

Uzayın Stratejik Dönüşümü

Devletler ve Ticari Sistemler

M. Ebuzer AKTAŞ



KÜME | RAPOR
NİSAN 2026



Uzayın Stratejik Dönüşümü

Devletler ve Ticari Sistemler

M. Ebuzer AKTAŞ

NİSAN 2026
KÜME | RAPOR



Bu raporu aşağıdaki şekilde alıntalayabilirsiniz:

Aktaş, M. Ebuzer. *Uzayın Stratejik Dönüşümü: Devletler ve Ticari Sistemler*. Kültür Medeniyet Vakfı. Nisan 2026.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.19047172>

M. Ebuzer AKTAŞ

Boğaziçi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler bölümünde lisans eğitimini tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimini Marmara Üniversitesi Orta Doęu ve İslam Ülkeleri Enstitüsünde sürdürmektedir. Küme Vakfı'nda araştırmacı olarak çalışan Aktaş; teknoloji politikaları ile yükselen teknolojilerin sosyal ve siyasal etkileri üzerine çalışmalarını sürdürmektedir. Arapça ve İngilizce bilmektedir.

İllüstratör: Ahmet Berat AKYOL

COPYRIGHT © 2026

Bu yayının tüm hakları Kültür Medeniyet (KÜME) Vakfı'na aittir. KÜME'nin izni olmaksızın yayının tümünün veya bir kısmının elektronik veya mekanik (fotokopi, kayıt ve bilgi depolama vd.) yollarla basımı, yayımı, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. Kaynak göstermek suretiyle alıntı yapılabilir. Bu yayındaki fikirler tamamen yazarına aittir ve Kültür Medeniyet Vakfı'nın yayın politikasını yansıtmayabilir.

KÜME | İstanbul

Fenerbahçe Mahallesi, Şehit Ümit Yılbar Sk. No:1 Kadıköy/İstanbul

iletisim@kumevakfi.com

İçindekiler

| | |
|---|-----------|
| Özet | 1 |
| Giriş | 3 |
| Uzay Sistemlerinin Serüveni | 6 |
| Tarihsel Gelişim | 6 |
| Uzay Sistemleri Bileşenleri | 8 |
| Yeniden Kullanılabilirlik ve Ticari Fırlatma Ekonomisinin Dönüşümü | 11 |
| Starshield ve Starlink'in Askeri Kullanımları | 15 |
| Ukrayna Örneği | 16 |
| Gazze Örneği | 17 |
| Kessler Sendromu ve Çevre Güvenliği | 19 |
| Sonuç: Uzayda Yeni Risk Alanları | 22 |
| Kaynakça | 24 |

Özet

Bu rapor, Soğuk Savaş sonrası dönemde hızlanan ticarileşme, maliyet devrimi ve teknolojik dönüşüm süreçleriyle uzayın stratejik konumunu uydu kümeleri üzerinden analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren uzayda süregelen askeri rekabetin günümüzde yine devletlerarası devam ettiğini fakat yarışın artan ölçüde ticari şirketler üzerinden yürütüldüğünü ileri sürmektedir. Bu bağlamda çalışma, alçak Dünya yörüngesinde (LEO) yoğunlaşan uydu kümelerinin kullanımına odaklanmaktadır. İletişim, istihbarat, navigasyon ve veri akışı açısından devletlerin işleyişinde merkezi bir rol üstlenmekte olan uydu kümeleri, uzayı hem kritik bir altyapı katmanı hem de yeni risk alanlarının üretildiği bir zemin haline getirmektedir.

Yeniden kullanılabilir roket teknolojileri ve ticari fırlatma pazarındaki yapısal değişim, uzaya erişim maliyetlerini dramatik biçimde düşürerek küçük uydu üretimini ve seri konuşlandırmayı mümkün kılmıştır. Bu gelişme, gelecekte sınırlı sayıda ve yüksek maliyetli platformlara dayanan uzay mimarisini daha esnek ve daha yoğun bir yapıya dönüştürmüştür. Çalışma, bu dönüşümü analiz edebilmek için uzay faaliyetlerini mümkün kılan sistemi bütüncül bir mimari çerçeve içinde ele almaktadır. Bu kapsamda uzay sistemi; erişim (fırlatma) katmanı, uzay katmanı (yörüngedeki platformlar), yer kontrol katmanı ve son kullanıcı katmanı olmak üzere birbirine bağımlı dört temel bileşen üzerinden incelenmektedir.

Rapor, özellikle mega uydu kümelerinin yarattığı çifte kullanım sorununa odaklanmaktadır. Ticari iletişim sistemleri, askeri komuta-kontrol süreçlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelebilmektedir ve bu nedenle sivil–askeri ayrımını bulanıklaştırmaktadır. Ukrayna Savaşı örneği, ticari bir uydu sisteminin modern savaşta belirleyici olabileceğini göstermiştir. Ancak bu gelişme ticari altyapıların meşru askeri hedef olarak değerlendirilmesi riskini de beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda İsrail’in Gazze’de sürdürdüğü savaş ve bölgeyi bütünüyle tecrit etme politikasının uzantısı olarak, uzay temelli internet erişimini de engellediği görülmektedir. Bu engellemeyi yapabilmemesi; internet sağlayıcılarının, İsrail ile çok sıkı ilişkileri olan ABD menşeli firmalar olmasından kaynaklı olduğu görülmektedir.

Rapor, uzayda artan yoğunluğun stratejik rekabetin yanında çevresel sürdürülebilirlik meselesi olduğunu da vurgulamaktadır. Alçak yörüngede hızla artan uydu ve enkaz sayısı, çarpışma risklerini yükseltmekte ve literatürde “Kessler Sendromu” olarak anılan zincirleme enkaz üretimi senaryosunu daha olası hale getirmektedir. Bu senaryo, askeri ya da ticari aktörleri etkilemekle kalmayıp küresel iletişim ağlarını ve genel itibarıyla yerküreyi tehdit eden bir güvenlik problemine işaret etmektedir. Yörüngesel çevrenin geri döndürülemez biçimde kirlenmesi ihtimali, uzayı stratejik üstünlük mücadelesinin ötesinde, kolektif bir yönetim ve sürdürülebilirlik alanı olarak ele almayı zorunlu kılmaktadır.

Metin ayrıca uydu sistemlerinin artan çifte kullanım niteliğinin, uzay alanında yeni hukuki ve güvenlik tartışmalarını beraberinde getirdiğini ortaya koymaktadır. Ticari haberleşme ve veri altyapıları, kriz ve çatışma ortamlarında askeri koordinasyon süreçlerine entegre olabilmekte; bu durum sivil ve askeri faaliyetler arasındaki sınırları giderek daha belirsiz hale getirmektedir. Devletlerin kendi askeri sistemlerini geliştirmek yerine ticari uydu ağlarından kapasite kiralaması veya veri hizmeti satın alması, operasyonel esnekliği artırırken ticari altyapıları fiilen çatışma dinamiklerinin parçası haline getirmektedir. Bu tablo, uluslararası uzay hukukunun devlet merkezli yapısı karşısında önemli sorumluluk ve hesap verebilirlik boşlukları oluşturmakta; bir ticari sistemin askeri amaçlarla kullanılması durumunda bu sistemlerin meşru hedef sayılıp sayılmayacağı sorusunu gündeme getirmektedir.

Çalışma, uydu kümeleriyle somutlaşan yeni uzay mimarisinin, devletler ile ticari aktörler arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlayan çok katmanlı bir stratejik yapı ürettiğini ortaya koymaktadır. Uzaya erişim maliyetlerinin düşmesi ve seri üretim kapasitesinin artması, yörüngede yoğun, esnek ve süreklilik sağlayan altyapılar oluşturmuştur. Bu altyapılar hem ekonomik faaliyetlerin hem de güvenlik pratiklerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Ancak aynı süreç, sivil ve askeri kullanım sınırlarını belirsiz hale getirmekte, ticari sistemleri çatışma dinamiklerine dolaylı biçimde dahil etmekte ve mevcut uluslararası hukuk çerçevesinde sorumluluk boşlukları yaratmaktadır. Buna ek olarak LEO'daki yoğunluk ve enkaz riski, uzay faaliyetlerini rekabet bağlamının ötesinde, sürdürülebilirlik ve kolektif güvenlik perspektifiyle ele almayı zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla rapor, uzay alanındaki gelişmelerin teknik ilerleme ya da piyasa genişlemesinin siyasi boyutlarını merkeze alsada; altyapı bağımlılığı, düzenleme kapasitesi ve uzun vadeli istikrar açısından bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktadır.

Giriş

Uzay, Soğuk Savaş'tan itibaren uluslararası rekabet, caydırıcılık ve büyük güç mücadelesinin doğrudan bir unsuru olarak ele alınmıştır. 1980'lerde hızlanan uydu teknolojileri ve fırlatma kapasitesindeki gelişmeler ile 2000'li yıllarda ticari aktörlerin artan rolü ve çift-kullanımlı (dual-use) sistemlerin yaygınlaşması, uzayın yalnızca askeri rekabetin sahnesi değil aynı zamanda ekonomik ve sivil altyapıların da taşıyıcısı haline gelmesine imkan sağlamıştır. Bugün de yörüngede konumlanan altyapılar,¹ iletişimden istihbarata ve navigasyondan erken uyarı sistemlerine kadar modern devletlerin ve devlet dışı aktörlerin işleyişini mümkün kılan temel hizmetleri sunmaktadır. Bu bakışın dönüşümü uzayın Soğuk Savaş'tan beri "son sınır" olarak romantize edilen bir boşluk olduğu düşüncesini değiştirmiş, onun ötesinde Dünya'daki güç ilişkilerini doğrudan etkileyen, ona bitişik ve onunla süreklilik arz eden bir stratejik coğrafya olarak görülme düşüncesini gündeme getirmiştir.

Uzay gücüne dair erken dönem yaklaşımlar, çoğu zaman uzaydaki gelişmelerin Dünya'daki sonuçları otomatik olarak belirlediği varsayımına dayanan determinist bir bakış açısını benimsemiştir. Bu bağlamda, dönemin ABD Hava Kuvvetleri Komutanı General White, Kasım 1957'de National Press Club'da yaptığı bir konuşmada, "uzayı kontrol etme kapasitesine sahip olanın, yeryüzünün yüzeyi üzerinde de kontrol kurma kapasitesine sahip olacağını" ifade etmiştir.² Bu anlayış, uzayın kontrol edilmesinin yeryüzündeki hakimiyetle doğrudan ve kaçınılmaz biçimde örtüştüğünü ima eder. Ancak tarihsel deneyimler ve çağdaş güvenlik pratikleri, gücün bu şekilde tek bir alandan mutlak biçimde taşınmadığını göstermektedir.³ Tarihsel olarak deniz gücünün kıtasal savaşların kaderini tek başına belirlemediği gibi, uzay gücü de çoğu zaman dolaylı, destekleyici ve bağlama bağlı bir etki üretir. Bu anlayışı modern stratejik yaklaşımlarda görmek mümkündür. Örneğin; 2019 tarihli bir NATO dokümanı uzayı bir muharebe sahası olmak yerine komuta-kontrol, durumsal farkındalık ve senkronizasyon gibi yer operasyonlarının dayandığı katman olarak konumlandırıyor.⁴ Bu açıdan uzay altyapıları, savaşın merkezinde değil çoğu zaman arka planında işlev görür. İstihbaratın ve iletişimin sürekliliğini sağlarken lojistiği hızlandırır ve ekonomik ağların işlemlerini destekler. Bu etkiler, tekil ve dramatik uzay muharebelerinden ziyade dünya üzerindeki askeri ve siyasi manevraların genel seyrini şekillendirir.⁵

Modern savaşın ve küresel ekonominin artan ölçüde bilgiye, bağlantısallığa ve hassas zamanlamaya dayanması, uzay altyapılarını vazgeçilmez kılmıştır. Bu altyapılar olmadan çağdaş askeri komuta-kontrol sistemlerinin,

1 Örneğin. ABD Hava Kuvvetleri doktrin dokümanlarında uzaya altyapı perspektifiyle yaklaşıldığı görülmektedir: https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/AFDP_3-14/AFDP%203-14%20Space%20Support.pdf

2 Futrell, "Ideas, Concepts, Doctrine: Basic Thinking in the United States Air Force 1907-1960 (Volume 1)," 550.

3 Słomczyńska, I. (2013). *Space Power Theory: A Tailor-made Approach or a New Theoretical Challenge to IR?* Ad Americam, 14

4 <https://www.nato.int/en/about-us/official-texts-and-resources/official-texts/2019/06/27/natos-overarching-space-policy>

5 Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh: Edinburgh University Press. s.105

istihbarat toplama faaliyetlerinin, lojistik zincirlerinin ve hatta finansal işlemlerin sürdürülebilirliği ciddi biçimde zayıflar. Aynı zamanda bu bağımlılık, uzayı rekabet ve çatışma açısından daha görünür bir alan haline getirmektedir. Uydu sistemlerini aksatma, sınırlama ya da devre dışı bırakmaya yönelik kabiliyetlerin yayılması, uzayda yaşanabilecek gerilimlerin doğrudan yeryüzündeki sonuçlarını artırmaktadır.

