



ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DAĞITILMIŞ ÜRETİM TABANLI ŞEBEKELER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Baran GÜLKAYA^{1*}, Yavuz ATEŞ²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Elektrikli Taşıtlar,
Elektrik Şebekesi,
Dağıtılmış Güç Üretimi,
Yük Öteleme Metodu.

Öz

Son yıllarda, menzil ve şarj süresinde gözlemlenen olumlu geri dönüşler, elektrikli taşıtlara olan ilgiyi arttırmıştır. Mevcut çalışmanın amacı; artan bu ilginin, elektrik şebekeleri üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi ve karşılaşılabilecek olası sorunlara yönelik çözüm önerilerinin sunulmasıdır. Bu amaçla; modelleme için, MATLAB ortamı seçilmiş, bir yıllık zaman periyodu esas alınmış ve Sancaktepe ilçesinde (Sancaktepe, İstanbul) yer alan şebeke bölgesi modellenmiştir. Modellemeyle uyumlu olarak MATLAB ortamında kurgulanan kod aracılığıyla, farklı koşullar altında, şebeke ve transformatör davranışları gözlemlenmiştir. Gözlemler doğrultusunda elektrikli taşıtların dağıtım şebekeleri üzerindeki olası olumsuz etkilerine yönelik çözüm teklifleri sunulmuştur. Çalışmamız şebeke kararlılığının sağlanmasında, üretim ve tüketim bazlı çözümleri bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 'yük öteleme metodunun' uygulanmasının ve 'yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin' şebekeye entegrasyonunun değişen koşullarda vereceği tepki incelenmiştir.

ANALYSIS OF ELECTRIC VEHICLES' EFFECTS DISTRIBUTED GENERATION BASED GRIDS AND SOLUTION SUGGESTIONS

Keywords

Electric Vehicles,
Electricity Grid,
Distributed Power Generation,
Load Shifting Method.

Abstract

In recent years, positive returns observed in range and charging time have increased interest in electric vehicles. The objective of this study is to observe the impact of this increasing interest on the power grid and to propose solutions to any problems that may arise. For this purpose, MATLAB environment was chosen for modeling, based on a period of one year, and the grid region in Sancaktepe (Sancaktepe, İstanbul) was modeled. In accordance with the modeling, the behavior of the grid and the transformer was observed under different conditions using the code developed in the MATLAB environment. In accordance with the observations, proposed solutions for the possible negative impacts of electric vehicles on distribution networks were presented. The objective of our study is to jointly develop production and consumption-based solutions to ensure grid stability. In this direction, the response of the application of the "load shifting method" and the integration of the "distributed renewable generation systems" into the grid to changing conditions was investigated.

Alıntı / Cite

Gulkaya B., Ates, Y., (2021). Elektrikli Taşıtların Dağıtılmış Üretim Tabanlı Şebekeler Üzerindeki Etkilerinin Analizi ve Çözüm Önerileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1174-1199.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Gulkaya, 0000-0003-2152-3065
Y. Ates, 0000-0002-4168-0861

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.05.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	01.07.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.07.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.12.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: bulkaya7@gmail.com, +90-539-948-0017

1. Giriş (Introduction)

İklim değişikliğinin ana nedenlerinden biri, artan enerji talebini karşılamak için kullanılan fosil yakıtların oluşturduğu, karbondioksit emisyonundaki artıştır. Ulaşım sektörü, karbondioksit emisyonundaki artışın %15'inden fazlasından sorumludur (Andrady vd., 2015). Bunun beraberinde getirdiği ekolojik duyarlılıklar ve batarya teknolojilerindeki gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve elektrikli taşıtlara olan ilgiyi arttırmıştır.

Elektrikli taşıtların, şebekeye entegrasyonu eş zamanlı olarak gelişen bir diğer konsept de yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretimidir. Dağıtılmış üretim, düşük ya da orta gerilim seviyelerinde gerçekleştirilen elektrik üretimi ve depolanmasıdır (Arsoy ve Perdahçı, 2010). Dağıtılmış üretim sistemleriyle; enerji verimliliği artırılabilir, şebeke kararlılığı iyileştirebilir, yüksek hat kayıpları ve karbondioksit emisyonundaki artış dengelenebilir (Zhu vd., 2015; Angel ve Rújula, 2009; Elkhattam ve Salama, 2004).

Tüm bu avantajlarının yanında, dağıtılmış üretim sistemlerinin ve elektrikli taşıtların mevcut altyapıya entegrasyonu, şebekelerin kontrol ve yönetimini büyük oranda etkilemektedir. Yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretiminin çevre koşullarına ve elektrikli taşıtların şarj/deşarj döngülerinin kullanıcı davranışlarına bağımlılığı, şebeke kontrol ve yönetimini karmaşıklaştırmaktadır. Bu durum sonucunda, şebekelerde fazlar arası dengesizlikler, gerilim kayıpları ve harmonik etkiler gözlemlenmektedir (Sen vd., 2011; Yapıcı vd., 2016; Khalid vd., 2019; Stiasny vd., 2021).

1.1. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İlgili literatür incelendiğinde gerilim ve frekans karakteristikleri, şebeke kararlılığının ana kriterleri olarak yaygın bir kabul görmektedir (Zhang vd., 2021). Kararlılığın ve güvenilirliğin korunmasında, üretici (Stefan vd., 2020) ve tüketici bazlı (Babar vd., 2020; Iliopoulos vd., 2020; Oprea vd., 2021) kontrol yöntemlerine yer verilmektedir. Dağıtılmış güç üretim sistemleri incelenirken, yenilenebilir güç kaynağı olarak güneş ve rüzgâr yaygın olarak tercih edilmektedir (Viviescas vd., 2019; Liu vd., 2020; Jafar-Nowdeh vd., 2020). İlgili çalışmalarda yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretiminin çevresel koşullara bağıllığı (Barone vd., 2021) ve elektrikli taşıt kullanıcı davranışları incelenmiştir (Yang vd., 2020; Pagani vd., 2019). Mevcut çalışmalarda şebeke kararlılığının korunmasında; yük-frekans kontrol (load frequency control) yöntemlerine (Khan vd., 2021), enerji depolama sistemlerine (Dubarry vd., 2017), araçtan şebekeye (V2G) bağlantı modellerine (Triviño-Cabrera vd., 2019) ve talep yanıt (demand response) programlarına (Pal vd., 2017) yer verilmiştir.

Çalışmamızın amacı, elektrikli taşıtların dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi ve önerilerinin sunulmasıdır. Bu doğrultuda çalışmamız; yük öteleme metodunun ve yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretim sistemlerinin birlikte şebekeye entegrasyonunu teklif etmektedir.

Çalışmamızın geri kalan bölümleri belirtildiği şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de modellenen şebeke bölgesine ait bileşenler, evsel yük profili ve bölgesel yenilenebilir enerji potansiyeli tanıtılmıştır. Uygulanan metodların akış şemasına ve modelleme bileşenlerine yer verilmiştir. Bölüm 3'te şebeke ve transformatör davranışları çeşitli senaryolar altında incelenmiştir. Bölüm 4'te elde edilen sonuçlarına yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

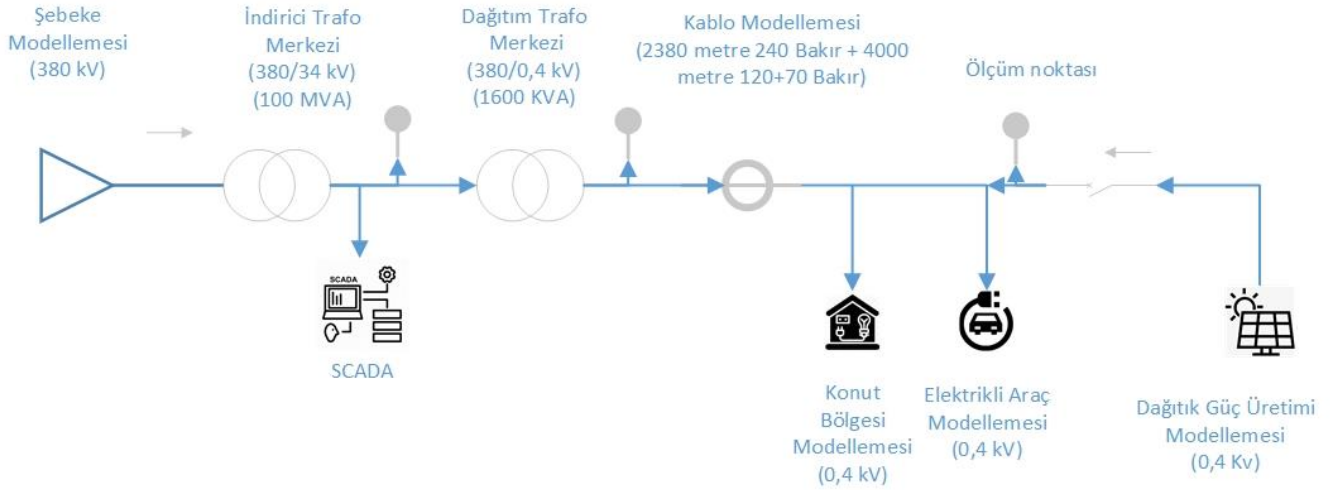
2. Materyal ve Yöntem (Materials and Methods)

2.1. Modelleme ve Kodlamanın Materyalleri (Modeling and Coding Materials)

Seçili şebeke bölgesinin modellenmesi ve analizi, MATLAB & Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında, seçili bölgenin elektrik altyapısını;

- TEİAŞ İndirici Trafo Merkezi (380 kV/34 kV)
- Dağıtım Trafo Merkezi (34 kV/0,4 kV)
- Enerji Nakil Hatları (2,850 km, 3x240 Bakır; 4 km, 3x120+70 Bakır.)
- Konut Bölgesi (0,4 kV)
- Dağıtılmış Güç Üretimi Bölgesi (0,4kV)

bileşenleri oluşturmaktadır (B. Özcan, kişisel iletişim 20 Aralık 2020). Şekil 1 modellemeye ait tek hat şemasını göstermektedir.

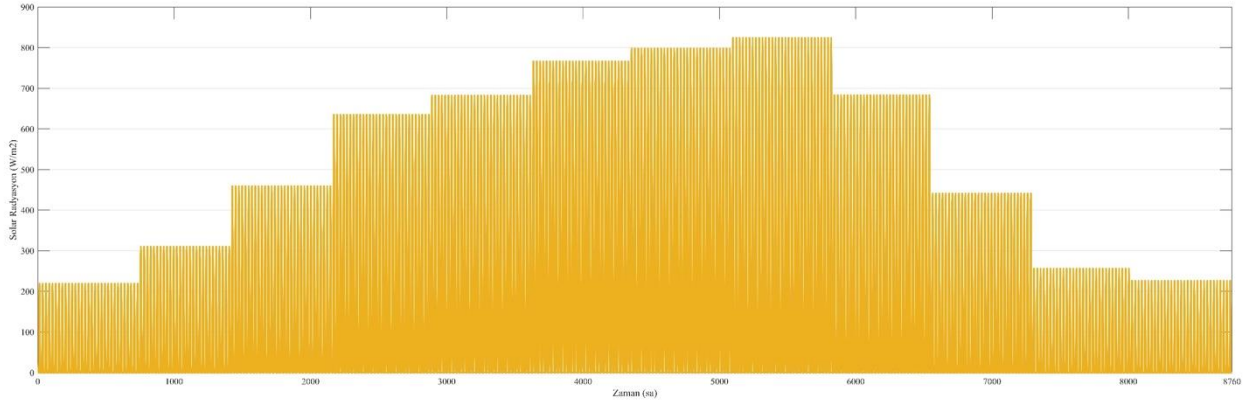


Şekil 1. Modelleme bileşenlerinin temsili (Representation of modeling components)

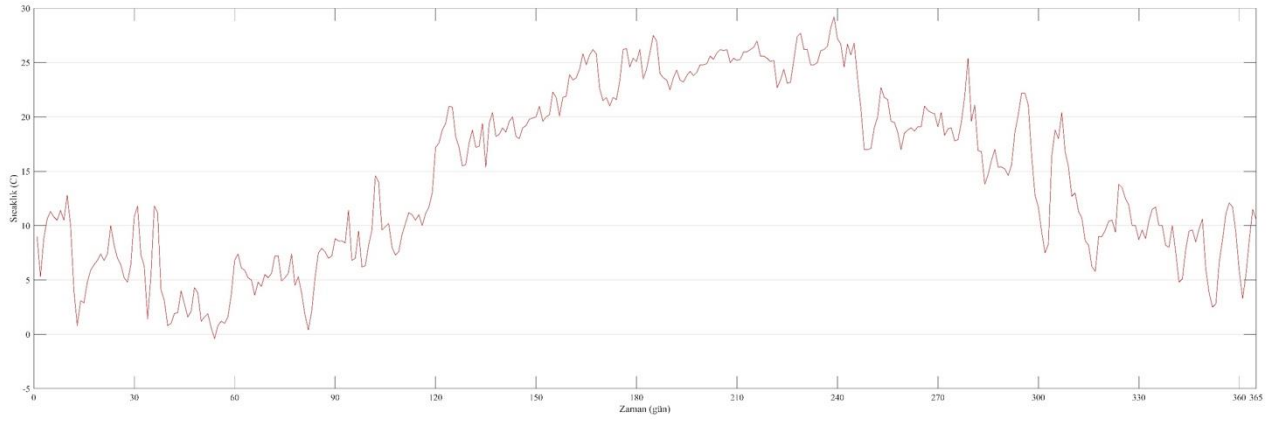
Elektrik altyapısındaki; mevsimsel değişimlerin gözlemlenilmesi adına, modelleme için bir yıllık zaman periyodu ($365 \times 24 \times 60 \times 60$ sn.) seçilmiştir. Seçilen zaman periyodu gereğince, 'Phasor/ode23tb' çözüm yöntemi tercih edilmiştir.

Seçili konut bölgesindeki; tüketim davranışları, Maltepe ilçesinde yer alan ilgili dağıtım şirketine ait SCADA merkezi aracılığıyla, kış ve yaz ayları özelinde ölçülmüştür (G. Erten, kişisel iletişim 12 Aralık 2020). SCADA sistemleri seçili dağıtım bölgesine ait dağıtım transformatörünün orta gerilim barasına entegre olup, saatlik bazda enerji tüketim verilerini raporlandırmaktadır.

Çalışmamızda, yenilenebilir dağıtılmış güç üretim modellerinden kaynak olarak güneş enerjisini kullanan sistemlerin, şebekeye alçak gerilim barasından entegrasyonu incelenmektedir. Güneş enerjisi potansiyelinin tespitinde, Göztepe ilçesi (Göztepe, İstanbul) merkezli yıllık solar radyasyon ve sıcaklık verilerinden yararlanılmıştır (Dilmaç vd., 1996; World Meteorological Organization[WMO], 2020). Yıllık bazda solar radyasyon ve sıcaklık dağılımı şekillerde (Şekil 2, 3) görselleştirilmiştir. Şekilde yer verilen; sıcaklık değerleri 'derece santigrat ($^{\circ}\text{C}$)', solar radyasyon değerleri 'watt bölü metre kare (W/m^2)' birimleri cinsinden ifade edilmiştir. Şekillere ait yatay eksen, zaman eksenini olup bir yıllık bir zaman dilimini kapsamaktadır.



