

Dünyadan Uzaya Sürdürülebilir Transfer Sistemi Konsepti ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması

Ahmet Sencer AKSU, Aras KARLIDAĞ ve Bartu KÖKSAL - Robert College

ÖZET

Uzay sektörü, gün geçtikçe büyüyen ancak bunun yanı sıra sürdürülebilir olmayan ve ekonomik olarak maliyetli bir sektördür. Uzay asansörü konsepti, geliştirilebilecek olan Dünyadan uzaya sürdürülebilir transfer sistemi konseptleri arasında en uygun konseptlerden birisidir. Bu konseptin gerçekleştirilebilmesi için ağırlık merkezi Jeosenkron Dünya Yörüngesi üzerinde olan bir yapı gereklidir. Gerekli standartları taşıyan ve patenti 2000'lerin başlarında alınmış olan Karbon Nanotüp adlı materyal, düşük yoğunluğuna rağmen çok ciddi miktardaki gerilimlere dayanabilmesiyle bu konseptin hayata geçirilmesinde kullanılacak materyal olarak ön plana çıkmaktadır. Karbon Nanotüp'ün üretim teknolojilerinin gelişmesiyle maliyetinin gramı 50 dolara mal olacak kadar azalacağı öngörülmektedir. Bu bilgiler ışığında 9 milimetre yarıçapa sahip ve 144000 km uzunluğundaki bir karbon nanotüp iskelet üzerine inşa edilmiş olan bir uzay asansörünün maliyetinin yaklaşık 2.5 trilyon dolar olacağı bulunmuştur. Söz konusu Uzay Asansörü fikri gerçekleştirilirse 2027 yılında 27 milyar dolar hacme sahip olacak Uzay Roketleri endüstrisinin tamamını devralacağı varsayıldığı durumda, bu yatırım kendisini yaklaşık 25 yılda amorti edecektir. Sonuç olarak Uzay Asansörü konseptinin maddi olarak, bakım maliyetleri gibi unsurlar da göz önünde bulundurulduğunda, bir kazanç sağlamayacaktır. Ancak insanlığın uzayı keşfine olanak sağlaması veya bu sektördeki iş yükünü azaltması gibi manevi ve hesaplanamayacak faydaları sayesinde bir gün karlı bir yatırım olarak görülebilir ve hayata geçirilebilir. Bu araştırma, 2021 yılı teknolojisinde, uzay asansörleri konseptinin gerçekleştikten uzak olmayan ancak ekonomik yükü yüksek bir proje olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Maliyet, Nanotüp, Sektör, Sürdürülebilirlik, Uzay-Asansörü

1. Giriş

Dünyanın yörüngesinde mevcutta 2200 uydu vardır ve bu sayının şu anda devam eden projeler sona erdiği zaman 16800 civarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (BBC). Her ne kadar bu uydular sayıları 104'e varabilen gruplar halinde gönderilebilse de bu uyduların uzaya transferleri sırasında kullanılan kimyasal roketler hem ekonomik olarak maliyetlidir hem de çevre için çok ciddi zararlar taşımaktadır. Kimyasal roketlere alternatif olabilecek sürdürülebilir bir çözüm bu problemleri egale edecektir. Bu durumu göz önünde bulundurarak bu çalışmada dünyadan uzaya sürdürülebilir bir transfer sistemi olan uzay asansörleri konseptinin günümüz teknolojisiyle uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Yöntem

Uzay asansörleri, yıllardır üzerinde araştırmalar yapılan bir konsepttir. Dolayısıyla erişimi kolay olan kaynaklarda bu çözümün hesaplamaları ve yapısı daha önce irdelenmiştir. Bu araştırmada geçmişte yapılmış olan konseptler taranmış ve günümüz teknolojisine en uygun araştırma baz alınarak devam edilmiştir. Uygun olan araştırma bulunduktan sonra bu araştırmadan çıkan sonuca göre uzay asansörünün inşası sırasında kullanılacak olan materyaller araştırılmıştır. Hem pandemi koşulları dolayısıyla, hem de araştırmamızda önemli yer tutan materyallerin ekonomik olarak erişimi çok zor olduğundan dolayı bu materyal araştırmalarında daha önce yapılmış deney raporları kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde materyal bilimindeki gelişimler göz önünde bulundurulmuş ve güncel (en fazla 1 yıl önce sonuçlanmış) test raporları taranmış ve uzay asansörü konsepti için en uygun materyal bulunmuştur. Konseptin fizibilitesinin değerlendirilmesinde ise hem günümüz teknolojisi göz önünde bulundurularak hem de teknolojinin önümüzdeki yıllarda gelişimi öngörülerek bir maliyet analizi yapılmış, ardından bu maliyet günümüzdeki transfer sistemleriyle karşılaştırılarak bir sonuca ulaşılmıştır.

