



**T.C. ENERJİ PİYASASI
DÜZENLEME KURUMU**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK
DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ**

(Uzmanlık Tezi)

Kamil MAVİŞ

Mart 2021

ANKARA



**T.C. ENERJİ PİYASASI
DÜZENLEME KURUMU**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK
DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ**

(Uzmanlık Tezi)

Hazırlayan : Kamil MAVİŞ

Tez Danışmanı: Osman UZAN

Mart 2021

ANKARA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR	XI
ÖZET	XIV
GİRİŞ	1
1 ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ	3
1.1 Elektrikli Araç Türleri	3
1.1.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEA)	3
1.1.2 Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)	4
1.1.3 Yakıt Hücresi Elektrikli Araçlar (YHEA)	8
1.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Başlıca Bileşenler	10
1.2.1 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motor Tipleri	10
1.2.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar	12
1.2.3 Elektrikli Araçlardaki Güç Kontrol Sistemleri	13
1.3 Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri	14
1.3.1 Şarj İstasyonları ile Şarj Yöntemi:	14
1.3.2 Kablosuz Şarj (Endüktif Şarj) Yöntemi:	14
1.3.3 Batarya Değiştirme (Quick Drop) Yöntemi:	15
1.4 Elektrikli Araç Piyasası	15
2 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI	24
2.1 Elektrikli Araç Şarj Seviyeleri	28
2.2 Elektrikli Araç Şarj Modları	30
2.3 Elektrikli Araç Şarj Bağlantı Fişleri ve Prizleri	31
2.4 Elektrikli Araç Şarj Süreleri	33
2.5 Elektrikli Araç Şarj Stratejileri	34
2.6 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Piyasası	35
3 ELEKTRİK ŞEBEKELERİ	42
3.1 Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Tasarımları	44
3.1.1 Radyal (Dalbudak) Şebeke	44
3.1.2 Ring Şebeke	45
3.1.3 Ağ (Gözlü) Şebeke	46

3.2	Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kalitesi	47
3.3	Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kalitesi Problemleri	52
3.3.1	Sürekli Olaylar	53
3.3.2	Gerilim Olayları	62
4	ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ	66
4.1	Puant Yük Talebine Etkileri	66
4.2	Şebeke Ekipmanlarının Aşırı Yüklenmesi	67
4.3	Gerilim Sınırı İhlalleri	68
4.4	Güç Sistemi Kayıpları	69
4.5	Harmonikler	69
4.6	Gerilim Fliklerleri	71
4.7	Sistem Dengesizliği	71
4.8	Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Dağıtım Şebekesine Etkilerine İlişkin Yapılmış Çalışmalar	71
4.8.1	Örnek Çalışma 1	71
4.8.2	Örnek Çalışma 2	76
4.8.3	Örnek Çalışma 3	82
4.8.4	Örnek Çalışma 4	85
4.8.5	Örnek Çalışma 5	94
4.8.6	Örnek Çalışma 6	102
4.8.7	Örnek Çalışma 7	110
4.8.8	Örnek Çalışma 8	115
	SONUÇ	139
	KAYNAKÇA	145
	EK-1 Örnek Çalışma 6'nın Ekleri (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016)	153
	EK-2 Örnek Çalışma 8'in Ekleri (Saygın, ve diğerleri, 2019).	159

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1 Seri Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.	5
Şekil 1-2 Paralel Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.	5
Şekil 1-3 Seri-Paralel Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.	6
Şekil 1-4 Karışık (Kompleks) Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.	6
Şekil 1-5 Harici Şarj Edilebilen Hibrit Bir Aracın Temel Tasarımı. (T.D, 2020).	7
Şekil 1-6 YHEA'nın Tasarımının Blok Gösterimi.	8
Şekil 1-7 DC Motor Çalışma Prensibi (Karagülle & Yavuz, tarih yok).	11
Şekil 1-8 2010-2019 Yılları Arasındaki Dünya Elektrikli Araç Stoku (IEA, 2020).	16
Şekil 1-9 Ülkelerde/Bölgelerde Binek Elektrikli Araç Satış Miktarı ve Pazar Payı (IEA, 2020).	17
Şekil 1-10 Elektrikli Araç Pazar Payı Tahmini (Hamilton, ve diğerleri, 2020).	20
Şekil 1-11 Türkiye'deki 2004-2019 Yılları Arasındaki Otomobil Sayıları.	21
Şekil 1-12 Türkiye'deki 2011-2020 (Eylül sonu itibarıyla) Yılları Arasındaki Elektrik-Hibrit Araç Sayıları.	21
Şekil 2-1 Elektrikli Araç Şarjı İçin Bağlantı Fiş Tipleri (Enel X, 2019).	32
Şekil 2-2 Tip 2 Şarj Fişi ve Prizi (Electric Vehicle Charging Products and Installation, 2019).	32
Şekil 2-3 2017,2018 ve 2019 Yıllarındaki Halka Açık Şarj Cihazları (IEA, 2018; IEA, 2019; IEA, 2020).	36
Şekil 3-1 Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtım Şeması (İbiş, 2019).	42
Şekil 3-2 Farklı Ülkelerin/Bölgelerin Kullandıkları Gerilim ve Frekans Değerleri (Pokrzywa, 2011).	44
Şekil 3-3 Radyal Şebeke Tasarımı (Akbulut, 2019).	45
Şekil 3-4 Ring Şebeke Tasarımı (Sen Y. R., 2019).	46
Şekil 3-5 Ağ (Gözlü) Şebeke Tasarımı (Sen Y. R., 2019).	47
Şekil 3-6 Tek Faz-Üç Faz Sinüs Dalga Formları (Wikipedia, tarih yok).	48
Şekil 3-7 Şebeke Frekansı Değişimi (Yurduseven, 2020).	53
Şekil 3-8 Üç Fazlı Şebekede Gerilim Dengesizliğinin Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Yurduseven, 2020).	57
Şekil 3-9 Sinüs Dalga Şekli ve Harmonik Bileşenleri (Yıldırım, 2015).	59
Şekil 3-10 Gerilim Kesintisi Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Kulu & Vatansever, 2020).	62
Şekil 3-11 Üç Fazlı Bir Şebekede Gerilim Çökmesi, Gerilim Yükselmesi ve Gerilim Kesintisinin Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Yurduseven, 2020).	63

Şekil 4-1 EA Şarjının Puant Yüke Etkisi (Garcia-Valle & Lopes, 2013).....	67
Şekil 4-2 Kentsel Elektrik Şebekesine Maksimum EA'nın Entegrasyonu Yüzdeleri (Atla, ve diğerleri, 2019).....	72
Şekil 4-3 Geleneksel Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).	73
Şekil 4-4 Çoklu Tarife ile Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).....	73
Şekil 4-5 Akıllı Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).	74
Şekil 4-6 Pilot Bölgedeki Şebekenin En Kötü Noktasındaki Gerilim Değerleri (Atla, ve diğerleri, 2019).....	75
Şekil 4-7 Pilot Bölgedeki Şebekenin En Kötü Branşmanındaki Yüklenme Oranları (Atla, ve diğerleri, 2019).....	75
Şekil 4-8 Pilot Bölgedeki Şebekenin Haftalık Enerji Kayıpları (Atla, ve diğerleri, 2019).	76
Şekil 4-9 Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Satarworn & Hoonchareon, 2017).	78
Şekil 4-10 57 Adet EA'nın 7 Günlük Süre için Toplam Şarj Yüğü Profilleri (Satarworn & Hoonchareon, 2017).	79
Şekil 4-11 Çalışmada Kullanılan Test Sisteminin Şematik Gösterimi ve Faz Başına Mesken Yüğü Profili (Satarworn & Hoonchareon, 2017).....	79
Şekil 4-12 EA Entegrasyonu ve Sürüş Performans Durumuna Göre Faz Başına Ortalama EA Yüğü (Satarworn & Hoonchareon, 2017).....	81
Şekil 4-13 Çalışmada Kullanılan AG Şebeke Modeli (Klayklung & Dechanupaprittha, 2014).	83
Şekil 4-14 EA Şarj Profili ve İki Farklı Senaryo için Enerji Tüketimi (Klayklung & Dechanupaprittha, 2014).....	84
Şekil 4-15 Döğüm Noktalarındaki Gerilim Dengesizlikleri (Klayklung & Dechanupaprittha, 2014).....	85
Şekil 4-16 Radyal Dağıtım Sistemindeki Güç İletimi (Meyer, Choi, & Wang, 2015)... 86	
Şekil 4-17 Durum 1, Durum 2 ve Durum 3 için EA Şarj İstasyonu ve DÜ Kaynaklarının Konumlandırıldığı IEEE-37 Döğüm Testi Fideri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).....	89
Şekil 4-18 DÜ Kaynaklarının Muhtemel Konumlarına Göre Gerilim Değişimleri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).....	90
Şekil 4-19 Durum 1 - A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).	91
Şekil 4-20 Durum 1 - B Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).	91
Şekil 4-21 Durum 1 - C Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).	92

Şekil 4-22 Durum 1 ve Durum 2 – A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).....	92
Şekil 4-23 Durum 3 - A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).	93
Şekil 4-24 EA Şarj İstasyonu Giriş Akımı Dalga Formu (Rodrigo & Priyanka, 2018). 95	
Şekil 4-25 Modellenen EA Şarj İstasyonunun Çıkış Akımı Dalga Formu (Rodrigo & Priyanka, 2018).....	95
Şekil 4-26 Harmonik Bileşen Karşılaştırması (Rodrigo & Priyanka, 2018).	96
Şekil 4-27 IEEE Avrupa Test Fiderinin Şematik Gösterimi (Rodrigo & Priyanka, 2018).	97
Şekil 4-28 Fider Üzerine %10 EA Şarj İstasyonu Entegrasyonunda Elde Edilen Kaynağın Harmonik Profili (Rodrigo & Priyanka, 2018).	98
Şekil 4-29 Seçilen Pilot Bölge TR-13 DM Tek Hat Şeması (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).	103
Şekil 4-30 EA'ların Evden İşe Çıkış-İşten Eve Varış Süreleri ve Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	103
Şekil 4-31 EA'ların Ev ile İş Arasında Kat Ettikleri Toplam Mesafe ve Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	104
Şekil 4-32 Seçilen EA'lara İlişkin Program Arayüzü Ekran Görüntüsü (Aras EDAŞ- Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).	105
Şekil 4-33 BMW İ3'ün Güç Kontrolü Test Sonuç Görseli (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ- Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	106
Şekil 4-34 CYME Programındaki Alibeyköy Fideri Görüntüsü (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).	108
Şekil 4-35 Eve Varış Zamanı ve EA ile Kat Edilen Mesafe (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	110
Şekil 4-36 2014 Yılı Eylül Ayında TR#2789'un Ortalama Aktif ve Reaktif Güç Verileri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	113
Şekil 4-37 %10 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	113
Şekil 4-38 %20 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	114
Şekil 4-39 %30 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	114
Şekil 4-40 Seçilen Pilot Bölgelerdeki Abone Türü Dağılımı (Saygın, ve diğerleri, 2019).	118
Şekil 4-41 Seçilen Pilot Bölgelerin Türkiye'deki Nüfus ve Elektrik Enerjisi Tüketim Payı (Saygın, ve diğerleri, 2019).	119

Şekil 4-42 Evde Şarj İçin Şarj Noktaları Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	121
Şekil 4-43 Kamusal Alanlar için Şarj Noktaları Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	122
Şekil 4-44 Bir EA Şarj Noktasına Bağlandıklarındaki Şarj Seviyesi (SOC, State of Charge) Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	122
Şekil 4-45 Kartal TM Bölgesi Günlük Şarj Yüğü (Saygın, ve diğerleri, 2019).	123
Şekil 4-46 Kartal TM Bölgesi Abone Gruplarının Yaz Dönemindeki Günlük Yüğü Profili (Saygın, ve diğerleri, 2019).	124
Şekil 4-47 Tipik Mevsim Günlerindeki Kartal TM Bölgesinin Günlük Yüğü Eğrisi (Saygın, ve diğerleri, 2019).	125
Şekil 4-48 Kamusal Alanda Şarj Desteğı Durumunda Kartal TM Bölgesi Günlük EA Şarj Yüğülenme Profili (Saygın, ve diğerleri, 2019).	126
Şekil 4-49 Evde Şarj Desteğı Durumunda Kartal TM Bölgesi Günlük EA Şarj Yüğülenme Profili (Saygın, ve diğerleri, 2019).	127
Şekil 4-50 Kamusal Alanda ve Evde Şarj Desteğı Durumlarına Göre Meydana Gelen Gerilim Düşümü ve Aşırı Yüğülenme Sayıları (Saygın, ve diğerleri, 2019).	127
Şekil 4-51 OG/AG Trafo Kapasite Faktörü Verileri (Saygın, ve diğerleri, 2019).	128
Şekil 4-52 OG/AG Trafo Yüğülenme Verileri (Saygın, ve diğerleri, 2019).	128
Şekil 4-53 EA'lar Sonrası OG/AG Trafoların Yıllık Yüğülenme Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).	129
Şekil 4-54 EA'lar Sonrası OG Hatların Yıllık Yüğülenme Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).	129
Şekil 4-55 Hat Üzerindeki Gerilim Düşümü ve Yüğülenmenin Şarj Noktasındaki EA Yüğüne Göre Değışimi (Saygın, ve diğerleri, 2019).	130
Şekil 4-56 Duyarlılık Analizindeki Varsayımlar için Toplam Problem Sayıları (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	131
Şekil 4-57 Duyarlılık Analizindeki Varsayımlar için EA Entegrasyonu Sonrası OG/AG Trafo Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	132
Şekil 4-58 Ortalama Bir Yaz Gününde Kartal Pilot Bölgesindeki YG/OG Trafonun Yüğülenme Seviyesi (Saygın, ve diğerleri, 2019).	133

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1-1 BEA, HEA ve YHEA'ların özellikleri (Chan, 2007).....	10
Tablo 1-2 EA'larda Kullanılan Motor Tiplerinin Karşılaştırılması (Kuşdoğan, Elektrikli Otomobillerde Enerji Depolama Sistemlerindeki Gelişmeler, 2009).	12
Tablo 1-3 Ülkelerin Elektrikli Araçlar ile İlgili Açıkladığı Hedefler (IEA, 2019).....	18
Tablo 1-4 Ülkelerde/Bölgelerde EA ve Şarj İstasyonlarına Yönelik Uygulanan Politikalar (IEA, 2019).	19
Tablo 2-1 Bazı Ülkelerdeki/Bölgelerdeki EA Şarj İstasyonlarının Özellikleri (IEA, 2019).	27
Tablo 2-2 Elektrikli Araçların Şarj Seviyelerine Göre Karşılaştırmaları (Sen, Boynuegri, & Uzunoğlu, 2011).	29
Tablo 2-3 IEC 61851 Standardındaki Şarj Yöntemleri ve Elektriksel Değerleri (Polat, Yumak, Sezgin, Yumurtacı, & Gül, tarih yok).	31
Tablo 3-1 Enterkonnekte Sisteme Senkron Bağlantılı Sistemler İçin Sınır Değerler.....	54
Tablo 3-2 Enterkonnekte Sisteme Senkron Bağlantılı Olmayan Sistemler İçin Sınır Değerler.	54
Tablo 3-3 Besleme Gerilim Değişimleri Sınır Değerleri.	55
Tablo 3-4 Besleme Gerilim Dengesizliği Sınır Değerleri.	58
Tablo 3-5 Derecesi 25'e Kadar Olan Harmonik Gerilim Sınırları	60
Tablo 3-6 Akıma İlişkin Harmonik Bozulma Sınırları (Lucas, Bonavitacola, Kotsakis, & Fulli, 2015).....	61
Tablo 3-7 Gerilim Çökmelerinin Artık Gerilim ve Süreye Göre Sınıflandırılması (TSE, 2011).	64
Tablo 3-8 Gerilim Yükselmelerinin En Yüksek Gerilim ve Süreye Göre Sınıflandırılması (TSE, 2011).....	65
Tablo 4-1 EA Entegrasyonu ve Sürüş Performans Durumları (Satarworn & Hoonchareon, 2017).....	80
Tablo 4-2 EA Entegrasyon Seviyesinin ve Sürüş Performansı Durumunun Etkisi (Satarworn & Hoonchareon, 2017).....	82
Tablo 4-3 IEEE-37 Düğüm Test Sistemindeki Başlangıç Durumları (Meyer, Choi, & Wang, 2015).....	90
Tablo 4-4 Nominal Yük Değerinde EA Şarjı için Kaynakta Oluşan Harmonik Bozulma ve THB'ye İlişkin Veriler (Rodrigo & Priyanka, 2018).	100
Tablo 4-5 Az Yük Değerinde EA Şarjı için Kaynakta Oluşan Harmonik Bozulma, THB ve TTB'ye İlişkin Veriler (Rodrigo & Priyanka, 2018).	101
Tablo 4-6 Seçilen EA'ların Teknik Özellikleri (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).	104

Tablo 4-7 EA Şarj Yükünün n1 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	108
Tablo 4-8 EA Şarj Yükünün n8 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	108
Tablo 4-9 EA Şarj Yükünün n13 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).....	109
Tablo 4-10 IEC 61851 Standardında Yer Alan Şarj Limitleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	111
Tablo 4-11 Çalışmada Kullanılmak Üzere Belirlenen EA'ların Özellikleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	111
Tablo 4-12 Senaryolara Göre EA'ların Pazar Paylaşımları (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).	112
Tablo 4-13 2030 Yılı EA Şarj Noktası Sayılarına İlişkin Varsayımlar (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	116
Tablo 4-14 Seçilen Pilot Çalışma Yerleri (Saygın, ve diğerleri, 2019).	117
Tablo 4-15 Seçilen Pilot Bölgelerdeki 2030 Yılı EA Sayısı (Saygın, ve diğerleri, 2019).	120
Tablo 4-16 Seçilen Pilot Bölgelerdeki 2030 Yılı EA Şarj Noktası Sayısı (Saygın, ve diğerleri, 2019).....	120
Tablo 4-17 Farklı EA'ların Günlük Şarj Kullanımı (Saygın, ve diğerleri, 2019).	123
Tablo 4-18 İncelenen 8 Adet Örnek Çalışmanın Özeti.....	138

KISALTMALAR

A	:	Amper
AA/AC	:	Alternatif Akım (Alternating Current)
AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AG/LV	:	Alçak Gerilim (Low Voltage)
ANSI	:	American National Standart Institute
BEA	:	Bataryalı Elektrikli Araç
BŞD	:	Başarılı Şarj Durumları
C	:	Kondansatör/Kapasitans(Capacitance)
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO ₂	:	Karbondioksit
ÇYG	:	Çok Yüksek Gerilim
DA/DC	:	Doğru Akım (Direct Current)
DF	:	Dengesizlik Faktörü
DÜ	:	Dağıtık Üretim
EA	:	Elektrikli Araç
EABŞO	:	Elektrikli Araç Başarılı Şarj Oranı
EN	:	European Norm
EMU/EMC	:	Elektromanyetik Uyumluluk (Electro-Magnetic Compability)
f	:	Frekans, (Frequency)
FFT	:	Hızlı Fourier Dönüşümü
GAZBİR	:	Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği
h	:	Saat
HEA	:	Hibrit Elektrikli Araç
HGD	:	Hızlı Gerilim Değişimi
Hz	:	Hertz (Frekans)
I	:	Akım (Current)
IEA	:	International Energy Agency
IEC	:	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IEEE	:	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
I _L	:	Maksimum Talep Yük Akımı
I _{sc}	:	Kısa Devre Akımı

ISO	:	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Organization for Standardization)
I/O	:	Giriş/Çıkış (Input/Output)
İYM	:	İçten Yanmalı Motor
km	:	Kilometre
kV	:	Kilovolt
kVA	:	Kilovolt Amper
kVAr	:	Reaktif Güç
kW	:	Kilowatt
kWh	:	Kilowatt saat
L	:	Endüktans (Inductance)
LPG	:	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MPV	:	Çok Amaçlı Araç
MVA	:	Megavolt amper
MW	:	Megawatt
MWh	:	Megawatt saat
NEV	:	New Energy Vehicle
ODD	:	Otomotiv Distribütörleri Derneği
OG/MV	:	Orta Gerilim (Medium Voltage)
ÖTV	:	Özel Tüketim Vergisi
PHEA	:	Harici Şarj Edilebilen Hibrit Araç
pu	:	Per-unit
PV	:	Fotovoltaik (Photovoltaik)
R	:	Direnç
rms	:	Etkin Değer (Root Mean Square)
SAE	:	Society of Automotive Engineers
SEA	:	Sıfır Emisyonlu Araç
SCADA	:	Merkezi Kontrol ve Veri İzleme (Supervisory Control and Data Acquisition)
SOC	:	Batarya Şarj Seviyesi (State of Charge)
SUV	:	Sportif Çok Amaçlı Araç
T	:	Periyot
TAYD	:	Çalışma Periyodunda (T) Transformatörün Aşırı Yüklenme Durumlarının Toplam Sayısı
TAYOFE	:	Trafo Aşırı Yüklenme Ortalama Frekans
TAYOSE	:	Trafo Aşırı Yüklenme Ortalama Süre Endeksi

TAYS	:	Çalışma Periyodunda (T) Transformatörün Aşırı Yükleme Süresi
TEHAD	:	Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği
th	:	Rakamları Sıra Sayısına Çevirmek için Kullanılır
THB	:	Toplam Harmonik Bozulma
TŞD	:	Tüm Şarj Durumları
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
TOGG	:	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TS	:	Türk Standardı
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
TTB	:	Toplam Talep Bozulması
U_n	:	Anma Gerilimi
V	:	Gerilim, voltaj (Voltage)
VUF	:	Gerilim Dengesizlik Faktörü
V2G	:	Vehicle to Grid
W	:	Watt
X	:	Reaktans (Reactance)
YG	:	Yüksek Gerilim
YHEA	:	Yakıt Hücreli Elektrikli Araç
Z	:	Empedans (Impedance)
ZEV	:	Zero Emission Vehicle

ÖZET

Günümüzde ulaşım sektöründe kullanılan araçların birçoğunun enerji ihtiyacı için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların araçlarda kullanılmasından dolayı zararlı gaz salınımları oluşmaktadır ve bu gazlar çevresel kirliliği artırmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların rezerv miktarları da sınırlıdır. Bu kapsamda çevresel kaygılar ve enerji kaynaklarının ekonomik ve verimli bir şekilde kullanılması gibi sebeplerden dolayı alternatif enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapılması kaçınılmaz olmuştur. Bu çalışmaların sonuçlarından biri de hiç şüphesiz elektrikli araçlardır. Elektrikli araçların şarj edilebilen türlerinin bataryalarına enerji depolanabilmesi için genellikle elektrik dağıtım şebekesine bağlanan şarj istasyonları kullanılmaktadır. Dağıtım şebekesine bağlanacak olan bu şarj istasyonları da muhtemelen şebekede çeşitli teknik problemlere sebep olacaktır. Bu teknik problemlerle ilgili yapılacak incelemeler ve analizler, problemlere yönelik gerekli tedbirlerin önceden alınması için faydalı olacaktır.

Bu tez kapsamında elektrikli araç teknolojisi, elektrikli araç şarj istasyonları, elektrik şebekeleri, elektrik dağıtım şebekelerinde enerji kalitesi, şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkileri ve bu etkilere ilişkin örnek çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, elektrikli araç şarj istasyonu, dağıtım şebekesi, enerji kalitesi, teknik kalite

GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynağı olarak çoğunlukla fosil yakıtların kullanılması, bu fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve çevresel kaygıların artması gibi sebeplerden dolayı çeşitli sektörlerde alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılması kaçınılmaz olmuştur. Fosil yakıtların kullanıldığı ulaşım sektörü de karbon salınımını artırarak çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Gelişen motor teknolojileri ile birlikte daha verimli araçlar kullanılmaya başlansa da ulaşım sektöründeki karbon salınımı konusunda kayda değer bir azalış olmamıştır. Bunun başlıca bazı sebepleri toplu ulaşım araçlarının tercih edilmemesi, araç sayısındaki artış ve trafik yoğunluğundaki artış olarak gösterilebilir (GAZBİR, tarih yok). Ulaşım sektöründe bulunan araçlarda petrol ürünlerinin kullanılması ve bu sektörün zararlı gaz salınımında ciddi bir paya sahip olması gibi sebeplerden dolayı alternatif yakıtlı araçlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Çiftçi, 2019). Bu kapsamda da bataryalı, hibrit ve yakıt hücresi elektrikli araçlar ön plana çıkmaktadır ve piyasadaki sayıları gün geçtikçe artmaktadır.

Elektrikli araçların (EA'ların) otomotiv piyasasındaki sayılarının artmasıyla birlikte enerji, akaryakıt, araç üreticileri, otomotiv yan sanayii ve eğitim kurumları gibi birçok alanda değişiklikler olması muhtemeldir. EA'ların ihtiyacı olan enerjinin, şarj istasyonları aracılığıyla bataryalarında depo edilen elektrik enerjisinden karşılanması sebebiyle de EA'ların (Bataryalı EA ve Harici Şarj Edilebilen Hibrit EA) artmasıyla birlikte şarj istasyonlarının da artması kaçınılmaz olacaktır. Hatta EA sayılarının artmasından önce şarj istasyonu sayılarının artması daha muhtemeldir. Şarj istasyonları genellikle dağıtım şebekesinden beslendikleri için şebekede yük artışı, enerji kalitesi bozulmaları ve yeni yatırım ihtiyaçları gibi durumlara sebep olacaktır. Bu kapsamda şarj istasyonlarından kaynaklı olarak elektrik enerjisinin kalitesi, sürekliliği ve ekonomikliği başlıklarında önemli değişimler yaşanacaktır. Bu durum EA'ların dağıtım şebekesinin tasarımı ve yönetimi üzerine önemli etkilerinin olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Elektrik şebekesinde doğrusal olmayan yüklerin gün geçtikçe artmasıyla birlikte enerji kalitesi konusunun önemi de artmıştır. Bu da enerji kalitesine ilişkin çalışmalar yapılmasını artırmış ve çeşitli standartların oluşturulmasına etki etmiştir. Dağıtım şebekesinde artacak olan EA şarj istasyonları (doğrusal olmayan bir yük) şebekedeki

enerji kalitesini etkileyecektir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar ve analizler sonucunda alınacak önlemlerle EA şarj istasyonlarından kaynaklı dağıtım şebekesinde olması muhtemel bazı problemler engellenebilir ya da sınırlandırılabilir.

Çevresel kaygılar, enerjinin verimli kullanılması ve petrol ürünlerinde dışa bağımlılık gibi nedenlerden dolayı ve yerli otomobil projesi olan TOGG'un (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) etkisiyle Türkiye'de EA'ların taşıt piyasasındaki oranının yakın gelecekte hızlı bir artış göstermesi beklenmektedir. Bu artışla birlikte dağıtım şebekesinde EA şarj yükleri de artacak ve şebekede çeşitli problemlere sebep olacaktır. Bu kapsamda EA şarj istasyonlarından kaynaklı dağıtım şebekesinde olması muhtemel problemlere yönelik analizlerin yapılması, EA ve şarj istasyonu piyasasının gelişmiş olduğu ülkelerin deneyimlerinden faydalanılması, bunlarla birlikte Türkiye için en uygun yöntemlerin belirlenerek ilerlenmesi hem olası yaşanacak problemlerin önlenmesini/sınırlandırılmasını hem de ekonomik yönden ve zamandan tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, EA şarj istasyonları ve şarj yüklerinin dağıtım şebekesine eklenmesi enerji kalitesini etkilemektedir, hipotezi kapsamında incelemeler yapılmıştır. Çalışmanın amacı, EA şarj istasyonlarının mevcut kullanım alanlarının incelenmesi, Türkiye'de de kullanımına başlanılan EA'ların sayısının artışına karşı dağıtım şebekesinde oluşması muhtemel enerji kalitesi problemlerinin belirlenmesi, günlük puant tüketimin yönetilebilmesi, şarj istasyonlarından kaynaklı artacak güç taleplerine karşı şebeke hizmet kalitesinin optimum seviyede tutulması, şarj istasyonlarından kaynaklı değişecek olan talep tahmininin ileri düzey planlanması ile şebeke işletme maliyetlerinin azaltılması, bölgesel talep ve kullanım yoğunluğu sonuçlarına göre yatırım planlamasının yapılması ve dağıtım bölgelerinde yapılacak çalışmalara katkı sağlaması olarak sıralanabilir. Çalışmanın kapsamı ise, mevcut uygulamaların (elektrikli araç, şarj istasyonu, enerji kalitesi) detaylı bir şekilde incelenmesi ve analizlerin yapılması, konu ile ilgili kitaplar, dergiler, makaleler ve tezler gibi ulusal ve uluslararası literatür taramasının gerçekleştirilmesi, uluslararası mevzuat ve standartların incelenmesi, Dünya'daki örnek uygulamalar bulunarak buradaki deneyimlerden yararlanılması ve şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine enerji kalitesi kapsamındaki etkilerinin incelenmesi şeklinde sıralanabilir.

1 ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ

Elektrikli araçların (EA) tarihçesi 1800’lü yıllara kadar dayanmaktadır. Ancak o tarihlerde uzun menzilli araçlara ihtiyaç duyulması, içten yanmalı motor teknolojisindeki gelişmeler, marş motorunun icat edilmesi, benzin fiyatlarının düşmesi, içten yanmalı motorlu olan araçların seri üretimine başlanması gibi sebeplerden dolayı 1900’lü yılların başlarında EA’lara olan ilgi azaldı ve 1900’lü yılların ortalarına doğru ise piyasada hemen hemen hiç EA kalmamıştı (Sayın & Yüksel, 2011).

Araç teknolojilerinde günümüzde yaygın olarak kullanılan motor türleri, enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlardır. Yakıt tüketimi artmasına rağmen fosil yakıtların rezerv miktarının sınırlı olması, içten yanmalı motorlardan çevreye salınan zararlı gazların olması, ulaşım maliyetlerini azaltma ve enerjiyi daha verimli kullanma gibi sebeplerden dolayı mevcut teknolojiye alternatif çözümler üzerinde çalışıldığı bilinmektedir. Bu kapsamda alternatif teknoloji olarak EA’lar ön plana çıkmış ve özellikle son yıllarda EA’lara olan ilgi tekrardan artmıştır. EA terimi motor türü olarak elektrik motoru kullanılan araçları kapsamaktadır (Cakmak, Aydın, & Yıldırım, 2018; Yapıcı, Güneş, & Yörükeren).

1.1 Elektrikli Araç Türleri

1.1.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEA)

Motor olarak sadece elektrik motoru bulunan araçlara BEA denir. Bu araçların temel mimarisi elektrik motoru, motor sürücüsü, batarya, şarj ünitesi, konvertör (çevirici) ve hareket mekanizmasından oluşmaktadır. Araçlarda bulunan bataryada depo edilen enerji, elektrik motoru aracılığıyla hareket mekanizmasına aktarılarak hareket gerçekleştirilir (Tokgöz, 2019; Özcan, 2019).

Bataryalı elektrikli araçların avantajları:

- Fosil yakıt kullanılmaması sebebiyle emisyonlarının olmaması (sıfır emisyon),

- Elektrik motoru sayesinde araçların sessiz çalışması,
- Frenleme sırasında ortaya çıkan enerji ile bataryanın şarj edilebilmesi (Rejeneratif fren sistemi),
- Yakıt ve bakım maliyetlerinin içten yanmalı motorlu araçlara göre düşük olması

olarak sıralanabilirken bu araçların dezavantajları:

- Araç maliyetlerinin yüksek olması,
- Servis istasyonlarının ve teknik personelin azlığı,
- Bataryaların ağırlığı,
- Batarya şarj sürelerinin uzunluğu,
- Araç menzillerinin kısıllığı

olarak sıralanabilir (Ünlü, ve diğerleri, 2003; Kerem, 2014).

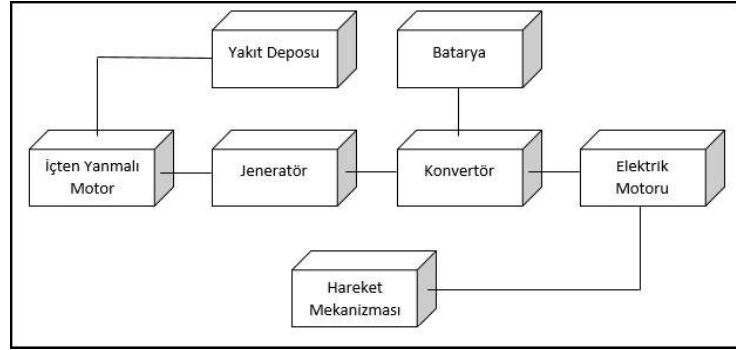
1.1.2 Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)

İki farklı sistemin bir arada kullanılması ile oluşturulan araçlara HEA denir. Başka bir ifadeyle içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte bulunduğu araçlardır. Araçlarda kullanılan yakıt sonucu oluşan enerji ve/veya depo edilen enerji bu motorlar aracılığıyla hareket mekanizmasına aktarılarak hareket gerçekleştirilir. Bu araçları, elektrik motorunun hareket mekanizmasına bağlantısı kapsamında farklı hibrit tasarımları ve elektrik motorundan hangi oran/ölçüde güç aktarımı olması kapsamında farklı hibrit seviyeleri olarak sınıflandırabiliriz (Özcan, 2019).

- **Hibrit Araç Tasarımları**

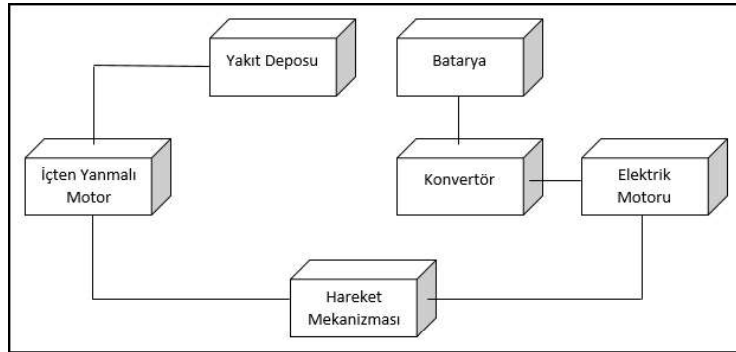
Seri Hibrit: Bu araçlar BEA'lar ile yapısal olarak en çok benzeyen hibrit tasarımıdır. BEA'lar ile aralarındaki tek fark elektrik enerjisinin içten yanmalı motor ile çalıştırılan bir jeneratör tarafından üretilmesidir. Araçta bulunan batarya harici olarak şarj edilememektedir. Batarya dolu ise motor buradan enerji kullanmaktadır, batarya boş ise

içten yanmalı motor aracılığıyla çalıştırılan jeneratör ile batarya şarj edilmektedir. Şekil 1.1’de seri hibrit tasarımın blok gösterimi yer almaktadır (Keskin, 2009).



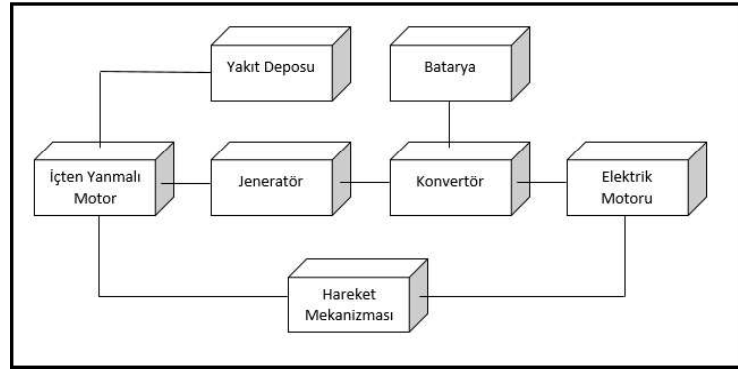
Şekil 1-1 Seri Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.

Paralel Hibrit: Bu araçlarda kullanım koşuluna göre sadece elektrik motoru ya da sadece içten yanmalı motor çalıştırılarak hareket gerçekleştirilebilir. Örneğin trafiği yoğun ve dur kalkların fazla olduğu bir güzergâhta sadece elektrik motoru kullanılabilir. Araçta bulunan bataryanın harici olarak şarj edilmesi gerekmektedir (Keskin, 2009). Şekil 1.2’de paralel hibrit tasarımın blok gösterimi yer almaktadır.



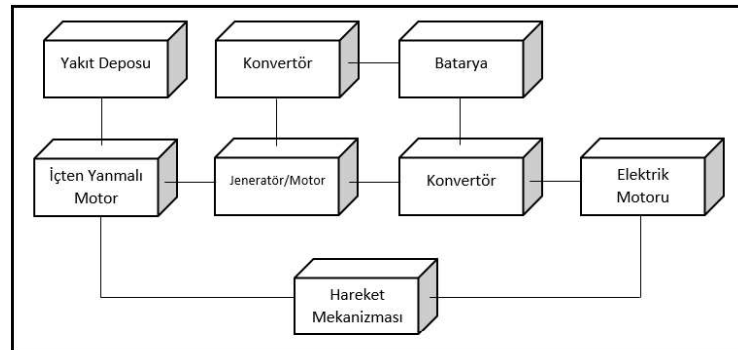
Şekil 1-2 Paralel Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.

Seri-Paralel Hibrit: Bu araçlarda seri hibrit yapısında olduğu gibi içten yanmalı motor ile çalıştırılan jeneratör aracılığıyla batarya şarj edilebilir ve paralel hibrit yapısında olduğu gibi içten yanmalı motor ile araç hareketi gerçekleştirilebilir (Keskin, 2009). Şekil 1.3’de seri-paralel hibrit tasarımın blok gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1-3 Seri-Paralel Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.

Karışık (Kompleks) Hibrit: Bu araçlarda seri-paralel hibrit tasarımında kullanılan jeneratör yerine gerektiğinde jeneratör gerektiğinde motor olarak çalışabilen bir elektrik makinası kullanılmaktadır. Araçta sadece elektrik motorunun çalıştığı bir koşulda içten yanmalı motor aracılığıyla çalışan elektrik makinası jeneratör olarak bataryayı şarj eder. Güç ihtiyacının fazla olduğu durumlarda ise elektrik motoru ile içten yanmalı motor birlikte aracın hareketini sağlar. Araçta bulunan elektrik makinası motor olarak çalıştırılıp içten yanmalı motor için marş görevini yapar (Keskin, 2009). Şekil 1.4’de karışık (kompleks) hibrit tasarımın blok gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1-4 Karışık (Kompleks) Hibrit Tasarımın Blok Gösterimi.

- **Hibrit Seviyeleri**

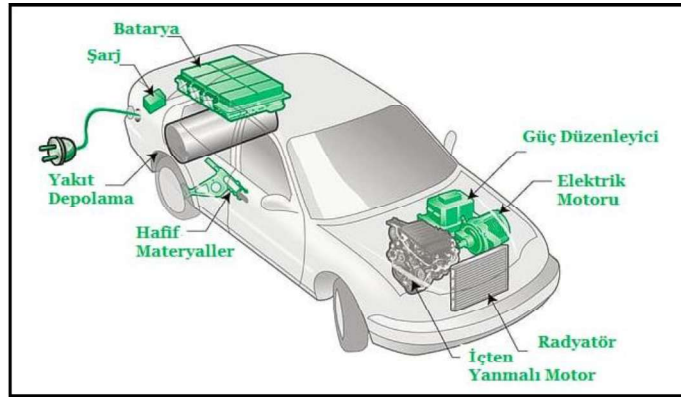
Mikro Hibrit: İçten yanmalı motorlu araçlarda bulunan start-stop işleminin batarya ve elektrik motoru tarafından gerçekleştirilmesi ile oluşan sistemdir. Bu batarya

ve elektrik motorunun hareket mekanizması ile bağı bulunmamakla birlikte araçlarda güç kaynağı olarak kullanılmaz (Tokgöz, 2019).

Yarı Hibrit: Bu araçlarda start-stop teknolojisi haricinde içten yanmalı motora araç hareket halindeyken çok az destek sunma özelliği bulunur. Yani tam anlamıyla elektrikli motor tarafından aracın hareketi gerçekleştirilmez. Bu araçları mikro hibrit araçlardan ayıran en önemli özellik elektrik motoru tarafından bataryanın şarj edilmesidir. Frenleme sırasında ortaya çıkan enerji ile de batarya şarj edilir (Tokgöz, 2019).

Tam Hibrit: Sadece içten yanmalı motor, sadece elektrik motoru veya bu ikisinin aynı anda çalışması ile hareketin sağlandığı araçlardır. Sadece içten yanmalı motorun çalıştığı durumda bataryanın da şarj olması sağlanır. Aynı zamanda frenleme sırasında ortaya çıkan enerji ile batarya şarj edilir ve start-stop teknolojisi¹ mevcuttur (Tokgöz, 2019).

Harici Şarj Edilebilen Hibrit (PHEA): Bu araçların diğer HEA'lardan farkı bataryalarının harici bir kaynaktan şarj edilebilmesidir (Tokgöz, 2019). Şekil 1.5'te harici şarj edilebilen hibrit bir aracın temel tasarımı bulunmaktadır.



Şekil 1-5 Harici Şarj Edilebilen Hibrit Bir Aracın Temel Tasarımı. (T.D, 2020).

Hibrit elektrikli araçların avantajları:

¹ Özellikle dur kalkların fazla olduğu yoğun trafikte araç durdurulduğunda motorun otomatik olarak durması ve araç hareket ettirilmek istendiğinde motorun otomatik olarak çalışması prensibine dayanan teknolojidir (İnci Akü, tarih yok).

- Frenleme sırasında ortaya çıkan enerji ile bataryanın şarj edilebilmesi,
- Yakıt verimliliğinin yüksek olması,
- Emisyon değerlerinin az olması,
- Boşta çalışma kayıplarının az olması

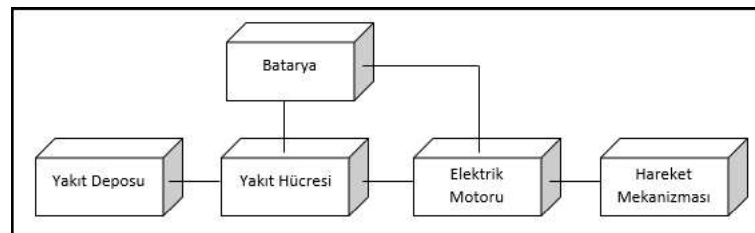
olarak sıralanabilirken bu araçların dezavantajları:

- Araçlarda iki farklı motorun olması sebebiyle güç akışını düzenlemenin zor olması,
- Araçlarda iki farklı motorun olması sebebiyle hareket için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulması,
- Araç maliyetlerinin yüksek olması

olarak sıralanabilir (Ünlü, ve diğerleri, 2003; Kerem, 2014).

1.1.3 Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA)

Yakıt hücresinde gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucu (herhangi bir yanma işlemi olmadan) açığa çıkan enerji ile araçta bulunan bataryanın şarjı ve elektrik motorunun hareketi sağlanır (Ünlü, ve diğerleri, 2003). Şekil 1.6'da YHEA'nın tasarımının blok gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1-6 YHEA'nın Tasarımının Blok Gösterimi.

Yakıt hücreli elektrikli araçların avantajları:

- Enerji üretimi için hareketli parçaların kullanılmamasından dolayı bu araçlar sessiz çalışmaktadır,
- Emisyon değerleri düşüktür (yakıt olarak hidrojen kullanıldığında emisyon olarak sadece su açığa çıkmaktadır),
- Enerji dönüşümleri doğrudandır,
- Verimleri yüksektir

olarak sıralanabilirken bu araçların dezavantajları:

- Hidrojenin üretilmesi, taşınması ve depolamasından kaynaklanan sorunlar,
- Araç maliyetleri yüksektir,
- Yakıt pillerinin kullanımı ileri düzeyde teknik bilgi ve teknoloji gerektirmektedir

olarak sıralanabilir. (Ünlü, ve diğerleri, 2003)

BEA, HEA ve YHEA' ların özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1.1'de yer almaktadır.

EA Tipi	Bataryalı EA	Hibrit EA	Yakıt Hücreli EA
Tahrik/Yürütücü Güç	-Elektrik motoru	-Elektrik motoru -İçten yanmalı motor	-Elektrik motoru
Enerji Sistemi	-Batarya -Ultrakapasitör	-Batarya -Ultrakapasitör -İçten yanmalı motorun enerji üretim ünitesi	-Yakıt hücresi -Başlangıçta güç yoğunluğunu artırmak için batarya/ultrakapasitör
Enerji Kaynağı ve Altyapısı	-Elektrik şebekesindeki şarj istasyonları	-Benzin istasyonları -Elektrik şebekesindeki şarj istasyonları (Plug-in HEA için)	-Hidrojen -Hidrojen üretim ve nakliye altyapısı
Karakteristikler	-Sıfır emisyon -Yüksek enerji verimliliği -Ham petrolden bağımsız -Nispeten kısa menzil -Yüksek	-Çok düşük emisyon -İçten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında daha yüksek yakıt ekonomisi -Uzun sürüş menzili -Ham petrole	-Sıfır ya da çok çok düşük emisyon -Yüksek enerji verimliliği -Ham petrolden bağımsızlık (hidrojen üretimi için kullanılmıyorsa)

	başlangıç maliyetleri -Ticari olarak mevcut	bağımlılık (Plug-in olmayan HEA'lar için) -İçten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında daha yüksek maliyet -Motor ve batarya güç seviyesinin yanı sıra sürüş çevrimine bağlı olarak artan yakıt ekonomisi ve azalan emisyon -Ticari olarak mevcut	-Tatmin edici sürüş menzili -Yüksek maliyet -Gelişmektedir
Ana sorunlar	-Batarya ve batarya yönetimi -Şarj istasyonları -Maliyet	-Çoklu enerji kaynağı kontrolü, optimizasyonu ve yönetimi -Batarya boyutları ve yönetimi	-Yakıt pili maliyetleri, çevrim ömrü ve güvenilirlik -Hidrojen altyapısı

Tablo 1-1 BEA, HEA ve YHEA'ların özellikleri (Chan, 2007).

1.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Başlıca Bileşenler

Bu bölümde EA'larda; tahrik sistemi olarak kullanılan elektrik motor tipleri, enerji depolama sistemleri olarak kullanılan bataryalar, güç kontrol sistemleri olarak kullanılan doğrultucular, eviriciler ve çeviriciler incelenecektir.

1.2.1 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motor Tipleri

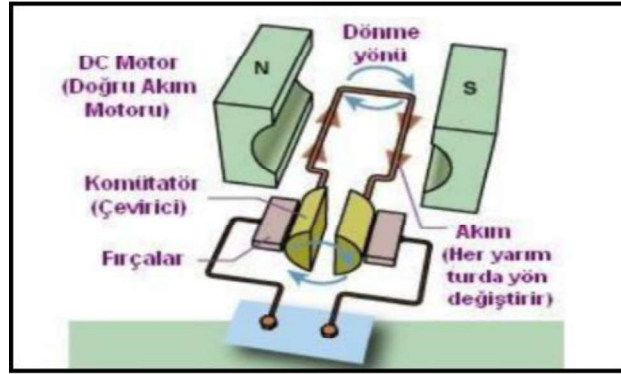
Elektrik enerjisini kullanarak EA'nın hareketini sağlayan elektrik motorları aracın menzilini, verimliliğini ve performansını etkilediği için bu motorlarda aşağıdaki temel özelliklerin yer alması beklenir (Ünlü, ve diğerleri, 2003; Beyazıt, 2018):

- Yüksek anlık güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- Düşük hızlarda yüksek tork (kalkış ve yokuş tırmanma durumları için),
- Yüksek hızlarda yüksek güç (normal seyir sırasında),
- Sabit tork ve sabit güç bölgelerini içeren çok geniş hız aralığı,
- Tork ihtiyacına hızlı cevap verebilme,

- Geniş hız ve tork aralıklarında yüksek verim,
- Geri kazanımlı frenleme için yüksek verim,
- Aracın değişik çalışma koşulları için yüksek güvenilirlik ve sağlamlık,
- Minimum soğutma ihtiyacı,
- Küçük boyut/hacim, hafiflik ve yüksek güç,
- Su ve toz geçirmeme, darbeye dayanıklılık,
- Kabul edilebilir seviyede ürün maliyeti,
- Kabul edilebilir maliyet ve basit bakım.

EA’larda genel olarak 4 farklı elektrik motoru tipi kullanılmaktadır. Bu elektrik motorları doğru akım (DC) motoru, asenkron motor, sürekli mıknatıslı motor ve anahtarlamalı relüktans motorudur.

Doğru Akım (DC) Motoru: DC motorlar, bir manyetik alan içindeki iletken üzerinden geçirilen akım ile oluşan kuvvetin motor hareketini oluşturması prensibiyle çalışmaktadır.



Şekil 1-7 DC Motor Çalışma Prensibi (Karagülle & Yavuz, tarih yok).

Asenkron Motor: Asenkron motorların dış kısmında stator, iç kısmında ise hareket edebilen bir parça olan rotor bulunur. Stator sargısına uygulanan alternatif akım manyetik alan oluşturur, bu alan içerisinde kalan rotor sargılarından akım geçirilir ve sonuç olarak motor hareketi meydana gelir (Öztürk, 2013).

Sürekli Mıknatıslı Motor: Sürekli mıknatıslı motorun rotor kısmında sargı kullanmak yerine mıknatıs kullanılarak manyetik alan oluşturulur. Statora alternatif akım,

rotora ise doğru akım uygulanmaktadır ancak rotorda yer alan mıknatıslar ile manyetik alan oluşturulduğu için harici bir doğru akım kaynağına ihtiyaç yoktur (Başer, 2016).

Anahtarlamalı Relüktans Motoru: Anahtarlamalı relüktans motorda bulunan stator ve rotor, ince çelik tabakaların birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu motorun statorunda bağımsız faz sarımları bulunurken rotorunda mıknatıs veya sargı bulunmamaktadır. Stator faz sargıları doğru akım ile beslenerek motor hareketi gerçekleştirilir (Ünlü, ve diğerleri, 2003).

Aşağıda yer alan Tablo 1.2’de EA’larda kullanılan motor tiplerine ilişkin karşılaştırmalar yer almaktadır.

	Doğru Akım Motoru	Asenkron Motor	Sürekli Mıknatıslı Motor	Anahtarlamalı Relüktans Motor
Motor boyutu/Kütle	-	0	+	0
Yüksek Hız	-	+	+	+
Dayanıklılık/Bakım	-	+	0	+
Verim	-	0	+	0
Kontrol edici boyut kütle	+	0	0	0
Kontrol edilebilirlik	+	+	+	-
Güç aletleri sayısı	+	0	0	+
Dayanıklılık	0	0	0	0
TOPLAM	-	+++	++++	++
+ : Avantaj 0 : Normal - : Dezavantaj				

Tablo 1-2 EA’larda Kullanılan Motor Tiplerinin Karşılaştırılması (Kuşdoğan, Elektrikli Otomobillerde Enerji Depolama Sistemlerindeki Gelişmeler, 2009).

1.2.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar

Bataryalar elektrik enerjisinin depolandığı ve elektrikli araçlar için enerji kaynağı olarak kullanılan enerji depolama sistemleridir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların özellikleri araçların menzillerini ve verimliliklerini etkilemektedir.

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalarda olması gereken özellikler (Özcan, 2019):

- Enerji depolanma kapasitesi yüksek olmalı,
- Depolama ömürleri uzun olmalı,
- Üretim maliyetleri düşük olmalı,
- Onarım ve değiştirme maliyetleri düşük olmalı,
- Verimliliği yüksek olmalı,
- Güç/ağırlık oranları yüksek olmalı,
- Güç/kütle oranları yüksek olmalı,
- Dayanıklı ve sağlam olmalı,
- Çevre ve insan sağlığına zararlı içerikler olmamalı.

Elektrikli araçlarda genel olarak en çok kullanılan batarya çeşitleri; lityum-iyon, nikel-kadmiyum ve nikel-metal hidrür bataryalarıdır (Ertaç, 2008).

Lityum-İyon Batarya: Diğer bataryalara göre daha verimli, yüksek kapasiteli ve uzun ömürlüdür. Aşırı sıcaklık bu bataryaların özelliklerinin bozulmasına yol açar (Öztürk, 2013).

Nikel-Kadmiyum Batarya: Bu bataryalar, şarj ve deşarj oranlarının yüksek olması sebebiyle elektrikli araçlarda kullanılmaktadır (Ünlü, ve diğerleri, 2003).

Nikel-Metal Hidrür Batarya: Kadmiyum elementi yerine metal (demir, krom, mangan ve kobalt) bileşen kullanılarak oluşturulan batarya tipidir. Nikel-kadmiyum bataryalara göre daha yüksek enerji depolama kapasitesi vardır (Öztürk, 2013).

1.2.3 Elektrikli Araçlardaki Güç Kontrol Sistemleri

Elektrikli araçlarda kullanılan güç kontrol sistemleri üç başlık altında incelenebilir. Bunlar doğrultucular, eviriciler ve çeviricilerdir.

Doğrultucular: EA'ların ihtiyacına göre AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi işlemi için kullanılan güç elektroniği devresidir (Ünlü, ve diğerleri, 2003).

Eviriciler: DC gerilimin AC gerilime dönüştürülmesi işlemi için kullanılan güç elektroniği devresidir. Bataryalarda depo edilen DC gerilim EA'ların ihtiyaçlarına göre genliği ve frekansı ayarlanabilen AC gerilime çevrilir (Öztürk, 2013).

Çeviriciler: Regüle edilmemiş DC gerilimin kontrollü bir şekilde sabit DC gerilime dönüştürülmesi işlemi için kullanılan güç elektroniği devresidir (Ünlü, ve diğerleri, 2003).

1.3 Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri

EA'ların başlıca enerji kaynağı olarak kullanılan bataryalarının enerji depolama kapasitelerinin sınırlı olması sebebiyle şarj edilme ihtiyaçları vardır. Şarj işlemine yönelik farklı teknikler bulunmaktadır.

1.3.1 Şarj İstasyonları ile Şarj Yöntemi:

Elektrik enerjisinin, bir kaynaktan alınarak şarj istasyonu aracılığıyla uygun teknik değerlerde EA'lara akışının sağlanmasıdır. Bu şarj yönteminde, bağlantı fişleri, prizler ve kablolar gibi şarj ekipmanlarına ihtiyaç vardır.

EA'lar ülkelere/bölgelere göre farklı güç seviyelerinde, farklı bağlantı ekipmanlarıyla, farklı haberleşme protokolleriyle ve elektrik enerjisinin sağlandığı farklı kaynak ve tesisatlar aracılığıyla şarj edilmektedirler. Şarj istasyonları için tek tip bir standart bulunmamaktadır.

Şarj istasyonlarına ilişkin detaylı bilgiler 2 nci bölümde yer almaktadır.

1.3.2 Kablosuz Şarj (Endüktif Şarj) Yöntemi:

EA bataryalarının, herhangi bir kablo bağlantısı olmadan bir elektromanyetik alan aracılığıyla şarj edilmesidir.

Araçla herhangi bir fiziksel bağlantı olmadığı için şarj bağlantı ekipmanlarından oluşacak riskler ortadan kalkmaktadır. Bu yöntemin dezavantajlarına verimlerinin düşük olması ve altyapı maliyetlerinin yüksek olması örnek verilebilir (Kerem, 2014).

1.3.3 Batarya Değiştirme (Quick Drop) Yöntemi:

Batarya değiştirme yöntemi, EA'larda bulunan bataryaların boşaldıkça bir değişim istasyonuna gidilerek dolu bir bataryayla değiştirilmesi olarak açıklanabilir. EA'ların şarj sürelerinin uzun olması ve geleneksel (konvansiyonel) araçlara göre genellikle menzillerinin kısa olması gibi sebeplerden dolayı batarya değiştirme fikri ortaya çıkmıştır.

Bu yöntemin, EA kullanıcılarına batarya şarj süresinden bağımsız olarak daha uzun yolculuklar yapabilme imkanı sağlamasına karşın batarya değişim istasyonlarının yatırım maliyetlerinin yüksek olması, batarya yönetim sisteminde yaşanılacak problemler ve bataryalarda kullanılan kimyasalların çevre kirliliğine sebep olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kuşdoğan, Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları, tarih yok).

Birkaç Asya ülkesi batarya değiştirme istasyonu kurulumuna devam etmektedir ve Çin'de 2012 yılından beri batarya değiştirme standardı bulunmaktadır (IEA, 2019).

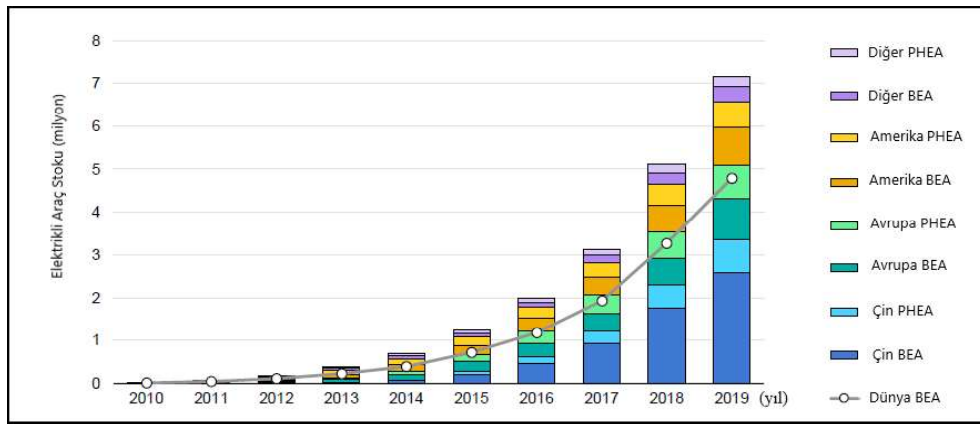
1.4 Elektrikli Araç Piyasası

Ulaşım sektöründe enerji kaynağı olarak kullanılan petrol ürünleri, 2010 yılına gelindiğinde son 10 yılın nihai enerji ihtiyacının %92'sini karşılamaktaydı. Günümüzde dünyadaki CO₂ salınımı ve hava kirliliğinin yaklaşık dörtte biri ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır (IEA, 2020). Bu orana bakılınca CO₂ salınımı ve hava kirliliğine ulaşım sektöründe kullanılan petrol ürünlerinin önemli etkisinin olduğu görülmektedir. Ulaşım sektöründeki ihtiyaç ve taleplerden kaynaklı olarak petrol tüketiminin zamanla artmasından dolayı bu tüketimin çevreye olan zararlı etkilerinin de zamanla daha da artacağı öngörülebilir. Bu sebeple ulaşım sektöründe alternatif yakıtların kullanılmasına

ve araçların tahrik sistemlerinin daha çevreci olarak tasarlanmasına yönelik çalışmalar yapılmasının kaçınılmaz olduğunu düşünmek yanlış olmayacaktır.

EA'lar CO₂ salınımı ve hava kirliliğini azaltmak için önemli bir alternatiftir². Bu araçların çevreci ve verimliliklerinin yüksek olması gibi avantajlarından dolayı birçok ülkede kullanımı artmaktadır. 2010'lu yıllar EA piyasası ve pazarı açısından önemli bir dönüm noktasıdır. Şekil 1.8'deki 2010-2019 yılları arasındaki dünyada bulunan EA (BEA ve PHEA) stokunu gösteren grafiğe bakıldığında EA'lara yönelik talebin artmakta olan bir eğilime sahip olduğu görülmektedir.

