



V2G Uygulamalarında Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Optimum Entegrasyonunun Analizi İçin Newton Raphson Temelli Yeni Bir Model

A New Newton Raphson Based Model For Analysis Of Optimum Integration Of Electric Vehicles Into The Distribution Network In V2G Applications

Bünyamin Kuzu¹, Ozan Akdağ², Mustafa Nurmuhammed³, Teoman Karadağ^{4*}

¹ İnönü Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, bunyamin.kuzu@inonu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2120-7284>

² Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ozanakdag@live.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8163-8898>

³ İnönü Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, mustafa.nurmuhammed@inonu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5957-3255>

⁴ İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, teoman.karadag@inonu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7682-7771>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 23 Şubat 2024
Revizyon 23 Haziran 2024
Kabul 26 Haziran 2024
Online 30 Haziran 2024

Anahtar Kelimeler:

Elektrikli Araç, Modelleme,
Simülasyon, V2G, Yük Akışı.

ÖZ

Son yıllarda, Elektrikli Araç (EA) üretimi ve kullanımı hızla artmaktadır. EA'lar, yapısı gereği enerji depolama kapasitesine sahip olduklarından, elektrik şebekesi üzerinde yedek güç kaynağı ve yardımcı hizmetler sağlama gibi işlevleri yerine getirebilecekleri fikirleri ortaya çıkmıştır. Bu fikirlerden biri, araçtan şebekeye enerji transferi olan Vehicle-to-Grid (V2G) konseptidir. Bu çalışmada, EA'lara ait şarj istasyonlarının şebekeye optimum şekilde entegrasyonu ve EA'ların V2G konsepti ile şebekeye elektrik enerjisi aktarımının incelenmesi için Newton Raphson temelli yeni bir model önerilmektedir. Önerilen çalışmanın etkinliğinin incelenmesi için öncelikle IEEE 33 bara sistemi DigSilent yazılımı ile modellenmiştir. Sonrasında bu çalışmada sunulan yeni model ile güç sisteminde EA şarj istasyonlarının optimum entegrasyonu sağlatılmıştır. Çalışma kapsamında, EA'ların şarj/deşarj durumları simüle edilerek V2G konsepti analiz edilmiştir. Böylece, bu çalışma ile EA'ların hem mevcut şebeke üzerindeki etkileri hem de çevresel etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Analiz sonucunda, 156 EA radyal dağıtım şebekesine (optimum) entegre edilmiş ve 10 saatte toplam 4464 kWh elektrik enerjisi şebekeye aktararak yaklaşık 1519 kg CO₂ salınımı azaltılmıştır. Bu çalışma, V2G konsepti ile elektrik şebekesine pik talep saatlerinde destek olmak, yük dengelenmesi, araçlarda depolanan yenilenebilir enerjinin kullanılabilmesi, sistemdeki darboğazların ve karbon salınımının azaltılması için EA'ların şebeke entegrasyonunu teşvik etmektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 February 2024
Received in revised form 23 June 2024
Accepted 26 June 2024
Available online 30 June 2024

Keywords:

Electric Vehicle, Modelling, Load
Flow, Simulation, V2G

Doi: 10.24012/dumf.1441551

ABSTRACT

In recent years, Electric Vehicle (EV) production and use has been rapidly increasing. Since EVs have energy storage capacity by nature, the ideas that they can perform functions such as providing backup power supply and auxiliary services on the electricity grid have emerged. One of these ideas is the Vehicle-to-Grid (V2G) concept, which is the transfer of energy from the vehicle to the grid. In this study, a new Newton Raphson based model is proposed for the optimum integration of EV charging stations into the grid and for examining the electrical energy transfer from EVs to the grid with the V2G concept. In order to analyze the effectiveness of the proposed study, firstly, the IEEE 33 bus system is modeled with DigSilent software. Afterwards, with the new model presented in this study, optimum integration of EV charging stations in the power system is achieved. Within the scope of the study, the charge/discharge states of EVs are simulated and the V2G concept is analyzed. Thus, in this study, both the effects of EVs on the existing grid and their environmental impacts are examined in detail. As a result of the analysis, 156 EVs are integrated into the radial distribution network (optimum) and a total of 4464 kWh of electrical energy is transferred to the network in 10 hours, reducing approximately 1519 kg of CO₂ emissions. With the V2G concept, this study encourages the grid integration of EVs supporting the electricity grid during peak demand hours, load balancing, using the renewable energy stored in the vehicles, and reducing the bottlenecks and carbon emissions in the system.

* Sorumlu Yazar

Giriş

EA'lar, içten yanmalı motora sahip araçlara göre daha erken yıllarda üretilmiş ve kullanılmıştır. Tarihte ilk elektrikli araç 1835 yılında Prof. Stratingh tarafından Hollanda'da geliştirilmiştir. Daha sonra 1838 yılında Robert Davidson tarafından 6.4 km/s hıza ulaşabilen elektrikli lokomotif, 1882 yılında ise Siemens firması tarafından Elektromote adı verilen elektrikli trolleybüs üretilmiştir. Elektromote isimli araç 2.2 kW güce ve saatte 12 km/s hıza çıkmayı başarmıştır [1-3].

Günümüzde otomobil üreticileri içten yanmalı motora sahip araçlar ile EA da üretmeye başlamışlardır. İçten yanmalı motorlu araçların sebep olduğu sera gazları ve hava kirliliğinden dolayı EA'ların popülerliği artmıştır [4]. Bu popülerliğin bir başka sebebi de elektrik prizi olan her yerden şarj edilebilir olması ve devletlerin bu araç satışlarını artırmak için verdiği teşviklerdir [5-10]. Özellikle Çin, Norveç, İngiltere, Fransa ve Almanya gibi ülkelerin sağladığı teşvikler bu araçlara olan ilgiyi artırmıştır. Uluslar arası enerji ajansı (IEA) verilerine göre dünya genelinde elektrikli araç satışları 2022 yılında 7.3 milyon, 2023 yılında ise 9.5 milyon adet gerçekleşmiştir [51]. EA'ların sayısının artması enerji ihtiyacını artıracığından elektrik dağıtım şebekesinin bu durumdan etkileneceği öngörülmektedir. EA'ların dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini inceleyen literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Güven ve arkadaşları EA hızlı şarj istasyonlarının yüksek akım ve voltaj ile güç aktarımı yaptıklarından dolayı şebekede karşılanamayan taleplerin olabileceğini belirtmişlerdir [10]. Nurmuhammed vd., kullanıcıların bu araçları şarj etmeleri o bölgedeki EA yoğunluğuna bağlı olarak şebekeye ek yükler getirebileceği ve faz/gerilim sapmalarına sebep olabileceğini bildirmişlerdir [11]. Yılmaz, elektrikli araçların orta gerilim dağıtım şebekesine etkilerini incelemiş ve EA sayısı, toplam araç sayısının üçte biri seviyesini aşması durumunda dağıtım şebekesinin olumsuz etkilenebileceğini belirtmiştir [24]. Boynuoğlu, EA'ların şarj işlemi sırasında harmoniklerin oluşması ve transformatörlerin aşırı ısınması sonucu güç kalitesi sorunları ve transformatörlerin ömrünün kısalmasına sebep olacağını belirtmiştir [12]. EA şarj işleminin yoğun kullanımına bir örnek olarak aynı bölgede bulunan 1000 EA, 50 kW şarj hızı ile şarj edildiğinde dağıtım şebekesi üzerinde 50 MWh'lik enerji talebi oluşturacaktır. 50 MW elektrik tüketimi orta ölçekli bir enerji santralinde üretilen enerjiye eşdeğerdir. Özetle EA'lar: Harmoniklere neden olma, güç kalitesi sorunları, karşılanamayan talepler, faz dengesizliği gibi sorunlarla şebekeyi etkileyebilmesine rağmen fosil yakıtlara bağımlı olmaması (sıfır emisyon) sayesinde canlılar ve çevre üzerinde daha az etkiye sahip araçlardır. EA'ların bu etkisi küresel ısınma sorunu ve dünyamızın yeşil geleceği için önem arz etmektedir.

