

## Elektrikli Araçlar için DA Hızlı Şarj Cihazı Tasarımı ve Simülasyonu

Erdal KILIÇ<sup>1\*</sup> 

### Öz

Elektrikli araçlar geleneksel fosil yakıtlı araçlarla kıyasla sıfır emisyon, azaltılmış bakım maliyetleri, daha yüksek motor verimliliği, gelişmiş sürüş konforu gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, sınırlı menzil kapasitesi, şarj altyapısının eksikliği ve uzun şarj süreleri gibi zorluklar, elektrikli araçların yaygın olarak benimsenmesinin önünde önemli engeller oluşturmaktadır. Elektrikli araçların geliştirilmesi sürecinde, büyük bir öneme sahip olan kritik bileşenler arasında, batarya ve şarj sistemleri dikkate değer bir role sahiptir. Bu çalışma, 45kWh pil kapasitesiyle donatılmış bir elektrikli araç için 90kW DA hızlı şarj cihazının tasarımı ve simülasyonuna odaklanmaktadır. Önerilen sistem ile bataryanın %20'den %80'e doluluk oranına ulaşması için gereken toplam şarj süresinin 30 dakikanın altına indirilmesi hedeflenmektedir. Tasarlanan DA hızlı şarj cihazı; aktif güç faktörü düzeltici işlevini gerçekleştiren bir AA/DA dönüştürücü ve şarj işlevini gerçekleştiren bir DA/DA dönüştürücüdür. Önerilen hızlı şarj sisteminin geçerliliği ve etkinliği simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araç, DA hızlı şarj, Batarya paketi, Güç faktörü düzeltme.

## Design and Simulation of DC Fast Charger for Electric Vehicle

### Abstract

Compared to traditional fossil fuel vehicles, electric vehicles offer significant advantages such as zero emissions, reduced maintenance costs, higher engine efficiency, and improved driving comfort. However, challenges such as limited range capacity, lack of charging infrastructure and long charging times pose significant barriers to widespread adoption of electric vehicles. Among the critical components of great importance in the analysis and development of electric vehicles, the battery and charging system play a particularly noteworthy role. This study focuses on the design and simulation of a 90kW DC fast charger for an electric vehicle equipped with a 45kWh battery capacity. With the proposed system, it is aimed to reduce the total charging time required for the battery to reach the charge rate from 20% to 80% below 30 minutes. Designed DA fast charger; It consists of an AC/DC converter performing the active power factor corrector function and a DC/DA converter performing the charging function. The validity and efficiency of the proposed fast charging system has been verified by simulation results.

**Keywords:** Electric vehicle, DC fast charge, Battery pack, Power factor correction.

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye, [ekilic@ksu.edu.tr](mailto:ekilic@ksu.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1572-6109>

## 1. Giriş

Çevre ve enerji sorunlarına küresel düzeyde çözüm bulma ve sürdürülebilirlik çabaları büyük önem taşımaktadır. Uluslararası çevresel politika geliştirme ve yeni, temiz enerji kaynaklarının araştırılması gibi çeşitli stratejiler, bu sorunların çözümüne katkı sağlamaktadır. Son yıllarda fosil yakıtla çalışan araçların sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan çok sayıda küresel girişimde bulunulmuştur. Elektrikli araç (EA)'lar, fosil yakıtlı geleneksel otomobillere kıyasla çevresel açıdan sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir çözüm olarak önemli bir ilgi görmektedir. Ancak, EA'ların yaygınlaşması konusunda büyük ölçekli uygulamaların önündeki en büyük zorluklar sınırlı menzil kapasitesi, uzun şarj süresi ve şarj altyapı eksikliğidir (Khalid ve ark., 2022; Sbordone ve ark., 2015). Gelişmekte olan ülkelerin teknolojik kapasitelerini göz önünde bulundurarak, yüksek verimli bir EA şarj sistemi geliştirmenin kısa bir süre içinde zorlu bir görev olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle EA'ların yaygınlaşması, gerekli şarj altyapısının sağlanması ve şarj süresinin kısaltılması ile doğrudan ilişkili olduğundan hızlı şarj cihazlarının geliştirilmesi hem endüstride hem de akademide önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Güven ve Akbaşak, 2021a; Url-1, 2022; Yoon ve ark., 2013).

(Hassanzadeh ve ark., 2017), çalışmalarında; hızlı şarj uygulamaları için 50kW'lık bir faz kaydırmalı tam köprü dönüştürücünün tasarımı ve simülasyon sonuçlarının teorik analizi sunulmaktadır. Çalışmada dönüştürücünün güç kayıpları analiz edilmiş ve iki anahtarlama frekansı (25 kHz ve 50 kHz) için örnek tasarımın güç kayıpları ve verimliliğini değerlendirilmiştir.

(Güven ve Akbaşak, 2021a), çalışmasında; elektrikli araçların şarj edilme süreci, DA hızlı şarj ünitesinin batarya üzerindeki davranışı ve kontrol sistemlerinin MATLAB/Simulink ortamında modellenmesi sunulmuştur. Model, 10 adet EA'nın aynı anda DC seviye-2'de hızlı şarjını, 20 kV şebeke gerilimini, 800 V trafo çıkış gerilimini ve 1,5 kV DC bara gerilimini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

(Castiglia ve ark. 2017), çalışmasında; EA'lar için 80 kW gücünde hızlı şarj cihazı tasarımı sunulmuştur. Sistemde iki elektrikli araç kullanılmış, araçlardan biri şarj amaçlı kullanırken diğeri şebekeye enerji verecek şekilde kurgulanmıştır. Çalışmada yarım köprü DA/DA dönüştürücü topolojisi ve harmonikleri azaltmak için pasif LCL filtre önerilmiştir.

Ayrıca literatürde hızlı şarj istasyonları kullanımının şebeke üzerindeki olumsuz etkisini inceleme (Güven ve Akbaşak, 2021b; Nurmhammed, 2021), batarya ve yüksek performanslı güç elektroniği teknolojisinin geliştirilmesi (Kaba ve ark., 2021; Young ve ark., 2013) gibi konularda EA şarj sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunan araştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada mevcut EA batarya kapasiteleri ve şarj süresi gereksinimleri dikkate alınarak EA'lara yönelik bir DA hızlı şarj cihazı tasarımı sunulmuştur. Bu amaçla, 45kWh kapasiteli bir EA

batarya paketinin şarj işleminde %20 ile %80 arası doluluk oranını 30 dakikanın altında bir sürede tamamlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla 90kW şarj gücüne sahip bir DA 2.seviye şarj sistemi tasarlanmış ve simülasyon yöntemiyle doğrulanmıştır.

