

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**AFET SONRASI SÜREÇTE BİNA–ARAÇ–BİNA YÖNTEMİYLE ENERJİ
ESNEKLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Emir Kaan TUTUŞ

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ONAT**

MANİSA–2024

EMİR KAN
TUTUŞ

AFET SONRASI SÜREÇTE BİNA-ARAÇ-BİNA YÖNTEMİYLE ENERJİ
ESNEKLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

2024

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Emir Kaan TUTUŞ



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	V
ABSTRACT	VI
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ	1
-------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
2.1. Tezde Önerilen Sistemin Tanıtımı.....	8
2.2. Matematiksel Modelleme	12
2.2.1. Amaç Fonksiyonu.....	12
2.2.2. Konfor Kısıtları	13
2.2.3. Yük Seviyesi Kısıtları.....	14
2.2.4. Güç Dengesi Kısıtı.....	14
2.2.5. Elektrikli Araç Kısıtları.....	14

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	16
3.1. Senaryo Çalışmaları.....	16
3.2. Senaryoların Analizi	18

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	44
KAYNAKÇA	47

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Emir Kaan TUTUŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ONAT

Dünyada deprem, sel gibi yüksek etkili düşük olasılıklı olayların sık sık meydana gelmesi, güç sistemlerinde önemli hasarlara, elektrik kesintilerine yol açar ve son kullanıcılar için yaşam kalitesini olumsuz etkiler. Bu zorluklara yanıt olarak, son zamanlarda giderek daha fazla kullanılan Dağıtık Enerji Kaynakları (Distributed Energy Resources, DER) ve Elektrikli Araçlar (EA), afet sonrası dönemde evsel tüketicilere mümkün olduğunca enerji temini sağlama konusunda odak noktası haline gelmiştir. Ancak, şebekeye bağlı modda çalışan DER'lerin afet sonrası süreçte güç üretememeleri, EA bataryasının sınırlı enerjisi, evlerin enerji eksikliği yaşamasına ve düşük esnekliğe sahip olmalarına neden olur. Sonuç olarak, bu durumun farklı kaynaklara sahip evlerin sinerjik etkileşimi yoluyla ele alınması potansiyel bir çözüm olarak görülebilir. Bu nedenle, bu tezde, bir afetin ardından şebekeden ve birbirlerinden elektriksel olarak izole hale gelen iki evin sahip olduğu farklı kaynakların iş birliğine dayalı kullanımı yoluyla enerji esnekliğini artırmak için ayrıntılı bir Sinerjik Ev Enerji Yönetim Sistemi (S-EEYS) geliştirilmiştir. Evler arasında EA vasıtasıyla enerji transferine olanak sağlayan Bina-Araç-Bina (Building-to-Vehicle-to-Building, V2B²) teknolojisi, tasarlanan S-EEYS'ye entegre edilmiştir. Ayrıca önerilen algoritma, kullanıcıların refah düzeylerini dikkate alarak afet sonrasında sistemin konfor kaybı düzeyini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Benzetim çalışması sonuçları, önerilen algoritmanın sistemin konfor kaybı seviyesinde en az %22.26 oranında azalma sağlayarak enerji esnekliğini önemli ölçüde artırdığını doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinerjik ev enerji yönetim sistemi, bina-araç-bina teknolojisi, enerji esnekliği, dağıtık enerji kaynakları, doğal afetler.

2024, 49 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Emir Kaan TUTUŞ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ONAT

The frequent occurrence of high impact low probability events such as earthquakes, floods worldwide cause significant damage to power systems, power outages and adversely affecting the quality of life for end-users. In response to these challenges, Distributed Energy Resources (DER) and Electric Vehicles (EV), which have become increasingly prevalent, have recently become a focal point for supplying energy to residential consumers in the post-disaster period. However, the inability of grid-connected DER to generate energy during post-disaster, the limited energy of EV batteries aftermath of a disaster, causing the lack of energy and lower resilience level in houses. As a result, addressing these challenges through the synergistic interaction of houses with various resources can be seen as a potential solution. Therefore, in this thesis, a detailed Synergistic Home Energy Management System (S-HEMS) is developed to enhance energy resilience through the collaborative utilization of various resources owned by two houses that become electrically isolated from the grid and each other in a post-disaster. The Building-to-Vehicle-to-Building (V2B²) technology, enabling energy transfer between houses via EV, is integrated into the designed S-HEMS. Additionally, the proposed algorithm aims to minimize the system discomfort in post-disaster while considering the well-being of households. The simulation results are confirmed that the proposed algorithm significantly increases the energy resilience by providing a mitigation in the discomfort of the system by at least 22.26%.

Keywords: Synergistic home energy management system, building-to-vehicle-to-building technology, energy resilience, distributed energy resources, natural disasters.

2024, 49 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Deprem, sel gibi doğal afetler, ülkemiz başta olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde meydana getirdiği zararlardan dolayı ülkeleri sosyoekonomik açıdan zarara uğratmaktadır. Bu zararların başında elektrik kesintilerinden kaynaklı olarak hane halklarının elektrik enerjisine erişim konusunda sıkıntı yaşamaları gelmektedir. Bu bakımdan, afet sonrası süreçlerde hane halklarının enerji esnekliğini iyileştirmek için çalışmalar yaparak mümkün olduğunca normal koşullarda yaşamlarına devam etmeleri sağlanmalıdır. Bu nedenle, bu çalışmada, bir topluluk içerisinde farklı dağıtık kaynaklara sahip olan evsel üreten-tüketicilerin kaynaklarını iş birliği içerisinde kullandığı sinerjik ev enerji yönetim sistemi önerilmiştir. Tez kapsamında birinci bölümde doğal afetler, afetlerin meydana getirdiği sonuçlarla ilgili istatistikler ve literatürde afet sonrası süreçte evsel yapılarda enerji esnekliğinin dikkate alındığı konularla ilgili literatürde yer alan çalışmalar bulunmaktadır. İkinci bölümde, tez çalışmasında dikkate alınan sistemin tanıtımı ve matematiksel formülasyonu sunulmuştur. Üçüncü bölümde oluşturulan senaryolar anlatılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise, yapılan çalışma özetlenmiş, elde edilen çarpıcı sonuçlar yorumlanmış, değerlendirmeler yapılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında hem akademik hem de manevi açıdan bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Sayın Nevzat ONAT'a ve Arş. Gör. Sayın Alper Kağan CANDAN'a, teşekkürlerimi borç bilirim. Hayatımın her anında hep arkamda duran, beni desteklemeyi bir an bile bırakmayan, yardımlarını hiç esirgemeyen, birçok fedakarlık yaparak bana hem maddi hem manevi olarak hep yanımda olduğunu hissettiren kıymetli aileme ve değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak yüksek lisans eğitimim sırasında başvurduğum 2210-A burs programı kapsamında almaya hak kazandığım burs ile maddi açıdan bana destek sağlayan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na (BİDEB) da teşekkür etmek isterim.

Emir Kaan TUTUŞ
Manisa, 2024

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Δt	Zaman aralığı [dakika]
APS	Adil Paylaşım Sınırı
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama
AR	Otoregresif
α_i	Otoregresif Bileşeninin Katsayısı
β_j	Hareketli Ortalama Bileşeninin Katsayısı
D	Evler Arası Mesafe [km]
DK^{EA}	Elektrikli Aracın Deşarj Kapasitesi [W]
DER	Dağıtık Enerji Kaynakları
e	Beyaz Gürültü Terimi
EA	Elektrikli Araçlar
E^{kayıp}	Birim Mesafe [km] Başına Elektrikli Araç Bataryasındaki Enerji Kaybı
BESS	Enerji Depolama Sistemleri
EEYS	Ev Enerji Yönetim Sistemi
FV	Fotovoltaik
h	Ev Sayısı
MA	Hareketli Ortalama
p	Otoregresif Bileşeninin Derecesi
P_{bozunum}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Hane Halkının Yük Seviyelerinde Belirtilen Cihazların Dışında Cihaz Kullanma Durumu [W]
P^{Ek}	Sabit [W]
P^{FVÜretim}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde çatı tipi Fotovoltaik Sistemden Üretilen Güç [W]
P^{Tüketim}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Tüketilen Güç [Wh]
P^{EADeşarj}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Elektrikli Aracın Deşarj Seviyesi [W]
P^{EASarj}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Elektrikli Aracın Şarj Seviyesi [W]
P^{Yük}_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Hane Halkının Belirtilen Yük Seviyeleri Sınırları İçerisinde Yapabildikleri Güç Tüketimi [Wh]
R¹_{t,h}	Her Bir t Anında Her Bir h Evinde Elektrikli Aracın Bulunmama Durumuna Göre Elde Edilen Konfor Kaybı Puanı

$R^2_{t,h}$	Her Bir t Anında Her Bir h Evindeki Hane Halkının İsteddiği Cihazı Çalıştıramama Durumuna Göre Elde Edilen Konfor Kaybı Puanı
$RS^i_{t,h}$	Her Bir t Anında Her Bir h Evindeki Hane Halkının İsteddiği Cihazı Çalıştıramama Durumuna Göre Aktif Olan Konfor Kaybı Seviyesine Karşılık Gelen Puan
S-EEYS	Sinerjik Ev Enerji Yönetim Sistemi
S_t	Güneş Enerjisi Üretiminin t Anındaki Değeri [Wh]
SoE_t	Her Bir t anında Elektrikli Araç Bataryasındaki Enerji [Wh]
SoE_{t-1}	Bir Önceki t anında Elektrikli Araç Bataryasındaki Enerji [Wh]
$SoE^{baş}$	Başlangıç Anında Elektrikli Araç Bataryasındaki Enerji [Wh]
SoE^{min}	Elektrikli Araç Bataryasında Bulunması Gereken Minimum Enerji [Wh]
SoE^{maks}	Elektrikli Araç Bataryasında Bulunması Gereken Maksimum Enerji [Wh]
$SoE^{kayıp}_t$	Elektrikli Araç Bataryasında Evler Arası Yolculuk Sırasında Meydana Gelen Enerji Kaybı [Wh]
$ŞK^{EA}$	Elektrikli Aracın Şarj Kapasitesi [W]
$TR_{t,h}$	Her Bir t Anında Her Bir h Evindeki Toplam Konfor Kaybı Puanı
t	Zaman [dakika]
$t^{baş}$	Afet Sonrası Sürecin Başlangıç Anı
t^{son}	Afet Sonrası Sürecin Bitiş Anı
$t^{geçiş}$	Elektrikli Aracın Evler Arasında Geçiş Yaparken Yolculuk Boyunca Geçen Süre [dakika]
$u^{EA}_{t,h}$	t Anında h Evinde Elektrikli Aracın Bulunup Bulunmadığını İfade Eden İkili Değişken
$u_{t,h}$	t Anında h Evinde Elektrikli Aracın Aynı Anda Şarj ve Deşarj Olmasını Engelleyen İkili Değişken
q	Hareketli Ortalama Bileşeninin Derecesi
$V2B^2$	Bina-Araç-Bina Teknolojisi
$V2H$	Araçtan-Eve Teknolojisi
$V2X$	Araçtan-Herhangi Bir Şeye Teknolojisi
YS	Yük Seviyesi
η	Elektrikli Araç Bataryasının Verimi [%]

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Tez Çalışmasının Odaklandığı Sistemin Temel Yapısı.....	10
Şekil 2. 2. Evsel Elektrikli Cihazların Afet Sonrası Önemine Göre Seviyelendirilmesi.	11
Şekil 2. 3. Tezde Hane Halkı Konfor Kaybı Puanlarının Hesaplanma Yöntemi.....	12
Şekil 3. 1. Senaryolarda Dikkate Alınan Afetten Etkilenmiş Şebeke Yapısı.	16
Şekil 3. 2. Senaryo 1 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	19
Şekil 3. 3. Senaryo 1 için V2B ² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları... ..	20
Şekil 3. 4. Senaryo 1'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B ² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	20
Şekil 3. 5. Senaryo 1'de V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	22
Şekil 3. 6. Senaryo 2 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	23
Şekil 3. 7. Senaryo 2 için V2B ² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları... ..	24
Şekil 3. 8. Senaryo 2'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B ² Tabanlı S-EEYS operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	24
Şekil 3. 9. Senaryo 2'de V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	26
Şekil 3. 10. Senaryo 3 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	27
Şekil 3. 11. Senaryo 3 için V2B ² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları... ..	28
Şekil 3. 12. Senaryo 3'de V2H Tabanlı EEYS ve önerilen V2B ² tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	29
Şekil 3. 13. Senaryo 3'de V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	31
Şekil 3. 14. Senaryo 4 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	32
Şekil 3. 15. Senaryo 4 için V2B ² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları... ..	32
Şekil 3. 16. Senaryo 4'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B ² tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	33
Şekil 3. 17. Senaryo 4'de V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	35

Şekil 3. 18. Senaryo 5 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	35
Şekil 3. 19. Senaryo 5 için V2B ² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları....	36
Şekil 3. 20. Senaryo 5'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B ² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	37
Şekil 3. 21. Senaryo 5'de V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	38
Şekil 3. 22. Senaryo 6 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	39
Şekil 3. 23. Senaryo 6 için V2B ² Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.	40
Şekil 3. 24. Senaryo 6'da V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B ² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.	40
Şekil 3. 25. Senaryo 6'da V2H Tabanlı EEYS ile V2B ² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.	42

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. EEYS ile İlgili Çalışmaların Kıyaslanması.....	7
Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Elektrikli Aracın Özellikleri.....	17
Tablo 3.2. Senaryo Detayları.....	18
Tablo 3.3. Topluluğun Afet Sonrası Konfor Kaybının İyileştirilmesi Açısından Önerilen V2B ² Tabanlı S-EEYS ile V2H Tabanlı EEYS'nin Karşılaştırılması.....	43



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Düşük olasılıklı, ani, kontrol edilemeyen ve yüksek etkili olarak karakterize edilen doğal afetler [1], yaşamsal kayıplara, yaralanmalara ve ekonomik hasarlara sebep olma eğilimindedirler. Bu tür felaketler, sıklıkla beklenmedik ve hızlı bir şekilde meydana gelmektedirler ve bunun sonucunda insanların hayatlarını ciddi şekilde etkilemektedirler. Gelişen bilimsel araştırmalar, doğal afetlerin sıklığının ve şiddetinin son yıllarda önemli ölçüde arttığını göstermektedir. 1980-1999 ve 2000-2019 dönemlerini kıyaslayan analizler, doğal afet sayısında %35'lik bir artış olduğunu belirtmektedir. Bu artış eşliğinde, afetlerden kaynaklanan toplam insan kayıplarının 1.19 milyondan 1.23 milyona, ekonomik kayıpların ise 1.63 trilyon dolardan 2.97 trilyon dolara yükseldiği görülmektedir [2]. Bu sayıların artması, milletlerin sosyo-ekonomik güçlerinin zayıflamasına ve çevre sorunlarının artmasına sebep olmanın yanı sıra, elektrik altyapısına da ciddi derecede zararlar vermektedir. Bunun sonucunda kısa veya uzun süreli elektrik kesintileri meydana gelmektedir [3], [4].

Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde 2012 yılında meydana gelen Sandy Kasırgası, binlerce güç kablosunun hasar görmesi sonucunda yaklaşık 7.5 milyon insanın elektrik erişiminde sıkıntılar yaşamasına neden olmuştur [5]. 2018'de Japonya'daki Hokkaido Iburi Tobu Depremi sırasında ise 2.95 milyon ev elektriksiz kalmıştır [6]. Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan ve 11 ilde etkili olan yıkıcı deprem felaketi ciddi yıkımlara neden olarak ülkenin altyapısına zararlar vermiştir. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yapılan açıklamada, felaketin ardından 1128 kilometre uzunluğundaki elektrik iletim hattını birbirine bağlayan 11 direğin yıkıldığı ve toplam güç kapasitesi 4088 MVA olan trafo merkezi ve ekipmanlarının hasar gördüğü ifade edilmiştir [7]. Bu felaket sonucunda, şehir sakinlerinin %96'sının elektrik enerjisinden mahrum kaldığı tespit edilmiştir. Bu örnekler, doğal afetlerin elektrik altyapısına olan ciddi etkilerini ve toplumların bu tür felaketlerle karşı karşıya kaldığında maruz kaldığı zorlukları vurgulamaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, doğal afetlerin elektrik şebekeleri üzerinde önemli etkileri olabilir ve şebekenin eski haline dönmesi uzun bir süreç gerektirebilir. Bununla birlikte elektrik enerjisi, iletişim, ısınma ve beslenme gibi temel ihtiyaçların

karşılanmasında kritik bir rol oynamaktadır ve afet sonrası dönemde en önemli gereksinimlerin başında gelmektedir. Elektrik enerjisinin eksikliği, afet mağdurları için hayati tehlikeler oluşturabilir ve yaşamsal faaliyetlerin aksamasına neden olabilir. Bu nedenle, elektrik sisteminin afetlere karşı esnekliğini artırmak, afet sonrası süreçte mağdurların hayatta kalması için kritik bir öneme sahiptir. Bu, elektrik altyapısının güçlendirilmesi, yedek güç kaynaklarının sağlanması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gibi çeşitli önlemleri içerebilir. Bu önlemler, afetlerin yol açtığı elektrik kesintilerinin etkilerini en aza indirerek toplumların esnekliğini artırabilir ve afet sonrası toparlanma sürecini hızlandırabilir.

Geleneksel elektrik şebeke altyapısında yer alan transformatörler, iletim ve dağıtım hatları gibi temel bileşenler, doğal afetlerde zarar görebilir veya devre dışı kalabilir, böylece elektrik kesintilerine neden olabilirler. Ancak, Dağıtık Enerji Kaynakları (Distributed Energy Resources, DER) olarak adlandırılan ve tüketicilerin evlerine yakın yerlerde kurulabilen, özellikle Fotovoltaik (FV) gibi enerji üretim kaynaklarının giderek daha fazla benimsenmesiyle [8], tüketiciler kendi evlerinde elektrik üretebilir ve tüketebilir hale gelmektedirler. Bu şekilde, tüketiciler, “üreten-tüketiciler” olarak adlandırılan bir yapıya dönüşerek, afet sonrası dönemde enerji esnekliğini artırabilirler, böylece, afet nedeniyle mağdur olan evsel tüketiciler, temel şebeke bileşenlerine gerek kalmadan enerjiden faydalanabilirler. Öte yandan, son yıllarda dünya çapında büyük bir ilgi gören Elektrikli Araçların (EA) kullanımı [9] esneklikle ilgili çalışmalarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır [10], [11]. Bu çalışmaların bir sonucu olarak, Araçtan-Herhangi Bir Şeye (Vehicle-to-Everything, V2X) kavramı ortaya çıkmıştır [12]. Spesifik olarak, bu uygulamalardan bir tanesi, EA bataryasının gerekli zamanlarda hane halkı için Enerji Depolama Sistemi (Battery Energy Storage System, BESS) olarak hizmet verdiği Araçtan-Eve (Vehicle-to-Home, V2H) teknolojisidir. EA’lar, talebin düşük olduğu ve DER’den üretimin talebe kıyasla daha fazla olduğu zamanlarda EA şarj olabilirken, talebin yüksek olduğu ve üretimin talebi karşılamaya yetmediği zamanlarda araç depoladığı enerjiyi deşarj edebilmektedir. Bu nedenle, kesinti sonrasında enerji esnekliğinin artırılması için EA’ların güç kaynağı olarak kullanılması literatürde geniş çapta incelenmektedir [13].

Buna bağlı olarak, [14]’de, kesinti durumlarında binanın enerji kesintisinden etkilenmemesini sağlamak amacıyla, DER, EA, dizel jeneratör ve talep yanıtı gibi farklı araçların entegre edildiği Ev Enerji Yönetim Sistemi (EEYS) önerilmiştir.

Benzetim sonuçlarına göre, tasarlanan sistem sayesinde binanın kesintiden etkilenmeyip enerjiye erişiminin devam ettiği görülmüştür. Ek olarak, önerilen sistemin doğrulanması amacıyla deneysel çalışmalar da yapılmış, DER, EA, dizel jeneratör ve talep yanıtının sistemde olmadığı durumlar incelenmiştir. Bu durumda sistemin binayı enerjilendirme maliyeti sırasıyla %900, %230, %84 ve %322 artmıştır. Bu bulgular, farklı kaynakların bir arada kullanılmasıyla oluşturulan sistemlerin, kesinti durumlarında binanın enerjiye erişimini sağlama potansiyeline ve farklı enerji kaynaklarının entegrasyonunun önemine işaret etmektedir.

[15]'de, planlı kesinti süresince bir eve sağlanacak gücün en yüksek seviyede olması için mevcut kaynakların kullanımını en uygun şekilde planlayan yeni, esnek bir EEYS önerilmiştir. Bu sistemin işleyişi, şebeke tarafından planlanan kesinti bilgilerinin EEYS'ye iletilerek, kesinti saati, süresi gibi bilgilerin kullanılarak EEYS'nin planlamasını oluşturmasına dayanmaktadır. Bu bağlamda, evsel elektriksel cihazlar kontrol edilebilirlik ve edilemezliğine göre 2 farklı sınıfta kategorilendirilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanıcının memnuniyet (user disutility) derecesi de modellenmiş ve kullanıcının tercihiye göre cihaz kullanımına (kontrol edilebilir yükler) dikkat edilmiştir. Çalışma sonucunda, kesinti boyunca bütün yüklerin enerjilendirilebildiği görülmüştür. Bununla birlikte, kullanıcı memnuniyetsizliğinin artmasına neden olsa da FV'den faydalanmanın en üst düzeye çıkması için yüklerin daha farklı zamanlara kaydırılmasının optimize edilmesinin gerekli olduğu belirlenmiştir.

Yukarıdaki çalışmalar dışında, EA'ların özellikle afetlerden etkilenen topluluklardaki ve hem şebekeden hem de çevredeki diğer birimlerden elektriksel olarak izole hale gelmiş mağdurların enerji esnekliğini artırmak için potansiyel bir çözüm olarak incelenmekte ve afet sonrası süreçlerde sağlayabileceği avantajları ve bu araçların afetzedelere nasıl yardımcı olabileceği araştırılmaktadır.