EA'lar teknolojik altyapıları sayesinde sıfır egzoz emisyonuna sahip olduklarından çevreye doğrudan zararlı gaz salınımı yapmamaktadır. Fosil kökenli yakıtları kullanan içten yanmalı motora sahip araçlar ise azot oksitler (NOx), kükürt oksitler (SOx), karbon oksitler (COx) ve bir takım zararlı partikülleri doğaya bırakırlar. Günümüzde içten yanmalı motora sahip araçların CO₂ emisyonu 100-120 g/km seviyesine kadar

düşürülebilmektedir [13]. Bu yüzden EA'ların yaygınlaşması, içten yanmalı motora sahip araçların ürettiği zararlı gazları önemli ölçüde azaltacaktır. Zararlı gazların azaltılması sonucu küresel ısınmanın etkilerinin gerilemesi, çevre kirliliğinin azalması yönüyle; canlılar ve dünyamızın geleceği için oldukça önemlidir. EA'lara yenilenebilir enerji kullanılarak şarj sağlanması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sera gazlarının azalmasına katkı sağlayabilir.

EA'larda kullanılan teknoloji sayesinde araçların bataryasında depolanan enerji, enerji kaynağı olarak ihtiyaçlar doğrultusunda farklı kaynakları besleyebilir. Bu noktada yeni nesil batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır [14-20]. EA'larda depolanan bu enerjinin dağıtım şebekesinde enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla Vehicle-to-Grid (V2G) araçtan şebekeye enerji transferi konsepti ortaya çıkmıştır [21]. Bu bağlamda EA'ların dağıtım şebekesinde frekans düzenleyici, aktif ve reaktif güç desteği sağlayabileceği, pik voltaj ve harmonik önleyici olarak kullanılabilmesi de öngörülmüştür [22-24]. Akıllı otopark sistemleri için hazırlanan bir benzetim çalışmasında otopark ile EA'lar arası V2G uygulaması sayesinde işletmeye %16 kârlılık sağlanmıştır [25]. V2G konsepti uygulamaya alındığında depolanan enerjinin şebekeye satışı sayesinde enerji fiyatlarının ucuzlayacağı belirtilmiştir [22].

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak EA'ların şarj olma ve araçtan şebekeye enerji aktarımı konusunun hem çevresel etkileri hem de şebekeye etkileri bir bütün olarak ele alınmıştır. Bu etkileri aynı anda gösterebilmek için DigSilent programında bir plan dâhilinde sanal model oluşturulmuş ve detaylı analiz yapılmıştır. Bu sanal modelde V2G konsepti IEEE 33 test bara sistemi üzerinde uygulanmıştır. DigSilent programında oluşturulan sanal modeldeki ölçüm sonuçlarının, şarj ve deşarj işleminin etkilerini görebilmek için Matlab programında yapılan benzetim çalışmasına girdi olarak verilmesi sağlanmıştır.

Benzetim çalışması sonuçlarına göre EA'ların şebekeye optimum entegrasyonu sağlanarak V2G ile CO₂ emisyonunun azaltılabileceği gösterilmiştir. Özetle bu çalışmanın literatüre üç kolda katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu katkılar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Önerilen sanal model ile EA'ların mevcut şebekeye optimum entegrasyonu bir plan dahilinde sağlatılmıştır.
- 2- Bu sanal model ile EA'ların mevcut şebekede şarj ve deşarj durumlarının olası sonuçları simülasyon ile detaylı olarak analiz edilmiştir.
- 3- Oluşturulan sanal model sayesinde EA'ların çevresel etkileri sayısal verilerle gösterilmiştir.

Teorik Altyapı

Bu bölümde EA'ların genel yapısı, şebekeye etkileri, şarj işlemleri ve kullanılan programlar sunulmuştur.

EA'ların genel yapısı

EA'lar tamamen elektrikli araç (TEA)'lar ve hibrit elektrikli araç (HEA)'lar olmak üzere ikiye ayrılır. TEA'lar konvansiyonel araçlar gibi içten yanmalı motora ve egzoz sistemine sahip değildir. Bu özellikleri sayesinde

fosil kökenli yakıtlara ihtiyaç duymazlar, zararlı gaz salınımı yapmazlar. Bu araçlar bataryalarında depoladıkları enerjiyi elektrik motoruna aktarılmasıyla hareket eden araçlardır. TEA'lar konvansiyonel araçlara göre daha basit yapıya sahiptirler.

HEA'lar ise içten yanmalı motora sahip olmakla birlikte bir batarya ve elektrik motoruna da sahiptirler. HEA'lar, TEA'lara göre daha fazla parçaya sahip olduğundan yapı olarak karmaşıktır. TEA yapısı temel olarak batarya, elektrik motoru ve iletim elemanlarından; HEA yapısı ise içten yanmalı motor, yakıt deposu, iletim elemanları, batarya ve elektrik motoru/jeneratörden oluşmaktadır [4-7].

TEA'lar ev, ofis, alışveriş merkezleri gibi yerlerde mevcut elektrik şebekesi üzerinden şarj edilebilirler. Ayrıca elektrik birim maliyetinin, akaryakıt birim maliyetine oranla daha düşük olmasından ötürü içten yanmalı motora sahip araçlara göre yakıt maliyeti daha az ve zararlı gaz salınımı yapmadıkları için de çevrecidirler. Bu avantajlara rağmen uzun şarj süresi, menzil yetersizliği gibi sorunları da mevcuttur. Ayrıca şarj işleminin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmadığı durumlarda EA'ların çevreci yönünden pek de söz edilemez. Aynı şekilde, araç bataryalarının ömürlerinin önündeki geri dönüşüm süreçleri de hala büyük bir soru işaretidir. HEA'lar ise yapısındaki akü sayesinde araçların yakıt tüketimini ve zararlı gaz salınımını azaltmak amacıyla üretilmişlerdir. Bu sayede düşük emisyonla, daha uzun menzile ve düşük yakıt tüketimine sahiptir [1, 4, 26]. Bu araçların dezavantajları ise yapılarının karmaşıklığı sebebiyle tamir ve bakım maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

EA'ların şebekeye etkisi

EA'ların menzilin, konvansiyonel araçlara göre daha kısa olması, şarj ihtiyacının sık olmasına ve mevcut şebekede uzun süre şarj durumunda kalmasına sebep olabilir. Bu durum EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şebeke üzerinde ek yükler sebep olabilir [12]. İnsanların araç kullanım alışkanlıklarına bakıldığında puant saatlere denk gelen şarj işlemleri planlı şarj yapılması gerektiğini göstermektedir [10, 27, 28]. Hızlı şarj işlemleri ise çok yüksek seviyede güç aktarımı ile yapıldığından, şebeke elemanlarının zorlanmasına sebebiyet verebilir.

