

Kablosuz Şarj İstasyonunun Elektrik Şebekeleri Üzerindeki Harmonik Kaynaklı Etkisi için Tek Ayarlı Filtre Tasarımı ve Optimizasyonu

Haris Calgan^{1*} ve Metin Demirtas¹

¹Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye

*(haris.calgan@balikesir.edu.tr)

Özet – Elektrikli Araçların tercihindeki hızlı artış, bu araçlar için ihtiyaç duyulan şarj istasyonlarının kurulmasını da hızlandırmıştır. Ancak alçak gerilim seviyesindeki bu yük artışının şebekeye çeşitli etkileri olmaktadır. Özellikle kablosuz enerji transferine olanak sağlayan şarj istasyonları içerdiği yüksek frekansla çalışan çeşitli dönüştürücüler yüzünden şebekeden harmonikli akım çekmektedir. Bu çalışmada Matlab/Simulink programı üzerinde kurulan elektrikli araç kablosuz şarj istasyonunun şebeke üzerindeki harmonik kaynaklı etkilerinin azaltılması için tek ayarlı pasif filtre tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Filtresiz ve filtreli çalıştırılan sistemin toplam harmonik distorsiyonu (THD) değerleri karşılaştırılarak filtreli çalışma koşullarında THD_v ve THD_i değerlerinin sırasıyla %1.95 ve %3.06 değerlerine kadar düşürüldüğü görülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Kablosuz enerji transferi, Elektrik Araç Şarj İstasyonu, Tek Ayarlı Pasif Filtre, Optimizasyon

I. GİRİŞ

Son yıllarda petrol ürünlerinin tüketimiyle küresel ısınma, hava kirliliği, su kirliliği vb. etkilerin artmasından dolayı yenilenebilir enerji veya çevre dostu teknolojik sistemlere yönelim artmıştır. Çevre kirliliğinin en önemli etkilerinden biri de petrol tabanlı yakıtlara sahip olan taşıtlardır. Bu yüzden karbon atığı oluşturan bu taşıtlar yerine elektrik enerjisiyle çalışan araçlar tercih edilmeye başlamıştır. Ancak, bu araçların şarj edilebilmesi için gerekli altyapının oluşturulması elzemdir. Elektrikli araç şarj istasyonları (EVCS) için oluşturulan IEC61851 standardına göre, meskenlerin şebekeden çekebileceği akım 32 A ile 250 A arasında alternatif akım olarak sınırlandırılmıştır. Ancak elektrikli araç sayısındaki hızlı artış alçak gerilim seviyesinde ciddi problemlere yol açma potansiyeline sahiptir [1].

Elektrikli araç endüstrisinde en büyük inovasyonlardan biri de kablosuz şarj etme yöntemidir. Bu yöntem ile kablo bağlantısız ve çevresel faktörlere direnci olmayan bir yapı kullanılarak daha güvenli bir şarj sistemi elde edilebilmektedir. Literatüre bakıldığında kablosuz şarj istasyonlarının birçok çalışmada kullanıldığı

görülmektedir [2,3]. Ancak bu istasyonlar içeriğinde DC-DC veya AC-DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. Aslında AC-DC dönüştürücüler şebeke bağlantılı kablosuz şarj istasyonları için daha uygundur [4]. Ancak, bu dönüştürücüler yapıları gereği yüksek frekanslı tetikleme birimleri içermektedir. Bu birimlerim tetiklenmesiyle akım ve gerilim sinyallerinde harmonik bozulmalar meydana gelmektedir. Bu harmoniklerin şebeke üzerindeki etkileri, uygulaması kolay ve ucuz olan pasif filtreler kullanılarak elimine edilebilmektedir.

Pasif LC (tek ayarlı) filtreleri geleneksel olarak güç sistemindeki harmonik bozulmayı önlemek için baskın harmoniklere göre ayarlanmış farklı sayıda paralel kollardan oluşmaktadır. Filtreler reaktif güç kompanzasyonu, güç faktörü (GF) iyileştirme, THD'yi azaltma, kaynak kesintisi durumunda kritik veri yollarında gerilim desteği sağlama, büyük motorların çalıştırılmasında olumsuz etkisini ve gerilim düşüşünü azaltma gibi birçok amaca hizmet edebilmektedir [5]. AC sistemlerde filtreler seri veya paralel bağlantılıdır. Seri bağlı filtre kavramı, ayarlama frekanslarında çok yüksek empedans etkisi gösteren, paralel rezonans elektrik devresidir.