2010 yılında dünyada yaklaşık 17.000 EA (BEA ve PHEA) bulunmaktaydı. 2019 yılında bu rakam yaklaşık 7.2 milyon seviyesine çıkmıştır. Dünya EA stoku bir önceki yıla oranla 2017 yılında %58, 2018 yılında %63 ve 2019 yılında %40 oranında artmıştır. Bu stokun 2014-2019 yılları arasındaki dönemde ise yıllık ortalama artışı %60 seviyesindedir (IEA, 2020). Şekil 1.8'den de görüleceği üzere dünyadaki EA stokunun büyük bir kısmı Çin, Avrupa ve Amerika'dadır.

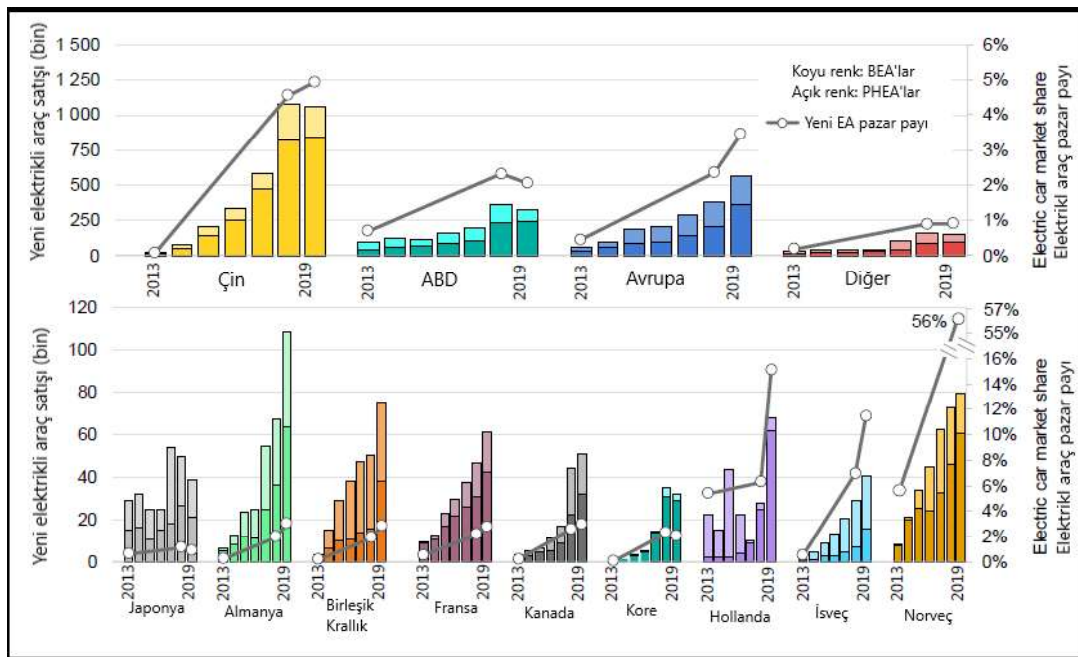


Şekil 1-8 2010-2019 Yılları Arasındaki Dünya Elektrikli Araç Stoku (IEA, 2020).

Dünyadaki EA (BEA ve PHEA) satışlarına yıllık bazda bakılacak olursa 2017'de 1 milyonu ve 2019'da ise 2 milyonu aşmıştır. Dünyadaki EA pazar payı ise 2017'de %1.5

² EA'ların kullanımı kadar EA bataryalarının enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması da CO₂ salınımı ve hava kirliliğini azaltmak için önemlidir. EA şarj yüklerinden kaynaklanacak enerji talebinin fosil yakıtlı üretim santrallerinden karşılanması durumunda santrallerden kaynaklanan zararlı gaz emisyonları hava kirliliğinin artmasına neden olacaktır.

iken 2019’da %2.6 olmuştur. 2019 yılında diğer yıllara göre EA satış ve pazarı en yüksek orana çıkmış olsa da EA satışları bir önceki yıl ile karşılaştırıldığında artış hızı azalmıştır. Bunun ana nedenleri; araç kiralama pazarı, pazardaki bazı önemli ülkelerin EA satın alımlarındaki desteğini kaldırması ve tüketicilerin daha iyi bir teknoloji ile yeni modellere yönelik beklentisi olarak sıralanabilir (IEA, 2020). EA’ların bazı ülkelerdeki/bölgelerdeki 2013-2019 yılları arasındaki satış rakamlarına ve pazar payına ilişkin olan Şekil 1.9 incelendiğinde, 2019 yılında dünyadaki EA satışı ve pazar payında artış olsa da Çin, ABD, Japonya ve Kore’de bir önceki yıla göre azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 1-9 Ülkelerde/Bölgelerde Binek Elektrikli Araç Satış Miktarı ve Pazar Payı (IEA, 2020).

Birçok ülkede ilk olarak, EA’ların yaygınlaşmasını engelleyici olarak görülen üretim maliyetlerinin yüksek olması, sınırlı şarj altyapısının olması ve menzillerinin kısa olması gibi konulardaki problemlerin çözümlerine odaklanılmıştır. Bu problemleri aşmak için temel olarak EA satın alımlarına teşvikler ve halka açık yerlerde şarj cihazları kurulumu uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bazı ülkelerde de araçların çevresel etkilerine (CO₂ salınımı) bağlı olarak araç vergilendirmeleri uygulanmaktadır. Son yıllarda ise bu politikalara ek olarak daha uzun vadeli bir vizyon oluşturmak için düzenleyici işlemler hazırlanmaktadır. Kaliforniya’daki Zero Emission Vehicle (ZEV)

uygulaması ve Çin'deki ZEV States ile New Energy Vehicle (NEV) uygulamaları bu düzenleyici işlemlere örnek olarak verilebilir. Bu uygulamalar ile 2025, 2030 ya da 2040 gibi zaman dilimleri için belirli hedefler oluşturulmaktadır. 17 ülke, 2050 yılına kadar olan %100 sıfır emisyonlu araç (SEA) satış hedeflerini ve/veya içten yanmalı motorlu (İYM) araçların kullanımdan kaldırılmasına yönelik hedeflerini açıklamıştır (IEA, 2020). Bazı ülkelerin hedeflerine ilişkin bilgiler Tablo 1.3'de yer almaktadır.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kosta Rika						X
Danimarka		X				
Fransa				X		
İzlanda		X				
İrlanda		X				
Hollanda		X			Y	
Norveç	X					
Portekiz				X		
Slovenya		X				
İspanya				X		Y
Sri Lanka				Y		
B. Krallık				X		
X: İYM'li araç satış yasağı veya %100 SEA satış hedefleri Y: İYM'siz filo						

Tablo 1-3 Ülkelerin Elektrikli Araçlar ile İlgili Açıkladığı Hedefler (IEA, 2019).

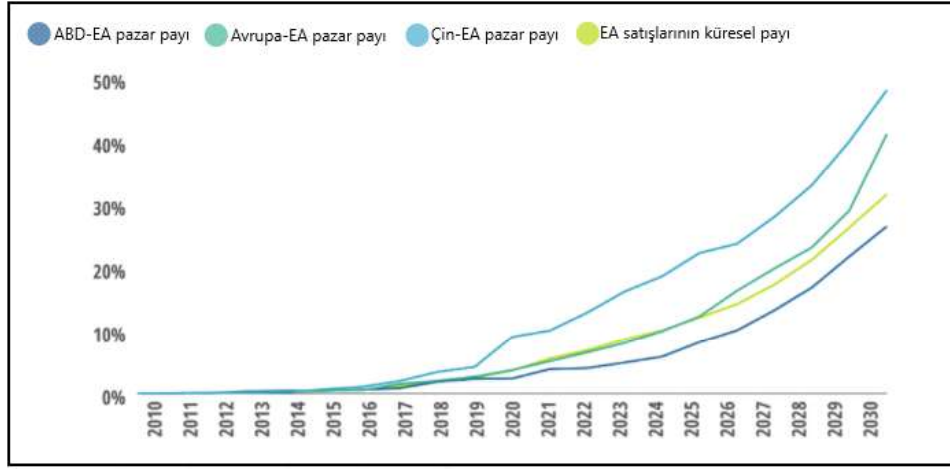
Bu tabloya bakıldığında bazı ülkelerin sadece İYM araç satışını yasaklayacağı ancak halihazırda kullanılan İYM araçların kullanımına devam edileceği yönünde hedef koyduğu, bazı ülkelerin İYM araç satışını yasaklayacağı ve daha sonra İYM araçların piyasadan tamamen kaldırılacağı yönünde hedefler koyduğu ve bazı ülkelerin ise tamamen SEA'ların olduğu bir piyasa oluşturmaya yönelik hedeflerinin olduğu görülmektedir. Bu hedeflerin hepsinin amacı nihai olarak ülkelerinde sıfır emisyonlu bir araç filosu oluşturmaya yöneliktir.

Dünyadaki EA stokunun artan bir eğimde olmasının sebeplerinden biride hiç şüphesiz ki EA ve şarj istasyonları için ülkelerde uygulanan destekler ve teşviklerdir. EA ve şarj istasyonlarına yönelik uygulanan politikalar ülkelere/bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Seçilen bazı ülkelerde/bölgelerde hangi tür politikalar uygulandığına ilişkin bilgiler Tablo 1.4'de yer almaktadır.

		Kanada	Çin	AB	Hindistan	Japonya	ABD
Düzenlemeler (araç için)	Zorunlu SEA	✓*	✓				✓*
	Yakıt Ekonomisi Standartları	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Teşvikler (araç için)	Mali Destek	✓	✓	✓	✓		✓
Hedefler (araç için)		✓	✓	✓	✓	✓	✓*
Endüstriyel politikalar	Devlet Desteği, Mali Destek	✓	✓			✓	
Düzenlemeler (şarj cihazı)	Donanım Standartları**	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bina (inşa) Düzenlemeleri	✓*	✓*	✓	✓		✓*
Teşvikler (şarj cihazı)	Mali Destek	✓	✓	✓		✓	✓*
Hedefler (şarj cihazı)		✓	✓	✓	✓	✓	✓*
*Yerel düzeyde uygulanmaktadır. **Tablodaki tüm ülkeler EA şarj istasyonu için temel standartlar geliştirmiştir. Çin, AB ve Hindistan belirli standartları zorunlu tutarken Kanada, Japonya ve ABD belirli standartları zorunlu tutmamaktadır.							

Tablo 1-4 Ülkelerde/Bölgelerde EA ve Şarj İstasyonlarına Yönelik Uygulanan Politikalar (IEA, 2019).

EA'ların bileşenleri arasında en maliyetli olanlardan sayılan bataryaların şarj edilme süresi, kapasitesi ve güvenliği gibi konulardaki iyileştirmelerin yanında üretim maliyetlerinin düşmesi de araç satışlarının artışına etki etmiştir. 2010 yılında bataryaların kilowatt-saat (kWh) başına yaklaşık maliyeti 1000 dolar seviyesindeydi. 2019 yılına gelindiğinde lityum-iyon batarya maliyetleri kWh başına 156 dolara kadar düştü. Maliyetlerin 2030 yılına kadar daha da düşeceği ve kWh başına 73 dolar seviyelerinde olacağı tahmin edilmektedir (Cetelem Gözlemevi, 2019; KIA Motors Corporation (Çelik Motor Ticaret Anonim Şirketi), tarih yok).



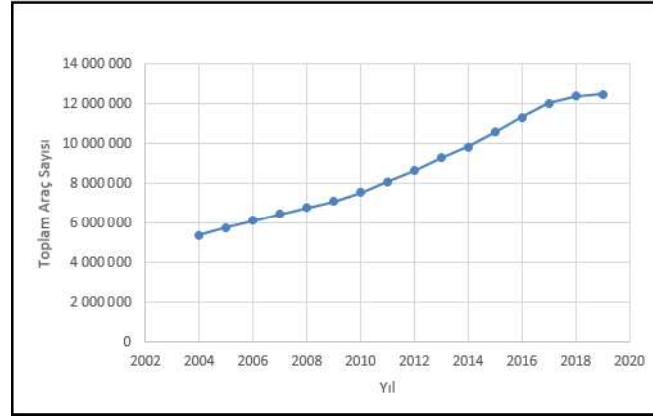
Şekil 1-10 Elektrikli Araç Pazar Payı Tahmini (Hamilton, ve diğerleri, 2020).

EA'ların pazar payı tahminine ilişkin Şekil 1.10'da yer alan grafik incelendiğinde, 2030 yılına kadar ABD, Avrupa, Çin ve dünyadaki otomotiv pazarındaki EA'ların payının ciddi oranlarda artacağı ayrıca pazarlar arasında önemli değişiklikler ve farklılıklar yaşanacağı görülmektedir.

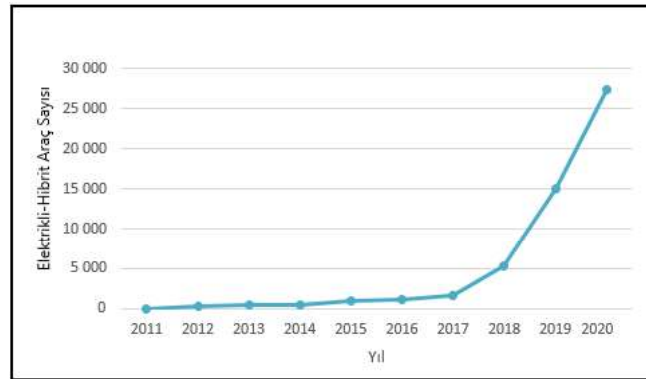
Türkiye'deki araç stokunda, 2004 yılında benzinli araç oranı %75,2 seviyesindeyken 2004 yılından 2019 yılına kadar bu oran azalış eğilimiyle %24,2 seviyesine kadar düşmüştür. 2004 yılında dizel araç oranı %4,7 seviyesindeyken 2004 yılından 2019 yılına kadar bu oran genelde artış eğilimiyle %38,1 seviyesine çıkmıştır. 2004 yılında LPG'li araç oranı %14,7 seviyesindeyken 2019 yılında bu oran %37,3 seviyesindedir. 2019 yılı verileri baz alındığında Türkiye'deki araç stokunun çoğunluğunu dizel araçların oluşturduğu, bunu da sırasıyla LPG'li, benzinli ve diğer yakıtlı araçların takip ettiği anlaşılmaktadır. Yakıt cinsine göre Elektrik-Hibrit (benzin-elektrik (HEA, PHEA), dizel-elektrik (HEA, PHEA) ve BEA'ları kapsamaktadır) olarak trafiğe kayıtlı olan araç sayısına bakıldığında 2011 yılına kadar bu tür bir araç kaydının bulunmadığı görülmektedir. Bu tür araçlar ilk defa 2011 yılında 47 adet olarak kayıtlarda yer almaktadır. 2020 yılının Eylül ayı sonu itibarıyla Türkiye'deki Elektrik-Hibrit olarak trafiğe kayıtlı olan araç sayısı 27.460 adede ulaşmış ve toplam araç sayısı içerisindeki oranı %0,2 olmuştur (TÜİK, 2020).

Şekil 1.11'de yer alan, TÜİK tarafından açıklanmış olan 2004-2019 arasındaki verilere göre oluşturulmuş grafik incelendiğinde Türkiye'deki araç sayısının artış

eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 1.12’de yer alan, yine TÜİK tarafından açıklanmış olan 2011-2020 (Eylül ayı sonu itibarıyla) arasındaki verilere göre oluşturulmuş grafik incelendiğinde, yakıt cinsine göre Elektrik-Hibrit araç sayısının 2017 yılından sonra aşırı bir artış eğiliminde olması dikkat çekicidir. Grafikler birlikte değerlendirildiğinde ise Türkiye’deki toplam araç sayısında önümüzdeki yıllarda genel olarak bir artış yaşanacağı ve yakıt cinsi olarak Elektrik-Hibrit olarak sınıflandırılan araç sayısı ile bu araçların toplam araç sayısı içerisindeki oranının artacağı söylenebilir.



Şekil 1-11 Türkiye’deki 2004-2019 Yılları Arasındaki Otomobil Sayıları.



Şekil 1-12 Türkiye’deki 2011-2020 (Eylül sonu itibarıyla) Yılları Arasındaki Elektrik-Hibrit Araç Sayıları.

Türkiye’deki EA satış rakamlarına bakılacak olursa; 2017 yılı sonunda 77 adet BEA ve 4.507 hibrit aracın satıldığı (ODD, 2017), 2018 yılı sonunda 155 adet BEA ve 3.899 adet hibrit aracın satıldığı (ODD, 2018), 2019 yılı sonunda 222 adet BEA ve 11.974 hibrit aracın satıldığı (ODD, 2019) ve 2020 Eylül ayı sonu itibarıyla ise 261 adet BEA ve 11.750 adet hibrit aracın satıldığı görülmektedir (ODD, 2020).

Elektrikli araçların teşviki ile ilgili Türkiye’deki uygulamalar:

- Sadece elektrik motoru olan araçlar için 2011 yılında Özel Tüketim Vergisi’nde (ÖTV) indirim uygulanmış ve EA’ların güç kapasitesine göre 85kW’ı geçmeyenler için %3, 85kW’ı geçip 120kW’ı geçmeyenler için %7 ve 120kW’ı geçenler için %15 oranları belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2011).
- Elektrik motoru olan araçlar için 2016 yılında ÖTV oranında indirim uygulanmış, elektrik motor gücü 50 kW’ı geçen ve motor silindir hacmi 1.800 cm³’ü geçmeyen EA’larda uygulanan vergi oranı %90’dan %45’e ve elektrik motor gücü 100 kW’ı geçip motor silindir hacmi 2.500 cm³’ü geçmeyen EA’lar için vergi oranı %145’den %90’a düşürülmüştür (Resmi Gazete, 2016).
- Sadece elektrikli motoru olan araçlar için 2018 yılında yapılan bir düzenleme ile elektrik motor güçlerine göre denk geldiği araç yaşı ve değerine isabet eden vergi tutarlarının %25 oranında uygulanmasına karar verilmiştir (Resmi Gazete, 2018).
- Sadece elektrik motoru olan araçlar için 2021 yılında yapılan bir düzenleme ile ÖTV oranları; motor gücü 85 kW’ı geçmeyenler için %10, motor gücü 85 kW’ı geçen fakat 120 kW’ı geçmeyenler için %25 ve motor gücü 120 kW’ı geçenler için %60 olacak şekilde yeniden belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2021).

olarak sıralanabilir.

Son yıllarda Türkiye’de yerli olarak EA üretimine yönelik çalışmalar başlamıştır. BEA olarak tasarlanan ve TOGG isminin verildiği yerli araç, 25 Haziran 2018’de kurulan Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Bursa’nın Gemlik ilçesinde kurulacak fabrikada üretilecektir. Planlanan fabrika açılışı 2021 yılında, planlanan ilk araç üretimi ise 2022 yılındadır. Fabrikanın yıllık üretim kapasitesinin 150.000’den fazla olması planlanmaktadır. Araç üretiminde, 2022 yılında en az %51 oranında yerli üretim payı hedefi belirlenmiştir. Toplamda 5 farklı modelin üretilmesi planlanmaktadır. C segment SUV (sportif çok amaçlı) ve C segment sedan modelleri tanıtılmıştır ve çıkış tarihleri sırasıyla 2022 ve 2024 yılları olarak duyurulmuştur ancak C segment hatchback, B segment SUV ve C segment MPV (çok amaçlı araç) modellerine ilişkin tanıtım ve çıkış tarihleri hakkında bilgilendirme yapılmamıştır (TSKB, 2020). Şu anda TOGG’un 200 beygir ve 400 beygir güç üretebilen iki farklı motor seçeneği ve tek şarj ile aracın 300 km ve 500 km menzili kat edebilmesini

sağlayacak iki farklı batarya seçeneği bulunmaktadır. Bataryaların hızlı şarj ile 30 dakikadan daha az bir sürede %80 seviyesine kadar şarj olabilecek özellikte olacağı belirtilmiştir. (ZES, tarih yok). BEA üretimine yönelik bu çalışmaların ve hedeflerin Türkiye’deki EA oranının artışına pozitif yönde etki edeceği düşünülmektedir.

2 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

Elektrikli araç şarj istasyonları (şarj istasyonu, şarj ünitesi), elektrikli araçlar için enerji kaynağı olarak kullanılan bataryaların şarj edilmesi için kullanılmaktadır. Şarj istasyonları, elektrik enerjisinin sağlandığı altyapı ve tesisattan alınan enerjinin araçlara akışının gerçekleştirildiği ve bu akış sırasında kontroller ve haberleşmelerin sağlandığı bir yapıdadır (Birleştirici, Şalıcı, Dikkulak, Güler, & Turhan, tarih yok). Yani EA'ların şarj edilebilmesi için bağlantı fişleri, prizler ve kablolar gibi şarj ekipmanları ile araç-şarj istasyonu/şarj istasyonu-şebeke arasındaki haberleşme protokolleri gereklidir. Elektrikli araçların menzillerinin sınırlı olması sebebiyle ve araçlardaki bataryaların şarj edilerek enerji ihtiyacının karşılanması için şarj istasyonlarının önemi büyüktür. Genel olarak şarj istasyonları evlerde, petrol istasyonlarında, alışveriş merkezlerinde, otoparklarda, şehir içlerinde bazı noktalarda ve şehirlerarası yolların bazı noktalarında bulunmaktadır.

Elektrik şebekelerinden sağlanan elektrik enerjisinin AC olması ve elektrikli araçlarda bulunan bataryaların ise elektrik enerjisini DC olarak depolaması sebebiyle şarj işlemi gerçekleştirilirken AC/DC dönüşümünün yapılması gerekir. Bu işlem, şarj istasyonundan aktarılan AC enerjinin araçlar üzerinde bulunan sistem/sistemler aracılığıyla DC enerjiye dönüştürülerek akışının sağlanması şeklinde yapılabildiği gibi AC enerjinin şarj istasyonlarında bulunan sistem/sistemler aracılığıyla DC enerjiye dönüştürülerek araca akışının sağlanması şeklinde de yapılabilir.

Şarj istasyonları AC ve DC olarak ayrılabilirdiği gibi bu şarj istasyonlarını birbirlerinden ayıran üç ana özellik bulunmaktadır. Bunlar seviye, tip ve mod'dur. Seviye, şarj istasyonu çıkışındaki gücü, tip, şarj için kullanılan priz ve bağlantı fişini, mod ise araç ve şarj istasyonu arasındaki haberleşme protokolünü tanımlar.

Uluslararası standardizasyon kuruluşları ve diğer kuruluşlar yukarıda yer alan özellikleri standartlar ile tanımlamaktadırlar. Standartlar bu özelliklerden bir veya birden fazlasını içerebilir. Şarj istasyonları için tek bir standart olmamakla birlikte farklı ülkelerde farklı standartlar kullanılmaktadır.

Şarj istasyonlarına ilişkin diğer bazı standartlar aşağıda yer almaktadır (Atla, ve diğerleri, 2019).

- **Şarj istasyonlarının güvenliği ile ilgili standartlar**
 - IEC 61851-1, Elektrikli araç iletken şarj sistemi – Bölüm 1: Genel gereksinimler.
 - IEC 61851-21-1, Elektrikli araç iletken şarj sistemi – Bölüm 21-1 AC / DC kaynağına iletken bağlantı için elektrikli araç üzerindeki yerleşik şarj cihazı EMC gereksinimleri.
 - IEC 61851-23, Elektrikli araç iletken şarj sistemi – Bölüm 23: DC elektrikli araç şarj istasyonu.
 - IEC 61851-24, Elektrikli araç iletken şarj sistemi – Bölüm 24: DC şarjın kontrolü için bir DC EA şarj istasyonu ile bir elektrikli araç arasındaki dijital iletişim.
 - GB/T 18487.1-2015, Elektrikli araç iletken şarj sistemi. Bölüm 1: Genel gereksinimler.
 - GB/T 18487.2-2001, Elektrikli araç iletken şarj sistemi – Bir AC / DC kaynağına iletken bağlantı için elektrikli araç gereksinimleri.
 - GB/T 18487.3-2001, Elektrikli araç iletken şarj sistemi AC / DC Elektrikli araç şarj istasyonu.
 - ISO 17409, Elektrikle çalışan karayolu taşıtları – Harici bir elektrik güç kaynağına bağlantı – Güvenlik gereksinimleri.
- **Elektrikli araç şarj ekipmanları güvenliği ile ilgili standartlar**
 - IEC 61140, Elektrik çarpmasına karşı koruma – Kurulum ve ekipman için ortak hususlar.
 - IEC 61000-6-2, Elektromanyetik uyumluluk (EMC) – Bölüm 6-2: Genel standartlar – Endüstriyel ortamlar için muafiyet standardı.
 - IEC 61000-6-3, Elektromanyetik uyumluluk (EMC) – Bölüm 6-3: Genel standartlar – Konut, ticari ve hafif sanayi ortamları için emisyon standardı.
- **AC şarj ve konnektörleri ile ilgili standartlar**
 - IEC-62196-2 (normal + high power), Fişler, prizler, araç konektörleri ve araç girişleri – Elektrikli araçların iletken şarjı – Bölüm 2: AC pini ve yuva aksesuarları için boyutsal uyumluluk ve değiştirilebilirlik gereksinimleri.
 - IEC 60309-1, Endüstriyel amaçlar için fişler, prizler ve kuplörler – Bölüm 1: Genel gereksinimler.
 - IEC 60309-2, Endüstriyel amaçlar için fişler, prizler ve kuplörler – Bölüm 2: Pin ve yuva aksesuarları için boyutsal değiştirilebilirlik gereksinimleri.
 - SAE J 1772 (Type 1), SAE Elektrikli Araç İletken Şarj Bağlayıcısı.

- GB/T 20234.2-2015 AC, Elektrikli araçların iletken şarjı için bağlantı seti – Bölüm 2: AC şarj kuplörü. Elektrikli Araç Bağlantı Seti – AC Şarj Bağlayıcı.
- **DC şarj ve konnektörleri ile ilgili standartlar**
 - IEC-62196-3 (normal + high power), DC ve AC / DC için boyutsal uyumluluk ve değiştirilebilirlik gereksinimleri. Pin ve yuva araç kuplörleri.
 - GB/T 20234.3-2015, Elektrikli Araçların İletken Şarjı için Bağlantı Seti – Bölüm 3: DC Şarj Bağlayıcısı.

Tablo 2.1’de de bazı ülkelerdeki/bölgelerdeki EA şarj istasyonlarının özelliklerine ilişkin bilgiler yer almaktadır.

	Geleneksel Şarj	Yavaş Şarj	Hızlı Şarj	
Seviye	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Akım	AC	AC	AC-Üç Faz	DC
Güç	≤ 3.7 kW	> 3.7 kW ve ≤ 22 kW	> 22 kW ve ≤ 43.5 kW	Şu anda < 400 kW
Avustralya	Tip 1	IEC 62196-2 Tip 2	Geliştirilmekte/ Karar verilmemiş.	Tüm IEC 62196-3 standartlarını kabul eder (CCS Combo 2, CHAdeMO) Tesla’nın kendi bağlantı fişi bulunmaktadır.
Çin	Tip I	GB/T 20234 AC	Geliştirilmekte/ Karar verilmemiş.	GB/T 20234 DC gerektirir.
Avrupa Ekonomi Bölgesi	Tip C/F/G	IEC 62196-2 Tip 2	IEC 62196-2 Tip 2	CCS Combo 2 (IEC 62196-3) gerektirir ve tüm IEC 62196-3 standartlarını (CHAdeMO dahil) kabul eder. Tesla’nın kendi bağlantı fişi bulunmaktadır.
Hindistan	Tip C/D/M	IEC 62196-2 Tip 2 ve IEC 60309	IEC 62196-2 Tip 2	CCS Combo 2 ve CHAdeMO (IEC 62196-3) gerektirir.

Japonya	Tip B	SAE J1772 Tip 1 Tesla'nın kendi fişi bağlantı bulunmaktadır.	Geliştirilmekte/ Karar verilmemiş.	Tüm IEC 62196-3 standartlarını kabul eder (CCS Combo 1, CHAdeMO) Tesla'nın kendi bağlantı fişi bulunmaktadır.
Kore	Tip A/C	IEC 62196-2 Tip 2	Geliştirilmekte/ Karar verilmemiş.	CCS Combo 1 (IEC 62196-3) ve tüm IEC 62196-3 standartlarını (CHAdeMO dahil) kabul eder.
Yeni Zelanda	Tip 1	IEC 62196-2 Tip 2	IEC 62196-2 Tip 2	CCS Combo 2 ve CHAdeMO (IEC 62196-3) gerektirir.
Kuzey Amerika	Tip B; SAE J1772 Tip 1	SAE J1772 Tip 1 Tesla'nın kendi fişi bağlantı bulunmaktadır.	SAE J3068	CCS Combo 1 (SAE J1772 ve IEC 62196-3) ve CHAdeMO (IEC 62196-3) kabul eder. Tesla'nın kendi bağlantı fişi bulunmaktadır.
Singapur	Tip G	IEC 62196-2 Tip 2	IEC 62196-2 Tip 2	CCS Combo 2 (IEC 62196-3) gerektirir.
Tayland	Tip A/B/C/F	IEC 62196-2 Tip 2	Geliştirilmekte/ Karar verilmemiş.	Tüm IEC 62196-3 standartları (CCS Combo 1, CCS Combo 2, CHAdeMO) kabul eder. Tesla'nın kendi bağlantı fişi bulunmaktadır.
<i>Not: kW: kilowatt; AC: Alternatif akım; DC: Doğru akım; IEC: International Electrotechnical Commission; CCS: Combined charging system; CHAdeMO: Charge de move. Avrupa Ekonomi Bölgesi Avrupa Birliği ve İsviçre'yi kapsamaktadır. Tüm şarj ekipmanları IEC 61851-x serisi standardı ile uyumlu olmalıdır (güvenlik, haberleşme vb), yukarıda yer alan tablodaki standartlar sadece bağlantı fişleri ile ilgilidir.</i>				

Tablo 2-1 Bazı Ülkelerdeki/Bölgelerdeki EA Şarj İstasyonlarının Özellikleri (IEA, 2019).

Türkiye’de EA şarj istasyonlarına yönelik olarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından Nisan 2004’de TS EN 61851-22 Elektrikli Taşıtların İletken Şarj Sistemleri-Bölüm 22: Elektrikli Taşıt a.a. Şarj İstasyonu standardı hazırlanmıştır. Bu standardın kapsamı;

“Bu standart, EN 61851-1 ile birlikte, bir elektrikli taşıtın, IEC 60038’e göre 690 V’a kadar besleme gerilimleri ile iletken bağlantısı için elektrikli taşıt a.a. şarj istasyonlarının özelliklerini kapsar.

Bu standart, bakımla ilgili bütün güvenlik hususlarını kapsamaz.

Bu standart, taşıta enerji vermek amacıyla yerleştirilen ve şarj kumanda işlevleri olmayan soket çıkışlı kutu tipi tertibatları kapsamaz.” (TSE, 2004)

şeklinde belirlenmiştir. Bu standartta şarj istasyonunun a.a. giriş gerilimi ve akım değerinin IEC 60038’e göre olması gerektiği belirtilmiş, çıkış gerilimi ve akım değerlerinin ise;

- Tek faz, 230 V, 32 A
- Tek/üç faz, 230/400 V, 32 A
- Üç faz, 500 V, 250 A

değerlerini geçmemesi gerektiği ve daha düşük akım değerlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir (TSE, 2004).

2.1 Elektrikli Araç Şarj Seviyeleri

SAE J1772 standardında elektrikli araçların şarj olması için 3 farklı şarj seviyesi tanımlanmıştır. Bu seviyelere ilişkin özellikler aşağıda yer almaktadır (Polat, Yumak, Sezgin, Yumurtacı, & Gül, tarih yok; Sen, Boynuegri, & Uzunoğlu, 2011; Hedef Araç Kiralama ve Servis Anonim Şirketi, tarih yok):

Seviye 1: Araçların doğrudan AC bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Şarj etme işleminde herhangi bir güç dönüştürücüsü yoktur. Genelde şarj işlemi için gerekli AC/DC dönüştürücü elemanlar araçta bulunur. Bu şarj seviyesi yavaş şarj olarak bilinmektedir.

Seviye 2: Seviye 1'e göre daha hızlı bir şarj seviyesidir. Şarj etme işleminde herhangi bir güç dönüştürücüsü yoktur, 240V fiş ile şarj işlemi gerçekleştirilebilir. Genelde şarj işlemi için gerekli AC/DC dönüştürücü elemanlar araçta bulunur. Bu şarj seviyesi orta hızlı şarj olarak bilinmektedir.

Seviye 3: AC ve DC tipleri bulunmaktadır. AC olan tipte 3 fazlı besleme gerçekleştirilirken DC olan tipinde elektrik şebekesindeki AC enerji şarj istasyonlarında DC enerjiye dönüştürülerek araçlara akışı gerçekleştirilir. Şarj işlemi için gerekli AC/DC dönüştürücü elemanlar AC tipte araç üzerinde ve DC tipte şarj istasyonunda bulunur. Bu şarj seviyesi hızlı şarj olarak bilinmektedir.

Şarj seviyelerine bakıldığında araçların şarj edilme hızı ve gerilimini ifade ettiği görülmektedir. Şarj süreleri genel olarak %80'e kadar şarj edilme süresini baz almakla birlikte elektrik şebekesinin durumuna, bataryaların durumuna ve kapasitesine göre şarj sürelerinde değişiklikler olabilmektedir.

EA'ların şarj seviyelerine ilişkin olarak temel bir karşılaştırma Tablo 2.2'de yer almaktadır.

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3 (AC)	Seviye 3 (DC)
Gerilim Değeri	120~220 VAC	208~240 VAC	208~240 VAC	600 VDC
Güç Seviyesi	1.2~3.8 kW	3.8~15 kW	>15~96 kW	>15~240 kW
Akım Değeri	15~20 A	20~80 A	>85 A	
Şarj Süresi*	5~12 Saat	1~4 Saat	15~30 Dakika	
*Şarj süresi, EA bataryasının kapasitesi ve şarj özellikleri ile şarj istasyonunun gücü gibi çeşitli parametrelere göre değişiklik gösterebilmektedir.				

Tablo 2-2 Elektrikli Araçların Şarj Seviyelerine Göre Karşılaştırmaları (Sen, Boymuegri, & Uzunoğlu, 2011).

2.2 Elektrikli Araç Şarj Modları

IEC 62196 standardında elektrikli araçların şarj olması ve şarj modlarına ilişkin düzenlemeler yer almaktadır. Şarj modlarına ilişkin özellikler aşağıda yer almaktadır (Eşarj Elektrikli Araçlar Şarj Sistemleri A.Ş., tarih yok).

Mod 1: Araçların doğrudan AC bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. AC/DC dönüşümü araç üzerinde yapılmaktadır. Bu modun güvenlik nedeniyle topraklama gerektirmesinden dolayı Mod 2 geliştirilmiştir.

Mod 2: Araçların doğrudan AC bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. AC/DC dönüşümü araç üzerinde yapılmaktadır. Bu modun Mod 1' den farkı, bağlantı kablosu üzerinde bulunan haberleşme sistemi aracılığıyla priz tarafında topraklama olup olmadığı kontrol edilir ve topraklamanın olması durumunda enerji akışı gerçekleştirilir.

Mod 3: Araçların standart AC priz yerine Mennekes tipi bir bağlantı fişi ile şarj edilmesidir. Bu bağlantı fişinde yedi pin bulunmaktadır. Bunlar; üç ayrı faz, nötr bağlantısı, topraklama bağlantısı ile kontrol ve haberleşme pinleridir. AC/DC dönüşümü araç üzerinde yapılmaktadır. Aracın şarj bağlantısı yapıldıktan sonra haberleşme aracılığıyla araca uygun akım seviyesi istasyonda ayarlanarak araca enerji akışı gerçekleştirilir. Bu modun Mod 2' den farkı, enerji kaynağı tarafında da aşırı akım koruma ve kaçak akım koruma gibi sistem korumalarının olmasıdır.

Mod 4: AC kaynaktan alınan enerjisinin şarj istasyonunda DC enerjiye çevrilerek araca akışının sağlanmasıdır. Yani AC/DC dönüşümü şarj istasyonunda yapılmaktadır. Bu mod hızlı şarj için düzenlenmiştir. Genel olarak iki farklı tip priz bulunmaktadır. Bunlar CCS Combo ve CHAdeMO'dur.

EA'ların IEC 61851 Standardındaki şarj yöntemleri ve elektriksel değerlerine ilişkin temel bir karşılaştırma Tablo 2.3'de yer almaktadır.

	Şarj Yöntemi	Faz Sayısı	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)
AC	Mod 1	1	≤ 250	≤ 16
		3	≤ 480	
	Mod 2	1	≤ 250	≤ 32
		3	≤ 480	
	Mod 3	1	≤ 250	≤ 250
		3	≤ 480	
DC	Mod 4	-	≤ 1000	≤ 250

Tablo 2-3 IEC 61851 Standardındaki Şarj Yöntemleri ve Elektriksel Değerleri (Polat, Yumak, Sezgin, Yumurtacı, & Gül, tarih yok).

2.3 Elektrikli Araç Şarj Bağlantı Fişleri ve Prizleri

EA'ların şarj istasyonlarına yönelik tek tip standardın olmaması sebebiyle farklı standartlarda yer alan gereksinimlere göre farklı tip bağlantı fişleri ve prizleri bulunmaktadır. Yani standartlarda fiş ve priz tiplerinin nasıl olduğu değil bunların çalışma özelliklerinin ne olduğuna ilişkin değerler yer almaktadır.

EA'ların şarj edilmesi için gerekli olan bağlantı fiş tiplerine ilişkin özellikler aşağıda yer almaktadır (KIA Motors Corporation (Çelik Motor Ticaret Anonim Şirketi), tarih yok; Gaton, 2017):

Tip 1 (J1772): Standart AC prizlere bağlanabilir ve Seviye 2 şarja uygundur. Araçları 7,4 kW'a kadar çıkan güç seviyesinde şarj edebilmeyi sağlar. Japonya, ABD, Avustralya ve Yeni Zelanda'da kullanılmakta ancak Avrupa'da kullanımdan kaldırılmaktadır.

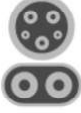
Tip 2 (Mennekes): Tek fazlı ve üç fazlı şarj için kullanılmaktadır. Araçları 43 kW'a kadar çıkan güç seviyesinde şarj edebilmeyi sağlar. Genellikle Avrupa, Avustralya ve Yeni Zelanda'da kullanılmaktadır.

CCS Combo: Diğer fiş tiplerine DC pinler eklenerek oluşturulur. CCS Combo 1, J1772 ile ayrı DC pinlerin birleşimidir. CCS Combo 2, Mennekes sistemi ile ayrı DC pinlerin birleşimidir. Araçları 50 kW'a kadar çıkan güç seviyesinde AC ve DC olarak şarj edebilmeyi sağlar.

CHAdemo: Araçları 62,5 kW'a kadar çıkan güç seviyesinde şarj edebilmeyi sağlayan DC bir şarj fişidir.

Tesla: Tesla marka araçların şarj edilmesi için üretilmiştir. Seviye 1, Seviye 2 ve DC şarj için aynı bağlantı fişi kullanılır.

GB/T: Çin'de kullanılan bir şarj fişidir.

	Kuzey Amerika	Japonya	AB bölgesi ve pazarın geri kalanı	Çin	AB bölgesi hariç tüm pazarda
AC	 Tip 1 (J1772)	 Tip 1 (J1772)	 Tip 2 (Mennekes)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdemo	 CCS2	 GB/T	 Tesla

Şekil 2-1 Elektrikli Araç Şarjı İçin Bağlantı Fiş Tipleri (Enel X, 2019).

EA'ların şarj edilmesi için gerekli olan prizlere ilişkin özellikler aşağıda yer almaktadır (Polat, Yumak, Sezgin, Yumurtacı, & Gül, tarih yok; Gaton, 2017).

Tip 1: Tek fazlı AC şarjda kullanılmaktadır.

Tip 2 (Mennekes): Tek veya üç fazlı AC şarjda kullanılmaktadır.



Şekil 2-2 Tip 2 Şarj Fişi ve Prizi (Electric Vehicle Charging Products and Installation, 2019).

Tip 3: Tip 2' nin kapaklı türüdür.

CCS Combo: Hem AC hem de DC şarj için kullanılmaktadır. CCS Combo 1 prizi hem SAE J1772 fişi hem de CCS Combo 1 fişi ile uyumludur. CCS Combo 2 prizi hem Mennekes fişi hem de CCS Combo 2 fişi ile uyumludur.

CHAdemo: Hem AC hem de DC şarj için kullanılmaktadır.

Tesla: Tesla marka araçların şarj edilmesinde kullanılan şarj prizidir.

GB/T: Çin'de kullanılan bir şarj prizidir.

2.4 Elektrikli Araç Şarj Süreleri

EA'ların şarj sürelerinde, bataryasının kapasitesi ve şarj istasyonunun gücü faktörlerinin yanında batarya durumu (% şarj), batarya sıcaklığı, aracın maksimum şarj olabilme gücü, şarj istasyonunun çalışma şartları ve ortam sıcaklığı gibi faktörlerde etkili olmaktadır (homechargingstations.com, tarih yok).

İdeal bir ortamda bir EA'nın tam olarak şarj olması için gerekli süre yaklaşık olarak aşağıda yer alan (1) numaralı eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\text{Şarj Süresi (h)} = \frac{\text{Batarya Kapasitesi (kWh)}}{\text{Şarj Gücü (kW)}} \quad (1)$$

Örneğin, 56 kWh'lik bir batarya kapasitesine sahip EA 7 kW'lık bir şarj gücüne sahip istasyonda 8 saatte şarj olabilirken 12 kW'lık bir şarj gücüne sahip istasyonda 4,67 saatte şarj olabilir. 56 kWh'lik bir batarya kapasitesine sahip EA 22 kW'lık bir şarj gücüne sahip istasyonda 2,55 saatte şarj olabilirken, 80 kWh'lik bir batarya kapasitesine sahip EA 22 kW'lık bir şarj gücüne sahip istasyonda 3,64 saatte şarj olabilir.

EA'ların şarj olurken kullandığı şarj gücü, şarj istasyonu ya da araç tarafından sınırlandırılabilir. Yani bir EA, şarj istasyonu tarafında sunulan güçten daha düşük bir

güce uygunsa burada araçlar şarj gücünü sınırlar; şarj istasyonu tarafından sunulan güçten daha yüksek bir güce uygunsa burada şarj istasyonu şarj gücünü sınırlar (homechargingstations.com, tarih yok). Örneğin, 12 kW'lık bir şarj gücü olan EA 7 kW'lık şarj gücüne sahip bir şarj istasyonu ile şarj edilirken kullanılabilen şarj gücü 7 kW ile sınırlıdır. 12 kW'lık bir şarj gücü olan EA 22 kW'lık şarj gücüne sahip bir şarj istasyonu ile şarj edilirken kullanılabilen şarj gücü 12 kW ile sınırlıdır.

2.5 Elektrikli Araç Şarj Stratejileri

Dağıtım şebekesine bağlı şarj istasyonları aracılığıyla EA bataryalarının şarjı gerçekleştirilirken şebekede oluşacak şarj yüklerinin yönetimi ve bazı problemlerin sınırlandırılması için çeşitli stratejiler kullanılmaktadır. Bu şarj stratejileri; geleneksel şarj, çoklu tarife ile şarj ve akıllı şarj olmak üzere üç başlık altında incelenecektir.

○ Geleneksel Şarj:

EA'ların şarj istasyonları aracılığıyla elektrik şebekesine plansız bir şekilde bağlandığı stratejidir. EA sahipleri genel olarak bir şarj istasyonu noktasına ya da gün sonunda ikametlerine ulaştıklarında araçlarının şarj işlemini başlatırlar. Bu da EA şarj yüklerinden kaynaklı olarak günün belirli saatlerinde şebekede aşırı yüklenmeler gibi bazı problemlere sebep olabilir (Garcia-Valle & Lopes, 2013).

○ Çoklu Tarife ile Şarj:

EA şarj işlemleri için talep edilen enerjinin tarife düzenlemeleri ile yönetilmesidir. Elektrik şebekesindeki yüklenmenin az olduğu saatlerde ucuz enerji tarifeleri uygulanarak EA şarj yüklerinin bu saatlere kaydırılması sağlanır (Garcia-Valle & Lopes, 2013).

○ Akıllı Şarj:

Elektrik şebekesine şarj istasyonu aracılığıyla entegre edilmiş bir EA için enerji fiyatlarına ve elektrik şebekesinin kapasitesinin durumuna göre şarjın başlatılması,

durdurulması, ertelenmesi, yavaşlatılması, hızlandırılması gibi farklı şekillerde şarj işleminin gerçekleştirilmesidir (Energy Pool Turkey, tarih yok). EA şarj yükleri elektrik şebekesindeki yüklenmenin en fazla olduğu zamanlardan az olduğu zamanlara kaydırılır.

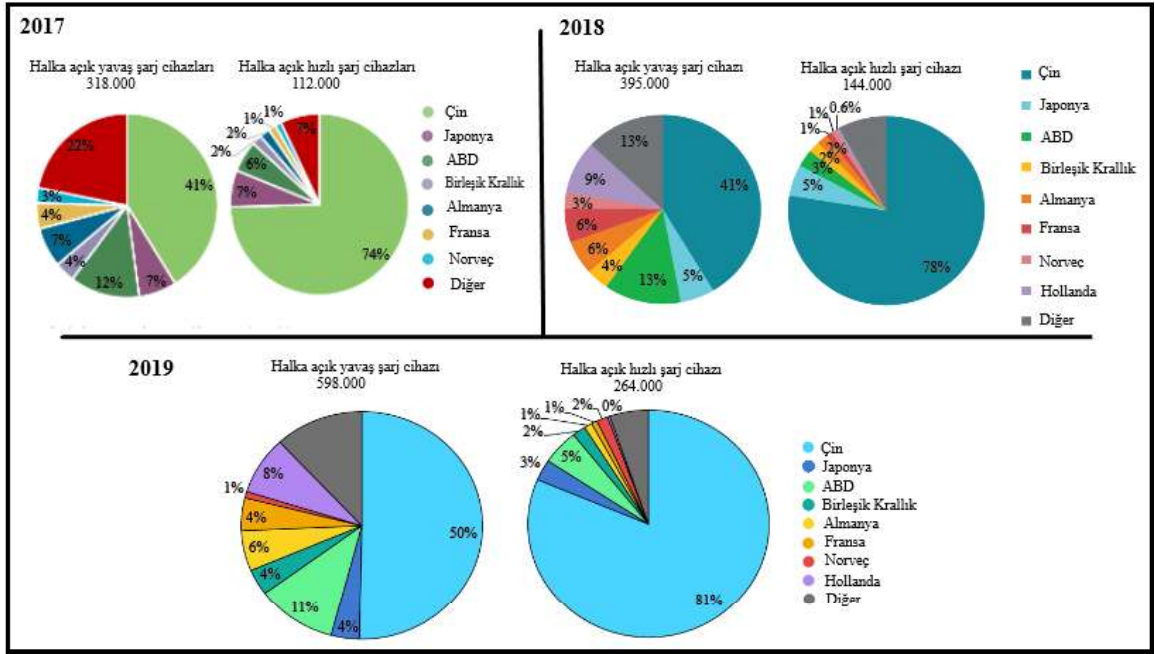
EA'dan elektrik şebekesine enerji akışının olduğu teknoloji (V2G) akıllı şarj stratejisinin bir parçası olarak düşünülebilir. Bu teknoloji ile şebekedeki enerji talebinin yüksek olduğu saatlerde EA'ların bataryaları depolama sistemleri gibi kullanılarak buradaki fazla enerji şebekeye aktarılır. Bu teknolojiye EA ile elektrik şebekesinin durumlarının izlenmesi ve hangi yöne enerji akışının sağlanacağını kontrol edilebilmesi için güç elektroniği elemanlarının kullanılması gerekmektedir.

2.6 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Piyasası

EA'ların batarya kapasitelerinden kaynaklı olarak menzillerinin sınırlı olması sebebiyle bataryaların şarj edilebilmesi için şarj istasyonlarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle EA şarj istasyonu sayısının artması EA kullanımının artmasına, EA kullanımının artması ise EA şarj istasyonu sayısının artmasına etki edecektir.

EA'lar evlerde ve işyerlerinde özel şarj cihazlarıyla şarj edilebileceği gibi halka açık yerlerde kurulacak istasyonlar aracılığıyla da şarj edilebilir. Dünyada 2019 yılı sonu itibarıyla 6,5 milyonu evlerde ve işyerlerinde kullanılan özel şarj cihazları olmak üzere toplam 7,3 milyon EA şarj cihazı bulunmaktadır (IEA, 2020). Otoyollar ve dinlenme tesisleri gibi yerlerde kullanılan halka açık şarj istasyonu kurulumunda her 10 EA için bir şarj istasyonu, ayrıca ana otobanlarda 60 km'de bir hızlı şarj istasyonu kurulumu önerilmektedir (Transport & Environment, 2018).

Şekil 2.3'de 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ilişkin olarak halka açık yavaş/hızlı şarj istasyonu durumlarına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Buradaki veriler incelendiğinde halka açık şarj istasyonlarının sayısının artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Halka açık şarj istasyon sayısı 2018'de bir önceki seneye göre %24 oranında, 2019'da ise bir önceki seneye göre %60 oranında artmıştır. Çin'in bu üç yıl için hem yavaş şarj istasyonu hem de hızlı şarj istasyonu için genelde artan önemli bir payı vardır.



Şekil 2-3 2017,2018 ve 2019 Yıllarındaki Halka Açık Şarj Cihazları (IEA, 2018; IEA, 2019; IEA, 2020).

EA şarj istasyonlarının artmasında ülkelerin/bölgelerin uyguladığı düzenlemeler, teşvikler ve hedefler önemli olmakla birlikte elektrik şebekelerine bağlanacak istasyonların kurulumu için şebekelerin mevcut teknik durumları da önemlidir.

Avrupa Birliği'nin (AB'nin) petrole olan bağımlılığı asgari seviyeye indirerek ulaşım sektörünün çevresel konulardaki zararlarını minimize etmek amacıyla hazırlamış olduğu 2014/94 sayılı Alternatif Yakıt Altyapıları Yönergesi, şarj istasyonlarına yönelik temel düzenlemelerin bulunduğu bir yönergedir. Bu Yönerge ile AB üye devletlerine çeşitli öneriler sunulmuş ve görevler verilmiştir. Bunlara ilişkin bilgilerden bazıları aşağıda yer almaktadır (Ateş, 2020).

- 2020 yılı sonuna kadar ulusal strateji çerçevesinde belli sayıda kamuya açık şarj noktası kurulması (her 10 adet araç için 1 adet kamuya açık şarj noktası kurulması önerilmiştir).
- Kamuya açık olmayan şarj istasyonlarının teşvik edilmesi ve kurulumun kolaylaştırılmasına yönelik gerekli tedbirlerin alınması.

- Şarj noktalarına yönelik asgari standartların; AC normal şarj istasyonu için EN 62196-2, AC hızlı şarj istasyonu için EN 62196-2 ve DC hızlı şarj istasyonu için EN 62196-3 olması.

- Dağıtım sistem işletmecilerinin, kamuya açık bir istasyon kurmak veya işletmek isteyen herkes ile ayırım gözetmeksizin işbirliği yapması. Benzer bir yükümlülük kamuya açık olmayan şarj noktaları içinde mevcuttur.

- Kamuya açık şarj istasyonlarında, teknik olarak mümkün ve ekonomik olarak makul olduğu takdirde, akıllı sayaç sistemlerinin kullanması. Kamuya açık olmayan şarj noktalarındaki uygulamalara yönelik üye devletlerin araştırma yapması önerilmiştir.

AB'nin 2019/944 sayılı IV. Elektrik Piyasası Yönergesinde yer alan düzenlemelere ilişkin bilgilerden bazıları aşağıda yer almaktadır (Ateş, 2020).

- Kamuya açık olan ve kamuya açık olmayan şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine bağlantısının kolaylaştırılmasına yönelik gerekli yasal çerçevenin belirlenmesi.

- Dağıtım sistem işletmecilerinin; şarj noktası sahibi, işletmecisi, yöneticisi veya geliştiricisi olan herkes ile ayırım gözetmeksizin işbirliği yapması.

Türkiye’de 2019 yılında bireysel olanlar hariç 122 adedi CHAdeMO ve CCS standartlarında olan 582 adet şarj istasyonu soketi bulunmaktadır (TEHAD, 2019). Türkiye’deki BEA ve PHEA sayısı ise 2019 Eylül ayı itibarıyla 1.310’a ulaşmıştır (Saygın, ve diğerleri, 2019). Bu kapsamda Türkiye’de bireysel olanlar hariç 1 adet şarj etme soketine 2 adet aracın karşılık geldiği görülmektedir. Ayrıca bireysel (ev tipi) şarj istasyonlarının EA sayısı ile orantılı olduğu varsayılırsa toplam şarj soketi sayısı 1.892’ye çıkmaktadır. Bu kapsamda şarj etme noktasının EA sayısından daha fazla olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

EA şarj istasyonları ile ilgili Türkiye’deki düzenlemeler aşağıda yer almaktadır.

2 Ocak 2014 tarihli ve 28870 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliğinin 5 inci maddesinin ikinci fıkrasında,

“MADDE 5 - (2) Kullanıcılar tarafından yapılan bağlantı başvurularında; başvurunun niteliğine göre motor ve elektrojen gruplarının sayısı ve güçleri, elektrikli taşıtların şarj edilebilmesi için kurulacak hızlı, orta hızlı ve yavaş şarj ünitelerinin sayısı ve güçleri, aydınlatma ve ısıtma tesisatı ve güçleri, koruma sistemleri gibi diğer tesis ve/veya teçhizatla ilgili teknik özellikleri de içeren elektrik projesi dağıtım şirketine sunulur. Dağıtım şirketi sunulan proje çerçevesinde kullanıcıdan gerekli olan ilave bilgileri de talep edebilir.”

hükmü yer almaktadır.

02/11/1985 tarihli ve 18916 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği’nin 40 ıncı maddesinde 08/09/2013 tarihinde yapılan değişiklik ile elektrik enerjisi ile çalışan araçların şarj edilmeleri için, ilgili elektrik kurumunun olumlu görüşü ile otoparklar, akaryakıt istasyonları veya diğer uygun yerlerde elektrikli araç şarj yeri yapılabileceğine yönelik yasal altyapı sağlanmıştır. Ancak, Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, 03/07/2017 tarihli ve 30113 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği ile 01/10/2017 tarihinde yürürlükten kaldırılmıştır. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nin 35 inci maddesinin dördüncü fıkrasında,

“MADDE 35 - (4) Elektrik enerjisi ile çalışan araçların şarj edilmeleri için, ilgili elektrik kurumunun olumlu görüşü ile otoparklar, akaryakıt istasyonları veya diğer uygun yerlerde elektrikli araç şarj yeri yapılabilir.”

hükmü yer almaktadır.

22/02/2018 tarihli ve 30340 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Otopark Yönetmeliği’nin 6 ncı maddesinin beşinci fıkrasında,

“MADDE 6 - (5) Bölge ve genel otoparklar ile AVM’lere ait otoparklarda, her 50 park yerinden en az biri elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenir. İhtiyaca göre elektrikli araç otopark yeri sayısının artırılması hususunda idarelerce karar alınabilir.”

hükmü yer almaktadır. 25/03/2021 tarihli ve 31434 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmeliğin 3, 4 ve 8 inci maddelerinde;

“MADDE 3 – Aynı Yönetmeliğin 5 inci maddesinin birinci fıkrasının (b), (c) ve (ç) bentleri ile (h) bendinin (5) numaralı alt bendi aşağıdaki şekilde değiştirilmiş, (h) bendinin (7) numaralı alt bendinin sonuna aşağıdaki cümle eklenmiş, (ı) bendinin sonuna aşağıdaki cümle eklenmiş ve aynı fıkra aşağıdaki bent eklenmiştir.

...

j) Zorunlu otopark adedi 20 ve üzeri olan yeni yapılacak yapılara ilişkin yapı ruhsatı başvurularında zorunlu otopark alanlarının 1 adetten az olmamak üzere en az %5’inin, ilgili standartlara göre şarj ünitesi dâhil elektrikli araçlara uygun olarak düzenlenmesi şartı aranır.”

“MADDE 4 – Aynı Yönetmeliğin 6 ncı maddesinin birinci fıkrasının sonuna aşağıdaki cümle eklenmiş, aynı maddenin beşinci fıkrası aşağıdaki şekilde değiştirilmiş ve aynı maddeye aşağıdaki fıkra eklenmiştir.

...

(5) Yeni yapılacak olan bölge ve genel otoparklar ile AVM’lere ait otoparklarda en az %10 oranında otopark yerinin ilgili standartlara göre elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenmesi şartı aranır. Otuzbin metrekareden büyük AVM’lerde kurulacak şarj ünitelerinden en az birinin, yetmişbin metrekareden büyük AVM’lerde ise en az ikisinin ilgili standartlara göre hızlı şarj kapasitesine sahip olması gerekir. İhtiyaca göre elektrikli araç otopark yeri sayısının artırılması hususunda idarelerce karar alınabilir.”

“MADDE 8 – Aynı Yönetmeliğin geçici 4 üncü maddesine aşağıdaki fıkralar eklenmiştir.

(2) 5 inci maddenin birinci fıkrasının (j) bendinde yer alan “%5” oranı, 1/1/2023 tarihine kadar “%2” olarak uygulanır.

(3) 6 ncı maddenin beşinci fıkrasında yer alan “%10” oranı, 1/1/2023 tarihine kadar “%5” olarak uygulanır. Bu tarihe kadar hızlı şarj kapasitesi zorunluluğu aranmaz.”

hükümleri yer almaktadır.

09/06/2020 tarihli ve 31150 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile yapılan değişiklik ile 14/07/2005 tarihli ve 2005/9207 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe konulan İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmeliğin eki (EK-2)’de yer alan “Gayrisihhi müesseseler listesi” kısmının “c) Üçüncü sınıf gayrisihhi müesseseler” başlıklı bölümün “1- Enerji sanayii” başlıklı alt bölümü aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir.

“1.1- Akü tamir yerleri,

1.2- Elektrik enerjisi ile çalışan araçların enerji ihtiyacını temin edebilmeleri için otoparklarda, alışveriş merkezlerinin otopark alanı olarak ayrılmış yerlerinde, akaryakıt istasyonlarında veya yetkili idarece uygun görülecek ve imar planında bu amaca ayrılmış olan diğer yerlerde müstakil olarak kurulacak elektrikli araç şarj istasyonları,

1.2.1- Elektrikli araçların elektrik ihtiyacını temin edebilmeleri için otoparklar, alışveriş merkezleri veya akaryakıt istasyonlarında kurulacak elektrikli araç şarj istasyonları, kurulu bulunduğu iş yerinin ana faaliyet dalı esas alınarak düzenlenen ruhsatta tali faaliyet olarak belirtilir.”