[16]'da yazarlar tarafından önerilen çalışmada, afet sonrası süreçte şebeke esnekliğini artırmak amacıyla EA ve FV'nin kullanıldığı bir EEYS önerilmiştir. Ayrıca, önerilen sistemde kullanıcı konforunun iyileştirilmesine de odaklanılmıştır. Evsel elektriksel cihazların afet sonrası önem derecelerine göre sınıflandırılması ve yük seviyelerinin belirlenmesi yapılmıştır. Çalışmada önerilen algoritma, bir kesinti veya güç sınırlaması durumunda, dağıtık kaynaklardaki enerji seviyelerini her bir yük seviyesine karşılık gelen tüketim değerleriyle karşılaştırarak, sınırlı EA enerjisinin

israfını önlemek için en az önemli yükün bağlantısını kesmektedir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın afet sonrası süreçte eve enerji tedarik süresini geleneksel algoritmalara kıyasla %25 ile %471 arasında arttırdığını göstermektedir. Bu bulgular, EA ve FV gibi dağıtık enerji kaynaklarının kullanımının, şebeke esnekliğini artırmada ve kullanıcı konforunu iyileştirmede etkili bir strateji olabileceğini vurgulamaktadır.

Benzer şekilde [17]'de şebeke esnekliğinin artırılması için afet sonrası süreçte yaşanan kesinti sırasında evsel tüketicilere güç sağlanması için hibrit bir yaklaşım olan FV ve EA'dan oluşan yedek güç sistemi tasarımı önerilmiştir. Bu çalışmada, evsel elektriksel cihazların kullanım tahminleri dikkate alınarak, hibrit yaklaşımın evsel tüketicilere sağlayabileceği güç miktarı hesaplanmıştır. Afetin şiddetine bağlı olarak acil ve aşırı acil olmak üzere iki senaryo dikkate alınmış, aşırı acil senaryolarda temel ihtiyaçların (ısınma, soğuma ve beslenme) karşılanması için algoritma ile bazı cihazların devre dışına alınarak yük atımı yapılması sağlanmıştır. Sonuçlar, önerilen sistemin en kötü koşullarda bile evsel tüketicilere yaklaşık 6 gün boyunca güç sağlayabileceğini göstermiştir.

Bir başka çalışmada ise, farklı zamanlarda ve farklı sürelerde meydana gelen kesintiler sonucunda bir evin enerji esnekliğini artırmak için FV ve EA'nın bir arada kullanıldığı bir sistem önerilmiştir. Bu modelin başlıca hedefleri arasında, kritik yükler için sürekli bir enerji tedariki sağlama ve hizmet kesintilerini en aza indirme yer almaktadır. Eve ait yükler baz ve kritik olarak iki kategoriye ayrılmış olup kesinti süresi boyunca kritik olarak belirlenen yüklerin mümkün olan hepsinin enerjilendirilmesi amaçlanmıştır. EA ve FV'nin sisteme katkı sağlayamadığı durumlarda kullanılmak üzere baz yükler için yük atma stratejisinden de faydalanılmıştır. Çalışma, tekil, ikili ve uzun olaylar olarak üçe ayrılmış olup, tekil ve ikili olaylar; kısa süreli kesintiler için birer saatlik, uzun olaylar ise uzun süreli kesintiler için bir günlük kesinti senaryosu altında çalıştırılarak modelin doğruluğu test edilmiştir. Şebeke ile elektriksel olarak bağlantısı kalmayan evin ikili olaylar için incelendiği durumda, FV üretiminin devam ettiği durumlarda, modelin tüm kritik yüklerin enerji ihtiyacını karşılayabildiğini ortaya koyarken, FV üretiminin kesintiye uğradığı senaryolarda, kritik yüklerin yalnızca %51.5'ine enerji sağlanabildiği gözlemlenmektedir [18]. Bu bulgular, bina içindeki enerji sistemlerinin entegrasyonunun kritik öneme sahip olduğunu ve sürekli enerji tedarikini sağlama potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Başka bir perspektif ise; bir topluluk içerisinde bulunan farklı konutlardaki çeşitli kaynakların bir arada kullanılması ile, yerleşim alanları arasında enerji paylaşım sistemlerinin uygulanmasıdır. Bu yaklaşım, afet sonrası süreçte topluluğun esnekliğini iyileştirmek için etkili bir çözüm sunmaktadır [19], [20]. Bu sistem, bir topluluk içindeki çeşitli evlerde bulunan DER'leri, BESS'leri ve enerji tüketimlerini optimize ederek enerji paylaşımını ve dağıtımını sağlar. Bu sayede, afet sonrası süreçte bir evdeki enerji kaynağının yetersiz olduğu durumlarda diğer evlerden enerji alınabilir ve böylece topluluk genelinde enerji esnekliği artırılabilir.

Çalışma [21]'de yazarlar, güç kesintisinden sonra konutlardaki kritik yüklerin birden fazla EA kullanılarak beslenmesi için bir optimizasyon modeli tasarlamışlardır. Kendine ait bağımsız kaynaklara sahip olmayan evlerin enerjiden mahrum kalmaması için V2H teknolojisi Vs2Hs'e genişletilmiştir. Yapılan ortak kaynak kullanımı ile, düşük talep döneminde ada modunda kritik yük atımı yapmadan (back-up süresi) 9.3 ile 15 gün enerji sağlayabilirken, yüksek talep döneminde bu süre 3 ile 5 gün arasında gerçekleşmiştir. Ancak bu çalışmada sadece back-up süresi hesaba katılmış, evsel tüketicilerin konforu dikkate alınmamıştır.

[22]'de, ticari ve evsel binaların hem normal çalışma koşullarında hem de elektrik kesintisi durumlarında enerji maliyetinin en aza indirilmesi ve enerji esnekliğinin artırılması için, EA'lar için paylaşımlı park istasyonu ve talep yanıtı programı geliştirilmiştir. Yükler, sabit ve değişken yükler olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji kesintileri sırasında yüklerin maksimum 7 saat boyunca beslenebileceğini göstermektedir. Yükleri basit sınıflara ayırmak yerine, daha detaylı olarak afet sonrası önemlerine göre sınıflandırılması, yaşanan felaket sonrasında temel ihtiyaçların daha uzun süre karşılanmasını sağlayabilir.

[23]'de binalar arasında enerji transferini EA vasıtasıyla gerçekleştirerek maliyetleri en aza indirmeyi amaçlayan bir enerji yönetimi algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise, elektrikli ev aletleri kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak sınıflandırılmıştır; ayrıca, diğer çalışmalardan farklı olarak termal enerji dengesi de dikkate alınmıştır. Bu makalede odaklanılan nokta, şebeke dışı çalışma koşullarındaki toplam maliyet olup (Bu çalışmadaki şebeke dışı çalışma koşulu, afetten kaynaklanan kesintilerden bağımsızdır.), ayrıca ev sakinlerinin konforunun adil bir şekilde dağıtılması dikkate alınmamıştır.

Tablo 1.1., konut binaları üzerine yapılan mevcut EEYS çalışmalarına kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Bu çalışmaların çoğu, mevcut kaynakları kullanarak konut sakinlerinin enerji esnekliğini iyileştirmeye odaklanmıştır. Ancak, tüm konutlar afet sonrası sürecin tamamını mevcut kaynaklarla idare edemezler. Bu gerçeklik göz önünde bulundurularak, elektriksel olarak izole hale gelen topluluk içerisindeki farklı dağıtık kaynakları içeren konutlar arasında işbirlikçi yaklaşımların yapılması, afet sonrası süreçte hane halklarının enerji esnekliğini artırmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, farklı dağıtık kaynaklara sahip olan birimler arasında iş birliği stratejileri uygulayan çalışmaların sayısı oldukça azdır.

Bu tezde, literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla, afet sonrası süreçte bir topluluğun enerji esnekliğini artırmak için Sinerjik Ev Enerji Yönetim Sistemi (S-EEYS) önerilmiştir. Çalışmada, topluluk içerisinde iki ev dikkate alınmış ve bu evler, afet sonrasında elektrik şebekesinden ve birbirlerinden elektriksel olarak izole edilmiş farklı alanlarda bulunmaktadır. Bir evde şebekeye bağlı olarak çalışan çatı tipi FV bulunurken, diğerinde ise EA bulunmaktadır. V2B² teknolojisi, şebekeden izole hale gelmiş evler arasında EA aracılığıyla enerji transferini sağlamak için S-EEYS'ye entegre edilmiştir. Ayrıca, bu sisteme dahil olan farklı ev profilleri göz önüne alındığında, önerilen algoritma, enerjiyi evler arasında eşit olarak paylaşmak yerine, sinerjik yaklaşıma katılan birimler arasında konforu adil bir şekilde paylaştırmayı amaçlamaktadır. Ek olarak, elektrikli ev aletleri, afet sonrası süreçte kesinti boyunca EA'nın bataryasındaki sınırlı enerjinin tükenmeden kullanılmasını sağlamak için afet sonrası önemlerine göre farklı yük seviyelerine ayrılmıştır. Bu tezin katkıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Afet sonrası süreçte bir topluluğun enerji esnekliğini artırmak için, elektriksel olarak izole olan alanlarda bulunan yerleşim birimleri arasında V2B² aracılığıyla sinerjik bir yaklaşım geliştirilmesi,
- Afet sonrası süreçte bina sakinlerinin konforu göz önünde bulundurularak birimler arasında iş birliği yapılabilmesini sağlayan S-EEYS tasarımı,
- Afet sonrası önemine göre sınıflandırılan yük seviyelerinin ve sınırlı EA enerjisinin ayarlanması yoluyla afet sonrası süreçte sinerjik birimler arasında maruz kalınan konfor kaybının adil paylaşımının sağlanması,

- Afet sonrası süreçte V2B² kısıtlamaları ile sinerjik konut birimleri için afet sonrası konfor kaybına dayalı optimizasyon modelinin geliştirilmesi.

Tablo 1.1. EEYS ile İlgili Çalışmaların Kıyaslanması.

Ref. No.	DER	TYS	ÇYS	HHK	Doğal Afetler	Elektrik Kesintisi	V2B ²
[15]	+	+	-	+	-	+	-
[18]	+	+	-	-	+	+	-
[21]	+	-	-	-	+	+	+
[22]	-	+	-	-	+	+	-
[23]	+	+	-	-	-	+	+
[24]	+	-	-	-	-	-	+
[25]	+	-	-	-	-	+	-
[26]	+	-	-	-	-	-	+
[16]	+	-	+	+	+	+	-
TÇ	+	-	+	+	+	+	+

TÇ: Tez Çalışması

TYS: Tekil Yük Seviyelendirmesi

ÇYS: Çoklu Yük Seviyelendirmesi

HHK: Hane Halkı Konforu

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Tezde Önerilen Sistemin Tanıtımı

Son yıllarda dünya genelinde, deprem ve sel gibi yüksek etkili ancak düşük olasılıklı olayların hem sıklık hem de şiddet açısından arttığı gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, afetlerin neden olduğu elektrik kesintilerinin sıklığını ve süresini azaltmak, afet sonrasında toplumun hızlı bir şekilde normale dönmesini sağlamak ve temel hizmetlerin sürdürülebilirliğini sağlamak için enerji yönetimi stratejileri üzerindeki çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu stratejiler, DEK'lerin entegrasyonundan akıllı şebeke teknolojilerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsayabilir ve afetlerin etkilerini en aza indirerek toplulukların enerji esnekliği artırılabilir [27].

Bu sebeple, bu tez kapsamında, V2B² [24] aracılığıyla bir evden diğerine enerji aktarımını sağlayan EA operasyonunun planlanmasıyla afet sonrası süreçte şebekeden ve birbirinden elektriksel olarak izole hale gelen iki farklı konuttan oluşan bir topluluğun toplam konfor kaybının azaltılarak enerji esnekliğinin artırılması amacıyla, S-EEYS geliştirilmiştir. V2B²'nin S-EEYS'ye entegre edilmesi, afet sonrasında elektriksel olarak izole hale gelen yerleşim birimleri arasında enerji paylaşımını mümkün kılmakta ve bu da topluluk düzeyinde esnekliğin iş birlikçi yaklaşımlarla iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bu şekilde, S-EEYS, afetlerin etkilerini azaltmak ve toplulukların afet sonrası dönemde daha dirençli olmalarını sağlamak için önemli bir araç olarak konumlandırılmıştır.

Bu sinerjik yaklaşıma katılan konut birimlerinin farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda, eşitlik kavramı çalışmanın kapsamına uygun olmamaktadır. Bundan dolayı, elde edilen faydaların konut birimleri arasında adil bir şekilde paylaşılması kritik öneme sahiptir. Bu sebeple, bu tezde, afet sonrası süreçte bir topluluk içindeki tüm yerleşim birimlerinde yaşayan hane halklarının konfor seviyesinin adil bir şekilde paylaşılması da dikkate alınmıştır.

Tezde önerilen sistem, çatısı şebekeye bağlı olarak çalışan FV ile donatılmış olan bir ev ve diğeri EA'ya sahip iki evden oluşmaktadır (Şekil 2.1.). Bir felaket sonrasında elektriksel olarak her iki evin de hem şebekeden hem de birbirlerinden tamamen izole durumda olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle, elektriksel olarak

yalıtılmış alanlarda bulunan mevcut dağıtık kaynaklar, sistem için birincil güç kaynakları olarak işlev görmektedirler.

Doğal afetler genellikle şebekelerdeki altyapıya zarar vererek uzun süreli elektrik kesintilerine neden olmakta ve yaşamı tehdit eden durumlara yol açmaktadırlar. Bu bakımdan, DER'ler sınırlı kapasiteye sahip olmalarına rağmen, afet sonrası süreçte hane halklarına enerji sağlamada önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu kaynakların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, afet sonrası süreç boyunca kaynakların ve yüklerin tam olarak planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu, afet sonrası süreçte topluluk içerisinde yer alan konut sahiplerinin elektrik ihtiyaçlarını karşılamak ve yaşam kalitesini iyileştirmek için kritik öneme sahiptir.

Bu süre zarfında optimal planlamanın yapılabilmesi için üretim ve tüketim değerlerinin doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tahminleme ARMA (Oto regresif Hareketli Ortalama) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. ARMA yöntemi, yüksek doğruluk seviyesine sahip olması ve güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılmasıyla bilinmektedir [28].

ARMA, güneş enerjisinden üretimi tahmin etmek için istatistiksel bir yöntem olan zaman serisi modellerinden birisi olup [29], bu model, Oto regresif (AR) ve Hareketli Ortalama (MA) bileşenlerinden oluşmaktadır. AR bileşeni, geçmiş dönemlerdeki gözlemler arasındaki ilişkiyi tanımlarken, MA bileşeni ise mevcut gözlem değerlerini geçmiş hataların bir kombinasyonu olarak açıklamaktadır. Modelin tanımı ve ARMA modelinin tahmini aşağıda (1)'de sunulmuştur. (2)'de ise formülün toplam sembolü ile ifade edilmiş versiyonu verilmiştir [30].

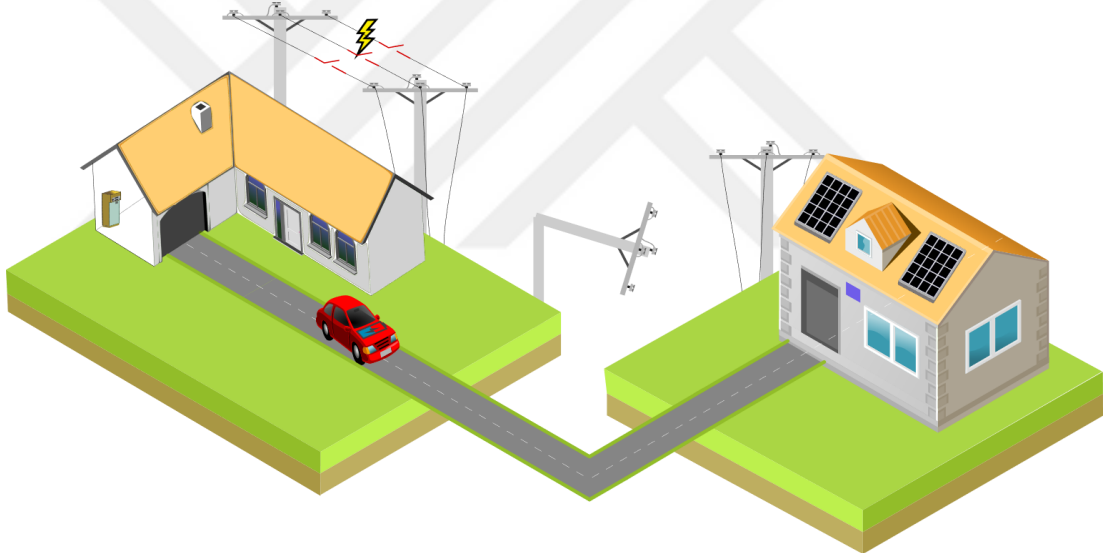
$$S_t = (\alpha_1 \cdot S_{t-1} + \alpha_2 \cdot S_{t-2} + \dots + \alpha_p \cdot S_{t-p}) + e_t + (\beta_1 \cdot e_{t-1} + \beta_2 \cdot e_{t-2} + \dots + \beta_q \cdot e_{t-q}) \quad (1)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i \cdot S(t-i) + e_t + \sum_{j=1}^q \beta_j \cdot e(t-j) \quad (2)$$

S_t ifadesi, güneş enerjisi üretiminin zaman serisi olan S 'nin t anındaki değerini temsil etmektedir. Sol taraftaki toplam sembolü, AR bileşenini, yani önceki zamanlardaki değerlerin kombinasyonunu, sağ taraftaki toplam sembolü MA bileşenini, yani hata terimlerinin kombinasyonunu ifade etmektedir. Burada p ve q , sırasıyla AR ve MA bileşenlerinin derecelerini belirtirken, α_i AR katsayısını, β_j ise

MA katsayısıdır. Ayrıca, e beyaz gürültü terimidir ve modeldeki rastgele değişkenleri ifade etmektedir.

ARMA modelini geliştirmek için sisteme dair en az bir yıllık geçmiş veriye ihtiyaç vardır. Üretim tahmininde olduğu gibi, yeterli veriye sahip olduğunda tüketim profillerini tahmin etmek için de bu modelden faydalanılabilir. Ancak afet sonrası süreç, daha önce de belirtildiği gibi normal koşullara kıyasla hane halklarının tüketim alışkanlıklarında değişikliklere yol açabilir. Bu durum, özellikle normal zamanlarda elde edilen verilere dayalı tahminlerin afet sonrası durumlar için güvenilir olmayabileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, afet sonrası süreçte hane halklarının elektrik kesintileriyle karşı karşıya kalmalarını önlemek için mümkün olan en kötü senaryoyu, yani en yüksek tüketimi, dikkate alan tüketim varsayımları kullanılmıştır.

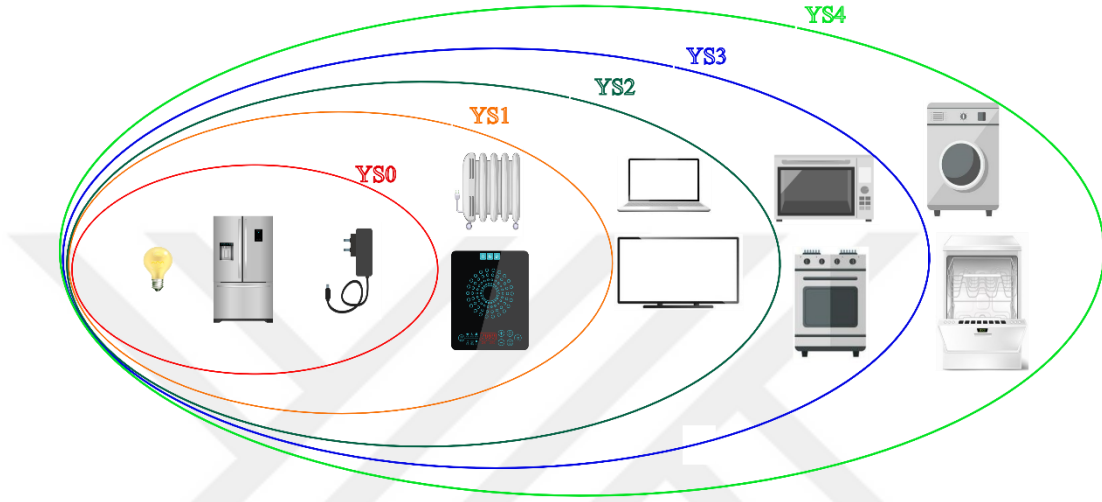


Şekil 2. 1. Tez Çalışmasının Odaklandığı Sistemin Temel Yapısı.

Normal zamanlarda düşük öneme sahip olan elektrikli cihazlar, bir afetin ardından kritik hale gelebilirler. Bu nedenle, bu cihazları basit bir şekilde sabit veya değişken yükler olarak sınıflandırmak yerine, afet sonrası önceliklerine göre sınıflandıracak detaylı bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu yaklaşım, sınırlı kaynakların en etkin şekilde kullanılmasını sağlar ve sonuç olarak hane halklarının konforunun artmasına katkıda bulunur. Bu bağlamda, bu çalışmada, evsel elektrikli cihazlar afet sonrası dönemdeki önemlerine göre farklı yük seviyelerine ayrılmıştır.

