



Kablosuz Endüktif ve Kapasitif Güç Transferi Sistemleri Üzerine Nümerik Araştırma

Numerical Research on Wireless Inductive and Capacitive Power Transfer Systems

Mehmet Zahid Erel ¹

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, 06010 Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 29/04/2022 **Kabul / Accepted:** 18/07/2022 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz
Kablosuz güç transferi teknolojisi son yıllarda ilgi çeken bir konu olmuştur. Kablolü şarj teknolojisine göre basit tasarım, düşük maliyet, esneklik, güvenli ve uzun ömürlü işletim gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu makalenin asıl amacı diğer kablosuz şarj teknolojileri arasında öne çıkan endüktif ve kapasitif güç transferi sistemleri üzerine Scopus veri tabanı kullanılarak nümerik araştırma sunmaktır. Bu kapsamda, literatürdeki belge sayılarının yıllara, yazarlara ve ülkelere göre değişimi verilmiştir. Aynı zamanda ilgili konu alanları ve belge tipleri yüzdelik olarak sunulmuştur. Araştırmanın sonucunda, endüktif güç transferi üzerine çalışmaların kapasitif güç transferine göre daha çok yer aldığı görülmüştür. Her iki kablosuz şarj teknolojisi için belge sayısı 2019 yılında zirve yapmıştır. Buna ilaveten, ülkeler arasında kıyaslama yapıldığında Amerika ve Çin diğerlerine göre dokümantasyon bakımından üstün durumdadır. Endüktif teknolojinin kullanıldığı çalışmalarda Çin, Amerika'ya göre üstün durumda iken kapasitif çalışmalarda Amerika, Çin'e göre üstün durumdadır. Her iki kablosuz şarj teknolojisi için mühendislik ve konferans bildirileri değişkenleri diğer değişkenlere göre literatürde daha çok yer almıştır. Bu çalışmanın endüktif ve kapasitif kablosuz şarj teknolojisi ile ilgilenen araştırmacılar için önemli bir referans olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler

“Kablosuz güç transferi, kablosuz şarj teknolojisi, endüktif güç transferi, kapasitif güç transferi, nümerik araştırma”

Abstract

Wireless power transfer technology has been a topic of interest in recent years. Compared to wired charging technology, it offers many advantages such as simple design, low cost, flexibility, safe and long-lasting operation. The main purpose of the paper is to present numerical research using Scopus database on inductive and capacitive power transfer systems that prominent among other wireless charging technologies. In this context, the number of documents in the literature is given according to the years, authors, and countries. Meantime, the relevant subject areas and document types are presented as a percentage. As a result of the research, it has been observed that the studies on inductive power transfer are more available than the capacitive power transfer. The number of documents for both wireless charging technologies peaked in 2019. Moreover, America and China are superior to the others when compared in terms of documentation. While China is superior to America in inductive charging technology, America surpasses China in capacitive charging technology. The variations of engineering and conference papers are more figured in both wireless charging technologies than others. This paper is expected to serve as a significant reference for researchers who are interested in wireless charging technology.

Key Words

“Wireless power transfer, wireless charging technology, inductive power transfer, capacitive power transfer, numerical research”