20/01/2018 tarihli ve 30307 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 11/12/2017 tarihli ve 2017/11147 sayılı kararnamenin ekindeki 1 ve 2 inci maddelerinde,

“MADDE 1 - (1) Türkiye ’nin Otomobili Projesi kapsamında otomobilin tasarımı, geliştirilmesi, üretimi, satış ve dağıtım sisteminin oluşturulması, şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi, bu istasyonlar vasıtasıyla elektrik enerjisi tedariki ve bu istasyonların satış, kiralama ve benzeri yollarla devredilmesi ve bunlara ilişkin altyapı hazırlıklarına yönelik; belediyeler dahil tüm kamu kurum ve kuruluşları tarafından Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının uygun görüşü olmadan düzenleyici ve bağlayıcı karar alınamaz, ihale yapılamaz, lisans ve imtiyaz sağlanamaz.

MADDE 2 - (1) Bu karar kapsamında gerçekleştirilecek faaliyetler Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından koordine edilir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı bu Kararın uygulanmasına ilişkin usul ve esasları belirlemeye yetkilidir.”

hükümleri yer almaktadır.

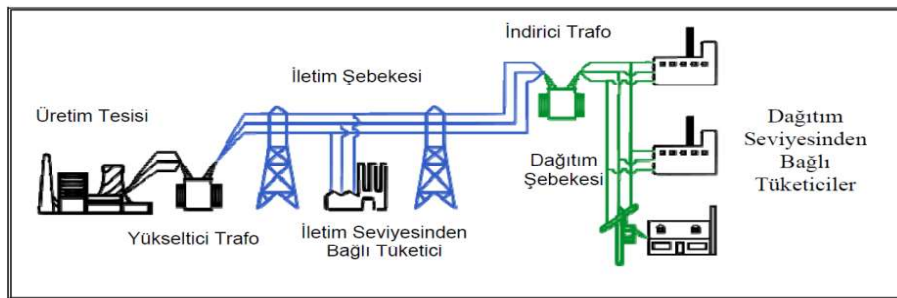
Kamuya açık yerlerde kurulumu yapılan veya ticari faaliyette bulunan tüm şarj istasyonlarını kapsayacak şekilde elektrik piyasasında elektrikli araçların elektrik enerjisi teminini sağladıkları şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesine, bu istasyonlar vasıtasıyla elektrik enerjisi teminine ve bu istasyonların satış, kiralama ve benzeri yollarla devredilmesine ilişkin işlemleri ve işletmecilerin hak ve yükümlülüklerini belirlemek amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından hazırlanan Elektrikli Araç Şarj İstasyonuna İlişkin Usul ve Esaslar (Usul ve Esaslar) taslağı 23/11/2017 tarihinde kamuoyu görüşlerine açılmış olup gelen görüşler neticesinde taslağın son hali belirlenmiştir. Bu Usul ve Esasların yayımlanması için 11/12/2017 tarihli ve 2017/11147 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı gereğince Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın görüşleri beklenmektedir.

3 ELEKTRİK ŞEBEKELERİ

Genellikle ülkelerin belirli bölgelerinde üretilen elektrik enerjisini kullanıcılara iletmek için kullanılan birleşik yapıdaki elektrik tesislerinin tümüne elektrik şebekesi denir. Elektrik şebekelerinde elektrik enerjisinin, üretim santrallerinden tüketim bölgelerine iletilmesi için kullanılan kısma iletim (nakil) şebekesi, tüketim bölgelerinde kullanıcılara dağıtım için kullanılan kısma ise dağıtım şebekesi denir. Coğrafi şartlardaki farklılıklar ve talep farklılıkları gibi sebeplerden dolayı bazı elektrik şebekelerinde küçük farklılıklar oluşsa da buralardaki gerilim değerleri diğer elektrik şebekelerindekiyle benzerdir (Fırat Üniversitesi, tarih yok).

Elektrik şebekeleri, enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde aktarılmasına uygun, değişen ihtiyaçları karşılayabilen, hattın başında, ortasında ve sonundaki tüm kullanıcılara aynı teknik özelliklerde elektrik enerjisinin sunulabildiği ve şebekede oluşacak olumsuz etkilerden kullanıcıların etkilenmeyeceği bir yapıda tasarlanmış olmalıdır (Fırat Üniversitesi, tarih yok).

Tesislerde üretilen elektrik kullanıcıya taşınırken trafolar, enerji iletim hatları, izolatörler, direkler, kesiciler ve ayırıcılar gibi elemanlar kullanılmaktadır. Tesislerde üretilen elektrik enerjisinin gerilimi, transformatörler aracılığıyla yükseltildikten sonra iletim şebekeleri ile tüketim merkezlerinin yakınında bulunan dağıtım merkezlerine taşınır ve bazı durumlarda yüksek gerilim doğrudan tüketicilere aktarılır. Taşınmış olan yüksek gerilim, dağıtım merkezlerinde orta gerilim seviyesine düşürülerek tüketim bölgesi içindeki taşıma gerçekleştirilir ve bazı durumlarda orta gerilim doğrudan tüketicilere aktarılır. Nihai olarak üretilip taşınan elektrik enerjisinin evlerde kullanılabilmesi için trafolar ile gerilim seviyesi 230V'a düşürülüp tüketicilere sunulur (Kul, ve diğerleri, 2013).



Şekil 3-1 Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtım Şeması (İbiş, 2019).

Elektrik şebekeleri gerilim seviyelerine göre dört başlık altında incelenebilir (Üçkardeş, 2010; Ondokuz Mayıs Üniversitesi, tarih yok; Fırat Üniversitesi, tarih yok).

- **0-1 kV arası Alçak Gerilim Şebekeleri (AG Şebeke):**

Dağıtım trafolarından tüketicilere kadar olan elektrik şebekeleridir. Elektrik enerjisinin alçak gerilim ile taşınmasında güç kaybı ve gerilim düşümünün fazla olmasından dolayı alçak gerilim ile elektrik enerjisinin taşınması iletim şebekelerinde tercih edilmeyip dağıtım şebekelerinde tercih edilmektedir. Türkiye’deki AG şebekelerde fazlar arası 400V, faz nötr arası 230V gerilim seviyeleri kullanılmaktadır.

- **1kV-35kV arası Orta Gerilim Şebekeleri (OG Şebeke):**

Alçak gerilim şebekeleri ile yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim şebekelerini birbirlerine bağlar. Bu şebekeler ile genelde küçük şehirler ve sanayi bölgelerine enerji taşınmakta ve büyük şehirlerdeki dağıtım transformatörlerine enerji taşınmaktadır. Türkiye’deki OG şebekelerde 6,3, 10,5, 15,8, 31,5, 33 ve 34,5 kV’luk gerilim seviyeleri kullanılmaktadır.

- **35kV-154kV arası Yüksek Gerilim Şebekeleri (YG Şebeke):**

Yüksek gerilimlerde güç kaybı ve gerilim düşümünün az olmasından dolayı uzun mesafelere elektrik enerjisinin taşınması için iletim şebekelerinde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin yüksek gerilim seviyesinde tüketicilerin kullanımına sunulmasında güvenlik problemleri olmasından dolayı uygun değerlere indirilerek OG şebekelere bağlanır. Türkiye’deki YG şebekelerde 66 kV (halen kullanılanlar dışında yeniden tesis edilmemektedir) ve 154 kV’luk gerilim seviyeleri kullanılmaktadır.

- **154kV ve üzeri Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri (ÇYG Şebeke):**

Şehirlerarası ve santraller arası bağlantılar için kullanılmaktadır. Türkiye’deki ÇYG şebekelerde 380 kV’luk gerilim seviyesi kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde bu değer 500kV ve 750kV seviyelerine kadar çıkmaktadır.

Ülkemizde iletim ve dağıtım şebekelerinin gerilim seviyesine göre ayrımında 36 kV sınır değeri olarak kullanılmaktadır. 36 kV gerilim seviyesinin üzerindeki şebekeler iletim şebekesi, 36 kV gerilim seviyesinin altındaki şebekeler ise dağıtım şebekesi olarak kabul edilmiştir.

Elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması sonucunda nihai olarak kullanıcılara ulaştığı gerilim ve frekans değerleri Şekil 3.2’de gösterildiği üzere ülkelere/bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde kullanıcılar 230V gerilim seviyesinde 50Hz frekansta elektrik kullanmaktadır.



Şekil 3-2 Farklı Ülkelerin/Bölgelerin Kullandıkları Gerilim ve Frekans Değerleri
(Pokrzywa, 2011).

3.1 Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Tasarımları

Elektrik dağıtım şebekeleri çevre koşulları ve teknik sebeplerden dolayı farklı tasarımlarda ve uzunluklarda olabilir.

3.1.1 Radyal (Dalbudak) Şebeke

Enerji beslemesi tek bir kaynaktan yapılan ve enerji akışı tek bir yöne doğru olan şebekelerdir. Bu şebeke çeşidinde dağıtım trafoları enerji talebinin yoğun olduğu yerlere yakın konumlandırılır. Trafodan çıkan hat kalın kesitli olmakla birlikte ana hat olarak adlandırılmaktadır, trafodan uzaklaşıp tüketicilere yaklaştıkça hatlar incelmekte ve branşman hattı ismini almaktadır.

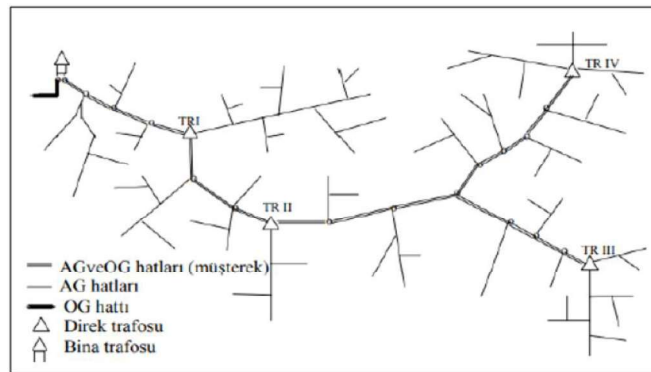
Radyal şebekelerin avantajları:

- Tesis edilirken ilk yatırım maliyetleri düşüktür,
- Tasarımları kolaydır,
- Bakım ve işletmeleri kolaydır,
- Gerilim kontrolü kolaydır,
- Arıza noktasının tespiti kolaydır,
- Şebekeye bağlı kullanıcı sayısının artması durumunda hattın kapasitesinden fazla akım çekilmesi olabilir. Bu durumda sadece akımı fazla olan hat değiştirilir

olarak sıralanabilirken bu şebekelerin dezavantajları:

- Arz güvenliği düşüktür,
- Oluşacak arızalardan etkilenen kullanıcılar fazladır,
- Dağıtım trafosundan uzaklaştıkça gerilim düşümü yaşanır

olarak sıralanabilir (Kul, ve diğerleri, 2013; Fırat Üniversitesi, tarih yok).



Şekil 3-3 Radyal Şebeke Tasarımı (Akbulut, 2019).

3.1.2 Ring Şebeke

Enerji beslemesi birden fazla trafo ile yapılır ve bu trafolar birbirlerine paralel olarak bağlanır.

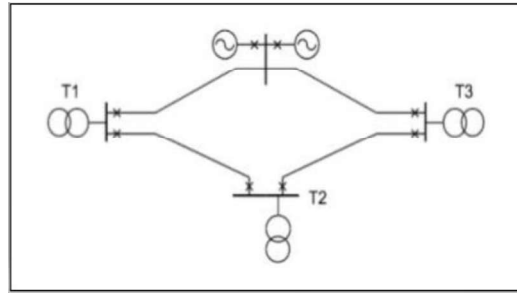
Ring şebekelerin avantajları:

- Arızalardan sadece arıza olan yer etkilenmektedir,
- Dallı şebekelere göre daha güvenlidir,
- Arz güvenliği yüksektir

olarak sıralanabilirken bu şebekelerin dezavantajları:

- Tesis edilirken ilk yatırım maliyetleri yüksektir,
- Şebekeye bağlı kullanıcı sayısının artması durumunda hattın kapasitesinden fazla akım çekilmesi olabilir. Bu durumda tüm hatlar değiştirilir, bu da maliyeti artırır

olarak sıralanabilir (Kul, ve diğerleri, 2013; Fırat Üniversitesi, tarih yok).



Şekil 3-4 Ring Şebeke Tasarımı (Sen Y. R., 2019).

3.1.3 Ağ (Gözlü) Şebeke

Enerji beslemesi bir veya birden fazla trafo ile yapılır. Kullanıcıları besleyen hatlar bir ağ gibi oluşturularak gözler elde edilir.

Ring şebekelerin avantajları:

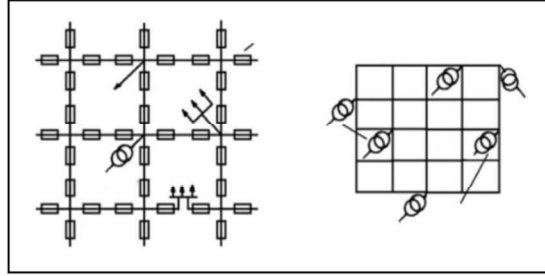
- Gerilim düşümü çok azdır,
- Arızalardan sadece arıza olan yer etkilenmektedir,

- Sisteme güçlü alıcılar bağlanabilir

olarak sıralanabilirken bu şebekelerin dezavantajları:

- Tesis edilirken ilk yatırım maliyetleri yüksektir,
- Bakım ve işletmeleri zordur,
- Şebekede oluşacak bir kısa devre arızasının zararı fazladır

olarak sıralanabilir (Kul, ve diğerleri, 2013; Fırat Üniversitesi, tarih yok).



Şekil 3-5 Ağ (Gözlü) Şebeke Tasarımı (Sen Y. R., 2019).

3.2 Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kalitesi

Güç sistemlerindeki doğrusal olmayan yüklerin (ayarlı sürücüler, AC/DC dönüştürücüler vb.) artmasıyla yaşanan problemlerden dolayı enerjinin kalitesi konusu önem kazanmıştır. Elektrik enerjisinin kalitesine ilişkin olarak, elektriğin üretimi, iletimi, dağıtımı ve nihai olarak kullanıcılara sunulması sırasında belirli teknik özellikleri içermesi beklenmektedir. Başka bir ifadeyle, enerji kalitesi için elektrik şebekesindeki bir noktada gerilimin anma değeri ve frekans belirli bir seviyede tutulmalı ve sinüzoidal dalga formu korunmalıdır.

Enerji kalitesinin öneminin artmasında,

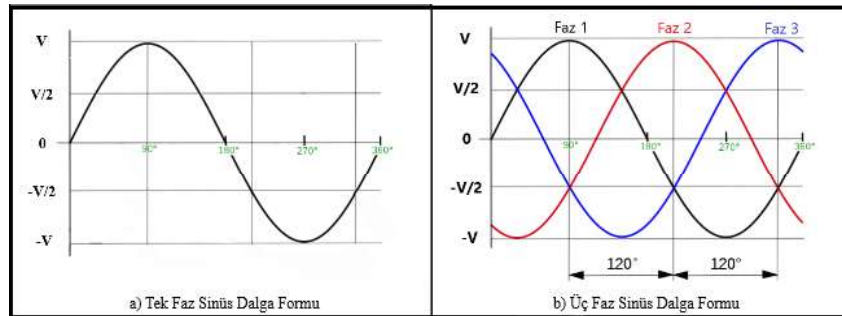
- Standartlaşma ve performans kriterlerinin gelişmesi,
- Gelişen teknoloji ile birlikte kullanılan cihazların güç kalitesi problemlerine karşı hassas olmaları,

- Hız kontrol cihazları gibi elemanların yaygınlaşması sonucu enerji kalitesini olumsuz etkilemesi,
- Kullanıcıların daha kaliteli enerji talep etmesi,
- Güç kalitesi izleme cihazlarının gelişmesi

gibi konular etkili olmuştur (Eroğlu, 2009).

Elektrik enerjisi, gerilim ve akımla ilişkili olduğu için enerji kalitesine gerilim ve akım kalitesi diyebileceğimiz gibi güç kalitesi de diyebiliriz.

Elektrik yükü için enerji kaynağının ideal güç kalitesine ilişkin Şekil 3.6 (a)'da tek fazlı gerilim dalga formu ve Şekil 3.6 (b)'de üç fazlı gerilim dalga formu yer almaktadır. Söz konusu şekillerde yer alan gerilimler elektrik şebekesinde bir yüke uygulandığında, yük akımı yükün karakteristik özelliklerine bağlı bir frekansa ve genliğe sahip olacaktır.



Şekil 3-6 Tek Faz-Üç Faz Sinüs Dalga Formları (Wikipedia, tarih yok).

Güç kalitesi,

IEEE 1159-1995 standardında, “*Hassas bir ekipmanın çalışmasına uygun şekilde güç sağlama ve topraklama kavramıdır.*”

IEEE 100 IEEE Standartları Terimlerinin Yetkili Sözlüğünde, “*Elektronik bir ekipmanın çalışmasına uygun şekilde şebeke ve diğer bağlı cihazlarla uyum içinde güç sağlama ve topraklama kavramıdır.*”

Elektrik Mühendisleri Standart El Kitabının 14. Baskısında, “*Buzdolabı motoru için iyi olan bir güç kalitesi günümüz kişisel bilgisayarları ve diğer hassas yükler için yeterince iyi olmayabilir, bu yüzden iyi güç kalitesini tanımlamak kolay değildir. Örneğin, kısa (anlık) bir kesinti motorları, ışıkları vb. fark edilir bir şekilde etkilemeyecektir ancak dijital saatler, videokaset kaydediciler (VCR) vb. için büyük sorunlara sebep olabilir.*”

olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca elektrik enerjisini tesis eden kurumların/kuruluşların ve bu enerjiyi tüketen kullanıcıların farklı problemleri baz alınarak farklı güç kalitesi tanımları yapılabilir. Görüldüğü üzere güç kalitesi konusunda farklı tanımlamalar mevcuttur.

Bir enerji kaynağı sisteminde bazı yüklerin çektiği akım kontrol edilemediği için sadece gerilimin kalitesi kontrol altında tutulabilir. Bu sebeple enerji kalitesine ilişkin standartlar gerilimin belirli seviyelerde kullanıcılara sunulmasını baz almıştır (Apay, 2008). Güç sistemlerinde ortaya çıkacak problemler büyük oranda yüklerden kaynaklanmakla birlikte bu problemlerin gerek şebeke için gerekse kullanıcılar için teknik ve ekonomik yönden olumsuz etkileri bulunmaktadır. Örneğin kısa süreli bir kesintinin, fabrikalarda yer alan ekipmanlarda oluşturacağı arıza veya üretim kayıpları maliyet olarak alınacak önlemlerin maliyetinden çok daha fazla olabilir. Enerji kalitesini artırmak için problemler ve bu problemlerin kaynakları belirlenmeli ve gerekli düzeltici işlemler yapılmalıdır, ayrıca problemlerin tekrarlanmaması ya da bu problemlerin asgari düzeye indirilmesi için önlemler alınmalıdır. Bazı kalite problemlerinin düzeltilmesi veya önlenmesi maliyetli bir iş olması sebebiyle bu işlemler yapılmadan önce fayda maliyet analizlerinin iyi yapılması da önemli bir husustur.

Enerji kalitesinin öneminin gün geçtikçe artması bu konuya ilişkin standartların hazırlanmasına da olumlu etki etmiştir. Enerji kalitesine yönelik standartlar geliştiren bazı kuruluşlar; Avrupa Standartları (EN Standart Store), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC-International Electrotechnical Commission), Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI-American National Standart Institute), ve Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE-The Institute of Electrical and Electronics Engineer) olarak sıralanabilir.

EN 50160 olarak isimlendirilen Avrupa Standardı, Türkiye’de ve birçok ülkede çevirileri yapılarak kullanılmakta ve diğer mevzuatlara temel oluşturmaktadır. Bu standart, AG ve OG seviyesindeki dağıtım şebekelerindeki enerji kalitesi limitlerinin belirlendiği önemli bir standarttır.

Mevcut durumda Türkiye’de elektrik dağıtım şebekelerindeki enerji kalitesine yönelik olarak, Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiş TS EN 50160:2011 ve tadilleri, TS EN 61000-4-7, TS EN 61000-4-15 ve TS EN 61000-4-30 standartları, IEEE Std.519-1992 standardı ve tadilleri ile 29 Aralık 2020 tarihli ve 31349 sayılı 1. Mükerrer Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Dağıtım Sisteminin Teknik Kalitesine İlişkin Usul ve Esaslar bulunmaktadır.

○ TS EN 50160:2011; Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri.

Kapsam: *“Bu standart, normal çalışma şartları altında alçak gerilim, orta ve yüksek gerilim AA elektrik şebekelerinde, bir şebeke kullanıcısının şebeke bağlantı noktalarındaki gerilimin ana karakteristiklerini tarif eder, açıklar ve belirler. Bu standart, münferit bir şebeke kullanıcısının genellikle yaşadığı ortalama durumu değil, genel elektrik şebekelerindeki tüm şebeke bağlantı noktalarında gerilim karakteristiklerinin içinde kalması beklenebilen sınırları veya değerleri açıklar.”* (TSE, 2011).

○ TS EN 61000-4-7; Elektromanyetik uyumluluk (emu) bölüm 4-7: Deneyler ve ölçme teknikleri - güç kaynağı sistemlerinde ve bunlara bağlı cihazlardaki harmonik ve ara harmoniklerin ölçmeleri ve ölçme cihazı için genel kılavuz.

Kapsam: *“Bu standard, 50 Hz ve 60 Hz’deki güç besleme sistemlerinin temel bileşenlerinin üzerine bindirilen, 9 kHz’e kadar olan frekans aralığındaki spektral bileşenlerin ölçülmesi için tasarlanmış olan ölçme cihazlarını kapsar. Uygulama değerlendirmeleri bakımından, bu standardda, harmonik frekans aralığından 9 kHz’e kadar olan harmonikler, ara harmonikler ve diğer bileşenler birbirinden ayrılmıştır.”* (TSE, 2005).

- TS EN 61000-4-15; Elektromanyetik uyumluluk (emu) - Bölüm 4 : Deney ve ölçme teknikleri - Kısım 15: Kırpışma ölçer - Fonksiyon ve tasarım özellikleri.

Kapsam: “IEC 61000-4 standardının bu bölümü, tüm pratik gerilim dalgalanma biçimleri için doğru kırpışma algılama seviyesini göstermesi öngörülen kırpışma ölçme cihazları için fonksiyon ve tasarım özelliklerini kapsar.” (TSE, 2015).

- TS EN 61000-4-30; Elektromanyetik uyumluluk (emu) - Bölüm 4-30: Deneyler ve ölçme teknikleri- Güç kalitesini ölçme metotları.

Bu standart, ana frekansı 50 Hz ve 60 Hz olan şebekelerdeki ölçümü gerçekleştirilecek güç kalite parametreleri için ölçüm süreleri ve aralıkları ve ölçümlerin yorumlanmasına ilişkin metotları kapsamaktadır. Ölçüm hassasiyetine göre Class-A ve Class-S olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır. Class-A hassas ve kesin ölçümler gerektiren durumlar, Class-S genellikle çok hassas ölçüm gerektirmeyen durumlar için hazırlanmıştır (TSE, 2017).

- IEEE 519-2014; IEEE Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Kontrolü için Önerilen Uygulama ve Gereksinimleri.

Doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin bulunduğu bir elektrik sistemi tasarımının tamamındaki gerilim ve akım dalga biçimleri ve sistem tasarımcısı için bu dalga biçimlerinde olabilecek bozulmaların sınırları belirlenmiştir (IEEE SA, 2014).

- Elektrik Dağıtım Sisteminin Teknik Kalitesine İlişkin Usul ve Esaslar’ın amaç ve kapsamı;

“**MADDE 1-** (1) Bu Usul ve Esasların amacı, elektrik enerjisinin teknik kalitesine ilişkin elektrik dağıtım şirketleri ve elektrik dağıtım sistemi kullanıcılarının hak ve yükümlülükleri ile uygulamaya ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

(2) Bu Usul ve Esaslar; teknik kalite parametrelerine ilişkin tanımları ve bu parametrelerin sınır değerlerini, teknik kalitenin ölçülmesine, teknik kalite ölçümlerinin

raporlanmasına ve teknik kalite ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine ilişkin usul ve esasları kapsar.”

olarak belirlenmiştir.

3.3 Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kalitesi Problemleri

Güç sistemlerindeki doğrusal olmayan yüklerden kaynaklı olarak enerji kalitesinde problemler yaşanabildiği bu sebeple de enerji kalitesi konusunun önem kazandığı bir önceki bölümde ifade edilmişti. Bu bölümde ise enerji kalitesine ilişkin yaşanabilecek problemlerin neler olduğu ve bu problemlerin izlenip tespit edilmesine ilişkin hususlar ifade edilecektir.

Elektrik dağıtım şebekelerine bağlı olan yükler teknik özelliklerine göre şebekeden akım çekmektedir. Yük akımının dalga formu sinüzoidal ise yük “doğrusal”, yük akımının dalga formunda bozulmalar olmuşsa yük “doğrusal olmayan” olarak adlandırılır. Dalga formunda bozulmalar olan bir yük akımı, kaynak sistemindeki gerilimde bozulmalara sebep olabilir, bu bozulmalarda zayıf güç kalitesinin göstergesidir (Kusko & Thompson, 2007). Elektrik dağıtım şebekesinde yaşanacak bu teknik bozulmalar şebekeye bağlı diğer hassas cihaz ve ekipmanların istenmeyen durumlarda çalışmasına ve arızalanmalarına yol açabilmektedir. Bu nedenle elektrik dağıtım şebekelerindeki enerjiye ilişkin verilerin belirli bir süre ölçüm cihazlarıyla izlenmesi ve bu verilerin analiz edilmesi, kaliteye ilişkin problemlerin tespit edilmesi ve sınıflandırılması hem enerji sağlayıcılar hem de kullanıcılar için önemlidir.

Enerji kalitesine ilişkin problemlerin her biri farklı frekans bantlarında karakterize edilmeleri sebebiyle elektrik dağıtım şebekelerindeki enerji kalitesine ilişkin problemler gerilim veya akım dalga şekillerinin farklı frekans bantlarına ayrıştırılmasıyla tespit edilebilir. Örneğin ark fırınlarından kaynaklı oluşacak bir gerilim titreşimi 25 Hz’den daha düşük bir frekansta karakterize edilirken darbe biçiminde oluşacak geçici bir olay sonucu oluşacak bir problem ise 1-4 MHz gibi frekanslarla karakterize edilir (Bayhan & Demirbaş, 2009).

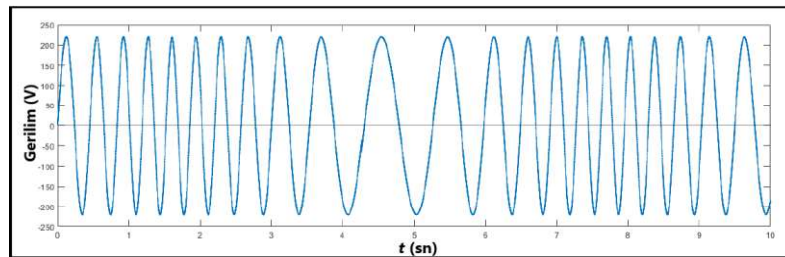
İşaret işleme yöntemlerindeki gelişmelerle birlikte enerji kalitesine ilişkin problemlerin tespit edilmesinde farklı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin harmoniklerin tespiti için Fourier Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü ve bu iki yöntem birlikte kullanılabilir. Fourier Dönüşümü bir dalga şeklinin harmonikleri hakkında bilgi verir ancak herhangi bir andaki durumun incelenebileceği zaman bilgisi bulunmaz. Dalgacık Dönüşümünün ise zaman bilgisi de içermesinden dolayı elektrik dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek ani ve geçici durumlar ile kısa ve uzun süren değişimlerin tespit edilmesi ve sınıflandırılması için kullanılabilir (Bayhan & Demirbaş, 2009). Sonuç olarak, tespit edilmek istenilen probleme ve bu problem ile ilgili ihtiyacımız olan bilgilere göre farklı tespit yöntemleri kullanılması gerekmektedir.

Ölçüm cihazlarıyla belirli bir süre veri topladıktan sonra yapılan çeşitli analizlerle gerilimin anma değeri, frekansı ve dalga şekli incelendikten sonra tespit edilen problemler sınıflandırılması gerilimin değerlerinin değişimi ve gerçekleşen problemin süresi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu kapsamda enerji kalitesindeki problemler OG ve AG seviyelerinde sürekli olaylar ve gerilim olayları başlıkları altında incelenecektir.

3.3.1 Sürekli Olaylar

3.3.1.1 Şebeke Frekansı Değişimleri

Jeneratör kaybı ve büyük yük değişikliklerinden (jeneratör ve yük arasındaki dengeden dolayı) kaynaklı olarak elektrik şebekesinin temel frekansında olan sapsmalara şebeke frekans değişimi denir. Aniden büyük yüklerin devreye girmesi sonucu frekans düşer, aniden büyük yüklerin devreden çıkması sonucu ise frekans yükselir ve bu iki durumda da jeneratörler ile frekans tekrar eski seviyesine getirilir (Yurduseven, 2020). Şekil 3.7’de frekans değişiminin sinüzoidal dalga formunda gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3-7 Şebeke Frekansı Değişimi (Yurduseven, 2020).

Elektrik dağıtım şebekelerinde besleme geriliminin anma frekansı 50 Hz'dir. Normal çalışma şartlarında 10 s boyunca ölçülen temel frekansın ortalama değerlerinin belirli aralıklar içerisinde olması istenir. Bu aralıklara ilişkin TS EN 50160 Standardında belirlenen sınır değerler baz alınarak, enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı sistemler için Tablo 3.1, enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı olmayan sistemler için Tablo 3.2 hazırlanmıştır.

	Ölçüm Tekniği	AG Seviyesi	OG seviyesi
Şebeke Frekansı	Bir yılın %99,5'i boyunca normal çalışma şartları altında 10 s boyunca ölçülen temel frekansın ortalaması değeri alınarak.	50 Hz $\pm$ % 1 (49,5 Hz ... 50,5 Hz)	
	Tüm zamanın (%100) normal çalışma şartları altında 10 s boyunca ölçülen temel frekansın ortalaması değeri alınarak.	50 Hz $\pm$ 0,1 Hz	

Tablo 3-1 Enterkonnekte Sisteme Senkron Bağlantılı Sistemler İçin Sınır Değerler.

	Ölçüm Tekniği	AG Seviyesi	OG seviyesi
Şebeke Frekansı	Bir haftanın %95'i boyunca normal çalışma şartları altında 10 s boyunca ölçülen temel frekansın ortalaması değeri alınarak.	50 Hz $\pm$ % 2 (49 Hz ... 51 Hz)	
	Tüm zamanın (%100) normal çalışma şartları altında 10 s boyunca ölçülen temel frekansın ortalaması değeri alınarak.	50 Hz $\pm$ % 2 (49 Hz ... 51 Hz)	

Tablo 3-2 Enterkonnekte Sisteme Senkron Bağlantılı Olmayan Sistemler İçin Sınır Değerler.

3.3.1.2 Gerilim Değişimleri

Şebekeye bağlı olan büyük yüklerdeki değişiklikler, kısa devre, toprak bağlantıları ve enerji kaynağına fazla yüklenme gibi sebeplerden kaynaklı olarak gerilimin artması ya da azalmasına gerilim değişimleri denir.

TS EN 50160 Standardında, normal çalışma şartlarında gerilim değişimlerinin AG için anma gerilimi U_n nin $\pm$ %10'unu, OG için ise beyan edilen gerilimin $\pm$ %10'unu aşmaması istenilmektedir. Kesinti periyotları bu hesaba dahil değildir. İletim

sistemleriyle enterkonnekte olmayan şebekelerdeki elektrik beslemelerinde veya özel uzak şebeke kullanıcıları için gerilim değişimlerinin, AG için U_n nin $+ \%10 / -\%15$ 'ini, OG için ise U_c nin $+ \%10 / -\%15$ 'ini aşmaması istenir. Besleme gerilim değişimlerine ilişkin TS EN 50160 Standardında yer alan sınır değerler baz alınarak Tablo 3.3 hazırlanmıştır.

Gerilim Değişimleri	Ölçüm Tekniği	AG Seviyesi
	Bir haftalık bir ölçme periyodu boyunca besleme geriliminin 10'ar dakikalık ortalama etkin değerlerinin $\%95$ 'i alınarak.	$\pm\%10$
	Tüm zamanın besleme geriliminin 1'er dakikalık ortalama değerlerinin $\%100$ 'ü alınarak.	$+\%10 / -\%15$
	Ölçüm Tekniği	OG Seviyesi
	Bir haftalık bir ölçme periyodu boyunca besleme geriliminin 10'ar dakikalık ortalama etkin değerlerinin en az $\%99$ 'u alınarak.	$\pm\%10$
	Tüm zamanın besleme geriliminin 10'ar dakikalık ortalama etkin değerlerinin $\%100$ 'ü alınarak.	$\pm\%15$

Tablo 3-3 Besleme Gerilim Değişimleri Sınır Değerleri.

3.3.1.3 Hızlı Gerilim Değişimleri

TS EN 50160 Standardına göre, değişim seviyesi $\pm\%10$ olarak kararlaştırılmış gerilimin rms değerinde saniyede $\%0,5$ 'den daha hızlı bir şekilde oluşan değişimlere hızlı gerilim değişimi (HGD) denir. Bu değişimler sabit durum ve maksimum olarak (2) ve (3) numaralı eşitlikler ile ifade edilmektedir. Bu formüllerdeki $\Delta U_{steadystate}$, gerilim değişimi karakteristiğinden kaynaklı sabit durum gerilim değişimini; ΔU_{max} , gerilim değişim karakteristiği süresince maksimum gerilim farkını; U_{agreed} , kabul edilmiş (nominal ya da beyan edilen) gerilim seviyesini ifade etmektedir.

$$\%U_{steadystate} = \frac{\Delta U_{steadystate}}{U_{agreed}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$\%U_{max} = \frac{\Delta U_{max}}{U_{agreed}} \cdot 100\% \quad (3)$$

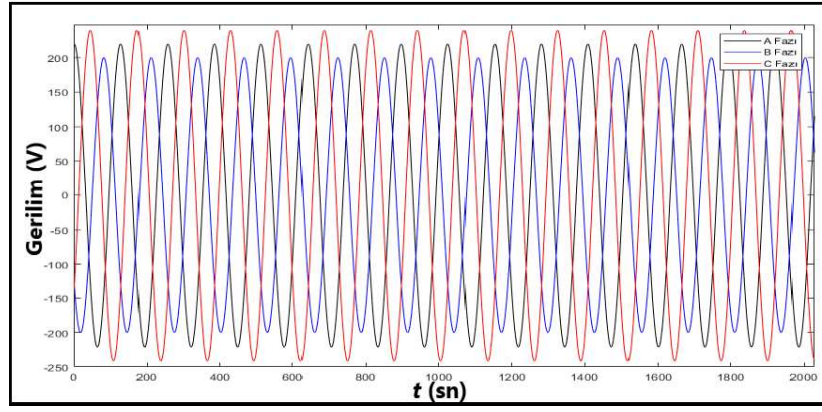
AG ve OG seviyelerinde şebekedeki yük değişimlerinden, sistemdeki anahtarlamalardan ve arızalardan kaynaklı olarak besleme geriliminde hızlı gerilim değişimi meydana gelir. Gerilim değeri bu değişim sırasında gerilim çökmesi ve/veya gerilim yükselmesinin eşik değerleriyle çakışırsa olay gerilim çökmesi ve/veya yükselmesi olarak sınıflandırılır.

Kırpışma (Fliker) Elektrik Dağıtım Sisteminin Teknik Kalitesine İlişkin Usul ve Esaslar'da *“Işık şiddeti veya spektral dağılımı zamanla dalgalanan bir ışık uyarısının neden olduğu görsel algılamadaki düzensizlik etkisi.”* olarak tanımlanmıştır.

Kırpışmaya karşı hassasiyet değişkendir ve kırpışmanın nedeni ile süresine göre değişebilir.

3.3.1.4 Gerilim Dengesizliği

Jeneratörlerin iç arızalarından, fazlardaki dengesiz yük dağılımından ve simetrik olmayan arızalardan dolayı üç fazlı şebekelerde her bir fazın gerilim genliklerinin birbirlerine eşit olmaması veya faz açılarının 120°'den farklı olmasına gerilim dengesizliği denir. Gerilim dengesizlikleri, enerji kalitesinin bozulmasına, üç fazlı motorlarda aşırı ısınmaya ve elektronik kontrol devrelerinde hatalı çalışmalara sebep olmaktadır (Yurduseven, 2020). Şekil 3.8'de üç fazlı bir şebekedeki gerilim dengesizliğine ilişkin örnek sinüzoidal dalga formu gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3-8 Üç Fazlı Şebekede Gerilim Dengesizliğinin Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Yurduseven, 2020).

Gerilim dengesizliğinin derecesi, üç fazlı sistemde gerilimdeki maksimum sapmanın gerilime bölünmesi ya da gerilimin negatif bileşeninin pozitif bileşenine bölünmesi ile hesaplanabilir. Bu yüzden güç sistemindeki dengesizlik gerilimin anma değerindeki yüzdesel değişim olarak ifade edilebilir (Chattopadhyay, Mitra, & Sengupta, 2011). Üç fazlı bir sistemde fazlardan birindeki gerilim dengesizliği (4) ya da (5) numaralı eşitlikler ile gösterilebilir.

$$\frac{V - V'}{V} \times 100\% \quad (4)$$

Burada:

V , anma gerilimi

V' , ölçülen gerilimi

ifade eder.

$$DF = \frac{V_-}{V_+} \times 100\% \quad (5)$$

Burada:

DF, dengesizlik faktörünü

V_- , gerilimin negatif bileşeninin etkin değerini

V_+ , gerilimin negatif bileşeninin etkin değerini

ifade eder.

TS EN 50160 Standardında, normal çalışma şartlarında bir haftalık her bir periyot boyunca besleme geriliminin negatif kısmının 10'ar dakikalık ortalama etkin değerlerinin %95'inin pozitif kısma oranının %0 - %2 aralığında olması istenir. Gerilim dengesizliğine ilişkin TS EN 50160 Standardında yer alan sınır değerler baz alınarak Tablo 3.4 hazırlanmıştır.

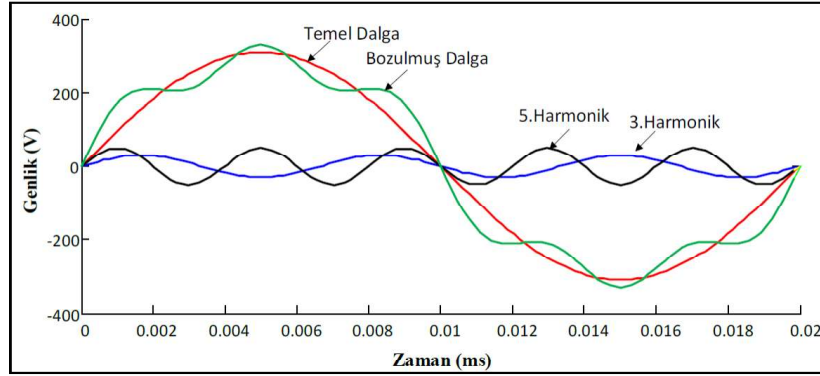
Gerilim Dengesizliği	Ölçüm Tekniği	AG Seviyesi	OG seviyesi
	Bir haftalık her bir ölçüm periyodunda besleme geriliminin negatif kısmının 10'ar dakikalık ortalama etkin değerinin pozitif kısma oranı alınır.	%0 - %2	%0 - %2
	Not: Bazı bölgelerde üç faz şebeke bağlantı noktalarında dengesizlik %3'e kadar çıkabilir.		

Tablo 3-4 Besleme Gerilim Dengesizliği Sınır Değerleri.

3.3.1.5 Harmonik Gerilim

Frekansı temel frekansın tam katsayısı ve dalga şekli sinüzoidal olan gerilim ve akım sinyallerine harmonik denir. Doğrusal olmayan yüklere uygulanan gerilim sonucunda çekilen akım değerleri saf sinüs formundan farklı olabilir. Bu yüzden harmonik bozulmalar, şebekeye bağlı doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanmaktadır. Bozulmuş bir sinüzoidal dalga formu, temel frekans ve harmoniklerin toplamından oluşmaktadır. Şekil 3.9'da örnek bir temel dalga şekli, bozulmuş dalga şekli, ve 3 ile 5. harmonik bileşenler yer almaktadır. Birinci harmonik olarak geçen ana harmonik (şebeke

frekansı) 50 Hz’dir. 50 Hz’in tek katları olan üçüncü, beşinci, yedinci gibi harmoniklerin hepsi ana harmonik üzerinde bozucu etki oluşturmaktadır.



Şekil 3-9 Sinüs Dalga Şekli ve Harmonik Bileşenleri (Yıldırım, 2015).

Toplam Harmonik Bozulma (THB) Elektrik Dağıtım Sisteminin Teknik Kalitesine İlişkin Usul ve Esaslar’da “*Gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı yüzde olarak ifade eden ve aşağıdaki formül uyarınca hesaplanan değer.*” olarak tanımlanmıştır.

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}}{U_1} \times 100 \quad (6)$$

THB’nin bazı dezavantajları nedeniyle IEEE Std.519-1992 standardında Toplam Talep Bozulması (TTB) tanımlanmıştır ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir. Buradaki I_L maksimum talep yük akımını ifade etmektedir.

$$TTB = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} (I_h)^2}}{I_L} \times 100 \quad (7)$$

Başlıca harmonik kaynakları; doğrultucular, eviriciler, çeviriciler, kesintisiz güç kaynakları, bilgisayarlar gibi güç elektroniği içeren cihazlar, doyuma giden transformatörler, ark ocakları ve kaynak makinaları olarak sıralanabilir (Şenel, 2015).

Harmoniklerden kaynaklanan arızalar; transformatörler, elektronik cihazlar, motorlar ve kablolarda ısınmalar, makinalarda mekanik titreşimler, akkor flamanlı lambalarda fliker oluşması, elektronik cihazların uygunsuz şekilde çalışması, elektronik cihazlarda kart arızaları, kondansatör aşırı yüklenmeleri ve yalıtımlarının delinmesi, kompanzasyon sigortalarında açmalar, kesici ve şalter gibi koruyucu ekipmanların hatalı çalışması ya da hiç çalışmaması, rölelerin uygunsuz çalışması, motorların çalışma seslerinin artması ve enerji kayıpları olarak sıralanabilir (Kusko & Thompson, 2007; Şenel, 2015)

TS EN 50160 Standardına göre, normal çalışma şartlarında bir haftalık her bir periyot boyunca her bir münferit harmonik gerilimin 10'ar dakikalık ortalama etkin değerinin %95'i Tablo 3.5'te verilen değerlere eşit veya daha az olmalıdır. Rezonanslar her bir harmonik için daha yüksek gerilimlere sebep olabilir. Besleme geriliminin 40. dereceye kadar olan bütün harmoniklerin toplamı (THB) %8'e eşit veya daha az olmalıdır. Derecesi 25'den fazla olan harmoniklerin genelde küçük olması ve rezonans etkileri sebebiyle önceden tahmin edilmesinin zor olması nedenleriyle söz konusu harmoniklere ilişkin değerler Tablo 3.5'te yer almamaktadır.

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katları Olmayan		3'ün Katları Olan			
Derece h	Bağlı Genlik U _h	Derece h	Bağlı Genlik U _h	Derece h	Bağlı Genlik U _h
5	%3	3	%3	2	%1,5
7	%2,5	9	%1,5	4	%1
11	%2,5	15	%0,5	6	%0,5
13	%2	21	%0,5	>6	%0,3
17	%2	>21	%0,3		
19	%1,5				
23	%1,5				
25	%1,0				
>25	%0,5				

Tablo 3-5 Derecesi 25'e Kadar Olan Harmonik Gerilim Sınırları .

TS EN 50160 standardında gerilime ilişkin harmonik bozulma sınırları belirlenmiştir, akıma ilişkin harmonik bozulma sınırları ise burada belirlenmemiştir. Akıma ilişkin harmonik bozulma sınırları IEEE Std.519-1992 standardında belirlenmiş olup Tablo 3.6'da yer almaktadır.

I_{SC}/I_L *	< 11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Tablo 3-6 Akıma İlişkin Harmonik Bozulma Sınırları (Lucas, Bonavitacola, Kotsakis, & Fulli, 2015).

* I_{SC} : Kısa devre akımı, I_L : Maksimum talep yük akımı.

3.3.1.6 Ara Harmonik Gerilimler

Temel frekansın tamsayı katına eşit olmayan bir frekans değeri ile sinüzoidal dalga şekline sahip gerilimdir.

TS EN 50160 Standardında ara harmonik gerilimler ile ilgili,

“Frekans dönüştürücüler ve buna benzer kontrol donanımının uygulamasının gelişmesi nedeniyle ara harmoniklerin seviyesi artmaktadır. Seviyeler inceleme aşamasında olup daha fazla tecrübe gerektirmektedir.

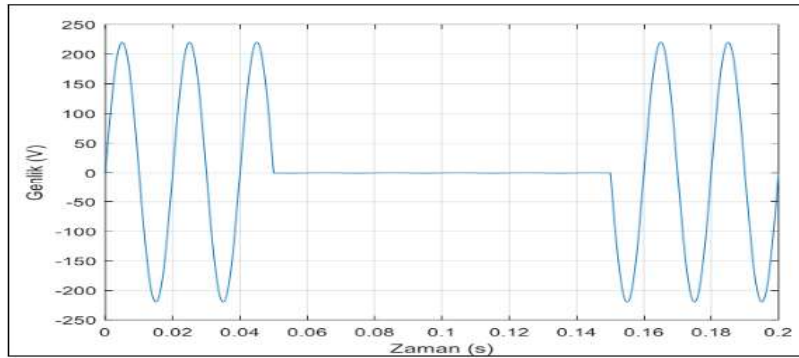
Bazı durumlarda düşük seviyelerde bile ara harmonikler, dalgacık kontrol sistemlerinde kırışmaya veya girişime neden olur.”

bilgisi bulunmaktadır.

3.3.2 Gerilim Olayları

3.3.2.1 Gerilim Kesintileri

Elektrik şebekesindeki gerilimin etkin değerinin nominal gerilimin %10'unun altına belirli bir süre düşmesi sonucu gerilim kesintileri oluşur. Elektrik sisteminin doğası gereği besleme gerilimi kesintilerinin sebepleri çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca bu kesintilerin yerleri ve zamanları önceden tahmin edilememektedir. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de gerilim kesintilerine ilişkin örnek gösterimler yer almaktadır.



Şekil 3-10 Gerilim Kesintisi Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Kulu & Vatansever, 2020).

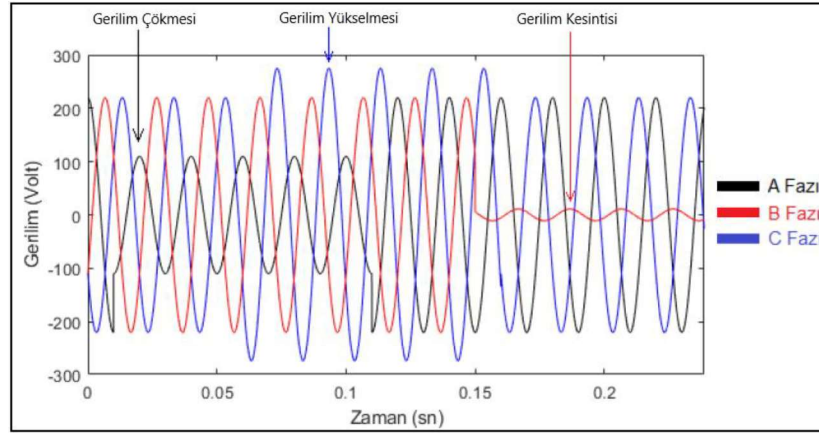
TS EN 50160 Standardında, 3 dakikadan kısa süren kesintiler kısa kesinti, 3 dakikadan uzun süren kesintiler uzun kesinti olarak tanımlanmaktadır.

3.3.2.2 Gerilim Çökmeleri/Yükselmeleri

Elektrik şebekesindeki gerilimin etkin değerinin nominal gerilimin %10'u ile %90'ı arasında düşmesine gerilim çökmesi denir. Yol alırken yüksek akım çeken motorların devreye girmesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Elektrik şebekesindeki gerilimin etkin değerinin nominal gerilimin %110'undan daha yukarı çıkmasına besleme gerilimi yükselmesi denir. Büyük güçlü yüklerin devreden çıkarılması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.11’de üç fazlı bir şebekede gerilim çökmesi, gerilim yükselmesi ve gerilim kesintisine ilişkin örnek dalga formu gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3-11 Üç Fazlı Bir Şebekede Gerilim Çökmesi, Gerilim Yükselmesi ve Gerilim Kesintisinin Sinüzoidal Dalga Formu Gösterimi (Yurduseven, 2020).

TS EN 50160 Standardına göre;

Elektrik şebekesinde veya şebekeye bağlı yük tesislerinde meydana gelen arızalardan kaynaklı olarak gerilim çökmeleri oluşur. Ayrıca önceden tahmin edilemezler.

Elektrik şebekesinde yapılan manevradan ve şebeke ile yükün bağlantısının kesilmesinden kaynaklı olarak gerilim yükselmesi oluşur. Ayrıca önceden tahmin edilemezler.

Gerilim çökmeleri ve yükselmeleri, anma besleme gerilimi baz alınarak EN 61000-4-30 Standardına göre ölçülür ve tespit edilir. AG seviyesinde; 4 telli 3 fazlı sistemlerde faz-nötr arası gerilim, 3 telli 3 fazlı sistemlerde faz-faz arası gerilim ve tek fazlı bağlantı durumunda besleme gerilimi (faz-nötr veya faz-faz) dikkate alınır. OG seviyesinde ise faz-faz arası gerilim dikkate alınır. Anma geriliminin % 90’ı gerilim çökmelerinin başlangıç eşik değeridir. Anma geriliminin %110’u ise gerilim yükselmeleri için başlangıç eşik değeridir. Uygulanacak ölçme yönteminden kaynaklı oluşacak ölçme belirsizliği hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

Gerilim çökmelerinin ve yükselmelerinin değerlendirilmesi EN 61000-4-30'a göre yapılır. AG seviyesinde üç fazlı bir sistemde ve OG seviyesinde, tek bir süre ve tek bir artık gerilimden karakterize edilen eşdeğer bir olayın tarifinden oluşan çok faz bütünleme uygulanır. Çoklu ardışık olaylar durumuna eşdeğer bir olayın tanımlamasından oluşan zaman bütünleme uygulanır.

Gerilim çökmelerinin sınıflandırılması aşağıda örnek olarak verilmiş olan Tablo 3.7'deki (Tablo 3.7 tavsiye olarak alınmalı) hücrelere eşdeğer olayların sayısı yazılarak yapılır. Bu tablo çok fazlı şebekelerin kalitesine ilişkin uygulanır, üç fazlı bir sistemin tek bir fazının gerilimini etkileyecek durumların değerlendirilmesi için daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Gerilim çökmelerinin süreleri elektrik şebekelerindeki koruma tasarımına (şebeke yapısı ve nört topraklamasına göre değişen) bağlı olması sebebiyle Tablo 3.7'de verilen süre sınırları değişebilir.

Artık Gerilim u %	Süre t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	HÜCRE A1	HÜCRE A2	HÜCRE A3	HÜCRE A4	HÜCRE A5
$80 > u \geq 70$	HÜCRE B1	HÜCRE B2	HÜCRE B3	HÜCRE B4	HÜCRE B5
$70 > u \geq 40$	HÜCRE C1	HÜCRE C2	HÜCRE C3	HÜCRE C4	HÜCRE C5
$40 > u \geq 5$	HÜCRE D1	HÜCRE D2	HÜCRE D3	HÜCRE D4	HÜCRE D5
$5 > u$	HÜCRE X1	HÜCRE X2	HÜCRE X3	HÜCRE X4	HÜCRE X5

Tablo 3-7 Gerilim Çökmelerinin Artık Gerilim ve Süreye Göre Sınıflandırılması (TSE, 2011).

Gerilim yükselmelerinin sınıflandırılması aşağıda örnek olarak verilmiş olan Tablo 3.8'deki (Tablo 3.8 tavsiye olarak alınmalı) hücrelere eşdeğer olayların sayısı yazılarak yapılır. Bu tablo çok fazlı şebekelerin kalitesine ilişkin uygulanır, üç fazlı bir sistemin tek bir fazının gerilimini etkileyecek durumların değerlendirilmesi için daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. AG ve OG şebekelerde veya şebekeye bağlı yük tesislerinde oluşan arızalar, gerilimli iletkenler ve toprak arasında geçici şebeke frekanslı aşırı gerilimler oluşturur.

Yükselme Gerilimi u %	Süre t ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	HÜCRE S1	HÜCRE S2	HÜCRE S3
$120 > u > 110$	HÜCRE T2	HÜCRE T3	HÜCRE T4

Tablo 3-8 Gerilim Yükselmelerinin En Yüksek Gerilim ve Süreye Göre Sınıflandırılması (TSE, 2011).

3.3.2.3 Geçici Rejim Aşırı Gerilimleri

Geçici rejim aşırı gerilimleri genellikle yıldırımlardan (endüklenmiş) veya şebekedeki anahtarlamalardan kaynaklanmaktadır. Geçici rejim aşırı geriliminin kaynağına göre enerji kapasitesi değişmektedir. Anahtarlamadan kaynaklı aşırı gerilimler genellikle yıldırımdan kaynaklı aşırı gerilimlere göre uzun sürmektedir. Bunun sebebi anahtarlamadan kaynaklı meydana gelen aşırı gerilimin genellikle yıldırımdan kaynaklı meydana gelen endüklenmiş aşırı gerilime göre genliğinin daha düşük ancak enerji kapasitesinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca anahtarlamadan kaynaklanan aşırı gerilimlerin yükselme zamanları daha kısa ve/veya süreleri daha uzun olabilir. Şebekedeki yüklerin genellikle geçici rejim aşırı gerilimlerine dayanıklı olarak tasarlanması beklenir.

4 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ

Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine; maliyet, teknik kalite problemleri, uzun ve kısa vadeli şebeke planlamaları gibi farklı alanlarda etkileri olmaktadır. Bu bölümde elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkileri aşağıdaki başlıklar kapsamında incelenmiştir. Ayrıca konuya ilişkin yapılmış örnek çalışmalarda yer alan verilerin analizi ile de EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

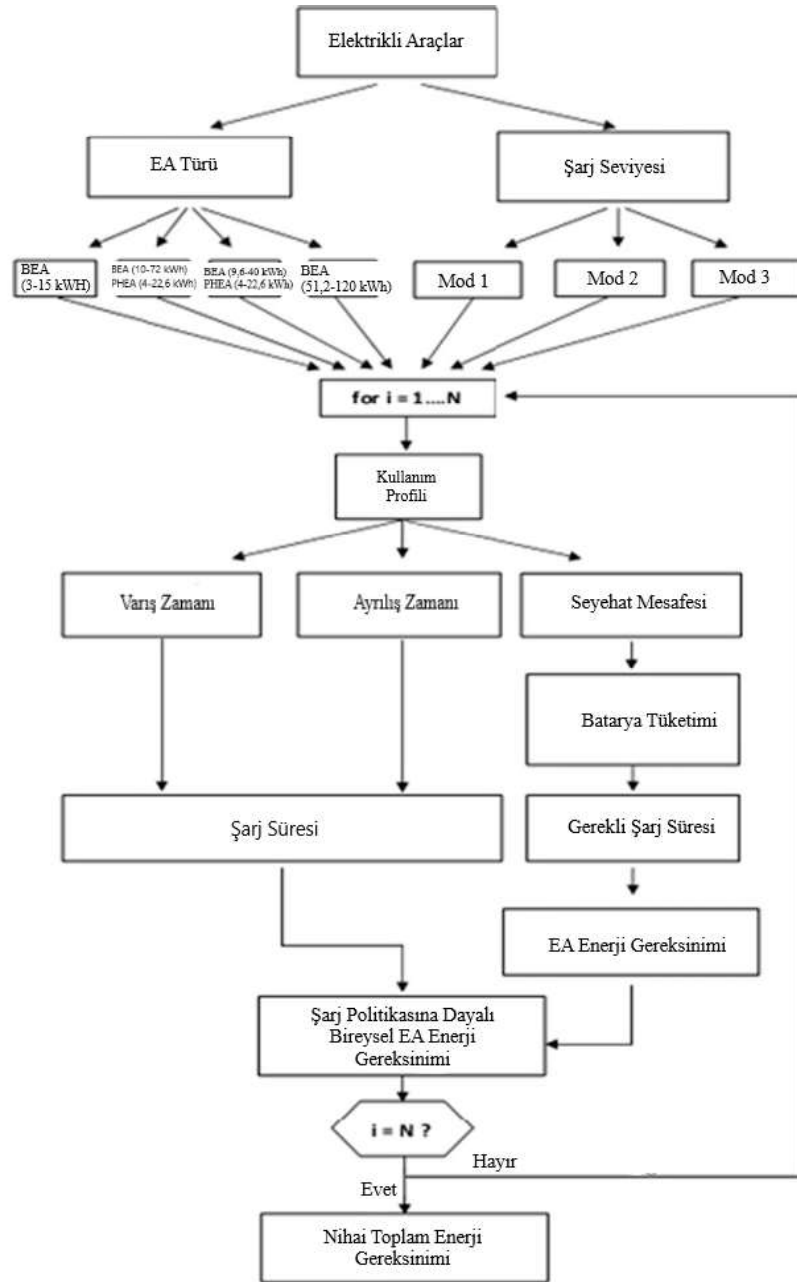
4.1 Puant Yük Talebine Etkileri

EA'ların şarjı için ihtiyaç duydukları enerji miktarı araçların türü (BEA,PHEA) ve söz konusu araçların batarya türleri gibi teknik özelliklerine göre değişmektedir. EA'ların şarj edilme ihtiyaçları ise kullanıcı sürüş profilleri ve günlük kat edilen mesafelere göre değişkenlik göstermektedir. EA şarj istasyonlarının şebekedeki güç talebine etkisi EA'ların şarj istasyonuna bağlanma zamanı, bağlı kalma süresi ve şarj istasyonunun tipine (geleneksel, orta hızlı, hızlı) göre değişmektedir (Garcia-Valle & Lopes, 2013). EA'ların dağıtım şebekesinde bulunan şarj istasyonları ile şarj edilmesi sırasındaki puant yüke etkisine ilişkin akış diyagramı Şekil 4.1'de yer almaktadır.

EA sayısının artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak dağıtım şebekesindeki EA şarj yükü oranları da artacaktır. Dağıtım şebekesindeki güç talebinin en yüksek olduğu saatlerde EA şarj yüklerinden kaynaklı bir güç talebinin şebekeye eklenmesi elektrik üretim miktarının artırılması ihtiyacını ortaya çıkaracaktır. Sınırlı sayıda üretim santralının olması durumunda puant zamanlarında EA şarj yüklerinden kaynaklı enerji talebine karşılık verilemeyecektir. Üretim santrallerinin yeterli olması ve puant zamanında enerji talebine karşılık verilebilir olması durumunda da altyapı yetersiz ise dağıtım şebekesini zorlayacak bir puant yük artışı gerçekleşecektir.