Bu bağlamda uzay ihmal edilebilecek bir coğrafya olmayıp Dünya merkezli stratejik düşüncenin sınırlarını genişleten, kara, deniz ve hava unsurları ile sürekli etkileşim halinde bir alan olarak ele alınmalıdır. Bu raporun çıkış noktası da, uzayı bir stratejik süreklilik alanı olarak ele alarak bu alanın ticarileşmesini uydu kümeleri üzerinden daha da genişleyen ortam çerçevesinde anlamlandırmaktır.

Çoğu zaman bir altyapı işlevi ifa ettiği düşünülen uzayda bu altyapıları inşa edenlerin artan oranda özel teşebbüsler olması, görece yakın zamanlı bir gelişmedir. Özellikle devlet dışı ticari aktörlerin uzayda artan rolü, klasik devlet merkezli güç anlayışını aşındırmakta; egemenlik ve karar alma süreçlerinin sınırlarını belirsiz hale getirmektedir. Günümüzde ticari bir uzay şirketinin operasyonel tercihleri, bazı durumlarda egemen devletlerin güvenlik kapasitesini, hatta savaşın seyrini belirleyebilecek ölçüde etkili olabilmektedir. Örneğin SpaceX'in sahibi olduğu Starlink ağının Ukrayna'daki kullanımının belirli coğrafi alanlarda sınırlandırılması ya da genişletilmesine ilişkin kararlar, cephedeki birliklerin iletişim ve koordinasyon kapasitesini doğrudan etkilemiştir. Bu durum, bir yandan devlet dışı bir ticari aktörün aldığı operasyonel kararların sahadaki askeri denge üzerinde ölçülebilir sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymuştur.

Ticari ve askeri uzay faaliyetleri arasındaki çizginin giderek belirsizleşmesi, çağdaş uzay siyasetinin en temel kırılma noktalarından birini oluşturmuştur. Mevzunun hukuki tarafı özel kuruluşları kaçınılmaz olarak devlete tabi kılmaktadır. Dış Uzay Antlaşması'nın (*Outer Space Treaty*) 6. maddesine göre; uzaydaki faaliyetler ister devlet kurumlarınca ister devlet dışı (özel) kuruluşlarca yürütülsün, sorumluluk devlete aittir.⁶ Bu çerçevede, özel şirket faaliyetlerini ulusal güvenliğin alanına sokmaktadır. Uzayda aktif devletlerin yakın zamanda attıkları stratejik adımlara bakıldığında da ticari yapının askeri olarak kıymetlendirilmesine önem verildiği görülmektedir. Örneğin; ABD Savunma Bakanlığı (DoD) 2024 tarihli uzay stratejisi dokümanında 'ticari entegrasyon' tabirini ticari uzay çözümlerinin ABD savunma planlama, operasyon, görev ve kabiliyetlerine dahil edilmesi olarak çerçevelemektedir.⁷ Yine ABD Uzay Kuvvetleri "mümkün olan her yerde ticari çözümlerden yararlanma" ve bunları kuvvet mimarilerine/tekliflerine entegre etme yönelimini ortaya koymaktadır.⁸ Bu eğilim, yani askeri kullanıcıların maliyet ve esneklik avantajları nedeniyle ticari haberleşme, konumlama ve yer gözlem sistemlerine giderek daha fazla bağımlı hale gelmesi, uzay altyapısının "çift kullanımlı" niteliğini derinleştirmektedir.⁹ Bu eğilim kısa vadede askeri kapasiteyi güçlendirirken uzun vadede ticari uzay varlıklarını doğrudan çatışmanın bir parçası haline getirme riski taşımaktadır. Bu durum ticari uyduların, hukuken sivil olarak tanımlansalar dahi fiilen askeri işlev gördükleri ölçüde savaş durumlarında "meşru askeri hedef" olarak algılanması fikrine kapı aralamaktadır.¹⁰

Uzay altyapılarının ticarileşmesi ve sivilleşmesi, ilk bakışta devlet-merkezli güvenlik mimarisinin aşındığı, hatta yerini piyasa aktörlerine bıraktığı yönünde bir izlenim üretmektedir. Starlink gibi alçak yörünge uydu takımı yıldızları bu algının en görünür örnekleri arasında yer almakta ve "devletlerden bağımsız hareket edebilen" yeni jeopolitik aktörler olarak tasvir edilmektedir. Ancak bu anlatı, altyapısal gücün nasıl üretildiğini ve sınırlandırıldığını açıklamada yetersiz kalmaktadır.

6 <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

7 <https://media.defense.gov/2024/Apr/02/2003427610/-1/-1/1/2024-DOD-COMMERCIAL-SPACE-INTEGRATION-STRATEGY.PDF>

8 https://www.spaceforce.mil/Portals/2/Documents/Space%20Policy/USSF_Commercial_Space_Strategy.pdf

9 Harrison, T., Johnson, K., & Young, M. (2020). *Defense Against the Dark Arts in Space*. CSIS, s. 4–5.

10 Guiora, A. N. (2011). Determining a legitimate target: The dilemma of the decision-maker. *Tex. Int'l LJ*, 47, 315.

Bu tür ticari uzay sistemlerinin operasyonel esnekliği, devlet otoritesinin gerilediği fikrinin aksine otoritenin dolaylı ve katmanlı biçimde icra edildiğine işaret etmektedir. Starlink'in teknik kapasitesi küresel ölçekte artmış olsa da, bu kapasitenin hangi coğrafyalarda, hangi yoğunlukta ve hangi koşullar altında devreye sokulacağı; şirketin kurulu olduğu devletin lisanslama rejimleri, ihracat kontrolleri, yaptırım politikaları ve ulusal güvenlik öncelikleriyle sıkı biçimde çevrelenmiştir.¹¹ Bu nedenle söz konusu sistemlerin, buldukları devletin stratejik önceliklerine doğrudan aykırı bir şekilde ve bu öncelikleri aşındıracak biçimde hareket edebilmesi yapısal olarak mümkün değildir.

Ticarileşme ve sivilleşme söylemi bu noktada kısmi bir ilüzyon üretmektedir. Bu ilüzyon, özellikle büyük güç rekabetinin merkezinde yer almayan jeopolitik açıdan ikincil veya periferik konumdaki ülkelerde daha görünürdür. Bu tür coğrafyalarda ticari uzay altyapıları, görece düşük politik maliyetle daha geniş bir hareket alanına sahipmiş gibi davranabilmekte; bu da şirketlerin özerkliğine dair algıyı güçlendirmektedir. Oysa bu durum, stratejik ehemmiyetin düşük olmasının sağladığı geçici bir esnekliktir. Aynı altyapılar, büyük güç rekabetinin veya ulusal güvenlik hassasiyetlerinin yoğunlaştığı bir bağlama dahil olduklarında, hızla devlet politikalarının uzantısı haline gelebilmektedir.

Daha da önemlisi bu tür sistemlerin zaman içinde biriktirdiği operasyonel bağımlılık ve stratejik nüfuz altyapıları; nihai olarak şirketlerin ötesinde, bu şirketleri barındıran devletlerin elinde anlam kazanmaktadır. ABD örneğinde Starlink, belirli bir anda ticari rasyonaliteyle şekillenen operasyonel tercihlerini, Washington'ın güvenlik öncelikleri, müttefiklik ilişkileri ve stratejik planlamasındaki güncellemeler doğrultusunda yeniden düzenleyebilmektedir.

Dolayısıyla mesele, devletlerin uzay alanında güç kaybetmesi olmayıp gücü daha az görünür, daha az doğrudan ve daha az hesap verebilir kanallar üzerinden kullanmaya başlamasıdır. Ticari uzay altyapıları, bu dönüşümde ne istisnai ne de devrimci aktörlerdir. Aksine, altyapının bir güç alanı olarak yeniden yapılandırıldığı; egemenliğin ise doğrudan icradan ziyade delegasyon, sözleşme ve düzenleme yoluyla üretildiği hibrit bir güvenlik rejiminin merkezinde yer almaktadırlar.

Bu bağlamda uzay, artık yalnızca devletlerin kendi kurumsal yapılarıyla rekabet ettiği bir alan değil; devletler, özel şirketler ve uluslararası kamuoyu arasında çok katmanlı bir etkileşim sahasıdır. Ticari uzay altyapılarının askeri değeri arttıkça, bu sistemlerin korunması, hedef alınması veya tarafsızlığına ilişkin hukuki ve etik tartışmalar da kaçınılmaz olarak derinleşmektedir. Uzayın kıyasal, erişilebilir ve Dünya'ya bağımlı doğası, bu sorunları daha da keskinleştirmekte; uzayı Dünya siyasetinden kopuk bir alan olmaktan çıkararak yeryüzündeki güç mücadelelerinin doğrudan bir uzantısı haline getirmektedir.¹²

Uzayın ticarileşmesi ve uydu sistemlerinin gelişmesi ve bugünkü haline kavuşmasıyla askeri-sivil kullanımlarının iç içe geçtiği bu süreci anlamlandırmak için bu sistemlerin tarihsel gelişimine bakmak faydalı olacaktır.

11 Harrison, T., & Strohmeyer, M. (2020). *Commercial space remote sensing and its role in national security*. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/commercial-space-remote-sensing-and-its-role-national-security>

12 Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh: Edinburgh University Press, s. 33

Uzay Sistemlerinin Serüveni

Tarihsel Gelişim

Modern uzay faaliyetlerinin kökeni bilimsel keşifler arzusunun yanında askeri zorunluluklar ve büyük güç rekabeti tarafından şekillendirilmiştir. Sürecin başlangıcını İkinci Dünya Savaşı sırasında Nazi Almanyası tarafından geliştirilen V-2 roket programına kadar götürmek mümkündür. Wernher von Braun liderliğinde geliştirilen ve 1944 yılından itibaren Londra ve Anvers gibi şehirleri hedef alan V-2 füzeleri, tarihte ilk kez atmosferin üst sınırına ulaşabilen, balistik yörünge kullanan silah sistemleri olarak öne çıkmıştır.¹³ Her ne kadar operasyonel açıdan savaşın kaderini belirleyememiş olsalar da, bu sistemler modern balistik füze ve uzay roketi teknolojisinin teknik temelini oluşturmuştur.¹⁴ 1945'te savaşın sona ermesiyle birlikte, Alman roket teknolojisi ve insan kaynağı sistematik biçimde galip güçler tarafından devralınmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Operation Paperclip kapsamında Wernher von Braun ve ekibini ülkeye transfer ederken Sovyetler Birliği ise Helmut Gröttrup gibi mühendisleri ve çok sayıda teknik dokümanı kendi balistik füze programına entegre etmiştir. Bu süreç, Soğuk Savaş'ın erken döneminde her iki gücün balistik füze kapasitesini hızla geliştirmesini mümkün kılmıştır.¹⁵

1950'li yılların başından itibaren uzay ve balistik füze programları doğrudan nükleer caydırıcılık (*nuclear deterrence*) stratejisinin bir parçası haline gelmiştir. Sovyetler Birliği, 1957 yılında R-7 Semyorka kıtalararası balistik füzesini başarıyla test ederek nükleer başlık taşıyabilen ilk operasyonel ICBM sistemini geliştiren ülke olmuştur. Aynı yıl, 4 Ekim 1957'de yine R-7 roketi kullanılarak Sputnik-1 uydusunun yörüngeye yerleştirilmesi uzay çağının sembolik başlangıcı olarak kabul edilmiştir.¹⁶ Sputnik'in başarıyla yörüngeye yerleştirilmesi, Sovyetler Birliği'nin bilimsel ve teknolojik kapasitesini tüm dünyaya ilan ederek uluslararası prestijini önemli ölçüde yükseltmiştir. Aynı zamanda, uzaya yük taşıyabilen roket sistemlerinin çalışma prensiplerinin, kıtalararası balistik füzelerle büyük ölçüde örtüşmesi, Sovyetlerin teorik değil pratik bir askeri üstünlüğe de ulaşabileceği ihtimalini güçlendirmiştir. Bu durum, ABD açısından uzayın nükleer caydırıcılık ve güvenlik dengelerinin belirleyici bir alanı haline geldiğini göstermiş, Soğuk Savaş'ın teknolojik boyutunu keskin biçimde derinleştirmiştir.

