

Uzaydan Güneş Enerjisi

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Giderek artan enerji ihtiyacını çevre sorunlarına sebep olmaksızın karşılamamanın yolu temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekten geçiyor. Ancak bugün yenilenebilir enerjiyi toplamak için kullanılan teknolojilerin hiçbiri kesintisiz güç sağlayamıyor. Bu durum, çevreye zararlı fosil yakıtlara bağımlılığın devam etmesine neden oluyor. Güneş enerjisinin Dünya'nın etrafında dolanan uydularla toplanması bu soruna çare olabilir.

Artan Enerji İhtiyacı

Dünya'nın enerji ihtiyacı giderek artıyor. Bu durumun bir nedeni, artan nüfus. Yeryüzünde yaşayan insanların sayısı yakın zamanlarda sekiz milyarı aştı. Her ne kadar artış hızı düşüyor olsa da onlarca yıl boyunca Dünya nüfusunun artmaya devam edeceği tahmin ediliyor. Son tahminlere göre, yeryüzünde yaşayan insanların sayısı 2075 yılı civarında 10,4 milyara ulaşacak. Enerji ihtiyacının giderek artmasının bir diğer nedeni de bilimsel ve teknolojik gelişmelerle beraber insanların ortalama yaşam standartlarının da yükselmesi. Günlük hayatta teknolojiden daha fazla yararlanmak daha çok enerji tüketmek anlamına geliyor. Eğer 2100 yılına gelindiğinde dünya genelindeki kişi başı enerji tüketimi bugünkü Avrupa değerlerine ulaşırsa toplam enerji tüketimi yaklaşık dört katına çıkacak. Peki bu kadar yüksek miktarda enerji nasıl elde edilebilir?

Bugün insanların enerji ihtiyacının önemli bir kısmı petrol ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılanıyor. Ancak bu kaynakların kullanımı ile ilgili önemli sorunlar var. Birincisi, fosil yakıt kullanımı

sürdürülebilir değil: İnsanlar bu kaynakları doğanın yeniden üretebileceğinden çok daha hızlı bir biçimde tüketiyor. İkincisi, fosil yakıt kullanımı atmosfere yüksek miktarda sera gazı salınmasına neden oluyor. Atmosferdeki sera gazları miktarının insan etkinlikleri nedeniyle aşırı artması da yeryüzünün ortalama sıcaklığının yükselmesine, iklim değişikliklerine ve aşırı hava olaylarının sıklaşmasına yol açıyor.

Fosil yakıt kullanımının hem sürdürülebilir olmaması hem de çevreye zarar vermesi nedeniyle, giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak için temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekiyor.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir, temiz enerji kaynakları üzerine onlarca yıldır çalışmalar yapılıyor. Özellikle küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin giderek daha belirgin hâle gelmesiyle pek çok ülke fosil yakıtlara alternatifler aramaya başladı. 2015 yılında düzenlenen Paris İklim Konferansı'ndan sonra hazırlanan Paris Anlaşması'na

bugüne kadar 195 ülke imza attı. Anlaşmaya taraf olan ülkeler, Sanayi Devrimi sonrasındaki küresel ısınmayı 2 °C ile sınırlamak için sera gazı salımını azaltmayı taahhüt ediyor.

Yenilenebilir kaynaklar doğanın insanların tüketebileceğinden daha hızlı bir biçimde üretebildiği kaynaklardır. Bu kaynakların başında güneş ışığı gelir. Bulutsuz bir günde yeryüzünün her bir metrekaresine düşen güneş ışığı ortalama 1.000 Watt güç



Detlev Van Ravenswaay / SPL

enerji ihtiyacının temiz ve yenilenebilir kaynaklardan sağlanmasının önünde bir engel teşkil ediyor.

Belirli bir enerji hattında, belirli zaman aralıklarındaki minimum talep ana yük diye adlandırılır. Günümüzde ana yük genel olarak termik santraller ya da nükleer santraller gibi üretim miktarı önceden planlanabilen ve düzenli bir biçimde üretim yapabilen tesislerden karşılanır. Gün içinde talepte yaşanan ani değişimlere cevap vermek içinse gaz türbinli güç santralleri ve hidroelektrik santraller gibi üretimi çok daha hızlı bir biçimde değişebilen tesislerden yararlanılır.