1. Giriş

Artan fosil yakıt kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu ve çevresel kirlilik meseleleri son yıllarda çözülmesi gereken önemli konu başlıkları arasında olmuştur. Bu problemlerin çözümü için birçok araştırma başlığı ortaya konulmuş ve bunlardan bir tanesi de kablosuz güç transfer teknolojisi olarak karşımıza çıkmıştır. Kablosuz güç transfer teknolojisi, herhangi bir kablo bağlantısı olmadan gücün iletilmesi olarak ifade edilebilir. Nikola Tesla, kablosuz güç transferi teknolojisinin öncüsü olarak bilinir ve bu teknolojinin gelişip günümüzdeki halini almasında önemli bir rol oynamıştır. Yüksek frekanslı ve yüksek gerilim trafosu olarak da bilinen Tesla bobininin icadı bu durumun göstergesi olarak verilebilir (Marincic, 1982). Tesla bu çalışmasında bobinleri kullanarak elektrik enerjisinin kablosuz olarak iletimini amaçlamıştır. Kablosuz güç transferi teknolojisi, kablolu şarj teknolojisi ile karşılaştırıldığında birçok avantaj sunmaktadır; bunlar basit tasarım, düşük maliyet, yağmur ve kar gibi kötü hava şartlarında güvenli işletim, korozyon ve ark durumlarının önlenmesi ve artan işletim ömrü olarak verilebilir Zhang vd., (2018). Kablosuz güç transferi üzerine çalışmalar transfer mesafesi dikkate alınarak iki ana başlık altında kategorize edilmiş olup bunlar yakın alan ve uzak alan güç transferi teknolojileridir. Uzak alan güç transferi teknolojisi yüksek frekansta elektromanyetik dalgaların yayımına bağlı iken, yakın alan teknolojisi elektromanyetik dalgaların yayımına bağlı değildir. Yakın alan güç transferi teknolojisi, uzak alan güç transferi teknolojisine göre maliyet, güvenlik ve verimlilik açısından nispeten daha iyi performans göstermektedir Garnica vd., (2013). Bu durumdan dolayı yakın alan güç transferi teknolojileri uzak alan güç transferi teknolojilerine göre daha çok tercih edilmektedir. Uzak alan güç transferi teknolojileri, optik (laser) güç transferi Lim vd., (2019) ve mikrodalga (radyo) güç transferi Hu vd., (2021) teknolojileri olarak sınıflandırılmaktadır. Yakın alan güç transferi teknolojileri denildiğinde ise endüktif güç transferi Nguyen vd., (2021) ve kapasitif güç transferi Erel vd., (2022) öne çıkmaktadır.

Kablosuz güç iletiminde endüktif şarj teknolojisi alternatif manyetik alan kullanırken, kapasitif şarj teknolojisi alternatif elektrik alan kullanmaktadır. Endüktif ve kapasitif güç transferi teknolojileri birçok uygulamada tercih edilmektedir; bunlar taşınabilir cihaz, entegre devre, led sürücü ve biomedikal kablosuz şarj uygulamaları gibi düşük güçlü uygulamalar olarak karşımıza çıkarken, elektrikli araç uygulamaları ise yüksek güçlü kablosuz şarj uygulamaları kategorisinde karşımıza çıkmaktadır. Elektrikli araç kablosuz şarj uygulamaları statik ve dinamik uygulamalar olarak ele alınmıştır. Statik uygulamalar, elektrik aracın durağan halde kontak kapalı iken şarj olması prensibine dayalı iken, dinamik şarj hareketli halde kablosuz olarak şarj edilme prensibine dayalıdır. Endüktif güç transferi, kapasitif güç transferine göre yüksek verimlilik ve yüksek güç transfer yeteneği ile üstünlük sağlarken, kapasitif güç transferi düşük maliyet, sistemin hafifliği, metal malzemeler etrafında yüksek güvenilirlik ve düşük kayıp özellikleri ile üstünlük sağlamaktadır Sinha vd., (2021).

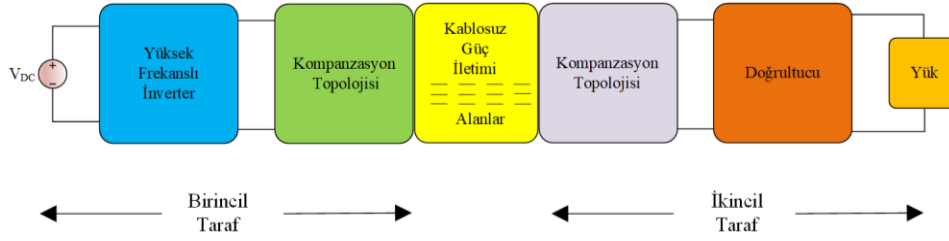
Bu çalışmada, endüktif ve kapasitif güç transferi teknolojileri üzerine yeni bir araştırma ortaya konulmuştur. Son zamanlarda öne çıkan bu iki kablosuz güç transferi teknolojisi nümerik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda Scopus veri tabanı kullanılarak kapasitif ve endüktif güç transferi teknolojileri için 2002 ila 2022 tarihleri arasındaki çalışmalar yıllara, yazarlara, ülkelere, çalışmaların tipine ve konu alanlarına göre incelenmiştir. Her iki kablosuz güç transferi teknolojisi bu inceleme kapsamında karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur.