ABD'nin tepkisi kısa sürede şekillenmiştir. 1958 yılında NASA'nın kurulması, resmi söylemde sivil ve barışçıl amaçlarla uzay araştırmalarını koordine etmeyi hedefleyen bir adım olarak sunulsa da bu girişimin ardında belirgin askeri ve stratejik endişeler bulunmaktaydı. Çünkü uzay teknolojilerinde geri kalma ihtimali; füze teknolojileri,

13 Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh: Edinburgh University Press, s. 19

14 Moltz, J. C. (2019). *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*. New York: Columbia University Press, s. 12

15 McDougall, W. A. (1985). *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*. New York: Basic Books, s. 49

16 McDougall, *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*. 1985

erken uyarı sistemleri ve nükleer caydırıcılık alanlarında zayıflama riskini de beraberinde getiriyordu. Bu nedenle NASA'nın teşekkülü, uzayın bilimsel bir araştırma alanı olmasının yanında, ABD'nin küresel güç dengesi içindeki konumunu koruma ve yeniden tahkim etme çabasının kurumsal bir yansıması olarak değerlendirilmelidir. Aynı dönemde ABD Hava Kuvvetleri ve CIA, uzay tabanlı keşif sistemleri üzerine yoğunlaşmış ve 1960 yılında CO-RONA programı kapsamında ilk başarılı keşif uydusu Discoverer-14 yörüngeden geri dönen film kapsülüyle Sovyet topraklarına ait görüntüler elde etmiştir. Bu gelişme, stratejik istihbaratın insanlı keşif uçaklarından (örneğin 1960'ta düşürülen U-2 uçağı) uzaya kaymasında kritik bir dönüm noktası olmuştur.¹⁷

1960'lı yıllar boyunca uzay, nükleer caydırıcılık mimarisinin tamamlayıcı bir unsuru haline gelmiştir. Erken uyarı uyduları, balistik füze fırlatmalarını tespit etmeye yönelik kızılötesi algılama sistemleri ve haberleşme uyduları, özellikle Küba Füze Krizi (1962) sonrasında stratejik istikrarın sürdürülmesinde hayati rol oynamıştır. ABD'nin Defense Support Program (DSP) uyduları ve Sovyetler Birliği'nin Oko erken uyarı sistemi, nükleer saldırı ihtimaline karşı caydırıcılık doktrininin uzaydaki uzantıları olarak tasarlanmıştır.¹⁸

Bu dönemde uzay, askeri düşüncede giderek "yüksek hakimiyet alanı" olarak kavramsallaştırılmıştır. Alfred Thayer Mahan'ın deniz hakimiyeti teorileri ve Giulio Douhet'nin hava gücü yaklaşımları, Soğuk Savaş stratejistleri tarafından uzay boyutuna uyarlanmış ve yörüngenin kontrolü, yeryüzündeki askeri operasyonları şekillendiren kritik bir üstünlük unsuru olarak görülmüştür.¹⁹ 1967 tarihli Dış Uzay Antlaşması, uzayın barışçıl kullanımını vurgulasa da keşif, erken uyarı ve haberleşme gibi askeri destek faaliyetlerini fiilen meşrulaştırmıştır. Böylece uzayın askeri işlevi hukuki çerçeve içinde kurumsallaşmıştır.²⁰

Bu tarihsel süreç, uzay teknolojilerinin doğuştan itibaren çift kullanımlı karakter taşımasına imkan sağlamıştır. Saturn V gibi ağır taşıyıcı roketlerin kökeni doğrudan balistik füze teknolojisine dayanırken uzaydan elde edilen görüntüleme ve konumlama sistemleri zamanla ticari ve bilimsel alanlara da yayılmıştır. Ancak bu sivil genişleme, uzayın askeri ve stratejik niteliğini ortadan kaldırmamış, aksine uzay altyapılarının küresel güç projeksiyonundaki önemini daha da artırmıştır. Uzay faaliyetlerinin erken tarihi, 1940'lardan 1960'lara uzanan dönemde nükleer caydırıcılık, kıtalararası balistik füze rekabeti ve istihbarat ihtiyaçları tarafından belirlenmiştir.

1980'li yıllardan itibaren uzay sistemlerinin gelişimi, Soğuk Savaş boyunca hâkim olan devlet merkezli, askeri ve istihbari odaklı kullanım paradigmalarının ötesine geçmeye başlamıştır.²¹ Bu dönüşümün arkasında hem teknolojik ilerlemeler hem de ekonomik ve politik tercihlerdeki değişim belirleyici olmuştur. Özellikle mikroelektronik ve haberleşme altyapılarındaki hızlı gelişmeler, uzay sistemlerinin maliyetlerini görece düşürmüş ve daha geniş bir aktör yelpazesinin bu alana erişimini mümkün kılmıştır.²²

Bu dönemde ABD öncülüğünde benimsenen politikalar, uzay faaliyetlerinin özelleştirilmesini ve ticarileştirilmesini teşvik eden bir çerçeve sunmuştur. 1984 tarihli *Commercial Space Launch Act* gibi düzenlemeler, özel sektörün fırlatma hizmetleri ve uydu işletmeciliği alanında faaliyet göstermesinin önünü açmıştır.²³ Benzer biçimde Avrupa'da da Eutelsat ve Inmarsat gibi kuruluşlar, başlangıçta hükümetler arası yapılar olarak kurulmuş olsa da zamanla ticari aktörlere dönüşerek küresel haberleşme pazarının önemli unsurları hâline gelmiştir.

17 Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh: Edinburgh University Press, s. 20

18 Sheehan, M. (2007). *The International Politics of Space*. London: Routledge, s. 69

19 Dolman, E. C. (2002). *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*. London: Frank Cass, s. 6–9, 99–103.

20 Sheehan, M. (2007). *The International Politics of Space*. London: Routledge, s. 45

21 Moltz, J. C. (2014). *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*. New York: Columbia University Press, s. 14

22 Bowen, *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. 2020

23 Logsdon, J. M. (2018). *After Apollo? Richard Nixon and the American Space Program*. New York: Palgrave Macmillan, s. 214–217.

1990'lı yıllarla birlikte uydu haberleşmesi, yayıncılık ve küresel konumlama sistemleri (GPS) sivil kullanımda yaygınlaşmış; uzay altyapıları günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmeye başlamıştır.²⁴ GPS'in askeri kökenlerine rağmen sivil kullanıma açılması, uzay teknolojilerinin çifte kullanım niteliğini somut biçimde ortaya koyan en çarpıcı örneklerden biri olmuştur. Bu süreçte uzay, stratejik üstünlük sağlayan bir askeri alan olmanın ötesinde ekonomik değer üreten hizmet temelli bir sektör olarak yeniden tanımlanmıştır.²⁵

2000'li yıllardan itibaren ise "Yeni Uzay" (*New Space*) olarak adlandırılan yaklaşım bu dönüşümü daha da hızlandırmıştır.²⁶ SpaceX, Blue Origin ve benzeri şirketlerin yeniden kullanılabilir roketler, düşük maliyetli fırlatma sistemleri ve seri üretime dayalı uydu mimarileri geliştirmesiyle uzay faaliyetlerinin ölçeğini ve temposunu köklü biçimde değiştirmiştir. Bu dönemde devletler uzaydan tamamen çekilmemiş; aksine, kamu-özel sektör iş birlikleri aracılığıyla düzenleyici, talep yaratan ve stratejik yönlendirici bir rol üstlenmiştir.²⁷

Bu tarihsel dönüşümle birlikte uzay faaliyetlerinin kimler tarafından ve hangi amaçlarla yürütüldüğünün yanı sıra bu faaliyetlerin hangi teknik ve kurumsal bileşenler üzerinden mümkün kılındığı sorusu da merkezi bir önem kazanmıştır. Devlet odaklı, sınırlı sayıdaki programlardan çok aktörlü, ticari ve yoğun operasyonel yapılara geçiş; uzay sistemlerini soyut bir politika alanı olmaktan çıkarak somut ve birbirine bağlı altyapılar bütünü haline getirmiştir.²⁸ Bu nedenle uzayın askeri ve ticari kullanımındaki bu genişlemeyi sağlıklı biçimde analiz edebilmek için uzay faaliyetlerini mümkün kılan uzay sisteminin temel bileşenlerinin ve bu bileşenler arasındaki işleyişin ele alınması gerekmektedir.

Uzay Sistemleri Bileşenleri

Modern uzay sistemleri, tekil ve bağımsız teknolojik unsurların toplamı olarak değil; birbirine bağımlı, entegre ve çok katmanlı bir mimari çerçeve içinde tasarlanmaktadır. Bu mimari, fırlatma ve erişim kabiliyetlerinden başlayarak yörüngedeki platformlara, yer kontrol katmanı ve son kullanıcıya kadar uzanan kesintisiz bir işleyişi gerektirir. Bununla birlikte sistemin sürdürülebilirliği yalnızca teknik unsurlarla sınırlı değildir; hukuki ve düzenleyici çerçeveler, veri paylaşım rejimleri ve uzay alanı durumsal farkındalığı gibi unsurlar da bu yapının ayrılmaz parçalarıdır. Dolayısıyla etkin bir uzay sistemi; erişim, uzay, son kullanıcı ve yer kontrol bileşenlerini eş zamanlı, koordineli ve uyumlu biçimde işlemesiyle anlam kazanır. Bu bileşenlerden herhangi birindeki zafiyet, sistemin tamamının etkinliğini ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir.²⁹

Erişim katmanı (*Access*), uzay sisteminin ilk sac ayağını oluşturmaktadır. Uyduların yörüngeye taşınmasını mümkün kılan fırlatma araçları ve roket teknolojileri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Roketler genellikle aşamalı olarak yapılandırılmakta olup roketi ve yakıt yükünü yerçekimine karşı kaldırmakla görevlidir. Bu fazın ardından, görevini tamamlayan birinci aşama ağırlığı azaltmak amacıyla ayrılmakta ve genellikle atmosfere geri dönmektedir.³⁰ Son yıllarda SpaceX gibi özel şirketler tarafından geliştirilen yeniden kullanılabilir roket teknolojileri, bu aşamada kullanılan roket bileşenlerinden bir kısmının kontrollü inişini mümkün kılmıştır. İkinci ve sonraki aşamalar, yükü hedef yörüngeye yaklaştırmakta ve nihai aşamalar ise uyduların ayrılması veya hassas yörünge

24 Sheehan, M. (2007). *The International Politics of Space*. London: Routledge, s. 115

25 Moltz, J. C. (2019). *The Politics of Space Security*. Stanford: Stanford University Press, s. 73

26 Moltz, J. *The Politics of Space Security*. 2019

27 Johnson-Freese, J. (2017). *Space Warfare in the 21st Century*. London: Routledge, s. 58

28 Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh: Edinburgh University Press, s. 40

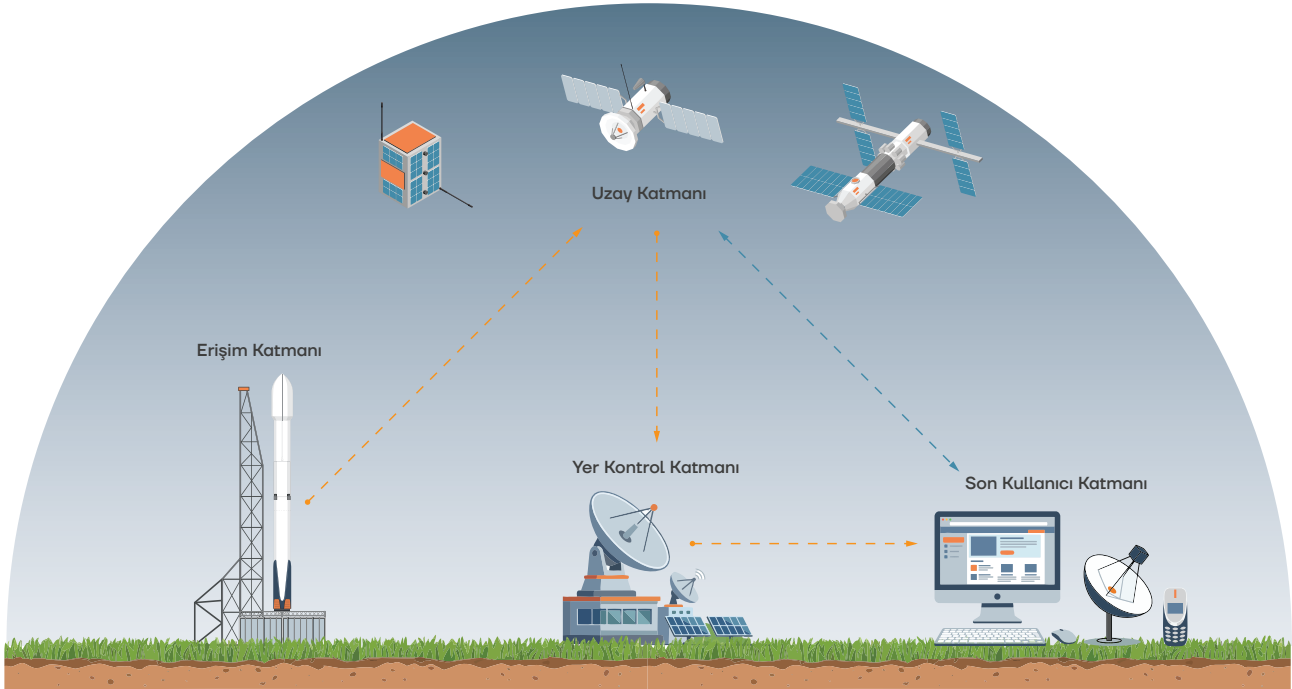
29 Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). *Space Mission Engineering: The New SMAD*. Hawthorne, CA: Microcosm Press, s. 28

30 Moltz, J. C. (2019). *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*. New York: Columbia University Press, s. 18.

konumlandırması görevlerini üstlenmektedir. Bir uydunun uzaya yerleştirilmesi için kritik işlemler dakikalar içerisinde tamamlanmakta, ancak hedef yörüngeye tam yerleşim yörünge eğimi ve irtifaya bağlı olarak saatler sürebilmektedir.