En düşük Yük Seviyesi (YS) olan YS0, bir felaket sonrasında hane halkının temel ihtiyaçlarını karşılayan cihazları içermektedir. YS arttıkça, afet sonrası önemi

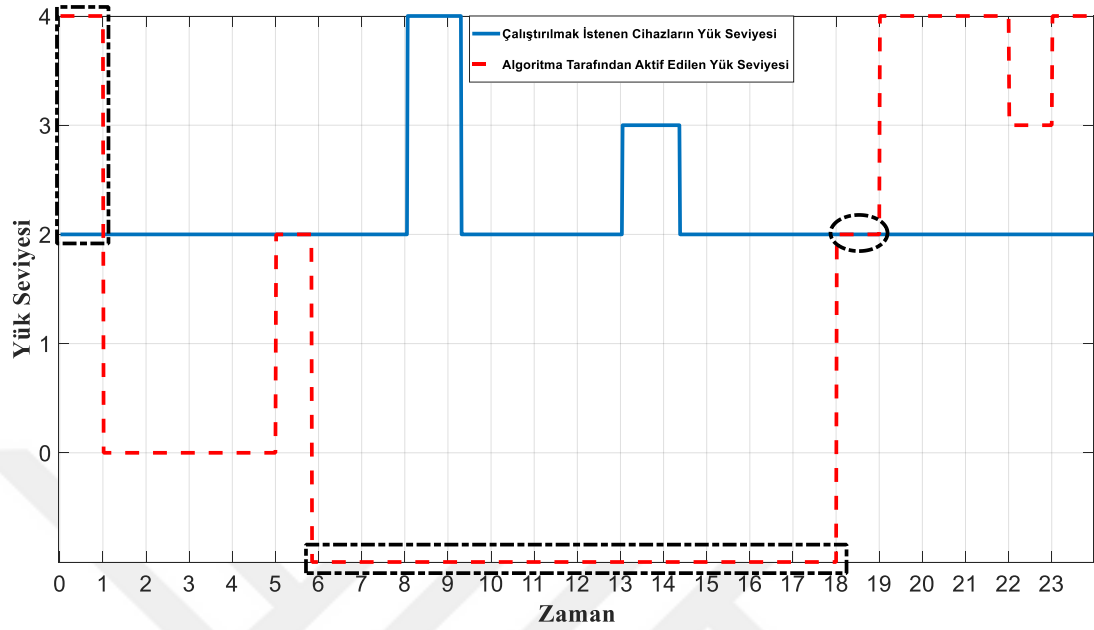
daha düşük olan ek cihazlar (örneğin mikrodalga fırın, çamaşır makinesi vb.) sisteme dahil olmaktadır. YS'ler Şekil 2.2.'de gösterilmiş olup, her bir YS'deki cihazlar Çalışma [16]'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ek olarak önerilen algoritma, değişimlerin stabil halde olmasını sağlamak için YS'lerini periyodik olarak ayarlamaktadır.



Şekil 2. 2. Evsel Elektrikli Cihazların Afet Sonrası Önemine Göre Seviyelendirilmesi.

Bu çalışma, afet sonrası süreçte bir topluluk içerisinde yer alan hane halklarının konforunu incelemektedir. Bu, bireylerin çalıştırmayı istediği tüm cihazları içeren YS ile algoritma tarafından belirlenen etkinleştirilmiş YS arasındaki farka dayanarak belirlenmektedir. Algoritma tarafından etkinleştirilen YS'de istenen cihazlar çalıştırılmadığında, mevcut ev konfor kaybına (discomfort) maruz kalarak her bir YS'ye ilişkin bir konfor kaybı puanı elde ederler. Eğer aktif YS, kişiler tarafından çalıştırılmak istenen tüm cihazları içeriyorsa, o evde konfor kaybı puanı elde edilmez. Tezde Şekil 2.3., konfor kaybı puanlarının hesaplanma yöntemini açıklamaktadır. Şekilde sol tarafta kesikli dikdörtgen içerisine alınan alanda algoritma tarafından aktif edilen YS'nin çalıştırılmak istenen cihaza ait olan YS'den yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu zaman aralığında konfor kaybı yaşanmamaktadır. Aynı şekilde konfor kaybının meydana gelmediği diğer bir durum kesikli daire içine alınan zaman aralığında da mevcuttur. Burada bu durum, algoritma tarafından aktif edilen YS'nin çalıştırılmak istenen YS ile aynı olmasından kaynaklanmaktadır. 6. ile 18. saatler arasında ise EA'nın evler arası yolculuk yaptığı ve diğer evde konumlandığı

durum bulunmaktadır. Bu zaman aralığında algoritma, aracın olmadığı evde YS aktif etmediği için eve konfor kaybı puanı eklenmektedir.



Şekil 2. 3. Tezde Hane Halkı Konfor Kaybı Puanlarının Hesaplanma Yöntemi.

2.2. Matematiksel Modelleme

Bu çalışmanın odak noktası, bir topluluğun afet sonrasında enerji esnekliğini artırmak için EA aracılığıyla evler arasında enerji transferine olanak sağlayan V2B² teknolojisi ile yerel konutların afet sonrası süreçte konfor kaybını en aza indirmektir. Konfor kaybı ile ilgili birden fazla seviye belirlenmiştir ve bu seviyeler hane halkının istenen cihazları kullanamama durumuna bağlı olarak evlere atanan puanlarla değerlendirilmektedir. Özellikle, EA'nın bir eve bağlı olmaması durumunda, ev sahipleri tüketim yapamamaktadırlar yani istedikleri cihazları kullanamazlar ve bu da evin maruz kaldığı konfor kaybını artırır. Ancak, EA'nın eve bağlı olması, cihaz kullanımını sağladığı için hane halkının konfor seviyesini artırmakta ve dolayısıyla evin elde ettiği konfor kaybı puanını azaltacak şekilde etkilemektedir.

2.2.1. Amaç Fonksiyonu

Sistemin amaç fonksiyonu, (3)'de sunulmuştur. Çalışmanın amacı, afet sonrası süreçte şebekeden elektriksel olarak izole olmuş bir topluluk içerisinde bulunan ve aynı zamanda birbirinden de elektriksel olarak izole olmuş olan evlerdeki hane halklarının toplam konfor kaybını minimize ederek topluluğun enerji esnekliğini artırmaktır.

$$\min \sum_{h=1}^2 \sum_{t=t^{bas}}^{t^{son}} TR_{t,h} \quad (3)$$

2.2.2. Konfor Kısıtları

Amaç fonksiyonunda verilen $TR_{t,h}$, iki ayrı kaynaktan oluşan konfor kaybının toplamını temsil etmektedir. Bu değere ilişkin ilgili eşitlik (4)'de verilmiştir.

$$TR_{t,h} = R_{t,h}^1 + R_{t,h}^2, \forall t, h \quad (4)$$

İlk konfor kaybı terimi ($R_{t,h}^1$), (5)'de gösterildiği gibi evde EA olması durumuna dayanmaktadır. Eğer EA eve bağlı değilse, hane halkı ilgili zaman aralıklarında yaşanan enerji arzı eksikliği sebebiyle çalıştırmak istedikleri cihazları çalıştıramadıkları için konfor seviyelerinde düşüş meydana gelmekte ve buna bağlı olarak konfor kaybı puanı elde etmektedirler.

$$R_{t,h}^1 = (1 - u_{t,h}^{EA}) \cdot \left(\sum_{i=n}^N RS_{t,h}^i \right), \forall t, h \quad (5)$$

Algoritma tarafından aktif edilen YS ile çalıştırılmak istenen cihazların YS arasındaki fark sebebiyle oluşan diğer bir konfor kaybı kaynağı olan $R_{t,h}^2$ 'da göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, Şekil 3'de görüldüğü gibi, herhangi bir zamanda S-EEYS tarafından YS0 etkinleştirilirse, ancak hane halkı, YS0'ın ötesinde ek cihazlar kullanmak isterlerse, (6)'da verilen denklem ile başka bir konfor kaybı puanı elde etmektedirler.

$$\begin{aligned} R_{t,h}^2 = & YS_{t,h}^0 \cdot \left(\sum_{i=n}^N RS_{t,h}^i \right) + YS_{t,h}^1 \cdot \left(\sum_{i=n+1}^N RS_{t,h}^i \right) \\ & + YS_{t,h}^2 \cdot \left(\sum_{i=n+2}^N RS_{t,h}^i \right) + YS_{t,h}^3 \cdot \left(\sum_{i=n+3}^N RS_{t,h}^i \right), \forall t, h \end{aligned} \quad (6)$$

Topluluk içinde bulunan evlerdeki çeşitli kaynakların iş birliğine dayalı kullanımı düşünüldüğünde, konut sahiplerinin hem toplu hem de bireysel düzeyde sağladığı faydaların farklılık gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, eşitlik ilkesi yerine adil bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu tezde, hane halklarının konforunun adil bir şekilde paylaşımı dikkate alınmıştır. Bu yaklaşımı sağlamak için, afet sonrasında hanelerin konfor kaybı puanlarının toplamaları

arasındaki farklar, Adil Paylaşım Sınırı (APS) ile sınırlandırılmıştır. Buna ilişkin eşitsizlik (7)'de ifade edilmiştir.

$$\sum_{t=t_{baş}}^{t^{son}} TR_{t,2} \leq \sum_{t=t_{baş}}^{t^{son}} TR_{t,1} \leq APS \cdot \sum_{t=t_{baş}}^{t^{son}} TR_{t,2} \quad (7)$$

2.2.3. Yük Seviyesi Kısıtları

YS ile ilgili eşitlik (8)'de yer almaktadır. Denklem, her bir zaman diliminde yalnızca YS'nin etkinleştirilebileceğini ve bunun sadece EA'nın bağlı olduğu evde gerçekleşeceğini ifade etmektedir. Eşitlikte bulunan $u_{t,h}^{EA}$ ve ikili değişkeni ise, EA'nın bir evde bağlı olup olmadığını belirtmektedir.

$$\sum_{n=i}^N YS_{t,h}^i = u_{t,h}^{EA}, \forall t, h \quad (8)$$

2.2.4. Güç Dengesi Kısıtı

Güç dengesi denklemi, FV üretimi, hane halkı tüketimi, EA şarjı ve deşarjı değerlerinden oluşmaktadır. Hem FV'nin üretim yapabilmesi hem de hane halkının elektrikli cihazları kullanabilmesi, sadece EA'nın eve bağlı olduğu durumlarda gerçekleşmektedir (yani, $u_{t,h}^{EA}$ 'ın 1'e eşit olduğu durum.). Tüketim, cihazların aktif yük seviyesi içerisinde talep ettiği gücün toplamıdır. (9)'da belirtildiği gibi, herhangi bir t anında her h evinde güç dengesinin sağlanması için, FV sistemden üretilen enerji ve EA deşarjı toplamının, hane halkının tüketimi ve EA şarjı toplamına eşit olması gerekmektedir.

$$P_{t,h}^{FV_{\text{üretim}}} + P_{t,h}^{EA_{\text{deşarj}}} = P_{t,h}^{\text{tüketim}} + P_{t,h}^{EA_{\text{şarj}}}, \forall t, h \quad (9)$$

2.2.5. Elektrikli Araç Kısıtları

Denklem (10), EA'nın belirli bir süre içinde evler arasında seyahat etmesini sağlamakta olup, bu süre $t^{geçiş}$ olarak tanımlanır. Ek olarak denklem, EA'nın herhangi bir evde bulunduğu durumda diğer eve ait $u_{t,h}^{EA}$ ikili değişkenin 0 olmasını sağlamakta ve evler arasındaki seyahat süresi boyunca ise her iki ikili değişken sıfır olmalıdır.

$$u_{t+t^{geçiş},h}^{EA} + u_{t,1-h}^{EA} \leq 1, \forall (t + t^{geçiş}) \leq t^{son}, h \quad (10)$$

EA bataryasındaki enerji (State of Energy, *SoE*), (11)'de belirtilen kriterlere uygun olarak her t zaman diliminde minimum ve maksimum *SoE* sınırları içinde tutulmalıdır.

$$SoE^{min} \leq SoE_t \leq SoE^{maks}, \forall t \quad (11)$$

Şarj ve deşarj kısıtları, EA şarj istasyonu göz önünde bulundurularak (12) ve (13)'de verilmiştir. EA evde bağlı olmadığı sürece (yani, $u_{t,h}^{EA} = 0$), şarj ve deşarj gücü sıfır olacaktır. $\$K^{EA}$ ve DK^{EA} , EA'nın şarj ve deşarj kapasitelerini ifade etmektedir. Sistemde eşzamanlı şarj ve deşarj işlemlerini engellemek için denklemde $u_{t,h}$ ikili değişkeni eklenmiştir. Ev 2'de (EA bulunan ev) FV sisteminin bulunmaması nedeniyle, $P_{t,2}^{EA_{şarj}}$ her t anı için de 0 olmaktadır.

$$P_{t,h}^{EA_{şarj}} \leq [\$K^{EA} \cdot u_{t,h}^{EA} \cdot (1 - u_{t,h})], \forall t, h \quad (12)$$

$$P_{t,h}^{EA_{deşarj}} \leq (DK^{EA} \cdot u_{t,h}^{EA} \cdot u_{t,h}), \forall t, h \quad (13)$$

EA'nın evler arasındaki geçişi sırasında bataryadaki enerji kaybı ise, (14) numaralı denklemde belirtilmiştir. $E^{kayıp}$, birim mesafe [km] başına EA bataryasındaki kaybedilen enerji miktarını [Wh] olarak ifade eder. D , EA'nın evler arasındaki gittiği mesafeyi [km], ve $t^{geçiş}$, belirli bir hıza karşılık gelen evler arasındaki geçiş süresini temsil etmektedir.

$$SoE_t^{kayıp} = E^{kayıp} \cdot D \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{1}{t^{geçiş}} \right), \forall t \quad (14)$$

Afet sonrası sürecin başlangıç anındaki ilk SoE ($SoE^{baş}$) değeri Denklem (15)'de belirtilmiştir. Ayrıca, SoE , her t anı için (16)'da hesaplanmaktadır. Denklemdeki η ifadesi EA bataryasına ait verimliliği ifade etmektedir.

$$SoE_t = SoE^{baş}, t = t^{baş} \quad (15)$$

$$SoE_t = SoE_{t-1} - SoE_t^{kayıp} + \left(\sum_{h=1}^2 P_{t,h}^{EA_{şarj}} \cdot \eta \cdot \Delta t \right) - \left(\frac{\sum_{h=1}^2 P_{t,h}^{EA_{deşarj}} \cdot \Delta t}{\eta} \right), t > t^{baş} \quad (16)$$

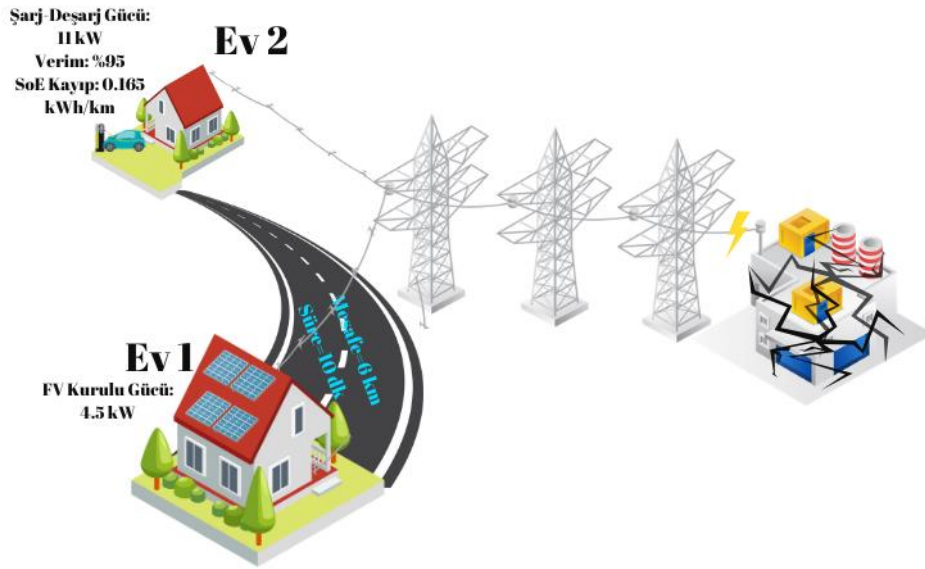
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Senaryo Çalışmaları

Bu çalışmanın temel amacı, V2B² teknolojisinin sisteme entegre edilmesi ile bir topluluğun afet sonrası süreçte maruz kaldığı konfor kaybını en aza indirmektir. Bu yaklaşım, toplum içerisindeki bireylerin konforunu artırarak enerji esnekliğini iyileştirmeyi hedeflemektedir.

Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek için, Şekil 3.1.'de gösterilen iki evden oluşan bir topluluk incelenmiştir. Bu evlerden biri şebekeye bağlı olarak çalışan çatı tipi FV sistemiyle donatılmış olup, diğeri EA'ya sahiptir. Her iki ev de afet sonrasında elektrik şebekesinden ve birbirlerinden elektriksel olarak izole hale gelmektedir. Sistem ile ilgili diğer bilgiler aşağıda Şekil 3.1.'de yer almaktadır.



Şekil 3. 1. Senaryolarda Dikkate Alınan Afetten Etkilenmiş Şebeke Yapısı.

Ev 1'deki çatı tipi FV sistemi, şebekeye bağlı olarak çalışan invertör özelliklerine sahip olduğundan, şebeke bağlantısı olmadığı sürece güç üretememektedir [31]. Bu durumda, EA birincil güç kaynağı haline gelir ve afet sonrası süreçte invertör terminal uçlarına gerilim sağlayarak FV'nin üretim yapmasına olanak tanır. Dolayısıyla, elektrik kesintisi sırasında EA bataryasındaki enerjinin

önerilen algoritma tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, bataryadaki enerji tükendiğinde haneler enerji kaybı yaşar, çünkü EA, FV'den enerji üretilmesini sağlamak ve ardından kendini şarj ederek kendi evine de (yani Ev 2'ye) enerji sağlamak için Ev 1'e gerilim sağlayamaz. Bu nedenle, EA'nın doğru planlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan EA'nın özellikleri Tablo 3.1.'de detaylandırılmıştır.

Son olarak, sistemde dengeyi sağlamak için algoritma tarafından belirlenen YS en az bir saat boyunca sabit tutulmuştur.

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Elektrikli Aracın Özellikleri.

EA Modeli	Batarya Kapasitesi [Wh]	Gerilim [V]	Şarj ve Deşarj Kapasitesi [W]
Renault ZOE R110 [32]	54660	400	11000

Ayrıca, hane halklarının Şekil 2.2.'de belirtilen yüklerin dışında ek cihazlar kullanma olasılığı, (17)'de sağlanan bozunum (distorsiyon) eşitliği ile değerlendirilmektedir. Daha sonra, bu eklenmiş değer, tüketim hesaplamasına (18)'de belirtilen şekilde dahil edilmektedir. Denklemdaki P^{ek} , sabit bir değeri temsil etmektedir.

$$P_{t,h}^{bozunum} = \pm(0.15 \cdot P_{t,h}^{yük}) \pm P^{ek}, \forall t, h \quad (17)$$

$$P_{t,h}^{tüketim} = P_{t,h}^{yük} + P_{t,h}^{bozunum}, \forall t, h \quad (18)$$

Afetten kaynaklanan kesinti, öngörülemeyen bir olay olarak kabul edilir ve bu nedenle kesintinin başlangıç zamanı ile afet sonrası EA bataryasının SoE'si önceden belirlenemez [33]. Bu bağlamda, afet sonrası süreçte EA bataryasındaki sınırlı enerjinin (düşük ve orta seviyelerde) önerilen V2B² tabanlı S-EEYS ile V2H tabanlı EEYS'ye kıyasla nasıl daha etkili bir şekilde kullanılabileceğini değerlendirmek için iki farklı afet başlangıç zamanında (t^{bas}) üç farklı SoE değeri olmak üzere altı farklı senaryo incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, EA SoE değerleri 10.5, 12 ve 18 kWh olarak belirlenmiş ve bu değerler afet başlangıcı olarak gece 3 ve sabah 9'da çalıştırılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada afetin neden olduğu elektrik kesintisinin bir gün sürdüğü, EA'nın t^{bas} anında kendi evinde bulunduğu, yani afet başlangıcı zamanında Ev 2'de olduğu varsayılmıştır. Ek olarak, emel ihtiyaçların karşılanması, özellikle

ısıtma gibi kritik gereksinimlerin ve olumsuz koşulların (örneğin, FV üretiminin düşük olması gibi durumlar) dikkate alınması için senaryoların kış mevsiminde gerçekleştiği varsayılmıştır. Senaryoların ayrıntıları Tablo 3.2.'de sunulmuştur.

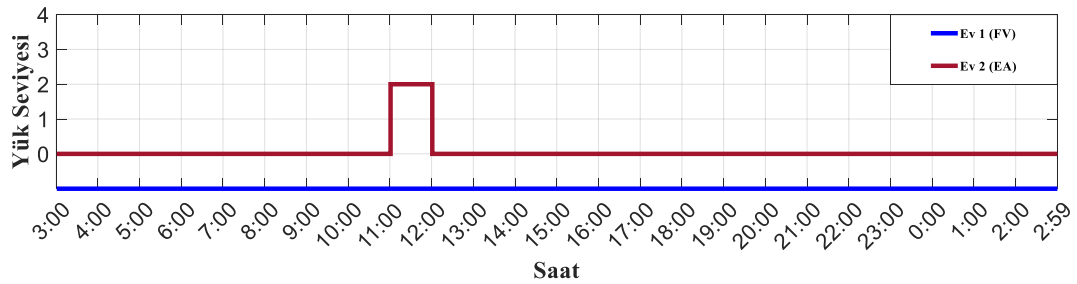
Tablo 3.2. Senaryo Detayları.

