



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

2019-2020 BAHAR YARIYILI

Elektrik Güç Sisteminin Dayanıklılığını Arttırmak İçin Elektrikli Araçların Acil Durum Kaynağı Olarak Kullanılması ve Optimizasyon Tabanlı Yeni Bir Yaklaşımın Geliştirilmesi

BİTİRME ÇALIŞMASI

Hazırlayan

16012602 İdil Su TERZİ
13012030 Semanur SANCAR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ

İSTANBUL, 2020

Bu tez çalışmasında, gün geçtikte popülerliği artan elektrikli taşıtların V2G modunda kullanılması kapsamında, acil durum ve afet yönetimi esnasında şebekeyi desteklemesi için oluşturulan elektrikli taşıt filosunun kritik yükleri beslemede gösterdiği kapasite incelenmiştir.

Bilgi ve tecrübesine her zaman imrendiğimiz, birlikte çalışmaktan onur duyduğumuz ve bize katmış olduğu vizyondan dolayı saygıdeğer danışman hocamız Doç. Dr. Ozan Erdiñ'e, tecrübe ve bilgilerinden yararlanırken göstermiş olduğu sabır ve hoşgörü için Arş. Gör. Ayşe Kübra ERENOĞLU'na, hayatımızın her aşamasında bize olan inançlarını daima hissettiğimiz ailelerimiz ve sevdiklerimize teşekkürü borç biliriz.

MAYIS, 2020

SEMANUR SANCAR

İDİL SU TERZİ

ADLAR DİZİNİ

KISALTMA LİSTESİ

ÖZET

ABSTRACT

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon ve Geçmiş Çalışmalar

1.1.1. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Talebi

1.1.2. Doğal Afetler

1.1.3. İklim Değişiklikleri

1.1.4. Pandemi

1.1.5. Güç Sistemlerinde Dayanıklılık(Resiliency)

1.1.6. Elektrikli Taşıtlar(EVs)

1.1.7. V2X Teknolojileri

1.1.8. V2G Modunda Elektrikli Taşıt Uygulamaları

1.1.9. V2G ve Dayanıklılık

1.2. Çalışmanın Katkıları

1.3. Afetler Sonucunda Şebekede Oluşan Yıkımlara Ait Görseller

1.3.1. Deprem Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları

1.3.2. Nükleer Patlama Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları

1.3.3. Tsunami Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları

- 1.3.4. Dolu ve Heyelan Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları
- 1.3.5. Buzlanma Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları
- 1.3.6. Gaz Borusu Patlaması ve Yıldırım Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları
- 1.3.7. Hortum-Kasırğa Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları
- 1.3.8. Yangın Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları

2. METODOLOJİ

- 2.1. Sistemin Genel Tanıtımı
- 2.2. İstatistiksel Analiz
- 2.3. Çoklu Regresyon Analizi ve Tahmini
- 2.4. Optimizasyon İşleminin Matematiksel Formülasyonu

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

- 3.1. Giriş Verileri
- 3.2. Sonuç ve Tartışma
 - 3.2.1. Çoklu Regresyon Sonuçları
 - 3.2.2. Optimizasyon Sonuçları

4. SONUÇ

5. TEŞEKKÜR

6. KAYNAKLAR

Çoklu Regresyon Tahmin Elemanları

y	Bağımlı değişken (sonuç değişkeni)
x	Bağımsız değişken (sebeup değişkeni)
β_0	Sabit
$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_h$	Regresyon katsayısı. X' in bir birim değişimine karşın Y 'deki birim cinsinden değişimidir.
ϵ	Rastal hata terimi

σ	Standart sapma
n	Modelin eleman sayısı
$\hat{x}$	Gerçek verinin ortalaması
X	Gerçek veri

Optimizasyon Programı

A. Kümeler

t	Zaman kümesi [periyot].
e	Elektrikli taşıt kümesi.
i	Bara kümesi.
l	Hat kümesi.
p	Nokta kümesi.

B. Parametreler

süre	Periyot sayısı.
$vaka_t$	Arıza oluşan periyot.
$vaka_i$	Arıza oluşan bara.
$soe_e^{kayıp}$	Elektrikli taşıtların arıza barasına ulaşana kadar harcayacakları enerji [kWh].
$SOE_{e,vaka_t}$	Arıza oluşan periyotta elektrikli taşıtların bataryalarındaki enerji [kWh].
SOE_{min}	Elektrikli taşıtların bataryalarının minimum enerji kapasiteleri [kWh].
$b_{i,e}$	Arıza anında taşıtların baraya olan mesafelerine bağlı uygunluk durumu [1,0].
$soket_i$	Baralara bağlı soket sayısı.
$t_{ayrılma}$	Vaka sonu taşıtların baradan ayrılma periyodu.
$p_{i,t}^{baz}$	Baz istasyonu anlık güç talebi [kW].
$p_{i,t}^{hast}$	Hastane anlık güç talebi [kW].
$p_{i,t}^{tv}$	Televizyon binası anlık güç talebi [kW].

$P_{i,t}^{non}$	Kritik olmayan yükler anlık güç talebi [kW].
DG_e	Elektrikli taşıtların deşarj gücü [kW].
f_l^{max}	Hat kapasitesi [kW].
$P_i^{f,max}$	Referans barasına bağlı transformatörün kapasitesi [kW].
X_p	p nokta kümesinin x koordinat noktası
Y_p	p nokta kümesinin y koordinat noktası

C. Değişkenler

E	Vakaya katılan elektrikli taşıtlar.
T	Vakayı içeren periyotlar.
$u1_t$	Baz istasyonu besleme kararı [1,0].
$u2_t$	Hastane besleme kararı [1,0].
$u3_t$	TV binası besleme kararı [1,0].
$u4_t$	Kritik olmayan yükler besleme kararı [1,0].
$P_{i,t}^{yük}$	Deşarj gücü ile beslenen anlık yük [kW].
$P_{e,t}^{deşarj}$	Anlık toplam deşarj gücü [kW].
$SOE_{e,t}$	Elektrikli taşıtların zamana bağlı enerji durumları [kWh].
$alfa_{e,t}$	Elektrikli taşıtlar için vakaya katılma kararı [1,0].
a_e	Elektrikli taşıtlar için vakaya katılma kararı işlem değeri [1,0].
$f_{l,t}$	Hatlardan akan anlık güç [kW].
$P_{i,t}^f$	Transformatörden talep edilen anlık güç [kW].
$P_{i,t}^{f,yük}$	Sistemin toplam anlık güç talebi [kW].
$P_{l,t}^{kayıp}$	Hatlarda anlık kayıp güç [kW].
$F_{l,t}$	Hatlardan akan anlık gücün karesi [kW ²].
$z_{l,t,p}$	Hatlarda oluşan kayıpları bulmak için kullanılan SOS2 değişkeni.

KISALTMA LİSTESİ

DSO – Dağıtım Sistem Operatörü

DEK – Dağıtık Enerji Kaynakları

EES – Enerji Mühendislik Sistemi (Energy Engineering System)

EV – Elektrikli Taşıt (Electric Vehicle)

EYS – Enerji Yönetim Sistemi

IEA – Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)

RES – Yenilenebilir Enerji Sistemleri (Renewable Energy Systems)

TSO – İletim Sistem Operatörü (Transmission System Operator)

V2B – Taşıttan Binaya (Vehicle to Building)

V2G – Taşıttan Şebekeye (Vehicle to Grid)

V2H – Taşıttan Eve (Vehicle to Home)

V2X – Taşıttan X'e (Vehicle to X)

VGI – Taşıt-Şebeke Entegrasyonu (Vehicle-Grid Integration)

Günümüzde, dünya nüfusunun artmasına ve teknolojinin giderek büyümesine bağlı olarak enerji tüketimi katlanarak artmaktadır. Bu tüketimi karşılamak için ülkeler, araştırmacılar ve çevreciler çeşitli arayışlar içine girmiş; yasal düzenlemeler, çevre bilinci oluşturma ve bilimsel araştırmalar önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda, çevre dostu olarak atılan adımlarda yenilebilir enerji sistemlerinin en başta gözde hale gelmesi ile birlikte talep yönetimi, yenilebilir kaynakların entegrasyonu, kaynakların verimli kullanımı, sistem dengesi, enerji depolama, akıllı şebekeler(smart grids) gibi konularda da yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir. Tabiatı gereği kararsız güç profiline sahip enerji sistemleri, şebekenin düzgün işletimi ve idaresi yönünden enerji üretimi ve tüketiminin dengelenmesi konusunda hassas bir yapıya sahiptir bilhassa bu yönde yeni çalışmalar literatüre eklenmektedir. Bu çalışmada, dağıtım sisteminin kayda değer bir süre boyunca kullanılamaması durumunda elektrik arz-talep güvenliğinin sağlanması için elektrikli araç(electrical vehicles - EV) filosunun deşarj gücü kapasitesi kullanılarak yeterli bir enerji kaynağı oluşturulması doğrultusunda bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, literatürden elde edilen verilere dayanarak tüketim için kritik ve kritik olmayan yük profilleri oluşturulup buna göre talebin karşılanması amaçlanmıştır. Gerçekçi bir yaklaşım geliştirmek amacıyla, TLC'nin New York taksileri için kaydedilmiş yolculuk kayıtları ile regresyon yapılarak lokasyonlara göre olası taksi sayısı tahmin edilip, buna göre optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu optimizasyon modelinin programlanmasında karmaşık tam sayılı lineer programlama yöntemi (Mixed Integer Linear Programming – MILP) kullanılmış olup modelin benzetim çalışması Python 2.7 versiyonunun PuLP 1.6.8 açık kaynak kodlu kütüphanesi içinde CPLEX ticari optimizasyon çözücüsü ile yapılmıştır. Her EV güç kaynağı olarak kabul ederek, bunların tedarik, deşarj süresi, kullanım limiti gibi parametreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, bir EV araç filosunun olası bir enerji kesintisinde ilgili birimlere makul bir sürede güç sağlayabileceğini göstermektedir.

ABSTRACT

Nowadays, energy consumption is growing incrementally depending on the increase of the world population and use of technology. To supply this consumption; countries, researchers and environmentalists embark on various quests; legal regulations, raise environmental awareness and scientific researches have become important. In this study, an optimization model has been created in order to create an adequate energy source by discharging the electric vehicles (EV) fleet in case the distribution system cannot be used for a considerable period in order to ensure electricity supply-demand security. In this context, new approaches are being developed in issues such as demand management, integration of edible resources, efficient use of resources, system balance, energy storage, smart grids, as well as renewable energy systems becoming the most popular in environmentally friendly steps. Balance of energy production and consumption matter to operation and management of the network by unstable energy systems' nature. Especially in this direction, new studies are added to the literature. In this study, an optimization model has been created in order to provide an adequate energy source by using the discharge power capacity of the electric vehicle (EV) fleet to ensure electrical supply-demand security in case the distribution system cannot be used for a considerable time. This optimization program uses car fleet's discharge power in order to meet the demand. In addition, based on the data obtained from the literature, it is aimed to create critical and non-critical load profiles for consumption and maintain the demand accordingly. In order to develop a realistic approach, regression model which is estimated the number of possible taxis according to the locations was made with TLC's recorded travel data for New York taxis. Mixed Integer Linear Programming(MILP) was used in this opization model, and the simulation study of the model was carried out with the CPLEX commercial optimization solver in the PuLP 1.6.8 open source library of Python 2.7 version. The electric vehicles are accepted as the power source and the supply, discharge time, and usage limit of each electric vehicle is computed. Results demonstrate that EV fleet can supply power to respective modules for a reasonable amount of time during a power outage.

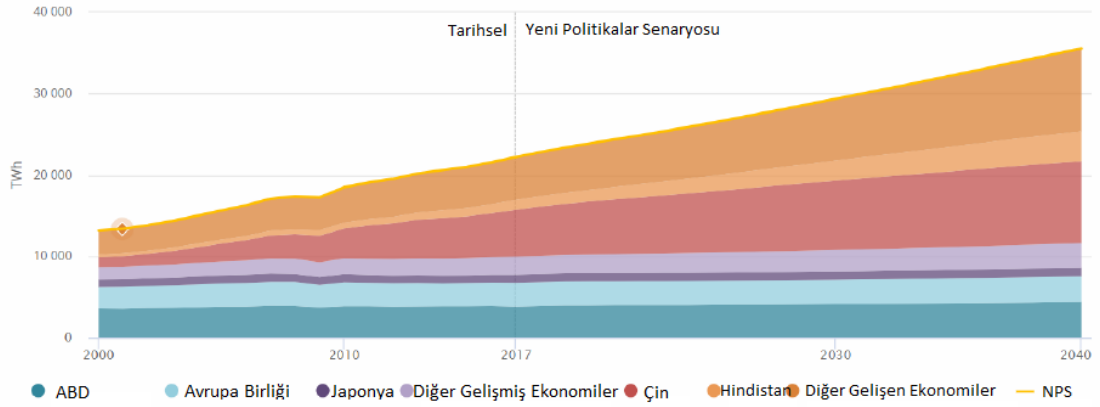
1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon ve Geçmiş Çalışmalar

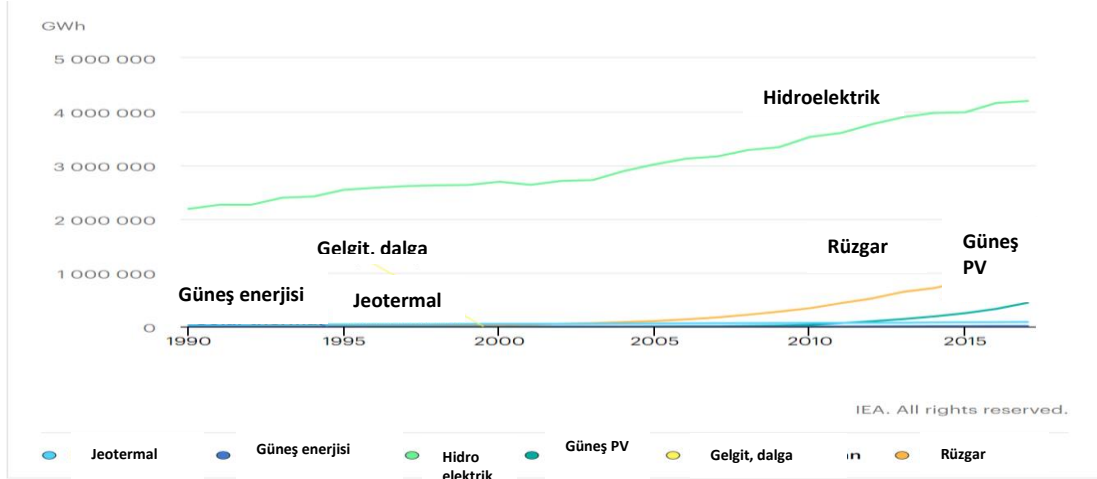
1.1.1. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Talebi

Dünyadaki dijitalleşme, yapay zeka kullanımı ve nüfusun artması ile her ne kadar toplumsal farkındalık, tasarruf ve iklim konularında acil eylem planları yapılsa da gerçekte, enerji tüketimi geometrik artış göstermektedir. Elektrik tüketiminin farklı alanlarda kullanım göstermesi özellikle arz-talep dengesinde hızlı değişimlere sebep olmaktadır. Beklenen ve gerçekte olan bu enerji sarfiyatı arasındaki uyumsuzluğun giderek artması enerji talebine cevap verilmesi konusunda sistem operatörleri tarafından önemli bir konu haline gelmiştir. Talebe yönelik gerekli durumlarda alternatif enerji kaynaklarını devreye almanın yanı sıra arza yönelik olarak da kaynak çeşitliliği ve entegrasyonu önem teşkil etmektedir.

Dünya genelinde enerji üretimi 2018’de %2.8 artarak büyüme eğilimi göstermiştir. Küresel enerji üretimindeki bu büyümede ABD ve Çin %54’lük pay ile yer almıştır. Elektrik enerjisi üretiminde ise %3.5 artarak yine Çin ve ABD, 2018’deki büyümenin dörtte üçünü oluşturmuştur. ÇED politikaları doğrultusunda Avrupa Birliği’nde (özellikle Almanya, İngiltere, Belçika ve Türkiye’de) yenilebilir enerji kaynakları kullanımı oranları artmaya devam etmiştir.(Enerdata, 2019)



Şekil 1 Küresel Elektrik , 2000-2040



Şekil 2 Kaynak Bazlı Yenilenebilir Elektrik Üretimi, Dünya 1990-2018

Türkiye’de 2019 yılı sonu ile elektrikte kurulu güç 91.300 MW’a yükseldiği ve üretimin %62’sinin yerli ve yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı açıklanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasitesi 44.767 MW’a ulaşmış ve daha da artırılması düşünülmektedir. (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020)

Yenilenebilir enerji sistemlerine dayalı elektrik üretimi gün geçtikçe artmaktadır ve global enerji piyasaları ulaşımın elektrifikasyonu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artması hususunda büyük bir dönüşüm geçirmektedir. (Brown ve ark. 2019). Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli sorunlarından biri sürekliliktir. Hava koşullarına ve günün saatlerine bağlı olan elektrik üretimi kimi zaman talebi karşılama

sorunu oluşturmakta ve enerjide dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu bağlamda fazla üretilen elektrik enerjisi depolama sistemleri tarafından karşılanmaktadır. Ulaşımın elektrifikasyonu da fosil yakıtları azaltmaya ve yenilebilir enerji sistemlerini arttırmaya yönelik enerji aktarma sistemlerinden biridir. Enerjiyi geçici olarak depolama, yüksek elektrik enerjisi talep zamanlarında şebekeye geri besleme (V2G) ve şebekenin dalgalanmasını önleme konusunda elektrikli araç aküleri önemli bir yere sahiptir. (Regis ve ark. 2017)

1.1.2. Doğal Afetler

Enerji sektöründeki tüm bu gelişme, değişme ve büyümelerle birlikte göz önünde bulundurulması gereken bir diğer kritik faktör ise doğal afetlerdir. Deprem, fırtına ve tsunami gibi doğal afetler dünya üzerinde bir çok yerde getirdikleri yıkımla birlikte elektrik iletim ve dağıtım birimlerine de büyük zararlar vermektedir. 2017 gibi yakın bir tarihte Porto Riko’da yaşanan Maria Kasırgası bölgede şebekenin büyük bir çoğunluğunun çökmesine sebep olmuştur (Central Intelligence Agency 2018). Benzer bir örnekte Bangladeş’te Kasım 2007’de meydana gelen Sidr Hortum’u 3400 insanın ölümüne sebep olurken tarihte kayda geçen en büyük elektrik kesintilerinden birini de beraberinde getirmiştir. Bu kesinti 75 milyon insanın elektriğe ulaşımını kısıtlamıştır (World Bank Group 2019).

Güç sistemlerindeki yapısal arızalar nedeniyle oluşan elektrik kesintileri özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerine ciddi etkiler oluşturmaktadır. Rentschler ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada gelişmekte olan ülkelere elektrik kesintilerinin firmalarda yaşanan kayıplara yansımaları kapasite kullanım kaybı 32 milyar dolar ve satış kaybı 82 milyar dolar olarak tahmin etmektedirler. Bununla birlikte kesintiler, evsel tüketiciler için de ısıtma-soğutma sistemleri, ekonomik-egitimsel faaliyetler, yemek ve temizlik gibi gündelik temel ihtiyaçları karşılamada aksamalar meydana getirmektedir (World Bank Group 2019).

Gelişmekte olan ülkeler değerlendirildiğinde GSMH’nin büyük bir payını enerji ile ilgili harcamaların kapsadığı görülmektedir. Bu ülkelerin güç sistemleri için yapacakları yatırımların ek masraflarla beraber 2018 ve 2030 yılları arasında toplam 88-118\$ bandında olacağı tahmin edilmektedir (Nicolas ve ark. 2019). Yapılan kapsamlı

çalışmada (World Bank Group 2019) tüm bu yatırım ve operasyon planlamaları yapılırken güç sistemlerinde doğal afetlere ve iklim değişikliklerine karşı olan savunmasızlık ve elektrik iletim ve dağıtım modellerinin esneklik potansiyeli üzerinde durulmuştur.

İlgili çalışmanın (World Bank Group 2019) acil durum eylem planlarını kapsayan bölümünde kamusal tedbirler çerçevesinde afet risk yönetimi uygulamalarında esneklik sağlamak için önerilen yardımcı programların temel başlıkları şu şekildedir;

- **Kanunlar, Yönetmelikler, Yönergeler ve Kurumsal Çerçevesler**

Dayanıklılık; gereken yasaları, düzenlemeleri ve yönergeleri geliştirmeye veya sürdürmeye bağlıdır. Bununla birlikte güç sistemi paydaşlarının olası vakaları tecrübe etmek üzere oluşturdukları tatbikat planları ve personel eğitimleri gibi hazırlık aşamaları önem teşkil etmektedir.

- **Varlık Yönetimi**

Şebeke altyapısı bileşenlerinin bakım, onarım, güncelleme ve kırılganlığın belirlenmesi gibi işlemlerin düzenli olarak yapılması; enerji altyapısı haritasının çıkartılması ve ekipmanların standartlaştırılması gerekmektedir.

- **Teknolojik / Sistem Çözümleri**

Afet sırasında hasarlı alanların tespiti ve gerekli bilgi alışverişinin sağlanabilmesi için coğrafi bilgi sistemleri geliştirilmelidir.

- **Finansal Araçlar**

Sigortalar, fonlar ve krediler finansal tedbirler ayağını oluşturmaktadır.

- **Kapasite geliştirme**

Saha, ofis elemanlarının ve ihtiyaca bağlı yedek personelin acil durumlarla ilgili gerekli ve yeterli eğitimleri almış olduğundan emin olunmalıdır.

Doğal afet sebebi ile oluşabilecek hasarlar neticesinde güç sistemlerinde arıza olduğu takdirde literatürde belirlenen bazı yüklerde sistemin hızlı ve etkili bir şekilde geri kazanılması aşamasında öncelik sıraları belirlenmiştir. Bu bağlamda (World Bank Group

2019) hayati öncelik sırasına giren yükleri; hastane ve sağlık birimleri, su sağlama servisleri, yiyecek sektörü, ulaşım ve haberleşme elemanları olarak belirlemiştir.

16 deprem, 15 uzay hava olayı ve 20 sel baskını vakasının incelendiği çalışmada (Karagiannis ve ark. 2017) çeşitli doğal afet durumlarının güç sistemlerine etkileri, verdikleri zararın irdelenmesi ve sistemlerin tamir süreçleri ön plana çıkartılmıştır. Çalışmada, güç sistemlerinin tekrar devreye alınma süreleri birkaç saatten ayları bulan süreleri kapsamıştır. Tablo (1)'de bazı güç sistemi elemanlarının tamir gerekliliklerine göre hangi sürede dönüşüm sağlayabileceklerine dair tahminler gösterilmiştir. Bu kapsamda Avrupa elektrik sağlayıcı sistemlerinin emniyet ve güvenlikleri için Politika, Zarar Azaltma ve Acil Durum Yönetimi başlıklarını kapsayan önerilerde bulunmuşlardır.

