



GLOBAL SAVUNMA

STRATEJİ | GÜVENLİK | SAVAŞ TEKNOLOJİLERİ | İSTİHBARAT



STRATEJİK KIRILMA: KÜRESEL GÜÇ DENKLEMİNDE ENERJİ ARZI

8

Umut Berhan ŞEN
Global Savunma Dış Haberler Müdürü

Saldırgan Realizm Çağında Enerji
Egüvenliği: Güç Maksimizasyonu
Ve Stratejik Beka

16

Dr. Güven İÇÖZ
Global Savunma GYY Yardımcısı

Nato'nun Yeni Kuvvet
Mimarisi, Enerji Güvenliği
Ve Türkiye

26

Yakup KÜTÜKCÜ
Global Savunma Yazarı

Litani'nin Ötesi: İsrail'in
Yarım Kalan Hesabı
Ve Lübnan

Prof. Dr. A. İnci Sökmen ALACA

Global Savunma Yazarı
Global Araştırma ve Enformasyon Merkezi Uzmanı

Enerji Güvenliğinde Mekânsal Paradigma Değişimi: **Jeopolitikten Astropolitiğe**

Hürmüz Boğazı'nın kapanması, küresel enerji sisteminin ne denli kırılgan ve coğrafi darboğazlara bağımlı olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Dünya petrol ticaretinin önemli bir kısmının bu dar geçitten sağlanıyor olması, enerji arzını yalnızca ekonomik değil aynı zamanda jeostratejik bir mesele haline getirmektedir. Bu tür bir kesinti, küresel piyasalarda arz şoklarına, fiyat dalgalanmalarına ve tedarik zincirlerinde ciddi aksamalara yol açarken; enerjiye bağımlı devletler açısından doğrudan ulusal güvenlik riski üretmektedir.

Bu çerçevede enerji tedariki, klasik anlamda bir ekonomik faaliyet olmaktan çıkarak giderek güvenlikleştirilmiş bir alana dönüşmektedir. Enerjiye erişim, devletlerin dış politika tercihlerini, askeri kapasitesini ve kriz anlarındaki dayanıklılığını belirleyen temel unsurlardan biri haline gelmiştir. Özellikle Hürmüz gibi tek noktadan kırılganlık yaratan geçiş hatlarına bağımlılık, devletleri yalnızca arz güvenliğini değil, aynı zamanda bu arzın sürdürülebilirliğini ve kesintisizliğini garanti altına alacak yeni stratejiler geliştirmeye zorlamaktadır. Bu bağlamda hızlı, kesintisiz ve dış etkilere bağımsız enerji üretimi sağlayabilecek alternatif kaynaklara yönelim kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu arayışın en dikkat çekici yönlerinden biri, enerji üretiminin coğrafi sınırların ötesine taşınmasıdır. Uzun tabanlı

enerji sistemleri, özellikle kesintisiz güneş enerjisi üretimi ve kablolu iletim kapasitesiyle, bu ihtiyaca yanıt verebilecek potansiyel çözümler arasında öne çıkmaktadır. Enerjinin yeryüzündeki kırılgan hatlardan bağımsız olarak "yukarıdan/ dikey " sağlanabilmesi, enerji güvenliğini yeniden tanımlayan bir paradigma değişimini işaret etmektedir.

Geleneksel güç dengesi, petrol kuyularına veya stratejik boğazlara (Hürmüz, Malakka vb.) sahip olmak üzerine kuruludur. Uzaydan enerji almak, coğrafyayı "önemsizleştirir". Denizi olmayan, petrolü bulunmayan, dağlık bir ülke bile gökyüzünü kullanarak süper güç olabilir. Buna mekânsız otonomi denir. Ayrıca bir ülkeyi denizden veya karadan kuşatmak, gökyüzünden gelen enerji paketlerini engellemeye yetmez. Bu, kuşatma altındaki devletlere sonsuz bir direnç kapasitesi verir. Uzaydan enerji temini (SBSP), sadece 2-3 süper güç ülkenin tekelinde olursa yeni bir merkezîyetçi enerji tekelini yaratarak, dünyadaki güç dengelerini etkileyebilir. Öte yandan bu teknoloji "açık kaynaklı" veya erişilebilir bir maliyete inerse, tarihteki en büyük özgürleşme hareketini başlatabilir. Eğer her ülke (hatta her şehir gibi) kendi alıcı istasyonunu kurup enerjiyi doğrudan gökyüzünden temin edebilirse, hiçbir devlet bir diğerine muhtaç kalmaz. Bu, uluslararası