Nyns, Haesen ve Driesen (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, IEEE 34 test sisteminde yük modeli oluşturulmuş ve burada EA şarj yük talebi toplam yüke göre %30 seviyesine çıktığında puant yükte oluşacak değişim incelenmiş. Bu çalışmada, şebekede

kontROLSÜZ şarj işleminde puant yükün %56,5 oranında arttığı, kontrollü şarj işleminde ise puant yükün %8,6 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Çiftçi, 2019).



Şekil 4-1 EA Şarjının Puant Yüke Etkisi (Garcia-Valle & Lopes, 2013).

4.2 Şebeke Ekipmanlarının Aşırı Yüklenmesi

EA'ların artmasıyla birlikte şarj işlemi için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi talebi de artacaktır. Artan enerji talebi ise elektrik dağıtım şebekesi üzerinde çeşitli etkiler oluşturacaktır. Elektrik dağıtım şebekesinde kullanılan ekipmanların özelliklerinin

şekillenmesinde diğer parametrelere ek olarak yük tahmini ve sıcaklık parametrelerinin temel bir etkisi bulunmaktadır. EA şarj yüklerinden kaynaklı aşırı yüklenmelere karşı en hassas şebeke bileşenleri AG şebeke fiderleri ve dağıtım transformatörleridir. Transformatörlere kısa süreliğine güvenli bir şekilde aşırı yüklenme yapılabilir ancak bu çalışma şartındaki yük oranı uzun süre dengelenmemişse transformatörlerin ömrü azalacaktır. Transformatör ve fiderlerin ısınan kısımları ve bu kısımların ömürlerinin azalması arasında önemli bir ilişki vardır. Isınan kısımların sıcaklığına yüklenmelerin yanında ortam sıcaklığı da etki etmektedir. Gong ve arkadaşları (2011) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki genellikle 25 kVA dağıtım transformatörlerini içeren bir çalışmada, normalde 20,55 yıllık ömrü olan bir transformatörden iki EA'nın kontrolsüz şekilde şarj edilmesi durumunda ömrünün 6,7 yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu da kontrolsüz EA şarj işleminin transformatörlerin ömürlerine önemli derecede etki ettiğini göstermektedir. Genellikle 1000 kVA olan Avrupa'daki dağıtım transformatörleri üzerinde bir EA'nın şarj edilmesi daha az etki oluşturacaktır. EA şarj yükünün etkisi, yüklenmedeki artış oranı ve göreceli olarak da yük oranına bağlıdır. Bu kapsamda, aynı anda fazla sayıda EA şarjının ve yüksek şarj oranlarının şebekedeki bileşenlerin ömürlerine etki edeceği yorumu yapılabilir (Atla, ve diğerleri, 2019).

4.3 Gerilim Sınırı İhlalleri

EA'ların şarjı için ihtiyaç duyulan enerjinin elektrik dağıtım şebekesinden karşılanması şebekedeki toplam güç talebini artıracaktır. Gerilim düşümünün yük ile ilişkili olduğu durumlarda, EA şarjı için şebekedeki artan güç talebinden kaynaklı olarak AG ve OG şebekelerinde gerilim düşümü yaşanacaktır. AG şebekelerdeki gerilim düşümü OG şebekelerdekine göre çok daha fazladır, bunun nedeni yük altında kademe değiştiricilerin genellikle AG şebekesine enerji akışının sağlandığı transformatörlerde kullanılmamasıdır. Ayrıca elektrik hatlarında transformatörden uzaklaştıkça daha fazla gerilim düşümü yaşanır, bu nedenle özellikle hatların uzun olduğu kırsal şebekelerde transformatöre en uzak olan kullanıcı için gerilim düşümü yaşanması daha muhtemeldir. Bu kapsamda EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesindeki konumları önemlidir (Atla, ve diğerleri, 2019).

EA'lar, şarjın başlangıcı sırasında şebekeden birkaç milisaniye boyunca ani yüksek akım çekecektir. Şarj istasyonlarında bulunan güç elektroniği ekipmanlarından

kaynaklı olarak şebekeye akım harmonikleri girmesi sonucu, şebeke empedansı yükseğe şebekenin harmonik limitleri aşılacak ve bu harmonikler şebeke gerilimini etkileyecektir (Atla, ve diğerleri, 2019).

4.4 Güç Sistemi Kayıpları

EA'ların şarjı ile artacak olan şebeke yükünden dolayı dağıtım şebekesinin çeşitli bileşenlerindeki kayıplar artacaktır. Şebekedeki kayıpların akımın karesiyle orantılı olması sebebiyle pik yük periyotları önemlidir. Görüleceği üzere akım ile kayıplar arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Bundan dolayı da EA sayılarının artmasından kaynaklı olarak şebekedeki artması muhtemel olan şarj istasyonları ve şarj yükünden dolayı oluşacak kayıplar şebeke işletmecileri için önemli bir sorun teşkil edecektir. Soares, Lopes ve Almeida (2010) tarafından yapılan bir çalışma, %50 EA etkisi ile günlük enerji kayıplarının %140 oranında arttığını göstermiştir. Şebekedeki şarj istasyonlarının beslendiği hatların uzunluğu ve faz dengesizlikleri de güç sistemi kayıplarının artmasına sebep olmaktadır (Atla, ve diğerleri, 2019).

4.5 Harmonikler

EA şarj istasyonu doğrusal olmayan bir yüküdür. Bundan dolayı da elektrik şebekesine bağlandıklarında çektikleri akım değerleri saf sinüs formundan farklı olabilir. Bu farklılıktan kaynaklıda şebekede harmonik bozulmalar oluşabilir. Başka bir ifadeyle, EA şarj istasyonlarında AC gücü DC güce dönüştürmek ve elde edilen DC gücü istenilen seviyede DC güce ayarlamak için güç elektroniği elemanları kullanılır. Bu dönüştürme ve ayarlama işlemleri gerilim ve akım harmonik bozulmalarına sebep olabilir. EA'ların şarj süresi boyunca şarj kontrol ekipmanı farklı şarj aşamalarına geçiş yapar, bundan dolayı da şarj istasyonu aracılığıyla çekilen akımın toplam harmonik bozulması zamana göre değişecektir. EA şarj istasyonları farklı teknik özelliklerde üretilebilmektedir. Farklı teknik özelliklere göre üretilen EA şarj istasyonlarının şebekede oluşturacağı harmonik bozulma seviyeleri değişecektir. Şebekede yer alan EA şarj istasyonlarının kaç adet olduğu da harmonik bozulma seviyesine etki etmektedir. Aynı fider üzerinde daha fazla şarj istasyonu ile EA'ların aynı anda şarj edilmesi harmonik bozulmaları artıracaktır (Atla, ve diğerleri, 2019). Bu harmonik bozulmaların transformatörler, kablolar ve

koruyucu ekipmanlar üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerinden bazıları aşağıda yer almaktadır.

- Transformatörler

Aktif güç tüketimini ve verimliliği düşüren yüksek I^2R kayıplarını oluşturan akım harmoniklerinin sargılarından geçmesi, transformatörleri olumsuz etkilemektedir. Artan harmonikler, girdap akımı kayıplarını artıracak ve artan girdap akımları da transformatör sargılarının anormal şekilde ısınmasına sebep olacaktır. Sıcaklık artışıyla da yalıtım sorunu oluşacak ve transformatörün ömrü azalacaktır (Atla, ve diğerleri, 2019).

- Şebeke hatları ve kabloları

Harmoniklerin artmasıyla birlikte I^2R kayıpları da artacak ve bu da iletkenlerin aşırı ısınmasına sebep olacaktır. Ayrıca sistem rezonansında etkisi olan hatlar, dielektrik arızasına yol açabilecek gerilim stresine ve koronaya maruz kalabilir (Bass & Zimmerman, 2013.).

- Röleler, anahtarlama ve ölçüm ekipmanları

Harmoniklerden kaynaklı olarak oluşacak yüksek seviyedeki güç değerlerinden dolayı rölelerde beklenmeyen çalışma durumları olabilir. I^2R kayıplarından dolayı artacak olan ısınma nedeniyle anahtarlama ekipmanlarının kararlı durum akım taşıma kapasiteleri azalır, yalıtım bileşenlerinin ömrü azalır ve beklenmeyen çalışma durumları olabilir (Bass & Zimmerman, 2013.).

- Kapasitörler

Harmonik frekans LC zaman sabiti ile rezonans halindeyse harmonikler kapasitörleri olumsuz etkileyecektir. Rezonans halindeki kapasitörler içinde I^2R kayıplarından dolayı gerilim ve ısınma artar, bunun sonucunda da kapasitörün ömrü azalır veya bozulur (Bass & Zimmerman, 2013.).

4.6 Gerilim Flikerleri

EA şarj istasyonlarının şebekedeki değişimleri kompanze eden jeneratörlerden daha hızlı bir şekilde şebekeye bağlanması ya da bağlantısının kesilmesi ışık titreşimlerine yol açan gerilim flikerlarına veya gerilim dalgalanmalarına neden olabilir. Oluşacak bu problemler şebekedeki gerilimi belirli bir seviyede tutmak için kullanılan ekipmanların ömrünü kısaltabilir (Atla, ve diğerleri, 2019).

4.7 Sistem Dengesizliği

Tek fazdan beslenen EA şarj istasyonlarının aynı anda farklı fazlarda farklı sayılarda kullanılması durumunda bir fazda oluşacak gerilim ve akım değerleri diğer fazlardan farklı olacaktır. Yani yükler şebekenin üç fazına da eşit şekilde dağıtılamayacaktır. Bu da her fazdan farklı akım çekileceği, dolayısıyla da fazların farklı gerilim seviyelerine sahip olacağı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak fazlar arası korunması gereken faz açısında kaymalar olacak ve sistem dengesizliği meydana gelecektir. Sistem dengesizliği, EA şarj istasyonlarında simetrik üç faz kullanılarak veya faz seçiciler kullanılarak azaltılabilir.

4.8 Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Dağıtım Şebekesine Etkilerine İlişkin Yapılmış Çalışmalar

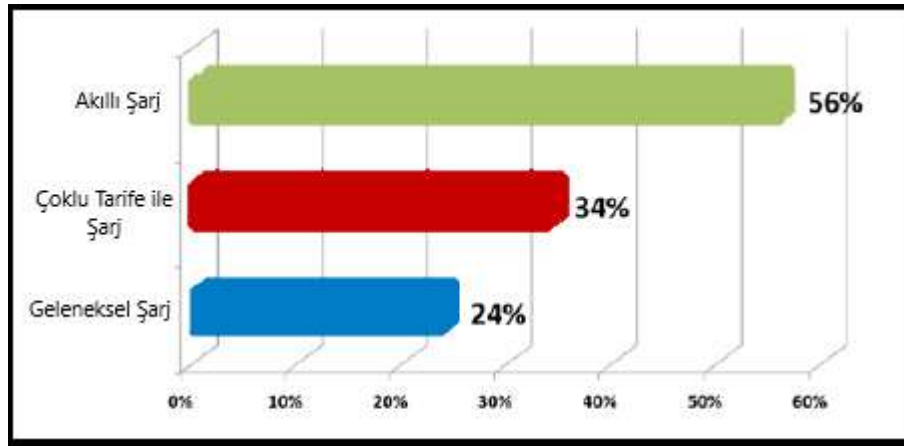
Bu başlık altında, EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkileri daha önce yapılmış 8 adet örnek çalışmanın sonuçlarından yararlanılarak incelenmiştir.

4.8.1 Örnek Çalışma 1

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Atla, ve diğerleri, 2019)'dan alınmıştır. Bu çalışmada, seçilen bir pilot OG şebekesi ve belirlenen geleneksel şarj, çoklu tarife ile şarj ve akıllı şarj senaryolarının şebekedeki gerilim profiline, hat/kablo yüklenmelerine ve enerji kayıplarına etkilerine yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Yük profilinde ve EA enerji gereksinimlerindeki değişiklikler:**

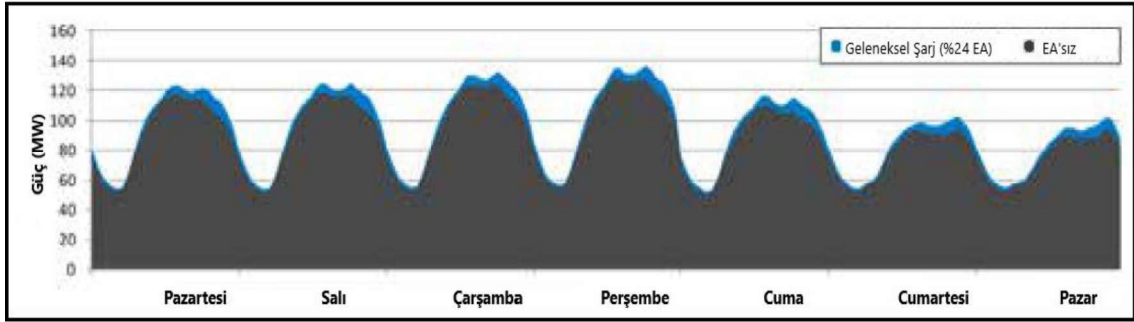
Bu çalışmada, EA şarj yüklerinin seçilen pilot bir OG şebekeye etkisi geleneksel şarj, çoklu tarife ile şarj ve akıllı şarj olmak üzere üç farklı şarj senaryosu ile incelenmiştir. Pilot bölge olarak seçilen kentsel elektrik şebekesinin (OG seviyesi) kapsadığı 21.135 adet içten yanmalı motorlu araca ve şebekenin haftalık yük eğrisine göre maksimum EA'nın şebekeye entegrasyonuna ilişkin yüzdeler Şekil 4.2'de yer almaktadır. Bu yüzdeler sonucu şebekeye güvenli bir şekilde entegre olabilecek araç sayısı geleneksel şarj için 5.072, çoklu tarife yapısı için 7.186 ve akıllı şarj için 11.836'dır. Bu rakamlar aynı zamanda şebekede olması gereken EA şarj prizlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4-2 Kentsel Elektrik Şebekesine Maksimum EA'nın Entegrasyonu Yüzdeleri
(Atla, ve diğerleri, 2019).

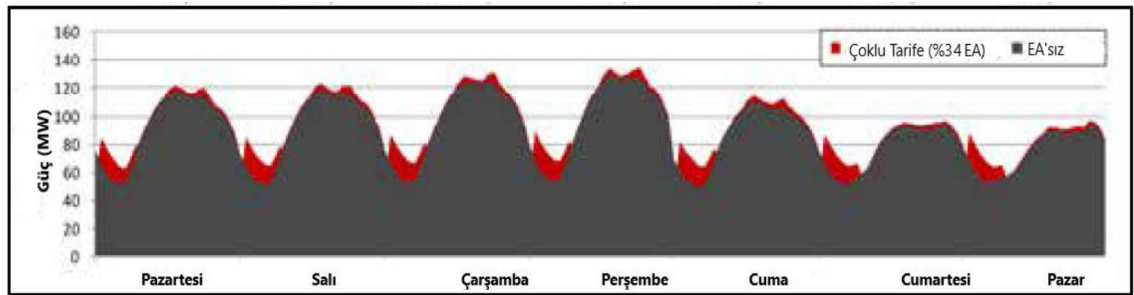
Analiz edilen tüm şarj senaryolarında EA entegrasyonunu sınırlayıcı neden hatların aşırı yüklenmesidir. Geleneksel şarj ve çoklu tarife yapısının bazı durumlarında aşırı yüklenmiş branşmanların hızlı şarj istasyonlarının konumlandırıldığı kabul edilen branşman olduğu varsayılmıştır. Muhtemelen bu varsayımdan dolayı, branşmanların aşırı yüklenmesinin ana nedeni hızlı şarj istasyonlarının yüksek seviyede güç çekmesidir. EA'sız senaryoda bu şebekenin pik yükü 128,5 MW'dır. Bu pik yükü; geleneksel şarj senaryosunda yaklaşık %5,5 oranında artarak 135,6 MW'a, çoklu tarife senaryosunda yaklaşık %4,2 oranında artarak 133,9 MW'a, akıllı şarj senaryosunda ise yaklaşık %2,8 oranında artarak 132,1 MW'a çıkmaktadır. Bu kapsamda araç ve şebeke verileri birlikte değerlendirildiğinde; şebekenin pik yükündeki en fazla artışın geleneksel şarj senaryosu kullanılarak şebekeye maksimum 5.072 adet EA'nın entegre edildiği durumda olduğu, şebekenin pik yükündeki en az artışın ise akıllı şarj senaryosu kullanılarak şebekeye maksimum 11.836 adet EA'nın entegre edildiği durumda olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3'te geleneksel şarj senaryosunun seçilen pilot bölgedeki haftalık yük eğrisine olan etkisi gösterilmiştir. Bu senaryodan kaynaklı günlük yüklerin, EA'sız senaryoda günlük şebekeye en fazla yüklenmenin olduğu zamanlarda oluştuğu görülmektedir. Bu da şebekedeki günlük pik yük seviyelerinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca geleneksel şarj senaryosu diğer şarj senaryolarına göre daha az EA şarj yükü içermesine rağmen şebekedeki pik yük artışına olan etkisi daha fazladır.



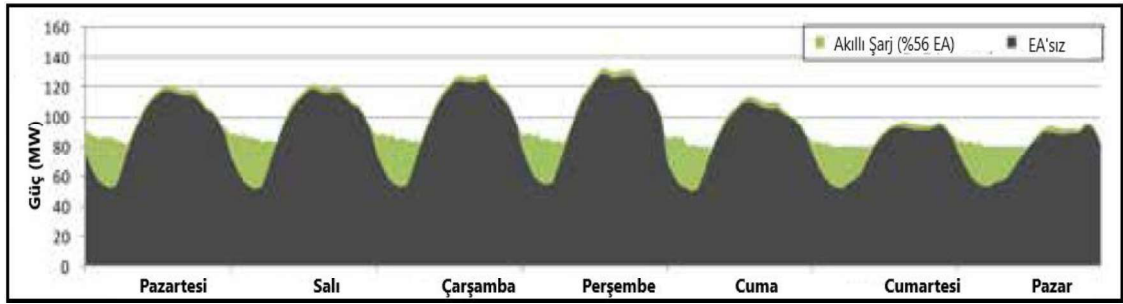
Şekil 4-3 Geleneksel Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).

Şekil 4.4'te çoklu tarife ile şarj senaryosunun seçilen pilot bölgedeki haftalık yük eğrisine olan etkisi gösterilmiştir. Bu senaryodan kaynaklı günlük yüklerin, EA'sız senaryoda günlük şebekeye en fazla yüklenmenin olduğu zamanlarda küçük bir seviyede oluştuğu ve EA şarj yüklerinin bir kısmının şebekeye yüklenmenin az olduğu zaman dilimlerine kaymış olduğu görülmektedir. Bu da şebekedeki günlük pik yük seviyelerinin geleneksel şarj senaryosuna göre daha az artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4-4 Çoklu Tarife ile Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).

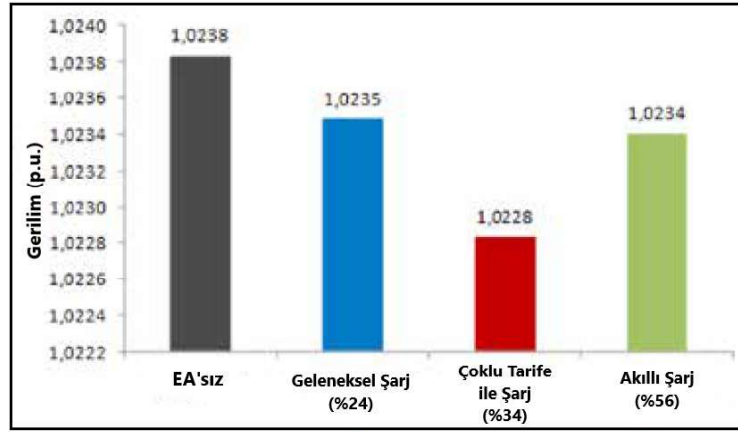
Şekil 4.5'te akıllı şarj senaryosunun seçilen pilot bölgedeki haftalık yük eğrisine olan etkisi gösterilmiştir. Bu senaryodan kaynaklı günlük yüklerin, EA'sız senaryoda günlük şebekeye en fazla yüklenmenin olduğu zamanlarda kısmen oluştuğu ve EA şarj yüklerinin büyük bir kısmının şebekeye yüklenmenin az olduğu zaman dilimlerine kaymış olduğu görülmektedir. Bu da şebekedeki günlük pik yük seviyelerinin diğer şarj senaryolarına göre çok daha az artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca akıllı şarj senaryosu diğer senaryolara göre daha fazla EA şarj yükü içermesine rağmen şebekedeki yük artışına olan etkisi daha azdır.



Şekil 4-5 Akıllı Şarj Senaryosunun Şebekedeki Pik Yüke Etkisi (Atla, ve diğerleri, 2019).

- **Gerilim profili:**

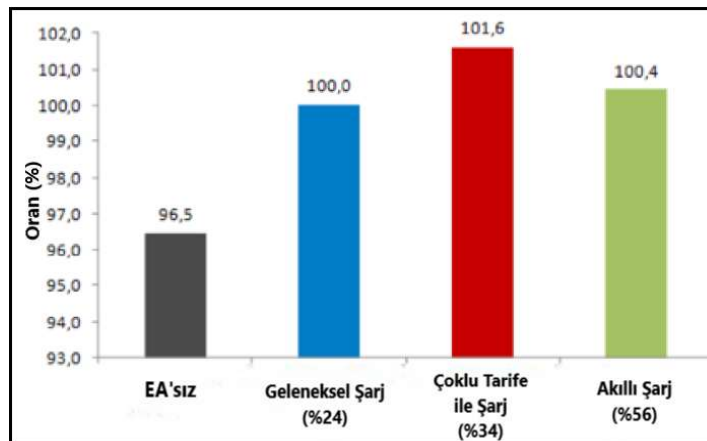
Şekil 4.6'da şarj senaryolarına göre maksimum EA entegrasyonuna ulaşıldığında şebekenin en kötü noktasında ölçülen gerilim değerleri "pu" biriminde gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, şarj senaryolarına göre EA'ların entegrasyonu ile oluşacak ek yükler gerilim seviyesinde ihmal edilebilir bir azalışa sebep olmuştur. EA'ların şarjı sırasında tüketilen aktif güç etkisiyle oluşacak şebeke eşdeğer empedans oranı (X/R) OG seviyesindeki şebekelerde AG seviyesindeki şebekelere göre yüksek olması bu şebekelerde gerilim düşümü sorunu yaşanması ihtimalini azaltmaktadır. Pilot olarak seçilen kentsel elektrik şebekesinin OG seviyesinde olması sebebiyle bu şebeke gerilim düşümü problemlerinden daha ziyade aşırı yüklenme problemlerine daha yatkındır.



Şekil 4-6 Pilot Bölgedeki Şebekenin En Kötü Noktasındaki Gerilim Değerleri (Atla, ve diğerleri, 2019).

- **Şebekedeki hat/kablo yüklenme seviyeleri:**

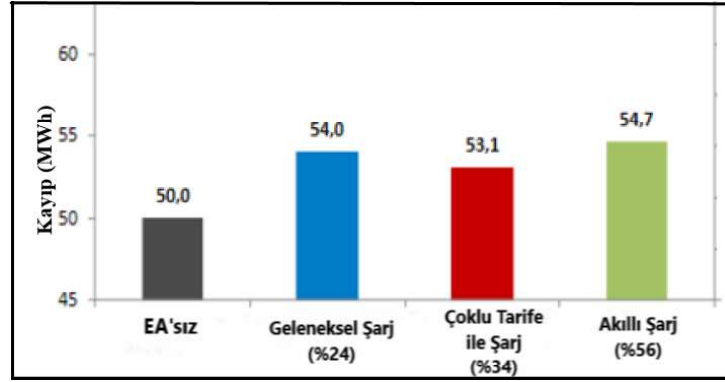
Şebekedeki hatlar/kablolar için en önemli nokta maksimum yüklenebilme seviyesidir. Bu senaryoda izin verilen maksimum yüklenme oranının %100 olduğu varsayılmaktadır. Üç farklı şarj yöntemi, yüklenmesi en fazla olan branşman hattına en yoğun olduğu saatlerde uygulanmıştır. Şekil 4.7'ye bakıldığında şebekede bulunan EA şarj yükünün artmasıyla birlikte branşmanların yüklenme seviyelerinin önemli ölçüde kötüleştiği görünmektedir. Bu durum çalışması daha fazla EA entegrasyonunu sınırlayan faktörlerden birinin de branşmanların yüklenme seviyeleri olduğunu göstermektedir.



Şekil 4-7 Pilot Bölgedeki Şebekenin En Kötü Branşmanındaki Yüklenme Oranları (Atla, ve diğerleri, 2019).

- **Enerji kayıpları:**

Kullanılan şarj yöntemleri için pilot bölgedeki şebekenin haftalık enerji kayıpları Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Şebekede EA şarj yüklerinin bulunmadığı EA’sız senaryoda kayıp miktarı 50 MWh’dır. EA entegrasyonunun en fazla olduğu akıllı şarj senaryosu 54,7 MWh ile kayıp miktarının en fazla olduğu senaryodur. EA entegrasyonunun en az olduğu geleneksel şarj senaryosu ise 54 MWh ile kayıp miktarında akıllı şarj senaryosundan sonra gelmektedir. Bu kapsamda EA şarj yüklerinin şebekede artmasının kayıp miktarını etkileyeceğini söylemek doğru olurken EA şarj yükleri şebekede arttıkça şebekedeki kayıplarında artacağını söylemek doğru olmayacaktır.



Şekil 4-8 Pilot Bölgedeki Şebekenin Haftalık Enerji Kayıpları (Atla, ve diğerleri, 2019).

4.8.2 Örnek Çalışma 2

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Satarworn & Hoonchareon, 2017)’den alınmıştır. Bu çalışmada, AG şebekesinde çeşitli varsayımlar ve farklı seviyelerde EA şarj yükü entegrasyonları ile evde şarj işleminin şebekede ve kullanıcıların memnuniyetinde oluşturacağı etkilere yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler**

Günümüzde ABD, Avrupa, Çin ve Japonya gibi ülkelerde birçok EA üreticisi bulunmakta ve söz konusu araçların kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışla birlikte özellikle kentsel bölgelerdeki gerilim değeri düşük bir dağıtım şebekesine EA’ların entegrasyonu şebeke üzerinde stres oluşturabilir. Gerilim değeri düşük dağıtım

trafoları daha sık olarak aşırı yüklenebilir. Dağıtım trafolarına kapasitelerinin üzerinde yüklenilmesi sonucu ömürleri kısalabilir ve çeşitli hasarlar oluşabilir. Bu durum dağıtım şebekesinin güvenilirliğini azaltır. Bu sebeplerden dolayı teknik özellikleri farklılık gösterebilen dağıtım trafolarında hangi oranlarda EA entegrasyonunda aşırı yüklenme problemleri oluşacağı konusunda analizler yapılmalıdır. Bu çalışmada, ev tipi EA şarj cihazlarının dağıtım trafolarının yüklenmesi üzerindeki etkilerinin uluslararası ve yerel (Tayland) standartlara uygunluğu değerlendirilmektedir. Ayrıca entegrasyon seviyesi ve sürüş performansı olmak üzere iki önemli husus araştırılmıştır.

Trafo aşırı yüklenmesinin defa(kere)/gün olarak ne sıklıkla meydana geldiğini açıklamak için (8)'de yer alan Trafo Aşırı Yüklenme Ortalama Frekans Endeksi (TAYOFE) eşitliği kullanılmaktadır. TAYOFE trafo yüklenmesinin tanımına karşılık gelmektedir. Aşağıdaki formülde yer alan TAYD, çalışma periyodunda (T) transformatörün aşırı yüklenme durumlarının toplam sayısını ifade eder. Bu çalışmada kullanılan standartlara göre TAYD, trafonun toplam yük kapasitesinin %80'i aştığı durumlardır.

$$TAYOFE = \frac{TAYD}{T} \quad (8)$$

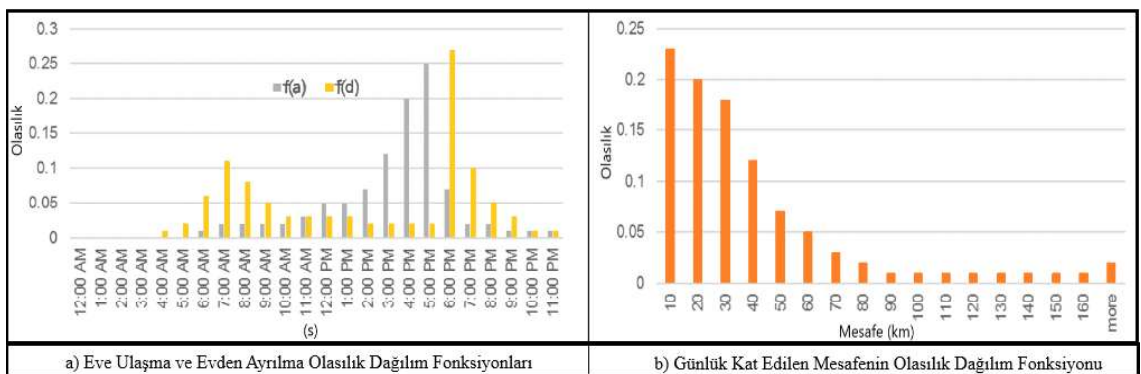
Trafonun yükleme sınırından daha fazla yüklendiği ortalama süreyi saat/gün olarak tanımlamak için (9)'da yer alan Trafo Aşırı Yükleme Ortalama Süre Endeksi (TAYOSE) eşitliği kullanılmaktadır. Bu formüldeki TAYS, çalışma periyodunda (T) transformatörün aşırı yüklenme süresini ifade eder. Bu çalışmada kullanılan standartlara göre TAYS, trafonun toplam yük kapasitesinin %80'i aştığı sürelerdir. TAYOSE'nin günlük 4 saati geçmemesi tavsiye edilmektedir.

$$TAYOSE = \frac{TAYS}{T} \quad (9)$$

EA kullanıcılarının memnuniyeti yüzdesel olarak tanımlamak için (10)'da yer alan Elektrikli Araç Başarılı Şarj Oranı (%EABŞO) eşitliği kullanılmaktadır. Bu formülden de görüleceği üzere %EABŞO, Başarılı Şarj Durumları (BŞD) ile Tüm Şarj Durumlarının oranıdır.

$$\%EAB\dot{S}O = \frac{B\dot{S}D}{T\dot{S}D} \times 100 \quad (10)$$

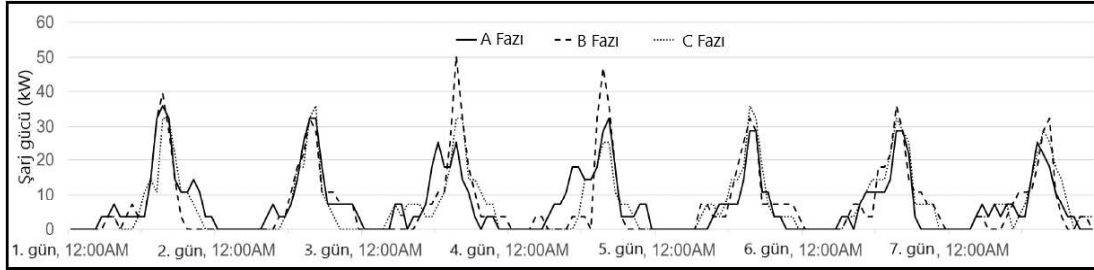
Bu çalışmadaki EA şarj yüklerinin karakteristiği Kanada'daki Winnipeg şehrindeki bir kentsel bölgeden toplanan EA sürüş profilleri verilerine dayalı olan stokastik (değişken, rastlantısal) bir model ile oluşturulmuştur. EA sürücülerinin eve ulaşma zamanları (EA'ların şarja bağlanma zamanları) ve bu sürücülerin evden ayrılma zamanları için olasılık yoğunluk fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar sırasıyla $f(a)$ ve $f(d)$ olmak üzere Şekil 4.9 (a)'da yer almaktadır. EA'lar ile günlük kat edilen mesafeler için olasılık yoğunluk fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar ($f(l)$) Şekil 4.9 (b)'de yer almaktadır. EA şarj süreleri hava şartları ve trafik durumu gibi koşullara göre değişebilmektedir ancak bu çalışmada EA şarj süreleri için EA sürüş performansı (maksimum sürüş mesafesi/maksimum batarya kapasitesi (km/kWh) ve şarj gücü (kW) kullanılmıştır. EA sürücülerinin eve ulaşma zamanları, evden ayrılma zamanları ve EA şarj süreleri EA'ların park ve şarj profillerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. EA park profili eve ulaşma zamanı ve evden ayrılma zamanı kullanılarak, EA şarj profili ise eve ulaşma zamanı ve şarj olma süresi kullanılarak oluşturulmuştur. Şarj profili ile park profilinin uyumlu olması için EA'nın şarj süresi tamamlanmamış olsa bile şarj işleminin durduğu kabul edilmiştir. Bu durumlarda %EABŞO'nun hesaplanmasında BŞD hesaba katılmayacaktır.



Şekil 4-9 Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Satarworn & Hoonchareon, 2017).

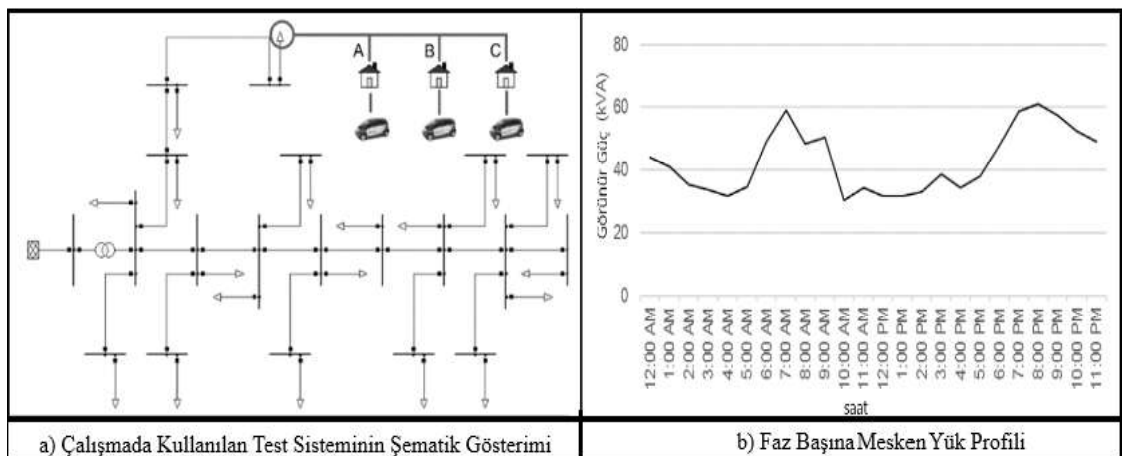
Yukarıda yer alan varsayımlar ve hesaplamalardan elde edilen veriler ile oluşturulan 57 adet EA'nın 7 günlük süre için toplam şarj yükü profilleri Şekil 4.10'da

yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde, şarj profillerinin 7 gün boyunca farklı eğilimler sergilediği ayrıca maksimum şarj gücünde günlere ve fazlara göre farklılıklar olduğu görülmektedir.



Şekil 4-10 57 Adet EA'nın 7 Günlük Süre için Toplam Şarj Yüğü Profilleri (Satarworn & Hoonchareon, 2017).

Yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi AG seviyesinde 250 kVA, 22/0.4 kV oranlı üç fazlı transformatör tarafından sağlanmaktadır. Her mesken tek fazla beslenmektedir ve bir meskende en fazla bir EA bulunmaktadır (Şekil 4.11 (a)). PEA'nın (Provincial Electricity Authority) gerçek yük verileri ile elde edilen 2015 yılındaki Tayland'daki faz başına günlük mesken yük profili örneği Şekil 4.11 (b)'de yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde, öğleden önce ve öğleden sonra olmak üzere transformatörün yaklaşık %80 oranında yüklendiği iki pik noktasının olduğu görülmektedir. Ortalama yük ise yaklaşık %50 seviyesindedir.



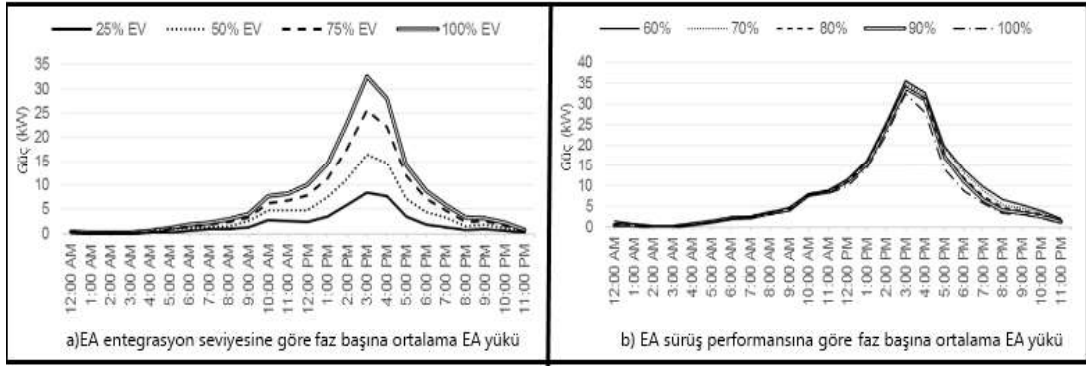
Şekil 4-11 Çalışmada Kullanılan Test Sisteminin Şematik Gösterimi ve Faz Başına Mesken Yük Profili (Satarworn & Hoonchareon, 2017).

EA ve ev tipi şarj cihazının performansı için 30 kWh'lik batarya kapasitesi için maksimum araç menzilin 172 km olduğu varsayılmıştır. Ev tipi şarj cihazı SAE J17772 standardına göre üretilmiştir ve çıkış gücü 3,6 kW'dır.

AG dağıtım şebekesindeki mesken sayısı ve EA sayısı arasındaki oran ile EA entegrasyon seviyesi belirlenmiştir. Bu çalışmada kapsamında 57 mesken ve her meskende en fazla bir adet EA olacak şekilde 57 adet EA bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle dağıtım şebekesinde 57 adet mesken yükü vardır ve 57 adet EA'nın dağıtım şebekesine bağlanması %100 entegrasyon durumuna eşittir. Tablo 4.1 (a)'da faz başına toplam EA entegrasyon seviyeleri yer almaktadır. Her EA entegrasyon seviyesi için faz başına EA şarj yükü profili Şekil 4.12 (a)'da yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde, EA şarj yüklerinin öğleden önce yaklaşık saat 3:00'den sonra oluşmaya başladığı ve öğleden sonra yaklaşık saat 11:00'de bu yüklerin sıfırlandığı, tüm EA entegrasyon seviyeleri için maksimum yükün öğleden sonra saat 3:00 civarında gerçekleştiği görülmektedir. %60'dan %100'e kadar beş farklı sürüş performansına ilişkin durumlar Tablo 4.1 (b)'de yer almaktadır. Her sürüş performans durumu için faz başına elde edilen EA şarj yükü profilleri Şekil 4.12 (b)'de yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde, EA şarj yüklerinin öğleden önce 1:00 ve 3:00 arasında oluşmadığı ve geriye kalan zaman dilimlerinde ise çeşitli seviyelerde oluştuğu, tüm EA sürüş performans seviyeleri için maksimum yükün öğleden sonra saat 3:00 civarında gerçekleştiği görülmektedir.

EA Entegrasyon Seviyesi	EA Sayısı			Sürüş Performansı (%)	Menzil (km)	Batarya Kapasitesi (kWh)	Sürüş Performansı (km/kWh)
	A Fazı	B Fazı	C Fazı				
0%	0	0	0	60%	103,2	30	3,43
25%	5	5	5	70%	120,4	30	4,01
50%	10	10	10	80%	137,6	30	4,58
75%	15	15	15	90%	154,8	30	5,16
100%	19	19	19	100%	172,0	30	5,73
a) Faz başına EA entegrasyonu				b) EA sürüş performans durumları			

Tablo 4-1 EA Entegrasyonu ve Sürüş Performans Durumları (Satarworn & Hoonchareon, 2017).



Şekil 4-12 EA Entegrasyonu ve Sürüş Performans Durumuna Göre Faz Başına Ortalama EA Yüğü (Satarworn & Hoonchareon, 2017).

• Örnek Çalışma 2'nin Sonuçları

Yukarıda yer alan varsayımlar ve çeşitli bilgiler kullanılarak farklı EA entegrasyon seviyesi ve sürüş performansı durumunun TAYOFE, TAYOSE ve %EABŞO'ya olan etkisi Tablo 4.2'de yer almaktadır. Tablo 4.2 (a)'da yer alan EA entegrasyon seviyeleri incelendiğinde, entegrasyon seviyesi arttıkça TAYOFE ve TAYOSE'nin de arttığı ancak %EABŞO'nun çok az artış ve azalışlar göstererek neredeyse aynı seviyede kaldığı görülmektedir. %75'lik EA entegrasyonunda günlük 4 saati geçmemesi tavsiye edilen TAYOSE'nin sınır değere çok yakın olduğu, %100'lük EA entegrasyonunda ise sınır değeri aştığı görülmektedir. Bu kapsamda, seçilmiş olan dağıtım trafosunun kapasitesi EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesine %75 oranında entegrasyonuna kadar yeterli olacaktır. Tablo 4.2 (b)'de yer alan EA sürüş performansı durumları incelendiğinde, EA sürüş performansı durumunu arttıkça %EABŞO'nun da arttığı ancak TAYOSE'nin azaldığı ve TAYOFE'nin ise çok az artış ve azalışlar göstererek neredeyse aynı seviyede kaldığı görülmektedir. TAYOSE tüm sürüş performansı durumlarında sınır değeri geçmiştir.

EA Entegrasyon Seviyesi	TAYOFE	TAYOSE	%EABŞO	Sürüş Performansı (%)	TAYOFE	TAYOSE	%EABŞO
0%	0,00	0,00	n/a	60%	2,60	6,57	86,67
25%	0,63	0,97	92,43	70%	2,67	6,27	87,85
50%	1,23	2,13	92,22	80%	2,70	5,90	89,52
75%	2,27	3,80	92,81	90%	2,70	5,70	90,08
100%	2,57	5,03	92,75	100%	2,57	5,03	92,75
a) EA entegrasyon seviyesinin etkisi				a) EA sürüş performansı durumunun etkisi			

*Tablo 4-2 EA Entegrasyon Seviyesinin ve Sürüş Performansı Durumunun Etkisi
(Satarworn & Hoonchareon, 2017).*

Elde edilen bu veriler değerlendirildiğinde sonuç olarak dağıtım şebekelerinde ev tipi EA şarj yüklerinden kaynaklı yaşanacak problemlerin önüne geçilebilmesi için şebeke işletmecisinin EA'lara ilişkin bazı verileri izlemesinin ve bu verileri şebeke planlamalarında kullanmasının faydalı olacağı söylenebilir.

4.8.3 Örnek Çalışma 3

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Klayklueng & Dechanupaprittha, 2014)'den alınmıştır. Bu çalışmada, AG şebekesinde EA şarj yüklerinden kaynaklı oluşabilecek gerilim dengesizliğine yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler**

Bu çalışmada AG dağıtım şebekesinde EA'ların şarjının gerilim dengesizliğine etkisine ilişkin simülasyon modellemesi ve analizler DIgSILENT programı kullanılarak yapılmıştır. Güç sistemi üç fazlı olup sinüzoidal dalga şeklindeki gerilim değerleri eşit ve aralarındaki faz açıları 120°'dir. Gerilim dengesizliği, IEC standardındaki gerilim dengesizliği faktörü oranı (%VUF) ile (11) numaralı eşitlikteki gibi hesaplanmış ve bunun etkileri PEA'nın büyük şehirlere yönelik 2013 yılı güç sistemi planlamaları ile birlikte değerlendirilmiştir. VUF, gerilimin negatif bileşeninin pozitif bileşenine oranı ile bulunmaktadır.

$$\%VUF = \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \times 100 \quad (11)$$

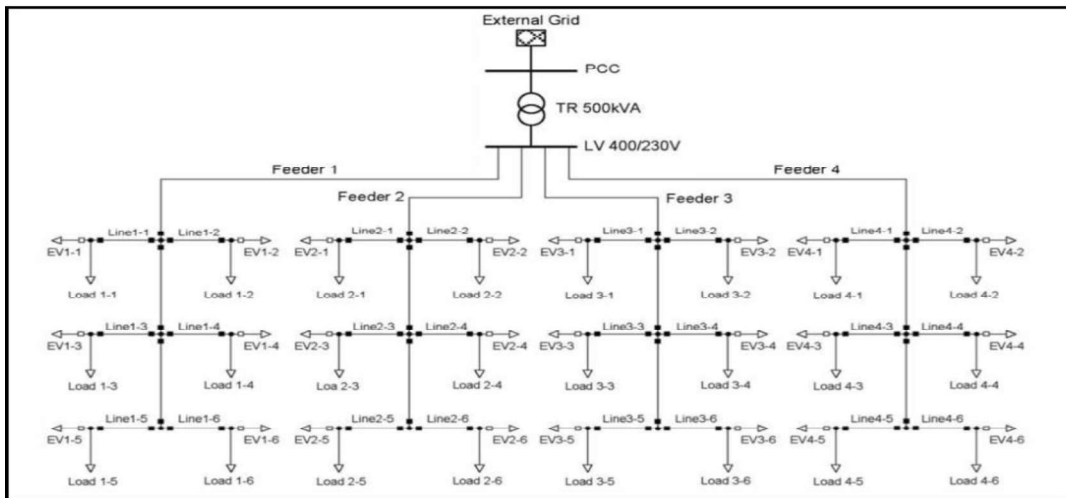
Pozitif ve negatif gerilim bileşenleri, dengesiz 3 faz gerilimleri olan V_{ab} , V_{bc} ve V_{ca} kullanılarak (12) ve (13)'de yer alan iki simetrik bileşen olan V_1 ve V_2 eşitliklerinin çözülmesiyle elde edilir.

$$V_1 = \left(\frac{V_{ab} + a \times V_{bc} + a^2 \times V_{ca}}{3} \right) \quad (12)$$

$$V_2 = \left(\frac{V_{ab} + a^2 \times V_{bc} + a \times V_{ca}}{3} \right) \quad (13)$$

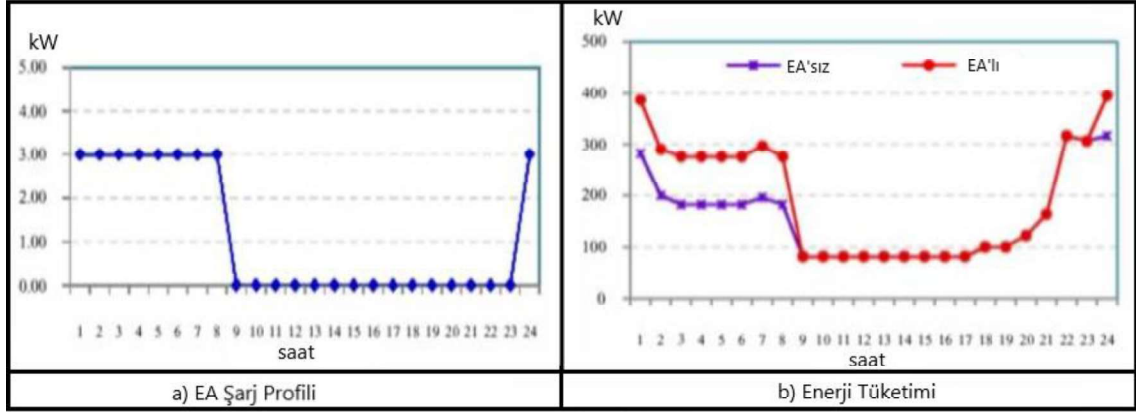
Buradaki $a = 1\angle 120^\circ$ ve $a^2 = 1\angle 240^\circ$ 'dir

EA şarj istasyonu 220 VAC geriliminde, tek fazlı ve 3 kW'lık gücü olan Seviye 1 olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan dağıtım sistemi modeli Şekil 4.13'te yer almaktadır. Bu modelde 4 branşman, 32 düğüm noktası ve her branşmanda 6 adet olmak üzere toplamda 24 adet EA şarj yükü bulunmaktadır. Dağıtım sistemi 500 kVA'lık transformatör ile beslenmektedir ve fider uzunluğu 250 metre olup burada 185 mm²'lik NYY kablo kullanılmıştır.



Şekil 4-13 Çalışmada Kullanılan AG Şebeke Modeli (Klayklueng & Dechanupaprittha, 2014).

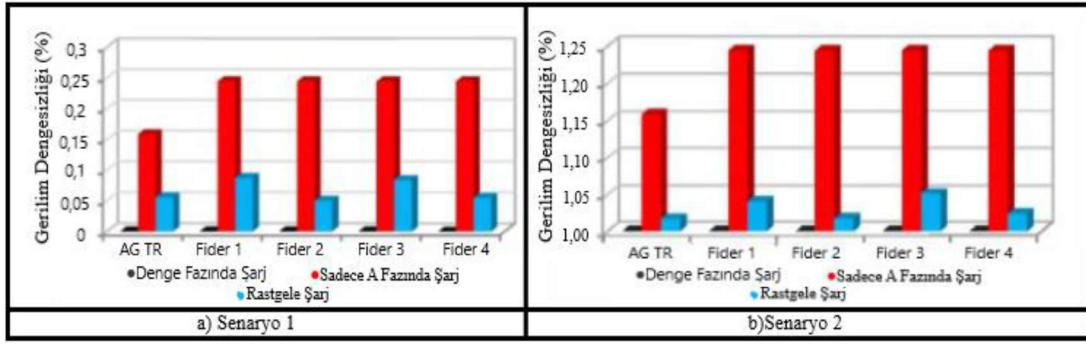
EA'nın günlük şarj profili Şekil 4.14 (a)'da yer almaktadır. EA bataryaları 24 kWh kapasiteye sahip olup saat 24:00'den 08:00'e kadar kesintisiz 8 saat şarj süresi vardır. EA şarjı için üç farklı durum kullanılmıştır. Bunlar Denge Fazında Şarj, Sadece A Fazında Şarj ve Rastgele Şarj'dır. Elektrik tüketim verisi bölgedeki tüketim noktalarında ölçümler yapılarak elde edilmiştir. Dağıtım şebekesi için EA entegrasyonu olan ve olmayan iki farklı durum kullanılmıştır. Şekil 4.14 (b)'de enerji tüketiminin EA olmadan ve EA entegrasyonu ile oluşan durumları gösterilmiştir.



Şekil 4-14 EA Şarj Profili ve İki Farklı Senaryo için Enerji Tüketimi (Klayklueng & Dechanupaprittha, 2014).

• Örnek Çalışma 3'ün Sonuçları

Yukarıda yer alan varsayımlar ve çeşitli bilgiler kullanılarak iki farklı senaryo ile gerilim dengesizliğine ilişkin analizler yapılmış ve bu analizlerin sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir. Sistemde gerilim dengesizliğinin bulunmadığı Senaryo 1 için sonuçlar (Şekil 4.15 (a)) incelendiğinde, Denge Fazında Şarj durumunun gerilim dengesizliğine bir etkisinin olmadığı, EA'ların aynı fazda ve aynı zamanda şarj edildiği Sadece A Fazında Şarj durumunun ise gerilim dengesizliğine en fazla etkisi olan şarj durumu olduğu görülmektedir. Sistemde %1 oranında gerilim dengesizliği bulunan Senaryo 2 için sonuçlar (Şekil 4.15 (b)) incelendiğinde, mevcutta var olan gerilim dengesizliğinin EA'lardan kaynaklı olarak daha fazla oranlara çıktığı ve Senaryo 1'e göre şebeke ve şebekedeki yükler üzerinde daha fazla olumsuz etki oluşacağı görülmektedir.



Şekil 4-15 Düğüm Noktalarındaki Gerilim Dengesizlikleri (Klayklueng & Dechanupaprittha, 2014).

Yapılan bu çalışmada EA şarj yükleri AG seviyesindeki trafoların %80'in üzerinde yüklenmesine neden olmuştur. EA'ların şarjının aynı zamanda ve aynı faz üzerinde yapılması dağıtım sisteminin yüklenme seviyesini ve kayıplarını fazlaca artırmaktadır. Bu çalışma için kayıplar %49,49'a çıkmıştır. Tek fazlı ev tipi EA şarj cihazı dağıtım şebekesinde gerilim dengesizliğine sebep olabilmektedir. Bu sebeple dağıtım şebekelerinde gerilim dengesizliği probleminin analizlerinin kapsamlı bir şekilde yapılması ve gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

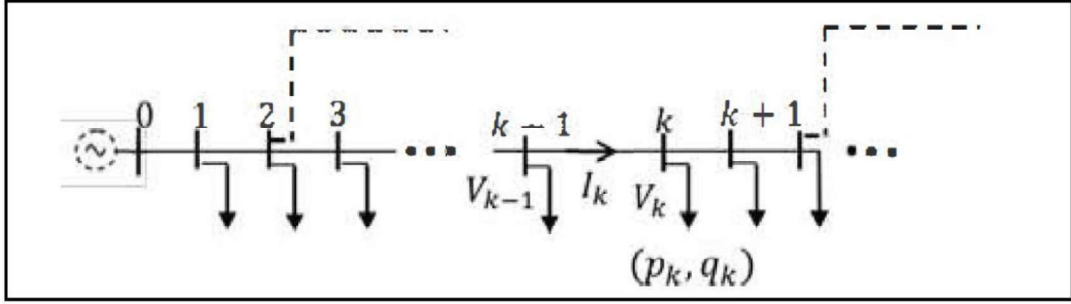
4.8.4 Örnek Çalışma 4

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Meyer, Choi, & Wang, 2015)'den alınmıştır. Bu çalışmada, EA şarj istasyonlarının ve şebekeye dağıtım seviyesinden bağlı olan rüzgar ve güneş enerjisi gibi dağıtık üretim (DÜ) kaynaklarının dağıtım şebekesine etkilerine yönelik incelemeler yapılmıştır.

• Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler

DÜ'nün şebekedeki son kullanıcılara daha yakın olabilmesi ve bu yakınlıktan dolayı da enerjinin daha az bir kayıpla iletiminin sağlanabilmesi sebebiyle bu çalışma kapsamında EA şarjı için gerekli enerji üretim çeşitliliği ve EA şarjından kaynaklı dağıtım şebekesinde oluşacak problemlerin incelenebilmesi için bir dağıtım sistemi içinde farklı EA ve dağıtık üretim entegrasyonları modellenmiştir.

Gerilim değişimi analizleri için şekil 4.16’da yer alan 3 fazlı dengeli bir dağıtım sistemi dikkate alınmıştır.



şekil 4-16 Radyal Dağıtım Sistemindeki G İletimi (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

Buradaki $k-1$ ile k arasındaki gerilim farkı (14) numaralı eşitlik ile bulunur. Bulunan sonuç, her bir birim sistemdeki V_a baz gerilimi ile normalize edilir.

$$\Delta V_k = R_k P_k + X_k Q_k \quad (14)$$

Burada k fiderindeki gerilim düşümü, fiderdeki g akışına (R_k ve P_k) ve fiderin empedansına (X_k ve Q_k) bağlıdır. Aktif g (P_k) ve reaktif g (Q_k), k fiderinden enerji akış yönüne doğru olacak şekilde toplam g tüketimidir ((15) numaralı eşitlikler).

$$P_k = \sum_k^n p_k, \quad Q_k = \sum_k^n q_k \quad (15)$$

Dağıtım şebekesindeki gerilim V_0 olarak tanımlandığında k fiderindeki gerilim profili (16) numaralı eşitlik ile bulunur.

$$V_k = V_0 - \sum_k \Delta V_k \quad (16)$$

EA şarj istasyonu k noktasına yerleştirildiğinde bu noktadaki elektrik yükü P_k^{EV} kadar artar. Bu da fider boyunca (17) numaralı eşitlikte verildiği gibi gerilim değişimine sebep olur. Bu eşitlikte, DC hızlı şarj istasyonunda dönüştürücü aracılığıyla AC/DC dönüşümü yapılarak şebekeden g çekildiği için sadece aktif g dikkate alınmıştır.

Dönüştürücülerin güç faktörünü kontrol ettiği varsayılırsa EA şarjında reaktif güç içeren bir analiz geliştirilebilir. Bu analizde de EA'ların şebekeden güç almasının yanında şebekeye reaktif güç veren bazı DÜ kaynakları gibi şebekeye enerji sağlayabildiği bir yapı dikkate alınabilir.

$$V_h^{\Delta} \begin{cases} P_k^{EA} \sum_{i=1}^h R_i, h \leq k \text{ (} h, k' \text{ dan önce ise)} \\ P_k^{EA} \sum_{i=1}^h R_i, h > k \text{ (} h, k' \text{ dan sonra ise)} \end{cases} \quad (17)$$

Fider yüklenme seviyesi, fiderin akım taşıma kapasiteleri ile değerlendirilmektedir. Şekil 4.16'daki k noktasındaki fiderin akım taşıma kapasitesi olan I_k , aktif akım ($I_{p,k}$) ve reaktif akım'dan ($I_{q,k}$) oluşmaktadır. I_k , k fiderinden enerji akış yönüne doğru olacak şekilde şebekedeki yüklerin çektiği toplam akımdır. Güç ve akımın arasındaki ilişkiden dolayı k noktasındaki bir şarj istasyonunun fiderin yüklenmesine etkisi (18) numaralı eşitlik ile bulunur.

$$I_k = \sum_k I_{p,k} = \sum_k \left(\frac{P_k^{EA}}{V_k} \right) \quad (18)$$

Yukarıda yer alan matematiksel formüller ayrıştırılmış Z-Matrisi ile 3 fazlı sistemlere uyarlanmış ve analizlerde kullanılmıştır.

