



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Kerem İsmail ÖKSÜZ

**Danışman
Doç. Dr. Murat TÖREN**

**RİZE
2025**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Murat TÖREN danışmanlığında, Kerem İsmail ÖKSÜZ tarafından hazırlanan *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkilerinin Analizi* adlı bu tez çalışması, 11/07/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Doç. Dr. Mustafa Ergin ŞAHİN	
Üye	: Doç. Dr. Rıdvan DEMİR	
Üye	: Doç. Dr. Murat TÖREN	

ETİK BEYAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkilerinin Analizi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

30/06/2025

Kerem İsmail ÖKSÜZ

ÖN SÖZ

Günümüzde enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve çevresel duyarlılık kavramları, ulaştırma başta olmak üzere pek çok sektörde köklü dönüşümleri beraberinde getirmiştir. Bu dönüşümün en belirgin örneklerinden biri olan elektrikli araçlar, fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve karbon salımını düşürme potansiyelleriyle yalnızca bireysel ulaşımı değil, aynı zamanda enerji altyapılarını da doğrudan etkilemektedir. Artan elektrikli araç kullanımı, dağıtım şebekelerinde yeni yük profillerinin oluşmasına, enerji talebinde dalgalanmalara ve sistem kararlılığı açısından yeni gereksinimlere neden olmaktadır. Bu doğrultuda yapılan analizlerin ve simülasyonların, geleceğe dönük altyapı planlamalarında yol gösterici olacağı inancı bu çalışmanın temel çıkış noktası olmuştur.

Bu tez kapsamında, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekeleri üzerindeki etkileri, DIGSILENT PowerFactory yazılımı ile modellenen bir temsili orta gerilim şebekesi üzerinden detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ülkemizde ve özellikle Rize gibi gelişmekte olan şehirlerde altyapı planlamalarının bilimsel verilerle desteklenmesi gerektiğini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Murat TÖREN'e ve her daim desteklerini hissettiren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kerem İsmail ÖKSÜZ
RİZE/2025

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VII
KISALTMALAR	IX
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
GİRİŞ	1
1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	4
1.1. Elektrikli Araçların Yapısı ve Temel Bileşenleri	6
1.1.1. Elektrikli Motor	7
1.1.2. Güç Elektroniği	7
1.1.3. Şarj Altyapısı	7
1.1.4. Sürücü Kontrol Ünitesi	7
1.1.5. Batarya	8
1.2. Elektrikli Araçların Çevresel ve Ekonomik Faydaları	8
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GELİŞTİRİLEN ŞARJ YÖNTEMLERİ	10
2.1. Batarya Değişimi	11
2.2. Kablosuz Şarj	12
2.2.1. Kapasitif Kablosuz Şarj	12
2.2.2. İndüktif Kablosuz Şarj	13
2.2.3. Rezonans İndüktif Kablosuz Şarj	14
2.3. Kablolu (İletken) Şarj	14
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ	19
3.1. Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olumsuz Etkileri	19
3.1.1. Gerilim Kararlılığı	20
3.1.2. Güç Kalitesi	20
3.1.3. Transformatör Yüklenmeleri	20