Senaryo No.	Senaryo Adı	SoE Başlangıç Değeri (SoE ^{baş}) [kWh]	Afet Başlangıç Zamanı (t ^{baş})
1	V2H tabanlı EEYS	10.5	03.00
	V2B ² tabanlı S-EEYS		
2	V2H tabanlı EEYS	12	
	V2B ² tabanlı S-EEYS		
3	V2H tabanlı EEYS	18	
	V2B ² tabanlı S-EEYS		
4	V2H tabanlı EEYS	10.5	09.00
	V2B ² tabanlı S-EEYS		
5	V2H tabanlı EEYS	12	
	V2B ² tabanlı S-EEYS		
6	V2H tabanlı EEYS	18	
	V2B ² tabanlı S-EEYS		

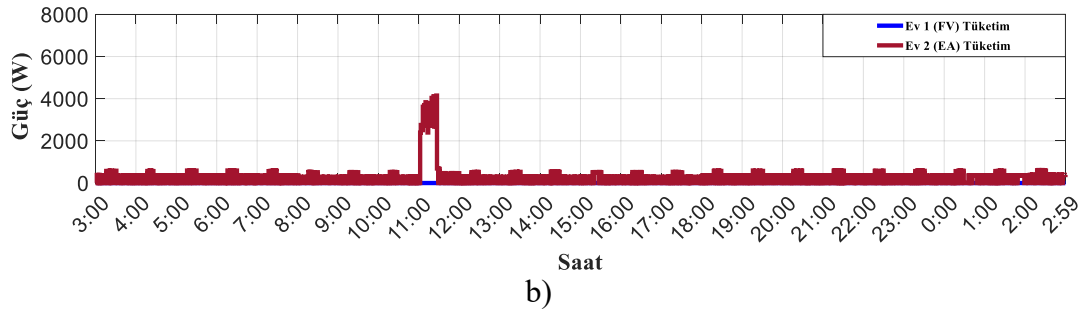
3.2. Senaryoların Analizi

Senaryo 1’de, afet sonrası dönem gece saat 3’de başlayıp ertesi gün sabah saat 3’e kadar sürmektedir. Bu senaryoda, $SoE^{baş}$ en düşük değer olan 10.5 kWh olarak seçilmiştir. V2H tabanlı EEYS ve önerilen V2B² tabanlı S-EEYS algoritmalarıyla belirlenen evlerin YS’leri ve buna karşılık gelen tüketim değerleri Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.’de sırasıyla gösterilmiştir. Ayrıca, SoE karşılaştırması Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde açıklandığı gibi, çatı tipi FV sistemi, şebekeye bağlı olarak çalışan solar invertör özellikleri nedeniyle güç üretememektedir. Bu durumda, Ev 1 afet sonrası süreç boyunca V2H operasyonunda elektriksiz kalmaktadır, bu da yük seviyesi eğrisinin Şekil 3.2. b)’deki gibi -1’de kalmasına sebep olur. Bu durum, herhangi bir yük seviyesinin etkinleştirilmediğini göstermektedir.



a)



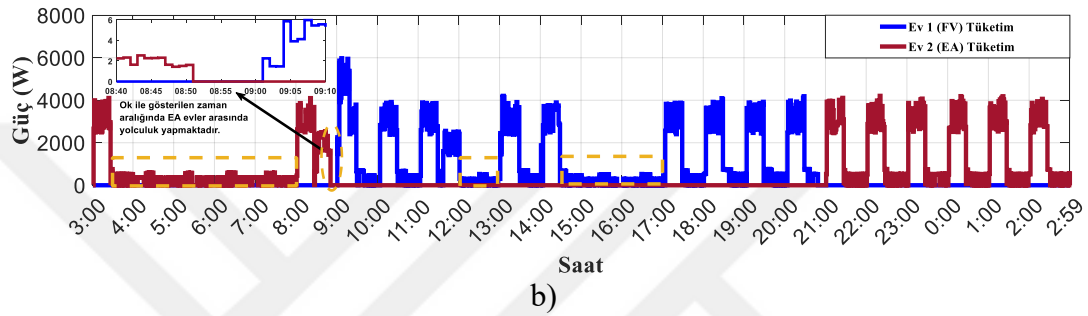
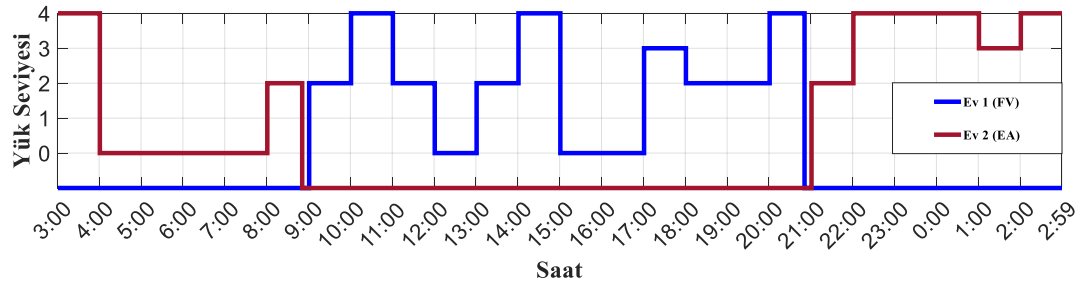
Şekil 3. 2. Senaryo 1 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Ev 2 için ise durum tam tersidir. EA afet sonrası boyunca kendi evine sürekli olarak enerji tedarik etmektedir. Ancak, EA bataryasındaki sınırlı enerji sebebiyle, hane halkı afet sonrası dönemin yaklaşık %95'lik kısmı boyunca sadece YS0'da belirtilen temel yaşam koşullarını sağlamak için bulunan cihazları kullanabilmektedir. Saat 11 ile 12 arasında, YS2 cihazları sadece 1 saat boyunca kullanılmış ve bu durum, EA bataryasında belirgin bir düşüşe sebep olmuştur ki bu Şekil 3.4'de kırmızı kesikli çizgi ile gösterilen eğride belli olmaktadır. Sonuç olarak, Ev 1'in enerjiden mahrum kalması ve Ev 2'de cihazların sınırlı kullanımı, her iki evde yaşayan hane halkında da konfor seviyesinde düşüşe neden olmaktadır.

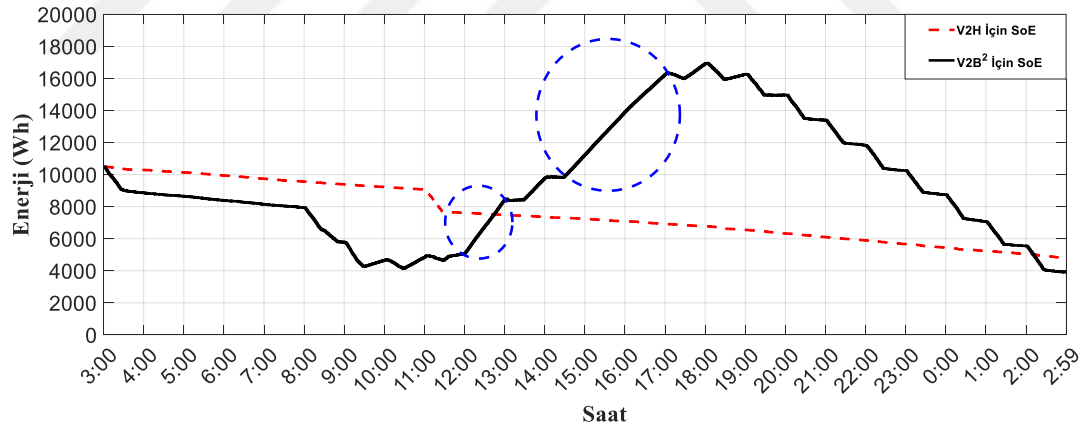
Önerilen V2B² tabanlı S-EEYS algoritması ile, EA, kendi evinde 2 saat boyunca daha fazla cihaz kullanılmasına olanak tanımaktadır. Böylelikle daha yüksek elektrik tüketimi yapıldığı için, bu zaman aralığında SoE önemli ölçüde azalmıştır (Araç bataryasındaki enerjinin yarısından fazlası boşalmıştır.). Sonrasında, güneş ışınlamalarının da ortaya çıkması ile EA sabah 8.51'de Ev 1'e doğru yola çıkmaya başlar (Şekil 3.3. b)'de turuncu kesikli daire içine alınmıştır) ve saat 09.00'dan itibaren Ev 1'de konumlanarak hem FV üretimine izin verir hem de Ev 1'deki bireylerin cihazlarını kullanmalarını sağlar.

Ev 1 sakinleri, Şekil 3.3. a)'da görüldüğü gibi, topluluk içindeki birimlerin iş birliği sayesinde EA aracılığıyla enerjiden faydalanmaktadır. Önerilen algoritma tarafından etkinleştirilen YS0, yani en düşük YS, öğle saatlerinde 12-13 ve 15-17 arasındadır. Bu saatler, güneş ışınlamalarının yoğunluğundan dolayı FV sisteminin yüksek üretim yaptığı zamanlardır. Bu sayede EA, Şekil 3.4.'de kesikli mavi daire ile gösterilen zaman aralıklarında, 10 kWh'dan fazla enerji depolanmış ve t^{bas} anındaki enerji miktarının neredeyse %60 daha fazlasına sahip olmuştur. Böylece, hane halkları

kalan dönemlerde daha fazla cihaz çalıştırma fırsatına sahip olmaktadır. Akşam 9'dan sonra, EA kendi evine dönerek deşarj işlemine başlamaktadır.



Şekil 3.3. Senaryo 1 için V2B² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.



Şekil 3.4. Senaryo 1'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

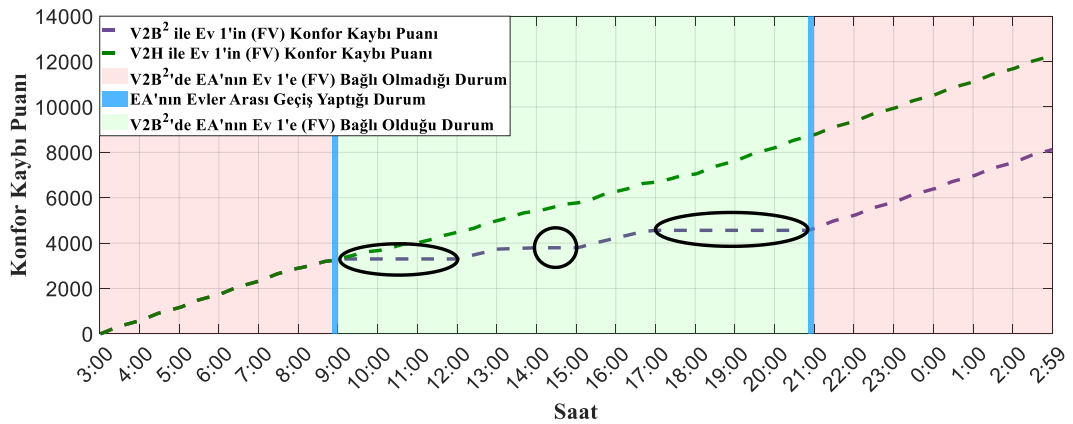
Senaryo 1 için Şekil 3.5. a), b) ve c)'de sırasıyla afet sonrası süreçte Ev 1'deki bireylerin, Ev 2'deki bireylerin ve topluluğun V2H tabanlı EEYS ve önerilen V2B² tabanlı S-EEYS kullanımıyla ilişkili toplam konfor kaybının karşılaştırmalı analizi sunulmuştur.

Ev 1'de yaşayan bireyler, V2H operasyonu altında afet sonrası tüm süreç boyunca cihazlarını çalıştıramadığı için sürekli olarak konfor kaybı puanı elde etmektedir. Bununla birlikte, topluluk içerisinde yer alan birimlerin sinerjik etkileşimi

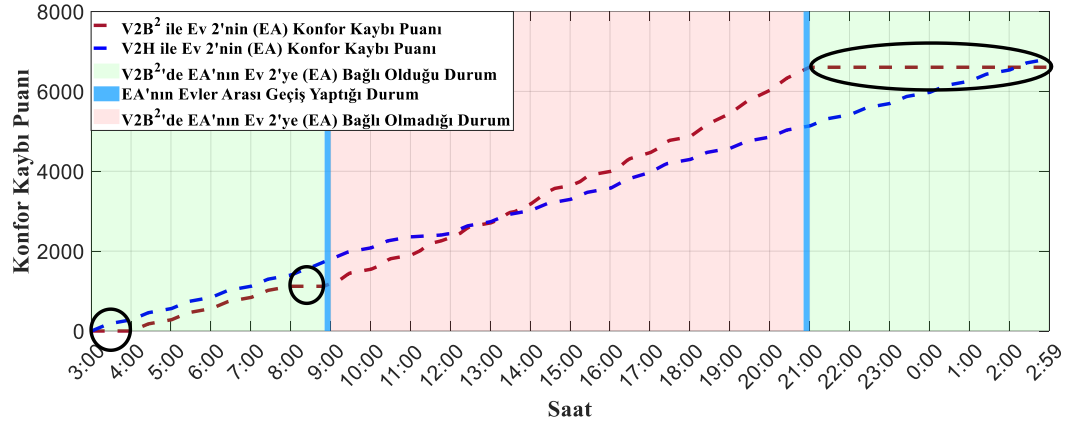
sayesinde EA'nın Ev 1'e bağlanması, bireylerin maruz kaldığı konfor kaybının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca, Şekil 3.5. a)'da görüleceği üzere, araç Ev 1'e bağlandığında belirli zaman aralıklarında herhangi bir puan elde edilmeden tüketim yapılabildiği görülmektedir.

Ev 2'de ise, V2H operasyonunda Şekil 3.2. a)'da gösterildiği gibi en düşük YS'nin neredeyse tüm gün boyunca aktif olması, hane halkının her t anında konfor kaybı yaşamlarına yol açmaktadır. Diğer bir yandan, önerilen V2B² tabanlı S-EEYS, aracın Ev 1'e gitmek için yola çıkacağı süreye kadar V2H'a kıyasla daha yüksek YS'leri etkinleştirmiştir ve Şekil 3.5. b)'de gösterildiği gibi daha az konfor seviyesinin daha iyi olmasına katkı sağlamıştır. EA'nın Ev 2'ye bağlı olmadığı durumlarda, yani EA Ev 1'de iken, V2H'ye kıyasla hane halkının daha fazla konfor kaybı puanı elde ettiği grafikte görülmektedir. Bunun nedeni, EA'nın diğer eve bağlandığında hiçbir YS'nin etkinleştirilememesidir. Bununla birlikte, akşam saatlerinde EA'nın yeniden kendi evine döndükten sonraki süreçte hane halkının kullanmayı talep ettiği cihazlara ait YS'lerin algoritma tarafından aktif edilmesi sebebiyle herhangi bir puan eve yansımamıştır. Bu nedenle, afet sonrası süreçte V2H'ye kıyasla konfor kaybının toplamının daha az olması sağlanmıştır.

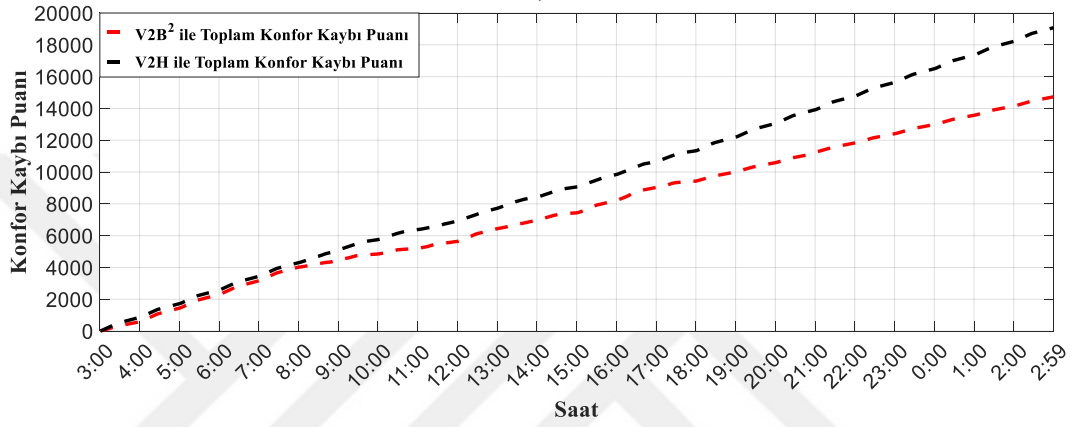
Ek olarak, Ev 1 ve 2'nin toplam konfor kaybı puanları, V2B² teknolojisi ile sırasıyla %33.74 ve %3.08 oranında azaltılmıştır. Bununla birlikte, önerilen algoritma ile topluluk genelindeki toplam konfor seviyesindeki bozunum, V2H operasyonuna kıyasla %22.78 oranında azalmıştır. Algoritmalar arasındaki fark, Şekil 3.5. c)'de gösterilmiştir.



a)



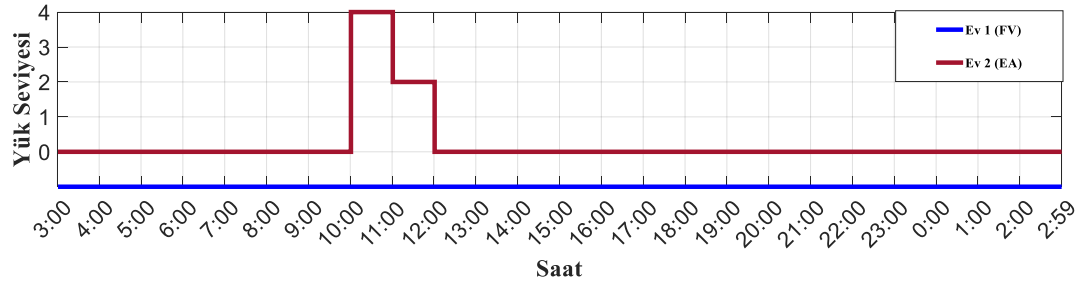
b)



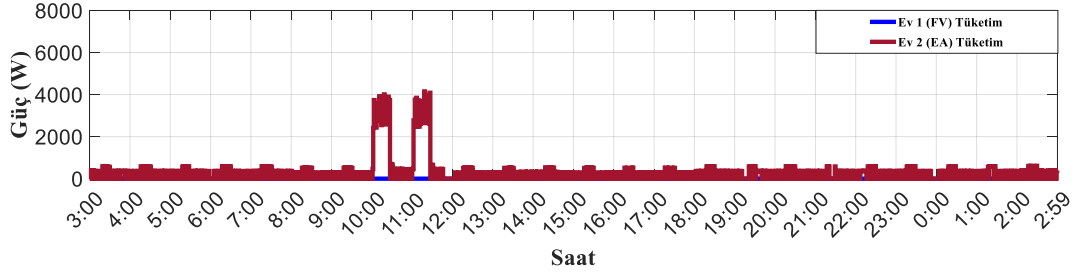
c)

Şekil 3. 5. Senaryo 1’de V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

Senaryo 2’de, Senaryo 1’de olduğu gibi, EA, V2H ile afet sonrası süreç boyunca Ev 2’ye enerji tedariki yapabilmektedir. Ev 2, afet sonrası sürece YS0 ile başlamakta ve 7 saat boyunca aynı YS’ye ait cihazları kullanabilmektedir. EA’nın daha yüksek SoE^{bas} değeri nedeniyle, hane halkı saat 10-12 arasında daha fazla cihazı çalıştırabilmekte (Şekil 3.6. a)) ve dolayısıyla Şekil 3.6. b)’de görüldüğü gibi Ev 2’de daha fazla enerji tüketilmektedir. Önceki senaryoda olduğu gibi, afet sonrası süreçte Ev 1’de bulunan solar invertör karakteristiğinden dolayı evde herhangi bir tüketim meydana gelememektedir.



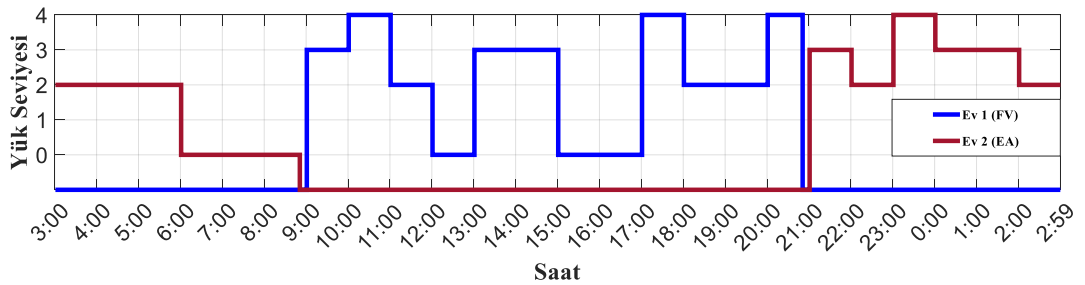
a)



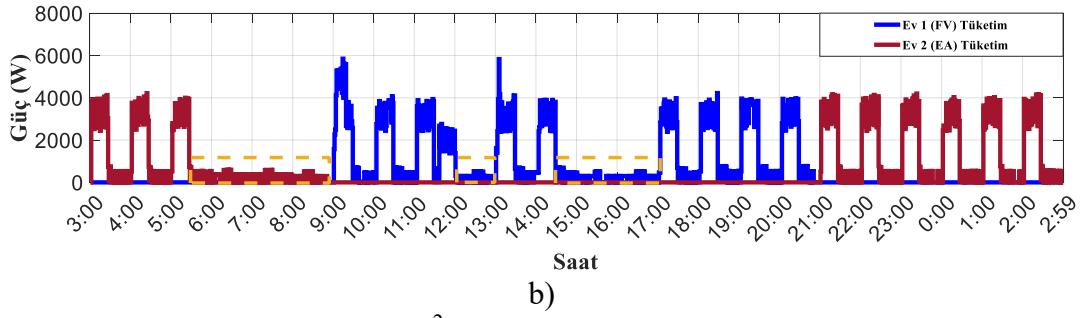
b)

Şekil 3. 6. Senaryo 2 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Benzer şekilde, V2B² tabanlı S-EEYS'de de aracın başlangıç enerjisinin biraz daha yüksek olması, Ev 2'nin sabah 9'a kadar olan elektrik tüketiminin önceki V2B² tabanlı S-EEYS senaryosuna göre daha yüksek olmasını sağlamıştır. Aracın evler arası geçiş süresinden afet sonrası dönemin sonuna kadar, önceki senaryo ile oldukça benzer eğrilerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu benzerlik, EA bataryasındaki başlangıç enerjisi ve diğer eve geçiş sonrası süreçle ilişkilendirilmektedir. Aşağıda Şekil 3.7.'de Senaryo 2 için V2B² tabanlı S-EEYS'nin sisteme uygulandığı durumda evlerdeki YS değişimleri ve ortaya çıkan yük profilleri verilmiştir.

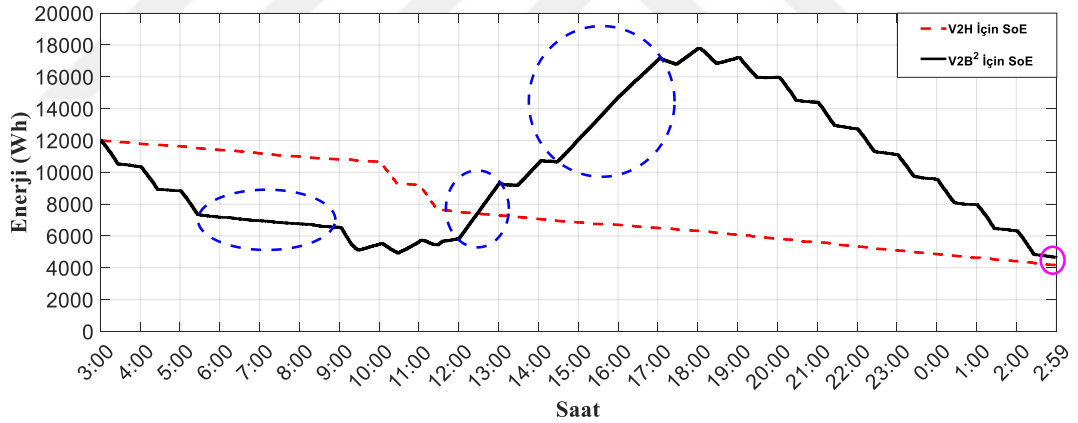


a)



Şekil 3. 7. Senaryo 2 için V2B² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Şekil 3.8.'de verilen, algoritmalar uygulandığında SoE değerlerindeki zamana bağlı değişime dair grafiğe göre, afet sonrası sürecin sonunda, önerilen algoritmanın uygulandığı durumda kalan SoE'nin, V2H'ye kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. V2H ile sadece tek bir ev çok düşük YS'ler ile afet sonrası süreci neredeyse sadece temel ihtiyaçların karşılanması ile geçirirken, önerilen V2B² tabanlı S-EEYS ile daha fazla dağıtık kaynaktan yararlanılması sağlanmakta ve bu sayede de birimlerin arasında enerji transferi yapılabilmektedir.