Puant saatlere denk gelen şarj işlemleri pik talep yüküne sebebiyet vereceğinden enerji trafolarına ve iletim elemanlarına zarar verme potansiyeline sahiptir. Trafo ömrü; üretim aşamasında 40-50 yıl olarak tahmin edilmekte ancak pratikte ortalama 17 yıl kadardır [30]. Ayrıca aynı anda farklı fazlardan farklı sayıda aracın güç çekmesi faz dengesizliğine sebebiyet verebilir. EA'ların şarj işlemi sırasında AC gerilim DC'ye dönüştürülmektedir. Daha sonra DC gerilim DC/DC dönüştürücü yardımıyla bataryayı şarj etmek için kullanılır. Bu aşamaların her adımı harmonik bileşenler üretilebileceğinden güç kalitesi sorunları ortaya çıkabilir [29, 30].

EA'ların şarj işlemleri

EA'lar elektrik şebekesinden aldıkları elektrik enerjisini bataryalarında kimyasal olarak depolarlar; depolanan bu enerji de aracın hareket etmesi için tekrar elektrik enerjisine dönüştürülür. Enerji depolamak için yapılacak şarj işleminin hızı oldukça önem arz etmektedir. Şarj hızı, şebekenin izin verdiği güce, EA bataryalarının kapasitesine, EA üzerinde bulunan ve şarj kontrolü yapan elektronik devrelere bağlıdır. Şarj seviyeleri üç kategoride incelenebilir [22, 30].

Seviye 1 : En yavaş şarj işlemidir. Evlerde, otoparklarda ve iş yerlerinde tek faz elektrik beslemesi ile yapılır. Ek bir alt yapıya ihtiyaç duyulmaz, erişimi kolay ve ucuzdur.

Seviye 2: Orta hızlı şarj işlemidir. Özel ve kamu tesislerinde tek faz veya üç faz elektrik beslemesi ile yapılabilir. Seviye 1'e göre daha güçlü akım çekilerek yapılır. Ek bir alt yapı ihtiyacı vardır.

Seviye 3 : Yüksek hızlı şarj işlemidir. Şehirlerin dışında, akaryakıt istasyonlarında veya dinlenme tesislerinde bulunurlar. Çok güçlü alt yapıya ihtiyaç duyarlar.

Araçtan şebekeye enerji aktarımı

V2G, elektrikli araçların enerji kaynağı olarak şehir şebekesinde kullanılmasıdır. İlk olarak 1997 yılında Willett Kempton ve Steven Letendre tarafından yapılan bir çalışma ile tanıtılmıştır [21]. V2G fikri; enerji ihtiyacının artması, sera gazlarının yayılımının artması, EA'ların yaygınlaşması ve enerji talep sorununa çözüm amaçlı ortaya çıkmıştır.

V2G konsepti iyileştirmeler ile birlikte pik talebi karşılamak için etkin bir çözüm olabileceği ihtimali olmasına karşın; teknik, ekonomik ve sosyal problemlerle karşı karşıyadır. Akıllı şebekelerin ve resmi düzenlemelerin olmaması, batarya maliyetlerinin yüksek olması bu problemlerden bazılarıdır [8, 22, 30, 31].

V2G konseptinin uygulanabilmesi için EA şarj istasyonlarının yapısında iki yönlü güç akışını sağlayan dönüştürücüler olmalıdır. Bu dönüştürücüler EA şarj işlemi sırasında şarj istasyonundan EA'ya doğru güç akışını gerçekleştirir. V2G modunda ise DC-AC evirici gibi çalışarak EA bataryalarından şebekeye güç akışını sağlar [32-34].

Gerilim kararlılık indeksi

Güç sistemleri, farklı karakteristik yapısı bulunan elemanlardan oluştuğundan, çalışan sistem içerisinde bazı elemanların parametrelerinde bozulmalar meydana gelebilir. Güç sistemlerinin dengeli ve kararlı çalışması beklense de yük artışı, gerilim düşümü, frekans düşümü gibi nedenlerle, sistem bozulmalara maruz kalabilir. Gerilim kararlılığı bu bozulmalara maruz kalan güç sisteminin tekrar dengeli ve kararlı duruma gelmesiyle ilgilidir ve kısaca üretim, iletim ve dağıtım sistemleri arasındaki dengenin korunmasıdır [42]. Bu dengenin korunmadığı durumlarda sorunlu olan barayı belirlemek için VSI kullanılabilir [7]. VSI, aktif ve reaktif güç denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Bu çalışmada VSI, Denklem (1)'deki formül kullanılarak hesaplanmıştır [43], [44].

$$2V_k^2 V_{k+1}^2 - 2V_{k+1}^2 (P_{k+1}r + Q_{k+1}x) - |Z|^2 (P_{k+1}^2 + Q_{k+1}^2) \geq 0 \quad (1)$$

Benzetim çalışmasında kullanılan yazılımlar

DigSilent, "Digital Simulation of Electrical Networks", kelimelerinin kısaltılmış hali olup bu program güç sistemlerinin planlanması, işletilmesi, ve optimizasyonunu yapabilmeyi sağlayan bir yazılımdır [35, 36]. Elektrik sistemleri üzerinde yapılması zor olan yük akış analizi, kısa devre analizi, harmonik hesaplama vb. işlemlerin yapılabilmesini sağlayan bu program ile modelleme yapılarak öngörüler değerlendirilebilir ve çıkarımlar elde edilebilir [36, 37].

Matlab, Mathworks Company tarafından geliştirilmiş; istatistiksel, matematiksel ve teknik problemlerin yüksek performans ile çözülebildiği bir programdır. Problemlerin çözümü için hem kodlama yapılabilen hem de görsel tasarım desteği sunan bu dilin üniversitelerin özellikle mühendislik bilim dalında kullanımı oldukça yaygındır. [38–41].

Önerilen Metot

Bu bölüm EA'ların ilgili dağıtım şebekesine optimum entegrasyonu için önerilen metodu içermektedir [7].

Adım 1: Modellenmesi yapılan radyal dağıtım sisteminde öncelikle Newton Raphson Metoduna göre yük akış analizi yapılır. Bu yük akış analizi sonrası, dağıtım trafoları ve hatların yüklenmeleri, ilgili baraların voltaj değerleri, hat kayıpları ve VSI değeri elde edilir.

Adım 2: Dağıtım sistemindeki dağıtım trafolarının tam yük kapasitesine ulaşmak için ne kadar daha yükü kaldırabileceği tespit edilir. Burada Denklem (2) 'deki bağıntı kullanılacaktır.

$$DT_i(kW) - Toplamkayıp_k(kW) - Toplamyük_i(kW) = kalanyük_i(kW) \quad (2)$$

Burada DT_i , i. dağıtım trafosunun maksimum yükünü (etiket değeri), $Toplamkayıp_k$, i. dağıtım trafosuna bağlı tüm hatların toplam kaybı (kW), $Toplamyük_i(kW)$ i. dağıtım trafosuna bağlı mevcut tüketicilerin (müşteriler) çektiği maksimum yüküdür.

Adım 3: Elektrikli araç şarj istasyonu sayısı Denklem (3) 'teki gibi bulunur.

$$\frac{kalanyük_i(kW)_i}{şarjistasyonu(kW)} = n \quad (3)$$

Burada şarj istasyonu, bir şarj istasyonunun toplam yük kapasitesi iken; n, şarj istasyonunun adetini belirtir.