Veriler

Worcester Politeknik Enstitüsü tarafından yayınlanan “The Physics of the Space Elevator” adlı makalede, gereken karbon nanotüp uzunluğu 144.000 km olarak belirtilmiştir., 3 mm’lik karbon nanotüp kablunun 48 ton taşıyabilmektedir. Yine bu makalenin 4 ve 5. sayfalarında geçen GEO yörüngesi için kütle merkezi, yükseklik ve GEO yörüngesindeki kütle merkezi üzerine eklenecek mukabil ağırlık için uzunluk hesaplamaları projede kullanılmıştır (Aravind, 2006). Bu araştırma ile karbon nanotüp kablosu üzerindeki maksimum stresi (T) 62.861GPa olarak hesaplanmıştır. Yayın tarihindeki mevcut teknolojiye göre kaynağın dördüncü sayfasında saf bir karbon nanotüpünün yoğunluğunun 1300kg/m ve dayanıklılığının (kaldırabileceği maksimum 3 çekme gerilimi) 300 GPa olduğu belirtilmiştir (Aravind, 2006). NASA'nın 2002 tarihinde aldığı 6740224 numaralı patent, karbon nanotüp üretimi için kullanılabilir en verimli yöntemi sunmaktadır (NASA, n.d.). Bu çözüm küçük bir alanda saflık oranı yüksek, dolayısıyla daha yüksek dayanıklılığa sahip, karbon nanotüp üretimine olanak sağlamıştır. Yine NASA'nın web sitesinde talep olması halinde büyük ölçekli üretime geçilebileceği ve önümüzdeki yıllarda gerçekleşecek olan teknolojik ilerlemelerin de katkılarıyla karbon nanotüp üretiminin bir gramı 1000 dolardan bir gramı 50 dolar olacak şekilde düşürülebileceği ifade edilmiştir (NASA, n.d.). Dolayısıyla bu problemin çözülmesinin yakın ve ihtimal dahilinde olduğu söylenebilir.

Denklemler

$$T(Rg) = GM\rho\left[\frac{1}{R} - \frac{3}{2R_g} + \frac{R^2}{2R_g^3}\right]$$

(1)

$$T(Rg) = GM\rho\left[\frac{1}{H} - \frac{3}{2R_g} + \frac{H^2}{2R_g^3}\right]$$

(2)

$$RH^2 + R^2H - 2R_g^3 = 0$$

(3)

Gelişme

Ek-1: Karbon Nanotüp üstündeki maksimum stresin 62.861 GPa olduğu, Worcester Politik Enstitüsünde yayınlanan “The physics of the space elevator” adlı makaleden yola çıkılarak bulunmuştur. Aşağıdaki denklemin lineer bir denklem olması ve yoğunluğun denklem üzerindeki tek değişken olduğundan dolayı, makalenin yazarının sonucunun, ki bu sonuç çelik materyali üzerinden ulaşılmıştır, karbon nanotübün yoğunluğunun çeliğin yoğunluğuna oranıyla çarpılmasıyla birlikte karbon nanotübün üzerindeki azami stres bulunmuştur (Aravind, 2006). Denklem:

$$T(Rg) = GM\rho\left[\frac{1}{R} - \frac{3}{2R_g} + \frac{R^2}{2R_g^3}\right] \quad (2)$$