Şekil 2. Yıllık solar radyasyon dağılımı (Annual solar radiation distribution)

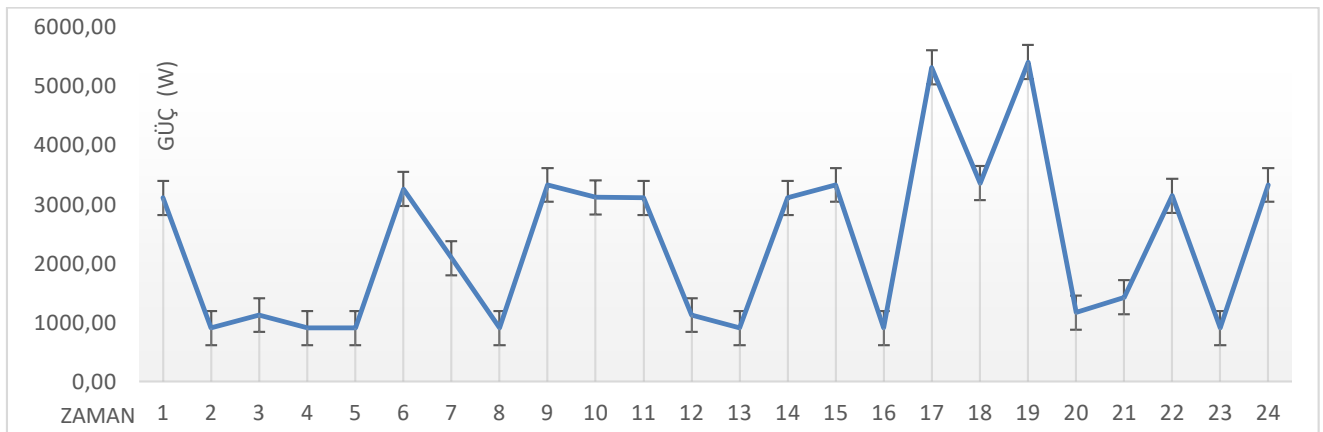


Şekil 3. Yıllık sıcaklık dağılımı (Annual temperature distribution)

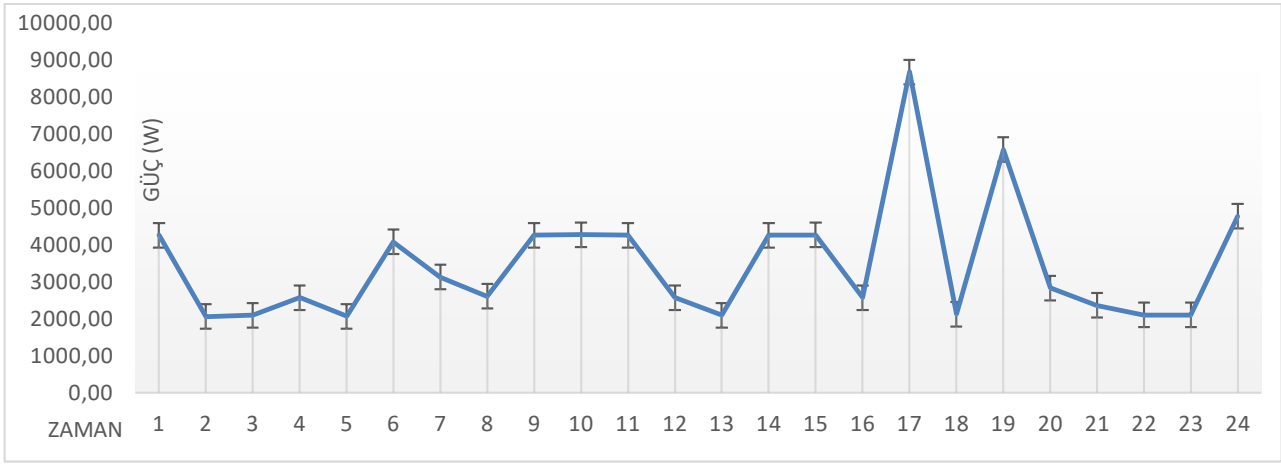
Elektrikli taşıt profilinin ve şarj istasyonu tipolojisinin, değişen koşullara uyum sağlanabilmesi adına, kodlama aracılığıyla kullanıcıdan talep edilmesi tercih edilmiştir. Mevcut simülasyonda kullanılacak elektrikli taşıt modeli, TEHAD verileri doğrultusunda, 2020 yılının ocak-aralık döneminde, Türkiye’de en çok satış adedine ulaşmış, B sınıfı elektrikli aracı olan Renault markası, Zoe modelidir (Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği[TEHAD], 2020).

Kurgulanan senaryolarda, farklı elektrikli taşıt sayılarına ve şarj tipolojilerine yer verilmiştir. Seçili taşıt profillerinin; bağlı oldukları şarj ünitesi tipolojileri, ‘Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)’ ve ‘Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)’ olarak belirlenmiştir. Renault markasının Zoe (R110) modeli bataryalarının; şarj seviyelerinin, ‘%30’ doluluk değerinden ‘%100’ doluluk oranına erişimi ‘Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)’ için ‘4 saat 2 dakika (242 dakika)’, ‘Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)’ için ise ‘1 saat 6 dakika (66 dakika)’ olarak belirtilmiştir (Renault, 2021: <https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/sarj-batarya.html>).

Çalışmamızda hane halkı kullanıcı alışkanlıkları için, ilgili çalışmadan yararlanılmıştır (Laicane vd., 2015). Belirtilen çalışmada hane halkı kullanıcı alışkanlıkları, 12 aylık bir periyotta ve 4 kişilik bir hane halkı için ölçülmüştür. Seçili hane halkının enerji tüketimleri; yaz ayları için ‘480 kWh/ay’, kış ayları için ‘360 kWh/ay’ olarak hesaplanmıştır (Laicane vd., 2015). Edinilen sonuçların, yaz ve kış ayları için günlük dağılımı şekillerde (Şekil 4, 5) görselleştirilmiştir. Şekilde yer verilen, dikey eksen ‘watt’ biriminde tüketilen güç değerini, yatay eksen ise günün saatlerini belirtmektedir.



Şekil 4. Kış aylarında gözlemlenen günlük yük talebi (Daily load demand observed during winter)



Şekil 5.Yaz aylarında gözlemlenen günlük yük talebi (Daily load demand observed during summer)

2.2. Yöntem (Method)

Çalışmada başvurulan yöntemlerden, yük öteleme metodu; toplam enerji tüketimini değiştirmeden, mevcut tüketim değerleri üzerinden yük dağılımının tekrar kurgulanmasıdır. Bu sayede, talep edilen pik güç değerlerinin (peak demand), daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi ve yük faktöründe (load factor) iyileşme amaçlanmaktadır (Ashok ve Banerjee, 2000).

2.2.1. Modellemenin Yöntemi (Method of Modeling)

Yük profilinde, günlük tüketim değerleri saatlik bazda belirlendikten sonra, 'pik saatler' ve 'evsel aletlerin günlük kullanım sıklıkları' göz önüne alınmaktadır. Bunun sonucunda, evsel yükler öncelik sıralamasına göre üç temel gruba ayrılmıştır (Nadhirah vd., 2020). Bu gruplar;

- Yüksek Öncelik Grubu (YÖG)
- Orta Öncelik Grubu (OÖG)
- Düşük Öncelik Grubu (DÖG)

olarak belirlenmiştir.

Evsel yüklerin öncelik sıralaması belirlenirken, pik saatler '17:00-22:00' saat dilimleri arasında seçilmiştir (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi [TEDAŞ], 2021). Pik zaman dilimi esas alınarak oluşturulan öncelik sıralamasına göre yük profili tabloda (Tablo 1) belirtilmiştir. Kış aylarında, pik saatlerde daima kullanımda olduğu görülen elektrikli ev aletlerinden; 'Buzdolabı', 'Yerden Isıtma Sistemi' ve 'Buhar Kazanı' YÖG grubuna dahil edilmiştir. Belirtilen elektrikli ev aletlerinin yanı sıra, mevsimsel koşullar göz önüne alındığında, periyodik olarak gün boyu çalışmakta olan, 'Klima Tipi Vantilatör' adlı cihaz da YÖG'a eklenmiştir. Yük öteleme, DÖG ve OÖG yüklerini kapsamakta, YÖG'nu oluşturan elektrikli ev aletleri, yük ötelenmesine dahil edilmemektedirler.

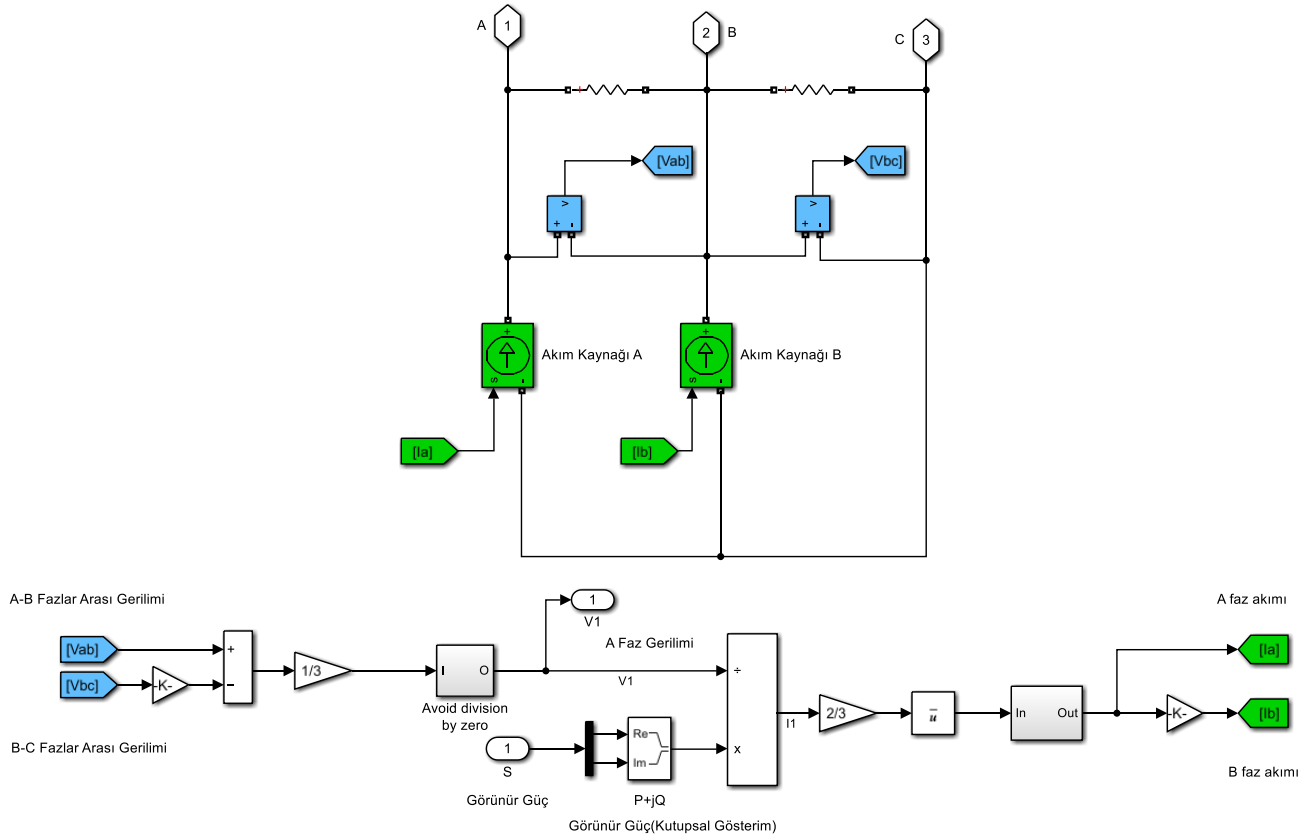
Yük öteleme metodunun uygulanması, mevcut yüklerin öncelik sıralamasına göre kodlamaya tanıtılmasıyla başlamaktadır. Kodlamaya tanıtılan yüklerden, YÖG, OÖG ve DÖG'nu oluşturan yüklerin, pik saatler (17:00-22:00) içinde 'tükettikleri enerji değerleri' hesaplanmaktadır. Çalışmamızda, ilgili dağıtım transformatörünün ideal doluluk oranı, 'yüzde seksen ve altı (Transformatör İdeal Doluluk Oranı (%)) ≤ 80 ' olarak seçilmiştir. Dağıtım transformatörünün, pik zaman diliminde ideal doluluk değerlerinin üzerinde yüklenmesi durumunda, transformatörün ideal çalışma bölgesinde çalışabilmesi için gerekli olan güç değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer, DÖG yüklerin tükettikleri enerji ile kıyaslanmakta eğer yeterli güç değeri elde edilebiliyorsa sadece 'DÖG' yüklerin pik saatler sonrasında ötelenmesi gerçekleştirilmektedir. Düşük öncelik grubunu oluşturan yüklerin ötelenmesine rağmen yeterli güç değerinin elde edilememesi durumunda, OÖG'nu oluşturan yüklerin ötelemeye dahil edilmesi gerçekleştirilmektedir. Yük öteleme sonrası, üç zamanlı fiyatlandırma tarifi gereğince nihai kullanıcıya yansıtacak olan faturalandırma tutarındaki değişim gözlenmektedir.

Tablo 1. Mevsimsel olarak elektrikli ev aletlerinin öncelik sıralaması (Seasonally priority ranking of electrical household appliances)

AYLAR	YÜK PROFİLİ	Yüksek öncelikli elektrikli ev aletleri	Orta öncelikli elektrikli ev aletleri	Düşük öncelikli elektrikli ev aletleri
Kış		Klima Tipi Vantilatör, Yerden Isıtma Sistemi, Buzdolabı (2), Buhar Kazanı.	Akkor Ampuller (6), Gün Işığı Ampuller (6), Halojen Ampuller (20), CFL Ampuller (15), LED TV Seti, Dijital TV, LED Ampuller (14).	Masaüstü Bilgisayar, Dizüstü Bilgisayar, Telefon, DVD Oynatıcı, Karıştırıcı (Blender), Davlumbaz, Yazıcı, Meyve Suyu Sıkacağı, Ses Sistemi, Elektrikli Fırın, Çamaşır Makinesi, Elektrikli Süpürge, Ütü, Dış Aydınlatma Ekipmanları (2), Kahve Makinesi, Ekmek Kızartma Makinesi, Ekmek Pişirme Makinesi, Bulaşık Makinesi, Saç Kurutma Makinesi, Isırtıcı Su Deposu, Hava Nemlendiricisi, Davlumbaz (2), Klima.
Yaz		Buzdolabı (2), Isıtıcı Su Deposu.	Akkor Ampuller (6), Gün Işığı Ampuller (6), Halojen Ampuller (20), CFL Ampuller (15), LED TV Seti, Dijital TV, LED Ampuller (14), Masaüstü Bilgisayar, Dizüstü Bilgisayar, Telefon, DVD Oynatıcı.	Karıştırıcı (Blender), Davlumbaz, Yazıcı, Meyve Suyu Dağıtıcı, Akustik Ses Sistemi, Elektrikli Fırın, Çamaşır Makinesi, Elektrikli Süpürge, Ütü, Dış Aydınlatma Ekipmanları (2), Kahve Makinesi, Ekmek Kızartma Makinesi, Ekmek Pişirme Makinesi, Bulaşık Makinesi, Saç Kurutma Makinesi, Hava Nemlendiricisi, Havalandırma Davlumbaz (2), Klima, Klima Tipi Vantilatör, Yerden Isıtma Sistemi.

