksek beklentiler oluşturacaktır. Giderek artan bir şekilde, uzay sistemlerinin bu beklentileri karşılaması beklenecek ve birbirine bağlı uydular, gelecekteki uydu takımlarının performansı ve sürdürülebilirliği için temel oluşturacaktır.

Tüm bu hususlar dikkate alındığında ISL'in kullanımının kaçınılmaz olacağı tespiti ile birlikte ISL'in en azından belirli bir süre daha hem RF hem de optik teknolojiler temelinde ve her ikisinin de bir diğerini tam olarak ikame edemeyeceği şekilde kullanımına devam edileceği öngörülmektedir. ISL için optik haberleşmenin mi yoksa klasik RF haberleşmenin mi tercih edilmesi için ise veri boyutları ile gerekli veri hızlarının temel ister olacağı aşikardır. Bu kapsamda düşük veri boyutu gerektiren uygulamalar için RF bağlantı ile ihtiyaç karşılanabilmektedir. Daha karmaşık ve zorlayıcı bir teknik çözüme sahip (hem maliyet hem de tasarım olarak) optik haberleşme seçeneği ise yüksek veri transferi gereken ve serbest uzay uygulamalar için tercih edilebilir.

HÜCRESEL MOBİL HABERLEŞME UZAY İLE BULUŞUYOR

UYDU ÜZERİNDEN 5G ERİŞİM

G

Furkan Can KAVASOĞLU
Cansu SUNU
Doç. Dr. Defne KÜÇÜKYAVUZ

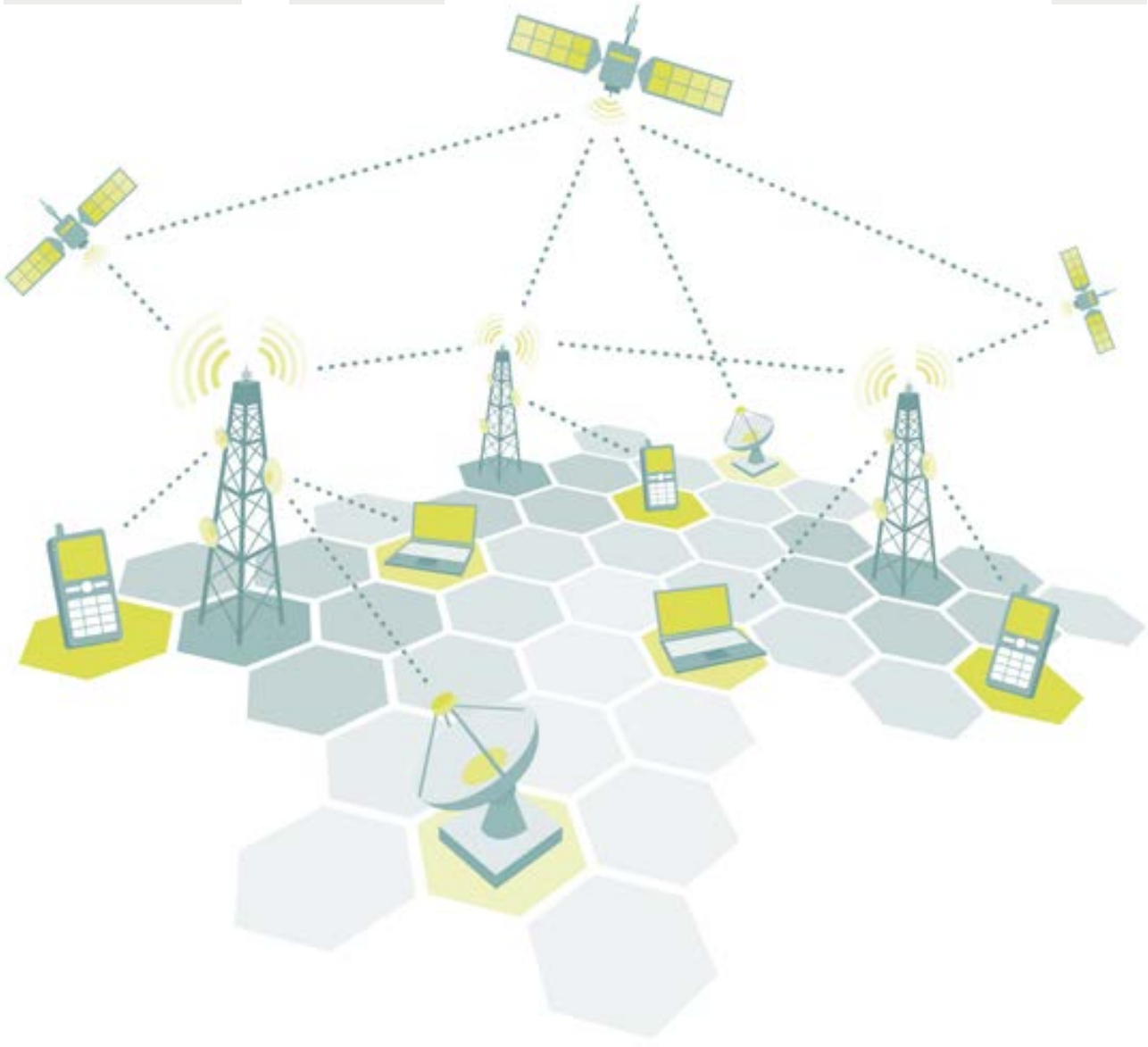
Uydu üzerinden haberleşme ile karasal haberleşme teknolojileri yıllar boyunca farklı kulvarlarda gelişim göstermiş, gerek kullanılan dalga şekilleri ve protokoller gerek standardizasyon çalışmaları gerekse de pazar paylaşımı açısından birbirinden farklı yaklaşımlar sergilemiştir. Günümüzdeki her an her yerde internete erişim ihtiyacı ve son yıllarda gerçekleşen uydu teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, bu tutumda çarpıcı değişiklikler gözlemlenmeye başladı. Hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen hücresel haberleşme ağlarının yakın bir süreçte uyduları da kapsayacak şekilde genişleyerek mobil kullanıcılara tam anlamıyla kesintisiz erişim sağlaması bekleniyor. Bu gelişmeler hem hücresel ağ operatörlerini hem uzay kesimi üreticileri ve uydu servis sağlayıcılarını hem de ekipman üreticilerini heyecanlandırıyor.

Uydu haberleşme konusunda ürün geliştiren şirketler standardizasyon çalışmaları konusunda, özellikle son yıllarda hücresel mobil haberleşme standartlarında söz sahibi olan 3GPP (Third Generation Partnership Project) konsorsiyumu kadar etki sahibi olamadılar. Televizyon ve çoğul ortam (multimedia) yayınlarının dağıtımını standardize etmeyi amaçlayan DVB (Digital Video Broadcast) Project konsorsiyumu tarafından uydu üzerinden video yayınları için geliştirilen DVB-S standardı ve gelişmiş sürümleri, yıllar içerisinde IP tabanlı haberleşmeye de olanak sağlasa da tek yönlü (ileri hat yani uydu ağ geçidinden kullanıcı ekipmanına doğru) haberleşme için tanımlanması ve uydu üzerinden geri hat (kullanıcı ekipmanından uydu ağ geçidine doğru) haberleşme için geliştirilen DVB-RCS standardı ve gelişmiş sürümünün endüstride yaygın kabul görmemesi, etkisinin giderek azalmasına sebep olmuştur. Yer durağan yörünge (geostationary orbit-GEO) uydular üzerinden IP tabanlı ağ erişimi sağlayan uydu modem firmaları, ileri hatta genelde ortak bir standart kullansalar da (DVB-S2/S2X), özellikle geri hatta hepsi kendine özgü çözümler geliştirmiş ve bu sebepten ötürü birlikte çalışabilirlik (interoperability) sağlamak mümkün olamamış, bölünmüş bir pazara yol açmıştır. Bunun sonucunda ise piyasadaki IP tabanlı uydu haberleşme sistemleri farklı sektörler için (askeri, kamu ve ticari) ayrı bir ağ çözümü olarak geliştirilmiş ve bu nedenle hiçbir zaman hücresel ağlar gibi toplumun geniş kesimlerinde kullanım bulamamışlardır.

Uydu teknolojisinde son yıllarda gözlemlenen gelişmeler, uydu haberleşmenin özellikle geniş bant erişim servisinde önemini korumaya devam etmesini sağlamıştır. Viasat ve HughesNet gibi firmaların geliştirdiği HTS (High Throughput Satellite)/VHTS (Very High Throughput Satellite) çözümleri uydu başına 100 Gbps hatta 1 Tbps toplam veri hızı kapasitelerini hedeflemeye devam etmektedir. Bunun yarı sıra alçak yer yörünge (low earth orbit-LEO) uydu teknolojisinin gelişmesi ile birlikte düşük fırlatma maliyetleri, hızlı üretim döngüleri ve GEO uydulara kıyasla daha düşük yayılım gecikmesi olması gibi nedenler, Amazon, SpaceX, OneWeb gibi firmaların büyük yatırımlar ile uydu üzerinden ağ erişim hizmeti sektörüne girmesine neden olmuştur. LEO uydu haberleşme teknolojisinin, 5G haberleşmesinin temel kullanım alanları arasında yer alan mobil geniş bant haberleşmenin yanı sıra nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) kapsamında akıllı ev, akıllı şehir, akıllı tarım, akıllı sanayi ve benzeri uygulamaları da içeren kitlesel makine haberleşmesi (Massive Machine Type Communications-mMTC) alanında da kullanım bulacağı öngörülmektedir.

Öte yandan mobil haberleşme sektörünün 3GPP konsorsiyumu bünyesinde geliştirmekte olduğu 5G (New Radio-NR) teknolojisi, kendisinden önce gelen 2G (GSM), 3G (UMTS, W-CDMA, HSPA) ve 4G (LTE, LTE-Advanced) teknolojileri gibi sadece hücresel mobil haberleşmeyi kapsamamaktadır. 5G haberleşme teknolojisini Ağların Ağı (network of networks) olan bir ekosistem olarak tanımlarsak, IMT-2020 ve IMT-2030 vizyonları kapsamında 5G ve sonrası için hedefi, mobil cihazları kullanan tüm insanların ve tüm akıllı teknolojik aletlerin/algılayıcıların her yerde ve her zaman birbiri ile haberleşmesi olarak özetleyebiliriz. Kapsamı bu kadar geniş tanımlanan 5G teknolojisinin birbirinden farklı gereksinimlerini, tek bir erişim teknolojisi ile aynı anda karşılamak mümkün görünmemektedir. Bu sebepten ötürü uydu haberleşme gibi farklı teknolojilerin, 4G'de kullanılan ve 5G'de güncellenen hücresel haberleşme teknolojileri ile birlikte uyumlu/ayarlanabilir bir şekilde çalışması gerekmektedir.

5G teknolojisi sahada tam olarak kullanılmaya başlandığında, sayısı ciddi miktarda artan ve farklı performans gereksinimleri olan kullanıcı ekipmanlarına hizmet verebilmek için uydu haberleşme teknolojisinin ön plana çıkacağı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Aynı anda her yerde bulunma: Çok geniş kapsama alanı sağlama, karasal altyapı zorlukları nedeniyle kısıtlı servis alan veya hiç servis alamayan coğrafi bölgelere hizmet sağlama.

Hareketlilik desteği: Gemi, hızlı tren ve uçak gibi hareketli platformlardaki kullanıcılara kesintisiz erişim sağlama.

Ölçeklendirilebilir servis: Karasal ağdaki trafik yükünün arttığı durumlarda, uydu üzerinden arka plan (backhaul) trafik aktarımı (offloading) sağlama.

Verimli içerik dağıtımı: Özellikle yüksek kapasiteli video içeriğinin (örneğin Netflix, YouTube vb.) 5G hücresinin çeperlerinde kalan (network edge) baz istasyonu/içerik önbelleklerine (cache storage) uydu üzerinden tüme gönderim (broadcast) veya çoğa gönderim (multicast) olarak dağıtılarak, ağdaki trafik yoğunluğunun azaltılması.

Güvenilir haberleşme: Olası doğal afet (deprem, sel vb.) ve savaş durumlarında 5G karasal şebekenin ulaşılabilir olmadığı durumlarda (örneğin fiber optik kabloların zarar görmesi durumları), karasal şebekeye alternatif olacak şekilde ağ erişimi sağlama.

Kesintisiz servis: 5G LEO uydu çözümleri, sınırlı RF gücüne ve enerjisine sahip cihazlarla iletişim kurabilir. Böylece araç takibi, uydu üzerinden akıllı cihazlara yazılım güncelleme sunulması, enerji-gaz altyapısının takibi, yol durum takibi veya algılayıcı verisi toplayan cihazların verilerinin merkez birimlere iletimi gibi servisler sunma.

5G mobil haberleşme teknolojisinin radyo erişim ağı (radio access network-RAN) ve çekirdek şebeke (core network-CN) protokollerinin tanımlandığı 3GPP standardının ilk sürüm (Release 15) geliştirme faaliyetleri kapsamında Mart 2017'de karasal olmayan ağlar (non-terrestrial networks-NTN)

üzerinden 5G haberleşme konusunun fizibilite analizi için bir İnceleme Kalemi (Study Item) başlatılmıştır. NTN kapsamında farklı yörüngelerdeki uyduların yanı sıra atmosferdeki düşük irtifadaki diğer hava platformları (örneğin balonlar, insansız hava araçları vb.) da çalışma kapsamında ele alınmıştır. Çalışmada 5G RAN protokolü olan New Radio (NR) dalga şeklinin tasarım ve doğrulamasında kullanılan kanal modelleri NTN platformlara genişletilmiş ve farklı sahaya yerleşim senaryoları tanımlanmıştır. Release 16 kapsamında içinde ASELSAN'ın da destekleyen firmalar arasında yer aldığı iki İnceleme Kalemi önerisinde (RP-181334, SP-180505) ise NTN yapısının 5G RAN mimarisine etkilerinin tanımlanması ve olası çözümlerin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Uydu üzerinden 5G NR dalga şekli ile direkt erişim, Haziran 2022'de yayınlanan Release 17'de aşağıdaki temel varsayımlar altında tanımlanmıştır:

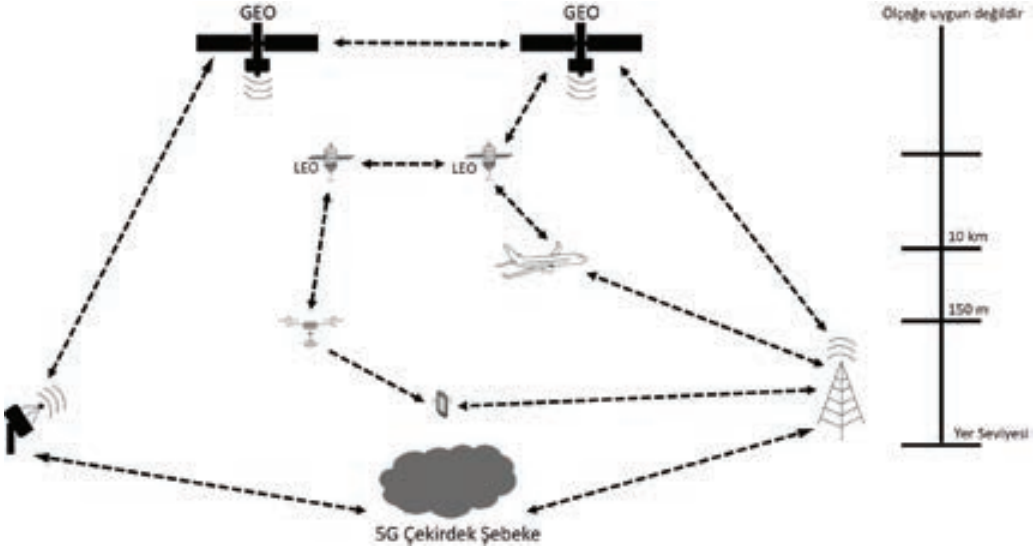
- Saydam (transparent) görev yükü içeren GEO ve LEO uydu aktarıcılar
- FDD (Frequency Division Duplex) 6 GHz altı frekans bantlarının (S-bant ve L-bant) kullanımı
- GNSS (Global Navigation Satellite System) yeteneği içeren NTN kullanıcı terminali

Uydu haberleşmeye özgü birtakım zorluklar, Release 17 5G NR dalga şekli ve protokollerinde bazı değişiklik ve güncellemeleri beraberinde getirmiştir. Bunlardan ilki, gerek LEO gerekse de GEO uydu haberleşmede kanalda gözlemlenen yayılım gecikmesinin karasal haberleşmeye kıyasla büyük olmasıdır. Bu özellikle GEO uydu haberleşme için önemli bir zorluk oluşturmaktadır. Bir başka zorluk ise özellikle LEO uyduların yüksek hızlı hareketi nedeniyle iletilen işarette oluşan Doppler etkileridir. Büyük yayılım gecikmesi ve hareketlilik, zaman kritik mekanizmaların doğru çalışabilmesi için kullanıcı ekipmanında GNSS bilgisi ve uydu gökgünlüğü (ephemeris) bilgisini standardın bu sürümünde zaruri hale getirmiştir. GEO uydu haberleşmede olmayan ama LEO haberleşmede özellikle mobil kullanıcı ekipmanını doğrudan etkileyen bir başka faktör de yerküre üzerinde de sabit olmayan hüzme (beam) kapsama alanıdır. Bu etki karasal haberleşmede mevcut olmayan hareketli hücre kavramını doğurmaktadır. Tüm bu zorluklara çözüm sağlamak amacıyla 5G NR mimarisi ve protokolleri aşağıdaki konularda adapte edilmiştir.

- Zamanlama ve kontrol döngüleri: Çıkış gücü kontrol, uyarlamalı kodlama ve modülasyon, kullanıcı ekipmanından uydu ağ geçidine doğru iletimde zamanlama, zaman ve frekans eşzamanlama mekanizmaları.

- Kullanıcı ekipmanının ilk erişiminde kullanılan rastgele erişim mekanizması.
- Hibrit otomatik yeniden gönderim talebi (Hybrid Automatic Retransmission Request-HARQ) yaklaşımı.
- Hücreler arası geçişte el değiştirme (handover) ve hüzme yönetimi.
- Rölanti (idle) durum ve çağrı (paging) mekanizması.
- Takip (tracking) alanı yönetimi.

GEO uydu haberleşme çözümleri, kapsama alanının daha geniş ve yerküre sabit olması nedeniyle daha çok arka plan verisinin fiber optik kablo döşeme maliyetinin karşılanmadığı yerlere iletilmesi için kullanılması açısından daha uygun görünmektedir. Özellikle GEO uydu maliyetlerinin daha yüksek olması ve hizmet ömrünün uzun olması, GEO uydu sistemlerine LEO uydu çözümlerine kıyasla bazı



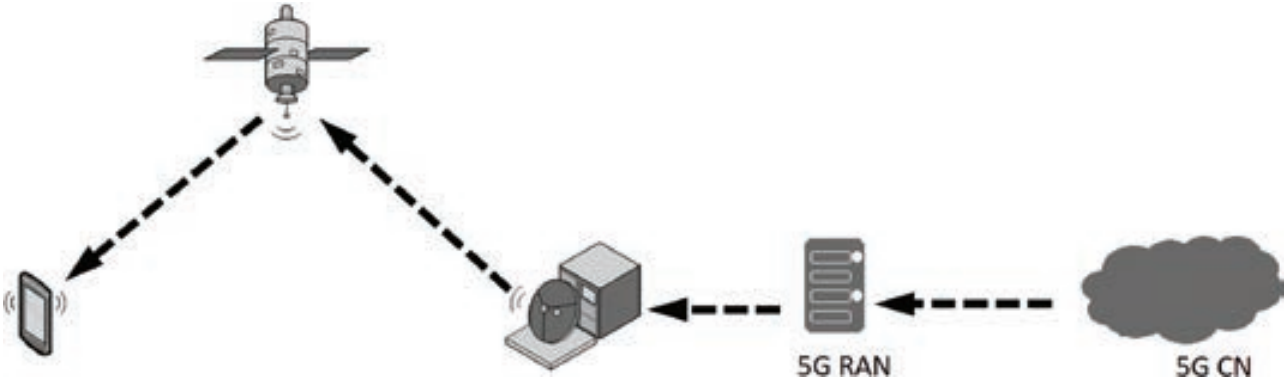
Şekil 1: Karasal hücresel haberleşme ağları ile NTN entegre edilerek aynı anda her yerde kapsama sağlanabilir.

durumlarda dezavantaj sağlayabilir. LEO uyduların maliyetleri daha az ve hizmet ömürleri daha kısadır, fakat tam da bu sebepten ötürü teknolojik gelişmelere ayak uydurması ve güncellenmesi GEO çözümlerine kıyasla daha pratiktir. LEO uydu üzerinden 5G direkt erişim sağlamada kullanıcı ekipmanının tipi de önem kazanmaktadır. Tüm yönlü (omnidirectional) antene sahip elde taşınan mobil cihazlar, düşük veri hızı gerektiren veya IoT uygulamalarda 6GHz altı frekanslarda direkt 5G erişimi için uygunken, yüksek veri hızı gerektiren uygulamalarda Ka frekans bandında yönlendirilebilir hüzmeli anten yapılarına sahip VSAT (very small apperture terminal) tipi kullanıcı terminallerinin uygun olduğu değerlendirilmektedir.

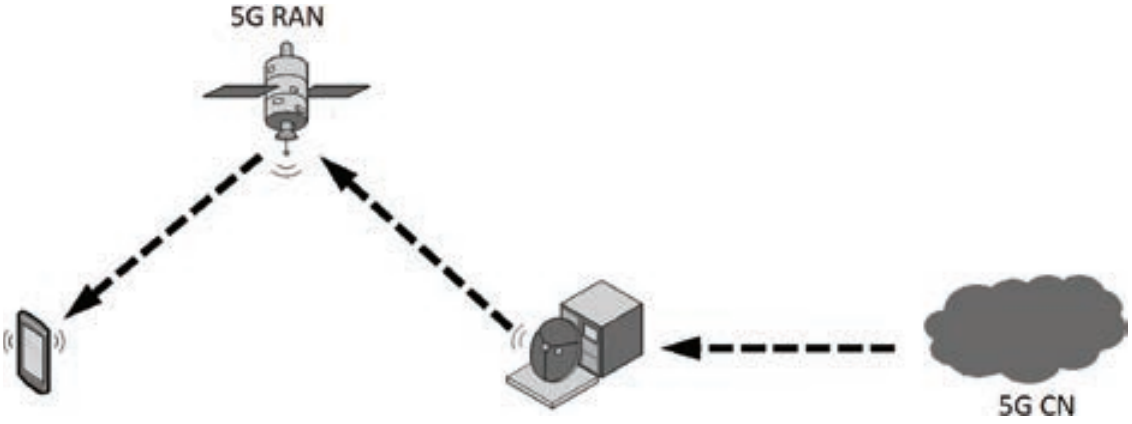
5G teknolojisinin bir sonraki sürümü olan Release 18 kapsamında ele alınacak temel konular arasında, 10GHz üzeri frekans bantları ve saydam olmayan yeniden üretici (regenerative) görev yüküne sahip uydular üzerinden haberleşme sayılabilir.

Bu çalışmalara paralel olarak, NTN faaliyetleri kapsamında uydu üzerinden IoT uygulamaları için NB-IoT (Narrow Band IoT) ve eMTC (enhanced Machine Type Communications) kullanım senaryoları kapsamında LTE standardına da güncellemeler yapılmaktadır.

3GPP 5G NR Release 17'nin yayınlanması ile birlikte uydu haberleşme ile karasal mobil haberleşmenin bütünleşik olarak tek bir mobil cihazda sağlandığı ürünlerin birkaç yıl içerisinde piyasa sürüldüğünü görmeyi beklemekteyiz. İlk sonuçlar, bu sene çıkan son model telefonlarda gözlemlenmeye başladı ve mobil cihazlar üzerinden acil servisler için uydu haberleşmesinin kullanılabildiği görüldü. 3GPP konsorsiyumu gibi uluslararası bir standardizasyon kuruluşunun geliştirdiği 5G NTN teknolojisi sayesinde tedarikçiler arasında uyumluluk garanti altına alınmış, şebeke işletme ve mobil cihaz maliyetleri düşürülmüş olacak. Bu da bölünmüş uydu haberleşme pazarı için heyecan verici bir gelişme.



a) Saydam (transparent) görev yükü



b) Yeniden üretici (regenerative) görev yükü

Şekil 2: NTN için olası ağ mimarileri

ASELPOD

Gelişmiş Hedefleme Podu

Üstün Menzil Performansı, Yüksek Performanslı IR ve TV Kamera, Çift Dalga Boylu Lazer Mesafe Ölçer, Gelişmiş Görüntü İşleme, Hassas Hedef Konumu Belirleme ve Hassas Stabilizasyon

www.aselsan.com

aselsan

UYDU HABERLEŞMESİNDE **KRİPTO VE KUANTUM** TEKNOLOJİLERİ

Sevgi BABACAN ÇETİN
Ayça Bahar YILDIRIMOĞLU
Berkin AKSOY
Erkan USLU
Murat Burhan İLTER
Dr. Neşe KOÇAK
Dr. Sinan ŞENOL

UYDU HABERLEŞMESİNDE KRİPTO

Uydu ve uzay teknolojileri, bir yandan altyapı gereksinimlerine ait ihtiyacı azaltırken, diğer yandan da yeryüzünde uzak mesafelere ulaşabilme imkânı sağlamaktadır. Bu alanda haberleşme sistemlerinin gelişmesi ve sağlanan servislerin artması, her geçen gün haberleşme güvenliğine olan ihtiyacı artırmaktadır. Uydu ve uydu ile ilgili alt bileşenler ve oluşturdukları haberleşme sistemi bu teknolojide önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen uydu ekipmanları ile birlikte daha geniş bantta, daha yüksek kalitede daha fazla kullanıcıya hizmet verilirken kesintisiz haberleşmeye devam edebilmek için şebeke güvenliği konusunda yenilikçi önlemler alınmaktadır. Bilgi güvenliğinin temel kuralları arasında yer alan gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik unsurlarını sağlamak adına alınan çözümler hem kullanıcı güvenliğini hem de uydu şebekesinin hizmet kalitesini sağlamak adına önemlidir.

ASELSAN bünyesinde TSK'nın uydu haberleşmesi ihtiyaçlarına yönelik farklı uydu haberleşme bantlarında (Ku, X Bant) sistem çözümlerini içeren projeler geliştirilmiştir. Bu sistem çözümlerinin millileştirilmesi konusunda en kritik noktalarında biri olan kripto ve bilgi güvenliği ihtiyaçları, ASELSAN bünyesinde tasarımı yapılan "GİZLİ" gizlilik dereceli onaylı kripto cihazları ve yazılımları ile sağlanmaktadır. Uydu şebeke güvenliğini sağlamak adına risk analizleri gerçekleştirilmekte ve analiz sonuçlarına göre sistem çözümleri oluşturulmaktadır. Sistem topolojilerinde OSI modeli ikinci katmanda uçtan uca link seviyesinde ve OSI modeli üçüncü katmanda IP seviyesinde sırasıyla LKC (Link Kripto Cihazı) ve IPKC (IP Kripto) cihazları ile kriptolama/kripto çözme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kripto cihazları sahip oldukları kripto algoritmaları, kripto mekanizmaları ve kimlik doğrulama yetenekleri ile sistemlerde kullanıcı verisine gizlilik, bütünlük, inkâr edilemezlik ve erişilebilirlik sağlamaktadır. Kripto cihazlarında iki faktörlü erişim denetimi, acil silme prosedürleri ve parola politikaları ile kullanıcı erişim denetimi sağlanmaktadır. Kullanacak kurumun talep etmesi durumunda kuruma özel milli algoritma tasarımı gerçekleştirilip cihazlara yüklenebilmektedir.

Uydu şebekesi üzerinden sistemde bulunan tüm kripto cihazlarının, anahtar ve kripto parametreleri AÜM (Anahtar Üretim Merkezi) tarafından gerçek rastsal sayı üreteci kullanılarak üretilmekte, GYM (Güvenlik Yönetim Yazılımı) aracılığıyla ise uzaktan "GİZLİ" gizlilik seviyesinde yönetilebilmektedir. Güvenlik yönetimi sayesinde, uydu sisteminde yer alan kripto cihazlarına ait tüm yönetim ve konfigürasyon faaliyetleri bir merkez tarafından izlenebilmekte ve yönetilebilmektedir. Bu sayede, sistemlere izlenebilirlik ve yönetilebilirlik özelliği sağlanmaktadır.

Uydu haberleşmesinde kullanılan kripto sistemlerinin kuantum sonrasına dayanıklı hale getirilmesi, kripto mekanizmalarının uydu haberleşme dalga tasarımlarında da yer alması ve topolojilerde kuantum anahtar dağıtımına yer verilmesi gelecek ürün tasarımlarında değerlendirilmesi gereken hususlardır.

KUANTUM SONRASI KRİPTOGRAFİ

Son yıllarda gelişmekte olan iletişim teknolojileri, bilgi güvenliği ve mahremiyet konularına olan önemi de artırmıştır. Bu sebeple hem akademik hem de sektörel anlamda bilgi güvenliğine büyük bir ilgi ortaya çıkmıştır. Kriptografi bilimi de bu ilgiden oldukça büyük bir pay almaktadır.

Kriptografi bir verinin matematiksel yöntemler kullanılarak yetkisiz kullanıcılar tarafından anlaşılamaz hale getirilmesi, sadece yetkili kullanıcılar tarafından anlaşılıp işlenebilmesiyle ilgilenen bilim dalıdır. Bilgi güvenliği alanındaki gizlilik, veri bütünlüğü, inkâr edilemezlik ve kimlik denetimi gibi kavramlar kriptografik algoritmalar ile sağlanmaktadır.

Modern kriptografi simetrik ve asimetrik kripto sistemler olarak iki alt başlık altında incelenmektedir. Simetrik kripto sistemlerde şifreleme ve deşifreleme işlemi aynı gizli anahtarla yapılmaktadır. Yapısından kaynaklı bu algoritmalar daha verimli fonksiyonlardan oluşmakta bu sayede de büyük verilerin şifrelenmesinde kullanılmaktadır. Asimetrik kripto sistemlerde ise şifreleme işlemleri birbirlerine bağımlı açık ve kapalı anahtar çiftiyle yapılmaktadır. Bir veri şifrelenmek istendiği zaman kullanıcının gizli olmayan, herkes tarafından bilinebilen, açık anahtarıyla şifreleme yapılır. Deşifreleme işlemi ise sadece kullanıcıya ait gizli anahtarla yapılabilmektedir. Asimetrik kripto sistemlerde yapılan şifreleme işlemleri maliyetli olduğundan büyük verilerin şifrelenmesi için kullanılamamaktadır. Bunun yerine kriptografik protokollerde simetrik kripto sistemlerin anahtarlarının paylaşılması veya sayısal imzalama işlemleri için kullanılmaktadır.

Asimetrik kripto sistemlerin güvenliği çözümü matematiksel problemlerin zorluğuna dayanmaktadır. Örneğin günümüzde kullanılan RSA (Rivest – Shamir – Adleman) algoritması çarpanlara ayırma problemine, dijital imza algoritması (DSA) ve Diffie–Hellman anahtar değişim protokolü ise ayrık logaritma problemine dayanmaktadır. İşlemci gücünün yıllar içinde artması bu algoritmaların anahtar boylarının büyümesine sebep olsa da şu anki hesaplama yeteneğiyle bu algoritmaları güvensiz hale getirmek mümkün değildir. Fakat 1994 yılında Peter Shor tarafından önerilen kuantum algoritma sayesinde yeterli sayıda qubite sahip kuantum bilgisayarlarla çarpanlara ayırma ve ayrık logaritma problemlerinin polinom zaman karmaşıklığında çözülebileceği gösterilmiştir. Bu durumda gelecekte yeterli miktarda qubit içeren kuantum bilgisayarlar üretildiği taktirde, günümüzde kullanılan asimetrik kripto sistemler güvensiz hale gelecektir. 1996 yılında Lov Grover tarafından önerilen kuantum arama algoritması ile klasik kaba kuvvet algoritmalarına göre kuadratik bir hızlandırma sağlanarak simetrik kripto sistemlerin sağladığı güvenlik etkilenmesine rağmen uygun uzunlukta anahtarların seçilmesi ile simetrik kripto sistemler şu an için güvenli kabul edilmektedir. Bu sebeple kuantum hesaplamaya karşı yapılan kriptografik çalışmalar genellikle asimetrik kripto sistemler üzerine yoğunlaşmıştır.

Kuantum hesaplama tehdidine karşı yapılan kriptografik çalışmaların tümü kuantum sonrası kriptografi olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde kuantum bilgisayarların geliştirilmesi için büyük bir yarış bulunmaktadır. Sektörel ve akademik düzeyde yapılan çalışmalar daha yüksek qubite sahip bilgisayarlar geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu sebeple günümüzde kullanılan asimetrik kripto sistemlerin kuantum hesaplamaya dayanıklı algoritmalarla değiştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Öyle ki 2015 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ne bağlı NSA (National Security Agency) kuantum algoritmalara karşı dayanıklı asimetrik kripto sistemlerin geliştirilmesi, tasarlanması ve bir an önce aksiyon alınması konusunda görüş belirtmiş ve yeni standartların geliştirilmesi için çağrıda bulunmuştur. Bu nedenle 2016 yılında NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından yeni bir standart belirleme süreci başlatılmıştır. Akademik ve sektörel kurumlara yapılan bu çağrıda araştırmacılardan kuantum hesaplamaya dayanıklı anahtar paylaşım ve sayısal imza algoritmaları tasarlamaları istenmiştir. Tasarlanacak algoritmaların kuantum hesaplamaya dayanıklı farklı matematiksel zor problemlere dayalı olması, verimli çalışması ve kolay gerçeklenme karakteristiklerine sahip olması beklenmiştir. Bu çağrı sonucunda altmış dokuz adet aday algoritma belirlenmiştir. Bu algoritmaların dayandığı problemlerden öne çıkanlar;

- Kafes tabanlı,
- Kod tabanlı,
- İzojen tabanlı,
- Çok değişkenli,
- Özet fonksiyon tabanlı problemlerdir.

2022 yılı Temmuz ayına kadar yapılan analizler sonucunda anahtar paylaşım algoritması olarak CRYSTALS-KYBER, sayısal imzalama algoritması olarak CRYSTALS-Dilithium, FALCON ve SPHINCS+ seçilmiştir. Daha kompakt yapıda ve hızlı sayısal imza algoritmalarının geliştirilmesi amacıyla NIST tarafından 2022 yılı Temmuz ayında alternatif yeni bir yarışma başlatılmıştır.

ASELSAN bünyesinde kuantum sonrası kriptografi üzerine yapılan araştırmalar ile kuantum sonrası risklere karşı önlemler alınmakta ve güncel gelişmeler takip edilmektedir.

KUANTUM RASSAL SAYI ÜRETEÇLERİ

Kriptografik uygulamalarda rassal sayıların üretimi oldukça önemlidir. Örneğin, şifreleme sistemlerinde kullanılan kriptografik anahtarlar, ilklendirme vektörü ve tohum (seed) değerlerinin rassal sayı üreteci tarafından üretilmesi gerekmektedir. Rassal sayı üreteçlerinin kriptografi gereksinimlerini sağlamadıkları durumda sistem ne kadar güvenli olursa olsun gizli bilgiler istenmeyen kişilerin eline geçebilmektedir. Rassal sayı üreteçleri, gerçek rassal sayı üreteçleri (GRSÜ) ve sözde rassal sayı üreteçleri (SRSÜ) olarak ikiye ayrılmaktadır. Sözde rassal sayı üreteçleri ile kısa bir tohum değerinden deterministik bir algoritma kullanılarak rassal gözüken uzun diziler üretilebilmek mümkün olmaktadır. Sözde rassal sayı üreteçleri, çok hızlı çıktı üretebilmeleri ve kolay gerçeklenebilir olmaları nedeniyle birçok uygulama açısından oldukça pratik kabul edilmektedir. Fakat bu üreteçler kullanılarak üretilen dizilerin gerçek rassal olmaması sebebiyle güvenliğin öne çıktığı sistemlerde kullanılması uygun görülmemektedir. Gerçek rassal sayı üreteçleri ise tahmin edilmesi mümkün olmayan fiziksel süreçleri (kaotik sistemler, elektronik devrelerdeki termal gürültü, serbest çalışan osilatörler vb.) ölçerek bir rastgele sayı dizisi oluşturmada kullanılmaktadır.

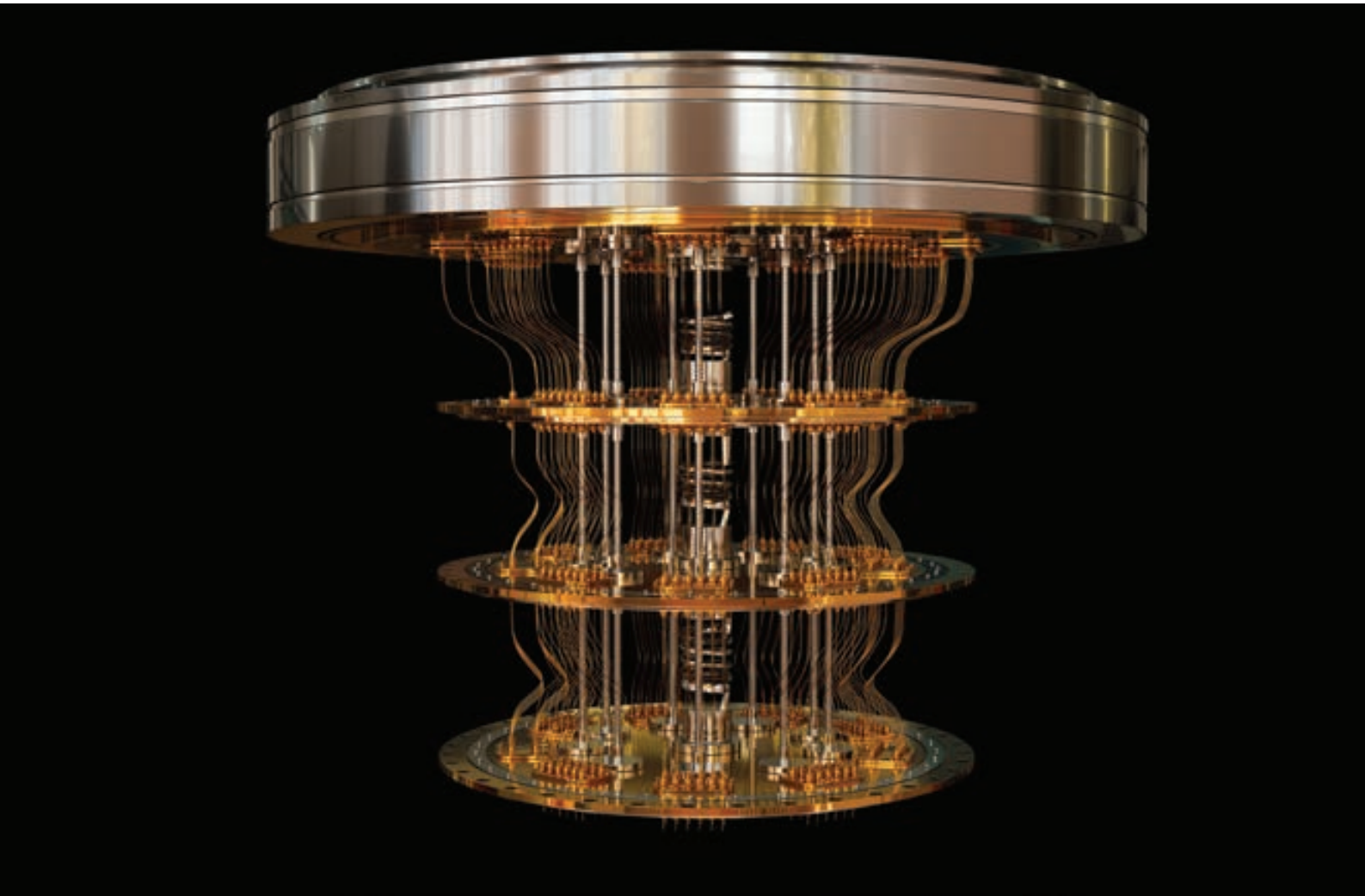
Kuantum rassal sayı üreteçleri de verilerin bir kuantum olayın sonucu olduğu GRSÜ'lerdendir. Kuantum alanında yapılan teknolojik gelişimler doğrultusunda akademide ve endüstride kuantum rassal sayı üreteçleri tasarlanmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. Kuantum fiziği prensiplerine dayanan bu üreteçlerde radyoaktif bozulma, kuantum optik gibi yöntemler kullanılarak rassal sayılar elde edilmektedir. Kuantum mekaniğinin tabiatında var olan rastgelelik, kuantum sistemlerini mükemmel bir entropi kaynağı haline getirmektedir.

ASELSAN 2022 yılı içinde öz kaynaklı bir Ar-Ge projesi olan Kuantum Teknolojileri Geliştirme Projesini başlatmıştır. Bu proje ile kuantum rassal sayı üreteci ve kuantum anahtar dağıtımı sistemi geliştirilmesi kapsamında çalışmalar devam etmektedir.

KUANTUM ANAHTAR DAĞITIMI

Günümüze kadar geçen sürede iletişim cihazları, anlık simetrik anahtar anlaşması için Diffie-Hellman anahtar değişim protokolünü büyük bir popülerlikle kullanıyordu. Kuantum bilgisayarların getirdiği tehdit ile birlikte Diffie-Hellman protokolü kullanılarak anlaşılan anahtarın güvenliği için bir kuantum saldırısı ve simetrik anahtarın ele geçme riski ortaya çıkmaktadır.

1984 yılında, Bennette ve ekibi, Heisenberg'in Belirsizlik İlkesine dayalı olarak Kuantum Anahtar Dağıtımı (KAD) protokolünü önerdi. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, bir kuantum



parçacığının momentumunu ve pozisyonunu kesin hassasiyette ölçmenin imkânsız olduğunu önermektedir. Heisenberg ilkesine dayanarak, farklı sayısal tabanlarda kullanılan foton parçacıkları ile kuantum anahtar dağıtımı sağlanabilmektedir.

Kuantum Anahtar Dağıtımı uzun süredir çalışılan bir konudur. Önemli birçok protokol mevcuttur. En önemlilerinden biri BB84 protokolüdür. BB84 kuantum anahtar dağıtım protokolünde 0 ve 1 bitleri polarize fotonun durumu olarak kodlanır. Gönderici tarafta, iletilen foton dört durumdan biri olarak polarize edilir:

1. Yatay (0 derece polarizasyon)
2. Dikey (90 derece polarizasyon)
3. Çapraz (45 derece polarizasyon)
4. Ters çapraz (135 derece polarizasyon)

Kodlama olarak yatay ve çapraz polarizasyonlar 0'ı ve dikey ve ters-çapraz polarizasyonlar 1'i ifade eder. Alıcı taraf, fotonun durumunu ölçmek için 2 doğrusal tabana sahip foton detektörü kullanır. Bu tabanlar yatay-dikey (kısaca dikey) ve çapraz-ters-çaprazdır (kısaca çapraz). Dikey taban 0 ve 90 derece polarizasyonları yakalar ilen çapraz taban ise 45 ve 135 derece polarizasyonları yakalar. Alıcı bu iki tabanı, fotonun polarizasyonunu ölçmek için rassal bir şekilde kullanır.

BB84'ün genel protokolü aşağıdaki sırada işler:

1. Ayşe rassal olarak dört polarizasyondan birini bit değerine göre seçer ve fotonları gönderir.
2. Bora aldığı fotonların her biri için iki tabandan birini rassal olarak seçer, uygular ve bit değerini hesaplar.
3. Bora seçtiği tabanları Ayşe'ye klasik veya güvensiz bir kanaldan paylaşır.
4. Ayşe uyuşan tabanları Bora'ya iletir.
5. İki tarafta paylaşılan bilgilere göre anlaşılan değerler anahtar olarak kullanır.

Örnek bir haberleşme aşağıdaki figürde gösterilmiştir.

1991'de Artur Ekert, kuantum eşlemeye dayalı bir kuantum anahtar dağıtım protokolü önerdi. Bu protokol E91 olarak adlandırılır. Bu protokolde kaynak, kuantum eşlenmiş foton çiftlerini üretir. Bu fotonlardan biri, yukarıdaki protokoldeki alıcılar olarak, Ayşe ve Bora'ya gönderilir. İki alıcı da rassal tabanlar seçerek ölçüm yaparlar. Ölçüm sonucunda seçtikleri tabanları karşılaştırır ve uyanlar üzerinden anahtar anlaşmasını tamamlarlar.

Kuantum anahtar dağıtımı koşulsuz olarak güvenlidir. Çünkü gözlemleyici üzerinden herhangi bir kısıt varsayımı yapılmamıştır ama klasik haberleşme hattı üzerinden ortadaki adam saldırısı mümkündür. Bu saldırıyı önlemek için de iki taraf birbirine kimlik ispatı yapma yöntemlerinden birini kullanabilir. Diğer bir sorun durumu da iletim hataları olmadığı kabul edilmiştir. İletim hataları olması durumu için de kodlama teknikleri ile çözümler mevcuttur.

Mevcut yapıda KAD ağları kurmak için fiber optik haberleşme ve açık hava ortamları tercih edilmektedir. Açık hava ortamları için de en uygun platform uydu sistemleridir. Uydu sistemleri ile yapılan KAD sisteminin diğer protokollere avantajı, E91 protokolünde olduğu gibi haberleşme birimlerinin foton üretme ihtiyacı olmamasıdır. BB84 temelli protokollerde en az bir kaynağın foton üretmesi gerekmektedir. Bu açıdan uydu temelli KAD sistemi daha ekonomik terminal üretimini sağlamaktadır.

Uydu sistemleri ile yapılan KAD sisteminin daha performanslı olduğuna dair sonuçlar mevcuttur. Yer sistemi ile birkaç yüz kilometre mesafede yapılan anahtar dağıtımı, KAD çözümüne sahip uydu sistemleri ile 1.200 km mesafede başarılmıştır.

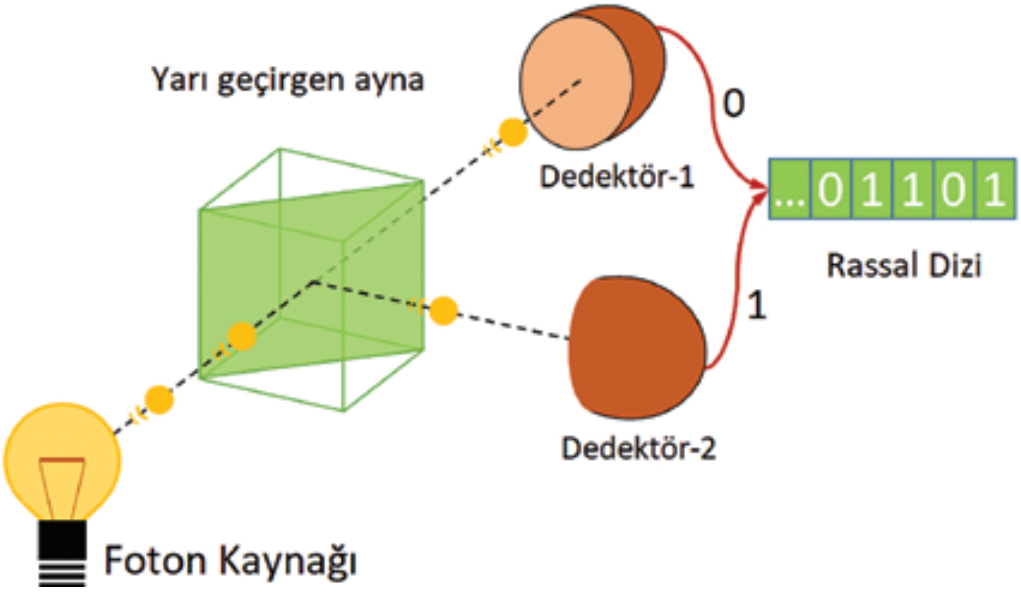
Güvenlik açısından Kuantum Anahtar Dağıtımı sistemlerine, foton sayısı ayırma ve donanımsal hatalar kaynaklı saldırılar mevcut olup bu saldırılara yönelik tedbirler üzerine çalışmalar devam etmektedir. Yukarıdaki çözümlerde, kuantum anahtar dağıtım protokolleri için tek kaynaktan foton dağıtımı öngörülmüş iken iki kaynak ve daha fazlasını kapsayan çözümlere güncel olarak çalışılmaktadır.

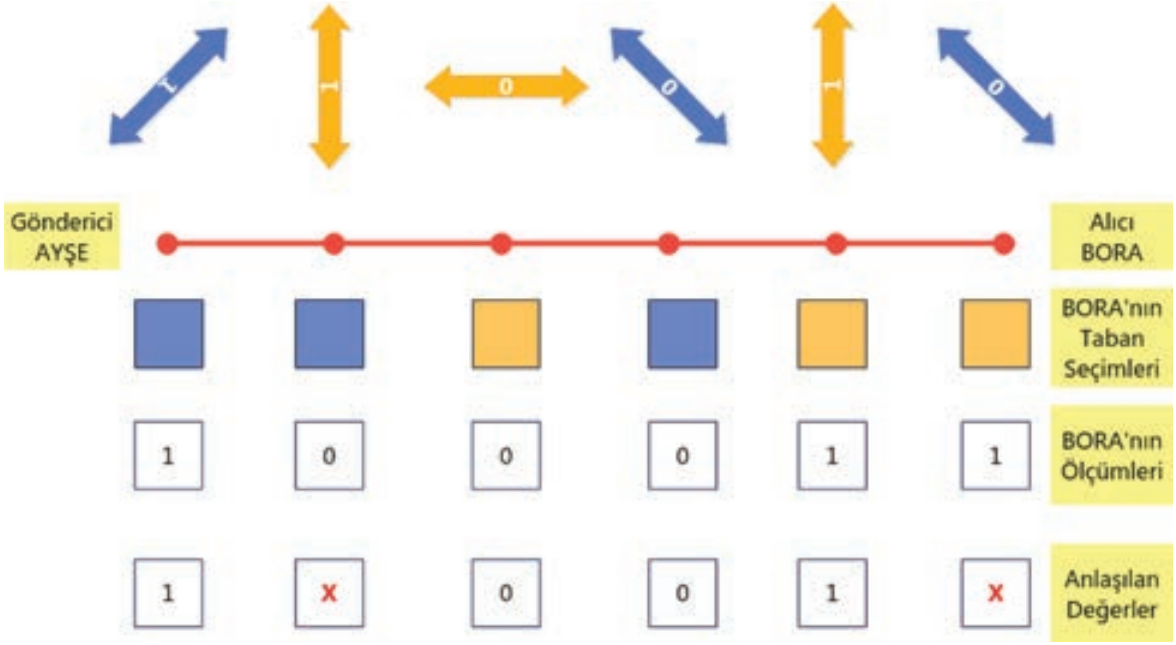
Kuantum anahtar dağıtımı ile oluşan ağların, Qinternet'in yani kuantum haberleşmeye dayalı internetin temelini oluşturması beklenmektedir. Genel olarak bu haberleşme ağlarının, klasik ağlar ile kuantum ağların birleşimini kapsaması beklenebilir. Burada da yazılım tabanlı ağ mimarilerinin bu heterojen ağ yapısını başarıyla yönetmesi beklenmektedir.

Asimetrik algoritmalara (RSA ve Eliptik Eğri), kuantum programlama algoritma saldırıları ile yapılacak ataklar en çok yeni nesil mobil teknolojileri (5G/6G) etkileyecektir. Bu yüzden KAD teknolojilerinin mobil şebeklere entegrasyonu da yoğun olarak çalışılmaktadır.

Kuantum anahtar dağıtımının güçlü yönleri sebebiyle Avrupa Telekomünikasyon Standardizasyon Enstitüsü (ETSI) öncülüğünde QKD endüstri çalışma grubu kurulmuş olup kuantum anahtar dağıtımının standartlaşma çalışmalarına devam edilmektedir. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU-T) gibi diğer standartlaşma organizasyonları da benzer faaliyetleri yürütmektedir.

Asimetrik algoritmaların geleceğine kuantum programlama ortamları büyük bir tehdit oluşturmaktadır. NIST'in yürüttüğü kuantum dayanıklı algoritma yarışmaları da sorunun zorluğunu ortaya koymuştur. Bu duruma çözüm yine kuantum programlama dünyasından KAD olarak gelmektedir. KAD'ın her ne kadar bazı gerçekleme problemleri olsa da gelişen teknoloji ile KAD'ın geleceğin en önemli güvenlik bileşeni olmasını bekleyebiliriz.





UYDU VERİ LİNKİ TEKNOLOJİLERİ

Kadir AYHAN
Dr. Bekir Ahmet DOĞRUSÖZ

Tarihte haberleşme işlevi olan ilk (insan yapısı) uydunun Sputnik olduğu söylenebilir. Ancak uzaydan topladığı bilgiyi yere aktarma işlevi içeren ilk uydunun TIROS-1 olduğunu da belirtmek gerek. Television Infrared Observation Satellite (TIROS) programının ilk uydusu olan TIROS-1, büyük ölçüde bir test uydusu idi. Amaçlanan işlevlerin başında da meteorolojik gözlem gelmekteydi. Uydunun iki kamerası, bir adet kayıt cihazı (manyetik teyp) ve bu makale açısından daha önemlisi, yer istasyonu ile haberleşme ve istasyon uygun konuma geldiğinde, topladığı fotoğrafları iletmek için kullandığı bir haberleşme sistemi bulunmaktaydı. Temel amacı, sadece bir uydunun uzaktan kontrolü veya yerden kaynaklanan bir sinyali yansıtma değil, yörüngede kendi bünyesinde topladığı veriyi (meteorolojik gözlem fotoğrafları) yere iletmek olduğundan, bu açıdan bir ilki oluşturmakta. TIROS-1 sadece yetmiş sekiz gün çalıştı, ama temel konseptin kendini kanıtlamasını sağladı.

TIROS-1'den bu yana uydu veri linklerinin dayandığı teknolojiler her alanda (kayıt, iletişim, güvenlik) çok değişti, ancak temel mantık aynı kaldı: Yer istasyonuna göre uygun konuma gelindiğinde, kayıtlı verinin olabildiğince yüksek hızda iletimi. Uyduların yörüngesini ve veri kapasitelerini, uydu misyonu (meteoroloji, gözlem, haberleşme vb.) belirlediğinden veri linki tasarımında ileti süresini uzatma opsiyonu bulunmaz. Uydu, yere göre, yörüngesine bağlı bir hızda ilerlerken, yer istasyonu üzerinden hızla geçip gider ve topladığı bütün veriyi iletmesi için sınırlı bir süresi vardır. Elbette bu işe ayırabileceği sınırlı güç, ağırlık ve kullanmasına izin verilen sınırlı bant genişliği de cabası.

Uydu görev yüklerinin yetenek ve kapasiteleri arttıkça, veri linki ihtiyaçları da artmakta. Daha az güç harcayarak, daha az ağırlık ile daha kontrollü ve etkin olarak, daha yüksek veri hızı, daha fazla bant genişliği, daha yüksek güvenilirlikte. Yakın vadede bu istekleri karşılama yeteneğini artırıcı üç teknolojik gelişme var ve bu gelişmeler sadece yurt dışındaki firmalarda değil, ASELSAN içinde de değerlendirilmekte.

YÜKSEK HIZ DOĞRUDAN RF SAYISAL-ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Sayısal haberleşmenin ana unsurlarından biri sayısal-analog dönüştürücüdür (Digital-to-Analog Converter–DAC). Verici kapasitesini belirleyen ana unsurların başında, güç yükselteç kapasitesi, anten yönlülüğü ve spektral etkinlik ile birlikte en üst sıralarda kullanılabilir tayf bant genişliği gelmektedir. Kullanılabilir bant genişliğini etkileyen çok sayıda unsur vardır, ama bunların başında DAC hızı gelir.

Analog-sayısal (Analog-to-Digital Converter–ADC) ve sayısal-analog dönüştürücülerin hız gereksinimi ile ilgili Nyquist kuralına göre, toplam örneklem hızı, yaratmak (DAC) veya almak (ADC) istediğiniz analog sinyalin en yüksek frekans bileşeninden (F_max) –ki bu kabaca merkez frekans artı bant genişliğinin yarısına denk gelmekte– iki katından fazla olmak zorundadır. Örneğin, diyelim ki, uydu veri linki için 8.200 MHz merkez frekanslı ve bant genişliği 300 MHz olan (X-Bant) bir haberleşme sinyali kullanmak istiyoruz. Bu durumda yaratacağımız en yüksek frekans 8.350 MHz ve DAC örneklem hızının en az 16.700 MHz (16.7 GHz) olması gerek.

Nyquist kuralının bir önemli detayı var. Yukarıdaki mutlak kural eğer yaratmak (veya almak) istediğiniz sinyal, (0 – F_max) arası tüm tayfı kaplıyor ise geçerli. Ama eğer hedef sinyal gerçekte bir taşıyıcı frekans (F_c) merkezinde ve kısıtlı bir bant genişliğinde ise, toplam örneklem hızının bant genişliğinin iki katından fazla olması yeterli olabilir. Yani yukarıdaki örnekte, 600 MHz. Elbette pratik detaylar daha yüksek DAC hızları gerektiriyor, ama sonuçta alt-örnekleme veya az-örnekleme (undersampling) adı verilen bu yöntemle 16.7 GHz yerine 2 GHz toplam DAC hızı yeterli olabilir. Bunu sağlayan farklı tasarımlar mümkün:

1. Sinyal sayısal ortamda karmaşık sayı değerli tabanbant eşlenik sayısal sinyal olarak oluşturulur ve çift-DAC (Dual-DAC) yapısı ile evre uyumlu şekilde sentezlenir. Bu duruma her biri 1GHz hızda iki DAC ile (toplam örnekleme hızı 2 GHz) yeterli hız sağlanır. Ancak sinyalin istenen son haline gelmesi için bir IQ Modülatör ile istenen merkez frekansa taşınması gereklidir.

2. Sinyal sayısal ortamda gerçel sayı değerli, ama nihai olarak istenenden daha düşük bir merkez frekansta sayısal sinyal olarak oluşturulur ve görece yüksek hızlı DAC ile sentezlenir. 2 GHz bir DAC ile 400 MHz merkez frekanslı ve bant genişliği 300 MHz olan sinyal oluşturulabilir. Ancak istenen son haline gelmesi için bir Mixer devresi ile istenen merkez frekansa taşınması gereklidir.

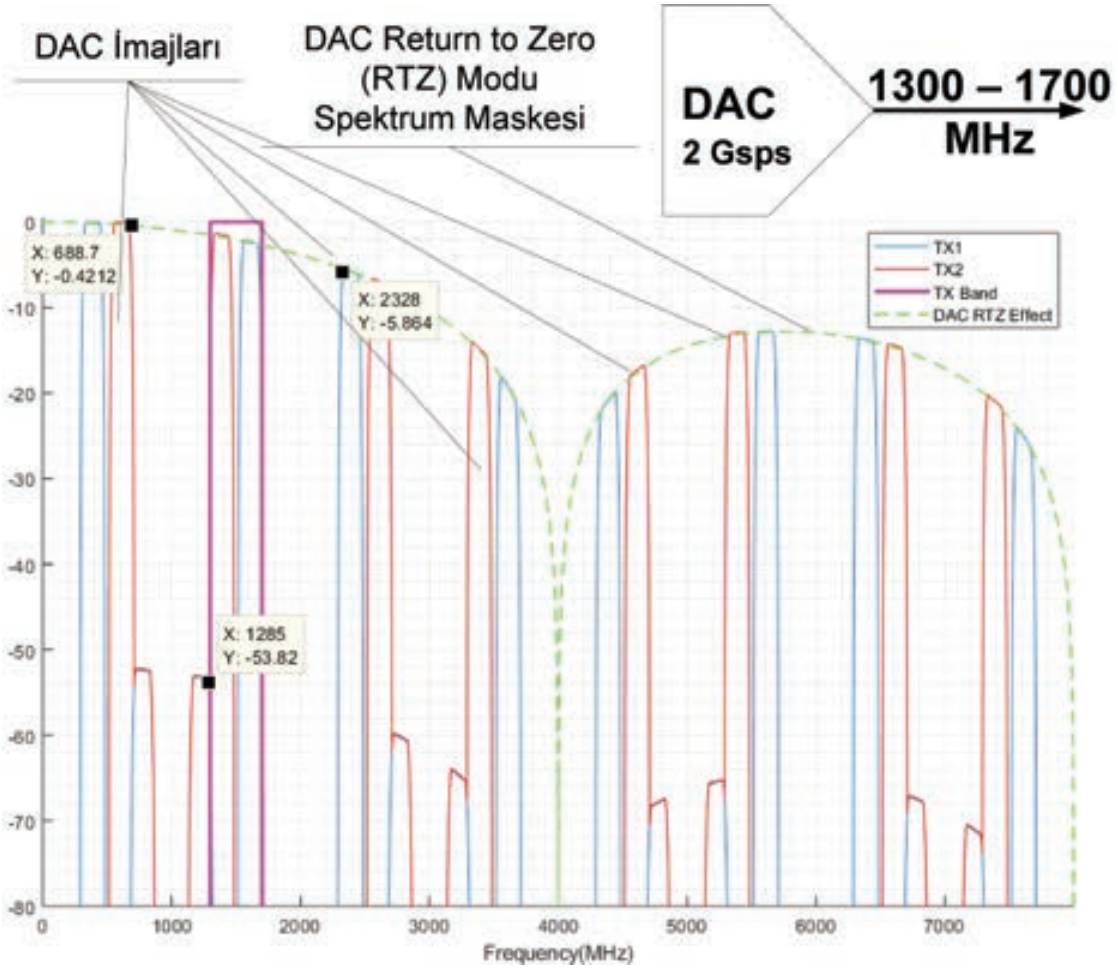
Bu iki tasarımın da ortak noktası, DAC çıkışında tam olarak istenen sinyalin hazır olmaması. İlave RF devreler (IQ-Modülatör, Mixer) gerektirmekte ve bu ilave devreler pasif devreler (sadece filtre) değiller, kendi güç kaynağı (ve güç kaynağının temizliği), saat referansı (ve bu referansın temizliği) gibi sorunlar da tasarıma ilave ağırlık, tüketilen güç, karmaşıklık (ve olası hata kaynakları) olarak girmekte. Ancak tasarımcının, DAC çalışma prensibinden gelen bir kozu daha var oynayacak. İdealize bir DAC, sample-and-hold prensibi ile çalışır (buna Non-Return-to-Zero–NRZ de denmekte) ve çıkışını her örneklem periyodunda kendisine gelen değeri yansıtan sabit

bir seviyede tutar. Bu da çıkışta, frekans düzleminde, istenen sinyalin yanı sıra, DAC saat hızına bağlı aralıklarla ve bir sinc fonksiyonu tayf maskesiyle çarpılmış sevilerde imajlar oluşmasına yol açar. Hatta her iki alternatifte de bu imajları bastırmak için filtre kullanmak gerekmekte. Eğer çıkıştaki sinyalin gürültü seviyesinden uzaklığından biraz feragat edebilirsek, mutlaka ilk imajı kullanmak zorunda değiliz. Örneğin eğer hedefimiz 1.500 MHz merkez frekansı olsaydı doğrudan ikinci imajı alıp, diğerlerini filtreleyip kullanabilirdik. Hatta üçüncü imajı kullanarak daha yüksek frekansları da hedefleyebilirdik.

Ancak sorun sample-and-hold kaynaklı sinc maskesi. İmajların gürültü üzerindeki seviyesi hızla düşmekte. İşte bu noktada sahneye çıkan yeni bir teknik var: NRZ sample-and-hold yerine, Return-to-Zero (RTX) salvolar ile sinyal sentezi. RTZ modunu da destekleyen yeni DAC'ların etkin sinc maskesi imajların seviyesini daha yavaş düşürmekte. Bu yöntemle 2 GHz hızında bir DAC kullanarak, üçüncü imajın seçimi ile doğrudan 2 GHz üzerinde (yani DAC örnekleme hızının da üzerinde) bir merkez frekansta sinyali doğrudan DAC çıkışında yaratabiliriz. Elbette istenmeyen imajların filtrelenmesi gerekiyor, ancak filtre pasif devre.

RTC modu RF Mod olarak da geçmekte çünkü analog bir modülatör veya mixer olmadan, sinyali DAC çıkışında doğrudan istenen RF frekansta yaratma yeterliliği sağlamakta. Uzay koşullarına dayanımlı doğrudan RF DAC hızları günümüz teknolojisinde 8 GHz'e erişmiş durumda. Yani bu DAC'lar ile uzay/uydu görev yüklerinde 8 GHz'in üzerinde merkez frekans kullanan doğrudan RF tasarımlar mümkün.

Elbette 8 GHz örneklem hızında çalışan bir DAC'ın sayısal veri arayüzünü sürebilmek için, yüksek hızlı/kapasiteli sayısal işlemci kaynağı gerekli.



YENİ DALGA ŞEKİLLERİ

Teknoloji deyince akla sadece somut/fiziksel öğeler gelmemeli. Son otuz yılın haberleşmede çığır açan unsurlarının önemli bir kısmı tamamen soyut öğeler. Tasarım mimarisi yapılanmaları (bugün çoğu teknik yazıdaki temel terminolojinin dayanağı olan Open Sytem Interconnection–OSI gibi) ve dalga şekilleri de hatırı sayılır etkiye sahipler. Dalga şekli; sayısal verinin, elektromanyetik sinyal ile nasıl temsil edileceğinin/iletileceğinin tam tanımını içeren teknik tanımlamadır. Bu sözlük tanımı, işin uzmanları hariç çoğu teknik personel tarafından göz ardı edilen birçok detayı içeriyor ve çok kritik bilgi birikimini temsil ediyor. Bu birikim arttıkça hem önceden yapılanlar iyileşiyor hem de önceden yapılması/yapılabilmesi hiç düşünülmemiş özellikler sağlanabiliyor.

Uydu veri linkleri (fiziksel seviye, dalga şekilleri) söz konusu olduğunda Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) tarafından yayınlanmış standartlar ön plana çıkmakta. CCSDS'in aktif olduğu farklı teknik alanlar mevcut ve uydu veri linkleri Uydu Veri Bağı Servisi (Space Link Services) teknik alanı altında kalmakta. Bu bağlamda iki yeni standart göze çarpmakta:

- CCSDS 131.2-B-1 "Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications"
- CCSDS 131.21-O-1 "Serially Concatenated Convolutional Codes – Extension (SCCC-X)"
- CCSDS 131.3-B-2 "CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard"
- CCSDS 131.31-O-1 "CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard"

Bu standartlarda kullanılan temel teknikler aslında yeni değiller. 131.3-B-2 (ve ardından gelmekte olan 131.31-O-1) aslında iyi bilinen DVB-S2/S2X dalga şekillerinin uyarlanması. Benzer şekilde, 131.2-B-1 de (ve ardından gelmekte olan 131.21-O-1) ilk sahneye çıkışı 1993 yılına kadar giden Turbo kodları kullanmakta. 131.2-B-1'de Seri Bitiştirilmiş Evrişimsel Kodlama, yani Serially Concatenated Convolutional Code (SCCC) kullanılmakta ve bu sebeple SCCC kısa ismiyle de anılmakta. DVBS2 (yani 131.3-B-2) dahilinde de Düşük Yoğunluklu Eşlik-Denetim, yani Low Density Parity-Check (LDPC) kodlama kullanılmakta. Her iki standart da DVBS2 dahil birçok iletişim dalga şekli standardında kullanılan M-APSK modülasyonu kullanmakta. Her ikisi de modern dalga şekillerinin vazgeçilmezi olan adaptif kodlama ve modülasyon tekniğini içeriyor. Ama CCSDS 401.0-B-29 kapsamında yüksek hızlı telemetri için önerilen ve halen aktif olan birçok uydu veri linki görev yüklerinde kullanılan 4D-8PSK-Trellis Coded Modulation (ve daha uzun geçmişi olan GMSK/OQPSK tabanlı yöntemler) ile karşılaştırıldıklarında kritik kazançlar (daha iyi BER-SNR performansı, daha yüksek spektral verimlilik, daha geniş verimlilik/SNR ödünleşim aralığı, daha düşük ek yük vb.) içermekteler. Yani bu standartlar haberleşme dalga şekli alanında en son teknolojileri uzay veri linki dağarcığına katmaktalar.

Bu CCSDS standartlarına tanımlı dalga şekilleri, CCSDS 401.0-B-29'dan farklı olarak uydu veri linkini, telemetriden farklı ve bağımsız ele almaktalar ve hem birbirleriyle rekabet halindeler hem de her ikisine de rakip olacak yeni dalga şekillerine zemin hazırlamaktalar. CCSDS 131.2-B-1 ve CCSDS 131.3-B-2'in genişletilmiş versiyonları olan CCSDS 131.21-O-1 ve CCSDS 131.31-O-1 bu rekabete açık bir şekilde işaret ediyorlar.