Bu bileşenlerden uzay katmanı (*space segment*), sistemin doğrudan yörüngede faaliyet gösteren ve görev icra eden kısmını ifade etmektedir. Bu kesim haberleşme, gözlem, seyrüsefer ve erken uyarı gibi farklı amaçlara hizmet eden uyduların yanı sıra, bu uyduların oluşturduğu takımyıldızları ve kümelenmeleri kapsamaktadır. Geleneksel olarak sınırlı sayıda, yüksek maliyetli ve uzun ömürlü uydular üzerinden kurgulanan uzay katmanı, son yıllarda küçük uydu teknolojilerinin gelişmesi, standartlaşma ve seri üretim anlayışının benimsenmesiyle birlikte köklü bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşüm, uzay katmanını yalnızca teknik bir unsur olmaktan çıkararak, ekonomik, stratejik ve askeri sonuçlar doğuran dinamik bir alan haline getirmiştir.

Son kullanıcı katmanı (*user segment*), uzay sisteminin çıktılarının son kullanıcıya ulaştırıldığı katmanı ifade etmektedir. Bu kesim, askeri birliklerden sivil altyapılara, bireysel kullanıcı terminallerinden kritik devlet kurumlarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.³¹ Özellikle alçak Dünya yörüngesinde (LEO) faaliyet gösteren çok sayıda küçük uydudan oluşan uydu filoları; daha düşük gecikme süresi ve daha yüksek bant genişliği sunarak geleneksel uydu haberleşme çözümlerine kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. Sürekli hareket hâlindeki bu uydular, kendi aralarındaki veri aktarımını artıran bir oranda *inter-satellite link* (ISL) adı verilen uydular arası haberleşme sistemleri üzerinden gerçekleştirmektedir. Böylece yer kontrol bileşenine bağımlılık kısmen azaltılmakta ve ağırlık dayanıklılığı artırılmaktadır. Kullanıcı terminallerine iletilen yüksek hızlı internet ve veri hizmetleri; düşük güç tüketimi ve küçük anten boyutları sayesinde hem askeri hem de sivil kullanım için erişilebilir hâle gelmektedir.



Uzay Sistemleri Bileşenleri

31 Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (eds.). (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications* (3rd ed.). Boston: Artech House, s. 138

Yer kontrol katmanı (*ground segment*), uzay katmanı ile son kullanıcı katmanı arasındaki merkezi koordinasyon ve kontrol omurgası olarak işlev görmektedir. Yer kontrol katmanı, uydularla çift yönlü haberleşme kurarak yörünge ve zaman bilgilerini sürekli olarak izlemekte ve güncellemektedir. Bu kapsamda dünya geneline yayılmış uydu izleme istasyonları ve takip ağları oluşturulmakta ve elde edilen veriler sistemin beyni konumundaki kontrol merkezlerinde işlenmektedir. Kontrol merkezleri uyduların hassas yörüngelerini hesaplamakta, üzerlerindeki atomik saatleri senkronize etmekte ve sistem için bağımsız bir zaman ölçeği üretmektedir.³² Ayrıca kullanıcıya iletilen uydu sinyalleri içerisine kontrol merkezleri tarafından hesaplanan saat düzeltmeleri entegre edilerek zaman ofsetlerine ilişkin yüksek doğrulukta tahminler sunulmaktadır. Bundan dolayı yer kontrol katmanının sürekliliği ve güvenliği, özellikle askeri ve kritik sivil uygulamalar açısından hayati önem taşımaktadır.

Uzay Alanı Durumsal Farkındalığı (SSA/UDF) ise modern uzay sistemlerinin giderek daha kritik hale gelen bir diğer bileşenidir. UDF, uzay ortamının gerçek zamanlı bir resminin oluşturulmasını sağlayarak potansiyel tehditlerin önceden tespit edilmesine imkan tanımaktadır. Özellikle alçak Dünya yörüngesinde artan uzay çöpü yoğunluğu, çarpışma risklerini ciddi ölçüde artırmakta ve bundan kaynaklı uzay trafik yönetimi ve kaçınma manevralarının etkinliğini zorunlu kılmaktadır. Radarlar, teleskoplar ve diğer gelişmiş sensörlerden elde edilen verilerin birleştirilmesiyle oluşturulan ortak uzay resmi, uydu operatörlerinin varlıklarını korumasını mümkün kılmaktadır. Bunun yanı sıra UDF, karşı-uzay faaliyetleri ve uydusavar (ASAT) sistemlerinin neden olabileceği olayların failinin tespit edilmesini kolaylaştırarak caydırıcılık ve hesap verebilirlik açısından da önemli bir işlev üstlenmektedir.³³

Hukuk, uzay sisteminin çoğu zaman teknik boyutların gerisinde kalan sac ayağını oluşturmaktadır. Uzay faaliyetlerinin düzenlenmesi amacıyla Birleşmiş Milletler bünyesinde 1959 yılında kurulan Birleşmiş Milletler Uzayın Barışçıl Amaçlı Kullanımı Komitesi (UNCOPUOS), bu alandaki en yetkili uluslararası organdır. Bilimsel ve Teknik Alt Komite ile Hukuk Alt Komitesi aracılığıyla UNCOPUOS, uzay hukukunun temelini oluşturan uluslararası anlaşmaların hazırlanmasına ve uygulama kılavuzlarının geliştirilmesine öncülük etmiştir. 1967 tarihli Dış Uzay Antlaşması başta olmak üzere beş temel uluslararası anlaşma, uzayın barışçıl kullanımı, devletlerin sorumlulukları ve uzay varlıklarının hukuki statüsünü belirleyen ana çerçeveyi oluşturmuştur.³⁴

Bu çerçevede özellikle uydu kümeleri, uzay katmanı yapısını ve işlevini yeniden tanımlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Alçak yörüngede konumlandırılan yüzlerce hatta binlerce uydudan oluşan bu yapılar, iletişim ve internet hizmetlerinde süreklilik ve düşük gecikme avantajı sağlarken aynı zamanda istihbarat, gözetleme, hedefleme ve haberleşme gibi askeri kullanım alanlarında da önemli kabiliyetler sunmaktadır.³⁵ Raporda ilerleyen bölümlerde, uydu kümelerinin askeri boyutları ayrıntılı biçimde ele alınacaktır. Ancak bu dönüşümün anlaşılabilmesi, öncelikle bu yapıların mümkün hale gelmesini sağlayan fırlatma maliyetlerindeki radikal düşüşün ve ticari fırlatma pazarındaki yapısal değişimin incelenmesini gerektirmektedir.

32 Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (eds.). (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications* (3rd ed.). Boston: Artech House, s. 119

33 Moltz, J. C. (2019). *The Politics of Space Security*. Stanford: Stanford University Press, s. 135

34 Lyall, F., & Larsen, P. B. (2018). *Space Law: A Treatise* (2nd ed.). Farnham: Ashgate, s. 36

35 Moltz, *The Politics of Space Security*. 2019

Yeniden Kullanılabilirlik ve Ticari Fırlatma Ekonomisinin Dönüşümü

Ticari uzay faaliyetlerinde 2010'lu yıllarla birlikte yaşanan en köklü dönüşüm, fırlatma maliyetlerinin dramatik biçimde düşürülmesi olmuştur. Bu dönüşümün merkezinde, roketlerin tek kullanımlık sistemler olarak tasarlandığı geleneksel yaklaşımın terk edilmesi ve yeniden kullanılabilirlik ilkesinin operasyonel bir standarda dönüştürülmesi yer almaktadır. Uzun yıllar boyunca roketlerin ilk aşamaları, görevlerini tamamladıktan sonra okyanusa düşmekte ve tamamen kaybolmaktaydı. Bu durum, her fırlatmayı neredeyse sıfırdan inşa edilen bir sistemle gerçekleştirme zorunluluğu doğurmuş ve uzaya erişimi son derece maliyetli bir faaliyete dönüştürmüştür.³⁶

Bu paradigmanın kırılmasında, ABD merkezli ticari uzay şirketlerinin öncü rol oynadığı görülmektedir. Özellikle SpaceX tarafından geliştirilen Falcon 9 fırlatma sistemi, ilk aşamanın kontrollü biçimde geri getirilmesi ve yeniden kullanılması sayesinde fırlatma maliyetlerini küresel ölçekte aşağı çekmiştir. 2000'li yılların başında ticari bir fırlatmanın ortalama maliyeti yaklaşık 140 milyon ABD doları seviyesindeyken, Falcon 9'un operasyonel olgunluğa erişmesiyle bu rakam 60–70 milyon dolar bandına gerilemiştir.³⁷ Bu düşüş yalnızca SpaceX'in pazar payını artırmakla kalmamış aynı zamanda tüm küresel fırlatma piyasasında fiyat baskısı yaratarak rekabet dinamiklerini çok ciddi etkilemiştir.

Bu maliyet devrimi, uzaya erişimin bir "istisna" olmaktan çıkarak ölçeklenebilir ve sürdürülebilir bir ekonomik faaliyet alanına dönüşmesini mümkün kılmıştır. Yeniden kullanılabilirlik sayesinde donanım maliyetlerinin ötesinde üretim süreleri, lojistik planlama ve fırlatma sıklığı da optimize edilmiştir. SpaceX'in 2010 yılında yaklaşık bin çalışanla sınırlı olan organizasyon yapısının, 2020'li yılların başında on binler seviyesine ulaşması ve yüzlerce fırlatmayı başarıyla gerçekleştirmesi; bu modelin endüstriyel ölçekte uygulanabildiğini göstermektedir.

Benzer şekilde; Blue Origin (Amazon Leo) tarafından geliştirilen yeniden kullanılabilir roket konseptleri ve dikey iniş teknolojileri, bu yaklaşımın tekil bir şirketle sınırlı olmadığını, aksine sektör genelinde yeni bir norm haline gelmeye başladığını ortaya koymuştur. Bunun yanında SpaceX haricinde Virgin Galactic gibi şirketler, alt yörünge uçuşları ve uzay turizmi odaklı sistemlerle maliyet düşüşünün farklı kullanım alanlarına yayılmasını hedeflemiştir.

Bu ticari aktörlerin ortak özelliği, uzay faaliyetlerini devlet merkezli, sınırlı ve prestij odaklı bir alan olmaktan çıkartıp daha geniş bir kullanıcı kitlesine hitap eden ekonomik bir ekosisteme dönüştürme iddiasıdır. Amazon, Microsoft, Virgin, Tesla ve PayPal gibi küresel ölçekte faaliyet gösteren şirketlerin arkasındaki sermaye gücü ve teknolojik birikim, uzay sektörüne aktararak ölçek ekonomilerinin oluşmasını hızlandırmıştır.

36 Davenport, C. (2018). *The Space Barons: Elon Musk, Jeff Bezos, and the Quest to Colonize the Cosmos*. New York: Hachette Book Group, s. 3

37 Moltz, J. C. (2019). *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*. New York: Columbia University Press, s. 117