Çalışmada geleneksel tam köprü dönüştürücülere kıyasla daha yüksek verimlilik potansiyeline sahip olan faz kaydırmalı tam köprü dönüştürücü (FKTKD) topolojisi tercih edilmiştir. FKTKD topolojisi, anahtarlama kayıplarını azaltarak ve daha az ısı üreterek genel verimliliği artırabilir. Bu nedenle yüksek güç ve yüksek verimlilik gerektiren uygulamalarda belirgin avantajlar sunar. Kontrollü faz kaydırma işlemi, elektromanyetik parazit (EMI) azaltılmasına yardımcı olur. FKTKD, faz kaymasını kontrol ederek bire yakın bir güç faktörü elde edebilir; bu da güç kalitesinin ve şebeke uygunluğunun kritik olduğu uygulamalarda büyük önem taşır.

Çalışmanın yapısı şu şekildedir: Giriş bölümünde EA'ların yaygınlaşmasındaki temel sorunlar açıklanmıştır. Ayrıca şarj sistemleri ve hızlı şarj cihazları ile ilgili literatür çalışmaları sunulmuş ve literatürdeki problemler incelenmiştir. Bunun yanı sıra çalışmanın katkıları belirtilmiştir. Materyal ve metot bölümünde, şarj sistemlerinin genel yapısı açıklanmış ve DA hızlı şarj cihazını oluşturan kısımların önemi, çalışma prensibi, topolojileri, matematiksel ifadeleri, tasarımı ve modellenmesi ele alınmıştır. Bulgular ve tartışma bölümünde, tasarlanan DA hızlı şarj sisteminin doğrulanması için gerçekleştirilen simülasyon testlerinin sonuçları sunulmuştur.

## **2. Materyal ve Metot**

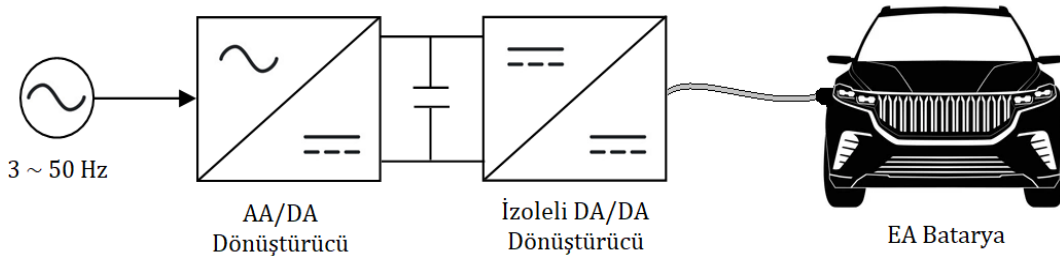
### **2.1. DA Hızlı Şarj Sisteminin Tasarımı**

Batarya paketi maliyet, ağırlık, araç güvenilirliği, sürüş menzili ve şarj etme yeteneklerini doğrudan etkilediğinden EA'ın önemli bir bileşenidir. Lityum-iyon veya lityum-polimer piller; ağırlık, hacim, kapasite, dayanıklılık, verimlilik ve fiyat açısından en iyisi olduklarından, EA'lar için en iyi seçenek olarak piyasada yer edinmiştir (Sezer ve Basmacı, 2022). Batarya teknolojisindeki gelişme beraberinde EA şarj cihazlarının da geliştirilmesini gerektirmektedir. Çıkış gücüne göre AA veya DA tipinde farklılık gösteren EA şarj cihazları bulunmaktadır. AA şarj cihazlarının çıkışı sinüzoidal olduğundan araç tarafında yerleşik şarj cihazı tarafından DA'a dönüştürülerek bataryalar şarj edilmektedir. AA ile şarj işleminde kullanılan yerleşik dönüştürücünün güç ve donanım boyutu sınırlaması nedeniyle iletilen güç sınırlı olmaktadır. DA şarj cihazları, AA şarj cihazlarına kıyasla daha yüksek güç aktarımı yeteneğine sahiptir. DA şarj işleminde ise AA elektrik enerjisi araca ulaşmadan önce DA'a dönüştürülerek EA bataryasına doğrudan verilmektedir. DA şarj cihazları yüksek güç üretim kapasiteleri sayesinde şarj sürelerini önemli ölçüde düşürmektedirler. Yüksek güçlü DA şarj cihazları, boyut açısından önemli ölçüde büyük olması nedeniyle araçların dışında yer

almaktadır. Akım, araca ulaştığında zaten DA'a çevrildiği için güç aktarımı daha fazla ve daha hızlı olmaktadır.

Bir EA'nın şarj süresi hızını etkileyen önemli faktörler arasında bataryanın akım-gerilim sınırları, bataryanın güç kapasitesi, mevcut şarj durumu, batarya sıcaklığı, yerleşik şarj cihazının gücü ve AA şarj cihazının gücü bulunmaktadır. Otomotiv Mühendisleri Derneği'nin (SAE), SAE J1772 standardı, EA şarj cihazı güç dönüştürücüleri için en çok kabul edilen standartlardan biridir (Rubino ve ark., 2017). Her EA batarya paketi belirli bir güç seviyesi kaynağı gerektirmesine rağmen, modern DA şarj istasyonları, batarya paketinin gerilim seviyesini tanımlayan ve buna göre ayarlayan bir sistem şeklinde tasarlanmaktadır.

Son teknoloji EA hızlı şarj cihazları, günümüzde 350kW güç seviyelerine kadar ulaşmış ve mevcut endüstriyel güç elektroniği bilgisinden ve kullanılabilirliğinden yararlanmak için alçak gerilim şebekeden beslenmektedir. İki dönüşüm aşamasından oluşan bir DA harici şarj cihazı sisteminin temel yapısı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir (Cittanti ve ark., 2020). İlk aşamayı oluşturan AA/DA dönüştürücü, üç fazlı şebekeye bağlıdır ve aktif ön-uç olarak adlandırılmaktadır. Aktif ön-uç, doğrultma, akım harmoniklerinin azaltılması ve DA bara geriliminin düzenlenmesi işlevlerinin birleşimini ifade eden bir terimdir. Bu aşamanın ana görevi DA bara gerilimini oluşturmak ve aynı zamanda giriş birim güç faktörünü ve sinüzoidal akım şekillendirmesini sağlamaktır (Chen ve ark., 2014).



Şekil 1. Bir EA için DA hızlı şarj güç dönüştürme sistemi.