$R_g = \text{yere eş zamanlı yörünge yarıçap}$ $R = \text{dünyanın yarıçap}$

Ek-2: Ek-1’deki denklem dünyanın yarıçapından yere eş zamanlı yörünge yarıçapına kadar entegre edildiğinde dünyanın yarıçapından yere eş zamanlı yörüngeye kadar ki kablo üzerinde stres bulunur. Asansör yerinde durması gerektiğinden, dünyadan yere eş zamanlı yörüngeye kadar olan stres, yere eş zamanlı yörüngeye kadar olan asansörün uzaklığına eşit olmalıdır. Bu durumda yukarıdaki hesap asansörün tam uzunluğu, H, için yapılabilir:

$$T(Rg) = GM\rho\left[\frac{1}{H} - \frac{3}{2R_g} + \frac{H^2}{2R_g^3}\right] \quad (3)$$

Bu iki denklem birleştirildiğinde ise aşağıdaki gibi bir kübik denklem bulunabilir:

$$RH^2 + R^2H - 2R^3 = 0 \quad (4)$$

Bu denklemin tek pozitif kökünden H’nin uzunluğu, yani asansörün dünyanın merkezinden olan yüksekliğine ulaşılabilir (Aravind, 2006).

$$H = \frac{R}{2} \left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{R}{R_g}\right)^3} - 1 \right] = 150.000 \text{ km}$$

Burada dünyanın yarıçapını çıkarmak unutulmamalıdır. Böylece: $150.000 - R \approx 144.000 \text{ km}$ 144.000 km , bu yapının bütüncül uzunluğudur (Aravind, 2006).

Bulgular (Genişletilmiş hesaplamalar, son rakamlar)

Kaynaklardan elde edilen bilgilere göre söz konusu olan uzay asansörü konseptini gerçekleştirmenin maliyeti hesaplanabilir. 3mm'lik yarıçapa sahip karbon nanotüp 48 ton ağırlık taşıyabildiği göz önünde bulundurulduğu zaman, günümüzdeki "Super Heavy Booster" olarak adlandırılan transfer araçlarının ortalama maksimum taşıma kapasitesi olan 100 tona ulaşmak için söz konusu nanotüp 9 milimetre kalınlığında olması gerekecektir. (Bu hesaplama yapılırken kablo kalınlığının değişken olmadığı ve asansörün her bölgesinde eşit olduğu varsayılmıştır.) Bu kararın ardından karbon nanotüp kablosunun maliyetini hesaplamak için ilk önce hacmini hesaplamak gerekecektir.(Bu hesaplama yapılırken kablonun bir silindir olduğu varsayılmıştır.)

$$\pi r^2 h = V_{cylinder} \quad (1)$$

Bu denklemde "r" değeri kablonun yarıçapıdır ve 9 milimetre (9*10⁻³ metre)'dir. "h" değeri kablonun uzunluğudur ve uzay asansörünün yüksekliği olan 144000 km (1.44*10⁸ metre)'dir Bu sayısal değerler yerlerine yerleştirildiği zaman kablonun toplam hacminin 36643.54 metreküp olacağı bulunmaktadır. NASA'nın karbon nanotüp maliyeti açıklamasında hesaplama ağırlık üzerinden yapıldığından dolayı 1300 kg/m³ olan yoğunluğuyla çarpılması gerekecektir.

$$36643.54m^3 * 1300 \text{ kg/m}^3 = 47636597.71 \text{ kg}$$

Son olarak, NASA'nın \$50/g olarak belirlediği karbon nanotüp maliyetini baz aldığımız zaman uzay asansörünün ana yapısını oluşturacak olan kablonun maliyetinin:

$$47636597.71 * 10^3 * 50 = \$2.381829886 * 10^{12}$$

olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sayı yazıyla 2.381829886 trilyon dolar etmektedir.

Kablo maliyetinin yanı sıra bu kablonun uzaya taşınması ve sistemin kurulması gibi maliyetlerin 120 milyar dolar tutacağı varsayılırsa (2000'lerin teknolojisi ile Uluslararası Uzay İstasyonunun maliyeti) uzay asansörü konseptinin hayata geçirilmesinin yaklaşık olarak 2.5 trilyon dolara mal olacaktır.