Fırlatma Maliyetlerinin Evrimi

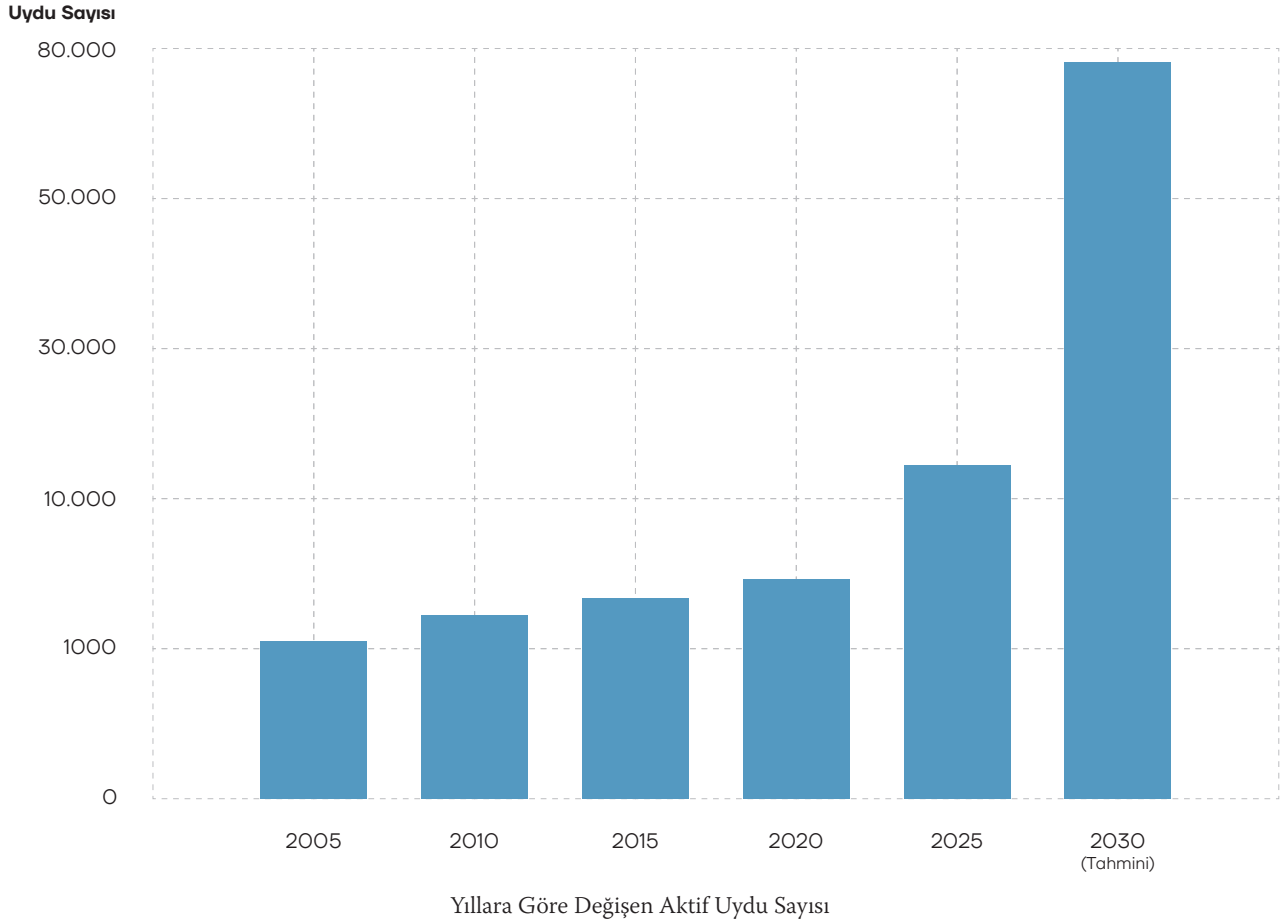
Bu bağlamda maliyet devrimi, yalnızca fırlatma fiyatlarının düşmesiyle sınırlı değildir. Aynı zamanda uydu takım-yıldızlarının çoğalmasını, alçak yörünge sistemlerinin yaygınlaşmasını ve sivil-asker kullanıcılar için uzay tabanlı hizmetlerin erişilebilirliğini artıran yapısal bir dönüşümü temsil etmektedir.³⁸ Yeniden kullanılabilir roket teknolojileri, modern uzay çağının ekonomik temelini oluşturan en kritik kırılma noktalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

SpaceX yeniden kullanılabilir roketleriyle maliyetlerin azalmasını sağlaması sonrası bir başka yeniliğe imza attı. Bu defa uydu teknolojilerinde devrimsel nitelikte sayılan Starlink, 2015 yılında duyurulmuş ve internet altyapısının uzay üzerinden yeniden inşa edilmesini hedefleyen bir proje olarak tasarlanmıştır.³⁹ Starlink uyduları, karasal altyapının yetersiz olduğu ya da tamamen devre dışı kaldığı bölgelerde internet bağlantısı sağlamayı pazarlama stratejisinin odağına konumlandırmaktadır. Sistem, her türlü hava koşulunda çalışacak şekilde tasarlandığı iddiasında olup diğer iletişim ağlarının işlevini yitirdiği durumlarda dahi bağlantının sürdürülmesini amaçlamaktadır.⁴⁰ İlk aşamada, alçak Dünya yörüngesine yaklaşık 4 bin uydu yerleştirilmesi planlanmış ve kademeli olarak bu sayı 9 binin üzerine çıkarılmıştır. Alçak Dünya yörüngesi (LEO), Dünya yüzeyinden yaklaşık 160 ila 2.000 kilometre yükseklikte yer almakta ve günümüzde kullanılan pek çok uydu ile Uluslararası Uzay İstasyonu bu yörünge bandında bulunmaktadır.

38 Harrison, T. (2022). *Commercial space and national security*. Center for Strategic and International Studies (CSIS). s. 3 https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/220202_Harrison_Commercial_Space.pdf

39 Federal Communications Commission. (2019). *SpaceX non-geostationary satellite system modification application* (IBFS File No. SAT-MOD-20190830-00087). <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20190830-00087/1877764.pdf>

40 Access Partnership. (2022). *The role of satellite communications in disaster management*. s.23 <https://accesspartnership.com/wp-content/uploads/2022/03/The-Role-of-Satellite-Communications-in-Disaster-Management.pdf>



Bu küresel bağlantı fikri, bireysel konforun ötesinde önemli toplumsal etkileri de beraberinde getirmiştir. Uzak bölgelerde bulunan okullar, dijital eğitim kaynaklarına daha rahat erişebilme imkanı bulmuş ve bu durum eğitim olanaklarının daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca Starlink ağı, doğal afetler sırasında da kritik bir rol üstlenmektedir. Geleneksel denizaltı fiber kablolarına kıyasla daha dayanıklı olan bu sistem, 2024 yılında Vanuatu'da meydana gelen 7,3 büyüklüğündeki deprem sırasında ülkenin tek denizaltı kablosunun zarar görmesi üzerine devreye alınmıştır. Hızla sağlanan uydu bağlantısı, acil servislerin iletişimini mümkün kılmış ve ulusal iyileşme sürecine katkı sağlamıştır.⁴¹

Bu tür örnekler, Starlink hizmetine olan talebin hızla artmasına neden olmuş; sistemin dünya genelindeki abone sayısı 5,4 milyonu aşmış ve yıllık gelirinin 3,2 milyar ABD dolarının üzerine çıktığı tahmin edilmiştir. Ancak bu başarıların ardında yer alan uydu altyapısının nasıl çalıştığı da önemlidir. Güncel Starlink uyduları, küçük ve basit yapılar değildir. Yaklaşık 30 metre uzunluğa ve bir otomobil ağırlığına yakın kütleye sahip olan bu uydular, Dünya yüzeyinden yalnızca 550 kilometre yükseklikte görev yapmaktadır. Falcon 9 roketleriyle aynı anda 60 adede kadar uydu fırlatılabilmekte ve bu roketlerin yeniden kullanılabilir olması SpaceX'in fırlatma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır.⁴²

41 Emergency Telecommunications Cluster. (2024, December 18). *ETC Pacific: Vanuatu earthquake situation report No. 1*. https://etcluster.org/sites/default/files/documents/ETC%20Pacific_Vanuatu_Earthquake_SitRep%20%231_2024_12_18_1.pdf

42 Pultarova, T. (n.d.). *Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy*. Space.com. <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>

Yörüngeye yerleştirilen Starlink uyduları, yıldızları referans alan navigasyon sensörleri sayesinde konumlarını son derece hassas biçimde belirleyebilmektedir. Her bir uydu, küresel bir internet ağı oluşturmak amacıyla diğer uydularla lazer tabanlı iletişim kurmakta; bunun yanında Dünya üzerindeki alıcılara bağlantı sağlamak için çok sayıda anten barındırmaktadır. Ayrıca argon gazı kullanan iyon itki sistemleri sayesinde konumlarını küçük ama hassas manevralarla ayarlayabilmekte ve yörünge kontrolünü sürdürebilmektedir.⁴³

Günümüzde Dünya yörüngesinde 9 binin üzerinde Starlink uydusu aktif olarak görev yapmaktadır ve bu sayının önümüzdeki dönemde artması beklenmektedir. Mevcut kapsama alanı incelendiğinde, Starlink ağının halihazırda Batı Yarımküre'nin büyük bir bölümünü kapsadığı ve potansiyel olarak yaklaşık 2,7 milyar kişiye erişim sağlayabildiği görülmektedir. Halihazırda 9 milyondan fazla müşterisi bulunan Starlink'in bununla birlikte hedefleri bu coğrafya ile sınırlı olmayıp önümüzdeki yıllarda Afrika, Güneydoğu Asya ve hatta Antarktika'nın belirli bölgelerinin de bu uydu ağına dahil etmeyi öngörmektedir.⁴⁴

43 SpaceX. (n.d.). *Starlink technology*. <https://www.starlink.com/technology>

44 SpaceX. (2025). *Starlink progress report 2025*. https://starlink.com/public-files/starlinkProgressReport_2025.pdf

Starshield ve Starlink'in Askeri Kullanımları

SpaceX'in uydü faaliyetleri Starlink ile sınırlı değildir. Kamuoyunda daha az bilinen bir diğeri girişim, ABD Savunma Bakanlığı ile yapılan sözleşme kapsamında geliştirilen ve "Starshield" adıyla anılan askeri uydü projesidir.⁴⁵ Görece cazip bir isim taşımasının yanında, Starshield büyük ölçüde gizlilikle çevrilidir ve ulusal güvenlik amaçlı olarak devlet kullanımına yöneliktir. Bu sistemin nasıl işlediği ve hangi bedeller karşılığında hayata geçirildiği soruları ise birçok açıdan belirsizliğini korumaktadır.

Starlink projesi, yüzeyde ticari bir uydü internet girişimi olarak konumlandırılmış olsa da ulaştığı ölçek ve teknik karmaşıklık itibarıyla ABD devleti ve özellikle ABD Savunma Bakanlığı için fiili bir "yetenek gösterimi" işlevi görmüştür.⁴⁶ SpaceX, Starlink'i küresel internet erişimi sağlayan bir altyapı olmanın ötesine taşıyarak aynı zamanda on binlerce düşük yörünge uydusunun eş zamanlı şekilde fırlatılması, işletilmesi, bakımı ve veri yönetiminin mümkün olduğunu kanıtlayan bir portföy unsuru olarak kullanmıştır. 2017'de SpaceX, Starlink markasını tescil ettirmek üzere ABD Patent ve Marka Ofisi'ne bir trademark başvurusu yapmıştır.⁴⁷ Başvuru; uydü iletişimi, veri iletimi ve uzaktan algılama gibi geniş hizmet ve ürün kategorilerini kapsayacak şekilde yapılmış olup Starlink'in teknik vizyonunun ticari pozisyonlamasında çok geniş bir kullanım yelpazesi düşündüğünü göstermektedir.

Bu süreçte Starlink, ABD Silahlı Kuvvetleri için yalnızca potansiyel bir hizmet sağlayıcı değil, aynı zamanda geleceğin askeri uydü mimarisinin uygulanabilirliğini gösteren bir "iş görüşmesi" işlevi üstlenmiştir. Nitekim Mart 2019'da ABD Hava Kuvvetleri Stratejik Geliştirme Planlama ve Deney Ofisi'nin SpaceX ile imzaladığı sözleşme, Starlink takımıyla askeri hizmet gösterimi ve doğrulaması amacıyla üç yıllık bir test sürecini öngörmüştür. Bunu Kasım 2019'da imzalanan Defense Experimentation Using Commercial Space Internet (DEUCSI) adı verilen sözleşme izlemiştir⁴⁸; bu çerçevede ticari alçak yörünge uydü ağlarının, ABD Hava Kuvvetleri için küresel, düşük gecikmeli ve yüksek bant genişliğine sahip dayanıklı bir askeri iletişim altyapısına dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Mayıs 2020'de ise ABD Kara Kuvvetleri, Starlink'in askeri iletişim ağlarına entegrasyonunun fizibilitesini değerlendirmek üzere SpaceX ile üç yıllık bir CRADA anlaşması imzalamış ve askeri terminaller, veri güvenliği ve sistem entegrasyonu gibi başlıklarda kapsamlı testlere başlamıştır.⁴⁹

45 SpaceX. (n.d.). *Starshield*. <https://www.spacex.com/starshield>

46 U.S. Army Space and Missile Defense Command. (n.d.). *Low Earth orbit (LEO) strategy*. https://www.smdc.army.mil/Portals/38/Documents/Publications/Fact_Sheets/Archived_Fact_Sheets/LEO_Strategy.pdf

47 Space Exploration Technologies Corp. (2017). *STARLINK* (U.S. Trademark Serial No. 87576978). Justia Trademarks. <https://trademarks.justia.com/875/76/starlink-87576978.html>

48 Yan, J., & Yu, N. (n.d.). *The U.S. Starlink project and its implications from the perspective of international and national security*. CSIS Interpret. <https://interpret.csis.org/translations/the-u-s-starlink-project-and-its-implications-from-the-perspective-of-international-and-national-security/>

49 Soper, T. (2020, May 26). *SpaceX and U.S. Army sign deal to test Starlink broadband for military use*. Ars Technica. <https://arstechnica.com/information-technology/2020/05/spacex-and-us-army-sign-deal-to-test-starlink-broadband-for-military-use/>

Bu deneyim ve birikim, Starlink'in sivil ve ticari yüzünün ardında, tamamen hükümet ve askeri odaklı yeni bir sistemin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Starshield adı verilen bu yapı, Starlink'ten farklı olarak sivil internet hizmeti sunmayı değil hükümetler ve askeri kurumlar için uçtan uca şifrelemeye sahip ve kapalı devre bir uzay altyapısı sağlamayı amaçlamaktadır. Yer gözlemi, hedef takibi, füze erken uyarı sistemleri ve güvenli askeri iletişim gibi fonksiyonlar için tasarlanan Starshield, Starlink'te test edilen ölçeklenebilirlik ve ağ dayanıklılığı üzerine inşa edilmiştir.