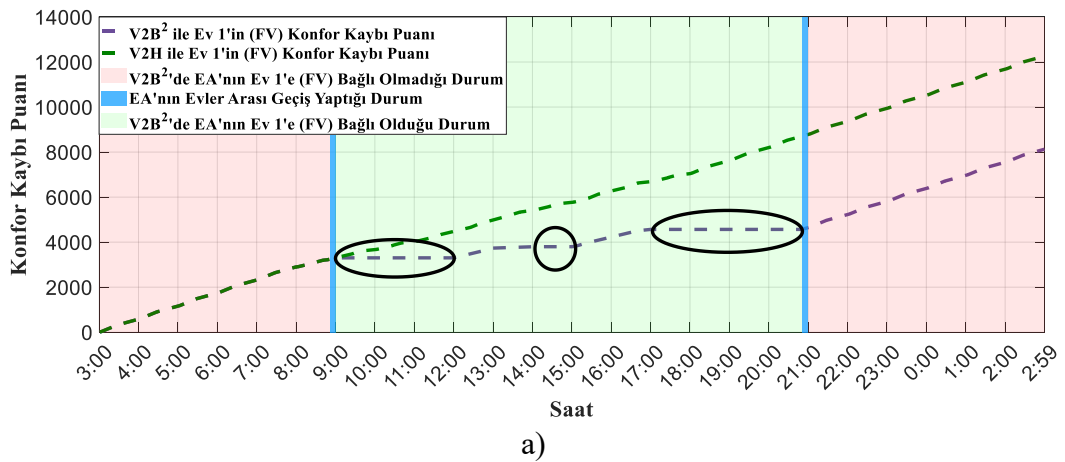
Şekil 3. 8. Senaryo 2'de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B² Tabanlı S-EEYS operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

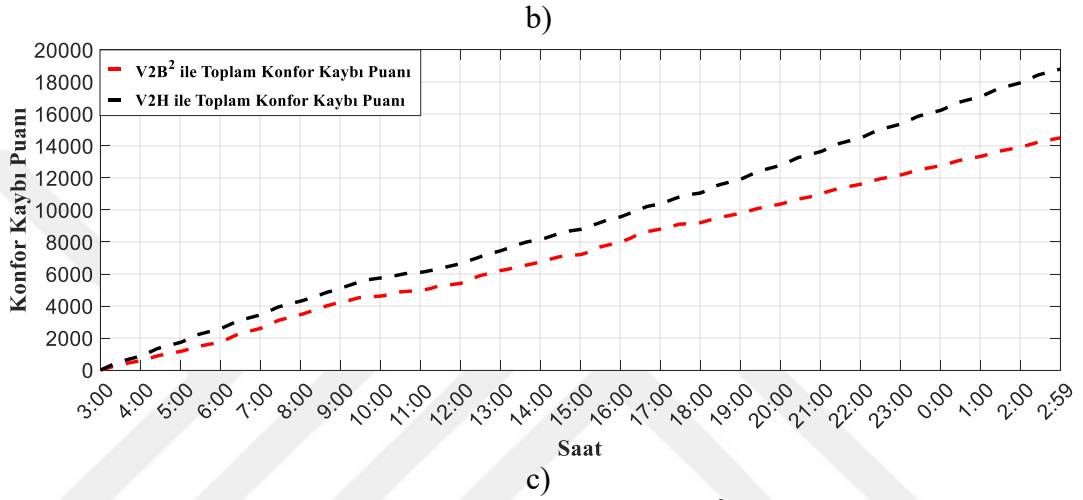
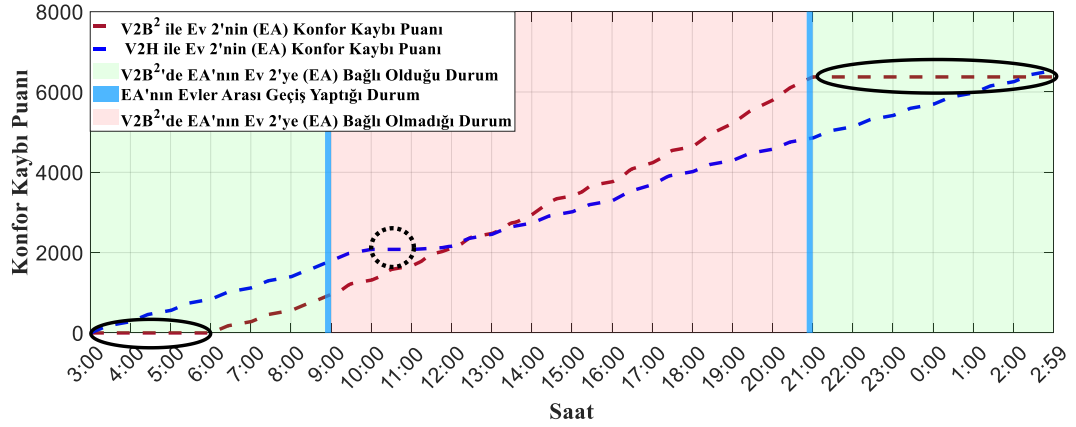
V2H tabanlı EEYS ve önerilen V2B² tabanlı S-EEYS algoritmaları ile, topluluk içerisinde yer alan birimlerde yaşayan hane halkının afet sonrası süreç boyunca çalıştırmak istedikleri cihazların operasyonel durumuna göre elde ettikleri konfor kaybı puanı ve sistemin bütününe afet sonrası süreçte elde etmiş olduğu toplam konfor kaybı puanının karşılaştırmalı grafikleri Şekil 3.9. a), b) ve c)'de verilmiştir.

Ev 1 sakinleri, enerjiye erişememeleri nedeni ile bütün V2H içeren senaryolarda, tüm afet sonrası süreç boyunca konfor seviyelerinde azalma meydana gelmektedir. V2B² tabanlı S-EEYS ile ise, EA saat sabah 9’da eve bağlandıktan sonra üç farklı zaman diliminde toplamda 8 saat boyunca hane halkı istediği cihazları çalıştırarak konfor kaybı puanı elde etmeden afet sonrasında belirli bir konfor seviyesini yakalamışlardır.

Ev 2’ye bakıldığında, V2H ile sadece YS4’ün aktif edildiği saat 11-12 aralığında (Şekil 3.9. b) kesikli daire ile işaretlenen alan) konfor kaybı puanı elde edilmemişken, geri kalan süreçte hane halkı tarafından istenilen cihazların çalıştırılmamasından dolayı sürekli olarak konfor kaybına maruz kalmışlardır. Önerilen yöntem ile ise, hane halkının özellikle araç kendi evine döndüğünden sonraki süreçte daha fazla enerji tedariği yapmasından dolayı ilgili zaman aralığında konfor seviyelerinde azalma meydana gelmeden afet sonrası periyodu tamamlamışlardır. Bu sayede V2H’ye kıyasla %2.45’lik bir azalma meydana gelmiştir.

Topluluk genelinde meydana gelen değişim açısından, önerilen yöntem ile sistemin toplam konfor kaybı puanı 19076’dan 14729’a düşürülerek yaklaşık %23 oranında azalma sağlanarak tez amacı doğrultusunda afet sonrası süreçte topluluğun enerji esnekliği iyileştirilmiştir.



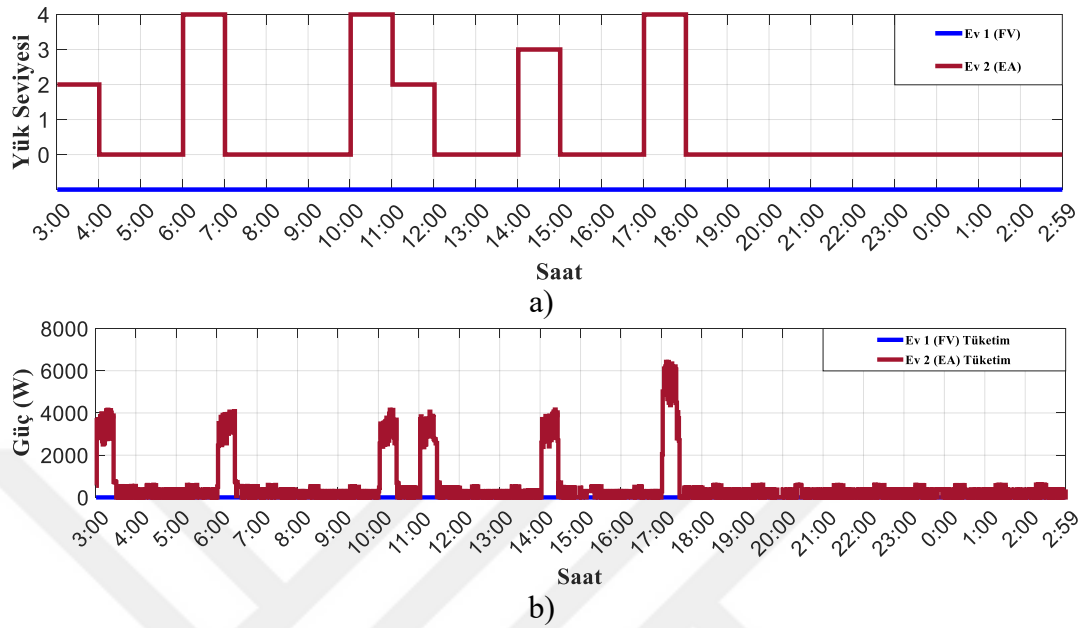


Şekil 3. 9. Senaryo 2’de V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

Afet sonrası sürecin sabah 3’de başladığı son senaryoda $SoE^{baş}$ değeri 18 kWh’tir. Bu senaryo, EA’nın orta seviyede enerjiye sahip olduğunda sistemde meydana gelebilecek durumların incelenmesi amacıyla belirlenmiştir.

Tıpkı diğer senaryolarda olduğu gibi, EA, V2H aracılığıyla kendi evine afet sonrası sürecin tamamında enerji tedarik edebilmektedir. Ayrıca, bataryanın başlangıçtaki enerjisi çok daha yüksek olduğundan, Şekil 3.10.’da afet sonrası dönemin farklı zamanlarında hane halkının daha fazla cihaz çalıştırabildiği görülmektedir. Senaryo 1’de, YS2 kapsamında sınıflandırılan cihazların sadece bir saat kullanıldığı, Senaryo 2’de, bir saat boyunca YS2 ve ek olarak YS4’ün bir saat etkinleştirildiği, Senaryo 3’de ise, YS2 ile ilişkili cihazların iki saat, YS3’e ait olan cihazların ise bir saat boyunca kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca hane halkının bu senaryoda tüm evsel elektriksel cihazları toplam üç saat boyunca kullandığı şekilde görülmektedir. Böylelikle, bu senaryonun, diğer V2H senaryolarına kıyasla afetin

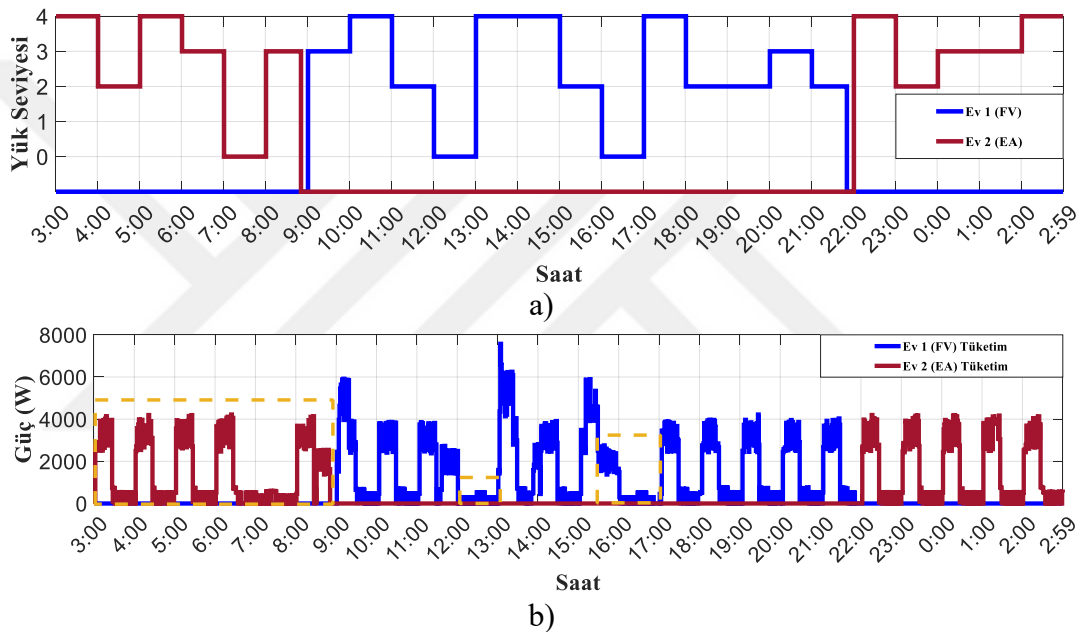
ardından normal yaşam koşullarına daha çok benzeyen bir senaryo olduğu elde edilen grafiklerden ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. 10. Senaryo 3 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Önerilen algoritma ile Ev 1 sakinleri, EA evde konumlandığında farklı YS'lere ait cihazları çalıştırabilmektedir çünkü FV, yalnızca EA'nın solar invertör terminallerine gerilim sağladığı durumda enerji üretebilmektedir. Bu durum, ev sahiplerinin günlük yaşamlarını yönetme esnekliğini artırırken, enerji tüketimlerini ve elektrik ihtiyaçlarını daha etkili bir şekilde dengelemelerine olanak tanımaktadır. Ek olarak belirtilmelidir ki, FV sisteminin, sadece EA'nın solar invertör terminallerine gerilim sağladığı zamanlarda enerji üretebilmesi, ev sahiplerinin güneş ışığının yoğun olduğu saatlerde enerji taleplerini karşılamak için FV potansiyelini maksimum düzeyde kullanabilmelerini sağlamaktadır. Ayrıca, Şekil 3.11. b)'de Ev 1 için turuncu kesikli dikdörtgen içerisine alınan alanlarda en düşük yük seviyesi aktif edilmiş (Şekil 3.11. a)) ve FV üretimi bu zaman aralıklarında talep edilen gücü aştığından dolayı, üretilen enerjinin fazlası EA'yı şarj etmek için kullanılmıştır. Böylelikle ev sahiplerine ek enerji tedarigi sağlanarak afet sonrası süreçte enerji esnekliğinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan sinerjik etkileşim sayesinde, önerilen algoritma, dağıtık kaynakların sınırlı kapasitelerini en iyi şekilde kullanarak ev sahiplerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir araç haline gelmektedir.

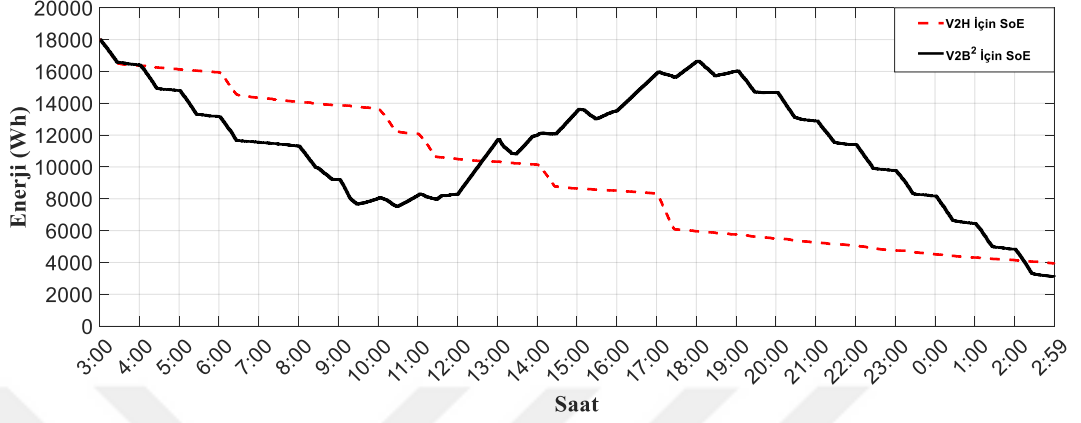
Ev 2 için ise Şekil 3. 11. b)'de görüldüğü üzere önerilen algoritma sayesinde neredeyse EA'nın bulunduğu tüm süreç boyunca hane halkının yaptığı tüketimin V2H'ye kıyasla daha yüksek seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Burada özellikle aracın gün içerisinde FV'nin üretim yapmasını sağlayarak, üretim fazlası enerjiyi depolaması ve gece kendi evine döndüğünde evin afet sonrası sürecin bittiği zamana kadar bataryasında kalan enerjiyi tüketmeden güç talebini karşılayarak hane halkının enerjiden faydalanması dikkat çekmektedir. Bu durum, afet sonrası süreçlerde topluluk içerisinde yer alan birimlerin birbirleri ile sinerjik etkileşim oluşturmalarının kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. 11. Senaryo 3 için V2B² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

V2H ile aracın bataryasındaki enerji miktarının değişimi incelendiğinde, yüksek YS aktive edildiğinde gözle görülebilir değişimlerin yaşandığı Şekil 3.12.'de kırmızı kesikli çizgi ile çizilen eğride görülmektedir. V2B²'de ise aracın diğer eve gittiği süreye kadar Ev 2'de V2H'a göre çok daha fazla deşarj olarak enerji miktarının yaklaşık %50'sinin tükendiği görülmektedir. Bu vakitten sonra önerilen algoritma sayesinde, talep gücünün FV üretimi ile karşılanabildiği vakitlerde üretim fazlası enerji aracın bataryasında depolanarak kalan sürelerde evlerde daha yüksek tüketim yapılması sağlanmıştır. Böylelikle sinerjik etkileşim sayesinde hem FV sisteminden üretim yapılmış hem Ev 1 sakinleri afet sonrası süreçte enerjiye erişim imkanı bulmuştur. Ev 2 sakinleri ise, gün içerisinde araç Ev 1'de konumlandığı için enerjisiz

kalsa dahi, afet sonrası süreç bittiğinde V2B² tabanlı S-EEYS sayesinde toplam elektrik tüketimi açısından V2H tabanlı EEYS'ye göre daha fazla cihaz çalıştırarak daha fazla tüketim yapmışlardır.

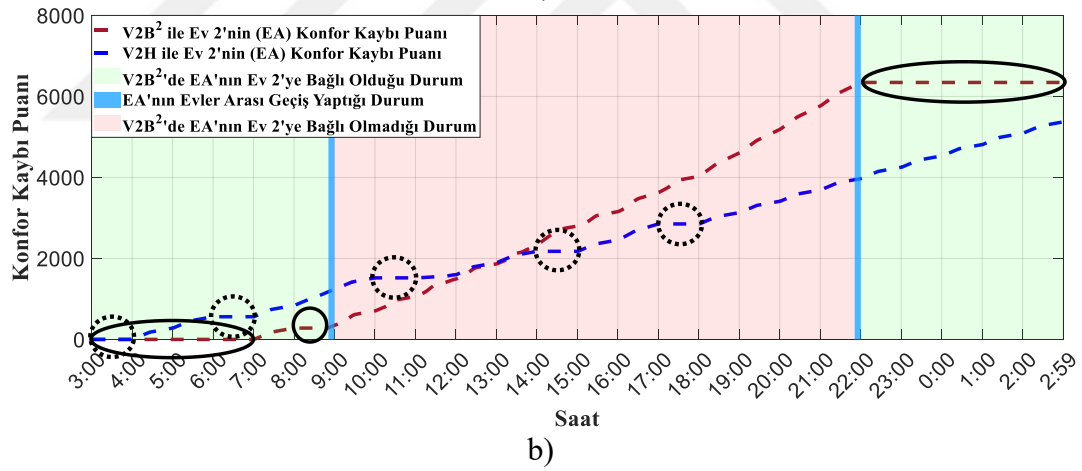
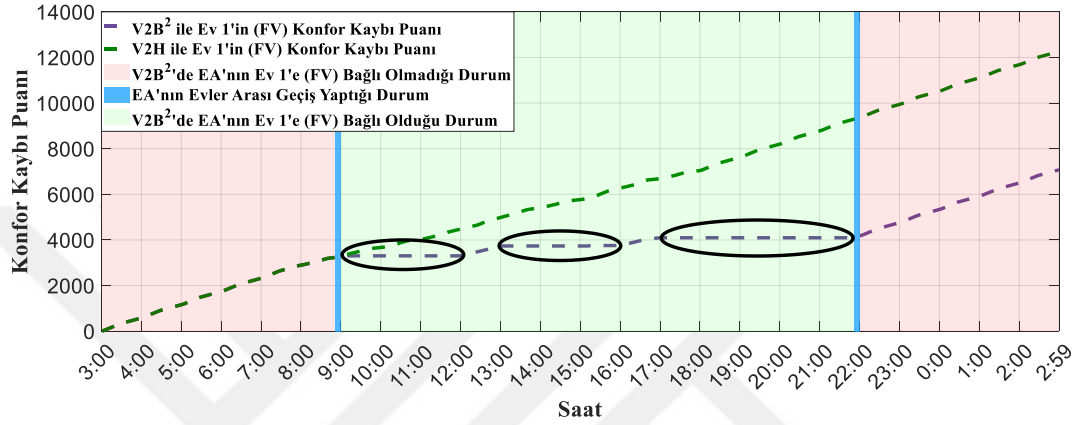


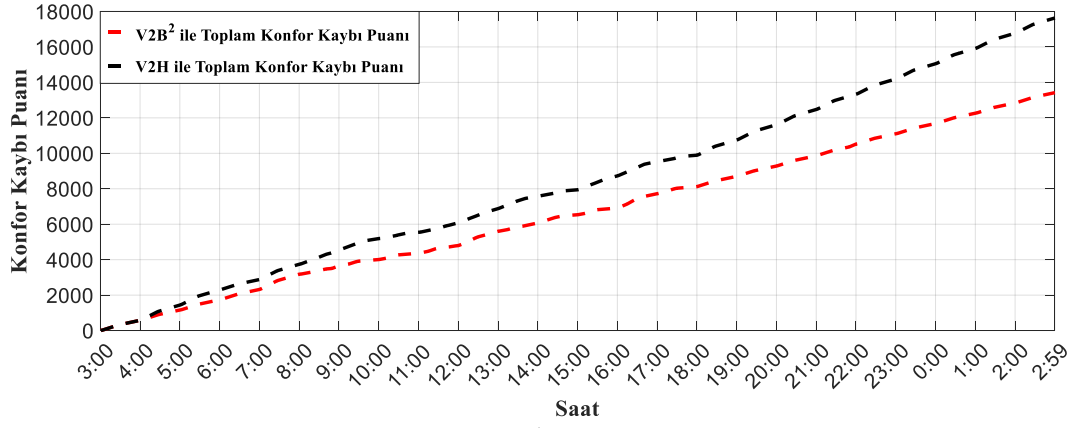
Şekil 3. 12. Senaryo 3'de V2H Tabanlı EEYS ve önerilen V2B² tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

V2H ile, afet sonrası süreçte Ev 1'de ilgili herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir, çünkü evin şebekeye erişimi kesintiye uğramıştır ve bu durum konfor seviyesinin diğer senaryolara kıyasla sabit kalmasına neden olmuştur. Ancak, Ev 2'de bu süreçte daha yüksek miktarda enerji tüketimi gözlemlenmiştir ki bu durum hane halkının diğer V2H senaryolarına kıyasla daha az konfor puanı elde etmelerine katkı sağlamıştır (yaklaşık 1500 puan). Ev 1 için V2B² senaryosunda ise V2H'ye kıyasla konfor seviyesinde belirgin bir iyileşme olduğu ortaya çıkmaktadır. Önerilen algoritma ile toplam konfor kaybı puanı 7076 seviyesine düşmüştür ki bu da %42 oranında azalma meydana geldiği anlamına gelmektedir. Şekil 3.13. a)'da Ev 1 için maruz kalınan konfor kaybının zamana bağlı değişimi verilmiştir.