Aktif Güç Faktörü Düzeltici (GFD), güç faktörünü iyileştirmek için bir yük tarafından çekilen akımın dalga şeklini değiştirerek gerilimi takip etmesini sağlayan bir güç elektroniği devresidir. AA/DA dönüşümü içeren cihazlar, şebeke için doğrusal olmayan yük tipleridir. Bu tip yüklerde 1'e yakın güç faktörü ve düşük harmonik içerikli sinüzoidal dalga şekline sahip giriş akımı elde etmek için aktif GFD devrelerin kullanılması oldukça yaygın bir yöntemdir (Balcı ve ark., 2022; Liu ve ark., 2023).

İkinci aşama ise şebekeden galvanik izolasyon sağlayan ve bataryayı besleyen akımı düzenleyerek şarj sürecini kontrol eden izole bir DA/DA dönüştürücüdür. Bu dönüştürücüler, sistemin tatmin edici bir verimliliğinin elde edilmesinde ve şarj süresinin azaltılmasında önemli bir

rol oynamaktadır (Alharbi ve ark., 2019). Bu nedenle, batarya paketine güç aktarımı sürecinde kayıplar ile gerilim ve akım dalgalanmaları azaltmak amacıyla yüksek verimli dönüştürücüler kullanılmalıdır.

SAE J1772 standardında şarj cihazları AA ve DA şarj gücü seviyelerine göre sınıflandırılmıştır (Kongjeen ve ark., 2018). Şarj gücü seviyelerine göre şarj cihazlarının 45kWh kapasiteye sahip bir batarya paketini, sabit akım modunda %20'den %80'e kadar tahmini şarj süreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 45 kWh batarya paketinin şarj cihazı tipine göre tahmini şarj süresi

Şarj Cihazı	Şarj Gerilimi	Şarj Akımı	Şarj Gücü	Şarj Süresi
AA Seviye-2 (1~)	230V	16A	3.7kW	7.3 saat
AA Seviye-2 (1~)	230V	32A	7.4kW	3.65 saat
AA Seviye-2 (3~)	400V	16A	11kW	2.45 saat
AA Seviye-2 (3~)	400V	32A	22kW	1.23 saat
DA Seviye-1	400V	80A	32kW	50 dakika
DA Seviye-2	400V	400A	160kW	10 dakika

EA şarj sistemlerinde maliyet, harmonik bozulma, verimlilik, boyut ve ağırlık önemli tasarım kriterlerini oluşturmaktadır. Hızlı şarj cihazlarının gelişiminde giderek daha yüksek verimlilik ve güç yoğunluğu talep edilmektedir. Düşük güç ve maliyete duyarlı uygulamalarda pasif GFD teknikleri en iyi seçim olabilirken, üstün performansları nedeniyle uygulamaların çoğunda aktif GFD teknikleri kullanılmaktadır (Acikgoz ve ark., 2018). Özellikle, şebekeye bağlı aktif ön-ucun uygun bir şekilde kontrol edilmesi, minimum pasif bileşen boyutunu sağlamakta ve dönüştürücü kayıplarını azaltmaktadır (Cittanti ve ark., 2021). Genel olarak DA hızlı şarj güç dönüştürme sisteminin AA/DA aşaması hem AA hem de DA tarafında yüksek güç faktörü ve düşük harmonik içerik sağlamaktadır. DA/DA dönüştürücü aşaması ise batarya şarj cihazının çıkış gerilim seviyesini düzenlemektedir (Çetin, 2017).

### 2.1.1. Aktif Güç Faktörü Düzeltici Tasarımı

Aktif GFD yapısında, çıkış geriliminin kaynak gerilimi tepe değerinden daha büyük olmasını sağlayan bir yükselten dönüştürücü kullanılmaktadır (Abdel-Rahman ve ark., 2016). Bu doğrultucu topolojilerinde SiC MOSFET ve IGBT gibi aktif anahtarlar kullanıldığı için çift yönlü güç aktarımı sağlanabilmektedir. Doğrultucu doğrultma modunda çalıştırıldığında şebekeden akım çekilebilir evirici modunda çalıştırıldığında ise şebekeye akım verilebilir (Pul, 2019). Aynı zamanda güç elektroniği yardımıyla giriş akımının, gerilimle aynı fazda bir sinüs dalgası biçimine getirilmesini sağlamaktadır.

Bir aktif GFD yapısı giriş indüktörü, gerilim kaynaklı üç faz darbe genişlik modülasyon doğrultucu ve çıkış kondansatörü kısımlarından oluşmaktadır. Tasarımda devrenin verimi ( $\eta$ ) 0.95 olarak alınmıştır. AA/DA aşamasında kullanılan GFD bir EA şarj istasyonundaki ilk güç dönüşümü seviyesidir. Şebekeden gelen üç faz AA gerilimi (400VAC) yaklaşık 800V'luk sabit bir DA gerilimine dönüştürür. Aktif GFD kullanımını sonrası güç faktörü 1'e yakın olacaktır. Bu çalışmada tasarlanan AA/DA dönüştürücünün özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** AA/DA dönüştürücü özellikleri

Parametre	Sembol	Değer
Şebeke Gerilimi	$V_s$	360- 440VAC
DA Bara Gerilimi	$V_{da}$	650- 800VDC
Şebeke Akımı	$I_s$	144A
DA Bara Akımı	$I_{da}$	119A
Giriş Gücü	$P_g$	100kW
Çıkış Gücü	$P_{da}$	95kW
Verim	$\eta_{g\_da}$	0.95
Faz-Nötr Gerilimi	$V_f$	230VAC
Şebeke Frekansı	$f$	50Hz
Anahtarlama Frekansı	$f_s$	10kHz
Giriş İndüktörü	$L_g$	0.1mH
DA Bara Kapasitörü	$C_{da}$	15mF

Aktif GFD için bileşenlerin seçimi, (Abdel-Rahman ve ark., 2016)'da sunulan tasarım yönergeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devrenin görev döngüsü şebeke tepe geriliminin minimum değeri dikkate alınarak Denklem-1 ile 0.36 olarak hesaplanmıştır.

$$D = \frac{V_{da} - V_{s\_min\_tepe}}{V_{da}} = \frac{800 - 360\sqrt{2}}{800} = 0.36 \quad (1)$$