EA şarj istasyonu bulunan bir fidere DÜ kaynağı yerleştirmek şarj istasyonunun ihtiyacı olan güç akışının dengede tutulmasına yardımcı olabilir. Güç akışının dengede tutulması ise dağıtım şebekesinde EA şarj istasyonlarından kaynaklanacak bazı problemlerin önlenmesi sağlayacaktır. (16) ve (17) numaralı eşitlikler incelendiğinde, EA şarj istasyonunun bulunduğu noktaya DÜ kaynağı yerleştirildiğinde şebekedeki bazı problemlerin önüne geçilebileceği görülmektedir. Bunun için EA şarj istasyonunun bulunduğu k noktasına yerleştirilecek DÜ kaynağının kapasitesi ($S_k^{DÜ}$) belirli bir seviyede olmalıdır. DÜ kaynağının kapasitesi aşağıda yer alan (19) numaralı eşitlik ile bulunabilir. Bu formüldeki Θ , DÜ kaynağının güç faktörü açısı; α ise fiderin karakteristik empedans açısıdır.

$$S_k^{DÜ} \cos(\Theta - \alpha) = P_k^{EA} \cos \alpha \quad \alpha = \operatorname{atan} \frac{R}{X} \quad (19)$$

Dağıtım şebekesinde yer alan bir EA şarj istasyonunun bulunduğu noktaya DÜ kaynağı yerleştirmek için alan gereksinimleri ve fizibilitesi gibi çeşitli sınırlamalar olacaktır. Bu yüzden EA şarj yüklerinden kaynaklı problemlerin azaltılabilmesi için şebekenin uygun noktalarına yerleştirilecek DÜ kaynakları ile ve/veya şebekede halihazırda var olan DÜ kaynakları ile EA şarj yüklerinin eşleştirilmesi alternatif bir yol olarak faydalı olabilir. (15) ve (17) numaralı eşitliklere göre EA şarj yüklerinden kaynaklı şebeke stresini dengelemek için m adet DÜ kaynağının konum ve kapasitelerinin dağılımları (20) numaralı eşitliğe göre olmalıdır. Bu formüldeki L_h ve L_k sırasıyla, h noktasındaki DÜ kaynağının ve k noktasındaki EA şarj istasyonunun şebekenin başlangıç noktasına olan uzaklıklarıdır.

$$\sum_h^m S_h^{DÜ} \cos(\Theta - \alpha) L_h = P_k^{EA} \cos \alpha L_k \quad (20)$$

Birden fazla DÜ kaynağının aynı anda çalıştığı durumda fider üzerindeki dağılımları (21) numaralı eşitlikteki gibi olmalıdır.

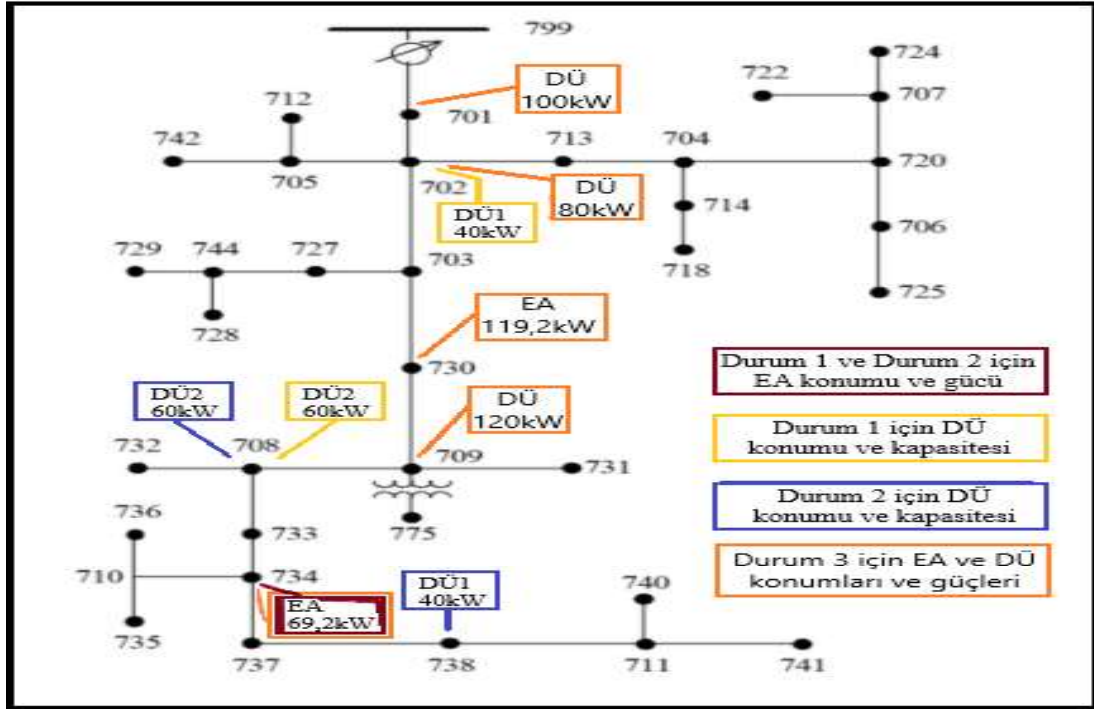
$$\frac{\sum_h^m P_h^{DÜ} L_h}{L_k} = P_k^{EA} \quad (21)$$

EA şarjının en az problem oluşturacağı fider üzerindeki EA şarj istasyonunun konumu DÜ kaynaklarının elektriksel ağırlık merkezi olacak şekilde seçilmiştir. Bu kapsamda birden fazla EA şarj istasyonu ve DÜ kaynağının bulunduğu bir sistemde elektriksel ağırlık merkezi (22) numaralı eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\sum_h^m P_h^{DG} L_h = \sum_k^n P_k^{EA} L_k \quad (22)$$

Bu çalışmada Şekil 4.17’de yer alan IEEE-37 düğüm testi fider sistemi kullanılmıştır. Bu fider sisteminde, Durum 1 analizinde kullanılmak için 702 nolu

noktaya 40 kW ve 708 nolu noktaya 60 kW gücünde DÜ kaynağı, Durum 2 analizinde kullanılmak için 708 nolu noktaya 60 kW ve 738 nolu noktaya 40 kW gücünde DÜ kaynağı ve bu iki durum analizinde de kullanılmak için 734 üncü noktaya toplam 19,2 kW'lık iki adet AC Seviye 2 şarj istasyonu ve 50 kW'lık bir adet DC hızlı şarj istasyonu olmak üzere toplam 69,2 kW gücünde EA şarj istasyonları eklenmiştir. Durum 3 analizinde kullanılmak için 701 nolu noktaya 100 kW, 702 nolu noktaya 80 kW ve 709 nolu noktaya 120 kW gücünde DÜ kaynağı ile 730 nolu noktaya 19,2 kW'lık bir adet AC Seviye 2 şarj istasyonu ve 50 kW'lık iki adet DC hızlı şarj istasyonu olmak üzere toplam 119,2 kW gücünde EA şarj istasyonları ve 734 nolu noktaya toplam 69,2 kW gücünde EA şarj istasyonları eklenmiştir. Bu durumun 3 adet DÜ kaynağı içermesi, DÜ kaynaklarının muhtemel konumlarını içeren 12x12x12 matris oluşturulmasına sebep olmuştur.



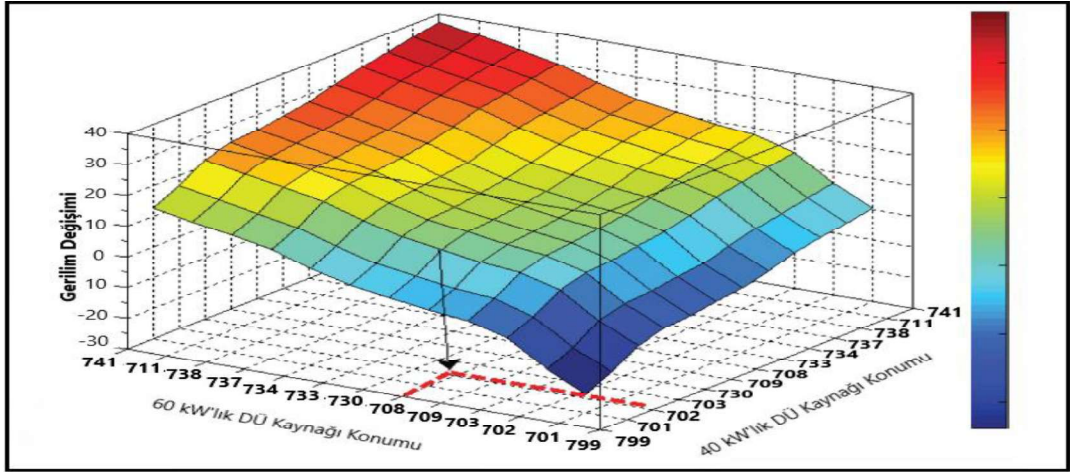
Şekil 4-17 Durum 1, Durum 2 ve Durum 3 için EA Şarj İstasyonu ve DÜ Kaynaklarının Konumlandırıldığı IEEE-37 Düğüm Testi Fideri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

Yukarıda yer alan test sistemindeki her bir faz için aktif ve reaktif güç değerleri Tablo 4.3'te yer almaktadır. Sistemde yer alan DÜ kaynakları GridLAB-D simülasyon yazılımı ile dizel jeneratör olarak modellenmiştir.

	A Fazı	B Fazı	C Fazı
Aktif Güç (kW)	727	639	1091
Reaktif Güç (kVA)	357	314	530

Tablo 4-3 IEEE-37 Düzüm Test Sistemindeki Başlangıç Durumları (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

(17) numaralı formül kullanılarak 40 kW ve 60 kW DÜ kaynaklarının muhtemel konumlarındaki gerilim değişimleri hesaplanmış olup bu değişimler Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Buradaki gerilim değişiminin pozitif ya da negatif olması, DÜ kaynaklarının ilgili konumlara yerleştirilmesi sonucunda gerilim değerinin yükseleceği ya da düşeceği anlamına gelmektedir. Gerilim değişiminin sıfır noktası, EA şarj istasyonu kaynaklı güç akışının tamamen dengelendiğini gösteren DÜ kaynaklarının optimum konumlarını ifade etmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde birden fazla konum ve DÜ kapasitesi seçiminin sıfır noktasına denk geldiği görülmektedir. Örnek olarak 702 (40kW DÜ için) ve 708 nolu (60kW DÜ için) konumların gerilim değişiminin sıfır noktasına denk gelmesi bu şekil üzerinde gösterilmiştir.

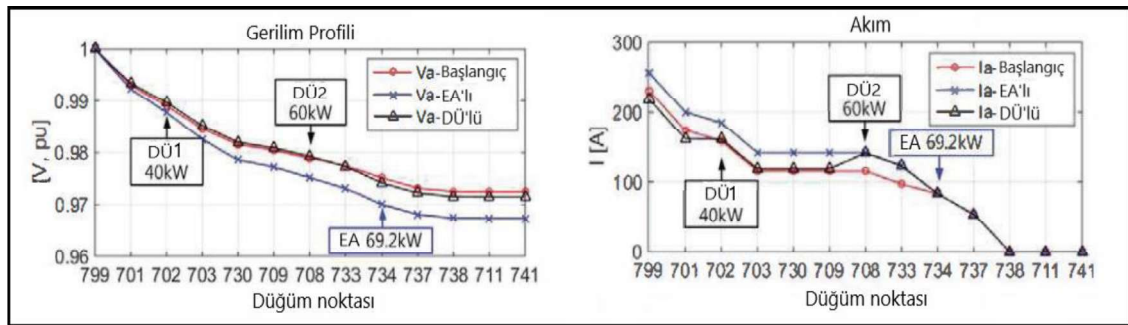


Şekil 4-18 DÜ Kaynaklarının Muhtemel Konumlarına Göre Gerilim Değişimleri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

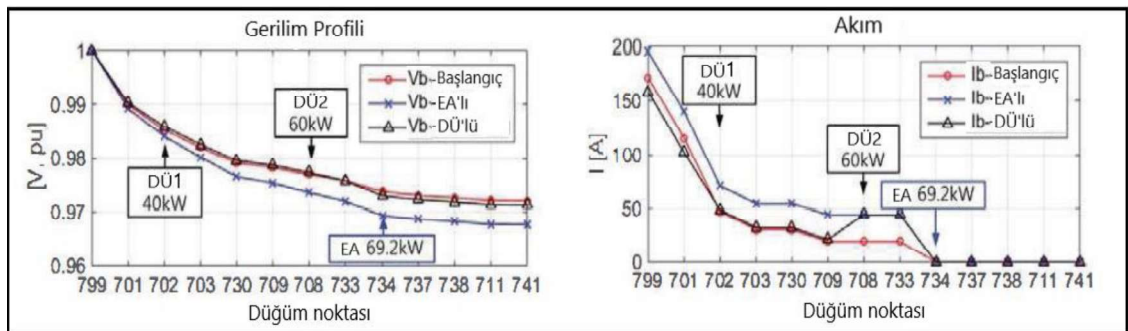
• Örnek Çalışma 4’ün Sonuçları

IEEE-37 düğüm testi fiderinde, gerilim değişiminin sıfır olması için 40 kW’lık DÜ kaynağının 702 nolu düğüm noktasına ve 60 kW’lık DÜ kaynağının 708 nolu düğüm

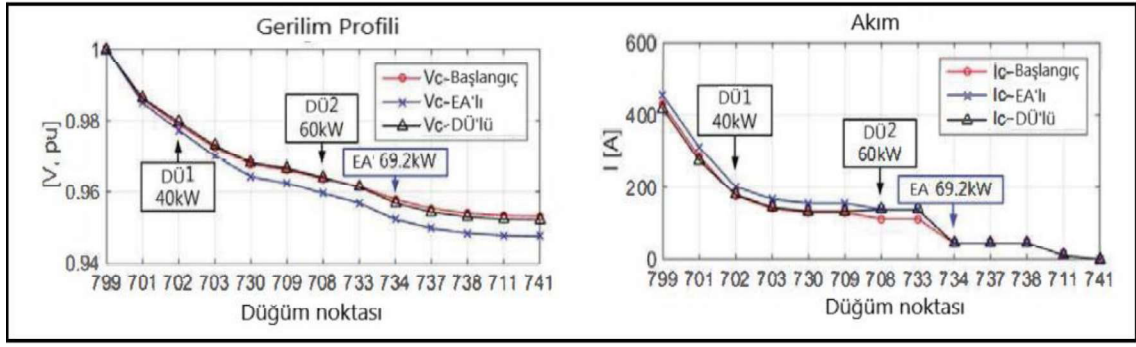
noktasına yerleştirilmesi durumu için (Durum 1) fazların gerilim ve akım eğrileri Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de yer almaktadır. Tüm fazlar için Başlangıç, EA’lı ve DÜ’lü durumların gerilim değerleri (pu) besleme kaynağının bulunduğu 799 nolu düğüm noktasından uzaklaştıkça genellikle düşüş eğilimindedir. EA’lı durumun gerilim değeri 799 nolu düğüm noktasında Başlangıç ve DÜ’lü durumlar ile aynıdır ancak EA’lı durumun gerilim değeri 799 nolu düğüm noktasından uzaklaştıkça Başlangıç ve DÜ’lü durumlara göre daha düşüktür ve aralarındaki fark genellikle artmıştır. Tüm fazlar için EA’lı durumda şebekedeki akım, EA şarj istasyonunun olduğu 734 nolu düğüm noktasına kadar belirli seviyelerde artmış olarak devam etmiş ve 734 nolu düğüm noktasında Başlangıç durumundaki seviyesine gelmiştir. DÜ’lü durumda ise 702 ve 708 nolu düğüm noktalarında yer alan DÜ kaynakları, EA şarj istasyonundan kaynaklı gerilim düşümü ve akım artışını sınırlandırmıştır. Bu kapsamda EA şarj istasyonunun şebekeye eklenmesi şebekenin gerilim ve akım profilleri olumsuz yönde etkilemiştir ve DÜ kaynaklarının gerilim değişimi sıfır olacak şekilde şebekeye eklemesi ise EA şarj istasyonundan kaynaklanan problemleri sınırlayarak gerilim ve akım profillerini başlangıçtaki besleme değerlerine yaklaştırmıştır.



Şekil 4-19 Durum 1 - A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

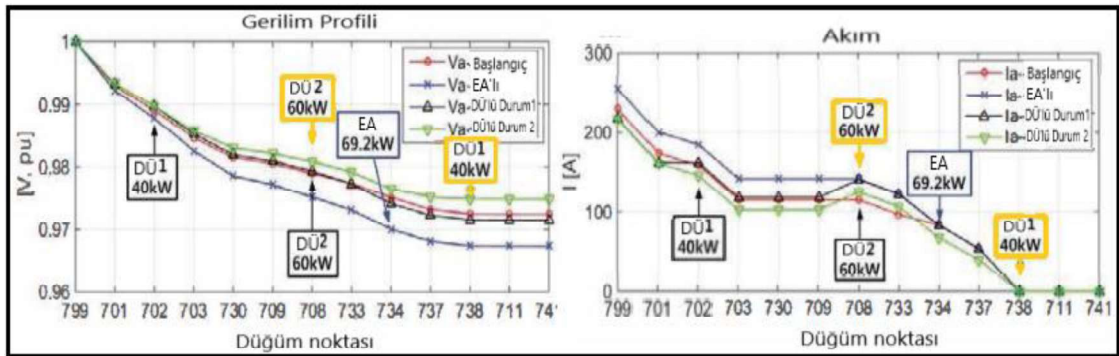


Şekil 4-20 Durum 1 - B Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).



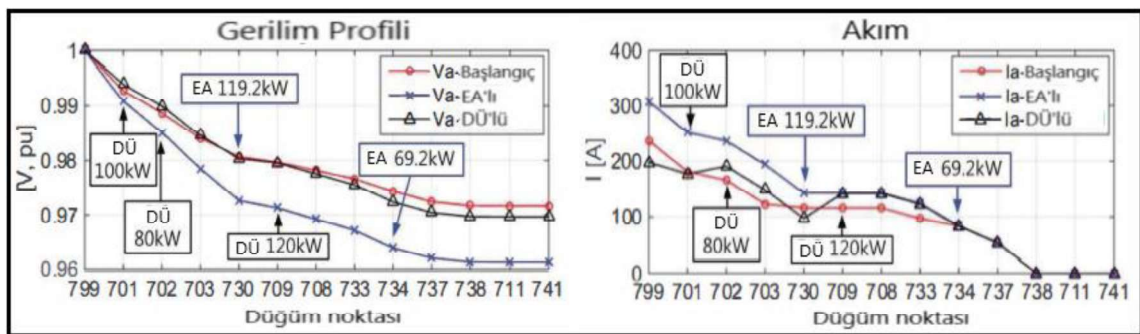
Şekil 4-21 Durum 1 - C Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

IEEE-37 düğüm testi fiderinde, gerilim değişiminin pozitif yönde olması için 40 kW'lık DÜ kaynağının 738 nolu düğüm noktasına ve 60 kW'lık DÜ kaynağının 708 nolu düğüm noktasına yerleştirilmesi durumu için (Durum 2) A fazının gerilim ve akım eğrileri Şekil 4.22'de yer almaktadır. Başlangıç, EA'lı ve DÜ'lü durumların gerilim değerleri (pu) besleme kaynağının bulunduğu 799 nolu düğüm noktasından uzaklaştıkça genellikle düşüş eğilimindedir. EA'lı durumun gerilim ve akım profilleri A fazındaki Durum 1 ile aynıdır. DÜ'lü durumda 708 ve 738 nolu düğüm noktalarında yer alan DÜ kaynakları, EA şarj istasyonundan kaynaklı düşen gerilim değerini yükselterek Başlangıç durumuna göre daha yüksek seviyeye getirmiştir, EA şarj istasyonundan kaynaklı artan akım değerini ise düşürerek Başlangıç durumuna göre genellikle daha düşük bir seviyeye getirmiştir. Bu kapsamda DÜ kaynaklarının gerilim değişimini pozitif yönde etkileyecek şekilde şebekeye eklemesi ve EA şarj istasyonunun şebekeye eklenmesi şebekenin gerilim ve akım profillerini olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 4-22 Durum 1 ve Durum 2 – A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

IEEE-37 düğüm testi fiderinde, gerilim değişiminin sıfır değerine çok yakın olması için 80 kW'lık DÜ kaynağının 702 nolu düğüm noktasına, 100 kW'lık DÜ kaynağının 701 nolu düğüm noktasına ve 120 kW'lık DÜ kaynağının 709 nolu düğüm noktasına yerleştirilmesi ile 69,2 kW'lık EA şarj istasyonu yükünün 734 nolu düğüm noktasına ve 119,2 kW'lık EA şarj istasyonu yükünün 730 nolu düğüm noktasına yerleştirilmesi durumu için (Durum 3) A fazının gerilim ve akım eğrileri Şekil 4.23'de yer almaktadır. Bu itibarla fiderdeki toplam yük değeri 188,4 kW olmuştur. Başlangıç, EA'lı ve DÜ'lü durumların gerilim değerleri (pu) besleme kaynağının bulunduğu 799 nolu düğüm noktasından uzaklaştıkça genellikle düşüş eğilimindedir. EA'lı durumun gerilim değeri 799 nolu düğüm noktasında Başlangıç ve DÜ'lü durumlar ile aynıdır ancak EA'lı durumun gerilim değeri 799 nolu düğüm noktasından uzaklaştıkça Başlangıç ve DÜ'lü durumlara göre daha düşüktür ve aralarındaki fark genellikle artmıştır. Ayrıca Durum 3'deki EA'lı gerilim analiz değerinin Durum 1 ve Durum 2'deki EA'lı gerilim analiz değerinden daha düşük bir seviyede olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Durum 3'deki fider yükünün daha fazla olmasıdır. EA'lı durumda şebekedeki akım, 119,2 kW'lık EA şarj istasyonunun olduğu 730 nolu düğüm noktasına kadar Durum 1 ve Durum 2'ye göre belirli seviyelerde daha fazla artmış, 730 ile 69,2 kW'lık EA şarj istasyonunun olduğu 734 nolu düğüm noktaları arasında Durum 1 ve Durum 2 ile benzer bir şekilde devam etmiş ve 734 nolu düğüm noktasında Başlangıç durumundaki seviyesine gelmiştir. Bunun sebebi iki farklı noktaya yerleştirilen EA şarj istasyonlarıdır. DÜ'lü durumda ise 701, 702 ve 709 nolu düğüm noktalarında yer alan DÜ kaynakları, EA şarj istasyonundan kaynaklı gerilim düşümü ve akım artışı sınırlandırmıştır. Bu kapsamda EA şarj istasyonlarının şebekeye eklenmesi şebekenin gerilim ve akım profilleri olumsuz yönde etkilemiştir ve DÜ kaynaklarının gerilim değişimi sıfıra çok yakın olacak şekilde şebekeye eklemesi ise EA şarj istasyonundan kaynaklanan problemleri sınırlayarak gerilim ve akım profillerini başlangıçtaki besleme değerlerine yaklaştırmıştır.



Şekil 4-23 Durum 3 - A Fazı Gerilim ve Akım Eğrileri (Meyer, Choi, & Wang, 2015).

EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte kamusal alanlardaki şarj istasyonlarının (özellikle DC hızlı şarj istasyonlarının) önemi artacaktır. Gerekli önlemler alınmaz ise bu şarj istasyonlarından kaynaklı olarak da şebeke ekipmanlarında aşırı yüklenmeler ve gerilim problemleri meydana gelecektir. Yapılan bu örnek çalışmada şebekede yer alan bir fidere eklenecek EA şarj istasyonu yüklerinin gerilim ve akım profillerine nasıl etki ettiği ve bu problemlerin önüne geçilmesi/sınırlandırılması açısından DÜ kaynaklarından faydalanıp faydalanılamayacağına yönelik incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde, gün geçtikçe şebekeye entegrasyonu artacak olan EA şarj istasyonlarının yüklerinden kaynaklı olarak yaşanacak bazı problemlerin sınırlandırılması açısından şebekede halihazırda var olan DÜ kaynaklarının ve yeni eklenecek DÜ kaynaklarının iyi bir planlama çerçevesinde kullanıldığında etkili olacağı anlaşılmaktadır.

4.8.5 Örnek Çalışma 5

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Rodrigo & Priyanka, 2018)'den alınmıştır. Bu çalışmada, AG şebekesinde farklı EA entegrasyon seviyelerinin harmonik bozulmalara etkilerine yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler**

EA bataryalar DC akımla şarj edilebilme özelliğine sahiptir ve şarj akımları şebekede bulunan çoğu yükün ihtiyacı olan akım değerinden yüksektir. EA bataryalarının şarjı için kullanılan şarj istasyonlarında kullanılan güç elektroniği ekipmanları nedeniyle dağıtım şebekesinde gerilim dengesizliği, gerilim dalgalanması ve harmonikler gibi güç kalitesi sorunları ile karşılaşılması muhtemeldir.

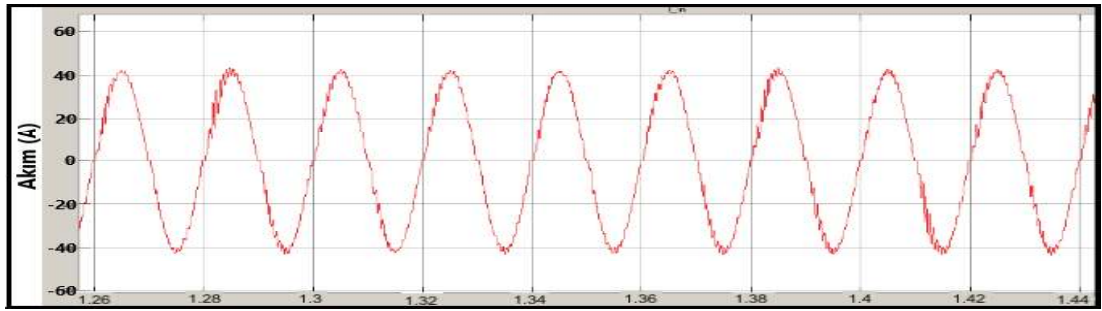
Bu çalışmada Matlab üzerinden EA ve EA şarj istasyonu modellenmiş olup IEEE tarafından geliştirilmiş bir AG dağıtım test fiderinde farklı EA entegrasyonları ve farklı EA şarj yükü seviyeleri için harmonik analizleri yapılmıştır.

Piyasada satılan bir EA şarj istasyonu Matlab ortamında modellenmiştir. Bu modelin Matlab'daki dalga formları ile gerçek şarj istasyonu ölçümleri karşılaştırılarak modelin doğruluğu sağlanmıştır. Şarj istasyonu karakteristiği için 3,3 kW gücünde Nissan

Leaf Seviye 2 onboard SAE J1772 şarj cihazı kullanılmıştır. Güç kalitesi ölçümü için 50th akım ve gerilim harmoniklerine kadar ölçüm yapabilen bir cihaz kullanılmıştır.

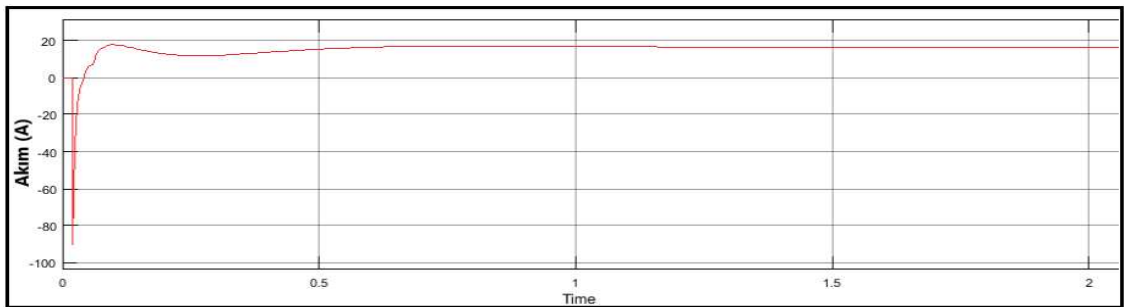
Günümüzdeki EA şarj istasyonlarında gerilim ve akım değerlerinin istenilen limitlerde tutulması için güç faktörü düzelticileri kullanılmaktadır.

Şekil 4.24'te modellenen EA şarj istasyonunun giriş akımının sinüzoidal dalga formu yer almaktadır. Bu giriş akımının harmoniklerini analiz etmek için Matlab programındaki Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) aracı kullanılmıştır. Giriş akımı dalga formunda yapılan ölçümler sonucunda sadece tek harmoniklerin olduğu görülmüş ve toplam harmonik bozulma (THB) %6,33 olarak bulunmuştur. Temel sinyal ile karşılaştırıldığında en yüksek harmonik değer %2,75 ile 3th harmoniktedir.



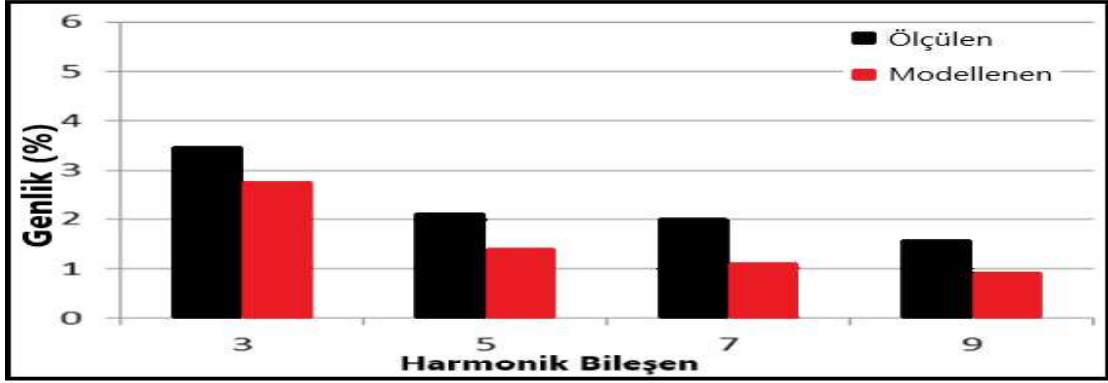
Şekil 4-24 EA Şarj İstasyonu Giriş Akımı Dalga Formu (Rodrigo & Priyanka, 2018).

Şekil 4.25'te modellenen EA şarj istasyonunun çıkış akımının dalga formu yer almaktadır. Buradan bataryanın şarj olması esnasında EA şarj istasyonunun çıkış akımının ayarlanmış sabit bir değerde tutulduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4-25 Modellenen EA Şarj İstasyonunun Çıkış Akımı Dalga Formu (Rodrigo & Priyanka, 2018).

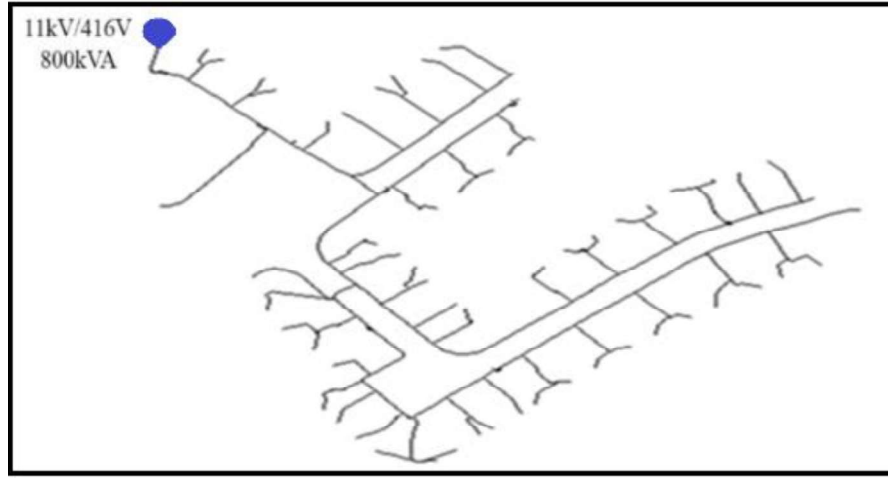
Şekil 4.26’da gerçekteki ve modellenen şarj istasyonlarında ölçülen 3th, 5th, 7th ve 9th harmoniklere ilişkin karşılaştırmalar yer almaktadır. Buradan gerçekteki ve modellenen şarj istasyonlarında yapılan ölçüm değerlerinin birbirine benzer eğilimde sergiledikleri ancak ölçümlerdeki harmoniklerin profillerinde farklılıklar olduğu görülmektedir.



Şekil 4-26 Harmonik Bileşen Karşılaştırması (Rodrigo & Priyanka, 2018).

Şekil 4.27’de çalışmada kullanılacak olan IEEE Avrupa test fideri yer almaktadır. Bu fider, gerilimi 416 V ve frekansı 50 Hz olan radyal dağıtım fideridir. Ayrıca bu fider İngiltere’de bulunan gerçek bir fider baz alınarak oluşturulmuştur. Aşağıda bu test fiderine ilişkin parametreler sıralanmıştır.

- Ana kaynak gerilimi: 11 kV
- Kaynak gerilimi: 1,05 pu
- Üç faz kısa devre akımı: 3000 A
- Transformatör primer gerilimi: 11 kV
- Transformatör sekonder gerilimi: 416 V
- Transformatör kapasitesi: 0,8 MVA
- Yüklerin sayısı: 55
- Nominal yük talebi: 329 kW
- Az yük talebi: 55 kW



Şekil 4-27 IEEE Avrupa Test Fiderinin Şematik Gösterimi (Rodrigo & Priyanka, 2018).

EA şarjlarının harmonik analizleri için fider nominal yükteyken EA şarjı ve az yükteyken EA şarjı olmak üzere iki durum incelenmiştir. Her iki durumda da farklı sayıda EA şarj yükü entegrasyonları incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde gerilim harmoniklerinin önemli seviyelerde olmaması sebebiyle sadece akım harmonikleri dikkate alınmıştır.

Fider 329 kW nominal yükteyken düğüm noktalarına EA şarj istasyonları bağlanmıştır. Burada nominal yükte dengesiz bir dağılım söz konusudur. A fazındaki yük 112 kW, B fazındaki yük 128 kW ve C fazındaki yük 89 kW'dır. Fiderin toplam yüküne göre %10, %20 ve %30 oranlarında EA şarj yükü entegrasyon seviyesi belirlenmiştir. Bu üç seviye için sırasıyla 6, 12 ve 18 adet EA şarj istasyonu fidere eklenmiştir. EA şarj istasyonları düğüm noktalarının başına, sonuna ve rastgele olmak üzere üç farklı şekilde yerleştirmiştir. Düğüm noktasının başına yerleştirilen EA şarj istasyonları kaynağa en yakın noktalara yerleştirilirken düğüm noktasının sonuna yerleştirilen EA şarj istasyonları ise fiderin kaynağa en uzak olduğu noktalara yerleştirilmiştir. Bu şarj istasyonları fazlara eşit bir şekilde dağıtılmış olup şarj işleminin kaynaktaki etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler IEEE 519 standardında belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

Fider 0,95 güç faktöründe minimum 55 kW yükteyken (az yükteyken) düğüm noktalarına EA şarj istasyonları bağlanmıştır. Fiderin toplam yüküne göre %40 ve %50 oranlarında EA şarj yükü entegrasyon seviyesi belirlenmiştir. Bu iki seviye için sırasıyla 6 ve 9 adet EA şarj istasyonu fidere bağlanmıştır. TTB hesaplanırken yük akımı (I_L)

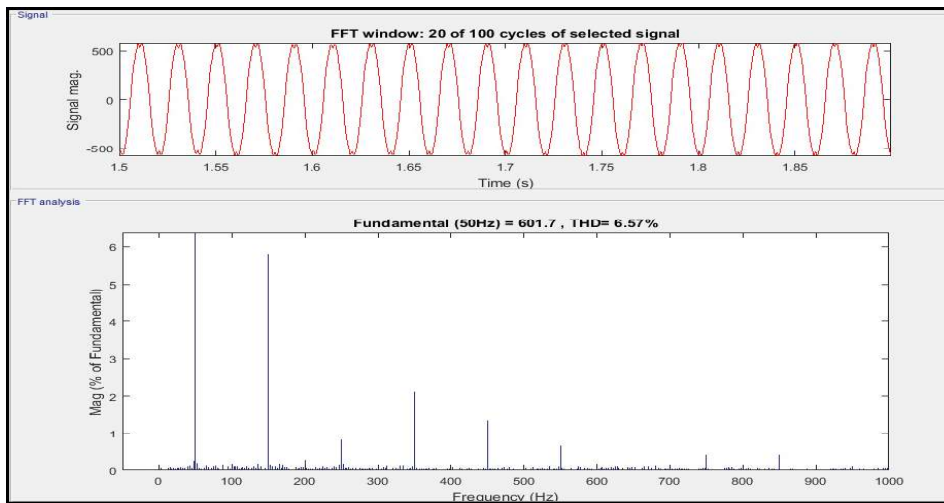
olarak nominal yükteki akım değeri alınmıştır. Elde edilen veriler IEEE 519 standardında belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

- **Örnek Çalışma 5'in Sonuçları**

Altı adet EA şarj istasyonunun fiderin nominal yük durumunda düğüm noktalarına rastgele yerleştirilmesi ile elde edilen kaynaktaki harmonik profil verileri Şekil 4.28'de yer almaktadır. Bu şekil ile verilen program çıktısı incelendiğinde, temel frekanstaki değerin yüzdesi olacak şekilde harmonik değerin;

- 150 Hz'de %5,8
- 250 Hz'de %0,82
- 350 Hz'de %2,11
- 450 Hz'de %1,36
- 550 Hz'de %0,65
- 650 Hz'de %0,30
- 750 Hz'de %0,41
- 850 Hz'de %0,42
- 950 Hz'de %0,10

olarak gerçekleştiği ve THB'nin %6,57 olduğu görülmüştür.



Şekil 4-28 Fider Üzerine %10 EA Şarj İstasyonu Entegrasyonunda Elde Edilen Kaynağın Harmonik Profili (Rodrigo & Priyanka, 2018).

Fiderdeki nominal yük değerinde her bir EA şarj durumu için kaynakta oluşan harmonik bozulma ve THB'ye ilişkin veriler Tablo 4.4'te yer almaktadır. Bu tablo incelendiğinde,

- EA şarj istasyonlarının fider üzerinde yerleştirildiği konumlar kaynaktaki harmonik bozulma değerini etkilemektedir. Örneğin, %10 EA şarj yükünün olduğu durumda 3th harmonik bozulma değeri, EA şarj yükleri düğüm noktalarının başına yerleştirildiğinde %9,33 olarak gerçekleşmişken düğüm noktalarının sonuna yerleştirildiğinde ise %5,76 olarak gerçekleşmiştir. %30 EA şarj yükünün olduğu durumda 7th harmonik bozulma değeri, EA şarj yükleri düğüm noktalarının başına yerleştirildiğinde %4,32 olarak gerçekleşmişken düğüm noktalarının sonuna yerleştirildiğinde ise %1,49 olarak gerçekleşmiştir.

- Harmoniklere sebep olan yüklerin kaynağa daha yakın olması sonucunda kaynakta daha yüksek değerlerde THB oluşmaktadır. Örneğin, %20 EA şarj yükünün olduğu durumda THB değeri, EA şarj yükleri düğüm noktalarının başına yerleştirildiğinde %13,26 olarak gerçekleşmişken düğüm noktalarının sonuna yerleştirildiğinde ise %9,82 olarak gerçekleşmiştir. %30 EA şarj yükünün olduğu durumda THB değeri, EA şarj yükleri düğüm noktalarının başına yerleştirildiğinde %15,10 olarak gerçekleşmişken düğüm noktalarının sonuna yerleştirildiğinde ise %10,71 olarak gerçekleşmiştir.

- EA şarj yüklerinin artması kaynakta harmonik bozulma ve THB'yi artıracaktır. Örneğin, EA şarj istasyonlarının düğüm noktalarına rastgele yerleştirme durumunda 5th harmonik bozulma ve THB değerleri, %10 EA şarj yükü olduğunda sırasıyla %0,82 ve %6,57 olarak gerçekleşmişken %20 EA şarj yükü olduğunda sırasıyla %1,23 ve %10,97 olarak ve %30 EA şarj yükü olduğunda sırasıyla %1,38 ve %12,07 olarak gerçekleşmiştir.

Durum	Düğüm Noktalarına Rastgele			Düğüm Noktalarının Başına			Düğüm Noktalarının Sonuna		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
n	Harmonik (%)			Harmonik (%)			Harmonik (%)		
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	5,80	9,94	11,25	9,33	12,15	13,80	5,76	8,82	9,94
5	0,82	1,23	1,38	2,56	1,71	1,95	1,05	1,40	1,74
7	2,11	3,48	2,18	2,76	4,09	4,32	2,15	2,65	1,49
9	1,36	2,24	2,42	1,23	2,08	3,11	1,24	2,40	1,92

11	0,65	0,69	1,37	0,71	0,75	0,80	0,39	0,98	1,21
13	0,30	0,45	1,08	0,48	1,24	0,21	0,20	0,61	0,97
15	0,41	0,55	0,88	0,55	0,79	0,45	0,13	0,45	0,69
17	0,42	0,45	0,72	0,20	0,39	0,57	0,16	0,37	0,45
19	0,10	0,35	0,28	0,31	0,27	0,19	0,18	0,31	0,18
THB	6,57	10,97	12,07	10,26	13,26	15,10	6,44	9,82	10,71

Tablo 4-4 Nominal Yük Değerinde EA Şarjı için Kaynakta Oluşan Harmonik Bozulma ve THB'ye İlişkin Veriler (Rodrigo & Priyanka, 2018).

Fiderdeki az yük değerinde her bir EA şarj durumu için kaynakta oluşan harmonik bozulma, THB ve TTB'ye ilişkin veriler Tablo 4.5'te yer almaktadır. Bu tablo incelendiğinde,

- Kaynak akımı için EA şarj istasyonlarının baskın olması sebebiyle az yükteki harmonik bozulma değerleri nominal yükteki değere göre daha yüksektir. Örneğin, nominal yükte %10 EA şarj yükü entegrasyonunda (6 adet EA şarj istasyonuna karşılık gelmektedir) düğüm noktalarının sonuna yerleştirilen EA şarj istasyonlarından kaynaklanan 3th harmonik bozulma değeri %5,76 olarak gerçekleşmişken az yükte %40 EA şarj yükü entegrasyonunda (6 adet EA şarj istasyonuna karşılık gelmektedir) düğüm noktalarının sonuna yerleştirilen EA şarj istasyonlarından kaynaklanan 3th harmonik bozulma değeri %24,21 olarak gerçekleşmiştir.

- Kaynak akımı için EA şarj istasyonlarının baskın olması sebebiyle az yükteki THB değerleri nominal yükteki değerlere göre daha yüksektir. Örneğin, nominal yükte THB'nin en yüksek olduğu (düğüm noktasının başında 18 adet EA şarj istasyonunun bağlandığı %30 EA şarj yükünde) değer %15,10 olarak gerçekleşmişken az yükte THB'nin en düşük olduğu (düğüm noktasının sonuna 6 adet EA şarj istasyonunun bağlandığı %40 EA şarj yükünde) değer %26,16 olarak gerçekleşmiştir. Buradan da görüleceği üzere az yükteki en az olan THB değeri nominal yükteki en fazla olan THB değerinin dahi üzerindedir.

Durum	Düğüm Noktalarına Rastgele		Düğüm Noktalarının Başına		Düğüm Noktalarının Sonuna
	40%	50%	40%	50%	40%
n	Harmonik (%)		Harmonik (%)		Harmonik (%)
1	100	100	100	100	100
3	31,64	36,79	28,35	34,49	24,21
5	8,77	10,11	7,36	10,99	7,70
7	5,56	5,70	4,83	7,06	4,04
9	2,12	2,14	3,47	3,49	2,03
11	0,81	1,24	0,80	2,30	1,26
13	2,02	2,13	0,92	2,80	1,10
15	1,29	1,95	1,42	1,09	1,37
17	1,44	1,04	1,06	0,71	0,43
19	1,06	1,22	0,88	1,24	0,91
THB	33,79	39,10	30,27	37,47	26,16
TTB	12,59	16,17	12,88	16,1	12,07

Tablo 4-5 Az Yük Değerinde EA Şarjı için Kaynakta Oluşan Harmonik Bozulma, THB ve TTB'ye İlişkin Veriler (Rodrigo & Priyanka, 2018).

Dağıtım şebekesinde bulunan bir fider üzerinde EA şarj istasyonlarının rastgele konumlanması diğer seçeneklere göre daha olasıdır. Bu kapsamda yukarıdaki yapılan analizler dikkate alındığında, EA şarj istasyonu yüklerinin IEEE 519 standardında belirlenmiş harmonik limitlerini aşmayacak şekilde, fiderin nominal yük değerinde %30 ve fiderin az yük değerinde ise %40 seviyelerinde düğüm noktalarına rastgele bağlanabildiği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada sadece harmoniklere ilişkin analizler yapılmıştır ve enerji kalitesi için standartlarda belirlenmiş gerilim düşümü ve yükselimi sınır değerleri gibi diğer parametrelerinde EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesine entegrasyonunda etkili olduğu unutulmamalıdır.

4.8.6 Örnek Çalışma 6

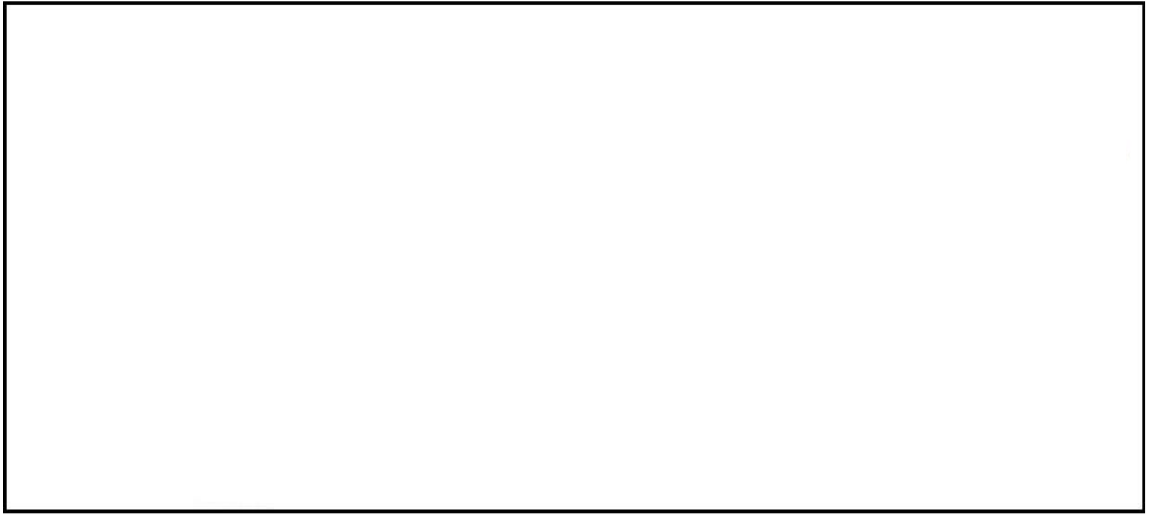
Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından fonlanmış bir Ar-Ge projesi olan (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Merem EDAŞ, 2016)'dan alınmıştır. Bu çalışmada, EA entegrasyon seviyelerinin, kullanılan şarj istasyonu tipinin ve şarj istasyonlarının şebekedeki konumlarının dağıtım şebekesine etkilerine yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar, Çeşitli Bilgiler ve Sonuçlar**

Bu çalışma kapsamında kiralanan EA'lar farklı kullanıcı grupları tarafından belirli sürelerle kullanılarak gerçek kullanıcıların sürüş bilgilerinin toplanması sağlanmıştır. EA kullanım verileri, eve varış zamanları ve şarj seviyesi (SOC) hakkında bir model oluşturulmak için kullanılmıştır. Araçların şarj istasyonuna bağlanmadan önceki şarj seviyesi verilerinin, araçların günlük kat ettiği mesafeye göre toplanması sağlanmıştır. Toplanan bu veriler, EA'ların dağıtım şebekesine entegrasyonunda farklı senaryoların analizi ve simülasyonu için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada gerçek mesafe ve EA şarj seviyesi bilgilerine ek olarak dağıtım şebekesine ait gerçek verilerde kullanılmıştır.

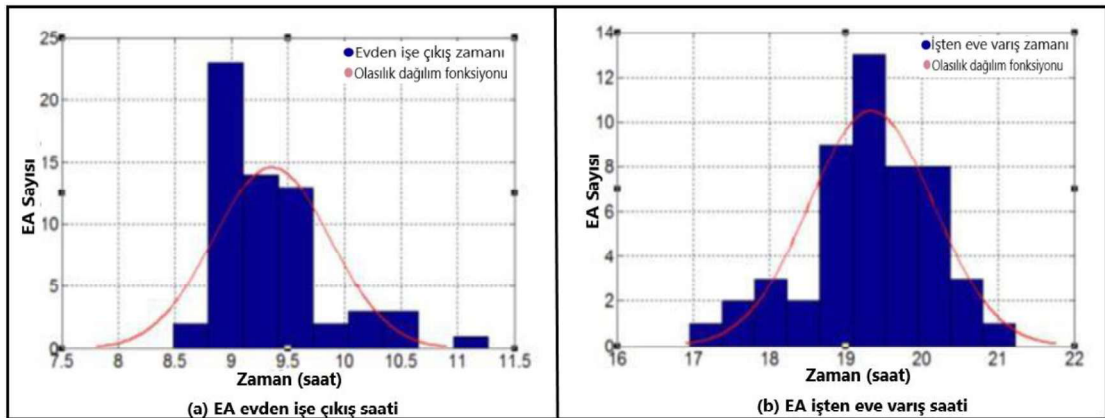
Çalışmada kullanılmak üzere pilot bölge olarak, içerisinde işyeri, okul, hastane ve mesken gibi yük profili farklı olan ve 270 kW kurulu güçte güneş enerji santrali (dağıtık üretim tesisi) bulunan Ankara Gölbaşı bölgesindeki Gazi Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan Teknopark alanı ve çevresi seçilmiştir. Pilot bölgede bulunan OG ve AG envanter bilgileri coğrafi bilgi sistemleri (CBS) üzerinden alınıp DiGSILENT PowerFactory programı ile modellenmiştir.

Şekil 4.29'da tek hat şeması yer alan pilot bölgede TR-13 dağıtım merkezinden çıkan Teknopark fideri 750 m'lik yer altı kablosu ile TR-10960ö trafo merkezine gelmektedir. Burada birisi aktif diğeri yedek olarak çalışan iki adet 1250 kVA trafodan TR-1'e 270 kWp güneş enerji santrali bağlıdır. TR-10960ö trafo merkezinden çıkan 120 m'lik yeraltı kablosu TR-10018ö'ye, 260 m'lik yeraltı kablosu ile TR-25'e, oradan da 180 m'lik yeraltı kablosu ile TR-10055 trafo merkezine ulaşmaktadır. TR-13 ve TR-25 SCADA sisteminden izlenmektedir. Bu pilot bölgedeki tüm hat boyunca 3x1x95mm²'lik OG kablo kullanılmıştır.



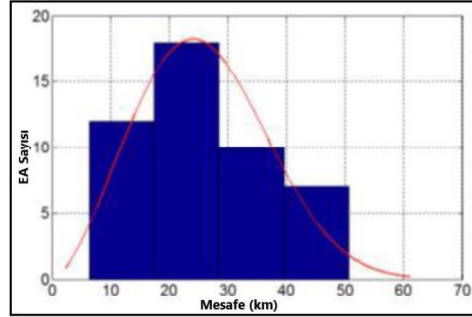
Şekil 4-29 Seçilen Pilot Bölge TR-13 DM Tek Hat Şeması (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

EA kullanıcılarının evden işe çıkış ve işten eve varış saatleri ve bunlara ilişkin olasılık dağılım fonksiyonu Şekil 4.30'da yer almaktadır. Bu veriler incelendiğinde günlük ortalama evden çıkış saatinin 9:20, eve varış saatinin ise 19:20 olduğu ve EA'ların ortalama 14 saat mesken yerinde park halinde kaldığı anlaşılmıştır. EA'ların gündüz ortalama 10 saat işyerlerinde park halinde kaldığı ve burada şarj edilmediği varsayılmıştır. Bu çalışma kapsamında EA kullanıcılarının eve varış zamanından sonraki yapmış olduğu seyahatler dikkate alınmamıştır.



Şekil 4-30 EA'ların Evden İşe Çıkış-İşten Eve Varış Süreleri ve Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

Şekil 4.31’de yer alan EA’ların günlük yaptıkları toplam mesafeye ve olasılık dağılım fonksiyonuna ilişkin bilgiler incelendiğinde bir EA’nın yaptığı ortalama mesafenin yaklaşık 26 km olduğu görülmektedir.



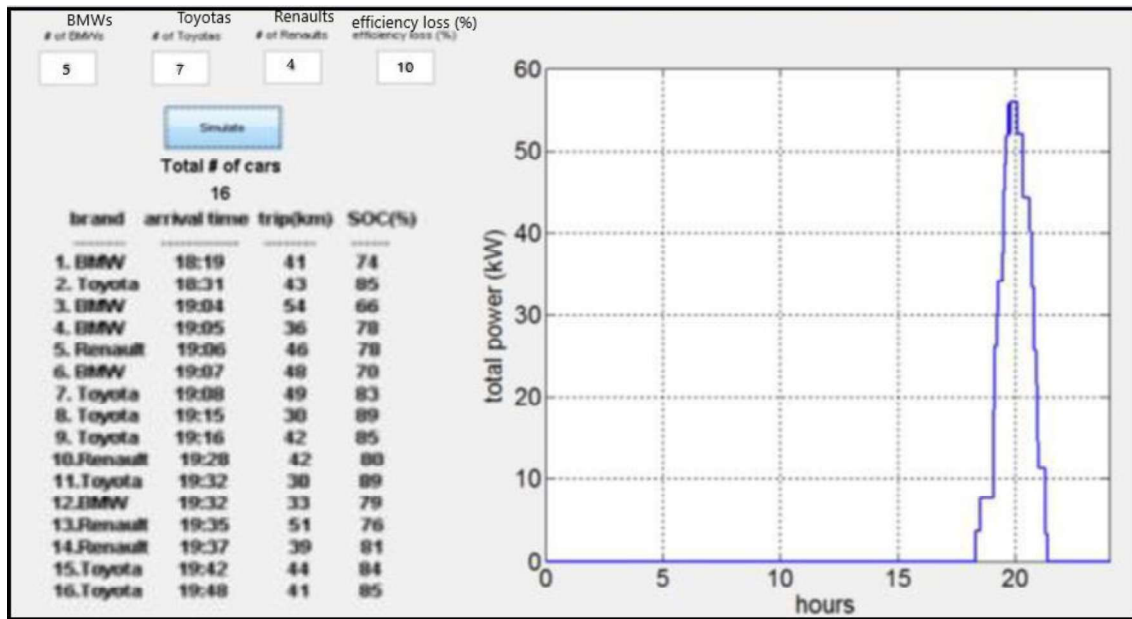
Şekil 4-31 EA’ların Ev ile İş Arasında Kat Ettikleri Toplam Mesafe ve Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

EA sayısı ve kullanımlarına ilişkin profil modelini oluşturmak ve EA’ların şarj yüklerinin dağıtım şebekesine getireceği yükü analiz etmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Bu kapsamda farklı sayıda ve modellerde EA’nın dağıtım şebekesine bağlanmasının analizi yapılabilecektir. Program ile benzetim yapılacak 16 adet EA’nın (5 adet BMW İ3, 7 adet DMA Toyota Corolla ve 4 adet Renault Fluence Z.E.) şebekeye bağlanma zamanı işten eve varış zamanı olarak kabul edilmiştir ve program tarafından bu zamanlar EA’lara rastgele olarak atanmaktadır. Bu araçlara ilişkin teknik özellikler Tablo 4.6’da yer almaktadır.

EA Marka ve Modeli	EA Türü	Batarya Kapasitesi (kWh)	Elektrikli Sürüş Menzili (km)	EA Şarj Ünitesi Gücü (kW)	Şarj Süresi (saat)	Batarya Gerilimi (V)	Elektrik Motoru Gücü (kW)
DMA Toyota Corolla	PHEA	4,4	24	2,0	2,2	207	60
BMW İ3	BEA	22	160	7,4	5,5	360	125
Renault Fluence Z.E.	BEA	22	161	3,7	6	398	228

Tablo 4-6 Seçilen EA’ların Teknik Özellikleri (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

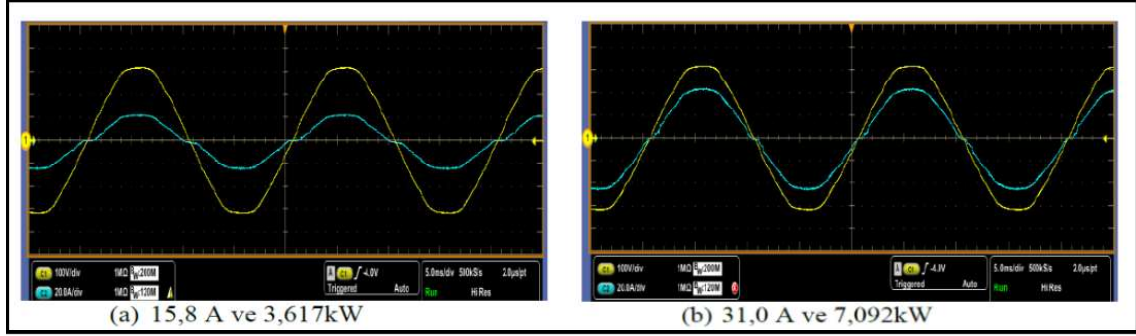
Çalışmada kullanılan araçlara program tarafından rastgele atanan, işten eve ulaşım zamanları, gün boyu elektrik motoru ile alınan mesafeler, yaklaşık batarya şarj seviyeleri (SOC) ve EA'ların dağıtım şebekesinden zamana bağlı olarak çekecekleri aktif güç grafiği program arayüzü gösterimi olan Şekil 4.32'de verilmektedir. Buradaki parametrelerin program tarafından rastgele atanması sebebiyle programın her çalışmasında farklı sonuçlar elde edilebilir ancak şebekeden çekilen maksimum yük miktarında fazla bir değişiklik olmayacaktır. Bu çalışmada EA'ların eve ulaştıkları zamanın saat 18.30 ortalaması ile 45 dakikalık standart sapmaya, araçların gün içinde kat ettikleri mesafenin ise 40 km ortalaması ile 10 km standart sapmaya sahip Gauss Dağılımları ile değiştiği varsayılmıştır. Ayrıca araçların mesken tipi şarj istasyonu kullanılarak işten eve varış zamanında doğrudan tam kapasiteye kadar şarj edilmeye başlanacağı varsayılmıştır. İlk aracın eve ulaşması saat 18.19'da, son aracın eve ulaşması ise saat 19.48'dir. Şebekeden EA'lar tarafından çekilen yükün maksimum olma zamanı ise yaklaşık 19.45'dir.



Şekil 4-32 Seçilen EA'lara İlişkin Program Arayüzü Ekran Görüntüsü (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

Şebeke etkileşimli testlerin yapılması için Hacettepe Üniversitesi Güç Elektronik Laboratuvarı'nda ve Fizik öğretim üyesi otoparkında bulunan trafo binalarına şarj istasyonları kurulmuş ve BEA olan BMW i3'ün (İ3) kullanılarak testler yapılmıştır. Bu istasyonların şarj gücü üç faz için 22kVA, tek faz için 7,4kVA'dır ve çekebileceği

maksimum akım tek faz için 32 A'dır. EA ile şarj istasyonu arasındaki bağlantı IEC 61851 standardına göre Tip 2 (Menekes) ile gerçekleştirilmiştir. İ3'ün güç kontrolünü göstermek amacıyla iki adet test yapılmış. İlk testte 16 A'lık bir komuta karşılık araç şebekeden 15,8 A ile 3,617kW güç çekmiş, ikincisinde ise 32 A'lık bir komuta karşılık araç şebekeden 31 A ile 7,092 kW güç çekmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4-33 BMW İ3'ün Güç Kontrolü Test Sonuç Görseli (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

Seçilen TR-25 (34,5/0,4 kV, 1250kVA) pilot trafo bölgesinde 543 adet tüketici bulunmaktadır ve bu kullanıcıların büyük çoğunluğu mesken tipi tüketicidir. Burada yer alan her 10 tüketiciden birinin EA'sı olduğu kabul edilerek incelemeler yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda elde edilen EA'sız ve %10'luk bir EA entegrasyonu ile oluşacak trafo yüklenmesi, hat/kablo yüklenmesi, toplam enerji kayıpları ve gerilim düşümüne ilişkin grafikler Ek-1'de yer almaktadır.