Bu çalışmada Matlab/Simulink programı üzerinde elektrikli araçlar için şebeke bağlantılı kablosuz şarj istasyonu tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu sistemin şebeke üzerindeki harmonik kaynaklı etkilerinin giderilmesi için tek ayarlı pasif filtre tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimize edilen filtre ile sistem çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar ile filtresiz çalışma koşulları karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

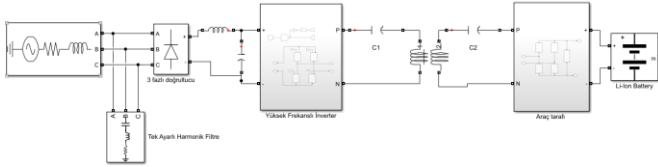
Önerilen EVCS içerik olarak üç fazlı doğrultucu, DC bara, araç tarafı için bir doğrultucu içermektedir. Şekil 1’de genel yapısı verilen bu sistemde, tek ayarlı pasif filtre kullanılarak şebeke üzerindeki harmonik kaynaklı etkilerin giderilmesi amaçlanmıştır. Kablosuz enerji transferi kısmında seri-seri kompanzasyon topolojisi mevcuttur. Bu yöntemde L_p , C_p , ve C_s primer ve seconder taraftaki sargılarındaki endüktansları ve rezonans için kullanılan kapasite değerini göstermektedir. Primer ve sekonder tarafı sargılar üzerinden geçen akımlar sırasıyla I_p ve I_s olarak tanımlanırsa, sekonder tarafındaki empedansın üzerinden geçen akımın primer tarafa olan etkisi şu şekilde belirtilebilir.

$$Z_r = \frac{-j\omega M I_s}{I_p} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_s} \quad (1)$$

Denklemdaki M, ortak indüktansı göstermektedir ve takip eden denklemden gibi hesaplanır.

$$M = k \sqrt{L_p L_s} \quad (2)$$

Denklem (2)’deki k katsayısı kuplaj katsayısı olarak tanımlanır ve 0 ile 1 arasında değere sahiptir. Denklemlerdeki Z_s sekonder tarafındaki empedansı göstermektedir. Denklemden frekans ω , rezonans anındaki frekans olan $\omega_r = 1/\sqrt{L_s C_s}$ şeklinde seçilmelidir.



Şekil 1. Tek ayarlı harmonik filtre kullanılan EVCS yapısı

Önerilen sistemde kullanılan kablosuz şarj istasyonu 3 fazlı, 380 V, 50 Hz bir AC şebekeden beslenmektedir. Bu gerilim DC bara üzerinde 360 V gerilime dönüştürülmekte ve sonrasında 360 V 30 kHz AC kare dalgaya dönüştürülmektedir. Primer bobine bu gerilimin verilmesi sonucu sekonder taraftan elde edilen gerilim köprü doğrultucudan sonra lityum iyon bataryalarının şarj edilmesi için

kullanılmıştır. Sistem parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kablosuz Şarj İstasyonu Parametreleri

Parametre	Değer
C_p	$105.74e^{-9}$ F
C_s	$109.69e^{-9}$ F
L_p	$266.16e^{-6}$ H
L_s	$256.79e^{-6}$ H
M	$85.46e^{-6}$ H

A. THDi ve THDv Hesaplama

Önerilen EVCS’de kullanılan rezonant inverteri 360 V DC girişi 360 V AC kare dalgaya çevirmektedir. Bu kare dalga da kablosuz şarj bobinlerine verilmektedir. Ancak bahsedilen EVCS’nin şebekeden beslenmesi durumunda kablosuz şarjı sağlayacak bölümün yüksek frekansta çalışmasından dolayı şebekeden sinüzoidal forma sahip olmayan akımlar çekeceği bilinen bir gerçektir. Aynı zamanda ortak bağlantı noktasında gerilimin dalga formunda da bozulmalar olacağı öngörülmektedir. Akımda ve gerilimde THD değerleri olarak adlandırılan bu bozulmalar temel frekans RMS akımı I_1 ve sinüzoidal kaynak V_1 olarak ele alındığında aşağıdaki denklemlerdeki gibi bulunur.