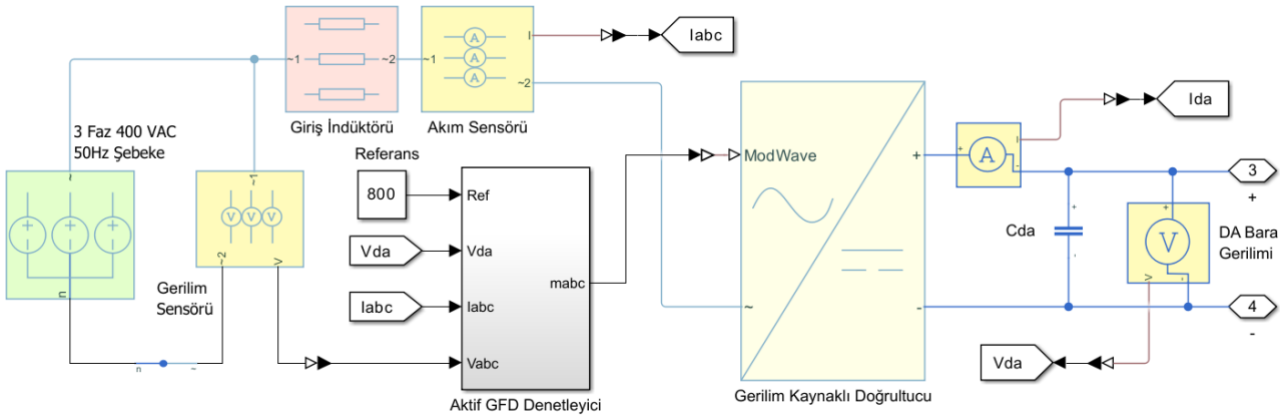
Giriş akım dalgalanmasını en aza indirmek için yükselten dönüştürücü girişine filtre olarak indüktörler bağlanmaktadır. Dönüştürücünün genellikle %25-40 arasında seçilen giriş dalgalanma akım oranı %25 olarak alınmıştır. Buna göre indüktör değeri Denklem-2 ile 0.2mH olarak hesaplanmıştır.

$$L = \frac{1}{\%ripple} \cdot \frac{V_s^2}{P_{da}} \left( 1 - \frac{V_{s\_min\_tepe}}{V_{da}} \right) \cdot \frac{1}{f_s} = \frac{1}{0.25} \cdot \frac{360^2}{95000} \left( 1 - \frac{360\sqrt{2}}{800} \right) \frac{1}{10000} = 0.2mH \quad (2)$$

FKTKD çıkışındaki DA bara kapasitörleri temel olarak baradaki dalgalanma gerilimini azaltmak ve darbe akımlarını çekebilmek için kullanılır. Aktif üç fazlı doğrultucudan kaynaklı yüksek frekanslı dalgali akımlar çoğunlukla DA bara kapasitörleri tarafından çekilir. Bara gerilim değerinin %100'den %90'a düşme süresi (15-50ms) olan çıkış kapasitörünün bekleme süresi ( $t_b$ ) 16ms alınmıştır. Buna göre minimum kapasitör değeri, Denklem-3 ile 15mF olarak hesaplanmıştır.

$$C_{da} \geq \frac{2 \cdot P_{da} \cdot t_b}{\eta_{g\_da} \cdot (V_{da}^2 - V_{da\_min}^2)} = \frac{2 \cdot 95000 \cdot 0.016}{0.95 \cdot (800^2 - 650^2)} = 15mF \quad (3)$$

Tablo 2'deki parametre değerleri dikkate alınarak oluşturulan aktif GFD temelli AA-DA yükselten dönüştürücü simülasyon modeli Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Aktif GFD ile AA/DA Yükselten Dönüştürücü Modeli.

Doğrultucunun çektiği aktif ve reaktif güçleri d-q referans ekseninde Denklem-4 ve 5 teki gibi hesaplanır (Cittanti ve ark., 2021):

$$P = \frac{3}{2} (V_{sd} i_d + V_{sq} i_q) \quad (4)$$

$$Q = \frac{3}{2} (V_{sd} i_q - V_{sq} i_d) \quad (5)$$

Burada  $V_{rd}$  ve  $V_{rq}$  doğrultucu tarafı gerilimin d-q bileşenleri,  $V_{sd}$  ve  $V_{sq}$  kaynak tarafı gerilimin d-q bileşenleri,  $i_d$  ve  $i_q$  akımın d-q bileşenleridir. Birim güç faktörü koşulu, hat akımı vektörü, hat gerilim vektörü ile hizalandığında karşılanır. Hat gerilim vektörü üzerine dönen koordinatların d-ekseni yerleştirilerek basitleştirilmiş bir dinamik model elde edilebilir (Shukla, 2016).

Hat gerilim vektörü d-ekseniyle karşılaştırıldığında  $V_q=0$  olur. Bu durumda  $i_q=0$  yapılırsa reaktif güç sifira eşit olur ve birim güç faktörü elde edilir. q-ekseni referans akımı ( $i_q^*$ ), birim güç faktörü kontrolü için her koşulda sifira ayarlanırken, d-ekseni referans akımı ( $i_d^*$ ), DA bara gerilim denetleyicisinin çıkışından elde edilir (Shukla, 2016; Açıkğöz ve ark., 2019).

Ölçülen şebeke gerilimleri faz kilitlemeli döngü bloğuna verilerek gerilim açısı, açısal hız ve  $V_{sd}$  değerleri belirlenmektedir. Gerilim açısı, akım ve gerilimlerin koordinat dönüşümleri (Clarke ve Park) için kullanılmaktadır. Denetleyici bloğu tarafından üretilen referans gerilimler ( $m_{abc}$ ), anahtarlama için gerilim kaynaklı doğrultucuya gönderilmektedir.

Üç fazlı doğrultucunun akım denetleyicilerinin (PI tipi) referans gerilim ifadeleri d-q modelinde Denklem-6 ve 7'de gösterilmiştir (Yüksek ve Arifoğlu, 2020; Patil ve Nagendraprasad, 2015; Nasir ve ark. 2021):

$$V_{rd} = \omega L i_q + V_{sd} - L \frac{di_d}{dt} - R i_d = \omega L i_q + V_{sd} - (K_p + \frac{K_i}{s})(i_d^* - i_d) \quad (6)$$