2. Kablosuz Güç Transferi Teknolojisinin Temel Çalışma Prensipleri

Kablosuz güç transferi teknolojisinin genel bir yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir Lu vd., (2017). Bu yapı, genel olarak birincil ve ikincil güç transferi taraflarından oluşmaktadır. Birincil taraf, doğru akım gerilim kaynağı ile beslenen yüksek frekanslı kıyıcı ve kompanzasyon topolojisinden oluşmaktadır. İkincil taraf ise kompanzasyon topolojisi, yüksek frekanslı doğrultucu ve yükten oluşmaktadır. Kablosuz güç transferi sisteminde yük olarak direnç yükü ya da batarya kullanılmaktadır. Sistemin güç transferi yapısı, endüktif güç transferinde bobinler ile oluşturulurken, kapasitif güç transferinde metal levhalarla oluşturulmaktadır. Metal levhalar olarak alüminyum ya da bakır levhalar kullanılmıştır. Bobinler ya da metal levhalardan oluşan güç transferi yapısı kompanzasyon topolojileri ile rezonans devreyi oluştururlar. Bobinlerin ya da metal levhaların farklı tasarımları sistemin performansında önemli değişikliklere sebebiyet vermekte olup bundan dolayı tasarım çalışmaları son zamanlarda önem arz etmektedir.

Kablosuz güç transferi sisteminin çalışması; yüksek frekanslı bir kıyıcı kullanılarak rezonans devrelerin alternatif gerilim ile beslenmesi ile başlar. Birincil kompanzasyon topolojisi ile alternatif gerilimin yükseltilip, alternatif akımın düşürülmesi sağlanmaktadır. Güç transferi yapısı sayesinde birincil taraftan ikincil tarafa aktarılan alternatif gerilim, ikincil kompanzasyon devresi ile düşürülerek akımın artması sağlanmıştır. Son olarak doğrultucu ile alternatif gerilim doğru gerilime dönüştürülerek bataryanın ya da direnç yükünün beslenmesi sağlanmıştır. Kompanzasyon devreleri endüktif güç transferinde genel olarak seri-seri, seri-paralel, paralel-seri ve paralel-paralel bağlantılar olarak karşımıza çıkarken (Machura&Li, 2019), kapasitif güç transferinde ise genel olarak L, LC-LC, LCL-LCL, LCLC-LCLC ve CLLC-CLLC bağlantı yapıları olarak kullanılmıştır Hu vd., (2020). Endüktif güç transferinde seri-seri bağlantı yapısı ve kapasitif güç transferindeki eşleşimi LC-LC kompanzasyon topolojisi çalışmalarda basit kullanım yapısı ve kolay analiz imkânı ile daha çok tercih edilmektedir.

Kıyıcı ve doğrultucu topolojileri için tam köprü tipi dönüştürücü yüksek güçlü uygulamalarda tercih edilirken, orta ve düşük güçlü uygulamalar için yarı köprü ve class E tipi dönüştürücüler tercih edilmiştir. Class E tipi dönüştürücü hem kıyıcı hemde doğrultucu tarafında daha çok MHz mertebelerinde yüksek anahtarlama frekansı gerektiren uygulamalarda tercih edilmiştir.



Şekil 1. Kablosuz güç transferinin genel bir yapısı.