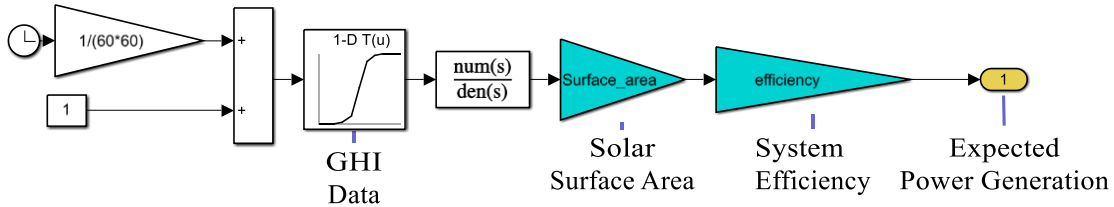
Çalışmamızın bir diğer çözüm teklifini, 'dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin' şebeke ile entegrasyonu oluşturmaktadır. Dağıtılmış güç üretimiyle, enerji talepleri artan yerleşim bölgeleriyle, enerji üretim noktalarının bir araya getirilmesini amaçlanmaktadır (Gökçek ve Ateş, 2019). Mevcut çalışmanın amaçlarına uygun olarak, modellemeye alçak gerilim barasından, yenilenebilir dağıtılmış güç üretimi sistemlerinden güneş enerji santralleri (GES) entegre edilmesi tercih edilmiştir.

Çalışmamızda, Matlab & Simulink ortamında şebekeye bağlı yükler, 'kontrollü akım kaynağı' olarak modellenmiştir. Tüketim ve üretim birimlerinin modellenmesinde kullanılan alt birimler şekillerde (Şekil 6, 7) belirtilmiştir. Birimlerin tükettikleri ya da ürettikleri güç değerleri üzerinden, akım değerleri hesaplanmakta ve kontrollü akım kaynaklarının giriş değerlerini oluşturmaktadır. Bu amaçla, ilgili 'güç' ve 'akım' değerleri arasındaki elektriksel ilişkilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 6.Yük modellemesine ait alt bloklar (Blocks of load modeling)

Akım kaynaklarının giriş değerlerinin belirlenmesi için, güneş enerjisi santralinden elde edilebilecek güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Güç değerinin hesaplanmasında 'solar radyasyon', 'alan' ve 'verimlilik' değişkenlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 7.Dağıtılmış güç üretimi modellemesi ait alt blokları (Sub-Blocks of distributed power generation modeling)

2.2.2. Kodlamanın Yöntemi (Coding Method)

Kodlamaya ait diyagram şekilde (Şekil 8) belirtilmiştir. Kodlamada kıstas olarak, transformatör doluluk oranları esas alınmaktadır. Kodlamanın başlatılmasıyla, kullanıcıdan 'giriş değerleri' talep edilmektedir. Giriş değerleri olarak; ilgili transformatör etiket değerleri, mevcut koşullar altındaki doluluk değerleri ve ideal çalışma sınır değeri ifade edilmektedir.

Transformatör karakteristiğinin belirtilmesinin ardından, incelenmesi istenen senaryonun tanıtılması istenmektedir. Kullanıcıdan, pik saatlerde şebekeye dahil olması beklenen elektrikli taşıt profilini tanıtması beklenmektedir.

Girdilerin tanıtılmasıyla, 'transformatörün doyumda olup olmadığına' karar verilmektedir. Doyum durumunda, transformatörün ilgili doluluk değeri üzerinden, ideal çalışma bölgesinde çalışabilmesi için gerekli olan güç değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu güç değeri, çözüm metotlarıyla karşılanmaya çalışılmaktadır.

İlgili transformatör doyumda ise transformatörden beslenen konut bölgesinin 'yük profilinin' kodlamaya tanıtılması istenmektedir. Yük profili ifadesiyle; ilgili konut bölgesinin saatlik bazda elektrikli ev aletleri kullanım verileri ifade edilmektedir. Yük profili üzerinden; pik saatlerde kullanım sıklıkları esas alınarak, yükler önem sıralamasına tabii tutulmaktadır. Bunun yanında, kullanım sıklığı az; ancak kullanıcı tarafından öncelikli görülen yüklerin belirtilmesi istenmektedir. Yük profilinin tanıtılmasının ardından; DÖG yüklerin, pik zaman diliminin sonrasına ötelenmesi gerçekleştirilmektedir. DÖG yüklerin ötelenmesi sonucunda, transformatörün ideal çalışma bölgesinde çalışması için gerekli güç değeri sağlanamamış ise OÖG yüklerin yük ötelenmesine katılımı gerçekleştirilmektedir. Yük ötelenmesi sonrasında, ilgili transformatörün doyumunun engellenmemesi durumunda, 'dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna' karar verilmektedir.

Seçilen güneş enerjisi sistemlerinin, alçak gerilim tarafından şebekeye entegre edilmesi öngörülmektedir. Bu sayede güneş enerjisi sistemlerinin, talep gücü karşılamada şebekeye yardımcı olması ve dağıtım transformatörü üzerindeki baskıyı azaltması hedeflenmektedir. Güneş enerjisi sistemleri aracılığıyla elde edilebilecek güç değerleri; 'panel yüzey alanı', 'sistem verimliliği' ve 'günlük meteoroloji verilerine' bağlıdır. Yıllık bazda 'solar radyasyon' ve 'sıcaklık' verileri kodlamaya tanıtılmış olup kullanıcıdan analiz edilmesi istenen günü belirtmesi istenmektedir.

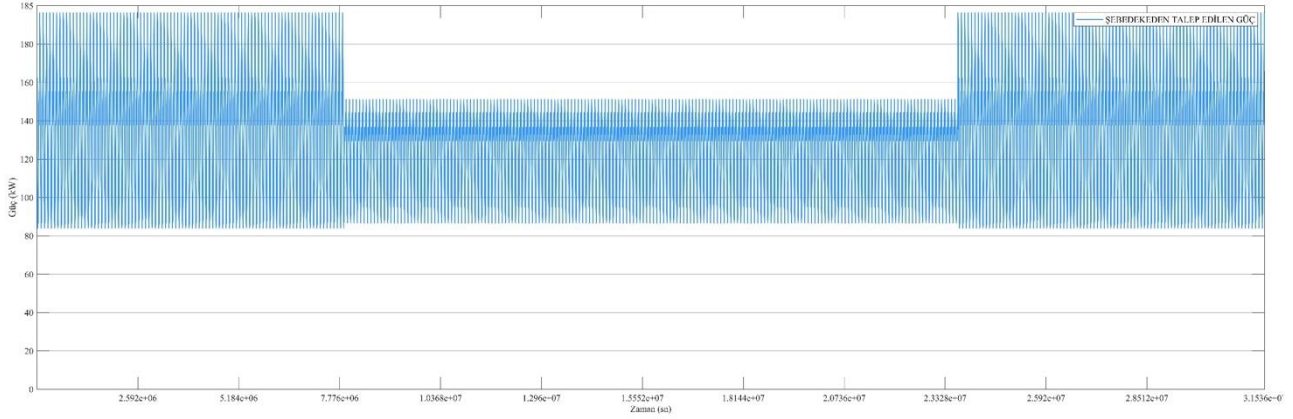
Güneş enerjisi sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, transformatör doluluk değerleri tekrar hesaplanmaktadır. Bu durum sonucunda, transformatör doluluk oranlarının ideal doluluk bölgesinde gerçekleşmemesi durumunda, güneş enerji sistemlerinden elde edilebilecek güç değerinin artırılması teklif edilmektedir. Bu amaçla, 'panel yüzey alanı' ya da 'sistem verimliliğinin' artırılması birer seçenek olarak sunulmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmemesi halinde ilgili transformatör kapasitesinin artırılması önerilmektedir.

Talep güç değerindeki artışın, transformatörler üzerindeki etkisinin gözlemlenilmesi 'dağıtım transformatörünün doluluk karakteristiği' başlığı altında gerçekleştirilmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye katılımının, öncesinde ve sonrasında oluşan değişikliklerin karşılaştırılabilmesi adına bölüm sonlarına, 'değişim tablosu' eklenmiştir.

'Dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği'ne ait şekillerde, 'Z-ekseni' dağıtım transformatörün yüzdesel olarak doluluk oranlarını, 'Y-ekseni' bir gün içinde gerçekleşen yük dağılımını temsil etmektedir. Elektrikli taşıtların şebeke üzerindeki etkileri, yaz ve kış ayları için farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, 'X-ekseninin' ilk yarısı (1-2 aralığı) 'yaz aylarını'; ikinci yarısı (2-3 aralığı) 'kış aylarını' temsil edecek şekilde kurgulanmıştır.

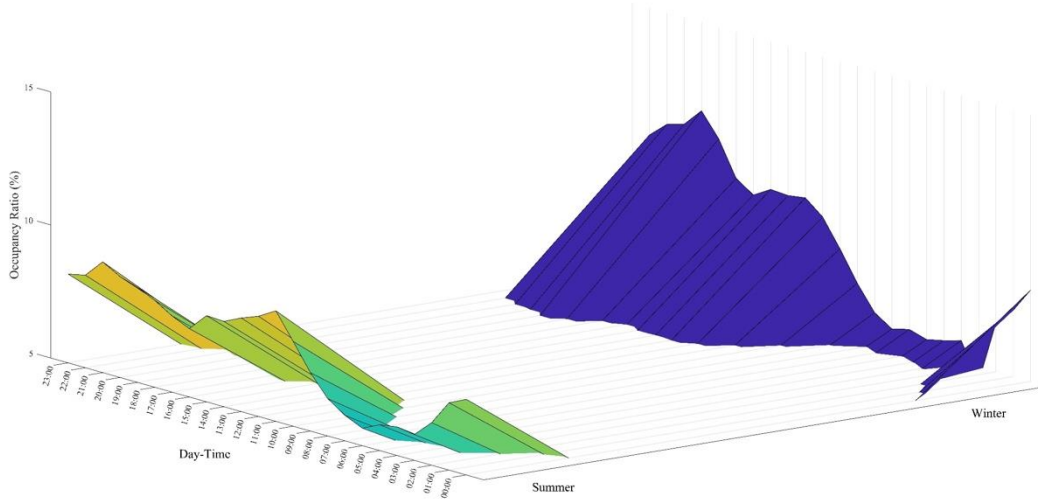
3.1. Mevcut Durumda Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics in Current State)

Modellemede; SCADA aracılığıyla elde edilen, 'ocak ayı tüketim verileri' kış aylarını, 'temmuz ayı tüketim verileri' ise yaz aylarını temsil etmektedir. Mevcut durumda şebekeden talep edilmekte olan güç değerleri şekildedeki (Şekil 9) gibi gerçekleşmektedir.. Mevcut durumda, kış aylarında gerçekleşen, en yüksek talep güç değeri, '**182,6 kW**' iken, bu değer yaz ayları için, '**146,2 kW**' olarak ölçülmüştür.



Şekil 9.Mevcut şartlar altında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristic under existing conditions)

Dağıtım transformatörünün; nominal güç değeri '**1600 kVA**', sekonder gerilimi '**0,4 kV**'dur. Mevcut şartlar altında, dağıtım transformatörünün, 'yaz ve kış ayları' için günlük doluluk değerleri şekilde (Şekil 10) görselleştirilmiştir. Dağıtım transformatörünün, ideal doluluk sınırı olarak seçilen 'yüzde seksen (%80)' doluluk oranının aşılmadığı gözlemlenmiştir. Dağıtım transformatörünün en yüksek doluluk oranına, '**%11,69**' ile kış aylarında ulaşılmıştır. Yaz aylarında gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '**%9,16**' olarak kaydedilmiştir.

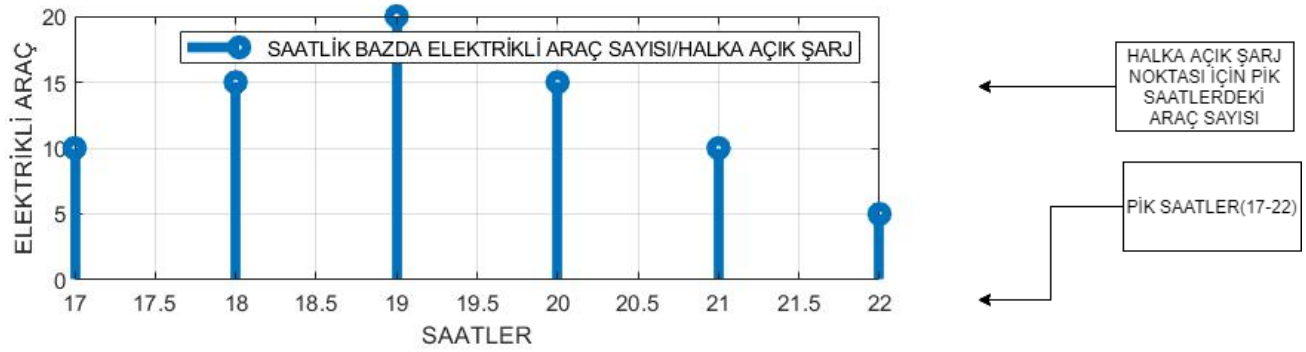


Şekil 10.Mevcut şartlar altında dağıtım transformatörünün doluluk karakteristiği (Occupancy characteristic of distribution transformer under current conditions)

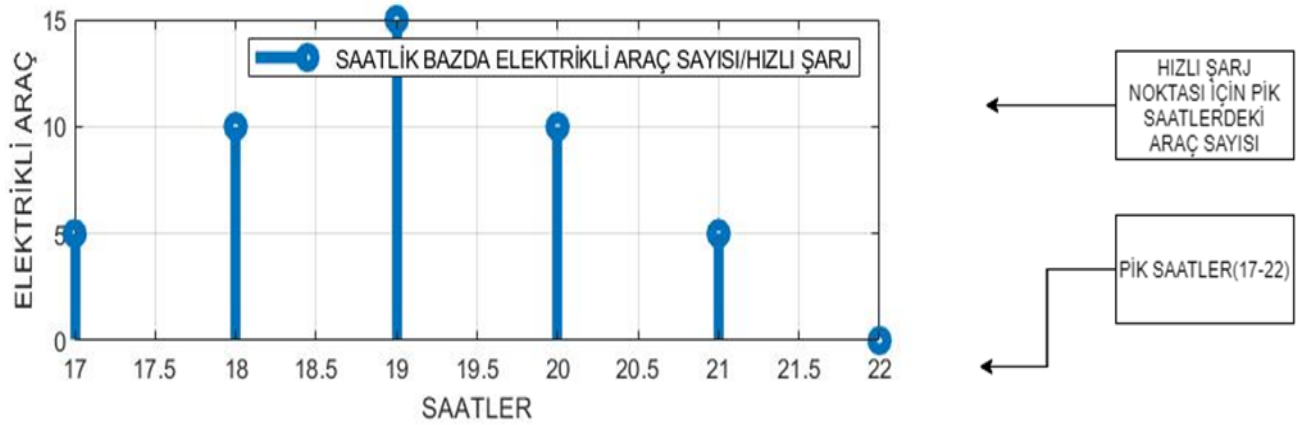
Yıllık bazda en yüksek doluluk oranına, kış aylarında ulaşmaktadır. Çalışmamızda, elektrikli taşıtların oluşturabileceği etkilerin, mevcut en yüksek doluluk oranları altında gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmamızdaki incelemeler, 'kış ayları' esas alınarak yapılmıştır. Elektrikli taşıtların dahiliyle, kış aylarında gözlemlenecek artışa karşılık, 'yaz ayları' mevcut durumunda görselleştirilecektir. Bu sayede, elektrikli taşıtların şebeke üzerindeki etkisinin daha net bir şekilde gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

3.2. Elektrikli Taşıtların Katılımıyla Oluşan Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics with the Participation of Electric Vehicles)

Mevcut şartlar altındaki, şebeke talep karakteristiğinin gözlenmesinin ardından belirlenen senaryoların uygulanmasına geçilmiştir. Elektrikli taşıtların, şebekeye en yoğun oranda dahil olması beklenen zaman aralığı, iş çıkış saatleriyle ilişkili olarak pik saatler olarak seçilmiştir. Bu amaçla, şebekeye pik saatler özelinde dahil olması planlanan elektrikli taşıt profilleri kurgulanmıştır. Elektrik taşıt profilleri görselleştirilirken, saat dilimi '17:00' ile '22:00' aralığında seçilmiş, değişen taşıt sayıları ve şarj tipolojileri belirtilmiştir. Belirtilen esaslar şekillerde (Şekil 11, 12) görselleştirilmiştir.