SpaceX, Starlink aracılığıyla yalnızca teknolojik kapasitesini değil, aynı zamanda ABD'nin uzay güvenliği stratejisinin ihtiyaç duyduğu hız ve entegrasyon kabiliyetlerini de fiilen kanıtlamışken Starshield ise bu kanıtın doğrudan askerileşmiş bir ürüne dönüştüğü aşamayı temsil etmiştir. Bu dönüşüm, uzayın ticari-sivil görünen aktörler tarafından giderek daha fazla askeri rekabet alanı haline geldiğini ve ticari-askeri sınırların bilinçli biçimde bulanıklaştırıldığını göstermesi bakımından kritik önem taşımaktadır.

Starlink ve onun askeri odaklı türevi Starshield'in operasyonel kabiliyetleri ve kurumsal ilişkileri ortaya konulduktan sonra, bu sistemlerin sahadaki fiili etkilerinin incelenmesi önemli. Zira uydu kümelerinin sunduğu iletişim, veri aktarımı ve ağ dayanıklılığı gibi imkanlar, sadece teorik veya potansiyel kapasitelere işaret etmemekte; güncel çatışma alanlarında doğrudan ve ölçülebilir sonuçlar üretmektedir. Bu çerçevede Starlink tabanlı sistemlerin Ukrayna savaşı ve Gazze bağlamındaki gelişmeler üzerinden nasıl kullanıldığı, askeri operasyonlara ne tür katkılar sağladığına değineceğiz.

Ukrayna Örneği

Ukrayna–Rusya Savaşı, ticari uydu kümelerinin modern bir askeri çatışmada oynayabileceği rolü somut biçimde ortaya koyan ilk büyük örnek olarak literatüre geçmiştir. ABD'nin daha önce Afganistan ve Irak işgalinde ticari haberleşme uyduları askeri veri trafiğinin bir bölümünü taşımıştır.⁵⁰ 2022'de başlayan Ukrayna savaşı ise ticari uydu iletişimi ve bunların eş zamanlı olarak askeri aktörler, medya kuruluşları, uluslararası örgütler ve hatta sivil halk tarafından kullanıldığı ilk geniş ölçekli çatışma olmuştur. ABD Uzay Kuvvetleri Komutanı General Jay Raymond'un da vurguladığı üzere, Ukrayna çatışması “ticari uzay kabiliyetlerinin gerçekten belirleyici rol oynadığı ilk savaş” niteliği taşımaktadır.⁵¹

Savaşın hemen başında Rusya Federasyonu'nun Ukrayna'ya yönelik ilk hamlelerinden biri, ülkenin yer tabanlı uydu internet altyapısını hedef almak olmuştur. 2022 Şubatında gerçekleştirilen siber saldırı sonucunda Viasat'a ait ağlar devre dışı bırakılmış;⁵² Ukrayna ordusu ve hükümet birimleri ciddi bir iletişim kesintisi yaşamıştır. Ancak bu durum kısa süreli olmuş; SpaceX tarafından on binlerce Starlink terminalinin Ukrayna'ya sevk edilmesiyle ülke çapında uydu tabanlı internet erişimi hızla yeniden tesis edilmiştir. Uydu tabanlı internet erişimi, savaş alanındaki görüntülerin ve bilgilerin anlık olarak küresel dolaşıma girmesine olanak sağlamış, bu verilerle Rus birlik hareketlerinin belgelenmesinde ve kamuoyuna sunulmasında kritik rol oynamıştır. Bu gelişme, Ukrayna'nın iletişim altyapısında yerel ve sabit sistemlere bağımlılığını fiilen ortadan kaldırmış; askeri birlikler ile siyasi liderlik arasında kesintisiz ve düşük gecikmeli haberleşme imkanı oluşturmuştur. Ancak Elon Musk'ın açıkça belirttiği gibi bu durumun Ukrayna iletişim altyapısını büyük oranda Starlink'e bağımlı hale getirmiştir. Bunun sonucunda Ukrayna, ABD politikası dışında operasyon yürütmesi durumunda iletişim kesintileriyle karşı karşıya kalmıştır.⁵³

50 Gallagher, N. W., & Steinbruner, J. D. (2009). *Financial investment* (Section 17). In *Reconsidering the rules for space security*. American Academy of Arts and Sciences. <https://www.amacad.org/publication/reconsidering-rules-space-security/section/17>

51 BBC, (2022, October 16). *Space, the unseen frontier in the war in Ukraine*. BBC News. <https://www.bbc.com/news/technology-63109532>

52 Viasat. (2022). *KA-SAT network cyber attack overview*. <https://www.viasat.com/perspectives/corporate/2022/ka-sat-network-cyber-attack-overview/>

53 Reuters. (2025, July 25). *Musk ordered shutdown of Starlink satellite service as Ukraine retook territory from Russia*. <https://www.reuters.com/investigations/musk-ordered-shutdown-starlink-satellite-service-ukraine-retook-territory-russia-2025-07-25/>

Öte yandan ticari sistemlerin bu denli aktif kullanımı, beraberinde ciddi hukuki ve etik tartışmaları da getirmiştir. Rusya, Starlink ve ticari uydu görüntüleme sağlayıcılarını Ukrayna'nın savaş kabiliyetlerine doğrudan katkı sunan aktörler olarak değerlendirmiştir. Nitekim Rusya'nın Birleşmiş Milletler'deki temsilcisi Konstantin Vorontsov, Eylül 2022'de uzaý güvenliği konulu bir BM toplantısında yaptığı açıklamada, "yarı-sivil altyapıların meşru askeri hedef haline gelebileceği" uyarısında bulunmuştur.⁵⁴ Bu açıklama, ticari uyduların savaş zamanında statüsünün ne olduğu ve hangi koşullarda askeri hedef sayılabileceği sorusunu uluslararası uzaý hukukunun merkezine taşımıştır.

Bu bağlamda Ukrayna savaşı, ticari uzaý sistemlerinin askeri operasyonları destekleyen araçlar olmakla sınırlı kalmayıp aynı zamanda çatışmanın doğasını ve hukuki çerçevesini dönüştüren aktörler haline geldiğini göstermiştir. Ticari uydu ağlarına yönelik kinetik saldırı ihtimali, uzaýda daha önce aşılmamış bir eşiği temsil etmektedir. Böyle bir adımın yaratacağı enkaz ve zincirleme etkiler, karşı saldırıda bulunan aktörün kendi uzaý varlıklarını ve müttefiklerini de riske atabilecek niteliktedir. Öte yandan Starlink gibi büyük ve dağınık uydu kümelerinin dayanıklılığı arttıkça tekil uydulara saldırının askeri değeri düşmekte görünse de anti uydusavar sistemlerin gelişimi gelecekte daha farklı tablolarla karşılaşmayı mümkün hale getirmektedir.

Bu savaş neticesinde ticari uydu kümelerinin, modern harp sahasında iletişim sürekliliği ve stratejik dayanıklılığın tesisinde ne kadar kritik hale geldiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda bu deneyim, ticari uzaý altyapılarının artık tarafsız teknolojiler olarak değerlendirilmesinin zorlaştığını ve askeri çatışmaların ayrılmaz bir parçası haline gelerek uluslararası güvenlik ve hukuk alanlarında yeni ve karmaşık sorunlar ürettiğini açık biçimde göstermiştir.

Gazze Örneği

Ukrayna savaşında Starlink'in geniş, hızlı ve büyük ölçüde kullanımı ticari uydu kümelerinin askeri çatışmalardaki dönüştürücü potansiyelini gözler önüne sererken Gazze bağlamı aynı teknolojinin politik ve güvenlik gerekçeleriyle nasıl sınırlandırılabilirdiğini gösteren çarpıcı bir karşı örnek sunmuştur. Bu vaka, Starlink'in yalnızca teknik bir altyapı değil, aynı zamanda devletlerin egemenlik, güvenlik ve denetim talepleriyle şekillenen bir jeopolitik araç haline geldiğini ortaya koymaktadır.

Ekim 2023'te, İsrail ordusunun Gazze'yi işgalinde bombardımanlar sonucunda yaşanan geniş çaplı telekomünikasyon kesintileri sırasında, SpaceX'in Starlink hizmetini uluslararası kabul görmüş insani yardım kuruluşları için devreye sokabileceği yönündeki açıklamalar kısa sürede diplomatik ve güvenlik temelli bir krize dönüşmüştür. SpaceX tarafından yapılan bu açıklama, İsrail İletişim Bakanlığı tarafından sert biçimde karşılanmış ve Starlink'in Gazze'de kullanılmasının Hamas tarafından askeri faaliyetler için kullanılabilirdiğini ileri sürülmüştür. Bu çerçevede İsrail, Starlink'in Gazze'de izinsiz biçimde aktive edilmesini açıkça engelleyeceğini ve gerekirse SpaceX ile kurumsal ilişkileri askıya alacağını ilan etmiştir.⁵⁵

Kasım 2023'te varılan mutabakatla birlikte, Starlink terminallerinin İsrail'de ve Gazze dahil çatışma bölgelerinde çalıştırılması özellikle İsrail İletişim Bakanlığı'nın iznine bağlanmıştır.⁵⁶ Bu düzenleme, Ukrayna'daki fiili özerk kullanım modelinin aksine Gazze'de Starlink'in ancak bir devletin güvenlik filtresinden geçerek var olabileceğini göstermiştir. Takip eden aylarda Starlink terminallerinin İsrail sınır bölgelerinde geçici olarak devre dışı bırakılması ve nihayetinde İsrail tarafından uygulanan internet kısıtlamalarına rağmen, uzun süren müzakerelerin ardından

54 Howell, E. (2022, October 28). *Russia says private satellites are "legitimate targets" in wartime*. Space.com. <https://www.space.com/russia-private-satellites-legitimate-target-wartime-united-nations>

55 Poirier C. (2022). *Breaking the final frontier: Cyberdefense in space* (CSS Cyber Defense Report). ETH Zurich.

56 Lipscombe, P. (2023, November 28). *Israel warns Musk that Gaza can only have Starlink access with its approval*. SDxCentral. <https://www.sdxcentral.com/news/israel-warns-musk-that-gaza-can-only-have-starlink-access-with-its-approval/>

Starlink'in tek bir hastanede kullanılmasına izin verilmesiyle⁵⁷ bu sistemlerin kullanımının siyasi ve askeri boyutlarını apaçık ortaya koymaktadır. 2025 itibarıyla Starlink'in İsrail genelinde resmi olarak hizmet vermeye başlaması da bu ilişkinin devlet merkezli bir çerçeveye oturduğunu teyit etmiştir.

Bu örnek, Starlink'in Ukrayna'da "altyapıdan bağımsızlık" sağlayan bir çözüm olarak öne çıkarken, Gazze'de aynı teknolojinin siyasi ve askeri hesaplarla sınırlandırılabilirdiğini göstermektedir.

⁵⁷ Reuters. (2024, February 14). *Israel approves Starlink services for Gaza field hospital – statement*. <https://www.reuters.com/world/middle-east/israel-approves-starlink-services-gaza-field-hospital-statement-2024-02-14/>