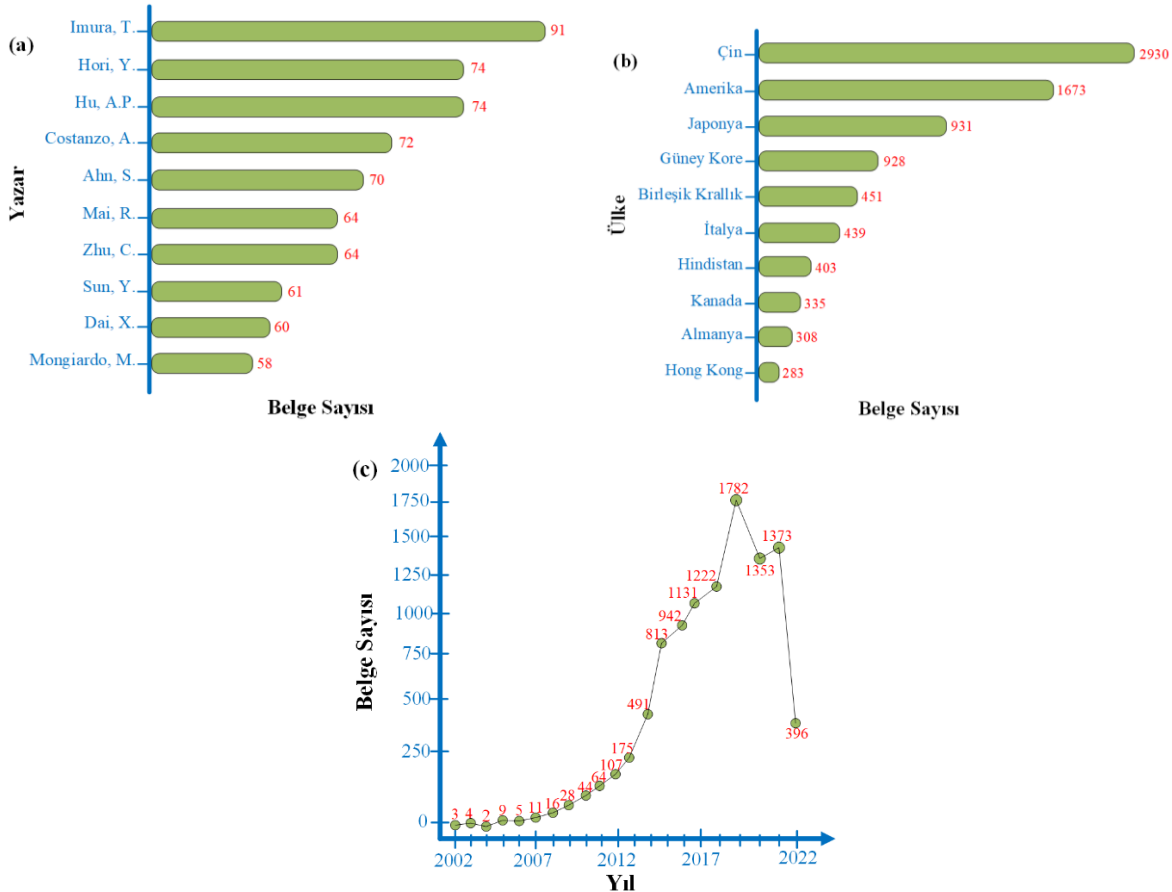
3. Endüktif ve Kapasitif Güç Transferi Sistemleri için Nümerik Araştırma

Yakın alan kablosuz güç transferi teknolojileri içinde öne çıkan endüktif ve kapasitif güç transferi sistemleri bu bölümde nümerik olarak incelenmiştir. İnceleme kriterleri olarak belgelerin yıllara, ülkelere ve yazarlara göre dağılımı sunulmuştur. Aynı zamanda, belge tipleri ve ilgili konu alanları yüzde karşılık olarak sunulmuştur. Endüktif ve kapasitif güç transferi teknolojileri ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırma bölümünde belirtilmiştir.