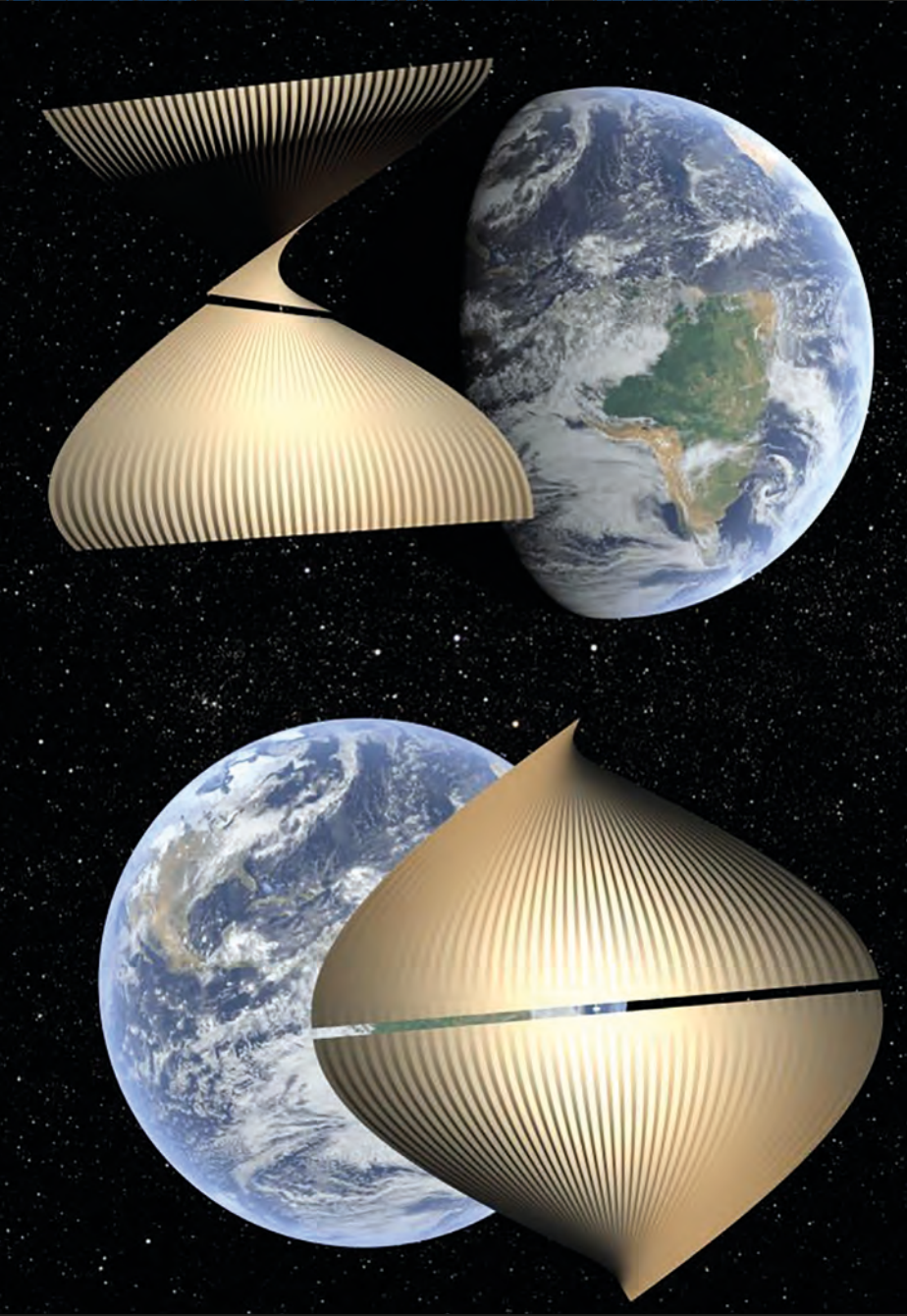
Güneş ışığı ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintisiz güç sağlayamaması, ana yükün karşılanması için fosil yakıtlara olan bağımlılığın devam etmesine neden oluyor. Atmosfere sera gazı salımını en aza, hatta sıfıra indirebilmek için kesintisiz güç sağlayabilen yeni temiz enerji kaynaklarına ihtiyaç var.

sağlar. Üstelik Güneş milyarlarca yıl daha hemen hemen aynı yoğunlukta ışıdamaya devam edecek.

Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı da rüzgâr. Günümüzde hem karalara hem de denizlere rüzgâr türbinleri kuruluyor. Hatta havada süzülen araçlarla atmosferin yükseklerinden rüzgâr enerjisi toplamak üzerine çalışmalar yapılıyor. Okyanus suları da üzerine çalışmalar yapılan bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı.

Özellikle güçlü akıntıların ve dalgaların olduğu bölgelerde okyanuslardan yüksek miktarda enerji elde etmek mümkün.

Bugün kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili önemli bir sorun bu kaynakların kesintisiz güç sağlayamaması. Yeryüzündeki güneş panelleri bulutsuz havalarda, rüzgâr türbinleri esintili havalarda, okyanuslardaki su türbinleri ise sular dalgalı ve akıntılı olduğunda enerji üretebiliyor. Bu durum dünyanın tüm



Uzay Bazlı Güneş Enerjisi

Rüzgâr durmaksızın esmese de sular durmaksızın akmasa da Güneş durmaksızın ışık yayıyor. Dolayısıyla güneş ışığından

kesintisiz güç elde etmek mümkün olabilir. Bunu gerçeğe dönüştürmek içinse hava koşullarının güneş enerjisine erişimimizi engellemesine bir çare bulmak gerekiyor. Bu sorunun en basit çözümü ise güneş ışığından enerji toplayan cihazları atmosferin dışına çıkarmak.

Dünya'nın etrafında dolanan uydularla güneş enerjisi toplayıp yeryüzüne aktarma fikri ilk olarak 1960'larda Peter Glaser tarafından öne sürülmüştü. Glaser, yörüngede dolanan bir uydu hayal etmişti. Uydu önce güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek sonra da bu elektrik enerjisini kullanarak mikrodalgalar üretecekti. Mikrodalgalar, atmosferin içinden kolaylıkla (büyük oranda soğurulmadan ya da saçılmadan) geçebilir. Uydunun ürettiği mikrodalgalar da 2 kilometre çapında bir verici tarafından yeryüzündeki 3 kilometre çapında bir antene aktarılacaktı. Böylece uzayda toplanan Güneş enerjisi yeryüzündeki şebekelerde kullanılmaya hazır hâle getirilecekti.

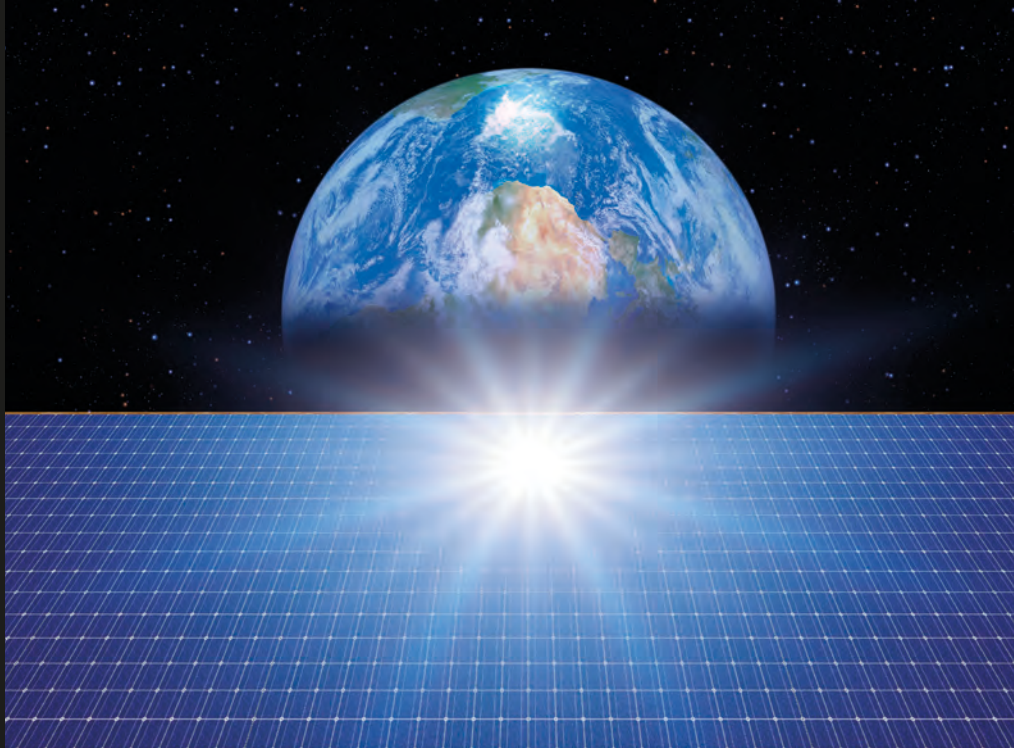
Glaser'in tasarladığı sistemde uydunun yer sabit yörüngede dolanması planlanmıştır. Yer sabit yörünge yeryüzünün 35.786 kilometre yukarısında yer alır. Ekvator düzleminin içinde kalan bu yörüngede yer alan bir uydunun Dünya etrafındaki dolanma periyodu Dünya'nın kendi etrafında dönme periyoduna eşittir. Dolayısıyla yer sabit yörüngede dolanan bir uydu yeryüzünden bakıldığında hiç