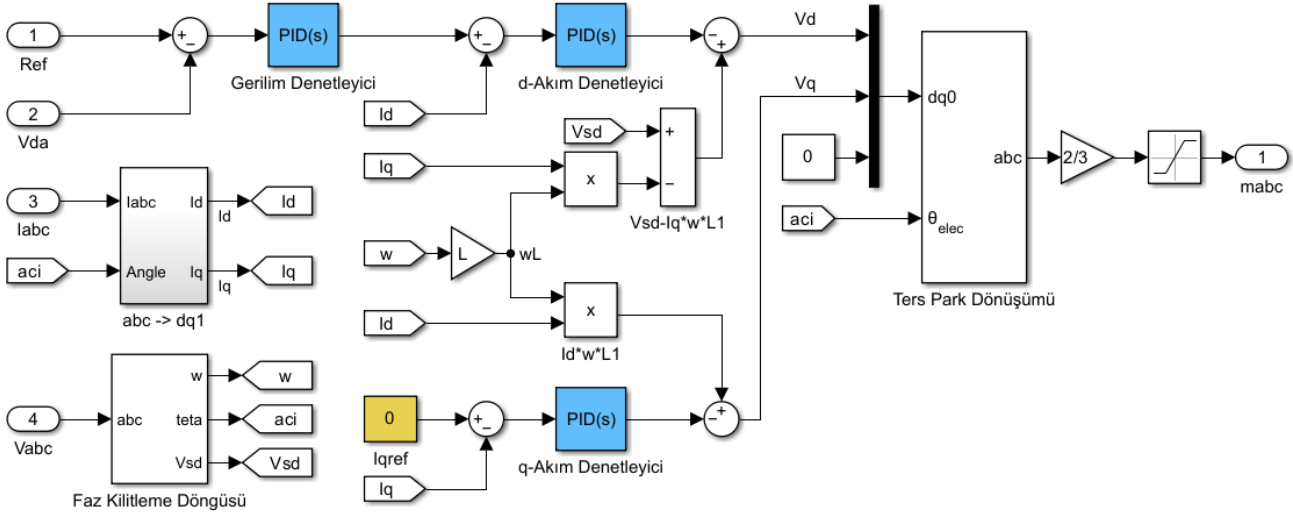
$$V_{rq} = -\omega L i_d + V_{sq} - L \frac{di_q}{dt} - R i_q = -\omega L i_d + V_{sq} - (K_p + \frac{K_i}{s})(i_q^* - i_q) \quad (7)$$

PI tipi denetleyiciler birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Denklem-6 ve 7 ile verilen referans gerilim ifadeleri d-q modelinde bulunan akım değişim miktarı PI tipi denetleyici ile modellendiğinden sistemin aktif GFD'nin DA bara gerilimi ile d-q eksen akım denetiminde geleneksel PI tipi denetleyiciler kullanılmıştır. Bu denetim döngülerinin geleneksel ayarlanmasında, her seferinde bir döngünün manuel olarak ayarlanması gerekir ki bu da zor ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle, denetleyici parametrelerinin ayarlanmasında MATLAB/Simulink'in gerçek zamanlı olarak kapalı döngü deneyinden tahmin edilen tesis frekansı yanıtlarına dayalı olarak PID parametrelerini otomatik olarak ayarlayan kapalı döngü PID otomatik ayarlayıcı bloğundan faydalanılmıştır.

Geleneksel PID denetleyiciyle karşılaştırıldığında otomatik ayarlayıcı PID denetleyiciler, küresel arama yeteneğini geliştirir ve zaman tüketimini azaltır (Almamoori ve ark., 2022). Bu blok bir defada yalnızca tek bir PID bloğunu ayarlayabildiğinden, Aktif GFD modelinde bulunan üç denetleyicinin her biri bağımsız olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon sonucu elde edilen gerilim denetleyici parametreleri  $K_p=225$  ve  $K_i=10.000$ , d-q eksen akım denetleyicileri  $K_p=0.012$  ve  $K_i=0.9$  olarak belirlenmiştir.



Bu çalışmada kullanılan aktif GFD denetim yapısının Simulink modeli, Şekil 3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 3. Aktif GFD denetim yapısı.

### 2.1.2. DA/DA Azaltan Dönüştürücü Tasarımı

DA/DA aşaması, bir EA şarj cihazındaki ikinci güç dönüştürme seviyesidir. Bu aşamada bir EA'nın bataryasını şarj etmek için 800V olan DA bara gerilimi daha düşük bir DA gerilime (200-450V) dönüştürülmektedir. DA/DA azaltan dönüştürücünün özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

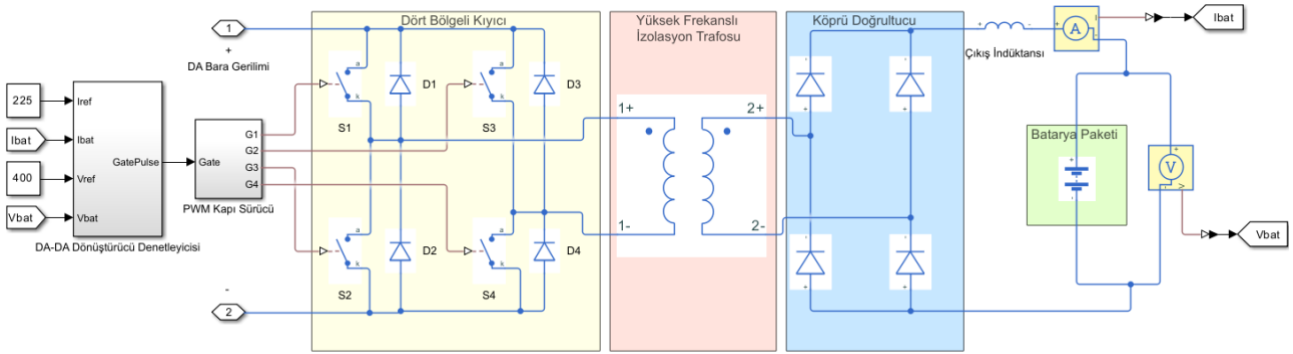
Tablo 3. DA/DA Dönüştürücü Özellikleri

Parametre	Sembol	Değer
Giriş Gücü	$P_{da}$	95kW
Çıkış Gücü	$P_{şarj}$	90kW
Giriş Gerilimi	$V_{da}$	650-800V
Çıkış Gerilimi	$V_{şarj}$	200-450V
Giriş Akımı	$I_{da}$	119A
Çıkış Akımı	$I_{şarj}$	225A
Anahtarlama Frekansı	$f_s$	10kHz
Trafo Dönüştürme Oranı	$k$	1,5

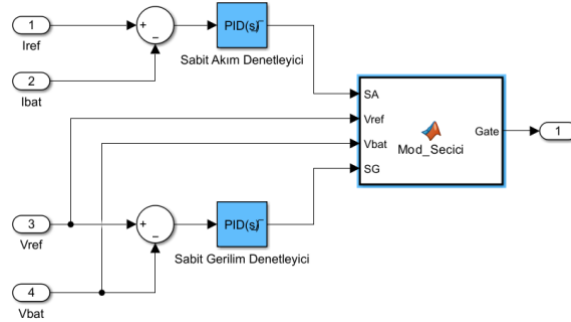
Aktif GFD çıkışından gelen DA bara gerilimi, dört IGBT anahtarlı evirici (dört bölgeci kıyıcı) kullanılarak yüksek frekansta bir kare dalga sinyaline dönüştürülerek trafoya iletilmektedir. Trafo girişindeki kare dalga sinyali çıkışta aynı frekanstaki daha düşük genlikli bir AA kare dalga sinyaline dönüştürülmektedir. Bu yüksek frekanstaki AA sinyali, köprü diyot aracılığıyla tam dalga doğrultulma işlemine tabi tutularak şarj işlemi için bataryaya uygulanmaktadır. Yüksek frekanslı

trafonun dönüştürme oranı  $650V/450V=1,44$  belirlenmiştir. Anahtarlama elemanlarının ölü zamanları da dikkate alınarak bu değer çalışmada 1,5 olarak kullanılmıştır.