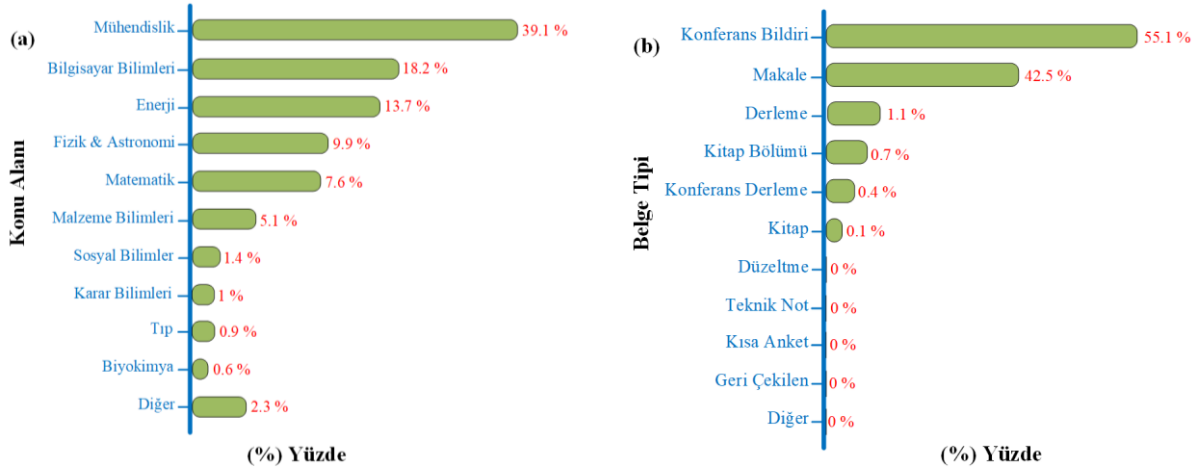
3.1. Endüktif Güç Transferi Sistemlerinde Nümerik Araştırma

Endüktif güç transferi sistemi 2002 ila 2022 yılları arasında Scopus veri tabanı kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2’de literatür de var olan belge sayısı değişken parametre olarak kullanılmış ve böylece Şekil 2(a)’ da bu alanda en çok çalışmaya sahip olan yazarlar verilmiştir. Şekil 2(b)’ de ise endüktif güç transferi sistemi ile ilgili en çok çalışma yapılan ülkeler verilmiştir. Bu alanda Çin diğer ülkelere göre daha çok çalışmaya sahiptir. Şekil 2(c)’de endüktif güç transferi ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı sunulmuştur. Buna göre 2019 yılı diğer yıllara göre bu alanda daha çok çalışma yapıldığını göstermektedir.

Şekil 3’te yüzdelik pay değişken parametre olarak kullanılarak endüktif güç transferi uygulamalarında ilgili konu alanları ve belge tipleri verilmiştir. Şekil 3(a)’ da mühendislik alanı diğer alanlara göre daha fazla yer bulmuştur. Şekil 3(b)’ de ise belge tipleri arasında konferans çalışmaları daha fazla yer edinmiştir.



Şekil 2. (a) Belge sayısına göre yazarlar; (b) Belge sayısına göre ülkeler; (c) Belge sayısına göre yıllar.