//

GELENEKSEL GÜÇ DENGESİ, PETROL KUYULARINA VEYA STRATEJİK BOĞAZLARA (HÜRMÜZ, MALAKKA VB.) SAHİP OLMAK ÜZERİNE KURULUDUR. UZAYDAN ENERJİ ALMAK, COĞRAFYAYI "ÖNEMSİZLEŞTİRİR". DENİZİ OLMAYAN, PETROLÜ BULUNMAYAN, DAĞLIK BİR ÜLKE BİLE GÖKYÜZÜNÜ KULLANARAK SÜPER GÜÇ OLABİLİR. BUNA MEKÂNSIZ OTONOMİ DENİR. AYRICA BİR ÜLKEYİ DENİZDEN VEYA KARADAN KUŞATMAK, GÖKYÜZÜNDEN GELEN ENERJİ PAKETLERİNİ ENGELLEMeye YETMEZ. BU, KUŞATMA ALTINDAKİ DEVLETLERE SONSUZ BİR DİRENÇ KAPASİTESİ VERİR. UZAYDAN ENERJİ TEMİNİ (SBSP), SADECE 2-3 SÜPER GÜÇ ÜLKENİN TEKELİNDE OLURSA YENİ BİR MERKEZİYETÇİ ENERJİ TEKELİ YARATARAK, DÜNYADAKİ GÜÇ DENGELERİNİ ETKİLEYEBİLİR. ÖTE YANDAN BU TEKNOLOJİ "AÇIK KAYNAKLI" VEYA ERİŞİLEBİLİR BİR MALİYETE İNERSE, TARİHTEKİ EN BÜYÜK ÖZGÜRLEŞME HAREKETİNİ BAŞLATABİLİR.



sistemde "Anarşik bir Eşitlik" doğurur. Bu yönüyle uzay, yalnızca teknolojik bir keşif alanı değil, aynı zamanda geleceğin enerji güvenliği stratejilerinin merkezinde yer alan kritik bir unsur haline gelmektedir.

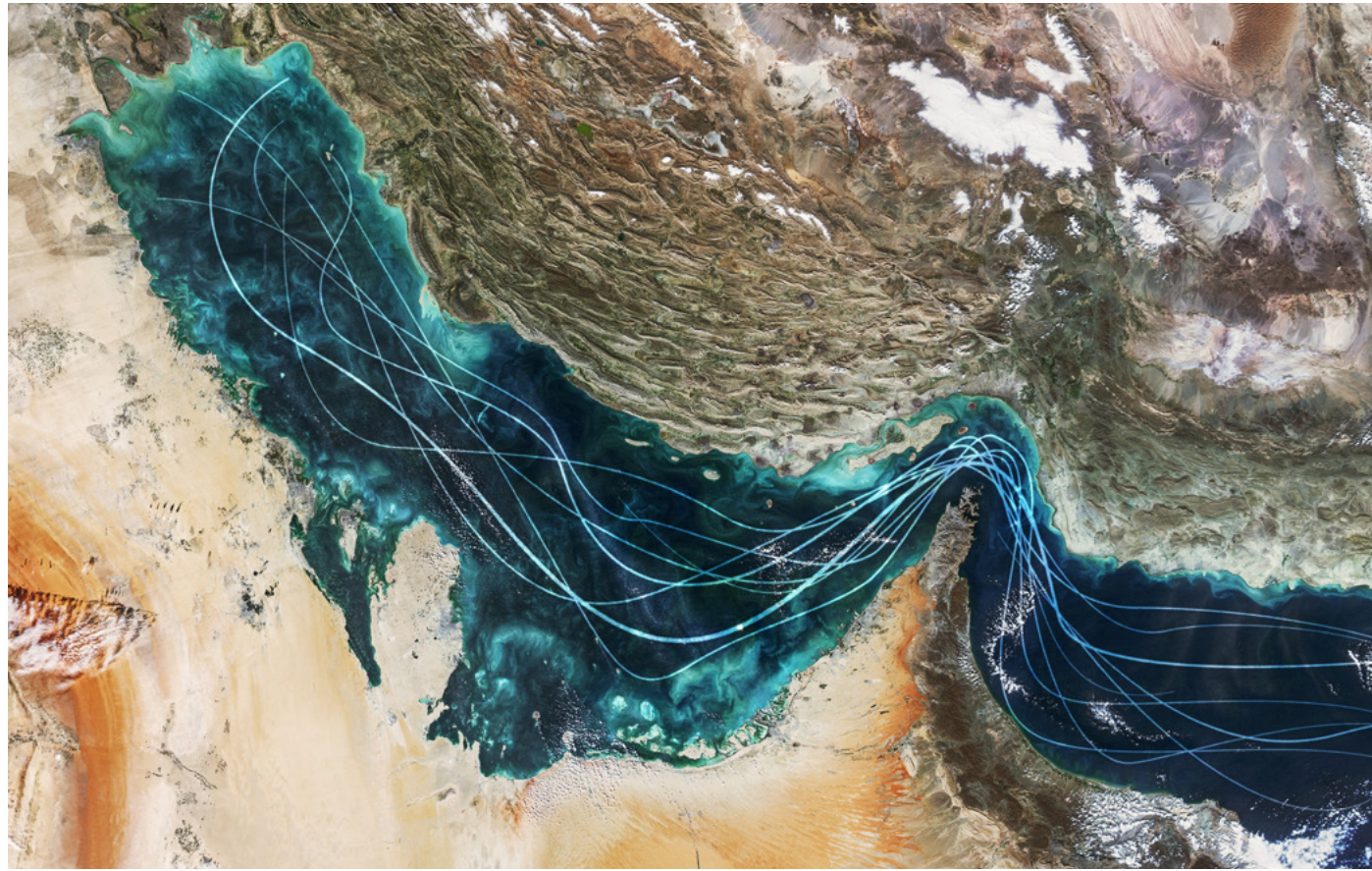
1.BİLİM KURGUDAN GERÇEĞE: UZAYIN ENERJİ KAYNAĞI OLARAK YÜKSELİŞİ

Bilim kurgu literatürü, uzayın bir enerji kaynağı olarak düşünülmesinde yalnızca hayal gücünü besleyen bir tür değil,

rak bu anlatılarda sistematik biçimde kurgulanmıştır. Bu eserler, enerji üretimini coğrafi kısıtların ötesine taşıyarak, uzayı yalnızca keşfedilecek bir alan değil, aynı zamanda medeniyetin sürdürülebilirliği için kritik bir enerji havzası olarak yeniden tanımlamıştır.