3.1.4. Kayıplar	21
3.2. Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olumlu Etkileri	21
3.2.1. Dağıtım Şebekesinin İyileştirilmesi	21
3.2.2. Çevresel Etkiler	22
3.2.3. Ekonomik Etkiler	22
3.3. Literatür Taraması	23
4. MODELLEME SÜRECİ VE UYGULANMASI	26
4.1. Rize Trafo Merkezi	26
4.2. Fiderler	27
4.2.1. Fider 1 Yüklenme Öncesi Değerleri	28
4.2.1.1. Fider 1 Gerilim Profili	29
4.2.2. Fider A Yüklenme Öncesi Değerleri	31
4.2.2.1. Fider A Gerilim Profili	32
4.3. Dağıtım Transformatörleri	34
4.3.1. Fider 1 Üzerinden Beslenen Transformatörler	35
4.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Transformatörler	36
4.4. Şarj İstasyonu Modeli	37
4.4.1. Fiderlere Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri	37
4.4.1.1. Fider 1'e Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri	37
4.4.1.2. Fider A'ya Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri	38
5. BULGULAR	40
5.1. Az Yüklenme Senaryosu Sonrası Değerlendirme	40
5.1.1. Rize Trafo Merkezi Verileri	40
5.1.2. Fider 1 Az Yüklenme Sonrası Verileri	41
5.1.2.1. Fider 1 Az Yüklenme Sonrası Gerilim Profili	42
5.1.2.2. Fider 1 Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Az Yüklenme Sonrası Değişimleri	43
5.1.3. Fider A Az Yüklenme Sonrası Verileri	45
5.1.3.1. Fider A Az Yüklenme Sonrası Gerilim Profili	46
5.1.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Az Yüklenme Sonrası Değişimleri	47
5.2. Orta Yüklenme Senaryosu Sonrası Değerlendirme	49

5.2.1. Rize Trafo Merkezi Verileri.....	49
5.2.2. Fider 1 Orta Yüklenme Sonrası Verileri	50
5.2.2.1. Fider 1 Orta Yüklenme Sonrası Gerilim Profili.....	51
5.2.2.2. Fider 1 zerinden Beslenen Transformatörlerin Orta Yüklenme Sonrası Değişimleri	52
5.2.3. Fider A Orta Yüklenme Sonrası Veriler.....	54
5.2.3.1. Orta Yüklenme Sonrası Fider A Gerilim Profili	55
5.2.3.2. Fider A zerinden Beslenen Transformatörlerin Orta Yüklenme Sonrası Değişimleri	57
5.4. Çok Yüklenme Senaryosu Sonrası Değerlendirme.....	58
5.4.1. Rize Trafo Merkezi Verileri.....	58
5.4.2. Fider 1 ok Yüklenme Sonrası Verileri	59
5.4.2.1. Fider 1 ok Yüklenme Sonrası Gerilim Profili	60
5.4.2.2. Fider 1 zerinden Beslenen Transformatörlerin ok Yüklenme Sonrası Değişimleri	63
5.4.3. Fider A ok Yüklenme Sonrası Verileri	64
5.4.3.1. Fider A ok Yüklenme Sonrası Gerilim Profili	65
5.4.3.2. Fider A zerinden Beslenen Transformatörlerin ok Yüklenme Sonrası Değişimleri	67
5.5. Senaryolar Sonrası Genel Değerlendirme	68
5.5.1. Rize Trafo Merkezi Verileri.....	68
5.5.2. Fiderler	69
5.5.2.1. Fider 1 Gerilim Profili	71
5.5.2.2. Fider 1 zerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Değişimleri	73
5.5.2.3. Fider A Gerilim Profili.....	76
5.5.2.4. Fider A zerinden Beslenen Dağıtım Transformatörleri.....	78
6. SONUÇ	82
KAYNAKÇA	84

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Murat TÖREN

Hazırlayan : Kerem İsmail ÖKSÜZ

Yıl : 2025

Sayfa Sayısı : 88

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ

Günümüzde çevre dostu ulaşım anlayışının benimsenmesi ve fosil yakıt kullanımının azaltılması hedefleri doğrultusunda, elektrikli araçlara olan talep hızla artmaktadır. Bu artış hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli fırsatlar sunarken, aynı zamanda şehir ve ilçe bazında güç dağıtım şebekeleri için önemli altyapı düzenlemelerini gerektirmektedir. Elektrikli araçların (EA) şarj işlemleri sırasında yüksek güç tüketimi ve bu işlemlerin yoğunlukla belirli zamanlarda gerçekleşmesi, dağıtım sistemlerinde ani yük artışlarına, gerilim dalgalanmalarına ve hatta bazı durumlarda kesintilere neden olabilmektedir. Bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde ele almak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel odağı, özellikle PowerFactory DİgSILENT yazılımı kullanılarak, Rize iline ait temsili bir orta gerilim dağıtım şebekesi üzerinden yapılan benzetim analizleriyle, farklı yük yoğunluğu senaryolarının şebeke davranışını nasıl etkilediğinin incelenmesidir. Benzetimler kapsamında, farklı EA şarj istasyonu senaryoları oluşturulmuş; bu senaryolarda düşük, orta ve yüksek yoğunluklu şarj faaliyetlerinin dağıtım sistemine olan etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, belirli bölgelerde artan enerji kayıplarının yanı sıra, gerilim seviyelerinde dengesizliklerin ve hatta aşırı yüklenme risklerinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, mevcut dağıtım altyapısının artan EA talebine karşı yeterliliğini sorgulamakta ve gelecekte yapılacak planlamalar için önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, Şarj İstasyonları, Dağıtım Şebekesi, Elektriksel Kayıplar,

