

ENERJİNİN ÖZGÜRLÜĞÜ: KABLOSUZ GÜÇ AKTARIMI

Arş. Gör. Hatice Özmüş

Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
haticeozmus@mersin.edu.tr

Kablosuz Güç Aktarımı: Geleceğin Enerji Teknolojisi

Geçmişten günümüze elektrik, insan yaşamının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiş durumdadır. Elektrik, sınırlı bir kaynak olup elektriğin dağıtım maliyeti ve kabloların kaosu başlıca bir sorun teşkil etmektedir. Sokaktaki enerji iletim hatlarının ortadan kalktığını ve şehirlerin daha temiz bir görünüme kavuştuğunu düşünün. Buna rağmen evinizde ya da dilediğiniz bir noktada enerjiye ulaşabildiğinizi hayal edin. Kablosuz elektrik kulağa bilim kurgu filmlerinden fırlamış fantastik bir kavram gibi görünse de bu teknoloji 19. yüzyılın sonundan itibaren Nikola Tesla tarafından üzerinde çalışılmıştır. Kısaca, Kablosuz Güç Aktarımı (KGA) fikri yeni bir kavram değildir. 19. yüzyılın sonundan itibaren Nikola Tesla, kablosuz güç aktarımı olasılıklarını denemeye başlamış, son yıllarda ise bu kavram artan bir popülerite kazanmıştır. Tesla ile başlayan kablosuz güç iletim serüveni, teknolojinin multidisipliner bir alan olarak yön almasıyla birlikte giderek önem arz etmektedir. Günümüzde KGA, elektrik enerjisinin herhangi bir fiziksel kabloya ihtiyaç duyulmadan bir kaynaktan bir alıcıya iletilmesini sağlayan yenilikçi bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kablosuz Güç Aktarımı Temel Çalışma Prensipleri ve Yöntemler

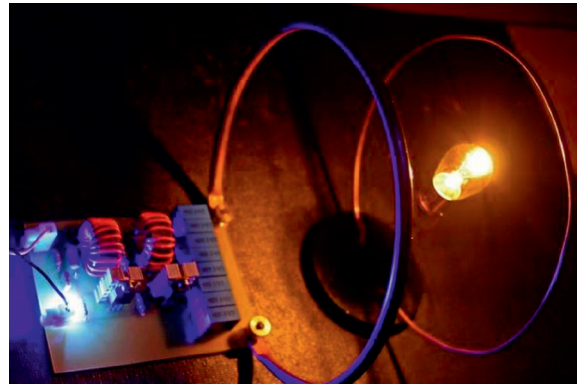
Kablosuz güç aktarımı, temelde elektromanyetik alanlar aracılığıyla enerji transferi prensibine dayanmaktadır. KGA teknolojisi, elektrik enerjisinin fiziksel bağlantılar olmadan aktarılmasını sağlayarak elektronik cihazlara güç sağlamak için uygun ve verimli bir çözüm sunmaktadır [1]. KGA için kullanılan teknolojiler, çalışma prensipleri ve verimlilik açısından kablosuz olarak enerji sağlama hedefini amaçlamaktadır. En yaygın kullanılan KGA teknolojileri; endüktif kuplaj, rezonans manyetik induksiyon, radyo frekansı (RF), mikrodalga ve güneş enerjisi kablosuz güç aktarımıdır. Endüktif kuplaj, enerjiyi bir verici bobinden alıcı bobine aktarmak için manyetik indükleme kullanılmaktadır. Bu yöntemi, Şekil

1’de görüldüğü gibi günlük yaşamımızın vazgeçilmez parçası olan akıllı telefonların kablosuz şarj cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



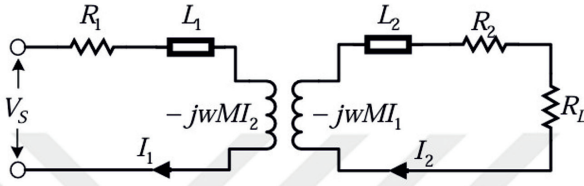
Şekil 1. Akıllı telefon kablosuz şarj cihazı

Şekil 2’de yer alan manyetik rezonans yöntemi ise induksiyon yöntemine benzer şekilde çalışmakta olup ancak verici ve alıcı aynı rezonans frekansında titreştiğinde enerji aktarımı daha verimli hale gelmektedir. Son yıllarda çoğunlukla günlük yaşantımıza entegre olmuş popüler elektrikli araç şarj istasyonlarında araştırılan bir teknolojidir.