Adım 4: Bu adımda IEEE-33 bara radyal dağıtım şebekesine, hesaplanan toplam yüke göre segmentasyon işlemi uygulanır. Bu işleme göre ilgili baralar segmentlere ayrılır.

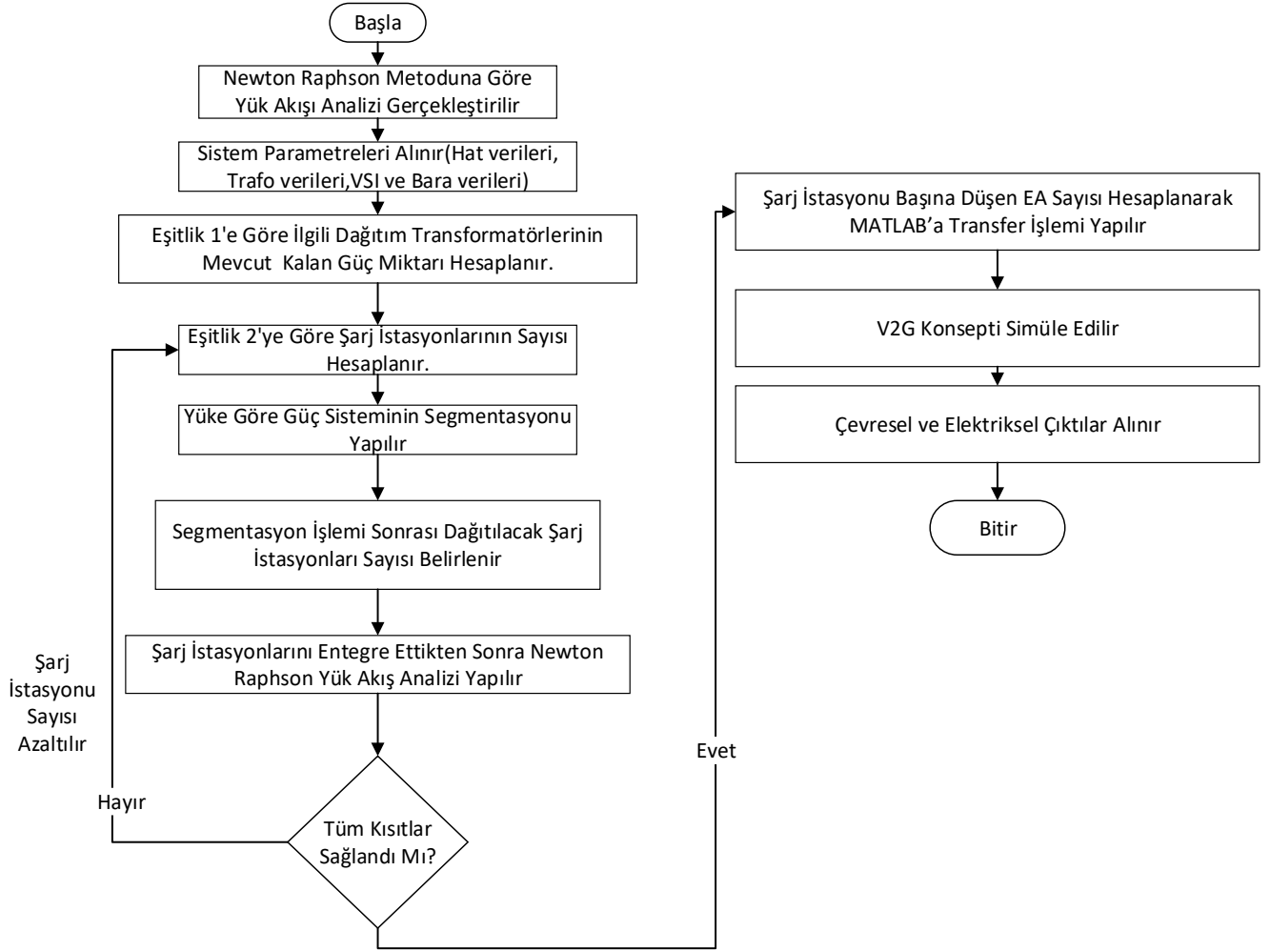
Adım 5: Bu adımda adım 4'teki segmentasyon işleminden sonra baraların V ve VSI değerine göre, deneme yanılma

tabanlı metotla şarj istasyonlarının dağıtım yapılıdır. Bu dağıtımda ilgili dağıtım trafolarının, Adım 1'de hesaplanan bara voltaj değerlerine göre dağıtım baralarının bara voltajı 1 pu'ya yakın olan (0.90 pu üssü, 1.10 pu altı) ve bu adımda hesaplanan VSI (şarj istasyonları eklenmeden VSI hesaplanır) değeri 0.7 pu üzeri olan baralara eklenir.

Adım 6: Elektrikli araç şarj istasyonları ilgili baralara ilave edildikten sonra, bu modelde yeniden Newton Raphson metodu uygulanarak yük akış analizi yapılır. Yük akış analizi sonucunda elde edilen trafo ve hat yüklenmelerinin ve bara gerilim değerlerinin istenilen limitlerde olup olmadığı kontrol edilir. Uygun limitlerde ise Adım 7'ye geçilir; değil ise Adım 3'e geçilerek, voltaj ve hat yüklenmelerinin sınırı ihlal ettiği baraların yakınındaki şarj istasyonu sayısı düşürülür ve sonraki adıma geçilir.

Adım 7: Bu adımda toplam Elektrik şarj istasyonuna eklenecek EA sayısı, Matlab programına transfer edilerek, EA'ların şarj ve deşarj (V2G konsepti) durumları simüle edilir.

Adım 8: Simülasyon çalışması son bulur. Önerilen metoda ait akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur.

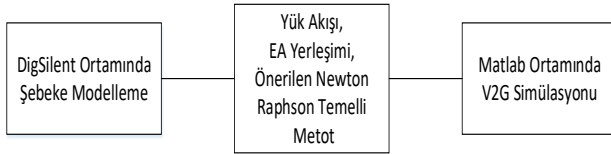


Şekil 1. Önerilen Metodun Akış Diyagramı.

Simülasyon ve Test Sonuçları

Benzetim çalışması

Bu benzetim çalışmasında öncelikle IEEE 33 test bara sistemi DigSilent ortamında modellenmiştir. Daha sonra bu güç sistemindeki baralara EA'ların şarj istasyonları önerilen metoda göre entegre edilmiştir. Sonrasında bu metod kapsamında V2G sayesinde şebekeye verilebilecek enerjinin çevresel ve elektriksel sonuçlarını detaylı inceleyebilmek için Matlab yazılımı kullanılarak, bir benzetim yapılmıştır. Bu çalışmada Şekil 1'de adımları gösterilen bu yeni metoda ait özet şema ise Şekil 2 'te verilmiştir.



Şekil 2. Modelleme ve benzetim çalışması.

Tablo 1. IEEE 33 bara test sistemine ait yük akış analizi sonuçları.