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Electric-Electronic Engineering

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Murat TÖREN

Author : Kerem İsmail ÖKSÜZ

Year : 2025

Pages : 88

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS ON THE DISTRIBUTION NETWORK

In line with the growing adoption of environmentally friendly transportation and the goal of reducing fossil fuel consumption, the demand for electric vehicles (EVs) is rapidly increasing. While this trend presents significant opportunities from both economic and environmental perspectives, it also necessitates substantial infrastructure adjustments in power distribution networks at the urban and regional levels. During the charging process of electric vehicles, the high power consumption and the tendency for charging to occur predominantly during certain periods can lead to sudden load surges, voltage fluctuations, and in some cases, even power outages in the distribution systems. This study has been conducted to comprehensively examine the impacts of electric vehicle charging stations on distribution networks. The main focus of the research is to investigate, through simulation analyses using PowerFactory DlgSILENT software, how different load density scenarios affect the behavior of a representative medium-voltage distribution network specific to the province of Rize. Within the scope of the simulations, various EV charging station scenarios were developed, and the effects of low, medium, and high-density charging activities on the distribution system were analyzed. The results revealed not only increased energy losses in certain areas but also voltage imbalances and risks of overloading. These findings question the adequacy of the current distribution infrastructure in responding to the growing EV demand and provide valuable insights for future planning and development.

Keywords: Electric Vehicle, Charging Stations, Distribution Network, Electrical Losses,

KISALTMALAR

OG	:	Orta gerilim
AG	:	Alçak gerilim
AA	:	Alternatif akım
DA	:	Doğru akım
EA	:	Elektrikli araç
EAŞİ	:	Elektrikli araç şarj istasyonu
DŞ	:	Dağıtım şebekesi
EATE	:	Elektrikli araç tedarik ekipmanı
MW	:	Mega watt
kV	:	Kilo volt
kA	:	Kilo amper
pu	:	Per unit
km	:	Kilo metre
dk	:	Dakika
vb.	:	Ve benzeri, ve benzerleri, ve bunun gibi
vd.	:	Ve devamı; ve diğerleri

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. Elektrikli araçların şarj seviyelerinin karşılaştırılması.....	15
Tablo 2. Farklı şarj modlarının karşılaştırılması	17
Tablo 3. Farklı AA ve DA hızlı şarj bağlantı noktaları.....	17
Tablo 4. AA ve DA hızlı şarj için farklı bağlantı tipleri	18
Tablo 5. Rize trafo merkezinin yüklenme öncesi değerleri.....	27
Tablo 6. Fider 1 yüklenme öncesi değerleri	29
Tablo 7. Fider 1 trafoların mesafeleri ve gerilim seviyeleri	31
Tablo 8. Fider A yüklenme öncesi değerleri.....	32
Tablo 9. Fider A trafoların mesafeleri ve gerilim düşümleri	34
Tablo 10. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme öncesi verileri .	35
Tablo 11. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme öncesi verileri .	36
Tablo 12. Fider 1 şarj istasyonu entegrasyon verileri.....	38
Tablo 13. Fider A şarj istasyonu entegrasyon verileri	39
Tablo 14. Rize trafo merkezi az yüklenme sonrası verileri.....	41
Tablo 15. Fider 1 az yüklenme sonrası verileri	41
Tablo 16. Fider 1 az yüklenme sonrası gerilim değerleri	43
Tablo 17. Az yüklenme sonrası fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri	44
Tablo 18. Fider A az yüklenme sonrası değerleri	45
Tablo 19. Fider A az yüklenme sonrası gerilim değerleri	47
Tablo 20. Az yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerinin verileri.....	48
Tablo 21. Rize trafo merkezi orta yüklenme sonrası verileri	49
Tablo 22. Fider 1 orta yüklenme sonrası verileri	50
Tablo 23. Fider 1 orta yüklenme sonrası transformatörlerin gerilim seviyeleri.....	52
Tablo 24. Orta yüklenme sonrası fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri	53
Tablo 25. Fider A orta yüklenme sonrası verileri	54
Tablo 26. Orta yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri	56