Dalga Şekli	Spektral Etkinlik (bits/sembol)	SNR (dB)	Modülasyon	Kodlama
4D-8PSK-TCM	2, 2.25, 2.5, 2.75	9.75 – 13.4	8PSK (TCM)	Evrişimsel ve Blok (Constellation Mapper)
SCCC	0.71 – 5.39	-0.28 – 21.42	BPSK, QPSK, 8 PSK, 16 APSK, 32 APSK, 64 APSK	SCCC
DVBS2	0.36 – 4.45	-2.35 – 16.05	BPSK, QPSK, 8 PSK, 16 APSK, 32 APSK	LDPC

Ancak elbette bedeli olmayan hiçbir kazanç yok. Yer haberleşme sistemlerinde olduğu gibi uzay/uydu sistemlerinde de bu bedel daha çok işlem gücü ihtiyacı. Hem DVBS2'in kullandığı LDCP, hem de 131.2-B-1'in kullandığı SCCC kodlama, vericide dahi görece yüksek işlem gücü/kapasitesi gerektirmekte. Bu da yer teknolojilerinin uzaya taşınmasındaki gecikmeyi açıklıyor: yerdeki işlem gücünün uzaya taşınmasındaki gecikmeye paralel.

YÜKSEK HIZ UZAY DAYANIMLI FPGA

FPGA, en yoğun ve en ileri teknolojiye sahip programlanabilir cihazdır. Kolay bir şekilde, büyük ve karmaşık sayısal tasarımlar FPGA içerisinde gerçeklenebilirler. FPGA'ler genel olarak yüksek yoğunluklu, yüksek performanslı, hızlı bir şekilde uygulanabilir, gerçekleme maliyeti düşük cihazlardır. FPGA; otomotiv, haberleşme, askeri, uzay alanlarında uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. FPGA'in uzay macerası, ilk olarak 1992'de Jet Ateşleme Laboratuvarı (Pasadena, California, ABD) tarafından birkaç antifuse FPGA'in uzay uygulamalarında kullanılmasını tavsiye eden raporu ile başlamıştır. Bu rapor FPGA'lerin radyasyon dayanımları ile ilgili yayınlanan ilk rapor olabilir ve bu rapordan sonra antifuse tabanlı FPGA'ler uzayda kullanılmaya başlamıştır.

Uzay uygulamalarında FPGA seçimini etkileyen en büyük faktör, FPGA'in çevre koşullarına karşı gösterdiği performanstır. Uzayda maruz kalınan yüksek radyasyon FPGA alt birimlerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Radyasyon dayanımları çok yüksek olan antifuse tabanlı FPGA'ler uzun bir süre uzay uygulamalarında en çok kullanılan FPGA tipi olarak karşımıza çıkmaktadır.

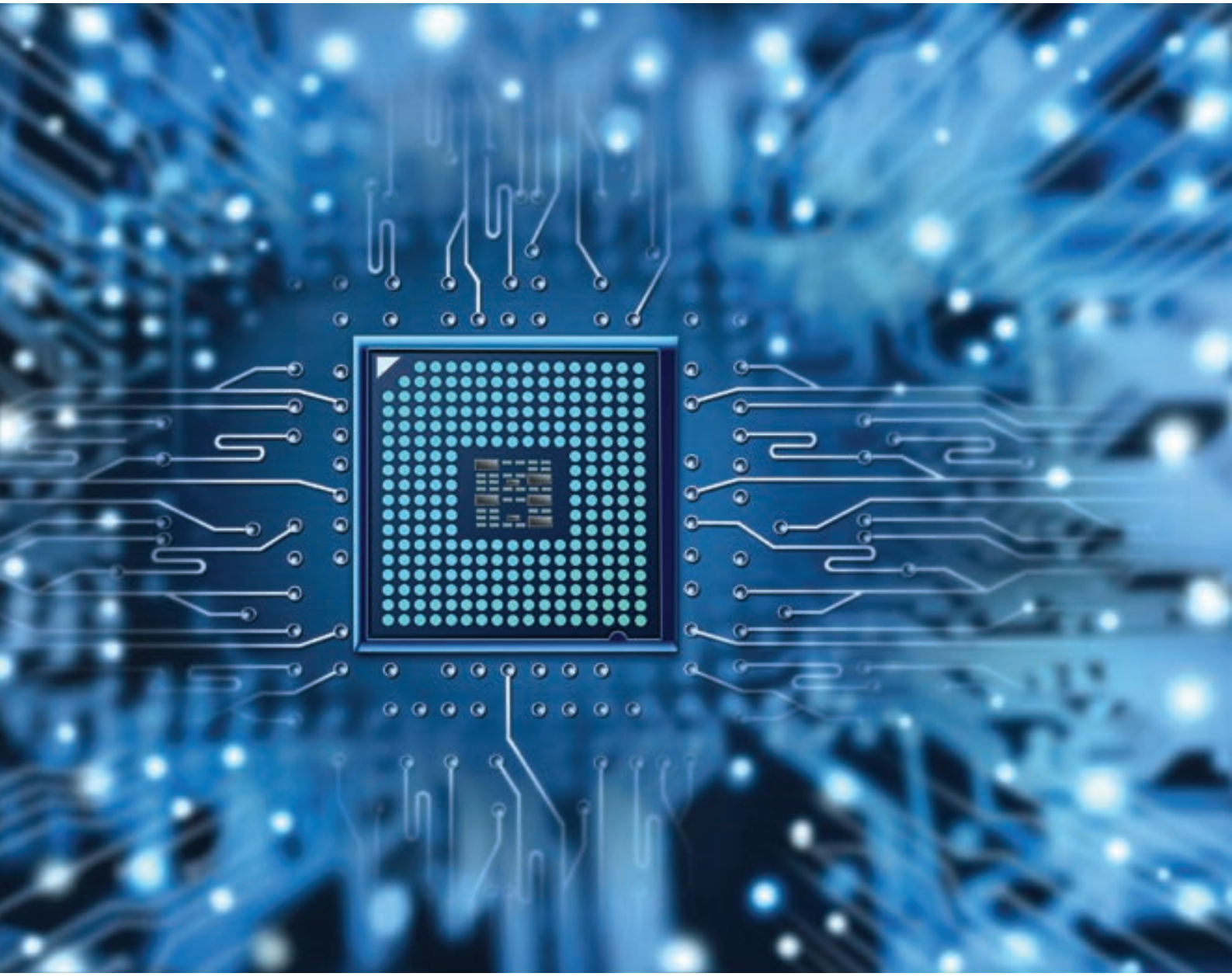
Yeniden programlanmaya elverişli olmaması, dolayısıyla kod geliştirmeye/güncellemeye uygun olamaması ve gelişen teknoloji ile birlikte radyasyon dayanımlarının diğer FPGA tipleri için arttırılması nedeniyle son yıllarda diğer FPGA tipleri de uzay ortamında kullanılmaya başlanmıştır. FPGA cihazı elektriksel olarak programlanabilen ara bağlantılar ve mantıksal modüllerden oluşur. İki hattı birbirine (açık/kapalı) anahtarlama işlevi sayesinde programlanabilme sağlanır. Üç farklı tipte anahtarlama teknolojisi mevcuttur ve bunlar FPGA'in tipini ve belirlemektedir. Piyasadaki FPGA tipleri:

1. Antifuse Tabanlı FPGA
2. SRAM Tabanlı FPGA
3. Flash Tabanlı FPGA

SRAM tabanlı FPGA'lerin her sistem açılışında tekrar yapılandırılmak zorundadır. Bu nedenle sistemde harici bir bellek bulunması gerekir. Flash tabanlı ve antifuse tabanlı FPGA'lerin açılış sırasında tekrar yapılandırılmasına gerek yoktur. SRAM tabanlı FPGA'ler çok hızlı bir şekilde programlanabilir buna karşın flash tabanlı FPGA'ler SRAM tabanlı FPGA'lere göre üç kat daha yavaş programlanabilir. Antifuse FPGA'ler ise sadece bir kez programlanabilir. Antifuse tabanlı FPGA'ler, SEU (Single Event Upset) ve TID (Total ionizing dose) gibi radyasyon etkilerine karşı dayanıklıdır ve hernangi bir bozulma söz konusu değildir. Flash tabanlı FPGA'ler SRAM tabanlı FPGA'lere göre radyasyon konusunda daha dayanıklıdır. Tablo 1'de FGPA teknolojileri karşılaştırmalı bir tablo olarak verilmiştir.

Tablo 1, FPGA teknolojilerinin karşılaştırılması

Anahtarlama	SRAM	Flash	Antifuse
Anahtar kontrolü	Geçici hafıza	Geçici olmayan hafıza	Geçici olmayan hafıza, mekanik bağlantı
Yeniden programlama	Hızlı	Yavaş	Mümkün değil
SEU	Anahtarlamalar SEU'ya karşı çok hassas	Anahtarlamalar SEU'ya karşı hassas değil	SEU'ya karşı dayanıklı



Flash tabanlı FPGA'lerin radyasyon dayanımlarının yüksek olması, yeniden programlanabilir olma özelliği, hızı ve kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda son yıllardaki uzay uygulamalarında ön plana çıkmıştır. Günümüz haberleşme ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek bant genişliği, veri hızı, karmaşık tasarımlar gerekmektedir. Bu ihtiyaçları karşılayabilecek flash tabanlı FPGA'ler seçilirken göz önünde bulundurulan; fiyat, satın alınabilirlik (ihracat lisanslamaları ve temin süresi), FPGA kullanım tarihçesi, tasarım ve üretim kolaylığı, üretici desteği, COTS versiyonlarının satın alınabilmesi (prototiplenebilirlik), kod geliştirme ortamlarının uygunluğu, radyasyon dayanımları, güç tüketimi ve FPGA'in yeniden programlanma altyapısı gibi değişkenlere bakılarak değerlendirilir.

SONUÇ

Yüksek hızlı doğrudan RF DAC, yüksek hızlı FPGA ve yeni dalga şekilleri ile günümüz teknolojisi 300 MHz üstü bir frekansı bandını doğrudan kullanabilen ve uygun koşullar altında 1 Gbps üzerinde veri hızı sağlayan tasarımları destekler durumda. Örneğin, TESAT'ın Integrated Data Downlink Transmitter – IDT cihazı bu teknolojileri kullanıma almış görünüyor. ASELSAN'da da X-Bant Aşağı Hat Veri İndirme Alt Sistemi Verici Birimi Geliştirme iç geliştirme projesi kapsamında bu teknolojileri kullanan tasarım çalışması devam etmekte.

UYDU HABERLEŞMESİNDE STABİLİZE ANTENLER

Emre AYNAGÖZ
Bengi DEMİRÇİVİ
İlim KARAÇAL

STABİLİZE ANTENLER

Bilgi alışverişi gün geçtikçe artarken geniş bant veri iletişimine talep de buna bağlı olarak artıyor. Artık hepimiz iletişim olmadığında eksiklik hissediyoruz. Alıştığımız cep telefonlarının kapsama alanlarının sınırlı oluşu, profesyonel alanlarda ise telsiz sistemlerinin yeterli bant genişliğini sağlayamaması gibi sebepler günlük kullanımda talebi uydu tabanlı sistemlere yöneltiyor. Bu sistemler yüksek kapasite, hızlı veri aktarımı, görece düşük maliyetleri son kullanıcı için mümkün kılarken kapsama alanında ise eşi görülmemiş seviyelere ulaşıyor.

Bu sistemlerin yüksek kazançlı yönlü anten kullanım ihtiyacı olduğundan, antenlerin uydulara yüksek hassasiyetle yönlendirilmesi dezavantaj olarak karşımıza çıkıyor. Ek olarak, bazı frekanslarda yer alan polarizasyon ayrımı sebebiyle antenin sadece yükseliş ve yanca açılarında uyduyu görmesi yeterli olmadığından antenin bakış hattı ekseninde dönüklüğü de önemli hale geliyor. Sabit duran sistemlerde bu ayarlar bir kerelik kolaylıkla yapılabilirken hareketli platformlarda anteni sürekli düzeltme ihtiyacı bu sistemleri kullanılamaz hale getiriyor. İşte stabilize antenler bu noktada devreye giriyor.

PLATFORMLAR VE ETKİLERİ

Stabilize antenler, dar bakış açısı olan yönlü antenlerin hareketli platformlarda kullanılmasına olanak sağlıyor dedik. Peki nedir bu platformlar? Beklenmeyen dış etkilere maruz kalan herhangi bir araç. Gemiler, uçaklar, helikopterler, kara araçları, veri iletişimi ihtiyacı olan herhangi bir platform bu kapsama giriyor. Tabii ki üzerinde bulunduğu platforma göre stabilize antenin farklı ihtiyaçları da doğabiliyor. Bir gemi ve arazi aracının yol alırken yaşadığı salınımlar birbirinden çok farklı frekans ve seviyelerde gerçekleşiyor. Bazı antenlerin radom adı verilen koruyucu kabuk içinde çalışması fonksiyonları açısından gerekli iken, bazı antenler bu koruyuculuğa ihtiyaç duymadan hedefe direkt erişim için radomsuz olmayı tercih edebiliyor. Ayrıca platformlar antenin boyutlarını da etkiliyor. Geniş alana sahip gemi gibi bir platformun yüksek bant genişliği ihtiyacı olabiliyor ve bu durumda daha çok eksene sahip, daha büyük ve güçlü bir anten talep edebilirken, dört kişilik kara aracı gibi küçük ama veri ihtiyacı da az olan bir platform için küçük bir anten iş görebiliyor.

HAREKET EKSENLERİ

Hareket eksenleri stabilize antenin çalışmasına nasıl etki ediyor? Temel olarak, bir antenin uyduya yönelmesi için iki eksen ve bu eksenlerde açısal hareket kabiliyeti olması yeterli oluyor. Bunu dünya üzerinde herhangi bir konumu anlatmak için kullandığımız enlem-boylam bilgisi gibi düşünebiliriz.

Bu eksenler farklı sırayla dizilebileceği gibi; farklı kombinasyonlarda da seçilebiliyor. Fakat bazı durumlarda, anten sistemi ekvator gibi bazı konumlara geldiğinde, platformun hareketlerine karşı anteni stabilize etmek için yapılacak hareketlerin çok yüksek hızlarda olması gerekebiliyor. Hatta bu hız konuma göre sonsuzluğa doğru uzanıyor. Bu durumda bahsettiğimiz belirli konumu oluşturan bölge verimli bir iletişime sahip olamıyor ve kapsama alanı dışında kalıyor. Böyle durumlarda üçüncü bir eksenin eklenmesi kapsama alanının artmasını sağlıyor.

Ek olarak, bazı frekanslarda polarizasyon ekseninin varlığı sisteme ek bir özellik getirerek, yapıyı karmaşıklaştırıyor ancak yüksek verimli olmasını sağlayabiliyor.

MİMARİ YAKLAŞIM

Yukarıda bahsettiğimiz eksenlerin farklı sayıda, farklı kombinasyonda ve farklı sırada dizilimi farklı sonuçlar doğuruyor. En basit dizilim olan yanca-yükseliş yapısında ilk eksen olarak ufuk çizgisini tarayan yanca ekseni ve üzerinde buna dik olarak yer alan yükseliş ekseni bulunuyor. Bu basit yapı hemen her yerde başarıyla çalışırken yüksek yükseliş değerlerinde sorun yaşayabiliyor. Bu sorunu gidermek amacıyla eklenebilen çapraz yükseliş üçüncü ekseni ile yüksek yükseliş açılarında performans kaybı olmadan çalışabiliyor. Bu eksen sıralamada farklı yerlerde bulunabiliyor.

Ayrıca, yanca-çapraz yükseliş-yükseliş sıralamasında çapraz yükseliş bağlantı açısını çok yükselterek pratikte tilt-yanca-yükseliş denen kombinasyona da geçilebiliyor. Her üç dizilimde de kendine göre avantajlar ve dezavantajlar bulunduğundan uygulamaya göre karar vererek ve hangi kazanımların elde edileceği göz önüne alınarak optimum çözüme ulaşılmaya çalışılıyor.

MALZEME SEÇİMİ VE ETKİLERİ

Her yapıda olduğu gibi stabilize antenlerde de çeşitli malzeme alternatifleri kullanılabiliyor. Çeşitli metallerin kullanım imkânı olduğu gibi hafiflik ve mukavemet gereken durumlarda kompozit malzemeler de kendine yer buluyor.

Radomlarda ise durum farklı. Bu yapı hem dış çevre koşullarından sistemi korumakla hem de çalışma frekansında radyo dalgalarını geçirmekle sorumlu olduğu için özel malzeme kullanımını gerektiriyor. En başlıca özelliği, iletken olmayan bir malzeme ile üretilmesi gerekliliği. Tüm sistemi çevre koşullarından koruma görevini de üstlendiği için rüzgâr yüküne, sıcaklık değişimlerine ve bozucu etkilere karşı da dayanıklı olmalı.

Bunların hepsi malzeme bilimi konusunda Ar-Ge gereksinimi olarak karşımıza çıkıyor. Farklı frekanslarda çalışan stabilize anten sistemlerinde RF geçirgenliğin parametreleri de değişiyor ve bu da farklı alt malzemelerle çalışmayı gerektiriyor. Bu çalışma, farklı ekiplerin malzemeleri kendi açısından değerlendirerek onay vermesine kadar sürüyor.

ÇALIŞMA SENARYOLARI

Dünya üzerinde bir yerde bulunan anten terminalinin uyduyu görebilmesi için neler gerekiyor ve nasıl hesaplanıyor?

Öncelikle, antenin uyduyu görebileceği yöne bakabilmesi gerekiyor. Bunu yapabilmenin farklı yöntemleri bulunuyor. Arama ya da tarama olarak adlandırabileceğimiz yöntemde, anten mekanik hareketler ile uydu referans sinyalini bulmaya çalışabiliyor. Ancak, anten reflektör boyutuna bağlı olarak değişse de uydu referans sinyali ilgili eksenlerde dar bir aralıkta görülebiliyor. Bu da uzun süren arama hareketlerine ve anten sistemlerinin hareketli platformlarda kullanıldığı da göz önüne alındığında sonuçlanamayan arama hareketlerine sebep olabiliyor. Aramada kullanılan parametrelerin azaltılması ile bu süreler kısaltılabiliyor veya başarıya ulaşması sağlanabiliyor. Örneğin terminalin bulunduğu GPS koordinatları girilebiliyor veya eksenlere tarama aralığı belirlenebiliyor.

Anten kör bakış ile başlayıp aramak yerine, bakış hattının eksen konumları için yönelim hesaplamasını yaparak da uyduya yönlenebilir. Öncelikle yönelim vektörünün hesaplanması ve bu hesap sonucunda kullanılan anten eksen konfigürasyonuna göre ilgili eksenlerin yönelim açı değerlerinin elde edilmesi gerekiyor. Bu da antenin ve uydunun GPS konumları ile algılayıcı verileri kullanılarak matematiksel işlemler sonucunda elde edilebiliyor. Böylece anten bakış hattı hızlıca ve etkin bir şekilde uyduya yönlenebiliyor.

TAKİP YAKLAŞIMLARI

Stabilize antenler dar hüzmeye sahip oldukları için bakış hatlarının hatalı yönlendirilmesi performanslarını büyük oranda etkiliyor. Ayrıca haberleşme uydularının uzaydaki yerleşimleri oldukça yakın olduğu için antenlerin hatalı yönelimleri diğer uyduların haberleşme performanslarını olumsuz etkileyebiliyor. Bu sebeple, stabilize antenlerin en temel ve olmazsa olmaz özelliği yüksek hassasiyet ile uyduya bakabilmek.

Yüksek performans beklentisi olan bu sistemlerin aynı zamanda maliyet etkin, kompakt ve mobil bir sistem olması gerekiyor. Tasarlanan hareket kontrolcüsünün performansı ne kadar yüksek de olsa anten bakış hattının uyduyu iyi görebilmesini sağlamak için yeterli olmuyor. Yönelim hassasiyetini etkileyebilecek faktörler arasında kullanılan algılayıcıların hassasiyeti ve gürültü seviyeleri, mekanik parçaların boyutsal ve

montaj hizalama hataları yer alıyor. Bu sorunun çözümü ve mükemmele yakın yönelim için uyduya geri beslemeli yönelim yapılması gerekiyor. Uydu tarafından yayını yapılan referans sinyalinin geri besleme döngülerinde kullanılarak, uyduya bakışın iyileştirilmesi takip olarak adlandırılıyor. Uydu takibi, yazılım ya da donanım tabanlı yapılabiliyor. Donanım tabanlı takip ile daha hızlı ve çok daha hassas yönelim yapılabiliyor. Ancak, bu takip yöntemi radyo frekansı algılama hattının karmaşıklaşmasına, büyümesine ve bununla birlikte ağırlaşıp maliyet etkinliğini kaybeden çözümler ortaya çıkmasına sebep oluyor. Bu yüzden, bu yöntem sabit yer antenleri için daha uygun ve tercih sebebi olmakla birlikte, stabilize anten gibi mobil sistemler için dezavantajlı oluyor. Algoritma tabanlı sinyal arttırım teknikleri ile uydu takibinin yapılması özellikle son yıllarda öne çıkan yöntem olarak kullanılıyor. Bu algoritmalar sayesinde uydu yönelim hassasiyeti yüksek oranda attırılabiliyor.

ETKİLEŞİMDE BULUNULAN BİRİMLER

Stabilize antenler çalışma senaryoları itibarıyla pek çok yan cihazla da bir arada çalışmalı. Modem, Low Noise Block Converter (LNB), Block Up Converter (BUC), İşaret Sinyali Alıcı gibi birimlerin birbirleri ve stabilize antenle uyumlu çalışması sistem performansını arttırıyor. Bu sebeple, bu ilişkiler en baştan göz önünde bulundurularak sistem kurgulanıyor.

SONUÇ

Uydu iletişiminin gün geçtikçe artmasıyla bu sistemleri hareketli platformlarda kullanma arzusu artıyor. Bunun sonucu olarak performans beklentisi de artıyor. Bu sebeple, pazardan daha fazla pay almak için ürünlerin daha hızlı, daha verimli, daha hafif ve küçük, daha ucuz olması hedefleniyor. ASELSAN da gittikçe genişleyen ürün yelpazesi ile bu pazarda kendine yer buluyor.

UYDU HABERLEŞMESİNDE DİZİ ANTEN KULLANIMI

Alper YALIM
Mustafa TEKİN
Kenan ÇAPRAZ
Necati Ulaş KILIÇARSLAN

Dizi antenler, birden fazla tekil anten elemanının birlikte kullanımıyla anten kazancını artırmayı amaçlayan, kazancı artırırken anten hüzmesi üzerinde kontrol kabiliyeti de kazandıran tasarım çözümleridir.

Tarihte ilk dizi örneklerinden biri 1905 yılında Karl Ferdinand Braun tarafından tasarlanan üç adet monopol anten içeren bir anten dizisi ile ortaya konulmuştur. Üç adet anten elemanının eşit uzaklıkta ve eşkenar üçgenin köşelerinde olacak biçimde yerleştirilmesi sonucunda elde edilen anten dizisi ile anten hüzmesinin bazı yönlerde genliğinin artırıldığı gösterilmiştir. Söz konusu anten dizisinin ana hüzmesinin yönlendirilmesi ise dizideki anten elemanlarının besleme hat uzunluklarının manuel bir biçimde değiştirilmesi ile gerçekleşmiştir.

Yarı iletken teknolojisinde yaşanan gelişmeler, dizi antenlerin besleme mimarisinde yer alan güç yükselteç, faz kaydırıcı ve diğer elemanların hem tasarımını hem de üretimini kolaylaştırmıştır. 2000'li yılların başından itibaren fazlı dizi anteni ile bütünleşik hassas üretim gerektiren sistemlerin sayısında yaşanan artış dikkat çekmektedir. Dizi antenlerin radarlar gibi sivil ve askeri kullanımın yanı sıra beşinci nesil haberleşme ve uydu haberleşmesi alanlarında da kullanımında artış görülmüştür.

Günümüz haberleşme sektöründe kapsama ve veri hızı ihtiyaçlarının artışı, gelişen teknoloji ile birlikte uydu haberleşmesinin önemini her geçen gün artırmaktadır. Bu sürecin doğal bir sonucu olarak da dünyamızın çevresindeki yörüngeler hızla dolmaktadır. Bu kaynaktan faydalanmak üzere sabit ve hareketli kullanıcı terminalleri büyük bir hızla geliştirilmektedir. Terminal tasarımcıları, daha rekabetçi olmak adına daha hafif, daha az güç tüketen ya da daha kabiliyetli ürünler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu noktada daha ince, düzlemsel veya yüzey uyumlu dizi anten çözümleri, klasik reflektör antenler yerine kullanılmaya çok uygun çözümler olarak ortaya çıkmaktadır.

Dizi antenin reflektör antenlere kıyasla avantajlarından ve dezavantajlarından bağımsız olarak bazı uygulamalarda dizi anten çözümleri, uydu haberleşmesinin kullanılacağı platform veya uygulama alanı gereği bir zorunluluğa dönüşmektedir. Örneğin bir jet uçağında uydu haberleşmesi için fazlı dizi anten kullanımı, platformun hızı ve manevra kabiliyeti düşünüldüğünde elektronik hüzme yönlendirme özelliği ile en uygun çözüm haline gelmektedir. Diğer bir örnekte bir kara aracının sadece tavan kısmı kullanılarak kara aracına dışarıdan anlaşılamayacak şekilde ve rüzgâr yükünü artırmadan uydu haberleşme kabiliyeti kazandırılabilir.

Birden fazla kaynakla birden fazla hüzme üzerinden zaman paylaşımlı veya eş zamanlı bağlantı kurulması gerektiği uygulamalarda da yine dizi anten kullanmak en mantıklı çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uydu haberleşmesinde dizi anten kullanımı ifadesiyle akıllara ilk olarak faz kaydırmalı düzlemsel dizi antenler gelse bile dizi antenler, iletim dizileri veya yansıtıcı diziler olarak ya da bir reflektör antenin besleme anteni olarak da karşımıza çıkabilmektedir. NASA'nın araştırma merkezlerinden JPL (Jet Propulsion Lab.), Entegre Güneş Paneli ve Yansıtıcı Dizi Anteni (ISARA) görevi kapsamında küp uydu için aşağı bağlantı veri hızlarını, mevcut temel hız olan 9,6 kbps (UHF) değerinden 100 Mbps (Ka-Bant) üzerine çıkaran bir yansıtıcı dizi antenini (reflect array) kullanmıştır.

Şekil 1: ISARA 3U CubeSat ve Solar Panel

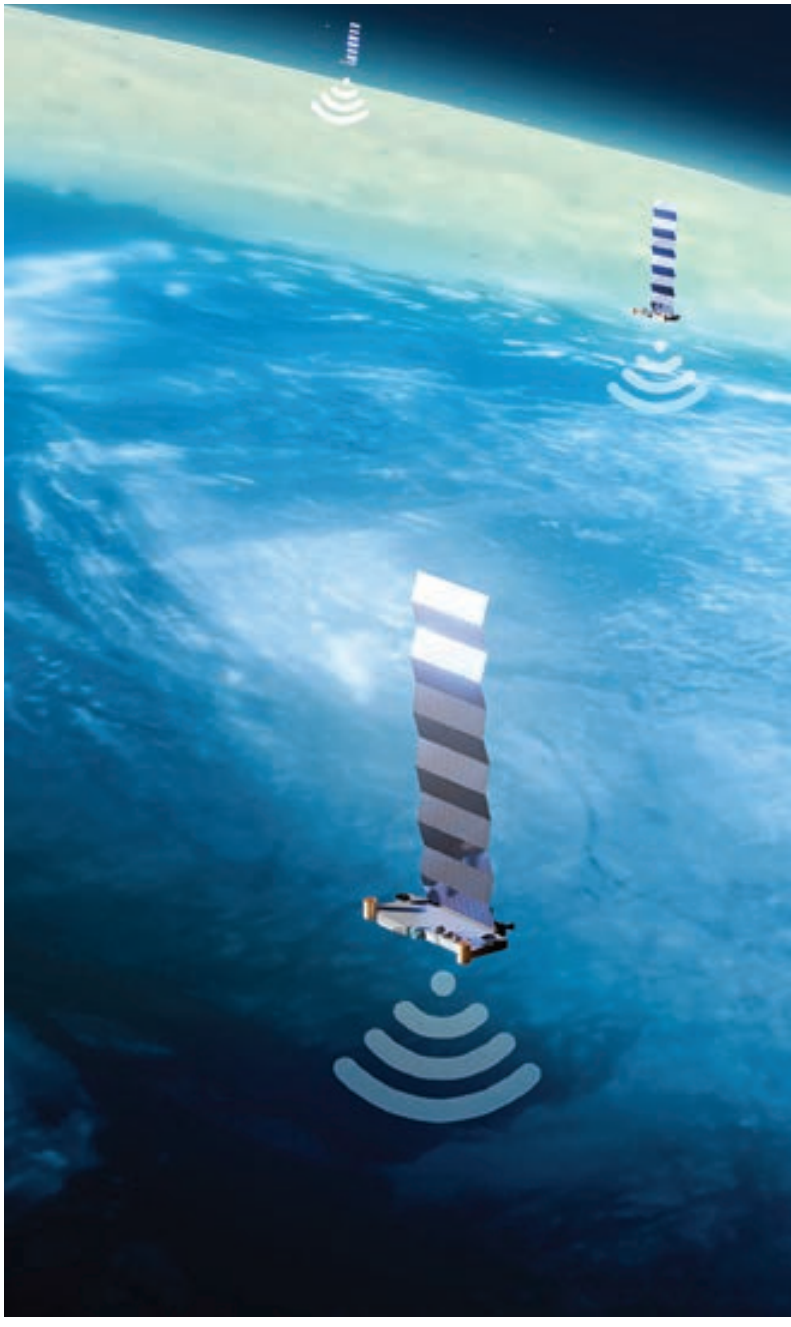
ISARA görevi kapsamındaki yansıtıcı dizi anten, üzerlerinde baskı devre olarak yama antenler bulunan üç düzlemsel panelden oluşmaktadır. Yansıtıcı dizi anten, parabolik bir reflektörün yaptığı gibi, besleme anteninin aydınlatmasının faz dağılımının uzak alanda yapıcı etkiyle birleşeceği şekilde ayarlanmasını sağlar. Bununla birlikte, parabolik bir çanaktan farklı olarak, yansıtıcı dizi panelleri düzlemsel ve katlanabilir yapıdadır. Yansıtıcı dizi anten panelinin arka tarafına güneş pilleri eklenmiştir. Anten/güneş paneli aksamı biraz daha kalın hale gelse bile aksi takdirde boş bırakılacak olan fırlatma rayları arasındaki ölü boşluk kullanılmış olur. Anten ve güneş pillerinin bu kombinasyonu, küp uydu hacminin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak görüntüleme sistemleri gibi faydalı yükler için alan imkânı oluşturmaktadır.

ISARA teknolojisinin ilk önemli uygulaması ise Kasım 2018'de InSight uzay aracıyla birlikte Mars'a uçtuğu ilk gezegenler arası küp uydu görevi olan MarCO misyonudur. MarCO misyonu, InSight uzay aracının Kızıl Gezegen'e inişinde dünya ile gerçek zamanlı haberleşmesini sağlamayı hedeflemiştir ve haberleşme ISARA'da geliştirilen katlanmış panel yansıtıcı dizi anten teknolojisi ile mümkün olmuştur.

Dizi antenlerin kullanımının arttığı alanlardan birisi de alçak yörüngeden (LEO) geniş bantlı veri hizmeti veren takım uydu sistemleridir. Bu uydular, yer senkron (GEO) yörüngede olan uydulara göre daha düşük irtifada bulundukları için gecikme ve yayılım kayıpları daha azdır. Bu nedenle de son yıllarda alçak yörünge uydularının kullanımı artmıştır. Önümüzdeki yıllarda çok hızlı olarak sayıları binleri bulan alçak yörünge uydu sistemleri görebileceğiz.

Alçak yörüngede bir uydunun kapsama alanı irtifasına bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık olarak 3.000 km çapındadır. Dünya üzerinde herhangi bir yerde en fazla on dakika mertebesinde kapsama alanı içerisinde kalır. Bundan dolayı, tam zamanlı kapsama için takım uydulara ihtiyaç duyulur. Bir uydu batarken diğer bir uydu doğar. Yer terminalinde bulunan anten, ilk uyduyu batana kadar takip eder ve sonra diğer uyduyu doğarken yakalar. Bu uydulara günümüzde en iyi örnek Starlink, Oneweb ve GPS uydu sistemleridir.

Starlink uyduları, 2019 yılında SpaceX firması ile fırlatılmaya başlanmış ve günümüzde üç bin adetin üzerinde uydu alçak yörüngeye yerleştirilmiştir. Fırlatılan uydular ile Avrupa ve Amerika'nın çoğunda hizmet verilmeye başlanmıştır. Ülkemizde de 2023 yılında hizmet verilmesi planlanmaktadır. Şu an için bile anlık olarak ülkemiz üzerinden on civarında uydu geçmektedir. Uyduların kontrolü için kullanılan yer istasyonlarından birisi de Gebze'de Bilişim Vadisi içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 2: Alçak Yörünge Uydu Takımı

Her bir uydu üzerinde dört adet faz kaydırmalı dizi anten kullanılmaktadır. Bu antenler kullanılarak yer terminalleri ile uydu telemetri ve telekomut haberleşmesi yanında 5G ve uçaklar için de haberleşme sağlanması planlanmaktadır.

Yer terminallerinin de Starlink firması tarafından tasarımı ve üretimi yapılmaktadır. Bu terminallerde kullanılan antenler faz kaydırmalı dizi antenlerdir. Uyduların takibi mekanik yerine elektronik olarak yapılmaktadır. Terminal istenilen yere çok hızlı kurulabilir ve hemen kullanılabilir.

Elektrik olması durumunda dünyanın herhangi bir yerinde altyapıya ihtiyaç olmadan 100 Mbps üzerinde yükleme ve 10 Mbps civarında indirme yapılabilir.

Günümüz dünyasında bazı sektörlerde uzaktan çalışma uygulamaları giderek artmaktadır. Yazı kapsamında bahsedilen teknolojinin yaygınlaşmasıyla uzaktan çalışacak bir çalışanın, isterse tertemiz havası olan bir yaylada ya da sakin bir deniz kenarında sadece bir uydu terminali ve dizüstü bilgisayarla çalışması mümkün olacaktır.

UZAY TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ

Şahabeddin KUTLU
Esra Zeynep ŞENEL
Birol KESKİN

Nesnelerin interneti (Internet of Things), bilgi üretebilen ve internet üzerinden bunu paylaşabilen cihazları, mekanik ve dijital makineleri, nesneleri, insanları birbirine bağlamamızı sağlayan bir köprüdür. Bu teknoloji, nesnelerin herhangi bir insan müdahalesine gerek olmaksızın birbirleriyle ve merkezi kontrol mekanizmalarıyla veri paylaşımı yapmalarını mümkün kılmaktadır.

NESNELERİN İNTERNETİ TARİHİ

Temeli 1980'lerdeki akıllı cihazlar konseptine kadar uzansa da Kevin Ashton'ın 1999'daki bir konferans konuşmasında "Internet for Things" ifadesini kullanması nesnelerin interneti için milat olarak kabul edilmektedir. Kevin Ashton, RFID kablosuz bağlantı teknolojisi kullanılarak nesnelerin uzaktan yönetilebileceği önerisini getirmiştir. Yalnızca bir yıl sonra, LG firması LAN (Local Area Network) arayüzü bulunan ve bu şekilde internet üzerinden yönetilebilecek bir buzdolabı üretmiştir. 2000'li yıllarla birlikte internetin gelişimi ve yaygınlaşmasıyla, nesnelerin interneti de çığ gibi büyümeye başlamıştır.

NESNELERİN İNTERNETİ MİMARİSİ, BİLEŞENLERİ

Nesnelerin interneti sisteminde temel olarak üç bileşen bulunmaktadır:

- Veriyi toplayan cihazlar,
- Merkezi işlem birimi,
- Toplanan verilerle ne işlem yapılacağına karar veren yazılım.

Nesnelerin internetindeki temel fikir oldukça basittir: veriyi topla, kablolu ya da kablosuz bağlantı ile daha güçlü bir birime aktar, verileri işle, değerlendir ve karar ver.

Veri Toplama

Verinin toplanacağı nesne, yoldaki bir araç, üretim hattındaki bir makine, kolumuzdaki akıllı saat, evin bir odası, kilitli bir kapı, insan vücudu ya da bir parçası olabilir. Nesneden veriyi toplayan ve onunla etkileşimde bulunan entegre cihaz ise bir sensör, anahtar ya da bir yazılım parçasıdır. Entegre cihaz ve nesnenin oluşturduğu ikili, Nesnelerin İnterneti Cihazı olarak adlandırılmaktadır.

Veri Aktarımı

Nesnelerin interneti cihazı, topladığı veriyi üzerinde depolayabileceği gibi, çoğunlukla bekletmeden merkezi işlem birimine göndermektedir.

Veri aktarımı genellikle kablosuz haberleşme ile yapılmaktadır. Kablosuz haberleşme için birçok seçenek bulunmakta olup seçilecek olan protokol ya da yöntem, cihazın tipine, bulunduğu/kullanıldığı ortama, verinin miktarına ve verinin tipine göre değişebilmektedir.

Nesnelerin interneti için kullanılan başlıca kablosuz haberleşme protokol ve yöntemleri aşağıda verilmektedir:

- **Bluetooth:** Kısa mesafelerde ve düşük güç tüketimi gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Bluetooth çoğunlukla akıllı telefonlar, giyilebilir cihazlar, USB sensör cihazları ve benzerlerinde kullanılmaktadır.

- **ZigBee:** Bluetooth benzeri uygulamalarda kullanılmakta olup temel farkı daha uzun mesafeler için ve yerel alan ağ için geliştirilmiş olmasıdır.
- **RFID (Radio Frequency ID):** RFID, elektromanyetik dalgaları kullanarak çok kısa mesafelerde (1-10 cm) haberleşme için kullanılmaktadır. RFID okuyucu cihaz sorgulama yaptığı zaman, nesne kendisine ait olan seri numarasını (tag) cevap olarak göndermektedir. Örneğin, bu seri numarası veri tabanı üzerinde kontrol edilerek envanter takibi yapılabilmektedir.
- **NFC (Near-Field Communications):** Temeli RFID teknolojisine dayanan NFC haberleşmesi

benzer şekilde çok kısa mesafelerde (0-10 cm) haberleşme için kullanılmaktadır. Mobil cüzdan, mobil ödeme, erişim kontrolü, elektronik biletleme gibi daha karmaşık sistemler için kullanılmaktadır.

- **LP-WAN (Low Power–Wireless Area Network):** Düşük güçle uzak mesafe haberleşmesi amacıyla kullanılmaktadır. Batarya ile çalışan nesnelerde kullanılmak üzere, yirmi yıla kadar batarya ömrünün hedeflendiği bir haberleşme protokolüdür. En başlıca örnekleri, LoRa (Long Range) ve Sigfox teknolojileridir.
- **Wi-Fi (Wireless Fidelity):** İnternet dünyasında en yaygın kullanılan kablosuz haberleşme teknolojisi olmasına rağmen güç tüketiminin yüksek olması sebebiyle nesnelerin internetinde daha az kullanılmaktadır. Genellikle, güç şebekesine bağlanabilen cihazlarda tercih edilmektedir.

Veri İşleme, Değerlendirme, Analiz

Nesnelerden toplanan veriler, merkezi işlem birimine gönderilmektedir. Nesnelerin interneti dünyasında verinin toplandığı ve işlendiği yer bulut olarak nitelendirilmektedir. Merkezi işlem biriminin yer aldığı bulut, gerçek anlamda bir bulut servis sağlayıcısı olabileceği gibi bir sunucu, bir bilgisayar hatta bir akıllı telefon da olabilmektedir.

Veri işleme, değerlendirme ve analizi, odamızın sıcaklığının kontrolü olabileceği gibi, trafikte tehlikeli bir kazayı tespit etmek üzere görüntü işleme yeteneğine sahip bir yapay zekâ da olabilir.

UZAY TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ

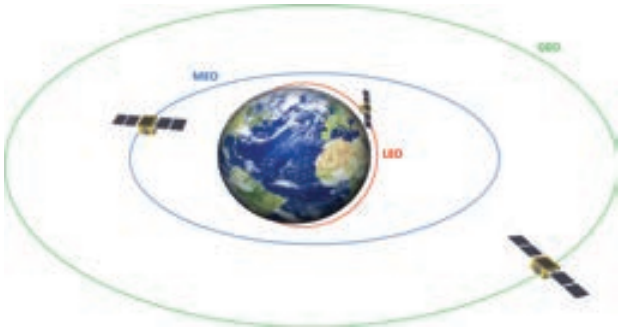
İnternetin gelişmesi ve artan veri hızı ihtiyacı sebebiyle, bağlantı hızları sürekli artmış ve karasal bağlantılar yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, halen dünya üzerinde internetin ulaştırılamadığı çok geniş alanlar bulunmaktadır. Buralar için ilk tercih uydu haberleşmesi olmaktadır.

Nesnelerin interneti dünyasında uzay uygulamaları, toplanan verinin merkezi işlem birimine aktarılmasında kullanılmaktadır.

Uydular temel olarak üç farklı yörüngede çalışmaktadır:

- LEO (Low Earth Orbit) Yörünge.
- MEO (Medium Earth Orbit) Yörünge.
- GEO (Geostationary Earth Orbit) Yörünge.

Haberleşme ve televizyon yayını amacıyla kullanılan GEO uydular için düzenleyici kurallar getirilmiş olup



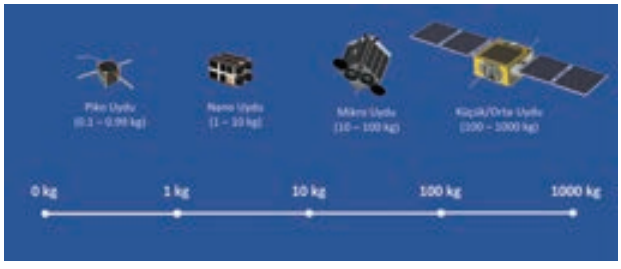
bu da yörüngeye yerleştirilebilecek uydu sayısını oldukça sınırlamıştır. Bu sebeple, LEO gibi yeni yörünge arayışlarına girilmiştir.

LEO yörüngeye, çok daha düşük maliyetlerle uydu yerleştirilebilmesi ve sinyal gecikmesinin milisaniyeler mertebesinde olması, nesnelerin interneti uygulamaları için LEO yörünge kullanımı yaygınlaşmasını sağlamıştır.

LEO yörüngedeki bir uydu dünyanın etrafındaki bir turunu yaklaşık doksan dakikada tamamlamakta ve bir gün boyunca dünya etrafında 14-15 tur atmaktadır. Dünya üzerindeki herhangi bir lokasyondan günde 2-5 kez ve 5-10 dakika süreyle geçmektedir. Bu sebeple, gerçek zamanlı bir internet hizmeti verebilmek için uzayda çok daha fazla sayıda uydu olması ve çoklu uydu takımı şeklinde yerleştirilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

Çoklu takım uydular, yörüngede mümkün mertebe eşit aralıklarla yerleştirilerek, tüm dünyanın kapsanması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, uydular arası haberleşme bağlantısı da kurulmaktadır. Yörüngedeki uydular ağ (mesh) yapısında çalışarak, uydudan uyduya sinyali aktararak uçtan uca sinyal gecikmesi minimuma indirilebilmektedir

Çoklu takım uydular sağladıkları veri hızına göre iki gruba ayrılabilir; düşük veri hızı ve yüksek veri hızı sağlayanlar.



Düşük veri hızı sağlayan takım uydular, piko ve nano uydu sınıfında yer almaktadır. Kullanılan frekans bandına göre 1 kbps'tan birkaç Mbps'a kadar veri hızı elde edilebilmektedir. VHF ve UHF bandı ile kbps'lar, S-bant ve X-bantları ile Mbps'lara ulaşılabilmektedir. Piko ve nano uydu sınıfında, en önemli örnekler Swarm ve Lacuna takım uydularıdır. Swarm firması, yaklaşık 250 gr ağırlığında, yüz kırkın üzerinde nano uydu fırlatmıştır. VHF bandını kullanmakta olup 1 kbps veri hızı sağlamaktadır.

Yüksek veri hızı sağlayan takım uydular ise küçük uydu (small satellite) sınıfında yer almaktadır. Bu kategoride en önemli örnekler Starlink (SpaceX), OneWeb ve Kuiper (Amazon) takım uydularıdır. Bu kategoride öncülük eden bu üç sistem çok ciddi bir rekabet ve pazar yarışında yer almakta olup üç-dört binli sayılarla uydu takımları fırlatmayı planlamaktadırlar. Yüksek veri hızı hedefleyen bu sistemler, 50-500 Mbps veri hızlarını sağlamakta, Ku-Bant ve Ka-Bant frekans bantlarını kullanmaktadır.

Yüksek veri hızı sağlayan sistemler, yer tarafında görece daha büyük anten ve RF cihazlara, yüksek çıkış gücü sebebiyle de şebekeden beslenmeye gerek duymaktadır. Düşük veri hızlı sistemler ise tersine daha düşük çıkış gücü, daha küçük anten ve RF cihazlarla çalışabildiği için batarya ile beslenebilmektedirler.

Nesnelerin interneti mimarisinde, nesne ile uydu doğrudan haberleşebileceği gibi aracı bir birim (ağ geçidi) üzerinden de haberleşebilmektedir. Ağ geçidi, GSM şebekesindeki baz istasyonu gibi kendisine bağlı bulunan nesnelerden veriyi toplamakta ve uydu üzerinden merkezi işlem birimine göndermektedir.

UZAY TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ UYGULAMALARI

Uzay tabanlı nesnelerin interneti, iklim, tarım ve hayvancılık, denizcilik, taşımacılık, sağlık gibi birçok alana uygulanabilir.

Baraj doluluk oranlarının kontrolü ve olası kuraklık öncesi gerekli önlemlerinin alınması amacıyla kullanılabilir. Yerleştirilecek sensörlerle, barajları besleyen akarsu ve derelerin akım rejimleri, su havzalarının durumu sürekli olarak izlenebilir.

Büyük ölçekli tarımcılıkta, tarım arazilerine yerleştirilen sensörler ile sıcaklık, yağış/nem, toprağın mineral kalitesi gibi parametre verileri toplanabilir. Çiftçilerin toprağın kalitesinden, hava koşullarındaki olası değişikliklerden önceden haberdar olması sağlanabilir.

Geniş bir alana yayılmış hayvancılık faaliyetlerinde, hayvan sürülerinin canlı takibi ve coğrafi sınırlama için kullanılabilir. Hayvanlara bağlanacak sensörlerle, hayvanların sadece konumunun değil sağlık durumlarının da takip edilmesi sağlanabilir.

Orman yangınları, özellikle son yıllarda hem ülkemizde hem de dünyada yaşanan felaketlerin başında geliyor. Yalnızca canlıların hayatlarını tehdit etmekle kalmayıp, sera gazı salınımı ve iklim krizi gibi konularda da negatif etkisi bulunmaktadır. Erişimin zor olduğu ormanlık alanlara yerleştirilen sensörlerle, rüzgâr hızı, toprak nemi ve havada karbondioksit/karbon monoksit yoğunluğu gibi veriler gerçek zamanlı olarak toplanır ve bu afet henüz ölümcül boyutlara ulaşmadan yetkililer uyarılabilir.

Denizcilik ve taşımacılık alanında, kargo gemileri, trenler ve kamyonlar için akıllı filo yönetimi çözümleri sunulabilir. Taşıma araçları canlı olarak takip edilebilir, taşınan malzemenin güvenliği, sağlık durumu uzaktan takip edilip, taşıma sürecindeki performans ölçütlerine dair tüm veriler toplanarak süreç optimize edilebilir.

İnternet teknolojisinin hızlı gelişiminin, araçları da etkilemesi kaçınılmaz olmuştur. Akıllı ve otonom araçlar da artık yollarda yerini almaktadır. Otonom sürüş, sürüş yardım, trafik yoğunluğunun tespiti, araç-içi eğlence, araç bakım ve arıza tespit gibi birçok konu uydu üzerinden uzaktan yönetilebilir.

ARIN

X-Ray Bagaj Kontrol Cihazları

ASELSAN ARIN X-Ray Bagaj Kontrol Cihazları Ürün Ailesi havaalanları, limanlar, sınır kapıları, gümrükler, devlet binaları, vb birçok kritik tesisin güvenliğinin sağlanmasında büyük öneme sahiptir. Tamamen yerli olarak milli imkanlar ile geliştirilen ARIN Ürün Ailesi etkin atom numarasına göre organik, inorganik, metal madde ayrımı ve 6 renkli gösterim yapabilmektedir. Cihazlarda otomatik patlayıcı tespiti, yüksek yoğunluklu bölgeyi görüntüleme, yüksek yoğunluk alarmı, organik/inorganik sıyırma, otomatik geometrik ve radyometrik düzeltme fonksiyonu, tünel giriş çıkışlarının kamerayla izlenmesi ile genişletilebilir kurgusal tehdit kütüphanesi kabiliyetleri bulunmaktadır.

www.aselsan.com

aselsan

DÜNYAMIZA UZAYDAN BAKIŞ

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ

Oğuz ALKIŞ

Günümüzde birçok alanda kullanılan uzaktan algılama teknolojileri sayesinde merak ettiğimiz nesneler hakkında bu nesnelerden çok uzakta olsak bile detaylı bilgi elde edebiliyoruz. Örneğin bir yanardağ patlaması sırasında etrafa yayılan lavların ne kadar büyük bir alana zarar verdiğinin ya da yaşanan sel felaketi sonrasında zarar gören alanların tespit edilmesinde uzaydan elde edilen görüntüler kullanılıyor. Peki bu görüntülerin nasıl elde edildiğini hiç merak ettiniz mi? Bilgi almak istediğimiz cisimlerden etrafa yayılan elektromanyetik (EM) ışınımlar (enerji) sayesinde bu nesneler hakkında birçok detaya ulaşabiliyoruz. EM ışınım; atmosfer, su ve başka ortamlardan değişik oranlarda geçebildiği gibi uzay boşluğundan da geçebilen tek enerji türüdür. Bu nedenle uzaktan algılamada enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. EM ışınım farklı formdaki nesnelerle etkileşime girdiğinde şiddeti ve doğrultusu gibi bazı özellikleri birçok değişikliğe uğrar. Uzaktan algılama teknolojileri ile bu değişiklikler saptanmaya çalışılır ve saptanabilen değişiklikler kaydedilir. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan görüntü ve veriler, elektromanyetik ışınımda değişikliğe neden olan cismin özelliklerinin belirlenmesi için yorumlanır.

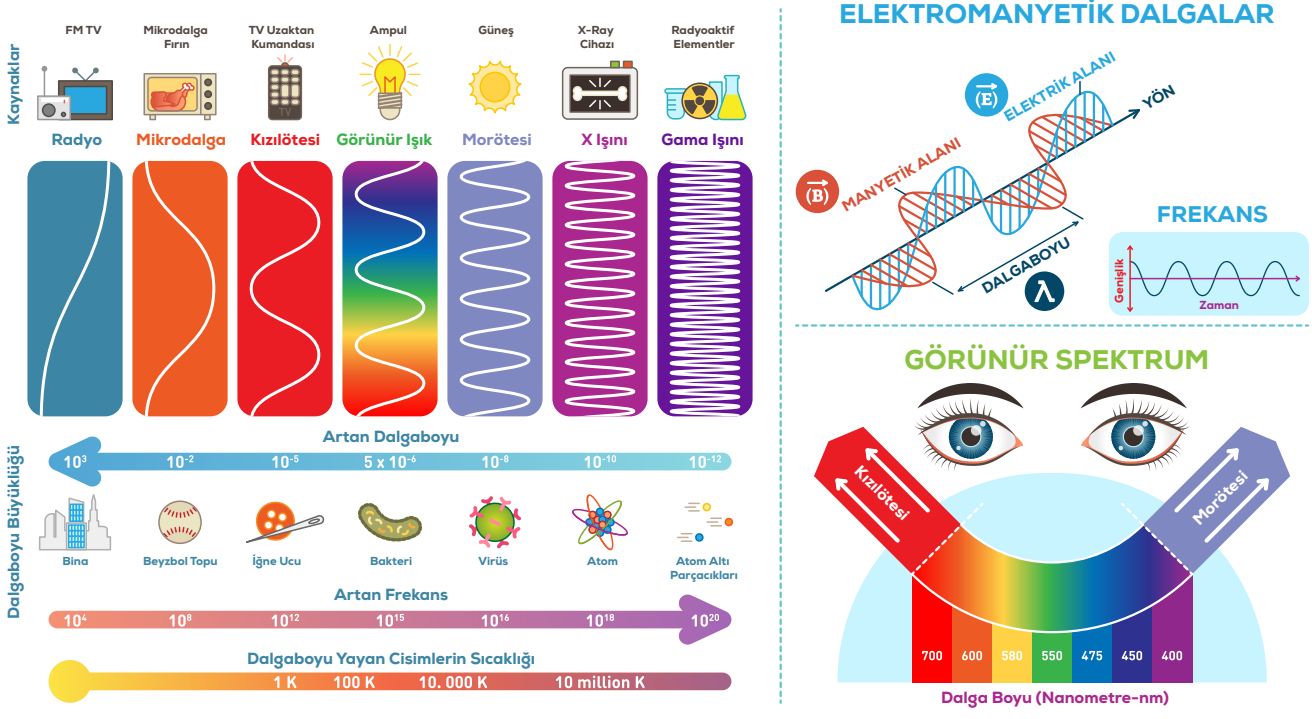
ELEKTROMANYETİK IŞINIM NEDİR?

Enerji kaynağındaki yüklü parçacıkların ivmelenmesi soncunda oluşan elektromanyetik enerji dalgalar halinde yayılır. Elektromanyetik dalga birbirine dik elektrik ve manyetik alan bileşeninden oluşmakta ve bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda yayılmaktadır. Elektromanyetik (EM) dalgalar yayılmak için ortama ihtiyaç duymazlar ve uzay boşluğunda ışık hızı ile hareket ederler.

Elektromanyetik dalgaları tanımlamak için dalga boyu, frekans ve genlik bilgileri kullanılmaktadır:

- **Dalga Boyu:** Bir dalganın iki tekrarlayan tepesi arasındaki mesafedir. Dalga boyunu ifade ederken λ (lamda) sembolü kullanılmaktadır. EM dalganın bir dalga boyu kadar olan kısmına tam dalga denir.
- **Frekans:** Uzayda belirli bir noktadan bir saniye içinde kaç tam dalganın geçtiğinin ölçüsüdür. Diğer bir ifade ile dalganın birim saniyedeki devir sayısıdır. Ölçüm birimi olarak Hertz (Hz) kullanılmaktadır. Örneğin saniyede 100 devir yapan dalganın frekansı 100 Hz'dir.
- **Genlik:** EM dalganın genliği sahip olduğu enerjinin bir ölçüsüdür.

ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM



Elektromanyetik dalgaların dalga boyu ile frekanslarının çarpımı dalganın ilerleme hızına (ışık hızına) eşit olmaktadır. Elektromanyetik dalgaların frekans ve dalga boylarına göre sıralandıkları cetvele elektromanyetik tayf (spektrum) denir.

EM tayfın atmosferik geçirgenliğe sahip olan bölümleri uydular aracılığı ile yapılan uzaktan algılama kapsamında enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çok kısa dalga boylarına sahip Gama Işını (<0.3 nm) ve X-Işını (0.3-30 nm) atmosferik geçirgenliğe sahip olmadığı için uzaktan algılama kapsamında kullanılmazlar. Elektromanyetik tayfta X ışınlarından sonra gelen morötesi dalgalardan 300 nm'den daha küçük dalga boyuna sahip olanlar ozon tabakası tarafından soğrulduğu için dünya yüzeyinden yansıma aracılığı ile yapılan uzaktan algılama sistemleri kapsamında kullanılamazlar. Yakın morötesi olarak adlandırılan 300-400 nm dalga boyuna sahip ışınların büyük kısmı dünya yüzeyine ulaşabildiği için uzaktan algılama kapsamında kullanılabilmektedir. Benzer şekilde görünür ışık (400-700 nm), kızıl ötesi tayfın (0.7-1000 μm) atmosferik geçirgenliğe sahip olan bölümleri ve mikrodalga dalga boyu aralığı (1 mm-100 cm) uzaktan algılama kapsamında kullanılmaktadır.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİNİ OLUŞTURAN BİLEŞENLER

Uzaktan algılama sistemleri aşağıdaki bileşenlerden ve süreçlerden oluşmaktadır:

- EM ışınım yayan doğal ya da yapay cisimler uzaktan algılamada enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneş bir doğal enerji kaynağı iken EM tayfın uzaktan algılamada kullanılan bölümlerinde yayın yapan uydular ise yapay enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.
- Enerji kaynağından etrafa yayılan EM dalgalar yeryüzü üzerindeki cisimlere ve akabinde bu cisimlerden yansıyarak uydular üzerindeki algılayıcılara ulaşır.
- Algılayıcılara ulaşan EM dalgalar yansıdıkları veya etkileşime girdikleri cisimler hakkında bilgiler içerir. Bu bilgiler kısmen anlamlandırılarak uydu üzerindeki kayıt birimlerine kaydedilir.
- Uydu üzerine kaydedilen veriler ya doğrudan ya da başka bir uydu üzerinden yer istasyonuna indirilir. Bu veriler işlenerek ve analiz edilerek ilgili cisimler hakkında daha detaylı bilgilerin yer aldığı görüntülere veya veri setlerine çevrilir.
- İlgili görüntüler ve veri setleri analizler ve yorumlar vasıtasıyla değerlendirilir ve uzaktan algılama kapsamında nihai bilgiler üretilmiş olur.

UZAKTAN ALGILAMA UYDULARININ YÖRÜNGELERİ

Yeryüzünden yansıyarak uyduya ulaşan EM enerjinin gücü uydunun yüksekliği ile ters orantılı olduğu için uzaktan algılama kapsamında kullanılan uydular genellikle alçak yörüngede (Low Earth Orbit-LEO) görev yapmaktadırlar. LEO yörüngesi yeryüzünden 160 km ile 2.000 km arasında değişen yükseklikleri kapsayan bir yörüngedir. Birçok uzaktan algılama uydusu 500 km ile 800 km arasındaki yüksekliklerdeki yörüngeleri kullanmaktadır. Bu yörüngedeki uydular saniyede yaklaşık 7,5 km hızla ilerlemekte ve her 90-100 dakikada bir Dünya etrafında bir tur atmaktadır.

Uydu yörüngesi kapsamındaki diğer önemli parametre eğim (inclination) açısıdır. Yörünge düzlemi ile Ekvator düzlemi arasındaki açıyı ifade eden bu parametre yörüngenin ulaşabileceği en yüksek enlem derecesini belirlemektedir. Uzaktan algılama uyduları yeryüzünün tamamından görüntüleme yapabilmek amacıyla genellikle doksan derece civarında eğim açısına sahip yörüngede (yakın kutupsal yörünge) hareket etmektedir.

Uzaktan algılama uyduları genellikle Güneş'le senkronize (eş zamanlı) olarak Dünya etrafında dönerler. Güneş'le senkronize olmaları nedeniyle ekvatoru her zaman aynı yerel saatte (aynı Güneş açısı ile) geçerler ve yeryüzü üzerindeki bir noktadan her geçişini aynı yerel saatte yaparlar. Bu sayede uydu aynı bölge üzerinden her geçişinde yaklaşık aynı miktarda Güneş ışığına maruz kalır. Bu durum farklı geçişler sırasında elde edilen görüntülerin kullanılması açısından avantaj sağlamaktadır.

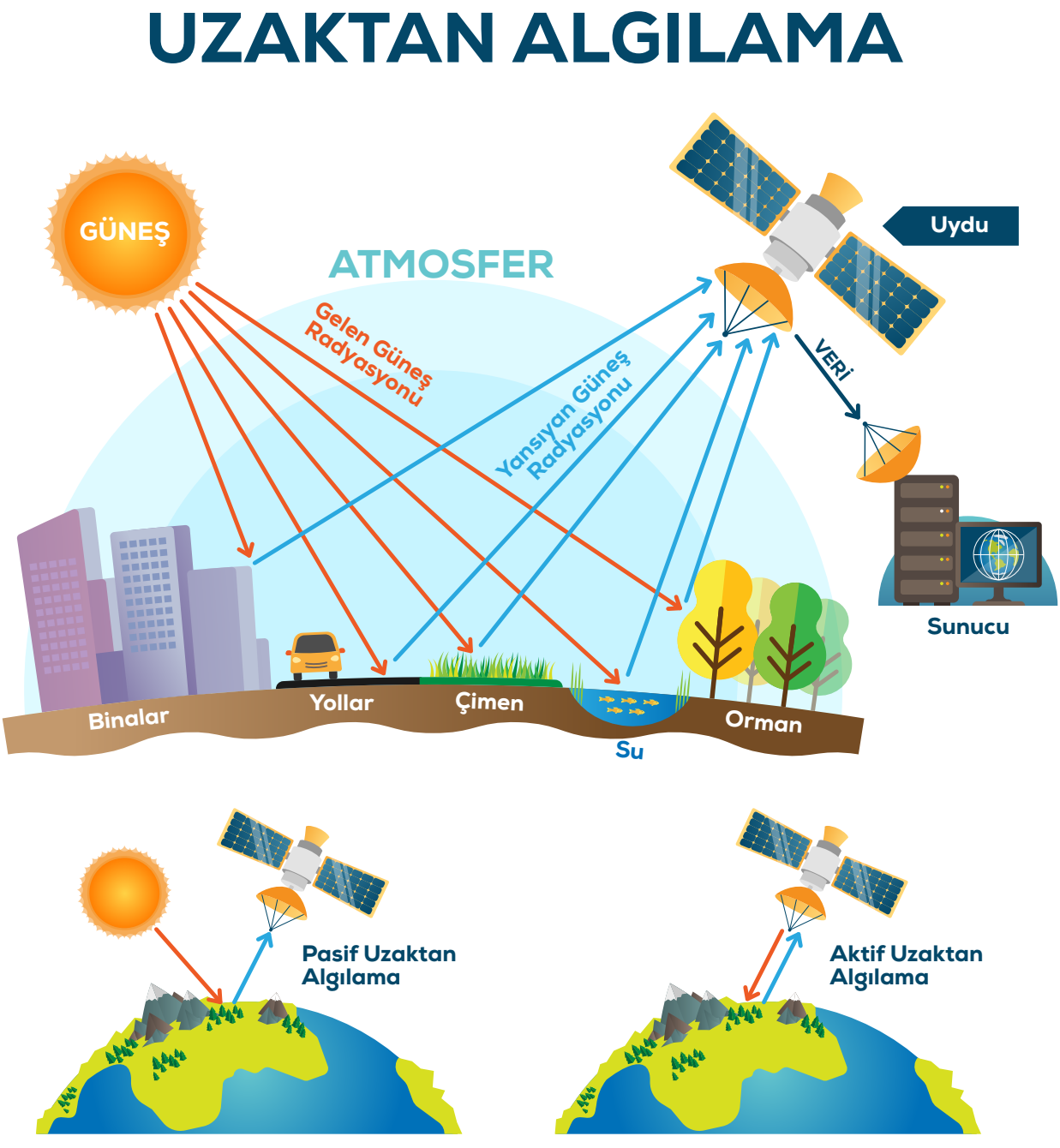
UYDULARDA KULLANILAN ALGILAYICILAR (SENSÖRLER)

Uydu üzerinde bulunan algılayıcılar yeryüzünden ve onun üstündeki objelerden yansıyan elektromanyetik enerjinin miktarını ölçer. EM tayfın yakın morötesi, görünür ışık ve kızılötesi dalga boylarındaki enerjiyi ölçmek için Elektro-Optik (EO) algılayıcılar kullanılır. EM tayfın mikrodalga bölümündeki enerjiyi ölçmek için ise Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri kullanılmaktadır.

UZAKTAN ALGILAMA: PASİF VE AKTİF SİSTEMLER

Elektro-Optik (EO) Algılayıcılar

EO algılayıcılara sahip uydular genellikle pasif sistemlerdir. Bu sistemler enerji kaynağı olarak güneş gibi doğal kaynakları kullanırlar. Uzaktan algılama kapsamında kullanılan EO algılayıcıların çalışma mantığı cep telefonumuzda bulunan kameralar ile aynıdır. Temel olarak optik ve elektronik alt parçalardan oluşurlar. EO algılayıcının

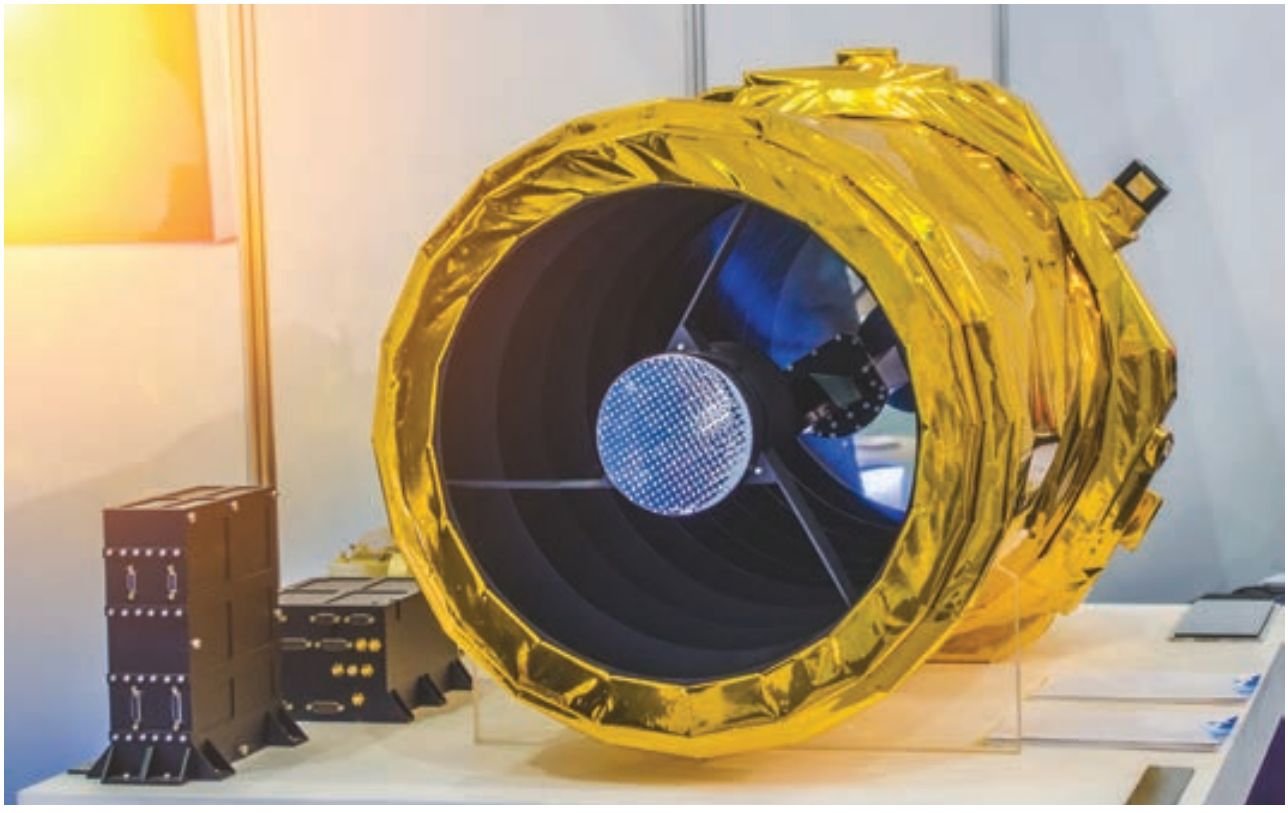


optik kısmı merceklerden oluşur, bu mercekler yeryüzünden yansıyan EM ışınımın odak düzlemi üzerinde bulunan detektörler üzerine düşmesini sağlar. Detektörler ise bu enerjiyi elektrik sinyallerine çevirirler. Daha sonra bu sinyaller uydu üzerindeki bilgisayarlar vasıtasıyla işlenerek yer istasyonuna iletilmek üzere kayıt birimlerine iletilir.

EO algılayıcıların optik kısımlarında enerji toplanacak dalga boylarına özel optik birimlerin kullanılması gerekmektedir. Bu sayede EM tayfın ilgili bölümünde yüksek geçirgenlik sağlanmakta ve mümkün olan en yüksek seviyede enerji toplanabilmektedir. Özellikle uzaydan yapılan uzaktan algılamalarda dünya yüzeyine olan uzaklık fazla olduğu için uyduya ulaşan enerji miktarı sınırlı olmaktadır. Bu nedenle kullanılan optik birimlerin ilgili EM bantta yüksek geçirgenliğe sahip olması önem arz etmektedir.