Uzayın bir enerji kaynağı olarak düşünülmesi, yalnızca teknolojik gelişmelerin değil, aynı zamanda medeniyetin enerji kapasitesi ile tanımlandığı teorik yaklaşımların da bir sonucudur. Bu

dir. Bu sınıflandırma, enerji üretiminin doğal olarak Dünya sınırlarını aşmak zorunda olduğunu ortaya koymaktadır. Kardaşev Ölçeği başlangıçta üç temel medeniyet düzeyi (Tip I, II ve III) üzerinden tanımlanmış olsa da, daha sonraki çalışmalar bu sınıflandırmayı genişleterek daha ileri seviyeleri de tartışmaya açmıştır. Bu bağlamda Tip IV medeniyet, yalnızca bir galaksinin değil, evrendeki birden fazla galaksi veya galaksi kümelerinin enerjisini kontrol edebilen bir uygarlığı ifade eder. Tip V medeniyet ise



aynı zamanda teknolojik ve stratejik vizyonun erken bir laboratuvarı işlevi görmüştür. Olaf Stapledon'dan Isaac Asimov'a, Arthur C. Clarke'tan modern bilim kurgu yazarlarına uzanan geniş bir külliyat, insanlığın enerji ihtiyacını Dünya sınırlarının ötesine taşıyan senaryolar üretmiştir. Dyson yapılarıyla yıldız enerjisinin doğrudan kullanımı, uzay tabanlı güneş santralleriyle kesintisiz enerji üretimi ya da anti madde gibi yüksek yoğunluklu yakıtlar, ilk ola-

bağlamda Kardaşev Ölçeği, insanlığın enerjiye erişim kapasitesini gezegensel sınırların ötesine taşıyan bir perspektif sunarken, bilim kurgu literatürü bu teorik çerçevenin somut ve anlatsal karşılığını üretmiştir. 1964 yılında Nikolai Kardashev tarafından geliştirilen ölçek, medeniyetleri kontrol edebildikleri enerji miktarına göre sınıflandırır. Buna göre Tip I medeniyetler gezegensel, Tip II medeniyetler yıldız, Tip III medeniyetler ise galaktik ölçekte enerjiye hâkim-

tüm evrenin enerji kapasitesine hâkim olabilen, fiziksel yasaları büyük ölçüde manipüle edebilen bir düzeyi temsil eder. Daha spekülâtif bir yaklaşım olan Tip VI medeniyet ise çoklu evren (multiverse) düzeyinde enerji kontrolü ve farklı evrenler arası geçiş kapasitesi gibi teorik imkanları kapsar. Bu ileri düzeyler, günümüz teknolojik gerçekliğinden oldukça uzak görünse de, enerji üretimi ve kontrolünün yalnızca ekonomik veya teknik bir mesele olmadığını, aynı za-

manda medeniyetin varoluşsal sınırlarını belirleyen temel bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede uzay tabanlı enerji sistemleri, insanlığın Tip I seviyesinden daha ileri aşamalara geçiş sürecinde ilk ve zorunlu adım olarak değerlendirilebilir.

Kardaşev Ölçeği, medeniyetlerin enerji kapasitesine göre sınıflandırılmasını aşağıdaki tabloda özetlemektedir:

Tablodan görüldüğü üzere özellikle Tip II medeniyet düzeyi, uzay tabanlı enerji sistemlerinin (örneğin Dyson yapıları) neden stratejik bir hedef olarak görül-

kısaca şunlardır;

Dyson yapıları ve yıldız enerjisi, bilim kurgu literatüründe uzay tabanlı enerji üretiminin en klasik ve en kapsamlı tasvirlerinden birini oluşturur. Freeman Dyson tarafından kavramsallaştırılan bu yaklaşım, bir yıldızın yaydığı toplam enerjinin doğrudan kontrol altına alınmasını öngörür ve Kardaşev Ölçeği'ne göre Tip II medeniyetlerin temel özelliği olarak kabul edilir. Bu çerçevede, yıldız çevreleyen devasa güneş paneli ağlarından oluşan Dyson küresi veya sürüsü fikri, Olaf Stapledon'ın (2022) Star Maker (Yıldız Yapıcı) adlı eserinde erken örnekleriyle karşımıza çıkar. Benzer şekilde "yıldız madenciliği" (star lifting) olarak adlandırılan yaklaşım, yıldızın hidrojen ve helyum gibi elementlerinin doğrudan çekilerek nükleer füzyon yakıtı olarak kullanılmasını öngörür. Bu tür kurgular, enerjinin yalnızca gezegensel kaynaklarla sınırlı olmadığını, yıldız ölçeğinde kontrol edilebilecek bir güç alanına dönüşebileceğini göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