hareket etmeksizin aynı noktada duruyormuş gibi görünür. Yer sabit yörüngede dolanan bir uydu neredeyse tüm yıl boyunca günün 24 saati güneş ışığı alabilir. Böyle bir uydu sadece Mart'taki ve Eylül'deki gün dönümleri sırasında günde en fazla bir saat civarı Dünya tarafından gölgelenir. Glasier Dünya'nın belirli bir bölgesine kesintisiz güç sağlamak için aralarında 21 derece açı bulunan iki güneş enerjisi santrali kurulmasını düşünmüştü. Böylece iki santral aynı anda gölgede kalmayacaktı.

Glasier'in düşünceleri başlangıçta büyük ilgi gördü. Böyle bir santralin nasıl kurulabileceği ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmaya başlandı. Ancak bir süre sonra uzay bazlı güneş enerjisi ile ilgili düşünceler ekonomik nedenlerle olumsuzlaştı. Örneğin NASA'nın "1979 Güneş Güç Santrali Referans Sistemi"nde yüzlerce astronotun onlarca yıl çalışmasıyla kurulabilecek bir santral tasarlanmış, bu sistemin kurulmasının tamamlanıp enerji üretecek hâle gelmesi içinse toplamda 1 trilyon doların üzerinde masraf yapılması gerektiği hesaplanmıştı. NASA, böyle bir sistemi kurmanın teknolojik açıdan mümkün fakat ekonomik bakımdan olanaksız olduğu sonucuna

vardı. Ancak uzay güneş santralleri projeleri tamamen rafa kaldırılmadı. Teknoloji geliştikçe yeni tasarımlar yapılmaya ve değerlendirilmeye devam edildi. Aradan geçen zamanda güneş gözelerinde, katı hâl elektronik cihazlarda, robot teknolojilerinde ve malzeme biliminde önemli gelişmeler yaşandı. Kırk sene öncesine kıyasla, ışık enerjisiyle elektrik, elektrik enerjisiyle mikrodalga üreten cihazların verimliliği daha yüksek. Yüksek teknoloji ürünü malzemeler sayesinde aşırı ısınma ile baş etmek artık daha kolay. Gelişen robot teknolojileri sayesinde tüm kurulum bugün insan

eli değmeden de yapılabilir. Ayrıca SpaceX'in uzaya kargo taşımaya başlamasından ve çok kullanımlık roketler geliştirmesinden sonra, uzaya yük taşımının kilogram başına maliyeti yaklaşık onda birine düştü. Üstelik yakın gelecekte uzaya yük taşımının maliyetinin azalmaya devam etmesi bekleniyor. Tüm bu gelişmeler göz önüne alındığında, kırk sene öncesine kıyasla, bir uzay güneş santrali kurmak bugün hem çok daha kolay hem çok daha ucuz. Son değerlendirmeler, uzay güneş santrallerinin, enerji üretim maliyeti açısından, diğer enerji üretim teknolojileriyle rekabet edebileceğini gösteriyor.