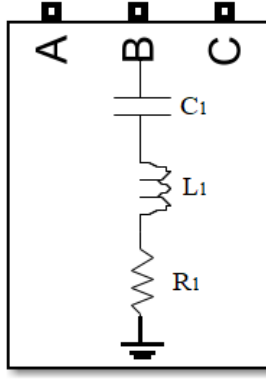
$$THDi = \frac{\sum_{n \neq 1} I_n^2}{I_1} \quad (3)$$

$$THDv = \frac{\sum_{n \neq 1} V_n^2}{V_1} \quad (4)$$

Her iki denklemden I_n ve V_n sembolleri n^{inci} harmonik akımı ve gerilimini göstermektedir.

B. Tek Ayarlı Pasif Filtrenin Tasarımı ve Optimizasyonu

Şekil 2’de genel yapısı verilen tek ayarlı filtreler seri RLC devrelerinden meydana gelirler ve belli bir frekanstaki harmonik akımının bastırılmasını sağlarlar.



Şekil 2. Tek ayarlı pasif harmonik filtre

Bu filtrenin çalışma prensibinde istenen frekansta endüktif ve kapasitif reaktansların eşitlenmesi hedeflenmektedir. Tek ayarlı filtrenin filtre empedansı şu bağlantı ile ifade edilir:

$$Z_F = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) \quad (5)$$

Ayarlanan frekansta minimum empedans elde edileceğinden dolayı, harmonik filtre üzerinden toprağa aktarılır. Tek ayarlı filtrelerde rezonans frekansının ayarlanabilmesi için X_{L1} ve X_{C1} değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada filtre parametreleri optimizasyon yöntemiyle belirlenerek minimum THD değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Ön çalışmalar yapılarak optimizasyon için kullanılacak minimum ve maksimum parametre değerleri belirlenmiş ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Optimizasyon için belirlenen şartlar

Parameter	Min	Max
R_1	100 Ω	120 Ω
C_1	$1e^{-4}$ F	$1e^{-3}$ F
L_1	$1e^{-3}$ H	$1e^{-2}$ H

Belirlenen minimum ve maksimum şartlar için Matlab/Simulink ortamında kurulan sistem üzerinde Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemi kullanılarak Tablo 3’te verilen filtre parametreleri elde edilmiştir.

Tablo 2. Optimum parametreler

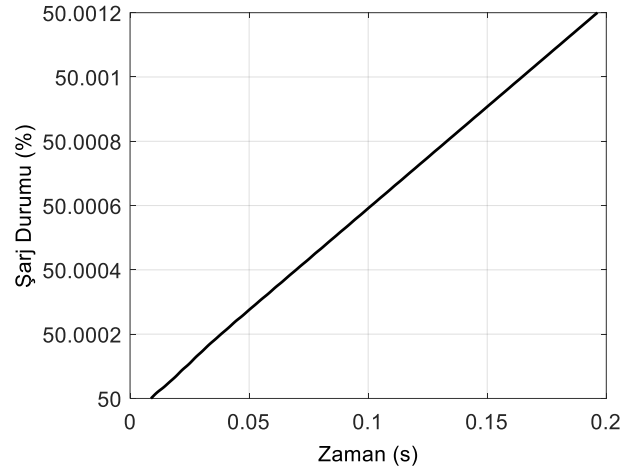
Parameter	Değer
R_1	111 Ω
L_1	$1.8e^{-3}$ H
C_1	$1.59 e^{-4}$ F

III. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

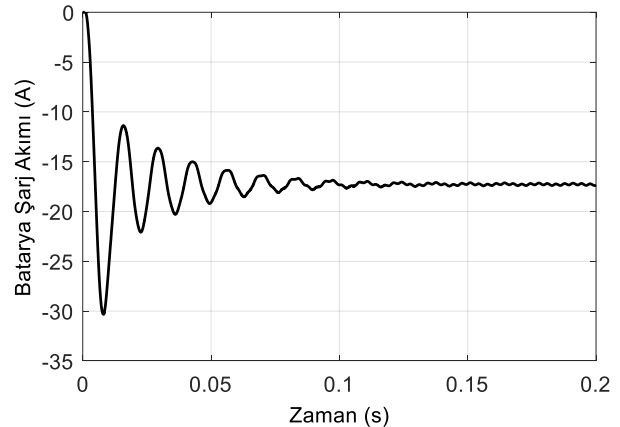
Bu bölümde, tek ayarlı pasif filtreli ve filtresiz EVCS'nin simülasyonunda sayısal sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları için Matlab/Simulink programı