Ek-1'de yer alan grafikler incelendiğinde yaşanan problemlerin yaklaşık 19:00 ile 23:59 saatleri arasında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yapılan örnek çalışmada EA'ların şarj zamanlarının 19:00 ile 23:59 arası seçilmiş olmasıdır.

Yapılan bu senaryo çalışması sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Trafo yüklenmesi mevcut durumda %17 iken %10 EA entegrasyonu ile %30'a çıkmıştır.
- Hat/kablo yüklenmesi mevcut durumda %45 iken %10 EA entegrasyonu ile %80'e çıkmıştır.

- Toplam enerji kayıpları mevcut durumda %2 iken %10 EA entegrasyonu ile %3,5'e çıkmıştır.
- Gerilim düşümü mevcut durumda %5 iken %10 EA entegrasyonu ile %9'a çıkmıştır.

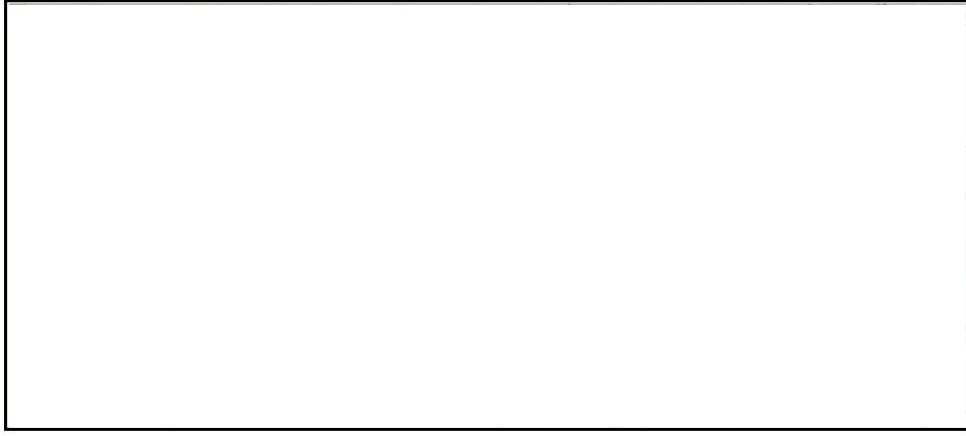
Bu kapsamda TR-25 trafosundaki EA entegrasyon oranı arttıkça yukarıda yer alan teknik problem oranları da artacaktır. Aynı zamanda TR-25'e göre daha eski ve yüklü olan bir trafoda söz konusu olan teknik problemlerin oranı daha yüksek olacaktır. Dağıtım şebekesinde yer alan sigortalar ve kontrol cihazları gibi ekipmanlarda EA'ların şebekeye getireceği ek yüklerden ve teknik problemlerden etkileneceklerdir.

Gerçek bir verinin oluşması için 10 adet EA kullanılarak şarj seviyeleri (SOC) ve araç menzilleri hakkında bilgiler toplanmıştır. Gerçek şarj profillerine ilişkin olarak 7,4 kVA'lık şarj istasyonlarından alınan veriler Ek-1'de yer almaktadır. Toplanan şarj seviyesi bilgileri ve kullanıcı profilleri kullanılarak yavaş şarj (Tip1 7,4kW), hızlı şarj (Tip2 50kW) ve Supercharger (120kW) tipleri için kullanım profilleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda oluşturulan senaryolar aşağıdaki gibidir:

- Yavaş Şarj İstasyonu-K1: İşyeri senaryosudur.
- Yavaş Şarj İstasyonu-K2: Evsel alan (site benzeri) senaryosudur.
- Hızlı Şarj İstasyonu-K1: Benzinlik gibi bir ortak alan senaryosudur.
- Supercharger Şarj İstasyonu-K1: Benzinlik gibi bir ortak alan senaryosudur.

Bu senaryolar için güç tüketim eğrileri Ek-1'de yer almaktadır. Supercharger şarj istasyonunun güç tüketimi, hızlı şarj istasyonu güç tüketiminin normalize edilmiş hali olarak dikkate alınmıştır. Bu veriler aşağıda yer alan çalışma için kullanılmıştır.

Şekil 4.34'te CYME programındaki ekran görüntüsü yer alan pilot bölge olarak seçilmiş Alibeyköy Fideri üzerinde farklı EA şarj yükleri incelenmiştir. Alibeyköy fideri üzerinde farklı güç seviyelerinde 11 adet trafo bulunmaktadır. Bunlardan 2 adedi 1600kVA, 4 adedi 1000kVA, 2 adedi 1250 kVA ve 3 adedi 630 kVA'dır. Bu trafolardan bir tanesinin ölçüm verisi trafonun primer tarafından, diğer trafoların ölçüm verileri ise trafonun sekonder tarafından alınmaktadır.



Şekil 4-34 CYME Programındaki Alibeyköy Fideri Görüntüsü (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

Alibeyköy fideri üzerinde, EA şarj yükünün ve şebekedeki konumunun etkileri statik senaryolar (zamana bağlı olmayan) ile değerlendirilmiştir. Bu senaryolar için 7,4 kW'lık normal şarj istasyonu, 50kW'lık hızlı şarj istasyonu ve 120 kW'lık supercharger şarj istasyonu Alibeyköy fideri üzerinde farklı noktalara farklı sayılarda konumlandırılarak bu durumların şebekedeki aktif güç kaybına olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda fider üzerindeki şebekede en yakın noktadan en uzak noktaya doğru sırasıyla n1, n8 ve n13 noktaları için farklı şarj yükü senaryolarına göre aktif güç kaybı verileri elde edilmiştir (Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9).

	Normal	10x7,4kW	10x50kW	10x120kW	100x120kW
Toplam Aktif Güç Kaybı	6,71	6,81	7,41	8,52	45,31

Tablo 4-7 EA Şarj Yükünün n1 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

	Normal	10x7.4kW	10x50kW	10x120kW	100x120kW
Toplam Aktif Güç Kaybı	6,71	6,95	8,44	11,26	114,34

Tablo 4-8 EA Şarj Yükünün n8 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

	Normal	10x7.4kW	10x50kW	10x120kW	100x120kW
Toplam Aktif Güç Kaybı	6,71	6,98	8,73	12,17	154,18

Tablo 4-9 EA Şarj Yükünün n13 Noktasına Eklenmesi (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

Yukarıdaki verilen tablolar incelendiğinde;

- Aynı sayıda ancak farklı güç seviyelerindeki şarj istasyonlarının şebekede seçilen bir noktadaki oluşturacağı şarj yükü ve toplam aktif güç kaybına etkisi farklıdır. Örneğin: n8 noktasının verileri incelenecek olursa, şebekede EA şarj istasyonu yükü olmadan toplam aktif güç kaybı 6,71 iken 10 adet 7,4kW'lık şarj yükünün (74kW) eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı yaklaşık %3,6 oranında artarak 6,95 seviyesine; 10 adet 50kW'lık şarj yükünün (500kW) eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı yaklaşık %26 oranında artarak 8,44 seviyesine; 10 adet 120kW'lık şarj yükünün (1200kW) eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı yaklaşık %68 oranında artarak 8,44 seviyesine gelmiştir.
- Farklı sayıda ancak aynı güç seviyesindeki şarj istasyonlarının şebekede seçilen bir noktadaki oluşturacağı şarj yükü ve toplam aktif güç kaybına etkisi farklıdır. Örneğin: n1 noktasının verileri incelenecek olursa, şebekede EA şarj istasyonu yükü olmadan toplam aktif güç kaybı 6,71 iken 10 adet 120kW'lık şarj yükünün (1200kW) eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı yaklaşık %27 oranında artarak 8,52 seviyesine; 100 adet 120kW'lık şarj yükünün (12000kW) eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı yaklaşık %575 oranında artarak 45,31 seviyesine gelmiştir.
- Aynı sayıda ve aynı güç seviyesindeki şarj istasyonlarının şebekede seçilen farklı noktalardaki oluşturacağı şarj yükü aynı olsa da toplam aktif güç kaybına etkisi farklı olacaktır. Örneğin: n1, n8 ve n13 noktaları için toplam aktif güç kaybı 6,71 iken 10 adet 50kW'lık şarj yükünün (500kW) bu farklı noktalara eklenmesiyle toplam aktif güç kaybı n1 noktasında yaklaşık %10 oranında artarak 7,41 seviyesine; n8 noktasında yaklaşık %26 oranında artarak 8,44 seviyesine; n13 noktasında yaklaşık %30 oranında artarak 8,73 seviyesine gelmiştir.

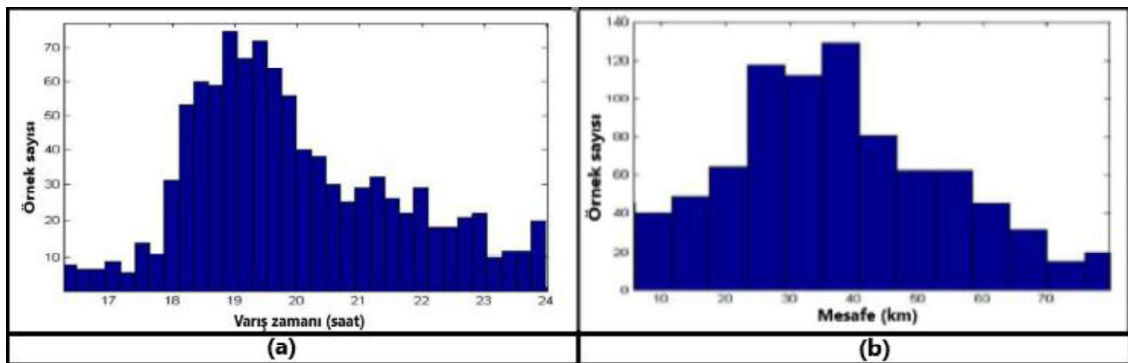
sonuçları elde edilmektedir. Bu kapsamda EA şarj istasyonlarının tipinin, miktarının ve şebekedeki konumlarının, EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesinde oluşturacağı etkileri farklılaştırdığı anlaşılmaktadır.

4.8.7 Örnek Çalışma 7

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015)'den alınmıştır. Bu çalışmada, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından fonlanmış bir Ar-Ge projesi olan Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu projesinden yararlanılmış olup EA entegrasyon seviyelerinin ve EA şarj güç seviyelerinin trafoların yüklenme ve pik yük seviyelerine etkilerine yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler**

Bu çalışmada kullanılmak üzere 10 adet EA sahibinin araçları ile eve varış zamanları ve kat ettikleri mesafeden oluşan günlük seyahat verileri 365 gün boyunca toplanmıştır. Elde edilen verilerin histogram gösterimi Şekil 4.35 (a) ve Şekil 4.35 (b)'de yer almaktadır. Seyahat verisi için eve varış zamanı olarak saat 16:00'dan sonrası, kat edilen mesafe olarak ise 10 km ile 80 km arası değerler dikkate alınmıştır. Gauss dağılımına göre EA'ların eve varış zamanları saat 19:55 olarak ve standart sapma 1 saat 40 dakika olarak belirlenmiştir. Yine Gauss dağılımına göre EA'ların günlük kat ettikleri mesafe 39,5 km olarak ve standart sapması 15,8 km olarak belirlenmiştir.



Şekil 4-35 Eve Varış Zamanı ve EA ile Kat Edilen Mesafe (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Bu çalışmada IEC 61851 standardı ile belirlenmiş olan şarj limitleri kullanılmış olup bunlara ilişkin değerler Tablo 4.10’da yer almaktadır.

Şarj Seviyesi	Maksimum Değerler
Mod 1	230V tek faz, 16A, 3,7kW
	400V üç faz, 16A, 11kW
Mod 2	230V tek faz, 32A, 7,4kW
	400V üç faz, 32A, 22kW
Mod 3	230V tek faz, 63A, 14,5kW
	400V üç faz, 63A, 43,5kW
Mod4	400V DC, 125A, 50kW

Tablo 4-10 IEC 61851 Standardında Yer Alan Şarj Limitleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Çalışmada kullanılmak üzere Türkiye’de halihazırda var olan ve yakın zamanda Türkiye pazarına girebilecek olan birden fazla EA markası belirlenmiştir. Bu araçlara ilişkin batarya kapasitesi, menzil ve şarj gücü özelliklerine ilişkin bilgiler Tablo 4.11’de yer almaktadır. Burada yer alan EA’larda Mod 1-3 şarj seviyeleri kullanılmaktadır. Offboard (araç dışında olan) hızlı şarj cihazları bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.

	Batarya Kapasitesi (kWh)	EA Menzili (km)	Şarj Gücü (kW)
Opel Ampera	15	56	3,3
Mitsubishi MiEV	16	100	3,3
Toyota Prius PHEV	4,4	24	2
BMW İ3	22	160	7,4
Renault Zoe	22	100	43
Renault Twizy	7	80	2,2
Tesla Model S	42	250	20

Tablo 4-11 Çalışmada Kullanılmak Üzere Belirlenen EA’ların Özellikleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

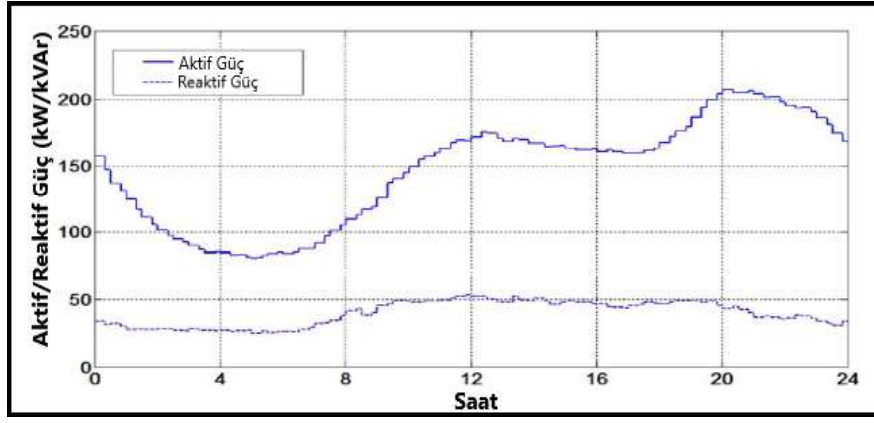
Bu çalışma kapsamında Türkiye’deki araç pazarının %10, %20 ve %30’unun EA olduğu varsayılarak incelemeler yapılmıştır. EA sahibi olan müşterilerin dağıtım trafosundan beslenen dağıtım şebekesine eşit bir şekilde konumlandığı varsayılmıştır.

EA şarj işlemleri için Durum 1 ve Durum 2 olmak üzere iki adet senaryo belirlenmiştir. Durum 1, normal güçte onboard (araç üzerinde olan) şarj iken Durum 2, yüksek güçte onboard şarj'dır. Bu senaryolara göre EA'ların pazar paylaşımlarına ilişkin bilgiler Tablo 4.12'de yer almaktadır. Tablodan görüleceği üzere Durum 1 için bütün EA'lar aynı oranda pazar payına (%14'er) sahip iken Durum 2'de Renault Zoe ve Tesla Model S %30'ar paya, diğer EA'lar ise %8'er paya sahiptir.

		Opel Ampera	Mitsubishi MiEV	Toyota Prius PHEV	BMW İ3	Renault Zoe	Renault Twizy	Tesla Model S
EA Pazar Payı (%)	Durum 1	14	14	14	14	14	14	14
	Durum 2	8	8	8	8	30	8	30

Tablo 4-12 Senaryolara Göre EA'ların Pazar Paylaşımları (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Bu çalışmada kullanılan dağıtım trafosunun yük verileri 1-30 Eylül 2014 tarihleri arasında güç kalite cihazı aracılığıyla toplanmıştır. Ölçüm cihazı 34,5kV/0,4kV, 1000kVA dağıtım trafosunun (TR#2789) sekonder tarafına bağlanmıştır. Yapılan ölçümler IEC 61000-4-30 standardına göre yapılmıştır ve ölçüm sonuçları Başkent EDAŞ'ın serverlarına 3G iletişimi ile aktarılmıştır. Şekil 4.36'da dağıtım trafosuna ilişkin yapılan aktif ve reaktif güç verileri yer almaktadır. Bu toplanan veriler dağıtım şebekesine EA entegrasyonunun olmadığı durum içindir. Şekil incelendiğinde, biri öğle vakti diğeri saat 19:00 ile 21:00 arasında gerçekleşen iki adet pik yük noktasının olduğu görülmektedir. Bu zaman dilimlerine bakıldığında Şekil 4.35 (a)'da verilen EA'ların eve varış zamanları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Transformatörden çekilen maksimum aktif güç 200 kW ve 50 kVAr'dır. Bu çekilen aktif güç kVA olarak yüklenmenin %20'sine karşılık gelmektedir. Dağıtım trafosundan, %90'ı mesken abonesi ve %10'u küçük ölçekli ticarethane olmak üzere toplam 985 aboneye enerji sağlanmaktadır.

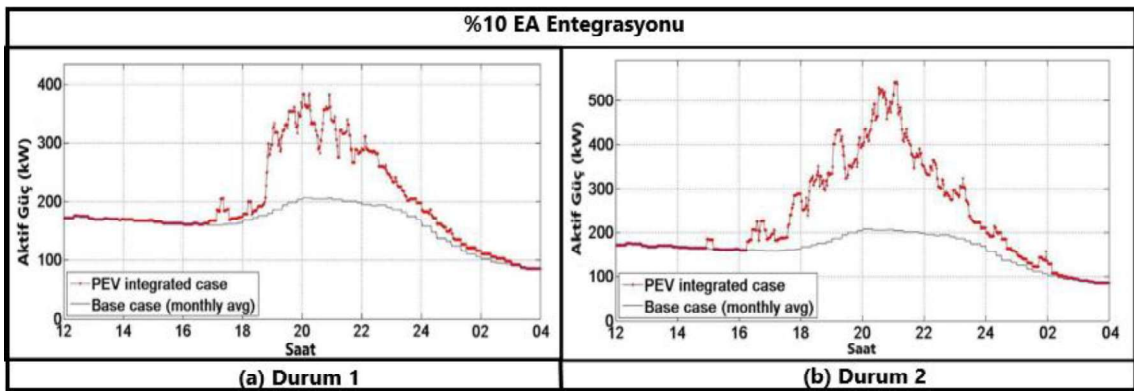


Şekil 4-36 2014 Yılı Eylül Ayında TR#2789'un Ortalama Aktif ve Reaktif Güç Verileri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

- **Örnek Çalışma 7'nin Sonuçları**

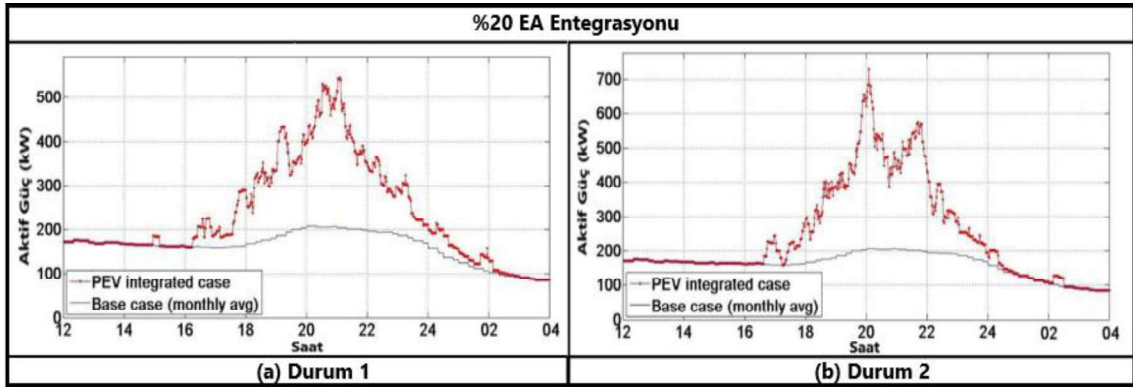
Dağıtım trafosuna sadece EA'ların etkilerinin incelenebilmesi için yapılan simülasyon çıktılarının sadece saat 12:00 ile 04.00 arasındaki verileri Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da yer almaktadır.

Şekil 4.37 incelendiğinde, %10 EA entegrasyonunda Durum 1 için pik yük seviyesinin 400 kW'a yakın bir değerde olduğu, Durum 2 için ise pik yük seviyesinin 500 kW'ın üzerinde bir değerde olduğu görülmektedir.



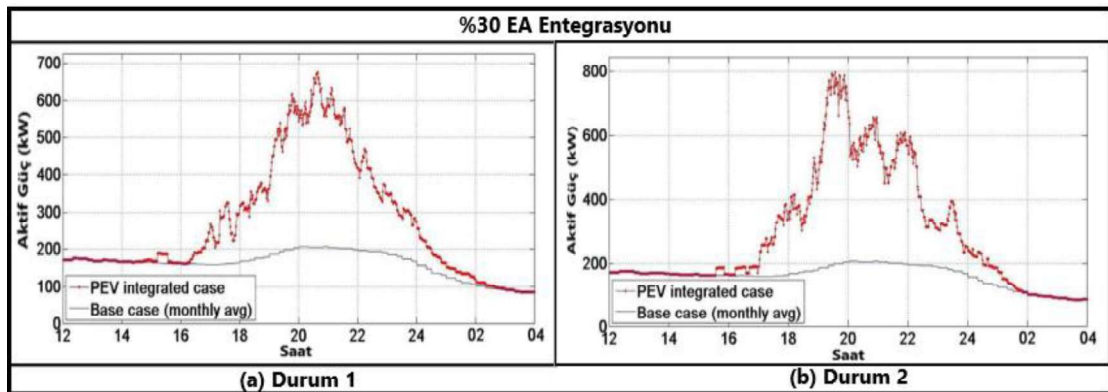
Şekil 4-37 %10 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Şekil 4.38 incelendiğinde, %20 EA entegrasyonunda Durum 1 için pik yük seviyesinin 500 kW'ın üzerinde bir değerde olduğu, Durum 2 için ise pik yük seviyesinin 700 kW'ın üzerinde bir değerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4-38 %20 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Şekil 4.39 incelendiğinde, %30 EA entegrasyonunda Durum 1 için pik yük seviyesinin 700 kW'a yakın bir değerde olduğu, Durum 2 için ise pik yük seviyesinin 800 kW'a yakın bir değerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4-39 %30 EA Entegrasyonunda Dağıtım Trafosunun Yüklenme Değerleri (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015).

Bu çalışma için belirlenen senaryoların çıktıları olan yukarıdaki şekiller incelendiğinde;

- Dağıtım trafosunun maksimum yüklenme seviyesi 200 kW ile %20 seviyesinde iken EA entegrasyonlarıyla trafonun maksimum yüklenme seviyesinde ciddi oranlarda artış olduğu görülmektedir. Örneğin, Şekil 4.37 (a)'da %10 EA entegrasyonu ile trafodaki maksimum yüklenmenin 400 kW'a yaklaştığı görülmektedir. Bu artıştan dolayı da trafonun mevcutta %20 olan maksimum yüklenme seviyesi yaklaşık %40 seviyesine çıkmıştır. Şekil 4.39 (b)'de %30 EA entegrasyonu ile trafodaki maksimum yüklenmenin yaklaşık 800 kW'a çıktığı görülmektedir. Bu artıştan dolayı da trafonun mevcutta %20 olan maksimum yüklenme seviyesi yaklaşık %80 seviyesine çıkmıştır.

- EA entegrasyon seviyesi arttıkça aktif güç tüketiminin de arttığı görülmektedir. Durum 1 için trafonun pik yükleri; %10 EA entegrasyonunda 400 kW'a yakın bir değer, %20 EA entegrasyonunda 500 kW'ın üzerinde bir değer ve %30 EA entegrasyonunda 700 kW'a yakın bir değer olarak gerçekleşmiştir. Durum 2 için trafonun pik yükleri; %10 EA entegrasyonunda 500 kW'ın üzerinde bir değer, %20 EA entegrasyonunda 700 kW'ın üzerinde bir değer ve %30 EA entegrasyonunda 800 kW'a yakın bir değer olarak gerçekleşmiştir.

- Normal ve yüksek güçte onboard şarj olarak sırasıyla Durum 1 ve Durum 2 isimlendirmeleriyle belirlenmiş senaryolar incelendiğinde Durum 2'deki pik yük gerçekleşmesinin Durum 1'den daha yüksek bir seviyede olduğu görülmektedir.

4.8.8 Örnek Çalışma 8

Bu örnek çalışmada yer alan veriler ve bilgiler (Saygın, ve diğerleri, 2019)'dan alınmıştır. Bu çalışmada, EA entegrasyon seviyesi, EA şarj istasyonunun teknik özellikleri, dağıtım şebekesinin ve ekipmanlarının teknik özellikleri, yapılacak yatırımların gerçekleşme durumu, kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, şarj işleminin hangi alanlarda teşvik edileceği (kamusal alanda ve evde şarj desteği gibi) ve şarj işleminin hangi saatlerde teşvik edileceği gibi parametrelerin dağıtım şebekesi üzerinde oluşturacağı etkilere yönelik incelemeler yapılmıştır.

- **Varsayımlar ve Çeşitli Bilgiler**

Bu varsayımlar, ticari faaliyetler için kullanılan elektrikli hafif hizmet araçları, elektrikli otobüsleri, kamyonları, iki/üç tekerlekli araçları, yolculuk harici faaliyetlerde

kullanılan EA'ları ve Türkiye'de seyahat amaçlı bulunan yabancı plakalı EA'ları kapsamamaktadır.

EA satışlarının 2023'e kadar yavaş bir artış eğiliminde ve 2023'den 2030 yılına kadar ise hızlı bir artış eğiliminde olacağı düşünülmektedir. 2030 yılında Türkiye'deki toplam EA ve HEA (harici olarak şarj edilemeyen) satışlarının tüm araç satışlarına oranının %65'e ulaşacağı Yüksek Büyüme ve %30'a ulaşacağı Orta Büyüme senaryoları tanımlanmıştır. EA satışları içerisindeki BEA payı Yüksek Büyüme senaryosunda %55, Orta Büyüme senaryosunda %45 olacak ve PHEA payı ise senaryolara göre sırasıyla %30 ve %25 olacaktır. Bu kapsamda Yüksek Büyüme senaryosunda EA toplam sayısı Yüksek Büyüme için 2,5 milyon ve Orta Büyüme için 1 milyondan fazla olacaktır.

EA şarjına ilişkin evde şarj desteği durumu ve kamusal alanda şarj desteği durumu analizleri yapılacaktır. 2030 yılından itibaren hem evde şarjın hem de kamusal alanda şarjın desteklendiği durumda EA sahiplerinin dörtte birinin ev başına bir şarj noktası olacaktır. Bu durumların ikisi içinde 2025 yılında her 2 EA için 1, 2030 yılında ise her 10 EA için 1 şarj noktası olacaktır. 2030 yılında evlerde; evde şarj durumu için şarj noktası başına 10 EA ve kamusal alanda şarj durumu için şarj noktası başına 5 EA düşecektir. Kamusal şarj alanlarındaki şarj istasyonlarının %10'u DC (100 kW) ve %90'ı 2. seviye AC (22 kW) olacak, evlerdeki şarj istasyonlarının ise %70'i 2. seviye AC (3,7 kW) ve %30'u 1. seviye AC (2,3 kW) olacaktır.

2030 yılında Türkiye'deki EA şarj noktalarının sayılarına ilişkin varsayımlar Tablo 4.13'te yer almaktadır.

Senaryo	Ortalama (kW)	Orta Büyüme		Yüksek Büyüme	
Şarj Etme Durumu		Evde	Kamusal Alanda	Evde	Kamusal Alanda
AC1 – ev (AC1 H)	2,3	78.160	78.160	193.953	193.953
AC2 – ev (AC2 H)	3,7	182.372	182.372	452.557	452.557
AC2 – iş (AC2 W)	22	52.106	52.106	129.302	129.302
AC2 – kamusal (AC2 P)	22	46.896	93.791	116.372	232.744
DC3 – kamusal (DC3 P)	100	5.211	10.421	12.930	25.860
Toplam		364.745	416.850	905.114	1.034.416

Tablo 4-13 2030 Yılı EA Şarj Noktası Sayılarına İlişkin Varsayımlar (Saygın, ve diğerleri, 2019).

2030 yılında bir EA'nın 100 km'de 15kWh elektrik tüketeceği ve yıllık ortalama 10.000 km yol yapacağı varsayılmıştır. Bir EA'nın gideceği maksimum menzil 2018 yılında 200 km olmuş bu değerin 2030 yılında 500 km'ye yükseleceği varsayılmıştır.

Türkiye'deki mevcut elektrik talebi 300 TWh'ın biraz üzerindedir, bu değerin 2030 yılında 453 TWh ve 515 TWh arasında olacağı öngörülmektedir. Yüksek Büyüme senaryosunda, 2030 yılında Türkiye'deki elektrik talebinin 4,1 TWh artacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de dört pilot dağıtım bölgesi seçilmiştir. Bu bölgeler; mesken, ticari, sanayi ve tarımsal sulama abonelerinin olduğu, nüfusu ve elektrik tüketimi yüksek olan farklı bölgeler olarak seçilmiştir. Şebekelerin seçiminde ise şehir merkezlerini (kent) ve kırsal bölgeleri besleyen birer adet YG trafo merkezi pilot olarak belirlenmiştir. Tablo 4.14'te seçilen pilot dağıtım bölgeleri, pilot YG trafo merkezleri ve kapasiteleri yer almaktadır.

Dağıtım Bölgesi	Seçilen YG Trafo Merkezi	
	Kent	Kırsal
AYEDAŞ	Kartal (200MVA)	Şile (94 MVA)
BAŞKENT	Akköprü (200MVA)	Beyazır (50MVA)
TOROSLAR	Karahan (200 MVA)	Kadirli (100 MVA)
GDZ	Bornova (225 MVA)	Bergama (162,5 MVA)

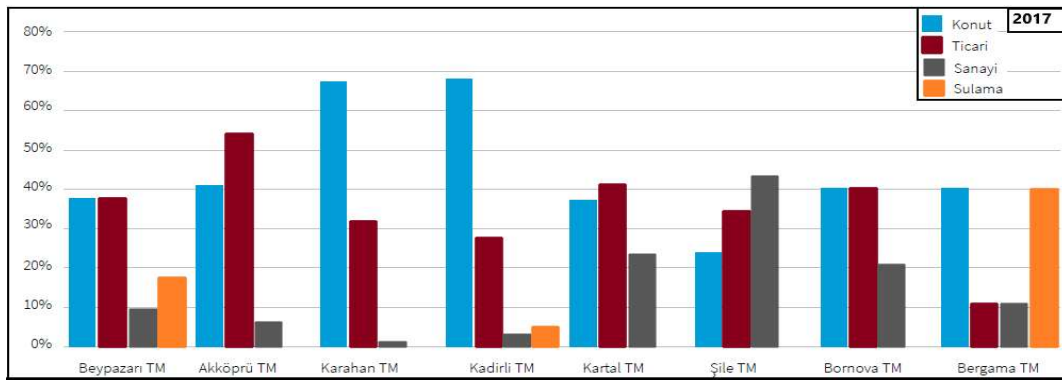
Tablo 4-14 Seçilen Pilot Çalışma Yerleri (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Pilot bölgelerdeki 2017 yılı verileri baz alınarak hazırlanan Şekil 4.40'da konut, ticari, sanayi ve sulama tipi abone dağıtımları yer almaktadır. Bu şekilde yer alan grafikler incelendiğinde;

- Beyazır TM'de, dört farklı abone tipinin bulunduğu, konut ve ticari tipi aboneliklerin oransal olarak birbirlerine çok yakın olduğu, toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın bu iki abonelik tipine ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.

- Akköprü TM'de, sulama tipi aboneliğin bulunmadığı ve toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın ticari tipi aboneliğe ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.

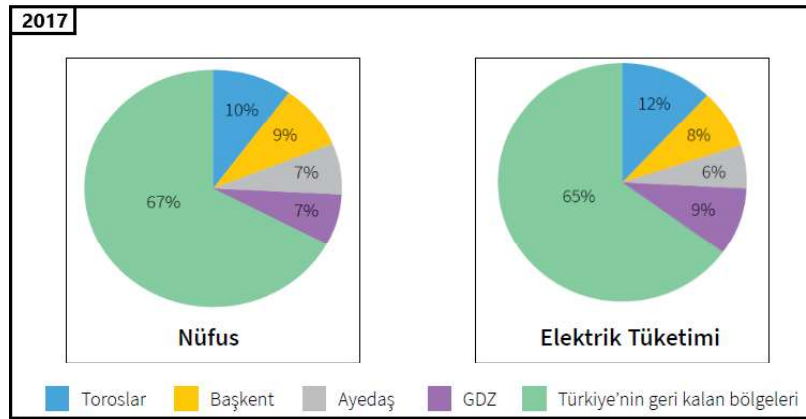
- Karahan TM’de, sulama tipi aboneliğin bulunmadığı ve toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın konut tipi aboneliğe ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.
- Kadirli TM’de, dört farklı abone tipinin bulunduğu, toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın konut tipi aboneliğe ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.
- Kartal TM’de, sulama tipi aboneliğin bulunmadığı ve toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın ticari tipi aboneliğe ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.
- Şile TM’de, sulama tipi aboneliğin bulunmadığı ve toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın sanayi tipi aboneliğe ve en küçük payın konut tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.
- Bornova TM’de, sulama tipi aboneliğin bulunmadığı, konut ve ticari tipi aboneliklerin oransal olarak birbirlerine çok yakın olduğu, toplam abone tipleri içerisindeki en büyük payın bu iki abonelik tipine ve en küçük payın sanayi tipi aboneliğe ait olduğu görülmektedir.
- Bergama TM’de, dört farklı abone tipinin bulunduğu, konut ve sulama tipi aboneliklerin oransal olarak birbirlerine çok yakın olduğu ve toplam abone tipleri içerisindeki büyük bir payın bu iki abonelik tipine ait olduğu görülmektedir. Ayrıca ticari ve sanayi tipi aboneliklerin oransal olarak birbirlerine çok yakın olduğu ve toplam abone tipleri içerisindeki küçük bir payın bu iki abonelik tipine ait olduğu görülmektedir.



Şekil 4-40 Seçilen Pilot Bölgelerdeki Abone Türü Dağılımı (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Şekil 4.41’de nüfus ve elektrik tüketimlerinin toplam miktara göre durumu yer almaktadır. Bu şekilde yer alan grafikler incelendiğinde;

- Seçilen pilot bölgeler Türkiye nüfusunun %33'ünü oluşturmaktadır.
- Pilot bölgelerde en fazla nüfusa sahip olan bölge %10'luk payla Toroslar bölgesidir. Ayedaş ve GDZ bölgelerinin nüfus oranları birbirlerine eşit olmakla birlikte %7'şer paya sahiptir.
- Seçilen pilot bölgeler Türkiye'deki elektrik tüketiminin %35'ini oluşturmaktadır.
- Pilot bölgelerin elektrik tüketim oranları en fazladan en aza doğru sıralanacak olursa sıralama Toroslar, GDZ, Başkent ve Ayedaş şeklinde olacaktır.
- Seçilen pilot bölgelerdeki nüfus ve elektrik tüketimleri birlikte değerlendirilecek olursa; Toroslar ve GDZ bölgelerinin nüfus oranlarına göre elektrik tüketim oranları fazladır, Başkent ve Ayedaş bölgelerinin ise nüfus oranlarına göre elektrik tüketim oranları azdır. Ayrıca Ayedaş ve GDZ bölgelerinin nüfus oranları birbirlerine eşit iken bu bölgelerin elektrik tüketim oranları birbirlerinden farklıdır.



Şekil 4-41 Seçilen Pilot Bölgelerin Türkiye'deki Nüfus ve Elektrik Enerjisi Tüketim Payı (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Seçilen pilot bölgelerdeki Yüksek Büyüme ve Orta Büyüme senaryolarına göre 2030 yılındaki EA ve şarj noktası sayılarının dağılımı Tablo 4.15 ve Tablo 4.16'da yer almaktadır. Elektrikli araç şarj noktalarının pilot bölgelerdeki konumlarına ilişkin bilgiler ise Ek-2'de yer almaktadır.

Pilot Bölge	Yüksek Büyüme	Orta Büyüme
Akköprü	9.112	3.672
Beypazarı	798	322
Kartal	9.636	3.883
Şile	1.812	730
Karahan	4.074	1.642
Kadirli	478	193
Bornova	8.028	3.236
Bergama	1.914	772

Tablo 4-15 Seçilen Pilot Bölgelerdeki 2030 Yılı EA Sayısı (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Pilot Bölge	Yüksek Büyüme		Orta Büyüme	
	Evde Şarj Desteği	Kamusal Alanda Şarj Desteği	Evde Şarj Desteği	Kamusal Alanda Şarj Desteği
Akköprü	3.190	3.645	1.286	1.469
Beypazarı	280	319	113	129
Kartal	3.373	3.855	1.360	1.554
Şile	635	725	256	292
Karahan	1.426	1.630	575	657
Kadirli	167	191	68	77
Bornova	2.810	3.212	1.133	1.295
Bergama	670	766	270	309

Tablo 4-16 Seçilen Pilot Bölgelerdeki 2030 Yılı EA Şarj Noktası Sayısı (Saygın, ve diğerleri, 2019).

EA'ların şebekeye etkilerinin incelenmesi için EA şarj yükünün olmadığı varsayılan her bir dağıtım bölgesi için ayrı ayrı 2030 yılı OG referans modeli baz alınacaktır. Bu referans modelinde,

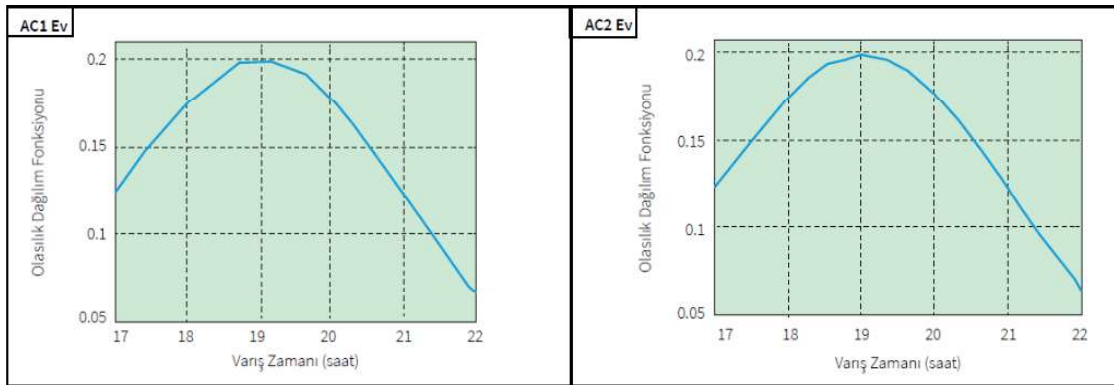
- Yük tahmini yapılırken; EA şarj yükleri haricinde yıllık talep artışı ortalama %5, elektrik talebinin daha düşük büyüme oranıyla değerlendirildiği duyarlılık analizinde ise yıllık talep artışı ortalama %3 olarak alınmıştır.
- Abone tiplerinin yük profili belirlenirken; mesken, ticari, sanayi, sulama ve aydınlatma abonelikleri için hesaplanan günlük yüklenme eğrileri baz alınmıştır.
- Şebeke topolojisi oluşturulurken, her pilot bölgenin OG şebeke modeli coğrafi bilgi sistemi (CBS) verilerinden kullanılmıştır.

○ Referans model için ek şebeke yatırımları belirlenirken, yük artışı nedeniyle şebekede oluşacak hatlardaki aşırı yüklenme, tüketim noktalarındaki aşırı gerilim düşümü ve primer dağıtım şebekesindeki N-1 güvenilirlik kriterleri baz alınarak gerekli olan yatırımlar referans modele eklenmiştir.

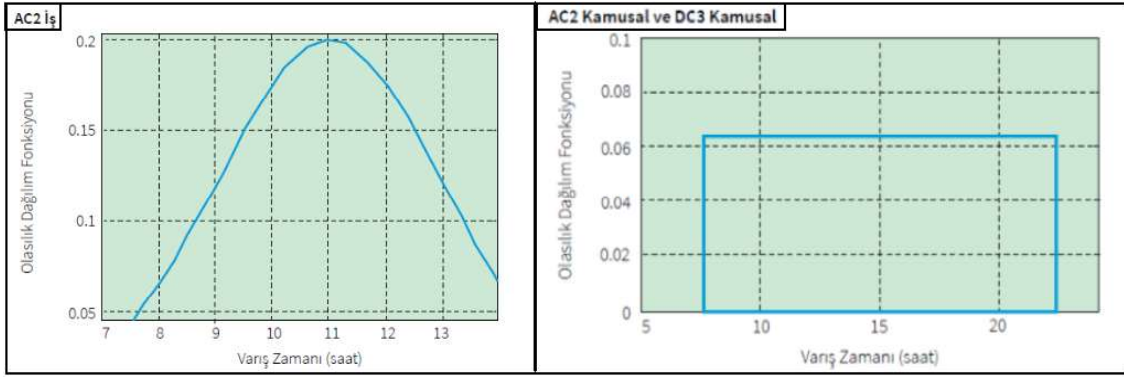
Elektrik talebinin 2018'den 2030 yılına kadar yıllık %5 artışı durumunda, OG/AG dağıtım trafo kapasitesinde (kVA) toplam artış %48 ve OG hat uzunluğundaki (km) toplam artış %43 olarak hesaplanmıştır.

Pilot bölgelerdeki EA şarj noktalarının konumlandırılması, kamusal şarj noktaları için ana bulvarlar ve alışveriş merkezlerindeki mevcut benzin istasyonlarında, evde şarj noktaları için ise temel olarak mesken tüketicilerini besleyen trafolarla kapasiteleri oranında dağıtılarak yapılmıştır. İş yerlerinde ve alışveriş merkezlerinde şarj işlemi için uygun altyapının olduğu ve buralarda bulunan kısıtlı sayıdaki EA şarj noktasından dolayı EA'ların şarj noktalarını sırayla kullanacağı varsayılmıştır.

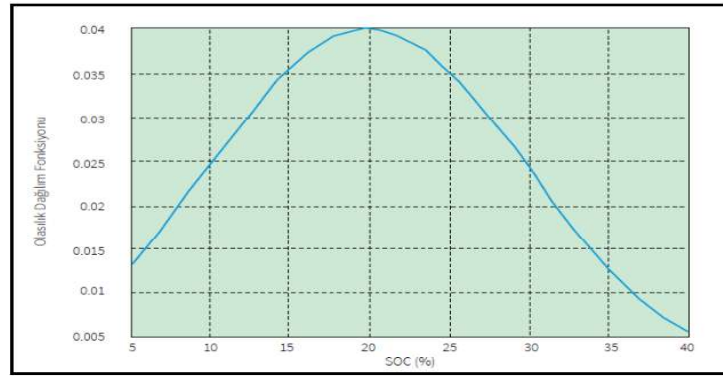
EA'ların günlük şarj şekilleri, evde şarj için (AC1 ve AC2) eve varış saati ortalaması iki saatlik standart sapma ile 19.00, işyerinde şarj ortalaması için üç saatlik standart sapma ile 11.00 olarak belirlenmiştir. Hızlı şarj istasyonlarından dolayı (AC2 ve DC) kamusal alanlardaki şarj süreleri 30 dakika kabul edilmiştir. Buralardaki şarj süresinin dağılımı ise 07.00 ile 22.00 arasında olacağı kabul edilmiştir. Tesadüfi değişkenler olan EA'ların şarj istasyonuna geliş saati ve şarj istasyonuna geldiğindeki şarj seviyesine karşılık gelen olasılık değerleri ve olası tüm sonuçların olasılık dağılım fonksiyonları Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te yer almaktadır.



Şekil 4-42 Evde Şarj İçin Şarj Noktaları Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Saygın, ve diğerleri, 2019).

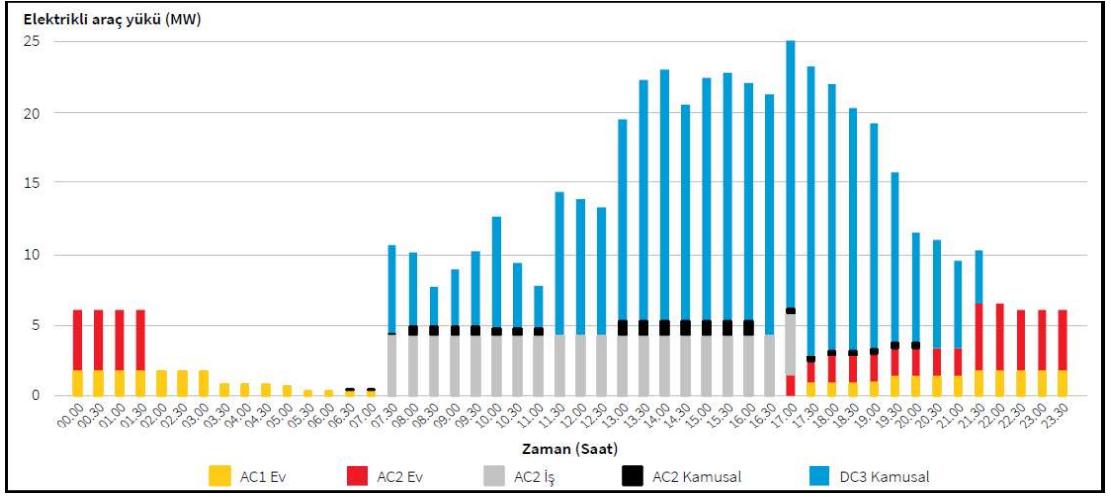


Şekil 4-43 Kamusal Alanlar için Şarj Noktaları Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Saygın, ve diğerleri, 2019).



Şekil 4-44 Bir EA Şarj Noktasına Bağlandıklarındaki Şarj Seviyesi (SOC, State of Charge) Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Olasılık dağılım fonksiyonuyla belirlenen günlük şarj olasılıklarının senaryoları Monte Carlo yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolardan farklı şarj senaryolarını en iyi şekilde temsil edecek 5 adet senaryo seçilmiştir. Yüksek Büyüme ve Orta Büyüme varsayımlarıyla birlikte bu 5 senaryo için şebeke analizleri yapılmıştır. Örnek olarak, evlerdeki araç şarj saatlerinin gece yarısı gerçekleşmesi olarak bilinen akıllı şarj mekanizması dikkate alınmadan Kartal TM bölgesindeki oluşabilecek bir günlük şarj trendi Şekil 4.45'te verilmiştir.



Şekil 4-45 Kartal TM Bölgesi Günlük Şarj Yüğü (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Yüksek Büyüme senaryosu ve kamusal alanda şarj desteği ile Kartal TM bölgesindeki bir günlük şarj trendinde, maksimum yük saati ve araç şarj yükü 17:00-25MW, minimum yük saati ve araç şarj yükü 05:30-0,37MW'dir.

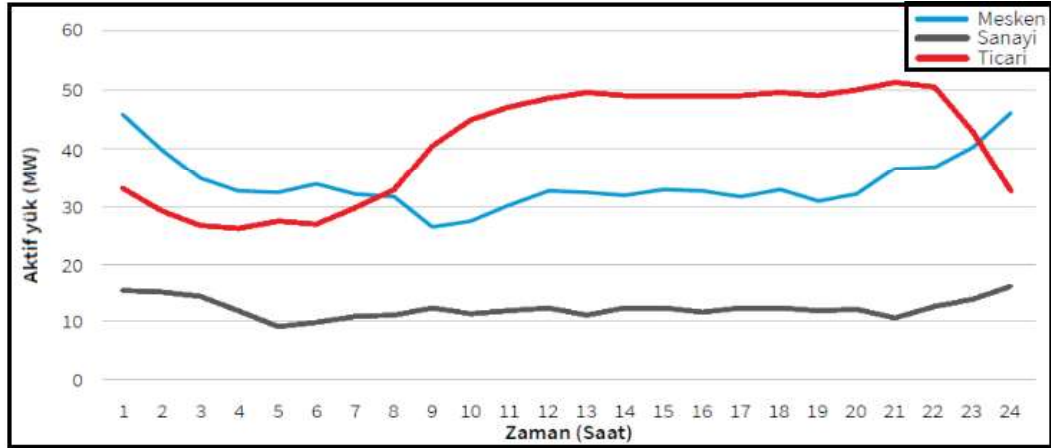
Şekil 4.45'te yer alan örnekten, farklı EA teknolojilerinin günlük şarj kullanımına ilişkin Tablo 4.17'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Şarj Teknolojisi	Şarj Kullanımı	
	Kamusal Alanda Şarj Desteği	Evde Şarj Desteği
AC1H	41,70%	41,70%
AC2H	18,80%	20,40%
AC2W	22,40%	16,50%
AC2P	19,80%	9,70%
DC3P	10,70%	4,20%

Tablo 4-17 Farklı EA'ların Günlük Şarj Kullanımı (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Şehirlerarası yollarda konumlandırılacak hızlı şarj istasyonlarının şebekeye etkilerinin incelenmesi için Kartal TM bölgesin Ankara-İstanbul otobanında benzin istasyonlarını besleyen düşük yüklenme kapasitesi olan uzun bir fider seçilmiştir. Bu fiderin üzerinde aşırı gerilim düşümü yaşanıncaya kadar hızlı şarj EA yükü artırılmış ve fider üzerinde yer alacak maksimum hızlı şarj istasyonunun sayısı belirlenmiştir.

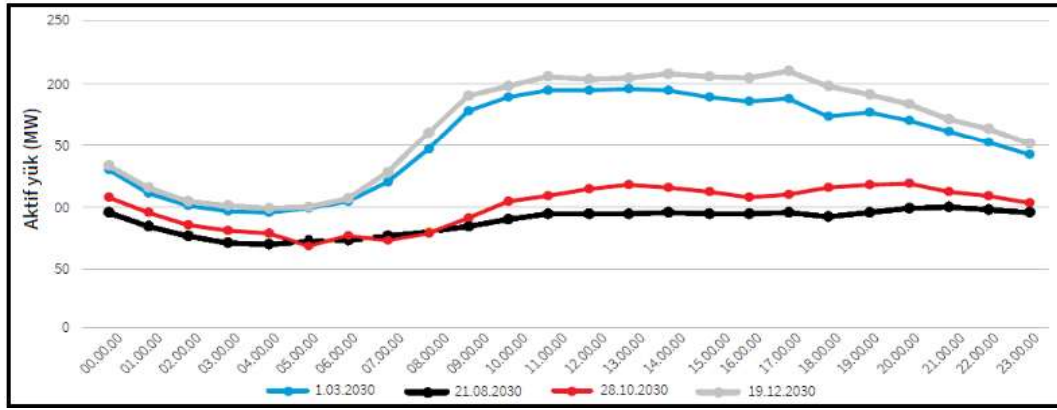
Yaz döneminde Kartal TM bölgesindeki abone gruplarının günlük yük profiline ilişkin bilgiler Şekil 4.46’da yer almaktadır. Bu şekildeki grafik incelendiğinde, gün boyu en düşük aktif yük miktarının sanayi tipi abone grubuna, günün uzun bir bölümünde (yaklaşık saat 08:00’dan 23:00’a kadar) en yüksek aktif yük miktarının ticari tip abone grubuna ve günün kısa bir bölümünde ise en yüksek aktif yük miktarının mesken tipi abone grubuna ait olduğu görülmektedir.



Şekil 4-46 Kartal TM Bölgesi Abone Gruplarının Yaz Dönemindeki Günlük Yük Profili
(Saygın, ve diğerleri, 2019).

Kartal TM bölgesindeki dört mevsimi temsilen seçilen günlerdeki günlük yük eğrilerine ilişkin bilgiler Şekil 4.47’de yer almaktadır. Bu şekildeki grafik incelendiğinde,

- Mavi rengin ilkbahar mevsimini, siyah rengin yaz mevsimini, kırmızı rengin sonbahar mevsimini ve gri rengin kış mevsimini temsil ettiği görülmektedir.
- Günlük olarak toplamda en yüksek yük değerinin kış mevsiminde gerçekleştiği, en düşük yük değerinin ise yaz mevsiminde gerçekleştiği görülmektedir.
- Günlük yük değerlerin saatlik bazda bakıldığında en yüksek değerin kış mevsiminde olduğu, en düşük değerinin ise belirli saatlerde sonbahar mevsiminde olması ile birlikte genellikle yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.



Şekil 4-47 Tipik Mevsim Günlerindeki Kartal TM Bölgesinin Günlük Yük Eğrisi
(Saygın, ve diğerleri, 2019).

Kartal TM bölgesi için yük artışı, kamusal alanlarda şarj desteği, şarj noktalarının OG fiderlerdeki dağılımı, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve enerji depolama sistemleriyle entegrasyon parametrelerinin temel varsayımlar sonucu elde edilen sonuçlar üzerindeki etkileri duyarlılık analizleri yapılarak incelenmiştir. Duyarlılık analizindeki varsayımlara ilişkin bilgiler aşağıdaki yer almaktadır

- Referans modelde yılda %5’lik yük artışı ile belirlenen yatırım ihtiyacı duyarlılık analizinde yılda %3’lük yük artışı ile belirlenmiştir. Burada yıllık talepteki büyümenin %3’e düşmesinin sonuçları araştırılmıştır.
- Referans modelde yoğun saatlerde kamusal alanlarda hızlı şarj işlemi normal seviyede kabul edilirken duyarlılık analizinde daha yüksek seviyede kabul edilmiştir.
- Referans modelde şarj noktalarının OG fiderlerde tipik bir dağılımı varken duyarlılık analizinde az sayıda fider üzerinde daha fazla şarj noktası olacak şekilde dağılımın olduğu varsayılmıştır. Referans model ile duyarlılık analizinde EA sayısının aynı olduğu kabul edilirken referans modeldeki 17 adet olan kamusal şarj noktası duyarlılık analizinde 9 adet olarak kabul edilmiştir.
- Referans modelde 2018 yılındaki yenilenebilir enerji kapasite miktarına ek bir yenilenebilir enerji kapasitesi bulunmazken duyarlılık analizinde 2030 yılında rüzgar ve güneş olmak üzere ek yenilenebilir enerji kapasitesi olduğu varsayılmıştır. 2018 yılında mevcutta var olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ek olarak her pilot bölge için yarısı güneş ve yarısı rüzgar olmak üzere 10 MW’lık yenilenebilir enerji kapasitesinin olduğu kabul edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları her bir pilot şebekede 10 farklı

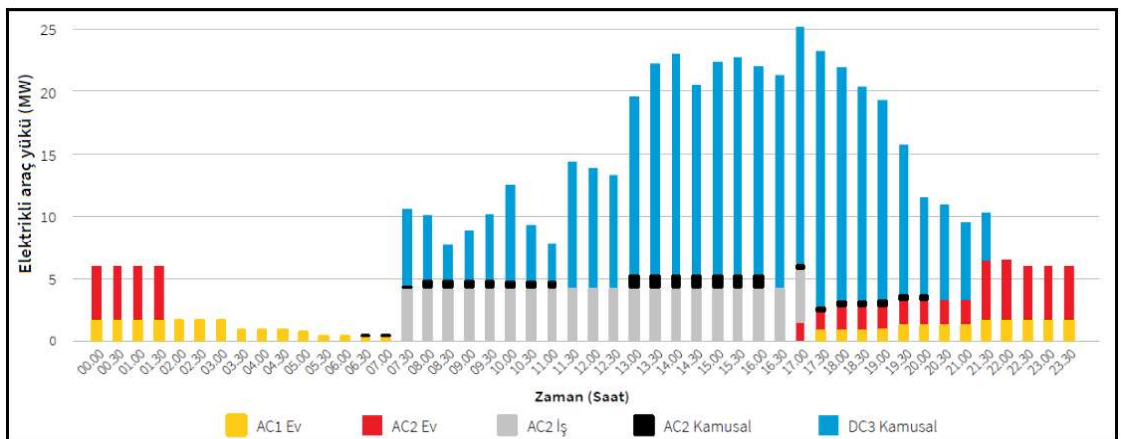
konuma yerleştirilmiş ve bu kaynakların üretim profili negatif yük profili olarak dikkate alınmıştır.

○ Referans modelde enerji depolama sistemleri 2030 yılında bulunmazken duyarlılık analizinde enerji depolama sistemleri 2030 yılında bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yerleştirildiği 10 farklı konumda batarya depolama kapasitelerinin olduğu varsayılmıştır. Burada 5 MWh enerji kapasiteli bataryaların kullanıldığı kabul edilmiştir. Depolama sistemlerinin şarjının fiyatların düşük olduğu gece yarısında, deşarjının ise gündüz yoğun saatlerde olduğu varsayılmıştır.

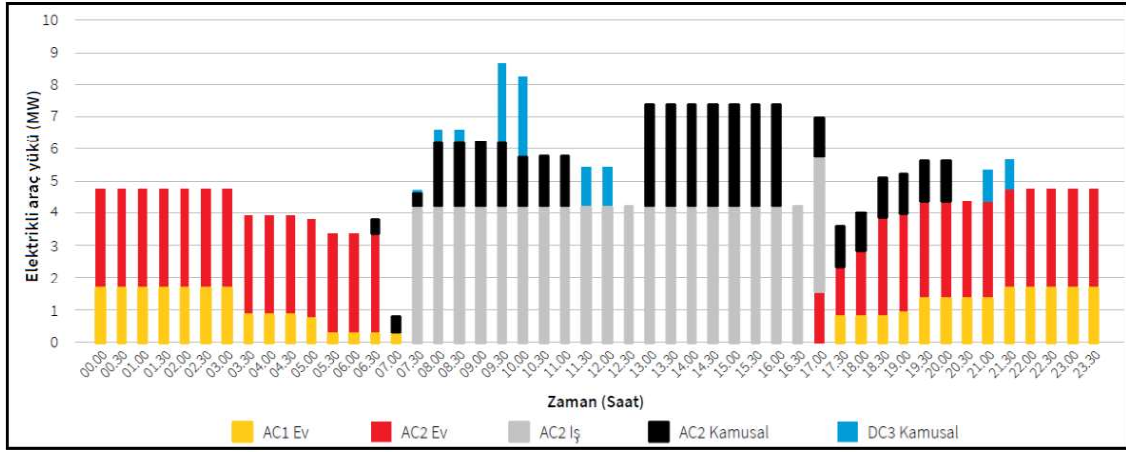
• Örnek Çalışma 8'in Sonuçları

Bu örnek çalışmada seçilen pilot bölgelerin hepsi için Orta Büyüme senaryosu analizlerinde şebekenin teknik kriterleri ile ilgili hemen hemen hiç problem yaşanmaması sebebiyle Yüksek Büyüme senaryosu analizlerinin sonuçları incelenmiştir.