Sonuç ve Tartışma

Bulgulara dayanarak, düşük sivrılme oranı ve 200 GPa strese dayanıklılığı ile karbon nanotüp materyali kablonun inşası için uygun element olarak saptanmıştır (Penoyre, 2019). Daha hafif ve strese dayanıklı bir materyal olması da karbon nanotüplerin, Kevlar ve çeliğe karşı daha etkili bir materyal olduğunu göstermektedir. Uzay asansörü, fiziki kanunlar sebebiyle uzaydan aşağı inşa edilmek zorundadır ve boyut bakımından insanlığın ürettiği en büyük yapı olacaktır. Bulgulara göre yerden 144,000 km uzunluğunda olması böyle bir yapının gerektirdiği lojistik ve kaynaklar hakkında fikir sahibi olmaya yetecektir. Yapının kendisi 10 milyar dolar tutacak olup, günümüzde Falcon Heavy roketleriyle 1000 kiloluk 1000 tane uçuş yapmaya benzetilmektedir (Sparks, 2014). Ancak materyal olarak karbon nanotüp gibi hafif ve esnek bir malzeme kullanılacak olması

sayesinde üretim tekniği bakımından bir avantaj kazanılmaktadır. Uzaydan inşa etmek için tahminen dünyanın yerçekimsel kuvveti dışında inşaat yapabilecek özel ekipmanlı özel ekipli bir inşaat ekibi gerekmektedir. Gereken Ar-Ge'nin, özel ekiplerin ve ekipmanların eğitilmesi ve üretilmesi gibi birçok literatüre ilk kez girecek tekniğin finansmanı ve yeterli kaynağın sağlanması zordur ve mümkün gözükmemektedir. Uzay asansörünün, kimyasal roketlere karşı fiyat ve kapasite bakımından etkililiği de kimyasal roketlerin kullanımına bağlıdır. Günümüzde bulunan bazı uzay şirketleri, günümüzde özellikle SpaceX, Starship gibi uzay araçları yük fiyatının kilo başına 10 dolar kadar düşeceğini söylemiştir ve aya gidecek yüklerin de kilo başına 20-30 dolar civarı olacağını tahmin etmiştir (wccfttech.com) . Uzaya kimyasal roketlerle ulaşmak şu anda hiç olmadığı kadar ucuzdur ve bundan dolayı söz konusu konseptin parçalarını uzaya çıkarmak daha az maliyetli hale gelmiştir. Bağımsız bir ekonomi kuruluşunda çalışan Padalkar'a göre 2027 yılında uzay roketi endüstrisinin yıllık boyutu 27 milyar dolar olacaktır (Padalkar 2020). Dolayısıyla, eğer uzay asansörü fikri gerçekleştirilirse ve piyasanın böyle bir sistem sayesinde canlanıp bu marketi 3 katı kadar büyüteceği varsayılırsa söz konusu projenin kendi maliyetini amorti etme süresi 25 yıl olacaktır. Uzay asansörü fikri, bu hesaba göre, her ne kadar ekonomik kazanç sağlamayacak olsa da, uzay endüstrisinin ve teknolojisinin gelişmesine ön ayak olacağı ve insanlığın gelişimi için çok büyük bir araç olacağı göz önünde bulundurulursa büyük devletlerin ortak hareket etmesiyle çok yüksek bir manevi değere sahip olacak bir yatırım olarak görülebilir.

Söz konusu projenin faydaları şu şekilde listelenebilir:

- Dönüştürülebilir enerji (Asansöre eşit ağırlıkta bir ağırlık bağlanırsa aşağı inişler kontrollü bir şekilde ekstra enerji harcanmadan indirilebilir)
- Sürdürülebilir enerji kullanımı: Bütün sistem güneş panelleriyle çalıştırılabilir.
- Aralıksız çalışabilme: Sabit duran bir sistemin kullanılacak olması, transferler arasındaki konvansiyonel roketlerin aksine bakım veya yeniden yapım için bekleme sürelerine ihtiyacı sıfırlar, bu da çok sayıda faydalı yükün hızlı bir şekilde transferine olanak sağlar.
- Uzay araştırmalarının önünün açılması. Yerçekimsiz ortamda deney yapılmasını gerektiren durumlarda maliyetleri ciddi bir şekilde azaltıp bağımsız veya az destek alan araştırmacıların uzaya erişimini kolaylaştırır.
- Güvenilir ve risksiz bir transfer yönteminin gelişmesi Kısmi Nükleer Deneme Yasağı antlaşmasının sınırlarının yeniden gözden geçirilmesini sağlayıp bu alanda gelişmelerin önünü açabilir.
- Atmosferden çıkış maliyetinin azalmasıyla aynı maliyetle çok daha geniş kapsamlı görevler yürütülebilir. Voyager veya Apollo gibi görevlerin daha rahat yürütülmesinin önünü açar.
- Uydu fırlatma maliyetlerinin azalmasıyla iletişim ve istihbarat sektörleri uzaya daha rahat erişebilir.