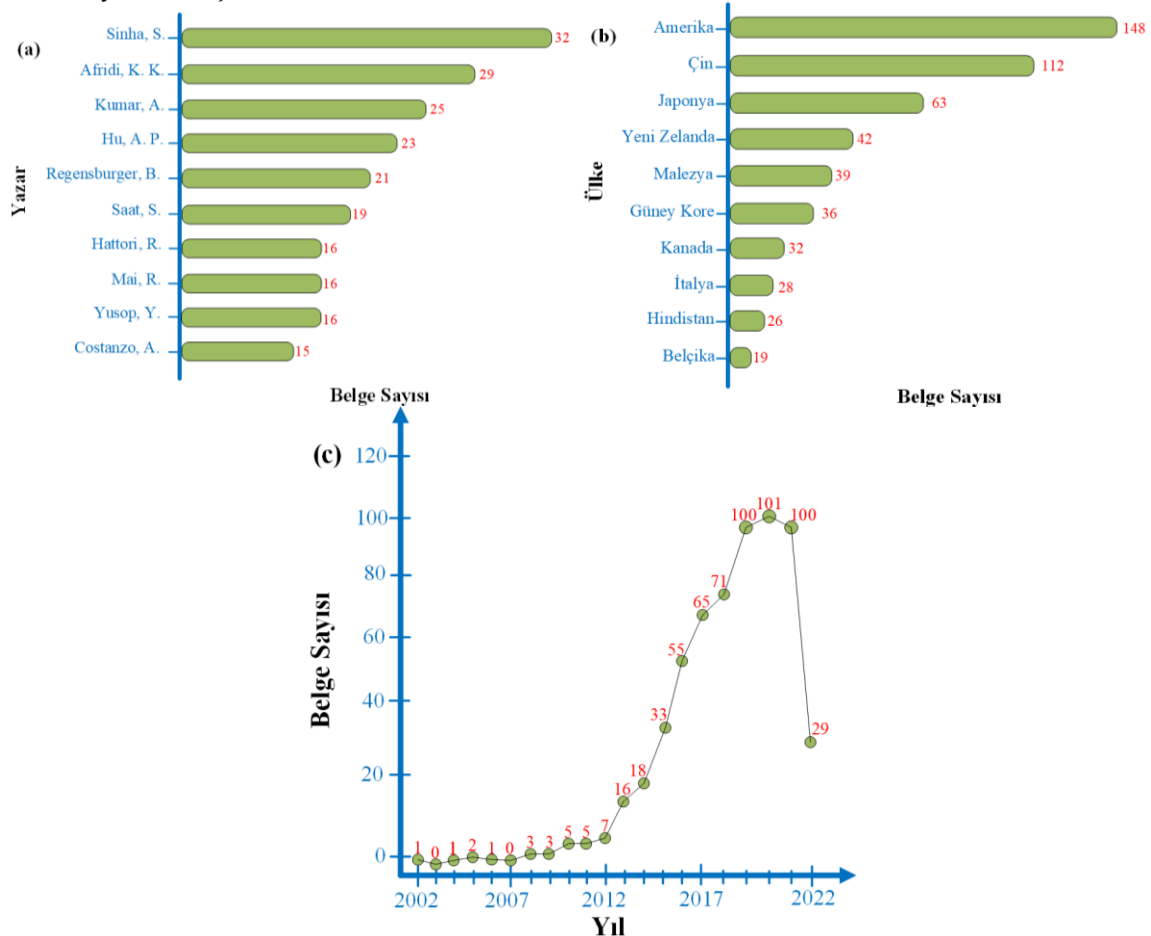


Şekil 3. (a) Konu alanı yüzdeler; (b) Belge tipi yüzdeler.

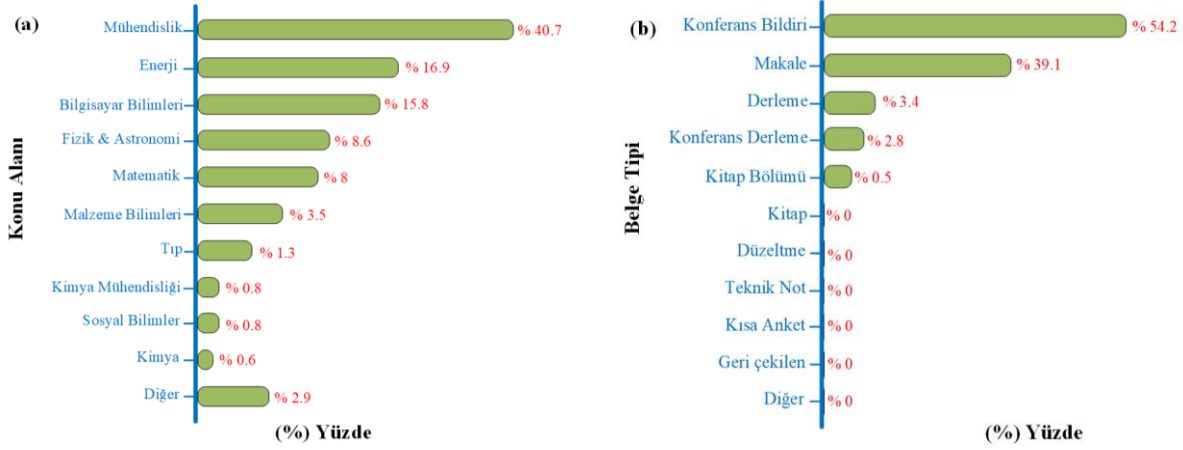
3.2. Kapasitif Güç Transferi Sistemlerinde Nümerik Araştırma