Tablo 1 Dağıtım Birimi Elemanlarında Tamir Stratejisine Bağlı Tamir Süreleri

Bileşen	Tamir Stratejisi	Tamir Süresi
Dağıtım Kulesi	Değiştirme	10 Gün
	Geçici Kule Dikme	1-2 Gün
Büyük Güç Transformatörü	İnceleme, Sıfırlama ve Yeniden Enerji Verme	14-20 Saat
	Yerinde Yağ Doldurma	2 Gün
	Yerinde Küçük Onarım	1-2 Hafta
	Yerinde Sargıları Değiştirme	3 Ay
	Değiştirme (mevcut yedek yok)	1 Yıl veya Daha Fazla
	Yedeği ile Değiştirme	5 Gün

Tablo 2 Önemli Son Kesintiler

Kararma/Kesinti	Kayıp [GW]	Süreç [s]	Etki Alanı	Temel Sebepler
-----------------	------------	-----------	------------	----------------

14 Ağustos 2003	Great Gölü, NYC	~ 60	~ 16	50 m	Yetersiz geçiş hakkı bakımı, EYS hataları, komşu DSO'lar arası zayıf koordinasyon
23 Eylül 2003	Danimarka/İsveç	6.4	~ 7	4.2 m	İki bağımsız bileşen arızası (N-1 kuralı kapsamında değil)
28 Eylül 2003	İtalya	~ 30	up to 18	56 m	Yüksek yük akışı, komşu DSO'lar arası zayıf koordinasyon
12 Temmuz 2004	Atina	~ 9	~ 3	5 m	Voltage collapse
25 Mayıs 2005	Moskova	2.5	~ 4	4 m	Trafo yangını, aşırı yük koşullarına yol açan yüksek talep
22 Haziran 2005	İsviçre (demiryolu arızı)	0.2	~ 3	200,000 Yolcu	N-1 kuralının yerine getirilmemesi, hat koruma ayarlarının yanlış dokümantasyonu, yetersiz alarm işleme
14 Ağustos 2006	Tokyo	?	~ 5	0.8 m households	İnşaat işi nedeniyle ana hatta hasar
4 Kasım 2006	Batı Avrupa (planlı hat kesintisi)	~ 14	~ 2	15 m households	Yüksek yük akışı, N-1 kuralının ihlali, DSO'lar arası zayıf koordinasyon
10 Kasım 2009	Brazilya, Paraguay	~14	~4	60 m	Kötü hava nedeniyle anahtar güç hattında

					kısa devre. Itaipu hidro (18 GW) kapatıldı
11 Mart 2011	Kuzey Honshu, Japonya	21	days	40 m	Deprem ve tsunami ile şebeke imhası / arz boşluğu / yuvarlanan elektrik kesintileri
22 Aralık 2013	ABD / CND kesintisi	22	few hours to 7 days	1 m	Buz fırtınasından yağmur ve kar donması nedeniyle elektrik iletimine ve ağaçlara büyük hasar
31 Mart 2015	Türkiye	33	8	76 m	Hidro üretim fazla tedariki, azaltılmış termal üretim, doğu-batı iletim hatlarında bakım kombinasyonu

Doğal afetlerin etkileri ölçülürken görüldüğü gibi oluşturdıkları yıkım kuvvetine bağlı olarak sistemin geri kazanımına ne kadar süre etki etki ettikleri etki alanları ve kadar güç kaybına sebep oldukları gibi değerler ön plana çıkmaktadır. Güç ve enerji kayıplarının boyutlarını ise temelde doğal afetin iletim veya dağıtım sisteminde hangi kısma ne kadar zarar verdiği belirler. (Organization for Security and Co-operation in Europe, 2016) yapılan çalışmanın ‘1.1. Elektrik şebekesinin risk değerlendirmesinin temel unsurları’ bölümünde yakın tarihlerde büyük kayıplara sebep olmuş doğal afetler ve etkileri Tablo (2)’deki gibi sıralanmıştır. Yine aynı bölümde elektrik güç sisteminin sağlamlığı ve esnekliğini sağlamak üzere maliyet-fayda kısıtları öz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi temel kılavuz ilkeler öngörülmüştür:

- Kaynak rezervlerini ayırma, işlevsel çeşitlilik ve yeterli kaynak, anahtar bağlantılı bileşenlerin (düğüm, bağlantılar) işlevselliğini sağlama, fiziksel fazlalık ve çeşitlilik uygulama

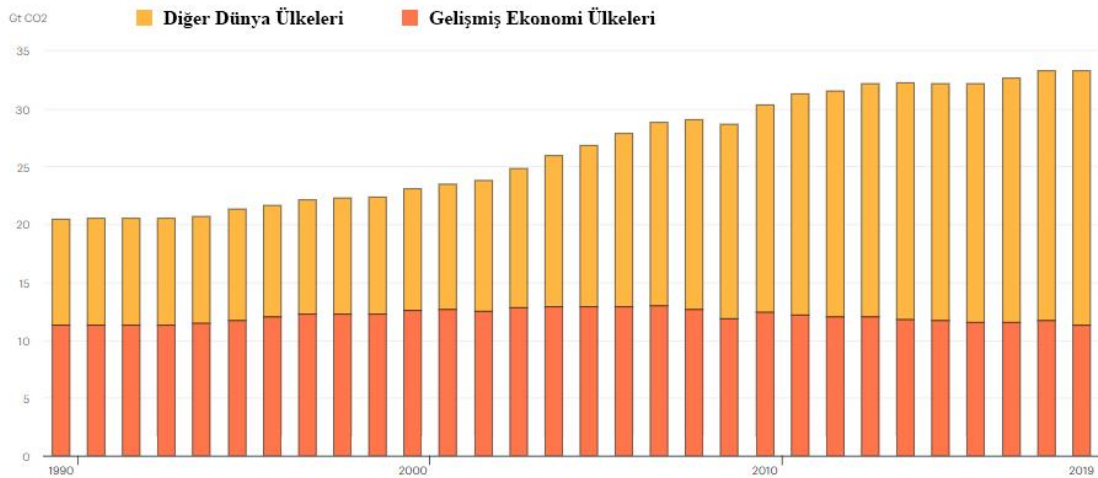
- Sistem bağlantısını azaltma, ayırma stratejileri gerçekleştirme (adalama vb)
- Sağlam bir şebeke topolojisi tasarlama, hem merkezi hem de merkezi olmayan kümelerle izin vererek birbirine bağıllığı dengeleme, kritik düğümleri belirleme ve arızaları yaymalarını önleme, şebeke yapısını (derece, bağlantı) rastgele arızalara ve hedefli saldırılara karşı optimize etme
- Otomasyon ve insan kontrolünün yanı sıra karmaşıklığı da dengeleme
- Dış değişikliklere yanıt olarak sistemin yeniden yapılandırılabilmesi ve kendi kendini düzenlemenin sağlanması için güvenlik marjları dahilinde operasyon için tasarım
- Gerçek zamanlı ölçümler ve N-1 güvenlik kontrolleri kullanma ve bunlara dayalı uyarlanabilir geri bildirimler uygulama
- Tehlikeleri, tehditleri ve ilişkili senaryoları, kötü niyetli siber saldırılar da dahil olmak üzere, akla gelebilecek her şeye yayma; yeni bilgi ve gelişmiş modelleme tekniklerini uygulayarak tekrarlanabilirlik için çaba gösterme ve karşılıklı bağımlılıkları incelemek için bir çerçeve kullanma

1.1.3. İklim Değişiklikleri

Enerji talebini karşılamak üzere kullanılan fosil yakıtların atmosfere dönüşümü karbon emisyonu şeklinde olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın(IEA) karbon emisyonu ile ilgili yayınladığı raporda enerji ile ilişkili olarak salınan karbon emisyonunun gelişmiş ekonomi ülkeleri ve diğer ülkeler bazında yıllara ait değerleri Şekil (3)'te verilmiştir. Yayımlanan rapora göre kömür kullanımından kaynaklanan küresel CO_2 emisyonları, 2018'de yaklaşık 200 milyon ton (% 1,3) azalmış ve petrol-doğal gaz emisyonlarındaki artışları dengelemiştir. Gelişmiş ülkelerdeki emisyonların 370 Mt (% 3,2) üzerinde gösterdiği düşüş eğiliminde başı çeken sektör %85 katkı ile elektrik enerji sektörü olmuştur. 2019'daki emisyon eğilimleri, enerji sektörü liderliğindeki temiz enerji geçişlerinin devam ettiğini göstermiştir. Gelişmiş ekonomilerde 1980'lerden (elektrik talebinin üçte bir daha düşük olduğu) bu yana yaşanan CO_2 emisyonlarındaki en büyük düşüş gerçekleşmektedir (IEA, 2020).

Bu olumlu gelişmelere rağmen dünya çapındaki emisyon düşünüldüğünde karbon emisyonunun hala ciddi seviyelerde olduğu görülmektedir. Karbon emisyonu küresel

ısınma ve iklim değışiklikleri gibi sorunlara sebep olurken, bu sorunlar da çeşitli doğal afetlere zemin hazırlamaktadır. Doğal afetlerin enerji sistemleri ve ekonomik düzene bahsedilen etkileri düşünöldüğünde birbirini takip eden bu sebep sonuç döngüsü oluşmaktadır. Sistem güvenliği her dönemde önemini korumuştur ancak gelinen teknolojik ve endüstriyel noktada elektrik enerjisi bağımlılığı eskiye nazaran çok daha hassas durumdadır. Bu kapsamda, (Organization for Security and Co-operation in Europe, 2016) yapılan çalışmanın ‘1.7. İklim değışikliği altında elektrik şebekesi direnci’ bölümünde elektrik şebekesi altyapısının ve özellikle dağıtım şebekesinin esnekliğinin artırılmasının, altyapı sağlayıcıları için temel bir görev olduğuna değinilmiştir. Meteorolojik değışikliklere karşı şebeke dayanıklılığı, bu değışikliklerin gelecekte oluşma sıklıklarının artacağı ve elektrikte hizmet kesintilerinin ekonomik maliyetlerinin ciddi sonuçlar doğurması göz önünde bulundurularak, elektrik şebekelerinin özelleştirilmiş ağlara ve iklim değışikliğinin etkilerine karşı daha dayanıklı olması için elektrik iletim altyapısına yapılan yatırımın artırılmasına özel önem verilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

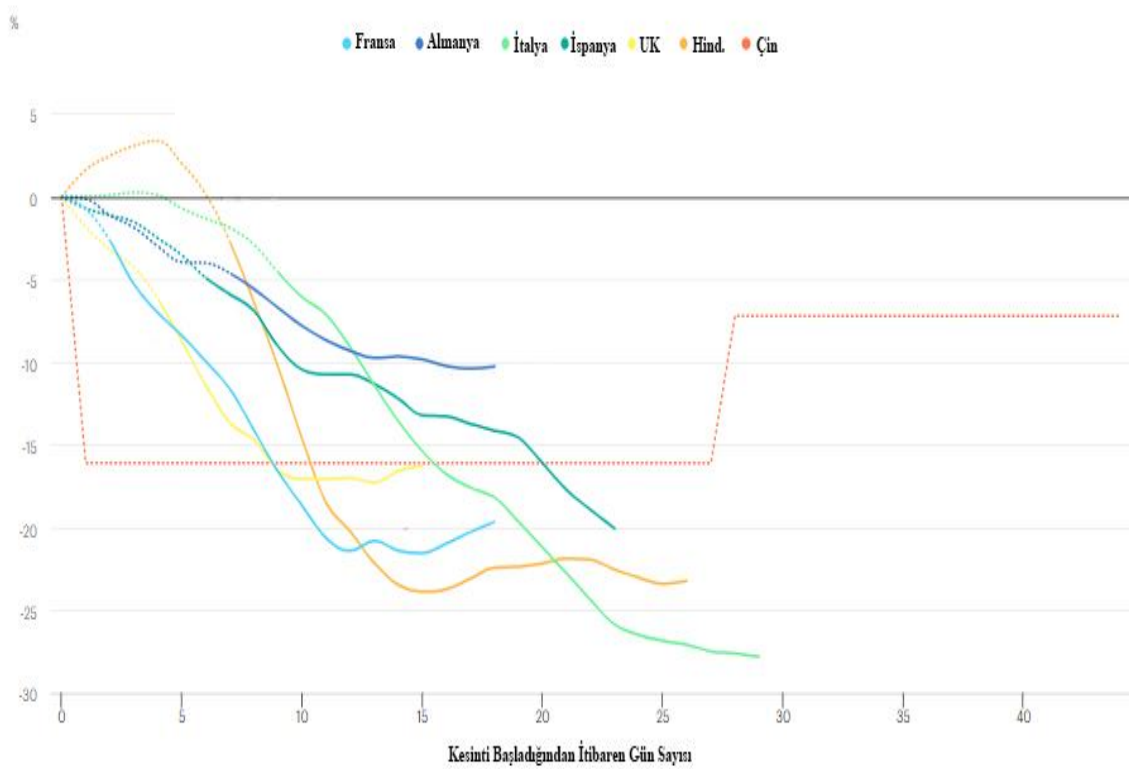


Şekil 3 Enerji ile İlgili CO2 Emisyonları, 1990-2019

1.1.4. Pandemi

Dünya çapında güncelliğini koruyan bir diğer konu ise pandemi ve karantina sürecidir. Salgınlar biyolojik doğal afetler olarak anılmaktadır. Covid-19 virüsü Çin’de ortaya çıkıp neredeyse bütün dünyayı etkisi altına alarak ekonomi ve enerji gibi sektörlerde ciddi

sonuçlara sebep olmuştur. Dünya ekonomisi ve endüstrisi açısından karantina tedbirleri kapsamında hiç beklenmeyen aksaklıklar ve sekteye uğrayan bir çok faaliyet olmuştur. Elektrik enerjisi üzerindeki etkiler incelendiğinde karantina döneminde elektrik güç talebinde; konutlarda artışa, ticari ve endüstriyel alanlarda ise düşüşe sebep olmasına bağlı olarak genel manada önemli ölçüde azalma görülmüştür. ÇED özellikle evde kalma süresi boyunca bilgisayarlar ve televizyonlar gibi elektronik cihazların kullanımının artacağını varsaymıştır. 30'dan fazla ülke için toplanan günlük verilere ve 2019 yılının verilerine bakıldığında ortalama olarak her ay %20, yıllık bazda %1.5'in üzerinde enerji talebinin düşüş gözlemlenmektedir. Bu durum yenilebilir enerji kaynaklarının elektrik arzındaki payını arttırmıştır. Kömür, doğalgaz, nükleer enerji gibi kaynaklardaki talep düşmüştür. Eğer Covid-19 salgını daha devam ederse ve geniş çapta yayılımı artarsa talebi daha da düşürmesi beklenmektedir. (IEA, 2020)



Şekil 4 Bölgelere Göre Kilitleme Önlemleri Uygulandıktan Sonra Elektrik Talebindeki Azalma

1.1.5. Güç Sistemlerinde Dayanıklılık (Resiliency)

Küresel iklim değışiklikleri ve dünya çapında yaşanan doğal afetlerin sıklığının artmasıyla birlikte geline teknoloji-otomasyon noktasındaki gelişmelerle neredeyse bütün sektörler için elektrik enerjisinin olmazsa olmaz hale gelmesi son zamanlarda üretim-iletim-dağıtım anlamında yeni kavramların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu kavramlardan bazıları; gittikçe artan ve kesintisine karşı toleransın zaman geçtikçe azaldığı elektrik enerjisi talebinin karşılanmasındaki güvenilirliği(reliability) ve altyapı-işletim dayanıklılığı(resiliency) gibi başlıklarla karşımıza çıkmaktadır. Dayanıklılık kavramı için yapılan bazı tanımlamalar şu şekildedir;

- “İşletmenin bir kesintiyi öngörme, direnme, emme, yanıt verme, uyum sağlama ve bunlardan kurtulma yeteneğı” (Carlson ve ark., 2012)
- “Başarısızlığa karşı direnme ve arızadan hızla kurtulma yeteneğı” (Christine Herzog)
- “Bir güç sisteminin bir felaketin ardından hızlı bir şekilde iyileşme kabiliyeti veya daha genel olarak, olağanüstü ve yüksek etkili, düşük olasılıklı olayları öngörme, bu yıkıcı olaylardan hızla iyileşme yeteneğı, ve gelecekte benzer olayların etkisini önlemek veya hafifletmek için işleyişini ve yapısını adapte etmek için derslerin alınması ” (Panteli ve ark., 2015)

Sistem güvenilirliği(reliability) ve dayanıklılığı(resiliency) aynı amaç doğrultusunda oluşan kavramlar olsa da sebep olan vakaların şekli açısından temelde farklılıklara sahiptirler. Bu farklılıklar Tablo (3) ile sunulmuştur (Panteli ve ark., 2015). (Lin ve ark., 2018) referansta dayanıklılık süreci Şekil (5)’teki gibi görselleştirilmiştir. Sistem bileşenlerinin dayanıklılık tanımı içindeki kapsamlı etki alanları ve esneklikle ilgili hangi yeteneklere haiz olduğu Tablo (4)’te değerlendirilmiştir (Roeger ve ark., 2014). Ciddi ekonomik kayıpları önlemek üzere dayanıklılık ve esneklik gibi kavramlarla ilgili teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Alınan önlemler Tablo (5)’te gösterildiğı gibi planlama ve operasyonel olarak kısa ve uzun vadeli süreçler kapsamında sınıflandırılabilir. Planlama önlemleri başlığında standartlar daha sıkı bir şekilde güçlendirilebilecek durumdadır. Operasyonel önlemler anlamında ise özellikle akıllı şebeke teknolojisi ile sistem operatörlerinin kesinti bilgilerine dakikalar içinde ulaşması imkanı mevcuttur. Tüm bu gelişme ve yatırım birimleri bütçe durumu ile doğru orantılı şekilde analiz edilmelidir. (Lin ve ark., 2018)

Tablo 3 Güvenilirlik vs Dayanıklılık

Güvenilirlik	Dayanıklılık
Yüksek olasılık, az etki	Düşük olasılık, yüksek etki
Statik	Uyarlanabilir, devam eden, kısa ve uzun vadeli
Güç sistemi durumlarını değerlendirir	Güç sistemi durumlarını ve durumlar arasındaki geçiş zamanlarını değerlendirir
Müşteri kesinti süresi ile ilgili	Müşteri kesinti süresi ve altyapı kurtarma süresi ile ilgili

Tablo 4 Dayanıklılık ve Yetki Alanı

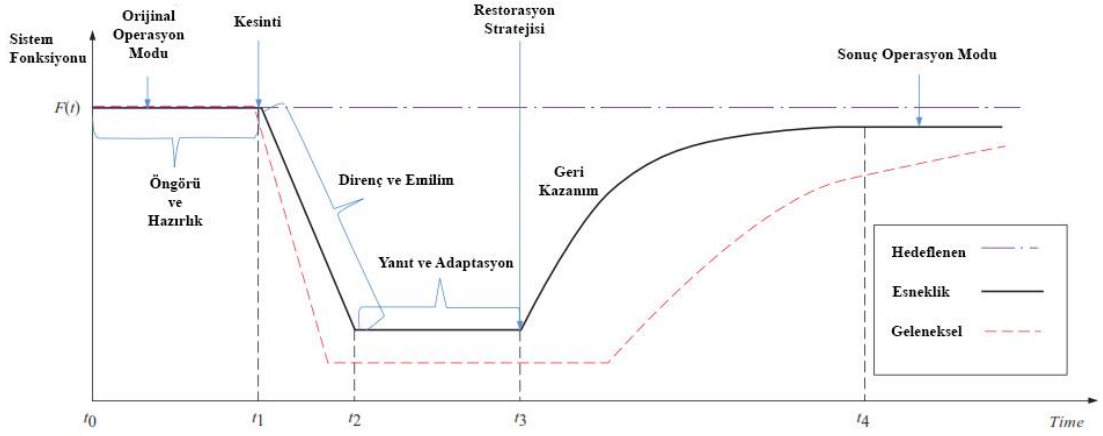
Etki Alanı	Kapasite	Plan	Absorbe Etme	Geri Kazanım	Adaptasyon
Fiziksel		Ekipman ve personelin durumu, kapasitesi, ağ yapısı	Fonksiyonu korumak için olay tanıma ve sistem performansı	Önceki işlevselliği kurtarmak için sistem değişiklikleri	Sistem esnekliğini iyileştirme değişiklikleri
Bilgi		Veri hazırlama, sunum, analiz ve depolama	İşlevselliğin gerçek zamanlı değerlendirilmesi, tahmin etme	Kurtarma ilerlemesini izlemek ve kurtarma senaryolarını öngörmek için veri kullanımı	Veri depolama ve kullanım protokollerinin oluşturulması ve geliştirilmesi
Bilişsel		Olumsuz olayların	Beklenmedik durum	Kurtarma kararları	Yeni sistem yapılandırması,

	tahmin edilmesiyle sistem tasarımı ve operasyon kararı	protokolleri ve proaktif olay yönetimi	alma ve iletişim	hedefleri ve karar kriterlerinin tasarımı
Sosyal	Sosyal ağ, sosyal sermaye, kurumsal ve kültürel normlar ve eğitim	Arızaya yanıt için becerikli ve erişilebilir personel ve sosyal kurumlar	Sistem kurtarmayı geliştirmek için ekip çalışması ve bilgi paylaşımı	Kurumlara, politikalara, eğitim programlarına ve kültüre ekleme veya değişiklikler

Tablo 5 Enerji sisteminin esnekliğine yönelik operasyonel tedbirlerin planlanması

	Güçlendirme Önlemleri	Operasyonel Dayanıklılık Stratejileri
Kısa Dönemli	✓ Kaynak Planlama ✓ Onarım ekibi mobilizasyonu ✓ DEK veya diğer tesis içi üretim birimlerinin kurulumu ✓ Bağlantılı ağlar ve tamir ekipleri ile koordinasyon	✓ Hava konumunun ve ciddiyetinin doğru tahmini ✓ Talep cevabı yönetimi ✓ Hızlı topolojinin yeniden yapılandırması ✓ Mikroşebeke ada operasyonu ✓ Otomatik koruma ve kontrol eylemleri: yük ve

		üretim reddi, sistem ayırma vb.
Uzun Dönemli	✓ Ağağ kesme / bitki örtüsü yönetimi ✓ Dağıtım / iletim hatlarının yeraltı; ✓ Direkleri ve yapıları daha güçlü, daha sağlam malzemelerle yükseltme ✓ Yüksek trafo merkezlerini taşkınlara daha az eğilimli alanlara taşıma ✓ Ek iletim tesisleri kurarak yedek iletim yolları oluşturma	✓ İzleme: mevcut durum izlemenin geliştirilmesi; ileri görüntüleme ve bilgi sistemleri ✓ İletişim işlevselliğini sağlama ✓ Mikroşebekeler ✓ Sistem bütünlüğü koruma şemaları (SIPS) gibi gelişmiş kontrol ve koruma şemaları ✓ Afet değerlendirmesi ve öncelik belirleme ✓ Bu tür olayların getirdiği riskin değerlendirilmesi ve hazırlanması için risk değerlendirmesi ve yönetimi