Tablo 27. Orta yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin verileri.....	57
Tablo 28. Çok yüklenme sonrası Rize trafo merkezi verileri.....	59
Tablo 29. Çok yüklenme sonrası Fider 1 verileri	60
Tablo 30. Çok yüklenme sonrası Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri.....	62
Tablo 31. Çok yüklenme sonrası Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri	63
Tablo 32. Çok yüklenme sonrası Fider A verileri.....	64
Tablo 33. Çok yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri	66
Tablo 34. Çok yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin verileri.....	67
Tablo 35. Rize trafo merkezi genel tablosu	68
Tablo 36. Fider A ve Fider 1 genel tablosu	69
Tablo 37. Fider 1 gerilim profili genel tablosu.....	72
Tablo 38. Fider 1 üzerinden beslenen dağıtım transformatörlerinin değişimi	74
Tablo 39. Fider A gerilim profili genel tablosu	76
Tablo 40. Fider A üzerinden beslenen dağıtım transformatörlerinin değişimi	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Elektrikli araçların küresel satışlardaki artış miktarı.....	4
Şekil 2. Elektrikli araç temel yapısı.....	6
Şekil 3. Elektrikli araçların faydaları.....	8
Şekil 4. Elektrikli araç şarj teknolojileri.....	10
Şekil 5. Batarya değişimi işleyişi	11
Şekil 6. Kablosuz şarj devresi.....	12
Şekil 7. Kapasitif kablosuz şarj devresi.....	13
Şekil 8. İndüktif kablosuz şarj devresi.....	13
Şekil 9. Rezonans indüktif kablosuz şarj devresi	14
Şekil 10. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumsuz etkileri ...	19
Şekil 11. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumlu etkileri	21
Şekil 12. Fider 1 ve Fider A ‘ya ait DIgSILENT modeli.....	27
Şekil 13. Fider 1 DIgSILENT modeli.....	29
Şekil 14. Fider 1 yüklenmeden önceki gerilim profili.....	30
Şekil 15. Fider A DIgSILENT modeli	32
Şekil 16. Fider A yüklenme öncesi gerilim profili.....	33
Şekil 17. Fider 1 az yüklenme sonrası gerilim profili	42
Şekil 18. Fider A az yüklenme sonrası gerilim profili	46
Şekil 19. Fider 1 orta yüklenme sonrası gerilim profili.....	51
Şekil 20. Fider A orta yüklenme sonrası gerilim profili	55
Şekil 21. Fider 1 çok yüklenme sonrası gerilim profili	61
Şekil 22. Fider A çok yüklenme sonrası gerilim profili.....	65
Şekil 23. Fiderlerin kayıpları genel grafiği.....	70
Şekil 24. Fiderlerin yüklenme oranlarının değişimi	71
Şekil 25. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin genel grafiği	73
Şekil 26. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme durumları	75
Şekil 27. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin genel grafiği	78
Şekil 28. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme durumları.....	80