Kapasitif güç transferi sistemi 2002 ila 2022 yılları arasında Scopus veri tabanı kullanılarak incelenmiştir. Şekil 4' te literatür de var olan belge sayısı değişken parametre olarak kullanılmış ve böylece Şekil 4(a)' da bu alanda en çok çalışmaya sahip olan yazarlar verilmiştir. Şekil 4(b)' de kapasitif güç transferi sisteminde en çok çalışma yapılan ülkeler verilmiştir. Bu alanda Amerika diğer ülkelere göre daha çok çalışmaya sahiptir. Şekil 4(c)' de ise kapasitif güç transferi ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı sunulmuştur. Buna göre 2019 yılı diğer yıllara göre bu alanda daha çok çalışma yapıldığını göstermektedir.

Şekil 5'te yüzdeler pay değişken parametre olarak kullanılarak kapasitif güç transferi ile ilgili konu alanları ve belge tipleri verilmiştir. Şekil 5(a)' da mühendislik alanı diğer alanlara göre daha fazla yer bulmuştur. Şekil 5(b)' de ise belge tipleri arasında konferans çalışmaları daha fazla yer edinmiştir.



Şekil 4. (a) Belge sayısına göre yazarlar; (b) Belge sayısına göre ülkeler; (c) Belge sayısına göre yıllar.



Şekil 5. (a) Konu alanı yüzdeler dağılımı; (b) Belge tipi yüzdeler dağılımı.

3.3. Endüktif ve Kapasitif Güç Transferi Sistemlerinin Nümerik Olarak Karşılaştırılması

Bu bölümde nümerik olan incelenen endüktif ve kapasitif güç transferi sistemlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda endüktif güç transferi çalışmalarının kapasitif güç transferine göre daha çok yer aldığı görülmektedir. 2019 yılı her iki kablosuz güç transferi teknolojisi içinde zirve yılı olmuştur. Bu yılda, endüktif güç transferi ile ilgili 1782 çalışma yapılırken, kapasitif güç transferi ile ilgili 101 çalışma ortaya konulmuştur.

Belge sayılarının ülkeler bakımında kıyaslanması yapıldığında, endüktif güç transferi sistemi için Çin diğer ülkelere göre özellikle en yakın rakibi Amerika'ya göre bariz üstünlük sağlamıştır. Kapasitif güç transferi sistemi için Amerika, Çin'e göre üstünlük sağlamakta olup aradaki fark endüktif güç transferinde olduğu kadar bariz değildir.

Endüktif güç transferi sistemi ilgili konu alanları bakımından incelendiğinde, mühendislik alanı diğer alanlara göre üstünlük sağlamıştır. Mühendislikten sonra gelen alan bilgisayar bilimleri olmuştur. Kapasitif güç transferi sistemi incelendiğinde mühendislik alanı yine üstünlüğü diğer alanlara göre korurken, ikinci sırada endüktif uygulamalardan farklı olarak enerji alanı yer almaktadır.