Şekil 5 Esnek Güç Sisteminin Kesintilerle Örnek Süreci

Sistem dayanıklılığı referans (Arghandeh ve ark., 2014)'de 'Şebekeyi Tanımlama, Güvenlik Açığı Analizi ve Esnek Dağıtılmış Kaynak İşlemi' şeklinde 3 ana başlık altında incelenmiştir. Bu çalışmada dayanıklılık kapsamında özellikle kaynakların esnek olarak dağılmış olması üzerinde durulmuş olup, esneklik süreçleri Şekil (6)'daki gibi çerçevelenmiştir. İlgili kaynakta dağıtılmış kaynak operasyonları ile ilgili üzerinde durulan uygulamalar aşağıda sıralanmıştır;

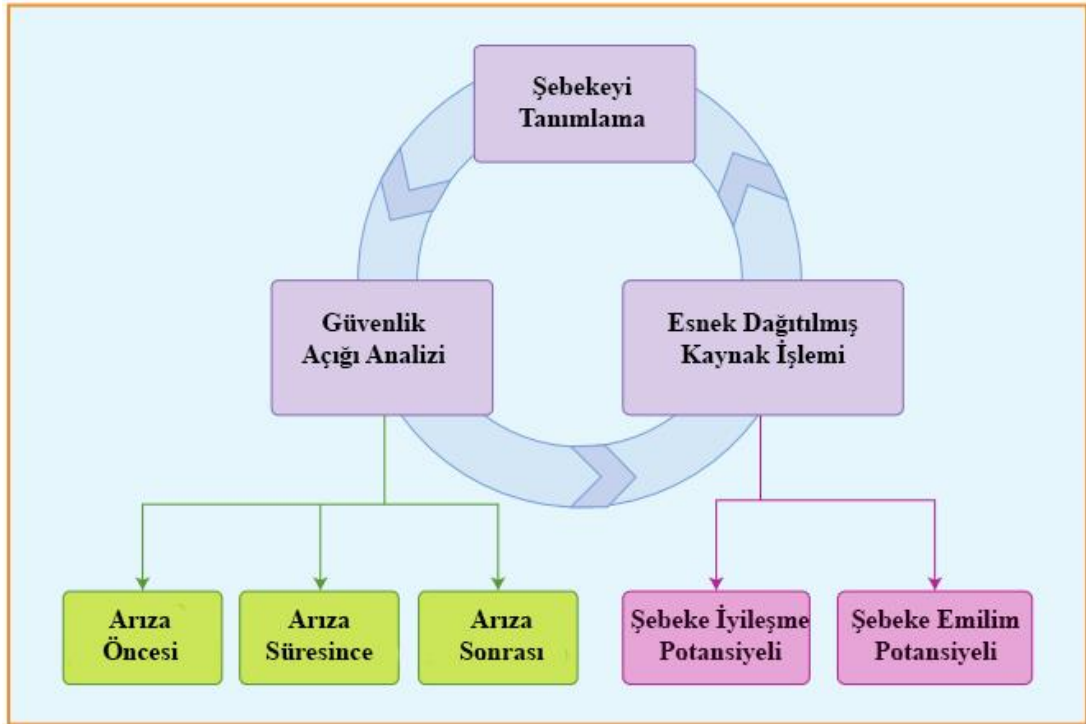
- Bekleme Konumunda Olan Jeneratörler
- Dağıtık Üretim Birimleri
- Enerji Depolama Birimleri
- Mikroşebekeler
- Talep Cevabı Programları

Afet ve arıza durumu meydana geldikten sonra güç sisteminin mümkün olan en kısa sürede toparlanması gerekmektedir. İyileşme aşamasındaki esnekliği arttırmak için referansta çeşitli önlemler üzerinde durulmuştur(Kumaravelan, 2019);

- Hızlı kurtarma için hızlı bir şekilde lojistik
- Dizel motor, mobil jeneratörler, mobil transformatörler ve yedek enerji depolama sistemleri gibi mobil ve yedek güç kaynaklarının kullanımı
- Rüzgar ve güneş tabanlı mikro şebeke işletmesi gibi dağıtılmış üretim
- Araçtan Şebekeye (V2G) ve Araçtan Eve (V2H) operasyonlar

- Yük kesintilerini en aza indirmek ve bankalar, hastane ve trafik ışıkları gibi kritik tüketicilere kesintisiz güç kaynağı sağlamak için ağ topolojisinin yeniden yapılandırılması.

Dayanıklılık üzerine planlama ve analizler yapılırken genel olarak vaka bölgesindeki baraların şebeke ile bağlantısı kesildiği düşünülmekte ve buna göre aksiyomlar geliştirilmektedir. Şebeke beslemesi ile bağı kopan bölgenin enerji ihtiyacını karşılama hususunda mobil veya yerel kaynaklar göze çarpmaktadır. Daha önce incelenen referanslarda olduğu gibi (Poudel ve ark., 2019) ve (Dubey ve ark., 2018) yaptıkları çalışmalarla dayanıklılık artırma konusunda dağıtık enerji kaynaklarının önemini ortaya koyarak afet yönetiminde optimum çalışma sistemleri geliştirmişlerdir. (Lei ve ark., 2018) ise oluşturdukları senaryoda mobil acil durum jeneratörlerini(mobile emergency generators – MEGs) doğal afet sonrası destek birimi olarak kullanarak, mobil kaynakların dağıtım sistemi için kritik bir esnekliğe sahip olduğunu göstermişlerdir.



Tablo 6 İletim ve Dağıtım Ağları İçin Dayanıklılık Değerlendirme Çerçevesi

Şebeke ile bağlantının kesildiği senaryolara göre bir diğer değerlendirme konusu ise mikroşebekelerdir. Şebeke dışı(off grid) çalışma yeteneğine haiz mikroşebekeler elektrik

talebini karşılamada zaten kendi kendine yetebilecek durumdadırlar. Dayanıklılık için getirilen çözüm önerilerinde başı çeken mikroşebekeler üzerinde özellikle durulan çalışmalar mevcuttur (He ve ark., 2015; Bajwa ve ark., 2019). Bununla birlikte hem mikroşebekelerin hem de dağıtık enerji kaynaklarının bir arada değerlendirilmiş ve yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir (Chen ve ark., 2016; Ding ve ark., 2017). (Farzin ve ark., 2016) ve (Li ve ark., 2017) mikro şebeke konseptini de içine alan, daha geniş açıdan bir yaklaşım sergileyen ve birbirleriyle bağlantılı, haberleşme mekanizmaları ile desteklenmiş olan birden çok mikro şebekeli sistemler üzerinde durmuşlardır. (Wang ve ark., 2019) doğal afet sonrasında kritik yüklerin beslenmesi için mikroşebekelerin sunduğu esnekliği kabul etmekle beraber belirsiz üretim profiline sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan üretim birimleri doğrultusunda şebekeden bağımsız bir mikroşebekenin risk durumu ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Geliştirilen tüm bu sistemlerde bilgi ve haberleşme teknolojileri değinilmesi gereken ciddi bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. (Arghandeh ve ark., 2016) sistemde doğal afet ile oluşabilecek hasarlar dışında siber saldırı durumlarını da konu edinerek ‘siber-fiziksel dayanıklılık’ olarak bütüncül bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Akıllı şebekelerin siber zayıflıkları Tablo (7)’deki gibi derlenmiş ve akıllı şebeke operatörleri ve paydaşları için siber-fiziksel dayanıklılığın önemi vurgulanmıştır.

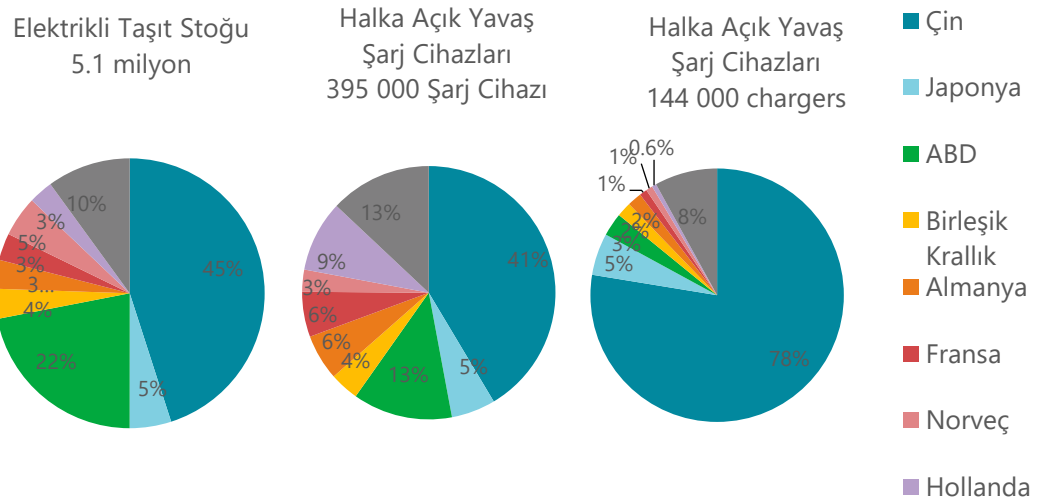
Tablo 7 Akıllı Şebekelerdeki Bazı Siber Güvenlik Açıkları

Kategori	Yaygın Güvenlik Açıkları
Yazılımsal Güvenlik Açığı	1. Hatalı Giriş Verisi Doğrulaması 2. Yetersiz Kod Kalitesi 3. İzinler ve Erişim Kontrolü 4. Şifreleme Sorunları 5. Hatalı Yazılım Yapılandırması 6. Yazılım Bakım Sorunları
Erişimsel Güvenlik Açığı	1. İzinler, Erişim ve Ayrıcalıklar Kontrolü 2. Hatalı Kimlik Doğrulama 3. Hatalı Güvenlik Yapılandırması

	4. Erişim Politikası ve Prosedür Konuları 5. Kimlik Bilgileri Yönetimi
Ağsal Güvenlik Açığı	1. Hatalı Ağ Yapılandırması 2. Zayıf Güvenlik Duvarları 3. Hatalı Ağ Bileşeni Yapılandırması 4. Ağ Denetimi ve İzleme Sorunları

1.1.6. Elektrikli Taşıtlar

Karbon emisyonunu azaltmak ve yenilenebilir enerjili sistemlere geçiş gibi güncel konular taşıt sektöründe de içten yanmalılardan elektrikli taşıtlara dönüşümü beraberinde getirmiştir. Bu dönüşüm hem elektrik güç sisteminde hem de ulaşım sektöründe yeni kavramların doğmasına sebep olmuştur. Yüksek güç taleplerine sahip bu mobil tüketicilerin dağıtım şebekesine etkileri ve şebeke ile elektrikli taşıtların güç talebini karşılamada eş güdüm çalışabilmesine yönelik geliştirilen yeni konseptler tartışılmaya devam etmektedir. IEA'nın elektrikli taşıtlar raporuna göre (2019) elektrikli taşıt stoklarında ve şarj istasyonlarında 2018 sonu ile gelen nokta Şekil (6)'da verilmiştir. Elektrikli taşıtlar ile şebeke entegrasyonunda oluşan sorunlar Tablo (8)'de özetlenmiştir (Sovacool ve ark., 2017).



Şekil 6 Elektrikli Otomobil Stoğu ve Ülkeye Göre Halka Açık Şarj Cihazları, 2018

Tablo 8 Dönüşüm Bağlamında Araç-Şebeke Entegrasyonu Sorunlarına Genel Bakış

	Arıza Türü	VGI'ya Karşı Potansiyel Engellere Örnekler
Market Sorunları	Information asymmetries	Özel yatırımcılar arasındaki teknoloji belirsizliği, VGI ile ilgili teknolojilerde yetersiz yatırım yapılmasına yol açmaktadır.
	Bilgi yayılımı	VGI inovasyonunun kamu açısından iyi yönü, Ar-Ge'ye yetersiz yatırım yapılmasına yol açmaktadır.
	Maliyetlerin dışsallaştırılması	Olumsuz çevresel dışsallıkların fiyatlandırılmaması etkilerini artırabilir.
	Aşırı Kullanım	Kötü tasarlanmış VGI sistemleri, şebekenin kamu yararına olan yönlerini aşabilir.
Yapısal Sistem Sorunları	Altyapı sorunları	Şebeke kapasitesi, şarj cihazları ve ölçüm cihazları da dahil olmak üzere gerekli VGI altyapısının olmaması, gelişmeyi engelleyebilir.

	Kurumsal sorunlar	Gerekli yasaların, düzenlemelerin ve standartların bulunmaması VGI geçişini yavaşlatabilir.
	Etkileşim veya ağ hatası	Küçük ve yakından bağlı gruplar tarafından yetersiz VGI vizyonları geliştirilmesi.
	Kapasite sorunları	Aktör düzeyinde VGI ile ilgili yetkinlik ve kaynak eksikliği, yeniliği engellemektedir.
Dönüşümsel Sistem Sorunları	Yönlendirme hataları	VGI'nın amacı ve yönü ile ilgili paylaşılan vizyon eksikliği VGI dönüşüm sürecini yavaşlatır.
	Talep artikülasyon hatası	Kullanıcı (tüketici) ihtiyaçlarını keşfetmek ve anlamak için yeterli yer olmaması, VGI alımını devre dışı bırakır.
	Politika koordinasyon hatası	VGI'yi desteklemek için çok seviyeli politika koordinasyonunun olmaması, örneğin düşük karbonlu araç, yakıt ve elektrik politikasında eksik hükümler, düşük karbonlu VGI sistemlerini caydırıcı kılar.
	Varlık yönetimi hataları	Sistemin VGI teknolojisi, kullanıcı ve kullanıcı

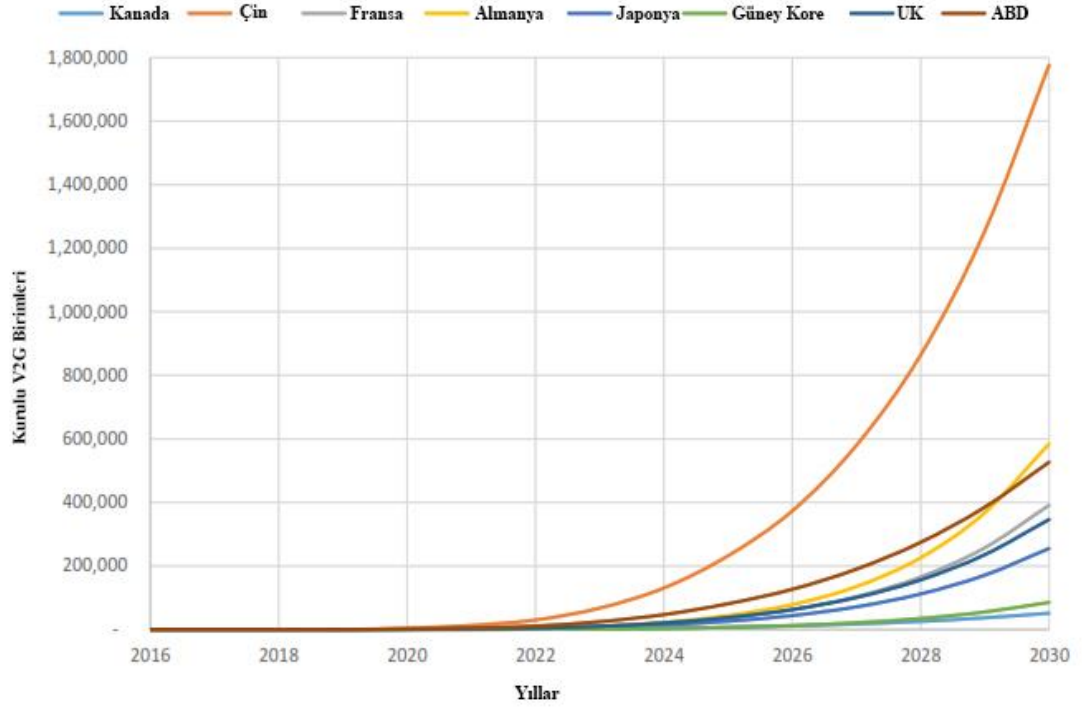
		davranışı ile ilgili değişime uyum sağlayamaması, öğrenme eksikliğine yol açar.
--	--	---

(Shao ve ark. 2012) elektrikli taşıtların; dağıtım düzeyinde oluşturacakları yüksek tepe değere sahip talebin transformatör aşırı yüklenmelerine, besleyicide oluşacak yoğunluğa ve aşırı devre hatalarına sebep olabileceğini belirterek bu etkileri azaltmak üzere talep cevabı stratejilerini önermişlerdir. (Habib ve ark., 2015) elektrikli taşıtların dağıtım şebekesine olumsuz etkileriyle beraber batarya sorunları, EV ile bir şebeke arasındaki iletişim yükü ve bir dağıtım ağının tüm altyapısındaki değişiklikler gibi zorlu sorunları değerlendirmeye almışlardır. Koordine edilmiş ve edilmemiş şarj, ertelenmiş şarj, pik zaman dışına şarj işleminin kaydırılması ve akıllı programlama hakkında kapsamlı analizler sunmuşlardır.

1.1.7. V2X Teknolojileri

(Pearre ve ark., 2019) V2X modelinin mevcut teknolojik gelişmeleri, bazı tarihsel perspektifleri ve önemli projelerini derlemişlerdir. Çalışmada V2X teknolojisinin V2G, V2H ve V2B modelleri incelenmiştir. Şekil (7), CENEX'in raporuna (2018) göre 2030 yılı için tahmini kurulu V2G birimlerinin değerlerini göstermektedir.

V2G modu ile sunulan işletimsel çözümler göz önüne alındığında bazı handikaplar ortaya çıkmaktadır. (Kempton ve ark., 2005) elektrikli taşıtların şebeke için sabit bir kaynak olamayacak seviyede maliyetli olduğunu belirtmişlerdir. Buna rağmen şebekenin güvenilirliği için geliştirilen stratejilerde kısa zamanlı etkinliklere hızlı bir şekilde yanıt verecek potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. (Ma ve ark., 2016) da iki yönlü şarj ve deşarj stratejilerinden doğacak olan harmonik kirliliği ve yük dalgalanması sorunları üzerine yapılan çalışmaları derlemişlerdir. (Noel ve ark., 2019) V2G politikaları için yaptıkları bazı öneriler Tablo (9)'da verilmiştir.



Şekil 7 Öncü Pazarların Her Birine Kurulan V2G Birimlerinin Sayısının Tahmini

Tablo 9 V2G Politika Önerilerinin Özeti

Paydaş/Aktör	Politika Önerileri
Kamu yetkilileri (ulusal hükümetler, enerji düzenleyicileri, TSO'lar)	✓ V2G özellikli şarj cihazlarının tüketici pazarının mı yoksa toptan satış pazarının mı bir parçası olduğunu düşünme ✓ Esnek elektrik depolamasında çifte vergilendirmeyi düşünme (pilot projeler için ilk geçici istisnalar) ✓ Diğer dinamik fiyatlandırma seçeneklerini göz önünde bulundurma (net ölçümle dinamik fiyatlandırma, dinamik tarifeler,

	dinamik vergiler, daha fazla fiyatlandırma bölgesi) ✓ DSO'ların rolünü ve sorumluluğunu formüle etme ✓ Portföy yöneticilerinin rol ve sorumluluklarını formüle etme
V2G şirketleri	✓ Pilot projeleri genişletme ✓ B2B kişileri arasında bilgi ve veri yatırımı yapın ve paylaşın ✓ Diğer esnek depolama seçenekleri üzerinde çalışan talep yanıt şirketleri ile etkileşimi kolaylaştırmak (toplu pazar düzenlemelerinin lobisini güçlendirmek için) ✓ Hızlı yanıt verme esnekliği olmayan bölgelere odaklanma (İskandinav ülkeleri gibi) ✓ Stresli yerel şebekeleri olan bölgelere odaklanma (ancak şu anda sabit pillerden rekabet) ✓ Aşırı kapasite ve kesinti süresi bilinen filo operatörlerine odaklanma (posta hizmetleri, ortak araç hizmetleri vb.)
V2G ve diğer EES şirketlerinin lobisi	✓ Yan hizmet pazarlarına uygun lobi ✓ Standardizasyon sözleşmelerinden sonra, teknik yönergeler oluşturma ve paylaşma
Araştırma ve akademi	✓ Disiplinler arasında esnek depolama seçenekleri ile ilgili

	araştırmalara devam etme / genişletme ✓ Pilot projelere katılın
Hükümetler	✓ V2G ve diğer esnek depolama çözümlerinde pilot projeleri / girişimcilik şirketlerini destekleme (finansal olarak, aynı zamanda geçici olarak yasal koşulları ortadan kaldırarak) ✓ Enerji stratejisi oluşturma ✓ Sektörün uygun portföy yöneticisi çerçevelerinin oluşturulmasında destek sağlama ✓ Bina yönetmeliklerini göz önünde bulundurma ✓ Teknik / pragmatik kılavuzlar oluşturulmasına yardımcı olma ✓ Bu konulardaki araştırmaları doğrudan / dolaylı olarak destekleme ✓ EV ve RES alımını destekleyerek sektörü destekleme
DSO'lar	✓ V2G ve esnek yerel depolama seçenekleri hakkında kurumsal kapasite oluşturma ✓ Yatırım stratejilerini yeniden düşünme
EV ve şarj altyapısı şirketleri	✓ Şarj cihazlarının ve araçların yazılım ve donanımına iki yönlü ve ödeme sistemlerini dahil etme ✓ V2G'yi ek satış noktası olarak düşünme

Genel	✓ Kontrollü şarj ve V2G arasında açıkça ayırım yapma
-------	--

Elektrikli taşıtlarla ilgili aşılması gereken güç sistem dinamiklerine etkisi, yük aşımı ihtimali ile transformatör-kablolar ve besleyicilerin performanslarına etkileri, gerilim düşümü ve harmonik oluşumuna sebep olma, batarya teknolojilerindeki yüksek maliyetler ve iki yönlü haberleşme gereksiniminin getirdiği siber güvenlik sorunları gibi olumsuzluklara rağmen (Yılmaz, 2012); elektrikli taşıtların verimliliğe stabiliteye ve sistem güvenilirliğine verebileceği katkının altını çizerek, V2G özellikli bir aracın reaktif güç desteği, aktif güç regülasyonu, değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının dengelenmesi, yük dengeleme ve mevcut harmonik filtreleme sunduğunu belirtmiştir. (Noel ve ark., 2019) V2G teknolojisinin getireceği faydaları aşağıdaki gibi maddelemiştir;

- Yük dengeleme
- Harmonik sönümleme
- Pik yük traşlama
- Sistem operasyon maliyetlerini azaltma
- Yük faktörü iyileştirmesi
- Üretim karı
- Emisyon azaltma
- Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuzluklarını azaltma

1.1.8. V2G Modunda Elektrikli Taşıt Uygulamaları

(Child ve ark., 2018) yaptıkları çalışmada Aland Ada'sı için elektrikli taşıtların hem depolama birimi olarak kullanıldığı hem de RES'lerinin belirsizliğini sönümlediği bir yaklaşımla %100 yenilenebilir enerji sistemi inşaa ederek Sürdürülebilir Mobil Senaryo oluşturmuşlardır. (Gao ve ark., 2014) V2G ve RES'nin dağıtım şebekesinde hibrit kaynak olarak düşünüldüğü bir kontrol şeması geliştirmişlerdir.