Deitey Van Ravenswaay / SPL

Uzay Güneş Santrali Tasarımları

Güneş ışığından aldığı enerjiyi yeryüzündeki belirli bir noktaya aktarmak için tasarlanmış bir uydunun Dünya'nın etrafında dolanmakta olduğunu düşünelim. Uydunun Dünya'nın etrafında, Dünya da Güneş'in etrafında durmaksızın yol alırken Güneş, uydunun yeryüzünde enerji aktarımı yaptığı nokta arasındaki açı sürekli değişir. Örneğin uydunun yer sabit yörüngede dolanıyorsa ve taşıdığı gözeler öğle vakti güneş ışığı üzerlerine düşecek biçimde tasarlanmışsa gece vakti gözelerin arkası Güneş'e dönük olacaktır. Peki öyleyse, bir uzay

güneş santrali nasıl kesintisiz güç sağlayabilir? Bugüne kadar geliştirilmiş tasarımları birbirinden ayıran en önemli farkın bu soruna buldukları çözümler olduğu söylenebilir.

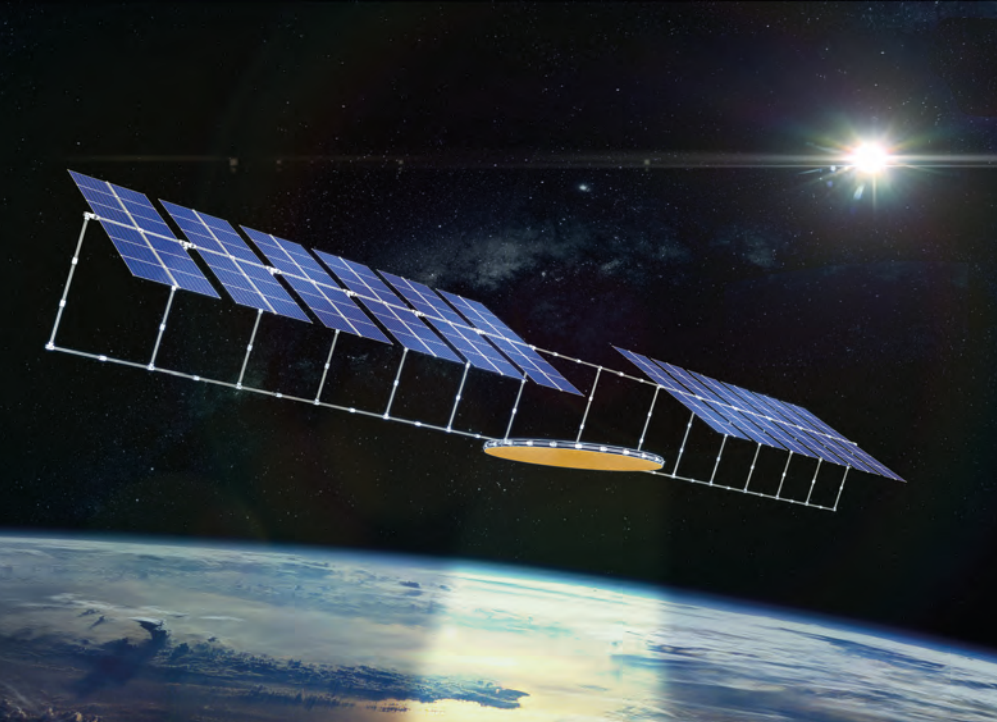
MR-SPS

Bir uzay güneş santralinin güneş ışığından kesintisiz elektrik üretebilmesi için önerilmiş ilk çözüm güneş panellerini döndürmektir. 2015 yılında Çin Uzay Teknolojisi Akademisinden mühendisler tarafından geliştirilen MR-SPS tasarımında da bu yaklaşımdan yararlanılıyor. MR-SPS yaklaşık 12 kilometre çapında, 10.000 ton kütleli bir uydudur. Yer sabit yörüngede