Şekil 2. Manyetik rezonans ile kablosuz elektrik iletimi

Şekil 3'te eşdeğer devre modeli verilen sistem çok yakın aralıklı birincil ve ikincil sargılardan oluşan hava özlü trafo kullanılarak elektromanyetik indüklenme prensibi ile çalışmaktadır [4]. Sistemde sargılar fiziksel olarak temas ediyor gibi görünsün de elektriksel olarak izole edilmiştir. İkincil sargının bağımsız bir hareket kabiliyeti vardır. Bu nedenle bu yöntem diğer yöntemlere göre elektrikli araçların pil şarj uygulamaları için daha kullanışlı bir yöntem olarak kabul edilir. Ancak bu sistemlerde kısa mesafelerde dahi kaçak akımın çok yüksek olmasından dolayı verim çok düşüktür. Verimi arttırmak için birincil ve ikincil sargılarına kapasitör eklenerek endüktif kuplajlı güç transferi yöntemi geliştirilmiştir.

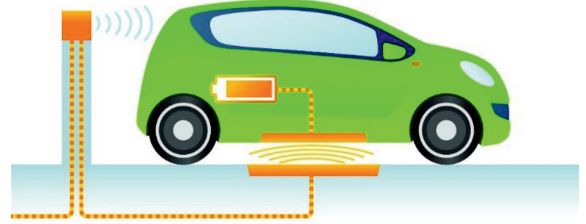


Şekil 3. Endüktif güç transferinde eşdeğer devre modeli.

Burada giriş voltajı, birincil devre akımı, ikincil devre akımı, birincil devre endüktansı, ikincil devre endüktansı, M ortak endüktans, birincil devre direnci, ikincil devre direnci ve yük direncidir.

Kablosuz güç aktarımı konusunda önemli atılımlardan birisi olan Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün 2007'de gerçekleştirdiği kablosuz güç aktarımı deneyi, kablosuz elektrik sözcüklerinden türetilen WiTricity adıyla bilinmektedir [5]. Bu çalışma, manyetik rezonans kullanılarak elektrik enerjisinin kablosuz olarak aktarılabilirliğini göstermektedir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yer alan bir araştırma ekibi, 2 metrelik bir mesafede 40 watt'lık bir ampulü yakmayı başarmıştır. Kullanılan yöntem, manyetik rezonans kavramına dayanmakta olup sistem iki rezonanslı bakır bobin arasında enerji aktarımını sağlamaktadır. Deneyin temel çalışma prensibi, güç kaynağına bağlı bir bobin ile belirli bir frekansta manyetik alan oluşturarak, aynı frekansta rezonansa ayarlanmış ikinci bir bobinin, bu manyetik alanı alarak enerjiyi tekrar elektrige çevirmesine dayanmaktadır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün yapmış olduğu çalışma, günümüzde kablosuz şarj teknolojilerinin temelini atmış olup endüstride birçok yeniliğe ilham kaynağı olmaktadır. Son zamanlarda yapılan bir çalışmada ise; düşük frekanslı çalışma, düşük yabancı cisim girişimi, düşük elektromanyetik emisyon ve yüksek mis hizalama toleransı avantajları ile elektrikli araç (EA) şarjı için bir manyetik dişi KGA sisteminin potansiyeli üzerine araştırmalar yürütülmektedir [3]. Çalışma, arzu edilen yerlerde akı yoğunluğunu artırırken, istenmeyen yerlerde akıyı azaltan ve bu da yabancı cisim çekiminin azalmasını faydasını sağlayan Halbach dizilerinin yeni etkisini araştırmaktadır. İlk prototip sonuçları, Halbach sisteminin 104 mm'lik bir boşluk boyunca %64'lük bir

transfer verimliliği ile yaklaşık 34,65 W iletebildiğini göstermektedir. Bu çalışma, verimliliği optimize etmeye, güvenliğini artırmaya ve şarj sürecini basitleştirmeye odaklanan gelecekteki yeniliklere zemin hazırlayan, manyetik dişlilere dayalı düşük frekanslı bir kablosuz EA şarj teknolojinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Şekil 4'te yer alan görselde görüldüğü üzere elektrikli araçlarda kablosuz şarj teknolojisi günlük yaşamımızın bir parçası olmaktadır.