Optik birimler aracılığı ile toplanan enerjinin üzerine düşürüldüğü detektörler bu enerjiyi elektrik sinyallerine çevirirler. İlk örnekleri fotoğraf makineleri ve filmli kameralar olan görüntüleme sistemlerinde kullanılan detektörler, görünür banttaki (VIS) fotonları algılayan foto-aktif filmlerdir. Görüntü yoğunlaştırıcılar, görünür bandın dışında algılama yapan ilk detektörlerdir. Bu yoğunlaştırıcılar alkali katot ve fosfor anottan oluşmaktadır. Alkali katot üzerine düşen yakın kızılötesi (NIR) banttaki fotonlar elektron salınımı yaparlar. Elektrik alanda hızlandırılan bu elektronlar fosfor anoda çarparak görünür bantta foton salınımı yapar. Bu teknoloji, 20. yüzyılın başlarında geliştirilmeye başlandı ve İkinci Dünya Savaşında düşük ışıkta ve gece görüş amaçlı olarak kullanıldı. Daha uzun dalga boylarındaki kızılötesi bantlarda algılama yapan (MWIR, LWIR) detektörler ancak yarıiletken malzeme teknolojilerinde büyük teknolojik gelişmelerin olduğu yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıktı. Bileşik yarı iletken malzeme üretim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde; Cıva Kadmiyum Tellür (Mercury Cadmium Telluride, MCT), İndiyum Antimoni (Indium Antimonide, InSb), Tip II Süperörgü (Type II Superlattice, T2SL), İndiyum Galyum Arsenit (Indium Gallium Arsenide, InGaAs), Galyum Arsenit (Gallium Arsenide, GaAs) ve Alüminyum Galyum Nitrat (Aluminium Gallium Nitride, AlGaN) gibi algılayıcı yarı iletken bileşik malzemeler üretilebildi. Bu sayede; UV bandından LWIR bandına kadar bütün dalga boylarında algılama yapan detektörlerin üretilebilmesi mümkün hale geldi.

EO algılayıcılar üzerinde yer alan detektörlerin EM tayfın tek bir aralığındaki enerjiyi ölçmesi ile elde edilen görüntülere pankromatik görüntü denir. Görünür ışığın yer aldığı 400-700 nm aralığındaki enerjiyi ölçerek elde edilen siyah-beyaz görüntüler



Yer Gözlem Uydusu Optik Birimi

bu görüntülere örnek verilebilir. Elektromanyetik tayfın farklı aralıklarında iki ya da daha fazla kanalda (bantta) algılama yapılarak elde edilen görüntülere çok tayflı (multispektral) görüntü denir.

Pankromatik görüntülerin mekânsal çözünürlüğü, çok bantlı bantlar kullanılarak elde edilen görüntülerden daha yüksektir. Bu nedenle pankromatik görüntünün yüksek mekânsal çözünürlüğü ile çok tayflı görüntülerin yüksek spektral çözünürlüğünün bir araya getirilerek hem mekânsal hem spektral yönden yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturulabilmektedir. Bu işlem pan-keskinleştirme (pan-sharpening) olarak bilinmektedir.

Cleveland Yanardağ Patlaması

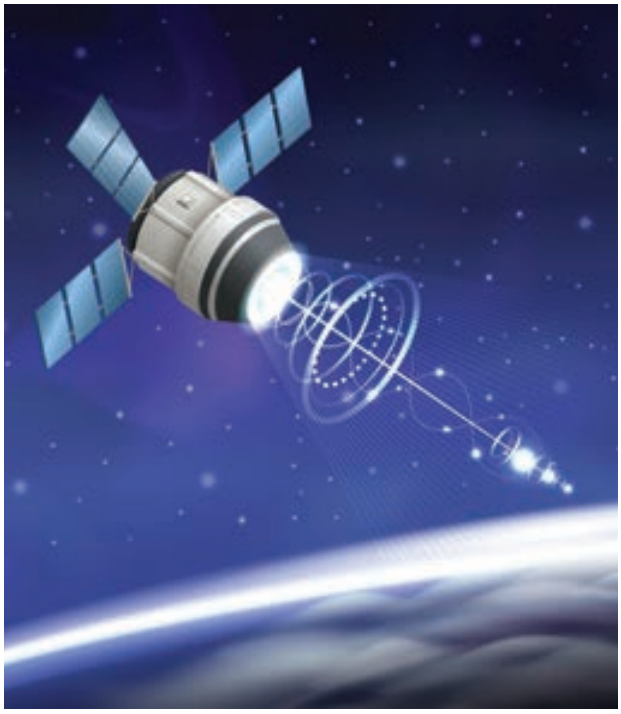
SAR Sistemleri

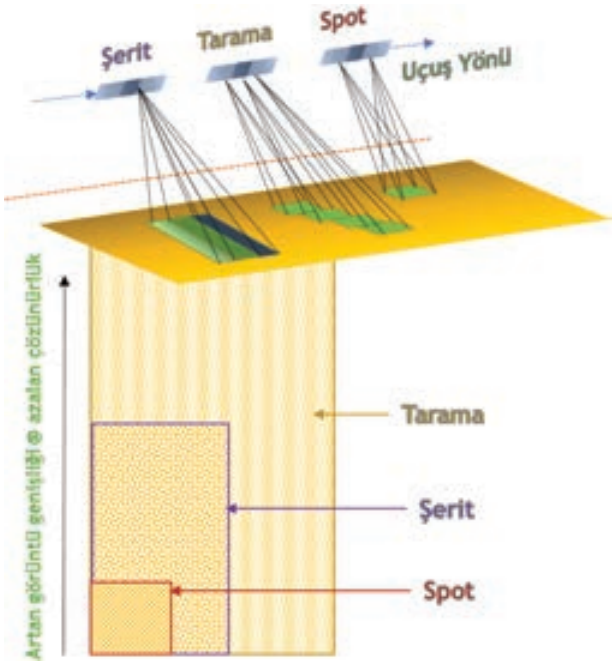
Mikrodalga dalga boyundaki EM ışınım yeryüzünden doğal yayıldığı gibi yapay olarak da üretilebilmektedir. Yeryüzünden bu dalga boylarında doğal bir şekilde yayılan EM ışınım yüksek enerjili olmadığı için bu enerjinin uzaydan algılanması çok mümkün olmamaktadır. Bu nedenle bu dalga boylarında yapay olarak üretilen EM ışınım, enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve bu sistemlere aktif sistem denmektedir. Bu sistemler RADAR (Radio Detection and Ranging) teknolojisini kullanmaktadır. İlk olarak İkinci Dünya Savaşı sırasında kullanılan radar teknolojisi günümüzde başta mesafe ve hız ölçme amaçlı olarak birçok alanda kullanılmaktadır.

Radar çalışma prensibine bağlı olarak çalışan uzaktan algılama sistemleri diğer pasif algılama sistemlerinden farklı çalışmaktadır. Pasif sistemler doğal şekilde oluşan EM ışınımı kullanırken, aktif sistemler kendi ürettiği enerji kaynağını kullanarak uzaktan algılama yapmaktadır. Güneş enerjisini kullanarak çalışan EO algılayıcılar sadece gündüz uzaktan algılama yapabilirken, aktif sistemler hem gece hem de gündüz görev yapabilmektedir. Benzer şekilde bulutlu ve yağmurlu havalarda EO algılayıcılar genellikle uzaktan algılama yapmazken, aktif sistemler bu durumdan çok az etkilenirler.

Uzay platformlarında kullanılan Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar, SAR) uydu sistemleri yeryüzünün gece-gündüz ve olumsuz hava şartlarında yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesine olanak sağlayan bir aktif uzaktan algılama teknolojisidir.

Gerçek açıklıklı radar sistemlerinde mesafe (menzil) çözünürlüğü iletilen RF darbesinin bant genişliği ile belirlenmektedir. Yanca (azimut) açısal çözünürlük ise antenin fiziksel boyutu ile orantılı (dolayısıyla hüzme genişliği ile ters orantılı) olmaktadır. SAR sisteminde, RF birimi tarafından üretilen radar sinyali anten ile hedefe iletilmektedir. Hedeften yansıyan sinyal anten tarafından toplanıp, alıcı tarafından kullanılmaktadır. Sezilen sinyalin zaman gecikmesi, hedefin radara olan mesafesi ile orantılıdır. SAR sisteminde uzay platformunun hareketinden faydalanılarak yanca boyu uzun olan yapay bir anten (sentetik bir açıklık) oluşturulmakta ve bu sayede küçük bir anten ile çok iyi yanca açı çözünürlüğü elde edilmektedir. Hareket boyunca yeryüzünden yansıyan sinyallerin fazları da kaydedilip sinyal işleme teknikleri ile bu fazlar uyumlu bir şekilde toplanarak hem sinyal-gürültü oranı artırılmakta, hem de faz-uyumlu toplama sonucunda elde edilen bileşke hüzmenin odaklanması işlemi ile yüksek yanca çözünürlük elde edilmektedir.





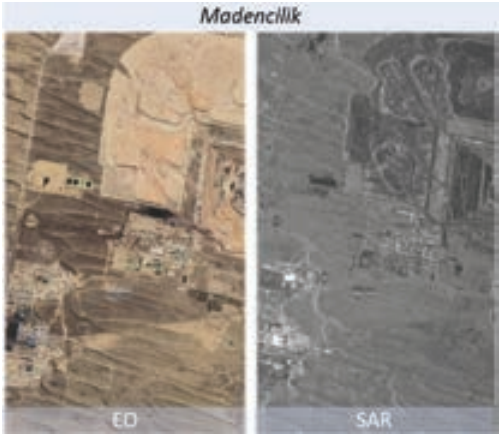
SAR görüntüleme Modları

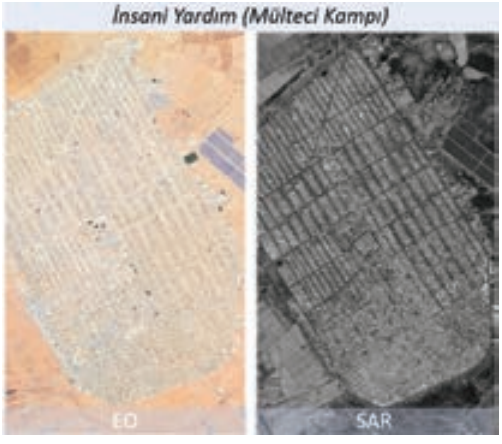
SAR sisteminde temel olarak aşağıdaki görüntüleme modları yer alabilmektedir:

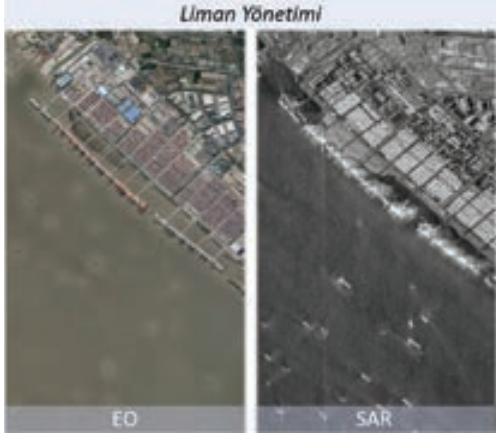
- **Stripmap (Şerit Görüntüleme):** Uydu hareketi boyunca aydınlatılan alan içerisindeki şeridin görüntülemesi yapılmaktadır.
- **Spotlight (Nokta Görüntüleme):** Aydınlatılan alan içerisindeki kapsama bölgesinin görüntülemesi gerçekleştirilmektedir. Platform hareketi boyunca anten hüzmesi bu bölgeyi aydınlatacak şekilde anten yönlendirilmektedir. Bu sayede daha yüksek yanca çözünürlük elde edilebilmektedir.
- **ScanSAR (Geniş Alan Tarama):** Uydu hareketi boyunca aydınlatılan alan içerisindeki şeridin görüntülemesi yapılmaktadır. Daha geniş bir şeridin taranabilmesi için anten şerit içerisinde menzil yönünde tarama yapmaktadır. Bu görüntüleme tipinde yanca çözünürlük azalmakta iken şerit genişliği artmaktadır.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen görüntüler ve veriler hem savunma hem de sivil amaçlı kullanılmaktadır. Günümüzde yapay zekâ (makine öğrenmesi, derin öğrenme vb.) alanında yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte uzaktan algılama teknolojileri; savunma amaçlı nesne tanıma ve hedef tespiti, tarımsal bölgelerin takip edilmesi, orman alanlarının tespiti, arazi yapısı ve kullanımının sınıflandırılması, meteoroloji, şehir planlama, jeoloji, maden, hidroloji, ekoloji, oşinografi, jeoloji, afet yönetimi gibi konularda her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır.







GNSS
UYDU TABANLI DÜZELTME SİSTEMİ VE HATA KAYNAKLARI

Ali Özgür TAŞOĞLU
Orhan Çağdaş ÜNVER

Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite Systems), sabit veya hareketli nesnelerin konumlarını ve zaman bilgisini belirlemelerini sağlayan sistemlerdir. 1995 yılında ABD Küresel Konumlandırma Sisteminin (GPS) devreye alınması ile hayatımıza giren GNSS, zamanla günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası haline geldi. Askeri amaçla başlayan GPS programı yoğun talep sayesinde sivil alanda da oldukça geniş bir pazara sahip oldu. Bu yüksek talebin sebebi GNSS alıcılarının maliyetlerinin azalmasına ve boyutlarının küçülmesine ek olarak konum verisine ihtiyaç duyan uygulama sayısındaki artış olmuştur.

GPS sistemi, 20.200 km yükseklikte altı farklı yörünge düzleminde dönen en az yirmi dört operasyonel uydudan oluşacak biçimde planlanmıştır.

Yörüngeler ve uydu dizilimleri dünya üzerindeki herhangi bir noktadan herhangi bir anda en az altı uydu ile radyo haberleşmesi sağlanmasına olanak tanımaktadır. Uydular düzenli olarak kodlanmış bilgi yollarken GNSS alıcıları bu sinyalleri alıp uydularla arasındaki mesafeyi ölçerek konumlarını tespit edebilmektedir.

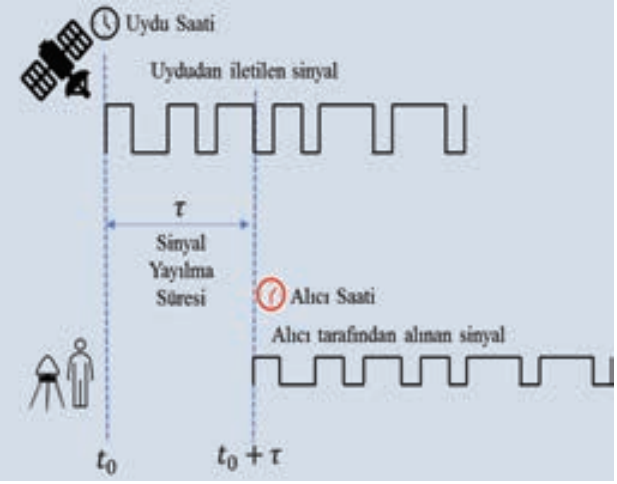
Konum ve zaman ölçümünde temel olarak bilinmeyen dört adet değişken bulunmaktadır. Bunlar yatay konum (x), düşey konum (y), yükseklik (z) ve zamandır (t). Bu değişkenleri hesaplamak için en az dört adet uydudan alınacak sinyaller ile türetilecek dört adet denkleme ihtiyaç bulunmaktadır. Bir başka ifade ile konum ve zaman hesaplayabilmek için en az dört adet uydudan yeterli seviyede sinyal alınması gerekmektedir.

Uydular navigasyon mesajının içinde kendi konumlarıyla birlikte, sinyalin uydudan çıktığı zamanın bilgisini de hassas saatleri sayesinde iletmektedir. Uydu ve GNSS alıcısı arasındaki uzaklık uydudan yayınlanan sinyalin alıcıya ulaşması için geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması ile bulunmaktadır. Bu uzaklık bilgisini kullanarak kullanıcı kendi konumu ile birlikte zamanını da yaklaşık olarak hesaplayabilmektedir. Fakat bu hesap bazı hata kaynaklarını da içerdiğinden, daha doğru konum hesaplaması için ek düzeltmelere ihtiyaç bulunmaktadır.

TEMEL HATA KAYNAKLARI

GNSS ile konum tespiti esnasında diğer tüm sistemlerde olduğu gibi elde edilen sonuçları etkileyen bazı hatalar oluşmakta ve bu hatalar değerlendirme esnasında giderilmeye çalışılmaktadır. GNSS ile konum belirlemede, uydu ve alıcı arasındaki mesafenin belirlenmesi konusunda etkili olan temel hata kaynakları, uydu kaynaklı hatalar, atmosfer kaynaklı hatalar ve kullanıcı kaynaklı hatalar olarak sınıflandırılabilmektedir.

Bir diğer hata kaynağı olan seçimli doğruluk erişimi (Selective Availability-SA) yani yetkisiz kullanıcıların GPS'in sağladığı doğruluklara ulaşmasını engellemek amacıyla sistemin kasıtlı olarak kötüleştirilmesi de 2000 yılında sonlandırılmıştır.



Uydu Kaynaklı Hatalar

Uydu kaynaklı hatalar uyduya ait yörünge hataları ve uydu saat hataları olarak iki başlıkta incelenebilir.

Navigasyon mesajı içeriğinde GNSS uydularına ait yörünge bilgisi yani başka bir ifade ile uydu konumları yer almaktadır. Uyduların tahmini yörünge bilgileri, yayın öncesinde yer kontrol merkezleri tarafından tahmin edilerek GNSS uydularına gönderilerek kullanıcılara yayınlanır. Bu yaklaşım uydu yörüngelerinin belli varsayımlar içeren modeller kullanılarak ve tahmini olarak hesaplanması nedeniyle belirli hatalara neden olmaktadır. Bu sebeple kullanıcıya yayınlanan uydu konum hatası zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu hataların giderilmesi için IGS (International GNSS Service) tarafından GNSS uydularına ait hassas yörünge bilgileri üretilmektedir ve günlük olarak yayınlanmaktadır.

Saat kaynaklı hatalar genel olarak GNSS uydularından yayınlanan saat ile yerdeki kullanıcının hesapladığı saat arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. GNSS uyduları, saat hataları nano saniye mertebelerinde olan çok hassas atomik saatlere sahiptir. Buna ek olarak GNSS kontrol istasyonlarında daha düşük hatalara sahip olan atomik saatler kullanıldığı için GNSS uydu saatlerinin düzeltmesi yüksek hassasiyetlerle yapılabilmektedir.

Yerdeki alıcılarda ise daha düşük maliyetli ancak hata oranları daha yüksek saatler kullanılmaktadır. Alıcı zamanı konum hesaplama öncesi GNSS uydu zamanı ile veya herhangi bir uydu ile senkronize değildir. Alıcı kendi zamanını farklı uydulardan gözlem yaparak çok yüksek doğruluğa sahip olan GNSS zamanına senkronize etmektedir. Ancak uydu hareketi ve yer çekimi etkisi nedeniyle bu GNSS zamanına senkronizasyon düzgün şekilde yapılamamakta ve hatalar oluşmaktadır. GNSS navigasyon mesajında saat bozukluğu, saat sapması ve saat sapma oranı hata giderilmesi amacıyla yayınlanmaktadır.

Atmosfer Kaynaklı Hatalar

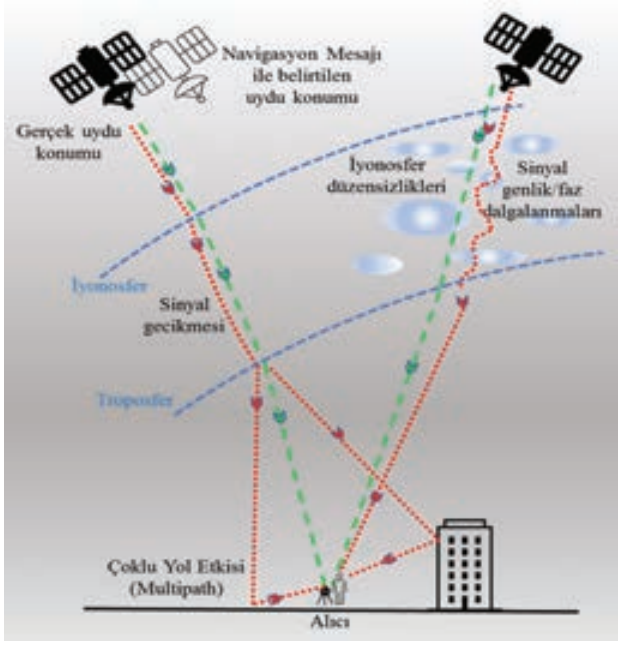
Atmosfer kaynaklı hatalar iyonosfer ve troposfer hataları olarak iki başlıkta incelenebilir.

GNSS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller atmosfere girdiğinde maruz kaldıkları ilk tabaka iyonosferdir. İyonosferin uydulardan yayınlanan sinyallerin yayılmasındaki etkisi toplam elektron içeriği (TEC) ile orantılı olarak ifade edilmektedir ve bu etki sinyalde gecikmeye sebep olmaktadır. İyonosferdeki TEC dağılımının değişmesi sebebiyle GNSS uydusu ile kullanıcı arasındaki mesafe ölçümünde hatalar oluşmaktadır. İyonosferdeki elektron yoğunluğunu ifade eden TEC zamana ve konuma bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sebeple günün farklı zamanlarında ve dünyanın farklı yerlerinde iyonosfer kaynaklı GNSS konum hatası farklıdır. Bu hataların giderilmesi için GPS navigasyon mesajlarında Klobuchar iyonosfer modeli yayınlanmaktadır. Bu model ile en iyi durumda iyonosferik hatanın yaklaşık yarıya yakınının giderilebilmesi mümkündür.

Atmosfer kaynaklı bir diğer hata ise troposfer kaynaklı hatalardır. Troposfer iyonosfere göre daha aşağıda yer alan ve tüm hava olaylarının meydana geldiği katmandır. Atmosferdeki su buharının tamamına yakını troposferde yer aldığı için GNSS uydularından yayınlanan sinyallere etkisi gecikme olarak yansımaktadır. Bu gecikme sebebiyle iyonosferdekine benzer şekilde GNSS uydusu ile kullanıcı arasındaki mesafe ölçümünde hatalar oluşmaktadır. Hata miktarı havadaki sıcaklık, basınç ve bağıl nem miktarına göre değişiklik göstermektedir.

Kullanıcı Kaynaklı Hatalar

Kullanıcı kaynaklı hatalar çoklu yansıma ve alıcı kaynaklı hatalar olarak incelenebilir. Çoklu yansıma, sinyallerin alıcıya ulaşmadan önce yansıması ve yayılması kaynaklı oluşan hatalardır. Normalde gitmesi gereken yoldan alıcıya ulaşan sinyallerle birlikte çoklu yansıma sebebiyle sapmış sinyaller de alıcıya ulaşır. Bu sinyaller GNSS uydusu ile kullanıcı arasındaki mesafe ölçümünde hataya yol açabilir. Çoklu yansımaların olası kaynakları ise binalar, araçlar, su yüzeyleri ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir.



Alıcı gürültüsü ve alıcı donanımı kaynaklı gecikmeler konum belirlemede bazı hatalara yol açmaktadır. Bu hataların etkisini azaltmak için bazı donanımsal önlemler alınabilir ancak bu hataları tamamen gidermek mümkün değildir.

UYDU TABANLI DÜZELTME SİSTEMİ (SBAS)

Uydu Tabanlı Düzeltme Sistemi (SBAS), yer sabit yörüngeli (GEO) uydulardan yapılan yayınla GNSS'e ait hataların düzeltilmesi için hizmet sunan sistemdir. Temel hata kaynaklarından yörünge, saat, iyonosfer ve troposfer kaynaklı olanlar SBAS yardımı ile düzeltilerek konum hatası azaltılabilir. Aşağıdaki tabloda GPS kaynaklı ve SBAS kaynaklı yatay konum hatası karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Hata Kaynakları	GPS (Metre)	SBAS (Metre)
Uydu Yörünge Hatası	1.5	0.1
Saat Hatası	1.5	0.1
İyonosfer Etkisi	3.0	0.2
Troposfer Etkisi	0.7	0.2
Çok Yollu Girişim (Multipath)	1.0	1.0
Alıcı Kaynaklı Hatalar	0.5	0.5
Toplam (rms)	4.0	1.2
Toplam Yatay Konum Hatası (1σ (%68), Uydu Geometri Faktörü=1.3)	5.2	1.6
Toplam Yatay Konum Hatası (2σ (%95), Uydu Geometri Faktörü=1.3)	10.4	3.2

Tabloda verilen hatalardan çoklu yansıma kullanıcının bulunduğu ortamla, alıcı kaynaklı hatalar alıcı donanımıyla ilişkili olduğundan, bunlar SBAS ile düzeltilebilir hatalar değildir.

Konum doğruluğunun iyileştirilmesinin yanında, GNSS sistemlerinin doğruluk, bütünlük, süreklilik ve elverişlilik değerlerinin belirlenen kapsama alanında sağlanması da SBAS sayesinde mümkün olmaktadır.

Doğruluk, alıcıda ölçülen konum ile alıcının gerçek konumu arasındaki farktır. Bütünlük, pozisyon ölçümünün doğruluğuna tanımlanacak güven ölçümüdür. Yatay ve düşey eksenlerde hata limit değerleri belirlenmekte ve limitin aşılması durumunda önceden belirlenmiş uyarı zamanı içinde alarm verilmesi beklenmektedir. Süreklilik, sistemin kesintisiz bir şekilde işlevini yerine getirme yeteneğidir. Elverişlilik ise sistemin doğruluk, bütünlük ve süreklilik kriterlerini zamanın yüzde kaçında karşıladığıdır.

Uydu Tabanlı Düzeltme Sistemi (SBAS) temel olarak aşağıdaki alt sistemlerden oluşmaktadır:

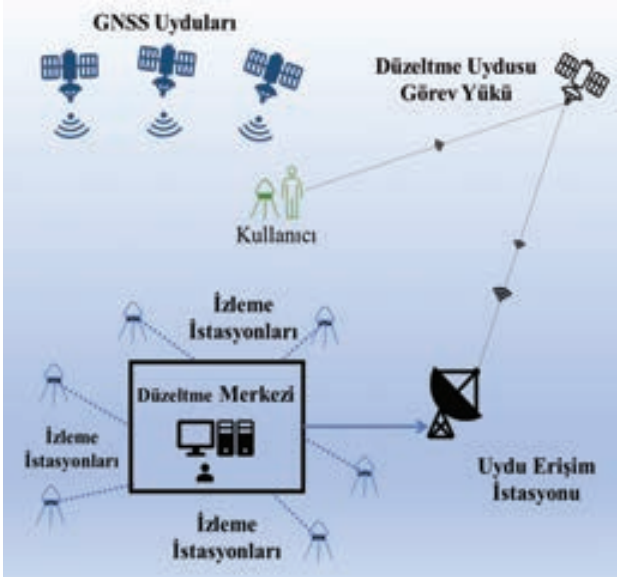
- İzleme istasyonu
- Düzeltme merkezi
- Uydu erişim istasyonu
- Düzeltme uydusu görev yükü

Konumları çok iyi bilinen izleme istasyonları tarafından toplanan GNSS verileri düzeltme merkezine aktarılır. Düzeltme merkezinde hesaplanan düzeltme bilgileri uydu erişim istasyonu aracılığıyla düzeltme uydusu görev yükü üzerinden kullanıcılara dağıtılır. Düzeltme uydusu görev yükü yer sabit yörüngeli (GEO) bir uydu üzerinde yer almaktadır ve bu görev yükü sinyali alarak ilgili kullanıcılara dağıtmaktan sorumludur. Kullanıcı mevcut GNSS alıcısını kullanarak uydu tabanlı düzeltme sinyalini alabilir. SBAS'ın en büyük avantajı mevcut GNSS sinyal bandının kullanılıyor olması ve alıcıda donanım değişikliği gerektirmemesidir.

Dünyadaki Mevcut SBAS Sistemleri

Dünyada birkaç ülke kendi uydu tabanlı düzeltme sistemlerini uygulamaya almıştır. Bunlar;

WAAS (Wide Area Augmentation System): Dünyadaki ilk uydu tabanlı düzeltme sistemi olup Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilmiştir. GPS düzeltmesi sağlayan sistem Kuzey Amerika'da kapsama alanı sağlamaktadır.



EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service): Avrupa kıtasında kapsama alanına sahip olup GPS'e düzeltme sağlamak için geliştirilmiştir. EGNOS, Açık Servis (OS) ve Can Güvenliği (SOL) olarak iki hizmet servisine sahiptir ve Avrupa'nın ilk GNSS düzeltme hizmetini kullanıcılarına sunmaktadır.

SDCM (System for Differential Corrections and Monitoring): Rusya tarafından geliştirilen uydu tabanlı düzeltme sistemidir. Rusya ve komşu ülkelerde kapsama alanı sağlamaktadır. SDCM'nin diğer SBAS sistemlerine göre temel farkı hem GPS hem de Rusya Küresel Konumlandırma Sistemine (GLONASS) düzeltme sağlamasıdır.

BDSBAS (BeiDou Satellite Based Augmentation System): Çin tarafından geliştirilen uydu tabanlı düzeltme sistemidir. Çin ve çevre bölgesindeki kullanıcılara hizmet sağlamaktadır.

GAGAN (GPS Aided GEO Augmented Navigation): Hindistan tarafından geliştirilen, GPS'i düzelterek daha iyi konum doğruluğu sağlayan uydu tabanlı bir düzeltme sistemidir.

Uydu Tabanlı Düzeltme Sistemi İçin ASELSAN'da Yapılan Çalışmalar

Türkiye'nin kritik jeopolitik konumu nedeniyle ülkemize ait konumlama ve zamanlama sistemi ve ilgili düzeltme verisinin yerli imkânlar ile sağlanması gerekmektedir. Bu da ancak kendine ait konumlama ve zamanlama verisinin milli kabiliyetler ile karşılanmasıyla mümkün olabilecektir. Bu amaçla Milli Konumlama ve Zamanlama Sistemine yönelik ilk adım olan GNSS Düzeltme Sistemi ve Uydu Görev Yükü kapsamındaki çalışmalar Türkiye'de ilk defa gerçekleştirilmek üzere Özkaynaklı Ar-Ge Projesi olarak başlatılmıştır. Hedeflenen nihai amacın büyüklüğü düşünüldüğünde projenin aşamalı olarak gerçekleştirilmesi ve her bir fazda kademeli yetenek kazanımı planlanmıştır. Bu fazlı yapının ilk ayağı olan ve gerekli literatür çalışmalarının yapılarak sistem mimarisinin ortaya konduğu Faz-0 aşaması, 2022 yılının Ocak ayında başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Faz-1 kapsamında da çalışmalar hızla devam etmektedir.

GNSS Düzeltme Sistemi ve Uydu Görev Yükü Geliştirme Faz-1 aşaması kapsamında ortaya bir masaüstü doğrulama modeli konulacaktır. Bu masaüstü model, izleme istasyonu verilerinin alındığı ve düzeltme mesajının oluşturulduğu bir merkez ve fonksiyonel doğrulamaların yapıldığı alt sistemleri içerecektir. Masaüstü modelinin en kritik parçalarından olan ASELSAN'a ait algoritmalar ile düzeltme mesajının oluşturulması hedeflenmiştir. Donanım geliştirme kapsamında da görev yükü içerisinde kullanılacak ekipmanlar ASELSAN kabiliyetleri ile tasarlanacak üretilecek ve doğrulanacaktır. Tüm bu çalışmaların 2025 yılında tamamlanması hedeflenmektedir. Ülkemiz, Faz-1 aşamasının başarılı bir şekilde tamamlanmasıyla kendi konumlama ve zamanlama verisini üretebilen ve dışa bağımlı olmayan sayılı ülkeler arasına girmesi yolunda oldukça önemli bir aşama kaydetmiş olacaktır.

NEFER

İnsansız Silah Kulesi

ASELSAN NEFER İnsansız Kulesi, zırhlı muharebe aracı ve diğer taktik kara platformlarında temel olarak zırhlı kara hedeflerine karşı kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Gelişmiş uzaktan komuta ve gözetleme imkânı sağlayan NEFER, atış yapan personelin ortam farkındalığını artırmakta ve güvenliğini en üst seviyeye taşımaktadır.

www.aselsan.com

aselsan

ATOMİK SAATLER VE GNSS İÇİN ZAMAN ÜRETİMİ

"Peki o halde zaman ne? Hiç kimse bana sormazsa biliyorum da biri sorup da ona açıklama yapmam gerektiğinde bilmiyorum."
Augustinus

Ramazan UZEL
Dr. Caner SAVAŞ

ZAMAN TANIMI VE ÜRETİMİ

Zaman kavramına yüzyıllar boyunca farklı yorumlamalar getirilmiştir. Aristoteles'in zaman için gerekli olan tek şeyin hareket olduğu düşüncesi ile kurduğu nesnel zaman anlayışı, Galileo ve Newton'a kadar egemen görüş olarak kalabilmiştir. Döneminde, nesnel zaman anlayışına karşı geliştirilmiş olan ve zamanın harekete bağlı olduğunu reddeden düşünceler içinde en önemlisi Augustinus'un öznel zaman anlayışıdır. Augustinus'a göre zaman bir başlangıç ve sona sahiptir. Buna göre zaman, bir cisim hareket ettiğinde hareketin başlangıcından bitişine kadarki süreyi ölçmeye yarayan bir araçtır.

Newton'a göre mutlak zaman ve mekân, nesnel gerçekliğin bağımsız taraflarıdır. Mutlak zaman göreceli olarak ve sadece matematiksel olarak anlaşılabilir. Einstein'in özel görelilik teorisine göre ise uzay ve zaman gözlemcinin hareket durumuna bağlıdır. Einstein'e göre iki farklı olayın tüm gözlemciler için aynı anda gerçekleşmesi anlamına gelen mutlak eşzamanlılık olamayacağından mutlak zaman düşüncesi de geçerli değildir. Görelilik teorisinde zaman, göreceli hareketlere ve hareket eden cismin konumundaki yer çekimi alanına bağlı olarak, farklı gözlemciler için farklı bir şekilde akmaktadır. Buna göre hareket eden bir cisim için zaman daha yavaş ilerlemektedir.

Zaman ile ilgili bütün tanımlamaların yanı sıra zaman gözlemlenebilir bir niceliktir. Bu nedenle, zamanın tanımı, bir olgunun sezgisel süresi kavramına ve ölçü birimleri olarak kullanılmak üzere sabit bir süreye sahip olayların varlığı varsayımına dayanır.

Peki zaman ölçü birimlerinden olan saniye nasıl tanımlanır?

- 1960 yılına kadar, saniyenin tanımı Dünya'nın kendi etrafında dönüşü temel alınarak yapılmıştır.
- 1960 yılından 1967 yılına kadar, saniyenin tanımı Dünya'nın Güneş etrafında dönüşü temel alınarak yapılmıştır.
- 1967 yılından itibaren, saniyenin tanımı Cs atomlarının enerji geçişleri temel alınarak yapılmaktadır.

Zaman ölçeği ise bir zaman koordinatını herhangi bir olayla ilişkilendirmeye izin veren bir referans çerçevesidir.

ATOMİK SAATLER

Atomik saatler, atomlar tarafından yayılan fotonların frekanslarını kullanmaktadır ve aynı zamanda atomik frekans standardı (AFS) olarak da adlandırılmaktadır. Atomlardaki elektronlar belirli enerji seviyelerinde bulunurlar. Eğer atom bulunduğu enerji seviyesinden bir üst seviyeye geçerse, tekrar taban enerjisi seviyesine geri dönerken aradaki fark kadar enerjiye sahip bir foton salar. Enerji seviyeleri arasındaki geçişler dış etkenlerden çok az etkilenmektedir.

Atom temel enerji seviyesinden bir üst seviyeye genelde mikrodalga veya görünür ışık (lazer) dalga boylarında uygulanan dış uyarıcı ile yükseltilir. Sonuç olarak uyarıcı elektromanyetik dalga ve atomların salınımı ile belirlenen kararlılık seviyeleri bir günde saniyenin milyarda biri kadardır. Bir saniye, Sezyum (Cs) atomunun temel enerji seviyesinin hiper-ince geçişlerine denk gelen ışımanın 9.192.631.770 periyoduna denk gelen süre olarak tanımlanmaktadır. Yakın gelecekte saniye tanımının optik temelli atomik saatler ile yeniden yapılması beklenmektedir.

Atomik saatler ile elde edilen frekans kararlılık ve doğruluk değerleri ile genel görelilik teorisinin test edilmesi ve pulsarların (kendi etrafında hızla dönen nötron yıldızları) frekanslarındaki, değişimlerin izlenmesi mümkün olmuştur.

Küresel ve bölgesel konum belirleme sistemlerinde (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, IRNSS ve QZSS), kullanılan uydular üzerinde bulunan atomik saatler Rubidyum (Rb), Sezyum (Cs) ve Hidrojen (H) tabanlı atomik saatlerdir. Bu saatlerin ortak özellikleri uydu üzerine konulabilecek büyüklükte (ağırlık ve hacim olarak) ve güçte olmasıdır. Uydularda kullanılan bu saatlerin seçimi onların ağırlık, hacim ve güç tüketiminin yanı sıra saatlerin frekans doğruluk ve kararlılıklarına, yer istasyonlarının yerleşimine, sayısına ve senkronizasyon sıklığına, uyduların kullanım amaç ve hedeflerine göre de değişmektedir. Rb, Cs ve H tabanlı atomik saatlerin doğruluk (10^{-10}-10^{-14}) ve kararlılıkları atomik fıskiye (Fountain) ve optik atomik saatlerin doğruluk (10^{-16}-10^{-18}) değerlerinden daha düşük olsa da uzun yıllardır kullanılmaları, taşınabilir özelliğe ve yüksek güvenirliliğe sahip olmaları nedeniyle uydularda kullanılmalarını halen ön planda tutmaktadır.

Son yıllarda gelişmekte olan ve laboratuvar ortamında deneysel olarak gerçekleştirilen, Ytterbium (Yb) ve Strontium (Sr) bazlı atomik saatler ve nötr optik atomik saatlerin doğruluk ve kararlılıkları Rubidyum (Rb), Sezyum (Cs) ve Hidrojen (H) tabanlı atomik saatlerden yaklaşık yüz kat daha iyidir. Ytterbium (Yb) ve Strontium (Sr) bazlı atomik saatler ve nötr optik atomik saatlerin boyutlarının büyük olması nedeniyle yakın zamanda uydularda kullanımı çok olası olmamakla birlikte yer istasyonlarında zaman ölçeğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilecektir.

ZAMANLAMA VE SENKRONİZASYON UYGULAMALARINDA KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Hassas zaman ve senkronizasyon, insanların sağlık, güvenlik, emniyet, ekonomik ve sosyal refahı gibi toplumsal işlevlerini sürdürmek için gerekli altyapı sistemlerinde çok önemlidir. Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS), hassas zaman ve senkronizasyon sağlama işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Çünkü, GNSS kullanıcılara atomik saatlere sahip olma ve çalıştırma maliyeti olmadan hassas bir şekilde zaman bilgisine sahip olma olanağı sağlamaktadır.

- GNSS, telekomünikasyon uygulamalarında ve uydu haberleşmelerinde (Satellite Communications-Satcom), uydu ile olan ve karasal bağlantılarda zaman senkronizasyonu için zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access-TDMA) kullanılmaktadır.
- Profesyonel mobil radyo ve hücresel ağlarda, zaman dilimlerinin senkronizasyonu ve baz istasyonları arasındaki geçişlerde GNSS'ten faydalanılmaktadır.

Şekil 1: Günlük yaşantımızda uydu tabanlı zamanlamanın yeri

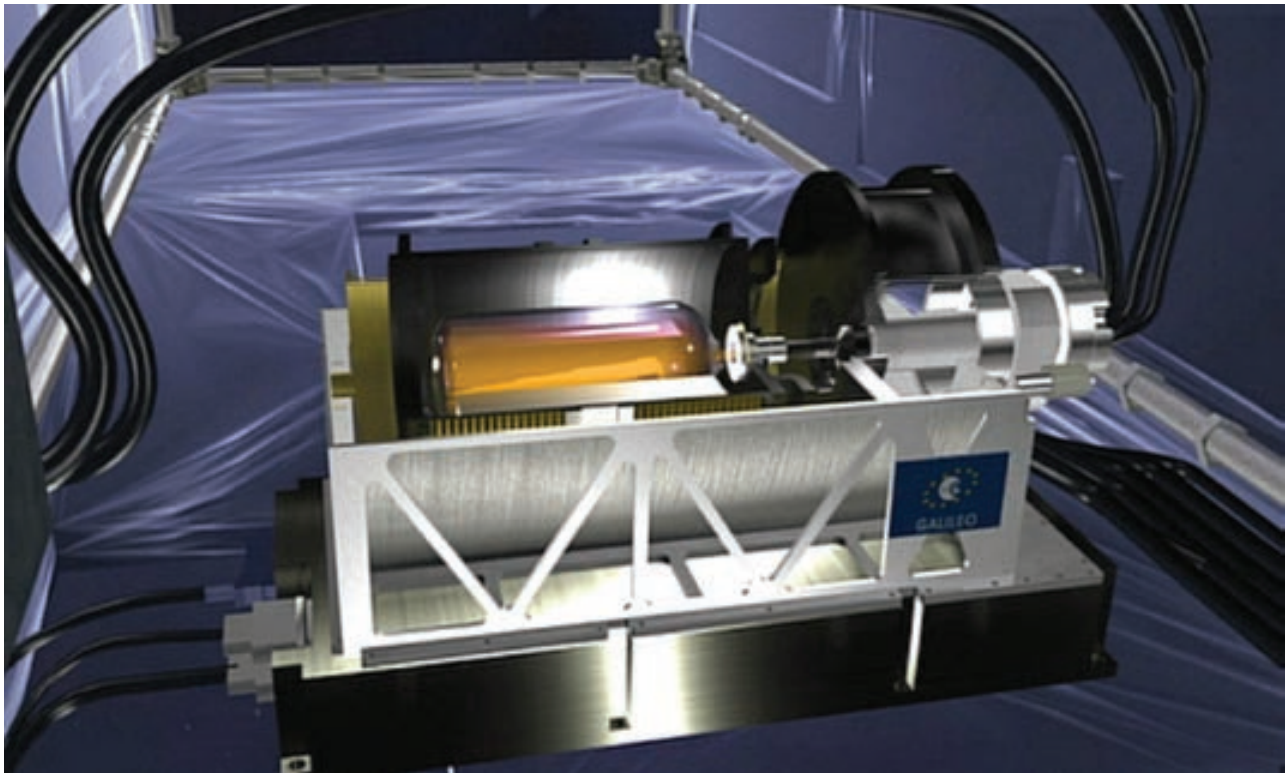
- Ağ zaman protokolü (Network Time Protocol-NTP) ve hassas zaman protokolü (Precision Time Protocol-PTP) bilgisayar sistemlerinde zaman senkronizasyonu için kullanılan standartlardır. Yerel alan ağı (Local Area Network-LAN) ve geniş alan ağı (Wide Area Network-WAN) üzerinden zaman dağıtımı ve doğru saat senkronizasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, bu sistemler zaman kaynağı olarak GNSS'e bağımlıdır.
- Finansal hizmetler, yüksek düzeyde kullanılabilirlik, güvenlik ve güvenilirlik içeren güçlü bilişim teknolojileri (BT) sistemlerine ve ağlarına dayanmaktadır. GNSS, finansal hizmetlerde muhasebeleştirilen alım/satım işlemlerine ve varlıkların o an işlem gördüğü fiyatlara zaman damgası eklemek ve dolayısıyla kronolojik olarak kaydını tutmak için kullanılmaktadır.
- Enerji ve güç sistemlerinde, şebeke varlıklarının işletimini, entegrasyonunu ve korumasını koordine etmek amacıyla şebeke izleme, sistem kararlılığı ve operatör desteği için hassas zamanlama kullanılmaktadır. Örneğin, senkronizasyon için ortak bir zaman kaynağı kullanarak, elektrik şebekesindeki fazör miktarının büyüklüğünü ölçmek için fazör ölçüm birimleri (Phasor Measurement Units-PMU) kullanılmaktadır. PMU'lar ile güç ağını izlemek için GNSS'e dayalı zaman referansları esas alınmaktadır ve PMU verileri GPS zaman etiketi ile birlikte tutulmaktadır.

Yukarıdaki örnekler çoğaltılabileceği gibi, zamanlama ve senkronizasyon işlemlerinde GNSS'e olan bağımlılığın ve GNSS'in öneminin oldukça fazla olduğunu söylemek yanlış olmaz.

KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİNDE ZAMANLAMA YÖNTEMİ

Her GNSS uydusu, iletildiği zamanı ve uydunun yörünge konumunu içeren bir sinyal yayar. Sinyalin bir alıcıya ulaşması için geçen süre, uyduya olan mesafeyi hesaplamak için kullanılabilir. Bu hesaplama da ışık hızına bağlı olduğu için GNSS sistemleri oldukça iyi kalitede saatlere ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla, saatlerin kararlı, hassas, güvenilir ve uzay kalifiyeli sistemler olması gerekmektedir.

Amerika Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS) ve Rusya'nın Küresel Konumlama Sistemi (GLObal NAvigation Satellite System-GLONASS) uyduları 2 Rubidyum (Rubidium) ve 2 Sezyum (Cesium) atomik saatlerini içerirken, Galileo ve BeiDou uydularında ayrıca pasif Hidrojen Mazer de kullanılmaktadır. Her ne kadar bu saatler farklı teknolojilere sahip olsalar da benzer çalışma ilkesine sahiptir.



Şekil 2: Galileo Pasif Hidrojen Mazer

Sistemin sorunsuz çalışması için ilgili konumlama sistemine (örneğin GPS, Galileo) ait tüm uydulardaki saatlerin en yüksek doğruluk seviyesinde birbirine senkronize edilmesi gerekir. GNSS'te kullanılan atomik saatler kısa zaman dilimlerinde (örneğin birkaç saat boyunca) çok kararlıdır. Ama uzun süreli bağımsız çalışmaları durumda, zaman bilgilerinde kaymalar oluşacaktır. Bu nedenle, daha kararlı olan ve yer sistemlerinde kullanılan saatlerle düzenli olarak senkronize edilmesi gerekir.

Einstein'in genel görelilik teorisi Dünya'nın yerçekimi alanı nedeniyle zaman daralmasına işaret etmektedir. Yüksek irtifadaki saatler (örneğin, uydu üzerindeki bir saat), Dünya yüzeyinden gözlemlendiğinde daha hızlı çalışıyormuş gibi görünür. Bu etki bir kilometre yükseklik için senede yaklaşık 1 mikrosaniye farka karşılık gelmektedir. Ayrıca, ışık hızı sabit olduğundan uydu üzerindeki gezici bir saatte zaman daha yavaşlar. Ortalama 20.000 km yörüngedeki GPS uyduları için bu etki bir senede yaklaşık bir milisaniye yavaşlamaya neden olmaktadır. Bu nedenlerle, görelilik etkilerinden kurtulmak için, 10,23 MHz frekansında GPS alıcıları tarafından alınan sinyal içerisindeki kod, GPS uyduları tarafından 10,22999999543 MHz frekansında yayınlanmalıdır.

Bahsedilen bilgiler ışığında, navigasyon sistemlerinin aynı zamanda zamanı yaymak için bir araç olduğunu söyleyebiliriz. Peki, GPS'te sistem zaman ölçeği nasıl oluşturuluyor ve bütün zamanlar hangi referans zaman ile senkronize ediliyor sorularının yanıtlarını araştıralım.

GPS, Sistem Referans Zamanı ve UTC

GNSS'te yer kesimi, uydular ile yani uzay kesimi ile iki yönlü haberleşmektedir. Yörünge ve saat belirlemek için küresel ve sürekli bir kapsama alanı içerisinde yüksek performanslı gerçek zamanlı uygulamaları destekleyen uydu izleme istasyonları ile izleme ağının oluşturulması gerekir. Tüm verileri işleyen sistemin beyni görevindeki kontrol merkezi, uyduların sinyallerini, konumlarını ve içerdikleri atomik saatleri izler; uyduların hassas yörüngelerini hesaplar, saatleri senkronize eder ve bağımsız zaman ölçeğini oluşturur. Ayrıca, kontrol merkezi tarafından sağlanan saat düzeltmeleri, uydu sinyali ile kullanıcılara saat ofsetinin bir tahmini olarak sunulmaktadır.

GPS için sistem zamanı, referans olarak seçilen Birleşik Devletler Deniz Gözlemevi (US Naval Observatory-USNO) tarafından sağlanan Uluslararası Koordine Zaman (Universal Time Coordinated-UTC) ölçeğine yönlendirilen bileşik saat olarak tanımlanabilir. Sistem zamanı sayesinde, herhangi bir GPS kullanıcısı, UTC bilgisine ve dolayısıyla kendi yerel saatine alıcı çıktılarından erişebilmektedir. Ülkemizde yerel saat, şu an UTC'nin tam üç saat ilerisindedir.

Dünya üzerindeki seksen beş laboratuvarın sahip olduğu yaklaşık beş yüz elli atomik saatin ölçümlerinin işlenmesi ile UTC her hafta hesaplanmaktadır. Türkiye'de de TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) 1994 yılından itibaren Uluslararası Atomik Zaman Kulübü (TAI) üyesi olup UTC ölçeğinin oluşturulmasına katkıda bulunmakta ve uluslararası izlenebilirliğini sağlamaktadır.

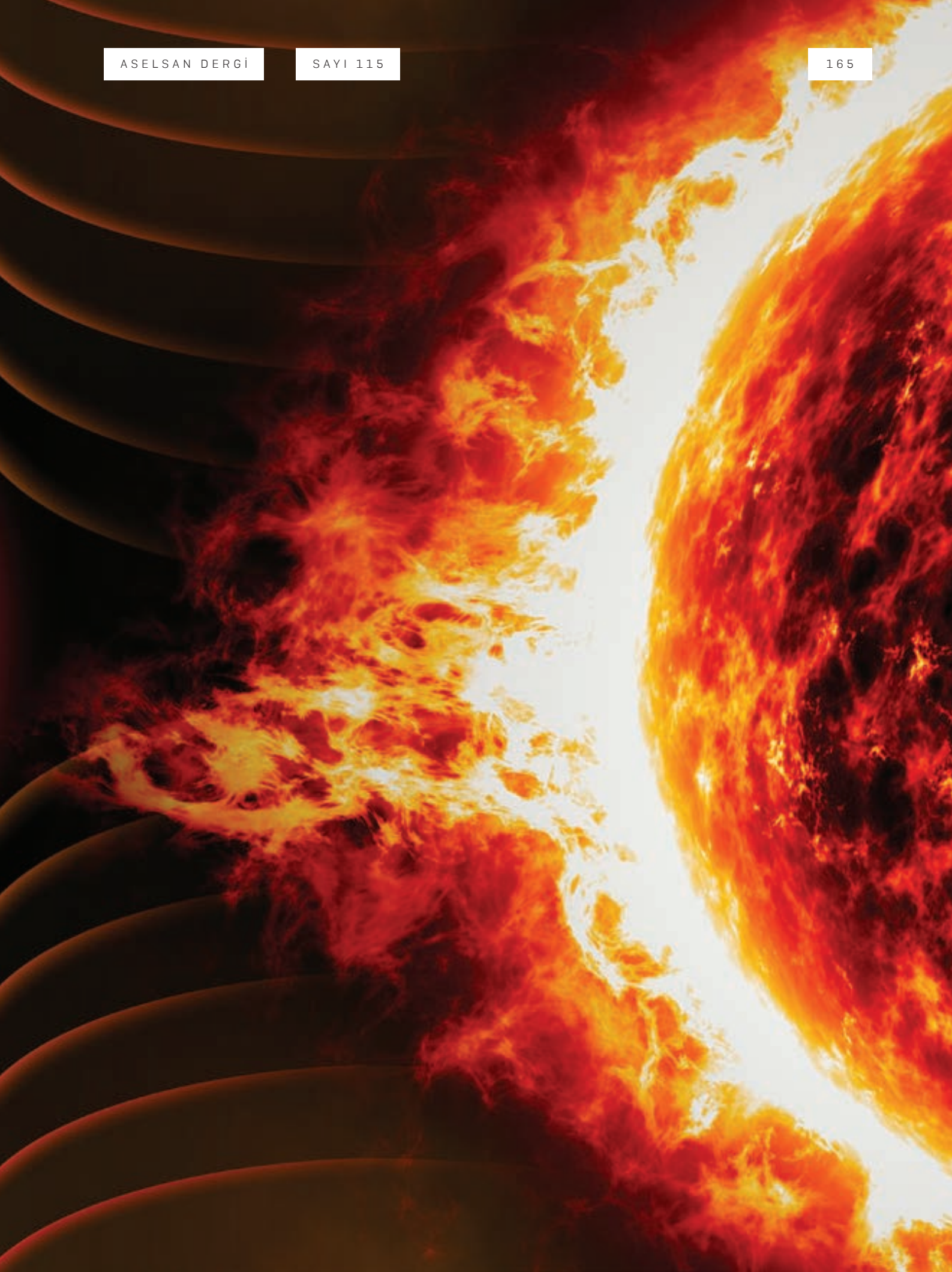
TAI için alışagelmiş zaman karşılaştırma yöntemi, farklı laboratuvarlarda bulunan GPS zaman ve jeodezik alıcılarına ait ölçümlerin kullanılarak karşılaştırılması üzerinedir. GPS Ortak Görüş olarak adlandırılan bu yöntemde zaman için 10 nano saniyeden küçük, frekans için ise 10^{-13}'ten küçük belirsizliklerde dağıtım yapılabilmektedir. Bazı laboratuvarlar ise uydu ile iki yönlü zaman ve frekans transferi (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) cihazları ile donatılmıştır. Bu yöntem, GEO telekomünikasyon uyduları aracılığıyla GPS'ten bağımsız bir şekilde zamanlama sinyallerinin karşılıklı değişimine dayanır. TWSTFT yöntemi ile zaman için 1 nanosaniyeden küçük, frekans için ise 10^{-14}'ten düşük belirsizliklerde dağıtım yapılabilmektedir.

Şekil 3'te UTC ölçeğinin üretimi görselleştirilmiştir. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (Fr. Bureau International des Poids et Measures-BIPM) uluslararası ölçüm birimleri ve standartları konusunda üye devletlerin birlikte hareket ettiği bir kuruluştur. Zaman departmanı da farklı uygulamalar için kullanılan uluslararası zaman ölçeklerinin gerçekleştirilmesi ve yayılmasından sorumludur. Uluslararası Yer Dönme ve Referans Sistemleri Servisi (International Earth Rotation and Reference Systems Service-IERS) ise Dünya'nın dönüşünün hızını yansıtan zaman standardı olan Evrensel Zaman UT1'in (Universal Time-UT) yıldızları gözlemleyerek oluşturulmasını sağlar.

Günümüzün dijital dünyasında, yüksek hassasiyetli zaman bilgisi ve senkronizasyon ihtiyaçları giderek artmaktadır. Farklı teknolojiler kullanılarak sistemler arasında zaman iletimi konusunda ve UTC'ye olan senkronizasyonun uzun süre bağımsız bir yapı ile devamını sağlama ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir.

Şekil 3: Uluslararası Koordine Zaman (UTC) Ölçeğinin Üretimi

UZAY ORTAMININ UYDULARA ETKİLERİ



Ramazan UZEL

Uzayda görev yapacak sistemlerin etkilenebileceği çevresel şartlar, görev süresi ve yörünge parametrelerine göre farklılık gösterebilmektedir. Çevresel etkiler, ısıl-vakum ve plazma ortamı, fırlatma kaynaklı mekanik yükler, uzay çöpleri ve parçacık radyasyonu olarak sınıflandırılabilmektedir.

Uzaydaki ısıl-vakum ortamının uydulara olan en önemli etkilerinden biri outgassing olarak adlandırılan ve uzay ortamındaki malzemelerde moleküler seviyede meydana gelen kopmalardır. Bu kopmalar sonucunda uydu içindeki veya dışındaki diğer ekipmanların üzerinde moleküler seviyede birikmeler ve yüzey özelliklerinde değişimler gerçekleşebilmektedir. Uzayın ısıl özellikleri ise bu ortamda bulunacak sistemleri oldukça zorlayacak düzeydedir. Uzayda bulunan bir nesne değişken ısıl yüklere maruz kalmaktadır. Uydu yüzeyindeki yüksek sıcaklık farklarından uydu ekipmanlarını korumak, uydu içini belli sıcaklık değerlerinde tutabilmek için uydularda ısıl kontrol alt sistemleri kullanılmaktadır.

Toplam elektrik yükü nötr olan gaz molekülleri, pozitif iyonlar ve negatif elektronlardan oluşan plazma ise özellikle uydular üzerinde yüksek gerilim farkı oluşturarak elektriksel yüklenmeye sebep olabilmektedir. Yüzey iletkenliğindeki farklılık sebebiyle özellikle dielektrik malzemeler farklı gerilimlerle yüklenebilmektedir. Uyduların yüzeyinde oluşan yüzey yüklenmesi (surface charging) sonucu oluşabilecek elektriksel deşarjlar ve elektromanyetik gürültü güneş panelleri gibi uydunun dışında bulunan ekipmanlarda hasarlara neden olabilmektedir.

Çoğunlukla görevinin tamamlamış uydular, fırlatma sonrası arta kalan parçalar, mikrometeroidler ve çeşitli patlamalar sonucu ortaya çıkan parçaların oluşturduğu ve uzay çöpü (space debris) olarak adlandırılan çok sayıda cisim bulunmaktadır. Özellikle 1.000 km'nin altındaki alçak yörünge ve 36.500 km civarındaki yer sabit yörünge, çöp akısının risk oluşturmaya başladığı bölgelerdir. Çarpışma riskinin analiz edilmesi, uydunun yörüngesinde yer alan cisimlerin izlenerek, gerekli olması halinde manevraların yapılması ile risk en aza indirilebilmektedir.

Uydular için özellikle yakın yörüngede dikkat edilmesi gereken bir diğer faktör de atomik oksijen etkisidir. Oksijen molekülleri (O_2) ultraviyole radyasyonun da etkisiyle oksijen atomu olarak parçalanır ve çoğunlukla 200 ile 800 km arası alçak irtifalarda görev yapan uzay araçları için risk oluşturur. Atomik oksijen nedeniyle yüzeyde meydana gelecek aşınmaya önlem almak için uygun malzeme seçilmesi gerekmektedir.

UZAYDA PARÇACIK RADYASYONU KAYNAKLARI

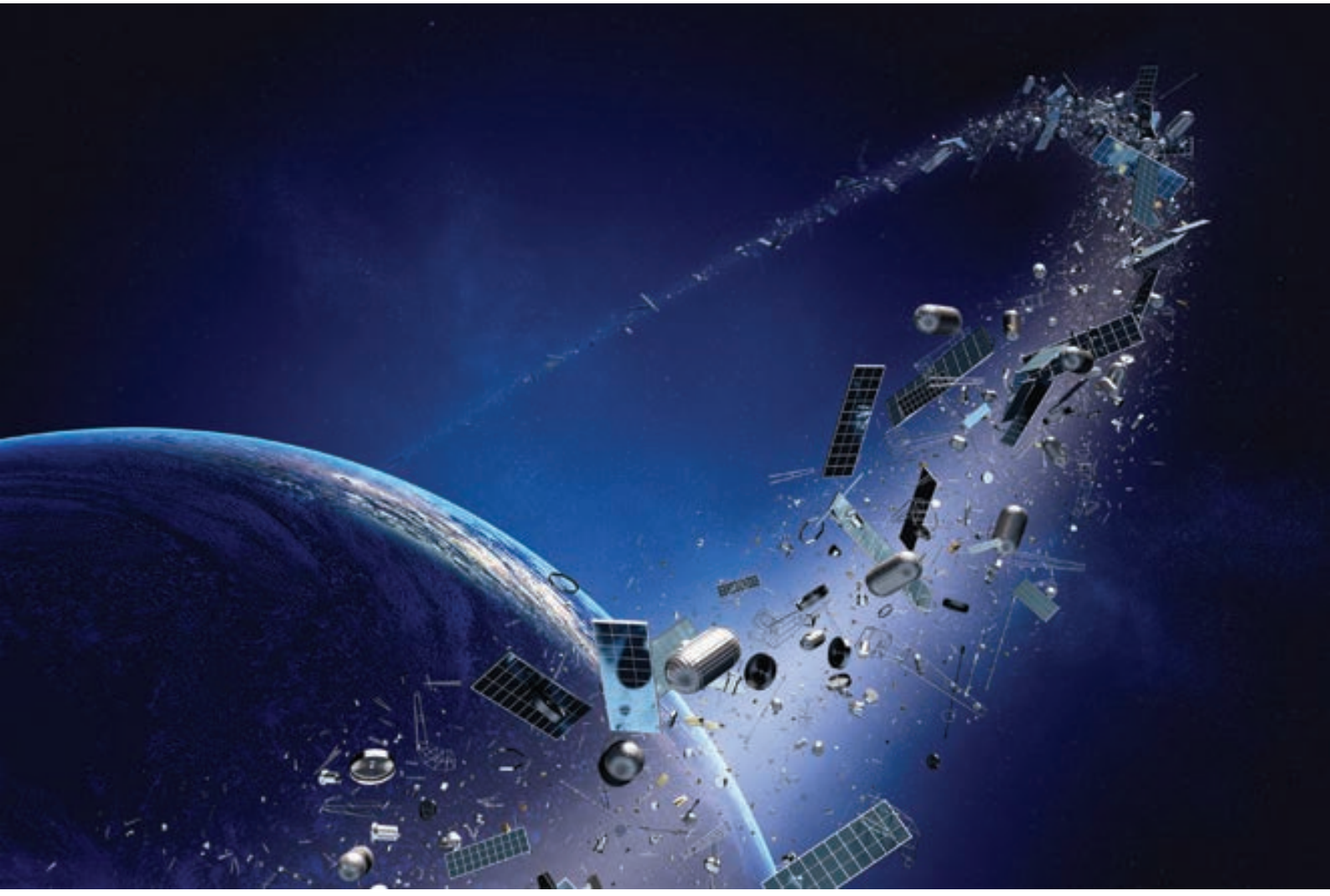
Uzayda görev yapan sistemlerin maruz kalacağı parçacık radyasyonu iki kategoride incelenebilir; ilki yörüngede dünyanın manyetik alanından ötürü hapsolmuş düşük enerjili parçacıklar, diğeri ise yörünge dışından gelen kozmik parçacıklardır. Yörünge dışından gelen parçacıklar galaktik kozmik ışınlar ve güneşten gelen kozmik ışınlar olarak iki tiptir.

Güneşten gelen kozmik ışınlar solar aktivitelere bağlı olarak oluşmaktadır. Genel olarak on bir yıllık döngülerle oluşan solar aktiviteler ile değişimleri öngörülebilir. Güneş noktaları (sun spot) yakınında ani parıldamalar olarak gözlemlenen güneş fırtınaları sonucunda parçacıklar patlamaların da etkisiyle hızlanarak hareket etmektedir. Manyetik fırtınalar ve protonların yoğun olduğu güneş aktivitelerinde gözlemlenen koronal kütle atımı (Coronal Mass Ejection) sırasında ise şok dalgalarının da etkisiyle yüksek hızlarda parçacıklar ortaya çıkarlar.

Dünyanın manyetik alanından ötürü yörüngede hapsolmuş düşük enerjili parçacıklar ise genelde elektron ve protonlardır. Hapsolan bu parçacıklar manyetik alanın etkisinden ötürü manyetik alan çizgileri etrafında spiraller çizerek dönmektedir. Ayrıca, elektronlar doğu, protonlar batı yönüne doğru olmak üzere dünyanın etrafında sürüklenmektedirler. Elektron ve protonların dünya etrafındaki bu hareketleri Van Allen Belt Kuşakları olarak adlandırılan radyasyon kuşaklarını oluştururlar.

Van Allen Radyasyon Kuşakları 1958'te Amerika Birleşik Devletleri tarafından fırlatılan ilk uydu olan Explorer 1 ile Amerikalı fizikçi James A. Van Allen tarafından keşfedildi. Explorer 1'deki Geiger sayacı ile elde edilen veriler, daha önce yer ve balon tabanlı aletlerle ölçülen kozmik ışınlardan farklı seviyelerde radyasyon değerlerini içeriyordu. Devam eden çalışmalar sonucu keşfedilen iki kuşak Dünya yüzeyinden 500 ila 58.000 km yüksekliğe uzanmaktadır.

Van Allen Kuşaklarında hapsolmuş parçacıkların uydular üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra Dünya üzerinde olumlu etkileri vardır. Örneğin, dünyanın manyetik alanı etkisinden kaçan parçacıkların daha yoğun atmosfer ile etkileşmesi sonucu Kutup Işıkları (Aurora Borealis) olarak adlandırılan ışık patlamalarını yaratır. Aurora renkleri farklı atom türlerine göre değişmektedir.



Dünya etrafındaki manyetik alan (manyetosfer) ile Güneş'ten gelen hızlı parçacıklar saptırılarak engellenebilmektedir. Manyetosferin dış kuşağında parçacıklar yavaşlayarak yön değiştirir, Dünya'ya yaklaştıkça artan manyetik alan etkisiyle parçacıklar manyetik alanı aşamayarak, etrafından dolaşır veya manyetik alana hapsolurlar. Van Allen kuşaklarının Dünya'ya en yakın olduğu bölgede manyetik alanın zayıflaması nedeniyle yüklü parçacık sayısı artmaktadır. Güney Atlantik Anomalisi (South Atlantic Anomaly) olarak adlandırılan bu durumun olduğu bölgede uydular normalden daha yüksek seviyelerde parçacık radyasyonuna maruz kalmaktadır.

UZAY RADYASYONUN UYDULARA ETKİLERİ

Radyasyonun madde ile etkileşimini incelemek için fotonlar ve yüklü parçacıklar için ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. Fotonların madde ile etkileşimi çoğunlukla üç farklı yolla olabilmektedir: Fotoelektrik etki, Compton olayı ve çift oluşumudur. Fotoelektrik etki, gelen fotonun atomdan elektron koparması sonucunda oluşmaktadır. Compton olayında, gelen foton, atom ile çarpışarak enerjisinin bir kısmını atomun elektronuna aktarır. Çift oluşumunda ise gelen fotonun enerjisi yeterli ise foton bir elektron-pozitron çifti oluşturur. Düşük enerjili fotonlar genelde fotoelektrik etki yoluyla maddeyle etkileşirken fotonun enerjisi arttıkça Compton olayı daha baskın olarak gerçekleşmektedir. Yüklü parçacıklar ise, madde içerisinden geçerken ya enerji kaybederler ya da geldikleri yörüngeden saparlar. Parçacıkların bu şekilde etkilenmesinin nedeni ise geçtikleri maddenin atomik elektronları ile Coulomb kuvvetiyle etkileşmeleridir. Yüklü parçacıklar geçtikleri maddenin atomlarını uyararak ya da iyonize ederek enerji kaybeder.

Parçacık radyasyonu, elektronik bileşenlere etkilerine göre iki türe ayrılmaktadır. İlki iyonlaştırıcı, ikincisi ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun kaynağı çoğunlukla, nötron, proton, ağır iyonlar ve çok yüksek enerjili gama fotonlarıdır. Bu durumda radyasyona maruz kalan malzemenin, atomlarındaki yer değiştirmelerden ötürü örgü yapısı değişir ve malzemenin yük iletimi gibi bazı özelliklerinde kayıplara yol açar. Buna yer değiştirme etkisi (Displacement Damage) adı verilmektedir. Çoğunlukla optoelektronik ve bipolar elektronik bileşenlerde bu tür radyasyon etkileri görülmektedir. İyonlaşma etkisinde ise ile yüklü parçacıklar anlık veya uzun zamanlı hasarlara neden olur. Bu tür hasarlar daha yıkıcı ve fonksiyonel hatalara sebep olan etkilerdir. İyonlaştırıcı etkiler, toplam iyonize doz etkisi (TID-Total Ionizing Dose) ve tekil olay etkileri (SEE-Single Event Effects) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Toplam iyonize doz etkisi, yörüngede hapsolmuş elektron ve proton gibi parçacıklar ile Güneş'ten gelen protonlardan kaynaklanan bir radyasyon etkisidir. Maruz kalınan toplam radyasyon miktarı rad (Radiation Absorbed Dose) ile ölçülür ve uydu ve uydu bileşenlerinde hasarlara, astronotlar için ise sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Toplam iyonize doz etkisi uydunun görev ömrü, yörünge özellikleri ve elektron bileşenin türü gibi parametrelere göre değişmektedir. 500-1.500 km arası alçak irtifalarda yıllık ortalama 1-10 kRad (Si) doz birikmesi olurken, haberleşme uydularının da görev yaptığı 36.000 km civanındaki yersabit yörüngede bu değer yıllık ortalama 100-1.000 kRAd (Si) olmaktadır. Bunun yanı sıra Silikon (Si) temelli bileşenler Galyum Arsenit (GaAs) veya Galyum Nitrit (GaN) temelli bileşenlere göre toplam iyonize doz etkisine karşı daha hassastır.