(Chukwu ve ark., 2014) bir akıllı şebeke modeli geliştirerek elektrikli taşıtların şarj ve deşarj olma durumlarını gerçek zamanlı yöneten bir sistem sunmuşlardır. Bu çalışmayla güç/enerji kayıplarında %95'e varan bir azalma önermişlerdir. (Hintz ve ark., 2014) çalışmalarında mikro şebeke seviyesinde enerji üretim sisteminin ve yükün elektrikli araçların enerji depolama sistemi kullanılarak programlanması ve talep tarafı yönetimi ile güç akışının optimum kontrolünü sağlamaya odaklanmışlardır. (Lopes ve ark., 2010) izole bir güç sisteminde EV'nin son derece esnek ve yüksek kontrol edilebilir yükler olabileceğini ve aynı zamanda sisteme güç enjekte edebilen bir depolama aygıtı olarak da kullanılabileceğini göstermişlerdir.

(Chukwu ve ark., 2011) V2G modelinin yakın zamanda market payında önemli bir dilime sahip olacağı öngörüsünde bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada V2G park alanının sisteme sağlayabileceği güç kapasitesini ortaya koymuşlardır. Şebeke kazanç faktörü için bir ifade geliştirmiş ve analiz sonuçları % 40.3 optimal kazanç faktörünün elde edilebilir olduğunu göstermiştir. (Hosseini ve ark., 2012) akıllı şebekeler için özellikle, V2G konseptinde akıllı otoparkların önemi, fırsatları ve zorlukları ile V2G'nin yan hizmetler sağlamak için uygulanması üzerinde çalışmışlardır.

(Ota ve ark., 2012) akıllı şebeke stratejileri içinde akıllı şarj kontrol sistemleri üzerinde durmuş ve otonom dağıtılmış V2G kontrol şeması oluşturmuşlardır. (Iacobucci ve ark., 2019) paylaşılan özerk elektrikli araçları (Shared autonomous electric vehicles - SAEV) kullanan mobilite sistemlerinde araç şarjının, araçtan şebekeye (V2G) hizmetlerin ve filoyu dengelemenin ortak optimizasyonu için bir metodoloji önermişlerdir.

1.1.8. V2G ve Dayanıklılık

(Kumaravelan, 2019) yaptığı çalışma temelde iki bölüme ayrılmaktadır. İlk bölümde Harvey Kasırgası'nın sonrasındaki süreçte toparlanma sürecini yöneten faktörleri analiz etmeye odaklanmaktadır. İkinci bölümünde ise, potansiyel bir kaynak olarak V2G ile afet sonrası asgari işletme maliyeti ile bir endüstriyel tesisin direncinin nasıl artırılacağı ve

EV filosunun doğal afet anında sistemde oluşturabileceği ekonomik etkiler tartışılmaktadır.

(Maharjan ve ark., 2015) sistemin dayanıklılığını sağlamak için mikro şebeke seviyesinde dağıtık yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama birimleri ve EV'leri beraber değerlendirildiği bir kombinasyon önermişlerdir. Bu sistemde evlerin, üretim-iletim-dağıtım birimlerinin, enerji depolama elemanları ve EV'lerin birbirleri ile aralarındaki haberleşme ağlarının önemi vurgulanmıştır. Son kullanıcıların davranışları değerlendirildiğinde normal operasyonlar sırasında EV sahiplerinin, hizmet araçlarının faydası için şebekeye hizmet etmede pahalı pillerini kullanmaya istekli olmayabileceği görülmüştür. Düşük ve sık şarj / deşarj EV pillerinin ömrünü kısaltabileceğinden, düşük elektrik faturaları gibi ekonomik teşvikler bile yeterince güçlü olmayabilmektedir. Bununla birlikte, çalışmada acil durumlarda EV sahiplerinin gönüllü olabileceğinin varsayılabilceği ancak bu tür sorunları yönetmek için daha iyi yaklaşımlar ve yeterli ekonomik teşviklerin ciddi bir önem teşkil ettiği üzerinde durulmuştur.

(Rahimi ve ark., 2018) elektrikli araçları (EV) kullanarak evsel müşterilerin elektrik enerjisi taleplerine olan arzın dayanıklılığının artırılmasını ve dağıtım şebekesi açısından maliyeti en uygun çözümleri araştırmışlardır. Bir kasırganın mevcut şebeke altyapısının tamamen veya kısmen devre dışı bıraktığı durum örnek alınmıştır. Bu çalışmada, güç potansiyellerinden dolayı bu tür koşullar sırasında yeterli enerji kaynağı olarak kullanılabileceğinden hibrit elektrikli araçlara özellikle dikkat edilerek hibrit ve hibrit olmayan elektrikli taşıtlar beraber düşünülmüştür. Tipik bir hibrit elektrikli aracın, elektrik kesintisi sırasında konut birimlerine makul bir süre güç sağlayabildiği sonucuna varmışlardır.

Çalışmalarda da görüldüğü gibi yakın gelecekteki ve günümüzdeki elektrik güç sistemi modelini açıklayan akıllı şebeke konsepti ile elektrikli araçlar(EV'ler) düzgün yönetilirse, bazı acil durumlarda şebekenin enerji sürekliliğini karşılama konusunda yardımcı olabilecektir.

1.2. Çalışmanın Katkıları

Bu çalışmada, bir akıllı şebeke sisteminin doğal afet gibi bazı acil durumlarda kritik yüklerin enerji sürekliliğini sağlama probleminin formülize edilerek gerçek hayatta kullanılabilecek şekilde bir yöntem ve algoritma geliştirilmesi amaçlanmıştır. Arıza bildirilen baraya ulaşabilecek maksimum araç sayısı tahmin sonuçları göz önüne alınarak belirlenmiş ve uygun olan taşıtlar sistem operatörü gözünden değerlendirilerek bir arayüz çalışması yapılmıştır. Olası arıza durumunda araçlar baraya yönlendirilirken, teknik ve ekonomik açıdan en uygun olan araçlar seçilmiş ve baraya sağlayacağı anlık güç miktarı analiz edilmiştir. Bu çalışmanın katkıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Arıza olduğu anda filodaki mesafesi uygun olan taşıtlar geçmiş verilere dayanarak makine öğrenmesindeki çoklu regresyon modeli ile gerçekçi bir tahmin yapmaktadır,
- 2) Baranın şebeke ile güç akışı kesildiği durumda destek filosunun besleyeceği yükler; baz istasyonu, hastane ve TV binası gibi kritik yüklerin öncelik sırasına göre kararlaştırılmaktadır,
- 3) Optimizasyon algoritması baralara bağlı soket sayısı kısıtı kapsamında filodaki taşıtlar arasından mesafe ve enerji durumu en uygun olan taşıtları tercih etmektedir.
- 4) Kesinti öncesi ve sonrası güç akışı analizleri oluşturularak tartışılmıştır.

1.3. Afetler Sonucunda Şebekede Oluşan Yıkımlara Ait Görseller

1.3.1. Deprem Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 8 Meksika, 2017



Şekil 9 Meksika, 2017



Şekil 10 Meksika, 2017



Şekil 11 Japonya, 1995

1.3.2. Nükleer Patlama Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 12 Japonya, 2013



Şekil 13 Japonya, 2013

1.3.3. Tsunami Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 14 Japonya, 2011



Şekil 15 Japonya, 2011



Şekil 16 Japonya, 2011

1.3.4. Dolu ve Heyelan Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 17 Hindistan, 2018, Heyelan



Şekil 18 Sidney, 2018, Dolu Yağmuru

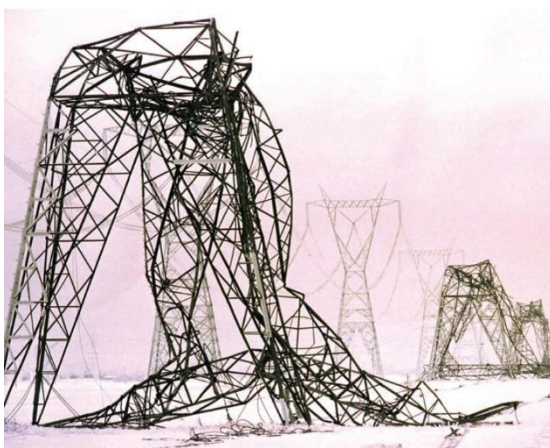
1.3.5. Buzlanma Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 19 Kanada, 1998



Şekil 20 Kanada, 1998



Şekil 21 Kanada, 1998



Şekil 22 Slovenya, 2014

1.3.6. Gaz Borusu Patlaması ve Yıldırım Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 23 Hindistan, 2019, Yıldırım



Şekil 24 Nijerya, 2018, Gaz Borusu Patlaması

1.3.7. Hortum-Kasırğa Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 25 İskoçya, 2011



Şekil 26 Çin, 2013



Şekil 27 USA, 2016



Şekil 28 Kanada, 2016



Şekil 29 USA, 2017



Şekil 30 Kanada, 2018



Şekil 31 Avustralya, 2019



Şekil 32 USA, 2020

1.3.7. Yangın Olaylarında Zarar Gören Elektrik Üretim-İletim-Dağıtım Elemanları



Şekil 33 USA, 2018



Şekil 34 USA, 2019



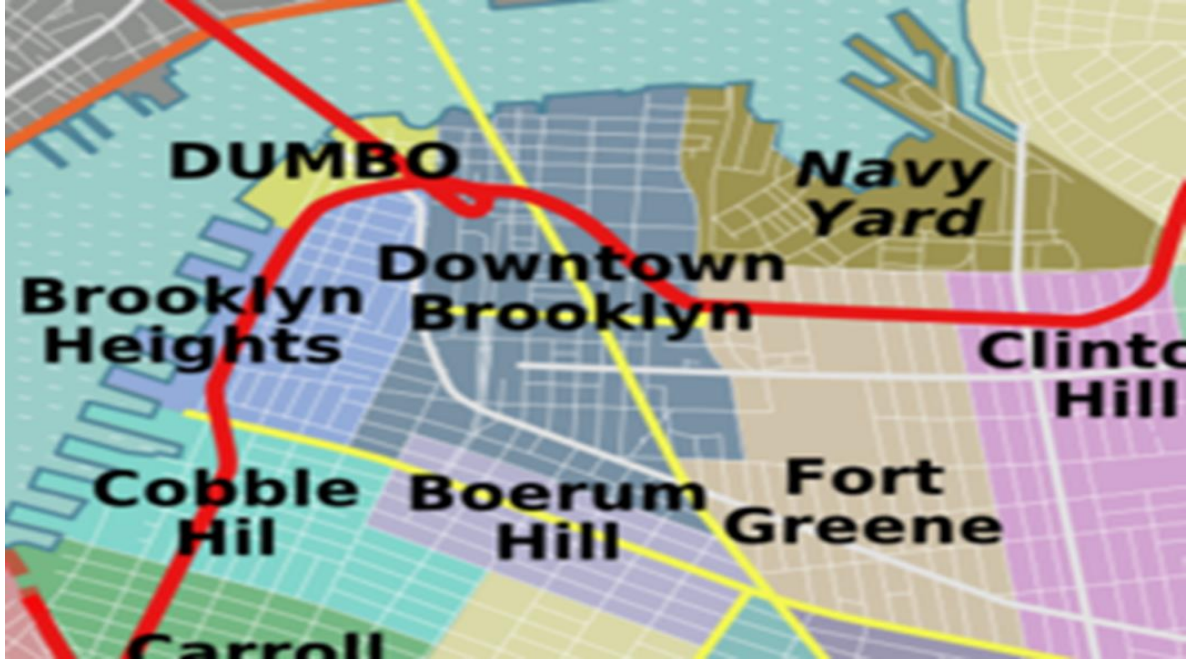
Şekil 35 USA, 2019

2. METODOLOJİ

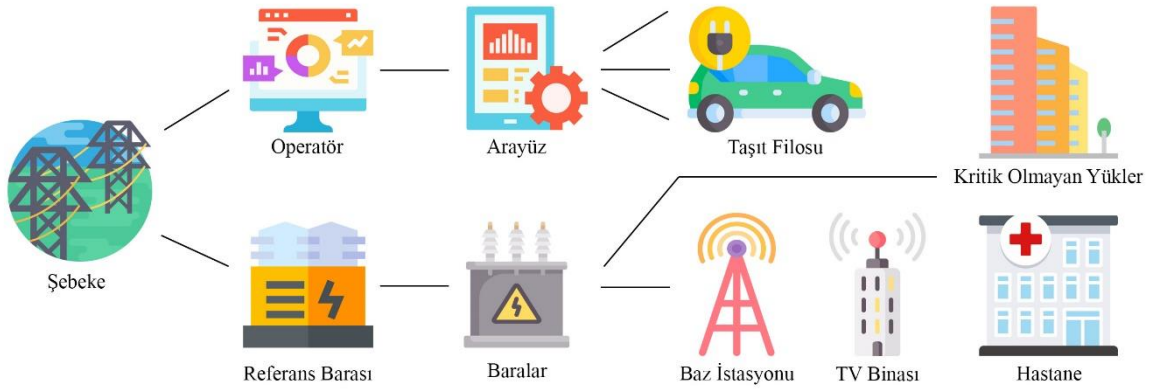
2.1. Sistemin Genel Tanıtımı

Geliştirilen modelin temel bileşenleri Şekil (37)'de verilmiştir. Ref (Erenoğlu, 2018)'deki çalışmaya benzer şekilde Şekil (38)'de görülen şebekeden beslenen 5 baralılık bir dağıtım bölgesinde elektrikli taşıt filosuna sahip bir sistem operatörü bulunmaktadır. Operatör için oluşturulan arayüzde anlık olarak filodaki taşıtların konumları ve bataryalarının enerji durumları ve maksimum-minimum enerji seviyeleri gibi taşıtlalarla ilgili diğer veriler de görülmektedir. Her bir baraya bağlı yüklerin karakteristikleri bilinmektedir. Buna bağlı olarak özellikle kritik olarak nitelendirilen yükler kendi aralarında öncelik sırası olacak şekilde belirlenmiştir.

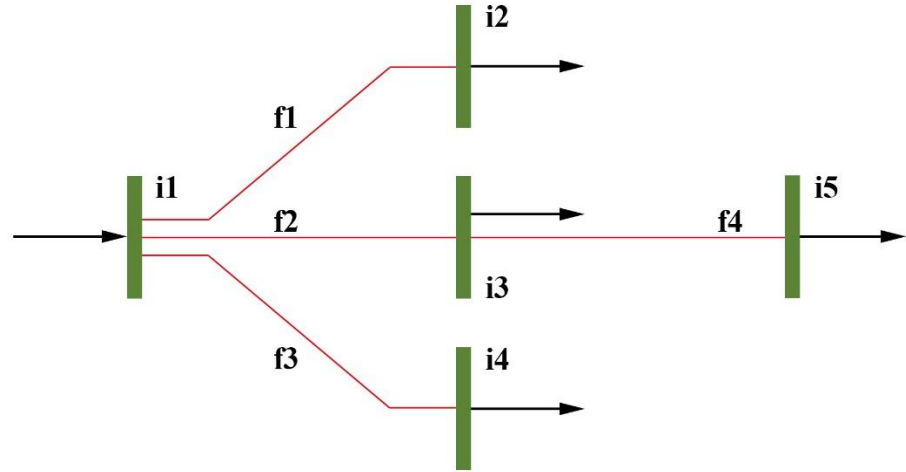
Referans barasına bağlı herhangi bir barada doğal afet nedeniyle arıza olduğu takdirde ilgili baranın şebeke ile arasında güç akışı kesilmiş olmaktadır. Bu kesinti ile ilgili arıza bilgisi filo yöneticisine gitmektedir. İlk aşamada ilgili taşıtların arıza barasına olan mesafeleri baz alınarak bir uygunluk durumu oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise barada bulunan soket sayısına bağlı olarak mesafeye göre uygun taşıtlar arasından anlık deşarj gücünü en yüksek seviyede tutacak şekilde taşıtların da arıza anındaki enerji durumlarının yeterliliği göz önünde bulundurularak taşıtlar baraya yönlendirilir. Soket sayısı ve taşıtların deşarj gücü kapasiteleri kapsamında 2 saat olarak belirlenen enerji desteği süresince öncelikli olarak kritik yükler sonrasında yeterli kapasite mevcut ise kritik olmayan yükler elektrikli taşıtlar tarafından beslenmektedir.



Şekil 36 Sistemin Uygulandığı Düşünülen Brooklyn Bölgeleri



Şekil 37 Tasarlanan Modelin Şematik Gösterimi



Şekil 38 Optimizasyon Programının Uygulandığı Radyal Şebeke

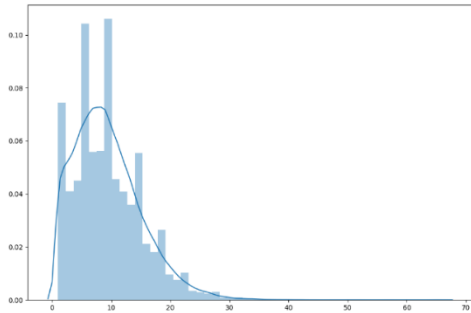
Taşıt yönlendirme için geliştirilen optimizasyon sisteminde gerçekçi bir model elde edebilmek için çoklu regresyon analizi kullanılarak araç sayısı tahmini gerçeğe yakın olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri TLC Trip Record Data'nın 2017, 2018, 2019 yıllarına ait yellow taxi trip data setidir. Bu veri seti çok kapsamlı olarak hazırlanmış olup, milyonlar düzeyinde satıra sahip bilgiyi bize sunmaktadır. Bize çalışma için gerekli olan konum ve zaman bilgisini sağlayabilecek şekilde veriler yeniden düzenlenmiştir. Bu bağlamda; VendorID, Passenger_count, Trip_distance, RateCodeID, Store_and_fwd_flag, Payment_type, Fare_amount, Extra, MTA_tax, Improvement_surcharge, Tip_amount, Tolls_amount, Total_amount sütunları silinmiştir ve PULocationID, DOLocationID, tpep_pickup_datetime, tpep_dropoff_datetime sütunları üzerinden devam edilmiştir. Lokasyonlar bağımsız olarak değerlendirilerek, Brooklyn'de belirlediğimiz 5 bölge için her bir lokasyona ayrı ayrı tahminleme gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bundan dolayı; PULocationID, DOLocationID sütunları işlem yapacağımız bu beş bölge için ayrı ayrı filtrelenmiştir. Filtreleme yapılırken, veri setindeki taksilerin tanımlanan bir kimlikleri olmadığından ötürü, taksinin yolcuyu aldığı, yolcuyu bıraktığı veya yolcuyu aldığı ve bıraktığı lokasyonun istenilen lokasyon olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, sarı taksinin yolcuyu aldığı lokasyon ve bıraktığı lokasyon alt alta eklenip düzenlenmiştir. Böylelikle, sarı taksilerin konum zaman bilgisini içeren iki sütunlu bir veri oluşturulmuştur. Optimizasyonda yarım saatlik süre içerisinde aracın arıza barasına

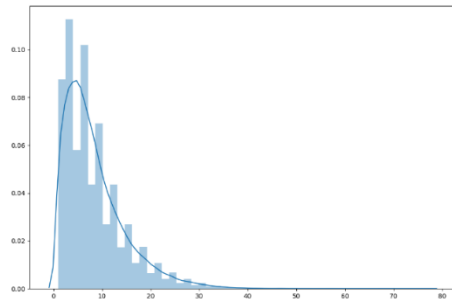
ulaşmasını hedeflediğimizden, zaman sütunu periyotlara ayrılarak numaralandırılmıştır. Aynı zamanda aynı lokasyonda ikamet eden araçlar toplanarak, o periyotta olan toplam araç ile sayısal işleme devam edilebilmiştir. Daha iyi bir sonuç elde edebilmek için, haftanın gün etkisi gibi yeni veriler elde edilerek girdi sayısı artırılmıştır.

2.2. İstatistiksel Analiz

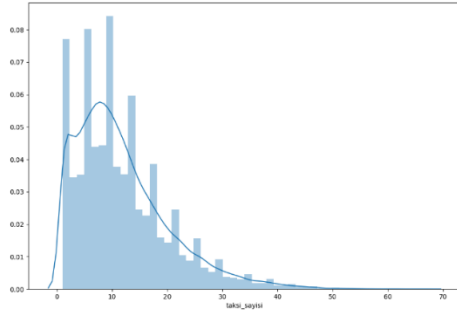
Veri ön işleme aşamasında, verinin temizlenmesi ve sadece optimizasyonda kullanılacak lokasyonlara göre ayıklanıp, yeni sütunlar eklenip, elde edilen periyotlara göre düzenleyerek; adeta yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışmada açık kaynak kodlu olan ve oldukça geniş kütphanesi bulunan Python programlama dili ve SPSS kullanılmıştır. Veri ön işleme sırasında, pandas, numpy, datetime, seaborn, matplotlib, time kütüphaneleri kullanılarak grafiklerle veri analiz edilip görselleştirilmiştir. Korelasyon analizleri yapılmış ve ortalama, standart sapma, max, min değerleri incelenmiş ve görsele dökülmüştür. Şekil (39) 'da 09:45 için taksi sayısı dağılım grafikleri verilmiştir. Downtown Brooklyn, Boeum Hill, Brooklyn Heights, Brooklyn Navy Yard, Fort Greene için sırasıyla maksimum taksi sayısı: 66, 77, 12, 67, 70; minimum taksi sayısı hepsinde 1; standart sapmalar Denklem (5) kullanılarak yaklaşık olarak: 5.72, 6.30, 0.74, 8.52, 6.57; ortalama taksi sayısı Denklem (4) kullanılarak: 9.40, 8.42, 1.38, 11.80, 7.72'dir. Bu analizler ve görseller tahmin edilen taksi sayısının anlaşılması açısından önemlidir. Bu lokasyonlarda yapılan diğer ölçümler de zaman değiştirilip çizdirilerek analiz edilmiştir.