Ancak, Ev 2 için Senaryo 1 ve 2'ye kıyasla tam tersi bir durum gözlemlenmiştir. Önceki iki senaryoda Ev 2'nin toplam konfor kaybında azalma meydana geldiği görülürken, Senaryo 3'de bu değer 5371'den 6345'e yükselerek yaklaşık %18'lik bir artış göstermiştir. Bu durumun, aracın enerji miktarının diğer senaryolara göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Ev 2 için toplam konfor kaybında yaklaşık %18 oranında artış olmasına rağmen, Şekil 3.13. b)'de V2B² (siyah daire) senaryosunda V2H'ye (siyah kesikli daire) göre konfor kaybı puanı elde edilmeden geçirilen sürenin 5 saatten yaklaşık 10 saate yükseldiği görülmüştür.

Topluluk bazında inceleme yapıldığında ise önerilen algoritma sayesinde yaklaşık %24 oranında iyileştirme yapılarak 17632 puandan 13421 puana azalma meydana gelmiştir. Bu iyileştirmenin bütün senaryolar arasında en yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle önerilen algoritma ile birimlerin sinerjik yaklaşıma katılmaları sayesinde sistemin enerji esnekliği artırılmıştır. Algoritmalarla göre topluluğun konfor kaybı seviyesindeki değişim Şekil 3.13. c)'de gösterilmiştir.



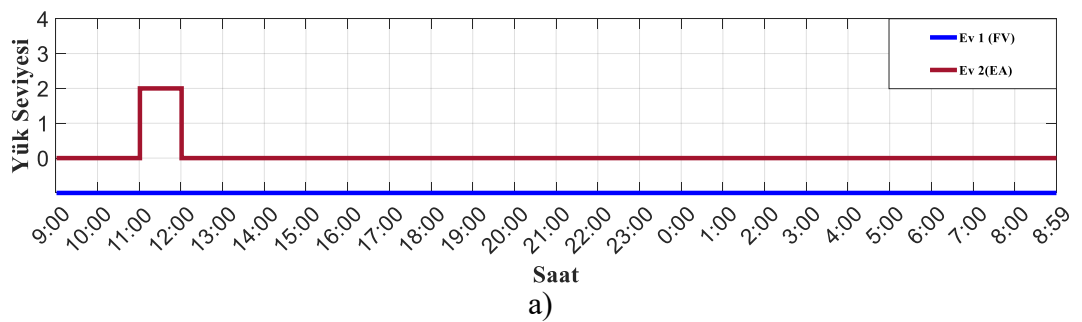


c)

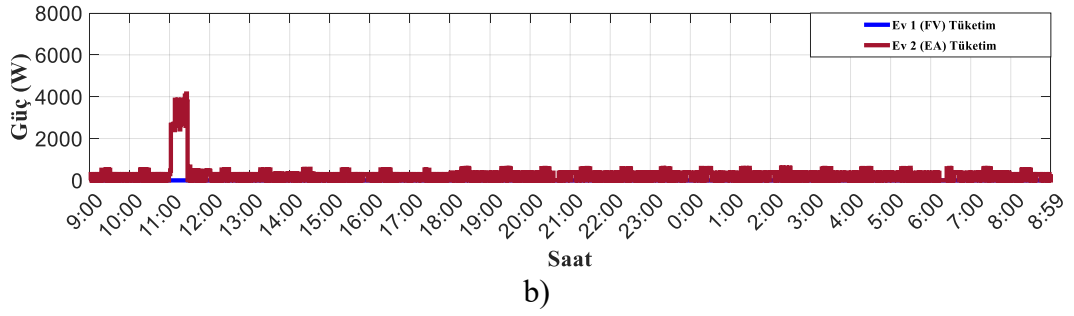
Şekil 3. 13. Senaryo 3’de V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

Senaryo 4’den itibaren, afetın sabah 9’da başladığı varsayılmaktadır. Sistemin stabil yapıda olması için YS en az bir saat boyunca sabit tutulmaktadır. Afetın başlangıç anında EA kendi evinde olduğu için, ilk saat boyunca EA, Ev 1’e geçiş yapamamaktadır. Bu nedenle, bu senaryolarda, FV sisteminden daha az faydalanılmaktadır.

V2H ile, EA bataryasındaki sınırlı enerjinin afet sonrası sürecin bitimine kadar tükenmemesi sağlanması nedeniyle yük seviyesi toplamda 23 saat boyunca 0 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.14. a)). Buna karşılık, hane halkının tüketim profili Şekil 3.14. b)’de görülmektedir.

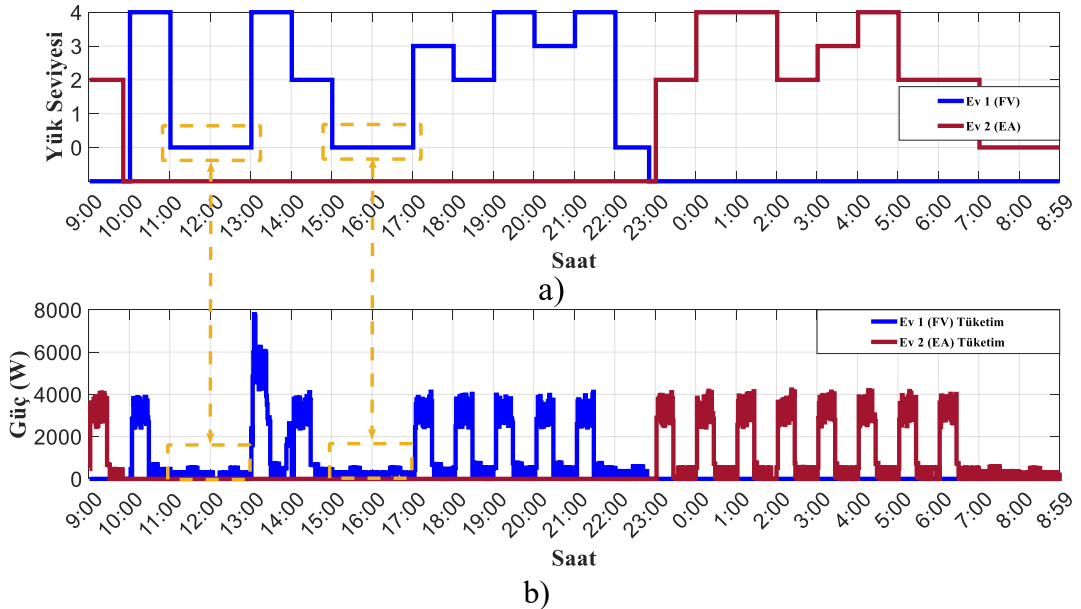


a)



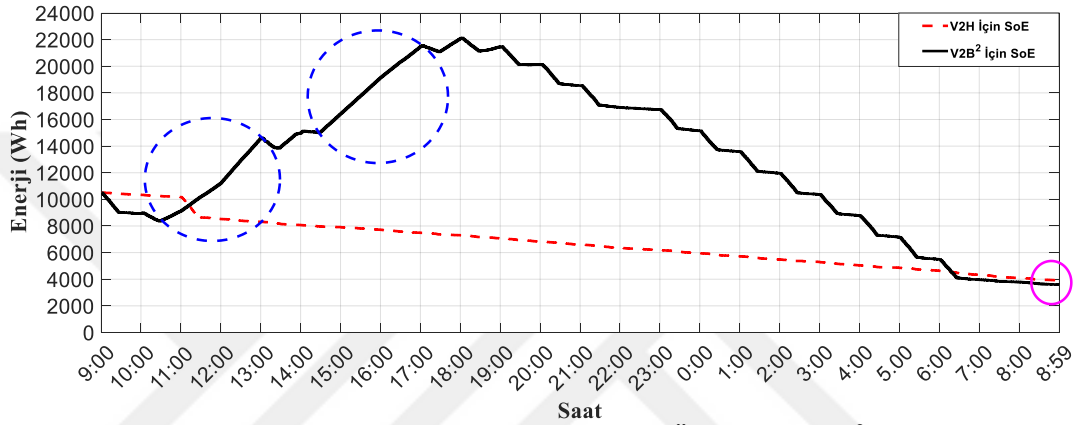
Şekil 3. 14. Senaryo 4 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Topluluk içerisinde yer alan konutların sinerjik yaklaşımı benimsemesi sayesinde, ilk saat sonrasında (sabah 9.00-9.50), EA, en yoğun FV üretim saatlerinden yararlanmak üzere Ev 1'e doğru geçişe başlamaktadır. Ev 1'e bağlandığında, ev sakinleri 11-13 ve 15-17 saatleri dışındaki her zaman diliminde daha yüksek YS'lere ait olan cihazları kullanmaktadırlar (Şekil 3.15. a)). Bahsi geçen saatlerde Ev 1'in tüketimi, 1 kWh'nin altında kalmaktadır ve Şekil 3.15. b)'de turuncu kesikli dikdörtgen içinde belirtilmiştir. Bu zaman aralığında FV üretimi, Ev 1'in talebini aştığı için, EA yaklaşık 13 kWh enerjiyi bataryasında depolamaktadır (Şekil 3.16.'da mavi kesikli dairelerle gösterilmiştir). Bu, t^{bas} ındaki değere kıyasla EA'nın SoE 'sinin 2 katı olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3. 15. Senaryo 4 için V2B² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

Önerilen V2B² tabanlı S-EEYS’de, EA’nın kendi evine afet sonrası sürecin yarısından fazla bir süre enerji sağlayamamasına rağmen, EA’nın Ev 2’ye bağlı olduğu süre boyunca aktive edilen YS’ler, hane halkının daha fazla cihaz kullanmasına olanak tanıyarak, toplam tüketimin V2H’ye kıyasla daha yüksek olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, afet sonrası sürecin sonunda, önerilen V2B² tabanlı S-EEYS’deki EA’nın bataryasında kalan enerji miktarı, önerilen sinerjik yapıdan dolayı her iki evde de yüksek miktarlarda tüketim yapılmasına olanak sağlamasına rağmen, Şekil 3.16.’da görüleceği üzere V2H sonucunda kalan enerji miktarı ile neredeyse aynıdır.



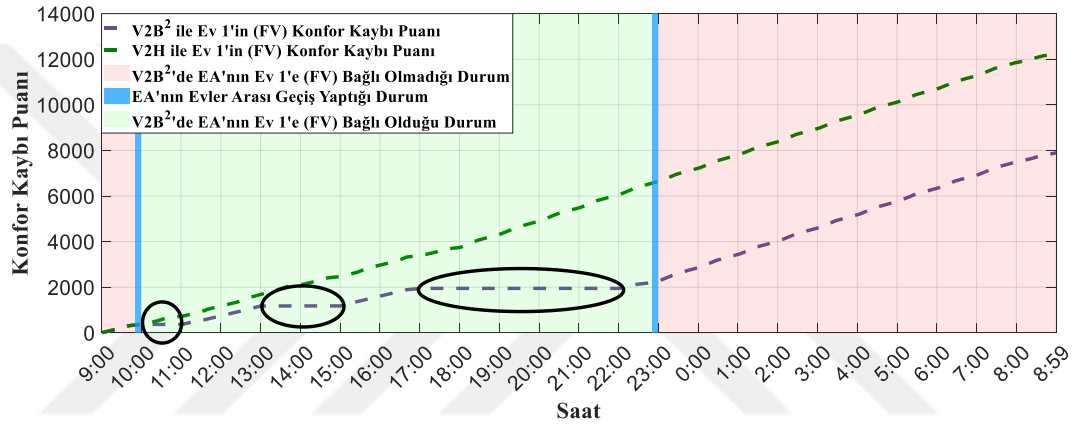
Şekil 3. 16. Senaryo 4’de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B² tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

Ev 1’in konfor seviyesinde meydana gelen azalma, diğer V2H senaryolarıyla aynıdır. Buna karşılık, V2B² senaryosunda, Ev 1 sakinlerinin toplam konfor kaybı puanında %35 oranında azalma yaşandığı görülmüştür. Bu azalma, topluluk içerisinde yer alan evler arasındaki sinerjik iş birliği ile doğrudan ilişkilidir (Şekil 3.17. a)). Bu sayede, önerilen algoritmanın ev sahiplerine daha iyi bir yaşam kalitesi sunma potansiyeline sahip olduğunu ve afet sonrası süreçte sistem genelinde karşılaşılabilecek konfor kaybının azaltılmasına katkı sağladığını göstermektedir.

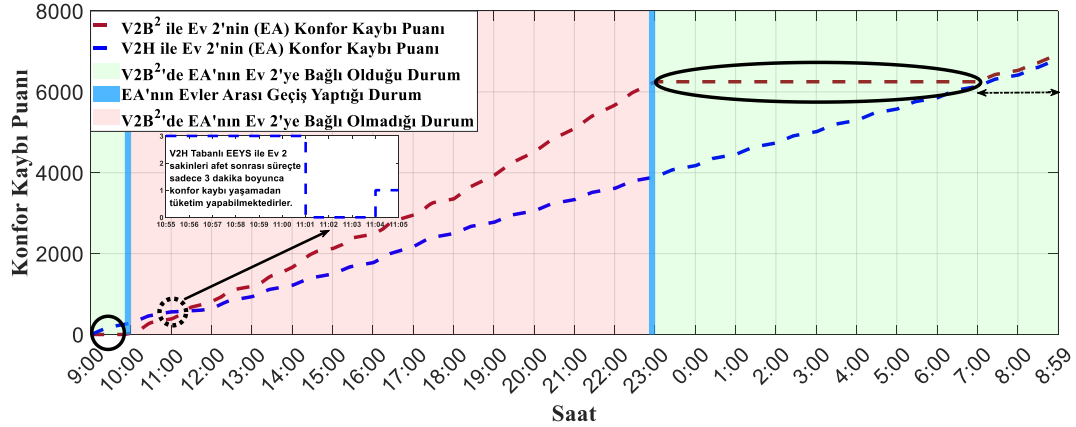
V2H operasyonu sonucunda Ev 2 için ortaya çıkan sonuca bakılacak olursa, hane halkı afet sonrası sürecin çoğu zamanında konfor kaybını temsil eden puanı elde etmektedirler. Bu durum, ev sakinlerinin günlük aktivitelerini yerine getirmek için istedikleri evsel elektrikli cihazları çalıştıramamalarından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.17. b)’de siyah kesikli daire ile belirtilen kısa süreli istisna dışında, çoğu zaman ev halkı, elektrikli cihazların işlevselliği konusunda kısıtlamalarla karşı karşıya kalmıştır. Önerilen metodolojide, Şekil 3.17. b)’de görüldüğü gibi, Ev 2 sakinlerinin EA’nın Ev 1’de bulunduğu durumlar dışında, afetin sonuna doğru (kesikli çift yönlü ok ile

belirtilmiştir.) konfor kaybına maruz kaldıkları görülmektedir. Meydana gelen bu ek konfor kaybı, V2H ve V2B² senaryoları arasında göz ardı edilebilir bir farklılık oluşturmuştur. Ancak, bu fark sadece %1.7 seviyesindedir, bu da önerilen algoritmanın özellikle EA sınırlı SoE'ye sahip olduğunda, evler arasında seyahat etmesinin, EA'nın kendi evi için ek olumsuz etkiler yaratmadığı anlamına gelmektedir.

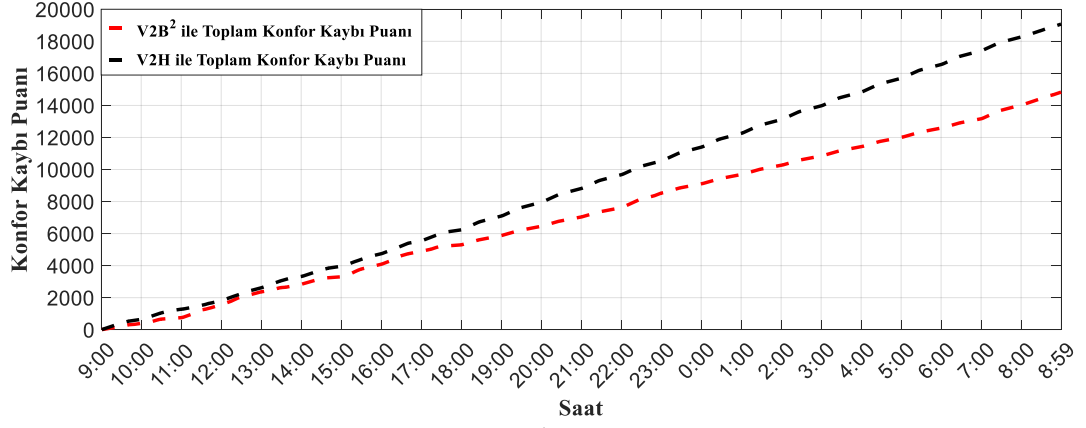
Önerilen V2B² tabanlı S-EEYS, Şekil 3.17. c)'den anlaşıldığı gibi, Senaryo 4'de topluluk genelinde maruz kalınan konfor kaybında yaklaşık %22 oranında belirgin bir azalmayı sağlamıştır.



a)



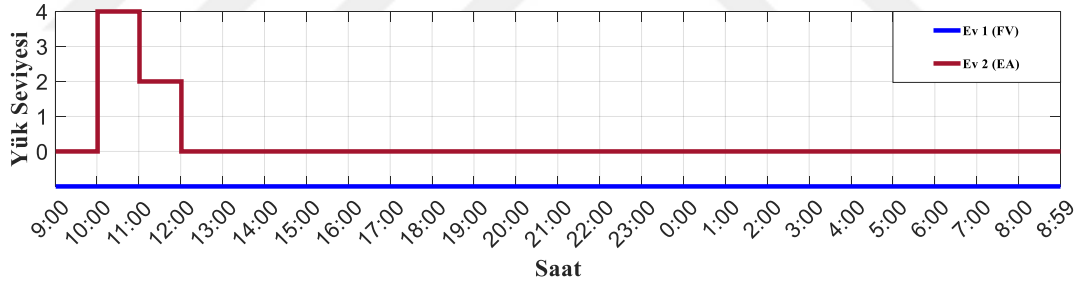
b)



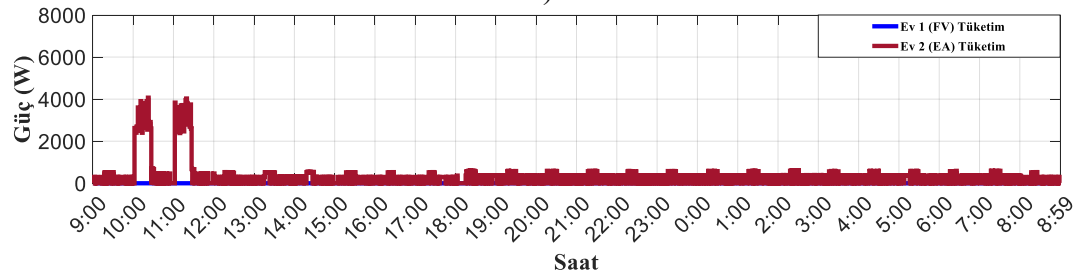
c)

Şekil 3. 17. Senaryo 4’de V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

Senaryo 5’de Ev 2 için V2H algoritması, YS’yi başlangıçta YS0 olarak ayarlamış ve ardından sırasıyla Şekil 3.18. a)’da gösterildiği üzere, birer saat boyunca YS4 ve YS2’ye yükselterek, bu seviyedeki cihazların ev sakinleri tarafından kullanılmasına olanak sağlamıştır. Şekil 3.18. b)’de ise aktif edilen yük seviyelerine karşılık gelen tüketim profili verilmiştir.



a)

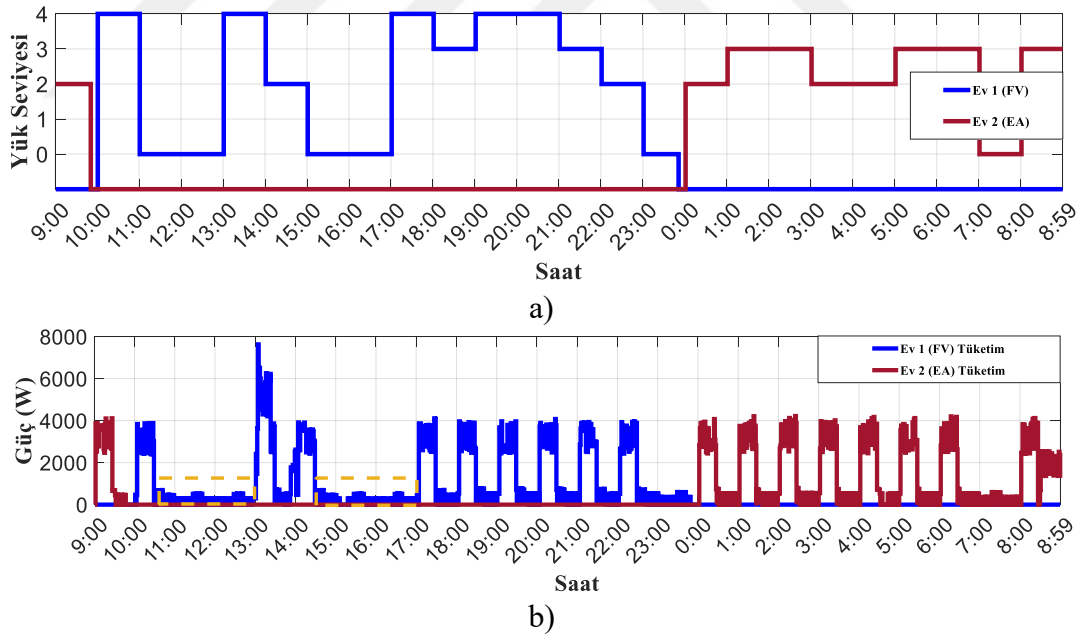


b)

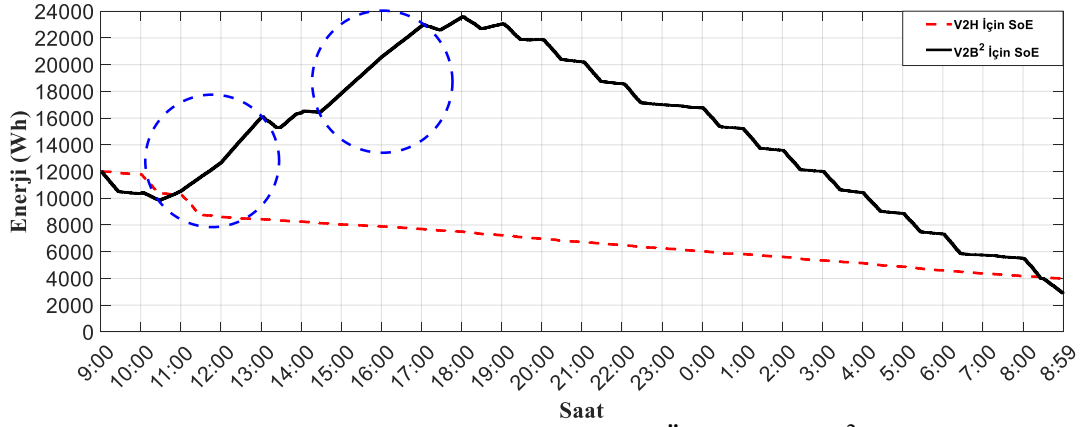
Şekil 3. 18. Senaryo 5 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2’nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2’ye Ait Tüketim Miktarları.