Kessler Sendromu ve Çevre Güvenliği

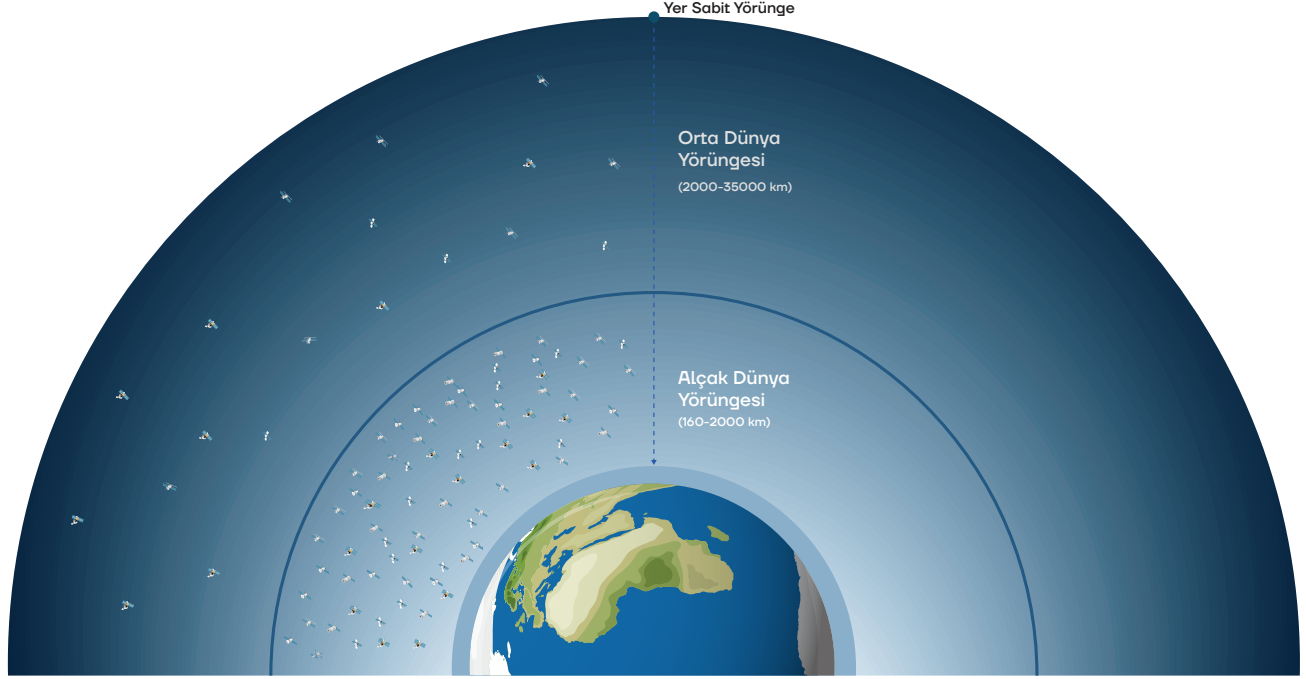
Bu rapor boyunca ele alınan uydu takımyıldızları ve alçak yörüngede yoğunlaşan altyapılar, devletler ile ticari aktörler arasındaki yeni güç ilişkilerini ve stratejik bağımlılık ağlarını görünür kılmaktadır. Ancak LEO'nun hızla kalabalıklaşması meselesi yalnızca rekabet, kapasite ve etki alanı tartışmalarıyla sınırlı değildir. Yörüngedeki nesne sayısındaki artış, uzayın işleyişini mümkün kılan fiziksel çevrenin sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen bir güvenlik sorununa dönüşmektedir. Bu noktada mesele, belirli aktörlerin stratejik üstünlüğünden ziyade, uzay ortamının kendisinin istikrarsızlaşma riskiyle karşı karşıya kalmasıdır. Düşük yörüngede artan çarpışma ihtimali ve zincirleme enkaz üretimi olasılığı, literatürde "Kessler Sendromu" olarak anılan senaryo üzerinden, yalnızca uzay sistemlerinin değil, bu sistemlere bağımlı küresel ekonomik ve toplumsal düzenin güvenliğini de ilgilendiren bir çevresel güvenlik problemine işaret etmektedir.

Son birkaç on yılda bütüncül bir mimari içerisinde gelişen uzay sistemlerinin her birinde yaşanan teknolojik ilerlemeler, uzayı yalnızca devletlerin askeri ve istihbari faaliyetlerine hizmet eden bir alan olmasının ötesine geçirek ticari, sivil ve çok-aktörlü bir faaliyet sahasına dönüşmesine yol açmıştır. Özellikle minyaturizasyon, dijitalleşme ve yeniden kullanılabilir fırlatma teknolojileri sayesinde uydu üretimi ve uzaya erişim maliyetleri dramatik biçimde düşmüş; bu da hem ticari şirketlerin hem de askeri kurumların işbirliği ve aralarındaki geçişkenliği artırmakla beraber yörüngeye daha yoğun ve sürekli biçimde erişebilmesini mümkün kılmıştır. Ancak uzay sistemlerinin bu ölçekte yaygınlaşması, ekonomik ve askeri avantajlar üretmekle kalmayıp aynı zamanda yörüngesel çevrenin giderek daha karmaşık ve kırılgan bir hale gelmesine de neden olmuştur. Uzay katmanındaki uydu sayısının artışı, fırlatma faaliyetlerinin yoğunlaşması ve görev süresi dolan sistemlerin etkin biçimde yönetilemeyişi, yörüngede kalıcı bir risk birikimini ortaya çıkarmıştır.⁵⁸

Yörüngede görev süresini tamamlamış uydular, fırlatma sonrası arta kalan parçalar, mikrometeoroidler ve çeşitli patlamalar sonucu ortaya çıkan enkazlardan oluşan uzay çöpleri, günümüzde uzay çevresinin sürdürülebilirliği açısından en büyük tehditlerden biri haline gelmiştir. Özellikle yaklaşık 1.000 km'nin altındaki alçak Dünya yörüngesi (LEO), yoğun trafik ve artan nesne sayısı nedeniyle çarpışma riskinin kritik seviyelere ulaştığı bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu yörüngede çarpışma riskinin analizi, aktif izleme sistemleri ve gerektiğinde kaçınma manevraları ile kısmen azaltılabilse de kontrolsüz biçimde artan enkaz yoğunluğu uzun vadede sistemik bir tehdit yaratmaktadır.⁵⁹

58 European Space Agency. (2025). *ESA space environment report 2025*. ESA Space Safety Programme. https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2025

59 Bennett, M.M. Orbital debris requires prevention and mitigation across the satellite life cycle. *Commun Eng* 4, 95 (2025). <https://doi.org/10.1038/s44172-025-00430-5>



Yörüngeler ve Temsili Yoğunluk

Uzay ortamının fiziksel özellikleri bu tehdidi daha da derinleştirmektedir. Atmosfer basıncının yokluğu, aşırı sıcaklık farkları ve yörüngedeki nesnelerin yüksek hızları, kontrolsüz hale gelen uyduları ve enkazları adeta yönsüz mermilere dönüştürmektedir. 1970'lerde NASA bilim insanları Donald Kessler ve Burton Cour-Palais tarafından ortaya konan Kessler Sendromu, yörüngedeki nesne yoğunluğunun belirli bir eşiği aşması halinde tek bir çarpışmanın dahi zincirleme reaksiyonlar yaratarak durdurulamaz bir enkaz artışına yol açabileceğini öngörmektedir.⁶⁰ Bu senaryo gerçekleştiğinde, ilgili yörünge katmanları onlarca hatta yüzlerce yıl boyunca insan faaliyetlerine tamamen kapalı hale gelebilecektir.

Bu bağlamda mega takımyıldız projeleri, özellikle de binlerce uydudan oluşan Starlink benzeri sistemler, uzay çevre güvenliği tartışmalarının merkezine yerleşmiştir. Starlink'in planlanan yaklaşık 42.000 uyduyu⁶¹ alçak yörüngeye yerleştirme hedefi, halihazırda yoğun olan bu bölgedeki çarpışma olasılığını ve potansiyel enkaz miktarını dramatik biçimde artırmaktadır.⁶² Üstelik bu uyduların tasarlanan görev ömrünün yalnızca beş ila yedi yıl olması,⁶³ sürekli bir yenileme ve deorbit süreci gerektirmektedir. Sistem arızaları veya kontrol kaybı durumunda ise ciddi riskler doğurmaktadır. Nitekim yapılan analizler, halihazırda fırlatılan Starlink uydularının yaklaşık %3'ünün başarısız olduğunu göstermekle beraber bu oranın değişmemesi durumunda binin üzerinde "ölü uydu"nun yörüngede kalıcı enkaz haline gelmesi olası görünmektedir.

60 Kessler, D. J., & Cour-Palais, B. G. (1978). *Collision frequency of artificial satellites: The creation of a debris belt*. Journal of Geophysical Research, 83(A6), 2637–2646.

<https://doi.org/10.1029/JA083iA06p02637>

61 Pultarova, T. (n.d.). *Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy*. Space.com. <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>

62 Yan, J., & Yu, N. (n.d.). *The U.S. Starlink project and its implications from the perspective of international and national security*. CSIS Interpret. <https://interpret.csis.org/translations/the-u-s-starlink-project-and-its-implications-from-the-perspective-of-international-and-national-security/>

63 NDTV. (2024). *Starlink satellites falling to Earth raise fears of space junk "chain reaction"*. <https://www.ndtv.com/science/starlink-satellites-falling-to-earth-raise-fears-of-space-junk-chain-reaction-9457941>

Öte yandan, Çin'in uzay yarışına artan bir ivmeyle dahil oluşu, alçak Dünya yörüngesindeki yoğunluğu daha da artırma potansiyeli taşımaktadır. Starlink'e benzer bir mimariye sahip olan alçak yörünge iletişim uydu projeleri kapsamında Çin, yaklaşık 200 bin yeni uydu fırlatmayı planlamaktadır.⁶⁴ Tabi en ivmeli yükselen aktör olarak Çin bu sahada yalnız değil, Hindistan, İngiltere gibi aktörlerin hayata geçirmek istedikleri yeni uydu takımıydızı projeleri bulunmaktadır. Bu girişim, halihazırda giderek kalabalıklaşan yörünge ortamını daha da sıkıştırarak ve çarpışma risklerini belirgin biçimde yükseltecektir.

Ortaya çıkan sorun yalnızca astronomik gözlemlerle sınırlı değildir. Uydu işletmecileri açısından da ciddi operasyonel ve ekonomik riskler doğurmaktadır. Nitekim daha önce de değinildiği üzere, Starlink uyduları iyon itki sistemleri sayesinde yörüngesel konumlarını aktif biçimde ayarlayabilmektedir. Bunun temel nedeni, çarpışma olasılıklarının ulaştığı kritik seviyedir. Kasım 2024'te sona eren bir yıllık dönemde Starlink uydu takımıydızı, uzay enkazı ve diğer yörüngesel nesnelere çarpışmayı önlemek amacıyla yaklaşık 100.500 kaçınma manevrası gerçekleştirmiştir. Bu sayı, ortalama olarak her beş dakikada bir manevra yapılması anlamına gelmektedir.

Mevcut projeksiyonlar farklılık göstermekle birlikte alçak Dünya yörüngesindeki uydu sayısının önümüzdeki yıllarda bugünkü seviyenin dört ila beş katına çıkması öngörülmektedir. SpaceX ve Çin hükümetinin yanı sıra Amazon (Project Kuiper) ve OneWeb gibi aktörlerin de kendi mega uydu takımıydızlarını kurma hedefleri bulunmaktadır. Bu ölçekte bir yoğunlaşma, yalnızca uyduların birbirlerinden kaçınmasını zorlaştırmakla kalmayıp aynı zamanda fırlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan roket parçaları ve görev dışı kalmış nesnelere aracılığıyla yörüngesel enkaz miktarını da artırmaktadır.

Uzay çöplerinin artışı teknik bir sorun olmanın ötesinde, çevresel ve jeopolitik bir güvenlik meselesidir. Çarpışmalar sonucu oluşan enkaz bulutları, rakip ve ticari sistemleri etkileyeceği gibi meteoroloji, afet erken uyarı, küresel haberleşme ve bilimsel gözlem gibi tüm insanlığa hizmet eden uyduları da tehdit etmektedir. Dahası, Kessler Sendromu'nun tetiklenmesi, özellikle uzay ve fırlatma teknolojileri henüz gelişmekte olan ülkelerin gelecekte uzaya erişim imkanlarını fiilen ortadan kaldırarak uzayda fiili bir "kilitlenme" etkisi yaratabilecektir. Yörüngenin bu şekilde yoğunlaşmaya devam etmesi uzay çevresinin geri döndürülemez biçimde kirlenmesi sivil ve askeri olmak üzere uzay faaliyetlerinin geleceğini ciddi biçimde riske atacaktır.

64 China Daily. (2026, January 12). *China files plans for mega-constellation satellites to secure access to low-Earth orbit.* <https://www.chinadaily.com.cn/a/202601/12/WS6964c7e9a310d6866eb33452.html>

Sonuç: Uzayda Yeni Risk Alanları

Günümüzde uzay alanındaki temel meseleler, artık yalnızca uyduların teknik kabiliyetleriyle sınırlı değildir. Asıl belirleyici sorular, bu sistemlerin kim tarafından kontrol edildiği ve hangi amaçlarla kullanıldığı etrafında şekillenmektedir. Soğuk Savaş boyunca görece net olan askeri ve sivil uzay faaliyetleri arasındaki ayrım, ticari teknolojilerin olgunlaşması, maliyet baskıları ve veri temelli savaş anlayışının yükselişiyle birlikte hızla bulanıklaşmıştır. Devletler, kendi askeri uydu takımlarını inşa etmek yerine giderek daha fazla biçimde ticari haberleşme uydularından kapasite kiralamakta veya Starlink gibi şirketlerden anlık veri ve bağlantı hizmeti satın almaktadır. Bu durum, askeri etkinliği ve esnekliği artırırken ticari uzay altyapısını fiilen çatışmanın bir parçası haline getirmektedir.

Ukrayna Savaşı bu dönüşümün en görünür örneğini oluşturmuştur. Rusya; Starlink ve ticari görüntü sağlayıcılarını sahadaki askeri başarısızlıklarının doğrudan unsurları olarak değerlendirmiş ve bunların yarı-sivil altyapıların meşru hedef haline gelebileceği yönündeki uyarısı, bu algının açık bir ifadesi olmuştur. Her ne kadar ticari sistemlere yönelik kinetik saldırılar henüz yaygınlaşmamış olsa da bu tür bir eşğin aşılması hedef alınan devletle beraber yörüngede enkaz üretimi yoluyla tüm uzay aktörlerini etkileyecek sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle ticari uydu kümelerinin sayıca artması, bir yandan dayanıklılığı artırırken diğer yandan uzaydaki askeri gerilimin çevresel ve hukuki maliyetlerini de artıracaktır.