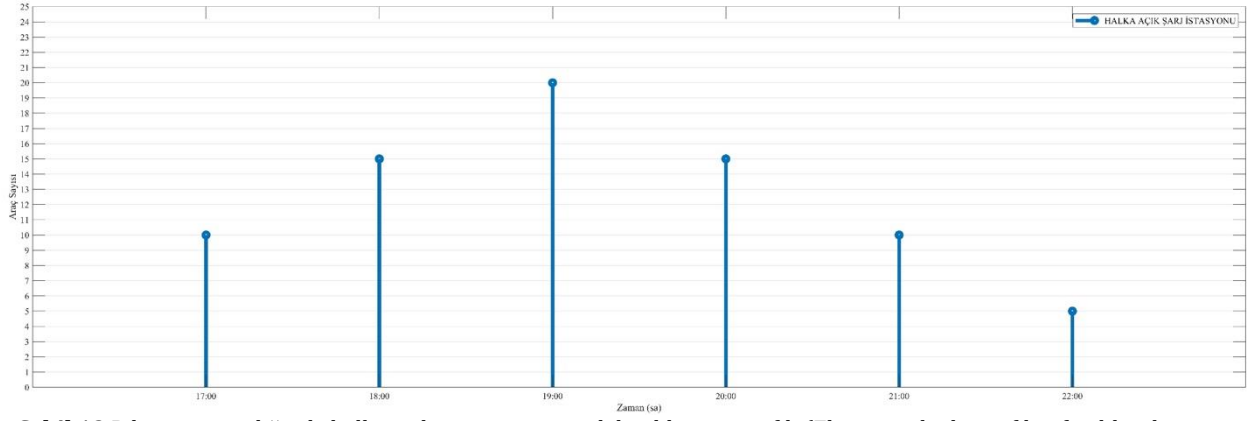


Şekil 11. Halka açık şarj noktasına ait elektrikli taşıt profili görselleştirme esasları (Electric vehicle profile visualization principles of public charging point)

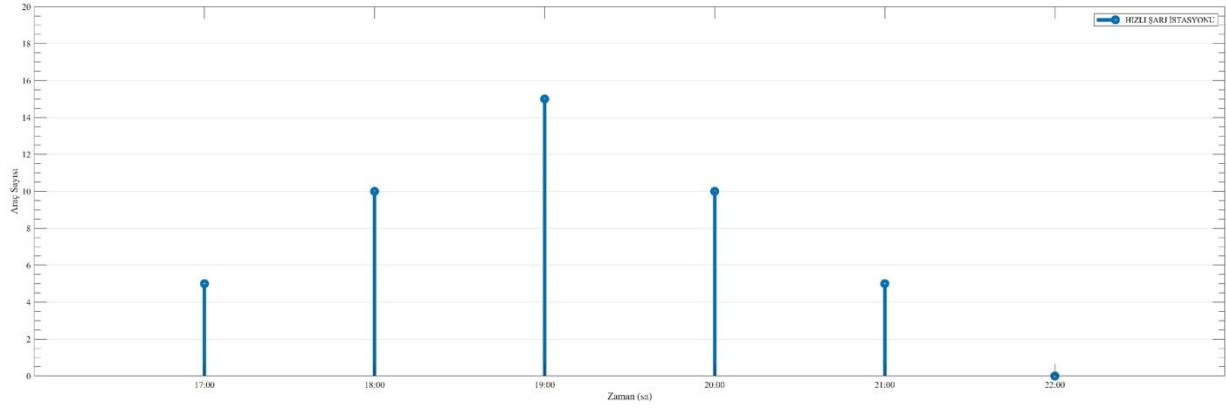


Şekil 12. Hızlı şarj istasyonuna ait elektrikli taşıt profili görselleştirme esasları (Electric vehicle profile visualization fundamentals of fast charging station)

Elektrikli taşıtların; '17:00-19:00' saat aralığında, artarak şebekeye dahil olması, '19:00-22:00' saat aralığında ise azalarak şebekeye bulunması beklenmektedir. Seçili senaryoda, elektrikli taşıtların şebekeye en yüksek katılımı, saat '19:00', en düşük katılım ise, saat '22:00'de gerçekleşmiştir. Saat '19:00' da şebekeden şarj olan '35' araçtan; '20'si 'Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)' aracılığıyla, '15'i 'Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)' aracılığıyla şarj olmaktadır. Belirtilen esaslar doğrultusunda, oluşan elektrikli taşıt profilleri şekillerde (Şekil 13, 14) belirtilmiştir.

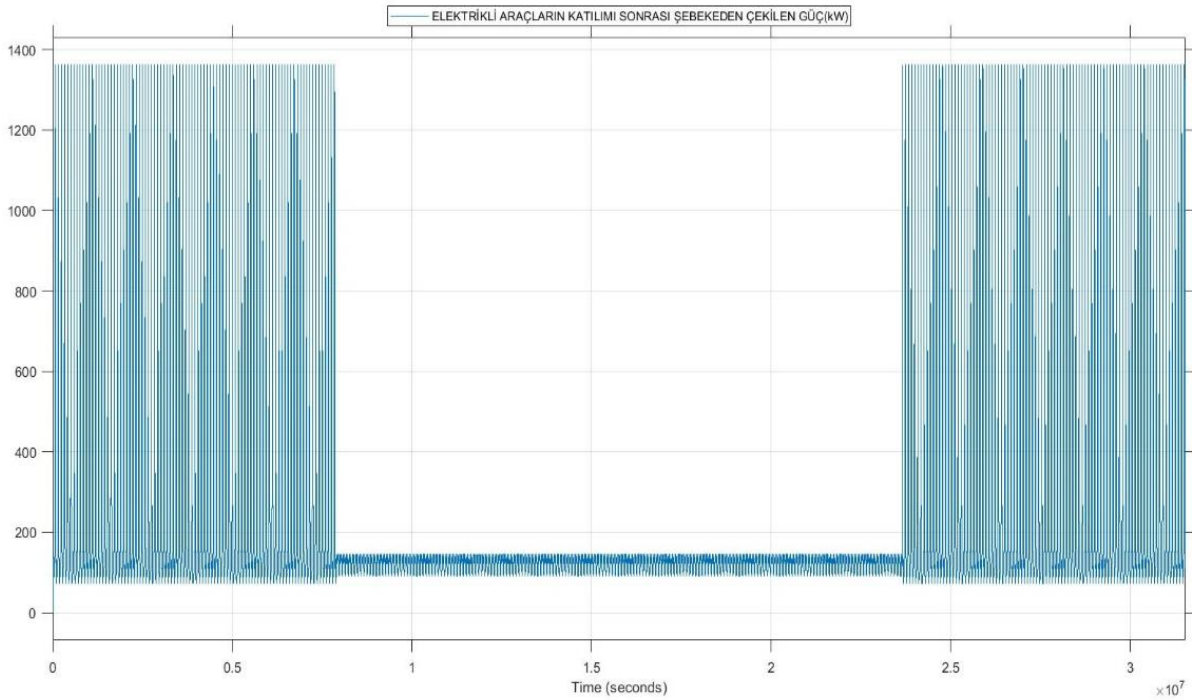


Şekil 13. Pik zaman aralığında halka açık şarj istasyonu elektrikli taşıt profili (Electric vehicle profile of public charging station at peak time range)



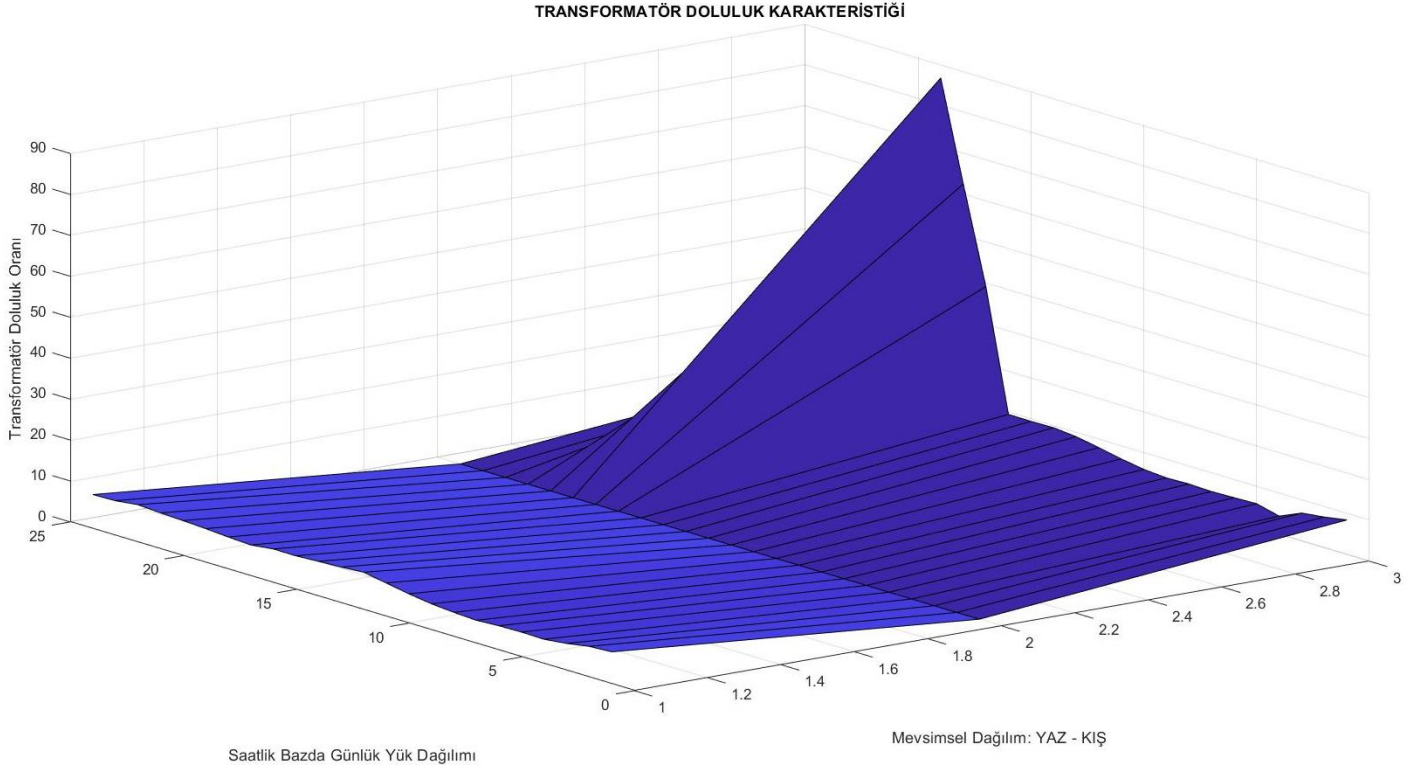
Şekil 14. Pik zaman aralığında hızlı şarj istasyonu elektrikli taşıt profili (Electric vehicle profile of fast charging station at peak time range)

Şekilde (Şekil 15) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Kış aylarında elektrikli taşıtların katılımı sonrasında gerçekleşen en yüksek talep güç değeri '1362 kW' olarak ölçülmüştür.



Şekil 15. Elektrikli taşıtların dahili sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics of electric vehicles after internal)

Belirtilen elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şekilde (Şekil 16) görselleştirilmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye dahili sonucu dağıtım transformatörünün, ideal doluluk sınırı olarak seçilen 'yüzde seksen (%80)' doluluk oranını aştığı gözlemlenmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye dahili sonrasında gözlemlenen en yüksek doluluk oranı, '**%86,71**' olarak gerçekleşmiş ve transformatörün doyuma girmesine neden olmuştur. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



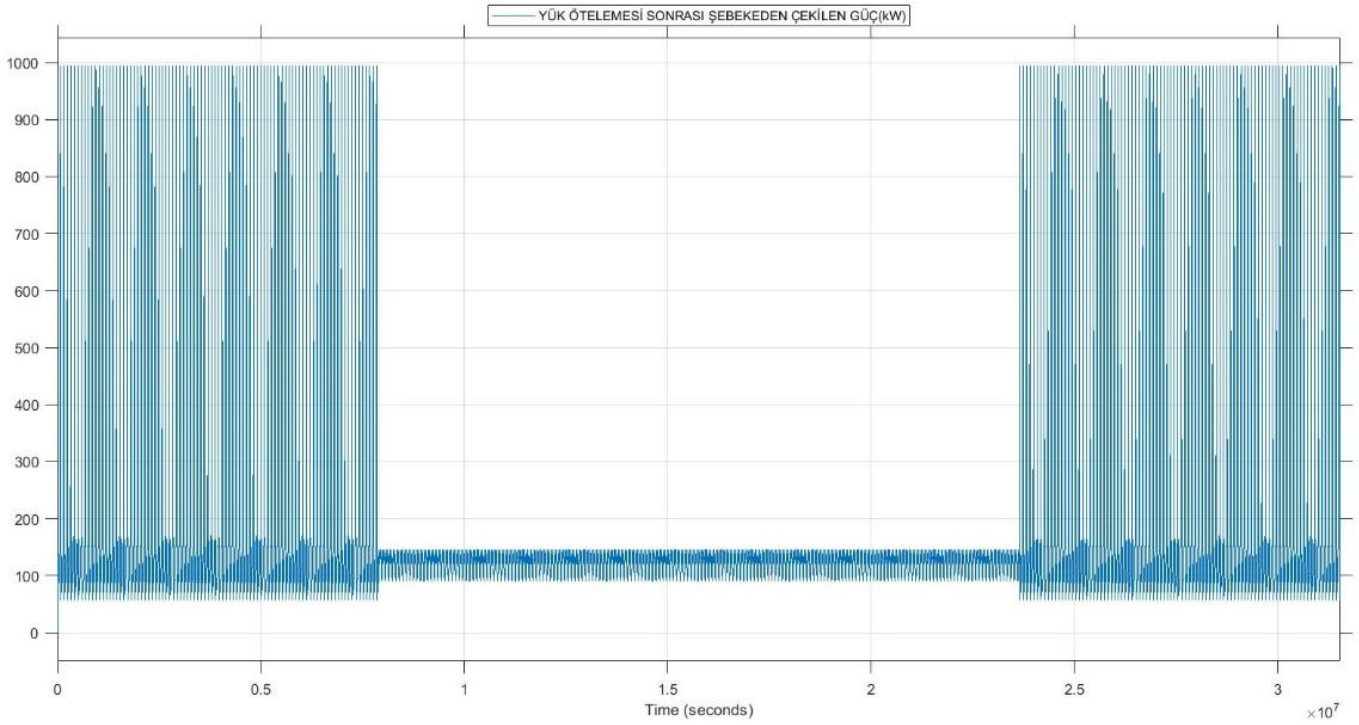
Şekil 16. Elektrikli taşıtların dahili sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after electric vehicles)

Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; belirtilen elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında, '**1175,4 kW**' artışla '**1362 kW**' değerine yükselmiştir. Talep güç değerinde gözlemlenen bu yükseliş sonucunda dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%11,69**' değerinden, '**%86,71**' değerine yükselerek, ideal doluluk sınırlarını aşmıştır. Transformatörün ideal bölgesi dışında çalışmasıyla, oluşabilecek olumsuz etkilerden kaçınılması amaçlanmış ve çözüm metodlarının uygulanmasına geçilmiştir.