Tekil olay etkileri, ağır iyonlar ve yüksek enerjili protonlardan kaynaklanan bir radyasyon etkisidir. Genelde Van Allen Kuşağı veya galaktik kozmik ışınlardan kaynaklı parçacıklar malzeme içinden geçerken enerjilerini kaybetmesi sonucu arkalarında elektron-boşluk çiftleri bırakarak elektronik bileşenlerde radyasyon kaynaklı hatalara neden olmaktadır. Dolayısıyla uydu görev ömrü boyunca, aktif elektronik bileşenler için her an gerçekleşme olasılığı vardır. Gelen parçacığın türüne ve enerjisine göre etkileşme mekanizması da değişebilmektedir. Yüksek enerjili ağır iyonlar, elektronik bileşenleri iyonize ederken, protonlar çoğunlukla dolaylı (indirect) iyonizasyona neden olmaktadır. Tekil olay etkileri hasarı kalıcı olan etkiler ve olmayan etkiler olarak gruplandırılabilir. Kalıcı olan hasarlar, yüksek enerjili tek parçacığın normal olmayan yüksek akım oluşturması sonucu bileşenin bozulmasına neden olan olurken kalıcı olmayan hasarlar, bileşenin işlevselliğini geçici olarak yitirmesi, verilerin bozulması gibi örneklerle açıklanabilmektedir.

Uzay radyasyonunun uydular üzerindeki kalıcı ve geçici etkilerinden uydunun korunması için radyasyona dayanıklı malzemelerin seçimi tasarım aşamasının en önemli evrelerinden biridir. Radyasyon analizi sonucu belirlenen hassas elektronik ekipmanlar üzerinde alüminyum, tantalum, tungsten vb. malzemeler ile kalkanlama yapılması ile toplam iyonize doz etkilerine karşı önlemler alınabilir. Tekil olay etkilerine karşı dayanıklı bileşenlerin kullanılması, radyasyon etkilerine karşı hassas elektronik ekipmanların bozulmalara ve performans düşmesine karşı dayanıklı ve yedekli bir şekilde tasarlanması ve uydunun operasyonel süreçlerinin uzay havası tahminlerine uygun bir şekilde hazırlanması gerekmektedir.

UYDULARIN YAPISINA GENEL BAKIŞ

Gönül ÇİÇEK
Can DUMAN

Birçok elektronik ve mekanik birimden oluşan uyduların büyüklükleri ve uydularda kullanılan malzemeler çeşitlilik göstermektedir. Uyduları kütlelerine göre aşağıdaki tablodaki gibi sınıflandırmak mümkündür.

Sınıf Adı	Kütle (kg)
Femto	0.01 – 0.1
Piko	0.1 - 1
Nano	1 - 10
Mikro	10 - 100
Mini	100 – 500
Küçük	<500
Orta	500 - 1000
Büyük	>1000

Kütlelerine göre sınıflandırılmış uyduların boyutları ile ilgili örnek vermek gerekirse; büyük bir uydu, antenler ve Güneş panelleri kapalı haldeyken 2.5m x 2.5m x 6m boyutlarında olabiliyorken bir nano uydu yine antenler ve Güneş panelleri kapalı halde 10cm x 10cm x 30cm ölçülerine sahip olabilir.

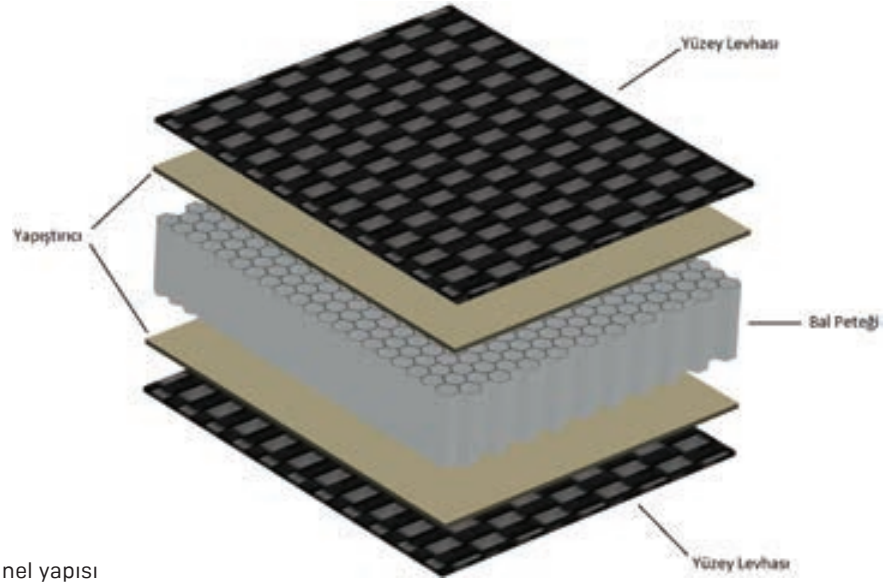
Uyduların servis amaçlarına göre farklı yörüngelerde çalışması uyduların Dünya'dan farklı uzaklıklarda bulunması, dolayısıyla çeşitli ısı ve radyasyon ortamlarına maruz kalması anlamına gelmektedir. Buna ek olarak, uyduların yörüngelerine ulaşmasını sağlayan roketler ve uydu üzerindeki mekanik birimler uydular üzerinde farklı seviyelerde titreşim, ivme ve şok yükleri oluşturmaktadır. Doğal olarak, uydunun görev ömrü boyunca sorunsuz hizmet verebilmesi için, uydularda kullanılacak malzemeler ile yapısal ve ısıl sistemler bahsedilen ortam koşullarına dayanabilecek mukavemette seçilir ya da tasarlanırlar. Üretimi tamamlanan uydular ise ortam koşullarına çok benzer koşullar yaratan düzeneklerde test edilirler.

UYDULARDA MALZEME SEÇİMİ VE TASARIM DETAYLARI

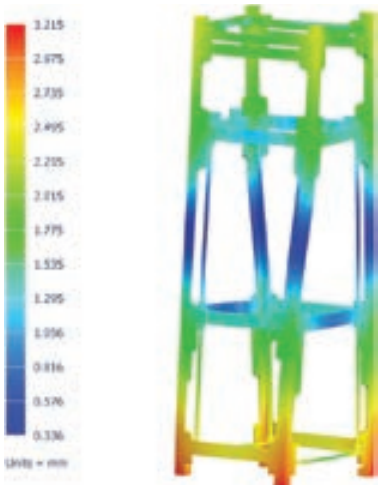
Uyduların hafif olması hem yörüngeye ulaştırma maliyetini düşürmekte hem de operasyon sırasındaki yönelim hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda, uydunun yıllar boyunca ortam koşullarına dayanması gerektiği için mukavemetten de taviz verilememektedir. Bu nedenle uydularda sıklıkla kullanılan malzemeler içinde alüminyum üst sıralarda yer almaktadır.

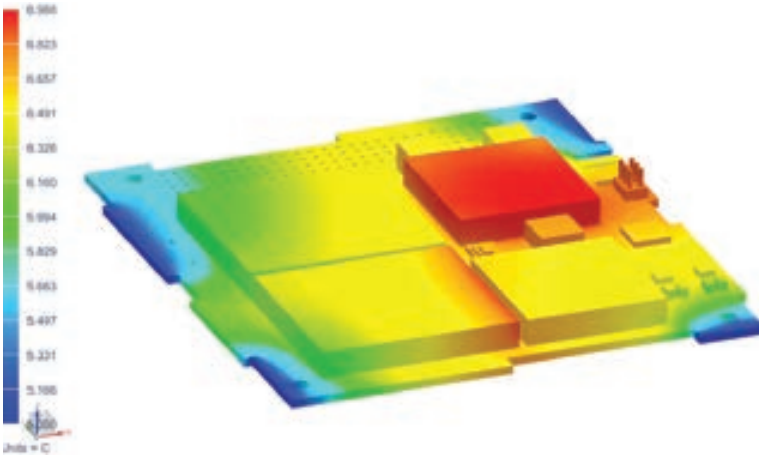
Alüminyum hafif, sağlam, ekonomik, bulunması ve işlenmesi kolay bir malzemedir. Talaşlı imalat ile istenilen geometriye hızlı ve hassas bir şekilde ulaşılabilmesiyle alüminyum uydu üzerindeki neredeyse her birimin bir parçası olmuştur. Nano uydularda iskelet sisteminin yapısında kullanılan temel malzeme olsa da daha fazla mukavemet istenen, stresin yoğunlaşabileceği noktalarda, paslanmaz çelik de tercih edilebilir.

Paslanmaz çelik yeryüzünde çok çeşitli alanlarda kendine yer bulmuş, oldukça kullanışlı bir malzemedir. Raflarda yer alan ve birbiri ile uyumu söz konusu olan cıvata ve pul gibi standart parçalarda çok sık kullanılan paslanmaz çelik, alüminyuma göre daha ağır olsa da



Şekil 1: Sandviç panel yapısı





üstün mukavemete ve korozyon direncine sahiptir. Uydularda da kütle için yeterli bütçe bulunduğu takdirde, dayanımından ve erişim kolaylığından istifade edilmesi sebebiyle paslanmaz çelik kullanılabilir.

Uydularda kullanılan bir diğer alternatif metal ise titanyumdur. Alüminyum, paslanmaz çelik ve titanyum arasında özgül dayanımı (mukavemet/yoğunluk) en yüksek olan malzeme titanyumdur. Bununla birlikte maliyeti de oldukça yüksek bir malzemedir. Uydularda genellikle özel gereksinimleri olan uygulamalarda kullanılmaktadır.

Metallerin yanı sıra uydularda kompozit malzemelerden de sıkça faydalanılmaktadır. Yüksek dayanımlarına rağmen düşük ağırlık sunarlar. Büyük uyduların ekipmanları taşıyan panellerinde ve iskelet sistemlerinde karbon fiber kullanılmaktadır. Karbon fiber malzemeden faydalanmayı bir adım öteye taşıyan detay ise sandviç panel yapısında gizlidir. Bu yapıda karbon fiber yüzey levhaları arasında alüminyum malzemeden yapılmış bal peteği bulunur. Yüzey levhaları arasındaki mesafenin artmasıyla büyük yapının katılığı artarken aradaki boşluğu da bal peteği gibi boşluklu bir yapıyla doldurmak yapının hafif kalmasını sağlar.

Uydu üzerinde kullanılan malzemelerde en önemli kriterlerden biri de gaz salımı faktörüdür. Kullanılan lehimlerden yapısal yapıştırıcılara kadar tüm bileşenlerin vakum ortamına ulaşana kadar gaz salması beklenmektedir. Ayrıca kullanılan yapıştırıcılar kullanım alanına göre çeşitlilik göstermektedir. Örneğin; cihazların montajında kullanılan yapısal yapıştırıcılar için titreşim ve şok yüklerine karşı dayanım beklenmektedir. Isı atımı yüksek cihazlar için ise cihazın tabanına uygulanacak yapıştırıcı ile ısı transferini hızlandırmak amaçlanır. Bu sebeple bu yapıştırıcıların ısıl iletken olması gerekmektedir. Uydu üzerinde bulunan elektriksel cihazların topraklanması önem arz etmektedir. Bu amaca yönelik kullanılan yapıştırıcıların ise elektriksel iletken özellikte olması gerekir. RF parametrelerde kayıp olmamasını sağlamak amacıyla RF sızdırmazlık için de çeşitli yapıştırıcılar kullanılabilmektedir.

UYDULARDA TİTREŞİM VE ŞOK TESTLERİ

Fırlatma ve servis süresi boyunca karşılaşacağı yüklere dayanabilmesi için tasarlanan ve analizleri yapılan uydu ve ekipmanlarının yapısal performansında azalma olmadan bu yüklerin üstesinden gelebildiğini kanıtlamak için girdiği son aşama testlerdir. Bu testlerin detayları aşağıda verilmiştir.

Sinüs Titreşim Testi: Fırlatıcının uydu birimleri üzerindeki 0-100 Hz gibi düşük frekanslardaki etkisini benzetmek için uygulanır. Frekans düzenli bir rejimde artarken titreşim şiddetinin sabit tutulduğu bir profilin uygulandığı bu test elektrodinamik sarsıcılar vasıtasıyla gerçekleştirilebilir.

Rastgele Titreşim Testi: Titreşim şiddeti ve frekansının rastgele değiştiği bu profil 0-2.000 Hz gibi geniş bir aralıkta yine elektrodinamik sarsıcılarla uygulanabilir.

Sanki-statik (İvme) Testi: Roketin yükselirken hızlanması sırasında uydu donanımları üzerinde oluşan statik yüke benzer bir etki üretilmeye çalışılır. Bu testi gerçekleştirmek için santrifüj temelli özel düzenekler bulunsa da elektrodinamik sarsıcı ile de test edilecek birime benzer yükler uygulanabilir.

Şok Testi: Uydunun fırlatıcıdan ayrılması ya da uydu üzerindeki antenlerin ve güneş panellerinin açılması sırasında ortaya çıkan şok etkisinin benzetimi yapılır. Bir şok tablasının arkasında kimyasal patlatılması, bu tablaya havalı tüfek benzeri mekanizmalarla ateş edilmesine ya da çekiçle vurulması temeline dayanan test düzenekleri kullanılabilir.

Akustik Test: Fırlatıcının yükselmesi için gereken enerjiyi elde edebilmek amacıyla roket motorlarında hızlı bir yanma olayı gerçekleştirilir ve bu esnada büyük bir gürültü meydana gelir. Bu ses basıncının özellikle anten ya da uydu panelleri gibi geniş yüzeylere sahip birimler üzerindeki etkisini benzetmek için akustik odada birimler üzerine şartlandırılmış azot gazı gönderilir ve birimler üzerinde oluşan titreşimler izlenir.

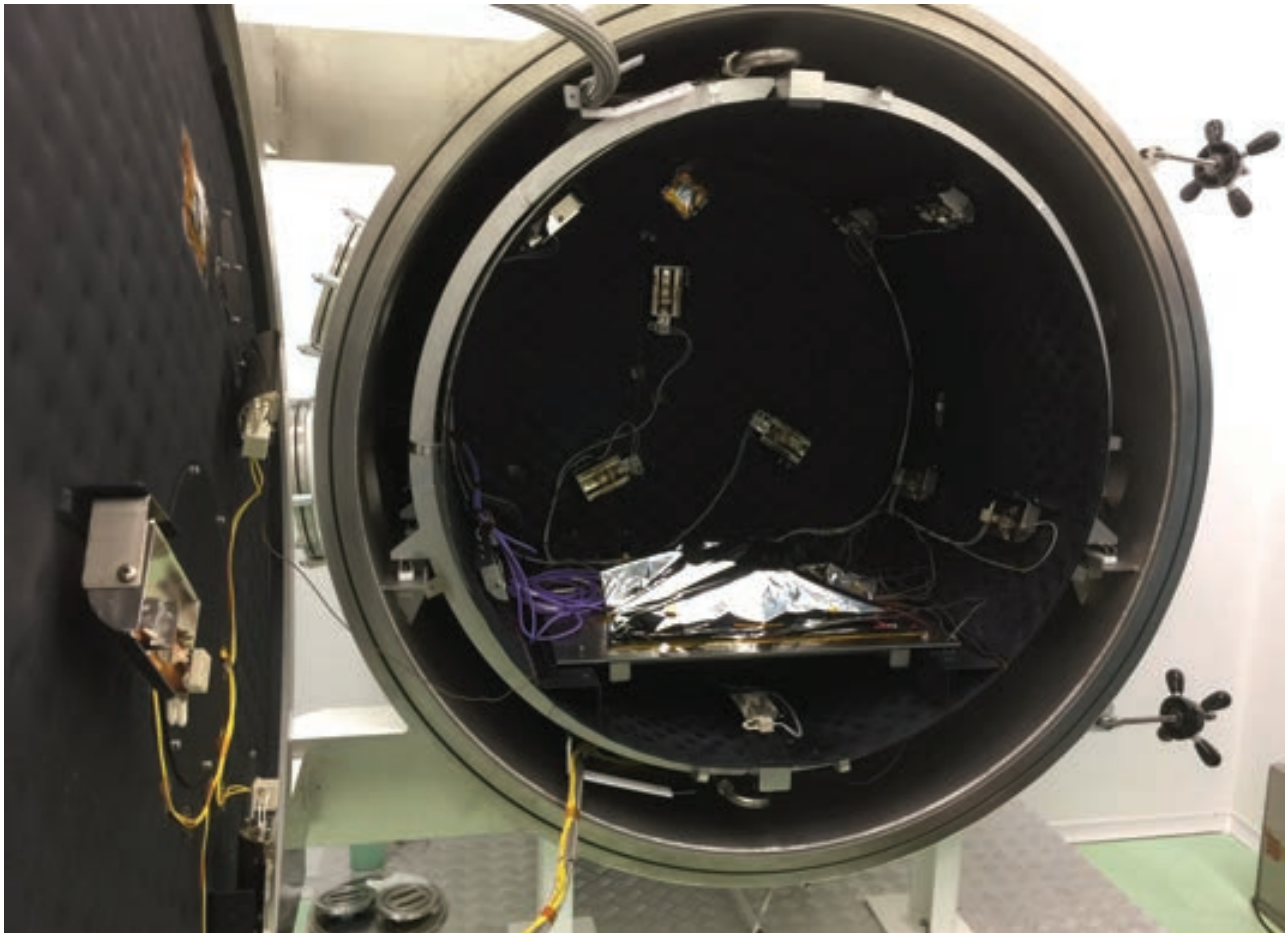
Şekil 2: Elektrodinamik sarsıcı

UYDULARDA ISIL - VAKUM TESTLERİ

Uzay ortamına bırakılan uydular kütle çekim kuvveti ile yörüngede hareket etmektedir. Uydunun yörüngedeki hareketi boyunca, güneşlenme açısı değişmektedir. Hatta tutulma olarak düşünebileceğimiz şekilde uydu karanlık ortamda kalmaktadır. Bu sebeple uydu üzerinde bulunan yüzeyler değişken solar ısı yüklerine maruz kalmaktadır. Isıl vakum testleri de uydular fırlatılmadan önce uydunun yörüngede maruz kalacağı ısıl etkilere uyduyu hazırlamak ve uzay ortamında uydunun benzer sıcaklıklarda ve vakum ortamında çalışabilirliğini kanıtlamak için yapılan testlerdir.

Bu testlerin senaryolar belirlenirken yaz gündönümü, kış gündönümü ve tutulma gibi etkiler dikkate alınmalıdır. Yörüngesinde hareketine başlayan uydu ömrü boyunca değişken ısıl yüklere periyodik olarak maruz kalacaktır ve bu süreç boyunca uydunun performansının etkilenmemesi beklenmektedir. Bu nedenle ısıl vakum testleri kapsamında periyodik sıcaklık değişimlerine maruz bırakmak amacı ile uydu sıcaklık döngülerine tâbi tutulur ve elektriksel performans testleri gerçekleştirilir.

Uyduyu uzay ortamına benzer koşullarda test edebilmek için genellikle güneş ısı akısını kızılötesi lambalar uzay boşluğunu ise sıvı azotla soğutulmuş bir çeper temsil eder. Tüm bunlara ek olarak uydunun eliptik yörüngedeki hareketi düşünüldüğünde uydunun kimi yüzeyleri güneşe bakarken kimi yüzeyleri de karanlık uzay boşluğunu görmektedir. Bu nedenle uydu üzerinde oluşabilecek sıcaklık farklarını dengeye getirebilmek gerekmektedir. Temel amaç soğuk yüzeyi ısıtmak sıcak yüzeyde oluşan ısıyı dağıtmak olmalıdır. Tüm bu amaçlara yönelik uydu üzerinde bazı kontrol sistemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları panel üzerine dağıtılmış durumda olan ısıtıcılar, ısı boruları radyatör alanları olarak sayılabilir. Bu alt sistemler ile uydunun bütününde eşit dağılımlı (tek düze) sıcaklık profili elde etmek hedeflenmektedir. Bu elemanlar ile hem yörüngede hem de uzay ortamının küçük bir benzetimi olan ısıl vakum testlerinde uydu üzerinde kontrollü bir sıcaklık dağılımı sağlanır. Yine bu elemanlar ile uydu hizmet ömrü boyunca istenilen çalışma sıcaklıkları içerisinde tutulmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3: Isıl vakum test sistemi

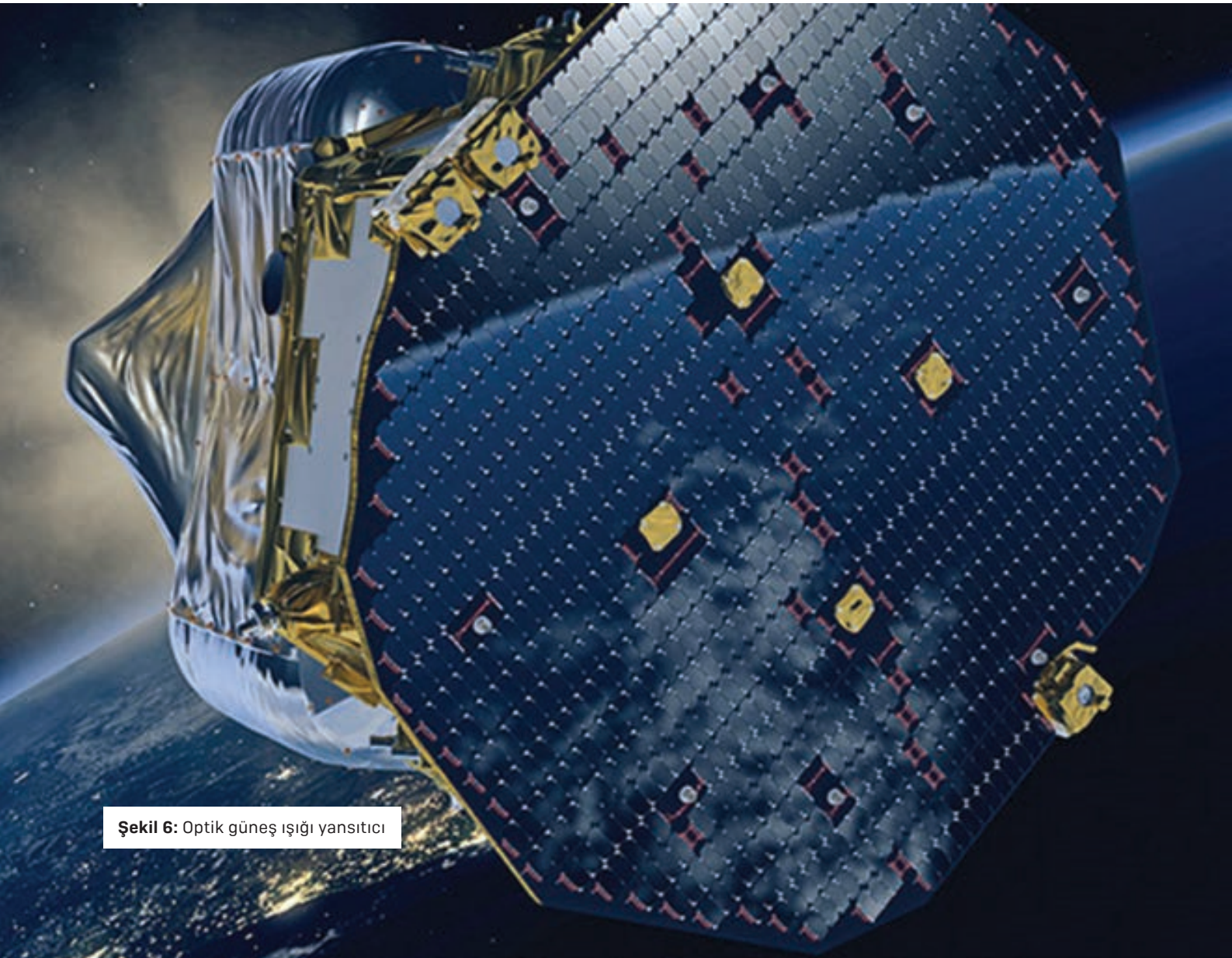
ISIL KONTROL ALT SİSTEMİ ELEMANLARI

Uyduyu yörüngede çalışma sıcaklık aralıklarında tutmak için ısıl kontrol elemanları bulunmaktadır. Bu bileşenler; ısı boruları, ısıtıcı plakaları, optik güneş ışığı yansıtıcıları ve yalıtım battaniyeleri olarak sıralanabilir.

Isı Boruları: Yüksek termal iletkenliğe sahip bir ısı transferi aracıdır. Bir ısı borusu göreceli olarak sıcak ve ısıl iletken yüzeye temas ettirildiğinde yüzeyden alınan ısı ile ısı borusu içerisindeki kimyasal buharlaşarak ısıyı soğuk uca taşır. Isı borusu içindeki sıvının hal değiştirmesi ile oluşan hareket ile ısı taşınımı sağlanır. Uzay ortamında ısı borularının kullanılmasının temel sebepleri pasif çalışmaları ve yerçekimsiz ortamda çalışmaya uygun olmalarıdır. Isı borularından verim alma için harici bir güç kaynağına gerek yoktur. Isı boruları yardımı ile cihazlardan atılan ısı tüm panele yayılır ve panelin radyatör yüzeyleri ile uzaya atımı sağlanır.

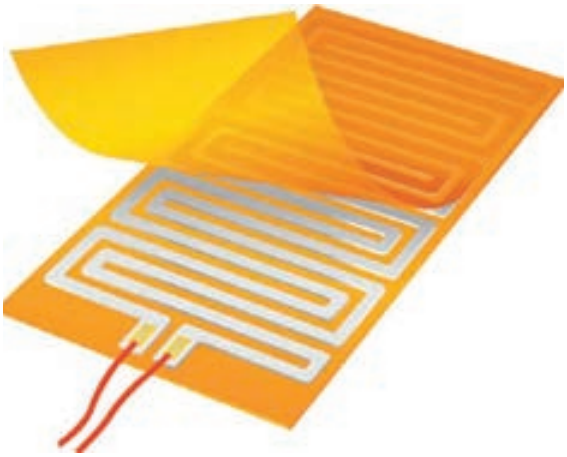
Optik Güneş Işığı Yansıtıcıları (OSR): Radyatör panellerinin dış yüzeyine yapıştırılan OSR'ler, güneş radyasyonunu geri yansıtmak ve uyduda üretilen ısıyı dağıtmak için tasarlanmıştır. Termo-optik özelliklerinin bu amaca uygun olması sebebi ile kuvars katmanlardan oluşur.

Çok Katmanlı Yalıtım Battaniyesi (MLI): Çok sayıda ince tabakadan oluşan ısı yalıtımı elemanıdır. Isıl radyasyon ile uydu içi ısı kaybını azaltmayı amaçlayan bu eleman ile uydu içerisinde bulunan cihazlar için daha kontrollü bir ortam sağlanmış olur. Aynı zamanda uydu yörünge hareketi boyunca maruz kaldığı ani sıcaklık değişimlerinden de minimum oranda etkilenir.



Şekil 6: Optik güneş ışığı yansıtıcı

Şekil 4: Isıl boru



Şekil 5: Isıtıcı

UZAY EKİPMANLARI İÇİN TASARIM, GELİŞTİRME VE ÜRETİM YAKLAŞIMLARI

Dr. Arslan Hakan COŞKUN

İnsanlık ilk çağlardan beri gökyüzü, Güneş, Ay, yıldızlarla hep ilgilenmiş; başlarda onlara tapınmış sonraları incelemeye çalışmış ve gözlem yapmıştır. Bilimin ve teknolojinin gelişmesi ile öncelikle uzay, gezegenler ve Güneş ile ilgili öngörüler, hipotezler geliştirilmiş, sonrasında da yirminci yüzyıl itibarıyla uzaya fiziksel yolculuklar yapılmaya ve uzay daha derinden incelenmeye başlanmıştır. Günümüzde ise uzay sivil ve askeri haberleşme, gözlem, istihbarat ve deneysel çalışmalar için kullanılmakta, bunun yanında derin uzay araştırmaları ve başka gezegenlerde yaşam ortamı arama çalışmaları devam etmektedir.

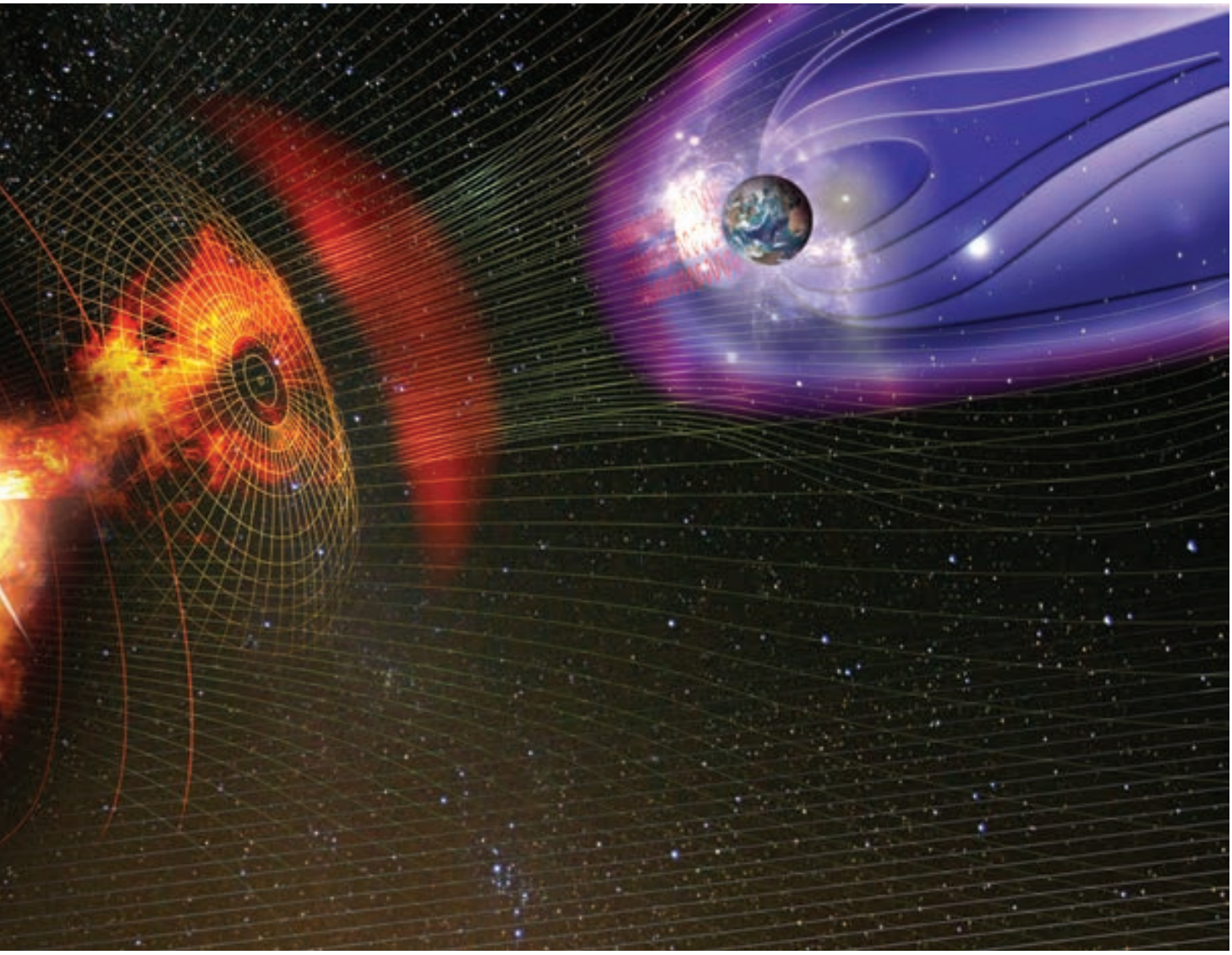
Uzayda insanlı ve insansız görevlerin başarılı ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bu ortama dayanıklı ve güvenilir uzay araçları, uydular, uydu içlerine yerleştirilen fonksiyonel sistemler, ki bunlara görev yükü veya faydalı yük diyoruz ve bu sistemlerin alt parçalarını oluşturan uydu/uzay ekipmanları geliştirmek kaçınılmaz olmaktadır. Uzay görevleri çok maliyetli, hata ve arızalara çoğu zaman toleranssızdır. Bu yüzden uzay ortamını ve göreve giden araç ve ekipmanlara etkilerini iyi anlamak durumundayız.

Uzay denince aklımıza ilk gelen havasız ve basınçsız bir ortam olmasıdır. Böyle bir ortamda ekipmanların olası gaz salınımları araç içindeki diğer ekipmanlara özellikle optik olanlara zarar verebilir. Dolayısıyla ekipmanlarda kullanılan özellikle mekanik ve kimyasal malzemelerin izin verilen seviyelerden fazla gaz salınımı yapmamaları önemlidir. Yine havasız ortam olması ısı transferini de olumsuz etkilemekte ve özellikle güç harcayan ekipmanların yerde olduğu gibi soğutulması mümkün olmamaktadır.

Uzay araçlarının uzayda bulundukları konuma ve güneşi görme durumuna bağlı olarak, çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklara maruz kalması mümkündür. Uzay aracının dış yüzeyinde bulunan anten gibi ekipmanlar bu yüksek ısıl döngülere maruz kalırken, uzay aracı içinde yer alan ekipmanların, tasarlanan ısıl kontrol sistemleri sayesinde kontrollü bir ısıl ortama sahip olmaları sağlanabilmektedir. Ancak buna rağmen uzun ömürlü görevlerde bu sınırlı sıcaklık aralığındaki ısıl döngüler ekipmanlara yapısal zararlar verebilmektedir.

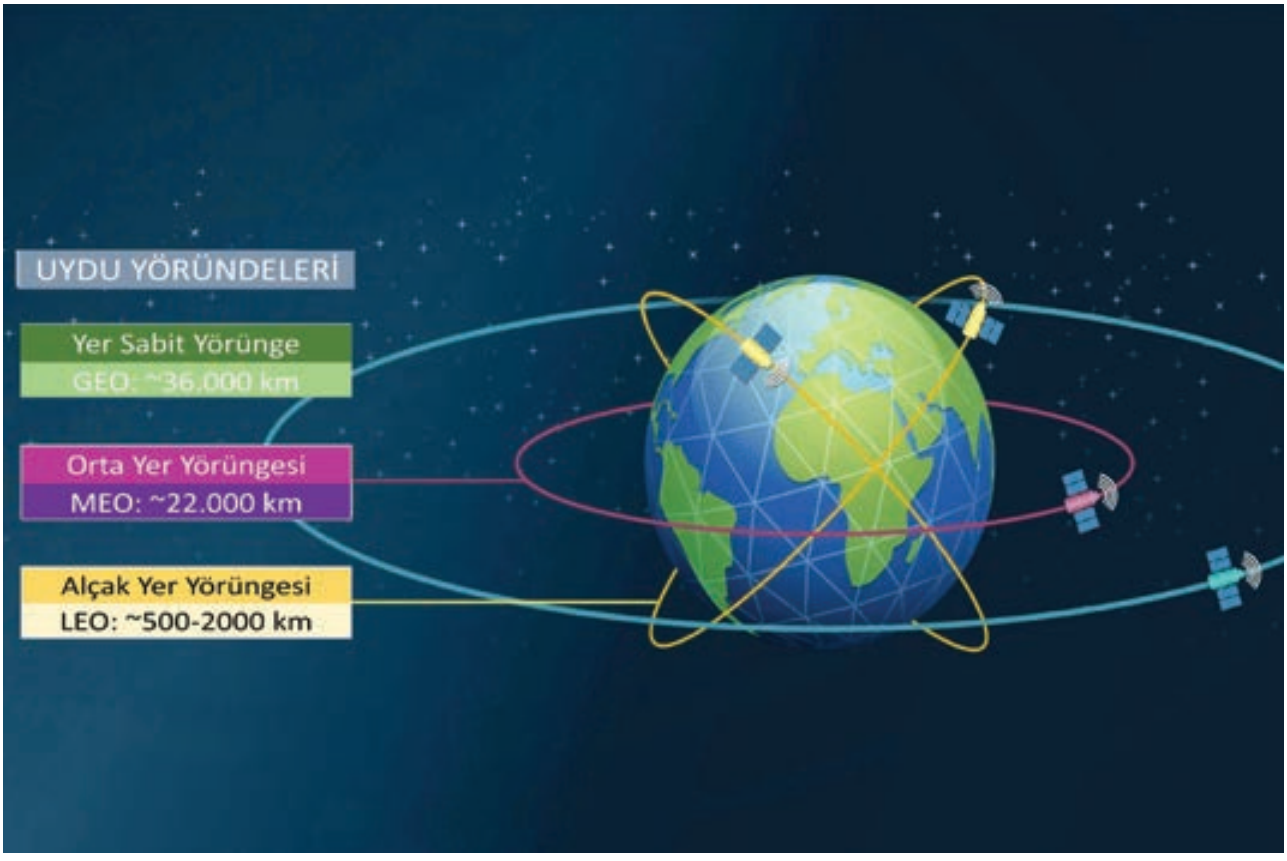
Uzay radyasyon ortamı

Bir başka önemli etken ise uzay havasını da oluşturan güneş ışınları, kozmik ışınlar, radyasyon kemerleri veya derin uzay kaynaklı elektron, proton ve iyon gibi maddelerin sebep olduğu radyasyon etkisidir. Bu etkiler özellikle elektronik malzemeler üzerinde, malzemenin teknolojisine bağlı olmak üzere, kümülatif veya anlık olabilir. Kümülatif etkiler (Toplam İyonize Doz veya Toplam İyonize Olmayan Doz) malzemenin performansını zamanla bozarken, anlık etkiler (Tekil Olay Etkiler) malzemenin üzerine çarpan elektron, proton, iyon gibi maddelerin bırakacakları etkiye göre kalıcı veya geçici hasar verebilir. Bu durum, uzay görevleri için tasarlanan ekipmanlarda bulunacakları yörüngede veya ortamda maruz kalabilecekleri radyasyon etkilerine dayanıklı malzemelerin kullanılması, bu etkilerin şiddetini azaltacak ve görev ömrü boyunca güvenli alanda kalacak önlemlerin alınmasını gerektirir.



Yukarıda da belirtildiği gibi uzay görevlerinde hata ve arıza toleransı oldukça düşüktür, çünkü arıza durumunda görevdeki uzay aracına veya ekipmana müdahale çoğunlukla mümkün olamaz. Bir ekipmanda oluşan arıza görev yükü üzerinde yer alan diğer ekipmanlara da yayılabilir ve sonunda bütün görev yükü işlevsiz kalabilir. Bu sebeple, uzay ekipmanlarında kullanılan malzemeler ve ekipmanlar stres seviyesi yüksek birçok testten geçirilir ve böylece yeterli seviyede güvenilirlik elde edilmeye çalışılır. Mümkün olduğunca tarihçeli ekipman ve malzeme kullanılır, aktif ekipmanlarda oluşabilecek hata risklerine karşı, yedeklilik yaklaşımı uygulanır. Tarihçe, bir uzay ekipmanı ve malzemesi için daha önce benzer uzay görevlerinde ve çalışma koşullarında kullanıldığının göstergesidir. Yukarıda belirtilen bütün bu faktörler uzay kalifiye ekipman ve malzeme kavramını gündeme getirmekte, malzeme seçim kümesini oldukça daraltıp, uzay ekipmanlarının maliyetinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Dünya'ya yönelik uzay görevleri genel olarak üç temel Dünya merkezli yörüngede tanımlanabilir: Alçak yer yörüngesi (Low Earth Orbit-LEO, 160-2.000 km), orta yer yörüngesi (Medium Earth Orbit-MEO, 2.000-36.000 km) ve geo statik yörünge (GEOstationary-GEO, yaklaşık 36.000 km). Keşif, gözetleme ve istihbarat uyduları LEO'da konuşlandırılırken, konumlama, zamanlama ve seyrüsefer uyduları için MEO, haberleşme uyduları için de GEO yörünge tercih edilir. Uydunun bulunduğu yörünge, maruz kalacağı uzay çevresel koşullarını da farklılaştırdığından bu yörüngelerde görev yapacak uzay araçlarının test, güvenilirlik ve radyasyon gereksinimleri de değişiklik gösterir. GEO uyduları dünyaya göre durağandır ve bu sebeple geniş kapsama alanlı haberleşme için



Dünya etrafındaki yörüngeler

elverişlidir, LEO uyduları ise dünya etrafında bir turunu yaklaşık 90 dakikada tamamlar, bu yüzden gözlem ve istihbarat amaçlı tercih edilir. GEO uyduları 20-30 yıl gibi uzun ömürlü olması beklenirken, LEO uyduları uygulamaya göre 1-10 yıl gibi daha kısa ömürlü olması yeterli olabilir.

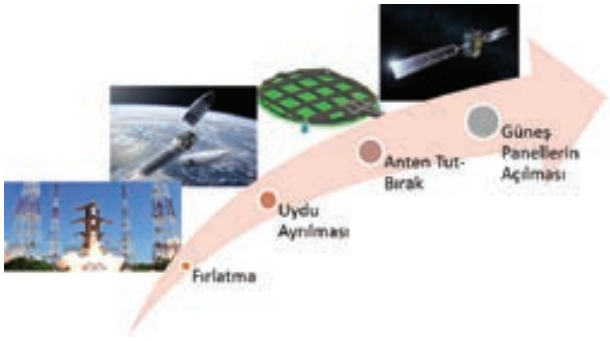
Uzay sistemlerine yönelik tasarım, analiz, üretim, testler, montaj ve entegrasyon gibi geliştirme aşamasındaki tüm süreçler için yıllarca oluşturulan tecrübe ve birikim ışığında hazırlanan ve güncellenen uluslararası standartlar takip edilmektedir. Genelde takip edilen standartlar Kuzey Amerika'daki DLA (Defence Logistics Agency) kaynaklı DSCC (Defence Supply Center Columbus) ve MIL-STD Askeri Standartları ve Avrupa'daki ESA (Europian Space Agency) kaynaklı ECSS (Europian Cooperation for Space Standardization) ve ESCC (Europian Space Components Corporation) standartlarıdır. Temel olarak bu standartlar da referans alındığında, zorlayıcı koşullarda görev yapacak bir uzay ekipmanı geliştirilirken temelde dört ana model oluşturulur. Bunlar;

- Ekipmanın masa üstü performansının değerlendirildiği işlevsel model (veya masa üstü model),
- Elektriksel ve mekanik tasarımın son haline getirildiği ve dondurulduğu uzay kalifiye olma zorunluluğu olmayan ancak uçuş ile elektriksel ve mekanik eş malzemelerin kullanıldığı mühendislik modeli,
- Mümkün olduğunca uzay kalifiye malzemeler ve üretim süreçleri ile üretilen ve zorlayıcı uzay kalifikasyon testlerine tâbi tutulan kalifikasyon (veya yeterlilik) modeli,
- Uçuş amaçlı uzay kalifiye malzeme ve süreçlerle üretilen ve tahribatsız uçuş testlerine tâbi tutulan uçuş modelidir.

Ekipman sağlayıcısının tecrübesi, tarihçesi ve malzeme tedarik durumuna göre mühendislik modeli ile kalifikasyon modeli bazen tek bir model altında üretilip, test edilebilir. Böyle bir modele mühendislik yeterlilik modeli denir ve bu modelde mühendislik modeli malzemeleri de kullanılabilir. Ancak kalifikasyon modeline uygulanan seviyelere yakın seviyelerde testlere tâbi tutulur. Mühendislik yeterlilik modeli üretilme durumunda uçuş öncesi modeli de üretilir. Bu model uçuş modeline göre biraz daha fazla teste tâbi tutulan ancak uçuşa hazır bir üründür.

Yukarıda da belirtilen ortam koşullarında ekipmanın belirlenen görev süresi boyunca sağlıklı çalışabilirliği bazı analizlerle ortaya konmaktadır. Bu analizler çoğunlukla ECSS standartlarına göre yapılır ve kritik tasarım aşamasında ne kadar detaylı ve doğru yapılırsa, ekipmanın kalifikasyon/uçuş testlerinde ve görev süresince başarılı olma ihtimali o kadar yüksek olur. Ayrıca bu analizler ekipmanın görev süresince maruz kalabileceği farklı etkilere karşı yeterli önlemler alınabilmesi açısından da önemlidir.

Bir uzay ekipmanının tâbi olacağı testler ve uygulanacak analizleri belirlemek bakımından görev boyunca maruz kalacağı çevresel koşulları tanımlamak için üç ana faz dikkate alınır. Bunlardan ilki fırlatmadır. Fırlatma aşamasında uzay aracının maruz kalacağı mekanik yükler, temelde fırlatma platformu ve fırlatma roketi kaynaklı olup, fırlatma sağlayıcı firma tarafından belirtilir. Bu yükler uzay aracının sistem seviyesinde maruz kalacağı yükleri ifade etmekte olup, sistem entegratörü detaylı analizler çerçevesinde uzay aracında bulunacak her bir ekipmana gelecek yük seviyelerini belirler. Bu seviyelere göre ekipmanın yapısal analizleri gerçekleştirilir ve yeterli güvenlik marjinleri gözetilerek mekanik yapı güçlendirilir. Bu süreçte elektronik ve mekanik tasarım eş zamanlı ilerlemelidir. Çünkü bazı durumlarda özellikle belirli bir ağırlığın üzerindeki elektronik malzemelerin konumları etkilenebilir, bu da elektronik tasarımı etkileyebilir. Fırlatma sürecinde önemli bir diğer olgu da uzay aracı ve içindeki ekipmanlardan, deniz seviyesi basıncından hızlıca sıfıra yakın bir basınç seviyesine düştüğünde gerçekleşmesi gereken hava tahliyesidir. Bu amaçla ekipmanlara belirli sayıda tahliye deliği hesaplanarak uygun yerlere yerleştirilir.



Uzay aracının mekanik yüklere maruz kaldığı uçuş fazları

İkinci önemli faz, uzay aracının roketten ayrılması, sonrasında anten ve güneş panellerinin açılması gibi mekanik şoklara maruz kaldığı süreçtir. Yine fırlatma roketine bağlı olarak, fırlatma sağlayıcının ve uzay aracı sistem entegratörünün belirlediği seviyelerde ekipmanlar, bu yüklere dayanım durumlarını garanti etmek için kalifikasyon modelleri vasıtasıyla şok testlerine tâbi tutulur ve kritik malzemeler bu kriterlere göre seçilir.

Üçüncü aşama ise uzay aracının veya uydunun uzay boşluğundaki yolculuğudur. Bu aşamada, aracın bulunacağı yörüngeye ve görev süresine göre uzay ekipmanın maruz kalabileceği başta ısıl ve radyasyon olmak üzere çevresel koşulların etkilerini ortaya koyacak analizler yapılır. Bu analizler ile her bir ekipmanın maruz kalabileceği ısıl yükler ve radyasyon seviyeleri (kümülatif ve anlık) belirlenerek ekipmanın tüm görev ömrü süresince güvenli seviyelerde kalabileceği elektronik, mekanik veya üretimsel önlemler alınır.

Benzer şekilde elektronik malzemelerin dolayısıyla ekipmanın güvenilirliğini artırabilmek için malzemenin türüne göre üzerlerine düşen elektriksel yüklerin hesaplandığı parça stres analizi gerçekleştirilir ve bu yüklerin belirlenmiş limitler dahilinde olduğu kontrol edilir, limit dışındaki malzemeler için önlemler alınır. Parça stres analizi ile paralelde yapılan analiz ise güvenilirlik analizidir. Bu analizde hem malzemeler üzerindeki yükler hem de malzemelerin kalifikasyon özellikleri dikkate alınarak hata oranları hesaplanır.

Görev ömrü boyunca elektronik malzemelerin karakteristiklerinde kaymalar olabilir ve özellikle GEO yörüngede bulunan uydular gibi uzun ömürlü (15-30 yıl) uydularda bu kaymalar daha belirgin hale gelebilir. Bunun sonucunda ekipman kendisinden beklenen görev ömrü sonu gereksinimlerini sağlayamayabilir. Bu durum en kötü koşul (Worst Case Analysis) analizi ile incelenir. Kritik malzemeler bu koşullar göz önünde bulundurularak seçilmeye çalışılır.

Ekipman tasarımında dikkat edilmesi gereken bir başka önemli faktör de görev yükündeki diğer ekipmanların faaliyetini veya performansını etkilememesidir. Bu amaçla yapılan analizlerden biri elektromanyetik uyumluluk (EMC) ve elektrostatik boşalma (ESD) analizidir. Bu analiz ile öngörülen sapmalar için tasarımda önlemler alınır. Aynı zamanda da kalifikasyon modelinde detaylı EMC ve ESD, uçuş modelinde indirgenmiş EMC testleri uygulanır. Ekipmanda görülebilecek arızaların ve hataların görev yükündeki diğer ekipmanlara yayılma

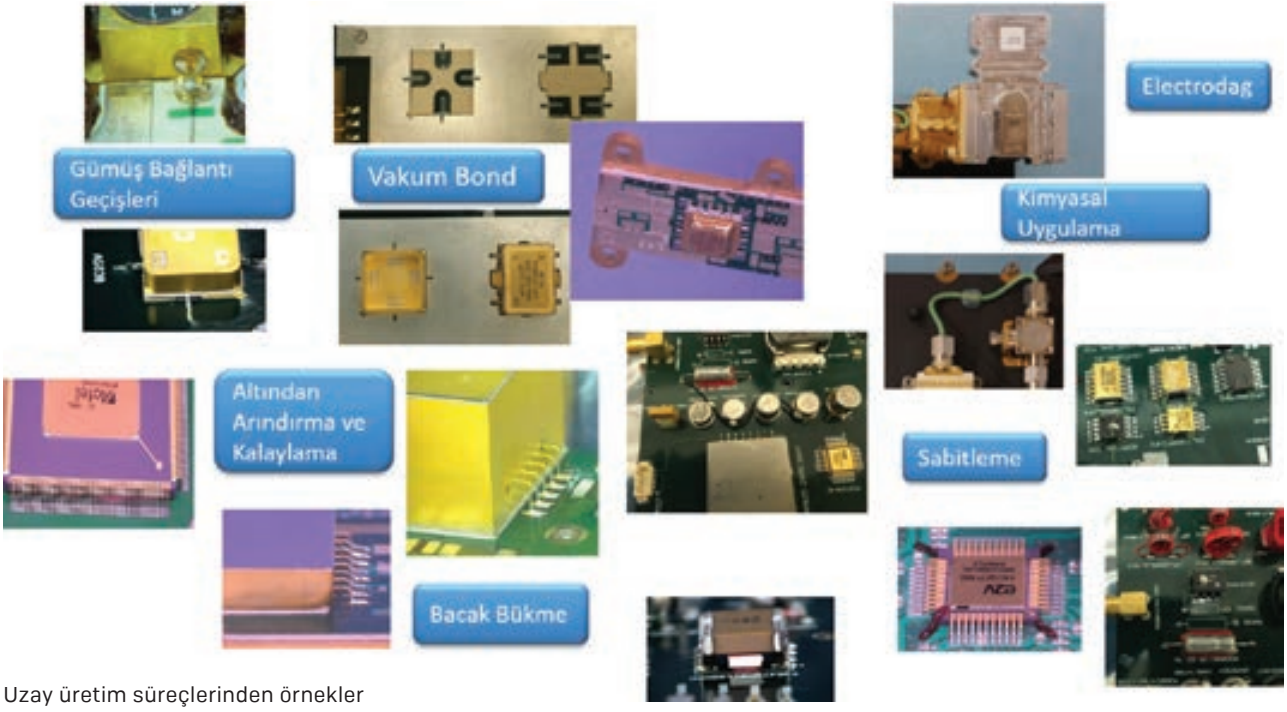
durumu ve tüm görev yükü performansı üzerindeki etkisi de FMECA (Failure Mode Effects Criticality Analysis) analizi ile incelenir. Özellikle tek nokta hata (Single Point Failure) olmamasına dikkat edilmelidir.

Uzay ekipmanının uzun ömürlü görevinde sorunsuz çalışabilmesini sağlayabilmek için malzeme kaynaklı riskleri minimize etmek gerekmektedir. Bu sebeple kullanılan elektronik ve elektromekanik malzemelerin belirli kalifikasyon testlerinden geçmesi ve mümkünse tarihçeli olması beklenir. Malzeme standartları için DSCC ve ESCC standartları takip edilir. Bu standartlarda yer alan kalifiye parça listesi referans olarak kullanılabilir ve mümkünse bu listelerden malzeme kullanımı hem maliyet hem de tedarik riskleri açısından tercih edilebilir. Bu listelerde bulunmayan bir malzemenin kullanımı durumunda ise tedarik sürecinde veya sonrasında bu standartlar referans alınarak göreve uygun kalifikasyon testleri uygulanmalıdır. Bunun için malzeme sağlayıcısı ile bu testlerin tanımlandığı ve uzlaşıldığı malzeme spesifikasyon dokümanları (Source Control Drawing) hazırlanır ve tedarik süreci takip edilir.

Tedarik edilen malzemelerin tek bir üretim hattından aynı koşullar altında çıkması önem arz etmektedir. Bu koşullarda çıkan malzemelere bir lot numarası verilir. Kalifikasyon testleri aynı lot'dan üretilen malzemelere uygulanır. Bir uzay ekipmanında kullanılan tüm elektronik malzemelerin tip numaraları, tedarikçileri, kalifikasyon durumları ve lot takip numaraları deklare komponent listesi (Declared Component List) ile belgelenir ve entegratör/müşteri ile paylaşılır.

Bir uzay ekipmanının tasarımı kadar üretimi de çok kritiktir. Ekipman üretiminde tel bağlantı, vakum yapıştırma, malzeme bacak bükme, altından arındırma, sabitleme, lehimleme, konformal kaplama gibi birçok üretim süreci uygulanır. Bu süreçler, ekipmanın uzayda maruz kalabileceği çevresel (mekanik, ısıl ve vakum) şartlara benzer koşullara tâbi tutularak kalifiye edilmelidir. Bu süreçlerde kullanılan kimyasalların tıpkı elektronik malzemeler gibi uzay uygulamalarında kullanıma uygun olmaları, lot bazında izlenebilirliklerinin olmaları ve özellikle gaz salınımlarının izin verilen düzeyden az olması gerekmektedir.

Uzay ekipman üretimleri ve testleri kontrollü havalandırma, nem ve elektrostatik koşulları barındıran ve yabancı zararlı parçacık sayısı belirli seviyelerin altında tutulduğu temiz oda denilen ortamlarda gerçekleştirilir. Bir uzay ekipmanında kullanılan mekanik ve kimyasal malzemeler ve baskı devre kartların tip numaraları, tedarik bilgileri, radyasyon, gaz salınımı, kimyasal yapıları gibi özellikleri ve lot takip numaraları deklare materyal listesi (Declared Material List) ve uygulanan üretim süreçleri de deklare süreç listesi (Declared Process List) ile belgelenir.

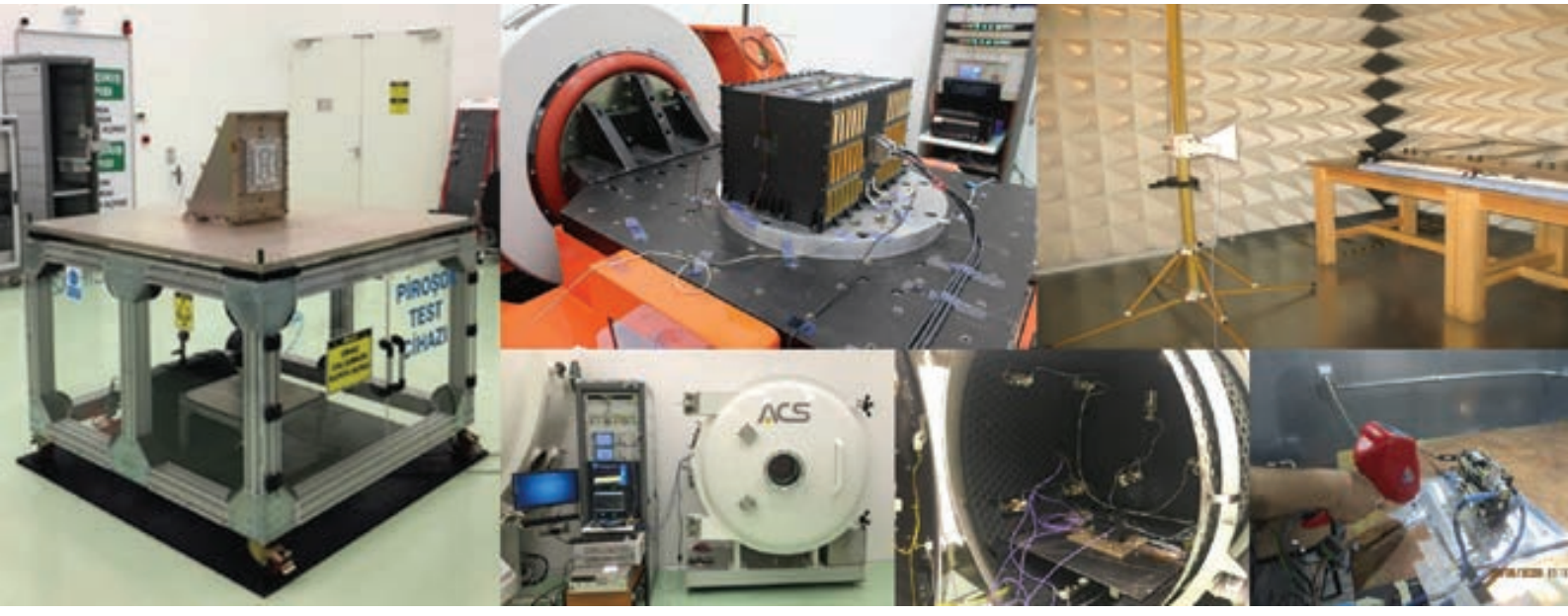


Uzay üretim süreçlerinden örnekler

Kalifiye malzeme ve süreçler ile üretilen uzay ekipmanı kalifikasyon testlerine girmeye hazırdır. Bu testler kapsamında ekipmanın uzay görevi süresince maruz kalacağı çevresel testler uygulanır. Bunlar mekanik titreşim, şok, vakumda ısıl döngü, EMC ve ESD testleridir. Her test aşamasından sonra elektriksel testler uygulanarak ekipman performansında bir değişim olup olmadığı gözlemlenir. Testlerden başarı ile geçen ekipmanın artık kalifiye olduğu kabul edilir. Testler sırasında herhangi bir arıza meydana gelirse hata kaynakları araştırılır, arızanın durumuna göre testler yenilenebilir. Uçuş ekipmanlarına da benzer mekanik ve vakumda ısıl döngü testleri uygulanır ancak bu testlerin seviyesi kalifikasyon modele göre daha düşüktür. Her aşamada yapılan elektriksel test sonuçlarının sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için test düzeneklerinin dikkatlice hazırlanması ve ölçüm hassasiyetlerinin istenilen seviyelerde olmaları önemlidir.

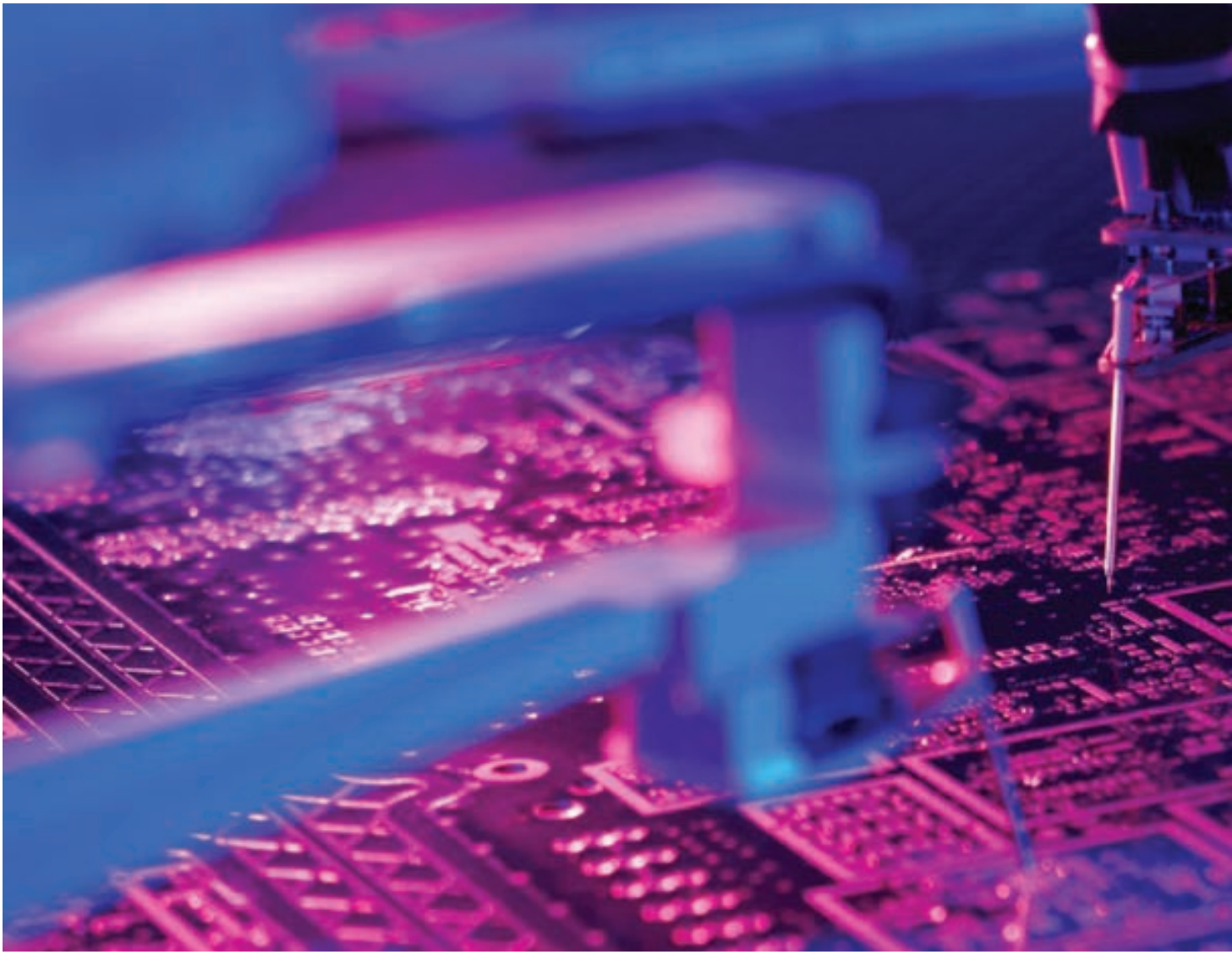
Uzay ekipman üretim sürecinde kalite kontrolü çok önemlidir. Ekipmanların üretiminde kullanılacak her türlü elektronik, mekanik ve kimyasal malzemenin, üretimin yapılacağı tesise girişinde tedarik koşullarına göre hazırlandığı ve test edildiği kontrol edilir. Gelen malzemelerin seri veya lot numarası izlenebilirliği sağlanacak şekilde temiz oda depolarında depolanması sağlanır. Ekipman üretim aşamasında malzeme derleme, kart dizgileri ve montajları, elektromekanik montajlar ve testler, kısacası üretim ve test sürecinin her aşaması deneyimli ve uzman bir kalite grubu tarafından denetlenmeli ve oluşan arızalar veya uygunsuzluklar kayıt altına alınmalıdır. Bu adımlar ekipmanın tasarımından yörüngeye kadar olan uzun yolculuğunda izlenebilirliğinin sağlanması için çok önemlidir.

Sonuç olarak, uzay görevleri için bir ekipmanın hikayesi üretici açısından basit, güvenilir ve mümkünse yedeklenebilir ve tarihçeli bir tasarım ile başlar. Görev boyunca maruz kalacağı etkilere göre analizleri yapılır ve güvenli marjlarda kalındığı teyit edilir. Görevin ihtiyaçlarını karşılayacak kalifiye malzeme ve materyal temini ile uygun temiz oda şartlarında uzay kalifiye süreçlerle mühendislik, kalifikasyon ve uçuş modellerinin üretimi yapılır. Hassas, tekrarlanabilir ve güvenilir test ortamlarında testleri yapılır. Yine uygun taşıma koşullarında entegratöre teslim edilmesi ile sonlanır. Sonrasında bu ekipman gerçek uydu veya uzay aracı içinde yerini alır ve testleri yapılır. Fırlatma sonrasında devreye alma ve yörünge testleri ile çalışma durumu ve performansı teyit edilir. Tüm bu aşamalar sonrasında ekipman artık görev ömrü boyunca çalışmaya bırakılır. Bütün bu süreç boyunca izlenebilirlik, kalite denetimi, tasarım, üretim, sistem, program ve satın alma ekipleri arasındaki uyum, disiplin, sabır ve iş birliği oldukça zorlu sınavlara tâbi olduğumuz uzayda yüksek teknoloji ürünlerimizin başarısı için vazgeçilmez ögelerdir.



Kalifikasyon testleri (Titreşim, Şok, Isıl Vakum, EMC, ESD)

ASELSAN BASKI DEVRE ÜRETİM TESİSİ 42 YILLIK BASKI DEVRE TECRÜBESİYLE **UZAY TEKNOLOJİLİ KARTLARI ÜRETİYOR**



İrem ŞENGÖR FIRTIN
Dr. Aslı BORAN

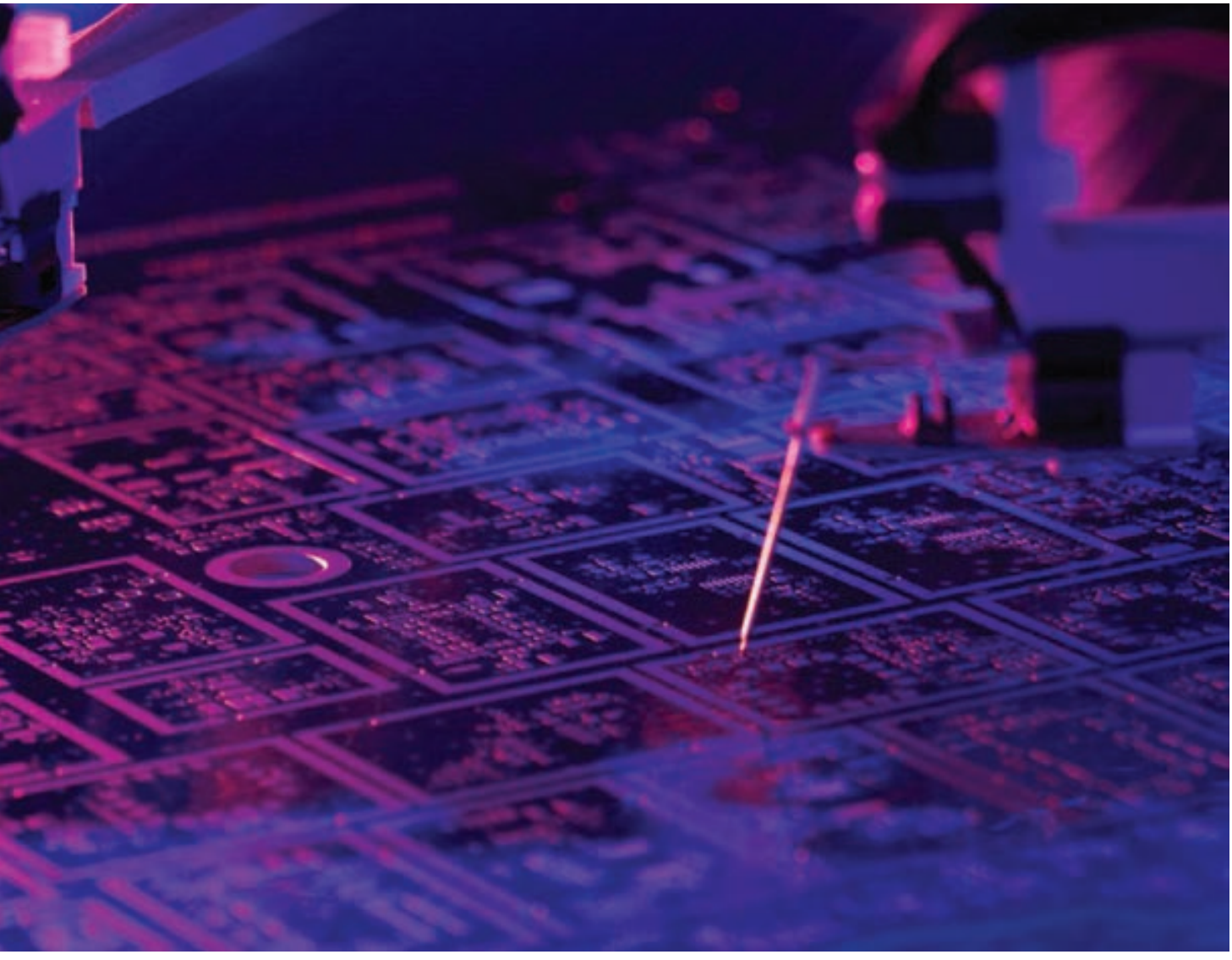
ASELSAN HBT Baskı Devre Üretim Tesisi yüksek teknoloji içeren savunma elektroniği ürünlerinde kullanılan; çok katlı katı, esnek, yarı-esnek ve HDI baskı devre kartlarının prototip ve seri üretimlerinin ASELSAN bünyesinde gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. 6600 m2'lik kapalı üretim alanına sahip olup, cihaz parkuru, tecrübeli personeli ve teknolojik üretim kabiliyetleri açısından Türkiye'deki tek teknolojik boş baskı devre kartı üretim tesisi konumundadır.