Bu tür manevi faydaların uzay asansörünün yaratacağı ekstra maliyete değip değmeyeceğine ise projenin yatırımcıları ve mühendisleri karar verecektir.

Öneriler

Uzay asansörü konsepti fazlasıyla irdelenmiş ve açıklanmış bir konsept olmasına rağmen gelişen teknoloji ile birlikte uygulanabilirliği her teknolojik gelişmeyle birlikte daha da fazla artmaktadır. Bundan dolayı bu araştırma gibi araştırma projeleri belirli zaman aralıklarıyla yapılmalı ve konseptin uygulanabilirliği test edilmelidir. Periyodik olarak gelişen teknolojiye göre yapılan maliyet hesaplamalarının yanı sıra uzay asansörlerinin insanlığa sunabileceği yan katkılar (iletişim, enerji üretimi, asteroid madenciliği vb.) hakkında yeterli miktarda araştırma bulunmamaktadır. Bu tür araştırmalar teknolojinin gelişimine daha az bağımlı olduklarından dolayı hem daha uzun ömürlü olacak, hem de uzay asansörü konseptinin Sonuç ve Tartışma bölümünde de açıklanmış olan manevi faydalarının daha net bir şekilde anlaşılıp geliştirilmelerine katkı sağlayıp bu konseptin uygulanabilirliğinin artmasını sağlayacaktır.

Kaynakça

Arawind, P. K. (2006, Kasım 2010). *The physics of the space elevator*. Worcester Polytechnic Institute.

Artukovic, R. (2000, Aralık 25). “The space elevator - Physical principles”. Erişim adresi <http://www.zadar.net/space-elevator/>

Benavides, J., Leidecker, H. W., & Frazier, J. (2002). *Method of manufacturing carbon nanotubes* (U.S. Patent No. 6,740,224). U.S. Patent and Trademark Office. <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fmetahtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=6,740,224.PN.&OS=PN/6,740,224&RS=PN/6,740,224>

Lockney, D. (n.d.). *Method Of Manufacturing Carbon Nanotubes*. NASA, https://technology.nasa.gov/public_domain/GSC-14435-1

Padalkar, P. (2020, Nisan). *Space Launch Services Market by Payload (Satellite, Human Spaceflight, Cargo, Testing Probes, and Stratollite), Launch Platform (Land, Air, and Sea), Service Type (Pre-Launch and Post-Launch), Launch Vehicle (Small [Less than 300 ton] and Heavy [Above 300 ton]), and End-User (Government & Military and Commercial): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020–2027*. <https://www.alliedmarketresearch.com/space-launch-services-market>

Penoyre, Z., & Sandford, E. (n.d.). The spaceline: A practical space elevator alternative achievable with current technology [pdf]. *Acta Astronautica*. <https://arxiv.org/pdf/1908.09339.pdf>

Pugno, N. M. (2006). On the strength of the carbon nanotube-based space elevator cable: From nano-to mega mechanics. *Department of Structural Engineering*, Politecnico di Torino.

Pugno, N. M. (2011). *Physical Properties of Ceramic and Carbon Nanoscale Structures* (S. Bellucci, Ed.; Research Report No. 9783642157783). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15778-3>

Sparks, T. (2014). *Analysis of Space Elevator Technology*. Colorado University.

Zafar, R. (2020, Mart 8). SpaceX Could Bring Starship Launch Costs Down To \$10/kg Believes Musk. *wccftech*. <https://wccftech.com/spacex-launch-costs-down-musk/>