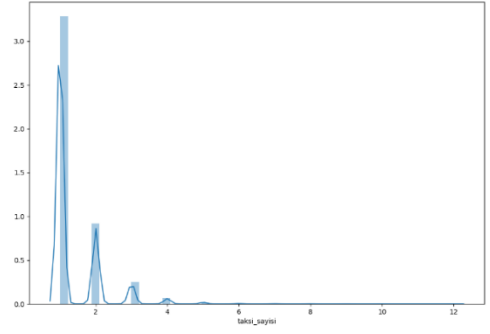
Downtown Brooklyn



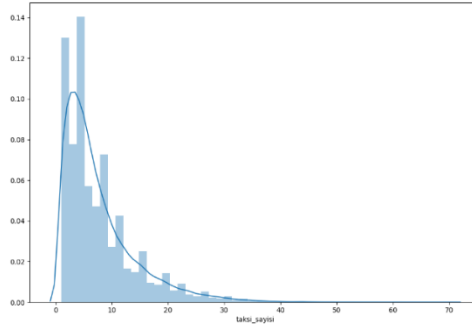
Boeum Hill



Brooklyn Heights

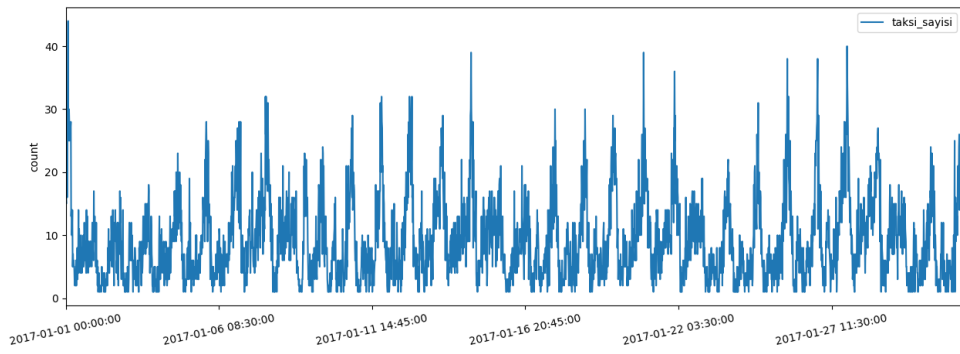


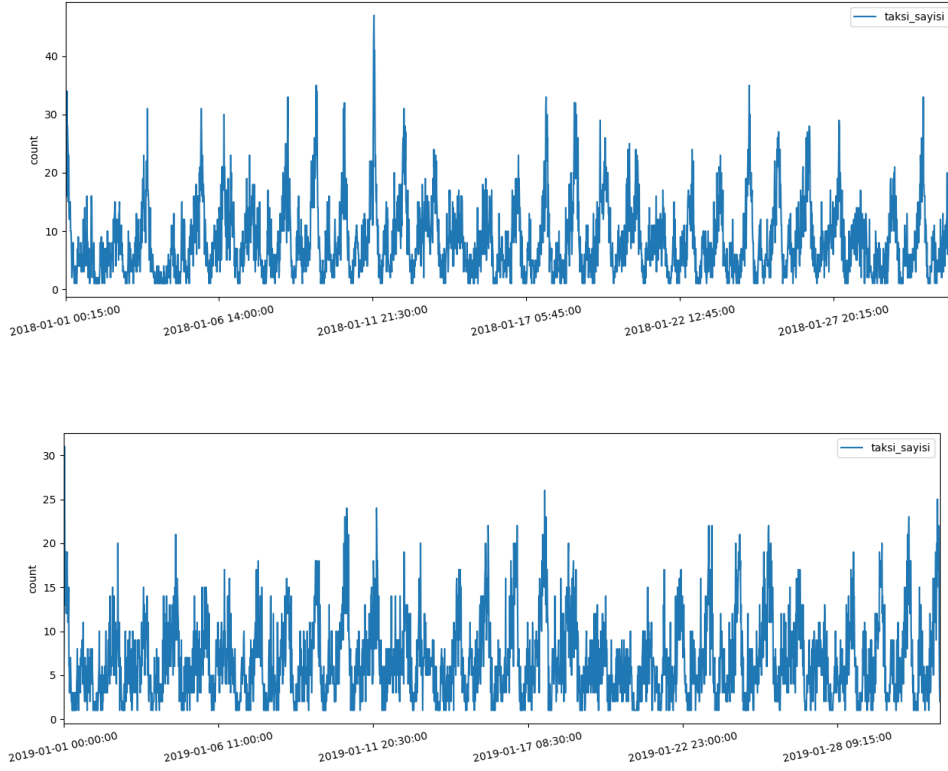
Brooklyn Navy Yard



Fort Greene

Şekil 39 Lokasyonlara göre taksi sayısı





Şekil 40 Downtown Brooklyn 2017-2018-2019 Yıllarına Göre Taksi Sayısı

2.3. Çoklu Regresyon Analizi ve Tahmini

Polinomsal modeller, sonuç değişkeninin eğrisel olduğu durumlarda sıklıkla kullanılır. Bunun yanı sıra, karmaşık doğrusal olmayan ilişkiler, x 'lerin belirli aralıklarla polinomlar ile de modellenebilir. Ref (Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. , 1999) Bir olgunun açıklanması mümkün olan en az varsayıma dayanmalıdır.(Occam'ın usturası) Bu yaklaşım gereğince, elimizde olan ve sonuca giden modellerden en basit olan model seçilmelidir. Polinomal modellerde çok terimlinin derecesi arttıkça modelimiz daha esnek olur ve eğilip bükülerek öğrenme kümesine daha rahat uyar ve genel eğilimi yakalamak yerine çok yakınından geçer. En iyi sonuç öğrenme veri sınıfının karmaşıklığına eş olarak test verisinin karmaşıklığı eşdeğer olarak seçilirse elde edilir. Örneğin; 4. Dereceden bir veriyi, 2. Dereceden bir modelle grafiğe oturtmaya çalışırsak, eksik öğrenme gerçekleşir ve modelin karmaşıklığını arttırdıkça modelin hatası azalır. Bunşarın yanı sıra, veri içerisindeki gürültüler de önemlidir. Veri uzmanı tarafından

gürültüler yani modelin öğrenmesini bozan değerler veri setinden silinirse daha iyi bir öğrenme yapar. Ref (Ethem Alpaydin, MIT Press 2004)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_h X^h + \epsilon \quad (1)$$

Burada h polinom derecesi olarak isimlendirilir. Verilen bir örnek için, $\beta_0 \beta_1 \beta_2 \beta_h \dots$ değerleri genellikle en küçük kareler yöntemiyle elde edilir.

Algoritmanın analiz performansını değerlendirmek için sklearn kütüphanesi kullanılmıştır. Bu amaçla mae(ortalama mutlak hata), mse(ortalama kareler hatası) ilgili kütüphane kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda veri eğitim ve test olarak gruplandırılmıştır. Bununla birlikte, bu gruplar yüzde yirmi test yüzde seksen eğitim olmak üzere ayrılmıştır. Bu çalışma farklı veri setleri yani farklı lokasyon ve zaman dilimleri için birçok kez tekrarlanarak bu deneylerin ortalama performans ölçümleri alınmış ve doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |e_j| \quad (2)$$

Ortalama mutlak hata iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. MAE, yönlerini dikkate almadan bir dizi tahmindeki hataların ortalama büyüklüğünü ölçen, tüm tekil hataların ortalamada eşit olarak ağırlıklandırıldığı doğrusal bir skordur.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (3)$$

Ortalama kare hata bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu söyler. MSE, bir makine öğrenmesi modelinin, tahminleyicinin performansını ölçer ve her zaman pozitif değerlidir.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

Aritmetik ortalama, veri değerlerinin toplamlarının terim sayısına veya büyüklüğüne bölünerek elde edilen merkezsiz konum değeridir. İstatistik bilim dalında en çok kullanan merkezi eğilim ölçüsüdür.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Aritmetik ortalamaları birbirine yakın veya eşit olan iki veri grubundaki çok büyük veya çok küçük değerler verilerin dağılımını etkiler. Standart sapma verilerin aritmetik ortalamaya göre nasıl bir yayılım gösterdiğini anlatır.

2.4. Optimizasyon İşleminin Matematiksel Formülasyonu

Oluşturulan sistemde, arızayı giderme esnasında baraya ve kritik yüklere belirli süre maksimum deşarj gücü ile destek sağlama ve anlık deşarj kapasitesi dahilinde yükleri belirlenen öncelik durumuna göre besleme işlemi optimizasyon tabanlı algoritmanın amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Denklem (6)'da belirtilen maksimizasyon işleminde her bir taşıtın anlık deşarj gücü ($P_{e,t}^{dis}$) toplanmış ve u binary değerleri yüklerin öncelik sırasını belirleyecek şekilde belirlenen katsayı değerleri ile çarpılmıştır.

$$\max \sum_e P_{e,t}^{deşarj} - (0,1.u1_t + 0,01.u2_t + 0,001.u3_t + 0,0001.u4_t) \quad (6)$$

Arıza öncesi ve sonrası periyotlarda yükler şebeke tarafından besleneceği için filo yönetimi sistemine yüklerle veya taşıt uygunluk durumlarıyla ilgili herhangi bir veri yansımayacaktır. Bu durumda yüklerin öncelik sırasını belirleyecek olan u binary değerleri, arıza barasına bağlı anlık yük değerleri ($P_{i,t}^{load}$), taşıtların sisteme aktardıkları anlık deşarj olma değerleri ($P_{e,t}^{dis}$), taşıtların bataryalarının anlık enerji durumu değerleri ($SOE_{e,t}$) ve sistemin arıza anında taşıtları arızaya yönlendirmede karar değeri olarak kullanılan ($alfa_{e,t}$) binary değerleri Eşitlik (7)-(14)'da gösterildiği şekilde sıfıra eşitlenmiştir.

$$0 \leq t < event_t \text{ ve } tdep < t \leq time \quad , \quad time = 96(15dklık\ periyotlar)$$

$$u1_t = 0 \quad (7)$$

$$u2_t = 0 \quad (8)$$

$$u3_t = 0 \quad (9)$$

$$u4_t = 0 \quad (10)$$

$$P_{i,t}^{yük} = 0 \quad , \quad \forall i \quad (11)$$

$$P_{e,t}^{deşarj} = 0 \quad , \quad \forall e \quad (12)$$

$$SOE_{e,t} = 0 \quad , \quad \forall e \quad (13)$$

$$alfa_{e,t} = 0 \quad , \quad \forall e \quad (14)$$

Arızanın olduğu periyotta taşıtların bataryalarındaki enerji durumu değerinden ($SOE_{e,event_t}$) herbir taşıtın arıza anındaki konumlarından arıza barasına gidene kadar yolda harcayacakları enerji değeri çıkartılarak Eşitlik (15)'de görüldüğü gibi taşıtların arıza süresince anlık batarya durumunu temsil edecek olan değere($SOE_{e,t}$) giriş verisi atanır. Denklem (16)-(17)'de an itibari ile taşıtların arıza barasına olan mesafelerine bağlı olarak belirlenen ve taşıtların ulaşım açısından uygunluk durumunu ifade eden b binary değerleri göz önünde bulundurularak her bir taşıt için arıza etkinliğine katılma durumu olan $alfa$ binary değerleri belirlenmiş olur. Aynı zamanda $alfa$ değeri 1 olarak atanmış toplam taşıt sayısının ilgili baradaki soket sayısını geçmemesi için Denklem (18) uygulanmıştır. Belirlenen $alfa$ kararları sonrasındadeşarj işlemlerinde kullanılmak üzere a_e değerine atanır.

$$t = event_t$$

$$SOE_{e,t} = SOE_{e,event_t} - soe_e^{kayıp} \quad , \quad \forall e \quad (15)$$

$$a_e = alfa_{e,t} \quad , \quad \forall e \quad (16)$$

$$alfa_{e,t} \leq b_{i,e} \quad , \quad \forall e, i = event_i \quad (17)$$

$$\sum_e alfa_{e,t} \leq soket_i \quad , \quad \forall e, i = event_i \quad (18)$$

Vaka olduğu an ve vaka süresince çağırılmış taşıtların toplamdeşarj değeri($P_{e,t}^{dis}$) Denklem (19) ile baradaki yüklere($P_{i,t}^{load}$) bağlı olarak sınırlandırılmıştır. Baraya bağlı yükler ise Eşitlik (20) ile tanımlanmış olup yüklerin kendi içlerinde önceliklerine göre beslenmesini sağlayan u binary değerlerinin önem sırası Denklem (21)-(23) ile sağlanmıştır. Arıza süresince herbir taşıtın anlıkdeşarj durumu Denklem (24) ile mesafeye bağlı uygunluk değeri($b_{i,e}$), optimizasyon sisteminin taşıtla ilgili verdiği çağırma kararı(a_e) ve ilgili taşıtındeşarj kapasitesine bağlanmıştır.

$$event_t \leq t \leq tdep$$

$$\sum_e P_{e,t}^{deşarj} \leq P_{i,t}^{yük} \quad , \quad i = event_i \quad (19)$$

$$P_{i,t}^{yük} = P_{i,t}^{baz} \cdot u1_t + P_{i,t}^{hast} \cdot u2_t + P_{i,t}^{tv} \cdot u3_t + P_{i,t}^{non} \cdot u4_t \quad , \quad i = event_i \quad (20)$$

$$u1_t \geq u2_t \quad (21)$$

$$u2_t \geq u3_t \quad (22)$$

$$u3_t \geq u4_t \quad (23)$$

$$P_{e,t}^{deşarj} \leq a_e \cdot DR \cdot b_{i,e} \quad , \quad \forall e, i = event_i \quad (24)$$

Arıza etkinliği süresince destek ekibine katılmasına karar verilen her bir taşıtın bataryasında anlık olarak meydana gelen enerji düşümü, bir önceki enerji durumu, taşıtındeşarj gücü vedeşarj verimine bağlı olarak Eşitlik (25)'teki gibi hesaplanır. Denklem (26) baz alınarak taşıtların enerji seviyelerinin bataryanın minimum kullanım kapasitesinin altına düşmemesi sağlanır.

$$event_t < t \leq tdep$$

$$SOE_{e,t} = SOE_{e,t-1} - \left(\frac{P_{e,t-1}^{deşarj}}{DE} \right) \cdot 0,25 \quad , \quad e \in E \quad (25)$$

$$SOE_{e,t} \geq SOE_{min} \quad , \quad e \in E \quad (26)$$

Optimum güç akışını sağlamak için her bir bara bir düğüm noktası kabul edilerek düğümler için giren ve çıkan güçlerden oluşan güç dengesi denklemleri Ref. (Erenoğlu, A.K. (2018).) baz alınarak Eşitlik (27)'deki gibi oluşturulmuştur. Hatlardan akan güçler($f_{l,t}$) Denklem (24)'de görüldüğü gibi ters yönlü akış olmayacağı için alt sınır olarak sıfır ile üst sınır olarak ise hattın güç kapasitesi(f_l^{max}) ile sınırlanır. Transformatörden sisteme çekilecek anlık güç($P_{i,t}^f$) yalnızca besleme barasında geçerli olmak üzere baraya bağlı toplam yük değeri ve hatlarda meydana gelen toplam güç kaybına Denklem (29)'da eşitlenmiştir. Transformatörün anlık gücü Denklem (30) ile ters yönlü güç akışı olmayacak şekilde alt sınır olarak sıfır ve üst sınır olarak da transformatörün maksimum güç kapasitesi($P_i^{f,max}$) ile sınırlandırılmıştır.

$$\begin{aligned} P_{i,t}^{f,yük} + \sum_{\forall l \in L: i \in \Omega_l^j} f_{l,t} - \sum_{\forall l \in L: i \in \Omega_l^i} f_{l,t} \\ = P_{i,t}^{baz} + P_{i,t}^{hast} + P_{i,t}^{tv} + P_{i,t}^{non} \quad , \quad \forall i, \forall l, \forall t \in T \end{aligned} \quad (27)$$

$$0 \leq f_{l,t} \leq f_l^{max} \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (28)$$

$$P_{i,t}^f = P_{i,t}^{f,yük} + \sum_l P_{l,t}^{kayıp} \quad , \quad i = 0, \forall l, \forall t \in T \quad (29)$$

$$0 \leq P_{i,t}^f \leq P_i^{f,max} \quad , \quad \forall i, \forall t \in T \quad (30)$$

Hatlardaki güç kaybı($P_{l,t}^{lost}$) anlık olarak, hatlardan akan güç($f_{l,t}$) miktarının ikinci dereceden fonksiyonu kullanılarak Eşitlik (31)'de gösterilen şekilde hesaplanır. MILP ile çözümleme yapılan bu çalışma için kayıp fonksiyonu yaygın yöntemlerden (Special Order Sets of Type 2- SOS2) ile Eşitlik (34)-(35) kullanılarak lineerleştirilmiş olup Ref (Erenoğlu, A.K. (2018).)'ye uygun şekilde Eşitlik (32)'deki ifade elde edilmiştir.

$$P_{l,t}^{lost} = 0,001 \cdot f_{l,t} + 0,0003 \cdot f_{l,t}^2 \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (31)$$

$$P_{l,t}^{lost} = 0,001 \cdot f_{l,t} + 0,0003 \cdot F_{l,t} \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (32)$$

$$\sum_p z_{l,t,p} = 1 \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (33)$$

$$f_{l,t} = \sum_p X_p \cdot z_{l,t,p} \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (34)$$

$$F_{l,t} = \sum_p Y_p \cdot z_{l,t,p} \quad , \quad \forall l, \forall t \in T \quad (35)$$

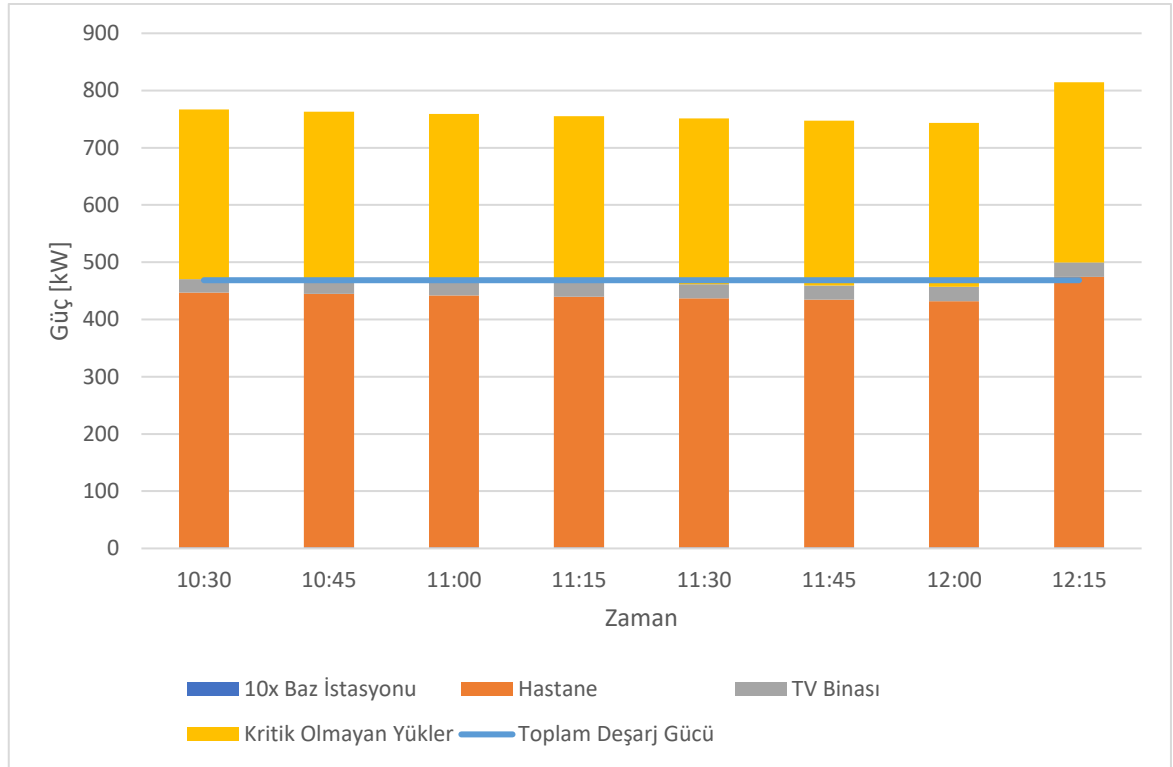
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Giriş Verileri

Taşıt yönlendirme ve güç akışı analizi için geliştirilen optimizasyon modeli Python 2.7 versionu kullanılarak test edilmiştir. Python, son zamanlarda farklı programlar ile veri alışverişinde kolay entegrasyon sağlaması ve çok çeşitli alanlar için geliştirilen zengin kütüphane portfolyosu nedeniyle ön plana çıkan bir yazılım dilidir. Bu çalışmada açık kaynak kodlu PuLP 1.6.8 kütüphanesi MILP ile oluşturulmuş problemi gerçeklemek üzere tercih edilmiştir. Gerçekleme işlemi PuLP kütüphanesi içinde ticari CPLEX çözücüsü ile sağlanmıştır. Testlerde 1 günlük süre içindeki davranışlar değerlendirilmiş olup periyot olarak 15 dk'lık ΔT birim zaman aralığı belirlenmiştir. Arıza bilgisi operatöre geldiği periyottan bir periyot sonra taşıtların besleme noktasına ulaştığı ve filo

yöneticisinin arızanın tamir edilmesi için sağladığı enerji desteği süresi 2 saat(8 periyot) olarak düşünülmüştür.

Baralara bağlı elektriksel güç talebi çalışmada temel olarak kritik ve kritik olmayan yükler olarak 2 kategoriye ayrılmıştır. Kritik yükler baz istasyonu, hastane ve televizyon kanalı binası olarak belirlenmiş olup doğal afet anında haberleşme, yayın ve sağlık hizmetlerine destek olarak öncelik verilmiştir. Kritik olmayan yükler ise kritik yükleri beslerken yeterli kaynak sağlandığı takdirde devreye girerek beslenme işlemine dahil olmaktadır. (Energy Online; Niyato ve ark., 2012; Ayang, 2016; Kas, 2014) 'den elde edilmiş olan yük talebi verileri baz alınarak Şekil (41)'deki güç talebi eğrileri elde edilmiştir. Baralara bağlı olarak öngörülen soket sayıları ve yük birimleri Tablo (10)'da gösterilmiştir.