3.2.1. Elektrikli Taşıtların Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodunun Uygulanması (Application of the Load Shifting Method After the Participation of Electric Vehicles)

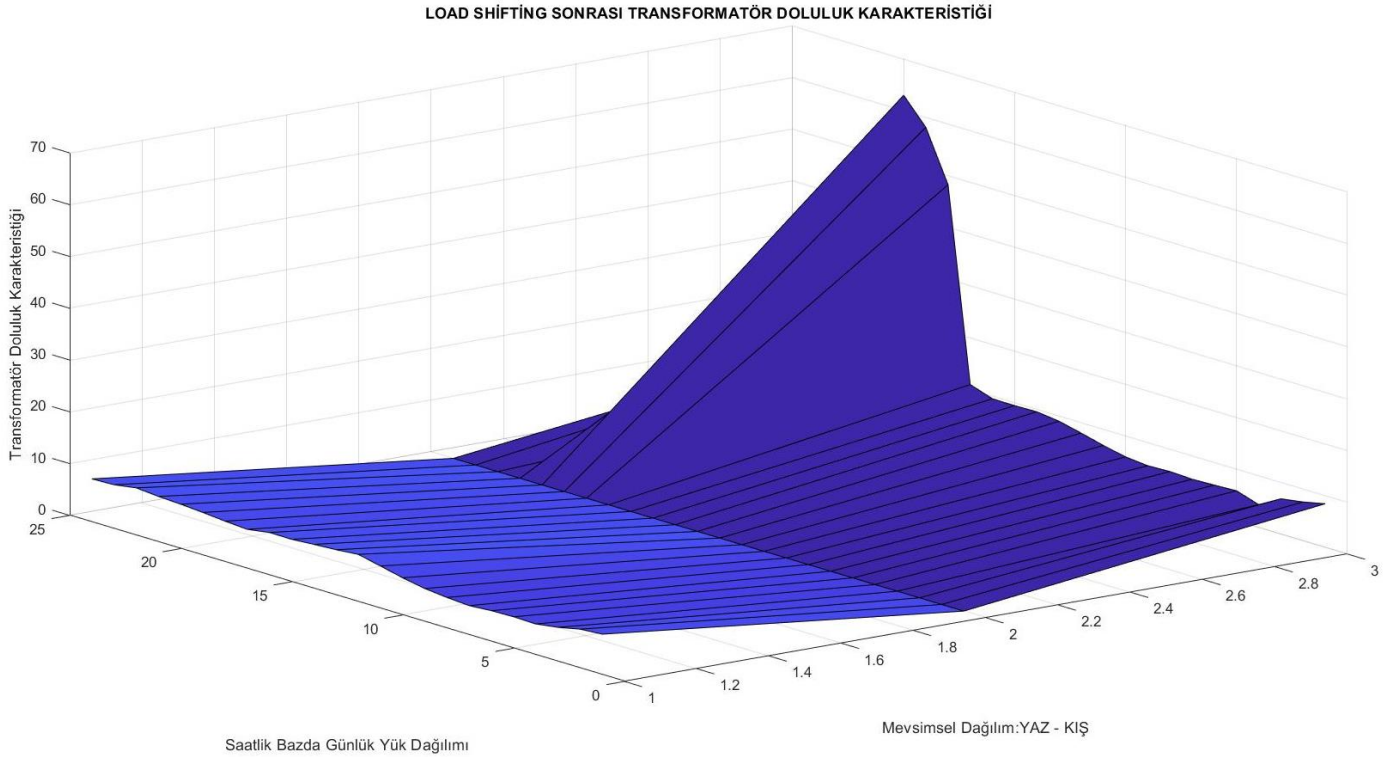
Elektrikli taşıtların şebekeye etkisinin en fazla hissedileceği zaman aralığı olarak pik zaman dilimi belirlenmiş ve talep güç değerini düşürmek için uygulanacak en uygun çözüm yöntemi, 'yük öteleme metodu' olarak seçilmiştir. Yük profilinde, pik saatlerde (17:00-22:00) yer alan 'DÖG ve OÖG' yükler sırasıyla, yeni yük profilinde pik saatlerin sonrasına kaydırılmaktadır.

Şekilde (Şekil 17) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Yük ötelenmesi metodunun uygulanmasının ardından, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri '**994,18 kW**' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 17.Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after the application of the load shift method)

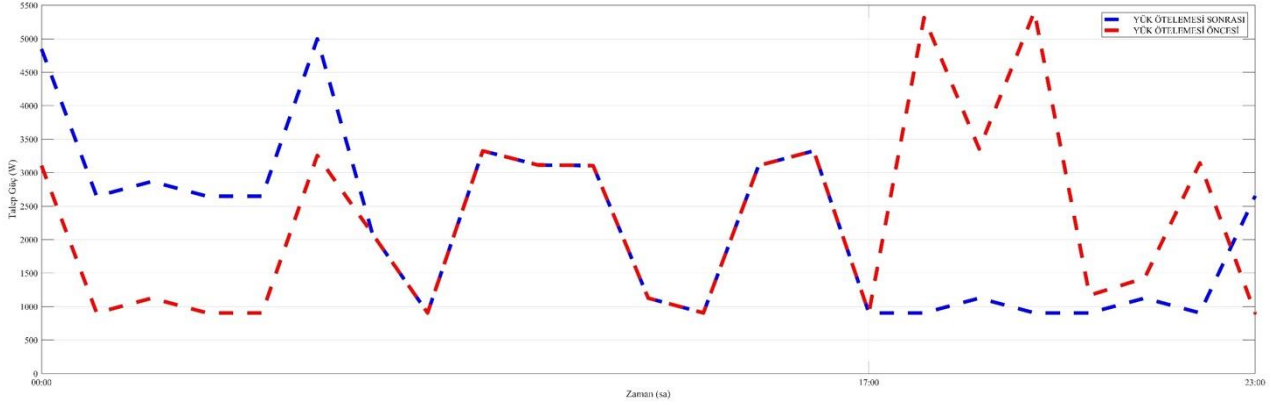
Yük ötelemesi metodunun uygulanmasının ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 18) belirtilmiştir. Yük ötelemesinin uygulanmasının ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '%62,95' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 18.Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristic after the application of the load shift method)

Üç zamanlı fiyatlandırma tarifesi uyarınca, enerji tüketim birim fiyatı, toplam talep gücü ters orantılı olarak belirlenmektedir. Oluşan yeni yük profilinin, nihai kullanıcı faturalandırma tutarına etkisi, 'enerji tüketim birim fiyatları' ve zaman dilimlerine ait 'tüketilen toplam güç değerleri' aracılığıyla hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda mevcut kullanım davranışı üzerinden, '100' hanelik bir konut bölgesi belirlenmiş ve günlük yük dağılımında gözlemlenen değişim şeklinde (Şekil 19) görselleştirilmiştir.

Konut bölgesinde, pik saatlerde gerçekleştirilen talep güçlerin bir kısmı, pik zaman diliminin sonrasına kaydırılmıştır. Yük ötelenmesi sonrasında ötelenen tüketim, şebekeden talep edilen güç ve birim enerji bedelinin düşük olduğu zaman diliminde gerçekleşmiştir. Enerji tüketiminin sabit kalarak, günlük güç tüketiminin homojen dağılmasının amaçlandığı bu yöntem sonrasında, '**367,82 kW**' büyüklüğündeki güç değeri, pik saatler sonrasına ötelenmiştir. Öteleme öncesinde bireysel kullanıcının faturalandırma bedeli, '**197,85 TL**' olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 19.Yük ötelenmesi metodu öncesi ve sonrasında yük dağılım karakteristiği (Load distribution characteristics before and after load shifting method)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrası, yük öteleme metodu uygulanmış ve gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 2) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; elektrikli taşıtların katılımı sonrasında '**1362 kW**' değerine yükselmiştir. Yük ötelenmesi ile '**367,82 kW**' değerindeki güç, pik saatlerin sonrasına ötelenmiştir. Yük ötelenmesi metodunun uygulanması sonrasında; bu talep güç değeri, '**994,18 kW**' değerine düşürülmüştür. Bu öteleme sonrasında, dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%86,71**' değerinden, '**%62,95**' değerine geriletilmiş ve ideal çalışma bölgesine ulaşılmıştır. Yük ötelenmesi sonrasında, hane başına faturalandırma tutarında, '**14,92 TL**'lik azalma sağlanarak, mevcut tüketim '**197,85 TL**' olarak ücretlendirilmiştir.

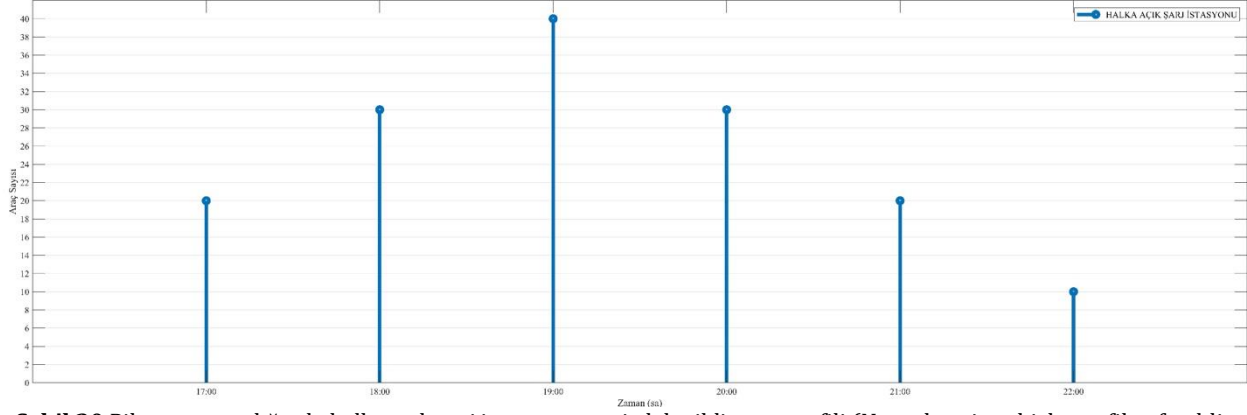
Tablo 2. Yük Ötelenmesi Metodunun Uygulanması Sonrasında Değişim Tablosu (Table of Changes after the Application of the Load Shift Method)

	MEVCUT DURUM (KIŞ)	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI	YÜK ÖTELEMESİ SONRASI
ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)	186,6	1362	994,18 (-367,82)
DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%)	11,6924	86,71155	62,9562
HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)	212,7729	212,7729	197,8523 (-14,9206)

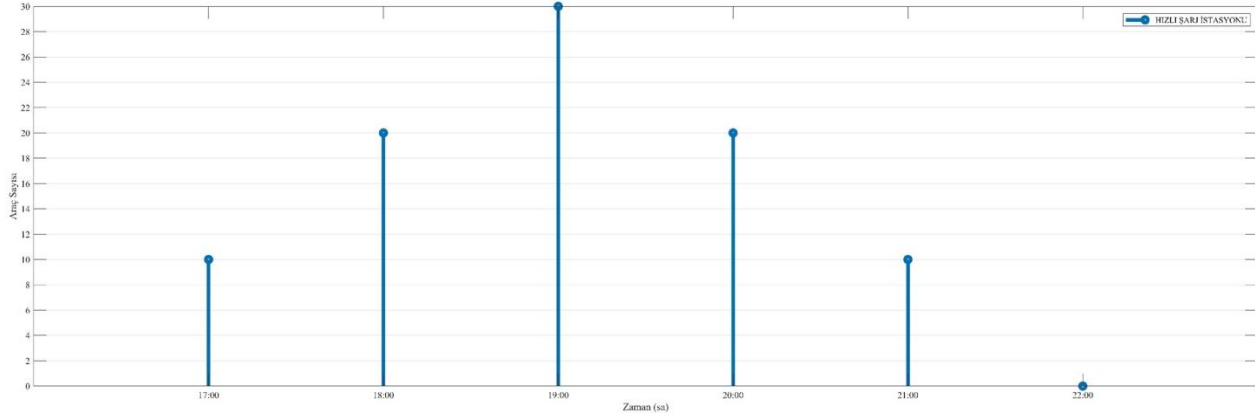
3.3.Yoğun Elektrikli Taşıtlarla Oluşan Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics with Intensive Electric Vehicle Participation)

Şebekenin farklı durumlar altında göstereceği tepkiler gözlenmek istenmiştir. Bu amaçla, şebekeye dahil olacak elektrikli taşıtların profili yeniden kurgulanmış ve şekillerde (Şekil 20, 21) görselleştirilmiştir. Kurgulanan yeni senaryo ile dağıtım transformatörü ve şebeke üzerindeki baskının artırılması amaçlanmıştır.

Elektrikli taşıtların, '17:00-19:00' saat aralığında, 'artarak' şebekeye dahil olması, '19:00-22:00' saat aralığında ise 'azalarak' şebekeye bulunması kurgulanmıştır. Seçili senaryoda, elektrikli taşıtların şebekeye en yüksek katılımı saat '19:00', en düşük katılım ise saat '22:00'de gerçekleşmiştir. Saat '19:00' da şebekeden şarj olan, '70' araçtan; '40' adedi 'Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)' aracılığıyla, '30' adedi ise 'Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)' aracılığıyla şarj olmaktadır.