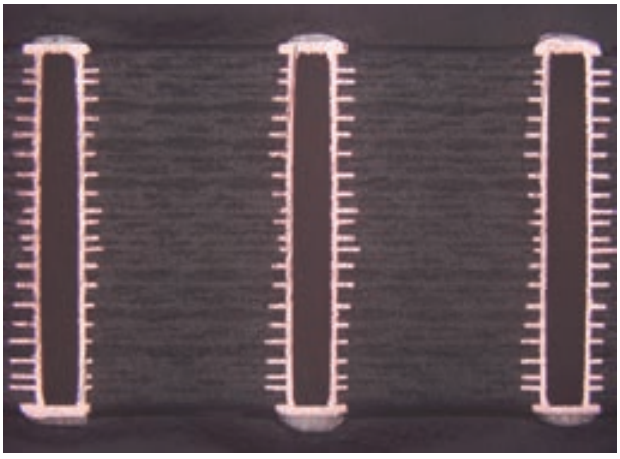
ASELSAN, kendi kabiliyeti ile en yeni teknolojik gelişmelere uyum sağlayarak BDK üretimi konusunda gereken mühendislik desteğini sağlamaktadır. Ayrıca, olası askeri/sivil ambargo risklerine karşı savunma sanayinde teknolojik bir merkez olarak yer almaktadır.

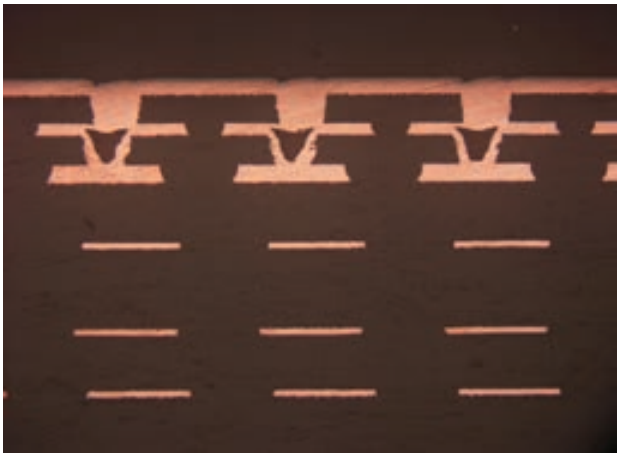
Uzay ve uydu teknolojilerinde kullanılan baskı devre kartlarının zorlu çevresel koşullarda yüksek güvenilirlik seviyesine sahip olması ve ileri düzeyde işlevsellik göstermesi gerekmektedir. Bu sebeple uzay teknolojilerinde kullanılacak olan baskı devre kartları askeri kartlardan farklı olarak IPC'nin uzay kartları için özel olan 6012 S standardına göre üretilmektedir.

Daha önce ASELSAN bünyesinde yürütülen bir çalışmadaki LNA Modülünde ASELSAN'ın üretmiş olduğu baskı devre kartı kullanılmış, bu modül 1 yıl süren testler boyunca uzayda başarılı bir şekilde çalışmıştır.

Daha sonra Türksat 5B uydusunda kullanılan EPC kartı ASELSAN Baskı Devre Kartı Üretim Tesisi'nde üretilmiştir. EPC kartının üretiminde IPC 6012 S standardı kullanılmıştır. EPC kartının üretimi ve boş kart kabul edilebilirlik testleri süresince ASELSAN kendi uzay kalifikasyon sürecini başarıyla geliştirmiştir.







Ayrıca, yapılan araştırmalar ve ESA standartlarından gelen bilgiler doğrultusunda uzay kartlarında uygulanmak üzere Grup-6 kalifikasyon test süreci oluşturulmuştur.

Grup-6 testlerinin tamamı EPC ve LO kartları için ASELSAN Baskı Devre Üretim Tesisi bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Uzay kartları için oluşturulan Grup-6 kalifikasyon test süreci içerisinde aşağıdaki testler yer almaktadır;

- Dizgi simülasyonu
- Rework simülasyonu
- Isıl yaşlandırma
- Termal şok testleri

Bu testler boş kart ve standardın belirlediği özel kuponlar üzerinde uygulanmaktadır.

Üretimi ve kalifikasyon testleri ASELSAN bünyesinde tamamlanmış olan bu kartların yer aldığı ekipmanlar uzayda başarılı bir şekilde çalışmaktadır.

ASELSAN Baskı Devre Müdürlüğü, edinmiş olduğu tecrübelerin de ışığında üretim ve test kabiliyetlerini uzay teknolojisine sahip diğer kartları da üretebilecek yönde geliştirmektedir. Gelecek dönemde de üretim altyapısına kazandırmayı planladığı;

- Uzay uyumlu son kaplama yöntemleri
- Uzay Kalifikasyonları için gerekli olabilecek test sistemleri yatırımları
- Temiz oda iyileştirmeleri
- Uzay uyumlu malzemeler

İle ilgili çalışmalarla da tüm uzay kartlarının üretimine destek vermeye devam etmeyi hedeflemektedir.

OED

Otomatik Eksternal Defibrilatör

OED'nin kullanılması gereken durumlarda kaybedilen her dakika hayatta kalma şansını %10 azaltır. Aselsan Heartline OED şoklanması gereken kalp ritimlerini yüksek doğrulukla belirler; doğru zamanda gereken şoku uygular. Tam otomatik ve yarı otomatik versiyonları mevcuttur. Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde görsel ve sesli yönlendirmeler ile etkin bir kalp masajı da dahil ilk yardım rehberliği sağlar. Hızlı şarj özelliği de sunan Aselsan Heartline OED ilk yardım sürecinin vazgeçilmez parçasıdır.

www.aselsan.com

aselsan

UZAYDA ELEKTRONİK MALZEMELERİN KARŞILAŞTIĞI RADYASYON ETKİLERİ VE BELLEK ENTEGRELERİNE UYGULANAN SEE RADYASYON TESTLERİ

Ali Yasin ÇAKILCI
İbrahim Aydın COŞKUNER
Nuri Doğancan AKSU
Tuğrul ERTEKİN

Günümüzde Dünya yörüngesinde bulunan binlerce haberleşme uydusu iletişimin temel unsurlarından birisi haline gelmiştir. Aynı şekilde yeryüzü gözlemi için Dünya yörüngesinde çok sayıda uydu bulunmaktadır. Diğer sektörlerde olduğu gibi uzayda çalışacak bu uyduların geliştirilmesinde de kalite, zaman ve maliyet bir arada değerlendirilip en uygun çözümler ortaya konmaktadır. Fakat diğer sektörlerdeki ürünlerden farklı olarak uyduların fırlatıldıktan sonra tamir edilmeleri mümkün değildir. Bu yüzden kritik görevler gerçekleştirecek uyduların çok yüksek güvenilirlikle çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Yakın zamana kadar tasarlanan ve kritik görevlere sahip olan tüm uydular bu ihtiyaçları karşılamak için en üst düzey kalite standartlarında ve yüksek maliyetli süreçlerle üretilmekteydi. Sınırlı sayıda üretilen bu uyduların yıllarca kullanıcılarına hizmet etmesi beklenmekteydi.

Son yıllarda geliştirilmeye başlanan takım uydular (mega-constellation) ile farklı yaklaşımların da ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Geniş kapsama alanı ve kesintisiz bağlantı sağlamak için binlerce uydunun işletildiği bu modelde eskisine göre daha küçük ve daha kısa ömürlü fakat daha esnek ve yetenekli uydular geliştirilmektedir. Çok sayıda uydular fırlatılması ile bozulma durumunda yerine yenilerini devreye alacak şekilde planlamalar yapılmaktadır. Şu anda geniş bant internet erişimini sağlamak üzere LEO haberleşme takım uyduları kurulumlarına da başlanmıştır. Yeni takım uydular, devletlerin desteği yerine ticari firmalar tarafından finanse edilmektedir. Örneğin SpaceX, Amazon, OneWeb gibi firmalar uzaydaki takım uydularını yaygınlaştırmaya başlamıştır.

Klasik yaklaşımla tasarlanan uydularda kullanılan uzay kalifiye entegrelerin fiyatları ticari ürünlerde kullanılan COTS (RAHAT-Rafta Hazır Ticari) malzemelere göre 100-1.000 katlara kadar çıkmaktadır. Dolayısıyla bu özel kalifiye malzemeler ile tasarlanan uydu ekipmanlarının ve uyduların maliyetleri çok yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Uzay kalifiye entegrelerinin yüksek fiyatlara sahip olmasının da temel iki sebebi vardır. İlk olarak uzay uyumlu malzemelerin çok detaylı kalifikasyonları yapılır ve mümkün olduğunca hatasız malzeme kullanımı sağlanır. İkinci olarak ise uzay uyumlu elektronik malzemelerin tasarımlarında, COTS malzemelerden farklı olarak, radyasyona dayanmayı (Rad-Hard) veya radyasyon hatalarına tolere etmeyi (Rad-Tolerant) sağlayacak ek önlemler alınır.

Yukarıda bahsedilen yeni ticari uydularda ise maliyetin azaltılması temel gereksinimlerden biri haline gelmiştir. Bu sebeple uydudaki elektronik malzemelerin maliyetlerini azaltmaya yönelik Dünya genelinde çalışmalar başlamıştır. Uydu ekipmanlarında ve malzemelerinde ticari firmaların varlıkları ile maliyet etkin ve güncel gereksinimlere uygun tasarımların yapıldığı yeni uzay adlı konsept ortaya çıkmıştır. Bu konseptte, yeterli güvenilirliğe sahip COTS malzemelerin (otomotiv vb. seviyelerdeki kalifikasyonlara sahip olan) uydularda kullanımı amaçlanmaktadır. Fakat bir malzemenin uzayda kullanımının ön koşullarından bir tanesi radyasyon ortamında belirli süre boyunca çalışabilmesidir. Bu sebeple, seçilen malzemelerin belirli seviyede radyasyon dayanımları bulunmalıdır ve radyasyon altındaki davranışları detaylı olarak karakterize edilmelidir. Radyasyona karşı

önlemlerin yetersiz olması durumunda uyduda bazı fonksiyonlar beklenenden çok daha kısa sürede yitirilebileceği gibi uydu tamamen kullanılmaz duruma gelebilir.

Yeni uzay konsepti kapsamında ASELSAN tarafından uzayda kullanılması mümkün olabilecek elektronik malzemelerin radyasyon karakteristiklerini çıkartmaya yönelik çalışmalar başlatıldı. Bu yazıda elektronik malzemelerin uzayda karşılaşabileceği radyasyon etkileri, bellek malzemelerinin radyasyon karşısındaki davranışları ve ASELSAN tarafından çeşitli bellekler üzerine gerçekleştirilen tekil olay radyasyon testleri anlatılmaktadır.

RADYASYON BOZULMA MEKANİZMALARI

Elektronik malzemeler üzerindeki radyasyon etkileri toplam iyonize doz (TID-Total Ionizing Dose), toplam iyonize olmayan doz (TNID-Total Non-Ionizing Dose) ve tekil olay etkileri (SEE-Single Event Effects) olarak üç sınıfa ayrılır.

TOPLAM İYONİZE DOZ (TID-TOTAL IONİZİNG DOSE) ETKİLERİ

Uzayda çalışan elektronik malzemeler elektron ve protonlar sebebiyle uzun vadeli radyasyon etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bu parçacıkların ana kaynağı Güneş'teki patlamalardır. Toplam iyonize doz (TID-Total Ionizing Dose) olarak isimlendirilen bu radyasyon etkisi, elektronik malzeme üzerinde birikip çalışma karakteristiğinde geri dönülmez değişikliklere sebep olur. Bu değişiklikler; voltaj eşik değerlerinin, güç tüketimlerinin ve zamanlamaların değişmesi gibi kalıcı hasarlar şeklinde ortaya çıkabilir. Örneğin, transistörlerin anahtarlama elemanı olarak çalıştığı bir devrede, TID sonucunda NMOS teknolojisi kullanılan transistörler sürekli açık konumunda kalarak hiçbir zaman kapalı konumuna geçemeyecek şekilde, PMOS transistörler ise hiçbir zaman kapalı durumdan açık duruma geçemeyecek şekilde bozulabilirler. TID radyasyonu etkilerini azaltmak için cihazların dışının veya entegrelerin üzerlerinin (alüminyum vb.) metaller ile kalkanlaması yöntemi uygulanabilir.

TOPLAM İYONİZE OLMAYAN DOZ (TNID-TOTAL NON-IONİZİNG DOSE) ETKİLERİ

Toplam iyonize olmayan doz (TNID) etkileri, genellikle çift kutuplu transistörler (BJT), opto-elektronik malzemeler, CCD (Charge Coupled Device) algılayıcılar ve güneş hücrelerinde görülür. Görülen etkiler, yer değiştirme hasarı (Displacement Damage) olarak da adlandırılır. TNID sebebiyle çift kutuplu transistörlerde baz akımının artması, kazancın düşmesi ve kaçak akımın artması gibi sorunlar oluşur. Optoelektronik malzemeler ve güneş hücrelerinde ise karanlık akım (dark current) artışına sebep olur. TNID de TID gibi geri dönülmez hasarlara sebebiyet verebilir ve elektronik cihazların performansını doğrudan etkileyebilir.

TEKİL OLAY ETKİLERİ (SINGLE EVENT EFFECTS)

Tekil olaylar (SEE-Single Event Effects), bir tek enerji yüklü parçacığın transistörlere çarpması ile meydana gelmektedir. Bu olayların temel sebebi kozmik ışınlar (içerisindeki ağır iyonlar) ve yüksek enerjili protonlardır. Bu olayların bazıları entegre üzerinde geçici hatalara sebep olabileceği gibi kalıcı hatalara da sebep olabilirler. Temel SEE radyasyon hataları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Kalıcı Elektriksel Hasarlı Hatalar (Hard Errors)

SEB (Single Event Burnout): Enerji yüklü bir parçacığın, malzemenin gövdesindeki bir bölgeyi yüksek akım çeker duruma getirmesi ile oluşur. NPN tipi BJT'lerde, N-Channel güç MOSFET'lerinde ve güç diyotlarında kalıcı olarak bozulmalara yol açar.

SEGR (Single Event Gate Rupture): Yüksek enerjili ağır iyonların MOSFET transistörlerde ortaya çıkardığı boşluklar sebebiyle gate ve drain bölümlerinin kısa devre olması ile ortaya çıkar ve kalıcı hasara sebep olur.

SEL (Single Event Latchup): Enerji yüklü bir parçacığın malzeme içerisinde oluşmuş olan parasitik transistörü aktif hale getirmesi ve malzemenin çok yüksek akım çekmesi durumunda ortaya çıkar. Bu parasitik transistörü devre dışı bırakmanın tek yolu elektronik malzemeye verilen gücü kesmektir. Kısa sürede gücün kesilmemesi durumunda kalıcı olarak hasara sebep olur.

Fonksiyon Kaybına Sebep Olabilecek Geçici Hatalar (Soft Errors)

SEU (Single Event Upset): Bir iyonize parçacığın etkisi ile bellekte tutulan 1 bitlik veride yaşanan değişikliğe verilen addır. Bellekte tutulan 1 değerini 0'a, 0 olan değeri 1'e çevirir.

MBU (Multiple Bit Upset): SEU hatasında olduğu gibi bir iyonize parçacık ile oluşur. Fakat bu parçacığın bir bit yerine birden fazla bitin değerini değiştirmesi durumuna verilen addır.

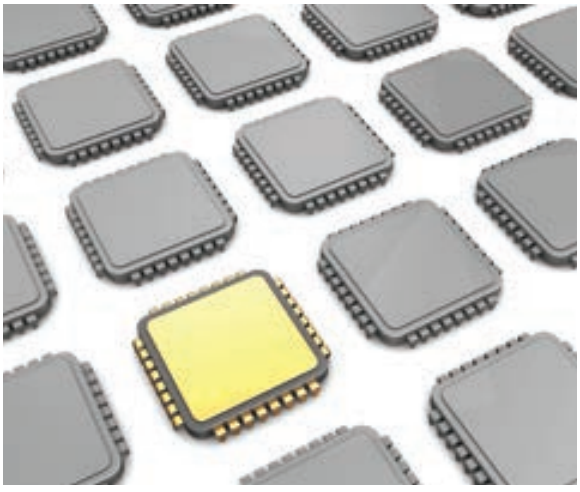
SEFI (Single Event Functional Interrupt): Elektronik malzemelerin durum yazmaçlarında tutulan verilerin SEU benzeri etkiler ile bozulması ve malzemenin kontrol devrelerinin kilitlenerek kullanılamamasına yol açan hatalara verilen addır. Reset mekanizması veya güç kapatılıp açılması ile hata düzeltilebilir.

SET (Single Event Transient): Bir parçacığın, malzemede geçici voltaj oynamasına sebep olması ile ortaya çıkar. Elektriksel hiçbir değişiklik yapılmadan dahi voltaj oynaması ortadan kalkar. Fakat bir elektronik malzeme çıkışında SET görülmesi durumu, diğer devreleri olumsuz etkileyebileceğinden bu hataya karşı da önlem alınması gerekmektedir.

UZAYDA TERCİH EDİLEN BELLEK TİPLERİ VE TEKİL OLAY RADYASYONU DAYANIMLARI

Elektronik evreninde çok çeşitli elektronik bellek çeşitleri ve teknolojileri bulunmasına rağmen uzay uygulamaları için belli başlı bazı teknolojiler öne çıkar. Bu bellek çeşitleri hafıza boyutu, veri hızı, kalıcı hafıza gibi özellikleri ile uzay uygulamalarında değerlendirilirken, aynı zamanda bulundukları radyasyon atmosferine uygun radyasyon dayanımını sağlamaları da beklenir. Radyasyon dayanımı yeterli olmayan hafıza elemanları ise yazılımda ya da donanımda geliştirilecek çözümler ile radyasyon etkilerinden arındırılabilir veya radyasyona karşı toleranslı hale getirilebilir. Uzay uygulamalarında genellikle tercih edilen elektronik bellek teknolojilerine DRAM tabanlı bellekler, SRAM, EEPROM, FRAM ve MRAM örnek olarak verilebilir.

DRAM Tabanlı Bellekler ve Tekil Olay Radyasyonu Dayanımları: DRAM tabanlı belleklere SDRAM ve DDR elektronik hafıza elemanları örnek verilebilir.



Bu teknolojiye sahip bellekler 1-bit veriyi 1 transistör ve 1 kapasitör ile tutarlar. Ağır iyon radyasyonu veya yüksek enerjili protonlara maruz kalan DRAM hücrelerinde genellikle SEU görülür. Bu durum veriyi tutan kapasitörün boşalmasıyla yani mantıksal 1 olarak tutulan verilerin mantıksal 0 olarak değişmesiyle oluşur. DRAM bellek hücresindeki tek transistörün kapı (gate) bağlantısına gelebilecek yüksek enerjili bir iyon hücrede tutulan veriyi kolaylıkla değiştirebilir. Bu sebeple DRAM tabanlı bellekler tekil olay radyasyonu karşısında hassas bir yapıdadır ve uzay ortamında kullanılmaları durumunda donanımda ya da yazılımda bazı önlemler alınması gerekir.

EEPROM'lar ve Tekil Olay Radyasyonu Dayanımları: EEPROM'lar kayar nokta kapılı transistör (floating gate transistor) teknolojisine sahiptirler ve yüksek gerilim uygulayarak yazma ve silme operasyonlarını, düşük gerilim uygulayarak ise okuma operasyonunu gerçekleştirirler. Bu iç yapıları sebebiyle yüksek karakteristik boyutlar (feature size) kullanılarak üretilirler ve bir bitlik veriyi tutmak diğer bellek teknolojilerine göre daha çok fiziki alan kaplar. Yüksek karakteristik boyut ve kayar nokta kapılı transistör teknolojisi kullanımı sebebiyle EEPROM bloğu içindeki her bir transistörün giriş kapasitansı yüksektir. Bu sebeple SEU açısından oldukça dayanıklıdırlar ve uzay radyasyonu koşullarında çalışmaya uygundurlar. Ancak yine yüksek karakteristik boyutları sebebiyle büyük boyutlu hafıza ve yüksek hız ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanmaktadırlar.

SRAM'ler ve Tekil Olay Radyasyonu Dayanımları: Altı transistörlü bir SRAM hücresinde 1-bitlik veriyi tutmak için CMOS yapıda dört transistör kullanılmaktadır. CMOS yapıdaki NMOS transistörlerin yüksek enerjili bir iyon ile tetiklenerek açılmaları durumunda hücrede tutulan veri terslenir. SRAM'lerin üretim teknolojisine göre değişmesine rağmen, SEU açısından hassas belleklerdir ve tek transistöre bağlı yapıda kolaylıkla veri kaybı yaşanabilmektedir. SRAM'lerin uzay uygulamalarındaki kullanımlarında yazılımda ve/veya donanımda önlemler uygulanmalıdır.

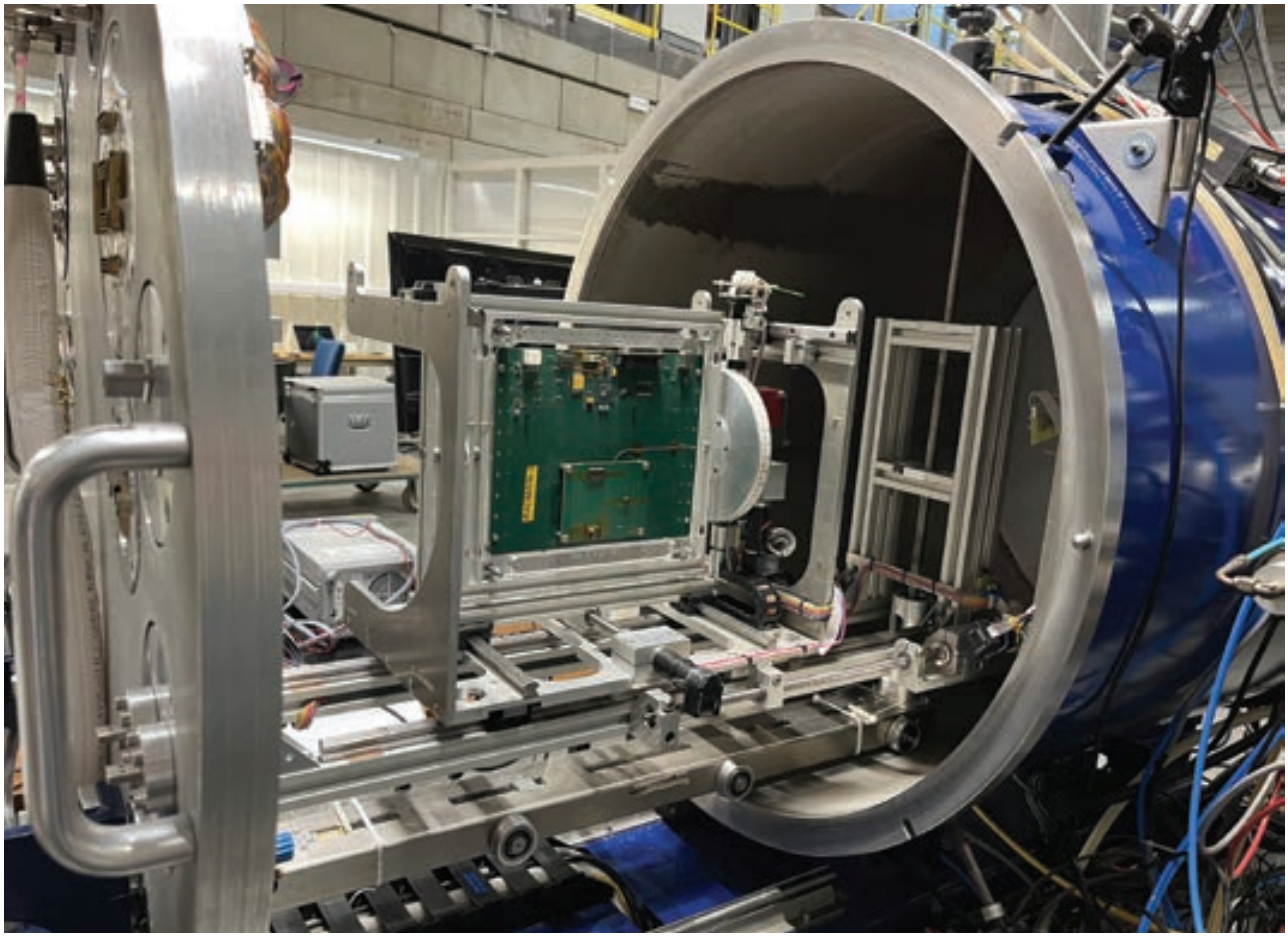
MRAM'ler ve Tekil Olay Radyasyonu Dayanımları: Bir MRAM hücresi 1-bitlik veriyi manyetik polarizasyon ile tutmaktadır. İçeriğinde bulunan mıknatıslı yapıya manyetik alan uygulanarak mıknatısın kutbu değiştirilir. Kutbun N veya S olmasına bağlı olarak hücre içerisinde mantıksal 1 veya mantıksal 0 değeri tutulur. Dolayısıyla bir MRAM belleğinde SEU ve MBU görülmesi beklenmez. Ancak MRAM hücresinde manyetik alan oluşturan akımın üretildiği yapı ve

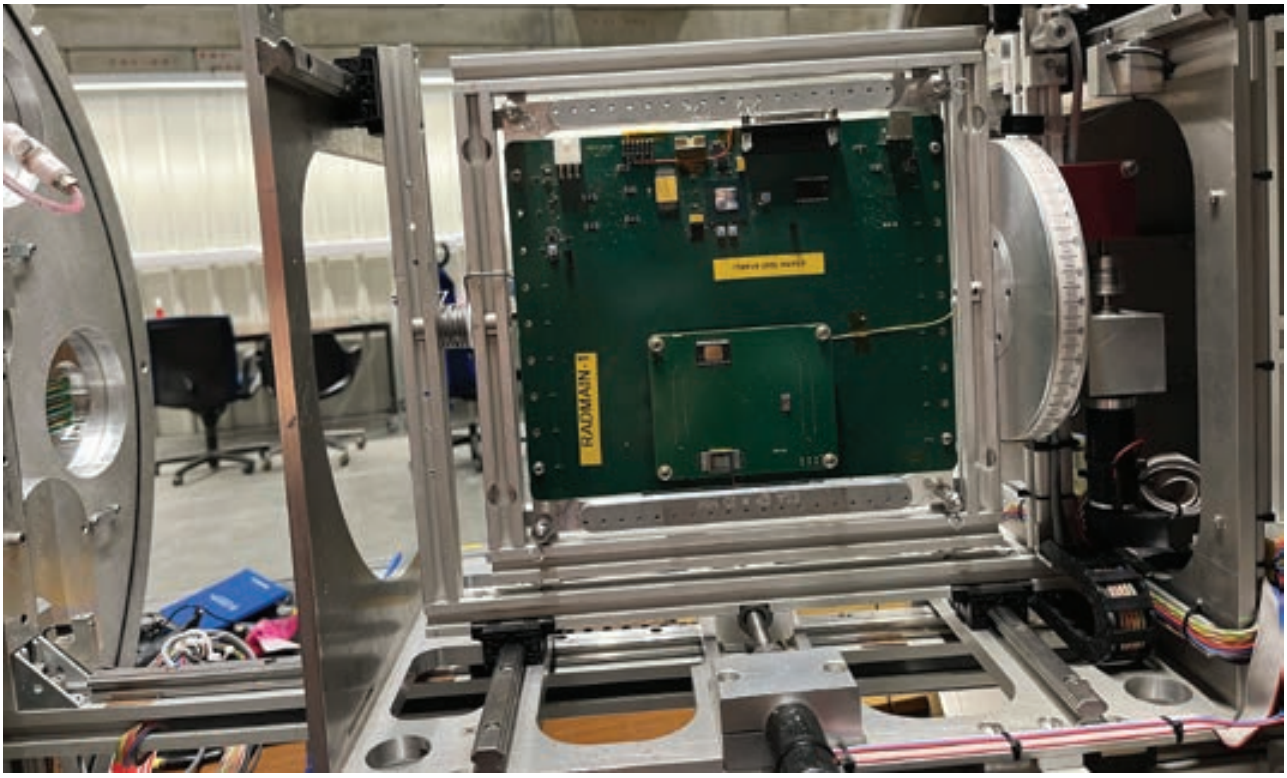
hücrede tutulan verinin okunduğu diferansiyel yükselteç bölümleri CMOS yapıdadır. Dolayısıyla MRAM belleklerde yüksek enerjili iyonlardan kaynaklı olarak SEFI, SET ve SEL hataları görülmektedir. MRAM'lerin uzayda kullanımlarında bu tehlikelere karşı donanımda ve yazılımda önlemler alınmalıdır.

FRAM'ler ve Tekil Olay Radyasyonu Dayanımları: FRAM hücresi DRAM hücresine çok benzer bir yapıdadır. DRAM'den farklı olarak verinin tutulduğu kapasitör, ferroelektrik bir malzeme olan PZT'den üretilir. PZT çok yüksek dielektrik katsayısına (ε_r) sahiptir ve bu durum kapasitörün çok zor dolmasına ve boşalmasına sebep olur. Ayrıca PZT kullanımı DRAM'lerdeki gibi verinin korunması için elektrik alana ihtiyaç duymamaktadır. FRAM hücresi de MRAM'ler gibi SEU ve MBU'ya oldukça dayanıklıdır.

Ancak FRAM hücresinin dışında kalan kısımlar CMOS yapıda olduğundan SEL, SET ve SEFI kaynaklı problemler görülmektedir. MRAM'de olduğu gibi FRAM'lerin uzayda kullanılması durumunda SEL, SEFI ve SET kaynaklı problemlere yönelik tasarımda gerekli önlemler alınmalıdır.

SEE Testleri için ESCC-25100 Standardı: ESA tarafından geliştirilen ESCC-25100 standardı tekil olay etkileri testleri sırasında kullanılacak yöntem ve standartları içeren evrensel bir rehberdir. Bu standart, SEE testleri yapılabilecek iki ayrı radyasyon kaynağı olan protonlar ve ağır iyonlar için genel kuralları dört ana başlık altında detaylandırır. Bu standart kullanılması gereken ekipmanlar, genel prosedür, test sistemi, planlama ve dokümantasyon gibi aşamaların nasıl yapılması gerektiğini açıklar. 2022 yılında ASELSAN tarafından Belçika'da gerçekleştirilen ağır iyon radyasyon testleri bu evrensel standarda uygun olarak yapılmıştır. Standartta belirtilen akı, akış, numune sayısı, enerji ve iyon kokteyli sınırlamalarına uyulmuştur. Yine kapaklı malzemelerin kapakları ve izolasyon malzemeleri sökülerek, iyon atışları çip yongasına direkt olarak yapılmıştır.





AĞIR İYON HIZLANDIRICISINDA BELLEKLERE UYGULANAN SEE TESTLERİ

ASELSAN'ın uzay projelerinde kullanılmaya aday birbirinin alternatifi elektronik bellekler, ASELSAN tarafından yazılımı ve donanımı geliştirilen test sistemi ile Belçika'nın Louvain-la-Neuve şehrindeki Universite Catholique de Louvain (UCL) Ağır İyon Hızlandırıcısında (HIF Cyclotron) başarıyla ağır iyon ışımasına tâbi tutuldu ve radyasyonun bellekler üzerindeki etkileri incelendi. Testler ESCC-25100 standardına uygun olarak Şubat 2022'de ASELSAN personeli kontrolünde gerçekleştirildi. Bu testler sayesinde ASELSAN, çok az firmada bulunan radyasyon test sistemi geliştirme ve radyasyon testi gerçekleştirme yeteneğini kazanmış oldu.

TEST KAPSAMI VE GERÇEKLEŞTİRİLEN ALTYAPI

Testler için COTS FRAM, COTS MRAM bellekleri ve uzay kalifiye EEPROM belleği seçildi. Bu amaçla test kartları, veri işleme ve veri aktarım test yazılımları tasarlanıp geliştirildi. Geliştirilen bu sistem radyasyon testleri öncesinde yine ASELSAN'da geliştirilen yapay hata üretme mekanizmaları ile laboratuvar ortamında testler öncesi doğrulandı.

UCL ağır iyon hızlandırıcısında yapılan testlerde COTS FRAM ve COTS MRAM belleklerinde önemli miktarda SEL oluşumu gözlendi. SEL durumlarının anlık olarak yakalanmasının ve bu durumun olmaması için donanımsal önlem alınmasının önemi görüldü. Yine aynı belleklerde gözlenen yoğun miktardaki SEFI ve SET hatalarının önlem alınmaması durumunda tasarımın güvenilirliğini azaltacağı değerlendirildi. Bu değerlendirme sonucunda, bu belleklerin uzay uygulamalarında kullanılması durumunda SEFI ve SET durumlarının izlenerek yazılımda alınacak önlemlerle düzeltilmesinin mümkün olduğu tespit edildi. Radyasyon dayanımlı (Rad-Hard) uzay kalifiye EEPROM belleğinin ise ağır iyon radyasyonu dayanımının yüksek olduğu gözlemlendi. Radyasyona dayanımlı EEPROM için üreticiden alınan ağır iyon radyasyon testi verisi gözlemlenen test verileri ile kıyaslandı. Alınan veriler, ilgili EEPROM'un üretici test verisine paralel olduğu gözlemlenerek ASELSAN tarafından geliştirilen radyasyon test sisteminin de başarıyla çalıştığı doğrulanmış oldu.

Dünyada çok az firmada bulunan bu yeteneğin ASELSAN'a kazandırılması sayesinde, ileride ağır iyon radyasyonu karşısındaki performansı incelenmek istenilen uygun elektronik malzemelerin ilgili testleri kolaylıkla yapılabilecektir. Böylelikle, ASELSAN bünyesinde yapılacak uzay çalışmalarında kullanılacak elektronik malzemelerin seçiminde maliyet/güvenilirlik dengesi daha kolay sağlanabilecektir.

SAKA

Mikro İnsansız Hava Aracı

Kolaylıkla taşınabilen, kara platformları ile entegre edilebilen, keşif, gözetleme ve istihbarat amaçlı açık ve kapalı mekanlarda görev icra edebilen İnsansız Hava Aracıdır.

www.aselsan.com

aselsan

AY İLE İLK TEMAS TÜRKİYE'NİN AY GÖREVİ

İsmail Ergün KOCABIÇAK

Uzay çağının başlangıcından bu yana, yüzden fazla uzay aracı Ay'a ulaşmak amacıyla Dünya'yı terk etti. Hepsi bunu başaramadı, özellikle de ilk yıllarda, ama şimdiye kadar görülen insan yaratıcılığının en şaşırtıcı başarıları yine bu Ay görevleri ile kaydedildi.

NEDEN AY'I İNCELİYORUZ?

Ay, şimdiye kadar, Dünya dışında ayak bastığımız tek gök cismi olarak bilim dünyasında ayrı bir yere sahiptir. Bu duruma Ay'ın en yakın gök cismi olması neden olmuştur diyebiliriz. Ancak Ay'a olan ilgimiz sadece mesafeden kaynaklı bir heves değil.

Ay bir bakıma jeolojik bir zaman kapsülü gibidir. Ay'ın yüzeyi, meteorların, lav akıntılarının ve yaklaşık dört milyar yıl önce iç Güneş sisteminin asteroitleri ve kuyruklu yıldızları tarafından adeta yumruklanmış gibi ağır ve derin çarpma izleri taşıyor. Ay yüzeyine dört milyar yıl önce iç Güneş sisteminden yapılan bu yoğun saldırının hemen ardından Dünya'da yaşamın ortaya çıktığı, asteroit ve kuyruklu yıldızların muhtemelen Dünya'ya su ve organik maddeler getirdiği düşünülüyor. O zamandan beri Ay'daki hâlâ bozulmamış kraterleri ve özellikleri incelemek, Güneş sistemi tarihinin bu döneminde neler olduğunu anlamanın anahtarıdır ve onu köken hikâyemizin kritik bir parçası haline getirir.

Ayrıca, bilim insanları Ay'ı, Mars, Merkür ve Güneş sistemindeki aylar gibi diğer gök cisimlerinin özelliklerini belirlemek için bir yaş referansı olarak kullanıyorlar. Dünya ve Venüs'ün aksine, Ay tektonik aktiviteden yoksundur. Bu nedenle iç yapısı oluşumundan bu yana iyi korunmuştur. Bu, bilim insanlarına gezegenlerin iç yapılarının nasıl oluştuğunu anlama fırsatı veriyor.

Ay'ın kutuplarında gölgelenmiş kraterlerde su buzu bulundu. Buzun incelenmesi, gezegenimizin suyunun nereden geldiğini anlamamıza yardımcı olabilir. Buz aynı zamanda gelecekteki insan kaşifler için solunabilir hava, içme suyu ve itki için potansiyel bir kaynak olarak da kullanılabilir.

AY'I NASIL İNCELİYORUZ?

Uzay uçuşu konusunda gelişmeler kat edilinceye kadar olan süreçte Ay'ı sadece teleskoplarla ve 1940'lardan başlayarak da radarla inceleyebildik. 1960'larda ABD ve SSCB arasındaki uzay yarışı, Ay'a uçmak, yörüngeye girmek ve inmek için düzinelerce robotik uzay aracının fırlatılmasıyla sonuçlandı. Neil Armstrong ve Buzz Aldrin, NASA'nın Apollo programının bir parçası olarak 1969'da Ay'da yürüyen ilk insanlar oldu.

1969'dan 1972'ye kadar, altı Apollo görevi ile Ay yüzeyine on iki astronot gönderildi. Astronotlar Dünya'ya toplam üç yüz seksen iki kilogram Ay toprağı, kaya ve çekirdek örneği gönderdi. SSCB, 1970'ten 1976'ya kadar üç robotik örnek görevi kullanarak, Dünya'ya yaklaşık üç yüz gram malzemeyi geri getirmeyi başardı.

Ay kayalarının yaşını kesin olarak belirlemek için gereken cihazlar hâlâ bir uzay aracında kullanmak için çok büyük ve çok fazla güce ihtiyaç duyuyorlar. Bu nedenle, Ay'ın karmaşık tarihini bir araya getirmenin en iyi yollarından biri, Ay örneklerini Dünya'ya geri getirmektir. Apollo ve Luna görevleri tarafından Dünya'ya geri gönderilen örnekler bize Ay'ın tarihi hakkında çok şey öğretti.

Ancak hepsi, uzay aracının doğrudan Dünya ile iletişim kurabildiği Ay'ın bize görünen tarafından, Ay'ın ekvatoruna yakın ve arazinin güvenli inişler için uygun olduğu yerlerden geldi. Ay'ın karmaşık tarihini anlamak için yeni yerlerden, Ay'ın karanlık yüzünden de örneklere ihtiyacımız var.

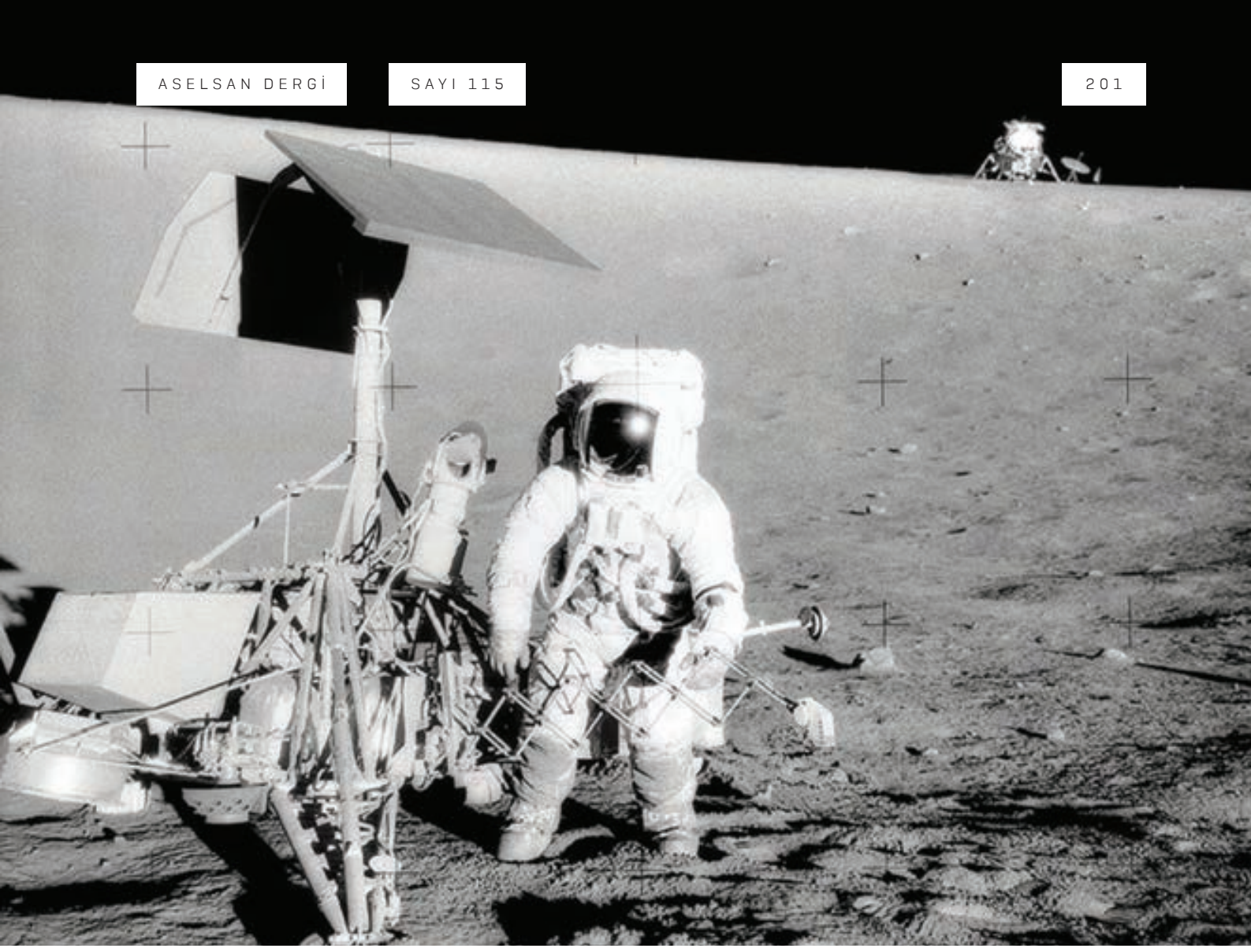
AY KEŞFİNİN KISA TARİHİ

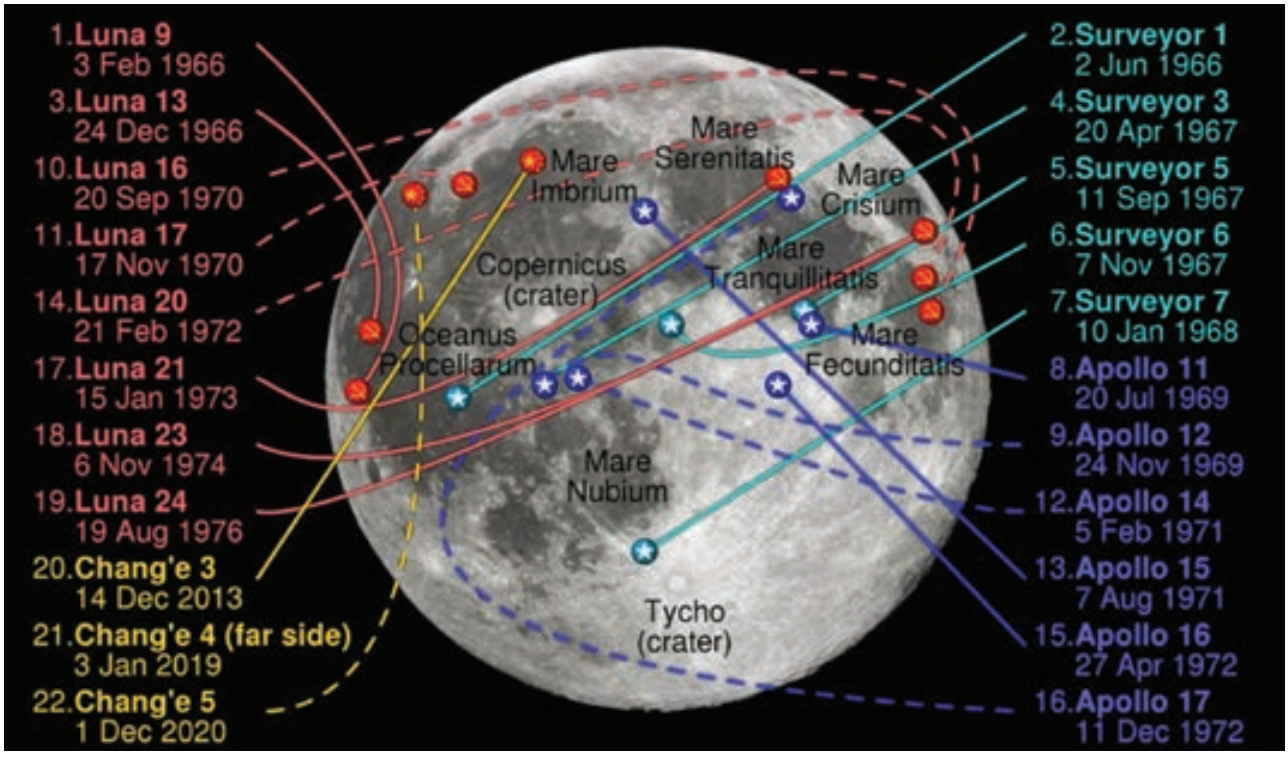
Ay keşfinin hikâyesi iki ayrı aşamaya ayrılır. 1950'lerin sonlarından 1970'lerin ortalarına kadar süren birinci aşama, uzay yarışı olarak bilinen ABD ve SSCB arasındaki rekabetin hâkimiyetindeydi. Her iki ülkeden de hızlı bir ilkler dizisiyle, Ay'a yapılan bu yarışta önemli bilimsel kazanımlar elde edildi. Apollo ve Luna görevleri, bilim insanlarına uzaydaki en yakın komşumuz hakkında daha önce hiç bilmediğimiz kadar çok şey anlattı.

Tarihsel süreçte, Luna, Ranger, Surveyor, Apollo gibi isimlerle anılan birçok program kapsamında başta ABD ve SSCB tarafından, Ay yüzeyine sert ve yumuşak iniş, yörüngesine girme (orbiting), yakın geçiş (flyby) gibi çok farklı konseptlerle görevler icra edildi.

Ay'a ilk sert iniş Eylül 1959'da SSCB tarafından Luna-2 görevinde gerçekleştirildi. Takiben 3 Şubat 1966'da Sovyetler bu defa Luna-9 iniş araçlarıyla ilk defa Ay yüzeyine yumuşak inişi başardı. Ay görevleri açısından fark yaratan görevlerden biri de SSCB'nin tarih sayfalarına ilk translunar kaplumbağaları kaydettirdiği görevdi. Zond-5 yörüngeye girmeden Ay'ın etrafında dönen ilk uzay aracı olarak Eylül 1968'de Dünya'ya geri döndü. Bu görev aynı zamanda, insan olmasa da Ay'a yolcu taşıyan ilk görevdi ve yolcuları iki adet Bozkır kaplumbağasıydı. Bu sevimli kaplumbağalar Dünya'dan ayrıldıktan altı gün sonra Hint Okyanusu'na inerek tarihi yolculuğu sağ olarak tamamlamışlardır.

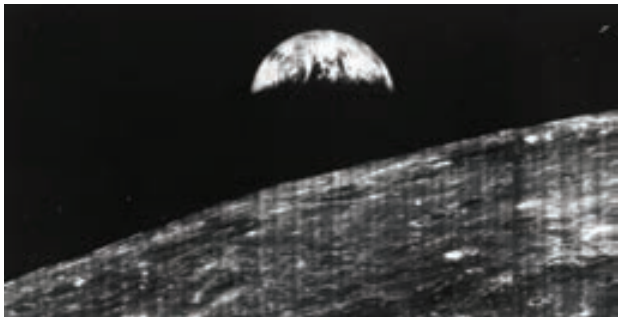
Ay görevlerinin en çarpıcı olanı ABD'nin Apollo programıdır. Bugün hâlâ sadece ABD'nin başarı hanesinde yazan Ay yüzeyine insan indirilmesi bu




1.Luna 9
3 Feb 1966
3.Luna 13
24 Dec 1966
10.Luna 16
20 Sep 1970
11.Luna 17
17 Nov 1970
14.Luna 20
21 Feb 1972
17.Luna 21
15 Jan 1973
18.Luna 23
6 Nov 1974
19.Luna 24
19 Aug 1976
20.Chang'e 3
14 Dec 2013
21.Chang'e 4 (far side)
3 Jan 2019
22.Chang'e 5
1 Dec 2020
2.Surveyor 1
2 Jun 1966
4.Surveyor 3
20 Apr 1967
5.Surveyor 5
11 Sep 1967
6.Surveyor 6
7 Nov 1967
7.Surveyor 7
10 Jan 1968
8.Apollo 11
20 Jul 1969
9.Apollo 12
24 Nov 1969
12.Apollo 14
5 Feb 1971
13.Apollo 15
7 Aug 1971
15.Apollo 16
27 Apr 1972
16.Apollo 17
11 Dec 1972
Mare Imbrium
Mare Serenitatis
Mare Crisium
Copernicus (crater)
Mare Tranquillitatis
Oceanus Procellarum
Mare Fecunditatis
Mare Nubium
Tycho (crater)

program ile başarılmıştır. Apollo programında Apollo-8'in 1968 Noel uçuşu bir dönüm noktasıydı. Bu görevde mürettebat ilk kez, yörüngeden Ay'a baktılar ve Ay yörüngesindeyken, uzay çağının en ikonik görüntülerinden Earthrise fotoğrafını çekti.

Mayıs 1969'da Apollo-10, Ay'a iniş aracını test etti ve nihayet Apollo 11'deki Neil Armstrong ve Buzz Aldrin zorlu bir iniş ile 20 Temmuz 1969'da Mare Tranquillitatis'e (Huzur Denizi) güvenli bir şekilde iniş gerçekleştirdi. Şimdiye kadar Ay'a toplam altı adet insanlı iniş gerçekleştirilmiştir. Bu inişler ile Ay yüzeyine ayak basan toplam insan sayısı on ikidir. Her Apollo görevinde üçer astronot Ay'a gönderilmiştir. Üç astronottan biri Ay yörüngesindeki uzay aracında kalırken, diğer ikisi iniş modülüyle Ay yüzeyine inmiştir. Son üç Ay'a iniş görevinde yüzeyde gezgin tipi araçlar kullanılmıştır. En son Ay görevi Apollo-17 ile 14 Aralık 1972 tarihinde gerçekleştirilmiştir.



YENİDEN AY!

Ay görevleri tarihçesinin 1970'li yılların ortalarında tamamlanan ilk aşamasından sonra yaklaşık on beş yıl süren bir duraklama yaşandı. Bu duraklama ardından ikinci aşama 1990'larda başladı ve bugün hâlâ dikkat çekici programlarla etkileyici ilerlemesini sürdürüyor. 1990'larda Ay'a iki küçük robotik görev gönderildi. 1994 yılında NASA-Stratejik Savunma Girişimi Örgütünün Clementine görevi, uzay tabanlı füze savunması için geliştirilen sensörleri test etti ve yörüngesinde dönerek, Ay'ın rengini ve şeklini haritalandırdı. Clementine'den kısa bir süre sonra, Lunar Prospector uzay aracı, 1998 ve 1999'daki görevi sırasında Ay'ın yüzeyini yörüngeden haritalandırdı.

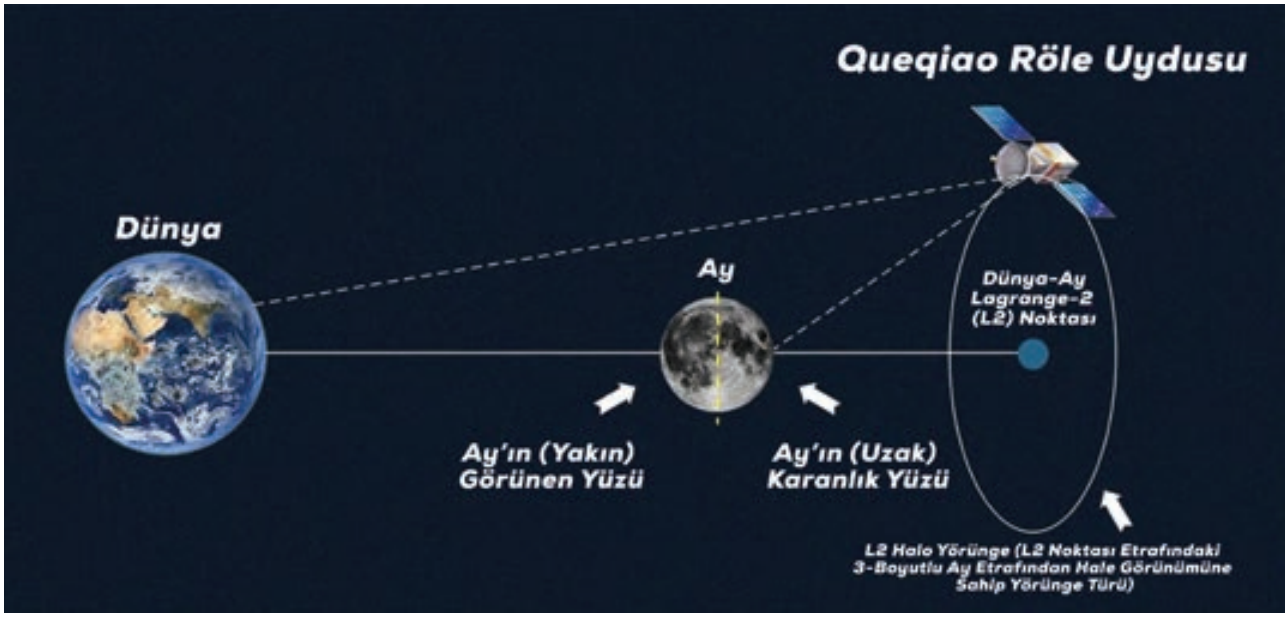
Bu dönemlerde Ay görevlerine yeni bir ülke daha katıldı. Hindistan, ilk görevi Chandrayaan-1 ile 8 Kasım 2008'de Ay yörüngesine girdi ve bir buzul keşfetti. Takiben Hindistan'ın 2019'da fırlatılan Chandrayaan-2 uzay aracı, Chandrayaan-1'in keşfettiği buzulun haritasını çıkarmaya devam ediyor.

Ay görevi icra eden ülkelerden bir diğeri olan Çin, Ay keşif programına başladığında, hızlı bir süreç kurguladı. Ülkenin ilk yörünge aracı, ilk iniş aracı ve ilk gezgini, birbirlerinden birkaç yıl sonra fırlatıldı. Daha sonra 3 Ocak 2019'da Çin, daha önce hiç yapılmamış bir şeyi başardı. Chang'e-4 ve gezgin Yutu-2 Ay'ın görünmeyen bölgesine indi.

Ay'ın asla görmediğimiz bu tarafı Dünya ile görüş hattı iletişimi olmayan taraftı. Bu sorunu çözmek için Çin görevden önce Dünya-Ay Lagrange noktasına her ikisini de net bir şekilde gören bir röle uydusu olan Queqiao'yu yerleştirmişti. 2020'nin sonlarında, Çin'in Chang'e-5 uzay aracı, Ay'ın daha genç, keşfedilmemiş bir bölgesine indi. Yaklaşık 1,7 kilogram örnek topladı ve bunları Dünya'ya geri getirdi.

NASA, 2023 yılında Ay'ın kalıcı gölgeli bölgelerine girecek ve buzu yakından inceleyecek olan VIPER gezginini Ay'a fırlatmayı planlıyor. VIPER, NASA'nın düzenli olarak görev yapacak olan Ticari Ay Yük Hizmetleri programının bir parçası. İnsanlığın bu yeniden Ay'a dönüş yolculuğunda heyecan verici olan, yakın gelecekte mürettebatlı ay görevlerine geri dönme ihtimalinin sürekli artmasıdır. Bu ihtimale yönelik ipuçlarını aşağıdaki programlar bize vermektedir:

- Şu anda geliştirilmekte olan SpaceX'in Starship'i, süper zengin turistler için gerçek bir olasılık olan Zond-5'in kaplumbağalarının izlediği rotayı takip ederek Ay'ın etrafında geziler planlamaktadır. Hatta ilk bilet rezervasyonu Japon milyarder Yusaku Maezawa'ya ait.
- NASA'nın Artemis programı, insanları Mars'a göndermek için uzun vadeli bir planın parçası olarak 2024 yılında astronotları Ay'ın güney kutbunun yakınlarına indirmeyi hedefliyor. Bu sıkı bir takvim, ancak plan, inişten önce sadece iki test uçuşunun yapılmasıdır. Mürettebatsız bir çevre görevi ve mürettebatlı bir görev. Üçüncü uçuş, inişin kendisi olacak ve SpaceX'in Starship'inin bir varyantını kullanacak.



- Başarılı gezici ve numune dönüş görevleriyle Çin, artık robotik Ay görevlerinde dünya lideri gibi görünüyor, ancak planlar burada bitmiyor. 2030'larda Çin Taikonotları Ay'a götürebilecek yeni nesil mürettebatlı uzay aracı geliştiriyor.

Önümüzdeki birkaç yıl içinde, en az dört uluslararası robotik görev Ay'ın yörüngesinde dönecek ve eşsiz kalitede küresel haritalar yapacak. Sonuçta, insanlar Ay'a geri dönecekler. Bu sefer Ay'a dönüşün amacı, bunu yapabileceğimizi kanıtlamak değil, yeni ve büyüyen bir uzay yolculuğu yeteneğini desteklemek için Ay'ı nasıl kullanacağımızı öğrenmek.

TÜRKİYE'NİN AY GÖREVİ

Hâlâ planlama aşamasında olan gelecekteki Ay görevlerine bakıldığında, Ay görevlerine dahil olan veya kendi Ay görevlerini planlayan ülkelerin sayısının artması dikkat çekicidir. Bu noktada; Kanada, BAE, Kore Cumhuriyeti ve tabii ki Türkiye kendi Ay görevleriyle bu alana yeni değerler katmaya aday.

9 Şubat 2021 tarihinde Türkiye Uzay Ajansı sorumluluğunda yürütülmek üzere Cumhurbaşkanımız Recep Tayyip Erdoğan tarafından açıklanan Milli Uzay Programı ile Türkiye'nin Ay görevi ulusal ve uluslararası kamuoyu gündemine girmiştir. Türkiye'nin Ay görevi bütünsel olarak ele alındığında, geliştirilecek bir uzay aracı ile Ay yüzeyine temasın sağlanması olarak tanımlanmıştır. Aşamalı olarak ele alınacak görevde Ay yüzeyine sağlanacak temas;

- Birinci aşamada, uzay aracının fiziki bütünlüğünü koruma gayesi olmaksızın belirli bir hızla çarpması (Sert İniş-Haziran 2024),
- İkinci aşamada ise, yine belirlenen bölgeye, oluşturulacak bir patern ile uzay aracını kırıma uğratmadan yumuşak inişin yapılması (2028/2029) şeklinde gerçekleştirilecektir.

Ay görevinin ilk aşaması olan Ay'a Sert İniş görevi, Dünya'dan ayrılış ve Dünya etrafında yörünge, Ay yörüngesine transfer, Ay yörüngesinde operasyonlar ile Ay yüzeyine alçalma ve çarpma adımlarını içerecektir. Uzay aracının Dünya'dan Ay'a olan yolculuğunun fazlarını biraz daha detaylandıracak olursak;

- Dünyadan ayrılış yurt dışı kaynaklı bir fırlatma aracı ile gerçekleştirilecek,
- Bu araç ile oldukça yüksek eliptikli (Dünyaya en yakın nokta 350 km [yerberi], en uzak nokta 125.000 km [yeröte]) Dünya merkezli bir yörüngede uzay aracı bırakılacak,
- Bu yörünge 2-4 haftalık bir süreçte yaklaşık dört periyot sonunda (her iki periyot sonunda yörüngeyi yükseltme amaçlı ateşleme yapılarak) yapılarak, Ay'a transfer yörüngesine (Lunar Transfer Orbit-LTO) oturtulacak,
- Transfer yörüngesinde yaklaşık beş gün sürecek yolculuk sonrasında, Ay yörüngesine girilerek yaklaşık 2-4 ay sürecek gözlem görevleri yapılacak,
- Nihai olarak görev, Ay yüzeyinde belirlenecek bölgeye doğru alçalma ve sert iniş ile sonlandırılacaktır.

Ay görevi bütünsel olarak ele alındığında görev mimarisi; uzay kesimi, fırlatma kesimi ve yer kesiminden oluşacaktır. Uzay kesimi, Ay yüzeyine sert inişi gerçekleştirecek uzay aracını içermektedir. Fırlatma kesimi, uzay aracını Dünya yörüngesine götürecek fırlatma sistemini ifade etmektedir. Yer kesimi ise, görev konsepti çerçevesinde sürekli kapsama için hizmet alınacak asgari iki adet yurt dışı yer istasyonu ile Türkiye'de belirlenecek bölgede tesis edilecek Ay görevi yer istasyonunu içerecektir.

Uzay kesiminde, uzay aracının Ay'a ulaşması amacıyla Dünya merkezli yörüngeden Ay'a transfer yörüngesine geçişi için gerekli ateşlemeyi (delta-v) sağlamak amacıyla milli olarak geliştirme çalışmaları devam eden hibrit roket motoru kullanılacaktır. Uzay aracı üzerinde Ay yüzeyini görüntülemek ve bazı bilimsel ölçümler yapmak amacıyla muhtelif görev yükleri de bulunacaktır. Hâlihazırda uzay aracında bulunacağı öğrenilen görev yükleri görüntüleme amaçlı bir kamera ile radyasyon ölçümü için bazı sensörleri içerecektir.

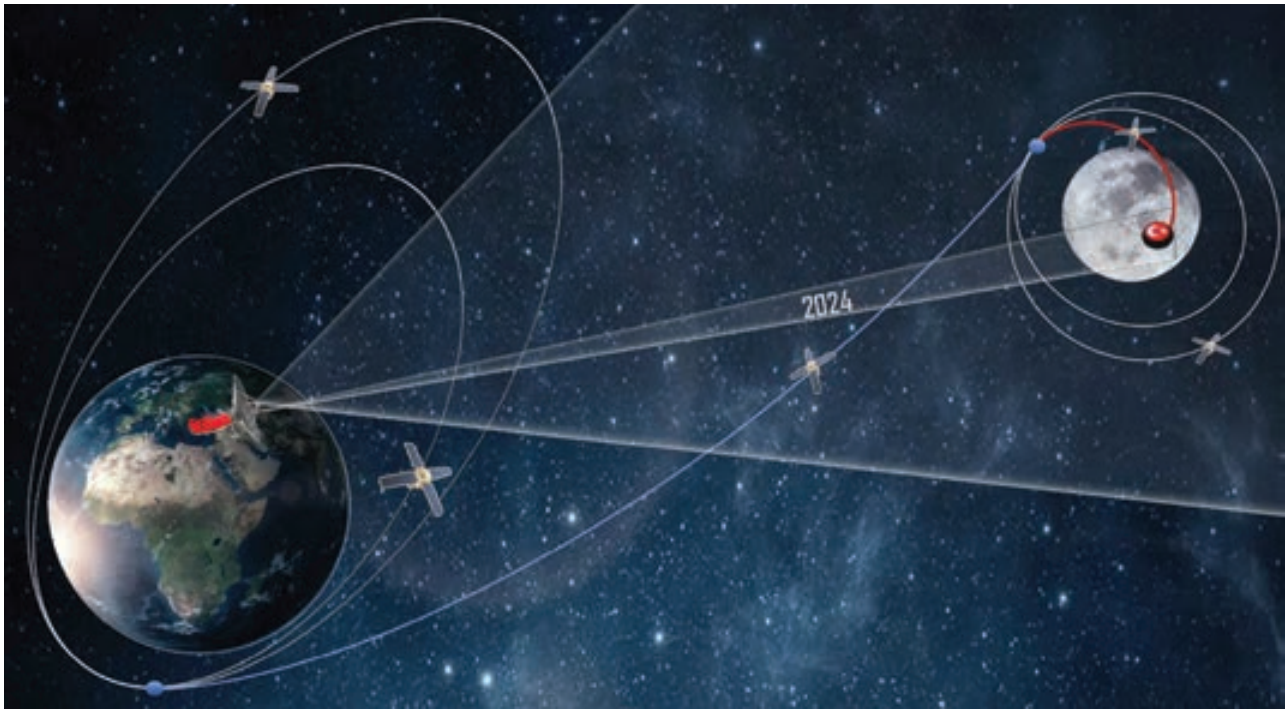
Operasyonel konsepte bağlı olarak, yer kesimi üç temel fonksiyonu yerine getirmeye yönelik planlanacaktır. Bu fonksiyonlar temel olarak; uzay aracına erişim, görev operasyonları planlama & yönetim ile uçuş dinamiğidir.

Uzay aracına erişim haberleşme ağı kapsamında tesis edilmesi gereken anten veya antenler ile birlikte, göreve özel haberleşme planı ile sağlanacak haberleşmenin sürekliliğine bağlı olarak küresel anlamda dağıtık anten sistemlerinin kullanımını içerecektir. Anten bazında geçiş planları (süre, AZ/EL/Range-AER) hazırlanacak, senkronizasyon ve operasyon sürekliliğinin garanti altına alınması amacıyla karasal ağlar kullanılarak seçilen operasyon merkezi ile bir haberleşme ağı oluşturulacaktır.

Görev operasyonları planlama & yönetim fonksiyonu görev planlama, trend analizi, durum-yönelim tespit & analiz, uzölçüm, uzkomut, izleme ve anomali yönetimi, arşiv, veri dağıtım ve yönetimi gibi alt fonksiyonları içermektedir. Bu amaca yönelik olarak genel bir yaklaşımla görev kontrol merkezleri teşkil edilmektedir. Uz ölçüm ve uz komut işlevi ile uzay aracı telemetre verileri (güç durumu, ekipman sıcaklıkları, çekilen akımlar vb. uzay aracı sağlık bilgileri) alınarak değerlendirilmekte, uzay aracının görev konseptine uygun olarak komutası sağlanmakta, otonom fonksiyonların uygunluğu izlenmektedir.

Görev planlama ile olay/işlem planlarının hazırlanması ve planların uzay aracına çıkılmasına kadar olan süreçteki işlevlerin yerine getirilmesi sağlanmaktadır. Bunlarla birlikte, sistemin tüm bileşenleriyle izlenmesi, anomali tespiti ve yönetimi, uzay aracının görev gereği durum ve yönelim

2024
2028


2024

planlaması, mevcut telemetre verileri dikkate alınarak trend analizleri yapılması işlevleri de görev operasyonları planlama ve yönetim fonksiyonu kapsamında gerçekleştirilmektedir.

Uçuş Dinamiği fonksiyonu genel anlamda Dünya'da ayrılış ile başlayarak, Ay yüzeyine çarpma/inmeye kadar olan süreçte izlenecek uçuş yolunun planlama, kontrol, düzeltme ve takibine yönelik tüm işlevler için gerekli analiz ve hesaplamaları gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda uçuş dinamiği fonksiyonu;

- Yörünge (uçuş yolu) belirleme,
- Yörüngede olabilecek bozulmaları düzeltme,
- Uçuş yoluna bağlı olarak varsa belirli aşamalarda yapılması gereken önceden belirlenmiş manevraların planlamasını içermektedir.

Ay görevi kapsamında sistem mimarisinin yer kesimine yönelik planlamalar hakkında somut bilgiler kamuoyu ile henüz paylaşılmamıştır. Ancak yer kesimi kapsamında temel olarak bu konuda ticari hizmet sunan uluslararası yer istasyonları ağı işleten firmalardan hizmet alınması yönünde bir yaklaşımın izlendiği bilinmektedir.