Sıfır noktası enerjisi ve vakum enerjisi kavramları, kuantum mekaniğine dayanan ve uzayın "boşluk" olmadığı, aksine muazzam bir enerji potansiyeli barındırdığı varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşıma göre uzaydaki vakum, sürekli olarak enerji dalgalanmaları üretmekte ve bu dalgalanmalar teorik olarak kullanılabilir bir enerji kaynağı sunmaktadır. Bilim kurgu literatüründe bu fikir, özellikle Arthur C. Clarke'ın (1999) The Songs of Distant Earth (Uzak Dünyanın Şarkıları) eserlerinde, uzay araçlarını neredeyse sınırsız bir enerjiyle besleyen bir sistemden bahsetmiştir. Bu enerjinin adı "Vakum Enerjisi" olarak geçmekte yakıt almadan yıldızlararası yolculuk yapabilmektedir. Enerjinin "hiçlikten" çekilmesi fikri, kaynak savaşlarını tamamen bitiren bir devrim olarak tasvir edilir.

Benzer şekilde anti madde, birim kütle başına bilinen en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması nedeniyle, bilim kurguda en etkili enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkar. Madde ve anti madde

Medeniyet Tipi	Enerji Düzeyi	Tanım	Örnek / Karşılık
Tip I	$\sim 10^{16}$ W	Gezegene ulaşan tüm enerjiyi kontrol eder	Dünya (henüz tam ulaşılmadı)
Tip II	$\sim 10^{26}$ W	Yıldızın tüm enerjisini kullanır	Dyson Küresi / Yıldız enerjisi
Tip III	$\sim 10^{36}$ W	Galaksi ölçeğinde enerji kontrolü	Galaktik medeniyetler (teorik)
Tip IV	$\sim 10^{46}$ W (tahmini)	Birden fazla galaksi veya galaksi kümelerinin enerjisini kontrol eder	Evrensel ölçekte uygarlıklar
Tip V	$\sim 10^{56}$ W (tahmini)	Tüm evrenin enerji kapasitesini kontrol eder	Evren ölçeğinde medeniyet (spekülâtif)
Tip VI	Belirsiz	Çoklu evrenler arası enerji kontrolü	Multiverse düzeyi (tamamen teorik)

Tablo -1 Kardaşev Ölçeği ve Medeniyetlerin Enerjiye Göre Sınıflandırılması

düğünü açıklamaktadır. Kardaşev Ölçeği, devletlerin enerji güvenliği stratejilerini yerel bir meseleden, medeniyetin bekası için küresel (ve gelecekte uzaysal) bir iş birliği zorunluluğuna taşıyan bir vizyon sunar. Bilim kurgu romanları, bu teorik çerçeveyi erken dönemden itibaren somutlaştırarak, özellikle Tip II ve üzeri medeniyetlerin enerji sistemlerini detaylı biçimde tasvir etmiştir. Bilim kurgu edebiyatı, uzay tabanlı enerji kaynaklarını sadece birer teknolojik araç olarak değil, aynı zamanda medeniyetlerin kaderini tayin eden stratejik unsurlar olarak işlemiştir. Bu romanlar

temas ettiğinde ortaya çıkan tam verimli enerji dönüşümü, özellikle yıldızlararası yolculuklarda itki sistemi olarak kurgulanmakta; bu durum Gene Roddenberry (1966) Uzay Yolu evreni ve Dan Simmons'ın (2021) Hyperion serisi gibi eserlerde açıkça görülmektedir. Aynı zamanda Dan Brown'ın Angels & Demons (Melekler ve Şeytanlar) adlı eseri, genellikle bir gerilim romanı olarak değerlendirilse de, anti maddenin son derece

lerin dönme enerjisinin (Penrose süreci) ya da Hawking radyasyonunun enerjiye dönüştürülmesi fikri, özellikle sert bilim kurgu (hard sci-fi) eserlerinde mikro kara delikler üzerinden çalışan enerji sistemleri şeklinde ele alınmaktadır. Bu tür tasvirler, özellikle Iain M. Banks'in Culture serisi gibi eserlerde dolaylı biçimde ele alınmaktadır. Stephen Baxter (2004), Exultant" romanı Yapay kara deliklerin enerji kaynağı olarak kullanıldığı



yüksek enerji yoğunluğu, potansiyel bir "temiz enerji" kaynağı olarak kullanımı ve aynı zamanda bir kitle imha silahına dönüşebilme riski üzerinden dikkat çeken bir çerçeve sunmaktadır.

Bununla birlikte Kara Delik enerjisi ve Helyum-3 madenciliği, uzayın yalnızca teorik değil, aynı zamanda kısmen uygulanabilir enerji kaynakları sunduğunu gösteren iki önemli örnektir. Kara delik-

ve insanlığın evrenin fiziksel sınırlarını enerji ihtiyacı için nasıl zorladığını anlatan sert bilim kurgu (hard sci-fi) örneğidir. Bu tür ileri enerji sistemleri, modern fizik teorilerinden beslenmekle birlikte, özellikle Albert Einstein, Paul Dirac, Richard Feynman, Stephen Hawking ve Roger Penrose gibi fizikçilerin çalışmalarıyla şekillenen kuramsal çerçevelere dayanmaktadır.