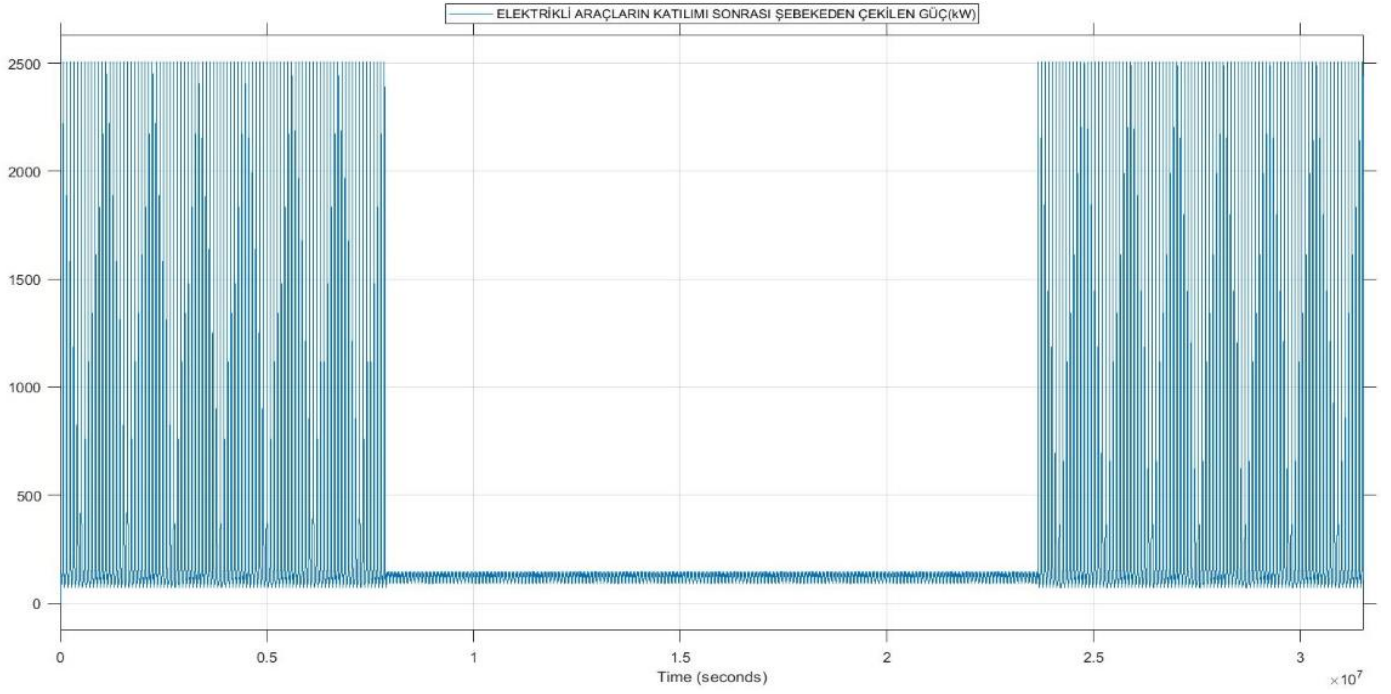


Şekil 20. Pik zaman aralığında halka açık şarj istasyonu yeni elektrikli taşıtların profili (New electric vehicle profile of public charging station at peak time range)



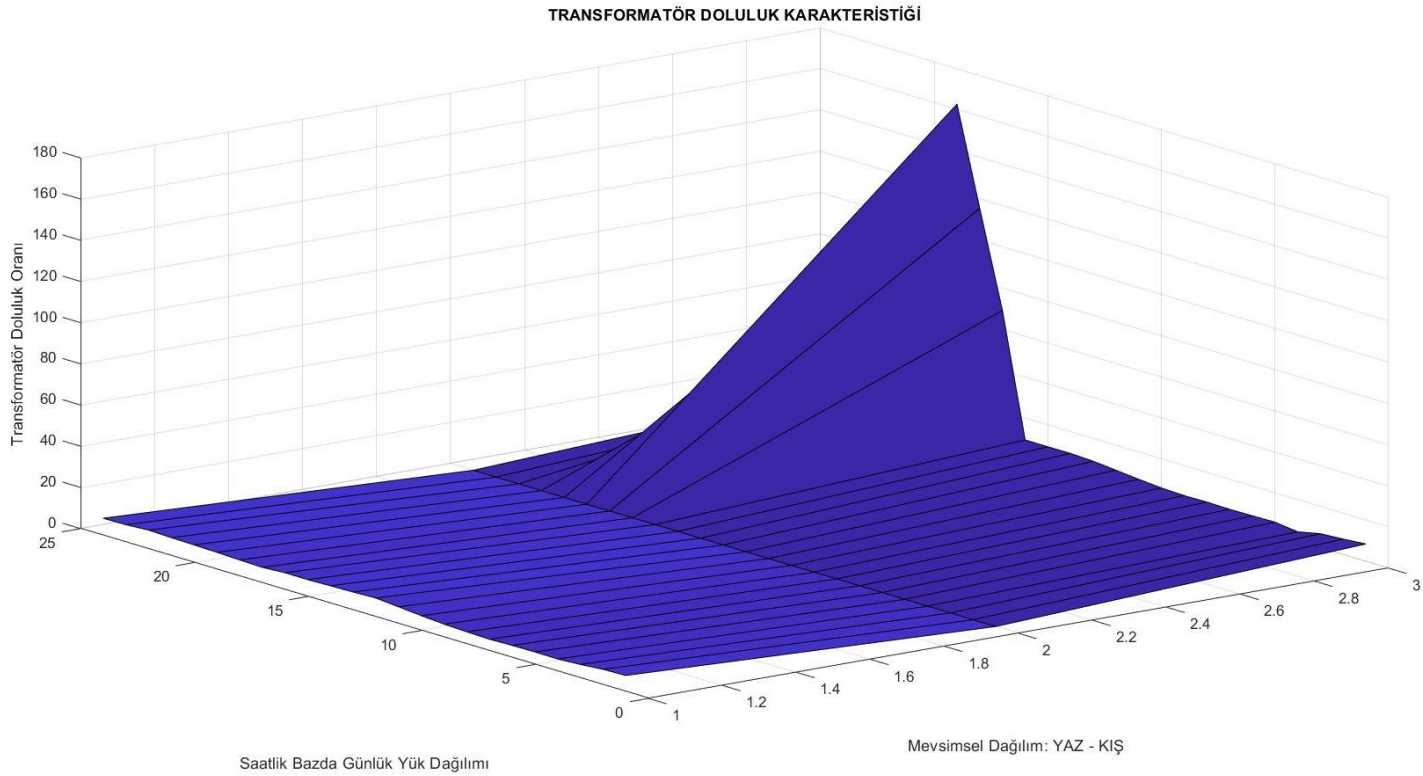
Şekil 21. Pik Zaman Aralığında Hızlı Şarj İstasyonu Yeni Elektrikli Taşıtların Profili (New Electric Vehicle Profile of Fast Charging Station at Peak Time Range)

Şekilde (Şekil 22) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Yeni elektrikli taşıtların şebekeye katılımı sonrasında şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, '2506,1 kW' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 22.Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics of new electric vehicle profile after internal)

Belirtilen yeni elektrikli taşıt profilinin, şebekeye dahili ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şekilde (Şekil 23) belirtilmiştir. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında gözlemlenen, en yüksek doluluk oranı, '%162,60' olarak gerçekleşmiş ve transformatörün doyuma girmesine neden olmuştur. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 23.Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristic after internal post new electric vehicle profile)

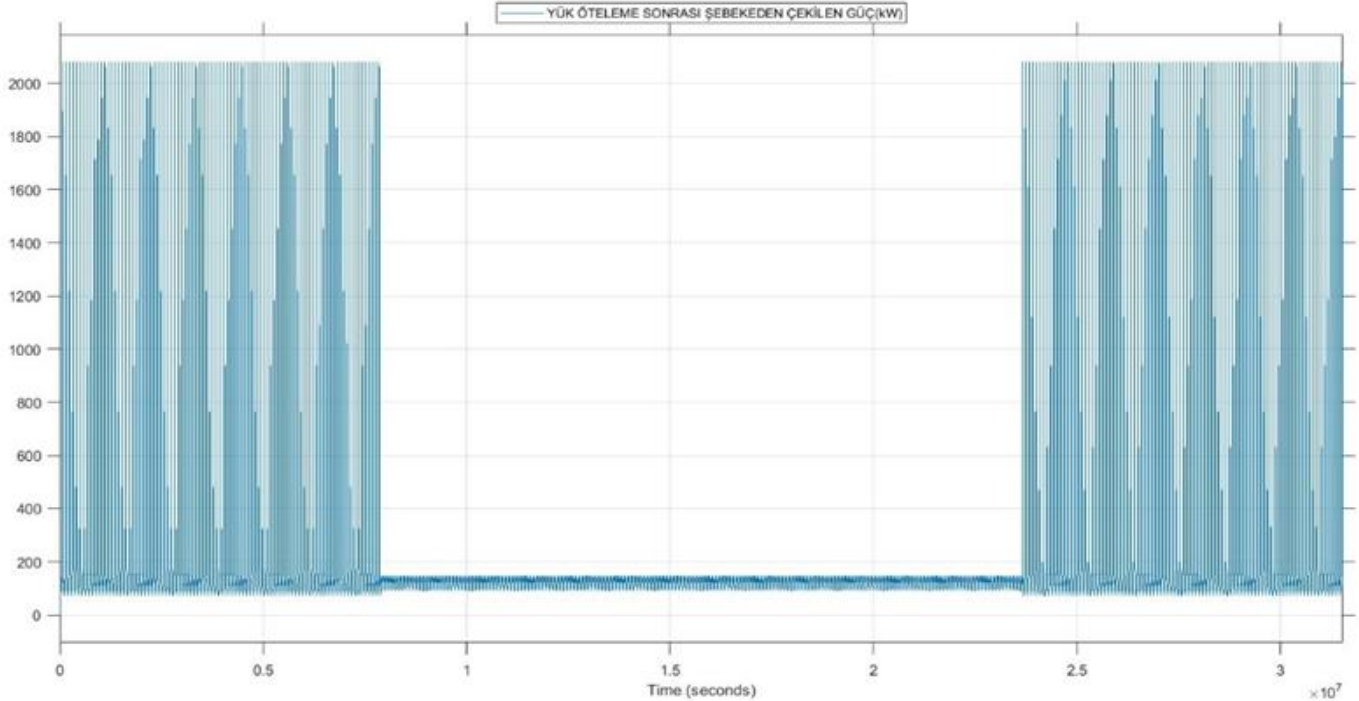
İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrasında gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 3) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi, yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında, **'2506,1 kW'** olarak ölçülmüştür. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye katılımı sonrasında, dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%162,60'** değerine yükselmiştir. Transformatörün, ideal çalışma bölgesinde çalışmamasıyla oluşabilecek olumsuz etkilerden kaçınılması amaçlanmış ve çözüm metodlarının uygulanmasına geçilmiştir.

Tablo 3. Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında değişim tablosu (Change table of new electric vehicle profile after internal)

KIŞ	MEVCUT DURUM	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (AZ YOĞUN)	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN)
ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)	186,6	1362	2506,1 (+1144,1)
DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%)	11,6924	86,71155	162,6044
HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)	212,7729	212,7729	212,7729

3.3.1.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodunun Uygulanması (Application of Load Shifting Method After Intensive Electric Vehicle Participation)

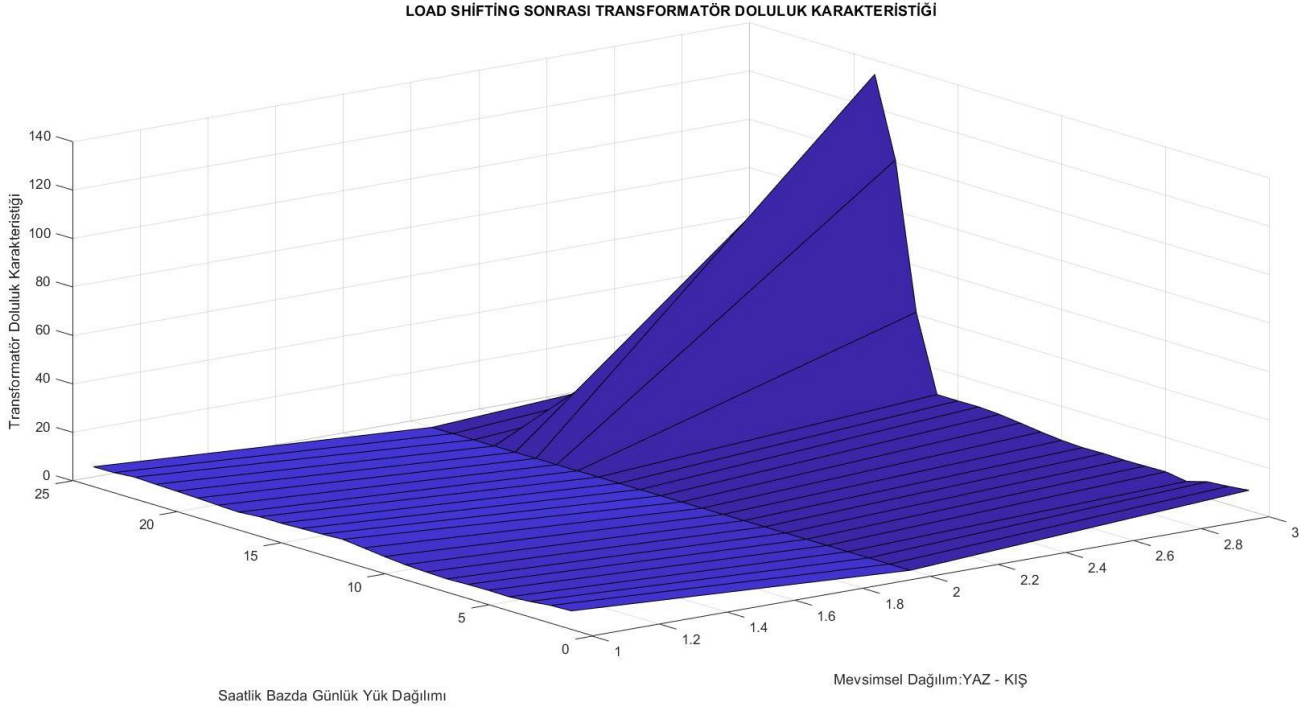
Yeni koşullar altında, yük öteleme metodu uygulanarak transformatör doluluk değerlerinin doyum sınırının (%80) altına düşürülmesi amaçlanmıştır. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye katılımı sonrasında, yük öteleme metodu tekrar uygulanmıştır. Yük ötelenmesi metodunun uygulanmasının ardından şebekeden çekilen en yüksek güç değeri **'2079,5 kW'** olarak ölçülmüştür.



Şekil 24.Yük öteleme metodunun uygulanması sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after the application of the load shift method)

Yük öteleme metodunun uygulanmasının ardından oluşan dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 25) gibi gerçekleşmiştir. Yük ötelenmesinin uygulanmasının ardından, gerçekleşen en yüksek

doluluk oranı, '**%133,91**' olarak ölçülmüştür. Yük ötelemesi metodunun uygulanmasına rağmen; transformatör doluluk oranları ideal çalışma bölgesine ulaşamamıştır. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 25.Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after the application of the load shift method)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrası yük öteleme metodu uygulanmış ve gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 4) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında '**2506,1 kW**' değerine yükselmiştir. Yük ötelemesi ile '**426,6 kW**' değerinde güç pik saatlerin sonrasına ötelenmiş ve talep güç değeri, '**2079,5 kW**' değerine düşürülmüştür. Bu öteleme sonrasında; dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%162,60**' değerinden '**%133,91**' değerine düşürülmüştür; ancak yine de ideal doluluk sınırlarına ulaşamamıştır. Bu durum sonucunda, bir diğer çözüm metodu olan dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu da gerçekleştirilmiştir.