Başarımının sadece ulusal değil, uluslararası arenada da oldukça olumlu sonuçları olacak böylesine önemli bir uzay programı kapsamında tam fonksiyonel bir yer istasyonunun görev kontrol merkezi işlevlerini de gerçekleştirilmek üzere tesis edilmesi önemli bir kazanım olacaktır. Bu yönde yapılacak bir planlamada ASELSAN sahip olduğu teknolojik birikim ile gerek yer kesiminde tüm sistem çözümü sunmak, gerekse de uzay aracı erişim alt sistemi olarak da adlandırılan çok bantlı tam hareketli anten sistemini milli olarak geliştirmek konusunda kendisine verilecek tüm görevlere hazırdır.

DRAGONEYE

Elektro-Optik Sensör Sistemi

Orta Dalga Kızılötesi Sensör, HD Renkli TV, Termal ve Gündüz Kameralarında Sürekli Yakınlaştırma Yeteneği, Lazer Mesafe Ölçer, Manyetik Pusula ve GPS Entegre Sistem, Ethernet Altyapısına Sahip, Otomatik Hedef Takip, Resim/Video Kayıt, Sınıfının En İyi Teşhis/Tespit/Tanımlama Menzillerine Sahip

www.aselsan.com

aselsan

ARTEMİS İNSANLIĞIN AY İLE YENİDEN BULUŞMASI

Barış BULGUN
İsmail Ergün KOCABIÇAK

AY GÖREVLERİNİN TARİHÇESİ

Ay görevlerinin tarihçesine baktığımızda ilk adım olarak Ekim 1957'deki Sputnik-1'in fırlatılışına gideriz. Sputnik-1'in fırlatılmasıyla birlikte Ay gökyüzündeki uzak gümüş bir diskten, sondalar ve insanlar için ulaşılması hedeflenen gerçek bir yere dönüştü. Sovyetler ilk olarak Ocak 1959'da Luna-1 ile Ay'ın yanından uçtu. Bu başarıyı bir dizi başka robotik sonda ile takip ettiler ve aynı yılın ilerleyen zamanlarında, Dünya'dan asla görünmeyen Ay'ın uzak tarafını fotoğraflayan Luna-3 ile programlarının ilk aşamasını sonuçlandırdılar.

Sovyet kozmonot Yuri Gagarin'in 1961'deki ilk insanlı uzay uçuşuna cevaben, ABD Başkanı John F. Kennedy, Ay'a insan indirme hedefini açıkladı. Bu amaçla başlatılan Apollo programı, Ay'ı keşfetmeye olan ilgiyi büyük ölçüde artırdı. Apollo programı kapsamında aynı zamanda, robotik öncüler, Ay yüzeyine yönelik bilimsel keşifler yapacaktı.

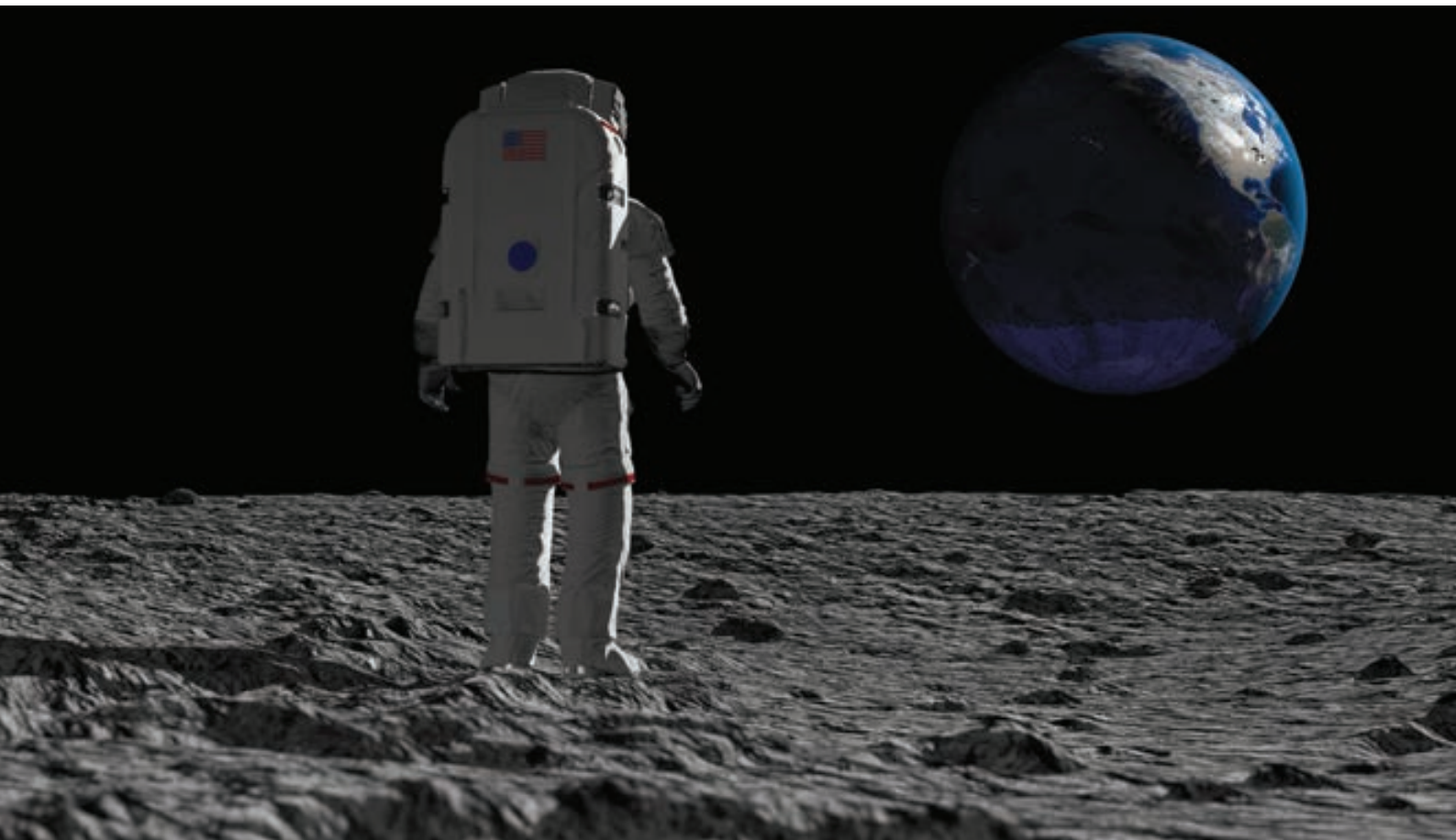
Amerika'nın ilk girişimi, Ranger serisi sert iniş uzay araçlarıydı. Birkaç umut kırıcı başarısızlıktan sonra Ranger-7, Temmuz 1964'te Mare Nubium'un (Bulut Denizi) ayrıntılı resimlerini Dünya'ya göndermeyi başardı. Takiben Ranger-9'un 1965 Live From the Moon video görüntüleriyle bu aşama sonuçlandı.

1966'nın başlarında SSCB robotik Luna-9 uzay aracını Ay yüzeyine güvenli bir şekilde indirerek yoluna devam etti. Luna-9'u, Mayıs 1966'da ABD'nin karmaşık robotik uzay aracı Surveyor-1'in yumuşak inişi takip etti. Son robotik görevler, tüm Ay'ı ilk kez yörüngeden haritalandırarak potansiyel iniş alanlarının son derece yüksek çözünürlüklü resimlerini elde etti ve Apollo görevlerinin takip etmesi için güvenliklerini onayladı. Şimdi Ay ve gezegen tarihini anlamadaki bir sonraki dev sıçrama için sahne hazırdı.

APOLLO: İNSANLI AY GÖREVLERİ

Apollo, ABD'nin sıfır insanlı uzay uçuşu kapasitesinden, Ay'ın yüzeyine insan indirmeyi başardığı program olarak tarihteki yerini aldı. Apollo programı süresince Apollo-8'in 1968 Noel uçuşu bir dönüm noktasıydı. İlk kez, insanlar yörüngeden Ay'a baktılar. Mayıs 1969'da Apollo-10, Ay'ın yörüngesine girdi ve Ay'a iniş aracını test etti. Nihayet Apollo 11'deki Neil Armstrong ve Buzz Aldrin, zorlu bir iniş ile 20 Temmuz 1969'da Mare Tranquillitatis'e (Huzur Denizi) güvenli bir şekilde indi. Ay'da iki saatten fazla yürüdüler, kayaları ve toprağı topladılar ve deney paketleri hazırladılar.

Kasım 1969'da Apollo-12, daha önce iniş yapan Surveyor-3 uzay aracının yakınındaki Oceanus Procellarum'a (Fırtınalar Okyanusu) indi. Apollo-13'te bir oksijen tankının patlaması, Ay'a inmesini engelledi. Apollo-14, Apollo-12'nin doğusunda, antik krater Fra Mauro'nun yakınındaki bir yaylaya gönderildi. Temmuz 1971'de, Apollo-15 ile NASA, "J" olarak adlandırılan



üç görevden ilkine başladı. Ay modülü Falcon'un Ay yüzeyinde üç gün geçirdiği Apollo-15 görevi, mürettebatın iniş gemilerinden kilometrelerce uzağa seyahat etmesine izin veren küçük bir elektrikli araba olan bir Ay gezgini kullanan ilk görevdi. Apollo-16, Nisan 1972'de ay yaylalarının derinliklerindeki antik krater Descartes'a gönderildi. Ay'daki ilk astronomik teleskobu konuşlandırdılar ve çalıştırdılar.

Bugüne kadar Ay'a yapılan son insan görevi olan Apollo-17, Aralık 1972'de Mare Serenitatis'in (Huzur Denizi) kenarına gönderildi. Bu tarihten sonra insanlı Ay görevleri için uzun bir duraklama dönemi başladı. Ta ki ARTEMİS görevi duyuruluncaya kadar. Bu kadar aradan sonra yeniden aynı heyecan ve bekleyiş. İşte sorularla yine ve yeniden insanlı Ay görevi!

Yine Yeniden Ay'a: ARTEMİS Görevi Nedir?

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA, Ay yüzeyinin ziyaret edildiği tarihten tam elli yıl sonra biricik uydumuza yeni bir yolculuk planlıyor. Birkaç aşamadan oluşacak görevin en büyük amacı, Ay topraklarını Mars'a ulaşma hedefinin merkez üssü haline getirmek ve bir ara istasyon olarak kullanmak. Bunun başarılmasının ardından kazanılacak tecrübe ve bilgi birikimi ise asıl hedef olan Mars yolculuğunun gerçekleşmesinde hayati bir önem taşıyacak.

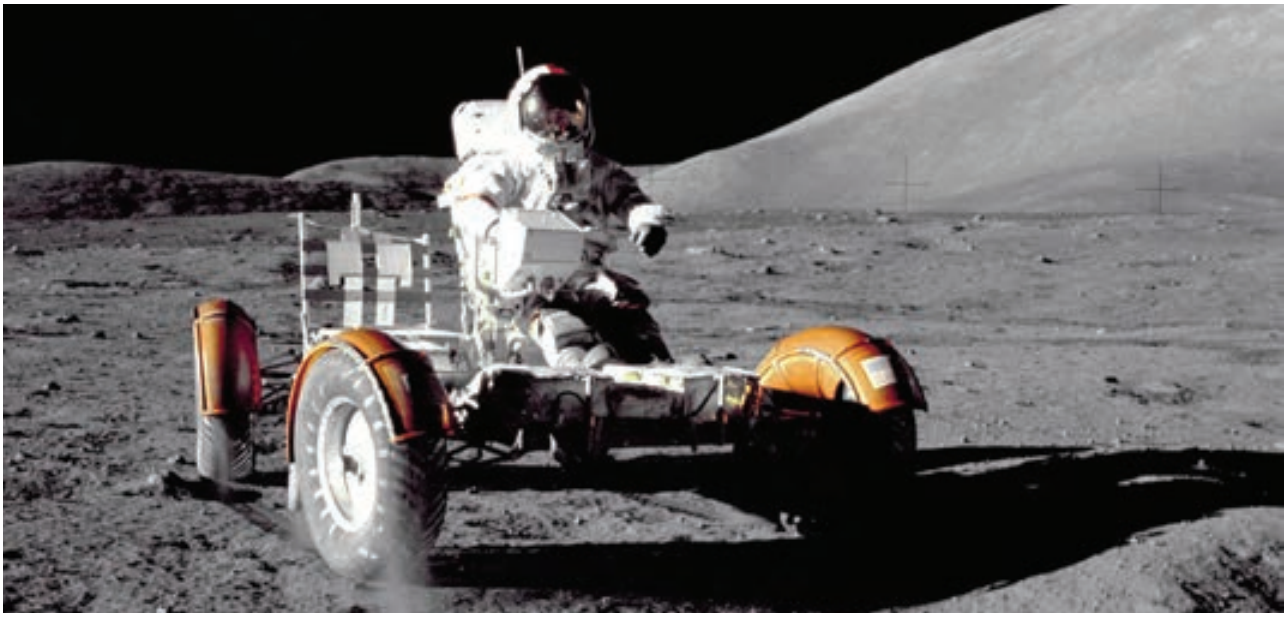
Programın diğer bir hedefinin ise ilk kez bir kadın astronot ve siyahi astronotun Ay'a adım atması vizyonu ile dünyada aşılması gereken eşitlik problemine katkı sağlamak olduğu söylenebilir.

Peki Ama Neden Program Adı ARTEMİS?

Artemis Yunan Mitolojisinde Zeus'un kızı, bir önceki Ay görevinin de adı olan Apollo'nun ikiz kardeşi ve Ay tanrıçasıdır. Hem elli yıl önceki göreve selam göndermenin hem de ilk kez bir kadının Ay yüzeyine adım atmasının isim tercihinde etkili olduğu düşünülebilir.

Neden Tekrar Ay'a Gidilmek İsteniyor?

Uluslararası Uzay İstasyonunun devreye alınması, özel şirketlerin uzay teknolojisine yatırımlarının çok büyük boyutlara ulaşması gibi gelişmelerin ardından özellikle son 20-30 yılda uzay teknolojisi çok büyük bir hızla gelişti. Alçak Dünya yörüngesinde kazanılan tecrübenin ardından aslında Ay'a gitmek bir sonraki en mantıklı hedef olabilir.



Her ne kadar daha önce Ay yüzeyine iniş yapılmış olsa da Ay hakkındaki bilgimiz oldukça kısıtlı. Bu program ile bu bilgi eksikliğin giderilmesi de hedefleniyor. Büyük buz kütlelerini incelemek, çok daha fazla zemin örneği, element getirmek ve ay üstünde koloniler kurmak programın teknik hedefleri olarak değerlendirilebilir. Fakat unutulmamalıdır ki programın en büyük hedefi Mars'a giden yolu açmak. Ay görevi bunca zorluk içermesine rağmen hâlâ insanlı bir Mars görevinin yanında oldukça ulaşılabilir görünüyor.

Artemis'in Kilometre Taşları Nelerdir?

İlk planlamalara göre Ay görevinin birinci evresi üç aşamada tamamlanacak. Birinci aşamada insansız bir uzay aracı Ay'a gönderilecek ve insanlı görevin bir provası yapılacak. Ardından 2024 yılı içerisinde dört Artemis astronotunu taşıyacak olan Orion kapsülü, alçak Dünya yörüngesinin ötesine gidecek ve insanlık 1972 yılından sonra ilk kez dünyadan bu kadar uzaklaşmış olacak. İkinci aşamanın hedefi Ay yörüngesinde en az on günlük insanlı bir test ve geri dönüşü içerecek. Nihayetinde üçüncü aşamada ise insanlar elli yıl sonra tekrar Ay'a ayak basacak.

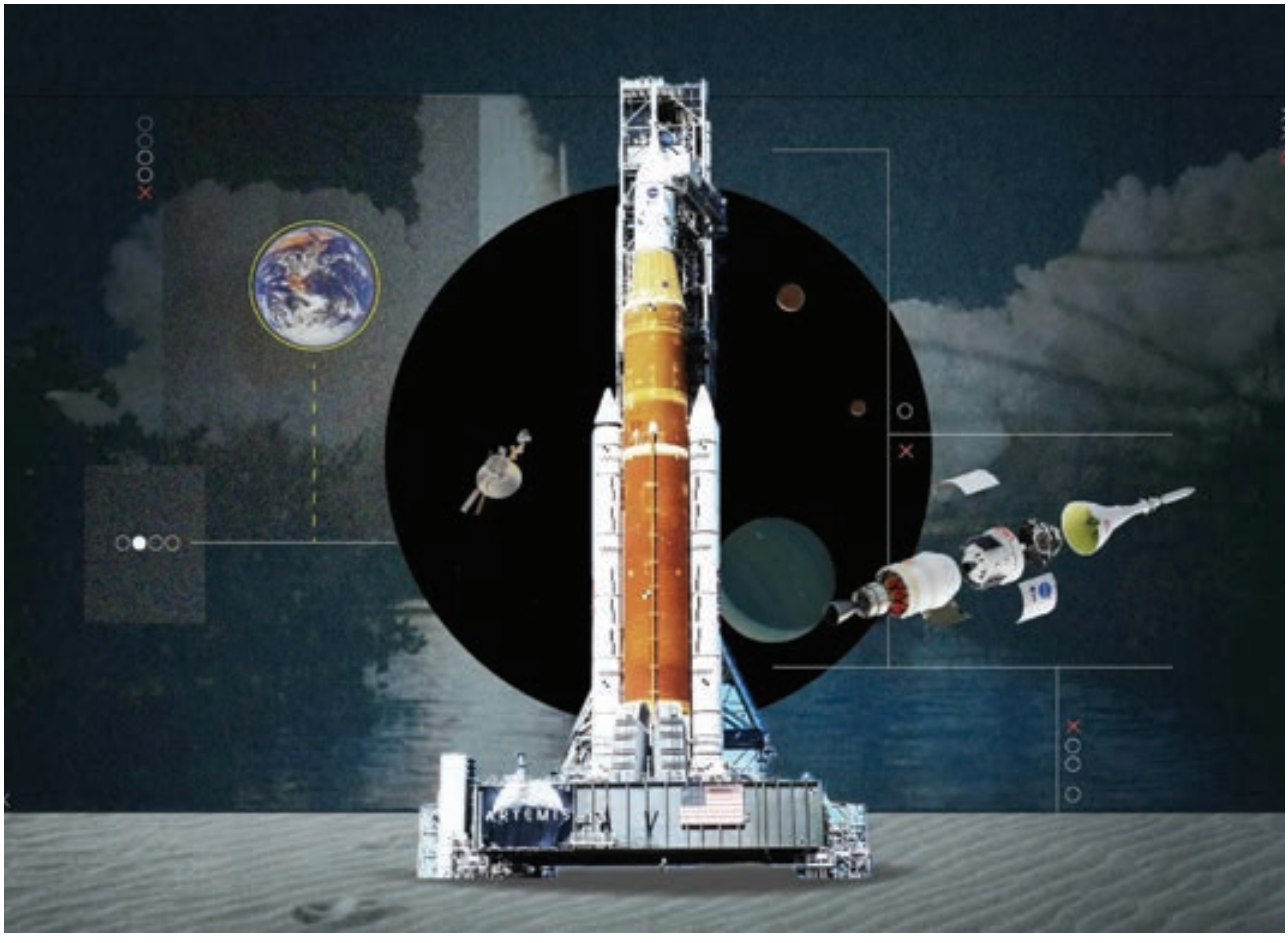
Tarihlerin bir miktar ileri gitmesine kesin gözüyle bakılsa da er ya da geç bu tarihi görevin ilk üç aşaması tamamlanacak ve sadece uzay tarihinin değil, insanlık tarihinin en büyük olaylarından biri daha yaşanacak.

Ay'a Gidecek Astronotlar Nasıl Seçiliyor?

Seçim kriterlerinden en önemlisi ekiple uyumlu çalışan ve görevin kurallarına bağlı kalabilen astronotları diğerlerinden ayırabilmek. Tarihe geçecek astronotların bir diğer seçilme kriteri ise askeri helikopterleri indirebilme, İzlanda kırsallarında aylar geçirebilme, sanal gerçeklik gözlükleri ile başına gelenleri atlatma gibi teknik zorlukları aşması. Tabii son karar NASA'nın. Kimse en son noktaya kadar gelebilen astronotların neye göre seçildiğini tam olarak bilmiyor.

Bu Görevin Maliyeti Ne Kadar?

NASA'nın Ay görevi için şu ana kadar 40-50 milyar dolar harcadığı, 2025 yılına kadar ise 100 milyar dolar bandını aşacağı tahmin ediliyor. Apollo görevinde ise o yıllarda 28 milyar dolar harcanmıştı. Bu maliyet ise günümüzde 280 milyar dolara karşılık geliyor.



KIZIL GEZEGEN MARS

YENİ DÜNYA UMUTLARI

Orhan Çağdaş ÜNVER

İlk bakışta Dünya'nın daha küçük, daha soğuk bir komşusu gibi görünen paslı gezegen, içerisinde birçok keşfedilmemiş gizem barındırıyor.

Adını Roma savaş tanrısından alan kızıl gezegen Mars, uzunca bir süre geceleri gökyüzünde bir gizem olarak kaldı. Fakat yıllar geçtikçe ve insanlık daha dikkatli bakabilecek teknolojilere sahip oldukça Mars'ın kendi içerisinde bir yıkım barındıran hüzünlü hikâyesi gün yüzüne çıkmaya başladı. Milyarlarca yıl önceye gidip bakışlarımızı kızıl gezegene çevirebilseydik, yüzeyinde sıvı su ve hatta belki de yaşam olan Mars'ın Dünya'ya ikizi kadar benzediğini görebilirdik. Sadece daha küçük bir ikizi.

Şimdi ise Mars birkaç sıvı su belirtisi olan soğuk, çorak bir çöl. Ancak yörünge araçları, arazi araçları ve geziciler kullanılarak yapılan onlarca yıllık çalışmanın ardından bilim insanları, Mars'ın, bugün bile paslı yüzeyinin altında mikrobiyal yaşamı barındırabilecek, dinamik, rüzgârlarla savrulan bir manzara olduğunu ortaya çıkardılar.

DAHA UZUN YIL VE DEĞİŞEN MEVSİMLER

2.106 mil yarıçaplı Mars, Güneş sistemimizdeki yedinci en büyük gezegendir ve Dünya'nın yaklaşık yarısı kadardır. Yüzey yerçekimi, Dünya'nın yüzde 37,5'i kadardır.

Mars, her 24,6 Dünya saatinde bir kendi ekseni etrafında döner ve bir Mars gününün uzunluğunu tanımlar. Mars'ın dönme ekseni, gezegenin Güneş etrafındaki yörüngesinin düzlemine göre 25,2 derece eğilir ve bu da Mars'a Dünya'daki mevsimlere benzer mevsimler vermeye yardımcı olur. Hangi yarım küre Güneş'e daha yakın eğilirse, ilkbahar ve yaz yaşanırken, yarım küre uzağa eğikse sonbahar ve kış olur. Her yıl ekinoks adı verilen iki belirli anda her iki yarıküre de eşit aydınlatma alır.

Ancak birkaç nedenden dolayı Mars'taki mevsimler, Dünya'dakilerden farklıdır. Birincisi; Mars, ortalama 142 milyon mil yörünge mesafesiyle, Güneş'e Dünya'dan ortalama yüzde elli daha uzaktadır. Bu, Mars'ın tek bir yörüngeyi tamamlamasının daha uzun sürdüğü, yılını ve mevsimlerinin uzunluğunu uzattığı anlamına gelir. Mars'ta bir yıl 669,6 Güneş günü veya 687 Dünya günü sürer ve tek bir mevsim 194 Güneş günü veya 199 Dünya gününden biraz fazla sürebilir.

Mars, Dünya'dan çok daha ince bir atmosfere sahip olduğundan bu faktör gezegenin yüzeyinin ne kadar ısı tutabileceğini önemli ölçüde azaltır. Mars'taki yüzey sıcaklıkları 20˚ ile -140˚ arasında değişkenlik gösterebilirken, ortalama yüzey sıcaklığı -62˚ derece ile, Dünya'nın ortalama sıcaklığından tam 138 derece daha soğuktur.

BİR ZAMANLAR RÜZGÂRLI VE SULAKTI

Mars atmosferi çoğunlukla karbondioksit, azot ve argondan oluşmaktadır. Dünya standartlarına göre, hava akıl almaz derecede incedir. Everest Dağı'nın tepesindeki hava basıncı, Mars yüzeyinde olduğundan yaklaşık elli kat daha yüksektir. İnce havaya rağmen, Mars esintileri saatte 60 mil hıza ulaşabilir, bu da devasa toz fırtınalarının oluşmasına neden olur.

Bir zamanlar kızıl gezegende su bulunduğu düşünülmekte. Gönderilen robotik gezici araçlar, milyarlarca yıl önce, göllerin ve sıvı su nehirlerinin kızıl gezegenin yüzeyinde aktığına dair net kanıtlar buldu. Bu, uzak geçmişte bir noktada, Mars'ın atmosferinin yeterince yoğun olduğu ve suyun kırmızı gezegenin yüzeyinde sıvı kalması için yeterli ısıyı koruduğu anlamına gelmekte. Fakat bugün ise öyle değil. Mars yüzeyinin altında ve kutup bölgesinde yer alan buzullarda bol miktarda buz halinde su olmasına rağmen, yüzeyde büyük sıvı su kütleleri yoktur.

Mars ayrıca aktif bir tektonik sistemden yani Dünyamızı harekete geçiren aktif bir jeolojik motordan yoksundur ve bu da gezegensel bir manyetik alanının olmadığı anlamına gelir. Bu koruyucu bariyerin olmaması, güneşin yüksek enerjili parçacıklarının kızıl gezegenin atmosferini soymasını kolaylaştırır ve bu da Mars'ın atmosferinin neden bu kadar ince olduğunu açıklar. Ancak yaklaşık 4,12 ila 4,14 milyar yıl öncesine kadar Mars'ın, koruyucu bariyer görevi gören bir manyetik alana sahip olduğu tahmin edilmekte fakat bu bariyeri neyin yok ettiği bilim insanlarınca henüz bilinmemektedir.

EN BÜYÜK DAĞ VE DERİN VADİLER

Dünya ve Venüs gibi, Mars'ta da dağlar, vadiler ve volkanlar var, ancak kızıl gezegen açık ara en büyük ve en dramatik olanı. Güneş sisteminin en büyük yanardağı olan Olympus Dağı, Mars yüzeyinin yaklaşık 25,7 km üzerinde yükseliyor ve onu Everest'ten üç kat daha uzun yapıyor. Ancak Olympus Dağı'nın tabanı o kadar geniştir ki yanardağın ortalama eğimi bir tekerlekli sandalye rampasından sadece biraz daha diktir.

Mars sadece en yüksek tepelere değil, aynı zamanda Güneş sisteminin en düşük seviyelerinden bazılarına da sahiptir. Olympus Dağı'nın

güneydoğusunda, kızıl gezegenin ikonik kanyon sistemi olan Valles Marineris yer alır. Boğazlar yaklaşık 4.000 km uzanır. Uçurumlar ağı, Dünya'daki Büyük Kanyon'dan dört kat daha derin ve beş kat daha uzundur. Vadiler adını, 1971'de Mars'a ulaştığında başka bir gezegenin yörüngesinde dönen ilk uzay aracı olan Mariner-9'dan almaktadır.

MARS'IN KOZMİK ARKADAŞLARI

Uzak geçmişte bir noktada, kızıl gezegen iki küçük ve düzensiz şekilli uydusuna, Phobos ve Deimos'a kavuştu. 1877'de keşfedilen bu iki uydu, Roma mitolojisindeki tanrı Mars'ın oğullarından adını almıştır. Uyduların nasıl oluştuğu hala çözülemedi. Bir olasılık, asteroid kuşağında oluşmuş olmaları ve Mars'ın yerçekimi tarafından yakalanmalarıdır. Ancak son modeller, bunun yerine, uzun zaman önce büyük bir çarpışmanın ardından Mars'tan fırlayan enkazdan oluşmuş olabileceklerini öne sürüyor.

İki uydudan daha küçüğü olan Deimos, her otuz saatte bir Mars etrafındaki yörüngesini tamamlamakta ve uydunun çapı on milden daha az. Daha büyük kardeşi Phobos, yüzeyinde uzanan kraterler ve derin oluklar da dahil olmak üzere birçok yara izi taşıyor. Bilim insanları, Phobos'taki oyuklara neyin neden olduğunu uzun zamandır tartışıyorlar. Eski bir çarpmanın ardından yüzeyde yuvarlanan kayaların geride bıraktığı izler mi yoksa Mars'ın yerçekiminin Phobos'u parçalara ayırdığına dair işaretler mi henüz bilinmiyor.

Phobos her yüzyılda Mars'a yaklaşık bir buçuk metre daha yaklaşıyor; elli milyon yıl sonra ya kızıl gezegenin yüzeyine çarpacağı ya da paramparça olacağı tahmin ediliyor.

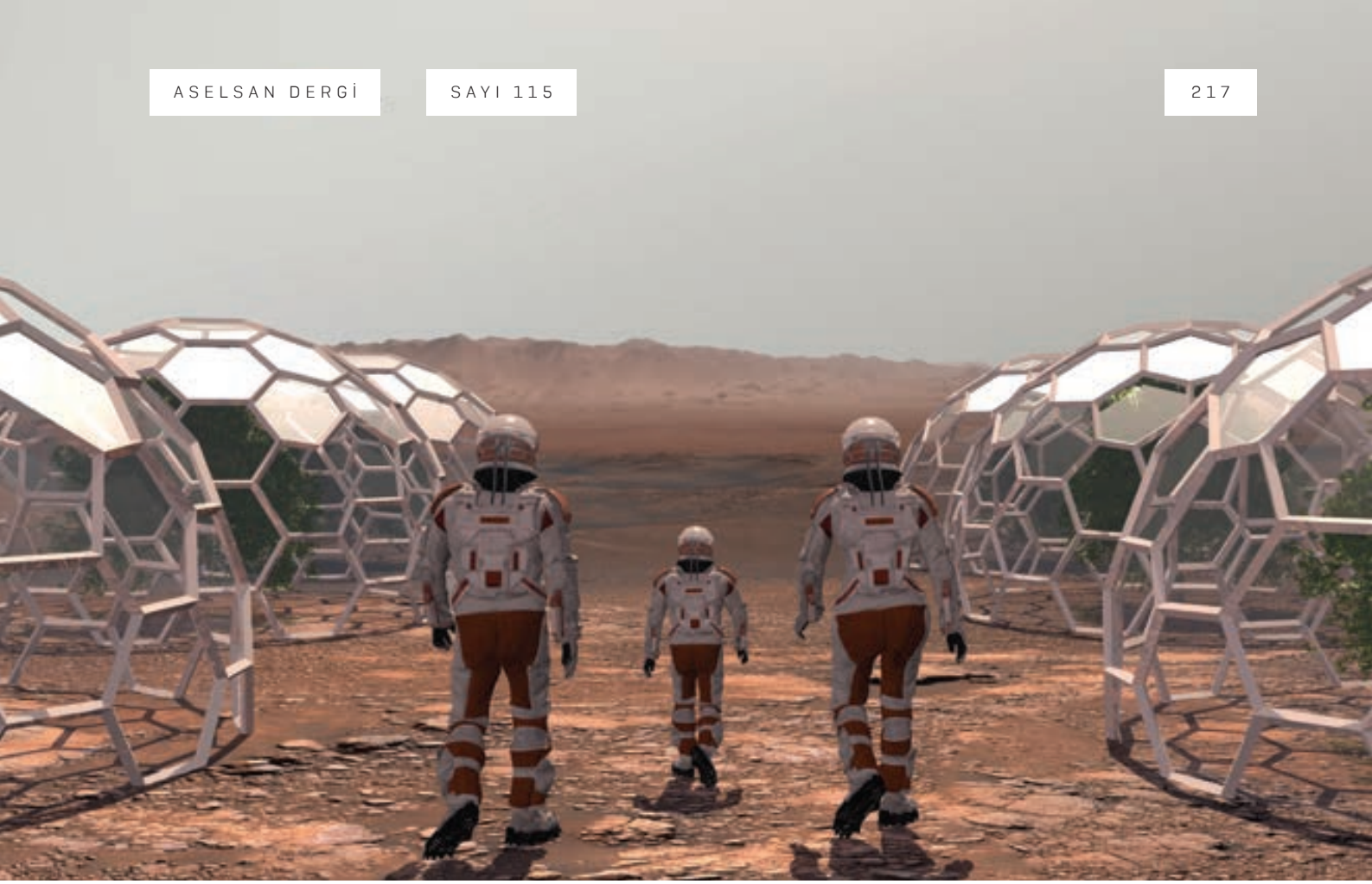
VE MARS GÖREVİ

Şimdiye kadar anlatılan bilgiler aslında geçmişi ve şimdiki haliyle Mars'ın neden insanoğlu için yeni bir yuva oluşturabilme umudu taşıdığını açıklıyor. 1960'lardan bu yana, insanlar Mars'ı Dünya'nın ötesindeki herhangi bir gezegenden daha fazla keşfettiler. Şu anda ABD, Avrupa Birliği, Rusya ve Hindistan'dan sekiz misyon aracı aktif olarak Mars'ın etrafında dönüyor veya yüzeyinde dolanıyor. Ancak kızıl gezegene güvenle ulaşmak hiç de küçük bir başarı değil. 1960'tan bu yana başlatılan kırk beş Mars görevinden yirmi altısında ya misyon araçları Dünya'dan ayrılamadı ya rotası üzerinde sessizliğe büründü ya Mars'ın yörüngesini kaçırdı, atmosferde yandı ya da yüzeye çarptı veya zamanından önce işlevini yitirdi.

Ufukta, Marslı yaşamını aramaya yardımcı olmak için tasarlanmış daha fazla görev var. NASA, Mars 2020 gezicisini, Mars'a başarılı bir şekilde göndererek kaya örneklerinden topladığı bilgileri Dünya'ya iletmeye devam ediyor. Avrupa Uzay Ajansı, adını kimyager Rosalind Franklin'den alan gezicili bir Mars misyonu planlıyor. Diğer ülkeler de bu mücadeleye katılarak uzay araştırmalarını bu süreçte daha küresel hale getiriyor. Temmuz 2020'de Birleşik Arap Emirlikleri, Mars atmosferini inceleyecek olan Umut yörünge aracını fırlattı ve araç Mars yörüngesine oturmayı başardı.

Tüm bu keşiflerin ortak motivasyonu aslında Mars gezegenini yeni Dünyamız, yuvamız haline getirebilmek. Muhtemel bir gelecekte insanlar kızıl gezegendeki keşif robotlarına katılabilecekler. Fakat Mars'ı yeni yuvamız haline getirmeden önce ara istasyonlar inşa etmemiz gerekiyor. NASA, Mars'a bir atlama taşı olarak kullanmak üzere insanları Ay'a geri gönderme hedefini açıkladı. Bu ara istasyonların inşası bile Mars hedefinin büyüklüğü ile ilgili bize bir fikir veriyor. SpaceX'in kurucusu ve CEO'su Elon Musk, insanları Mars'a göndermek için Starship adlı devasa bir araç inşa ediyor. Elbette Mars ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu şimdilik kızıl gezegene insanlı uçuşların yapılabilmesi ile ilgili. Oraya ulaşacak ilk insanlar Antarktika'yı işaretleyenler gibi, Mars yüzeyinde yürüyen ilk kişiler olacaklar. İnsanlığın sonraki hedefi de bu soğuk, geçmişi yıkımlarla dolu paslı gezegenin geçmişindeki canlı belki de hayat barındıran günlerine döndürülmesi olacak. Oraya ulaşacak ilk nesil tüm zorluklarına rağmen yeni geliştirilen teknolojiler ile belki de Mars'ın atmosferini zamanla yaşanabilir hale getirebilecek. Şimdilik sadece çılgın bir fikir olarak kalsa bile, her ne kadar sonrasında bu düşüncesinden geri adım atsa da Elon Musk, yaşanabilir bir atmosfer oluşturabilmek için termonükleer bombalar ile gezegenin dövülmesi gerektiğini söylemişti.

Tüm bunları zaman gösterecek. Ama ne olursa olsun, Mars, gökyüzümüzde ve hikâyelerimizde parıldayan kırmızı bir fener olarak insanın hayal gücünü işgal etmeye devam edecek.



YENİ TATİL ANLAYIŞI: UZAY TURİZMİ

Esra Zeynep ŞENEL

İnsanoğlu, ilk çağlardan itibaren gökyüzü ve ötesine merak duymuştur. Tarım faaliyetlerini gerçekleştirme, takvim belirleme ve yön bulma gibi amaçlar için gökyüzüyle ilgilenen insanlar, uzaya çıkmanın hayallerini kurmuşlardır. Günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde uzay seyahati kavramı artık bir hayal olmaktan çıkmış, insanların değişen beklenti ve ihtiyaçları sebebiyle farklı kavramların doğuşunu da beraberinde getirmiştir. Uzay turizmi, bu teknolojik gelişmelerin ışığında, insanların uzaya olan merakının ve macera beklentisinin bir sonucu olarak doğmuştur. Uzay turizminden ilk olarak 1967 yılında Hilton Otellerinin başkanı tarafından sunulan Uzay Oteli isimli çalışmada bahsedilmiştir. Barron Hilton, gelecekte insanların uzay seyahati yapacağını söylemiş ve bu insanların Hilton Otellerinde konaklamasının hayalini kurduğunu söylemiştir. Bu sunumdan yaklaşık iki sene sonra 1969 yılında insanoğlu Ay'a ilk adımı atmıştır.

UZAY TURİZMİ NEDİR?

Uzay turizmi, bilimsel araştırma amacı gütmeyen müşterilere uzay yolculuğu ile ilgili doğrudan veya dolaylı deneyim sunan bir ticari faaliyet şeklinde tanımlanabilir. Bu tür faaliyetler, yörünge tesislerindeki uzun süreli konaklamalar, kısa süreli yörünge/yörünge altı uçuşlar ve hatta yolcuların kısa süreli yer çekimsiz ortamda kalmalarını sağlayan uçuşlar gibi pek çok farklı türde gerçekleştirilebilir. Bugüne kadar yaklaşık altı yüz kişi uzaya seyahat etmiş olsa da bunların sadece küçük bir kısmı uzay turisti olarak nitelendirilebilir; herhangi bir bilimsel araştırma için değil, eğlence amaçlı uzay seyahati gerçekleştirenler. 2001 yılının ortalarında Amerikalı bir mühendis ve girişimci olan Dennis Anthony Tito, 20 milyon dolar ödeyerek yaklaşık sekiz günde Uluslararası Uzay İstasyonunu ziyaret etti ve ilk uzay turisti oldu. 2001 ile 2009 yılları arasında dokuz multi milyoner kişi uzay turizmi yapmıştır. Her biri, 1-2 haftalık uzay seyahati için 20-40 milyon dolar ödemişler ve bu yolculuklar için devlet roketleri ve/veya devlet uzay istasyonlarını kullanmışlardır. 2011 yılında NASA, uzay mekiği programını durdurmuştur ve 2021 yılına kadar uzay turizmi alanında ciddi bir sıçrayış yaşanmamıştır.

2021 yılına gelindiğinde uzay turizmine olan ilginin hızla artması, birçok özel şirketin turistleri düzenli olarak uzaya taşımak için uzay aracı tasarlamasına ve test etmesine yol açtı. Virgin Galactic, Blue Origin ve Spacex şirketleri 2021'de turist odaklı ilk görevlerini gerçekleştirdiler. Her biri profesyonel uzay uçuşlarında asgari eğitim almış birkaç kişiyi uzaya gönderdiler. Virgin Galactic, temmuz ayında ilk operasyonel turist uçuşunu gerçekleştirdi. Dört kişilik mürettebat ve iki pilot, yaklaşık dört dakika boyunca yer çekimsiz ortamı deneyimledikleri uzay sınırının hemen üzerine uçtu. Şirket, gelecekteki uçuşlar için her biri 450.000 dolar olan biletleri satışı sundu. Virgin uçuşundan birkaç gün sonra Blue Origin, aralarında kurucusu Jeff Bezos'un da bulunduğu üç uzay turistinin uçuşunu gerçekleştirdi. Eylül 2021'de dört uzay turisti, SpaceX Crew Dragon aracıyla, üç gün boyunca süren yörünge uçuşunu gerçekleştirdiler. Inspiration 4 adlı bu görev, gemide profesyonel astronot bulunmayan ilk mürettebatlı yörünge görevi oldu. Ekim ayında bir Rus film ekibi, bir kozmonot üzerinde acil ameliyat yapmak için istasyona fırlatılan cerrahın hikâyesini anlatan filmi çekmek için uzay seyahati gerçekleştirdiler.

UZAY TURİZMİ TÜRLERİ

Günümüzde uzay turisti olmayı hayal eden bireyler iki farklı yolculuk türü arasından seçim yapabilmektedir: Suborbital uzay turizmi ve yörünge uzay turizmi. Gelecekte ay turizminin de mümkün olabileceği düşünülse de henüz bu konuda bir girişim yoktur. Suborbital uzay turizminde, turistler yaklaşık 100 km'lik irtifaya çıkıp birkaç dakikalık uzay deneyimi yaşarlar. Uzay aracı düşük hızla hareket

eder. Suborbital uzay turizmi pazarına şu anda iki rakip şirket hâkim durumda: Virgin Galactic ve Blue Origin. Yörünge turizminde ise 400 kilometrenin üzerindeki irtifalara ulaşılır ve turistler uzayda günler hatta bir haftadan fazla zaman geçirme fırsatı bulur. Uzay aracı, en az bir tam yörünge boyunca uzayda kalacağı için yörünge hızına ulaşmalıdır. Artan uzunluk, hız ve mesafe nedeniyle, yörünge uzay uçuşları suborbital uzay uçuşlarından önemli ölçüde daha pahalıdır. Spacex'in Eylül 2021 yörünge uzay uçuşundaki dört yolcusunun bilet başına 50 milyon dolar ödediği iddia edilmektedir. Elon Musk tarafından kurulan SpaceX, 2021 yılında ilk tamamen özel yörünge uzay uçuşunu başlatan pazar lideri oldu. Ay turizminde turistlerin Ay'a seyahati amaçlamaktadır. Henüz Ay uzay turizmi uçuşları başlatılmamış olsa da 2023-2043 yılları arasında Ay'ın yüzeyinde veya çevresinde Ay turizmini başlatma planları açıklandı.

UZAY OTELLERİ

Uzay turizmi denilince akla gelebilecek konulardan biri de uzay otelleri. ABD merkezli bir şirket, uzay oteli fikri için yeni bilgiler ve konseptler ortaya koydu. Başlangıçta Kaliforniyalı şirket the Gateway Foundation tarafından prömiyeri yapılan ve daha sonra Von Braun istasyonu olarak adlandırılan bu fütüristik konsept, Dünya etrafında dönen bir tekerleği andıran ve asansör şaftlarıyla birbirine bağlanan birkaç modülden oluşuyor. Proje kapsamında iki uzay istasyonunun turist ağırlaması planlanıyor. Yirmi sekiz turist kapasiteli Pioneer İstasyonunun üç yıl içinde açılması planlanırken; dört yüz kapasiteli Voyager İstasyonunun 2027 yılında açılması planlanıyor. Ayrıca bu otellerde şirketlerin ofislerinin, araştırma merkezlerinin de olabileceği ve bir çalışma alanı yaratılacağı konuşuluyor. Her iki istasyonun da dünya etrafında dönen bir tekerleği

andıracağı söylenebilir. Otellerin iç dizaynı dünyadaki lüks otellere benzeyecek fakat odaların manzarası dünya olacak. Bu otellerde üç gün konaklamanın maliyeti ise 5 milyon dolar.

UZAY TURİZMİNE YÖNELİK ELEŞTİRİLER

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi uzay turizmi, türüne göre birkaç saat veya birkaç gün sürebiliyor. Eğitim süreci de hesaba katılırsa, potansiyel bir turistin bu uçuş deneyimi için yaklaşık 3-4 ay vakit ayırması gerekiyor. Bu uçuşlarda, yolculardan seyahat öncesi herhangi bir bilimsel bilgi birikimine sahip olmaları beklenmiyor. Fakat uçuş öncesi eğitimleri ve bazı fiziksel testleri tamamlamaları gerekiyor. Zaman içerisinde, uzay turistlerinin sağlaması gereken şartların esnetildiğini söyleyebiliriz. Örneğin, bu kişilerin sağlık durumlarının mükemmel olması gerekmiyor. Küçük sağlık problemleri, önlem alındığı sürece görmezden gelinebiliyor. Fakat bu durum, turistlerin eğitim ve güvenliğinin yeterince düşünülmediği gibi eleştirilere de sebep olabiliyor. Örneğin yaşı ilerlemiş kişilerin vücutlarının yer çekiminin olmadığı ortamlarda nasıl tepki vereceği tam olarak bilinmiyor. Uzay turizmine yönelik eleştiriler bununla da sınırlı değil. Uzay turizmi için gerekli teknolojiyi geliştirmek, uzay aracını üretmek gibi süreçler oldukça maliyetli olduğundan kaynak kullanımının oldukça fazla olması ve bu turizmin yalnızca çok yüksek gelirli kişilere hitap etmesi de eleştiriliyor. Ayrıca, özellikle suborbital uçuşların küresel ısınmanın etkilerini artıracağı söyleniyor. Uzay araçlarının turist kapasitesi oldukça az olmasına rağmen uzay turizmine talep fazla olduğundan çok sayıda fırlatma yapılması gerekiyor. Fırlatma için kullanılacak gazların ise dünyanın sıcaklığını 1 dereceye kadar artırabileceği düşünülüyor.

UZAY TURİZMİNİN GELECEĞİ VE UZAY EKONOMİSİ

Uzay turizmi uzay ekonomisine katkıda bulunan bir aktivitedir. Uzay ekonomisi, uzayı araştırırken, anlarken ve yönetirken insana fayda sağlayan aktiviteleri ve kaynak kullanımını içerir. İki kategoride incelenir: Dünya için uzay ve uzay için uzay aktiviteleri. Dünya için uzay aktiviteleri, dünyada kullanılmak üzere uzay ortamından elde edilen ürün veya servislerdir. Bu aktiviteler telekomünikasyon & internet altyapısı, yeryüzü gözlemi ve ulusal güvenlik uydularını içerir. Ayrıca, güncel durumda uzay ekonomisinin gelirinin büyük bir kısmını bu faaliyetler oluşturur. Uzay için uzay aktiviteleri ise uzayda kullanılmak üzere uzay ortamından elde edilen ürün veya servislerdir. Bu faaliyetler, uzay turizminin şirketlere ürün yelpazesi oluşturmada yardım etmesi ile özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Yakın gelecekte uzay turizmi aktivitelerinin yoğunlaşması ve bunların uzay ekonomisindeki payının artması beklenmektedir. Uzay turizminde eleştirilen olumsuzlukların mümkün olduğunca giderilmesi ile rekabetin artması ve maliyetin düşmesi muhtemeldir. Böylelikle uzay turizmi, yalnızca çok zenginlere hitap etmekten çıkıp daha fazla insan için bir seçenek olabilecektir. Yeni iş alanları yaratma, insanları uzay hakkında bilinçlendirme ve uzay ekonomisinde inovasyonu teşvik etme konularında da önemli bir paya sahip olacaktır.

ASELSAN VE UZAY

ASELSAN'IN UZAYA BAKIŞI, YETKİNLİKLERİ VE HEDEFLERİ

Fuat Taner ÖZDEMİR

KÜRESEL UZAY SEKTÖRÜNE GENEL BAKIŞ

Dünya, Sputnik'in 1957 yılında uzaya fırlatılmasından bu yana, uzay çağına ve bunun farklı dönemlerine tanıklık etmektedir. Uzay çağının ilk dönemlerinde uzay, jeostratejik yarışın tetiklediği ideolojik bir alana dönüşmüştür. Uzay teknolojisinde yaşanan gelişmeler ve uzayda gerçekleştirilen faaliyetler büyük oranda ABD ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) arasındaki Soğuk Savaşın yarattığı etkiler doğrultusunda şekillenmiştir.

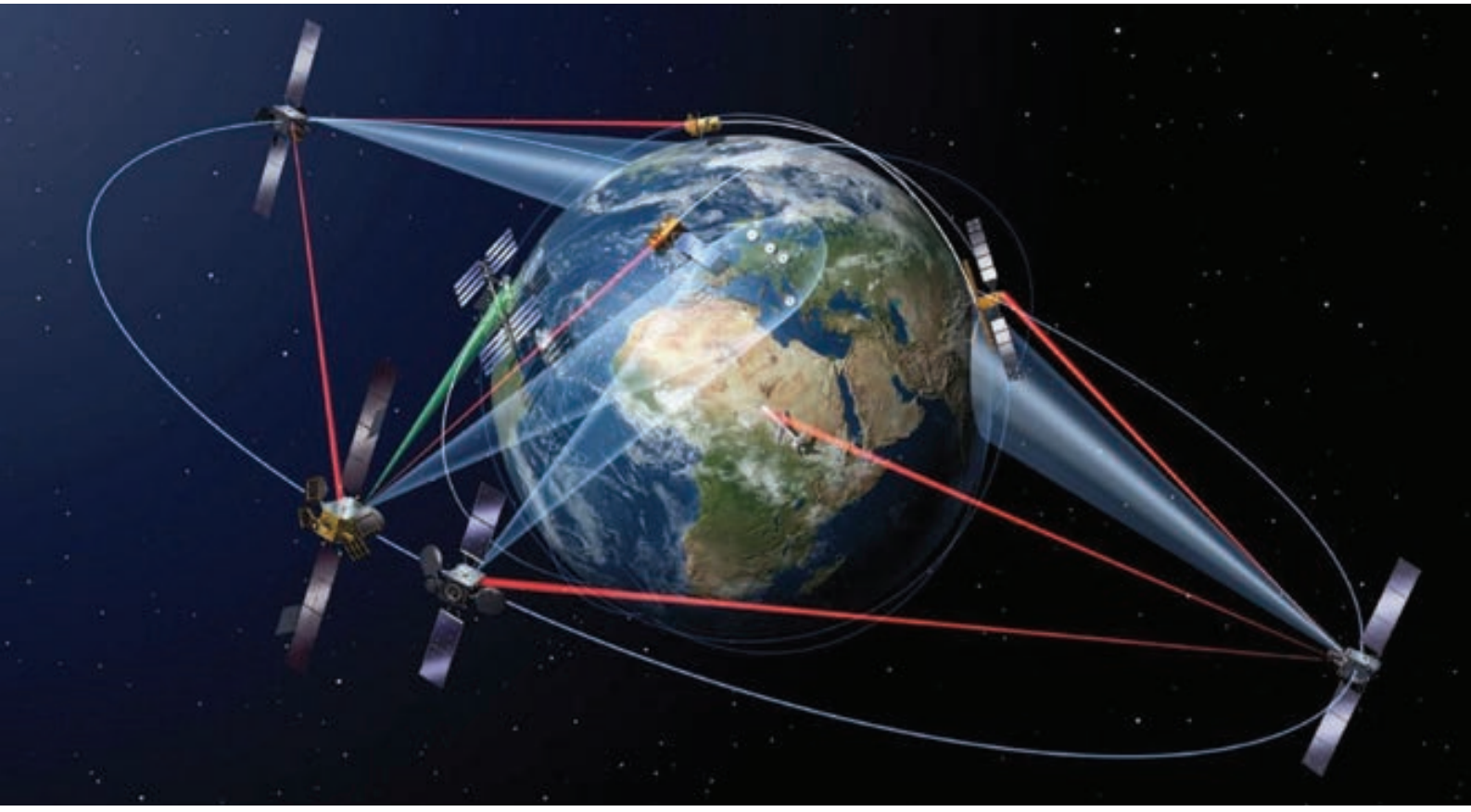
ABD ve Rusya dışındaki diğer ülkelerin uzay teknolojilerine yönelik atılımları oldukça sonra başlamıştır. Ay'a ilk insanın ayak basması ile 1969 yılında ABD ile Rusya arasındaki uzay teknolojileri yarışının bitmesinden ancak on yıl sonra, 1979 yılında, Fransa, Ariane-1 roketi ile 1.600 kg ağırlığındaki deneysel uydusunu alçak Dünya yörüngesine (Low Earth Orbit-LEO) yerleştirmeyi başarmıştır.

Bu noktadan sonra uzayda var olmanın avantajlarını tecrübe eden ülkeler bu alanda önemli yatırımlar yaparak, küresel bir yarışı başlatmıştır. Uzay yarışı ağırlıklı olarak savunma ve güvenlik gerekçelerinden beslenmiş, ancak kaçınılmaz olarak tüm sektörlerde etkisini hissettirmiştir. İletişimden tarıma, ulaşımdan sağlığa, oldukça geniş bir yelpazede uzay, onu kullanan tarafa önemli yetenek ve avantajlar sunmuştur.

Askeri sistemlerin yüksek performans, güvenlik ve güvenilirlik isterlerinin bulunması ile teknolojinin yayılımı konusunda uygulanan kısıtlar nedeniyle sivil, ticari ve askeri uzay çalışmaları başlangıçta belirgin düzeyde farklı uygulama alanlarında gelişme göstermişlerdir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak sivil ve ticari uzay sektöründeki uygulama alanlarının yaygınlaşmasıyla sektörler arasındaki farklılıklar da azalmaya başlamıştır.

Savunma ve güvenlik alanındaki uzay teknolojilerine yönelik ivme kazanan çalışmalar, bu birlikteliğin sonucu olarak spin-off'lar vasıtasıyla sivil/ticari uygulamaların da gelişmesine imkân tanımıştır. Savunma güvenlik sektörünün uzay uygulamaları sivil/ticari sektörde de uygulama alanı buldukça çift amaçlı kullanım (Dual-Use) konsepti gelişmeye başlamıştır.

Bugün, uzay sistem ve teknolojilerinde paradigma dönüşümü yaşanmakta, aynı zamanda birden fazla alt sektördeki etkileri artmaktadır. Artık uzay, küresel ekonomide geniş bir son kullanıcı havuzu üzerinde olumlu ve yaygın etkileri ile bir hale sektörü halini almaktadır. Bu paradigma dönüşümü, dördüncü sanayi devriminin etkisini vurgulayan Endüstri 4.0 kavramına benzer şekilde Uzay 4.0 yani yeni uzay dönemine geçişe neden olmuştur. Dönemler boyunca uzay sektöründe çalışmalar; yer gözlem, uydu haberleşmesi, uzay tabanlı konumlama, zamanlama & seyrüsefer, uzaya erişim, uzay durumsal farkındalığı ve uzay araştırmaları alanlarında gerçekleştirilmiştir.



Her bir faaliyet alanı, bekleneceği gibi, uzayın tarihsel gelişimi içerisinde önemli ölçüde gelişim göstermiş ve değişime maruz kalmıştır. Uzayın gelişim serüvenini, bugünü tanımlayan ve paradigma dönüşümünü ifade eden yeni uzay tarafından bakarak ele aldığımızda dönemsel tanımlamamızı aslında geleneksel uzay ve yeni uzay olmak üzere iki temel aşamada ortaya koyabiliriz.

Geleneksel uzay; navigasyon, askeri uzay, uzay bilimleri ve insanlı uzay araştırmaları gibi alanlarda daha çok kurumsal bazlı programların/sistemlerin baskın olduğu, ticari alanda ise hizmetlerin fırlatma, görüntüleme ve haberleşme ile limitli olduğu uygulamaları ifade etmektedir.

Bugün halen geleneksel uzay yaklaşımının ortaya koyduğu sistemler, ürün ve hizmetler ağırlıktadır. Aynı zamanda bu dönem, sınırlı da olsa, yeni uzay uygulamalarına da sahne olmaktadır.

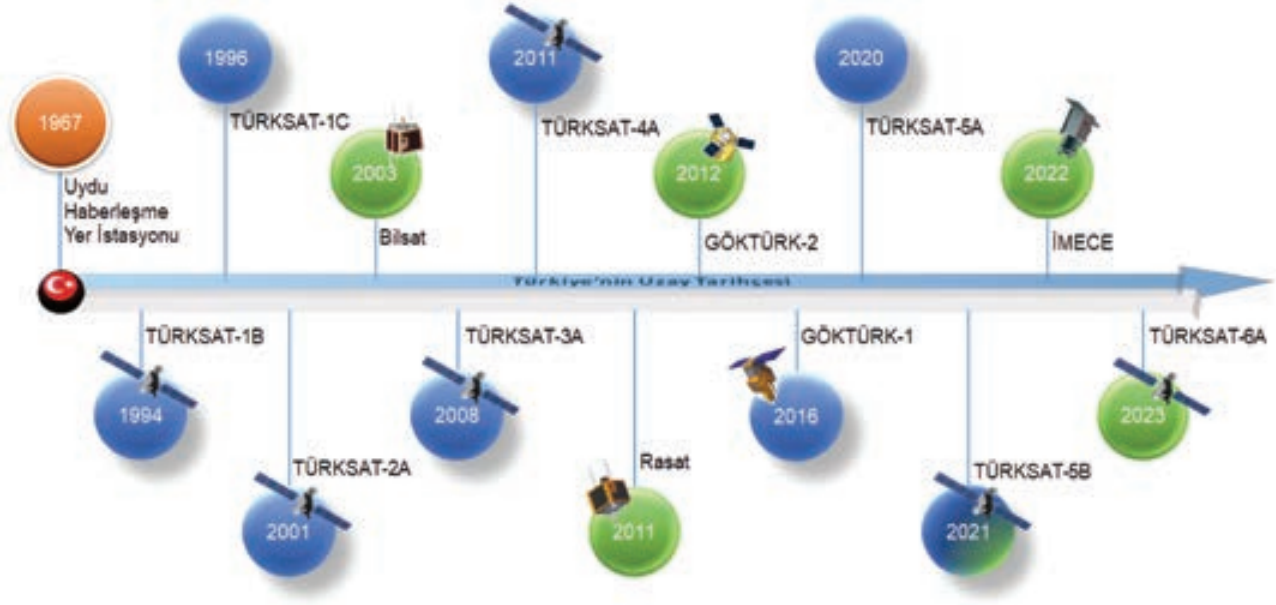
Geleneksel uzayda kurumsal yapıların programlarında yer alan navigasyon, uzay bilimleri, uzaya erişim gibi alanlarda yeni uzay yaklaşımıyla ticari olarak da hizmet verilmeye başlandığı, bunlara ilave olarak uzay tabanlı yeni ürün, hizmet ve servisler geliştirildiği görülmektedir.

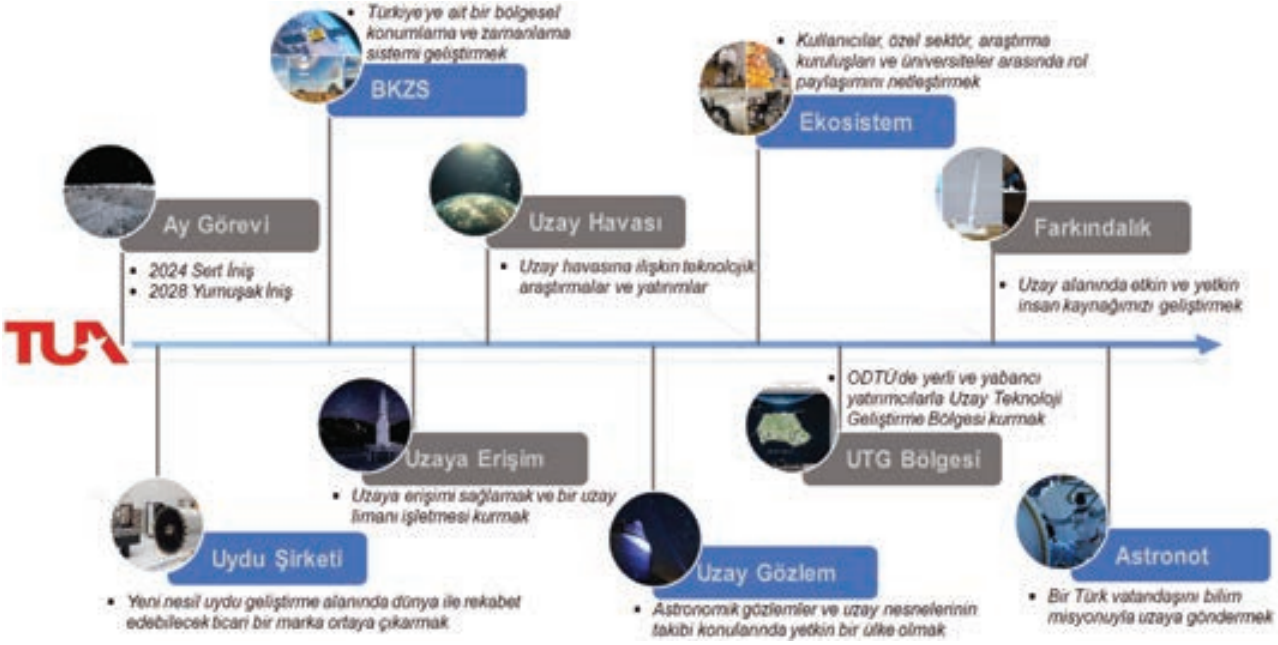
TÜRKİYE'DE UZAY

Küresel ölçekte bu genel bakış sonrasında ülkemizin yirmi beş yıllık uzay tarihçesi gözden geçirildiğinde ise ilk bakışta önemli başarı hikâyeleri dikkatimizi çekmekle birlikte, halen alınması gereken önemli kararlar ve atılması gereken çok önemli adımlar olduğu gerçeğini de görmezden gelmememiz gerekir. Ülkemizin uzay serüveninin ilk dönemleri haberleşme alanındaki gayretlerimize sahne olmuştur. Bu noktada TÜRKSAT serisi haberleşme uydularımız uzaydaki varlığımız açısından ilk girişimlerimizi teşkil etmiştir.

2000'li yılların başından itibaren, ulusal güvenlik bakımından uzaydan en üst seviyede istifade edilmesi hedefiyle TSK adına Hv.K.K.'lığı önemli adımlar atmıştır. Atılan bu adım ile birlikte, haberleşme ve görüntülemenin de ötesinde farklı fonksiyonel alanlarda da uzayın kullanımı gündeme gelmeye başlamıştır. Özellikle TSK tarafından ortaya konan uzay yol haritası bağlamında;

- Haberleşme alanında yeni frekans bantlarında yüksek korumalı münferit askeri uydu haberleşmesi,
- Pasif sensörlerle görünür ve çok bantlı olarak kazanılan görüntüleme yeteneğinin, aktif


1967
Uydu Haberleşme Yer İstasyonu
1994
TÜRKSAT-1B
1996
TÜRKSAT-1C
2001
TÜRKSAT-2A
2003
Bilsat
2008
TÜRKSAT-3A
2011
Rasat
2011
TÜRKSAT-4A
2012
GÖKTÜRK-2
2016
GÖKTÜRK-1
2020
TÜRKSAT-5A
2021
TÜRKSAT-5B
2022
İMECE
2023
TÜRKSAT-6A


BKZS
Türkiye'ye ait bir bölgesel konumlama ve zamanlama sistemi geliştirmek
Ekosistem
Kullanıcılar, özel sektör, araştırma kuruluşları ve üniversiteler arasında rol paylaşımını netleştirmek
Ay Görevi
2024 Sert İniş
2028 Yumuşak İniş
Uzay Havası
Uzay havasına ilişkin teknolojik araştırmalar ve yatırımlar
Farkındalık
Uzay alanında etkin ve yetkin insan kaynağımızı geliştirmek
TUA
Uzaya Erişim
Uzaya erişimi sağlamak ve bir uzay limanı işletmesi kurmak
UTG Bölgesi
ODTÜ'de yerli ve yabancı yatırımcılarla Uzay Teknoloji Geliştirme Bölgesi kurmak
Uydu Şirketi
Yeni nesil uydu geliştirme alanında dünya ile rekabet edebilecek ticari bir marka ortaya çıkarmak
Uzay Gözlem
Astronomik gözlemler ve uzay nesnelerinin takibi konularında yetkin bir ülke olmak
Astronot
Bir Türk vatandaşını bilim misyonuyla uzaya göndermek

sensörlerle (sentetik açıklıklı radar-SAR) geliştirilmesi,
- Elektromanyetik spektrumun belirlenecek bölümlerinde tehdit unsuru yayın kaynaklarının uzaydan belirlenebilmesine olanak sağlayacak elektronik destek yetenekleri,
- Bölgesel ölçekte de olsa uzay tabanlı konumlama, zamanlama & seyrüsefer alanında kaynak veri ile düzeltme verilerinin oluşturularak kullanıma sunulması,
- Hava ve füze savunma mimarisinin sensör bileşenleri kapsamında en üst katmanı ve balistik füze savunması için de en erken uyarı kaynağını teşkil edebilecek uzay tabanlı erken ihbar-ikaz sistemlerinin geliştirilmesi,

Türkiye'nin uzay sektörü için önümüzdeki yirmi yıl içinde ulaşılması beklenen hedefler olarak ortaya konmuştur.

Türkiye'de uydu sistem ve teknolojilerine yönelik çalışmalar ivme kazanarak devam ederken, 15 Aralık 2018 tarihinde Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Bilim Sanayii ve Teknoloji Bakanlığı ile ilişkili olmak üzere Türkiye Uzay Ajansı (TUA) teşkil edilmiştir. TUA öncelikle Milli Uzay Programını (MUP) hazırlayarak 9 Şubat 2021 tarihinde ulusal ve uluslararası kamuoyuna açıklamıştır.

Teknoloji ve yetenek geliştirme, insan kaynağı yetiştirme, sektörel yapılanma gibi farklı alanlarda toplam on adet hedef içeren MUP Türkiye'deki uzay sektörü paydaşları için önemli bir motivasyon ve kazanım olmuştur.

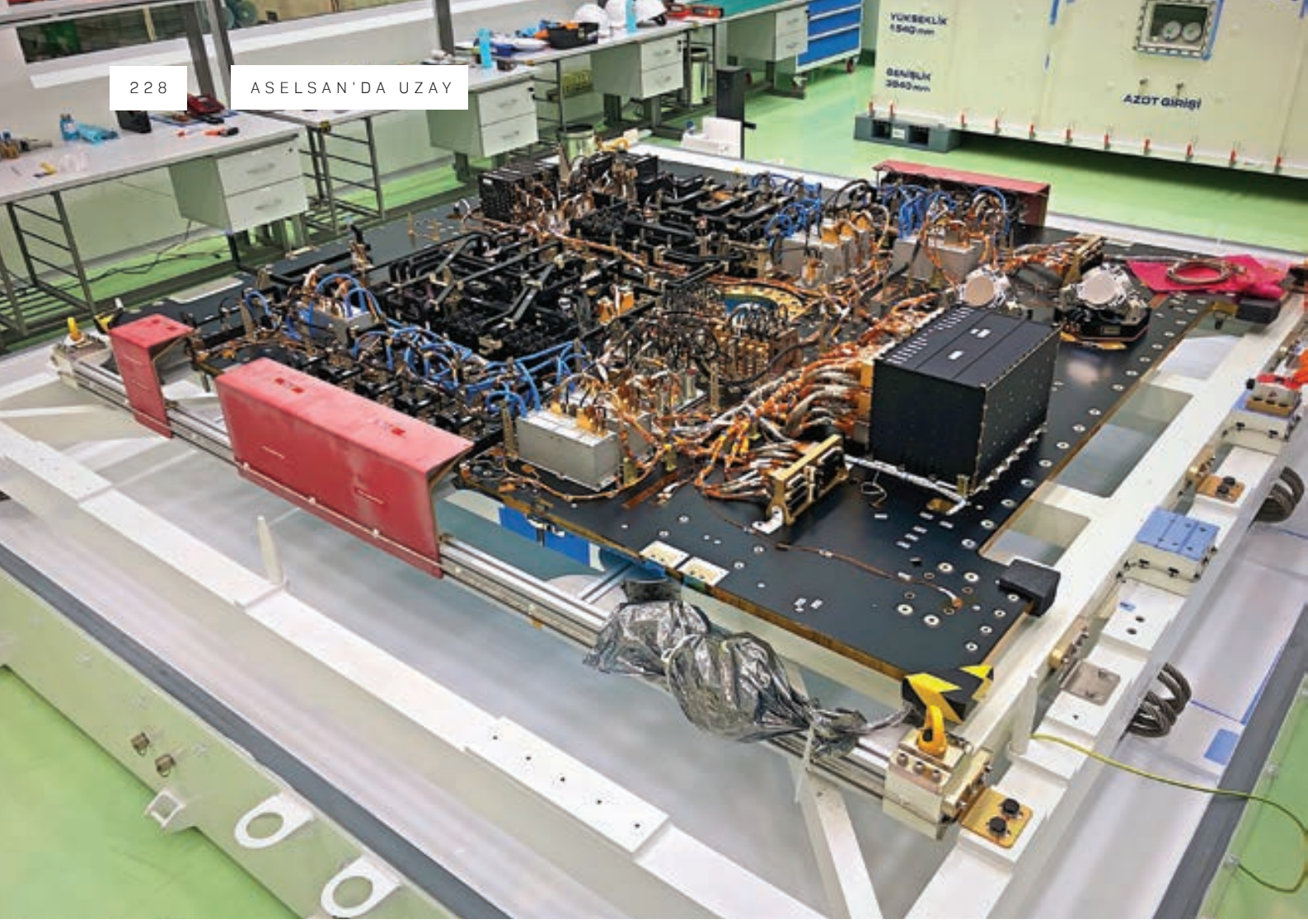
ASELSAN'DA UYDU VE UZAY TEKNOLOJİLERİ

Türkiye'nin uzay serüveninin her aşamasında onun önemli bir parçası olan ASELSAN, yukarıda özetlenen küresel bakış çerçevesinde gelecekte ülkemizin teknolojik durumunun, refah seviyesinin ve uluslararası konumunun uzayın ne ölçüde kullanıldığı ile bağlantılı olacağı tespitinden hareketle toplumsal refahı artıracak şekilde uzaydan azami derecede faydalanma ve bunu milli teknoloji temelinde başarma yönünde bir strateji belirlemiştir.