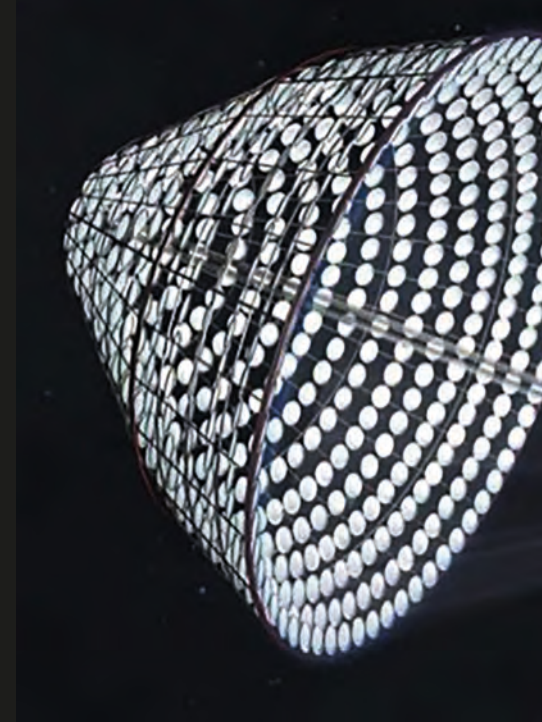
dolanması için tasarlanmış bu uzay güneş santrali, dikdörtgen biçimli bir iskelet ile bu iskeletin üzerine monte edilmiş güneş gözelerinden ve bir aktarıcıdan oluşuyor. Gözelerden aldığı elektrikle mikrodalgalar üreten aktarıcı sabit duruyor ve yüzü her zaman Dünya'ya dönük. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren gözelerse menteşelerin etrafında dönebiliyor. Böylece her zaman üzerlerine güneş ışığı düşmesi mümkün oluyor.

SPS-Alfa

Bir başka uzay güneş santrali tasarımı SPS-Alfa olarak adlandırılıyor. NASA'da çalışan mühendis John Mankins