Öte yandan Helyum-3, Ay yüzeyinde bol miktarda bulunduğu düşünülen ve radyoaktif atık üretmeyen bir füzyon yakıtı olarak, bilim kurguda "yakın gelecek" senaryolarının merkezinde yer alır. Ay'ın bir enerji üretim üssüne dönüştüğü bu kurgular, uzayın yalnızca uzak ve spekülâtif değil, aynı zamanda stratejik olarak erişilebilir bir enerji alanı olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda Ian McDonald'ın Luna: New Moon adlı eserinde ve benzer pek çok anlatıda, Ay'ın Dünya'nın enerji ihtiyacını karşılayan bir "enerji üssü" veya adeta bir "yakıt istasyonu" olarak kur-

Uzay tabanlı güneş enerjisi santralleri (SBSP), bilim kurgu literatüründe ortaya atılmış bir fikir olmasına rağmen, günümüzde teorik tartışmaların ötesine geçerek somut araştırma ve geliştirme projelerine konu olmaktadır. Yörüngeye yerleştirilen güneş panelleri aracılığıyla kesintisiz enerji üretimi ve bu enerjinin mikrodalga veya lazer kırımlarıyla Dünya'daki alıcı istasyonlara iletilmesi fikri, özellikle ABD, Çin ve Japonya gibi ülkelerin uzay programlarında aktif olarak çalışılan bir alan haline gelmiştir. Isaac Asimov'un (2022) Reason adlı öyküsünde Güneş enerjisini toplayıp mikrodalga ışınları ile Dünya'ya ve di-

Sonsuza Düşen Işık: Yıldız Gemisi Gö-kada – Uzay 2122 adlı romanı, uzayda kolonizasyon sürecinde füzyon, anti madde rezervleri ve solar halkalar gibi ileri enerji çözümlerini merkeze alarak dikkat çekmektedir. Eser, enerji meselesini yalnızca teknik bir problem olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik ve hayatta kalma ekseninde ele alması bakımından yerli bilim kurgu literatüründe önemli bir örnek sunmaktadır. Bu çerçevede bilim kurgu, artık "geleceğin enerjisi"ni salt bir tahayyül alanı olmaktan çıkarak, toplumsal ve çevresel sürdürülebilirliğin temel unsurlarından biri olarak ele almaktadır.

//

UZAYIN BİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK DÜŞÜNÜLMESİ, YALNIZCA TEKNOLOJİK GELİŞMELERİN DEĞİL, AYNI ZAMANDA MEDENİYETİN ENERJİ KAPASİTESİ İLE TANIMLANDIĞI TEORİK YAKLAŞIMLARIN DA BİR SONUCUDUR. BU BAĞLAMDA KARDAŞEV ÖLÇEĞİ, İNSANLIĞIN ENERJİYE ERİŞİM KAPASİTESİNİ GEZEGENSEL SINIRLARIN ÖTESİNE TAŞIYAN BİR PERSPEKTİF SUNARKEN, BİLİM KURGU LİTERATÜRÜ BU TEORİK ÇERÇEVENİN SOMUT VE ANLATISAL KARŞILIĞINI ÜRETİMİŞTİR. 1964 YILINDA NİKOLAI KARDASHEV TARAFINDAN GELİŞTİRİLEN ÖLÇEK, MEDENİYETLERİ KONTROL EDEBİLDİKLERİ ENERJİ MİKTARINA GÖRE SINIFLANDIRIR. BUNA GÖRE TİP I MEDENİYETLER GEZEGENSEL, TİP II MEDENİYETLER YILDIZ, TİP III MEDENİYETLER İSE GALAKTİK ÖLÇEKTE ENERJİYE HÂKİMDİR. BU SINIFLANDIRMA, ENERJİ ÜRETİMİNİN DOĞAL OLARAK DÜNYA SINIRLARINI AŞMAK ZORUNDA OLDUĞUNU ORTAYA KOYMAKTADIR.

gulanması dikkat çekicidir. Dünya'nın enerji ihtiyacını karşılayan Helyum-3 madenlerini kontrol eden beş büyük ailenin (The Five Dragons) mücadelesini anlatır. Enerji tekeli kuran bu yapıların, Dünya üzerindeki devletleri nasıl dize getirdiğini ve "Ay hukukunu" nasıl dikte ettiklerini işler.

İlaveten Iain M. Banks'in (2023) The Algebraist (Cebirci) adlı eseri, gaz devleri Satürn ve Jüpiter atmosferlerinden enerji elde edilmesi ("fusion tapping") ve bu tür enerji ağlarının galaktik ölçekte siyasi kontrolü üzerinden şekillenen karmaşık bir güç yapısını derinlikli biçimde ele almaktadır.

ğer gezegenlere gönderen devasa uzay istasyonlarını anlatır. Yine Arthur C. Clarke'ın (2022) The Fountains of Paradise (Cennetin Çeşmeleri) adlı eseri, doğrudan bir enerji kaynağı tasviri sunmamakla birlikte, uzay asansörü aracılığıyla yörüngedeki güneş panellerinden Dünya'ya büyük ölçekli enerji aktarımının teknik ve jeopolitik boyutlarını ele alan en gerçekçi vizyonlardan birini ortaya koymaktadır.