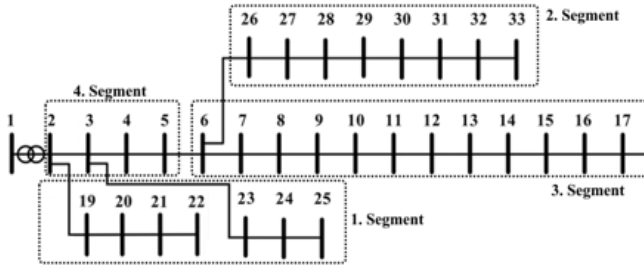
Bara adı	Vpu/deg	VSI/Başlangıç	Bara adı	Vpu/deg	VSI/başlangıç
Bara1	0.991/-0.66	0.999	Bara18	0.9/-1.57	0.6701
Bara2	0.99/-0.65	0.999	Bara19	0.99/-0.66	0.9881
Bara3	0.976/-0.57	0.988	Bara20	0.98/-0.73	0.979
Bara4	0.97/-0.5	0.934	Bara21	0.985/-0.75	0.9745
Bara5	0.961/-0.45	0.912	Bara22	0.984/-0.77	0.9655
Bara6	0.942/-0.52	0.889	Bara23	0.972/-0.6	0.9402
Bara7	0.94/-0.76	0.819	Bara24	0.965/-0.69	0.9119
Bara8	0.925/-0.91	0.761	Bara25	0.962/-0.73	0.887
Bara9	0.923/-1.11	0.745	Bara26	0.94/-0.48	0.819
Bara10	0.917/-1.17	0.744	Bara27	0.94/-0.42	0.809
Bara11	0.916/-1.16	0.721	Bara28	0.931/-0.69	0.801
Bara12	0.915/-1.15	0.7187	Bara29	0.923/-0.62	0.759
Bara13	0.91/-1.25	0.7122	Bara30	0.92/-0.62	0.739
Bara14	0.906/-1.33	0.7004	Bara31	0.916/-0.6	0.7211
Bara15	0.905/-1.37	0.6904	Bara32	0.914/-0.64	0.7101
Bara16	0.903/-1.39	0.6851	Bara33	0.914/-0.64	0.702
Bara17	0.901/-1.48	0.6802	Ploss	0.2 MW	
Pg	3.91 MW		Qloss	0.21 MVAR	
Qg	2.51 MVAR		TRload	77	

Tablo 2. IEEE 33 bara test sistemine ait hat yüklenmeleri.

Hat adı	Hat baş.	Hat bitiş	Hat yükü %	Hat adı	Hat baş.	Hat bitiş	Hat yükü%
1	1	2	23	17	17	18	1.1
2	2	3	41	18	2	19	4
3	3	4	29.5	19	19	20	3
4	4	5	28	20	20	21	2
5	5	6	27.5	21	21	22	1
6	6	7	12.9	22	3	23	10.6
7	7	8	10.5	23	23	24	9.6
8	8	9	8.1	24	24	25	4.8
9	9	10	7.4	25	6	26	14.6
10	10	11	6.7	26	26	27	13.6
11	11	12	6.2	27	27	28	13
12	12	13	5.4	28	28	29	12.4
13	13	14	4.7	29	29	30	11
14	14	15	3.1	30	30	31	5.1
15	15	16	2.5	31	31	32	3.3
16	16	17	1.8	32	32	33	0.8

Tablo 1’de bara gerilimleri ve VSI değerleri, Tablo 2’te dağıtım hattı verilerinin normal sınırlarda olduğu görülmektedir. Özellikle bara gerilim değerlerinin 0.9 – 1.1 pu aralığında olması istenilmektedir. VSI değerinin ise 0’dan büyük olması şebekenin kararlı olduğunu göstermektedir. Bu iki verinin Tablo 1’de normal sınırlarda olduğu görülmektedir. Bu güç sisteminde senkron generator 3.91 MW/2.51MVAR aktif/reaktif güç üretmiştir. Bu dağıtım sisteminde hat kayıpları 0.2 MW/0.21 MVAR’dır.

Önerilen metoda göre ilgili dağıtım sistemindeki dağıtım trafolarının ne kadar daha yük kaldırabileceği Denklem (2)’ye göre belirlenir (adım 2). Denklem (3)’e göre ilgili dağıtım sistemine dahil edilecek tahmini EA sayısı belirlenir (adım 3). Bu işlem sırasında IEEE 33 bara test sisteminin yüküne göre segmentlere ayrılır. Segmentlere ayırma işleminde sistemin toplam yük değerinin dengeli dağıtılması baz alınmıştır. Segmentlere ayrılmış IEEE 33 test bara sistemi Şekil 3’te verilmiştir (adım 4).



Şekil 3. Segmentlere ayrılmış IEEE 33 bara radyal dağıtım sistemi.

İlgili baraların gerilim ve VSI değerlerine göre EA’ların ilgili baralara entegrasyonu sağlanır (VSI ve bara gerilimi değeri 1’e yakın olan bara ve bara yakınlarına öncelikle EA şarj istasyonları dağıtılır). Sonrasında yeniden yapılan yük akış analizine göre dağıtım sisteminin kısıtları ihlal edip etmediği kontrol edilir. Kısıtların ihlal edildiği durumda, kısıtı bozan baranın yakınındaki elektrikli araç şarj istasyonu azaltılır ve tekrar yük akış analizi yapılır. Bu işlem kısıtların ihlal durumu ortadan kaldırılana kadar devam eder. Optimum EA yerleşiminden sonra yapılan yük akış analizi sonuçları Tablo 3 ve 4’te verilmiştir. Tablolar incelendiğinde ilgili baraların gerilim değerlerinin 0.9-1.1 pu değeri aralığında olduğu, VSI değerlerinin ise her bara için 0’dan yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca hatlara/trafolara ait yüklemeler istenen sınırlarda kaldığı gözlemlenmiştir. Bu verilerin %100-110 değerlerini aşmadığı görülmektedir (Adım 5-6). Devamında şarj istasyonu sayısına göre bulunan EA sayısı Matlab ortamındaki V2G simülasyonuna transfer edilir. V2G simülasyonuna göre EA şarj ve deşarj durumuna göre çıktılar elde edilir (Adım 7-8).

Tablo 3. EA şarj istasyonları yerleşim sonrasında ait yük akış analizi sonuçları.

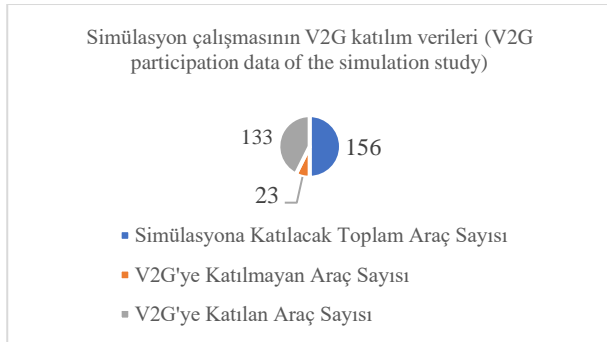
Bara adı	Vpu/deg	VSI	Bara adı	Vpu/deg	VSI
Bara1	0.99/-0.9	0.997	Bara18	0.90/-2,3	0.661
*Bara2	0.99/-1,0	0.994	*Bara19	0.99/-1,1	0.972
*Bara3	0.97/-1,0	0.981	*Bara20	0.97/-2,0	0.972
*Bara4	0.96/-1,0	0.930	*Bara21	0.96/-2,3	0.970
Bara5	0.93/-1,0	0.9002	*Bara22	0.96/-2,5	0.962
Bara6	0.93/-1,3	0.875	*Bara23	0.97/-1,1	0.925
Bara7	0.93/-1,5	0.812	*Bara24	0.96/-1,3	0.90
Bara8	0.91/-1,8	0.744	Bara25	0.95/-1,3	0.882
Bara9	0.91/-2,0	0.74	Bara26	0.93/-1,2	0.812
Bara10	0.90/-2,0	0.725	Bara27	0.92/-1,2	0.801
Bara11	0.90/-2,0	0.721	Bara28	0.92/-1,5	0.791
Bara12	0.90/-2,0	0.709	Bara29	0.91/-1,4	0.752
Bara13	0.90/-2,1	0.704	Bara30	0.90/-1,3	0.732
Bara14	0.90/-2,2	0.684	Bara31	0.90/-1,4	0.71
Bara15	0.90/-2,2	0.678	Bara32	0.90/-1,4	0.701
Bara16	0.90/-2,2	0.675	Bara33	0.90/-1,4	0.684
Bara17	0.90/-2,3	0.672	Ploss	0.2 MW	
Pg	3.91MW		Qloss	0.21 MVAR	
Qg	2.51MVAR		TRload	77%	