Seçilen tüm pilot bölgeler için EA günlük şarj yüklenme profilleri oluşturulmuş olup örnek olarak Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da Kartal TM bölgesindeki Yüksek Büyüme senaryosunda kamusal alanda ve evde şarj desteği durumlarına göre EA günlük şarj yüklenme profilleri bulunmaktadır. Oluşturulan bu EA günlük şarj profili pilot bölgelerin hepsi için geçerlidir ancak bölgelerin araç stoku farklı dinamiklere göre değiştiği için pilot bölgelerde saatlik bazda toplam EA şarj yükü de değişmektedir.

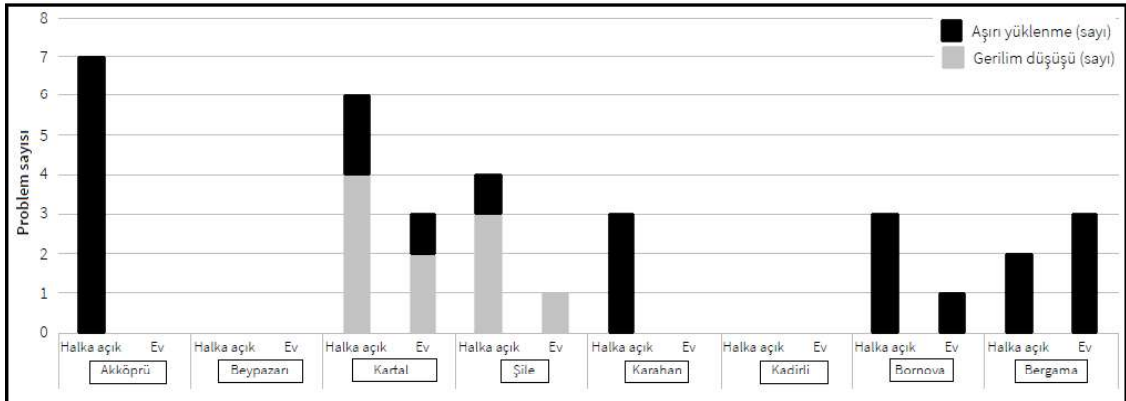


Şekil 4-48 Kamusal Alanda Şarj Desteği Durumunda Kartal TM Bölgesi Günlük EA Şarj Yüklenme Profili (Saygın, ve diğerleri, 2019).



Şekil 4-49 Evde Şarj Desteği Durumunda Kartal TM Bölgesi Günlük EA Şarj Yüklenme Profili (Saygın, ve diğerleri, 2019).

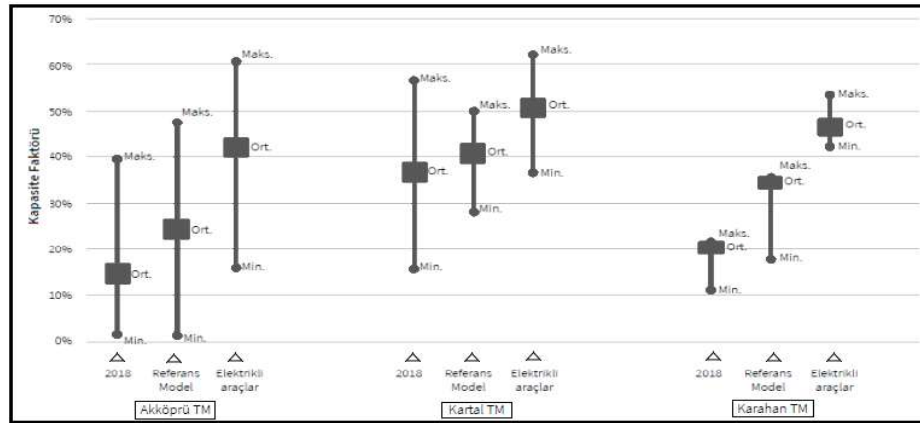
Hat ve trafolarla aşırı yüklenmeler, OG ve AG yük noktalarındaki gerilim düşümü, OG fiderler ve OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörleri ve şebeke yatırım ihtiyaçları EA'ların dağıtım şebekesine etkisi incelenirken temel göstergeler olarak alınmıştır. Pilot bölgelerde EA'ların şarj yüklerinden kaynaklı olarak meydana gelen gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problemleri Şekil 4.50'de yer almaktadır.



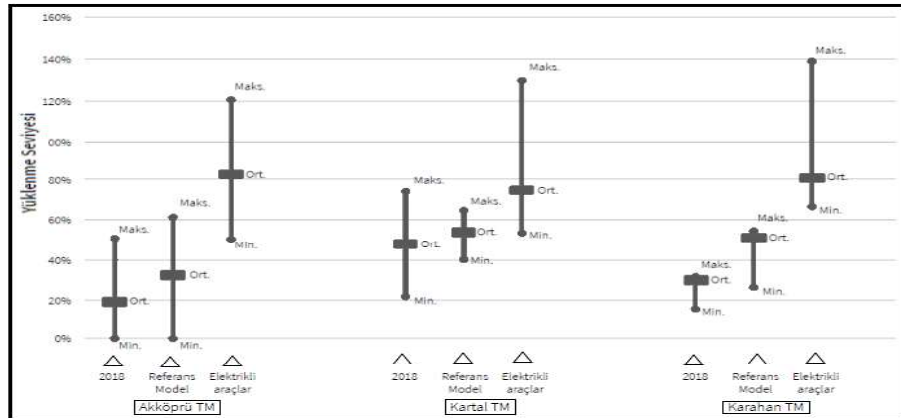
Şekil 4-50 Kamusal Alanda ve Evde Şarj Desteği Durumlarına Göre Meydana Gelen Gerilim Düşümü ve Aşırı Yüklenme Sayıları (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Yüksek Büyüme senaryosunda pilot bölgelerdeki gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problem sayılarının az olmasının en önemli sebebi pilot bölgelerde bulunan trafolar ve hatların yıllık kapasite faktörlerinin düşük olmasıdır. Örneğin, 2018 yılı için OG/AG trafo yıllık kapasite faktörü Akköprü için %14, Kartal için %36 ve Karahan için %20'dir. Referans model baz alınacak olursa yıllık %5 talep artışı ile bu değerler 2030

yılında sırasıyla %24, %40 ve %33 olmuştur (Şekil 4.51). EA'ların şarj yükü bu kapasite faktörlerini %10 ile %20 arasında artırmaktadır. Görüleceği üzere EA'ların şarj yüklerinin eklenmesinde dahi kapasite faktörleri %100'e ulaşmamaktadır. Ayrıca gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problemleri sayısı da oldukça azdır (Şekil 4.52). Bu da EA şarjlarının şebekeye getireceği yükü karşılamak için önemli seviyede bir kapasitenin olduğunu göstermektedir.

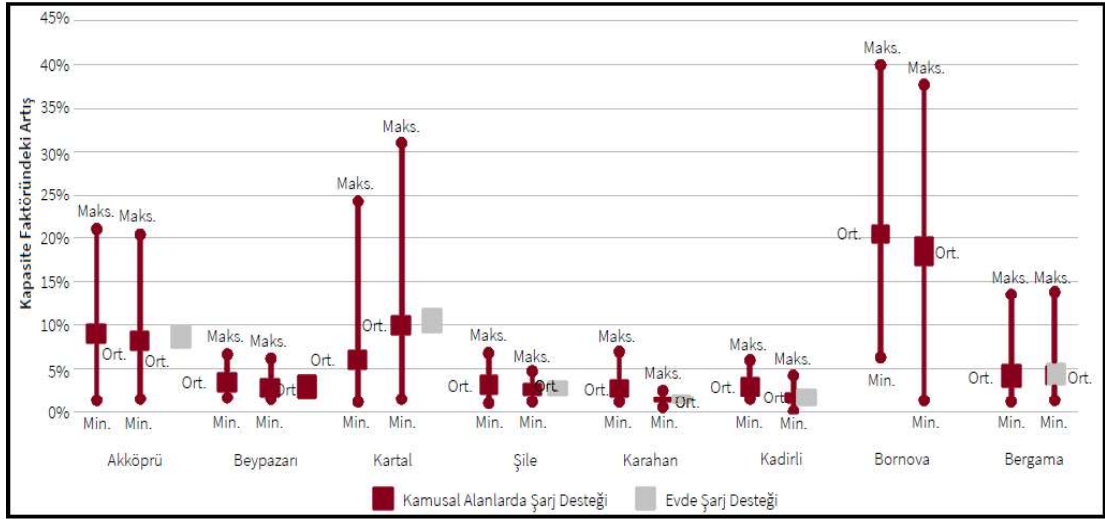


Şekil 4-51 OG/AG Trafo Kapasite Faktörü Verileri (Saygın, ve diğerleri, 2019).



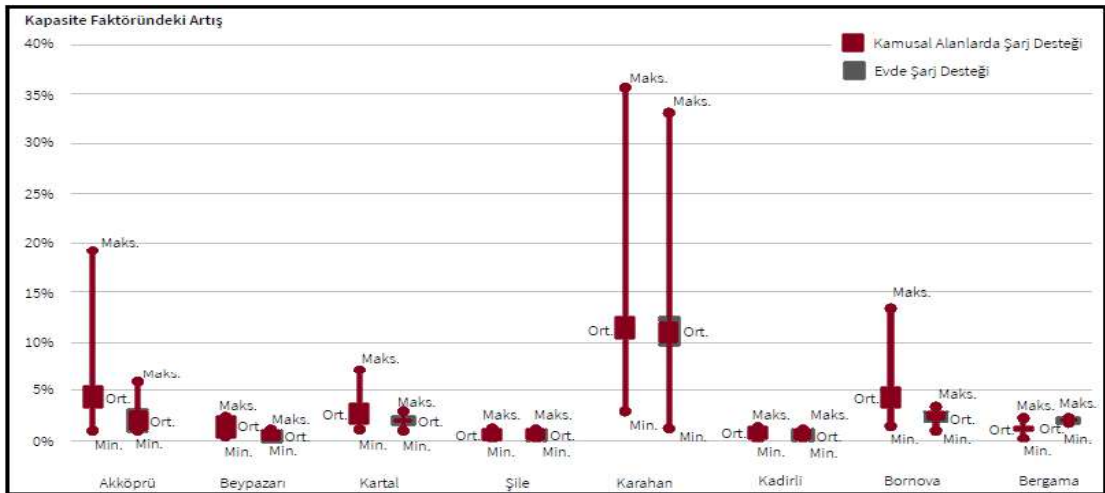
Şekil 4-52 OG/AG Trafo Yüklenme Verileri (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Şekil 4.53'te yer alan EA'ların etkisi ile OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörlerindeki ortalama artışlara bakıldığında, kamusal alanda şarj desteği durumunda Akköprü %9, Beypazarı %3, Kartal %6, Şile %3, Karahan %3, Kadirli %3, Bornova %20 ve Bergama %5; evde şarj desteği durumunda ise Akköprü %8,2, Beypazarı %2,8, Kartal %10, Şile %2,2, Karahan %1,5, Kadirli %1,2, Bornova %18,8 ve Bergama %4,2 oranlarındadır.



Şekil 4-53 EA'lar Sonrası OG/AG Trafoların Yıllık Yüklenme Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).

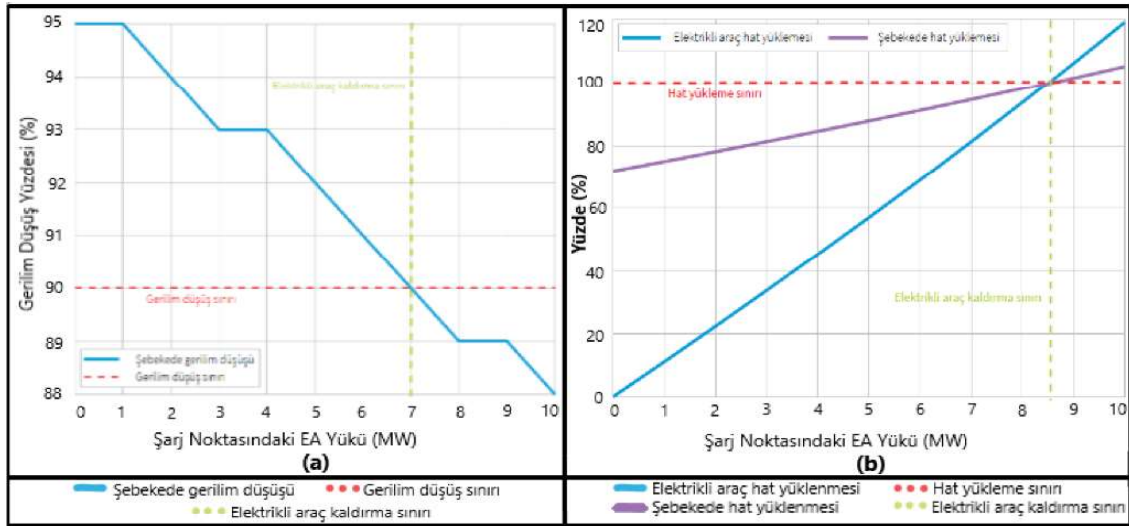
Şekil 4.54'te yer alan EA'ların etkisi ile OG hatların yıllık yüklenme kapasite faktörlerindeki ortalama artışlara bakıldığında, kamusal alanda şarj desteği durumunda Akköprü %4,3, Beypazarı %1,4, Kartal %2,7, Şile %0,2, Karahan %11,5 ve Kadirli %0,3; evde şarj desteği durumunda ise Akköprü %2, Beypazarı %0,02, Kartal %1,7, Şile %0,1, Karahan %11 ve Kadirli %0,1 oranlarındadır.



Şekil 4-54 EA'lar Sonrası OG Hatların Yıllık Yüklenme Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Otoyollarda konumlandırılacak olan şarj istasyonlarının şebekede en çok teknik problem oluşturacak durumlarının incelenmesi için dağıtım şebekesinin zayıf olduğu

bir noktadan beslenen düşük kapasiteli, uzun bir hat seçilmiş ve bu hat üzerinde EA şarj istasyonu yükünden başka bir yükün olmadığı varsayılmıştı. Şekil 4.55 (a) incelendiğinde, hat üzerindeki şarj yükünün gerilim düşümü açısından kabul edilen sınırlar içerisinde kalması için maksimum 7 MW olabileceği görülmektedir. Şekil 4.55 (b) incelendiğinde ise hat üzerindeki şarj yükünün hem şarj istasyonunu besleyen hattın hem de Kartal TM bölgesini besleyen ana hattın yüklenmesine etkisi görülmektedir. Yüklenmenin, kabul edilen sınırlar içerisinde kalması için maksimum 8,5 MW olabileceği görülmektedir. Verilen bu değerler eşliğinde Şekil 4.55 (a) ve (b) birlikte incelendiğinde, gerilim düşümü sınırının yüklenme sınırından daha düşük olması sebebiyle hattaki şarj yüklenme limitinin 7 MW olduğu sonucuna varılacaktır. Bu incelemede hat üzerinde EA şarj yüklerinden başka yüklerin olması durumunda, şarj yükünden kaynaklı gerilim düşümü ve aşırı yüklenme yük değerleri düşecektir.

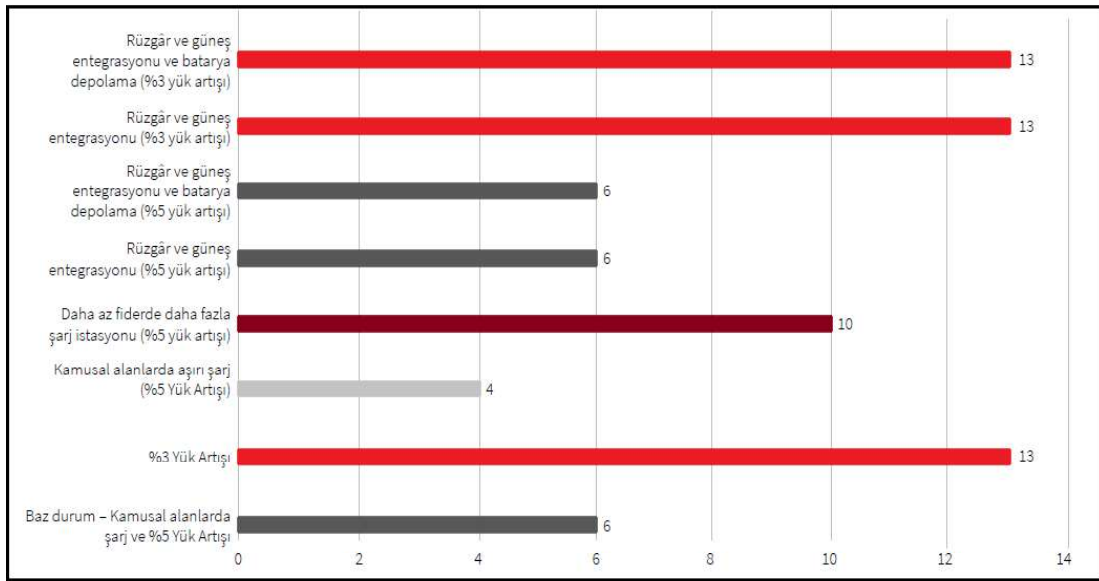


Şekil 4-55 Hat Üzerindeki Gerilim Düşümü ve Yüklenmenin Şarj Noktasındaki EA Yüküne Göre Değişimi (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Yapılan simülasyon sonucunda otobanda bulunan ve üzerinde az bir yükü olan temsili bir OG fiderin 4 adet hızlı şarj istasyonunu (her biri 16 adet eşzamanlı 100kW DC tip şarj noktası içermektedir) besleyebileceği görülmüştür.

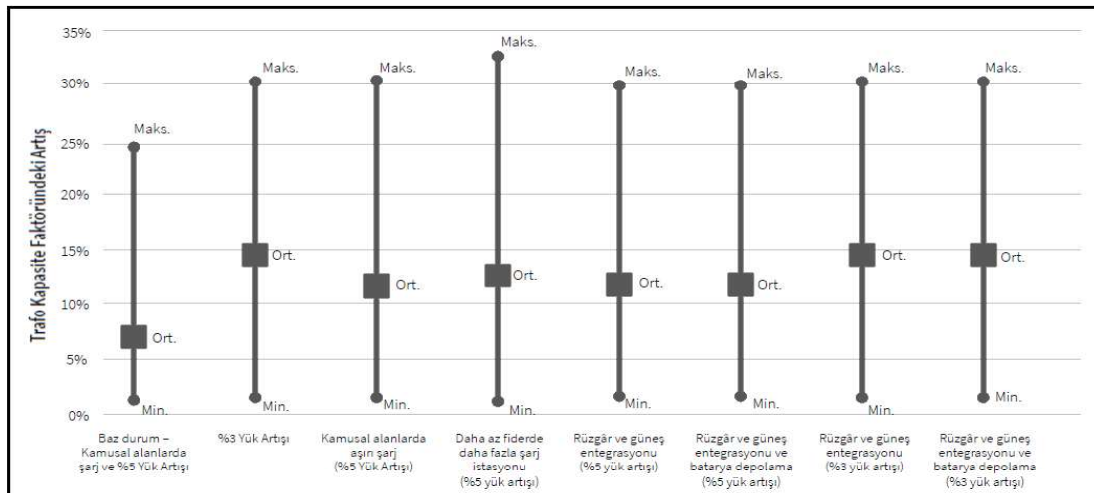
Kartal TM pilot bölgesi için yapılan duyarlılık analizi sonucu elde edilen gerilim ve aşırı yüklenme problemleri sayılarına ilişkin veriler Şekil 4.56'da yer almaktadır. Baz durum olarak kabul edilen kamusal alanlarda şarjın desteklendiği ve yıllık %5'lik yük

artışının olduğu senaryoda 6 adet problem olduğu görülmektedir. Baz duruma göre daha az yatırımın olduğu ancak aynı sayıda EA entegrasyonunun olduğu %3'lük yük artışı senaryosunda problem sayısının %100 ün üzerinde bir artışla 13 adede çıkmıştır. Baz durum ile yıllık yük artışının aynı olduğu ancak kamusal alanlardaki şarj işleminin çok daha fazla olduğu senaryoda problem sayısında azalma olmuş ve 4 adede düşmüştür. Bu azalışın en önemli sebebinin EA şarj yüklerinin belirli noktalara kaydırılarak aşırı yüklenmelerin sınırlandırılması olduğu değerlendirilmektedir. Baz durum ile yıllık yük artışının aynı olduğu ancak daha az fidere daha fazla şarj istasyonunun yerleştirildiği senaryoda problem sayısının arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebinin fider üzerindeki EA şarj yükünün artması ile birlikte yük profilindeki artış olduğu değerlendirilmektedir. Baz durum ile yıllık yük artışının aynı olduğu, yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda yaşanan problem sayısında baz duruma göre bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Yük artışının %3 olduğu, yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda yaşanan problem sayısında baz duruma göre daha az yatırımın olduğu %3'lük yük artışı senaryosuna göre bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda değişiklik yaşanmamasının sebebinin, gerilim ve aşırı yüklenme problemlerinin dağıtım şebekesinin teknik özelliklerine ve şebekeye bağlı yüklerin özelliklerine göre şekillenmesi olduğu değerlendirilmektedir.



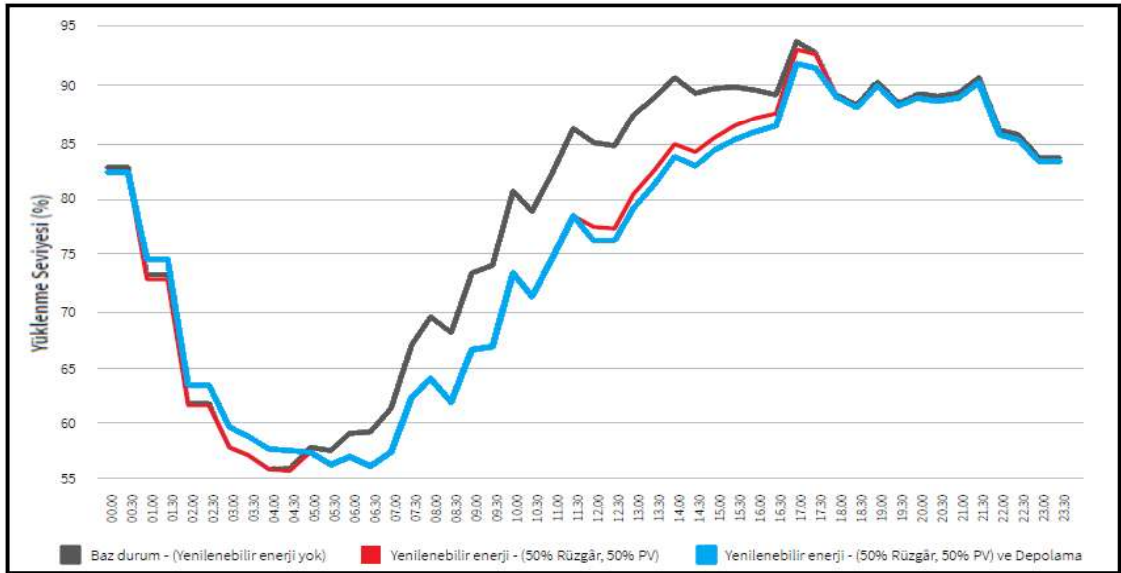
Şekil 4-56 Duyarlılık Analizindeki Varsayımlar için Toplam Problem Sayıları (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Duyarlılık analizindeki varsayımlar ile EA entegrasyonu sonrası OG/AG trafo kapasite faktörlerindeki artışlar Şekil 4.57’de yer almaktadır. Baz durum olarak kabul edilen kamusal alanlarda şarjın desteklendiği ve yıllık %5’lik yük artışının olduğu senaryoda trafo kapasite kullanım faktöründeki artış ortalama %7 seviyesindedir. Baz duruma göre daha az yatırımın olduğu ancak aynı sayıda EA entegrasyonunun olduğu %3’lük yük artışı senaryosunda trafo kapasite kullanım faktöründeki artış ortalama %15 seviyesindedir. Baz durum ile yıllık yük artışının aynı olduğu ancak kamusal alanlardaki şarj işleminin çok daha fazla olduğu senaryoda trafo kapasite kullanım faktöründeki artış ortalama %12 seviyesindedir. Kamusal alanlarda şarjın daha fazla olduğu bu senaryoda trafo kapasite kullanım faktöründe artış yaşanmasına rağmen Şekil 4.56’dan görüleceği üzere toplam problem sayısında azalma olmuştur. Baz durum ile yıllık yük artışının aynı olduğu ancak daha az fidere daha fazla şarj istasyonunun yerleştirildiği senaryoda trafo kapasite kullanım faktöründeki artış ortalama %13 seviyesindedir. Yük artışının %5 olduğu, yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda trafo kapasite kullanım faktöründeki artışın kamusal alanda şarjın daha fazla olduğu ve yıllık yük artışının %5 olduğu senaryo ile benzer olduğu görülmektedir. Yük artışının %3 olduğu, yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda trafo kapasite kullanım faktöründeki artışın yıllık yük artışının %3 olduğu senaryo ile benzer olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda yaşanan diğer senaryolara benzer değişikliklerin sebebinin, trafo kapasite kullanım faktörünün dağıtım şebekesine bağlı yüklerin özelliklerine göre şekillenmesi olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4-57 Duyarlılık Analizindeki Varsayımlar için EA Entegrasyonu Sonrası OG/AG Trafo Kapasite Faktörlerindeki Artış (Saygın, ve diğerleri, 2019).

Yukarıda yer alan Şekil 4.56'dan yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji ile depolama sistemlerinin kullanıldığı senaryolarda gerilim ve aşırı yüklenme problemlerinin toplam sayısında bir değişiklik olmadığı görünmektedir. Bu şekildeki grafik yıllık ortalamalar baz alınarak hazırlandığı için şebekede kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama sistemlerinin EA'ların şebekeye entegrasyonunda dikkate değer bir etkisinin olmadığı sonucu çıkarılabilir. Ancak Şekil 4.58'de yer alan Kartal pilot bölgesinde bulunan YG/OG trafosunun ortalama bir yaz günündeki yüklenme seviyeleri incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama sistemlerinin YG/OG trafo yüklenme seviyesini düşürdüğü görülmektedir. Bu çalışmada depolama sistemlerinin şarjının elektrik fiyatlarının en düşük olduğu gece saatlerinde, deşarjının ise gündüz saatlerinde olduğu ve EA'ların şarj edilme saatleri ile ilgili bir düzenlemenin olmadığı varsayılmıştır. Bu pilot bölgedeki yüklenmenin yoğun olduğu saatlerde yenilenebilir enerjilere erişimin olmaması sebebiyle de yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama sistemlerinin bu saatlerdeki aşırı yüklenmeye etkisi diğer saatlerdeki kadar net incelenememiştir. Ancak şebekede yaşanabilecek bazı problemlerin sadece yüklenmenin en fazla olduğu zamanlarda olmaması sebebiyle yenilenebilir enerji ve depolama sistemlerinin şebeke işletimindeki teknik kısıtlar konusunda faydalı olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 4-58 Ortalama Bir Yaz Gününde Kartal Pilot Bölgesindeki YG/OG Trafonun Yüklenme Seviyesi (Saygın, ve diğerleri, 2019).

- **Örnek Çalışma 8 için Genel Değerlendirmeler**

Bu çalışmada Türkiye’deki toplam nüfusun %33’ünü ve toplam enerji tüketiminin %35’ini kapsayan pilot bölgeler seçilmiştir. Seçilen pilot bölgelerde Yüksek Büyüme senaryosu kapsamında belirlenen sayılarda EA entegrasyonu ile elde edilen veriler bu entegrasyonun dağıtım şebekelerinin işletimine sınırlı etki ettiğini göstermiştir. Yıllık %5 yük artışıyla orantılı olarak 2030 yılına kadar elektrik şebekesinde yapılacak yatırımların gerçekleşmesi durumunda EA entegrasyonu ile oluşacak gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problemlerini önlemek veya sınırlandırmak için OG/AG trafolarındaki ve dağıtım hatlarındaki ek kapasite ihtiyaçları Referans Modelin %1 ile %10’u arasında olacaktır.

100 kW’lık DC hızlı şarj istasyonlarının kullanılarak kamusal alanlarda daha fazla şarjın desteklendiği ve elektrik tüketiminin fazla olduğu zamanlarda trafo kapasite kullanım faktörleri artmıştır ancak gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problemlerinin sayısında azalma olmuştur. Bu çalışmada güç seviyesi 100 kW’ın üzerinde olan hızlı şarj istasyonlarının kullanılması ve/veya sayılarının fazla olması durumunda muhtemelen dağıtım şebekesinde yaşanacak olan gerilim düşümü ve aşırı yüklenme problemlerinin sayıları da artacaktır. Bu kapsamda gerek şarj istasyonlarının konumları ile altyapısına ilişkin planlamalar gerekse de kullanılan şarj istasyonlarının teknik özellikleri önem arz etmektedir.

Bu çalışma, ticari faaliyetler için kullanılan elektrikli hafif hizmet araçları, elektrikli otobüsleri, kamyonları, iki/üç tekerlekli araçları, yolculuk harici faaliyetlerde kullanılan EA’ları ve Türkiye’de seyahat amaçlı bulunan yabancı plakalı EA’ları kapsamamış olup sadece binek tip EA’lar hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamına alınmayan EA’ların yapılan analizlere dahil edilmesi sonucunda muhtemelen dağıtım şebekesinde yaşanacak problem sayılarında dikkate değer biçimde bir artışa neden olacaktır. Ayrıca bu EA’ların kullanım koşullarının binek tipi EA’lara göre farklı olması sebebiyle şarj alışkanlıkları da farklılıklar gösterecektir. Bu farklılıklardan kaynaklı olarak EA sahiplerinin hızlı şarj istasyonları kullanım tercihlerinin artmasına ve daha uzun yolculuklar için araçların batarya kapasitelerinin artırılmasına bağlı olarak da dağıtım şebekelerinde şarj yükleri ve yaşanacak problem sayıları artacaktır.

Seçilen pilot bölgelerde yapılan analizler sonucunda kapasite kullanım faktörlerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Bu da her elektrik şebekesinde gerek şebeke gerekse de şebekedeki şarj istasyonlarının sayılarının ve konumlarının planlanmasında farklılıkların olması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesine eklenmesiyle şebekede oluşacak teknik değerlere göre planlamaların yapılmasının yanında yapılması planlanan yatırımlarında gerçekleşmeleri önemli bir diğer husustur.

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin yapılması, elektrik depolama sistemlerinin kullanılması ve EA şarjının şebekenin fazla yüklü olmadığı zaman dilimlerine kaydırılması gibi çeşitli planlamalar ve sınırlamaların olduğu akıllı şarj teknikleri kullanılarak şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki yerleri ve araç sahiplerinin şarj alışkanlıkları belirlenebilmektedir. EA sahiplerinin şarj alışkanlıklarının mevsimlere göre değişmesi de yapılacak planlamalar ve sınırlamalarda dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdendir. EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesindeki yüklenmenin az olduğu, elektrik fiyatlarının düşük olduğu ve yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin fazla olduğu zaman dilimlerine kaydırılması EA sahipleri ve dağıtım şebekesi için çeşitli faydalar sağlayacaktır. Ayrıca dağıtım şebekesinin esnekliği de yenilenebilir kaynaklar ve EA şarj yüklerinin şebekeye entegrasyonunda etkilidir. şebeke esnekliğinde bölgesel olarak farklı kısıtların olduğu ve bu yüzden bölgesel olarak bu kısıtların aşılması ve entegrasyonlarda bazı farklılıklar olacağı unutulmamalıdır.

Dağıtım şebekelerine fazla sayıda EA şarj yükünün eklenmesi sonucunda oluşacak puant yük artışını azaltmak, gerilim ve aşırı yüklenme problemlerini azaltmak/sınırlandırmak için EA'ların şarj edilme saatlerine yönelik düzenlemeler yapılması, şebeke işletiminde elektronik sistemlerin kullanılması ve dağıtık enerji üretiminin yaygınlaşması faydalı olacaktır. EA ve EA şarj istasyonu piyasa durumlarının Türkiye'de başlangıç aşamasında olması ve dağıtım şebekelerinde oluşturacağı problemler göz önüne alındığında bu hususlardaki planlamaların şimdiden yapılmaya başlanması ve pilot bölgelerde uygulamaların gerçekleştirilmesi faydalı olacaktır. Dağıtım şebekesine entegre olarak EA'ların şarjı için yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin kullanılması da hem bu enerji kaynaklarından kaynaklanan şebeke kısıtlarının azaltılmasına hem de EA şarj yükleri için şebekenin optimum kullanılmasına katkı sağlayarak bu yüklerden kaynaklı yeni şebeke yatırımlarını azaltacaktır.

Tablo 4.18’de, incelenen 8 adet örnek çalışmaya ilişkin oluşturulan özet yer almaktadır.

Çalışmanın İsmi	Kullanılan Kaynak	Çalışmanın Detayı	Çalışmanın Sonuçları
Örnek Çalışma 1	Impact Assessment of Large Scale Integration of Electric Vehicle Charging Infrastructure in the Electricity Distribution System (Atla, ve diğerleri, 2019)	Seçilen pilot OG şebekesinde belirlenen geleneksel şarj, çoklu tarife ile şarj ve akıllı şarj senaryolarının etkilerine yönelik yapılan analizler.	Gerilim düşümü probleminin bu çalışmada seçilen pilot şebeke için ihmal edilebilir bir seviyede olduğu, hat/kablo yüklenmelerinin EA şarj yüklerinin entegrasyonu ile ve şarj stratejisine göre önemli ölçüde arttığı, enerji kayıplarının EA şarj yüklerinin şebekede artmasıyla birlikte kayıp miktarının etkilenmeyeceği ancak şarj stratejilerinden kaynaklanan bazı değişikliklerden dolayı EA şarj yükleri arttıkça şebekedeki kayıplarında artacağını her zaman için söylenemeyeceği anlaşılmaktadır.
Örnek Çalışma 2	Impact of EV Home Charger on Distribution Transformer Overloading in an Urban Area (Satarworn & Hoonchareon, 2017)	Evde şarj işleminin AG şebekesinde çeşitli varsayımlar ve farklı seviyelerde EA şarj yükü entegrasyonlarında şebekeye etkilerine yönelik analizler.	Dağıtım şebekesinde bulunan trafoların kapasitelerinin ve mevcuttaki yüklenme seviyelerinin EA şarj yükü entegrasyonunda önemli bir sınırlama oluşturduğu anlaşılmaktadır.
Örnek Çalışma 3	Impact Analysis on Voltage Unbalance of EVs Charging on a Low Voltage Distribution System (Klayklueng & Dechanupaprittha, 2014)	AG şebekesinde EA şarj yüklerinden kaynaklı oluşabilecek gerilim dengesizliğine yönelik yapılan analizler.	EA şarjının aynı zamanda aynı faz üzerinde yapılmasının dağıtım sisteminin yüklenme seviyesini artırdığı, özellikle tek fazdan beslenen EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesinde gerilim dengesizliğine sebep olabileceği anlaşılmaktadır. Bu kapsamda genellikle evde şarj işleminin tek faz üzerinden yapılmasından dolayı gerilim dengesizliği konusunda ciddi etkilerinin olacağı anlaşılmaktadır.

Örnek Çalışma 4	Increasing EV Public Charging with Distributed Generation in the Electric Grid (Meyer, Choi, & Wang, 2015)	EA şarj istasyonlarının ve DÜ kaynaklarının dağıtım şebekesine etkilerine yönelik yapılan analizler.	EA şarj yüklerinin şebekenin gerilim ve akım profillerinin olumsuz yönde etkilediği, DÜ kaynaklarının EA şarj yüklerinden kaynaklanan olumsuz etkileri sınırlandırmak için kullanılabileceği, hem EA şarj istasyonunun hem de DÜ kaynaklarının şebekedeki konumlarının yaşanacak problemlerde ve bu problemlerin önlenmesinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.
Örnek Çalışma 5	Impact of High Penetration of EV Charging on Harmonics in Distribution Networks (Rodrigo & Priyanka, 2018)	AG şebekesinde farklı EA entegrasyon seviyelerinin harmonik bozulmalara etkilerine yönelik yapılan analizler.	EA entegrasyonu arttıkça harmonik bozulmanın da arttığı, EA şarj istasyonlarının konumlarına göre kaynak ve düğüm noktalarındaki harmonik bozulmaların değişiklik gösterdiği ve fiderin başlangıçtaki yük seviyesine (nominal veya az yük talebi) göre EA şarj yüklerinin oluşturduğu harmonik bozulma seviyesinin değiştiği anlaşılmaktadır.
Örnek Çalışma 6	Dağıtıma Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016)	EA entegrasyon seviyelerinin, kullanılan şarj istasyonu tipinin ve şarj istasyonlarının şebekedeki konumlarının dağıtım şebekesine etkilerine yönelik yapılan analizler.	EA entegrasyonu ile dağıtım şebekesindeki trafo ve hat/kablo yüklenmelerinin, toplam enerji kayıplarının ve gerilim düşümünün arttığı, kullanılan şarj istasyonu tipinin, kaç adet olduğunun ve şebekedeki konumunun dağıtım şebekesinde EA şarj yüklerinden kaynaklı yaşanacak problemlerin seviyelerini farklılaştırdığı anlaşılmaktadır.
Örnek Çalışma 7	Examination of EV-Grid Integration Using Real Driving and Transformer Loading Data (Erden, Kisacikoglu, & Gurec, 2015)	EA entegrasyon seviyelerinin ve EA şarj güç seviyelerinin trafolarla etkilerine yönelik yapılan analizler.	EA entegrasyon seviyelerinin ve EA şarj güç seviyelerinin trafoların yüklenme ve pik yük seviyelerine etki ettiği anlaşılmaktadır.

Örnek Çalışma 8	Türkiye Ulaştırma Sektörünün Dönüşümü: Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri (Saygın, ve diğerleri, 2019)	Seçilen 4 farklı pilot dağıtım bölgesinde EA ve EA şarj istasyonlarına yönelik belirlenen farklı senaryoların dağıtım şebekesi üzerinde oluşturacağı etkilere yönelik yapılan analizler.	EA entegrasyon seviyesi, EA şarj istasyonunun teknik özellikleri, dağıtım şebekesinin ve ekipmanlarının teknik özellikleri, yapılacak yatırımların gerçekleşme durumu, kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, şarj işleminin hangi alanlarda teşvik edileceği (kamusal alanlarda hızlı şarj ve evde şarj desteği gibi), şarj işleminin hangi saatlerde teşvik edileceği gibi parametrelerin EA şarj istasyonlarından kaynaklı dağıtım şebekesinde oluşacak bazı muhtemel problemleri etkilediği anlaşılmaktadır.
------------------------	--	--	---

Tablo 4-18 İncelenen 8 Adet Örnek Çalışmanın Özeti.

SONUÇ

Dünya genelinde artan çevresel duyarlılık ve enerji kaynaklarının daha ekonomik ve verimli olarak tüketilmesine yönelik çalışmaların sonuçlarından biride hiç şüphesiz EA'ların (BEA ve PHEA) geleneksel içten yanmalı motorlu araçların yerini almasıdır. Mevcutta birçok ülkede EA kullanım oranları kayda değer seviyelere ulaşmıştır. İYM'li araçlara göre daha çevreci ve daha ucuz yakıta sahip olan EA'ların, gelişen teknoloji, şarj istasyonu altyapısının gelişmesi ve ülkelerde uygulanan/uygulanacak düzenlemeler/politikalar ile araç piyasasındaki oranının gün geçtikçe hızlı bir şekilde artacağı beklenmektedir. Türkiye'de 2019 yılı Eylül ayı itibarıyla EA sayısının 1.310 adete ulaşması ve toplam araç piyasasındaki payının %0,01 olması, EA'lar konusunda Türkiye'nin başlangıç aşamasında olduğunu göstermektedir. Çevresel duyarlılık, enerji kaynaklarının daha ekonomik ve verimli bir şekilde tüketilmesi ve petrol ürünlerindeki dışa bağımlılığın azaltılması kapsamında Türkiye'de EA sayısının yakın gelecekte ivmelenerek artması muhtemeldir.

Bilindiği üzere EA'ların ihtiyaç duydukları enerjinin bir kısmı veya tamamı bataryalarına depo edilmiş olan elektrik enerjisinden karşılanmaktadır. Bu araçların bataryalarına elektrik enerjisinin depolanabilmesi için ise en yaygın kullanılan yöntem elektrik dağıtım şebekelerine bağlanmış EA şarj istasyonları (şarj istasyonu) aracılığıyla bataryaların şarj edilmesidir. Bu kapsamda EA sayısının artmasıyla birlikte şarj istasyonlarına olan ihtiyaçtan dolayı şarj istasyonu sayısı da artacaktır. Dağıtım şebekesinde şarj istasyonlarının sayısının artması da şebekeye ek bir yük getirecektir. Ayrıca şarj istasyonlarının bazı teknik özelliklerinden dolayı dağıtım şebekesine bağlanmaları sonucunda çeşitli enerji kalitesi problemleri ortaya çıkacaktır. Enerji kalitesinin öneminin gün geçtikçe artması ve bu konuda çeşitli standartların olması şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine entegrasyonu konusunda kapsamlı çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. EA pazarının ve şarj istasyonu piyasasının gelişmiş olduğu ülkelerin deneyimleri ve uyguladıkları düzenlemelerin detaylı olarak incelenmesi ve buradaki tecrübelerden Türkiye için en uygun yöntemlerin belirlenerek ilerlenmesi hem olası yaşanacak problemlerin önlenmesini hem de ekonomik yönden ve zamandan tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine maliyet, enerji kalitesi, uzun ve kısa vadeli şebeke planlamaları gibi farklı konularda etkisi olacaktır. Bu çalışma kapsamında şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine enerji kalitesi yönünden etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmanın;

- Birinci bölümünde EA türlerine, EA’larda kullanılan bazı bileşenlere, EA şarj yöntemlerine ve dünyadaki ve Türkiye’deki EA piyasasına ilişkin bilgilere yer verilmiştir.
- İkinci bölümünde EA şarj istasyonları ile ilgili bazı standartlara, şarj seviyelerine, şarj modlarına, şarj işlemi için gerekli olan bağlantı fişleri ve prizlerine, şarj stratejilerine ve dünyadaki ve Türkiye’deki EA şarj istasyonu piyasasına ilişkin bilgilere yer verilmiştir.
- Üçüncü bölümünde elektrik şebekelerine, elektrik dağıtım şebekelerinin tasarımlarına elektrik dağıtım şebekelerindeki enerji kalitesi ve problemlerine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.
- Dördüncü bölümünde EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine enerji kalitesi yönünden etkileri ve bu etkiler ile ilgili daha önce çeşitli senaryolar ile yapılmış ve şebekedeki farklı problemleri baz almış 8 adet örnek çalışmaya ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Çeşitli kaynaklarda yer alan bilgilerin incelenmesi sonucunda, EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesinde puant yük talebi artışına, şebekede kullanılan ekipmanların aşırı yüklenmesine, gerilim problemlerine, enerji kayıplarına, harmonik bozulmalara ve gerilim dengesizliğine sebep olabileceği anlaşılmıştır. Bu problemlerin oluşmasında dağıtım şebekesinin teknik özellikleri, şarj istasyonunun tipi ve şebekeye entegrasyon seviyesi ile şarj stratejileri önemli parametreler olmuştur. Daha önce yapılmış örnek çalışmaların incelenmesi ile dağıtım şebekesinde EA şarj istasyonlarından kaynaklanması muhtemel problemlere ilişkin detaylı istatistiksel bilgiler elde edilmiştir.

Bu tez kapsamında EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkilerine yönelik yapılan araştırmalar sonucundaki değerlendirmeler ve öneriler aşağıda yer almaktadır.

Türkiye’de EA şarj istasyonlarına yönelik olarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmış Nisan 2004 tarihli “TS EN 61851-22 Elektrikli Taşıtların İletken Şarj Sistemleri-Bölüm 22: Elektrikli Taşıt a.a. Şarj İstasyonu” standardı mevcuttur. Bu standardın sadece a.a. şarj istasyonlarını kapsamaması ve şarj istasyonu teknolojisindeki güncel gelişmeler ile uyumlu olmaması gibi sebeplerden dolayı bu standardın revize edilmesinin ve yeni standartlarında hazırlanmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. Dünyada şarj istasyonlarına yönelik tek tip bir standardın olmamasından, belirlenen standart/standartlar ile birlikte ülkelerdeki şarj istasyonu piyasasının şekillenmesinden ve şarj istasyonlarının çoğunlukla dağıtım şebekesinden beslenmesinden dolayı revize edilecek veya yeni hazırlanacak standardın/standartların Türkiye’deki dağıtım şebekesinin özelliklerinin de dikkate alınarak hazırlanması faydalı olacaktır.

Türkiye’de EA şarj istasyonlarının kurulumu, işletilmesi ve testleri gibi konulara ilişkin detaylı bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu da EA ve EA şarj istasyonu piyasaları açısından çeşitli belirsizlikler oluşturmaktadır. Bu kapsamda hazırlanacak olan bir düzenleme hem şarj istasyonu yatırımcıları hem de şarj istasyonu piyasasından etkilenecek olan elektrik dağıtım sektörü için faydalı olacaktır.

Dünyadaki farklı tip standartlarda yer alan gereksinimlere göre farklı tip EA bağlantı fişleri ve prizleri bulunmaktadır. Bu nedenle her EA’nın her şarj istasyonunu kullanamaması sorunu ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da dağıtım şebekesine bağlanacak şarj istasyonu sayısının artması kuvvetle muhtemeldir. Dağıtım şebekesinde artacak olan şarj istasyonu sayısı da hem elektrik yükünün hem de enerji kalitesinin yönetilmesini zorlaştıracaktır. Bu kapsamda yapılacak düzenlemeler ile Türkiye’de ve diğer ülkelerde kullanılacak EA şarj istasyonu bağlantı fişleri ve prizlerine yönelik standartlaştırmalar ile her şarj istasyonunu her EA’nın kullanabilmesi şebekede yaşanacak bazı problemlerin sınırlandırılması ya da önlenmesi açısından faydalı olacaktır.

EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine bağlı olduğu durumlarda şarj istasyonlarında enerji kalitesi kapsamında sağlanması gereken yükümlülüklerin incelenmesi/denetlenmesi için dağıtım şebekesi işletmecisi yetkilendirilebilir. Böylelikle şarj istasyonlarından kaynaklanacak enerji kalitesi problemlerinin tespiti ve önlenmesi

hızlanacak, dağıtım şebekesi ve kullanıcılar ise bu problemlerden asgari şekilde etkilenecektir.

Elektrik dağıtım şebekelerine belirli seviyelerde ve teknik özelliklerde EA şarj istasyonu yüklerinin eklenmesi sonucunda şebekedeki enerji kalitesi genellikle standartlarda belirlenen sınırlar içerisinde kalmaktadır. EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesine eklenme miktarlarında; şebekenin mevcuttaki yüklenme seviyesi, şebekede kullanılan ekipmanların teknik özellikleri, şebekenin tasarım metodu, kullanılan şarj istasyonu tipi ve şarj stratejisi gibi özellikler belirleyici unsurlardır. Bu sebeple dağıtım şebekesi işletmecisinin uzun ve kısa vadeli analizler yaparak şebekeye eklenmesi muhtemel şarj istasyonlarına yönelik gerekli tedbirleri şimdiden alması yaşanacak problemlerin önüne geçilmesinde faydalı olacaktır.

EA şarj istasyonlarının tipi ve dağıtım şebekesi üzerindeki konumları; şarj istasyonunun erişilebilirliğini, yeni yüklerden dolayı yapılacak şebeke yatırımlarını ve dağıtım şebekesindeki enerji kalitesini etkileyen temel unsurlardandır. Bu kapsamda dağıtım şebekesi işletmecisi tarafından şebekede gerekli analizlerin yapılmasının ve şarj istasyonlarının kurulumu gerçekleştirilmeden önce gerekli bağlantı görüşlerinin uzun ve kısa vadeli planlamalar kapsamında verilmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir. Bunun sonucunda; şarj istasyonları için şebeke kapasitesi verimli bir şekilde kullanılacak, şebekede gerekli yatırımların planlanması kolaylaşacak ve ekonomikleşecek, şebekedeki enerji kalitesi problemlerinin engellenmesi/sınırlandırılması sağlanacak ve şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki dağılımları EA sahiplerinin kolay bir şekilde erişebileceği homojenliği kazanacaktır.

Evlerde gerçekleştirilecek şarj işlemlerinden kaynaklanacak enerji kalitesi problemlerinin sınırlandırılması için dağıtım şebekesi işletmecisi tarafından EA sahipleri ve kullanılacak şarj gücü gibi parametrelere ilişkin istatistiki verilerin takip edilmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir. Elde edilecek bu verilerin; EA şarj yüklerinin nerelerde yoğunlaşacağının tahmin edilmesinde, şebekenin işletilmesine yönelik planlamalarda ve yatırım planlamalarında kullanılması faydalı olacaktır.

Dağıtım şebekesinin yüklenme durumu, tasarım metodu ve teknik kalite seviyesi gibi özelliklerinin her yerde aynı olmamasından dolayı evlerde gerçekleştirilecek şarj

işlemlerinin izlenmesi ve yönetilmesi zor olacaktır. Bununla birlikte şarj yüklerinden kaynaklı yapılacak yeni yatırımlarda maliyetli olacaktır. Bunun yerine kamusal alanlarda hızlı şarj işlemlerinin desteklenmesi (örneğin elektrik tarifiesi ile desteklenebilir) hem şarj işlemlerinin izlenmesi ve yönetilmesini kolaylaştıracak hem de şarj yüklerinden kaynaklı yapılacak yeni yatırımları daha ekonomik ve verimli hale getirecektir.

EA'ların zararlı gaz emisyonlarının çok düşük olması tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır. Ancak dağıtım şebekesinde EA şarj yüklerinden kaynaklanacak enerji talebinin karşılanması için fosil yakıtlı üretim santrallerinin kullanılması durumunda santrallerden kaynaklanan zararlı gaz emisyonları ortaya çıkacaktır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması EA şarj yüklerinden kaynaklanacak çevresel kaygıları en düşük seviyeye çekecektir. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi DÜ kaynaklarının kullanılması hem çevresel kaygıları azaltacak hem de EA şarj yüklerinden kaynaklanacak enerji kalitesi problemlerini sınırlayacaktır. Enerji kalitesi için DÜ kaynaklarının ve EA şarj istasyonlarının konumları önem arz etmektedir. Bu kapsamda şebeke işletmecisi tarafından DÜ kaynaklarının ve EA şarj istasyonlarının konumlarının belirlenmesi ve bunlara ilişkin üretim ve tüketim verilerinin izlenmesi şebekenin sağlıklı bir şekilde işletilmesine katkı sağlayacaktır.

Evlerde ya da kamusal alanlarda dağıtım şebekesine bağlantısı olmayacak şekilde çatı üstü güneş enerji santrali gibi kaynakların kurulmasıyla elde edilen enerji ile şarj istasyonlarının beslenmesi dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek problemlerin engellenmesinde önemli faydalar sağlayacaktır.

EA şarj istasyonlarında depolama sistemlerinin kullanılması dağıtım şebekesi üzerinde şarj yüklerinden kaynaklı oluşacak bazı problemlerin önlenmesinde yararlı olacaktır. Örneğin, şebekedeki yüklenmenin az olduğu zaman dilimlerinde şarj istasyonlarında bulunan depolama sistemlerinde depo edilen enerji şebekedeki yüklenmenin fazla olduğu zaman dilimlerinde kullanılarak EA şarjları gerçekleştirilebilir.

Taşınabilir şarj istasyonlarının ve depolama sistemlerinin kullanılması hem EA şarj istasyonlarına erişimi kolaylaştıracak hem de EA şarj yüklerinin dağıtım şebekesine etkisini azaltacaktır. Örneğin, yılın belirli zamanlarında şehirlerarası yollarda yaşanan yoğunluktan kaynaklı olarak EA sahiplerinin şarj istasyonlarına erişimi zorlaşacak ve bu

yollardaki bir fider üzerinde bulunan şarj istasyonlarının eşzamanlı olarak çalışmasından dolayı oluşacak yükten dağıtım şebekesi olumsuz etkilenebilecektir. Bu tür bir durumda dağıtım şebekesine yapılacak yeni yatırımların ve kurulacak yeni şarj istasyonlarının maliyeti faydasını geçebilecektir. Bu kapsamda taşınabilir şarj istasyonlarının ve depolama sistemlerinin kullanılması faydalı olacaktır.

EA şarj yüklerinden kaynaklanacak enerji kalitesi problemlerinin sınırlandırılması/önlenmesi için EA'ların şarj edilme saatlerine yönelik düzenlemelerin yapılması faydalı olacaktır. Bu düzenlemeler çoklu tarife yapısı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Örneğin, şebekedeki yüklenmenin fazla olduğu zaman dilimlerindeki şarj ücretlendirilmesi şebekedeki yüklenmenin az olduğu zaman dilimlerindeki şarj ücretlendirilmesinden daha yüksek fiyatlı olarak uygulanabilir. Bu durumda EA şarjının başlangıç zamanları kontrol edilerek EA şarj yükleri şebekedeki yüklenmenin az olduğu zaman dilimlerine kaydırılabilir. Böylelikle dağıtım şebekesi optimum şekilde kullanılarak hem EA şarj yüklerinden kaynaklı yeni yatırımlar sınırlandırılabilir hem de bazı enerji kalitesi problemleri engellenebilecektir/sınırlandırılabilir.

Dağıtım şebekesindeki enerji talepleri, EA şarj işlemleri, depolama sistemleri ve yenilenebilir enerji üretimleri gibi verilerin akıllı elektronik sistemler aracılığıyla izlenmesi, planlanması ve kontrol edilmesi faydalı olacaktır. Başka bir ifadeyle, akıllı şarj sistemi geliştirilip EA şarj istasyonları dağıtım şebekesi işletmecisinin elektronik sistemleriyle entegre edilerek şebekedeki teknik parametrelerin izlenmesi, şebekedeki yük akışının yönetilmesi ve şarj işlemlerinin başlaması, durması, hızlanması ve yavaşlaması gibi durumların kontrol edilmesi faydalı olacaktır. Bunun sonucunda dağıtım şebekesindeki elektrik yükünün ve enerji kalitesinin yönetilmesi kolaylaşacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbulut, L. (2019, Nisan). Elektrik Dağıtım Şebekesi Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Apay, F. T. (2008). Güç Kalitesi Parametrelerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ. (2016, Aralık). Dağıtıma Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu (DAGSİS), Ar-Ge Projesi. Ankara.
- Ateş, M. A. (2020, Temmuz-Ağustos-Eylül). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarına İlişkin AB Regülasyonu. *Uzman Gözüyle Enerji*(18), 30-37.
- Atla, C. R., Muhiuddin, S., Narayana, S., Gantayat, U., Ramappa, N., & Bagadia, R. (2019, August). Impact Assessment of Large Scale Integration of Electric Vehicle Charging Infrastructure in the Electricity Distribution System. (I. Mitra, & S. Mishra, Dü) Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Rooftop Solar Photovoltaic 2 (RTPV 2), Indo-German Energy Programme (IGEN). Aralık 03, 2020 tarihinde https://www.changing-transport.org/wp-content/uploads/2019_Impact-assessment-of-EV-charging-Infrastructure-in-the-distribution-system.pdf adresinden alındı
- Bass, R., & Zimmerman, N. (2013.). *Impacts of Electric Vehicle Charging on Electric Power Distribution Systems*. Portland: Transportation Research and Education Center (TREC). Aralık 04, 2020 tarihinde https://pdxscholar.library.pdx.edu/ece_fac/166/ adresinden alındı
- Başer, E. (2016, Ocak). Elektrikli Araçlarda Yol Koşullarına Uygun Motor Seçimi Algoritması Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi. Düzce: Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Bayhan, S., & Demirbaş, Ş. (2009). Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi Bozukluklarının Eşzamanlı Tespit Edilmesi. *Technological Applied Sciences*, 4(2), 120-135.
- Beyazıt, M. A. (2018, Aralık 28). *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar ve Özellikleri*. Ekim 26, 2020 tarihinde <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrikli-araclarda-kullanilan-motorlar-ve-ozellikleri/21929#ad-image-0> adresinden alındı
- Birleştirici, A., Şalcı, M. S., Dikkulak, A., Güler, F., & Turhan, E. (tarih yok). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonları*. Kasım 06, 2020 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/e05712f50f36d7c_ek.pdf adresinden alındı
- Cakmak, R., Aydın, M. M., & Yıldırım, M. S. (2018, Kasım 14-15). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesi, Elektrikli Araç Teknolojileri, Trafik ve Ulaşım Parametreleri Altında Değerlendirilmesi*. Ekim 28, 2020 tarihinde

https://www.researchgate.net/publication/329647896_Elektrikli_Arac_Sarj_Istasyonlarının_Elektrik_Sebekesi_Elektrikli_Arac_Teknolojileri_Trafik_ve_Ulasim_Parametreleri_Altinda_Degerlendirilmesi adresinden alındı

- Cetelem Gözlemevi. (2019). *Cetelem Gözlemevi Sonuçları 2019: Elektrikli Taşıtların Gizemi*. TEB Cetelem Tüketici Finansmanı. Kasım 22, 2020 tarihinde <https://www.tebcetelem.com.tr/media/1352/observatory2019.pdf> adresinden alındı
- Chan, C. C. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704-718.
- Chattopadhyay, S., Mitra, M., & Sengupta, S. (2011). *Electric Power Quality*. Dordrecht: Springer.
- Çiftçi, H. (2019, Ağustos). Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programı.
- Electric Vehicle Charging Products and Installation. (2019, May 6). *Your Complete Guide to Electric Vehicle Charging Cables and Adaptors*. Kasım 09, 2020 tarihinde <https://evse.com.au/blog/evadaptorcable/> adresinden alındı
- Enel X. (2019, April 20). *The Different EV Charging Connector Types*. Kasım 09, 2020 tarihinde <https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types> adresinden alındı
- Energy Pool Turkey. (tarih yok). *Akıllı Elektrikli Araç Şarj Sistemi Nedir?* Ocak 09, 2021 tarihinde <https://www.energy-pool.com.tr/post/akilli-elektrikli-arac-sarj-sistemi> adresinden alındı
- Erden, F., Kisacikoglu, M. C., & Gurec, O. H. (2015). Examination of EV-Grid Integration Using Real Driving and Transformer Loading Data. *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (s. 364-368). Bursa: IEEE.
- Eroğlu, H. (2009). Bir Dağıtım Şebekesinin Güç Kalitesi ve Harmonikler Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ertay, Y. (2008, Ekim). Elektrikli Taşıtların Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eşarj Elektrikli Araçlar Şarj Sistemleri A.Ş. (tarih yok). *Elektrikli Araç Şarj Modları*. Kasım 08, 2020 tarihinde <https://esarj.com/sarj-modlari> adresinden alındı
- Fırat Üniversitesi. (tarih yok). *Enerji Sistemleri*. Kasım 16, 2020 tarihinde <http://ee.tek.firat.edu.tr/sites/ee.tek.firat.edu.tr/files/enerji%20sistemleri%20ders%20notu.pdf> adresinden alındı
- Garcia-Valle, R., & Lopes, J. A. (2013). *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*. New York: Springer.