Bilim kurgu literatüründe uzay tabanlı enerji sistemleri yalnızca küresel örneklerle değil, yerli eserlerle de giderek daha görünür hale gelmektedir. Bu bağlamda Mustafa Semih Arıcı'nın

2.UZAY TABANLI GÜNEŞ ENERJİSİ (SPACE-BASED SOLAR POWER – SBSP)VE SANTRALLERİ

Uzay tabanlı güneş enerjisi gibi kavramlar, Isaac Asimov'un kurgusal evrenlerinden günümüz mühendislik çalışmalarına uzanan bir çizgide hem düşünsel hem de teknolojik düzlemde belirleyici bir tema haline gelmiştir. Yörüngeye yerleştirilen güneş panelleri aracılığıyla kesintisiz biçimde elde edilen enerjinin mikrodalga veya lazer ışınları yoluyla yeryüzündeki alıcı istasyonlara iletilmesini öngören bir enerji üretim modelidir. Bu sistemin en temel avantajı, atmosferik kayıplardan ve gece-gündüz döngüsünden bağımsız olarak sürekli ener-



ji üretimi sağlayabilmesidir. Böylece enerji arzı, coğrafi koşullara ve iklimsel değişkenlere bağlı olmaktan çıkarak daha istikrarlı ve öngörülebilir bir yapıya kavuşabilmektedir. SBSP teknolojisi uzun yıllar bilim kurgu kapsamında değerlendirilmiş olsa da, 2026 itibarıyla uzaydan enerji üretimi konusunda hem mevcut hem de ses getirmesi beklenen yeni projeler hızla ilerliyor. Özellikle Japonya, Çin, ABD ve Avrupa uzay ajansları, artık laboratuvar testlerinden yörünge prototiplerine geçmeye başladı.

Japonya Uzay Ajansı (JAXA) öncülüğünde yürütülen çalışmalar kapsamında, uzaydan kablosuz enerji iletimi alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve mikrodalga yoluyla enerji transferi başarıyla test edilmiştir. Bu çerçevede geliştirilen "OHISAMA" projesi, 2026 yılında yaklaşık 400 km alçak yörüngedeki bir uydu aracılığıyla toplanan güneş enerjisinin mikrodalgaya dönüştürülerek Dünya'daki bir alıcı istasyona iletilmesiyle, uzaydan enerji aktarımının pratikte mümkün olduğunu göstermiştir. Bu teknoloji, gece-gündüz ve hava koşullarından bağımsız şekilde 7/24 enerji iletimini mümkün kılması açısından kritik bir eşik olarak değerlendirilmektedir. Japonya'nın uzun vadeli hedefleri arasında ise 2030'lu yıllarda yaklaşık 1 gigawatt kapasitesinde, bir nükleer santral büyüklüğünde uzay tabanlı güneş enerjisi santralini devreye almak bulunmaktadır. Bunun ötesinde Japonya merkezli Shimizu Corporation tarafından geliştirilen "Luna Ring" projesi, Ay'ın ekvatoru boyunca yaklaşık 11 bin kilometre uzunluğunda ve 400 kilometre genişliğinde bir güneş paneli kuşağı kurulmasını öngörmektedir. Projede, inşaatın Ay yüzeyindeki regolit kullanılarak ve büyük ölçüde robotik sistemler aracılığıyla gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu tür girişimler, uzay tabanlı enerji üretiminin yalnızca yörüngeyle sınırlı kalmayıp, Ay gibi gök cisimlerini de kapsayan geniş ölçekli bir enerji altyapısına dönüşebileceğini göstermektedir.

Çinde uzay tabanlı güneş enerjisi alanında hızla ilerleyen aktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ülke, yörüngeye yerleştirilecek büyük ölçekli güneş panelleri aracılığıyla elde edilen enerjinin mikrodalga veya lazer sistemleriyle yeryüzüne aktarılmasını hedefleyen kapsamlı projeler geliştirmektedir. Bu bağlamda Çin, "OMEGA -ChongQing Uzay Enerji Tesisi" adını verdiği uzun vadeli bir program yürütmekte; 2028 yılına kadar alçak yörüngede (LEO) test aşamasına geçmeyi, 2030'da yaklaşık 100 kW ölçekli bir sistem kurmayı ve 2050'de 1 gigawatt ka-

ABD, uzay tabanlı güneş enerjisi alanında hem kamu kurumları hem de özel sektör öncülüğünde önemli ilerlemeler kaydetmektedir. California Institute of Technology (Caltech) tarafından geliştirilen ve 2023 yılında fırlatılan SSPD-1 (Space Solar Power Demonstrator) uydusu, yörüngede toplanan güneş enerjisinin mikrodalga formunda iletilmesini başarıyla test ederek bu alanda kritik bir eşik oluşturmuştur. Projenin 2026 yılında planlanan ikinci fazında ise daha yüksek güçlü vericilerle uzun mesafeli kablosuz enerji transferinin