Şekil 4. Elektrikli araçlarda kablosuz şarj teknolojisi

RF kablosuz güç aktarımı, Wi-Fi'ye benzer şekilde enerji aktarmak için radyo dalgalarını kullanmaktadır. Mikrodalga KGA'da, yüksek frekanslı mikrodalgalar kullanılmaktadır ve RF KGA'dan daha uzun mesafelerde enerji aktarabilmektedir [6]. Solar KGA da ise, güneş ışığını kablosuz olarak aktarılabilen elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Lazer ile Güç Aktarımı yönteminde ise yoğunlaştırılmış lazer ışınlarıyla uzak mesafelere enerji aktarımı sağlanmakta olup güvenlik tedbirleri kapsamında dikkatli kullanım gerektirmektedir. Son olarak önemli bir konuma sahip yöntem olan Radyo dalgaları ve mikrodalgalar ise uzun mesafelerde enerji aktarımı sağlamak için radyo frekansları veya mikrodalgalar kullanılmaktadır. Günümüzde de radyo frekansı yöntemi ile sağlık alanında tıbbi implantlar için kablosuz şarj sistemleri üzerine



Şekil 5. Kanada İletişim Araştırma Merkezi tarafından yapılan SHARP

çalışmalar yer almaktadır [2]. Radyo dalgalarını kullanarak güç iletimi kavramı, neredeyse yüz yıl öncesine, Heinrich Hertz'e ve 1888'de radyonun başlangıcına kadar uzanan bir geçmişe sahiptir. Bu alanda en ciddi çalışmalardan biri 1980'li yıllarda Kanada İletişim Araştırma Merkezi tarafından yapılan SHARP (Sabit Yüksek İrtifa Röle Platformu) projesidir [7]. Şekil 5'te görüldüğü üzere, projede herhangi bir yerleşik enerji kaynağı olmayan bir uçak süreç kapsamında, mikrodalga enerjisi ile 21 km yükseklikte 2 km'lik bir daire içinde bir aydan fazla bir süre test edilmiştir.

Kablosuz Güç Aktarımının Tarihsel Süreci

KGA teknolojisinin 19. yüzyıldan itibaren Faraday ile başlayıp teorik çalışmalar ile günümüze kadar olan tarihsel sürecine aşağıdaki Tablo 1' de yer verilmiştir.

Kablosuz Elektrik ve Büyük Hayaller

Tesla ismine hepimiz aşinayız diyebiliriz. Bugün Tesla'nın ismi, elektrikli araçlardan kablosuz şarj teknolojilerine kadar birçok alanda yaşamaya devam ediyor. Tesla, elektriği kablosuz olarak iletmenin mümkün olduğunu düşünmekteydi. Tesla Bobini adlı icadıyla yüksek frekanslı elektrik akımı üretmeyi başarmıştır. Tesla, 1901-1904 yılları arasında kablosuz enerji transferi yapabileceği Şekil 6'da yer alan Wardenclyffe adında dev bir kule inşa etmiştir. Amacı, tüm dünyaya elektriği kablosuz olarak iletme idi. Ancak, finansal sorunlar ve destekçilerin ilgisizliği nedeniyle proje tamamlanamamıştır. J.P. Morgan gibi yatırımcılar, kablosuz elektriğin kâr getirmeyeceğini düşündüğü için desteğini çekmesiyle proje rafa kaldırılmıştır. Tesla daha sonraları bu