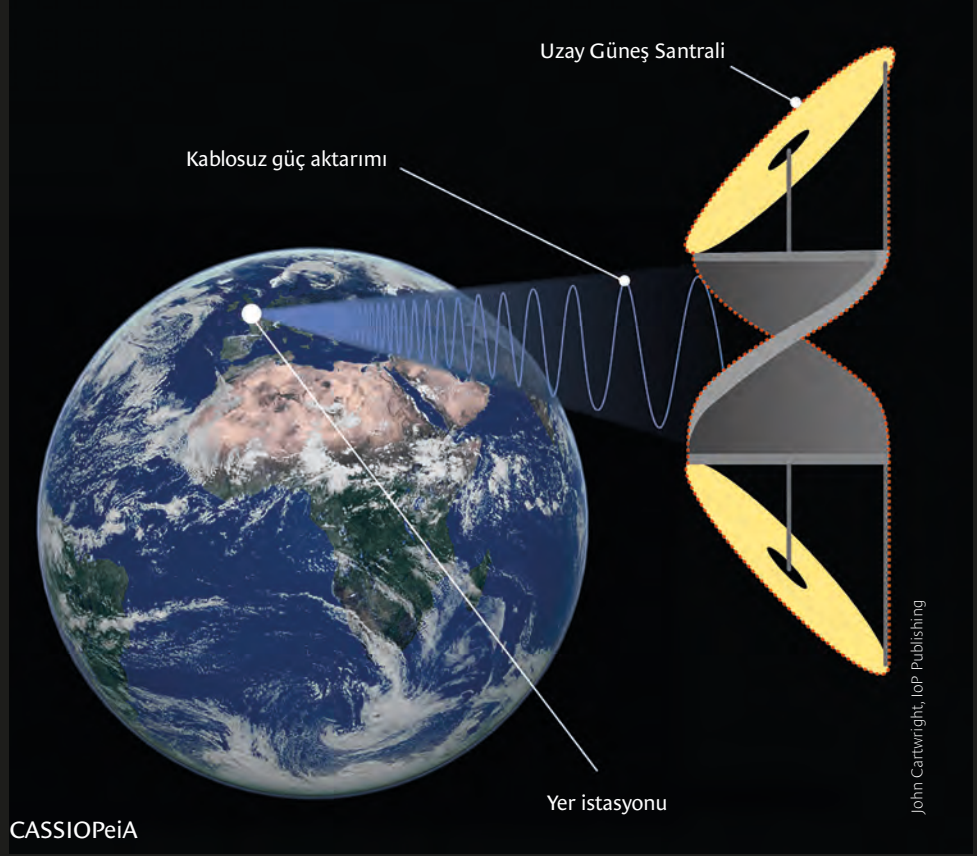


MR-SPS



SPS-Alfa

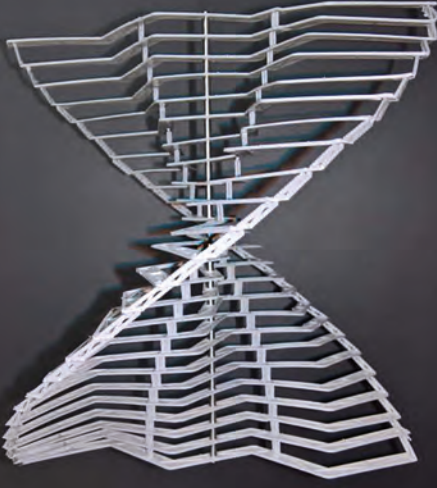
tarafından geliştirilen bu tasarımda, kubbe biçiminde bir yapının üzerinde konumlanmış aynalar ve disk biçiminde bir hacmin içinde diziler hâlinde sıralanmış modüller yer alıyor. Her biri birbirinden bağımsız olarak dönebilen aynalar güneş ışığını diskteki modüllere yönlendiriyor. Modüller ise hem güneş ışığından aldığı enerjiyi kullanarak mikro dalgalar üretiyor hem de bu dalgaları yeryüzüne gönderiyor. Aynaların aksine modüller sabit duruyor ve yüzleri her zaman Dünya'ya dönük. Bu sistemin önemli bir özelliği, modüllerin birbirinden bağımsız bir biçimde çalışabilmesi. Bu sayede modüllerden biri arızalansa bile sistemin geri kalanı çalışmaya devam edebiliyor.



CASSIOPeiA

Hem MR-SPS hem de SPS-Alfa hareketli aksamlar içeriyor. Ancak bu hareketli parçalar zaman içinde aşınma ve yıpranmaya bağlı arızalar çıkarabilir. Üstelik uzayda dolanan bir santraldeki arızaları onarmak kolay bir iş değil. Bu soruna bir çare olması için geliştirilmiş bir tasarım CASSIOPeiA. İngiltere'nin Oxfordshire kentindeki Uluslararası Elektrik Limited Şirketinde çalışan Ian Cash tarafından geliştirilen bu tasarımda hareketli aksamlar bulunmuyor.

CASSIOPeiA uydularının görünümü DNA sarmallarına benziyor. Bu tasarımda tüm bileşenler spiral biçimli bir merdiven görünümündeki bir yapının üzerinde bulunuyor. Işığa duyarlı bileşenler merdivenin basamaklarında, çubuk biçimli mikrodalga aktarıcıları ise basamaklar arasındaki desteklerde konumlanıyor. Spiral biçimli geometri sayesinde, her zaman uydunun üzerindeki güneş panellerinin bir kısmının üzerine ışık düşmesi sağlanıyor.



Ian Cash

CASSIOPeiA tasarımının ana iskeleti

Bu tasarım da birbirinden bağımsız modüllerden oluşuyor. Modüllerin bazıları kozmik ışınlardan ya da uzay çöplerinden zarar görüp çalışamaz hâle gelse bile geriye kalan modüller çalışmaya devam ediyor. CASSIOPeiA'nın önemli bir özelliği, ışığa duyarlı olmayan bileşenlerin her zaman merdivenin basamaklarının gölgesinde kalması. Bu sayede bu bileşenlerin aşırı ısıdan zarar görmesini engellemek kolaylaşıyor.

CASSIOPeiA'nın her zaman bir kısmının Güneş'e dönük olması, çok farklı yörüngelerde çalışmasına da imkân tanıyor. Örneğin bu enerji santralleri yerküreye yer sabit yörüngeden çok daha yakın eliptik yörüngelerde de konumlandırılabilir. Yerküreye

daha yakın yörüngeler, daha düşük maliyetle daha ufak santrallerin kurulmasına imkân verebilir. Böylece, yer sabit yörüngedeki uzay güneş santrallerine kıyasla, yerküreye daha yakın yörüngelerde dolanan uydularla daha düşük maliyetle enerji elde edilebilir. Dünya'ya yakın, aşırı yayvan yörüngelerde dolanan santraller sık sık yerküre tarafından gölgelenebilir. Ancak çok sayıda ufak santral kurularak bu sorun da çözülebilir.