İzoleli tip DA/DA dönüştürücü, izolasyonun sağlandığı yüksek frekanslı transformatör, evirici, azaltan dönüştürücü ve Sabit Akım (SA)-Sabit Gerilim (SG) denetleyicilerinden oluşmaktadır. SAE standardı tarafından tanımlanan hızlı bir şarj istasyonunun temel gereksinimlerinden biri, dağıtım şebekesi ile batarya paketi arasındaki galvanik izolasyondur (Alharbi ve ark., 2019). DA/DA dönüştürücü ve SA-SG şarj kontrol yöntemine ait simulink modeli Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. DA/DA azalan dönüştürücü ile SA-SG şarj cihazı modeli.



Şekil 5. DA/DA dönüştürücü SA-SG şarj denetim yapısı.

Bataryanın gerilim seviyesi kontrol edilir ve bu bilgiye dayalı olarak şarj cihazı, SA veya SG modunda çalıştırılır. Batarya gerilimi, üretici firma tarafından belirlenen maksimum gerilim seviyesine ulaştığında, şarj modu SA modundan otomatik olarak SG moduna geçer. SG modunda çalışan şarj cihazı, batarya terminalleri arasında sabit bir gerilim sağlar ve şarj akımının kademeli olarak azalmasına izin verirken batarya şarj durumu (State of Charge-SoC) yükselmeye devam eder. Şarj cihazı, şarj akımı batarya şarj akım oranının yaklaşık %10 değerine düşene kadar SG modunda kalır. Şarj akımı bu belirli değere düştüğünde, bataryanın tamamen şarj olduğu kabul edilir ve şarj işlemi tamamlanır. Batarya kapasitesinin kalan kısmını şarj etmek için SG modu kullanılsa da SG modundaki şarj hızı düşüktür ve SA modundaki hızdan bağımsızdır. Şarj denetiminde kullanılan PI

tipi denetleyicilerin parametreleri, kapalı döngü PID otomatik ayarlayıcı bloğu kullanılarak  $K_p=2$  ve  $K_i=100$  olarak belirlenmiştir.

## 2.2. Batarya paketi

Herhangi bir EA'nın temel parçası olan batarya paketi, bir aracın kullandığı motorun ve şarj sisteminin gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Batarya paketi genellikle, istenen gerilim ve kapasiteyi elde etmek için bir seri/paralel konfigürasyonda düzenlenmiş pil hücrelerinden oluşur (Kılıç, 2019). Bu çalışmada kullanılan batarya paketinin özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Batarya paketi; 18650 tipinde 2800mAh kapasitede 3.6V gerilime sahip lityum iyon silindirik pil hücrelerine göre tasarlanmıştır.

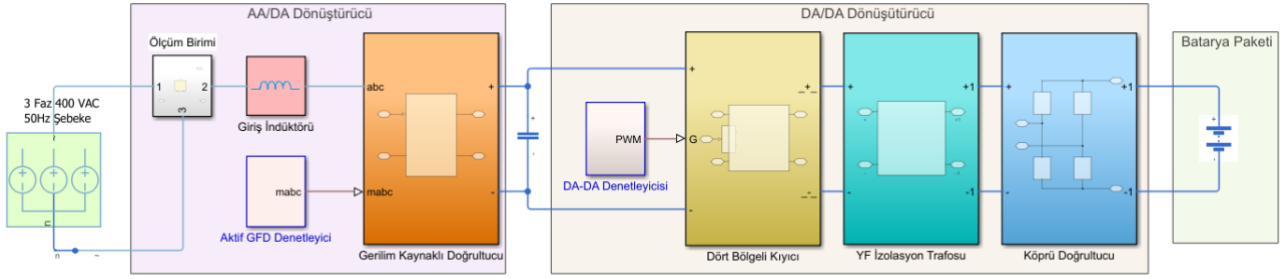
**Tablo 4.** Batarya paketi özellikleri

Parametre	Sembol	Değer
Tam Şarj Gerilimi	$V_{bat}$	400V
Batarya Kapasitesi	$P_{bat}$	45kWh
Batarya Şarj Akım Oranı	C	112.5A
Sabit Akım Şarj Akımı	$I_{CC}$	225A
Seri Hücre Sayısı	$n_s$	96
Paralel Hücre Sayısı	$n_p$	40
Batarya Hücre Sayısı	$n_b$	3840

Batarya kapasitesi genellikle kWh cinsinden ölçülmektedir. Günümüzdeki araçların batarya kapasitesi yaklaşık 30-100kWh aralığındadır. Aracın batarya kapasitesi, menzili üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğundan kWh değerinin büyüklüğü daha fazla menzil anlamına gelmektedir. Örnek olarak yerli otomobil projesi kapsamında geliştirilen Togg Sedan modelinde 100kWh bataryanın tam şarjla 500km menzil sağlayacağı ve ortalama tüketimin 20kWh/100km olacağı belirtilmektedir (Url-2, 2023).

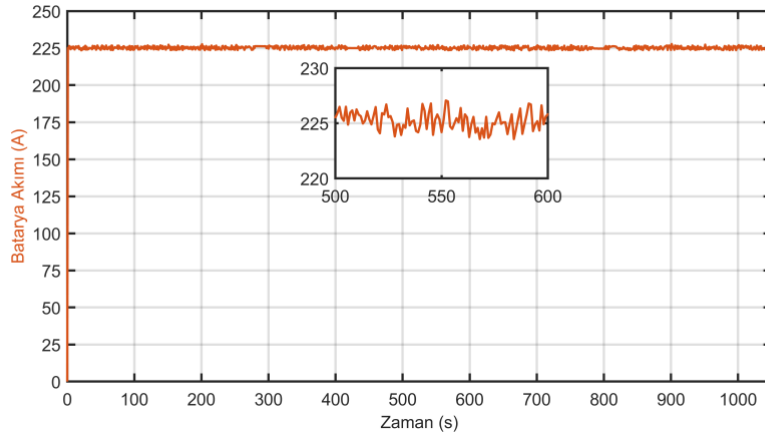
## 3. Bulgular ve Tartışma

Tasarlanan DA hızlı şarj cihazı, şebeke ve batarya paketinin oluşturduğu Şekil 6'da gösterilen modelin çalışma özellikleri, batarya SoC değerinin %20-%80 aralığı için sayısal simülasyonlar aracılığıyla test edilmiştir. Şarj sistemi modelinin giriş ve çıkış parametreleri Tablo-2, Tablo-3 ve Tablo-4'te verilen değerlere göre ayarlanmıştır.