Belge tipleri bakımından her iki kablosuz güç transferi sistemi incelendiğinde sonuçlar benzerlik göstermektedir. Araştırma sonucunda konferans bildirileri diğer belge tiplerine göre daha çok yüzdeler dilimi kapsamaktadır.

4. Sonuçlar

Kablosuz güç transferi üzerine çalışmalar son yıllarda gittikçe popüler hale gelmektedir. Bu makale, kablosuz güç transferi teknolojileri arasında önemi bir yer tutan endüktif ve kapasitif güç transferi sistemlerini nümerik olarak araştırmayı hedeflemiştir. Bu inceleme Scopus veri tabanı yardımı ile 2002 ila 2022 yıllarını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Yapılan nümerik araştırma, belge sayılarının yazar, ülke ve yıllara göre değişimini ele almakla birlikte konu alanlarını ve belge tiplerini de yüzdeler dağılımı olarak sunmaktadır. Araştırmaya göre endüktif güç transferi sistemi üzerine yapılan çalışmaların kapasitif güç transferi sistemine göre çok daha yaygın olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, endüktif ve kapasitif güç transferi teknolojileri üzerine nümerik bir araştırma sunularak literatüre önemli bir katkıda bulunulmuştur. Bu araştırma ayrıca endüktif ve kapasitif güç transfer sistemleri üzerine yapılan çalışmaların genel olarak yıllara göre artış göstermekte olduğunu kanıtlamıştır. Bu durum ise gelecekte her iki sistemin kablosuz şarj teknolojilerinde önemli bir rol oynayacağını göstermektedir.

Referanslar

Erel, M. Z., Bayindir, K. C., Aydemir, M. T., Chaudhary, S. K., & Guerrero, J. M. (2022). A Comprehensive Review on Wireless Capacitive Power Transfer Technology: Fundamentals and Applications. *IEEE Access*, 10, 3116-3143. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3139761>

Garnica, J., Chinga, R. A., & Lin, J. (2013). Wireless power transmission: From far field to near field. *Proceedings of the IEEE*, 101(6), 1321-1331.

Hu, B., Li, H., Li, T., Wang, H., Zhou, Y., Zhao, X., ... & Ghannouchi, F. (2021). A long-distance high-power microwave wireless power transmission system based on asymmetrical resonant magnetron and cyclotron-wave rectifier. *Energy Reports*, 7, 1154-1161.

- Hu, Z., Goodall, M., Zhao, L., Zhu, Q., & Hu, A. P. (2020, November). A comparative study of different compensation topologies for capacitive power transfer. In 2020 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW) (pp. 389-394). IEEE.
- Lim, J., Khwaja, T. S., & Ha, J. (2019). Wireless optical power transfer system by spatial wavelength division and distributed laser cavity resonance. *Optics express*, 27(12), A924-A935.
- Lu, F., Zhang, H., & Mi, C. (2017). A review on the recent development of capacitive wireless power transfer technology. *Energies*, 10(11), 1752.
- Machura, P., & Li, Q. (2019). A critical review on wireless charging for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 209-234.
- Marincic, A. S. (1982). Nikola tesla and the wireless transmission of energy. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (10), 4064-4068.
- Nguyen, H. T., Alsawalhi, J. Y., Al Hosani, K., Al-Sumaiti, A. S., Al Jaafari, K. A., Byon, Y. J., & El Moursi, M. S. (2021). Review Map of Comparative Designs for Wireless High-Power Transfer Systems in EV Applications: Maximum Efficiency, ZPA, and CC/CV Modes at Fixed Resonance Frequency Independent From Coupling Coefficient. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(4), 4857-4876.
- Sinha, S., Maji, S., & Afridi, K. K. (2021, June). Comparison of Large Air-Gap Inductive and Capacitive Wireless Power Transfer Systems. In 2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) (pp. 1604-1609). IEEE.
- Zhang, Z., Pang, H., Georgiadis, A., & Cecati, C. (2018). Wireless power transfer—An overview. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(2), 1044-1058.