Kablosuz Güç Aktarımının Tarihçesi		
Dönem	Önemli Kişiler / Kuruluşlar	Çalışmalar ve Gelişmeler
İlk Teorik Çalışmalar ve Denemeler (19. Yüzyıl)	Michael Faraday (1831)	Elektromanyetik indüksiyon yasasını keşfetti.
	James Clerk Maxwell (1864)	Elektromanyetik dalgaların varlığını teorik olarak ortaya koydu.
	Heinrich Hertz (1888)	Elektromanyetik dalgaları deneysel olarak kanıtladı.
Nikola Tesla ve Kablosuz Elektrik (1890'lar – 1900'ler)	Nikola Tesla (1891)	Tesla Bobini ile yüksek frekanslı elektrik akımlarını kablosuz olarak iletmeyi başardı.
	Nikola Tesla (1901-1904)	Wardenclyffe Kulesi'ni inşa etti, ancak finansal nedenlerle tamamlanamadı.
Radyo Dalgaları ile Güç Aktarımı (20. Yüzyıl)	Guglielmo Marconi (1901)	Radyo dalgaları ile kablosuz iletişimi sağladı, kablosuz güç aktarımına ilham verdi.
	William C. Brown (1960'lar)	Mikrodalga ile güç aktarımı üzerine çalıştı ve ilk mikrodalga güç aktarımını gösterdi.
	NASA (1970'ler)	Uzayda güneş enerjisinden mikrodalga ile güç aktarımı araştırmalarına başladı.
Modern Dönem ve Günümüz Teknolojileri (2000'ler – Günümüz)	MIT (2007)	Manyetik rezonans ile 2 metre mesafeye kadar kablosuz güç aktarımı gerçekleştirdi.
	Teknoloji Şirketleri (2010'lar – Günümüz)	Akıllı telefonlar, elektrikli araçlar ve tıbbi implantlar için kablosuz şarj sistemleri geliştirildi (Qi standardı vb.).
	Japonya & ABD (Günümüz)	Uzay tabanlı güneş enerjisinden Dünya'ya mikrodalga veya lazerle enerji aktarımı üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

Tablo 1. Kablosuz Güç Aktarım Tarihçesi

fikri George Westinghouse'da teklif etse de o da aynı gerekçeyle projeyi reddetmiştir. Böylece insanlık adına önemli bir fırsat kaçırılmıştır.



Şekil 6. Wardencliff Kulesi

Kablosuz Güç Aktarımının Avantajları / Dezavantajları ve Gelecekteki Potansiyel Kullanım Alanları

Kablosuz güç aktarımı fiziksel bağlantı gerektirmedinden kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Suya ve toza karşı daha dayanıklı olup mekanik aşınma ve yıpranma riskini azaltmaktadır. Kablosuz güç aktarımının, özellikle enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyele sahip olması pozitif yönüyle etki ederken bu teknolojinin yaygınlaşması için aşılması gereken birtakım teknik ve ekonomik zorlukları da beraberinde getirmektedir. Örneğin; mevcut sistemlerde enerji kaybının yüksek olması sebebiyle verimliliğin artırılması yönünde çalışmalar gerekmektedir. Kablosuz güç aktarım sistemlerinin maliyeti, özellikle yüksek güçlü uygulamalarda yüksek olduğundan maliyeti düşürmek için çalışmalar yürütülmelidir. Bu olumsuzlukların yanı sıra farklı cihazlar ve sistemler arasında uyumluluk sağlamak için evrensel standartların oluşturulması gerekmektedir. Aynı zamanda elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerinde daha fazla araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Kablosuz güç aktarımı, özellikle son yıllarda çeşitli sektörlerde devrim yaratma potansiyeline sahip olmaktadır. Şüphesiz, günlük yaşamımızın vazgeçilmez unsurları arasında yer alan akıllı telefonlardan dizüstü bilgisayarlara; elektrikli araçlar kapsamında kablosuz şarj istasyonlarından sağlık alanında kablosuz diş fırçalarından, kalp pili gibi tıbbi implantların şarj edilmesine; robotik sistemler ve sensörlerden uzay araçları için güç aktarımına kadar birçok alanda hayatımızda yer almaktadır.