Şekil 41 Baralara Bağlı Yüklerin Saatlik Güç Talepleri

Tablo 10 Baralarda Olduğu Düşünülen Soket Sayıları ve Tüketim Birimleri

Bara Numarası	Soket Sayısı	Baz İstasyonu	Hastane	TV Binası	Kritik Olmayan Yükler
1	75	-	-	-	-
2	50	+	-	+	+
3	45	+	-	+	+
4	60	+	-	+	+
5	65	+	+	+	+

Tablo 11 Elektrikli Taşıtların Özellikleri

I D	SOE ₁	SOE ₂	D R	D E	Model	Ağırlık(kg)	A(m ²)	ID	SOE ₁	SOE ₂	D R	D E	Model	Ağırlık(kg)	A(m ²)
ev 1	3,1	67,1	7,2	0,97	Kia e-Soul	1657	2,889	ev 66	3,1	67,1	7,2	0,97	Kia e-Soul	1657	2,889
ev 2	3,1	67,1	7,4	0,97	Hyundai Kona Electric	1685	2,817	ev 67	3,1	67,1	7,4	0,97	Hyundai Kona Electric	1685	2,817
ev 3	6	62	6,6	0,97	Nissan LEAF e+	1731	2,762	ev 68	6	62	6,6	0,97	Nissan LEAF e+	1731	2,762
ev 4	2	60	7,4	0,97	Opel Ampera-e	1591	2,55	ev 69	2	60	7,4	0,97	Opel Ampera-e	1591	2,55
ev 5	3,1	67,1	7,2	0,97	Kia e-Soul	1657	2,889	ev 70	3,1	67,1	7,2	0,97	Kia e-Soul	1657	2,889

ev 6	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 71	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 7	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 72	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 8	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 73	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 9	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 74	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 10	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 75	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 11	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 76	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 12	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 77	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 13	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 78	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 14	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 79	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 15	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 80	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89

ev 16	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 81	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 17	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 82	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 18	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 83	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 19	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 84	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 20	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 85	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 21	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 86	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 22	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 87	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 23	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 88	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 24	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 89	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 25	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 90	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89

ev 26	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 91	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 27	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 92	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 28	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 93	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 29	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 94	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 30	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 95	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 31	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 96	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 32	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 97	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 33	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 98	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 34	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 99	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 35	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 100	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89

ev 36	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 10 1	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 37	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 10 2	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 38	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 10 3	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 39	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 10 4	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 40	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 10 5	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 41	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 10 6	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 42	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 10 7	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 43	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 10 8	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 44	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 10 9	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 45	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 11 0	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62

ev 46	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 11 1	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 47	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 11 2	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 48	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 11 3	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 49	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 11 4	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 50	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 11 5	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 51	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 11 6	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 52	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 11 7	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 53	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 11 8	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 54	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 11 9	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 55	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 12 0	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62

ev 56	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 12 1	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 57	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 12 2	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 58	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 12 3	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 59	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 12 4	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 60	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 12 5	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62
ev 61	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 12 6	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5
ev 62	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17	ev 12 7	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 63	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62	ev 12 8	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89
ev 64	2	60	7 , 4	0, 9 7	Opel Amper a-e	1591	2,5 5	ev 12 9	3,1	67, 1	7 , 4	0, 9 7	Hyunda i Kona Electric	1685	2,8 17
ev 65	3,1	67, 1	7 , 2	0, 9 7	Kia e- Soul	1657	2,8 89	ev 13 0	6	62	6 , 6	0, 9 7	Nissan LEAF e+	1731	2,7 62

Destek filosu oluşturulurken 4 çeşit elektrikli taşıt tercih edilmiştir. Kia e-Soul, Hyundai Kona Electric, Nissan LEAF e+ ve Opel Ampera-e marka ve modelleri düşünülerek sağlanmış olan çeşitlilikle ilgili gerekli taşıt bilgileri Ref. (Electric Vehiscles Database) bağlı kalınarak Tablo (11)’de verilmiştir.

Arızanın 5 nolu barada saat 10:15’te(periyot 41) oluştuğu düşünülmüştür.

Tablo 12 modelin örnek giriş verilerinin ilk 100 satırı

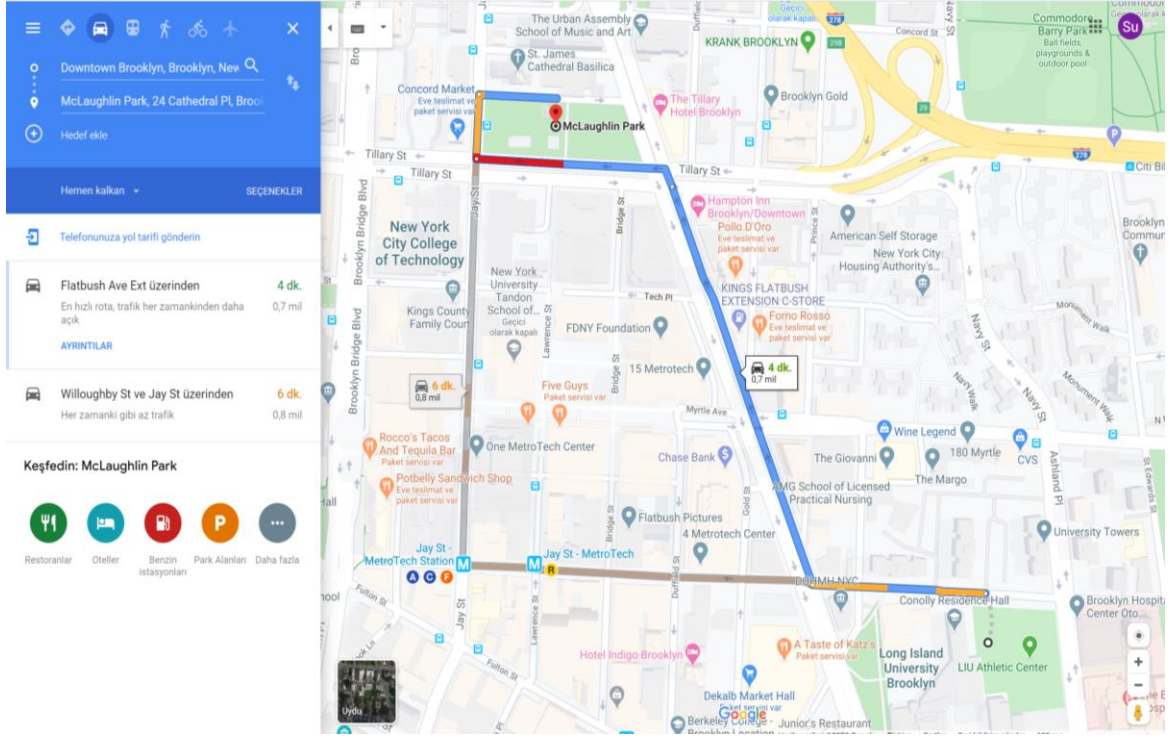
	Yıl	Ay	Gün	Dilim	Hafta Günü	Saat	Taksi Sayısı
0	2017	1	1	4	6	1	1
1	2017	1	1	5	6	1	2
2	2017	1	1	6	6	1	1
3	2017	1	1	8	6	2	1
4	2017	1	1	11	6	2	3
5	2017	1	1	12	6	3	5
6	2017	1	1	15	6	3	1
7	2017	1	1	16	6	4	2
8	2017	1	1	17	6	4	1
9	2017	1	1	21	6	5	1
10	2017	1	1	36	6	9	2
11	2017	1	1	41	6	10	1
12	2017	1	1	47	6	11	1
13	2017	1	1	50	6	12	1
14	2017	1	1	54	6	13	1
15	2017	1	1	55	6	13	1
16	2017	1	1	56	6	14	1
17	2017	1	1	60	6	15	2
18	2017	1	1	63	6	15	1
19	2017	1	1	64	6	16	2
20	2017	1	1	65	6	16	3
21	2017	1	1	66	6	16	1
22	2017	1	1	76	6	19	1

23	2017	1	1	81	6	20	1
24	2017	1	1	83	6	20	1
25	2017	1	1	84	6	21	1
26	2017	1	1	94	6	23	2
27	2017	1	2	0	0	0	1
28	2017	1	2	33	0	8	1
29	2017	1	2	35	0	8	1
30	2017	1	2	37	0	9	1
31	2017	1	2	39	0	9	1
32	2017	1	2	40	0	10	1
33	2017	1	2	43	0	10	1
34	2017	1	2	44	0	11	1
35	2017	1	2	48	0	12	1
36	2017	1	2	58	0	14	1
37	2017	1	2	70	0	17	1
38	2017	1	2	71	0	17	1
39	2017	1	2	73	0	18	2
40	2017	1	2	77	0	19	1
41	2017	1	2	79	0	19	1
42	2017	1	2	81	0	20	1
43	2017	1	2	82	0	20	1
44	2017	1	2	88	0	22	1
45	2017	1	2	90	0	22	1
46	2017	1	3	24	1	6	1
47	2017	1	3	26	1	6	1
48	2017	1	3	27	1	6	2
49	2017	1	3	28	1	7	1
50	2017	1	3	29	1	7	1
51	2017	1	3	30	1	7	1
52	2017	1	3	31	1	7	3
53	2017	1	3	32	1	8	2

54	2017	1	3	35	1	8	1
55	2017	1	3	36	1	9	2
56	2017	1	3	37	1	9	1
57	2017	1	3	39	1	9	2
58	2017	1	3	42	1	10	1
59	2017	1	3	43	1	10	1
60	2017	1	3	48	1	12	1
61	2017	1	3	52	1	13	3
62	2017	1	3	55	1	13	1
63	2017	1	3	63	1	15	2
64	2017	1	3	73	1	18	2
65	2017	1	3	75	1	18	1
66	2017	1	3	77	1	19	1
67	2017	1	3	79	1	19	1
68	2017	1	3	83	1	20	1
69	2017	1	3	92	1	23	1
70	2017	1	3	93	1	23	2
71	2017	1	4	21	2	5	1
72	2017	1	4	23	2	5	1
73	2017	1	4	24	2	6	1
74	2017	1	4	25	2	6	2
75	2017	1	4	26	2	6	2
76	2017	1	4	28	2	7	2
77	2017	1	4	29	2	7	1
78	2017	1	4	30	2	7	2
79	2017	1	4	31	2	7	1
80	2017	1	4	32	2	8	4
81	2017	1	4	33	2	8	3
82	2017	1	4	34	2	8	2
83	2017	1	4	35	2	8	1
84	2017	1	4	38	2	9	1

85	2017	1	4	39	2	9	1
86	2017	1	4	43	2	10	1
87	2017	1	4	45	2	11	1
88	2017	1	4	46	2	11	2
89	2017	1	4	47	2	11	1
90	2017	1	4	50	2	12	1
91	2017	1	4	56	2	14	1
92	2017	1	4	57	2	14	1
93	2017	1	4	58	2	14	2
94	2017	1	4	60	2	15	1
95	2017	1	4	61	2	15	1
96	2017	1	4	66	2	16	1
97	2017	1	4	67	2	16	2
98	2017	1	4	70	2	17	2
99	2017	1	4	72	2	18	2
100	2017	1	4	74	2	18	1

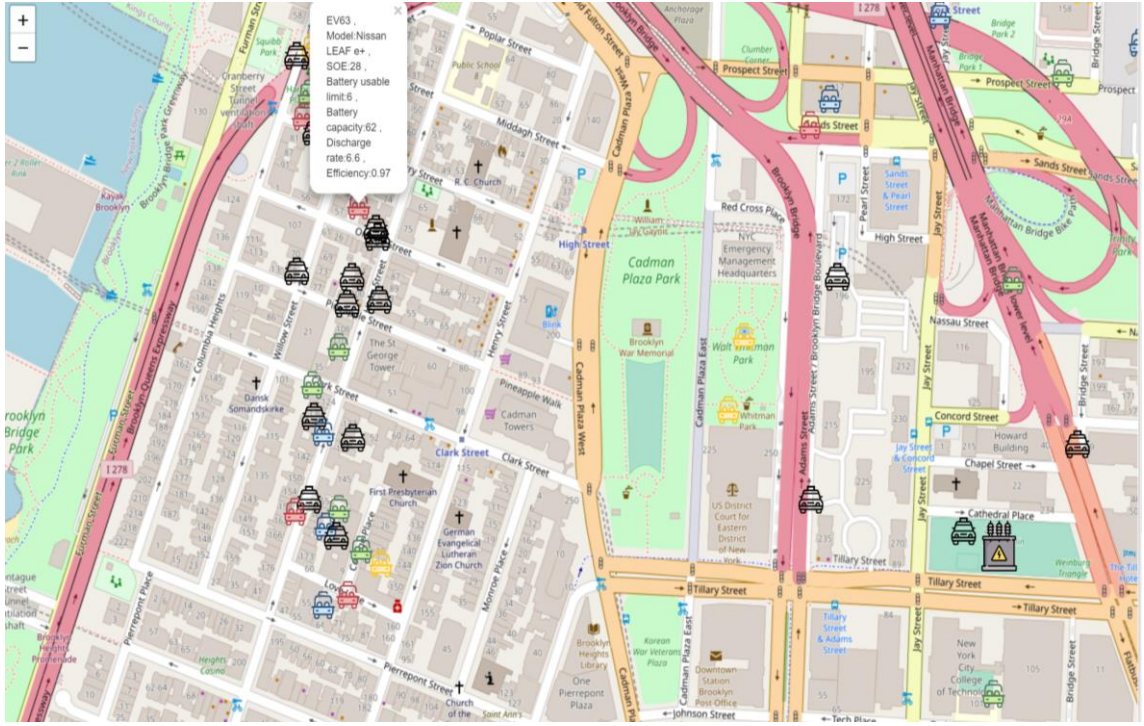
Arıza gerçekleşen bara Downtown Brooklyn’de bulunan Mc Laughlin Park seçilmiş olup, regresyonun tahmin sonucunda uygun olarak belirlenen araçlar için model ve lokasyona göre özellikler random olarak atanmıştır. Veri setinde sarı taksilerin kimlikleri belirtilmediğinden dolayı kimlikler tarafımızca oluşturulup, konumlarına göre enlem ve boylam değerleri, kullanılabilir batarya limiti, deşarj oranı, batarya kapasitesi, verim gibi değerler belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında, her bir araç için arıza gerçekleşen baraya Google Haritalar kullanılarak en kısa sürede ulaşabileceği yol atanmıştır. Şekil (42)



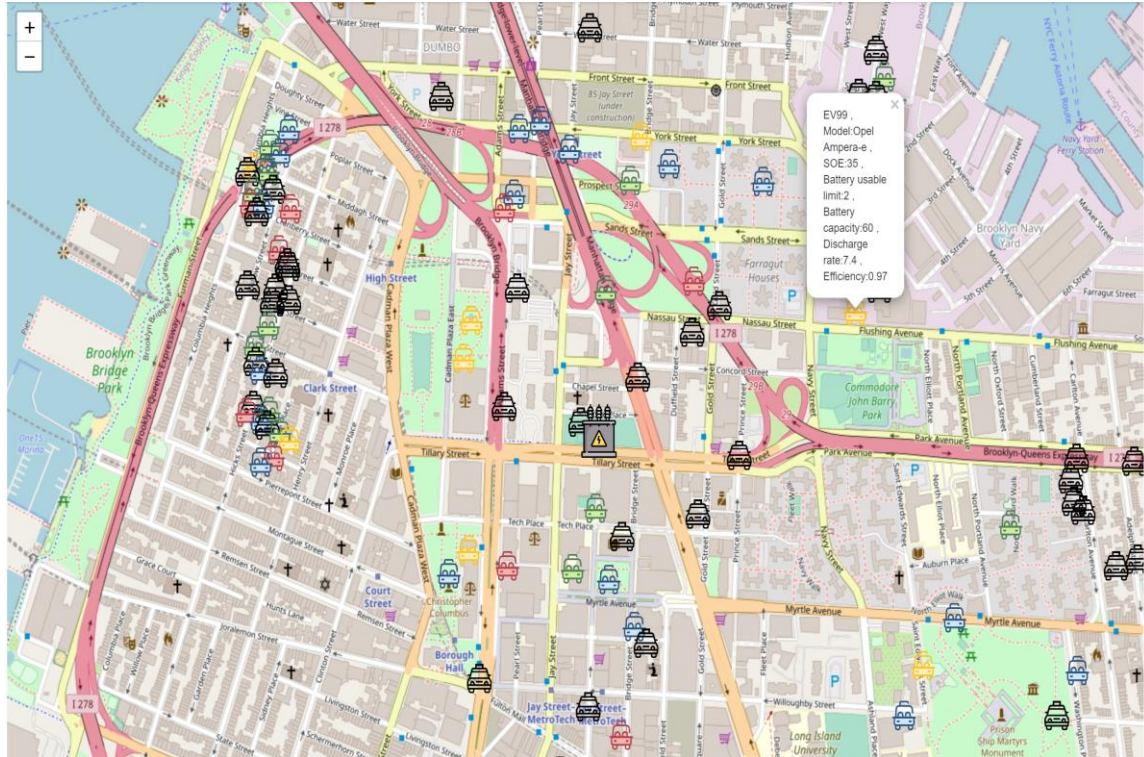
Şekil 42 Elektrikli Taşıtlar İçin Rota Belirlenmesi



Şekil 43 Sistem Operatörü Arayüzü - 1



Şekil 44 Sistem Operatörü Arayüzü - 2



Şekil 45 Sistem Operatörü Arayüzü - 3

Sistem operatörü düşünölen arayüz Şekil (43 - 44 - 45)'te gösterilmiştir. Arıza gerçekleşen bara ve baraya yönlendirilebilecek araçlar harita üzerinde konumlandırılmıştır. Sistem operatörü baraya tıklayarak, baranın bilgilerine ulaşabilmektedir. Aynı zamanda, araçlar modellerine göre Kia e-Soul mavi, Hyundai Kona Electric yeşil, Nissan LEAF e+ kırmızı, Opel ampera-e sarı renkte gösterilmiştir. Uygun olmayan araçlar ise siyah renkte gösterilmiştir. Sistem operatörü yine araçlara tıklayarak kullanılabilir batarya limiti, deşarj oranı, batarya kapasitesi, verim ve araç id'sine ulaşabilmektedir.

Geliştirilen yaklaşıma göre sistem operatörü taşıtların arıza barasına olan arıza anındaki mesafesini baz alan uygunluk durumunu belirlemektedir. Oluşturulan test çalışmasında toplam 74 uygun, 56 uygun olmayan araç bulunmaktadır. Sistem aynı zamanda uygun taşıtların mesafelerine bağılı olarak baraya ulaşana kadarki zamanda oluşacak enerji kaybını hesaplayarak optimizasyon programının giriş verisi haline getirmektedir. Taşıt filosundaki her bir taşıt için arıza anı uygunluk durumu, uygun taşıtların arıza anında bulundukları konumdan baraya kadar olan mesafeleri ve bu mesafeyi kat ederken kaybedecekleri enerji miktarları Tablo (12)'de gösterilmiştir.

Taşıtların yol kat ederken kaybettikleri enerji miktarı Ref (Erdoğan ve ark., 2019) baz alınarak Denklem (36)-(42)'deki gibi hesaplanmaktadır. Yol alınırken bataryadan elektriksel olarak çekilen güç(P) taşıtın elektromekaniksel verimi(e) ve harcanan mekanik güce(P_v) bağılıdır. Bu mekaniksel gücü oluşturan ve sürüş anında taşıta etki eden aerodinamiksel direnç(F_a), yuvarlanma sürtünmesi(F_r), tepe tırmanma(F_g) ve hızlanma(AF) kuvveti bulunmaktadır. Bu çalışmada ilgili değerler hava yoğunluğu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, sürüklenme katsayısı $C_x = 0,19$, yuvarlanma direnci katsayısı $C_r = 0,0048$, yerçekimi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, yol eğimi $\alpha = 0^\circ$ olacak şekilde sabit olarak alınmıştır.

$$F_a = 0,5. \rho. A. C_x. v(t)^2 \quad (36)$$

$$F_r = M. C_r. g. \cos \alpha \quad (37)$$

$$F_g = M. g. \sin \alpha \quad (38)$$

$$AF = \frac{v(t) - v(t-1)}{\Delta T} . M \quad (39)$$

$$F_t = AF + F_a(t) + F_r(t) + F_d(t) + F_r(t) \quad (40)$$

$$P_v = F_r(t) \cdot v(t) \quad (41)$$

$$P = \frac{P_v}{e * 1000} \quad (42)$$

Tablo 13 Elektrikli Taşıtların Arıza Anındaki Konum-Mesafeye Bağlı Uygunluk-Baraya Olan Mesafe Verileri

ID	Konum	Uygunluk	Mesafe(km)	ID	Konum	Uygunluk	Mesafe(km)
ev1	0	0	0	ev66	1	1	0,9656064
ev2	1	1	0,6437376	ev67	0	0	0
ev3	1	1	0,6437376	ev68	0	0	0
ev4	0	0	0	ev69	2	1	1,609344
ev5	0	0	0	ev70	0	0	0
ev6	0	0	0	ev71	1	1	0,9656064
ev7	2	1	1,609344	ev72	4	1	1,4484096
ev8	0	0	0	ev73	5	1	1,2874752
ev9	0	0	0	ev74	1	1	1,1265408
ev10	1	1	1,4484096	ev75	1	1	0,804672
ev11	0	0	0	ev76	0	0	0
ev12	0	0	0	ev77	4	1	1,7702784
ev13	1	1	1,1265408	ev78	5	1	1,2874752
ev14	5	1	1,7702784	ev79	1	1	1,609344
ev15	5	1	0,9656064	ev80	0	0	0
ev16	1	1	1,2874752	ev81	0	0	0
ev17	2	1	1,609344	ev82	3	1	2,0921472
ev18	0	0	0	ev83	0	0	0
ev19	0	0	0	ev84	4	1	1,2874752
ev20	1	1	1,1265408	ev85	0	0	0
ev21	0	0	0	ev86	1	1	1,1265408
ev22	0	0	0	ev87	0	0	0
ev23	0	0	0	ev88	2	1	1,609344
ev24	0	0	0	ev89	1	1	1,609344

ev25	4	1	1,4484096	ev90	0	0	0
ev26	0	0	0	ev91	2	1	1,609344
ev27	0	0	0	ev92	1	1	0,9656064
ev28	1	1	0,9656064	ev93	2	1	1,4484096
ev29	1	1	0,6437376	ev94	0	0	0
ev30	0	0	0	ev95	0	0	0
ev31	0	0	0	ev96	0	0	0
ev32	1	1	1,2874752	ev97	4	1	1,7702784
ev33	0	0	0	ev98	0	0	0
ev34	0	0	0	ev99	3	1	1,9312128
ev35	0	0	0	ev100	1	1	1,609344
ev36	4	1	1,609344	ev101	0	0	0
ev37	0	0	0	ev102	2	1	3,0577536
ev38	4	1	1,9312128	ev103	5	1	1,7702784
ev39	4	1	1,7702784	ev104	3	1	1,4484096
ev40	5	1	1,1265408	ev105	0	0	0
ev41	4	1	1,1265408	ev106	5	1	1,609344
ev42	5	1	1,4484096	ev107	2	1	1,609344
ev43	0	0	0	ev108	2	1	1,4484096
ev44	0	0	0	ev109	2	1	1,1265408
ev45	4	1	1,4484096	ev110	2	1	1,4484096
ev46	5	1	1,2874752	ev111	0	0	0
ev47	4	1	1,9312128	ev112	5	1	1,1265408
ev48	5	1	1,7702784	ev113	0	0	0
ev49	4	1	1,609344	ev114	2	1	1,609344
ev50	4	1	1,609344	ev115	0	0	0
ev51	0	0	0	ev116	0	0	0
ev52	2	1	1,4484096	ev117	2	1	1,609344
ev53	0	0	0	ev118	0	0	0
ev54	0	0	0	ev119	2	1	1,4484096
ev55	1	1	0,6437376	ev120	5	1	1,2874752

ev56	0	0	0	ev121	0	0	0
ev57	0	0	0	ev122	0	0	0
ev58	1	1	0,9656064	ev123	2	1	2,2530816
ev59	0	0	0	ev124	2	1	1,1265408
ev60	4	1	1,609344	ev125	2	1	1,609344
ev61	0	0	0	ev126	2	1	1,609344
ev62	0	0	0	ev127	2	1	1,609344
ev63	2	1	1,4484096	ev128	4	1	1,2874752
ev64	5	1	1,609344	ev129	1	1	0,6437376
ev65	4	1	1,1265408	ev130	0	0	0

3.2. Sonuç Ve Tartışma

3.2.1. Çoklu Regresyon Sonuçları

Veri setini en iyi açıklayacak ve tahmin edecek regresyon modelini geliştirme doğrultusunda Python programlama dilinin Sklearn isimli kütüphanesi kullanılmıştır. Çoklu regresyon sonucunu değerlendirmek amaçlı mae(ortalama mutlak hata) ve mse(ortalama kareler hatası) değerleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda, lokasyonlara göre Downtown Brooklyn, Boeum Hill, Brooklyn Heights, Brooklyn Navy Yard, Fort Greene için 09:45'te 39 numaralı dilimde sırasıyla ortalama mutlak hatalar Denklem (2) kullanılarak yaklaşık olarak: 3.03, 14.27, 0.52, 3.84, 2.63; ortalama kareler hatalar Denklem (3) kullanılarak yaklaşık olarak: 15.81, 2.77, 0.53, 130.54, 13.66 ; 10:00'da 40 numaralı dilimde sırasıyla ortalama mutlak hatalar Denklem (2) kullanılarak yaklaşık olarak: 3.03, 2.77, 3.84, 0.52, 2.77; ortalama kareler hatalar Denklem (3) kullanılarak yaklaşık olarak: 15.81, 14.26, 141.5, 0.52, 14.32; 10:15'te 41 numaralı dilimde sırasıyla ortalama mutlak hatalar Denklem (2) kullanılarak yaklaşık olarak: 3.03, 2.77, 3.84, 0.52, 2.63; ortalama kareler hatalar Denklem (3) kullanılarak yaklaşık olarak: 15.81, 14.26, 141.5, 0.52, 13.66; 10:30'da 42 numaralı dilimde sırasıyla ortalama mutlak hatalar Denklem (2) kullanılarak yaklaşık olarak: 3.03, 2.77, 141.5, 0.52, 0.63; ortalama kareler hatalar Denklem (3) kullanılarak yaklaşık olarak: 15.81, 14.26, 141.5, 0.52, 14.32; 10:45'te 43 numaralı dilimde sırasıyla ortalama mutlak hatalar Denklem (2) kullanılarak yaklaşık olarak: 3.03, 2.77, 3.84, 0.52, 2.63; ortalama kareler hatalar Denklem (3)

kullanılarak yaklaşık olarak: 15.81, 14.26, 141.5, 0.52, 13.66. Bu analizler tahmin edilen taksi sayısının doğruluğu açısından önemlidir. Bu doğrultuda, Brooklyn Heights, Brooklyn Navy Yard lokasyonları için tahmin doğruluğu düşük iken, Downtown Brooklyn, Boeum Hill, Fort Greene için tahmin doğruluğu yüksektir. Tahminlerin sonuçları lokasyonlara göre (Downtown Brooklyn, Boeum Hill, Brooklyn Heights, Brooklyn Navy Yard, Fort Greene) ve (09:45, 10:00, 10:15, 10:30, 10:45) dilime göre sırasıyla yaklaşık olarak: 7, 7, 7, 7, 6; 5, 5, 4, 4, 4; 1, 7, 7, 6, 6; 6. 1, 1, 1, 1; 6, 5, 6, 5, 6 olarak tahmin edilmiştir.