GİRİŞ

Ulaşım, insanlık tarihinin başlangıcından bu yana ekonomik ve sosyal büyümenin temel itici gücü olmuştur. Ticaretin ve şehirleşmenin mümkün olabilmesi, ulaşım altyapısının varlığına bağlıdır; araçlar, kamyonlar, hızlı trenler ve uçaklar sayesinde sağlanan mal ve hizmetler olmadan modern ekonomiler işleyemez. Ulaşım, endüstrilerin ve şehirlerin konumlanmasını belirlemiş ve bölgelerin refahını şekillendirmiştir. Bu doğrultuda, mekân bilimlerinde erişilebilirlik ve hareketliliği ekonomik ve sosyal ilerleme ile ilişkilendiren bir teorik çerçeve gelişmiştir. Ayrıca, birçok sanayi ülkesi için ulaştırma, önemli bir sektör haline gelmiş ve bu nedenle ulusal ekonomilerin refahıyla karmaşık bir ilişki içindedir. Çoğu ülkede otoyol erişiminin yaygın olması, ulaşım maliyetlerini sanayi için önemli bir konum faktörü olmaktan çıkarmıştır. Bununla birlikte, fosil yakıt kaynaklarının sınırlılığı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekliliği, benzin kullanımının sürekli artışının sürdürülemez olduğunu gözler önüne sermektedir. Ulaştırma sektöründeki mevcut eğilimlerin sürdürülebilir olmadığına dair geniş bir fikir birliği bulunmakta olup, bu alanda teknolojik, tasarımsal, işletimsel ve finansal anlamda köklü değişikliklere duyulan ihtiyaç her geçen gün daha fazla vurgulanmaktadır. (Greene ve Wegener, 1997).

Gezegemiz sera gazı salınımlarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bunları azaltmanın bir yolu da içten yanmalı motorlu araçlardan elektrikli araçlara geçmektir. Bugün dünya çapında hükümetler ve işletmeler, devlet fonlarının önemli teşvikler sağladığı ve dönüşüm için son tarihler belirlediği elektrikli araçlara tam geçiş için bastırmaktadır. Elektrikli araçlar hiçbir kirletici madde üretmedikleri ve çok az gürültü çıkardıkları için çevre dostudur. (Jin vd., 2013).

Elektrikli araçlar (EA), CO₂ emisyonlarının azaltılması ve ulaşım sektöründe fosil yakıt tüketimine olan bağımlılığın hafifletilmesi açısından önemli avantajlara sahiptir. Benzinli ve dizel motorlu araçlarla karşılaştırıldığında, saf bataryalı elektrikli araçlar (BEA) çok daha enerji verimlidir, kentsel hava kirliliğine esasen sıfır katkıda bulunur ve iklim değişikliğinin azaltılması için muazzam bir potansiyele sahiptir. (Rajagopal ve Phadke, 2019).

Bu motorların ana güç kaynağı elektrikli bataryalardır. Bu elektrikli araçlar için en büyük zorluk, bu bataryaların minimum sürede şarj edilmesidir ve bunun için elektrikli araç şarj istasyonu hayati bir rol oynamaktadır. Elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) kurulumu, çeşitli zorluklarla birlikte gelmektedir. Zamanla, yollardaki araç sayısının artması, elektrik enerjisi talebini de artırmaktadır. Bu durum, şebekeye daha fazla elektrik gücü sağlanması gerekliliğini doğurmakta ve sonuç olarak, şebekenin aşırı yüklenmesine yol açabileceğini göstermektedir. (Zhang ve Gu, 2012) Transformatörlerin aşırı yüklenmesi ve dengesiz çalışması, bakır kayıplarını artırarak enerji verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir.