ASELSAN Uydu ve Uzay Teknolojilerine yönelik çalışmaları stratejik faaliyet olarak ele almaktadır. Gelecek nesil uydu haberleşme teknolojileri, uzay tabanlı nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) uygulamaları, uzay tabanlı navigasyon ve düzeltme sistemleri, aktif/pasif görüntüleme ve algılama teknolojileri, uzay durumsal farkındalığı, uydular için optik çözümler (görüntüleme ve lazer haberleşme) uzaydan elde edilecek fayda ve katma değerin artırılması amacıyla ASELSAN'ın hedefleri arasında yer verdiği başlıca yetenek ve teknoloji alanlarıdır.

Bu alanlarda ASELSAN bir yandan kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda sistem çözümlerini geliştirirken, bir yandan da Ar-Ge çalışmalarını sürdürmektedir. Sözleşmeli projelerin yanı sıra ASELSAN'ın öz kaynak yatırımları teknoloji hazırlık seviyesinin artırılması ve uydu sistemlerine yönelik millilik oranının artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu strateji doğrultusunda ASELSAN uydu teknolojilerine yönelik çalışmalarına hız vermiş ve uydu teknolojilerinin farklı bileşenlerinde ürün ve



sunduğu hizmetler ile önemli roller üstlenmiştir. Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artıracak, ekonomik ve teknolojik bağımsızlığını sağlayan kritik teknolojilerin yer aldığı Milli Teknoloji Hamlesi yaklaşımının yapılandırmış olduğu başarılı savunma sanayii projeleri ile hayata geçirilen teknoloji geliştirme projeleri sayesinde ASELSAN, uydu ve uzay teknolojileri alanında da önemli aşamalar kat etmiştir.

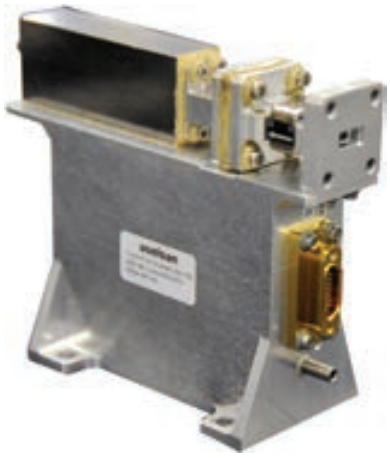
Hedef faaliyet alanlarında somut sistem çözümleri bağlamında ASELSAN'ın sistem/teknoloji hedefleri küresel uzay sektörünün izlediği gelişim süreci ve evreleri ile de uyumlu olarak, geleneksel uzay yaklaşımına atfen geleneksel büyük uydu sistemleri ve henüz gelişme aşamasında olan yeni uzay yaklaşımına atfen de görev konseptine dayalı küçük uydu temelli tüm sistem çözümleri temelinde ele alınabilir.

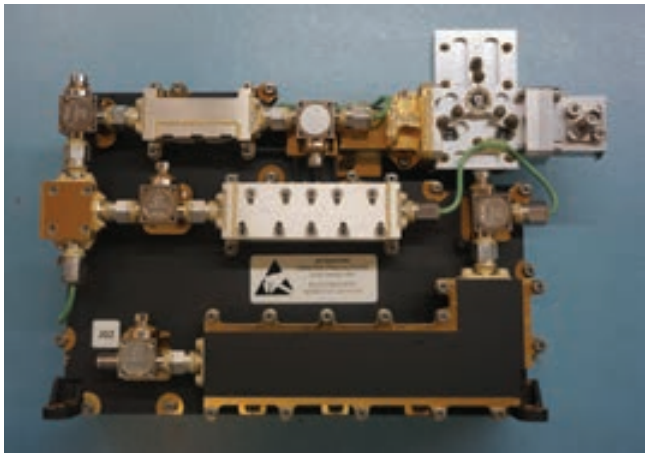
Geleneksel uzay yaklaşımında temel olarak tüm faaliyet alanlarındaki uydu sistemleri için ASELSAN uzay kesiminde, uydular için en kritik bileşen olarak değerlendirilen görev yükü ile görev yükü verilerinin uydu üzerinde formatlanmasını gerçekleştiren birimi, takiben bu verilerin yer kesimine iletileceği haberleşme hattını ve bu hattın güvenliğini sağlamak için kripto donanım ve yazılımlarını içeren fonksiyonel zinciri tanımlayan görev yükü modülünü hedef yetenek alanı olarak ele almaktadır.

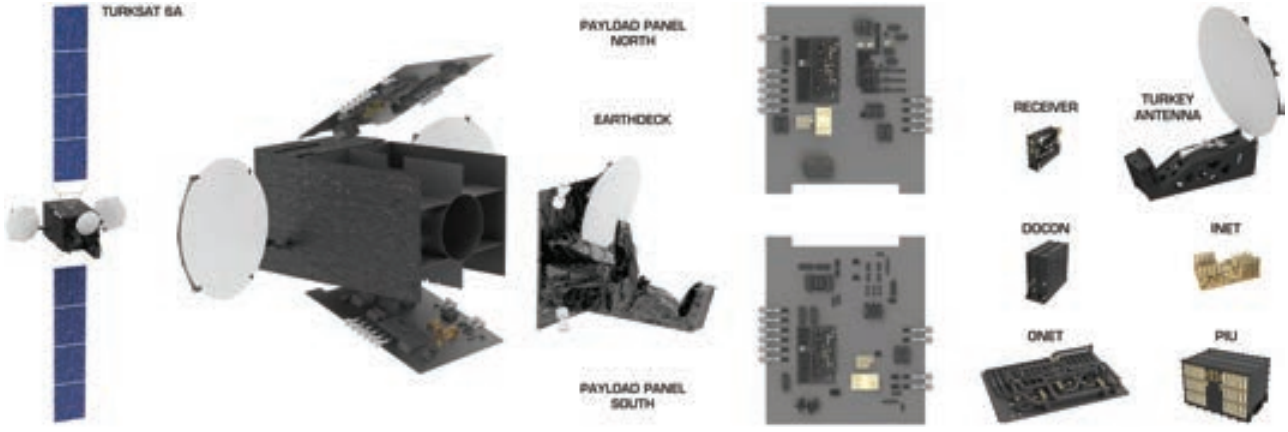
Bu hedefi belirlerken en büyük dayanağımızı ve referansımızı 2000'li yılların başından itibaren gerçekleştirdiğimiz Ar-Ge projelerinden başlamak üzere son dönemlerde kamuoyunun da yakından bildiği ve takip ettiği TÜRKSAT-5B ve TÜRKSAT-6A projeleri bağlamında ortaya koyduğumuz ürünler, performans, elde ettiğimiz teknolojik birikimler ve oluşturduğumuz altyapı teşkil etmektedir.

Bugün gündemimizde olan uydu sistem projeleri ele alındığında haberleşme alanında;

- Florida Cape Canaveral üssünden SpaceX Falcon-9 roketi ile 19 Aralık 2021 tarihinde TR saati ile 06:58'de fırlatılan TÜRKSAT 5B uydusu üzerinde uzay tarihçesi kazanması bakımından ASELSAN ürünleri olarak Ku-Bant Almaç ve Ka-Bant LNA ekipmanlarını görebiliriz.
- Proje paydaşı olarak yer aldığımız TÜRKSAT 6A uydusu üzerinde de yine ASELSAN'ın Ku-Bant ve X-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükleri mevcuttur.







Uyduların yer kesiminde ise ASELSAN hem sabit hem de taşınabilir uydu yer kontrol istasyonları için de ana sorumlu olarak sistem seviyesinde çözümler üretmek için gayret göstermektedir.

Ayrıca kullanıcı kesiminde, uydu haberleşme sistemleri ele alındığında, 2000'li yıllarda hazır alınan ürünlere dayalı olarak ortaya konan uydu haberleşme sistemleri son yıllarda ASELSAN tarafından milli olarak geliştirilmiştir. Kara, hava ve deniz platformlarında sabit ve hareketli stabilize uydu haberleşme sistemlerinin yer aldığı milli çözümler sayesinde bu alanlarda ülkemizin yurt dışı bağımlılığı ortadan kaldırılmıştır. Bu süreçte ayrıca, yerli ve milli firmalarımızı içeren uydu haberleşme sistemleri ekosistemi oluşturulmuştur.

Bu çerçevede ASELSAN olarak tüm alt bileşenleri ile birlikte uzay kesiminde görev yükü modülü ve yer sistemleri için ana sorumluk sahibi olma hedefimiz doğrultusunda uydu teknolojilerine yönelik oluşmuş ülkemizdeki mevcut ekosistem içerisinde yer alan tüm kurum kuruluşlar ile iş birliği ve dayanışma içerisinde bu alanlarda önemli atılımlar yapmayı hedefliyoruz.

Daha somut ifadelerle geleneksel büyük uydu sistemlerine yönelik olarak;

- Haberleşme, görüntüleme, elektronik destek, konumlama zamanlama & seyrüsefer, erken ihbar gibi tüm faaliyet alanlarında ihtiyaç duyulacak görev yükü modüllerini milli olarak geliştirmek,
- Bu sistemlerin yer kesimi teşkil eden yer istasyonlarına yönelik olarak da ana sorumlu rolüyle milli çözümler sunmak üzere büyük bir istek ve azimle çalışıyoruz.

Geleneksel uzay yaklaşımı doğrultusunda yukarıda belirtilen hedeflere doğru çalışmalarımızı sürdürürken yeni uzay yaklaşımının yakın gelecekte dikte ettireceği yenilikçi çözüm beklentileri ve Türkiye'de buna uygun sektörel yapılanma sürecine hazırlanmak bakımından görev konseptine dayalı küçük uydu temelli tüm sistem çözümlerine yönelik hedeflerimiz de mevcuttur.

Yeni uzay yaklaşımının gündeme getirdiği daha küçük, modüler, uyarlanabilir ve kısa geliştirme takvimine sahip uydu sistemlerine yönelik ASELSAN olarak hedeflerimiz daha somut ifadelerle;

- Uzay Tabanlı IoT uygulamaları,
- LEO haberleşme uydu takımları,
- LEO haberleşme uyduları ile bütünleşik navigasyon,
- İstihbarat, yer gözlem ve uzaktan algılama gibi uzay görev alanlarında sivil, ticari ve savunma güvenlik sektörlerindeki kullanıcılara dağıtık sensör mimarisini temel alan yenilikçi küçük uydu takımları ile sistem çözümleri sunmak olarak ortaya konabilir.

Yeni uzay yaklaşımı çerçevesinde belirlenen hedeflere kararlı adımlarla ilerlemek adına tasarım, sistem, entegrasyon ve program yönetimi fonksiyonlarını bünyesinde barındıran Uydu ve Uzay Teknolojileri Direktörlüğü çalışmalarını sürdürmektedir.

Yapılan bu düzenleme ile geleneksel uzay yaklaşımı çerçevesindeki hedeflerimize daha emin adımlarla ilerlerken, yeni uzay yaklaşımının gerektirdiği uzayda paradigma dönüşümünün de ilk adımı atılmıştır.

Artık bize düşen görev, ihtiyaç duyulan her yerde ülkesinin hizmetinde olan ASELSAN ailesi olarak bugünün Hakim Tepesinde de, teknolojisi, ürün ve hizmetleri ile "Türkiye'nin ASELSAN'ı var" dedirtebilmektir.

ASELSAN sahip olduğu altyapı, teknoloji, bilgi birikimi ve alanında yetkin insan kaynağı temelinde Türkiye'deki uzay ekosistemini kullanarak tüm sistem çözümüne yönelik yaklaşımları ile uzay sektörünün gelişimine katkı sunmak için her türlü gayreti, her zaman olduğu gibi büyük bir kararlılık ve özveri ile gösterecektir.

RÜZGAR TÜRBİNİ

4.3 MW Rüzgar Türbini

Platform seviyesinde teknoloji transferi ve öz kaynaklı Ar-Ge çalışmaları ile 4.3 MW rüzgar türbini üretim faaliyetlerine başlanmıştır. Ana bileşenler, yerli ekosistem kullanılarak üretilecek olup, Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilen MW üstü generator, güç dönüştürücü ve türbin kontrol sistemi ile Türkiye'de kullanılan türbinlerdeki yerli aksam kapsamı da genişletilecektir.

www.aselsan.com

aselsan

ZAMANA KARŞI BİR BAŞARI ÖYKÜSÜ
TÜRKSAT 5B
ASELSAN EKİPMANLARI

Orhan Çağdaş ÜNVER
Bengül BAYRAKTAROĞLU

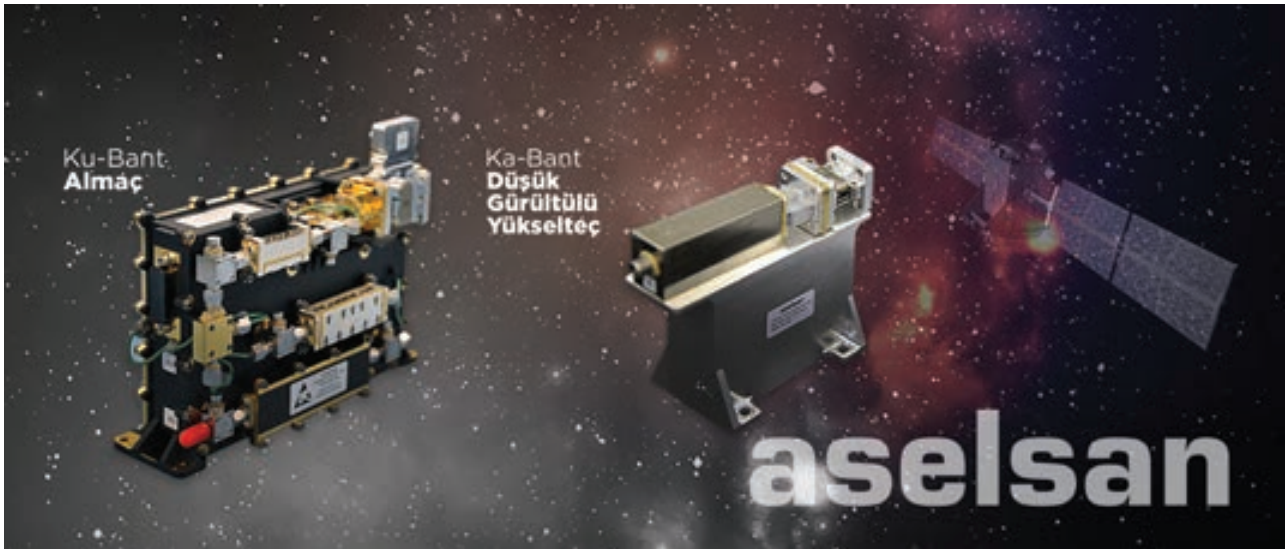
19 Aralık 2021 tarihinde ASELSAN tarafından geliştirilen Ku-Bant Almaç ve Ka-Bant LNA veri aktarım ekipmanlarının yer aldığı Türksat 5B Haberleşme Uydusu, Florida Cape Canaveral üssünden SpaceX Falcon-9 roketi ile Cumhurbaşkanı Yardımcımız Fuat Oktay ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanımız Adil Karaismailoğlu'nun da katılımlarıyla başarılı bir şekilde uzaya fırlatıldı. ASELSAN ekipmanları, fırlatmanın öncesinde Kasım 2020'de uydu platform üreticisi AIRBUS'a gönderilmiş ve Türksat 5B uydusuna entegrasyonu gerçekleştirilmişti. Geliştirilen ekipmanların AIRBUS firmasına teslim tarihi olan Kasım 2020, uyduda ASELSAN ekipmanlarının olması ya da olmaması anlamına gelen bir ölüm kalım tarihiydi. Ya bu tarihe kadar ekipmanlarımızı tüm testlerden başarılı bir şekilde geçirerek teslim edecek ya da uydu, ekipmanlarımız olmadan uzaydaki yolculuğuna başlayacaktı. Uzay projelerinin en büyük heyecanı ve aynı zamanda telaşı olan fırlatmalar, Türksat 5B uydusunda da yine kendisine yakışır bir şekilde heyecanını ASELSAN tarafından geliştirilen ekipmanların ilk kez uzaya gönderilecek olmasından ötürü tüm ekibe geçirmişti. Burada biraz durarak, ASELSAN ekipmanlarının geliştirilmesi sürecini ezber bozarak anlatalım ve Kasım 2020 olan termin tarihinden geriye doğru giderek proje boyunca yaşananları özetleyelim.

Her şey projenin fiili olarak başlama tarihi olan Eylül 2018'de Ar-Ge onay formunun Genel Müdürümüz Prof. Dr. Haluk Görgün tarafından imzalanması ile başladı. Proje kapsamında hedef ASELSAN tarafından iki adet uzay kalifiye ekipmanın geliştirilmesi ve bu ekipmanlara maliyet ve takvim etkin olacak şekilde uzay tarihçesi kazandırılmasıydı. Kullanılacak frekansın daha önce kullanılmayan bir aralık olması ve ekipmanların uzay tarihçesi kazanacak olması bakımından yenilikçi bir proje olacaktı. Ayrıca bu frekans için almaç dışında yeni bir ekipman olan LNA da geliştirilecekti. Bu da daha önce çalışılmamış yeni bir tasarım anlamına gelmekteydi.

Ekipler oluşturuldu ve Eylül 2018'de ASELSAN öz kaynakları ile ekipmanların geliştirilmesine başlandı. Yaklaşık bir sene sonra ASELSAN tarafından geliştirilen ekipmanlara uzay tarihçesi kazandıracak olan sözleşme Temmuz 2019'da AIRBUS DEFENCE & SPACE (ADS) ile imzalandı. Bu sözleşmeye göre öz kaynaklı proje olarak geliştirilmesine başlanan iki uzay kalifiye ekipman Türksat 5B uydusunda yer alabilecekti. Bu hem önemli bir fırsat anlamına geliyor hem de projenin tamamlanma tarihinin oldukça öne çekilmesi gerektiğini gösteriyordu. Planlanan proje takviminde hiçbir önemli aksama ve sapma yaşanmaması gerekiyordu.

Fakat gerçek hayat her zaman planlanandan farklı olduğu için projede de ilk önemli risk gerçekleşti. Bu risk proje kapsamında Kanada'dan tedarik edilen uzay kalifiye baskı devre kartlarının tüm girişimlere rağmen ilgili alt yüklenici firmadan tedarik edilememesiydi. Sanki Kanadalı firma ile arada görünmeyen bir duvar vardı ve tüm iletişim çalışmalarına rağmen cevap alınamıyordu. Bu firma beklenirse Türksat 5B fırlatmasının kaçırılacağı oldukça net olduğundan, kritik bir kararla kartların üretimlerinin ilk defa ASELSAN bünyesinde üretilmesine karar verildi. Her zor sürecin başarı ile sonlandırılmasında olduğu gibi bu süreçten de ASELSAN güçlenerek çıktı ve bundan sonra yapılacak uzay projelerinde baskı devre kartlarının üretilmesinin ve test edilmesinin ASELSAN bünyesinde yapılmasının önü açılmış oldu.

Bu olay sonrasında da riskler projenin peşini tabii ki bırakmadı. Ama riskler yönetilmek için vardı. TVAC testlerinin başlaması sırasında azot tankının arızalanması, bazı test cihazlarının işlemez duruma gelmesi, test sürelerinin uzaması ve uzay kalifikasyonu için gerekli süreçlerin mevcut

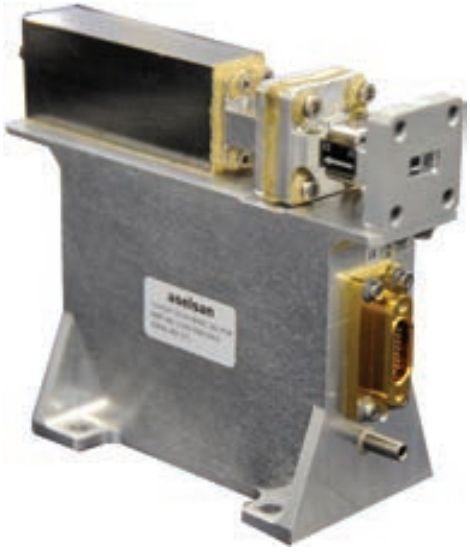


süreçlere entegre edilmesi sırasında karşılaşılan zorluklar yönetilmesi gereken önemli risklerden bazılarıydı. İlk defa gidilen zorlu bir yolda kaza yapılmaması mümkün değildi fakat önemli olan gidilecek yere ulaşabilmekti. Üretilen ekipmanların Fransa'da bulunan AIRBUS tesislerine sevkiyatı sırasında koruyucu kutu üzerinde yer alan şok indikatörlerinden biri açılmış ve tüm ekibe son bir heyecan yaşatmış olsa da ASELSAN, yolculuğun sonunda gitmesi gereken yere tam zamanında varmıştı.

Türksat 5B Projesi kapsamında ASELSAN tarafından AIRBUS'a gönderilen Ku-Bant Almaç ve Ka-Bant LNA ekipmanlarının geliştirilme süreçleri aynı zamanda içerisinde birçok ilki de barındırmaktaydı. Birçok test ilk defa bu proje kapsamında gerçekleştirildi. Yine standartların çağırdığı birçok doküman bu proje kapsamında oluşturuldu. Proje bittiğinde ortaya çıkan doküman sayısı yüzü geçmekteydi.

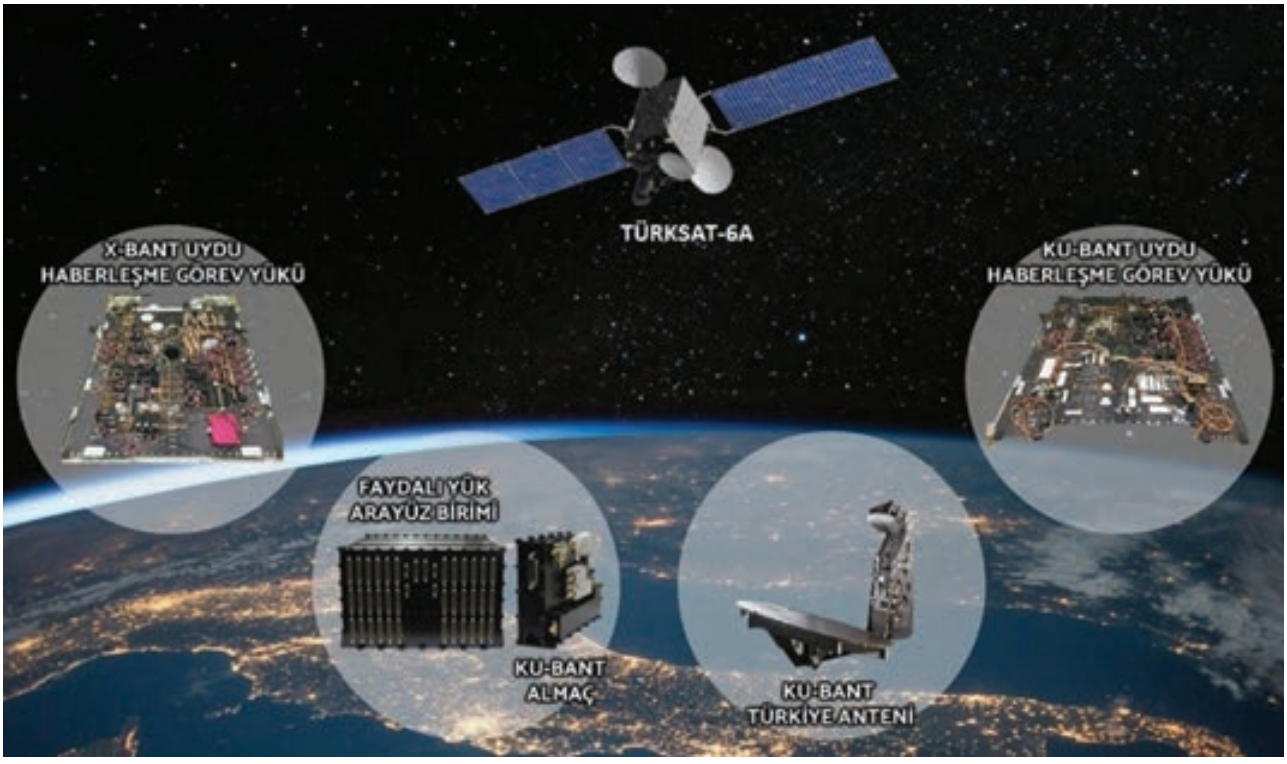
Geçtiğimiz Mayıs ayında uzayda konumlanacağı yörüngesine yolculuğu başarılı bir şekilde tamamlanan Türksat 5B uydusu ve içerisinde yer alan ASELSAN ekipmanlarına ait ilk sinyaller, Türksat 5B uydusunun yörüngesine ulaşmasıyla birlikte yer kontrol istasyonundan başarıyla alındı. İlk sinyallerin yeryüzüne iletilmesinin ardından yörünge testleri yapılan Türksat 5B uydusundaki ASELSAN Ku-Bant Almaç (Düşük Gürültülü Yükselteç ve Frekans Aşağı Çevirici) ve Ka-Bant LNA (Düşük Gürültülü Yükselteç) ekipmanları testlerden başarılı bir şekilde geçerek uzay ortamında çalışabilirliğini kanıtlamış oldu ve 36.000 km yer sabit yörüngede THS-8 seviyesine ulaşan Türkiye'nin ilk uzay ekipmanları olmayı başardı.

Uzay Kalifiye Ku-Bant Almaç Ekipmanı



Uzay Kalifiye Ka-Bant LNA Ekipmanı

TÜRKİYE'NİN İLK YERLİ **HABERLEŞME UYDUSU TÜRKSAT-6A**

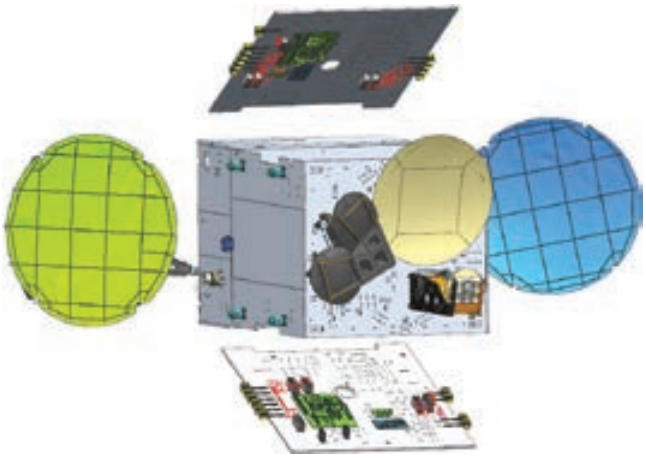


TÜRKSAT-6A Projesi- ASELSAN Sorumluluğundaki Görev Yükleri ve Ekipmanlar

Özgür KARADENİZ
Özlem İPEK
Ezgi BIYIKLI
Gönül ÇİÇEK
Cem BİLSEL
Önder BELCE

TÜRKSAT 6A Yerli Haberleşme Uydusu Geliştirilmesi ve Üretimi Projesi, TÜBİTAK KAMAG tarafından yürütülen bir 1007 Ar-Ge projesidir. Projede dört kurum (ASELSAN, TÜBİTAK UZAY, TUSAŞ ve CTECH) görev almaktadır. Bu projenin çıktısı olacak TÜRKSAT 6A uydusu, Türkiye'nin yerli ve milli imkânlarla geliştirdiği ilk haberleşme uydusu olma özelliğine sahiptir.

TÜRKSAT 6A uydusunda bulunacak olan iki adet haberleşme görev yükünü de ASELSAN geliştirmektedir. TÜRKSAT 6A Uydu Haberleşme Görev Yükleri; yerden gelen haberleşme sinyallerinin frekansını değiştirerek, uzaydaki uzun yolu boyunca uğradığı tüm zayıflatmaları da tolere edecek şekilde, gücünü büyük oranda kuvvetlendirme ve bu sinyalleri yüksek RF performans ile tekrar Dünya'ya gönderme işlevine sahiptir. Böylece, bu görev yüklerinin hizmet verdiği kapsama alanları üzerinde birbirlerine göre çok uzak noktalarda bulunan haberleşme yer terminalleri ve yer istasyonları kesintisiz olarak haberleşebilecektir.



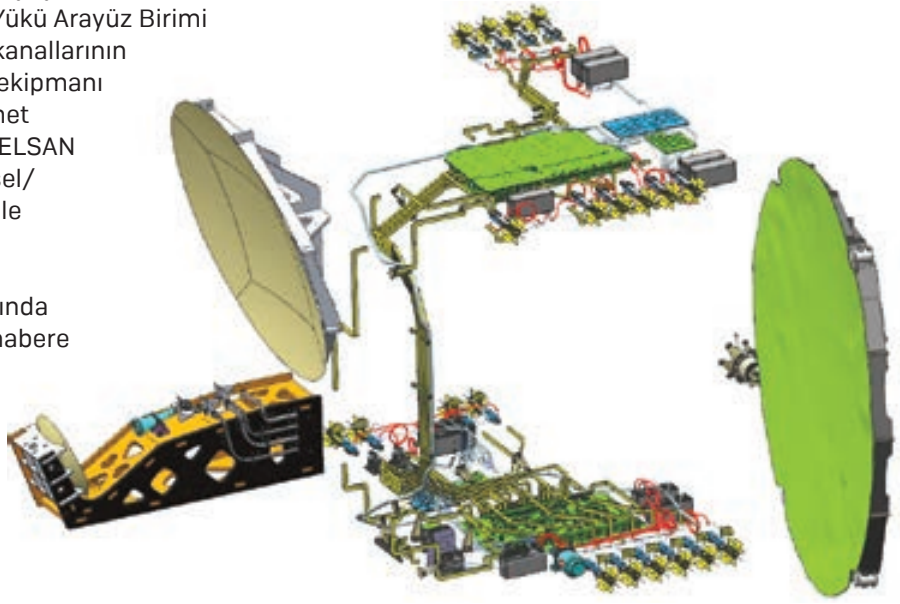
Uydunun fırlatılma amacı olan ve uydunun en kritik bileşeni olan görev yüklerinin sorumluluğunu, TÜRKSAT 6A projesinde ASELSAN olarak üstlenmiş olmak, çok büyük önem taşımaktadır. 2023 yılında SpaceX'in FALCON 9 roketi ile TÜRKSAT-6A uydusunun uzaya fırlatılmasıyla birlikte, uzaydaki görevine başlayacak olan bu görev yükleri, Türkiye'de milli olarak geliştirilen ve uzayda kullanılan ilk GEO (Yer Sabit Yörünge, 36.000 km) haberleşme alt sistemleri olacaktır.

TÜRKSAT 6A projesinde; proje yürütücüsü kuruluş olarak ASELSAN, proje kapsamında geliştirilecek Ku-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükünün sistem tasarımı, entegrasyonu ve tüm (işlevsel ve çevresel) testlerinden sorumludur. Ayrıca, görev yükü ekipmanlarından düşük gürültülü yükselteç ve frekans aşağı çevirici içeren Ku-Bant Almaç ekipmanı, görev yüklerinin uydu uçuş bilgisayarı ile haberleşmesini sağlayan Görev Yükü Arayüz Birimi (FYAB), görev yükü haberleşme kanallarının ayrımını sağlayan Ku-Bant INET ekipmanı ve Türkiye kapsama alanına hizmet veren Ku-Bant Türkiye anteni ASELSAN tarafından geliştirilmiş ve çevresel/performans doğrulaması başarı ile tamamlanmıştır.

Bununla birlikte, SSB ile 2013 yılında imzalanan TSK X-Bant Uydu Muhabere Sistemi Projesi kapsamında; TSK ihtiyaçlarını karşılamak üzere, bir adet X-Bant uydu muhabere görev yükünün yerli imkân ve altyapılar kullanılarak sistem tasarımı, entegrasyonu ve tüm testlerinden ASELSAN sorumludur. ASELSAN tarafından geliştirilen ve askeri amaçla kullanılacak bu görev yükü de TÜRKSAT 6A uydusuna entegre edilerek, bu uydu ile birlikte yörüngede hizmete alınacaktır. Ayrıca, X-Bant görev yükünün en kritik ekipmanı olan frekans aşağı çevirici ve kanal güç yükseltecini içeren X-Bant DOCON-L ekipmanı, ASELSAN tarafından geliştirilmiş ve çevresel/performans doğrulaması başarı ile tamamlanmıştır.

Ku-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükünün Ana Teknik Özellikleri

- Görev yükü tipi: Şeffaf (transparent)
- Kanal sayısı: 16 ana + 4 yedek (Ayrıca yerden gönderilecek komutlar ile, yirmi adet kanal da birlikte aktif olarak uzayda kullanılabilecek şekilde sistem tasarımı yapılmıştır.)
- Çalışma kipleri (sabit kazanç kontrol, otomatik kazanç kontrol)
- Kanal bant genişliği: 33 MHz
- Kapsama alanları:
  - Doğu
  - Batı
  - Türkiye
- Anten tipi: Şekillendirilmiş sabit hüzmeli anten
- Polarizasyon tipi: Yatay, dikey
- Görev yükü toplam kütle: 240 kg
- Yörünge: GEO (36.000 km), 42° doğu boylamı
- Görev ömrü: En az 15 yıl
- Uydunun yörünge transferinde uydu telemetri sinyalini güçlendirme işlevi



TÜRKSAT-6A Ku-Bant Görev Yükünün Uydudaki Yerleşim Görüntüsü

Proje Kapsamında Geliştirilen Görev Yükü Modelleri

Yer sabit yörüngede en az on beş yıl kesintisiz olarak görev yapacak TÜRKSAT 6A uydusunun zorlu uzay ortamında herhangi bir sorun ile karşılaşmaması için yörüngeye fırlatılacak model dahil üç adet görev yükü modeli geliştirilmiştir. Aşağıda verilen bu modellerin, sırasıyla doğrulanarak bir sonraki model ile ilerlenmesi proje kurgusu dahilindedir:

- **Ku-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükü Isıl ve Yapısal Yeterlilik Modeli (IYYM):** Bu model için görev yükü ekipmanlarının ısıl ve yapısal (kütle ve ataletsel) eşlenikleri tasarlanıp üretilmiştir. ASELSAN sorumluluğundaki IYYM'ler 2017 yılında üretilmiş ve 2018 yılı içinde uyduya entegrasyonu tamamlanmıştır. Aynı sene içinde IYYM uydusunun tüm çevresel testleri başarı ile tamamlanmıştır.
- **Ku-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükü Mühendislik Modeli (MM):** TÜRKSAT 6A uydusu mühendislik modelinde kullanılan ve yeterlilik seviyesi testlerden geçirilen üründür. MM'de Ku-Bant görev yükü indirgenmiş ve tek kanallı yapıdadır. ASELSAN sorumluluğundaki görev yükü MM, 2019 yılında üretilmiş ve 2020 yılı içinde uyduya entegrasyonu tamamlanmıştır. 2021 ve 2022 yıllarında TÜRKSAT 6A MM uydusunun tüm çevresel testleri başarı ile tamamlanmıştır.
- **Ku-Bant Uydu Haberleşme Görev Yükü Uçuş Modeli (UM):** Yer sabit yörüngeye yerleştirilecek TÜRKSAT 6A uydusu uçuş modelinde kullanılacak ve kabul seviyesi testlerden geçirilecek üründür. UM'de yirmi kanallı görev yükü teslim edilecektir. ASELSAN sorumluluğundaki UM üretimleri 2021 yılında, uyduya entegrasyonu ise 2022 yılı içinde tamamlanmıştır. UM sistem seviyesi çevresel testlere 2022 yılı sonu itibarıyla devam edilmektedir.

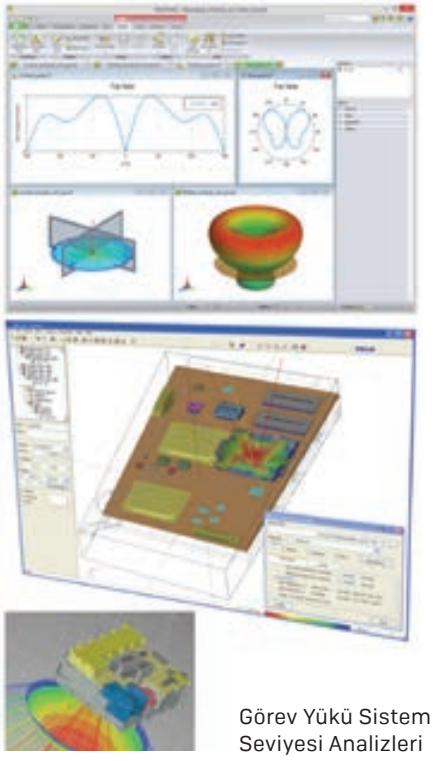
TÜRKSAT 6A Görev Yükü ve Ekipman Geliştirme Çalışmaları

ASELSAN olarak; TÜRKSAT 6A uydusunun X-Bant görev yükü ve Ku-Bant görev yükü tasarım, entegrasyon, doğrulama ve test süreçlerinden elde ettiğimiz teknik bilgi birikimi, deneyim ve insan kaynağımız sayesinde haberleşme uydu görev yükü sistem ve ekipman geliştirme konusunda çok güçlü bir konumdayız. TÜRKSAT 6A uydusu uçuş modelinin, uydu seviyesinde çevresel ve performans testlerinin tamamlanması ve yörüngeye yerleşmesi ile birlikte, ASELSAN'ın geliştirdiği ve Türkiye'de ilk kez geliştirilen haberleşme uydu görev yükü tarihçe kazanacak ve geliştirme ekipman/sistemler konusunda rekabet gücümüz artacaktır.

Uydu görev yükü sistem ve ekipman geliştirme çalışmalarında; ECSS (European Cooperation for Space Standardization) uzay standartları dikkate alınmıştır. Ayrıca; uydu görev yükü sistem ve ekipman geliştirme/tasarlama çalışmaları kapsamında, uydunun görev ömrü boyunca güvenilirlik gereklerine uygun olarak performans sağlanacak şekilde detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, görev yükü sistem ve ekipman ön tasarım/kritik tasarım aşamalarında yapılmış, tasarım dokümanları ile takip edilmiş ve de projenin tüm test/doğrulama aşamalarında bu analizler kontrol edilerek ilerlenmektedir.

Proje kapsamında gerçekleştirilen görev yükü sistem seviyesi ve ekipman seviyesi analizleri, ana hatlarıyla aşağıda özetlenmiştir:

- Kapsama alanı analizi
- Eş yörünge (Collocation) analizi
- PIM (Pasif İntermodülasyon) analizi
- RF uyumluluk (Self-Compatibility) analizi
- EIRP, G/T teknik bütçesi
- İstenmeyen sinyaller analizi
- Radyasyon analizi
- Güvenilirlik analizi
- FMECA (Failure Modes and Effects) analizi
- EMI/EMC analizi
- Isıl analiz
- Mekanik analiz
- RF performans analizleri
- En kötü durum (Worst Case) analizi
- Parça stres (Part Stress) analizi



Görev Yükü Sistem ve Ekipman Seviyesi Analizleri

Uydu fırlatması sonrası uzay sistemlerinde herhangi bir arıza giderme yapılamayacağı için; uzay sistemlerini ve ekipmanlarını geliştirme çalışmalarında uygunsuzlukların, sapmaların takip edilmesi ve sorunun kaynağının bulunması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda; X-Bant görev yükü ve Ku-Bant görev yükü sistemi ve ekipman geliştirilmesi süreci boyunca uygunsuzluklar takip edilmiş ve sorunların kaynağının bulunarak ilerlenmiştir.

Projede Elde Edilen Kazanımlar ve Türkiye Açısından İlkler

Projede gelinen mevcut durum itibarıyla, Türkiye açısından kazanılmış başarıları ve ilkleri vurgularsak:

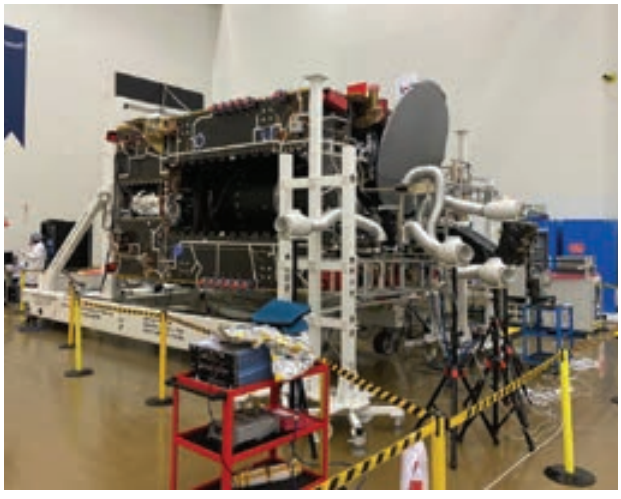
- TÜRKSAT 6A uydu mühendislik modelinin uydu seviyesi çevresel (titreşim, şok, ısıl vakum döngü) ve performans testlerinin başarıyla tamamlanması sonucunda; Türkiye'de ilk kez GEO haberleşme görev yükü sistem tasarımı ve diğer uydu alt sistemleri ile birlikte çalışabilirliği uzay koşullarında doğrulanmış durumdadır. Böylece; uydu görev yükünün uzay ortamına uygun olarak performans sağlanacak şekilde detaylı olarak gerçekleştirilen sistem seviyesi analizleri de doğrulanmıştır.
- TÜRKSAT 6A uçuş modelinin uydu seviyesi ilk fonksiyonel/performans testlerinin başarıyla tamamlanması sonucunda; Türkiye'de ilk kez GEO haberleşme uydu görev yükü uçuş modelinin uydu seviyesinde fonksiyonel/performans özellikleri doğrulanmış durumdadır. Böylece; görev yükünün tekrarlayıcı sistem seviyesinde beklenilen RF performansı ve sistem seviyesi analizleri oda koşulunda sağlayabildiği doğrulanmıştır.

TÜRKSAT 6A Projesinde Uydu Fırlatılmasına Doğru Yaklaşırken

Mevcut durum itibarıyla; TÜRKSAT 6A uydu uçuş modelinin uydu seviyesi çevresel test kampanyası devam etmektedir. TÜRKSAT 6A uydu uçuş modelinin 2023 yılı son çeyreğinde uzaya fırlatılması ve yörünge testleri sonrasında hizmete alınması planlanmaktadır.

ASELSAN olarak; uzay alanında ürün geliştirme konusundaki her türlü teknik zorluğa, risklere ve kısıtlara rağmen TÜRKSAT 6A gibi zorlayıcı bir projede üzerimize düşen sorumluluğu bugüne kadar olduğu gibi, gelecekte de fazlasıyla yerine getirmeyi hedeflemekteyiz. Motivasyonumuz ve heyecanımız; TÜRKSAT 6A uydusu içerisinde yer alan ASELSAN sorumluluğundaki X-Bant görev yükü ve Ku-Bant görev yükünden ilk haberleşme sinyallerini, yüksek haberleşme performansı ile alabilmek ve bu kapsamda uzay alanındaki gelecek olası projelerimiz için kendimize daha da güvenerek emin adımlarla, ülkemizin ve ASELSAN'ın uzay misyonunu devam ettirebilmektir.

Bu kapsamda; gece gündüz özverili bir şekilde çalışmalarını yürüten TÜRKSAT 6A projesinde görev alan tüm kurumlardaki çalışma arkadaşlarımız, ülkemizin tarihine kazınacak bu önemli projede Türkiye için gurur kaynağı olacaklardır.



TÜRKSAT 6A uydu uçuş modeli –
ilk fonksiyonel testleri, Haziran 2022

TÜRKSAT 6A uydu uçuş modeli –
TVAC (Thermal Vacuum Chamber) testleri, Eylül 2022

YÜKSEK HIZLI X-BANT VERİCİ BİRİMİ

Oğuz ALKIŞ
Barış BULGUN

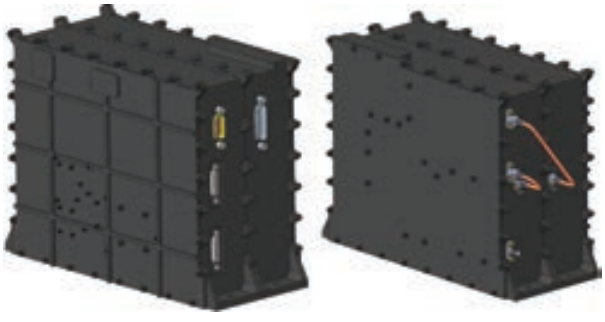
Yer gözlem uyduları alçak yörüngede (LEO) hareket ederken yer istasyonunun görüş açısına girdiği zaman diliminde görüntüleri indirebilmektedir. 500-800 km aralığındaki irtifaya sahip yörüngede görev yapan uydular saniyede ortalama 7,5 km hızla hareket etmekte ve Ankara'da konumlandırılmış bir yer istasyonunun görüş açısında ise ortalama 8 ile 10 dakika kalabilmektedir. Görüş açısının sağlandığı zaman dilimleri sınırlı olduğu için görüntülerin aşağı indirilme hızı kritik öneme sahiptir.

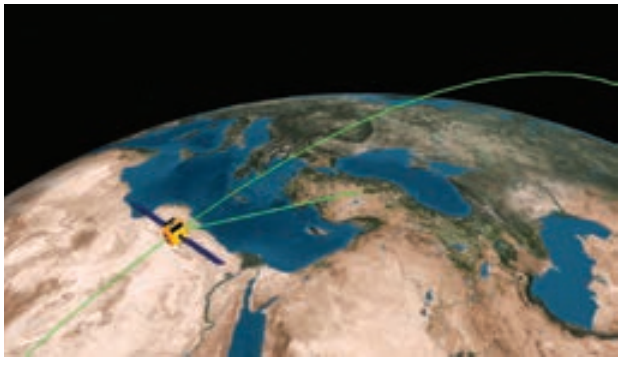
Uydunun yer istasyonunun görüş açısına girdiği ve görüş açısından çıktığı zaman dilimlerinde uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafe fazla olmakta, yer istasyonuna yaklaştığı ve yer istasyonunun tam tepesinden geçtiği zaman dilimlerinde ise uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafe azalmaktadır. Uydunun geçişi sırasında haberleşme kanalının karakteristiğinde bir değişiklik olmadığı durumda yakın mesafelerde uzak mesafelere göre daha yüksek veri hızı elde edilmesi mümkündür. Mevcut LEO uydularda kullanılan ve X-Bant' ta yayın yapan sistemler yer istasyonunun görüş açısındayken sabit veri hızı ile indirme yapmaktadır. Bu durum uydunun yer istasyonuna yaklaştığı ve yer istasyonunun tam tepesinden geçtiği sırada daha yüksek hızda veri indirme imkanına engel teşkil etmektedir.

Gelişen uydular ve uzaktan algılama teknolojileri ile paralel olarak bu uydular tarafından oluşturulan görüntülerin boyutları da artmaktadır. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından yer gözlem uyduları için X-Bant'ta ayrılan frekans bandı sabit ve 8.025 MHz-8.400 MHz aralığını kapsamaktadır. Bu durum daha fazla bant genişliği kullanımını engellemekte ve mevcut 375 MHz genişliğindeki frekans bandının daha verimli kullanılması için farklı teknolojiler kullanılmasını teşvik etmektedir.

ASELSAN tarafından geliştirilen Yüksek Hızlı X-Bant Verici Birimi, geleneksel vericilere göre frekans bandını daha verimli kullanmakta ve değişken veri hızı desteği ile yer istasyonu üzerinden geçerken maksimum veri indirme imkânı sunmaktadır.

Uydu yörüngesinde ilerlerken yer istasyonuna yakın olduğu zaman dilimlerinde geleneksel verici birimleri ile ortalama 2 birim sürede uydudan yer istasyonuna indirilen veri, Yüksek Hızlı X-Bant Verici Birimi ile 1 birim sürede indirilebilmektedir. Ayrıca tüm geçiş süresince Yüksek Hızlı X-Bant Verici Birimi ile indirilen toplam veri miktarı geleneksel verici birimlerine göre 1,5 kat fazla olmaktadır.





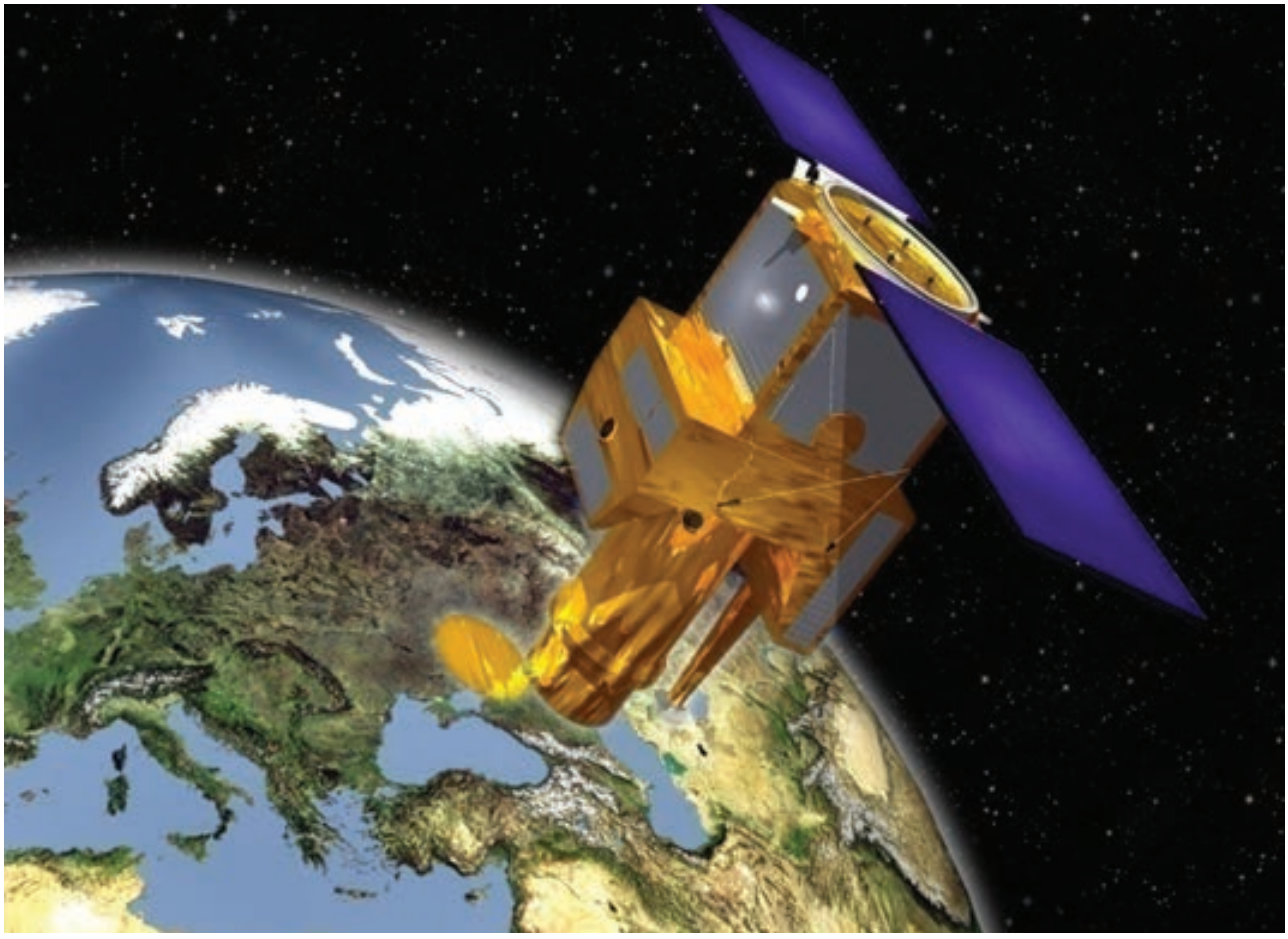
KEŞİF GÖZETLEME UYDULARI YER İSTASYONLARI

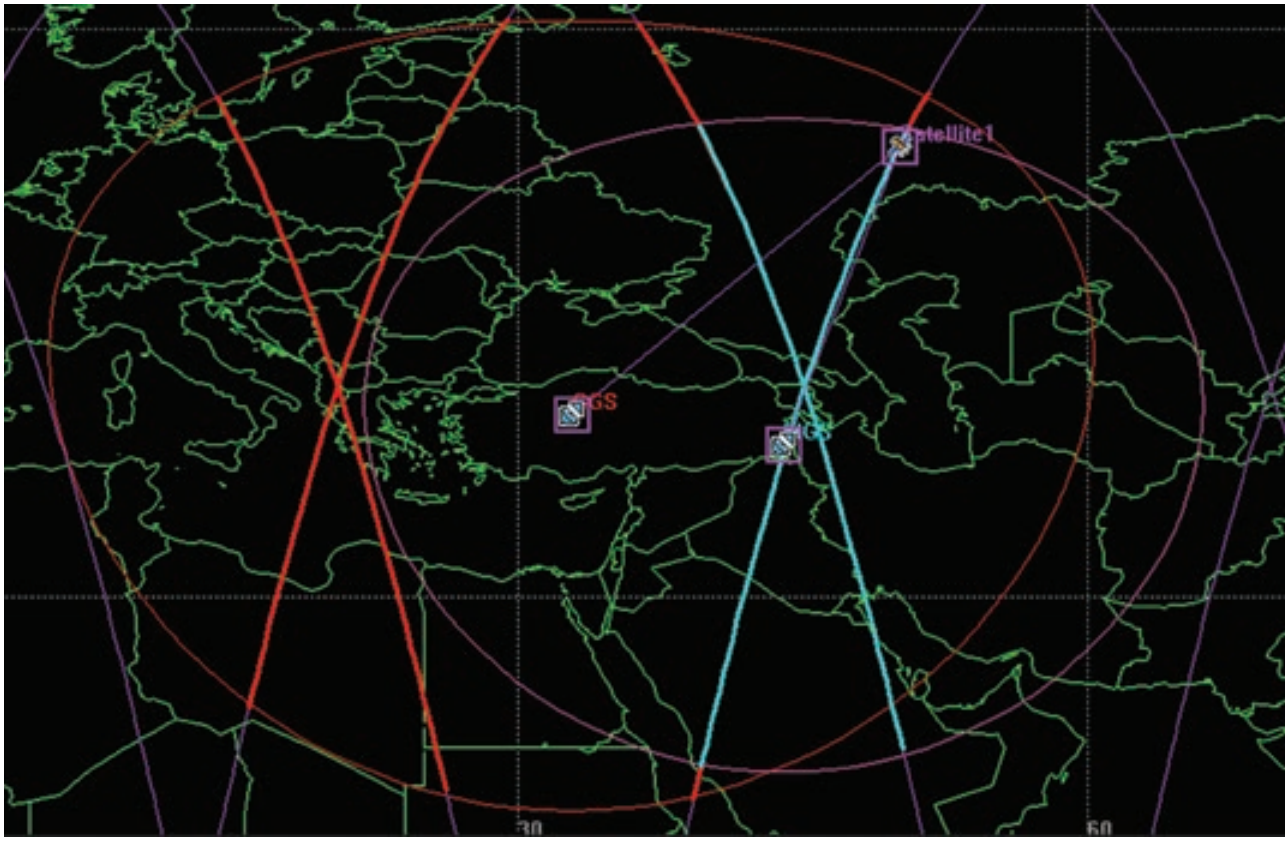
N. Ulaş KILIÇARSLAN
Özgür KARADENİZ
Ahmet DEMİREL

Keşif gözetleme (yer gözlem) uyduları genellikle 500 km ile 2.000 km arasındaki Alçak Dünya Yörüngesinde (LEO-Low Earth Orbit) bulunurlar. Bu yörüngeler, tüm dünyanın gözetlenebilmesi için yere izdüşümleri kutuplara yakın yerden geçen yörüngelerdir. Bu yüksekliklerde bir uydunun yörüngede kalabilmesi için belli bir hıza sahip olması gerekir. Elektro-optik kameralı yer gözlem uyduları Güneşe Eşzamanlı Yörüngelere (SSO-Sun Synchronous Orbit) yerleştirilir. Bu yörüngenin özelliği uydunun geçtiği yerden sürekli aynı yerel saatte geçiyor olması dolayısıyla Güneş'in o noktaya benzer açıyla gelerek yerin aydınlatılmış olmasıdır. Yer istasyonları bu uydularla ancak istasyonun görüş alanı içerisinde iken haberleşebilir. Görüş alanının sınırlarını, temel olarak uydunun yerden yüksekliği belirler. Yer istasyonunun uydu ile haberleşme süresinin kısıtlanmaması diğer bir deyişle temas süresinin tamamının kullanılması için anten yeri olarak etrafı açık alanlar veya nispeten yüksek bir nokta seçilmektedir. Bir gün içerisinde Türkiye enlemindeki bir yer istasyonu anteni uydu ile ortalama beş defa iletişim kurabilmektedir. Bu beş uydu geçişinin iki veya üç geçişi istasyonun gündüz zamanına, kalan geçişleri ise gece zamanına denk gelir. Uydu ile iletişim süresini artırmak isteyen özellikle ticari faaliyet gösteren uydu operatörleri kutup bölgelerine yakın lokasyonlarda yer istasyonları kurarak veya kiralayarak daha fazla veri indirebilmektedirler. Bunun diğer bir amacı ise istasyonun kapsama alanına girmesini beklemeden veriyi indirip elde etmektir.

Yer gözlem uyduları belli bir yer istasyonu anteninin görüş alanına, yörüngesine bağlı olarak herhangi bir noktadan giriş yaparak (AOS-Acquisition of Signal) yörünge izdüşümü boyunca ilerler ve görüş alanından çıkarlar (LOS-Loss of Signal). Bu nedenle yer istasyonu antenleri tam hareketli sistemler olmak zorundadır. Anten uydunun kapsama alanına girmeden önce beklenen yönde ufuk çizgisine döner ve sinyal alış zamanını (AOS) bekler. AOS zamanında Anten Kontrol Birimi, uçuş dinamiği yazılımının bir çıktısı olan ve her gün güncellenen uydu yörünge parametreleri dosyasını (TLE-Two Line Elements) kullanarak hesapladığı uyduya bakış açılarını izlemeye başlar. Sinyal seviyesi yeterli olduktan sonra uydunun sinyaline kilitlenir ve ufuk çizgisinde sinyalin kaybolma zamanına (LOS) kadar otomatik takip eder. Uydu kapsama alanından çıktıktan sonra anten park pozisyonuna dönerek bekleme durumuna geçer. Bir sonraki uydu geçişinde bu işlemler tekrar eder.

Uçuş dinamiği yazılımı çıktısı olan uydu geçiş süreleri (temas zamanları) kapsama alanına giriş noktasına ve yörüngeye bağlı olarak 1-2 dakikadan başlayıp 12-13 dakikalara kadar çıkmaktadır. Uydu ile haberleşme bu süre içerinde olmaktadır. Haberleşme sırasında uydu alt sistemlerine ilişkin sağlık verilerini (housekeeping telemetry) ve dünyanın farklı bölgelerinden toplamış olduğu görev yükü verilerini (görüntü verileri) gönderir. Yer istasyonu bu verileri alır aynı zamanda uydu kontrolüne ait telekomutları ve sonraki yörüngelerde görüntüsü çekilmesi istenen noktaların koordinat bilgilerini içeren görev planını uyduya yükler.




GS
30
60

Eğer uydunun görev yükü elektro-optik kamera ise görev planı oluşturulurken çekilecek yerdeki ve çekim zamanındaki hava tahmin verileri de kullanılarak bir optimizasyon yapılır. Bir yer istasyonunun görev planlama başarım kriteri birim zamanda çekilen bulutsuz eşdeğer görüntü miktarı ile hesaplanır. Özellikle ticari yer istasyonlarında görev planlama başarımı karlılık açısından çok önemlidir.

Bu başarıma etki eden diğer faktörler ise ilgi alanlarının öncelikleri, yer izdüşüm çizgisi etrafındaki dağılımı ve ilgi alanlarının büyüklüğüdür.

Bir keşif gözetleme uydusu görüntüleme operasyonları ile ilgili olarak yer kontrol istasyonundaki iş akışları aşağıda anlatılmıştır.

İŞ AKIŞLARI

İş akışı son kullanıcıdan (görüntü isteği yapan kişi veya kurum) ilgi alanı (AOI- Area of Interest) bilgisinin gelmesiyle başlar. İlgi alanı; istenen çekim tarih aralığı, diğer çekim bekleyen ilgi alanları içerisindeki önceliklendirmesi (priority), maksimum uydu yönelim açısı (incidence angle / off-nadir angle), uydu azimut bakış aralığı, minimum güneş yükseklik açısı, maksimum bulut oranı, görüntü üretim seviyesi, mono /stereo görüntü gibi parametrelerle veri tabanına girilir. İlgi alanları uydu kamerasının görüş açıklığından (FOV) fazla ise görüş açıklığı genişliğinde şeritlere bölünür.

Görev planlama yazılımı uydunun eksen yönelim hızları kinematiğini de simüle ederek uydu yer izdüşümü etrafında istenen çözünürlükte, ilgi alanına ait veri tabanındaki diğer tüm parametreleri ve uydu sistem kısıtlarını dikkate alarak çekime aday bölgelerden söz konusu geçiş sırasında çekilebilecek olan görüntü şeritlerini görev planına dahil eder. Görev planlama yazılımının tasarımına bağlı olarak uydunun maksimum alan çekimi yapabilmesi için operatör görev planını optimize eder. Bu optimizasyon sırasında uydu çekim zamanına göre ilgi alanları üzerindeki hava tahmin verilerini (bulut kapalılık yüzdesi) veya gerçek zamanlı meteoroloji uydusu fotoğraflarını da kullanabilir. Görev planı kapsama alanı içerisinde veya kapsama alanı dışarısında da çekim alanları içerebilir. Görev planı oluşturulduktan sonra uydu geçişi sırasında uyduya yüklenir.

Uydu aldığı plana göre programlanan çekim zamanında istenen noktaya yönelerek çekimi gerçekleştirir. Çekimi yapılan bölgenin kapsama alanında olması durumunda çekimden hemen sonra yer istasyonuna görüntü verisini indirebilir. Eğer görüntü çekimi sırasında uydu kapsama alanı dışında ise uydu çektiği görüntüleri kendi hafızasına kaydeder ve belli bir indirme planına göre kapsama alanına girdiğinde yer istasyonuna görüntüleri yüksek hızda indirir. İndirilen görüntü verileri ham veri olup ilk önce otomatik olarak radyometrik ve geometrik düzeltme algoritmalarıyla seviye-2 olarak adlandırılan koordinatlı görüntü oluşturulur ve görüntü işleme yazılımları ile açılabilir, işlenebilir hale getirilir. Bu algoritmalar uydu kamera modelini ve görüntü ile birlikte indirilen uydunun çekim sırasındaki yönelim bilgilerini içeren yardımcı verileri (metadata) kullanır.

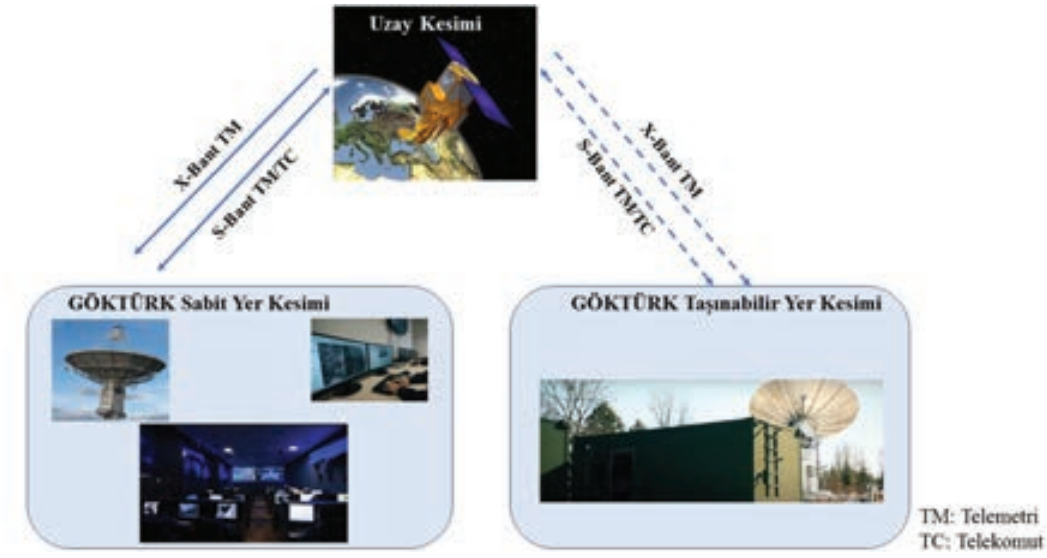
Görüntünün bulutsuz bir şekilde başarılı olarak alınmasıyla birlikte ilgi alanına ait ilgili şerit alanının durum bilgisi veri tabanında güncellenerek arşiv görüntüsü olarak kaydedilir, böylece bir sonraki görev planına dahil olmaz. İstenen ilgi alanının çekimi bittiğinde belirtilen görüntü ürünü seviyesinde üretilerek son kullanıcıya ulaştırılır.

Uydu görüntülerinin askeri ve sivil birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Askeri uygulamalarda hedef tespit, teşhis veya istihbarat toplama bu uygulamaların başında gelmektedir. Sivil uygulama alanları ise şehir bölge planlama, orman yangını, sel gibi doğal afetlerde hasar tespit, telekomünikasyon, petrol, doğal gaz boru hattı planlama, coğrafi bilgi sistemleri, akıllı şehir veya diğer birçok harita tabanlı uygulamalarda altlık olarak kullanılarak üzerine farklı ilgi noktaları katman olarak eklenebilmektedir. Stereo görüntüler ise sayısal yükseklik modellerinin (DEM-Digital Elevation Model) oluşturulmasında ve bazı üç boyutlu uygulamalarda kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, durumsal farkındalığın sadece yakın taktik sahada değil aynı zamanda tüm dünya için çok önemli hale gelmesi ve bilginin anında elde edilmesi kurumlar ve karar vericiler için giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle ülkeler keşif gözlem uydu programlarında takım uydu planlaması yapmakta ve dünya üzerindeki bir noktayı tekrar çekebilme sıklığını (revisit time) artırmaya yönelik yörünge tasarımı yapmaktadırlar. Bununla birlikte veri indirme hızı ve veriyi bir yerden bir yere aktarma gibi iletişim teknolojilerinin de kullanımı önemli hale gelmektedir.