3.2.2. Optimizasyon Sonuçları

Kurgulanan optimizasyon problemine göre amaç fonksiyonu olarak aynı anda en fazla deşarj gücü elde edebilme opsiyonu belirlenmiştir. Bu amaç fonksiyonuna bağlı olarak algoritmanın filodaki uygun taşıtlar arasından en yüksek deşarj gücü(DR) olan taşıtları tercih etmesi beklenmektedir. Deşarj gücüyle birlikte istenen süre boyunca kesintisiz güç desteği sağlanması için arıza oluşan andaki taşıtların enerji durumlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çünkü arıza anında bataryasında yeterli miktarda enerji bulunmayan bir taşıt tercih edildiği takdirde ilgili taşıt bir süre deşarj olduktan sonra bataryası için güvenli seviyenin altına düşmeyecek şekilde deşarj işlemini durdurmaktadır. Bu durumda arıza için belirlenen destek süresi boyunca en verimli deşarj planlaması elde edilememiş olur. Bununla birlikte mesafeye bağlı olarak yolda kaybedilen enerji miktarı baraya bağlanma anındaki enerji durumuna olumsuz etki edeceğinden dolayı, soket sayısı kısıtlaması kapsamında tercih edilmesi beklenen taşıtların en yakın konumdan seçilmesi sistemin pratik için uygun olduğunu göstermektedir.

Taşıtlarla ilgili arıza anındaki konum, mesafe, konuma bağlı sistemin belirlediği uygunluk durumu(b), enerji durumu(SOE_{event_t}) ve deşarj gücü kapasiteleri(DR) verileri ile birlikte belirlenen kısıtlamalar kapsamında optimizasyon algoritmasının taşıtlarla ilgili aldığı yönlendirme kararları(alfa) Tablo (14)'te gösterilmiştir. Filoda bulunduğu düşünülen taşıt tiplerine göre deşarj gücü kapasiteleri 6,6 kW, 7,2 kW ve 7,4 kW'tır. Alfa çıktıları incelendiğinde filodaki mesafeye bağlı uygunluk değeri(b) 1 olan ve en yüksek (7,4 kW deşarj gücü kapasitesine) sahip taşıtlardan sadece bir tane taşıt dışında tamamı arıza barasına yönlendirilmiştir. Ev124 ID'sine sahip taşıt ise 7,4 kW

deşarj gücüne sahip olmasına rağmen arıza meydana geldiği anda bataryasındaki enerji durumu 12 kWh olduğundan dolayı program tarafından tercih edilmemiştir. Aynı şekilde uygunluk durumu 1 olan vedeşarj kapasitesi 7,2 olan ev107, ev117 ve ev123 ID'li taşıtların da enerji durumları düşük olduğu için sistem tarafından tercih edilmediği görülmüştür. Oluşturulan sistem,deşarj gücünün maksimizasyonu işlemine göre son tercih olan 6,6 kW kapasiteye sahip olan taşıtlarda da kısıtlamaların dışına çıkılmayacak şekilde tercih değerlendirmelerini yapmıştır.

Tablo 124 Taşıtlarla İlgili Giriş Verilerine Göre Optimizasyon Programı Yönlendirme Kararları

ID	Konu m	Mesafe	b	SOE_{event}	D R	alf a	ID	Konu m	Mesafe	b	SOE_{event}	D R	alf a
ev1	0	0	0	42	7, 2	0	ev66	1	0,0252 45	1	43	7, 2	1
ev2	1	0,0169 73	1	54	7, 4	1	ev67	0	0	0	49	7, 4	0
ev3	1	0,0174 37	1	39	6, 6	1	ev68	0	0	0	48	6, 6	0
ev4	0	0	0	40	7, 4	0	ev69	2	0,0410 64	1	47	7, 4	1
ev5	0	0	0	32	7, 2	0	ev70	0	0	0	29	7, 2	0
ev6	0	0	0	49	7, 2	0	ev71	1	0,0252 45	1	41	7, 2	1
ev7	2	0,0434 9	1	29	7, 4	1	ev72	4	0,0389 82	1	54	7, 4	1
ev8	0	0	0	52	6, 6	0	ev73	5	0,0354 52	1	43	6, 6	0
ev9	0	0	0	56	7, 4	0	ev74	1	0,0283 95	1	40	7, 4	1

ev1 0	1	0,0383 34	1	38	7, 2	1	ev75	1	0,0209 51	1	52	7, 2	1
ev1 1	0	0	0	28	7, 2	0	ev76	0	0	0	54	7, 2	0
ev1 2	0	0	0	54	7, 4	0	ev77	4	0,0480 32	1	28	7, 4	1
ev1 3	1	0,0308 94	1	25	6, 6	1	ev78	5	0,0354 52	1	53	6, 6	0
ev1 4	5	0,0453 53	1	45	7, 4	1	ev79	1	0,0410 64	1	59	7, 4	1
ev1 5	5	0,0252 45	1	30	7, 2	1	ev80	0	0	0	54	7, 2	0
ev1 6	1	0,0339 37	1	39	7, 2	1	ev81	0	0	0	52	7, 2	0
ev1 7	2	0,0434 9	1	39	7, 4	1	ev82	3	0,0572 23	1	44	7, 4	1
ev1 8	0	0	0	48	6, 6	0	ev83	0	0	0	25	6, 6	0
ev1 9	0	0	0	50	7, 4	0	ev84	4	0,0325 85	1	58	7, 4	1
ev2 0	1	0,0295 73	1	42	7, 2	1	ev85	0	0	0	41	7, 2	0
ev2 1	0	0	0	49	7, 2	0	ev86	1	0,0295 73	1	50	7, 2	1
ev2 2	0	0	0	52	7, 4	0	ev87	0	0	0	55	7, 4	0
ev2 3	0	0	0	34	6, 6	0	ev88	2	0,0446 77	1	60	6, 6	0
ev2 4	0	0	0	33	7, 4	0	ev89	1	0,0410 64	1	53	7, 4	1
ev2 5	4	0,0383 34	1	52	7, 2	1	ev90	0	0	0	59	7, 2	0

ev2 6	0	0	0	50	7, 2	0	ev91	2	0,0427 67	1	50	7, 2	1
ev2 7	0	0	0	39	7, 4	0	ev92	1	0,0256 71	1	33	7, 4	1
ev2 8	1	0,0263 72	1	30	6, 6	1	ev93	2	0,0400 46	1	50	6, 6	0
ev2 9	1	0,0160 26	1	59	7, 4	1	ev94	0	0	0	59	7, 4	0
ev3 0	0	0	0	59	7, 2	0	ev95	0	0	0	32	7, 2	0
ev3 1	0	0	0	30	7, 2	0	ev96	0	0	0	47	7, 2	0
ev3 2	1	0,0345 1	1	32	7, 4	1	ev97	4	0,0480 32	1	40	7, 4	1
ev3 3	0	0	0	29	6, 6	0	ev98	0	0	0	25	6, 6	0
ev3 4	0	0	0	36	7, 4	0	ev99	3	0,0496 75	1	35	7, 4	1
ev3 5	0	0	0	37	7, 2	0	ev10 0	1	0,0427 67	1	43	7, 2	1
ev3 6	4	0,0427 67	1	59	7, 2	1	ev10 1	0	0	0	54	7, 4	0
ev3 7	0	0	0	53	7, 4	0	ev10 2	2	0,0842 18	1	44	7, 2	1
ev3 8	4	0,0540 46	1	31	6, 6	1	ev10 3	5	0,0472 34	1	29	7, 2	1
ev3 9	4	0,0453 53	1	59	7, 4	1	ev10 4	3	0,0389 82	1	28	7, 4	1
ev4 0	5	0,0295 73	1	37	7, 2	1	ev10 5	0	0	0	45	6, 6	0
ev4 1	4	0,0295 73	1	46	7, 2	1	ev10 6	5	0,0410 64	1	30	7, 4	1

ev4 2	5	0,0389 82	1	43	7, 4	1	ev10 7	2	0,0427 67	1	10	7, 2	0
ev4 3	0	0	0	46	6, 6	0	ev10 8	2	0,0383 34	1	43	7, 2	1
ev4 4	0	0	0	57	7, 4	0	ev10 9	2	0,0300 73	1	58	7, 4	1
ev4 5	4	0,0383 34	1	38	7, 2	1	ev11 0	2	0,0400 46	1	40	6, 6	1
ev4 6	5	0,0339 37	1	30	7, 2	1	ev11 1	0	0	0	45	7, 4	0
ev4 7	4	0,0526 1	1	49	7, 4	1	ev11 2	5	0,0295 73	1	37	7, 2	1
ev4 8	5	0,0493 44	1	57	6, 6	1	ev11 3	0	0	0	48	7, 2	0
ev4 9	4	0,0410 64	1	29	7, 4	1	ev11 4	2	0,0434 9	1	34	7, 4	1
ev5 0	4	0,0427 67	1	32	7, 2	1	ev11 5	0	0	0	49	6, 6	0
ev5 1	0	0	0	40	7, 2	0	ev11 6	0	0	0	33	7, 4	0
ev5 2	2	0,0389 82	1	59	7, 4	1	ev11 7	2	0,0427 67	1	10	7, 2	0
ev5 3	0	0	0	58	6, 6	0	ev11 8	0	0	0	57	7, 2	0
ev5 4	0	0	0	39	7, 4	0	ev11 9	2	0,0389 82	1	58	7, 4	1
ev5 5	1	0,0166 91	1	57	7, 2	1	ev12 0	5	0,0354 52	1	60	6, 6	1
ev5 6	0	0	0	27	7, 2	0	ev12 1	0	0	0	55	7, 4	0
ev5 7	0	0	0	30	7, 4	0	ev12 2	0	0	0	55	7, 2	0

ev5 8	1	0,0263 72	1	39	6, 6	1	ev12 3	2	0,0608 43	1	8	7, 2	0
ev5 9	0	0	0	32	7, 4	0	ev12 4	2	0,0300 73	1	12	7, 4	0
ev6 0	4	0,0427 67	1	37	7, 2	1	ev12 5	2	0,0446 77	1	36	6, 6	1
ev6 1	0	0	0	51	7, 2	0	ev12 6	2	0,0410 64	1	37	7, 4	1
ev6 2	0	0	0	45	7, 4	0	ev12 7	2	0,0427 67	1	42	7, 2	1
ev6 3	2	0,0400 46	1	28	6, 6	0	ev12 8	4	0,0339 37	1	49	7, 2	1
ev6 4	5	0,0410 64	1	53	7, 4	1	ev12 9	1	0,0169 73	1	36	7, 4	1
ev6 5	4	0,0295 73	1	55	7, 2	1	ev13 0	0	0	0	42	6, 6	0

Baraya bağı soket sayısı, sistemi besleme işlemi için ciddi bir kısıt durumu oluşturmaktadır. Afet sebebiyle barada şebekeyle bağı kesilen yük miktarı ne kadar yüksek olursa olsun toplam deşarj gücü kapasitesini, elektrikli taşıt filosunda uygun bulunan araç sayısından bağımsız olarak soket sayısı sınırlandırmaktadır. Bu şartlar bağlamında en önemli unsur ilk olarak kritik yükleri, kritik yükler arasında da kendi öncelik sıralarını değerlendirerek güç desteği sağlayabilme durumudur. Yüklerin çeşitlerine göre besleme işlemi için devreye alınma kararlarını u binary değerleri belirlemektedir. Baraya bağı olduğu düşünölen yüklerden 10 adet baz istasyonunu u1, hastaneyi u2, televizyon binasını u3 ve kritik olmayan yükleri u4 karar değerleri temsil etmektedir. Arıza oluşın periyot 10:15(periyot 41) olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte taşıtların baraya ulaşp deşarj durumuna geçmeleri için 15 dk(1 periyot) olarak öngörölmüştür. Bu durumda besleme işlemi saat 10:30'da(periyot 42) başlayacak olup 2 saat(8 periyot) sürecektir.

Tablo (15)'de zamana bağılı olarak u kararlarına atanan değerler görülmektedir. Taşıtlar baraya bağlanıp besleme durumuna geçtikten sonra toplam deşarj gücü sabittir. Dolayısıyla yüklerin sistematik olarak devreye alınması işlemi yüklerin anlık olarak talep ettikleri güce göre değişiklik göstermektedir. Tabloda baz istasyonu ve hastane yüklerinin öncelik sırası da göz önünde bulundurularak tüm arıza vakası boyunca beslendiği görülmektedir. Televizyon binası afet anında yayın mekanizmalarına duyulacak ihtiyaç kapsamında sistemde 3. öncelik sırasına sahip yük olarak belirlenmiştir. Kritik yükler ise öncelikte son sırada gelmektedir. İlgili tablo incelendiğinde devreye alma işlemi sırasında televizyon binasının son periyotta kritik yüklerin ise ilk ve son periyotlarda devrede olmadığı görülmüştür.

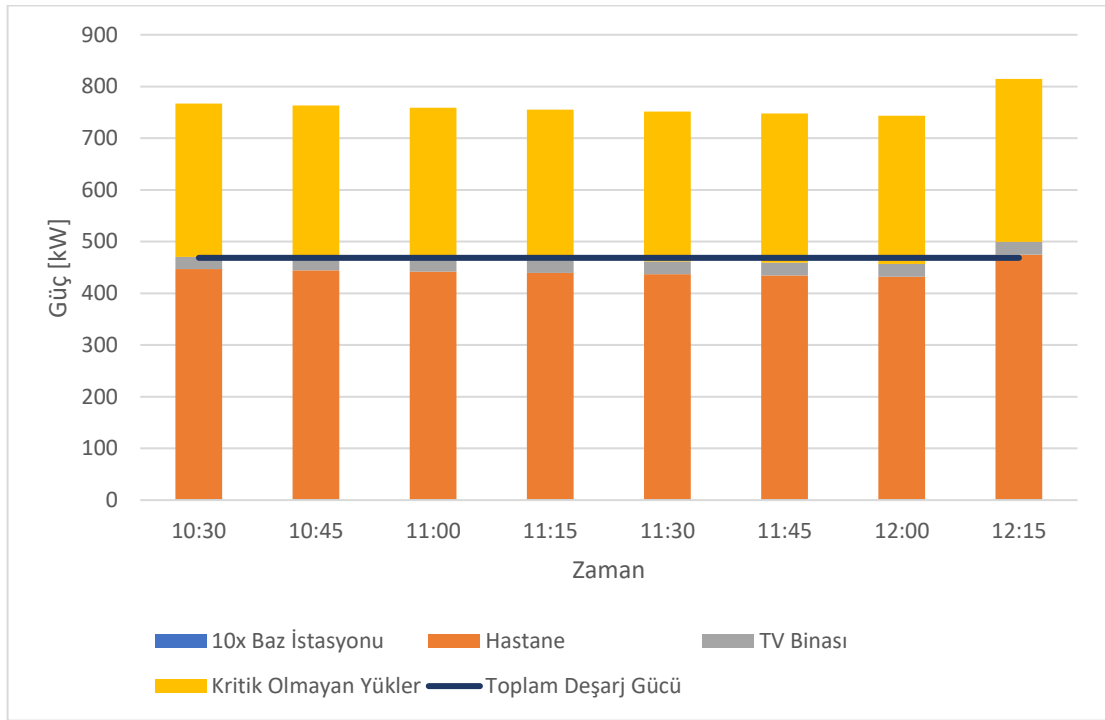
Bunun sebebi Şekil (46)'da da görüldüğü gibi toplam deşarj gücü kapasitesinin(468,6 kW) ilk periyotta baz istasyonları, hastane ve TV binası yüklerinin toplamını(470,34 kW) geçmiyor olmasıdır. Mevcut güç kapasitesi ve ilk periyottaki yük talepleri değerlendirildiğinde baz istasyonları(1,98 kW) ve hastane(445 kW) yüklerinin tamamı TV binası yükünün(23,36 kW) ise %7,49'luk kısmının karşılandığı görülmektedir. Son periyotta ise baz istasyonları(1,99 kW) ve hastane(472,5 kW) normal şartlara göre toplamda 474,49 kW güç talebinde bulunmaktadır. Bu değer deşarj gücü kapasitesini aştığından dolayı diğer yüklerin devreye alınması gerçekleşmemiştir ve baz istasyonlarının öncelik durumuna bağılı olarak tüm yükü beslenirken hastanenin ise %98,75'lik dilimi beslenmiştir.

Tablo (15) incelendiğinde diğer periyotlarda kritik olmayan yüklerin devrede olduğu söylenebilir. Ancak Şekil (46)'da gösterilmiş yük talebi durumlarına göre toplam deşarj gücü kritik olmayan yüklerin tamamını karşılayacak düzeyde değildir. Periyot 2'de kritik olmayan yüklerin talebinin %0,17'si, Periyot 3'te %0,94'ü, Periyot 4'te %1,70'i, Periyot 5'te %2,48'i, Periyot 6'da %3,26'sı, Periyot 7'de ise %4,05'i elektrikli taşıt güç destek filosu tarafından sağlanmaktadır.