SIFIR NOKTASI ENERJİSİ VE VAKUM ENERJİSİ KAVRAMLARI, KUANTUM MEKANİĞİNE DAYANAN VE UZAYIN "BOŞLUK" OLMADIĞI, AKSİNE MUAZZAM BİR ENERJİ POTANSİYELİ BARINDIRDIĞI VARSAYIMINA DAYANMAKTADIR. BU YAKLAŞIMA GÖRE UZAYDAKİ VAKUM, SÜREKLİ OLARAK ENERJİ DALGALANMALARI ÜRETMEKTE VE BU DALGALANMALAR TEORİK OLARAK KULLANILABİLİR BİR ENERJİ KAYNAĞI SUNMAKTADIR. BİLİM KURGU LİTERATÜRÜNDE BU FİKİR, ÖZELLİKLE ARTHUR C. CLARKE'İN (1999) THE SONGS OF DISTANT EARTH (UZAK DÜNYANIN ŞARKILARI) ESERLERİNDE, UZAY ARAÇLARINI NEREDEYSE SINIRSIZ BİR ENERJİYLE BESLEYEN BİR SİSTEMDEN BAHSETMİŞTİR. BU ENERJİNİN ADI "VAKUM ENERJİSİ" OLARAK GEÇMEKTE YAKIT ALMADAN YILDIZLARARASI YOLCULUK YAPILABİLMEKTEDİR. ENERJİNİN "HIÇLIKTAN" ÇEKİLMESİ FİKRİ, KAYNAK SAVAŞLARINI TAMAMEN BİTİREN BİR DEVRİM OLARAK TASVİR EDİLİR.

pasitesinde tam ölçekli bir uzay güneş enerjisi santralini devreye almayı hedeflemektedir. Bu sistemde yörüngedeki panellerden elde edilen enerjinin mikrodalga formunda Dünya'ya aktarılması planlanmakta olup, hava koşullarından ve gece-gündüz döngüsünden bağımsız kesintisiz enerji üretimi sağlanması amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, Çin'in yalnızca enerji güvenliğini artırma değil, aynı zamanda küresel enerji altyapısında belirleyici bir aktör olma stratejisinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

test edilmesi hedeflenmektedir. Bu gelişmeler, uzaydan enerji iletiminin teknik fizibilitesinin giderek somutlaştığını göstermektedir. ABD'de bu alandaki çalışmalar yalnızca akademik ve kurumsal düzeyle sınırlı kalmayıp, özel sektör vizyonlarıyla da desteklenmektedir. Amazon'un kurucusu Jeff Bezos, uzayda büyük ölçekli enerji üretimi ve yapay zekâ veri merkezlerinin kurulmasının kaçınılmaz olduğunu savunurken; Starlink şirketinin sahibi Elon Musk da artan enerji talebi karşısında uzay ta-

banlı güneş enerjisinin, özellikle yüksek işlem gücü gerektiren sistemler için temel çözüm olacağını vurgulamaktadır. Bu çerçevede ABD hem teknolojik kapasite hem de vizyoner girişimcilik açısından uzay tabanlı enerji sistemlerinin geliştirilmesinde öncü aktörlerden biri olarak konumlanmaktadır.

Rusya da özellikle uzayda nükleer enerji sistemleri ve yüksek kapasiteli enerji modülleri geliştirmeye odaklanmaktadır. Roscosmos ve Rosatom iş birliğiyle

Avrupa bağlamında yapılan çalışmalar da bu teknolojinin potansiyelini ortaya koymaktadır. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen "SOLARIS" programı, kıtanın enerji bağımsızlığını artırmayı ve uzun vadede uzay tabanlı enerji altyapısını devreye almayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, 2025 yılı sonuna kadar teknik fizibilite çalışmalarının tamamlanması, ardından 2030'lu yıllarda modüler yapıya sahip uzay güneş panellerinin yörüngeye yerleştirilmesi planlanmaktadır. Program,



yürütülen projelerde, uzay görevlerini destekleyecek nükleer enerji üniteleri ve derin uzayda kullanılabilecek enerji altyapıları üzerine çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu gelişmeler, uzayın yalnızca enerji üretim alanı değil, aynı zamanda enerji yoğun teknolojilerin (yapay zekâ, veri işleme, uzay sanayii) taşınacağı yeni bir stratejik platform haline geldiğini ve küresel güç rekabetinin giderek bu alana kaydığını ortaya koymaktadır.

özellikle Avrupa'nın enerji arz güvenliği ve dışa bağımlılığının azaltılması açısından stratejik bir girişim olarak değerlendirilmektedir.

Öte yandan, yeniden kullanılabilir roket teknolojilerindeki gelişmeler, bu tür projelerin ekonomik uygulanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Özellikle SpaceX tarafından geliştirilen Starship gibi ağır yük taşıma kapasitesine sahip yenden kullanılabilir roket sistemlerinin

maliyetleri önemli ölçüde düşürmesi, uzay tabanlı enerji projelerinin ölçeklenebilirliğini artırmakta ve SOLARIS gibi girişimlerin finansal açıdan daha gerçekçi hale gelmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda Avrupa'nın yaklaşımı, yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliği de merkeze alan bütüncül bir enerji stratejisi olarak öne çıkmaktadır.

King's College London tarafından yapılan analizlere göre, 2050 yılına kadar SBSP sistemlerinin devreye girmesi, Avrupa'nın kara tabanlı yenilenebilir

da sürdürülebilir hale gelebileceğine işaret etmektedir. Bu bağlamda SBSP, geleceğin enerji sistemlerinde yalnızca alternatif bir seçenek değil; enerji güvenliğini yeniden tanımlayan ve jeopolitik dengeleri değiştirme potansiyeline sahip stratejik bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Gelişmeler, enerji üretiminin giderek yeryüzünden koparak uzaya yöneldiğini ve bunun yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda medeniyetin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir dönüşüm olduğunu ortaya koymaktadır.