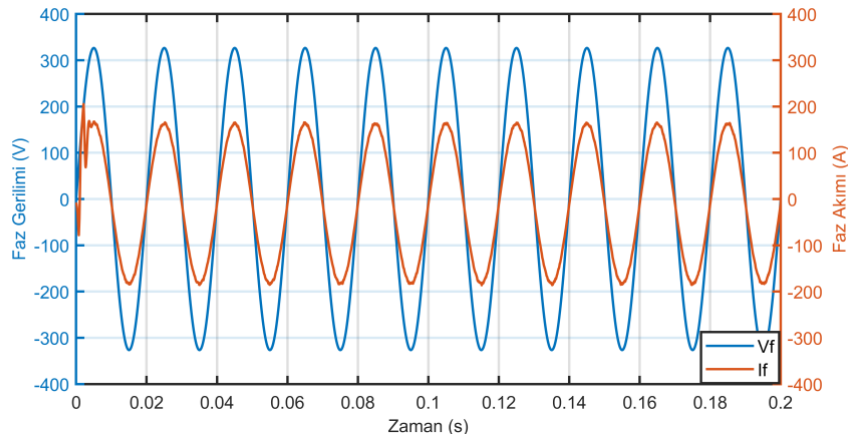
Şekil 6. Tasarlanan şarj sistemi modeli.

Bataryanın başlangıç şarj durumu %20 olarak ayarlanmıştır. Batarya bu şarj durumundayken, şarj cihazı Şekil 7’de gösterildiği gibi bataryaya 225A’lik bir akım sağlayacak şekilde SA modunda şarj işlemi başlatılmıştır.



Şekil 7. Batarya akımı grafiği.

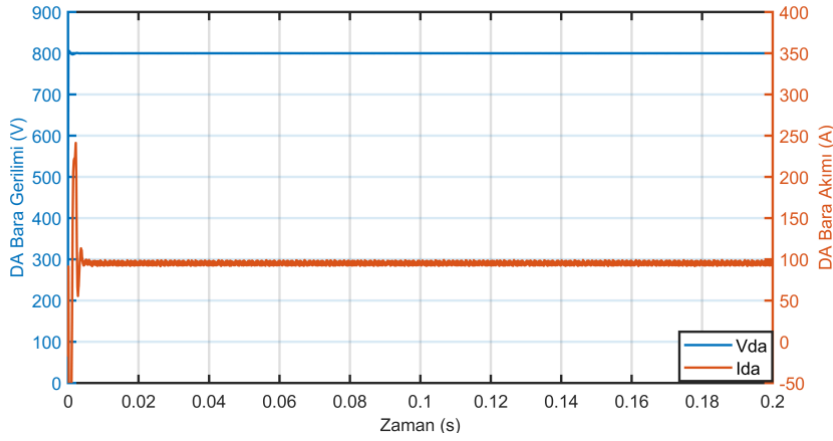
Doğrultucunun sabit 800VDC gerilim sağlama durumunda ölçülen şebeke gerilimleri ve faz akımlarının dalga biçimleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Faz akımlarının şebeke gerilimleri ile aynı fazda olduğu ve böylece birim güç faktörü koşulunun sağlandığı burada gözlemlenmektedir.



Şekil 8. Şebeke gerilim ve akım grafikleri.

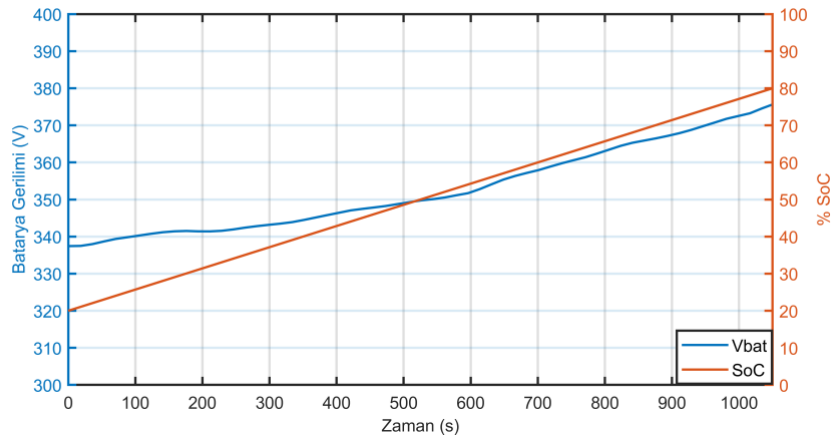
AA/DA dönüştürücünün 800VDC referans gerilim değerine karşılık başlangıç anındaki çıkış gerilim ve akımı grafiği ise Şekil 9'da gösterilmektedir. Aktif GFD aynı zamanda çıkış gerilim regülasyonunu sağlayarak istenen akım C-oranını korumakta ve SoC değeri %80'in üzerine çıktığında gerilim dalgalanmasını engellemektedir.

Başlangıçta bataryanın SoC değeri %20 olduğundan, bataryanın terminal gerilimi yaklaşık 333V seviyesindedir. Bu durumda bataryaya sağlanan 225A'lık akım için 75kW şarj gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucunda 800VDC DA bara tarafında 95-100A akım çekilmektedir. Şekil 9'da DA bara akım değerinin yaklaşık olarak 100A seviyesinde olduğu görülmektedir. SA modunda şarj akımı sabit olsa da batarya SoC değeri arttıkça batarya terminal gerilimi de artmaktadır. Bu nedenle şebekeden ve DA barasından çekilen akım değeri, batarya paketine sağlanan güce bağlı olarak artış gösterecektir.



Şekil 9. AA/DA dönüştürücü gerilim ve akım grafikleri.

Şarj işlemi devam ederken artış şeklinde değişen batarya terminal gerilimi ve %SoC değeri Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Batarya gerilim ve şarj dolum grafiği.