Uzay Güneş Santrallerinin Geleceği

2050 yılına kadar karbon emisyonunun sıfırlanması amaçlanıyor. Ancak şu an kullanılan yenilenebilir, temiz enerji kaynaklarıyla bu hedefe ulaşmak çok zor. Bugün kullanılan rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri gibi teknolojiler kesintisiz güç sağlayamıyor. Bu sorunu aşmanın bir yolu temiz enerjiyi gerektiğinde kullanmak üzere depolamak olabilir. Ancak bu da çok kolay değil. Örneğin havanın üç gün üst üste bulutlu olacağı durumları düşünerek bir planlama yapabilirsiniz. Ancak havanın üst üste bir

hafta bulutlu olmayacağının garantisi yok. Üstelik yüksek miktarda enerjiyi depolayacak tesisler kurmanın maliyeti de çok yüksek. Güneş enerjisini uzaydan toplamak tüm bu sorunlara çare olabilir. Uygun yörüngelerde konumlandırılacak uzay güneş santralleri yeryüzüne kesintisiz güç sağlayabilir.

Uzay güneş santralleri kurmak geçmişte çok yüksek maliyetliydi. Ancak gelişen teknolojiyle ve bilhassa özel şirketlerin uzay taşımacılığına başlamasından sonra maliyetler giderek düşmeye başladı. Son değerlendirmeler uzay güneş santrallerinin diğer enerji üretim teknolojileriyle karşılaştırılabilecek bir maliyetle enerji üretebileceğini gösteriyor.

Kurulması hâlinde uzay santrallerinden yer istasyonlarına gönderilen ışınların güç yoğunluğunun 250 W/m^2 civarında olması planlanıyor. Bulutsuz bir günde güneş ışınlarının yeryüzüne sağladığı güç yoğunluğunun yaklaşık dörtte biri kadar olan bu değer, yüksek miktarda enerjinin çevreye ya da canlılara zarar vermeden uzaydan yeryüzüne aktarılmasını sağlayacak.



Mark Garlick / SPL

çalışmalar yapmak için 75 metre yüksekliğinde bir yapı inşa edildi. İngiltere’de uzaydan güneş enerjisi çalışmalarına destek olmak amacıyla kurulmuş Space Energy Initiative (Uzay Enerjisi Girişimi) adlı bir kuruluş var. Çeşitli ülkelerden araştırma enstitülerini, üniversiteleri ve sanayi kuruluşlarını bir araya getiren bu kuruluşun amacı, ilk uzay güneş uydularının 2040’larda yörüngeye yerleştirilmesine yardımcı olmak.

Temiz enerjiyi uzaydan toplamak bugün fosil yakıtlara olan bağımlılığı tamamen ortadan kaldırabilir ve sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmayı sağlayabilir. Günümüzde pek çok ülke bu olasılığı değerlendirmeye ve üzerinde çalışmaya başladı. ■

Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Japonya ve İngiltere gibi ülkeler uzaydan güneş enerjisi elde etme

konusunda çalışmalar yapmaya devam ediyor. Çin’deki Xidian Üniversitesinde uzay bazlı güneş enerjisiyle ilgili deneysel

Kaynaklar

- Mankins, J. C., “New Developments in Space Solar Power”, *NSS Space Settlement Journal*, Aralık 2017.
- Cartwright, J., “Space-based solar power: could beaming sunlight back to Earth meet our energy needs?”, *PhysicsWorld*, <https://physicsworld.com/a/space-based-solar-power-could-beaming-sunlight-back-to-earth-meet-our-energy-needs/>, 2022.
- Glaser, P. E., “Power from the Sun: Its Future”, *Science*, Cilt 162, s. 857-861, 1968
- Cash, I., “CASSIOPeiA – A new paradigm for space solar power”, *Acta Astronautica*, Cilt 159, s. 170-178, 2019.
- Hou, X., ve ark., “Multi-Rotary Joint SPS”, *Online Journal of Space Communication*, <https://spacejournal.ohio.edu/issue18/cast.html>, 2016.
- Yang, Y., ve ark., “A novel design Project for space solar power station (SPSS-OMEGA)”, *Acta Astronautica*, Cilt 121, s. 51-58, 2016.
- Mankins, J., “SPS-ALPHA: The First Practical Solar Power Satellite via Arbitrary Large Phased Array”, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/niac_2011_phase1_mankins_spsalpha_tagged.pdf, 2012.