- Gaton, B. (2017, Oct 25). *Plug wars: Which plug will your EV use?* Kasım 09, 2020 tarihinde <https://renew.org.au/renew-magazine/electric-vehicles/plug-wars-which-plug-will-your-ev-use/>. adresinden alındı
- GAZBİR. (tarih yok). *Karbon Emisyonu*. Ocak 18, 2021 tarihinde <https://www.gazbir.org.tr/uploads/page/Karbon%20Emisyonu-Rev-Son.pdf>. adresinden alındı
- Hamilton, J., Walton, B., Ringrow, J., Alberts, G., Fullerton-Smith, S., & Day, E. (2020, July 28). *Electric Vehicles, Setting a Course for 2030*. Deloitte University EMEA CVBA. Kasım 21, 2020 tarihinde [https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html#:~:text=Our%20global%20EV%20forecast%20is,sales%20\(see%20figure%202\)](https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html#:~:text=Our%20global%20EV%20forecast%20is,sales%20(see%20figure%202).). adresinden alındı
- Hedef Araç Kiralama ve Servis Anonim Şirketi. (tarih yok). *Elektrikli Araçlarda Şarj*. Kasım 08, 2020 tarihinde <https://ev.hedeffilo.com/ev-nedir/elektrikli-araclarda-sarj>. adresinden alındı
- homechargingstations.com. (tarih yok). *Buyer's Guide To EV Home Charging Stations*. Kasım 12, 2020 tarihinde <https://www.homechargingstations.com/buy-ev-home-charging-station/>. adresinden alındı
- İbiş, M. (2019, Şubat 13). *Türkiye Elektrik Piyasası ve İdari Yaptırımlar*. Ankara: World Energy Council-Turkey. Kasım 13, 2020 tarihinde <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2019/02/Mehmet%C4%B0bisDers3.pdf> adresinden alındı
- IEA. (2018). *Global EV Outlook 2018: Towards Cross-Modal Electrification*. Paris. Aralık 2, 2019 tarihinde <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018> adresinden alındı
- IEA. (2019). *Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility*. Paris. Aralık 2, 2019 tarihinde <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> adresinden alındı
- IEA. (2020). *Global EV Outlook 2020: Entering the decade of electric drive?* Paris. Kasım 19, 2020 tarihinde <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> adresinden alındı
- IEEE SA. (2014, Mart 27). *IEEE SA (Standarts Association), IEEE 519-2014*. Ocak 09, 2021 tarihinde <https://standards.ieee.org/standard/519-2014.html>. adresinden alındı
- İnci Akü. (tarih yok). *Start-Stop Teknolojisi*. Mart 30, 2021 tarihinde <https://www.inciaku.com/tr/bilgi-merkezi/start-stop-teknolojisi/> adresinden alındı
- Karagülle, H., & Yavuz, Ş. (tarih yok). *Doğru Akım Motorları*. Ocak 17, 2021 tarihinde <http://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/10DCMotor.pdf>. adresinden alındı

- Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
- Keskin, A. (2009). Hibrit Taşıt Teknolojileri ve Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 50(597), 12-20.
- KİA Motors Corporation (Çelik Motor Ticaret Anonim Şirketi). (tarih yok). *Elektrikli Araba Bataryasının Maliyeti Nedir?* Kasım 22, 2020 tarihinde KİA Motors Corporation: <https://www.kia.com/tr/kia-dunyasi/sss/elektrikli-araba-bataryasinin-maliyeti-nedir.html> adresinden alındı
- KİA Motors Corporation (Çelik Motor Ticaret Anonim Şirketi). (tarih yok). *Elektrikli Araba Şarj Cihazları Tüm Dünyada Aynı mı?* Kasım 09, 2020 tarihinde KİA Motors Corporation: <https://www.kia.com/tr/kia-dunyasi/sss/elektrikli-araba-sarj-cihazlari-tum-dunyada-ayni-mi.html> adresinden alındı
- Klayklung, T., & Dechanupaprittha, S. (2014). Impact Analysis on Voltage Unbalance of EVs Charging on a Low Voltage Distribution System. *2014 International Electrical Engineering Congress (iEECON)* (s. 1-4). Chonburi: IEEE.
- Kul, M., Uyaroğlu, Y., Ayasun, S., Vatansever, F., Eminoğlu, U., & İmal, N. (2013). *Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı* (1. b.). (S. Demir, Dü.) Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Kulu, M., & Vatansever, F. (2020). Güç Kalitesi Bozulmalarında Harmonik Kestirim Yöntemlerinin Performans Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 849-860. Aralık 03, 2020 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1054020> adresinden alındı
- Kusko, A., & Thompson, M. T. (2007). *Power Quality in Electrical System*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Kuşdoğan, Ş. (2009). Elektrikli Otomobillerde Enerji Depolama Sistemlerindeki Gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, 50(596), 2-11.
- Kuşdoğan, Ş. (tarih yok). *Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları*. Kasım 11, 2020 tarihinde Elektrik Mühendisleri Odası: https://www.emo.org.tr/ekler/f13bc4c93579242_ek.pdf adresinden alındı
- Lucas, A., Bonavitacola, F., Kotsakis, E., & Fulli, G. (2015). Grid Harmonic Impact of Multiple Electric Vehicle Fast Charging. *Electric Power Systems Research*, 127, 13-21.
- Meyer, D., Choi, J., & Wang, J. (2015). Increasing EV Public Charging with Distributed Generation in the Electric Grid. *2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)* (s. 1-6). Dearborn,MI: IEEE.
- ODD. (2017). *Genel Değerlendirme Aralık 2017*. Otomotiv Distribütörleri Derneği (ODD). Kasım 21, 2020 tarihinde <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorical1docs/2038/Sekt%c3%b6rel%20De%c4%9ferlendirme%20Aral%4%b1k%202017.pdf> adresinden alındı
- ODD. (2018). *Genel Değerlendirme Aralık 2018*. Otomotiv Distribütörleri Derneği (ODD). Kasım 21, 2020 tarihinde

- <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2343/Aral%20Aral%20b1k%202018.pdf> adresinden alındı
- ODD. (2019). *Genel Değerlendirme Aralık 2019*. Otomotiv Distribütörleri Derneği (ODD). Kasım 21, 2020 tarihinde <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2623/Sekt%20Sekt%20b6rel%20De%20Aral%20b1k%202019.pdf> adresinden alındı
- ODD. (2020). *Makroekonomik Değerlendirme Eylül 2020*. Otomotiv Distribütörleri Derneği (ODD). Kasım 21, 2020 tarihinde <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2803/T%20T%20bcrkiye%20Otomotiv%20Pazar%20b1%20-%20Eyl%20bcl.pdf> adresinden alındı
- Ondokuz Mayıs Üniversitesi. (tarih yok). *Elektrik Şebekeleri*. Kasım 12, 2020 tarihinde [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/atalayt/105449/II.%20SUNU%20ELEKTR%20B0K%20ENERJ%20B0%20DA%20C4%20EITIMI%20\(%20C5%20EBEKE%20T%20C4%20PLER%20B0\)TA.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/atalayt/105449/II.%20SUNU%20ELEKTR%20B0K%20ENERJ%20B0%20DA%20C4%20EITIMI%20(%20C5%20EBEKE%20T%20C4%20PLER%20B0)TA.pdf) adresinden alındı
- Özcan, M. E. (2019). *Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Öztürk, T. (2013, Ocak). *Asenkron Motor ile Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı.
- Pokrzywa, J. (2011). *SAE International standards work, including communication protocols and connectors, fast charge, batteries*. Kasım 16, 2020 tarihinde <https://share.ansi.org/Shared%20Documents/Meetings%20and%20Events/EDV%20Workshop/Presentations/Pokrzywa-ANSI-EDV-0411.pdf> adresinden alındı
- Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M. S., Yumurtacı, G., & Gül, Ö. (tarih yok). *Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu*. Kasım 08, 2020 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/e4bd872ffdbfb6c_ek.pdf adresinden alındı
- Resmi Gazete. (2011, Ekim 13). Bakanlar Kurulu Kararı. *12/10/2011 Tarihli ve 2011/2304 sayılı Kararnamenin Eki*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete. Kasım 21, 2020 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111013-1-1.htm> adresinden alındı
- Resmi Gazete. (2016, Ekim 05). Bakanlar Kurulu Kararı. *26/9/2016 Tarihli ve 2016/9256 Sayılı Kararnamenin Eki*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete. Kasım 21, 2020 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161005-14.pdf> adresinden alındı
- Resmi Gazete. (2018, Mart 27). Kanun. *21/03/2018 Tarihli ve 7103 Numaralı Vergi Kanunları ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete. Kasım 21, 2020 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180327M2-1.htm> adresinden alındı
- Resmi Gazete. (2021, Ocak 01). 01/02/2021 tarihli ve 3471 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete. Mart 30, 2021 tarihinde

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/02/20210202-8.pdf> adresinden alındı

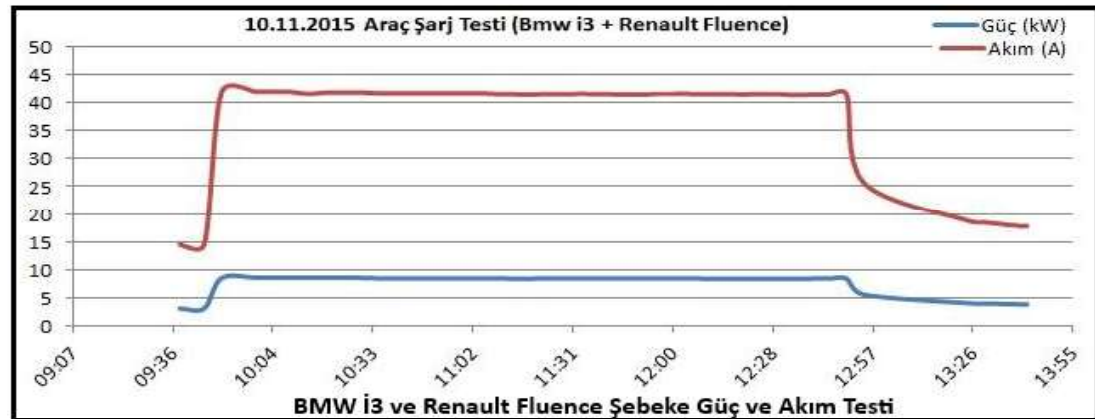
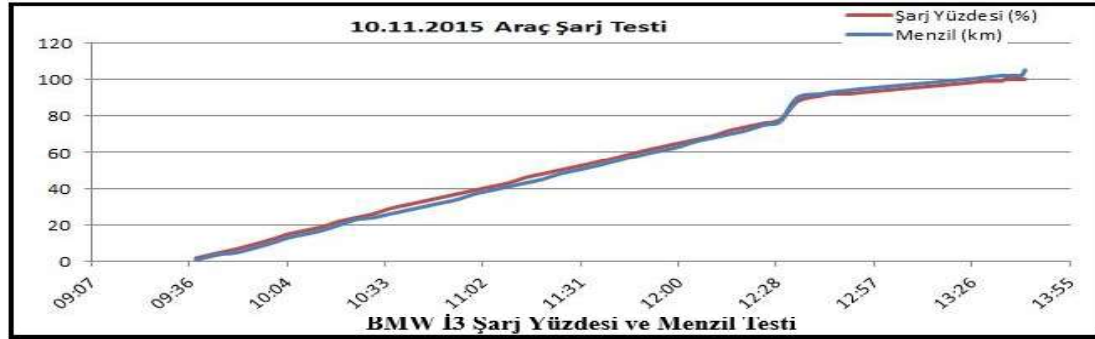
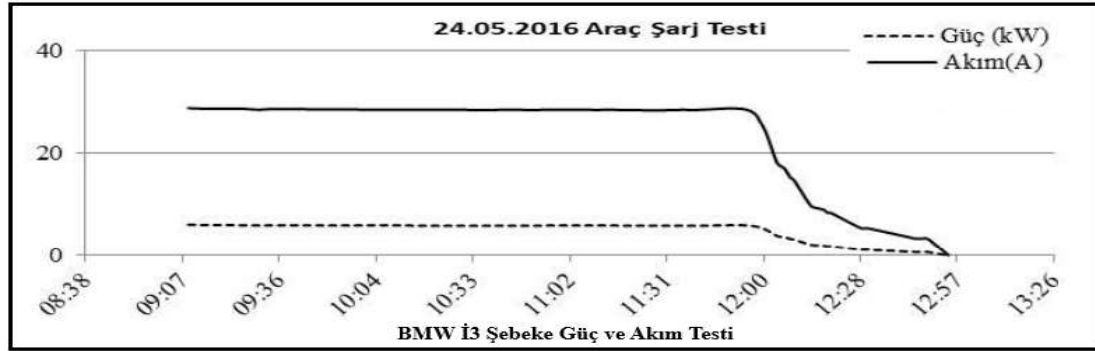
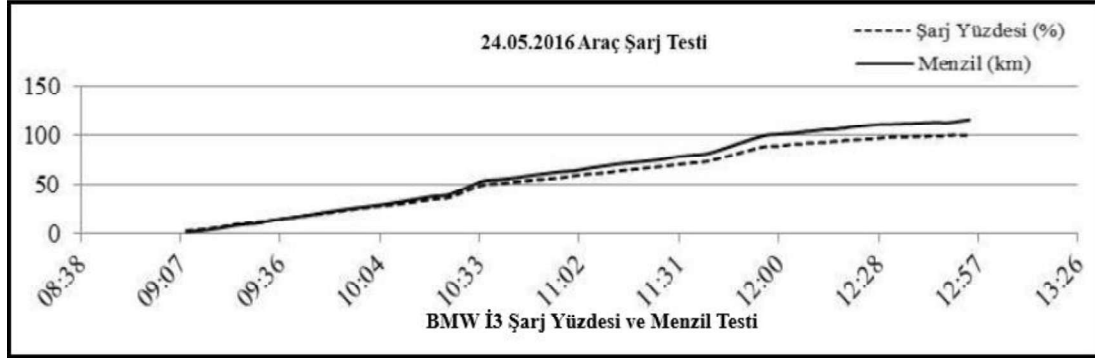
- Rodrigo, A. S., & Priyanka, V. G. (2018). Impact of High Penetration of EV Charging on Harmonics in Distribution Networks. *2018 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)* (s. 340-344). Moratuwa: IEEE.
- Satarworn, S., & Hoonchareon, N. (2017). Impact of EV Home Charger on Distribution Transformer Overloading in an Urban Area. *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (s. 469-472). Phuket: IEEE.
- Saygın, D., Tör, O. B., Teimourzadeh, S., Koç, M., Hildermeler, J., & Kolokathis, C. (2019). *Türkiye Ulaştırma Sektörünün Dönüşümü: Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri*. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. Şubat 13, 2020 tarihinde https://www.shura.org.tr/turkiye_ulasirma_sektorunun_donusumu_elektrikli_aracilarin_turkiye_dagitim_sebekesine_etkileri-2/ adresinden alındı
- Sayın, A. A., & Yüksel, İ. (2011). Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum-İyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi. *Mühendis ve Makina*, 52(615), 75-82.
- Sen, G., Boynuegri, A. R., & Uzunoğlu, M. (2011, Ekim). *Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri*. Kasım 08, 2020 tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/267337583> adresinden alındı
- Sen, Y. R. (2019, June). The Model of the Distribution Network of Electric Vehicle Charging Station, Master of Science Thesis. Istanbul Okan University Institute of Science and Engineering Department of Electrical and Electronics Engineering.
- Şenel, C. (2015, Haziran). *Güç Kalitesi Problemleri ve Çözüm Yöntemleri*. Kasım 30, 2020 tarihinde Elektrik Mühendisleri Odası: https://www.emo.org.tr/ekler/61deb408cb055eb_ek.pdf adresinden alındı
- T.D. (2020, Mayıs 22). *Hibrit Araba nedir, nasıl çalışır?* Ekim 17, 2020 tarihinde <https://www.teknolojidalabi.com/hibrit-araba-nedir/> adresinden alındı
- TEHAD. (2019). Türkiye'deki Şarj İstasyonu Sayısı Elektrikli Otomobili Yakaladı. *Electric & Hybrid Cars*, 26. Kasım 22, 2020 tarihinde http://data.axmag.com/data/201909/20190916/U175378_F552391/HTML5/index.html adresinden alındı
- Tokgöz, M. A. (2019, Haziran). Motorlu Kara Taşıtlarında Karbon Dioksit ve Hava Kirlenici Emisyonlarının Tarihsel Gelişimi ve Elektrikli Araçlara Geçiş ile Sağlanabilecek Potansiyel Emisyon Azaltımları. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Transport & Environment. (2018). *Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU*. Transport & Environment. Kasım 22, 2020 tarihinde

- https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Charging%20Infrastructure%20Report_September%202018_FINAL.pdf adresinden alındı
- TSE. (2004, Nisan 19). *Türk Standardı, TS EN 61851-22*. <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119100076113082057082054080116081121057104113081097113117111121111113>. adresinden alındı
- TSE. (2005, Nisan 21). *Türk Standardı, TS EN 61000-4-7*. Ocak 09, 2021 tarihinde <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073101052052056104100118076087048106>. adresinden alındı
- TSE. (2011, Aralık 13). *Türk Standardı, TS EN 50160:2011*. Ocak 09, 2021 tarihinde <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119101115120122121089118050075074119121121083108101053071053116105118>. adresinden alındı
- TSE. (2015, Nisan 17). *Türk Standardı, TS EN 61000-4-15*. Ocak 09, 2021 tarihinde <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119101122112099086073051121117079122083102069115107088073108097088079>. adresinden alındı
- TSE. (2017, Nisan 24). *Türk Standardı, TS EN 61000-4-30*. Ocak 09, 2021 tarihinde <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119099117055107081122078052102057088106109081074068097077051054048101>. adresinden alındı
- TSKB. (2020). *Enerji Görünümü 2020*. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB).
- TÜİK. (2020, Ekim 27). Ulaştırma ve Haberleşme: Trafğe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı. Türkiye İstatistik Kurumu. Kasım 20, 2020 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1> adresinden alındı
- Üçkardeş, E. (2010, Temmuz). Nevşehir Bölgesi Elektrik Dağıtım Şebekesinin Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., . . . Tırıs, M. (2003, Eylül). *Elektrikli Araçlar*. Kocaeli, Gebze: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.
- Wikipedia. (tarih yok). *Three-Phase*. Kasım 28, 2020 tarihinde Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase> adresinden alındı
- Yapıcı, R., Güneş, D., & Yörükeren, N. (tarih yok). *Elektrikli Şarj istasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olası Etkileri*. Ekim 28, 2020 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23_ek.pdf adresinden alındı

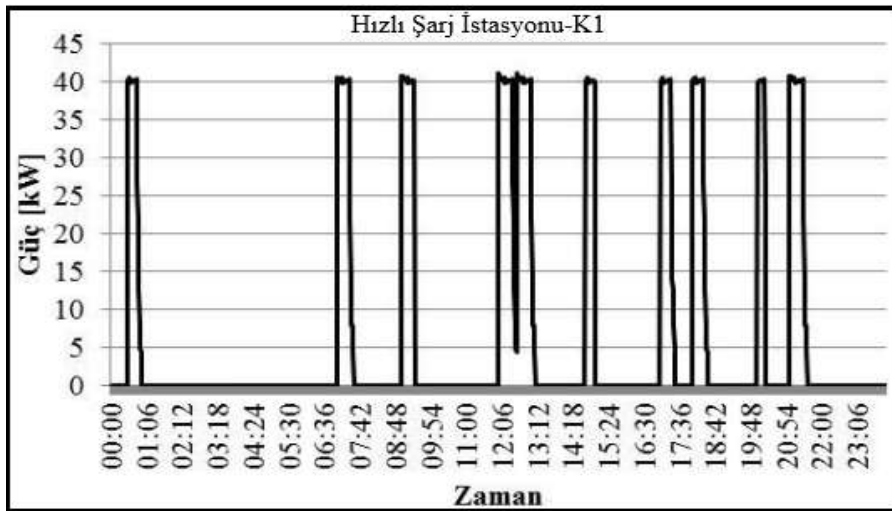
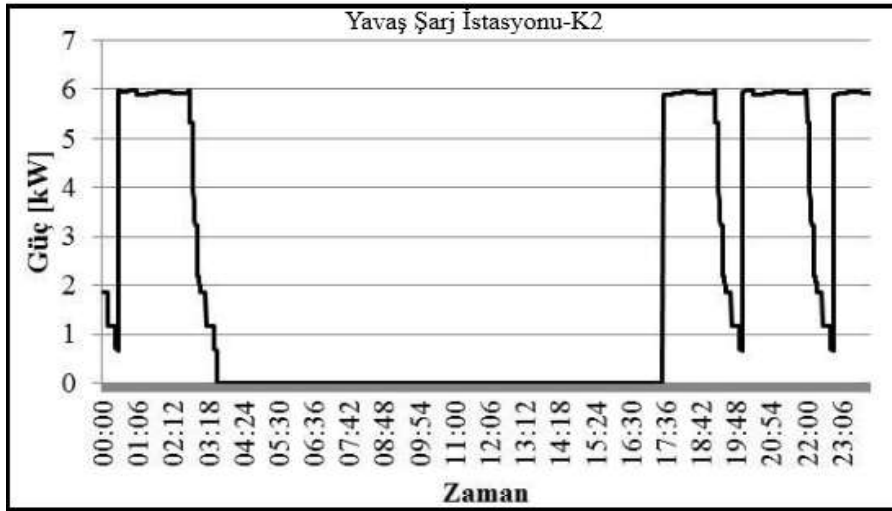
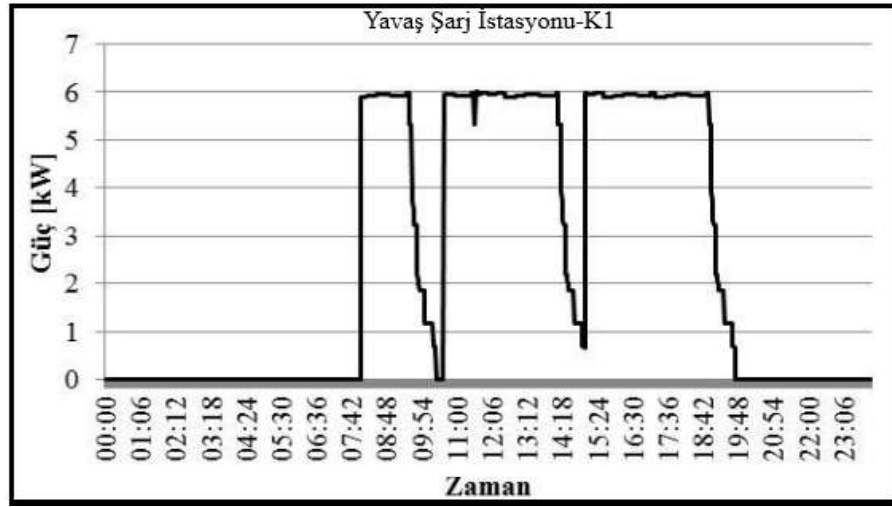
- Yıldırım, Ö. (2015, Haziran). İnternet Tabanlı Güç Kalitesi İzleme Sisteminin Donanımsal ve Yazılımsal Olarak Gerçekleştirilmesi, Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Devreler ve Sistemler Programı.
- Yurduseven, E. (2020, Temmuz). Güç Kalitesi Parametrelerinin IEC 61000-4-30 Sınıf-A Standardına Uygun Şekilde Ölçülmesi İçin Algoritma Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Elektronik Mühendisliği Programı.
- ZES. (tarih yok). *Türkiye'nin Otomobili: TOGG*. Ocak 17, 2021 tarihinde <https://zes.net/yerli-otomobil-togg.html>. adresinden alındı

EK-1 Örnek Çalışma 6'nın Ekleri (Aras EDAŞ-Başkent EDAŞ-Boğaziçi EDAŞ-Çamlıbel EDAŞ-Meram EDAŞ, 2016).

1. Şarj profillerine ilişkin olarak 7,4 kVA'lık şarj istasyonlarından alınan veriler.



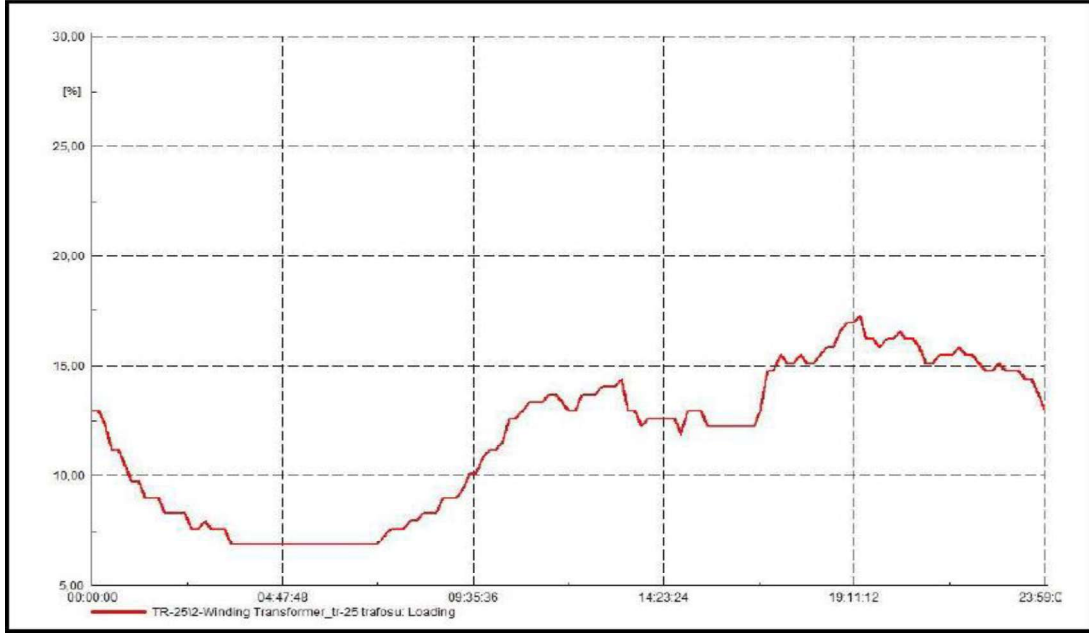
2. Oluşturulan senaryolar için güç tüketim eğrileri.



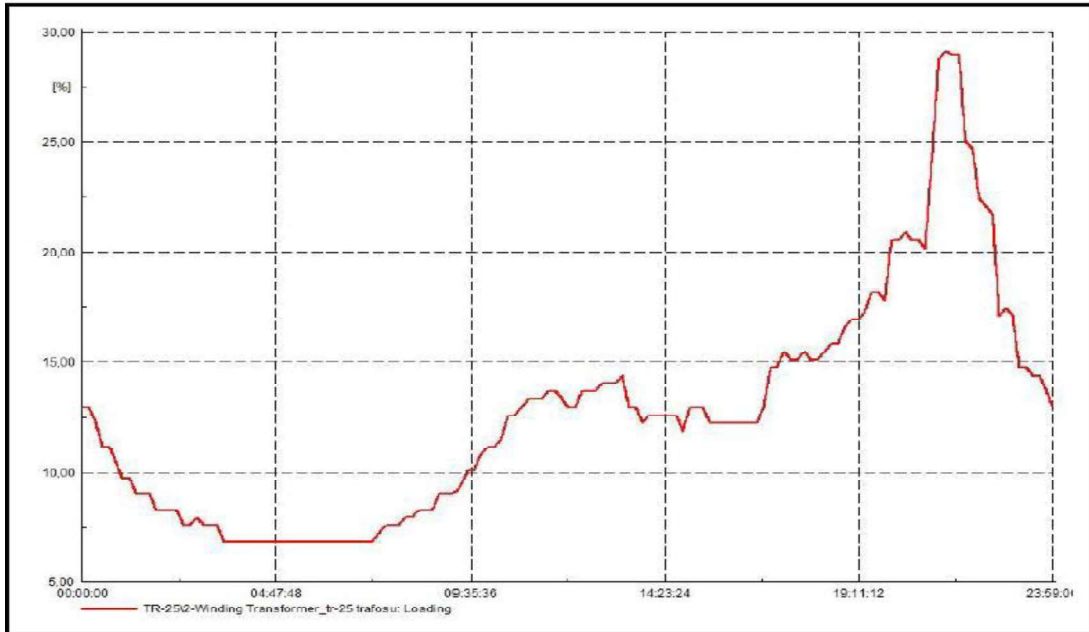
3. TR-25 (34,5/0,4 kV, 1250kVA) pilot trafo bölgesindeki EA'sız ve %10'luk bir EA entegrasyonu ile oluşacak trafo yüklenmesi, hat/kablo yüklenmesi, toplam enerji kayıpları ve gerilim düşümüne ilişkin veriler.

Trafo Yüklenmesi:

EA'sız Şebeke Durumu,

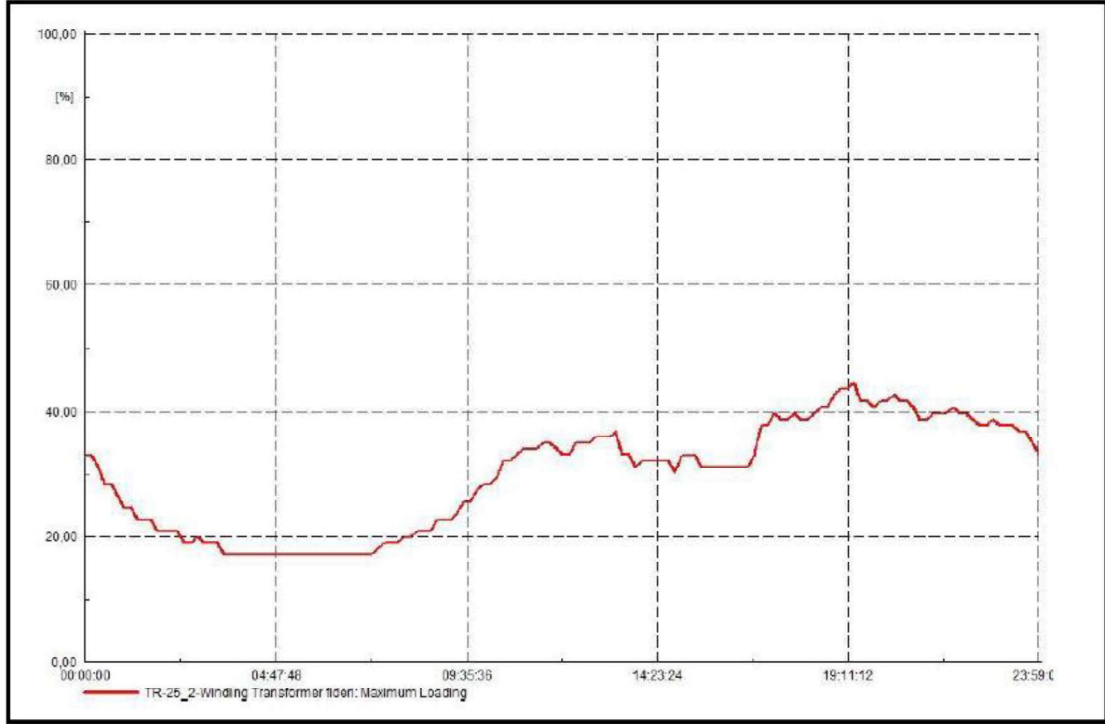


%10 EA Entegrasyonunda Şebeke Durumu,

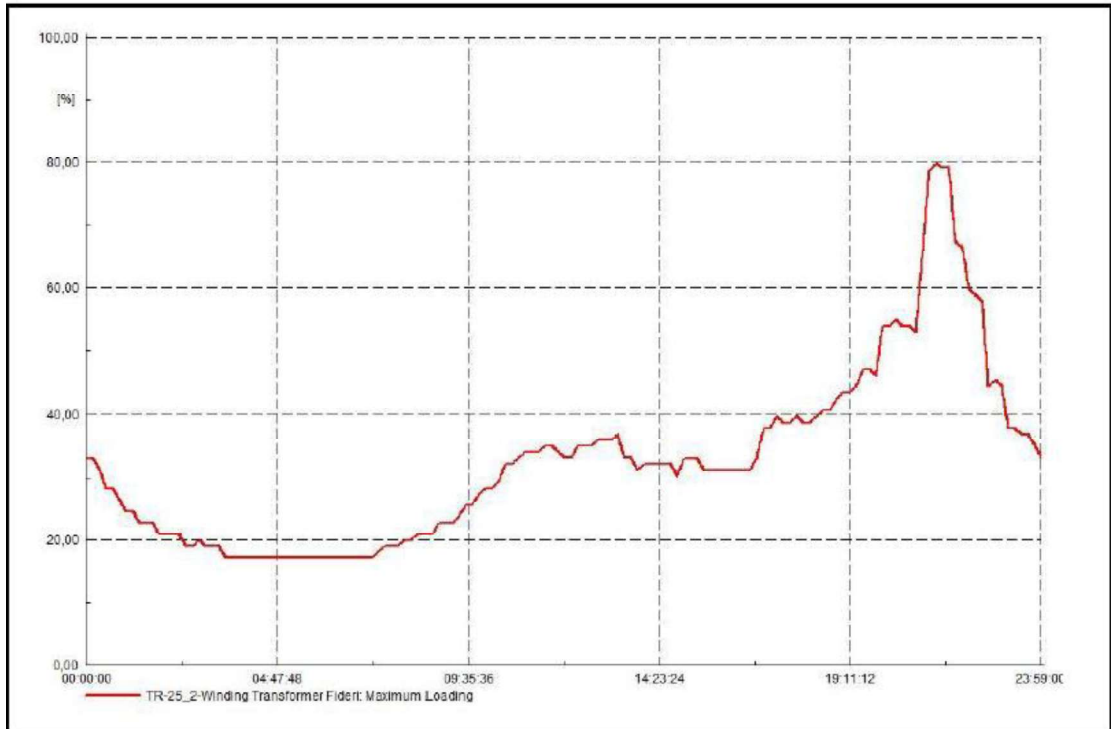


Hat/Kablo Yklenmeleri:

EA'sız Şebeke Durumu,

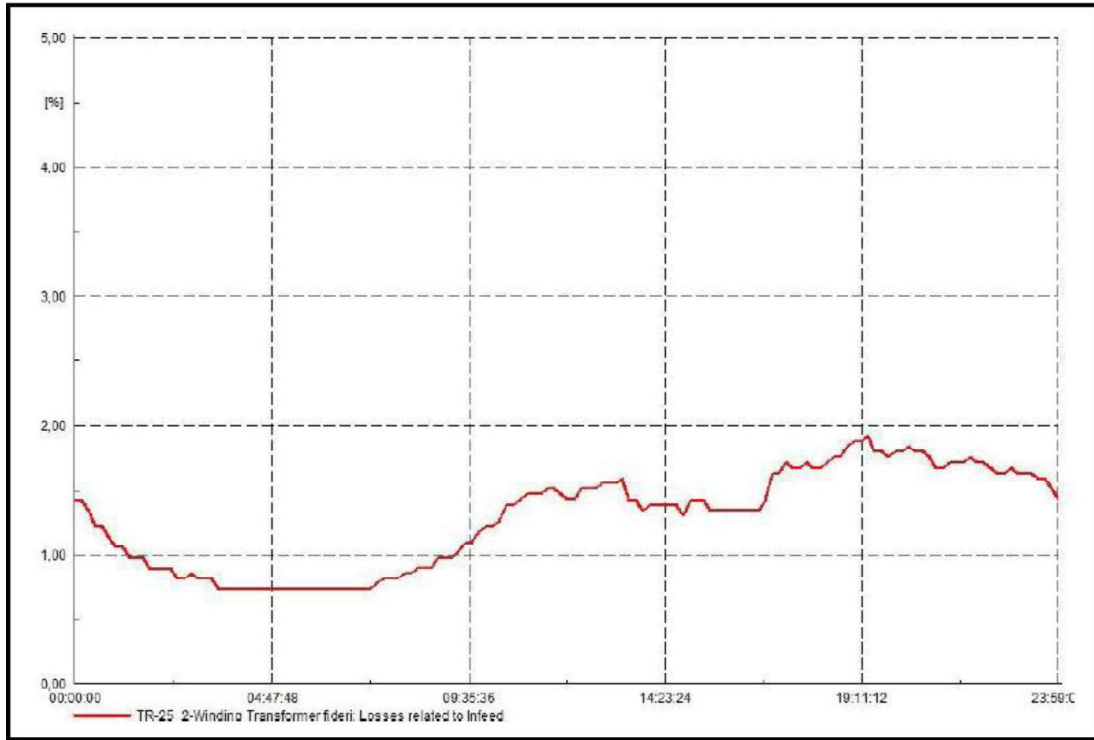


%10 EA Entegrasyonunda Şebeke Durumu,

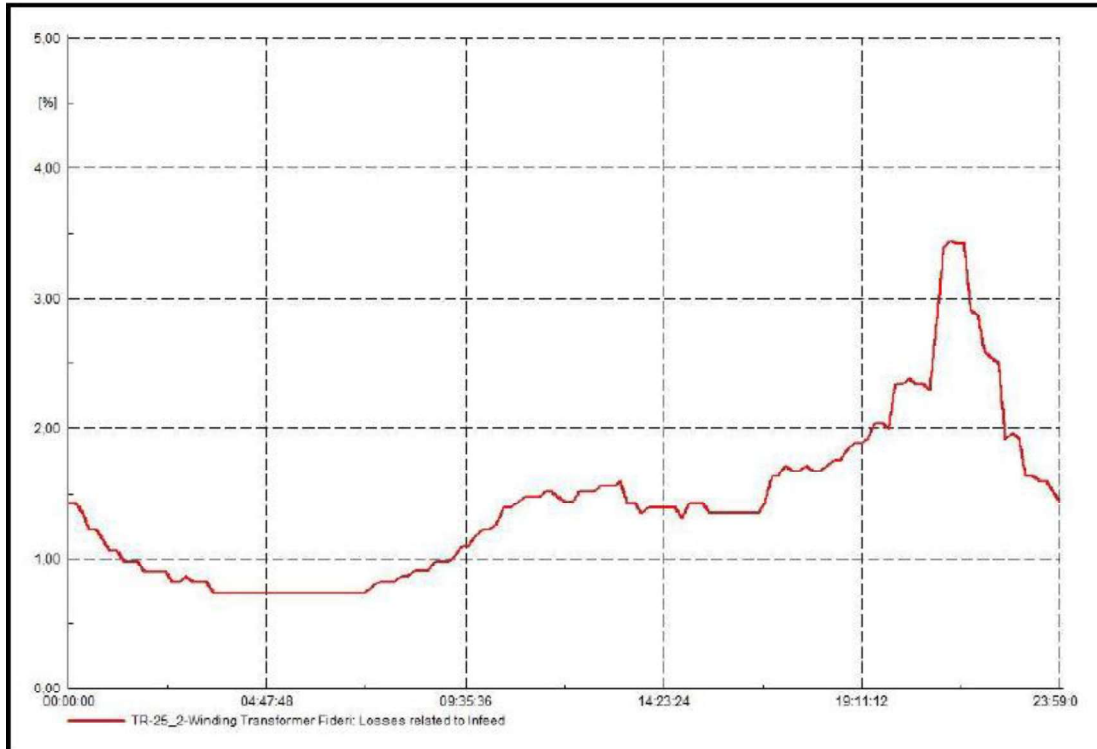


Hat/Kablo Enerji Kayıpları:

EA'sız Şebeke Durumu,

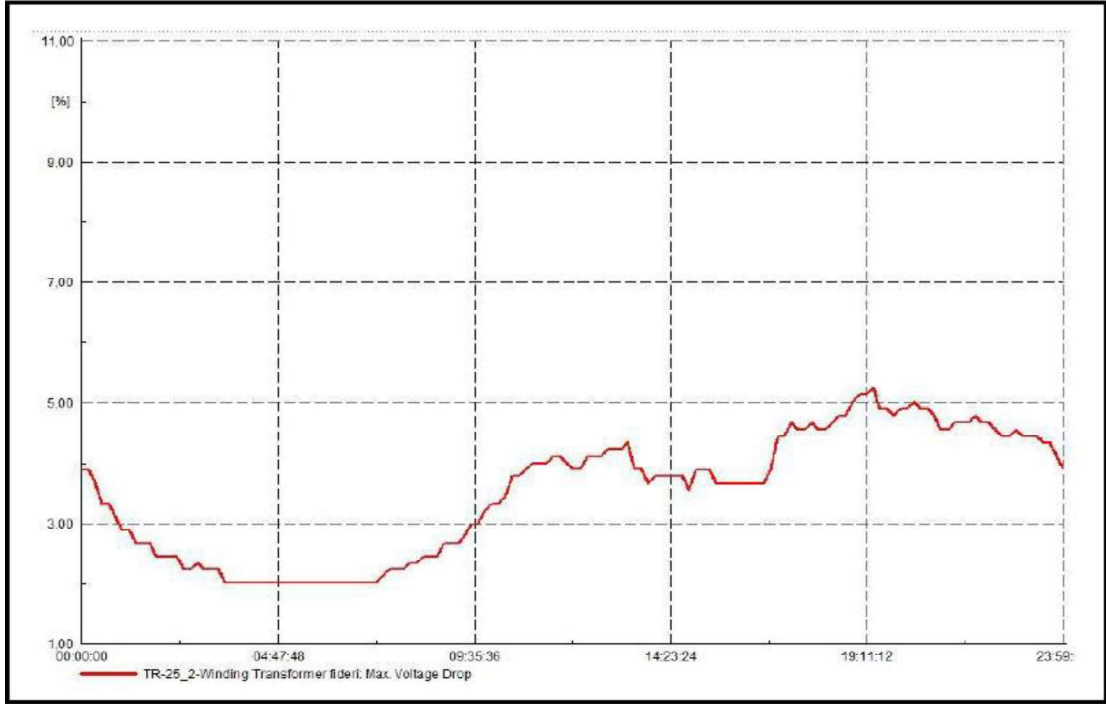


%10 EA Entegrasyonunda Şebeke Durumu,

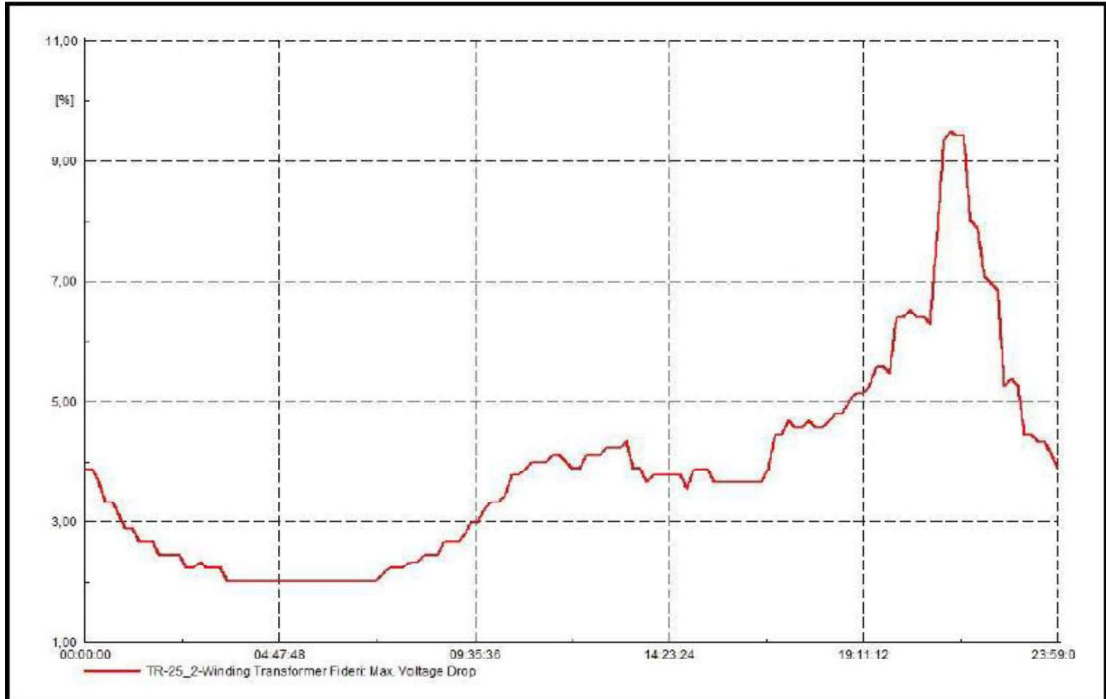


Gerilim Düşümü:

EA'sız Şebeke Durumu,

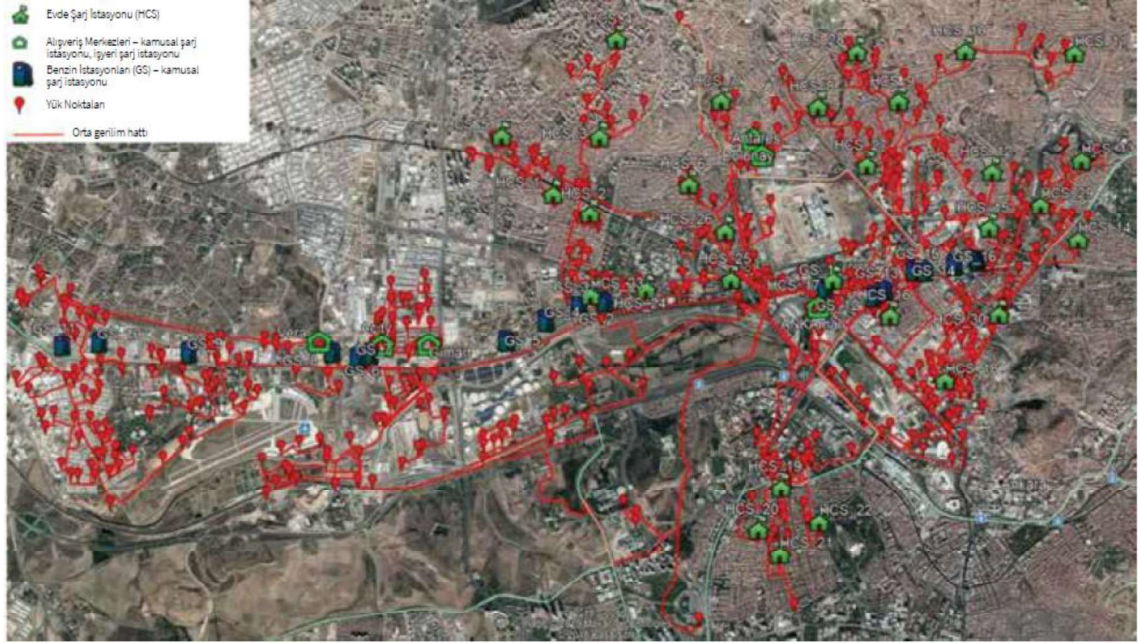


%10 EA Entegrasyonunda Şebeke Durumu,

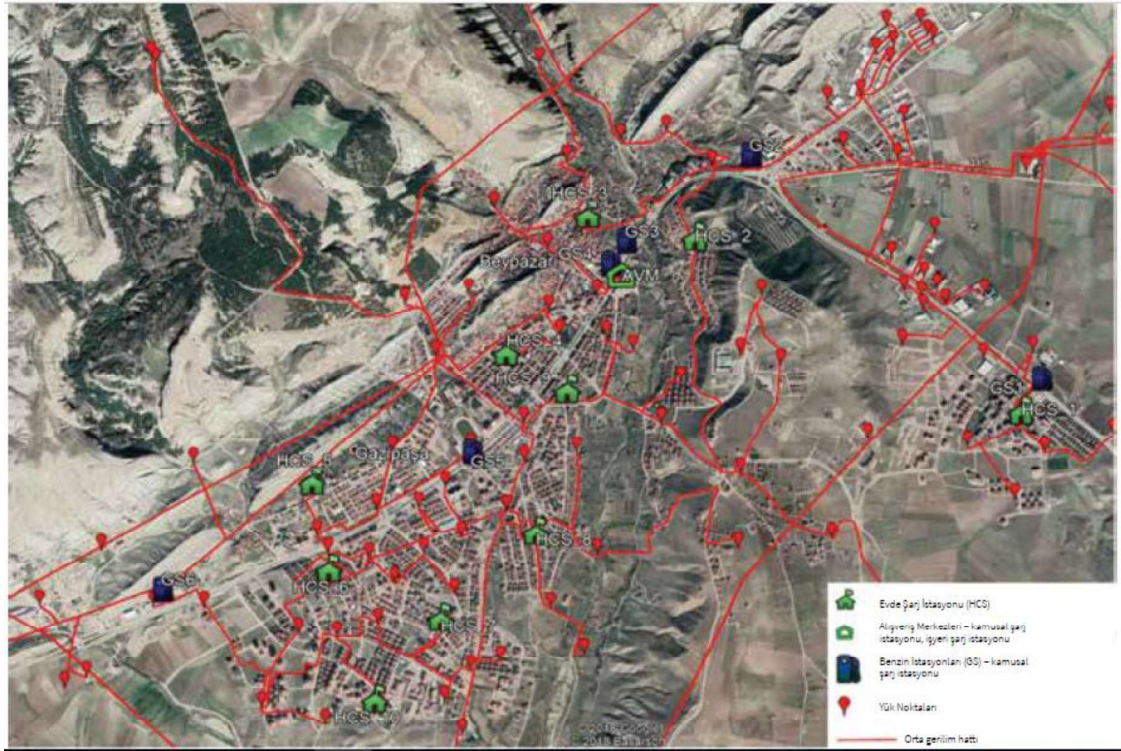


EK-2 Örnek Çalışma 8'in Ekleri (Saygın, ve diğerleri, 2019).

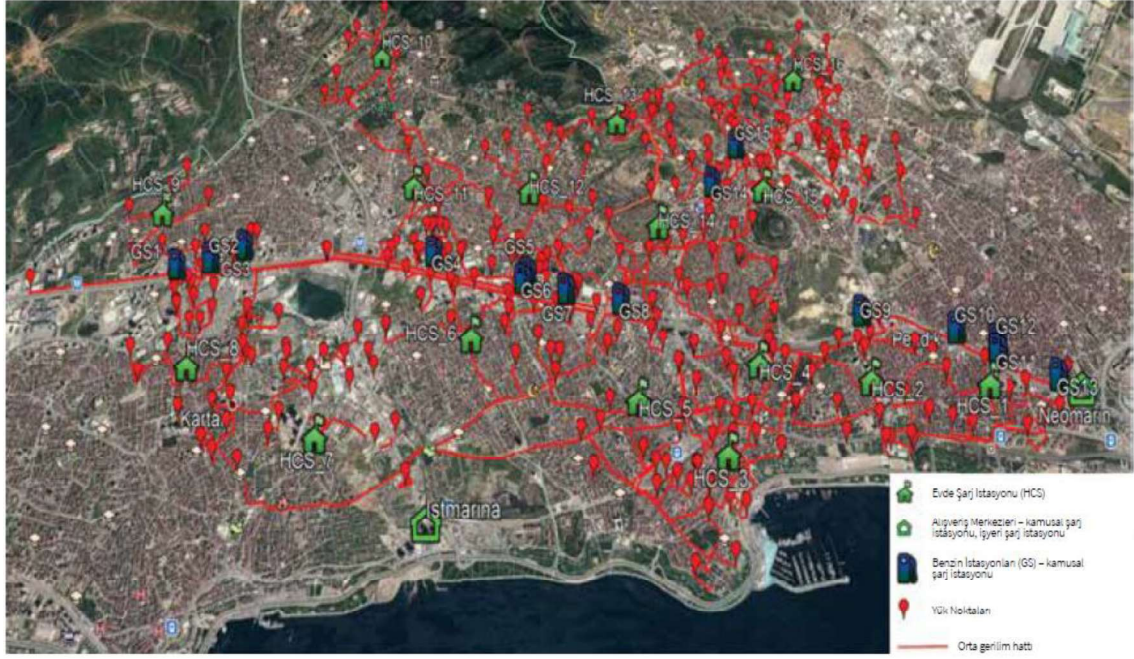
1. Elektrikli araç şarj noktalarının pilot bölgelerdeki konumlarına ilişkin bilgiler



Ankara-Akköprü



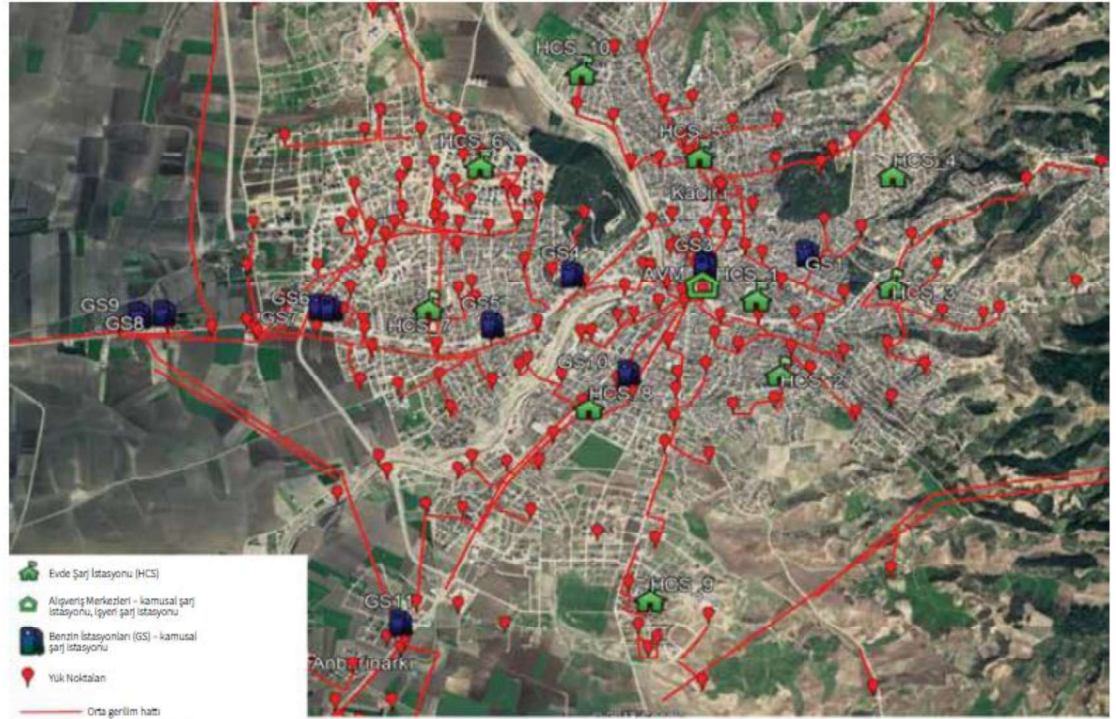
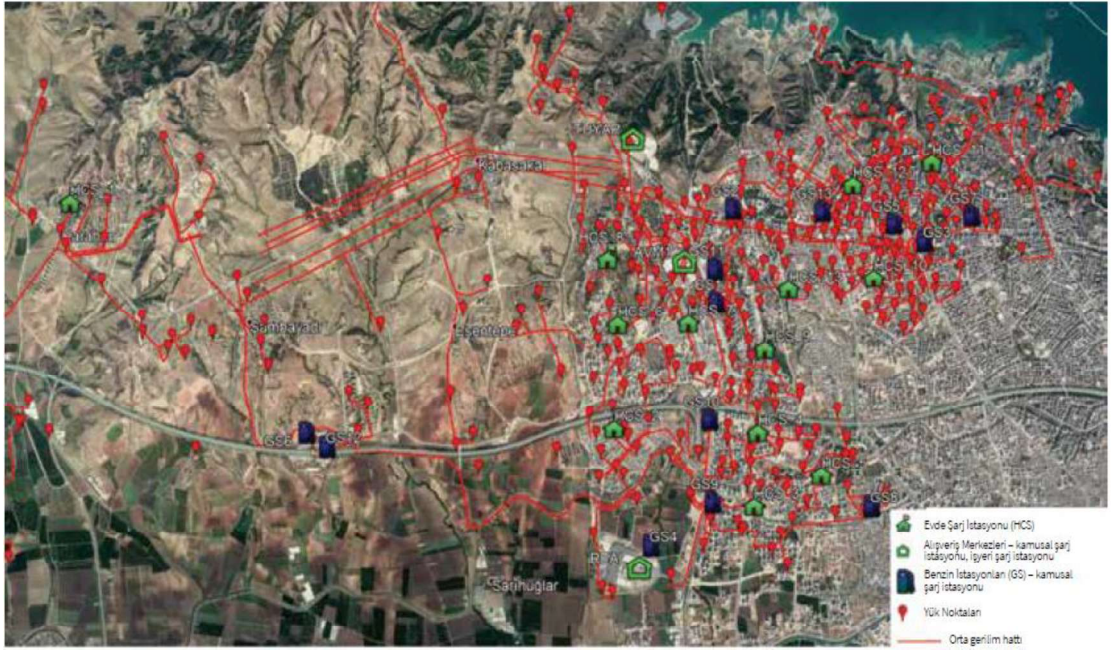
Ankara-Beypazarı

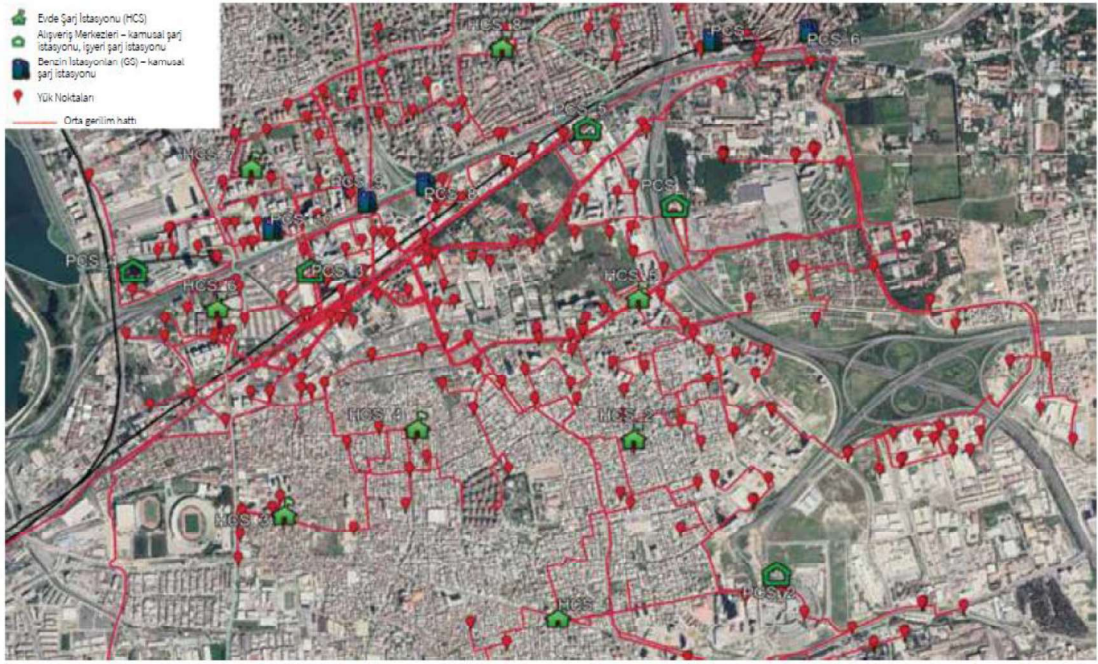


İstanbul-Kartal



İstanbul-Şile





İzmir-Bornova



İzmir-Bergama