ALÇAK YÖRÜNGE YER İSTASYONLARI ASELSAN İŞ PAYLARI

Türk Hava Kuvvetleri Keşif Uydu Tabur Komutanlığı bünyesinde Göktürk-2 Yer Kontrol İstasyonunun Anten ve RF Sistemleri ASELSAN sorumluluğunda kurulmuş ve devreye alınmıştır. Ana yüklenicisi Telespazio olan Göktürk-1 projesi kapsamında da

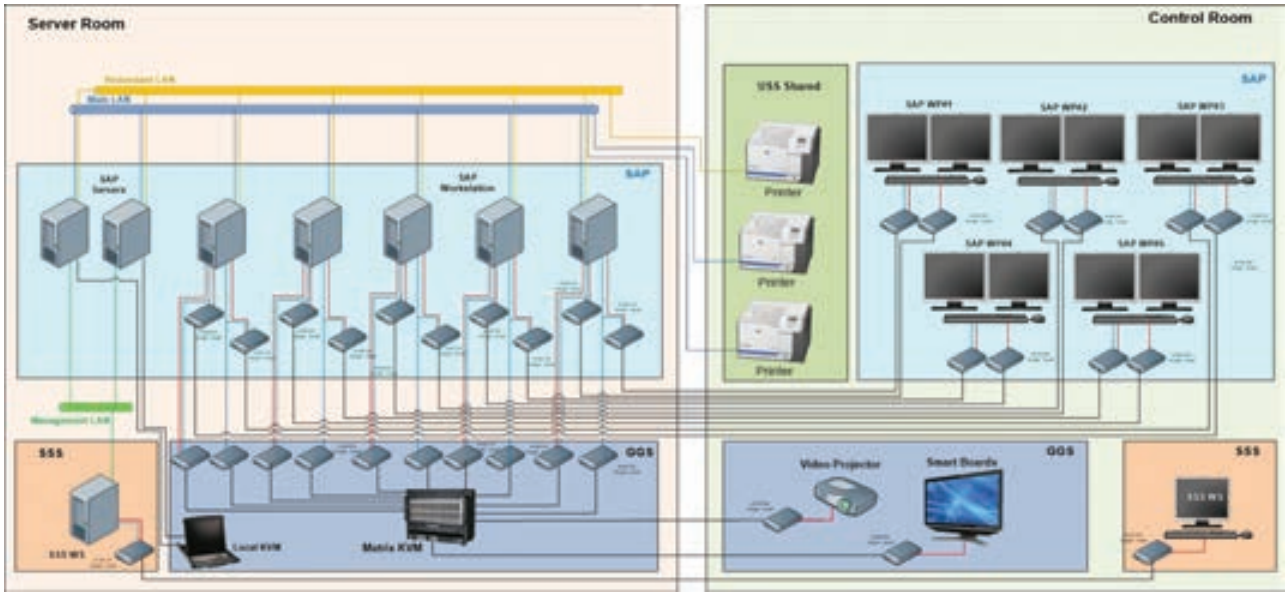


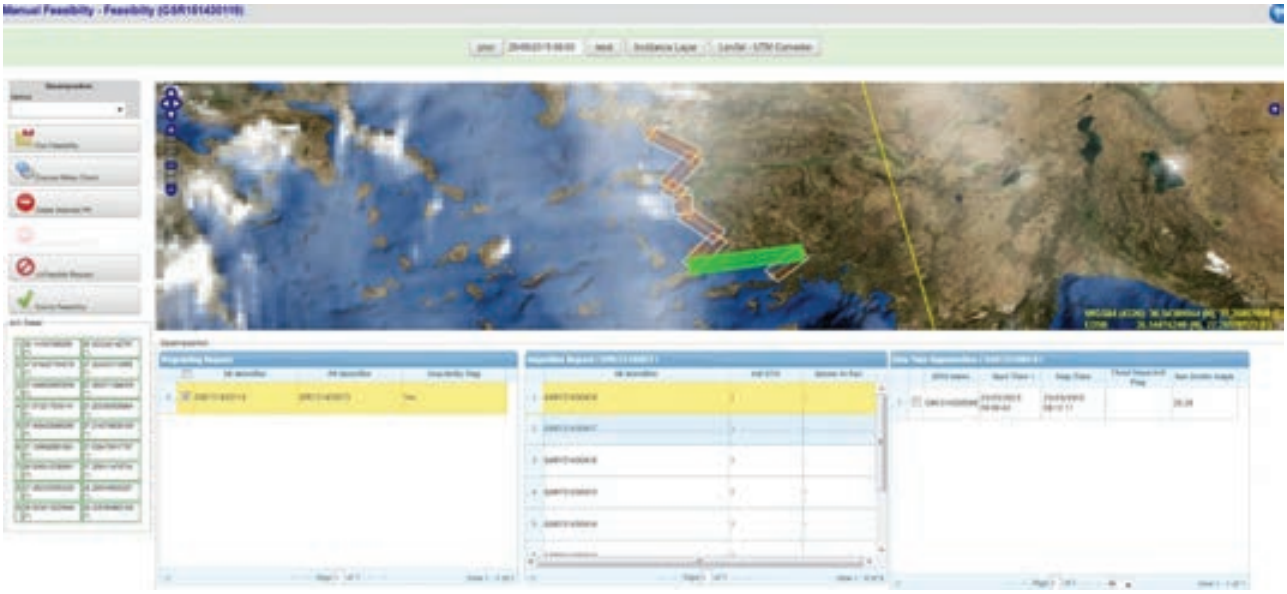
ASELSAN aşağıdaki iş paketleri ile görev almıştır:
- Anten ve RF Sistemler
- Uydu Görüntüleme Alt Sistemi
- Taşınabilir Yer İstasyonu
- Meteoroloji ve Hava Tahmin Birimi

Uydu Erişim Alt Sistemi olarak 7.3m sabit bir anten ve 5.4m taşınabilir bir anten sistemi sağlanmıştır.

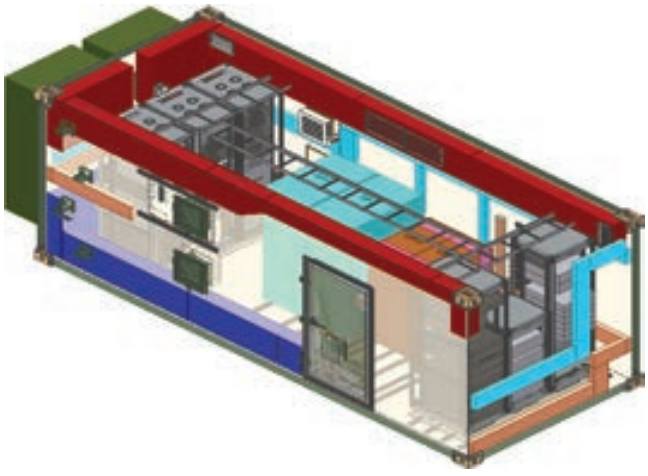
Uydu Görüntüleme Alt Sistemi kapsamında ise Görüntü İstek Yazılımı, Görüntü Üretim ve Dağıtım Birimi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri donanımları ve yazılımları sağlanmıştır.

Kullanıcı arayüz tasarımları da ASELSAN sorumluluğunda geliştirilmiştir.



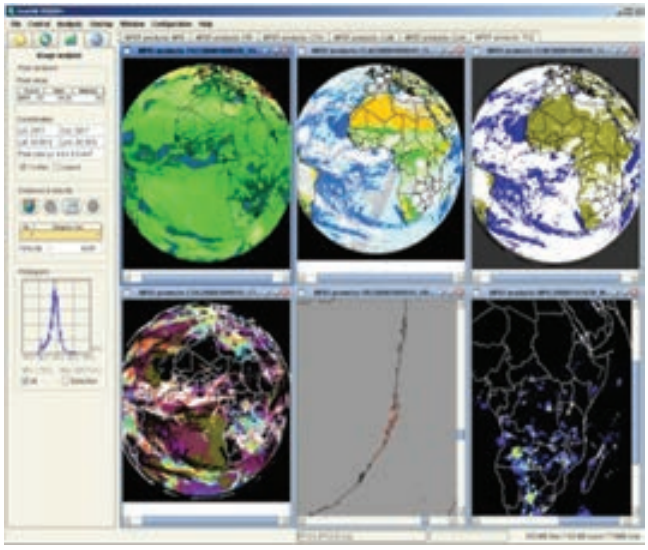


Taşınabilir Yer İstasyonu kapsamında bir operatör ve bir ekipman korunağı, yedekli jeneratör sistemi sağlanmış olup korunak içi yerleşim tasarım, montaj, entegrasyon çalışmaları yapılmıştır.



Meteoroloji ve Hava Tahmin Sistemi kapsamında Eutelsat-10 uydusundan yayın yapan EumetCast verilerini alan bir sabit ve bir taşınabilir anten sistemi sağlanmıştır, Devlet Meteoroloji İşleri ve ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) organizasyonundan bulut kapalılık verilerinin (TCC-Total Cloud Coverage) alınmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

ASELSAN Göktürk-1 uydusunun fırlatılmasından itibaren yer istasyonunda uydu operasyonlarına destek vermiştir.



GRC-5220

Taktik Genişband Ethernet Radyo Ailesi

GRC-5220, taktik sahada emniyetli ve güvenilir haberleşme imkânı sağlayan, OFDMA tabanlı, yüksek kapasiteli bir ethernet radyodur. GRC-5220 radyosu ile, yüksek veri hızlarını elde edilebilmek ve iletişim kanalı değişimlerine karşı dayanıklılık için, 2x2 Çok Girdili Çok Çıktılı (MIMO) teknolojisi desteklenmektedir.

www.aselsan.com

aselsan

KARA UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Erhan ERKÖSEOĞLU
Utku Cem BİLGİÇ
Gizem ERDOĞAN

Uydu haberleşme sistemleri kara platform çözümleri, her türlü coğrafi koşulda ve taktik operasyonda, sahadaki askeri birliklerin, bağlı bulundukları komuta merkezlerinin, karargâhların ve savaş alanındaki komutanlıkların emniyetli ve hızlı ses, görüntü ve veri haberleşmesi yapmalarına ve taktik ihtiyaçlarını karşılamalarına olanak sağlar. Özellikle sınır ötesi operasyonlarda aşağıdaki ihtiyaçların karşılanması açısından kritik bir öneme sahiptir ve askeri birliklerin vazgeçilmez haberleşme araçlarıdır.

- Savaş alanının yakın gerçek zamanlı taktik resminin oluşturulması
- Silah, sensör ve komuta merkezleri arasında gerek duyulan yakın gerçek zamanlı veri haberleşmesinin sağlanması
- Birliklerin coğrafi konumlarının bir merkezden otomatik ve sürekli olarak izlenmesinin sağlanması
- Bu bilgileri gerektiğinde komuta katının kullanımına sunarak, komutanların, ordu bölgesindeki tüm birliklerin taktik resmini gerçek zamanlı olarak görmesinin sağlanması

TSK'nın kullanımında olan uydularla çalışabilecekleri gibi uygun frekanslarda hizmet veren diğer dost ülke ve NATO'ya ait olan uydularla da kullanılabilme özelliğine sahiptirler.

ASELSAN olarak kara uydu haberleşmesine dair yerli ve milli imkânlarla tasarım ve üretimi yapılan farklı çözümlerimiz mevcuttur, bunlar aşağıda detaylandırılmıştır.

İNTİKAL ETTİRİLEBİLİR UYDU HABERLEŞME TERMİNALİ

ASELSAN'ın yerli imkânlarla tasarlayıp üretimini yaptığı İntikal Ettirilebilir Uydu Haberleşme Terminali, adını duraklama ve yerleşme, yani intikal halindeyken uydu haberleşmesi sağlamasından alıyor.

Engebeli ve dağlık alanlarda rahatça ilerleyebilen, üzerine entegre edilen yedekli jeneratör sistemi ile kendi enerjisini üretebilen, telsiz sistemi sayesinde çevre birlikler ile görüşebilen, araç üzerindeki şelter olarak adlandırılan oda içerisinde sistemleri kullanabilme olanağı sunan, intikal ettiğinde devreye alınabilen uydu anten sistemi ile kriptolu ve sınır ötesi haberleşme imkânı sunan, aynı zamanda üzerine serilen gizleme ağı ile kamufle olup çevre unsurlardan gizlenebilen bir terminaldir.

Her türlü operasyon ve çevre koşulunda, taktik veya arazi tipi araç üzerine entegre edilmiş otomatik takip yeteneğine sahip uydu anten sistemi ile intikal halinde uydu haberleşmesi imkânı sağlayabilmektedir.

- X-Bant ve Ku-Bant frekanslarında çalışma kabiliyeti
- Anten çapı: 120 cm/150 cm
- Zorlu arazi şartlarına uygun (MIL-STD-810G)
- IP tabanlı, açık ve/veya kapalı ses, veri, video telekonferans ve faks haberleşmesi

GEZGİN ARAÇ UYDU HABERLEŞME TERMİNALİ

ASELSAN'ın yerli imkânlarla tasarlayıp üretimini yaptığı Gezgin Araç Uydu Haberleşme Terminali, adını hareket halinde yani gezgin şekilde uydu haberleşmesi sağlamasından alıyor.

Zırhlı yapısı ile yüksek korumaya sahip olan, engebeli ve dağlık alanlarda rahatça ilerleyebilen, içerisine entegre edilen güç sistemi ile kendi enerjisini üretebilen, telsiz sistemi sayesinde çevre birlikler ile görüşebilen, hareket halinde üç eksenli stabilize yapısıyla uyduyu devamlı takip ederek kesintisiz ve kriptolu şekilde sınır ötesi uydu haberleşmesi imkânı sunan, aynı zamanda üzerine serilen gizleme ağı ile kamufle olup çevre unsurlardan gizlenebilen bir terminaldir.

Her türlü operasyon ve çevre koşulunda, araç hareket halindeyken sürekli uydu takibi yaparak güvenli ve yüksek hızlı uydu haberleşmesi olanağı sağlayabilmektedir. Beacon sinyali, Ataletsel Navigasyon Sistemi (INS) ve gyro verilerinin entegre kullanımı ile uydu takip ve stabilizasyonda üstün ve güvenilir performans gösterir.

- X-Bant ve Ku-Bant frekanslarında çalışma kabiliyeti
- Veri hızı: 3,2 Mbps'e kadar (X-Bant); 15 Mbps (Ku-Bant)
- Anten çapı: 45 cm/60 cm
- Seyir halinde uydu haberleşmesi imkânı
- Zorlu arazi şartlarına uygun (MIL-STD-810G)
- IP tabanlı, açık ve/veya kapalı ses, veri, video telekonferans ve faks haberleşmesi

TAŞINABİLİR UYDU HABERLEŞME TERMİNALİ

Adını, kompakt tasarımı sayesinde çanta içerisine yerleştirilerek iki kişinin taşıyabileceği kadar küçültülebilmesinden alan bu terminal, yerli imkânlarla tasarlanıp üretilmektedir. Taktik operasyonlar ve zorlu arazi şartları odaklı olarak tasarlanıp üretilmiştir. Ayrıca çantanın ve anten ekipmanının korumalı yapısı sayesinde yüksek dayanıklılığa sahiptir. Temel bant alt sistemi ile kesintisiz uydu haberleşme imkânı sunar.

- X-Bant ve Ku-Bant frekanslarında çalışma kabiliyeti
- Veri hızı: 8 Mbps (X-Bant), 15Mbps (Ku-Bant)
- Anten çapı: 90 cm/120 cm/180 cm/240 cm
- İki kişi tarafından taşınabilecek ağırlık ve boyutlar
- Taşınabilir çantalar ile kompakt tasarım
- Zorlu arazi şartlarına uygun (MIL-STD-810G)
- X-Bant için, sistemi kesintisiz olarak idame ettirebilecek yedekli jeneratör sistemi.
- IP tabanlı, emniyetli/emniyetsiz ses, veri, video telekonferans, faks haberleşmesi ve QoS yönetimi

YENİ TİP SIRT UYDU HABERLEŞME TERMİNALİ

Adını sırt çantasında taşınabilecek kadar az yer kaplaması ve hafif olmasından alan sırt terminali, yeni tip olarak adlandırdığımız halinde ASELSAN tarafından tasarlanıp tamamen yerli imkânlarla üretilmektedir. Taktik operasyonlar ve zorlu arazi şartları odaklı olarak tasarlanıp üretilmiştir. Ayrıca çantanın ve anten ekipmanının korumalı yapısı sayesinde yüksek dayanıklılığa sahiptir, yüksekten düşme testlerini başarıyla geçmiştir. Yani bunu operasyonel anlamda düşünürsek, bir helikopterden bırakıldığında zarar görmeyecektir, kullanıcı kişi de bunu ergonomik ve hafif yapısı sayesinde tek başına rahatça taşıyabilecek, kurulumunu beş dakikadan daha kısa sürede yaparak kriptolu ve sınır ötesi kesintisiz uydu haberleşmesini sağlayabilecektir.

- X-Bant frekanslarında çalışma kabiliyeti
- Veri hızı: 2 Mbps'e kadar
- Anten çapı: 70 cm
- Bir kişi tarafından taşınabilecek ağırlık ve boyutlar
- Taşınabilir çantalar ile kompakt tasarım
- Zorlu arazi şartlarına uygun (MIL-STD-810G)
- Kolay ve hızlı kurulum
- IP tabanlı, açık ve/veya kapalı ses, veri, video telekonferans ve faks haberleşmesi

DENİZ UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Tamer YÜKSELTÜRK
Elif Cansu ÖZDEN
Görkem TİRYAKİ

Uydu haberleşme sistemleri, görüş hattı ötesi haberleşmeye imkân sağlaması ve her türlü coğrafi koşulda diğer haberleşme vasıtalarının olmadığı veya yeteneklerinin sınırlı kaldığı durumlarda operasyonel ihtiyaçların karşılanması açısından kritik öneme sahip olup, aşağıdaki gibi askeri ve sivil tüm ihtiyaçlar için çözüm sunmaktadır.

- Her türlü sensörden gelen verinin aktarımı
- Uydu alanı içerisinde yer alan her yerden gerekli verinin alınabilmesi
- Taktik resmin oluşturulması
- Yüksek çözünürlüklü fotoğraf/video aktarımı

Özellikle deniz platformlarında kara ile bağlantının olmaması ve karasal haberleşme şebeke ve olanaklarından yararlanılamıyor olması, telsiz haberleşmesi ve HF haberleşmesinin çözüm olamadığı her yer de uydu haberleşme vaz geçilmez bir haberleşme unsuru olarak ortaya çıkmaktadır. ASELSAN tarafından yerli ve milli olarak geliştirilen Uydu Haberleşme Terminalleri; her türlü operasyon ve çevre koşulunda, hareket halinde, güvenli ve yüksek hızlı uydu haberleşmesi gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

ASELSAN, sivil ve askeri otoritelerin tüm ihtiyaçlarına uygun sistem çözümleri sunulabilmekte olup, her türlü büyük, küçük, hızlı, yavaş, deniz altı ve deniz üstü olmak üzere tüm platformlar için çözüm üretmektedir. Farklı reflektör çaplarında ve çıkış güçlerinde alternatif çözümler ilgili olan ihtiyaç ve platforma uygun olarak tasarlanıp üretilebilmektedir. Ayrıca, ASELSAN tarafından geliştirilen uydu modemi içerisinde yer alan kripto birimi ile emniyetli haberleşmeye imkân sağlanmasının yanında; beacon alıcı birimi ile de ileri hassasiyette uydu takibi sürekli olarak yapılabilmektedir. Uydudan gelen beacon sinyali, ataletsel navigasyon sistemi (INS) ve gyro verilerinin entegre kullanımı ile uydu takip ve stabilizasyonda üstün ve güvenilir performans sağlamaktadır.

Genel Özellikler

- Entegre LNB, GPS ve Gyro modülü
- Ayarlanabilir yayın yapılmayacak bölge seçimi
- Kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda farklı deniz platformlarına uygulanabilirlik
- MIL-STD-810, MIL-STD-461 uyumluluğu

Fonksiyonel Özellikler

- 3-Eksende stabilizasyon ve takip (Ku-Bant için ek olarak polarizasyon ekseni)
- Çift ve tek anten kontrolü, Key-hole etkisi önleme kabiliyeti
- Beacon sinyali ve/veya Ataletsel Navigasyon Birimi (ANS) verisi kullanarak yüksek uydu takibi performansı
- QoS Yönetimi: Ses, veri, görüntü vb. servisler için önceliklendirme, kullanıcı gereksinimlerine göre konfigüre edilebilir veri hızı
- Milli ve NATO IP kripto cihazları ile uyumlu sistem mimarisi
- Kullanıcı ihtiyaçlarına göre konfigüre edilebilir arayüzler: IP tabanlı açık ve/veya kapalı ses, veri, video telekonferans ve faks haberleşmesi
- Seri tabanlı veri haberleşmesi (RS232, RS449, link haberleşmesi vb.)

0.38 m
X-Bant
PREVEZE DENİZALTI
0.45 m
Ku-Bant
İNSANSIZ DENİZ ARAÇLARI
1.0 m
X-Bant
KILIÇ SINIFI HÜCUMBOT
TUMSİS – ADA SINIFI
1.2 m
Ku-Bant
GABYA SINIFI
BARBAROS SINIFI
BURAK SINIFI
1.5 m
X-Bant
TUMSİS - FIRKATEYN
MİLGEM-G
AÇIK DENİZ KARAKOL GEMİSİ
1.8 m
X-Bant
LHD GEMİSİ
TVEG
DİMDEG

3-Eksen hassas stabilize olarak tasarlanan ve farklı platformlara yönelik 100 cm, 120 cm, 150 cm, 180 cm reflektör ile ASELSAN tarafından milli imkânlarla özgün olarak geliştirilen uydu antenleri, yüksek RF geçirgenliğine sahip radom içerisinde muhafaza edilmektedir. Cross-elevasyon ekseni, uydu anteninin yüksek uydu elevasyon açılarında key-hole etkisine maruz kalmasını önlemektedir. Anten, azimuth, elevasyon ve cross-elevasyon eksenlerinde direkt-sürüş motorlarla sürülmektedir. Direkt-sürüş motorlar, daha iyi atalet stabilizasyonu, kusursuz çalışma ve hassas yönlenme sağlamaktadır.

45 cm ve 100 cm anten sistemi kaidesi ve reflektörü karbon fiber malzemeden üretilmiştir. Bu sebeple hafif ve mukavemeti yüksektir. Bununla birlikte, kompakt tasarım sayesinde kısıtlı yerleşim alanlarına da uygundur. 120 cm, 150 cm ve 180 cm anten sistemi reflektörü ise yine karbon fiber malzemeden üretilmiş olup, kaidesi alüminyumdur.

Özgün tasarımıyla yüksek RF performansa sahiptir. İhtiyaç duyulan EIRP değerine göre daha güçlü güç yükselteçler kullanılabilmektedir.

Anten kontrol birimi, tek anten yönlendirme veya daha fazla kapsama sağlamak için çift anten yönlendirme kabiliyeti kazandırmaktadır. Gemi üzerindeki farklı sistemlerin etkileşimini azaltmak amacıyla, gönderme alanının kısıtlanması gereken gemi profilinde kör sektör tanımlaması yüksek hassasiyette yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

38 cm anten sistemi kaidesi ve reflektörü alüminyum yapıda olup özgün tasarımıyla denizaltı platformlarında kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Denizaltı platformlarında kullanılan radom, denizaltının maruz kaldığı tüm denizaltı koşullarında özellikle yüksek basınç altında anten sistemini her türlü deniz koşulundan koruyacak şekilde tasarlanıp ve üretilmiştir.

1.5m Gemi Anteni ve Radomu

1.0m Gemi Anteni

L-Bant Uydu Modemi

Anten Kontrol Birimi

X-Bant LNB

CATS

Elektro-Optik Keşif, Gözetleme ve Hedefleme Sistemi

CATS, İnsansız Hava Araçları (İHA) için geliştirilmiş olan, yüksek performanslı bir elektro-optik keşif, gözetleme ve hedefleme sistemidir. CATS sisteminde 3-5 mikrometre kızılötesi kamera, yüksek çözünürlüklü gündüz görüş kamerası, düşük ışık kamerası, lazer hedef işaretleyici, lazer mesafe ölçme birimi, lazer aydınlatma ve lazer noktalama birimi bulunmaktadır.

www.aselsan.com

aselsan

İNSANSIZ PLATFORMLAR İÇİN UYDU HABERLEŞMESİ

Ömer BİNİCİ
Ahmet Nuri SEZER

Uydu haberleşme sistemi, görüş hattı ötesi haberleşmeye imkân sağlaması ve coğrafi koşullardan çok az etkilenmesi sayesinde, diğer haberleşme vasıtalarının olmadığı veya yeteneklerinin sınırlı kaldığı durumlarda aşağıdaki gibi operasyonel ihtiyaçların karşılanması açısından kritik bir öneme sahiptir ve askeri birliklerin vazgeçilmez haberleşme araçlarıdır.

- Taktik resminin oluşturulması ve yüksek çözünürlüklü fotoğraf/video aktarımı
- Platform ve komuta merkezleri arasında gerek duyulan veri haberleşmesinin sağlanması
- Birliklerin ve insanlı/insansız platformların coğrafi konumlarının merkezden izlenmesinin sağlanması ve kontrolü

İnsansız platformlara yönelik, ASELSAN tarafından yerli ve milli olarak geliştirilen uydu haberleşme terminalleri; her türlü operasyon ve çevre koşulunda, hareket halinde, güvenli ve yüksek hızlı uydu haberleşmesi gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

Kullanıcı ihtiyaçlarına uygun sistem çözümleri sunulabilmekle birlikte, farklı reflektör çaplarında ve çıkış güçlerinde alternatif çözümler bulunmaktadır. Ayrıca, ASELSAN tarafından geliştirilen uydu modemi içerisinde yer alan kripto birimi ile emniyetli haberleşmeye imkân sağlanmasının yanında; beacon alıcı birimi ile de ileri hassasiyette uydu takibi sürekli olarak yapılabilmektedir. Uydudan gelen beacon sinyali, ataletsel navigasyon sistemi (INS) ve gyro verilerinin entegre kullanımı ile uydu takip ve stabilizasyonda üstün ve güvenilir performans sağlanır.

Hassas stabilize olarak tasarlanan ve farklı platformlara yönelik 27 cm, 45 cm ve 53 cm reflektör ile ASELSAN tarafından milli imkânlarla özgün olarak geliştirilen uydu antenleri, yüksek RF geçirgenliğine sahip radom içerisinde muhafaza edilmektedir. Platforma yönelik radom tasarımları ASELSAN tarafından yapılmaktadır. Sistemler, hafif ve yüksek mukavemetli olmakla birlikte kompakt tasarım sayesinde kısıtlı yerleşim alanlarına da uygundur.

Ağ merkezli harp konsepti dahilinde daha yoğun ve geniş alanda kullanılmaya başlanan insansız kara, deniz ve hava araçlarının; geliştirilen uydu haberleşme terminalleri sayesinde haberleşme menzilleri genişletilmiş olup ayrıca haberleşme sistemlerinde yedeklilik sağlanmıştır.

ASELSAN tarafından insansız platformlar için öz kaynakla geliştirilen uydu haberleşme terminalleri ile dışa bağımlılık ortadan kaldırılmış olup; ülkemizin ihracat potansiyelinin artırılmasına da fayda sağlanmıştır.

Genel Özellikler

- Kompakt ve hafif tasarım
- Kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda farklı insansız platformlara uygulanabilirlik
- MIL-STD-810, MIL-STD-461, MIL-STD-704 standartlarına uyumluluk
- Milli dalga şekli
- Verimli spektrum kullanımı
  - Adaptif kodlama ve modülasyon
  - Dinamik kanal yönetimi
  - IP throughput optimizasyonu

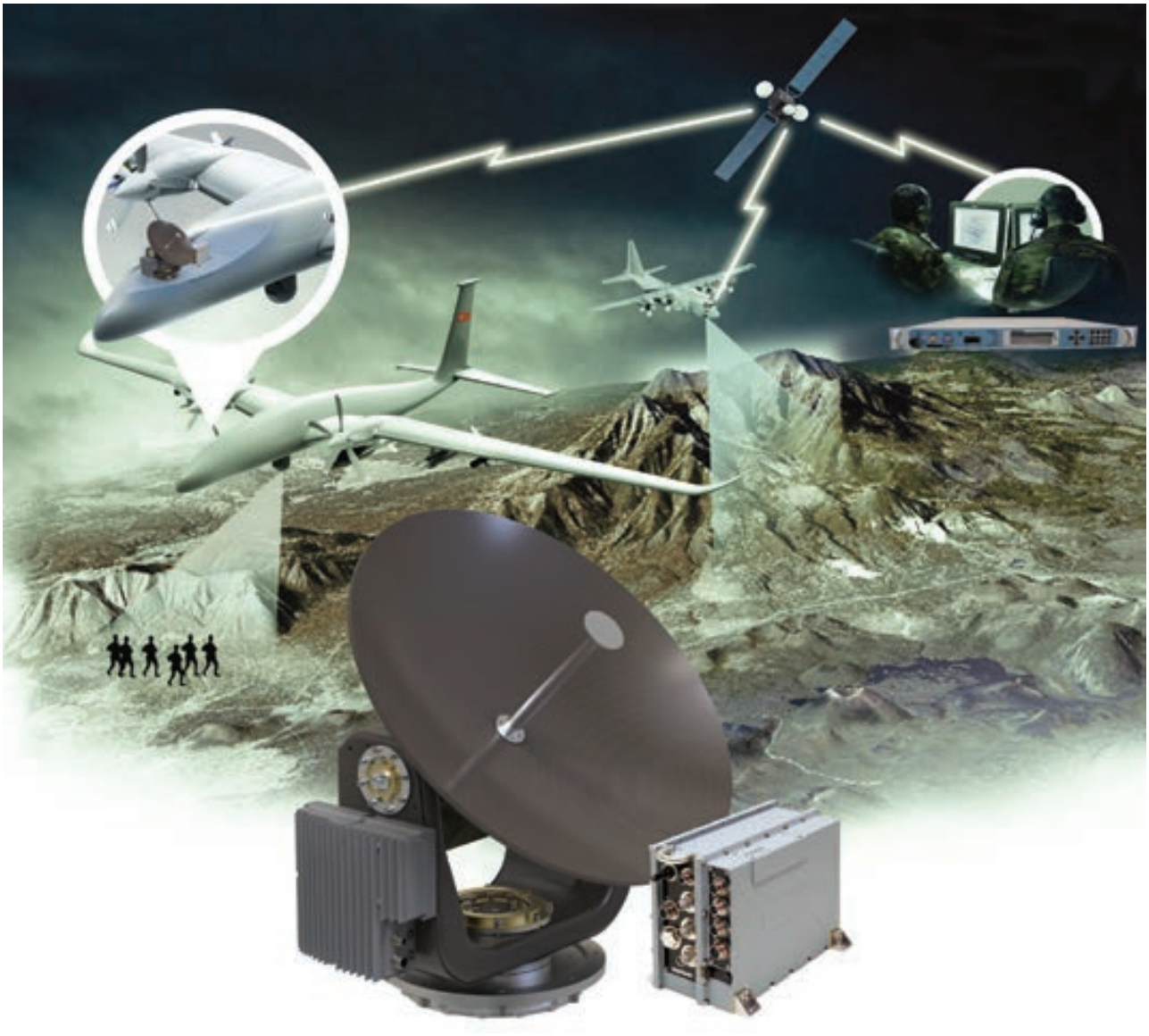
27

45

53

İnsansız Platformlar İçin Uydu Haberleşme Terminali Ailesi

ASELSAN modem ailesi



Fonksiyonel Özellikler

- Azimut ve elevasyon eksenlerinde stabilizasyon ve polarizasyon takibi
- Kullanıcı gereksinimlerine göre hızı ayarlanabilir ses/veri bağlantısı
- Beacon sinyali ve/veya Ataletsel Navigasyon Birimi (INS) verisi kullanarak yüksek uydu takibi performansı
- Düşük link kurma süresi
- Düşük uçtan uca gecikme süresi
- Milli algoritmalı ve ihtiyaca uygun kripto çözümleri

HİSAR A+

Otonom Hava Savunma Füze Sistemi

Zırhlı mekanize ve hareketli birliklerin hava savunmasını sağlamak amacıyla hava tehditlerinin (savaş uçakları, helikopterler, seyir füzeleri, insansız hava araçları ve havadan karaya atılan füzeler) tesirsiz hale getirilmesi görevini yerine getirmektedir.

www.aselsan.com

aselsan

UZAY ALANI DURUMSAL FARKINDALIĞI

Muammer ŞİMŞEK

Dünyanın yörüngesinde bulunan uydular; iletişim, navigasyon ve gözlem başta olmak üzere ekonomik ve sosyal yaşamlarımıza sunduğu faydalarla insanlık için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Son yıllarda uydularda yer alan faydalı yüklerinin yeteneklerinin artması ve uzaya fırlatma maliyetlerinin düşmesi sebebiyle uzaydaki insan varlığı giderek daha hızlı artmaktadır.

Yapılan fizibilite çalışmalarına göre 2027 yılında yörüngedeki aktif uydu sayısının sekiz bini aşacağı ve toplam uzay ekonomisinin 1 trilyon dolar seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Uzaydaki değerin katlanarak artması, buradaki varlıkların durum takibinin yapılması ve etkilerinin değerlendirilmesini daha da önemli kılmaktadır.

Yörüngedeki uydular kadar uydulardan kopan parçalar ve çarpışma olaylarından sonra ortaya çıkan uzay çöpü de hızla artmaktadır. Beş binden fazla aktif uyduya ek olarak, görevini tamamlamış uydu ve bu uydulardan kopmuş parçaların sayısı Şekil 1'de verildiği üzere milyonlar seviyesindedir. Özellikle alçak yörünge (LEO-Low Earth Orbit: 200-2.000 km) doyuma ulaşmış olarak nitelendirilmektedir. 2012 ve 2016 yıllarında fırlatılan GÖKTÜRK-2 ve GÖKTÜRK-1 gibi uydularımız bu yörüngede görevini sürdürmektedir.

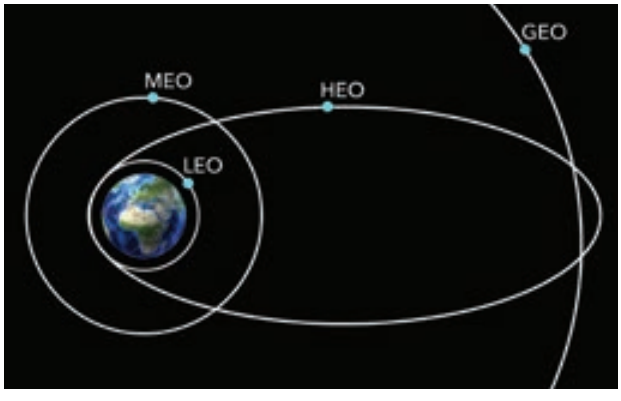
2021 yılında fırlatılan TÜRKSAT 5A uydumuz ve diğer haberleşme uydularımız ise 35.786 km irtifada bulunan daha yüksek irtifada yer alan GEO'da (Geostationary Orbit veya Geosynchronos Earth Orbit. İrtifa ölçekli görüntüsü için bkz. Şekil 2) görev yapmaktadır. İnsanlığın GEO'daki varlığı alçak yörüngelere göre daha az olsa da buradaki uyduların değeri çok daha yüksektir. Bu kapsamda, özellikle bu irtifadaki varlıklar için çarpışma olasılığını sıfıra indirmek kritiktir.

Uzay sistemlerine çarpışma erken ikazı için tespit, takip ve kataloğa eklenecek cisimlerin türü (uzay aracı, roket kalıntısı, çarpışma sonrası saçılmış parça, doğal gök cismi vb.), sayısı ve bu cisimlerin bulunduğu irtifalar oldukça geniş bir yelpazede tanımlanmaktadır. Böyle bir kütüphaneyi oluşturup idame ettirmek için kapsamlı bir uzay alanı farkındalık sistem mimarisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ortamdaki insan yapımı ve doğal nesnelerin takibine ilave olarak, uzay havasının izlenmesi de uzay alanı farkındalığı konseptine dahildir. Uzay havası, uzay sistemlerinin operasyonları ile bu sistemlerden sunulan hizmetlerin kalitesi yanında satıh sistemlerinin performansı üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilmekte, bazı hizmetlerin kesilmesine neden olabilmektedir. Bazı durumlarda (Örneğin yörüngeye oturma fazında meydana gelebilecek geomanyetik fırtınalar) sistemlerin kalıcı olarak gayrı faal duruma düşmesine dahi yol açabilmektedir.

Uyduların görevini yerine getirmesindeki bir başka büyük zorluksa haberleşme sırasında diğer uzay sistemlerimden kaynaklı sinyal girişime uğramalarıdır. Çevre koşulları sebebiyle halihazırda çok zor bir ortamda görev yapan uzay sistemlerinin yukarıda özetlenen diğer dış etmenler sebebiyle görevlerini

Şekil-1: Uzaydaki insan yapımı varlık sayısı hızla artmaktadır. 2022 yılı itibarıyla kataloglanan veya tahmin edilen parça sayısı milyonlarla ölçülmektedir. Özellikle 10 cm'den daha büyük parçaların uydulara ölümcül hasar verdiği bilinmektedir.



Şekil-2: İrtifaya göre ayrılmış yörünge sistemleri. LEO tipik olarak 200-2000 km arasındaki irtifada yer almakta olup çoğunlukla keşif, gözlem ve istihbarat uydularının bulunduğu katmandır. Yakın zamanda haberleşme uydu grupları için de popülerliği artmıştır. Bu sebeplerden dolayı uzay çöpü yoğunluğu ve çarpışma riski konularında en çok problemin bu yörüngede olması beklenmektedir.

Şekil 3: YAKUD Projesi kullanıcı arayüz yazılımının örnek ekran görüntüsü. Modern uzay durumsal farkındalık sistemlerinin karar vericilere anlık destek verebilmesi için güvenilir veri ve analiz kabiliyetine sahip olması, diğer sistemlerle sorunsuz bağlantı kabiliyetinin bulunması ve arayüzlerinin hızlı ve kullanıcı dostu olması beklenmektedir.

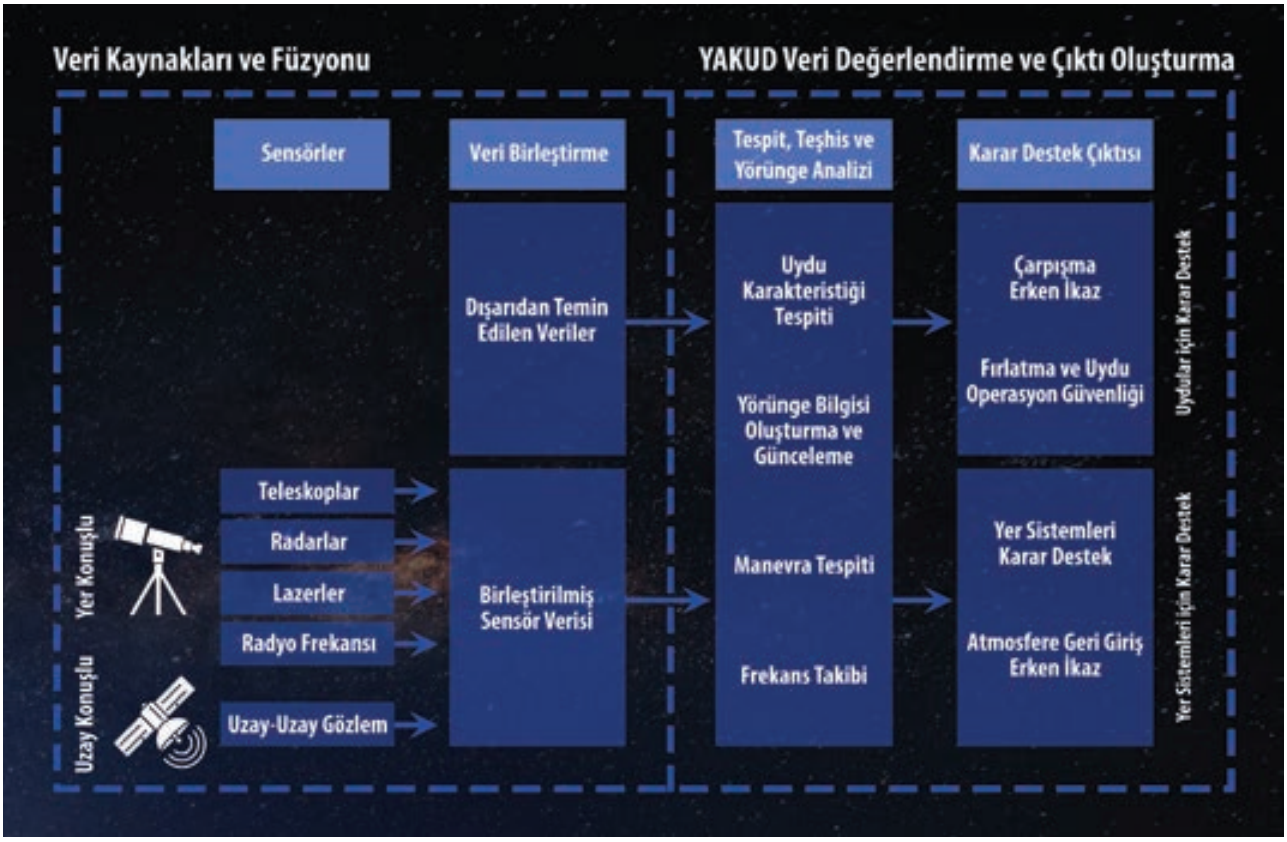
sürdürmesi her geçen gün giderek daha zor hale gelmektedir. Bu sebeple, uyduların görevlerinin başarısından emin olmak için uzaydaki diğer varlıkların bilgilerine azami ölçüde sahip olmak kritiktir.

Ticari büyüklüğüne ve yüksek teknolojisine karşın uzay sistemlerinin dış etmenlere karşı güvenliği uluslararası hukukta gerektiği kadar garanti altına alınmamaktadır. Uzay ajansları arası protokoller ve Birleşmiş Milletler anlaşmalarında yer alan çoğu husus ortaklık veya iyi niyet kapsamında değerlendirilmektedir. Uyduların görevini güvenle yapması nihai olarak operatörlerin ve milli kuruluşların yetenekleri ve elde edebildikleri bilgi ile sınırlıdır. Bu sebeple, uzay alanı ile ilgili elde edilecek en küçük verinin dahi kullanılması kritiktir.

Doğru ve güncel verinin çok kıymetli olduğu bu alanda, sensörlerin kapsama kısıtlarının bulunması ve izlenmesi gereken binlerce cisim olduğu için uzay alanı farkındalığında uluslararası iş birliği kaçınılmazdır. Özellikle uzayda yüksek miktarda varlığı bulunan ülkeler; bu iş birliklerindeki diğer paydaşlara yüksek güvenilirlikte veri sağlamak ve yerel unsurları için erken ikaz bilgisi üretmek adına ulusal uzay gözlem ve durumsal farkındalık sistemlerini oluşturmakta ve geliştirmektedir.

ASELSAN Türkiye'nin uzaydaki hızlı büyüyen varlığını gözeterek; hava savunma, komuta kontrol, uydu görev yükleri, uydu yer istasyonları, radyo frekansı uygulamaları, RADAR, elektro-optik alanlarındaki tecrübesine dayanarak 2020 yılında Yakın Uzay Durumsal Farkındalık (YAKUD) projesini başlatmıştır. Proje kapsamında temel mühendislik aktivitelerine ilave olarak uzay alanında tecrübe sahibi ve üniversitelerin Geomatik Mühendisliği, Astronomi ve Uzay Bilimleri gibi bölümlerinde görevli akademik personeller ile ortak çalışmalara başlanmıştır. Proje kapsamında dış kaynak verisiyle üretilen ilk karar destek çıktılarına ilişkin örnek görüntü Şekil 3'te verilmiştir.

YAKUD Projesiyle ile LEO yörünge başta olmak üzere uzay durumsal farkındalığına odaklanılmış olup; uyduların ve uzay çöplerinin yörünge bilgilerinin üretilmesi ve güncellenmesi hedeflenmektedir. Uzay alanında farkındalığın elde edilmesi için gerekli veri dış kaynaklardan ve yüksek teknolojideki RADAR, teleskop vb. sensörlerden sağlanabilmektedir. Bu verilerinin sağlıklı bir şekilde akışının sağlanması ve anlamlandırılıp birleştirilmesi gerekmektedir. Birleştirilmiş veriyle uzay resminin oluşturulması, uzay trafiğinin gözlemlenmesi ve nihai olarak değerli varlıkların çarpışmadan kaçınma manevrası yapması



Şekil 4: YAKUD Projesi kapsamında öngörülen uzay alanı durumsal farkındalık mimarisi. Uzay durumsal farkındalık sistemleri faydalı çıktıları üretmek için kendi sensörlerinden ve üçüncü paydaşlardan (Açık kaynak verileri, uydu yer istasyonları verileri, ortak ülke veri tabanları vb.) temin ettiği verileri kullanmaktadır.

veya yeni fırlatılacak bir uydunun yörüngeye istendiği şekilde oturması gibi konularda yarar sağlanacaktır. Proje kapsamında planlanan veri toplama ve anlamlandırmaya yönelik iş akışının Şekil 4'te yer aldığı şekilde oluşturulması planlanmaktadır.

Durumsal farkındalık verisinin üretilme sürecinde; uzay cisimlerinin gözetlenmesi, izlenmesi, tanımlanması, kataloglanması ve uzay havasının takip edilmesi yer almaktadır. Bu amaçla tipik olarak yerde konuşlu (teleskoplar, radarlar, vb.) ve uzayda konuşlu (uydu platformlarına yerleştirilen görev yükleri) sensörlerden elde edilen verileri kullanmaktadır. Bu sensörlerden alınan veriler;

- Uzayın gözlenmesi,
- Uzay sistemlerinin yörünge bilgilerinin doğrulanması ve güncellenmesi,
- Uzay sistemleri için çarpışma erken ikaz bilgisi sağlanması,
- Uydu operatörleri ve diğer yer sistemlerine karar destek verisi üretilmesi

yollarıyla kıymetlendirilmektedir.

Uzay alanı farkındalık sistemleriyle uzun vadede çok daha küçük cisimlerin tespiti, bu cisimlerin yarattığı potansiyel tehlikelere göre önceliklendirilmesi ve nihai olarak da gerekirse de toplanması veya daha yüksek yörüngeye taşınması planlanabilecektir.

Milli Uzay Programına ve milli uydu projelerine ASELSAN uzman olduğu tüm alanlardaki bilgi ve deneyimini sunarak şüphesiz ki azami katkıda bulunacaktır. YAKUD Projesiyle de yörüngelerdeki hareketlilik konusunda sağlanacak durumsal farkındalık sayesinde uzay projelerindeki planlamamız daha sağlıklı olacak, Türkiye'nin uzaydaki varlığı daha güvende olacaktır.

BÜYÜK TÜRK MİLLETİNİN VAKFI

TÜRK SİLAHLI KUVVETLERİNİ GÜÇLENDİRME VAKFI

YÜCE MİLLETİMİZİN BAĞIŞLARIYLA KURULAN VAKFIMIZIN

35.

KURULUŞ YIL DÖNÜMÜ KUTLU OLSUN

aselsan TÜRKHAVACILIK UZAYSANAYİİ roketsan HAVELSAN İSBİR aspilsan

ASELSAN KONYA SİLAH SİSTEMLERİ FABRİKASI AÇILDI

Milli Savunma Bakanı Hulusi Akar ile Sanayi ve Teknoloji Bakanı Mustafa Varank, Cumhurbaşkanımız Recep Tayyip Erdoğan tarafından açılışı gerçekleştirilen ASELSAN Konya Silah Sistemleri Fabrikasında incelemelerde bulundu.

Bakanlar Akar ve Varank'ı açılış öncesi geldikleri ASELSAN Konya Silah Sistemleri Fabrikasında, Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, Milli Savunma Bakan Yardımcısı Alpaslan Kavaklıoğlu, ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün, TBMM Sanayi, Ticaret, Enerji, Tabii Kaynaklar, Bilgi ve Teknoloji Komisyonu Başkanı Ziya Altunyaldız, ASELSAN Konya Yönetim Kurulu Başkanı Nuh Yılmaz ve diğer yetkililer karşıladı.

Şeref defterini imzalayan Bakanlar Akar ve Varank'a, yeni nesil elektronik harp sistemi Koral 2 ile ALKAR 120 mm Havan Silah Sistemi maketleri takdim edildi. Daha sonra Akar ve Varank, Cumhurbaşkanı Erdoğan'ın gerçekleştireceği açılış öncesi fabrikadaki hazırlıkları inceledi, fabrikanın faaliyetlerine ilişkin bilgi aldı.

ASELSAN KONYA SAVUNMA SANAYİSİNDE ÜRETİM MERKEZİ OLACAK

Cumhurbaşkanı Erdoğan'ın resmi açılışını gerçekleştirdiği ASELSAN Konya, hava savunma, uzaktan komutalı silah sistemleri ve elektrik tahrikli otomatik topların üretimiyle Türk savunma sanayisinin gücüne güç katıyor. Özgün ürünlerin geliştirildiği ASELSAN Konya'nın, teknik altyapısı ve üretim kapasitesiyle savunma sanayisi

ihracatına katkı sağlaması hedefleniyor. ASELSAN Konya Silah Sistemleri Fabrikası, 17 Aralık 2020'de 65 milyon dolar proje sermayesiyle kuruldu. Savunma sanayisi için özgün ürünlerin geliştirildiği ASELSAN Konya'da, yüz on altısı mühendis iki yüz seksen altı personel istihdam ediliyor.

ASELSAN'ın uzaktan komutalı silah sistemleri (UKSS) üretimlerinin aktarıldığı ASELSAN Konya'da, UKSS'lerin tedarik, üretim, entegrasyon, test ve kalite faaliyetleri yürütülüyor. Uzaktan Komutalı Silah Sistemleri (UKSS) alanında dünya genelinde çok önemli bir pazar payına sahip ASELSAN, bu alandaki üretimlerini ASELSAN Konya'ya aktardı. Söz konusu alandaki tüm tedarik, üretim, entegrasyon, test ve kalite faaliyetleri ASELSAN Konya tarafından yürütülecek.

ASELSAN Konya tarafından UKSS'ler dışında şu anda sözleşmeleri imzalanmış olarak yürütülen silah tasarım ve üretim projeleri bulunuyor. Türkiye'nin ihtiyacı olan çap ve kalibrelerde üretilecek olan mevcut ürünlere ek olarak ihtiyaç olması halinde 75 mm'ye kadar namlu ve silah üretimi altyapısı bulunuyor. ASELSAN Konya, ürettiği ve geliştirdiği silah ve silah sistemlerinin en güncel teknolojiler kullanılarak atışlı testlerinin yapılmasına yönelik 200 metre kapalı atış alanı altyapısına da sahip.

ASELSAN VE KARSAN'DAN YERLİ VE MİLLİ **ELEKTRİKLİ MİNİBÜS**

ASELSAN ve KARSAN, modern ve çevreci ulaşım için yerli ve milli iş birliğine imza attı. İş birliği kapsamında KARSAN, e-JEST modelini ASELSAN çekiş sistemi ile donatılmış olarak üretecek. Tam bağımsız tedarik zinciri ekosistemi için batarya sistemi de ülkemizin akü, batarya ve pil ihtiyacını milli olarak karşılayan ASPİLSAN Enerji tarafından üretilecek.

Anlaşma kapsamında KARSAN, yeni e-JEST modelini ASELSAN çekiş sistemi ile donatılmış olarak üretecek. Yerli ve milli elektrikli çekiş sistemi olarak, 65 kWh kapasiteye sahip batarya, 70 Kw güce sahip elektrik motoru, motor sürücüsü, araç kontrol bilgisayarı, sürücü görüntüleme paneli ve şarj kontrol ünitesi yer alacak. Tam bağımsız tedarik zinciri ekosistemi için batarya sistemi de ülkemizin akü, batarya ve pil ihtiyacını milli olarak karşılayan ASPİLSAN Enerji tarafından üretilecek. İki adedi katlanır olmak üzere toplam on iki koltuk sayısına sahip olacak Karsan e-JEST'ler, ASELSAN hızlı şarj altyapısı ile yaklaşık bir saatte şarj olacak.

ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün, üretilecek yerli ve milli elektrikli araçlar için şu değerlendirmede bulundu: "ASELSAN mühendislerinin milli imkânlarla geliştirdiği teknolojiler, ülkemizin gerekli gördüğü her alanda yetkin ürünlere dönüşüyor. Askeri alanda kendini ispat etmiş bir şirket olarak, komuta-kontrol, güç elektroniği, motor kontrol ve görev bilgisayar sistemleri gibi konularda sahip olduğumuz bilgi birikimi ve deneyimlerimizi elektrikli araç sektörüne aktardık. Yerli ve milli elektrikli araç sistemlerinin yaygınlaşarak ülkemizde bu konuda bir ekosistemin oluşması için çalışıyoruz. Bunun için bizleri Sanayi İşbirliği Projeleri (SİP) ile teşvik eden Sanayi ve Teknoloji Bakanlığımıza teşekkür ediyoruz."

ASELSAN ile yaptıkları anlaşmanın son derece önemli olduğunu vurgulayan KARSAN CEO'su Okan Baş, "KARSAN olarak tüm proje ve iş birliklerimizle geleceğin teknolojilerine öncülük ediyor, toplu ulaşım alanındaki çözümlerimizi bu bakış açısıyla şekillendiriyoruz. Avrupa'nın farklı ülkelerinde yüzde 100 elektrikli araçlarımızla hizmet vererek ülkemizi temsil ediyoruz. Şimdi de Avrupa'da elektrikli minibüs pazarının iki yıldır üst üste lideri olan KARSAN e-JEST modelimizin ASELSAN çekiş sistemi ile donatılmış yeni versiyonunu üretiyoruz. Türkiye'de modern ulaşım dönüşümü anlamında, böylesine örnek bir çalışmaya imza attığımız için son derece gururluyuz. Bu adımımızın; benzer iş birlikleri için emsal teşkil edeceğine inanıyorum" dedi.

GÖKER GÖREVE HAZIR

ASELSAN öz kaynakları ile geliştirilen GÖKER 35mm Çok Maksatlı Silah Sistemi, başarı ile tamamlanan testler neticesinde, GÖKER sınır ve üs savunmasında göreve hazır olduğunu gösterdi.

Mini/mikro İHA sınıfında yer alan oldukça küçük ve zorlu hedefleri beklenenin çok üzerinde menzillerde imha etmeyi başaran sistem, aynı zamanda kara hedeflerine karşı da oldukça uzun menzillere kadar etkin olduğunu kanıtladı.

GÖKER Sistemi, sabit tesis ve sınır bölgelerinde konuşlanmak üzere, güncel çok alçak irtifa hava savunma ihtiyaçlarına ve kara tehditlerine karşı cevap verecek şekilde tasarlandı. Sistem, 35mm Parçacıklı Mühimmatın (ATOM, ATOM-AntiİHA) güç çarpanı olarak kullanımı ile hava hedeflerine (Mini/Mikro İHA'lar, maket uçaklar, helikopterler vb.) karşı 4 km'ye kadar; kara hedeflerine karşı ise zırh delici mühimmat (APDS), yüksek patlayıcılı yangın mühimmatı (HEI) ve ATOM mühimmatları sayesinde, 5 km+ menzilde yüksek etkinlik sağlamaktadır. Sistem, geniş yükseliş ekseni kapsaması (350/+950) ile özellikle dağlık alanlarda düşük alçalış açılarına atış imkân sağlaması sayesinde hem kara hem de hava hedeflerine karşı yüksek başarımı ile göreve hazır.

MURAD'IMIZA ERDİK

ASELSAN tarafından yerli olarak geliştirilen ve hem F-16 ÖZGÜR Projesi hem de AKINCI TİHA'da kullanılması planlanan MURAD AESA Burun Radarı, Ankara Gölbaşı yerleşkesinde gerçekleştirilen etkinlikte sergilendi. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, ASELSAN Gölbaşı yerleşkesini ziyaret ederek F-16 savaş uçaklarının modernizasyonunu içeren Özgür Projesi ile ilgili incelemelerde bulundu.

Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, Özgür projesine ilişkin olarak, "F-16'larımızın çeşitli modelleri var. İlk modellerinden başlamak üzere bu uygulama şu anda hayata geçiriliyor olacak. Adım adım F-16'larımız çok daha ileri kabiliyetlere sahip, modernize olmuş şekilde Hava Kuvvetlerimizin hizmetine devam edecekler" dedi.

Demir; projenin, ASELSAN ve Türkiye Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.'nin (TUSAŞ) öncülüğünde yürütüldüğünü söyleyerek, "Uzun zamandır konuşageldiğimiz Özgür projemizle ilgili çalışmaların meyvelerini görmek ve bundan sonraki çalışmaların takvimi ile ilgili arkadaşlarımızla yol haritamızı paylaşmak adına görüşmeler yapıyoruz. Tabii TUSAŞ ve ASELSAN öncülüğünde savunma sanayii sektörümüzün oyuncularının bütün kabiliyetleri ile iştirak ettiği bir projeden bahsediyoruz. 'Gözümüz yükseklerde' diyoruz. İstiklal ve istikbal mücadelesinden bahsediyoruz. Malumuz, bugün Ulu Önder Mustafa Kemal Atatürk'ün vefat yıl dönümü. Onun da işaret ettiği gibi 'İstikbal göklerdedir' lafını biz 'İstikbal ve istiklal mücadelesinde de göklere hakimiyet önemlidir' diyoruz" diye konuştu.

SON DERECE MODERN RADAR

MURAD Projesi ile bir dizi ürünün millileştirilmesi ve milli silahların kullanılmasının mümkün olacağını kaydeden Demir, “Son derece modern bir radar. Şu anda dünyada en ileri ölçülerde uygulanan radarlara muadil bir radar geliştirme projesi. Üzerine koyduğumuz, kokpitteki aksamların tamamen dijitalleştirilmesi ve bir dizi ürünün millileştirilerek artık tamamen Türk sistemlerinin üzerine entegre edilebileceği, milli silahlarımızın kullanılabileceği bir uçaktan bahsediyor olacağız” dedi.

Yapılan çalışmaların Milli Muharip Uçağa (MMU) da temel oluşturacağını dile getiren Demir, “Tabii bu aşamada yapılan çalışmalar MMU yolculuğumuzun temel taşlarını da teşkil ediyor. Biz MMU çalışmalarına sıfırdan başlamadık. Bütün bu çalışmalar, işte oraya giden yolda atılan adımlardır. Burada kazandığımız her türlü kabiliyetin bir adım daha ötesini MMU’da kullanıyor olacağız. F-16’larımızın çeşitli modelleri var. İlk modellerinden başlamak üzere bu uygulama şu anda hayata geçiriliyor olacak. Adım adım F-16’larımız çok daha ileri kabiliyetlere sahip, modernize olmuş şekilde Hava Kuvvetlerimizin hizmetine devam edecekler” diye konuştu.

AKINCI’MIZA DA KISA SÜREDE TAKACAĞIZ

Proje ile geliştirilen radarların ilk olarak AKINCI silahlı insanız hava aracında kullanılacağını söyleyen Demir, “Bugün gördüğümüz ‘Aktif Faz Dizinli Radar’ dediğimiz radarımızın da aslında ilk uygulamasını da insansız sistemlere yani AKINCI’mıza çok kısa sürede takacağız. Daha sonra da F-16’larımıza, daha sonra diğer modellerinde ve MMU’da da bu tür radarı ve ilgili elektronik sistemleri görüyor olacağız. Bu, önemli bir kabiliyet artışı anlamına geliyor. Türkiye’nin hava gücünü, hava-yer, hava-hava mücadelelerindeki etkinliğini çok daha artıracak sistemlerle devrede olacağız inşallah” dedi.

TOBB VE ASELSAN'DAN GÜÇ BİRLİĞİ

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) ile ASELSAN, KOBİ'ler için Millileştirme ve Tedarikçi Geliştirme Programı Protokolü imzaladı.

Törene; TOBB Başkanı M. Rifat Hisarcıklıoğlu, Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün ve TOBB ETÜ Rektörü Prof. Dr. Yusuf Sarınay katıldı.

TOBB Başkanı M. Rifat Hisarcıklıoğlu yaptığı değerlendirmede, bir dünya markası haline gelen ASELSAN ile birlikte yeni iş birlikleri başlattıklarına işaret ederken, "Biz millet olarak önce tarım devrimini sonra da sanayi devrimini ıskaladık. Bunun sıkıntısını da on yıllar boyunca yaşadık. Şimdi dünya, yeni bir teknoloji devriminin eşiğinde. Biz de artık geç kalmadan bunu yakalamak istiyoruz" ifadesini kullandı.

TOBB Başkanı Hisarcıklıoğlu, imzaladıkları protokolle savunma sanayisi sektöründe, ASELSAN'ın tedarik zincirine katılabilecek KOBİ'lerin sayısını artırmayı amaçladıklarını, böylelikle daha çok KOBİ'nin ASELSAN'ın yerlileştirme ve millileştirme programlarına katkı sunmasını istediklerini belirtti. Hisarcıklıoğlu, "Bu protokol ile ASELSAN'ın gelişiminde üye firmalarımızın savunma sanayisi ekosistemine kazandırılmasını hedefliyoruz. Ülkemizin bağımsız savunma sanayisi seferberliğinde yer alacak firmalara daha fazla teşvik ve destekler sağlamasını da arzu ediyoruz" ifadesini kullandı.

STRATEJİK ALANLARDA MİLLİLEŞTİRME VE YERLİLEŞTİRME

Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir törende yaptığı konuşmada, özellikle stratejik alanlarda millileştirme ve yerlileştirmeden taviz vermediklerine vurgu yaptı. İş dünyasının çatı kuruluşu TOBB'un desteğini de çok önemsediklerini bildiren Prof. Dr. İsmail Demir "Hep birlikte yürüyeceğiz, başarmaktan başka şansımız da yok" diye konuştu. ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün, Anadolu'da TOBB'un geniş bir networkü bulunduğunu belirterek "TOBB iş birliği ile Türkiye'nin her yanından firmaya ulaşmayı, bağımsız savunma sanayisi yolunda değerli buluyoruz" dedi.

2004 yılından bu yana yerlilik oranını artıran ASELSAN, her geçen gün rekoru tazeleyerek yüzde 70'in üzerine çıkarmayı başardı. ASELSAN, elliye yakın ilden üç bin beş yüzün üzerinde aktif tedarikçi ile ulaşılan bu başarıyı daha ileriye götürme amacıyla yeni bir iş birliğine imza attı.

Amacı birlik ve dayanışmayı artırmak olan Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği ile atılan imzalar sayesinde sanayi veri tabanına kayıtlı doksan beş bin tedarikçi faaliyet alanları ve yetkinliklerine göre değerlendirilerek ASELSAN'ın yerlileştirme ve millileştirme çalışmalarına katkı sağlanacak. İhtiyaç alanları doğrultusunda ilgili tedarikçiler ile bir araya gelinecek ve firmaların yetkinlik konusunda desteğe ihtiyaç duyması halinde TOBB gerekli rehberliği yapacak.

KUANTUM TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi (ETÜ) ve ASELSAN, Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı'nın koordinasyonunda teknolojik alanda güç birliği yaptı. TOBB ETÜ Teknoloji Merkezinde düzenlenen törenle Kuantum Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı (KUANTAL) hizmete girdi.

Törene; TOBB Başkanı M. Rifat Hisarcıklıoğlu, Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün ile TOBB ETÜ Rektörü Prof. Dr. Yusuf Sarınay katıldı.

TOBB Başkanı M. Rifat Hisarcıklıoğlu, ASELSAN'ın Kuantum Teknolojileri Araştırma Laboratuvarını TOBB ETÜ'de açarak; Ar-Ge ve yenilik çalışmalarının ivme kazanmasını, insan kaynağının güçlendirilmesini, uluslararası iş birliklerinin ve rekabet güçlerinin artırılmasını ve üniversite-sanayi iş birliğinin perçinlenmesini amaçladıklarını ifade etti.

Kuantum teknolojileri alanındaki adımları çok önemsediklerini anlatan Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanı Prof. Dr. İsmail Demir, Türkiye'nin bütüncül ve kapsayıcı bir yaklaşımla bu tür teknolojilerde yol alabileceğini söyledi.

ASELSAN Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü Prof. Dr. Haluk Görgün, "Radarlar, kripto ve haberleşme, konumlama gibi birçok yüksek teknolojide kuantum çağına giriyoruz. KUANTAL, milli kuantum teknolojilerine destek olacak. Üniversitelerimizle bu alanda yeni çalışmalara ve iş birliklerine imza atmayı sürdüreceğiz" diye konuştu.

DÜNYANIN GELECEĞİ KUANTUM TEKNOLOJİLERİNDE

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi yerleşkesinde kurulan laboratuvarda yürütülecek projeler ile Türkiye'nin kuantum teknolojilerindeki bilgi birikimi ve teknoloji hazırlık seviyesi artırılarak ASELSAN üzerinden yerli ve milli sistemlere dönüştürülmesi amaçlanıyor.

ASELSAN bünyesinde Kuantum sistemlerini içeren savunma ve sivil çözümler alanında altı farklı proje devam ediyor. İlgili projelerde alt yüklenici olarak TOBB ETÜ, Gebze Teknik Üniversitesi, Özyeğin Üniversitesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve Sabancı Üniversitesi ile ortak çalışmalar yürütülüyor. Söz konusu projeler kapsamında laboratuvar çalışmalarını yürütmek üzere Kuantum Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı kuruldu. KUANTAL bünyesinde Kuantum Algılama ve Sensörler, Kuantum Kriptoloji ve Haberleşme, Kuantum Hesaplama ve Bilgisayar ile Kuantum Saatler ve Navigasyon alanında çalışmalar yapılacak. KUANTAL'daki çalışmalar ile ASELSAN sistemlerinde çalışacak savunma sanayisine yönelik Kuantum Kriptoloji Cihazları, Kuantum RADAR, Kuantum LİDAR, Kuantum Pasif Algılama Sistemleri, İleri Tıbbi Kuantum Görüntüleme Sistemleri, Kuantum Görev Bilgisayarları, Kuantum İnternet ve Direkt Haberleşme Sistemleri geliştirilmesi hedefleniyor.

2022 yılı Nobel Fizik Ödülü de kuantum dolanıklık alanındaki çalışmalara ithaf edildi. Bu çalışmalarda, kuantum mekaniğinin lokal olmayan doğasının doğrulanmasıyla özellikle kuantum dolanıklığa sahip parçacıkların evrenin iki ucunda olsalar dahi her zaman aynı deneysel ölçüm sonuçlarına sahip olacağı kanıtlandı.

TÜRK SİLAHLI KUVVETLERİNİ GÜÇLENDİRME VAKFI

AŞKLA
COŞKUYLA
HEYECANLA
ORDUMUZU
GÜÇLENDİRİYORUZ

TÜRKİYE İŞ BANKASI TL TR84 0006 4000 0014 2380 8100 00	Tüm operatörlerden 1987'ye gönderilen her kısa mesaj ile 10 TL bağışta bulunabilirsiniz.			
TÜRKİYE İŞ BANKASI EURO - SWIFT: ISBKTRIS TR28 0006 4000 0024 2384 0800 00	TÜRKİYE İŞ BANKASI USD - SWIFT: ISBKTRIS TR85 0006 4000 0024 2383 9100 00	T.C. ZİRAAT BANKASI TL TR07 0001 0017 4506 0317 4150 39	GARANTİ BANKASI TL TR71 0006 2000 1140 0006 2970 83	HALK BANKASI TL TR37 0001 2009 4520 0016 0019 87
ZİRAAT KATILIM BANKASI A.Ş. TL TR13 0020 9000 0005 7968 0000 01	AKBANK TL TR59 0004 6008 3288 8000 0088 88	VAKIF KATILIM BANKASI A.Ş. TL TR68 0021 0000 0001 9870 0000 01	ŞEKERBANK TL TR37 0005 9000 6013 0006 0076 22	TEB BANKASI TL TR13 0003 2000 0000 0067 1985 71

TSKGV, CUMHURBAŞKANLIĞININ 22 MART 2021 GÜN VE 3736 SAYILI KARARI İLE İZİN ALMADAN YARDIM TOPLAYABİLEN KURULUŞLARDAN SAYILMIŞTIR.

Remzi Oğuz Arık Mah. Paris Cad. Yazarlar Sk. No:4 Çankaya/ANKARA
Genel Müdürlük Tel: 0 312 468 87 88 - E-posta: bagis@tskgv.org.tr

aselsan TÜRKHAVACILIK UZAYSANAYİİ roketsan HAVELSAN İSBİR aspilsan

ASELSAN 1975 Sizlerle!

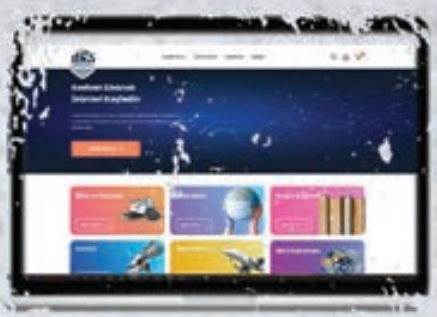
Bir mağaza

Macunköy Yerleşkesi

Farklı Koleksiyonlar

Farklı Renk Seçenekleri

7/24 Hizmetinizde



www.aselsan1975.com

Sizden Aldığımız İlhamla Sizlerle

1975 aselsan

aselsan

asildernegi.org.tr

Yapacağınız bağışlar ile

geleceğe umut, hayata değer katıyoruz.

Bağış Hesap Numaralarımız

YAPI VE KREDİ BANKASI OSTİM ŞUBESİ

Şube Kodu: 602
Hesap No: 59468139
Para Cinsi: TL
Iban No: TR13 0006 7010 0000 0059 4681 39

Şube Kodu: 602
Hesap No: 59430336
Para Cinsi: USD
Iban No: TR60 0006 7010 0000 0059 4303 36

Şube Kodu: 602
Hesap No: 59451723
Para Cinsi: EUR
Iban No: TR52 0006 7010 0000 0059 4517 23

asil
Geleceğe Umut Hayata Değer
ASELSAN SOSYAL İNOVASYON LİDERLERİ YARDIMLAŞMA DERNEĞİ