*Bu sembol olan baralarda uygulanan metoda göre şarj istasyonu entegrasyonu yapılmıştır

Tablo 4. EA şarj istasyonları yerleşim sonrasında ait hat yüklenmeleri.

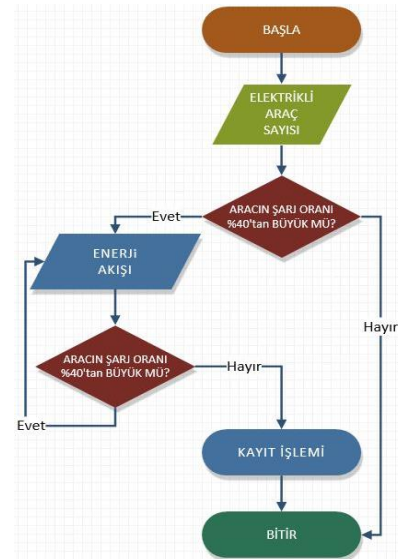
Hat adı	Hat baş.	Hat bitiş	Hat yükü %	Hat adı	Hat baş.	Hat bitiş	Hat yükü%
1	1	2	56,1	17	17	18	1,1
2	2	3	36,8	18	2	19	4
3	3	4	35,3	19	19	20	21,0
4	4	5	34,6	20	20	21	2
5	5	6	15,1	21	21	22	17,6
6	6	7	11,7	22	3	23	12,6
7	7	8	8,2	23	23	24	5,8
8	8	9	7,5	24	24	25	18,2
9	9	10	6,9	25	6	26	16,6
10	10	11	6,3	26	26	27	13
11	11	12	5,5	27	27	28	12
12	12	13	4,7	28	28	29	11
13	13	14	3,2	29	29	30	5,2
14	14	15	2,5	30	30	31	3,3
15	15	16	1,8	31	31	32	0,8
16	16	17	1,1	32	32	33	43,3

Benzetim çalışmasında kullanılacak tüm EA'ların bataryası [46, 47] çalışmalarında sunulduğu gibi 100 kWh olarak kabul edilmiştir. Bu araçların günde bir kez V2G'ye katılım sağlayacağı varsayılmıştır. Benzetim çalışması 156 EA ile V2G'ye katılma veya katılmama durumu Şekil 4'da gösterilmiştir. Her araca rassal olarak %30 ile %99 arasında anlık şarj seviyesi atanmaktadır. Batarya şarj seviyesi %40'ın altında olan EA'lar diğer araçlardan ayrıştırılarak V2G sistemine dahil edilmemiştir. Kalan EA'ların şarj durumu %40 seviyesinden daha düşük olana kadar şebekeye, her saat 6 kW enerji aktarımı yapacak şekilde bir sistem kurgusu tasarlanmıştır.



Şekil 4. Simülasyon çalışmasının V2G katılım verileri.

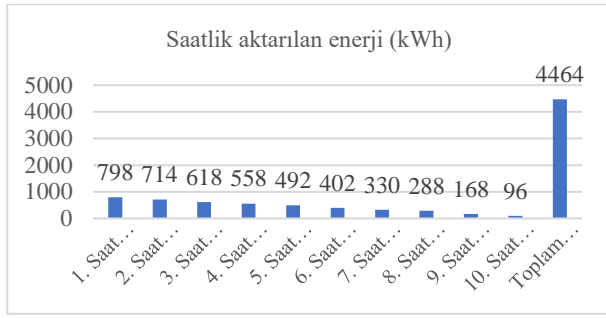
Benzetim çalışması V2G'ye katılacak EA'ların ayrıştırma işlemini yaptıktan sonra şebekeye enerji aktarımını hesaplayıp araçların enerji aktarım işlemlerini kaydetmektedir. Enerji aktarımının nasıl yapıldığını açıklayan akış diyagramı Şekil 5'de verilmiştir.



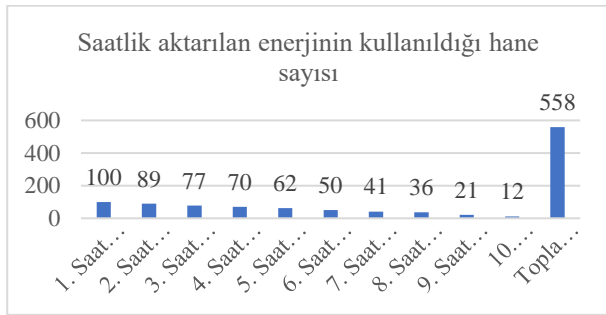
Şekil 5. Enerji aktarımına ait akış diyagramı.

Simülasyona katılan araçlar her saat 6 kW enerji aktarımı yapar. Daha sonra araçların şarj durumu kontrol edilerek batarya şarj durumu %40'ın altına düşen araçlar ayrıştırılır. Kalan araçlarla simülasyon 10 saat boyunca devam eder. Her saat kaç hanenin enerji ihtiyacının karşılandığı hesaplanır. Şekil 6a ve Şekil 6b'de V2G konseptiyle şebekeye aktarılan enerji miktarı ve bir evin saatlik ortalama enerji ihtiyacı 8 kWh olarak varsayılarak, enerji ihtiyacı karşılanan hane sayısı gösterilmiştir. Bu analiz çalışmasında sayısal çıktıları net analiz edebilmek için Akdağ ve Yeroğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, kömür kullanılarak üretilen her 1000 kWh elektrik için ortalama 800-1000 kg CO₂ açığa çıktığı belirtilen veriler kullanılmıştır [48]. Açığa çıkan CO₂ yetişkin kayın ağaçları ile ortalama 2,35 kg/sa hızında yok edilebilmektedir [49]. Ayrıca ülkemizde üretilen elektrik enerjisi için %20 oranında kömür, %24 oranında doğalgaz kullanılmaktadır [50]. Çalışma

sonucunda 1519 kg CO₂ salınımının önlenilebileceği görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 6. Simülasyon çalışmasında a) şebekeye enerji transferi ve b) aktarılan enerjinin kullanıldığı hane sayısı