kullanılmıştır. EVCS'nin simülasyonu için kullanılan eşdeğer devre parametreleri Bölüm 2’de açıklandığı gibi seçilmiştir. Ek olarak, WPT'nin ikincil tarafına doğrultucu üzerinden beslenen bir lityum-iyon batarya bağlanmıştır. Sistem temel frekansı 50 Hz, gerilimi 400 V olan üç fazlı şebeke ile beslenmektedir. Kullanılan bataryanın nominal gerilim 360 V, nominal kapasitesi 100 Ah, ilk şarj durumu (SoC) %50, batarya tepki süresi 10 s, batarya iç direnci ise 0,036 Ω ’dur.

Başlangıçta, modellenen sistemin simülasyonu pasif filtresiz gerçekleştirilmiştir. Lityum-iyon bataryanın şarj akımı ve şarj durumunu Şekil 5’te gösterilmiştir. Akünün DC baradan yaklaşık 15 A çektiği ve şarj olmaya devam ettiği şekilden anlaşılmaktadır. Bu durum bataryanın şarj edilme işleminin verimli bir şekilde sürdüğünü göstermektedir.



(a) Şarj durumu.

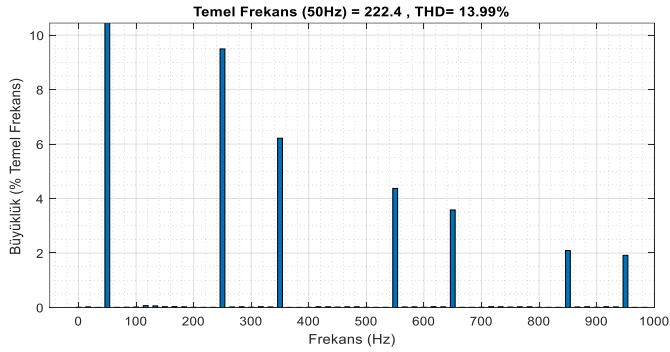
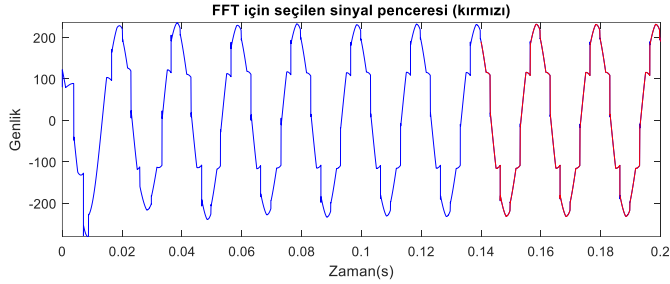


(b) Şarj akımındaki değişim.

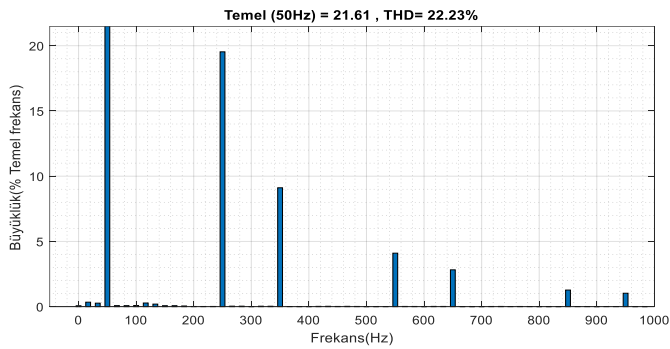
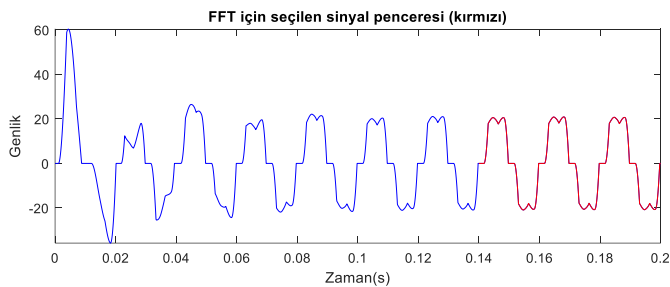
Şekil 3. Bataryanın filtresiz çalışma durumunda şarj akımı

EVCS'nin filtresiz çalıştırılması durumunda, ortak

bağlantı noktasındaki harmonikli gerilimin dalga şekli ve harmonik spektrumu Şekil 4a'da gösterilmektedir. Şebekeden çekilen akımın büyüklüğü ve harmonik spektrumu Şekil 4b'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 4'dan görüldüğü gibi THD_V değeri %13,99 ve THD_I 'nin değeri ise %22,23 olarak ölçülmüştür. Ölçülen THD değerlerinin uluslararası standartların üzerinde olduğu ve azaltılması gerektiği açıktır. Ayrıca, harmoniklerin azaltılması, WPT'nin etkinliğini artırabilir ve batarya şarj sürecini hızlandırabilir.