Tablo 15 Arıza Barasına Bağlı Yüklerin Devreye Alınma Kararları

Saat	u1	u2	u3	u4
10:30	1	1	1	0
10:45	1	1	1	1

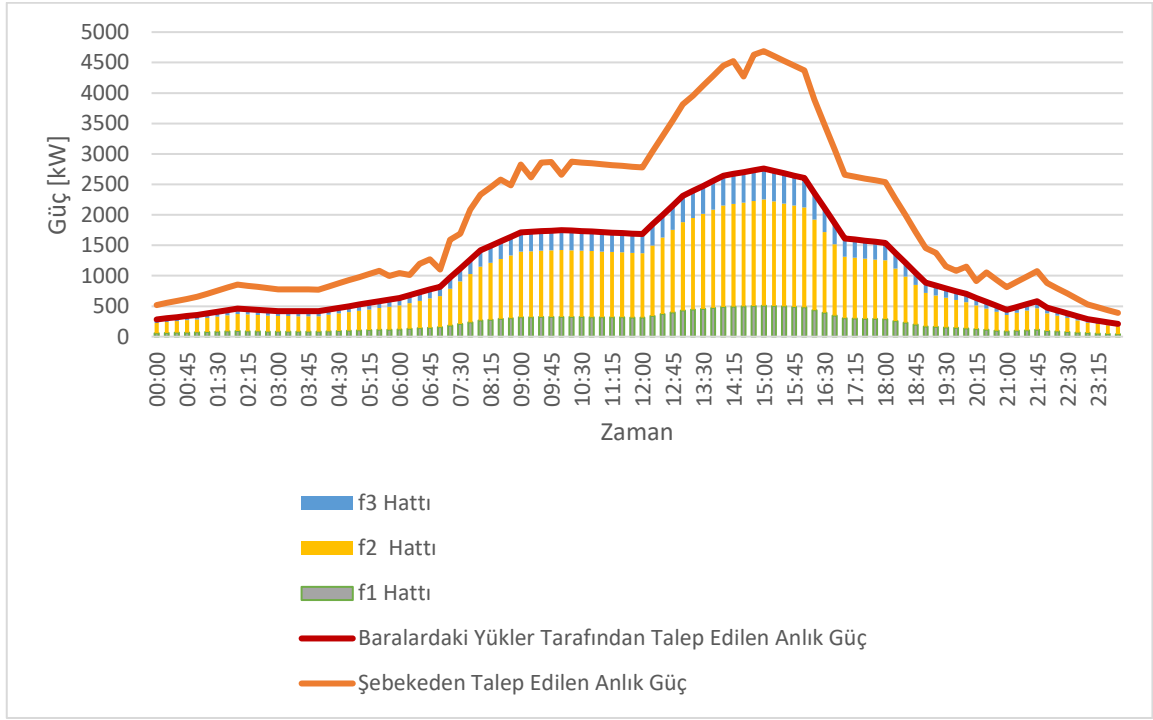
11:00	1	1	1	1
11:15	1	1	1	1
11:30	1	1	1	1
11:45	1	1	1	1
12:00	1	1	1	1
12:15	1	1	0	0



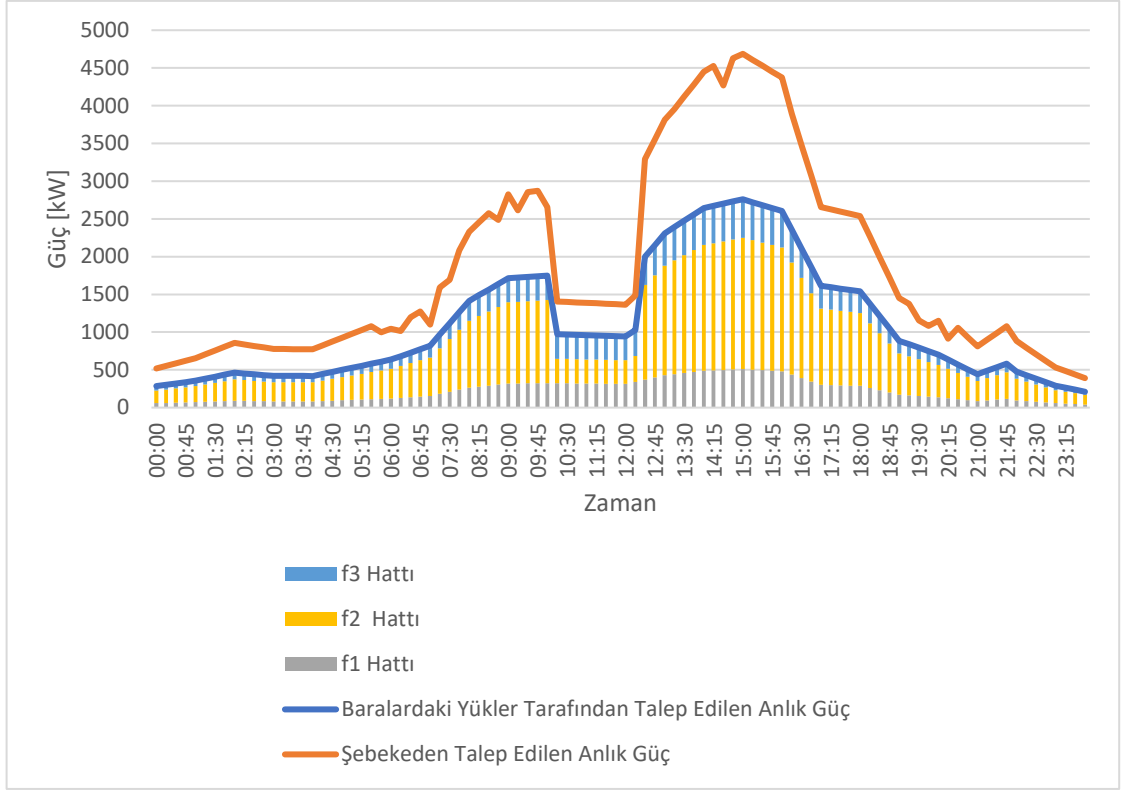
Şekil 46 Arıza Barasına Bağlı Yüklerin Zamana Bağlı Güç Talebi Karakteristikleri ve Sistemin Deşarj Gücü Kapasitesi

5 baralı sistemin bağlı olduğu düşünülen yüklerle birlikte hatlardan akan güç ve kayıplarla beraber şebekeden talep edilen toplam güç miktarlarının zamana bağlı karakteristik değerleri Şekil (47)'de görülmektedir. Bara sisteminin düzenine göre f4 hattından akan güç tablo içerisinde f2 hattı kapsamında değerlendirilmiştir. Doğal afet nedeniyle i5 barasında arıza oluştuğu andan itibaren f4 hattı etkisiz hale gelerek şebeke ile bağlantısı kopmaktadır. Bu durumda f4 hattı güç akışı sıfırlanarak bara sisteminin talep güçleri Şekil (48)'deki gibi olur. Şebeke beslemesi kesilen i5 barasının güç talebi destek filosu tarafından ilgili kısıtlar kapsamında sağlanmaya çalışılırken kayıplarla beraber şebekeden

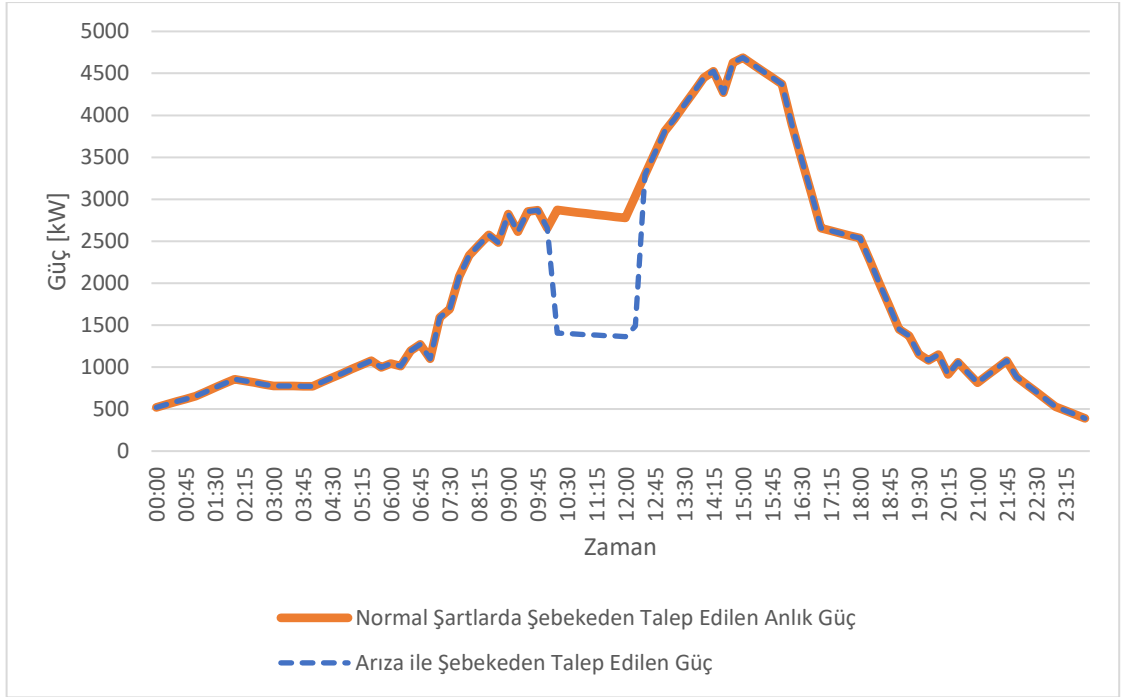
talep edilen toplam güç eğrisindeki değişim de Şekil (49)'da gözlemlendiği şekliyle gerçekleşir.



Şekil 47 Normal Şartlarda 5 Baralı Sistemin Anlık Güç Talep Karakteristiği Eğrileri



Şekil 48 Arıza Vakası Olduğunda Normal Şartlarda 5 Baralı Sistemin Anlık Güç Talep Karakteristiği Eğrileri



Şekil 49 Şebekeden Talep Edilen Anlık Gücün Arıza Durumunda Analizi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 5 baralı bir güç sistemi bölgesinde doğal afet sebebi ile oluşan bara arızalanmalarına tamir müdahalesi süresince güç desteği sağlayacak 130 araca sahip bir elektrikli taşıt filosu değerlendirilmiştir. Optimizasyon algoritmasının amaç fonksiyonu arıza vakası süresince taşıtlardan elde edilecek deşarj gücünü maksimum seviyeye çıkartmaktır. Bu noktada, arıza barasına bağlı soket sayılarının getirdiği kısıtlama göz önünde bulundurularak elektrikli taşıt filosunun şebekenin beslemesine yedek bir güç kapasitesi oluşturması üzerinde durulmuştur. Önerilen optimizasyon tabanlı matematiksel programlamanın, doğal afet anında sistemle ilişkisi kesilen baradaki kritik ve kritik olmayan ana başlıkları altında toplanan yüklere belirlenen süre zarfı boyunca güç taleplerine en uygun cevabı verdiği gözlemlenmiştir. Sistemin bu çalışmada küçük bir bölgede uygulanmasına rağmen gelişen elektrikli taşıt konseptleri ışığında dünyada iklimsel değişikliklerle artan doğal afetlere yönelik önemli bir tedbir seçeneği olacağı öngörülmektedir.

Şarj ve deşarj gücü kapasitesi ile dağıtım şebekesine yapacağı etkiler son zamanlarda çok tartışılan elektrikli taşıtların taşıttan şebekeye(V2G) modu ile yakın geleceğin etkili paydaşlarından olarak değerlendirilebilecek filo operatörleri sayesinde şebeke güvenliğine sunabileceği destek ön plana çıkartılmıştır. Geliştirilen çoklu regresyon tahmin modeli doğrultusunda lokasyona ve dilime bağlı olarak New York sarı taksi sayısını tahmin çalışması yapılmış olup optimizasyonda kullanılacak araç sayısını belirlemekte etkili olmuştur. Aynı zamanda arıza durumunda çağırılacak araçların konumlarını ve durumlarını gösteren bir çalışma yapılmış olup, ilerleyen çalışmalarda geliştirilip büyütülmesi planlanmaktadır ve tahmin modelinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Elektrikli taşıt filosunun arızanın tamiri aşamasında devreye girmesi ile beraber ilgili barada bağlı bulunan yüklerin vaka süresince ortalama olarak 762,7158 kW anlık talebine filo tarafından soket sayısı kapsamında 468,6 kW anlık güç desteği ile karşılık verilmiştir. Doğal afetin sebep olduğu yıkım ile özellikle kritik yük olarak belirlenen sağlık, haberleşme ve yayın sektörlerinin ayakta tutulmasını sağlamak için baraya bağlı talebin ortalama %61,44'üne cevap verebilen etkili bir tedbir yöntemi sunulmuştur. Bu sonuçlar,

elektrikli taşıtların günlük hayatımıza adaptasyonu ile birlikte doğal afet yönetim durumlarında ne kadar kritik rol oynayabileceklerini göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda sistemin uygulandığı alanın büyütülmesi ve filo destek birimlerinin artırılması ile birlikte daha büyük afet ve arıza durumlarında birden çok barada meydana gelebilecek kesintileri besleme üzerinde durulacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Kreatif iconlarını çalışmamıza eklediğimiz takma isimleri Freepik, itim2101 ve Linector olan çizimlere teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

Arghandeh, R., Brown, M., Rosso, A. Del, Ghatikar, G., Stewart, E., Vojdani, A., & Meier, A. von. (2014). The Local Team. *IEEE Power and Energy Magazine*, August, 76–83.

Arghandeh, R., Von Meier, A., Mehrmanesh, L., & Mili, L. (2016). On the definition of cyber-physical resilience in power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1060–1069. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.193>

Aurelius. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Duke Law Journal*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ayang, A., Ngohe-Ekam, P.-S., Videme, B., & Temga, J. (2016). Power Consumption: Base Stations of Telecommunication in Sahel Zone of Cameroon: Typology Based on the Power Consumption—Model and Energy Savings. *Journal of Energy*, 2016, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2016/3161060>

- Bajwa, A. A., Mokhlis, H., Mekhilef, S., & Mubin, M. (2019). Enhancing power system resilience leveraging microgrids: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(3). <https://doi.org/10.1063/1.5066264>
- Brown, M. A., & Soni, A. (2019). Expert perceptions of enhancing grid resilience with electric vehicles in the United States. *Energy Research & Social Science*, 57, 101241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101241>
- Carlson, L., Bassett, G., Buehring, M., Collins, M., Folga, S., Haffenden, B., Petit, F., Phillips, J., Verner, D., & Whitfield, R. (2012). Resilience: Theory and Applications. *Anl/Dis-12-1, January*, 1–42. <https://doi.org/10.2172/1044521>
- CENEX. Answering the preliminary questions for V2G: What, where and how much?. Erişim Adresi: <https://www.seev4-city.eu/wp-content/uploads/2018/08/V2G-Market-Study-2018.pdf>
- Central Intelligence Agency. 2018. “The World Factbook: Puerto Rico.” CIA.Gov. 2018.
- Chen, C., Wang, J., Qiu, F., & Zhao, D. (2016). Resilient Distribution System by Microgrids Formation after Natural Disasters. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(2), 958–966. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2429653>
- Chianese, S., Nardo, A. Di, Natale, M. Di, Giudicianni, C., Musmarra, D., & Ingegneria, D. (2017). DMA Optimal Layout for Protection of Water Distribution Networks from Malicious Attack. In *CRITIS 2017: International Conference on Critical Information Infrastructures Security* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99843-5>
- Child, M., Nordling, A., & Breyer, C. (2018). The impacts of high V2G participation in a 100% renewable island energy system. *Energies*, 11(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/en11092206>
- Christine Herzog. Grid Resiliency is Required for Improved Grid Reliability. Erişim Adresi:

<http://www.smartgridlibrary.com/2012/03/26/grid-resiliency-is-required-for-improved-grid-reliability/>

Chukwu, U. C., & Mahajan, S. M. (2011). V2G electric power capacity estimation and ancillary service market evaluation. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039703>

Chukwu, U. C., & Mahajan, S. M. (2014). Real-time management of power systems with V2G facility for smart-grid Applications. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(2), 558–566. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2013.2273314>

Ding, T., Lin, Y., Li, G., & Bie, Z. (2017). A New Model for Resilient Distribution Systems by Microgrids Formation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(5), 4145–4147. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2650779>

Dubey, A., & Poudel, S. (2018). A robust approach to restoring critical loads in a resilient power distribution system. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2018-Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2017.8274597>

Electric Vehicles Database. Erişim Adresi: <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~450|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-eff:prev~next=100~300|range-slider-fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=9>

Enerdata. Global Energy Statistical Yearbook 2019. Erişim Adresi: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html>

Energy Online. NYISO (New York Independent System Operator) Hourly Actual Load. Erişim Adresi: <http://www.energyonline.com/Data/GenericData.aspx?DataId=13>

Erdinç, O., Yetilmezsoy, K., Erenoğlu, A. K., & Erdinç, O. (2019). Route optimization of an electric garbage truck fleet for sustainable environmental and energy

- management. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1275–1286.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.295>
- Ethem Alpaydin, MIT Press 2004, Introduction to machine learning, Adaptive computation and machine learning ISBN 978-0-262-01211-9, pp. I-XXX, 1-415
- Erenoğlu, A.K. (2018). Mikroşebekelerde Talep Tarafının Esnekliğini Dikkate Alan Optimum İşletim Yaklaşımının Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Farzin, H., Fotuhi-Firuzabad, M., & Moeini-Aghaie, M. (2016). Enhancing Power System Resilience Through Hierarchical Outage Management in Multi-Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(6), 2869–2879.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2558628>
- Gao, S., Chau, K. T., Liu, C., Wu, D., & Chan, C. C. (2014). Integrated energy management of plug-in electric vehicles in power grid with renewables. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(7), 3019–3027.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2316153>
- Gholami, A., Aminifar, F., & Shahidehpour, M. (2016). Front Lines Against the Darkness. *IEEE Electrification Magazine*, March, 18–24.
<https://doi.org/10.1109/MELE.2015.2509879>
- Habib, S., Kamran, M., & Rashid, U. (2015). Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks - A review. *Journal of Power Sources*, 277, 205–214.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.12.020>
- He, M., & Giesselmann, M. (2015). Reliability-constrained self-organization and energy management towards a resilient microgrid cluster. *2015 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2015*.
<https://doi.org/10.1109/ISGT.2015.7131804>
- Hintz, A. S., Prasanna, U. R., & Rajashekara, K. (2014). Hybrid multi-agent based resilient control for EV connected micro grid system. *2014 IEEE Transportation*

Electrification Conference and Expo: Components, Systems, and Power Electronics - From Technology to Business and Public Policy, ITEC 2014.
<https://doi.org/10.1109/itec.2014.6861832>

Hosseini, S. S., Badri, A., & Parvania, M. (2012). The plug-in electric vehicles for power system applications: The vehicle to grid (V2G) concept. *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition, ENERGYCON 2012*, 1101–1106.
<https://doi.org/10.1109/EnergyCon.2012.6347734>

Iacobucci, R., & Bruno, R. (2019). Cascaded model predictive control for shared autonomous electric vehicles systems with V2G capabilities. *2019 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, SmartGridComm 2019*, 1–7.
<https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2019.8909735>

IEA .*Global Energy Review 2020*. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>

IEA. 2020. Global CO2 Emissions in 2019. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>

IEA. Global EV Outlook 2019. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

Karagiannis, G. M., Chondrogiannis, S., Zehra, E. K., & Turksezer, I. (2017). Power grid recovery after natural hazard impact - a Science for Policy report. In *Science for Policy report by the Joint Research Centre (JRC), European Union* (Issue December). <https://doi.org/10.2760/87402>

Kas, Ö., (2014), “*HASTANE & OTEL & ALIşVERİş MERKEZİ VE ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE KOJENERASYON UYGULAMALARI / KAPASİTE SEÇİMİNDE OPTİMİZASYON*”

- Kempton, W., & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of Power Sources*, 144(1), 268–279.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.12.025>
- Kumaravelan, Priyadharshini. (2019). MODELING POWER GRID RECOVERY AND RESILIENCE POST EXTREME WEATHER EVENTS. Texas State University, ABD
- Lei, S., Wang, J., Chen, C., & Hou, Y. (2018). Mobile Emergency Generator Pre-Positioning and Real-Time Allocation for Resilient Response to Natural Disasters. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(3), 2030–2041.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2605692>
- Li, Z., Shahidehpour, M., Aminifar, F., Alabdulwahab, A., & Al-Turki, Y. (2017). Networked Microgrids for Enhancing the Power System Resilience. *Proceedings of the IEEE*, 105(7), 1289–1310. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2685558>
- Lin, Y., Bie, Z., & Qiu, A. (2018). A review of key strategies in realizing power system resilience. *Global Energy Interconnection*, 1(1), 70–78.
<https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.01.009>
- Lopes, J. A. P., Almeida, P. M. R., Soares, F. J., & Moreira, C. L. (2010). Electric vehicles in isolated power systems: Conceptual framework and contributions to improve the grid resilience. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 1(PART 1), 24–29. <https://doi.org/10.3182/20100329-3-pt-3006.00007>
- Ma, Y., Zhang, B., Zhou, X., Gao, Z., Wu, Y., Yin, J., & Xu, X. (2016). An overview on V2G strategies to impacts from EV integration into power system. *Proceedings of the 28th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2016*, 2895–2900.
<https://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7531477>
- Maharjan, S., Zhang, Y., Gjessing, S., Ulleberg, O., & Eliassen, F. (2015). Providing microgrid resilience during emergencies using distributed energy resources. *2015 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps 2015 - Proceedings*.
<https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2015.7414031>

- Mwasilu, F., Justo, J. J., Kim, E. K., Do, T. D., & Jung, J. W. (2014). Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>
- Nicolas, Rozenberg, and Fay. 2019. “Power Sector: How Countries Can Afford the Infrastructure They Need While Protecting the Planet.” In *Beyond the Gap : How Countries Can Afford the Infrastructure They Need While Protecting the Planet. Sustainable Infrastructure*. Washington DC, USA.
- Niyato, D., Lu, X., & Wang, P. (2012). Adaptive power management for wireless base stations in a smart grid environment. *IEEE Wireless Communications*, 19(6), 44–51. <https://doi.org/10.1109/MWC.2012.6393517>
- Noel, L., Zarazua de Rubens, G., Kester, J., & Sovacool, B. K. (2019). Vehicle-to-Grid. In *Vehicle-to-Grid*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04864-8>
- Organization for Security and Co-operation in Europe. (2016). *Organization for Security and Co-operation in Europe Protecting Electricity Networks from Natural Hazards*. www.osce.org
- Ota, Y., Taniguchi, H., Nakajima, T., Liyanage, K. M., Baba, J., & Yokoyama, A. (2012). Autonomous distributed V2G (vehicle-to-grid) satisfying scheduled charging. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1), 559–564. <https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2167993>
- Panteli, M., Mancarella, P., (2015), “The grid: stronger, bigger, smarter?” *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 13, no. 3, pp. 58-66.
- Pearre, N. S., & Ribberink, H. (2019). Review of research on V2X technologies, strategies, and operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105(April 2018), 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.047>

- Poudel, S., & Dubey, A. (2019). Critical Load Restoration Using Distributed Energy Resources for Resilient Power Distribution System. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34(1), 52–63. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2860256>
- Rahimi, K., & Davoudi, M. (2018). Electric vehicles for improving resilience of distribution systems. *Sustainable Cities and Society*, 36(March 2017), 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.006>
- Regis, N., Heinrich, M. T. E. E., Kelch, F., Magne, P., Emadi, A., Zhang, M., Huang, Q., Liu, S., Li, H., Khoury, J., Database, F. P., O'Shaughnessy, E., Cutler, D., Ardani, K., Margolis, R., Li, N., Sun, Y., Yu, J., Li, J. C., ... Wu, J. (2017). Electrification of the Transport System: Studies and Reports. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(6), 1–49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.025>
- Rentschler, J, M Kornejew, S Hallegatte, M Obolensky, and J Braese. 2019. “Underutilized Potential: The Business Costs of Unreliable Infrastructure in Developing Countries.” World Bank Policy Research Working Paper. Washington DC: World Bank.
- Resilience, I. T. H. E. (2015). *The Grid: Stronger, Bigger, Smarter? April*.
- Roege, P. E., Collier, Z. A., Mancillas, J., McDonagh, J. A., & Linkov, I. (2014). Metrics for energy resilience. *Energy Policy*, 72, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.012>
- Shao, S., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2012). Grid integration of electric vehicles and demand response with customer choice. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1), 543–550. <https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2164949>
- Sovacool, B., Axsen, J., & Kempton, W. (2017). Tempering the Promise of Electric Mobility? A Sociotechnical Review and Research Agenda for Vehicle-Grid-Integration (VGI) and Vehicle-to-Grid (V2G). *Annual Review of Environment and Resources*, 42(August), 16.1-16.30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030117-020220>

SPIEGEL, M. R., & STEPHENS, L. J. (1999). *Schaum's outline of theory and problems of statistics*. New York, McGraw-Hill

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, GT'2020 Türkiye Jeotermal Kongresi, Ankara

Taft, J. (2017). *Electric Grid Resilience and Reliability for Grid Architecture*. March, 16.

https://gridarchitecture.pnnl.gov/media/advanced/Electric_Grid_Resilience_and_Reliability.pdf

Vazquez, D., & Dingenen, V. (2020). *Global Energy and Climate Outlook 2019 : Electrification for the low-carbon transition*. <https://doi.org/10.2760/58255>

Wang, Z., Shen, C., Xu, Y., Liu, F., Wu, X., & Liu, C. C. (2019). Risk-limiting load restoration for resilience enhancement with intermittent energy resources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 2507–2522.

<https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2803141>

World Bank Group. 2019. “STRONGER POWER Improving Power Sector Resilience to Natural Hazards”. International Bank for Reconstruction and Development. 2019.

Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology. *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2012*, 3082–3089. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2012.6342356>