Şekil 3.19. b)’de sunulan grafikler, her iki evin de V2B² tabanlı S-EEYS sayesinde daha fazla elektrik tükettiğini açıkça göstermektedir. Şekil 3.19. a)’da yer alan grafikler incelendiğinde, aracın evlerde bulunduğu zaman aralıklarında, algoritma

tarafından YS2, YS3 ve YS4 seviyelerinin daha sık etkinleştirildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, ev sahiplerinin daha fazla cihaz kullanmalarını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak daha yüksek elektrik tüketimi yapmaları ve afet sonrası süreçte normal hayat şartlarına daha yakın bir senaryo ortaya koymaktadır. EA, Ev 1’de bulunduğu süre boyunca, Şekil 3.19. b)’de kesikli turuncu dikdörtgen içine alınan zaman aralıklarında, FV sisteminin ürettiği enerji, hane halkının talebinden fazladır. Bu durumda oluşan üretim fazlası enerji Şekil 3.20.’de kesikli mavi daire ile görüleceği üzere EA’nın bataryasında depolanmıştır. Böylelikle, bataryanın başlangıçtaki enerjisi $SoE^{baş}$ değerini aşmaktadır. Sonuç olarak, EA kendi evine döndüğünde, V2H senaryosuna göre konut sakinlerine ekstra enerji sağlama kapasitesine sahip olmaktadır. Bu durum, afet sonrası süreçlerde şebekeden ve birbirinden elektriksel olarak izole hale gelen birimler arası enerji yönetimi ve kaynak kullanımının etkinliği açısından önemlidir çünkü fazla üretilen enerjinin tüketilmesi, evlerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve sistemin afet sonrası süreçte enerji esnekliğini artırmak açısından kritik bir yaklaşımdır.



Şekil 3. 19. Senaryo 5 için V2B² Tabanlı S-EEYS: a) Ev 1 ve 2’nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2’ye Ait Tüketim Miktarları.

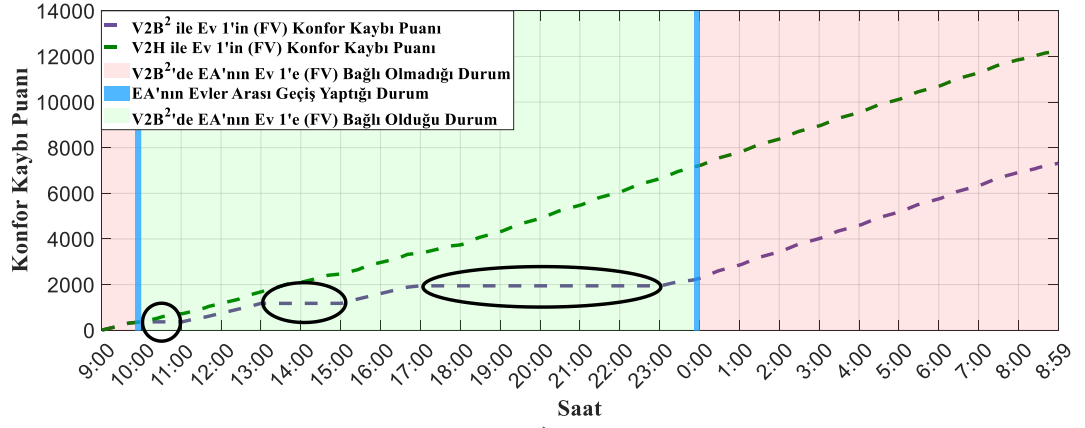


Şekil 3. 20. Senaryo 5’de V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

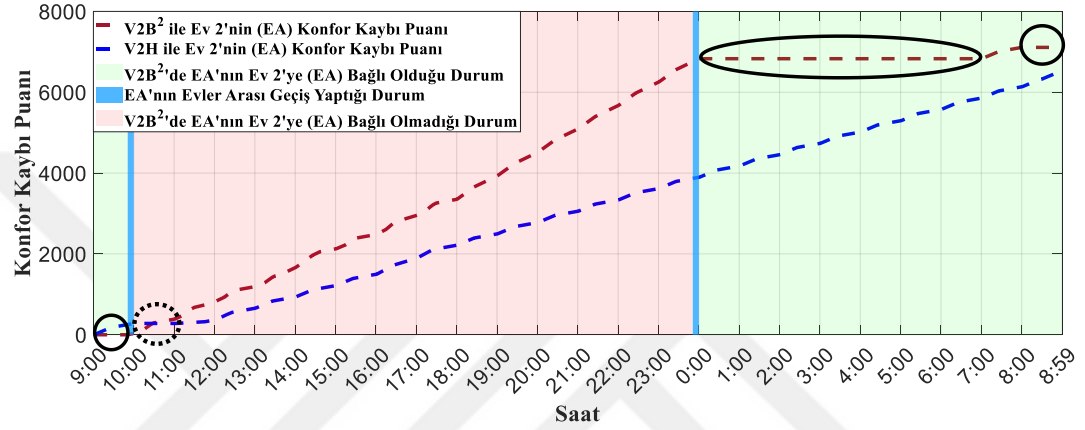
Senaryo 5’de, her bir konutun afet sonrası süreçte elektrik kesintisinden kaynaklanan konfor seviyelerindeki değişim düzeyi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle, Ev 1 için önerilen metodolojinin uygulanmasıyla, EA’nın evler arası seyahat etmesiyle sağlanan esneklik, FV üretiminin ve gerekli durumlarda aracın eve enerji sağlayabilmesine olanak tanımıştır. Bu bağlamda, Ev 1’in toplam konfor kaybı puanında V2H’ye kıyasla %40.30’luk önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Bu düşüş, Ev 1’in afet sonrası süreçte maruz kaldığı toplam konfor kaybı puanı içerisinde en yüksek ikinci iyileşmeyi temsil etmektedir. Şekil 3.21. a)’da Ev 1’in V2H ve V2B² uygulandığında ortaya çıkan konfor kaybı değişimine ait grafik verilmiştir.

Ev 2 için, önerilen metodolojinin uygulanmasıyla, hane halkının istedikleri cihazları kullanamamalarından dolayı elde edilen konfor kaybı puanının afet sonrası süreçte toplamında V2H’ye kıyasla %8.80 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılık, aracın diğer eve gittiği zamanlarda YS0 seviyesindeki temel yaşam koşulları için gerekli cihazların çalıştırılmamasından kaynaklanan ek puanın en yüksek puan olarak haneye yazılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, bu artış, olumsuz bir durum olarak algılanmasına rağmen, konfor kaybı elde edilmeden cihazların çalıştırılma sürelerinde neredeyse 9 katlık bir iyileşme yaşandığı görülmüştür. Şekil 3.21. b)’deki grafikte, Ev 2’nin V2H ve V2B² uygulandığında ortaya çıkan konfor kaybı değişimine ait grafik verilmiştir.

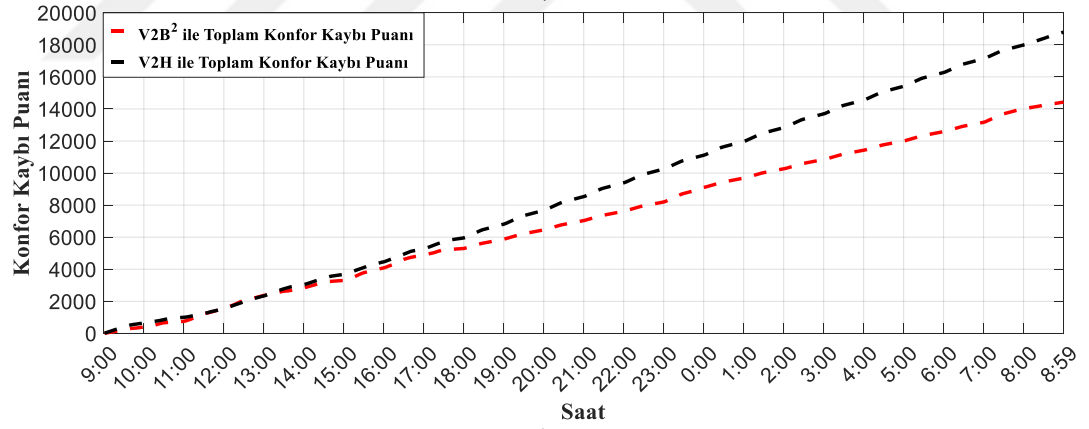
Ev bazında yapılan analizin dışında topluluk açısından incelenecek olursa, birimlerin sinerjik yapıya katılmaları sayesinde afet sonrası süreçte topluluğun konfor kaybı seviyesi %23.23 azalarak 14429 puana gerilemiştir. Şekil 3.21. c)’de ilgili eğrilerin bulunduğu grafik yer almaktadır.



a)



b)

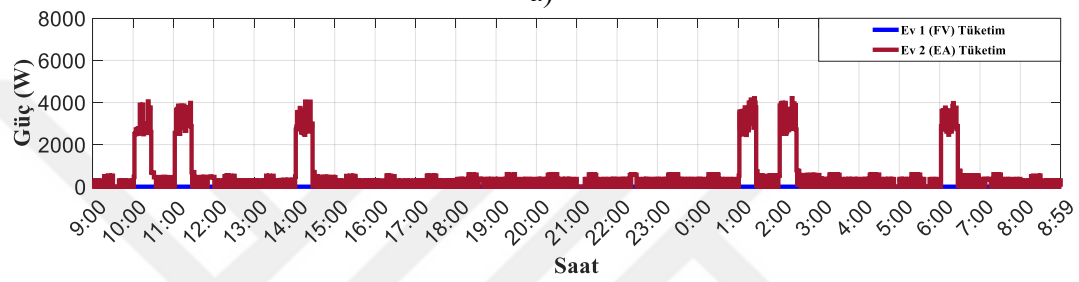
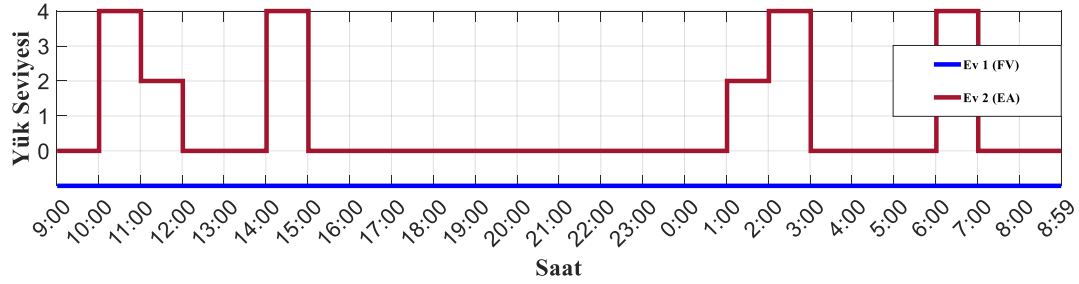


c)

Şekil 3. 21. Senaryo 5’de V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

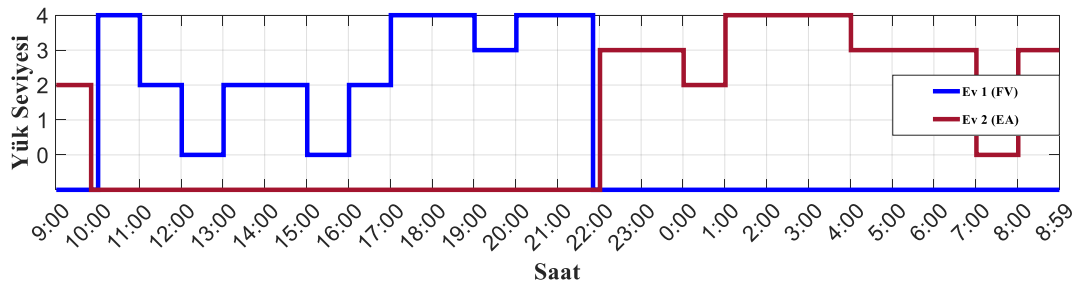
Son senaryoda, yani Senaryo 6’da $t^{baş}$ anında $SoE^{baş}$ değeri 18 kWh olarak belirlenmiştir. V2H tabanlı EEYS ile, EA’nın daha yüksek bir SoE’ye sahip olmasından dolayı ilk saatin ardından farklı YS’ler, farklı farklı zaman dilimlerinde olmak üzere toplamda 6 saat boyunca aktif edilmiştir. Bu, afet sonrası süreçte evin tüketim profilindeki yüksek tüketim zaman aralıklarının daha uzun süre devam etmesini sağlamaktadır. Şekil 3.22. a) ve b)’de V2H tabanlı EEYS ile aktif edilen yük

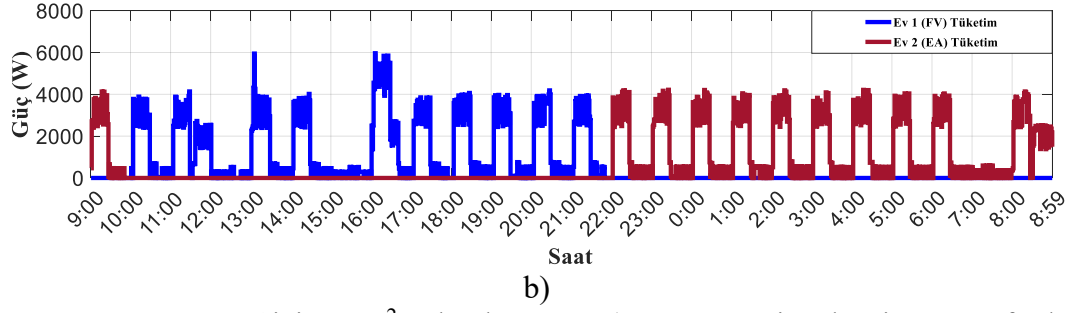
seviyelerini ve çalıştırılan cihazlar ile ortaya çıkan tüketim profili verilmiştir. Ev 1, EA eve bağlanmadan herhangi bir şekilde enerjiye erişim sağlayamadığı için YS -1 ve tüketim de her bir t anında 0'dır.



Şekil 3. 22. Senaryo 6 için V2H Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

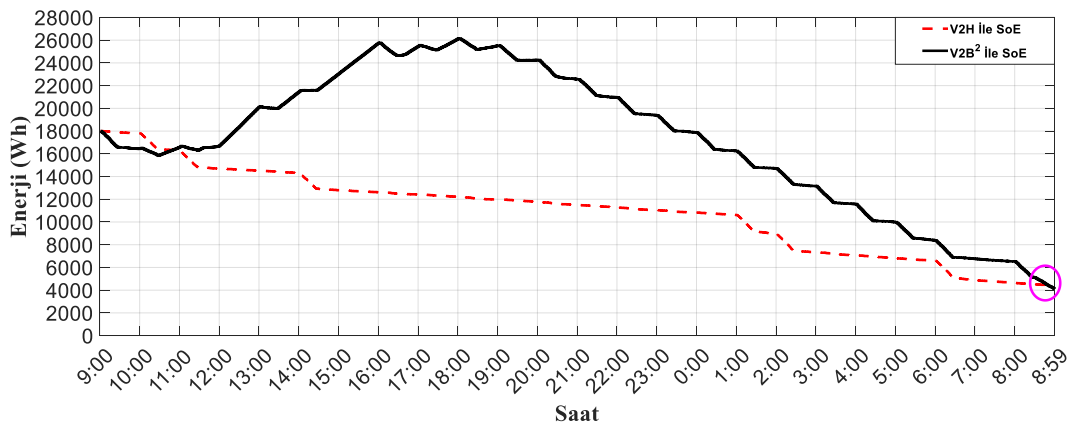
Tıpkı Senaryo 5'de olduğu gibi, son senaryoda da V2B² Tabanlı S-EEYS ile hem Ev 1 hem Ev 2'de, Şekil 3. 23. a)'da verilen YS grafiği inceliginde, daha yüksek YS'ler algoritma tarafından aktif edilmiştir. Bu durum, Şekil 3. 23. b)'de görüldüğü gibi tüketilen enerji bakımından V2H'ye kıyasla gözle görülebilir seviyede iyileşme olmasını sağlamıştır. Ayrıca, aracın Ev 1'de bir saat daha uzun süre bulunduğu da tespit edilmiştir.





Şekil 3. 23. Senaryo 6 için V2B² Tabanlı EEYS: a) Ev 1 ve 2'nin Algoritma Tarafından Aktif Edilen Yük Seviyeleri, b) Ev 1 ve 2'ye Ait Tüketim Miktarları.

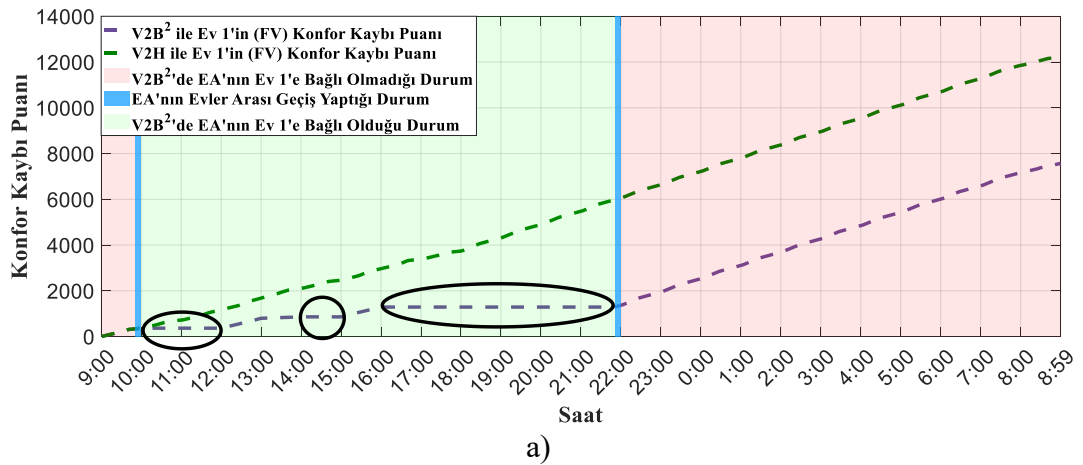
Önerilen sinerjik yaklaşımın benimsenmesiyle, ev sakinlerinin günlük yaşamlarında neredeyse 11 saat boyunca normal bir düzene yakın bir deneyim yaşamaları sağlanmıştır. EA SoE'nin, V2H sistemi ile önerilen V2B² tabanlı S-EEYS'nin arasındaki karşılaştırma, Şekil 3.24'de sunulmuştur. Şekilde pembe yuvarlak içerisinde alınan kısım, afet sonrası sürecin son anı olan t^{son} değerini belirtmektedir ve algoritmalara bağlı olarak SoE değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. V2H senaryosunda, afet sonrası sürecin büyük bir kısmında en düşük YS aktif edilerek hane halkının tüketim yapması sağlanırken, önerilen metodoloji ile birimlerin sinerjik yapıya katılmasıyla her iki evde de daha fazla cihaz kullanılması ve dolayısıyla yüksek seviyede tüketim gerçekleşmesi mümkün olmaktadır. Bu durum, EA'nın diğer eve geçiş yaparak FV üretimine olanak sağlaması sayesinde üretilen fazla enerjiyi bataryasında depolayarak bu zorluğun üstesinden gelmesine olanak sağlamaktadır.