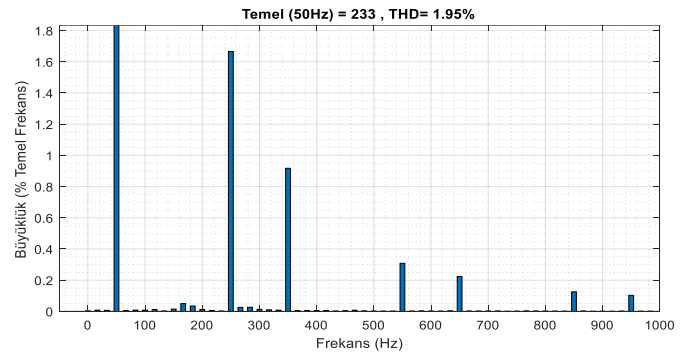
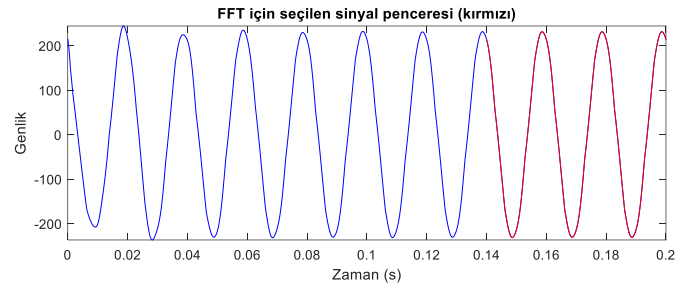
(a) THD_V değeri ve kaynak gerilimi.



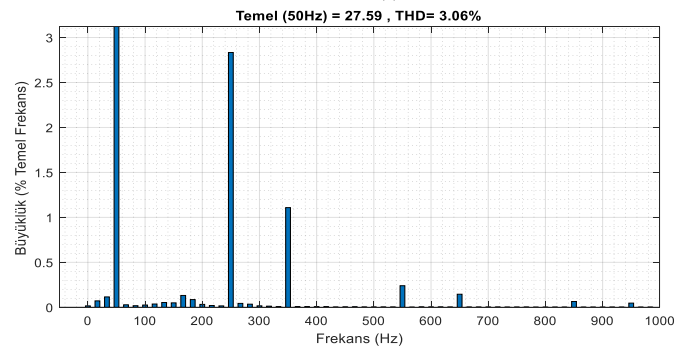
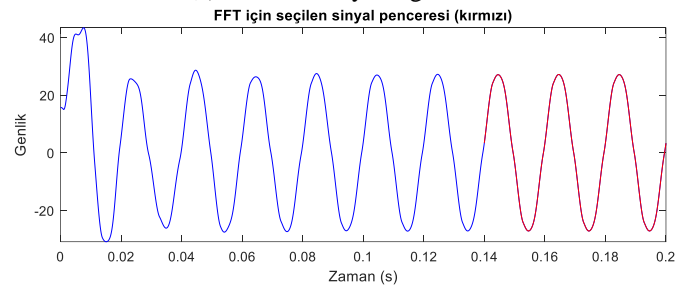
(b) THD_I değeri ve kaynak gerilimi.

Şekil 4. Filtresiz çalışmada THD değerleri

çalıştırıldığında, ölçülen gerilim ve akım harmonik spektrumları Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu durumda THD_V değeri %1,95 ve THD_I değeri ise %3,06'a düşürülmüştür. Sonuçlar arasındaki mutlak farklar, tasarlanan tek ayarlı pasif filtrenin devrede kullanılması durumunda, THD_V ve THD_I değerlerinin IEEE Standardı 519-1992 tarafından tanımlanan sınırlar içinde tuttuğunu göstermektedir. Dolayısıyla sonuçlar, optimal tek ayarlı pasif filtrenin parçacık sürü optimizasyonu ile etkin bir şekilde belirlendiğini göstermektedir. Filtreli çalıştırılan sistemde batarya şarj performansının da filtersiz duruma göre arttığı da Şekil 6'da gösterilmiştir.