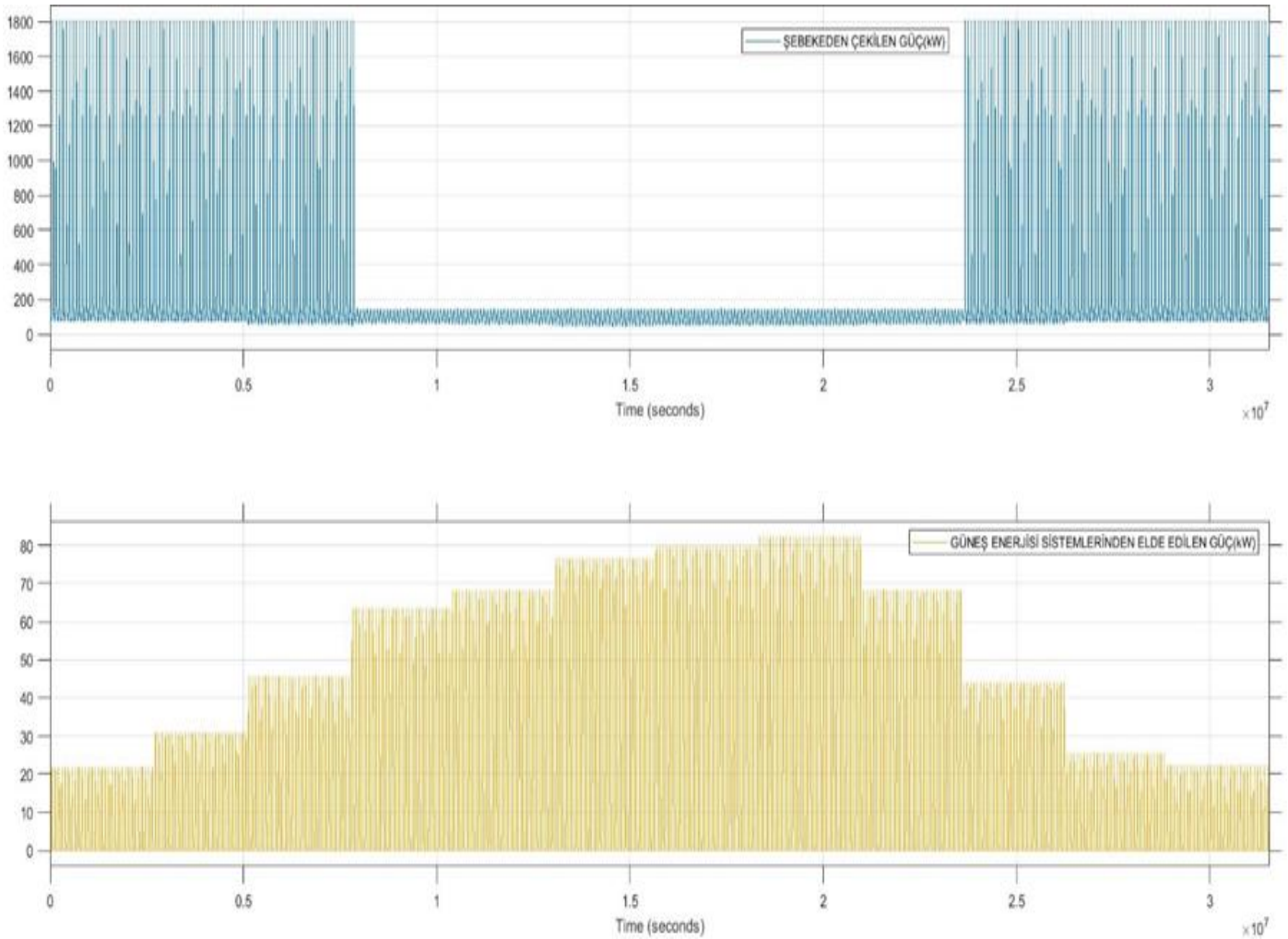
Tablo 4.Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında değişim tablosu (Table of changes after the application of the load shift method)

KIŞ	MEVCUT DURUM	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN)	YÜK ÖTELEMESİ SONRASI
ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)	186,6	2506,1	2079,5 (-426,6)
DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%)	11,6924	162,6044	133,9159
HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)	212,7729	212,7729	197,8523 (-14.9206)

3.3.2.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodu ve Dağıtılmış Üretim Sistemi Entegrasyonu (Load Shifting Method and Integration of Distributed Generation System After Intensive Electric Vehicle Participation)

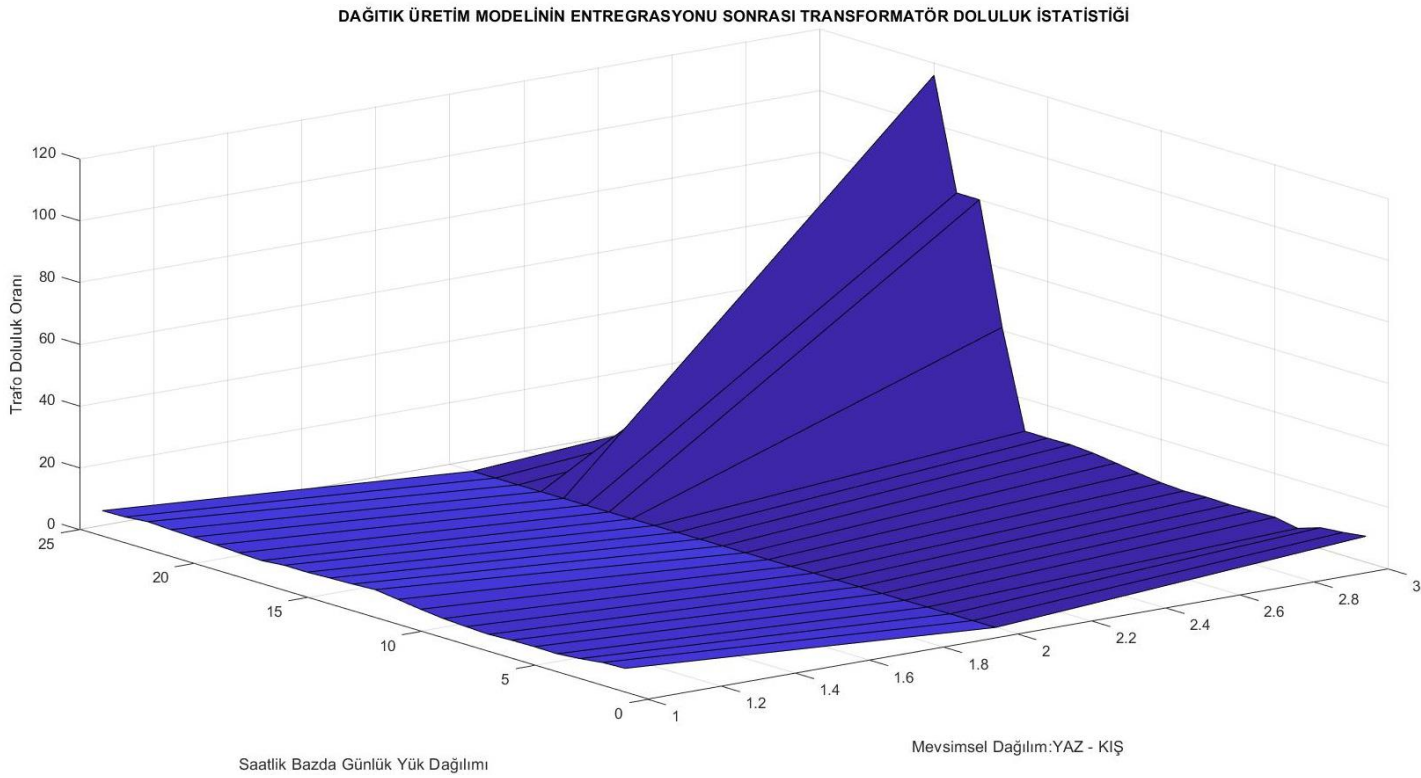
Bu noktada, çözüm önerimizin ikinci adımı olan 'dağıtılmış üretim modellerinin şebekeye entegrasyonuna' geçilmiştir. Bu aşamada hedeflenen, yük bölgesinin enerji ihtiyacının belirli bir kısmının dağıtılmış güç sistemlerinden karşılanması ve şebeke üzerindeki baskının azaltılmasıdır. İlgili veriler aracılığıyla, '**1000 metre karelik(m²)**', '**yüzde yirmi (%20) verimle**' çalışan; güneş enerji santralının üretebileceği güç değerleri hesaplanmıştır.

Şekilde (Şekil 26) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini, 'sarı renkle' görselleştirilmiş karakteristik ise dağıtılmış güç sisteminden elde edilecek güç (kW) değerini ifade etmektedir. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen güç değeri, '1 Ocak' için '**1262 kW**' olarak hesaplanmıştır. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, '**1807,66 kW**' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 26.Dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrası şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after integration of distributed generation systems)

Dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından oluşan dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 27) gibi gerçekleşmiştir. Dağıtılmış güç sisteminin entegrasyonu ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '**%115,88**' olarak ölçülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna rağmen; transformatör doluluk değerleri, ideal çalışma bölgesinde gerçekleşmemiştir. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 27. Dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after integration of distributed generation systems)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrası, yük öteleme metodunun uygulanması ve dağıtılmış üretim sisteminin şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmiş, değişimler tabloda (Tablo 5) belirtilmiştir. Mevcut durumda kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi, yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında, **'2506,1 kW'** değerine yükselmiştir. Yük öteleme metodunun uygulanması sonrasında talep güç değeri, **'426,6 kW'** azalışla, **'2079,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, **'271,84 kW'** değerinde güç, güneş enerjisi sistemlerinden karşılanmıştır. Bu durum sonucunda şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, **'271,84 kW'**lık azalışla, **'1807,6 kW'** olarak ölçülmüştür. Bu değişimler sonucunda dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%133,91'** değerinden, **'%115,88'** değerine düşürülmüştür; ancak yine de ideal doluluk sınırlarına ulaşamamıştır. Bu durum sonucunda, dağıtılmış güç sistemlerinin elde edilecek güç değerinin artırılması gerekmiş ve mevcut güneş enerjisi sistemlerinin yüzey alanları artırılmıştır.

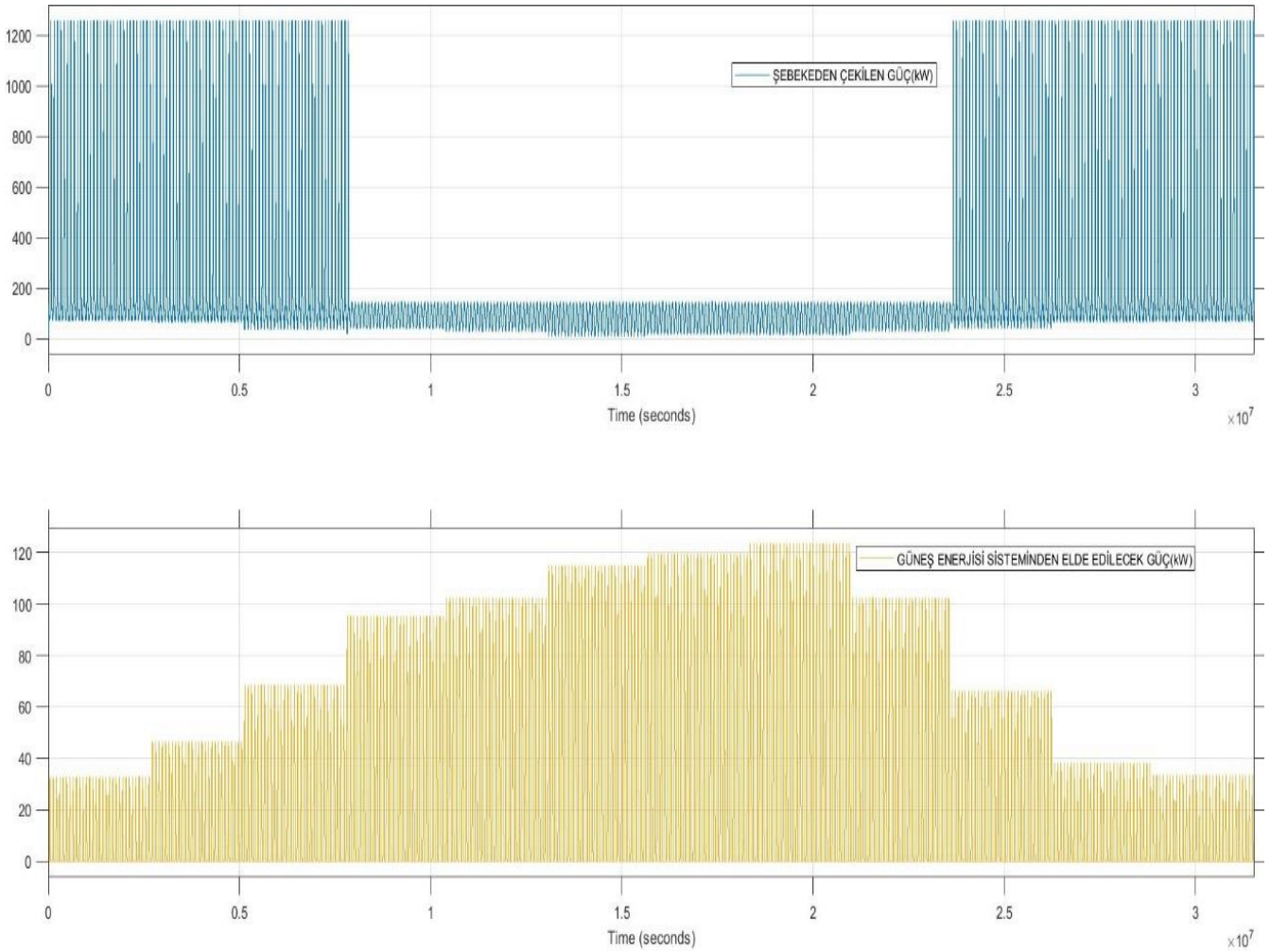
Tablo 5. Dağıtılmış Güç Sistemlerinin Entegrasyonu Sonrasında Değişim Tablosu (Change Table after Integration of Distributed Power Systems)

KIŞ	MEVCUT DURUM	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN)	YÜK ÖTELEMESİ SONRASI	DAĞITILMIŞ GÜÇ SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONU SONRASI
ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)	186,6	2506,1	2079,5 (-426,6)	1807,66 (-271,84)
DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%)	11,6924	162,6044	133,9159	115,8850
HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)	212,7729	212,7729	197,8523 (-14.9206)	197,8523

3.3.3.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrasında Yük Öteleme Metodunun ve Yüzey Alanı Arttırılmış Dağıtılmış Üretim Sisteminin Entegrasyonu (Load Shifting Method and Integration of the Distributed Generation System with Increased Surface Area After Intensive Electric Vehicle Participation)

Dağıtım transformatörünün ideal çalışma koşullarında çalışabilmesi için, güneş enerjisi santralının üreteceği güç değerlerinin arttırılması gerekmektedir. Bu amaçla **'1000 metre karelik(m²)'** yüzey alanına sahip üretim bölgesinin yüzey alanı, **'1500 metre kareye (m²)'** çıkartılmıştır.