SA modunda batarya gerilimi yavaş bir hızda artmakta ve şarj durumuna bağlı olarak devam etmektedir. Batarya terminallerindeki gerilim değeri, %80 şarj durumu için 376V seviyesindedir ve hala maksimum değeri olan 400V'a ulaşmamıştır. Batarya paketinin %20 ile %80 arası şarj olma süresi toplamda 1050 saniye (17.5 dakika) olarak kaydedilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, mevcut ticari batarya paketi özellikleri dikkate alınarak EA'lar için DA hızlı şarj cihazının tasarımı, ayarlanması ve simülasyonu sunulmuştur. Simülasyon için üç fazlı faz kaydırmalı tam köprü dönüştürücü, birim güç faktörü düzeltici, izolasyonlu DA/DA azaltan tip dönüştürücü ve EA batarya paketi modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, 45kWh kapasiteli bir batarya paketi, 90kW şarj gücüyle 2C oranında SA akım modunda %20'den %80'e kadar 17.5 dakikalık kısa bir sürede şarj edilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, geleneksel PI tipi denetleyici parametrelerinin optimizasyon yöntemleriyle belirlenerek veya gelişmiş denetleyici yapıları kullanılarak denetim performansının daha da iyileştirilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışmanın, hızlı şarj altyapısının geliştirilmesine ve elektrikli araçların daha geniş bir şekilde benimsenmesine önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Abdel-Rahman, S., Stückler, F., and Siu, K. (2016). PFC Boost Converter Design Guide. *Infineon application note*, 2(1), 1-30.
- Acikgoz, H., Coteli, R., Ustundag, M., and Dandil, B. (2018). Robust control of current controlled PWM rectifiers using type-2 fuzzy neural networks for unity power factor operation. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 13(2), 822-828.

- Açıkgöz, H., Keçecioglu, Ö. F., and Şekkeli, M. (2019). Real-time implementation of electronic power transformer based on intelligent controller. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(4), 2866-2880.
- Alharbi, M., Dahidah, M., Pickert, V., and Yu, J. (2019, February). Comparison of SiC-based DC-DC Modular Converters for EV Fast DC Chargers. *2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, (pp. 1681-1688). Melbourne, VIC, Australia.
- Almamoori, N.A., Dziadak, B., and Sabry, A.H. (2022). Design of a closed-loop autotune PID controller for three-phase for power factor corrector with Vienna rectifier. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(4), 1798-1806.
- Balcı, I., Bodur, H., ve Gündoğan, A. (2022). Tek Fazlı Tek Aşamalı İzoleli Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi. *ELECO 2022 Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa, 24-26 Kasım.
- Chen, Y., Dai, W. p., Zhou, J., and Hu, E. (2014). Study and design of a novel three-phase bridgeless boost power factor correction. *IET Power Electronics*, 7(8), 2013-2021.
- Cittanti, D., Vico, E., Gregorio, M., Mandrile, F., and Bojoi, R. (2020, November). Iterative Design of a 60 kW All-Si Modular LLC Converter for Electric Vehicle Ultra-Fast Charging. *2020 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE)*, (pp. 1-6). Turin, Italy.
- Cittanti, D., Gregorio, M., Bossotto, E., Mandrile, F., and Bojoi, R. (2021). Full digital control and multi-loop tuning of a three-level T-type rectifier for electric vehicle ultra-fast battery chargers. *Electronics*, 10(12), 1453.
- Çetin, S. (2017). High Efficiency Design Approach of a LLC Resonant Converter for On-Board Electrical Vehicle Battery Charge Applications. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 103-111.
- Güven, A. F., and Akbaşak, S. B. (2021). DC Fast Charging Station Modeling and Control for Electric Vehicles. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 680-704.
- Güven, A. F., ve Akbaşak, S. B. (2021). Elektrikli Araçlarda DA Hızlı Şarj Ünitelerinin Şebeke Altyapısına Etkilerinin İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 42-54.
- Hassanzadeh, N., Yazdani, F., Haghbin, S., and Thiringer, T. (2017). Design Of a 50 kW Phase-Shifted Full-Bridge Converter Used For Fast Charging Applications. *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, (pp.1-5), Belfort, France.
- Kaba, M. Y., Kalkan, O., ve Celen, A. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar ve Termal Yönetim Sistemlerinin İncelenmesi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1119-1136.
- Khalid, M., Ahmad, F., Panigrahi, B. K., and Al-Fagih, L. (2022). A comprehensive review on advanced charging topologies and methodologies for electric vehicle battery. *Journal of Energy Storage*, 53(1), 105084.
- Kılıç, E. (2019). DA-DA Yükselten Dönüştürücü ile Elektrikli Araç Batarya Şarj Cihazı Tasarımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 281-287.
- Kongjeen, Y., Junlakan, W., Bhumkittipich, K., and Mithulanathan, N. (2018). Estimation of the quick charging station for electric vehicles based on location and population density data. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 11(3), 233-241.
- Liu, J., Loo, K., Wang, G., Zhang, X., and Wu, T. (2023). Asymmetric Modulation of Bridgeless Single-Stage Full-Bridge AC-DC Converter for Active Power Factor Correction and Zero Voltage Switching. *IET Power Electronics*, 1-14.
- Nasir, A., Hamad, M.S., and Elshenawy, A.K. (2021). Design and Development of a Constant Current Constant Voltage Fast Battery Charger for Electric Vehicles. *4th International Conference on Modern Research in Science, Engineering and Technology*, (pp.13-55), Berlin, Germany.
- Nurmuhammed, M. ve Karadağ, T. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 218-233.
- Pul, T. (2019). *Design and Implementation of a 130KW, 750VDC Bidirectional PWM Rectifier Supplied from 400V, 50Hz Grid*. Master's Thesis, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Rubino, L., Capasso, C., and Veneri, O. (2017). Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility. *Applied Energy*, 207(1), 438-464.

- Sbordone, D., Bertini, I., Di Pietra, B., Falvo, M. C., Genovese, A., and Martirano, L. (2015). EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electric Power Systems Research*, 120(1), 96-108.
- Shukla, H. (2016). Vector Control of Three-Phase Active Front End Rectifier. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(9), 261-268.
- Sezer, K. C., ve Basmacı, G. (2022). Şarj Edilebilir Pillere Genel Bakış. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 297-309.
- URL-1: <https://www.mathworks.com/help/sps/ug/dc-fast-charger.html>, (Erişim Tarihi: 01.10.2022). URL-2: <https://www.dolubatarya.com/togg-sedan-ozellikler>, (Erişim Tarihi: 12.01.2023).
- Yoon, Hm., Kim, Jh., and Song, Eh. (2013). Design of a novel 50 kW fast charger for electric vehicles. *Journal of Central South University*, 20(2), 372-377.
- Young, K., Wang, C., Wang, L. Y., and Strunz, K. (2013). *Electric vehicle battery technologies, in Electric vehicle integration into modern power networks*, Springer, 15-56.
- Yüksek, H.İ., ve Arifoğlu, U. (2020). Modeling of Three-Phase Three-Level Rectifier with Space Vector Pulse Width Modulation Method in Matlab/Simulink Program. *Sigma J Eng & Nat Sci* 38 (1), 227-251.