Kablosuz güç aktarımının, gelecekteki yaşamımızda potansiyel kullanım alanları kapsamında teknoloji günden güne bir gelişim sürecinde olduğu için ulaşım altyapısı bakımından elektrikli otobüsler ve trenler, duraklarda veya hareket halindeyken kablosuz olarak şarj edilebilir duruma gelebilir. Uzaydan Dünya'ya enerji transferi, yörüngede bulunan güneş panelleriyle toplanan enerji,

mikrodalgalar veya lazer ışınlarıyla Dünya'ya gönderilerek gerçekleştirilebilir. Belki de bir çoğumuza ütöpi gelecektir fakat şu an ki haliyle akıllı evlerde gelecekte prizlere ihtiyaç duymadan evdeki tüm cihazların kablosuz olarak enerji alması mümkün olabilecektir. Kim bilebilir, günümüzden on yıl öncesine kadar elektrikli araçlar aklımızdan bile geçmezdi.

Sonuç

Kablosuz güç aktarımı, geleceğin enerji teknolojileri arasında önemli bir yere sahiptir. Günümüzde küçük elektronik cihazlardan elektrikli araçlara kadar birçok alanda kullanımına başlanan bu teknoloji, gelişmeye devam ettikçe enerji aktarımında devrim yaratacaktır. Elektrik mühendisleri olarak, bu alanda yapılacak araştırma ve geliştirme çalışmaları, teknolojinin sınırlarını zorlamak ve daha verimli, uygun maliyetli çözümler sunmak için büyük bir fırsat yaratma imkanına sahibiz. Tesla'nın 100 yılı aşkın bir süre önce dünyaya miras bıraktığı kablosuz güç aktarım teknolojisi, son zamanlarda yeniden keşfedilmeye başlandı. Mobilizasyon dünyasında her şeyin değiştirilebileceği düşünüldüğü için bu teknolojinin yakın gelecekte etkin bir şekilde kullanılabileceği aşikardır. "Gelecek benimdir." diyen Tesla'nın hayalleri, bugün gerçekleşmeye devam ediyor ve devam edecektir.

"Bizden önceki birçok jenerasyonda makinelerimiz dünyada herhangi bir yerde elde edilen enerji ile çalıştırıldı. Bu yeni bir şey değil. Gücümü topraktan alan etkileyici Antheus mitosunda, büyük matematikçilerinizin spekülasyonlarına rastladığımız bir şey var. Enerji uzayın her yerinde. Bu enerji statik mi, kinetik mi? Eğer statik ise umutlarımız boşuna; eğer kinetik ise -ve böyle olduğumu biliyoruz- insanlık için makineleri bu doğanın döngüsüne bağlamak sadece bir zaman meselesidir."

Nikola TESLA

Kaynakça

- [1] Alabsi, A., Hu, J., Hawbani, A., Wang, X., Abdel Aziz, S., Shvetsov, A. V., Al-Dubai, A., Kumar, S., Zhao, L., & Alsamhi, S. H., "Wireless Power Transfer Technologies, Applications, and Future Trends: A Review," IEEE Transactions On Sustainable Computing, vol.10, no.1, January/February 2025.
- [2] A. K. Teshome, B. Kibret and D. T. H. Lai, "A Review of Implant Communication Technology in WBAN: Progress and Challenges," in IEEE Reviews in Biomedical Engineering, vol. 12, pp. 88-99, 2019.
- [3] Dunlap, C.; Van Neste, C.W., "Magnetic Gear Wireless Power Transfer System: Prototype and Electric Vehicle Charging," Energies 2025, 18, 532. <https://doi.org/10.3390/en18030532>.
- [4] Oraz, A. A. (2018). Elektrikli araçlar için endüktif kuplaj yöntemiyle kablosuz güç aktarımının gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.
- [5] S. L. Ho, Junhua Wang, W. N. Fu and Mingui Sun "A Comparative Study Between Novel Witricity and Traditional Inductive Magnetic Coupling in Wireless charging," IEEE Trans. Magnetics, vol. 47, no.5, pp. 1522-1525, May 2011.
- [6] Y. Wei et al., "A multiband, polarization-controlled metasurface absorber for electromagnetic energy harvesting and wireless power transfer," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 70, no. 5, pp. 2861-2871, May 2022.
- [7] <https://www.friendsofcrc.ca/Projects/SHARP/sharp.html>