Sonuçlar ve Tartışma

Günümüzde sayıları hızla artan EA'ların şarj işleminin dağıtım şebekesi üzerinde oluşturduğu ilave yük talebi, faz dengesizliği, gerilim düşümü gibi etkilerin azaltılması üzerine birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada, elektrikli araçların dağıtım ağına optimum entegrasyonunu sağlayan ve V2G konseptinin çevre/mevcut ağ üzerindeki olası etkilerini gösterebilmek için matematiksel bir model önerilmiştir. Modele göre hat, trafo, bara ve VSI verileri kullanılarak sistemin kaldırabileceği şarj istasyonu sayısı belirlenmiştir. Ayrıca şarj istasyonlarının hangi baralara yerleştirilebileceği ve istasyon adedi hesaplanmıştır. Modelin uygulanabilirliğini ve kararlılığını test etmek amacıyla IEEE 33 bara test sistemi kullanılmıştır. EA şarj istasyonları DigSilent ortamında modellenerek, önerilen metoda göre radyal dağıtım sistemine optimum entegrasyonu sağlatılmıştır. Elde edilen veriler MatLab ortamında hazırlanan simülasyona aktarılmıştır. Simülasyonda EA'ların depoladığı enerjinin şebekeye aktarılması belli kriterler dahilinde kurgulanmıştır. Bu model ve simülasyon çıktılarına göre 156 EA'nın şebekeye toplam 4464 kWh enerji akışı sağladığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, şebekeye verilen enerjiyi karşılamak için 1519 kg CO₂ salınımının önlenilebileceği görülmüştür. Bununla birlikte 646 yetişkin kayın

ağacının 1 saatte temizleyeceği CO₂ doğaya salınmamış olacaktır. Dolayısıyla bu çalışmada, hem EA'ların mevcut ağ üzerindeki etkileri hem de ilgili lokasyondaki çevresel etkileri önerilen model ile detaylı olarak analiz edilmiştir.

İlerleyen zamanlarda yapılacak V2G çalışmalarında optimizasyon algoritmalarının kullanımı, farklı şebeke parametrelerinin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve araçların batarya ömrünün göz önünde bulundurulması ile daha somut sonuçların elde edilebileceği öngörülmektedir.

Özetle çalışmanın önemi aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir:

1. Şebeke Yük Yönetimi: Çalışmada sunulan model, elektrikli araçların şarj işleminin dağıtım şebekesi üzerindeki ilave yük talebi, faz dengesizliği ve gerilim düşümü gibi olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik çözümler sunar.
2. Optimum Entegrasyon: Elektrikli araçların dağıtım ağına optimum entegrasyonunu sağlayarak, şarj istasyonlarının en verimli şekilde yerleştirilmesi ve istasyon adedinin belirlenmesi konusunda araştırmacı ve işletmelere yol gösterir.
3. V2G Konseptinin Değerlendirilmesi: V2G konseptinin çevresel ve mevcut dağıtım şebekesi üzerindeki olası etkilerini analiz ederek, bu teknolojinin uygulanabilirliği hakkında önemli ve yol gösterici veriler sağlar.
4. Enerji Depolama ve Geri Kazanım: Elektrikli araçların depoladığı enerjinin şebekeye aktarılması ile enerji geri kazanımı sağlanarak, enerji verimliliği artırılır ve karbon salınımı azaltılabilir.
5. Çevresel Faydalar: Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, CO₂ salınımının önemli ölçüde azaltılabileceği ve dolayısıyla çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanabileceği gösterilir. Çalışmada özellikle gelecekte EA'ların enerjisinin tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması bu etkiyi dahada artıracaktır.
6. Model ve Simülasyon Kullanımı: Matematiksel model ve simülasyonlar kullanılarak elde edilen veriler, gerçek dünya uygulamaları için güvenilir ve uygulanabilir çözümler sunar. Gerçek sistemde risk almadan öngörülemez durumlar önceden yorumlanıp, önlem alınabilir.
7. Gelecek Çalışmalar İçin Yol Gösterici: İleride yapılacak V2G çalışmalarında optimizasyon algoritmalarının kullanımı, farklı şebeke

parametrelerinin değerlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi konularda yol gösterici olur.

Kaynaklar

- [1] N. Ünlü *et al.*, *Elektrikli Araçlar*. Kocaeli: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 2003.
- [2] A. Kerem, “Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri,” Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2014.
- [3] M. Singh, “Green Energy for Metropolitan Transport,” *Int. J. Power Eng. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 338–342, 2013, doi: 10.12986/ijpee.2013.002.
- [4] H. Özbay, C. Közkurt, A. Dalcı, and M. Tektaş, “Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar,” *Akıllı Ulaşım Sist. ve Uygulamaları Derg.*, vol. 3, no. 1, pp. 34–50, 2020.
- [5] YE Ekici, İC Dikmen, M Nurmuhammed, T Karadağ, “Efficiency analysis of various batteries with real-time data on a hybrid electric vehicle” *International Journal of Automotive Science And Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 214–223, 2021.
- [6] İC Dikmen, YE Ekici, T Karadağ, T Abbasov, SE Hamamcı “Electrification in Urban Transport: A Case Study with Real-time Data” *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering* 9 (1), 69-77, 2021.
- [7] M Nurmuhammed, O Akdağ, T Karadağ, “A Novel Newton Raphson-Based Method for Integrating Electric Vehicle Charging Stations to Distribution Network. ”, *Electrica* vol. 23, no. 2, pp. 310-317, 2023.
- [8] G. Şen, “Şarj Edilebilen Elektrikli Araçların Kesintisiz Güç Kaynağı Olarak Kullanılmasını Sağlayan Bir Güç Ünitesinin Tasarımı Ve Uygulaması,” *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 2012.
- [9] X. Li *et al.*, “A cost-benefit analysis of V2G electric vehicles supporting peak shaving in Shanghai,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 179, no. 106058, 2020, doi: 10.1016/j.epr.2019.106058.
- [10] A. F. Güven and S. B. Akbaşak, “Elektrikli Araçlarda DA Hızlı Şarj Ünitelerinin Şebeke Altyapısına Etkilerinin İncelenmesi,” *Sinop Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 6, no. 1, pp. 42–54, 2021, doi: 10.33484/sinopfd.886985.
- [11] M. Nurmuhammed and T. Karadağ, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması A Review on Locating the Electric Vehicle Charging Stations and Their Effect on the Energy Network,” vol. 8, no. 2, pp. 218–233, 2021.
- [12] A. R. Boynueğri, “Elektrikli Taşıtların Güç Yönetimi Ve Akıllı Şebekeler İle Bağlantısı,” *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 2014.
- [13] Volkswagen Türkiye, “volkswagen golf broşür,” 2022. <https://ebrosur.vw.com.tr/araclar/golf-8/golf-8.html> Accessed: 12 July 2022 (accessed Jul. 14, 2022).
- [14] T Karadağ, İC Dikmen, “Yeni Nesil, Modüler ve Akıllı Batarya Yönetim Sistemi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Ejosat Special Issue (RDCONF)*, 1103-1112. 12 December 2021 DOI: 10.31590/ejosat.1045564
- [15] İC Dikmen, N Yıldırım, T Karadağ, “Multi-Chemistry Battery Management System for Electric Vehicles”, *The European Journal of Research and Development*, vol. 2, no. 4, pp. 126-134, 2022.
- [16] İC Dikmen, K Kartaca, T Karadağ, T Abbasov, “An Overview Of Battery Technologies”, *3rd International Energy Engineering Congress*, 2018.
- [17] İC Dikmen, T Karadağ, “Elektrikli Araç Batarya Yönetim Sistemleri Ve Yeni Trendler”, ISBN: 978-625-6971-84-4
- [18] ÖF Özcan, T Karadağ, M Altuğ, Ö Özgüven, “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması”, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation* vol. 8, no. 2, pp. 276-298, 2021.
- [19] İC Dikmen, T Karadağ, “Onboard Battery Type Determination,” 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkey, 2021, pp. 360-365, doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604658.
- [20] İC Dikmen, T Karadağ “Electrical Method for Battery Chemical Composition Determination,” in *IEEE Access*, vol. 10, pp.6496-6504,2022,doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143040.
- [21] W. Kempton and S. E. Letendre, “Electric vehicles as a new power source for electric utilities,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 2, no. 3, pp. 157–175, 1997, doi: 10.1016/S1361-9209(97)00001-1.
- [22] Ş. Kuşdoğan, “Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları,” 2017, no. III. Güç ve Enerji Sistemleri Sempozyumu, İzmir.
- [23] H. Tarlak, “Elektrikli Araçlar İçin İki Yönlü Şarj Devresi Tasarımı,” *Kırklareli Üniversitesi*, Kırklareli, 2018.
- [24] S. C. Yılmaz, “Türkiye’de Elektrikli Araçların Orta Gerilim Dağıtım Şebekesine Etkisinin Değerlendirilmesi,” *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, 2021.
- [25] İ. Verim, “Elektrikli Araçların Dağıtılmış Enerji Üretim Ve Depolama Sistemi Olarak Değerlendirilmesi,” *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2013.
- [26] H. Tarlak and E. İşen, “Elektrikli Araçlar ve Akü Şarj Sistemleri,” *Kırklareli Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 124–141, 2018.
- [27] B. Yıldız, H. Çiftçi, O. Ayan, and B. E. Türkay,