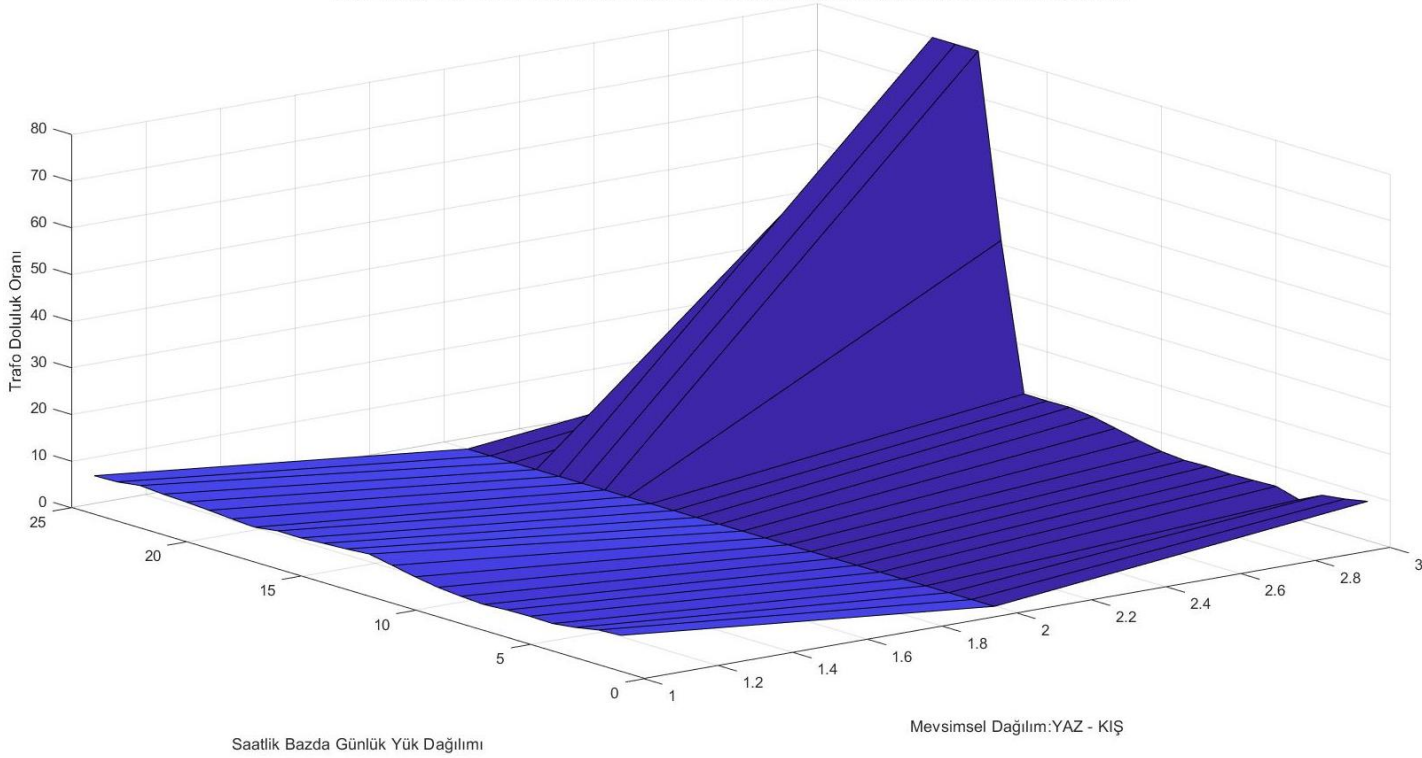
Şekilde (Şekil 28) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini, 'sarı renkle' görselleştirilmiş karakteristik ise, dağıtılmış güç sisteminden elde edilecek güç (kW) değerini ifade etmektedir. Yeniden boyutlandırılmış dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen güç değeri, '1 Ocak' için **'1893 kW'** olarak gerçekleşmiştir. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, **'1258,5 kW'** olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



Şekil 28.Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after İntegration of distributed generation systems with increased surface area)

Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 29) gibi gerçekleşmiştir. Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, **'%80'** olarak ölçülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna ile transformatör doluluk oranları, ideal doluluk sınırlarına ulaştırılabilmektedir. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.

DAĞITIK ÜRETİM MODELİNİN ENTEGRASYONU SONRASI TRANSFORMATÖR DOLULUK İSTATİSTİĞİ



Şekil 29.Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after integration of distributed generation systems with increased surface area)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrası, yük öteleme metodunun uygulanması ve arttırılmış yüzey alanlı dağıtılmış üretim sisteminin şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmiş, değişimler tabloda (Tablo 6) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında **'2506,1 kW'** değerine yükselmiştir. Yük ötelemesi ile **'426,6 kW'** değerinde güç pik saatlerin sonrasına ötelenmiştir ve talep güç değeri, **'2079,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Güneş enerjisi sistemlerinin yüzey alanı arttırılarak, simülasyon tekrar gerçekleştirilmiştir. Bu durum sonucunda en yüksek talep güç değeri **'2079,5 kW'** değerinden **'1258,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Yük ötelemesi metodunun uygulanması ve dağıtılmış üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%162,60'** değerinden **'%80'** değerine düşürülmüştür. Çözüm metodlarının uygulanması sonucunda dağıtım transformatörünün ideal çalışma bölgesine ulaşılmıştır.

Tablo 6.Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sistemlerinin entegrasyonu sonrasında değişim tablosu (Change table after integration of distributed power systems with increased surface area)

KIŞ	MEVCUT DURUM	ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN)	YÜK ÖTELEMESİ SONRASI	DAĞITILMIŞ GÜÇ SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONU SONRASI
ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)	186,6	2506,1	2079,5 (-426,6)	1258,5 (-821)
DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%)	11,6924	162,6044	133,9159	80
HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)	212,7729	212,7729	197,8523 (-14.9206)	197,8523

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Mevcut çalışmanın literatüre yapmayı amaçladığı katkı, elektrikli taşıtların şebekeler üzerindeki etkilerinin çeşitli senaryolar dahilinde gözlemlenmesi, sonuçlar doğrultusunda üretici ve tüketici bazlı çözümlerin bir arada sunulmasıdır. Bu amaçla, elektrikli taşıtların şebeke ve dağıtım transformatörleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiş ve mevcut transformatörlerin kullanım ömürlerinin uzatılması amacıyla çözüm tekliflerinde bulunulmuştur. Çalışmamız, yük öteleme metodunun uygulanmasını ve yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu teklif etmektedir.

Yük öteleme metodunun uygulanması amacıyla, bir konut bölgesinin saatlik yük profilinde yer alan elektrikli ev aletleri, kullanıcı davranışları esas alınarak öncelik sıralamasına tabii tutulmuştur. Dağıtım transformatörünün doluluk oranı esas alınarak, öncelik sıralamasıyla yük gruplarının pik saatler sonrasına ötelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yük öteleme metoduyla, transformatör doluluk değerlerinin ideal çalışma bölgesinde gerçekleşmesinin sağlanamaması durumunda, dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin alçak gerilim barasından şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmektedir. Dağıtılmış güç üretimi ile talep gücü karşılama şebekeye yardımcı olunması ve dağıtım transformatörü üzerindeki baskının azaltılması hedeflenmektedir. Şebekeye entegrasyonu önerilen yenilenebilir dağıtılmış güç üretimi sistemine kaynak olarak güneş enerjisi seçilmiştir. Bölgesel solar radyasyon verileri aracılığıyla dağıtılmış üretim sistemlerinden elde edilebilecek güç değerlerine ulaşılmıştır. Çalışmada şebekeye entegre olan elektrikli taşıt sayısının oluşan etkiyi belirleyiciliği gözlemlenmiştir. Teklif edilen çözümlerinin başarısının; yük öteleme metodunda katılım sağlayan hane sayısı, ilgili dağıtılmış üretim modelinde ise değişen yüzey alanıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Farklı senaryolar altında, şebekeden talep edilen güç ve dağıtım transformatörü doluluk değerleri incelenmiş ve çözüm önerileri uygulanmıştır. Çözüm metodlarının etkileri raporlandırılmış ve yük öteleme metodunun nihai kullanıcı faturalandırma tutarlarına etkisi gözlemlenmiştir. Mevcut dağıtım transformatörünün korunarak mali yönden izlenebilecek politikalar önerilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, incelenecek şebekeye bölgesinin genişletilmesi ve farklı çözüm metodlarının eklenmesi öngörülmüştür.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ali Jafar-Nowdeh, Manoochehr Babanezhad, Saber Arabi-Nowdeh, Amirreza Naderipour, Hesam Kamyab, Zulkurnain Abdul-Malek, Vigna K. Ramachandaramurthy, Meta-heuristic matrix moth-flame algorithm for optimal reconfiguration of distribution networks and placement of solar and wind renewable sources considering reliability, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 20, 2020, 101118, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101118>.
- Alicia Triviño-Cabrera, José A. Aguado, Sebastián de la Torre, Joint routing and scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G, *Energy*, Volume 175, 2019, Pages 113-122, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.184>.
- Ambe J. Njoh, A systematic review of environmental determinants of renewable energy performance in Ethiopia: A PESTECH analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,
- Andrady, A., Aucamp, P., Austin, A., Bais, A., Ballaré, C., Barnes, P. ve Zepp, R. (2015). Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 15. 141. DOI: 10.1039/c7pp90001e
- Angel A. Bayod-Rújula, Future development of the electricity systems with distributed generation, *Energy*, Volume 34, Issue 3, 2009, Pages 377-383, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.12.008>.
- Ashok S., Banerjee, R. (2000). Load-management applications for the industrial sector, *Applied Energy*, Volume 66, Issue 2, 2000, Pages 105-111, ISSN 0306-2619. DOI: 10.1016/S0306-2619(99)00125-7
- Cindy Viviescas, Lucas Lima, Fabio A. Diuana, Eveline Vasquez, Camila Ludovique, Gabriela N. Silva, Vanessa Huback, Leticia Magalar, Alexandre Szklo, André F.P. Lucena, Roberto Schaeffer, Juan Roberto Paredes, Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 113, 2019, 109232, ISSN 1364-0321,
- Dahai Zhang, Chenguang Liang, Meng Li, Yiping Luo, Keao Chen, Sohrab Mirsaedi, Jinghan He, Voltage frequency-based adaptive reclosing strategy for flexible DC power grids, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 131, 2021, 107164, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107164>.

- Dilmaç, Ş., Topçu, S., Akman, M.S. (1996) mA study of solar ultraviolet radiation at Istanbul, Energy, Volume 21, Issue 3, 1996, Pages 189-195, ISSN 0360-5442, DOI:10.1016/0360-5442(95)00100-X
- Elkhattam, Walid & Salama, M.M.A.. (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. Electric Power Systems Research. 71. 119-128. 10.1016/j.epsr.2004.01.006.
- Giovanni Barone, Annamaria Buonomano, Cesare Forzano, Giovanni Francesco Giuzio, Adolfo Palombo, Increasing renewable energy penetration and energy independence of island communities: A novel dynamic simulation approach for energy, economic, and environmental analysis, and optimization, Journal of Cleaner Production, Volume 311, 2021, 127558, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127558>.
- Gökçek, T., Ateş, Y. (2019). Dağıtık Güç Üretiminin Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (15) , 216-228 . DOI: 10.31590/ejosat.521350 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039>.
Increasing renewable energy penetration and energy independence of island communities: A novel dynamic simulation approach for energy, economic, and environmental analysis, and optimization,
- Jochen Stiasny, Thierry Zufferey, Giacomo Pareschi, Damiano Toffanin, Gabriela Hug, Konstantinos Boulouchos, Sensitivity analysis of electric vehicle impact on low-voltage distribution grids, Electric Power Systems Research, Volume 191, 2021, 106696, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106696>.
Journal of Cleaner Production, Volume 311, 2021, 127558, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127558>.
- Jun Yang, Fuzhang Wu, Jun Yan, Yangjia Lin, Xiangpeng Zhan, Lei Chen, Siyang Liao, Jian Xu, Yuanzhang Sun, Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 119, 2020, 105952, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105952>.
- Laibao Liu, Zheng Wang, Yang Wang, Jun Wang, Rui Chang, Gang He, Wenjun Tang, Ziqi Gao, Jiangtao Li, Changyi Liu, Lin Zhao, Dahe Qin, Shuangcheng Li, Optimizing wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 132, 2020, 110151, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110151>.
- Laicane, I., Blumberga, D., Blumberga, A., Rosa, M. (2015). Evaluation of Household Electricity Savings. Analysis of Household Electricity Demand Profile and User Activities, Energy Procedia, Volume 72, 2015, Pages 285-292, ISSN 1876-6102, DOI:10.1016/j.egypro.2015.06.041
- M. Pagani, W. Korosec, N. Chokani, R.S. Abhari, User behaviour and electric vehicle charging infrastructure: An agent-based model assessment, Applied Energy, Volume 254, 2019, 113680, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113680>.
- Maria Stefan, Jose Gutierrez, Pere Barlet, Eduardo Prieto, Oriol Gomis, Rasmus L. Olsen, (Position paper) Characterizing the Behavior of Small Producers in Smart Grids A Data Sanity Analysis, Procedia Computer Science, Volume 168, 2020, Pages 224-231, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.264>.
- Matthieu Dubarry, Arnaud Devie, Karl Stein, Moe Tun, Marc Matsuura, Richard Rocheleau, Battery Energy Storage System battery durability and reliability under electric utility grid operations: Analysis of 3 years of real usage, Journal of Power Sources, Volume 338, 2017, Pages 65-73, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.11.034>.
- Mohd Rizwan Khalid, Mohammad Saad Alam, Adil Sarwar, M.S. Jamil Asghar, A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid, eTransportation, Volume 1, 2019, 100006, ISSN 2590-1168, <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100006>.
- Muhammad Babar, Muhammad Usman Tariq, Mian Ahmad Jan, Secure and resilient demand side management engine using machine learning for IoT-enabled smart grid, Sustainable Cities and Society, Volume 62, 2020, 102370, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102370>.
- Musa Khan, Haishun Sun, Yingmeng Xiang, Di Shi, Electric vehicles participation in load frequency control based on mixed H2/H∞, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 125, 2021, 106420, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106420>.
- Nadhirah O., Mohd Aifaa M.A., Ainnur Farah Izzati M.S., Muhammad Syafiq Anwar M. (2020). Estimating synthetic load profile based on student behavior using fuzzy inference system for demand side management application. DOI:10.3906/elk-1912-101
- Nikolaos Iliopoulos, Miguel Esteban, Shogo Kudo, Assessing the willingness of residential electricity consumers to adopt demand side management and distributed energy resources: A case study on the Japanese market, Energy Policy, Volume 137, 2020, 111169, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111169>.
- Renault MAİS MOTORLU ARAÇLAR İMAL VE SATIŞ A.Ş. Erişim adresi: <https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/sarj-batarya.html>
- S. Pal, M. Kumar and R. Kumar, "Price Aware Residential Demand Response With Renewable Sources and Electric Vehicle," 2017 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), 2017, pp. 211-214, doi: 10.1109/WIECON-ECE.2017.8468915.
- Sen, G., Boynuegri, A.R., Uzunoglu, M. (2011). ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ARAÇLARIN ŞEBEKEYLE BAĞLANTISINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ. DOI:10.13140/2.1.1956.8648.
- Sevgi L. 2005. EMC, Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi, Endüstri & Otomasyon Dergisi. 3. Şimşek B. 2011. Lisanssız Elektrik Üreticilerinin Elektrik Dağıtım Sistemine Bağlantı Usul ve Esasları ile ilgili Teknik Sorunlar Semineri. 4. Basa Arsoy A., Perdahçı C., 2010. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI), 13 Mayıs 2010, İstanbul.

- Simona-Vasilica Oprea, Adela Bâra, Bogdan George Tudorică, Maria Irène Călinoiu, Mihai Alexandru Botezatu, Insights into demand-side management with big data analytics in electricity consumers' behaviour, Computers & Electrical Engineering, Volume 89, 2021, 106902, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106902>.
- Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi [TEDAŞ]. (2021). *Elektrik Tarifeleri*. Erişim adresi: https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler.
- Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği [TEHAD]. (2020, Temmuz). *Türkiye Elektrikli Otomobil Satış Rakamları*. Erişim adresi: <http://tehad.org/2020/07/23/2020-ilk-6-ayinda-satilan-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-aciklandi/>
Volume 147, 2021, 111243, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111243>.
- World Meteorological Organization [WMO]. (2020). *Daily ISTANBUL mean temperature*. Erişim adresi: <http://climexp.knmi.nl/start.cgi>.
- Yapıcı, R., Güneş, D., Yörükeren, N. (2016). ELEKTRİKLİ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE OLASI ETKİLERİ. Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23_ek.pdf
- Zhu, J.G. & Islam, Md Rabiul & Hu, Jiefeng & Prasetya, S. & Zhan, Y. & Jafari, M. & Pham, H.D. & Guo, Youguang. (2015). Distributed energy resource with PEV battery energy storage in the smart grid. 10.1049/PBPO079E_ch3.