Bu tablo, ayrıca çifte kullanım meselesini uluslararası uzay hukukunun gündemine taşımaktadır. Ticari uyduların savaşlarda aktif olarak kullanılması, mevcut hukuki rejimde ciddi boşluklar ve etik tartışmalar yaratmaktadır. Sivil bir şirkete ait bir uydu sisteminin fiilen askeri komuta-kontrol veya hedefleme süreçlerine hizmet etmesi, rakip devletlerin bu sistemleri “meşru askeri hedef” olarak tanımlamasına zemin hazırlamaktadır. Buna karşılık, Birleşmiş Milletler uzay sözleşmeleri esas olarak devlet sorumluluğunu esas almakta; ticari aktörlerin, otonom sistemlerin veya siber saldırılarla ele geçirilen uyduların yol açtığı zararlarda sorumluluğun kime ait olduğu sorusu büyük ölçüde yanıtsız kalmaktadır. Siber saldırılar, sinyal karıştırma ve geçici hizmet engelleme (*reversible attacks*) gibi yöntemlerin yaygınlaşması, yaptırım ve caydırıcılık mekanizmalarının belirsizliğini daha da derinleştirmektedir.

Bu rapor boyunca ele alınan başlıklar, Soğuk Savaş sonrası uzayın artık yalnızca ticari-bilimsel faaliyetlerin alanına dönüşüp tamamen sivilleştiği söyleminin aksine, küresel güç dengelerini, ekonomik yapıları ve askeri stratejileri doğrudan etkileyen kritik bir altyapı katmanı olduğunu göstermektedir. Uydu sistemlerinin ticarileşmesi ve özellikle Starlink gibi mega uydu kümelerinin ortaya çıkışı; iletişim, internet erişimi ve veri aktarımı alanlarında devrimsel bir dönüşüm yaratmış ve coğrafi sınırlardan büyük ölçüde bağımsız ve küresel ölçekli bir bağlantı mimarisini mümkün kılmıştır. Bu yeni teknolojik denklem; sivil kullanım açısından dijital kapsayıcılık, kriz anlarında iletişimin sürekliliği ve küresel ekonominin işleyişi bakımından hayati önem taşımaktadır.

Ancak aynı teknolojik altyapı, kaçınılmaz olarak askeri ve siyasi boyutlar da üretmektedir. Ticari uydu kümeleri, ABD Savunma Bakanlığı ile kurulan sözleşmeler, veri paylaşımı ve yedekli haberleşme çözümleri üzerinden fiilen ulusal güvenlik mimarisinin bir parçası olmaktadır. Starlink'in Ukrayna Savaşı'ndaki rolü, ticari bir sistemin modern savaşta komuta-kontrol, bilgi üstünlüğü ve stratejik iletişim açısından ne denli belirleyici olabileceğini ortaya koymuştur. Bu durum, sivil-askeri ayrımını aşındırarak uzağın yeni çağında bile hem operasyonel hem de politik bir mücadele alanı olarak devam ettiğini göstermekte, ticari aktörlerini de büyük güç rekabetinin dolaylı tarafları haline getirmektedir.

Öte yandan, uydu kümelerinin sayısal yoğunluğu ve düşük yörüngelerde yarattığı trafik, uzağın çevresel sürdürülebilirliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Görev süresi dolmuş uydular, fırlatma sonrası arta kalan parçalar ve olası çarpışmalar, enkaz miktarını artırarak Kessler Sendromu riskini daha somut bir tehlike haline getirmektedir. Bu risk, yalnızca askeri veya ticari aktörleri değil, uzağı kullanma kapasitesi sınırlı olan ve henüz gelişmekte olan ülkeleri de doğrudan etkilemektedir. Çünkü yörüngelerin kullanılamaz hale gelmesi, uzaya erişimde yapısal eşitsizlikleri daha da derinleştirecektir.

Netice itibarıyla, uzağ altyapılarının ticarileşmesi ve sivilleşmesi devlet merkezli güvenliğin aşınması anlamına gelmemektedir. Starlink gibi ticari sistemler, teknik kapasiteleri ve küresel erişimleri sayesinde özerk aktörler olarak algılansa da bu özerklik stratejik bağlamdan bağımsız olmayıp lisanslama rejimleri, yaptırım politikaları, güvenlik sözleşmeleri ve müttefiklik ilişkileri yoluyla devlet çıkarları tarafından sürekli olarak yeniden çerçevenmektedir. Ticari uzağ altyapılarının periferik coğrafyalarda sergilediği görece esneklik, devlet otoritesinin yokluğunu değil, stratejik önceliklerin düşük olduğu alanlarda tanınan geçici manevra alanlarını yansıtmaktadır. Kritik eşiklerde ise bu altyapılar, hızla devlet politikalarının operasyonel uzantılarına dönüşmekte; biriktirdikleri altyapısal nüfuz alanı, şirketlerden ziyade onları barındıran devletlerin stratejik kapasitesini güçlendirmektedir. Bu bağlamda ortaya çıkan tablo, ne devletin geri çekildiği bir özelleştirme rejimine ne de şirketlerin egemen aktörlere dönüştüğü bir "kurumsal üstünlük" düzenine işaret etmektedir. Aksine, egemenliğin dolaylı, sözleşmeye dayalı ve altyapısal araçlar üzerinden icra edildiği; yetkinin görünürlüğünün azaldığı ancak stratejik kontrolün muhafaza edildiği bir rejim kurumsallaşmaktadır.

Kaynakça

- Access Partnership. (2022). *The role of satellite communications in disaster management* <https://accesspartnership.com/wp-content/uploads/2022/03/The-Role-of-Satellite-Communications-in-Disaster-Managment.pdf>
- BBC. (2022, October 16). *Space, the unseen frontier in the war in Ukraine*. BBC News. <https://www.bbc.com/news/technology-63109532>
- Bennett, M. M. (2025). Orbital debris requires prevention and mitigation across the satellite life cycle. *Communications Engineering*, 4, 95. <https://doi.org/10.1038/s44172-025-00430-5>
- Bowen, B. E. (2020). *War in space: Strategy, spacepower, geopolitics*. Edinburgh University Press.
- China Daily. (2026, January 12). *China files plans for mega-constellation satellites to secure access to low-Earth orbit*. <https://www.chinadaily.com.cn/a/202601/12/WS6964c7e9a310d6866eb33452.html>
- Davenport, C. (2018). *The space barons: Elon Musk, Jeff Bezos, and the quest to colonize the cosmos*. Hachette Book Group.
- Department of Defense. (2024). *Commercial space integration strategy 2024*. <https://media.defense.gov/2024/Apr/02/2003427610/-1/-1/1/2024-DOD-COMMERCIAL-SPACE-INTEGRATION-STRATEGY.PDF>
- Dolman, E. C. (2002). *Astropolitik: Classical geopolitics in the space age*. Frank Cass.
- Emergency Telecommunications Cluster. (2024, December 18). *ETC Pacific: Vanuatu earthquake situation report No. 1*. https://etcluster.org/sites/default/files/documents/ETC%20Pacific_Vanuatu_Earthquake_SitRep%20%231_2024_12_18_1.pdf
- European Space Agency. (2025). *ESA space environment report 2025*. ESA Space Safety Programme. https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2025
- Federal Communications Commission. (2019). *SpaceX non-geostationary satellite system modification application (IBFS File No. SAT-MOD-20190830-00087)*. <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20190830-00087/1877764.pdf>
- Futrell, R. F. (1961). *Ideas, concepts, doctrine: Basic thinking in the United States Air Force 1907–1960 (Vol. 1)*.
- Gallagher, N. W., & Steinbruner, J. D. (2009). Financial investment (Section 17). In *Reconsidering the rules for space security*. American Academy of Arts and Sciences. <https://www.amacad.org/publication/reconsidering-rules-space-security/section/17>
- Guiora, A. N. (2011). Determining a legitimate target: The dilemma of the decision-maker. *Texas International Law Journal*, 47, 315.

- Harrison, T. (2022). *Commercial space and national security* (s. 3). Center for Strategic and International Studies (CSIS). https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/220202_Harrison_Commercial_Space.pdf
- Harrison, T., Johnson, K., & Young, M. (2020). *Defense against the dark arts in space* (ss. 4–5). Center for Strategic and International Studies (CSIS).
- Harrison, T., & Strohmeyer, M. (2020). *Commercial space remote sensing and its role in national security*. Center for Strategic and International Studies (CSIS). <https://www.csis.org/analysis/commercial-space-remote-sensing-and-its-role-national-security>
- Howell, E. (2022, October 28). Russia says private satellites are “legitimate targets” in wartime. *Space.com*. <https://www.space.com/russia-private-satellites-legitimate-target-wartime-united-nations>
- Johnson-Freese, J. (2017). *Space warfare in the 21st century*. Routledge.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (Eds.). (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and applications* (3rd ed.). Artech House.
- Kessler, D. J., & Cour-Palais, B. G. (1978). Collision frequency of artificial satellites: The creation of a debris belt. *Journal of Geophysical Research*, 83(A6), 2637–2646. <https://doi.org/10.1029/JA083iA06p02637>
- Lipscombe, P. (2023, November 28). Israel warns Musk that Gaza can only have Starlink access with its approval. *SDxCentral*. <https://www.sdxcentral.com/news/israel-warns-musk-that-gaza-can-only-have-starlink-access-with-its-approval/>
- Logsdon, J. M. (2018). *After Apollo? Richard Nixon and the American space program* (ss. 214–217). Palgrave Macmillan.
- Lyll, F., & Larsen, P. B. (2018). *Space law: A treatise* (2nd ed.). Ashgate.
- McDougall, W. A. (1985). *The heavens and the earth: A political history of the space age*. Basic Books.
- Moltz, J. C. (2019a). *Crowded orbits: Conflict and Cooperation in Space*. Columbia University Press.
- Moltz, J. C. (2019b). *The Politics of Space Security*. Stanford University Press.
- NATO. (2019, June 27). *NATO’s overarching space policy*. <https://www.nato.int/en/about-us/official-texts-and-resources/official-texts/2019/06/27/natos-overarching-space-policy>
- NDTV. (2024). *Starlink satellites falling to Earth raise fears of space junk “chain reaction”*. <https://www.ndtv.com/science/starlink-satellites-falling-to-earth-raise-fears-of-space-junk-chain-reaction-9457941>
- Poirier, C. (2022). *Breaking the final frontier: Cyberdefense in space (CSS Cyber Defense Report)*. ETH Zurich.
- Pultarova, T. (n.d.). Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy. *Space.com*. <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>
- Reuters. (2024, February 14). Israel approves Starlink services for Gaza field hospital – statement. <https://www.reuters.com/world/middle-east/israel-approves-starlink-services-gaza-field-hospital-statement-2024-02-14/>
- Reuters. (2025, July 25). Musk ordered shutdown of Starlink satellite service as Ukraine retook territory from Russia. <https://www.reuters.com/investigations/musk-ordered-shutdown-starlink-satellite-service-ukraine-retook-territory-russia-2025-07-25/>
- Sheehan, M. (2007). *The international politics of space* (s. 69). Routledge.

- Słomczyńska, I. (2013). Space power theory: A tailor-made approach or a new theoretical challenge to IR? *Ad Americam*, 14.
- Soper, T. (2020, May 26). SpaceX and U.S. Army sign deal to test Starlink broadband for military use. *Ars Technica*. <https://arstechnica.com/information-technology/2020/05/spacex-and-us-army-sign-deal-to-test-starlink-broadband-for-military-use/>
- Space Exploration Technologies Corp. (2017). *STARLINK (U.S. Trademark Serial No. 87576978)*. Justia Trademarks. <https://trademarks.justia.com/875/76/starlink-87576978.html>
- SpaceX. (n.d.-a). *Starlink technology*. <https://www.starlink.com/technology>
- SpaceX. (n.d.-b). *Starshield*. <https://www.spacex.com/starshield>
- SpaceX. (2025). *Starlink progress report 2025*. https://starlink.com/public-files/starlinkProgressReport_2025.pdf
- U.S. Air Force. (2020). *AFDP 3-14: Space support*. https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/AFDP_3-14/AFDP%203-14%20Space%20Support.pdf
- U.S. Army Space and Missile Defense Command. (n.d.). *Low Earth orbit (LEO) strategy*. https://www.smdc.army.mil/Portals/38/Documents/Publications/Fact_Sheets/Archived_Fact_Sheets/LEO_Strategy.pdf
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (1967). *Treaty on principles governing the activities of states in the exploration and use of outer space (Outer Space Treaty)*. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>
- Viasat. (2022). *KA-SAT network cyber attack overview*. <https://www.viasat.com/perspectives/corporate/2022/ka-sat-network-cyber-attack-overview/>
- Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). *Space mission engineering: The new SMAD* (s. 28). Microcosm Press.
- Yan, J., & Yu, N. (n.d.). The U.S. Starlink project and its implications from the perspective of international and national security. *CSIS Interpret*. <https://interpret.csis.org/translations/the-u-s-starlink-project-and-its-implications-from-the-perspective-of-international-and-national-security/>