//

UZAY TABANLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ (SBSP), BİLİM KURGU LİTERATÜRÜNDE ORTAYA ATILMIŞ BİR FİKİR OLMASINA RAĞMEN, GÜNÜMÜZDE TEORİK TARTIŞMALARIN ÖTESİNE GEÇEREK SOMUT ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME PROJELERİNE KONU OLMAKTADIR. YÖRÜNGEYE YERLEŞTİRİLEN GÜNEŞ PANELLERİ ARACILIĞIYLA KESİNTİSİZ ENERJİ ÜRETİMİ VE BU ENERJİNİN MİKRODALGA VEYA LAZER KİRİŞLERİYLE DÜNYA'DAKİ ALICI İSTASYONLARA İLETİLMESİ FİKRİ, ÖZELLİKLE ABD, ÇİN VE JAPONYA GİBİ ÜLKELERİN UZAY PROGRAMLARINDA AKTİF OLARAK ÇALIŞILAN BİR ALAN HALİNE GELMİŞTİR.

enerji ihtiyacını yaklaşık % 80 oranında azaltabilir. Bu durum, özellikle arazi kullanımı, enerji depolama ve kesintili üretim gibi sorunların aşılması açısından kritik bir avantaj sunmaktadır. Aynı zamanda enerji üretiminin "dikey alana" taşınması, Avrupa gibi enerji ithalatına bağımlı bölgeler için stratejik bir dönüşüm anlamına gelmektedir.

Buna ek olarak, İngiltere hükümeti tarafından yaptırılan çalışmalar, SBSP teknolojisinin 2040'lı yıllar civarında diğer enerji kaynaklarıyla maliyet açısından rekabet edebilir seviyeye ulaşabileceğini öngörmektedir. Bu öngörü, teknolojinin yalnızca teknik olarak mümkün değil, aynı zamanda ekonomik olarak

Uzay tabanlı güneş enerjisi (SBSP) sistemlerinin gelişiminde yalnızca klasik mühendislik çözümleri değil, aynı zamanda kuantum teknolojilerinin sunduğu yeni imkanlar da giderek önem kazanmaktadır. Kuantum iletişim ve kuantum algılama (quantum sensing) teknolojileri, uzaydan Dünya'ya enerji iletiminde hassas yönlendirme, kayıp minimizasyonu ve sistem güvenliği açısından kritik avantajlar sunmaktadır. Özellikle kuantum tabanlı sensörler sayesinde enerji ışınlarının atmosferden geçişi sırasında oluşabilecek sapmaların anlık olarak düzeltilmesi mümkün hale gelirken, kuantum şifreleme yöntemleri bu sistemlerin siber güvenliğini artırmaktadır.

Bunun ötesinde, kuantum malzeme bilimi alanındaki gelişmeler, daha yüksek verimlilikte güneş panelleri ve enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Uzay ortamına dayanıklı, hafif ve yüksek iletkenliğe sahip yeni nesil malzemeler, SBSP sistemlerinin ölçeklenebilirliğini artırmaktadır. Bu çerçevede kuantum teknolojileri, uzay tabanlı enerji sistemlerinin yalnızca

ortaya koymaktadır. Enerji arzının güvenlileştirilmesi, devletleri hem hızlı üretim kapasitesine sahip hem de dış müdahalelere kapalı alternatif kaynaklara yöneltmektedir. Bu bağlamda uzay tabanlı enerji sistemleri, özellikle uzay tabanlı güneş enerjisi (SBSP), yalnızca teknik bir yenilik değil; enerji üretiminin mekânsal bağımlılıklardan kurtararak "dikey alana" taşındığı yeni bir para-

ların ötesine taşıma sürecinin ilk aşaması olarak okunabilir. Uzayda enerji üretimi, yalnızca artan talebe bir yanıt değil; aynı zamanda medeniyetin sürdürülebilirliği ve güç dengelerinin yeniden tanımlanması açısından belirleyici bir adımdır. Bilim kurgu ile başlayan bu düşünsel süreç, günümüzde devlet politikaları ve özel sektör yatırımlarıyla



verimliliğini değil, aynı zamanda güvenilirliğini ve stratejik değerini de artıran tamamlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

SONUÇ

Hürmüz Boğazı gibi kritik geçiş noktalarının yarattığı kırılganlık, enerji güvenliğinin artık yalnızca coğrafi kontrole sağlanamayacağını açık biçimde

digma olarak öne çıkmaktadır. Japonya, Çin, ABD ve Avrupa'nın yürüttüğü projeler, bu dönüşümün artık teorik bir tartışma olmaktan çıktığını ve küresel ölçekte stratejik bir rekabet alanına dönüştüğünü göstermektedir.

Bu dönüşüm, Kardaşev Ölçeği perspektifinden değerlendirildiğinde, insanlığın enerji kapasitesini gezegensel sınır-

somutlaşmakta; enerji, yapay zekâ ve uzay teknolojilerinin kesişiminde yeni bir stratejik alan doğurmaktadır. Sonuç olarak, 21. yüzyılın enerji rekabeti artık yalnızca yeryüzünde değil, yörüngede ve ötesinde şekillenmekte; bu da jeopolitikten astropolitiğe geçişin en somut göstergelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.