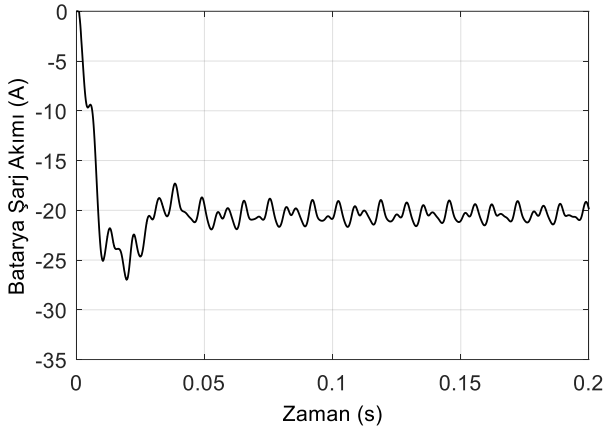
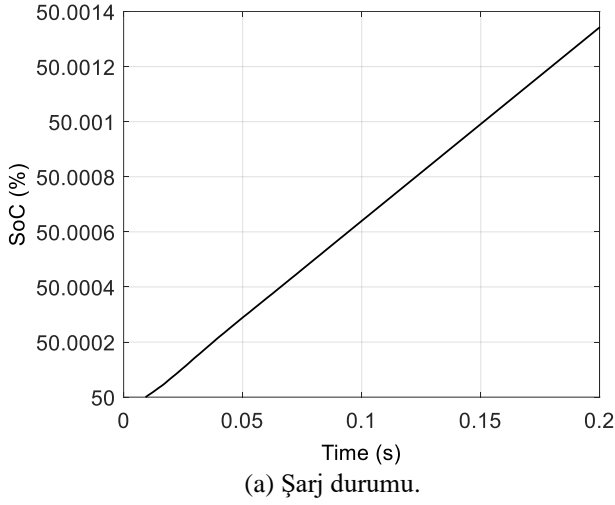
(a) THD_V ve kaynak gerilimi.



(b) THD_I ve kaynak akımı.

Sistem tasarlanan tek ayarlı pasif filtre ile

Şekil 5. Tek ayarlı filtre ile elde edilen THD değerleri



Şekil 6. Tek ayarlı pasif filtre ile çalıştırılan sistemde şarj durumu

IV. SONUÇLAR VE TARTIRŞMA

Bu çalışmada kablosuz enerji aktarımını içeren bir elektrikli araç şarj istasyonunun şebekeye olan etkilerinin iyileştirilmesi için tek ayarlı pasif filtre tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen filtrenin Matlab/Simulink programında oluşturulan simülasyon üzerinde test edilmesiyle THD_v değerinin %13.98'den %1.95'e kadar düşürüldüğü, THD_i değerinin %22.23 değerinden %3.06 değerine kadar düşürüldüğü görülmektedir. Böylelikle IEEE 519-1992 standartlarında belirtilen limit değerlerin altında kalınarak başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Demirtas M, Calgan H, Ilten E. Elektrikli Araçlar için Şebekeden bağımsız Kablosuz Şarj İstasyonu Tasarımı. Mühendislikte Araştırma ve

- Değerlendirmeler, Gece Kitaplığı; 2022, p. 241–66.
[2] Mou X, Zhao R, Gladwin DT. Vehicle to vehicle charging (V2V) bases on wireless power transfer technology. IECON 2018-44th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., IEEE; 2018, p. 4862–7.
[3] Fathollahi A, Derakhshandeh SY, Ghiasian A, Khooban MH. Utilization of dynamic wireless power transfer technology in multi-depot, multi-product delivery supply chain. Sustain Energy, Grids Networks 2022;32:100836.
[4] Bai HK, Costinett D, Tolbert LM, Qin R, Zhu L, Liang Z, et al. Charging electric vehicle batteries: Wired and wireless power transfer: Exploring ev charging technologies. IEEE Power Electron Mag 2022;9:14–29.
[5] Gunduz H, Demirtas M, Ilten E, Calgan H. Paralel Aktif Güç Filtresi için Bulanık Uyarlamalı Kesirli PI Denetleyici Tasarımı. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Derg n.d.;8:1975–94.