- “Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu Cost Analysis of the Effect of Electric Vehicles on Distribution Network and Optimization with Genetic Algorithm,” *Güç Sist. Konf.*, pp. 7–12, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1482364.
- [28]G. T. Heydt, “The impact of electric vehicle deployment on load management strategies,” *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-102, no. 5, pp. 1253–1259, 1983, doi: 10.1109/TPAS.1983.318071.
- [29]B. Zoroğlu, A. T. Yapıcı, and G. Kurt, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Standartları ve Türkiye’deki Elektrikli Araç Durumu,” in *International Marmara Sciences Congress*, 2020, pp. 301–310.
- [30]G. Şen, A. R. Boynuegri, and M. Uzunoglu, “Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri,” *Elektr. ve Bilgi. Sempozyumu, Elazığ*, no. 2011, pp. 357–362, 2011.
- [31]Academia.edu, “Akıllı Şebeke Sistemlerinin ve Bileşenlerinin İncelenmesi”, Aydın Ö.F., Özdemir B.
- [32]L. Shi, A. Meintz, and M. Ferdowsi, “Single-phase bidirectional AC-DC converters for plug-in hybrid electric vehicle applications,” *2008 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2008*, pp. 3–7, 2008, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677506.
- [33]V. Monteiro, H. Gonalves, J. C., and J. L. “Batteries Charging Systems for Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles,” in *New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering*, 2012, pp. 149–168.
- [34]G. Y. Choe, J. S. Kim, B. K. Lee, C. Y. Won, and T. W. Lee, “A Bi-directional battery charger for electric vehicles using photovoltaic PCS systems,” *2010 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2010*, pp. 3–8, 2010, doi: 10.1109/VPPC.2010.5729223.
- [35]M. Saygılı and S. S. Tezcan, “Enerji İletim Hattı Koruma Modellemesi ve Analizi ile Ankara Bölge Uygulaması,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 303–316, 2019, doi: 10.29109/gujsc.498867.
- [36]O. Akdağ, D. Peköz, and C. Yeroğlu, “154/34,5 kV Güç Transformatörleri için Diferansiyel Koruma Rölesi Koordinasyonu Benzetimi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 22, no. 2, p. 1070, 2018, doi: 10.19113/sdufbed.04605.
- [37]Y. Sarıkaya and R. Yumurtaçı, “Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Elektrik Dağıtım Sistemlerine Etkilerinin DigSilent Powerfactory Programı ile Analizi,” in *V. Ulusal Elektrik Tesisat Kongre ve Sergisi, İzmir, Türkiye*, 2017, pp. 1–15
- [38]H. İmamoğlu and S. M. Bağdatlı, “Mühendislik Problemlerinin Matlab Simulink Programı Desteğiyle Matematiksel Modellenmesi,” *Soma Mesl. Yüksekokulu Tek. Bilim. Derg.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–15, Jul. 2022, doi: 10.47118/somatbd.1112039.
- [39]H. Çakar and M. T. Gençoğlu, “GSAP: Güç Sistem Analizi Uygulaması için Matlab Tabanlı Grafik Paketi,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 32, no. 1, pp. 179–188, Mar. 2020, doi: 10.35234/fumbd.622077.
- [40]M. Takaoglu and F. Takaoglu, “K-means ve hiyerarşik kümeleme algoritmasının weka ve matlab platformlarında karşılaştırılması,” *İstanbul Aydın Üniversitesi Derg.*, no. 3, p. 11, 2017.
- [41]N. F. Naim, M. F. K. Faisal, S. S. Sarnin, and N. Ya’acob, “Electrical Engineering Educational Software Based on Matlab and Its Graphic User Interface (Gui),” *IJAEDU- Int. E-Journal Adv. Educ.*, vol. IV, no. 10, pp. 24–34, 2018, doi: 10.18768/ijaedu.415396.
- [42]İ. Poyraz, “Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı İndekslerinin Uç Öğrenme Algoritması İle Tahmini,” *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*, 2019.
- [43]S. Deb, K. Tammi, K. Kalita, and P. Mahanta, “Impact of electric vehicle charging station load on distribution network,” *Energies*, vol. 11, no. 1, pp. 1–25, 2018, doi: 10.3390/en11010178.
- [44]U. Eminoglu and M. H. Hocaoglu, “A network topology-based voltage stability index for radial distribution networks,” *Int. J. Power Energy Syst.*, vol. 29, no. 2, pp. 131–143, 2009, doi: 10.2316/Journal.203.2009.2.203-4280.
- [45]S. Murali, N; Gobimohan, “Power Flow Analysis of IEEE 33 Bus Radial Distribution Systems using DigSilent,” *Int. J. Innov. Manag. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–9, 2021.
- [46]S. Kocabey, “Elektrikli Otomobillerin Dünyü, Bugünü ve Geleceği,” in *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2018, pp. 16–23.
- [47]A. Çiçek and O. Erdinç, “PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi,” *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 15, pp. 466–474, 2019, doi: 10.31590/ejosat.527350.
- [48]O. Akdağ and C. Yeroğlu, “An evaluation of an offshore energy installation for the Black Sea region of Turkey and the effects on a regional decrease in greenhouse gas emissions,” *Greenh. Gases Sci. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 531–544, 2020, doi: 10.1002/ghg.1963.
- [49]“Orman Genel Müdürlüğü,” *Orman Genel Müdürlüğü*, 2022. <https://www.ogm.gov.tr/tr/bunlari-biliyor-muydunuz> (accessed Jul. 25, 2022).
- [50]“Haziran 2022 Kurulu Güç Raporu,” *TEİAŞ*, 2022. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>. Accessed 14 July 2022 (accessed Jul. 25, 2022).
- [51]“Trends in electric cars”, “Global EV Outlook 2024”, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars>. Accessed 11 June 2024