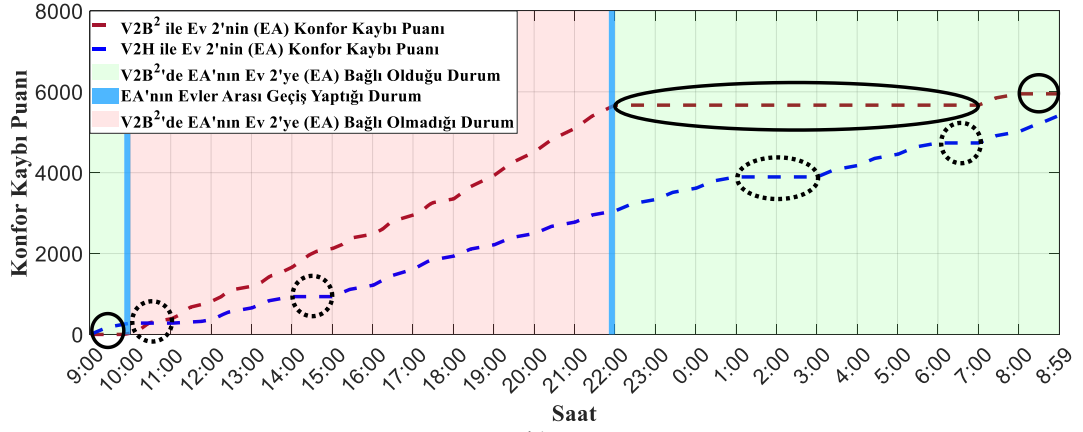


Şekil 3. 24. Senaryo 6'da V2H Tabanlı EEYS ve Önerilen V2B² Tabanlı S-EEYS Operasyonları için SoE Değişimlerinin Karşılaştırılması.

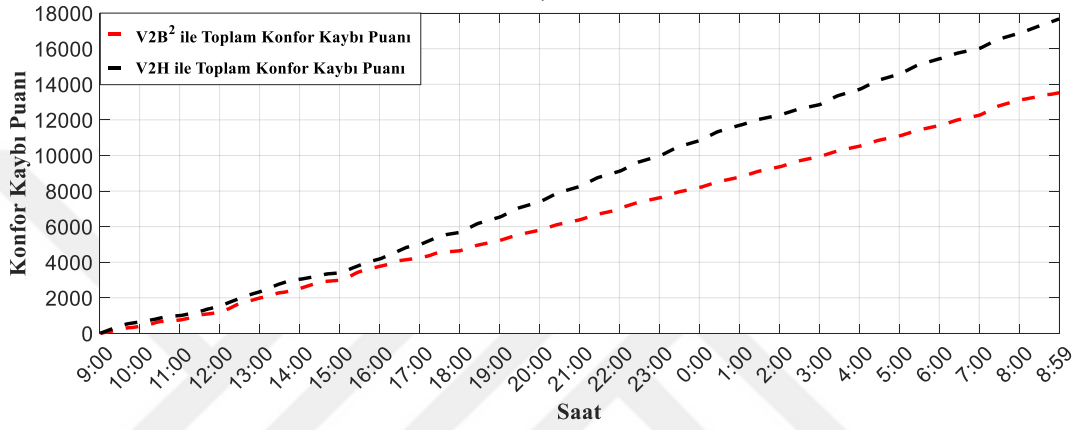
Son kullanıcılar için maruz kalınan konfor bozunumu dağılımında dikkate değer sonuçlar elde edilmiştir. Senaryo 6'da V2B² sayesinde, Ev 1 ve Ev 2 sakinlerinin

afet sonrası dönemde sırasıyla 528 ve 650 dakika boyunca konfor kaybını belirten puanı elde etmeden istedikleri cihazları çalıştırabildiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, ev sahiplerinin EA'nın evlere bağlandığında yalnızca %26 ve %8 oranında konfor kaybına maruz kaldıklarını göstermektedir. Bu sonuçlar, özellikle V2B² senaryosunun afet sonrası süreçte ev sahiplerine önemli ölçüde konfor sağladığını ve maruz kalınan konfor kaybında belirgin bir azalmaya sebep olduğunu göstermektedir. Ancak, önerilen metodolojinin uygulanmasıyla, Ev 2 için toplam konfor kaybı puanında V2H'ye kıyasla yaklaşık %10'luk bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi, EA'nın Ev 1'de bulunduğu süre ve *SoE*'nin daha yüksek değere sahip olmasıdır. Ayrıca haneler arasında konfor kaybı seviyelerinin adil paylaşımının sağlanması için algoritma sabah saat 7-8 arasında YS0'ı aktif ederek hanenin ek bir konfor kaybı puanı toplamasını sağlamış bulunmaktadır. Bununla birlikte, topluluğun toplam puanında %23.50'lik bir azalma görülmektedir. Bu durum, önerilen metodolojinin evler arası enerji yönetimi açısından avantaj sağladığını ve afet sonrası süreçte karşılaşılabilecek konfor kaybı seviyesini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Şekil 3.25. a), b) ve c)'de sırasıyla Ev 1 için, Ev 2 için ve topluluğun toplam konfor kaybı için V2H ve önerilen algoritmanın karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.





b)



c)

Şekil 3. 25. Senaryo 6'da V2H Tabanlı EEYS ile V2B² Tabanlı S-EEYS Arasında Maruz Kalınan Konfor Kaybının Karşılaştırması: a) Ev 1 için, b) Ev 2 için, c) Topluluğun Toplam Konfor Kaybı için.

V2B² senaryoları detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, V2H senaryosuna kıyasla, topluluğun genel konforuna olumsuz etki edecek durumlarda belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Bu bulgular, Tablo 3.3.'de özetlenmiştir ve önerilen algoritmanın afet sonrası senaryolarda yer alan konutların karşılaşıacağı toplam konfor bozunumunu %23.88'e kadar iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bazı durumlarda Ev 2'nin toplam maruz kaldığı konfor kaybı puanında artış yaşanmasına rağmen, Ev 1 ile sinerjik bir yaklaşım benimsenmiş olması konut sakinlerinin konfor kaybına sebep olacak duruma maruz kalma süresinde %40 oranına kadar azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, Materyal ve Yöntem bölümünde (7)'de belirtildiği gibi, konforun adil bir şekilde paylaşımının sağlanması için evlerin konfor kaybı seviyelerine kısıtlama getirilmiştir. Bu bağlamda evler arasında yaşanan konfor kaybı puanlarında en fazla %21'lik bir fark tespit edilmiş, bu farkın da önceden belirlenmiş olan %25 sınırının içerisinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, önerilen V2B² tabanlı S-EEYS'lerin evler arasındaki konfor

kaybı dağılımında adil bir paylaşım sağladığını ve topluluğun genel refahını artırdığını, böylelikle hedeflenen topluluğun afet sonrası süreçte enerji esnekliğinin iyileştirildiğini göstermektedir.

Tablo 3.3. Topluluğun Afet Sonrası Konfor Kaybının İyileştirilmesi Açısından Önerilen V2B² Tabanlı S-EEYS ile V2H Tabanlı EEYS'nin Karşılaştırılması.

Senaryo No.	Alt Senaryolar	Ev 1 Konfor Kaybı	Ev 2 Konfor Kaybı	Topluluğun Toplam Konfor Kaybı	İyileştirme (%)
Senaryo-1	V2H	12261	6815	19076	22.78
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	8124	6605	14729	
Senaryo-2	V2H	12261	8126	18796	22.85
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	6535	6375	14501	
Senaryo-3	V2H	12261	5371	17632	23.88
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	7076	6345	13421	
Senaryo-4	V2H	12261	6815	19076	22.26
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	7899	6930	14829	
Senaryo-5	V2H	12261	7319	18796	23.23
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	6535	7110	14429	
Senaryo-6	V2H	12261	5415	17676	23.50
	V2B ² Tabanlı S-EEYS	7573	5950	13523	

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Doğal afetlerin neden olduğu elektrik kesintileri, iletişim, ısınma, beslenme ve diğer temel ihtiyaçların karşılanmasında sorunlara neden olarak afet sonrası dönemde insanların günlük yaşamlarını idame ettirme kapasitelerini önemli ölçüde azaltabilir. Bu bağlamda, elektrik enerjisi afet sonrası süreçte en önemli ihtiyaçların başında gelmektedir. Elektrik sistemlerinin afetlere karşı esnekliğinin artırılması, mağdurların hayatta kalma şansını ve afet sonrası süreçteki yaşam kalitelerini iyileştirmek için kritik bir adımdır. Bu nedenle, elektrik sistemlerinin afetlere dayanıklılığını artırmak ve acil durumlar için güvenilir bir enerji kaynağı sağlamak büyük önem taşımaktadır. Doğal afetlerin ardından, bir topluluk içindeki farklı enerji depolama ve dağıtık üretim birimlerinin iş birlikçi yaklaşım ile kullanılması, enerji esnekliğini artırabilir ve hane halkının afet sonrası süreçteki konfor seviyelerini iyileştirebilir. Bu şekilde, topluluğun afetlerin olumsuz etkileriyle başa çıkma kapasitesi güçlendirilerek, mağduriyetlerin asgariye indirilmesi, toplumun daha hızlı bir şekilde normal yaşam düzenine dönmesi ve afetin neden olduğu ekonomik zararların azaltılması sağlanabilir.

Yukarıda sıralanan nedenler göz önüne alınarak, bu çalışmada, afet sonrası süreçte bir topluluğun maruz kaldığı konfor kaybı seviyesini (hane halkının çalıştırmak istediği elektrikli cihazı çalıştıramama durumu) en aza indirerek enerji esnekliğini artırmayı hedefleyen V2B² tabanlı S-EEYS tasarlanmıştır. Tezde önerilen algoritmada, şebekeden ve birbirinden elektrikli olarak izole hale gelen alanlarda bulunan evler arasında EA üzerinden enerji transferini sağlayan V2B² teknolojisi bulunmaktadır. Söz konusu sistem, afet sonrası süreçte mevcut kaynakların iş birlikçi yaklaşım içerisinde kullanılarak enerji paylaşımının optimize edilmesini, böylelikle topluluğun maruz kaldığı genel konfor kaybı seviyesini mümkün olan en düşük seviyeye çekmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, evler arasında sinerjik bir yaklaşımla elde edilen konfor seviyesinin adil bir şekilde paylaşılması da bu çalışmanın önemli bir odak noktasını oluşturmaktadır.

Önerilen algoritmanın etkinliğini değerlendirmek için farklı SoE^{bas} değerleri ve t^{bas} zamanları altında V2H tabanlı EEYS ve V2B² tabanlı S-EEYS'yi karşılaştıran altı farklı senaryo çalışması yapılmıştır. V2B² senaryolarında, EA'nın evler arasında seyahat ederek, FV'nin üretim yapmasına olanak sağlayarak ve üretilen enerji fazlasını

bataryasında depolayarak kendi evine döndüğünde hane halkının daha fazla enerji tüketmesine olanak sağlaması gibi önemli avantajlar ortaya çıkmıştır. Bu durum, topluluğun enerji esnekliğini artırırken, evlerin enerji taleplerini karşılayarak afet sonrası süreçte daha yüksek bir konfor seviyesi sağladığı söylenebilir. Önerilen V2B² tabanlı S-EEYS'in uygulanması sonucunda, Ev 2'nin enerjiye erişim süresinde V2H senaryolarına kıyasla %50'nin üzerinde bir azalma meydana gelmesine rağmen, EA'nın Ev 1'de bulunduğu süre içerisinde FV sisteminin üretim yapabilmesi ve üretilen enerji fazlasını EA'nın bataryasında depolaması, bu süreçte, Ev 2'de daha yüksek YS'lerin aktif hale getirilerek ek cihazlar kullanılmasına imkan tanımaktadır. V2B² tabanlı S-EEYS ile, afet sonrası senaryolarda topluluğun yaşadığı konfor kaybında yaklaşık %24'e kadar bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Ek olarak, bazı durumlarda, Ev 2 özelinde konfor kaybı puanında bir artış meydana gelmiş olmasına rağmen, "Araştırma Bulguları ve Tartışma" bölümünde sunulan grafiklerden görülebileceği üzere, Ev 2 sakinlerinin istedikleri cihazları çalıştırabilmelerinden ötürü konfor kaybı puanının elde edildiği sürede %25 ile %40 arasında dikkate değer bir azalma yaşanmıştır.

Sonuç olarak tez çalışması başlangıçta belirlenen amaçlar doğrultusunda tamamlanmış ve geliştirilen senaryolarla elde edilen bulgulara dayanılarak

- Afet sonrası süreçte bir topluluğun enerji esnekliği artırılmış,
- Bina sakinlerinin konfor düzeylerine odaklanılarak evsel üreten-tüketiciler arasında iş birliği yapılabilmesini sağlayan S-EEYS tasarımı gerçekleştirilmiş,
- Hane halkının maruz kaldığı konfor kaybının adil paylaşımı sağlanmıştır.

Yapılan çalışma ile görülmektedir ki afet sonrası süreçte EA evler arası yolculuk yaparken iki ev de enerjiye erişim sağlayamamakta, ayrıca, EA'nın evlerden birinde bulunduğu süre içerisinde ise diğer ev enerjisiz kalmaktadır. Bu sebeple, gelecek çalışmalarda afet sonrası süreçte yaşanan elektrik kesintileri durumunda,

- EA'nın evlere bağlı olmadığı zamanlarda elektriğe kısmi erişim sağlamak için evlerde küçük kapasiteli ikinci el bataryaların yer aldığı yeni bir algoritma geliştirilerek yaşanacak konfor kaybı ve enerji esnekliği bakımından ortaya çıkan değişikliklerin araştırılması ve karşılaştırılmasına odaklı çalışmalar,

- Çalışma tek katlı müstakil yapılar için uygulanmıştır. Gelecek çalışmalar için, günümüzde giderek daha popüler hale gelen dikey mimari göz önünde bulundurularak, bu yapılar için afet sonrası süreçte karşılaşılabilecek problemlere yönelik çözüm stratejileri oluşturulabilir,
- Topluluk sınırları içerisinde daha fazla hanenin bulunduğu bir yapı dikkate alınarak yeni teknolojilerin (hidrojen vb.) sisteme entegre edildiği durumda afet sonrası sürecin yönetimi yapılabilir,
- Tez kapsamında ele alınan konfor kaybına ait puanlar, kabul edilebilir bir nominal değer belirlenip birim değer (per unit) sistemi ile puanlama yapılarak ileriye dönük çalışmalarda bu çalışmanın temel alınması sağlanabilir.



KAYNAKÇA

- [1] S. Bin Amin, M. I. Chowdhury, S. M. Asif Ehsan, and S. M. Zahid Iqbal, “Solar energy and natural disasters: Exploring household coping mechanisms, capacity, and resilience in Bangladesh,” *Energy Res. Soc. Sci.*, 79, 102190, 1-10, 2021, doi: 10.1016/j.erss.2021.102190.
- [2] D. McClean, van J. Loenhout, and R. Below, “The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019),” *UN Off. Disaster Risk Reduct.*, 2020, doi: 10.18356/79b92774-en.
- [3] M. Waseem and S. D. Manshadi, “Electricity grid resilience amid various natural disasters: Challenges and solutions,” *Electr. J.*, 33(10), 106864, 1-10, 2020, doi: 10.1016/j.tej.2020.106864.
- [4] N. Z. Xu, K. W. Chan, C. Y. Chung, and M. Niu, “Enhancing Adequacy of Isolated Systems with Electric Vehicle-Based Emergency Strategy,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 21(8), 3469–3475, 2020, doi: 10.1109/TITS.2019.2929767.
- [5] D. Baghbanzadeh, J. Salehi, F. S. Gazijahani, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, “Resilience improvement of multi-microgrid distribution networks using distributed generation,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, 27, 100503, 1-19, 2021, doi: 10.1016/j.segan.2021.100503.
- [6] K. Amada, J. Kim, M. Inaba, M. Akimoto, S. Kashihara, and S.-I. Tanabe, “Feasibility of staying at home in a net-zero energy house during summer power outages,” *Energy Build.*, 273, 112352, 1-13, 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112352.
- [7] “Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu,” 2023. [Çevrimiçi]. <https://www.sbb.gov.tr/2023-kahramanmaras-ve-hatay-depremleri-raporu/>, Erişim Tarihi: 10.01.2024
- [8] M. Kermani, B. Adelmanesh, E. Shirdare, C. A. Sima, D. L. Carni, and L. Martirano, “Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications,” *Renew. Energy*, 171, 1115–1127, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.03.008.
- [9] IEA, “Global EV Data Explorer.” [Çevrimiçi]. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>, Erişim Tarihi: 05.10.2023
- [10] M. H. Elkholy, H. Metwally, M. A. Farahat, M. Nasser, T. Senjyu, and M. E. Lotfy, “Dynamic centralized control and intelligent load management system of a remote residential building with V2H technology,” *J. Energy Storage*, 52, 104839, 1-20, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104839.
- [11] X. Wu, X. Hu, Y. Teng, S. Qian, and R. Cheng, “Optimal integration of a hybrid solar-battery power source into smart home nanogrid with plug-in electric vehicle,” *J. Power Sources*, 363, 277–283, 2017, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.07.086.

- [12] Y. Wang, C. Chen, J. Wang, and R. Baldick, "Research on Resilience of Power Systems under Natural Disasters - A Review," *IEEE Trans. Power Syst.*, 31(2), 1604–1613, 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2429656.
- [13] H. Momen, A. Abessi, S. Jadid, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, "Load restoration and energy management of a microgrid with distributed energy resources and electric vehicles participation under a two-stage stochastic framework," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 133, 107320, 1-20, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107320.
- [14] H. Mehrjerdi and R. Hemmati, "Coordination of vehicle-to-home and renewable capacity resources for energy management in resilience and self-healing building," *Renew. Energy*, 146, 568–579, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.004.
- [15] Y. Yang and S. Wang, "Resilient residential energy management with vehicle-to-home and photovoltaic uncertainty," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 132, 107206, 1-8, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107206.
- [16] A. K. Candan, A. R. Boynuegri, and N. Onat, "Home energy management system for enhancing grid resiliency in post-disaster recovery period using Electric Vehicle," *Sustain. Energy, Grids Networks*, 34, 101015, 1-14, 2023, doi: 10.1016/j.segan.2023.101015.
- [17] K. Rahimi and B. Chowdhury, "A hybrid approach to improve the resiliency of the power distribution system," *2014 North Am. Power Symp. NAPS 2014*, 1-6, 2014, doi: 10.1109/NAPS.2014.6965472.
- [18] H. Mehrjerdi, "Resilience-robustness improvement by adaptable operating pattern for electric vehicles in complementary solar-vehicle management," *J. Energy Storage*, 37, 102454, 1-10, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102454.
- [19] Y. Zhou, S. Cao, R. Kosonen, and M. Hamdy, "Multi-objective optimisation of an interactive buildings-vehicles energy sharing network with high energy flexibility using the Pareto archive NSGA-II algorithm," *Energy Convers. Manag.*, 218, 113017, 1-20, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113017.
- [20] S. Zheng, G. Huang, and A. C. Lai, "Techno-economic performance analysis of synergistic energy sharing strategies for grid-connected prosumers with distributed battery storages," *Renew. Energy*, 178, 1261–1278, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.06.100.
- [21] H. Shin and R. Baldick, "Plug-In Electric Vehicle to Home (V2H) Operation under a Grid Outage," *IEEE Trans. Smart Grid*, 8(4), 2032–2041, 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2603502.
- [22] M. W. Tian and P. Talebizadehsardari, "Energy cost and efficiency analysis of building resilience against power outage by shared parking station for electric vehicles and demand response program," *Energy*, 215, 119058, 1-10, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119058.
- [23] S. M. Hakimi and A. Hasankhani, "Intelligent energy management in off-grid smart buildings with energy interaction," *J. Clean. Prod.*, 244, 118906, 1-13,

2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118906.

- [24] G. Barone, A. Buonomano, F. Calise, C. Forzano, and A. Palombo, "Building to vehicle to building concept toward a novel zero energy paradigm: Modelling and case studies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 101, 625–648, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.003.
- [25] D. P. Tuttle, R. L. Fares, R. Baldick, and M. E. Webber, "Plug-In Vehicle to Home (V2H) duration and power output capability," *2013 IEEE Transp. Electrification Conf. Expo Components, Syst. Power Electron. - From Technol. to Bus. Public Policy, ITEC 2013*, 1–7, 2013, doi: 10.1109/ITEC.2013.6574527.
- [26] A. Buonomano, "Building to Vehicle to Building concept: A comprehensive parametric and sensitivity analysis for decision making aims," *Appl. Energy*, 261, 114077, 1-19, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114077.
- [27] S. Sridharan, S. Sivakumar, N. Shanmugasundaram, S. Swapna, and V. Vasan Prabhu, "A hybrid approach based energy management for building resilience against power outage by shared parking station for EVs," *Renew. Energy*, 216, 119002, 1-15, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119002.
- [28] B. Singh and D. Pozo, "A Guide to Solar Power Forecasting using ARMA Models," *Proc. 2019 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Eur. ISGT-Europe 2019*, 8–13, 2019, doi: 10.1109/ISGT-Europe.2019.8905430.
- [29] Y. Huang, J. Lu, C. Liu, X. Xu, W. Wang, and X. Zhou, "Comparative study of power forecasting methods for PV stations," *2010 Int. Conf. Power Syst. Technol. Technol. Innov. Mak. Power Grid Smarter, POWERCON2010*, 1-6, 2010, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666688.
- [30] R. Huang, T. Huang, R. Gadh, and N. Li, "Solar generation prediction using the ARMA model in a laboratory-level micro-grid," *2012 IEEE 3rd Int. Conf. Smart Grid Commun. SmartGridComm 2012*, 528–533, 2012, doi: 10.1109/SmartGridComm.2012.6486039.
- [31] IEEE-SA Standards Board, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," 2003. doi: 10.1109/MPER.1995.350411.
- [32] "2020 Renault ZOE R110 - specifications, 2020.", [Çevrimiçi]. <https://www.evspecifications.com/en/model/dc3eac>, Erişim Tarihi: 23.10.2023.
- [33] Y. Deng *et al.*, "Two-stage residential community energy management utilizing EVs and household load flexibility under grid outage event," *Energy Reports*, 9, 337–344, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.414.