Elektrikli araçlara (EA) yönelik küresel ölçekte artan talep, sürdürülebilir ulaşım hedefleri doğrultusunda şarj altyapısının hızla genişlemesini zorunlu kılmıştır. Bununla birlikte, elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara kıyasla sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu gelişmeler, dağıtım sistemlerinde yeni yük profilleri oluşturarak şebeke planlamasını karmaşıktırmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalara göre, tek bir hızlı şarj istasyonunun talep ettiği anlık güç 50–350 kW aralığında değişmekte olup, yoğun EA kullanımının görüldüğü bölgelerde toplam şebeke yükü %15 ila %25 oranında artış gösterebilmektedir (Alizadeh vd., 2016). Bu artış, gerilim saptmaları, trafo aşırı yüklenmeleri ve enerji kayıplarının yükselmesi gibi teknik problemlere yol açabilmektedir. Özellikle hızlı şarj istasyonlarının yoğunlaştığı kentsel bölgelerde bu etkiler daha belirgin hâle gelmektedir. Bu bağlamda, elektrikli araç şarj altyapısının mevcut dağıtım şebekeleri üzerindeki teknik ve ekonomik etkilerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi, enerji yönetimi ve altyapı yatırımlarının sürdürülebilir biçimde planlanabilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

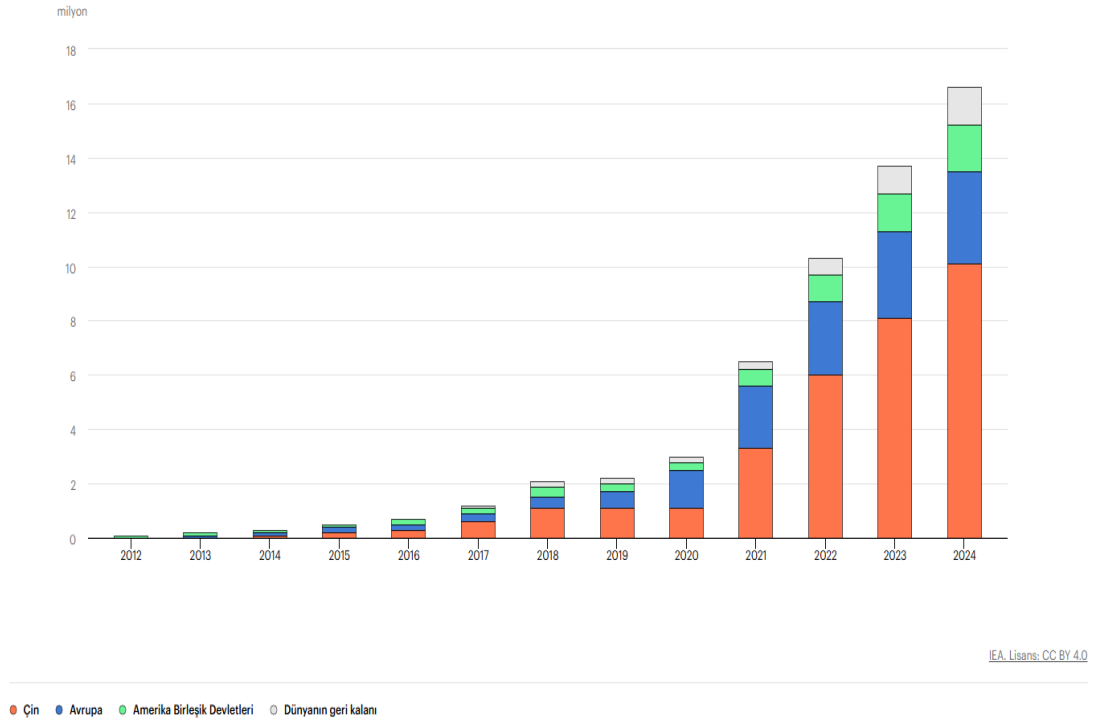
Bu doğrultuda yürütülen bu çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım sistemleri üzerindeki etkilerini çok yönlü olarak değerlendirmek ve şebeke işletmecileri ile planlamacılar için yol gösterecek nitelikte teknik veriler üretmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Rize iline ait temsili bir orta gerilim dağıtım şebekesi üzerinde PowerFactory DIgSILENT yazılımı kullanılarak yapılan benzetim analizleri sayesinde, farklı şarj yük yoğunluğu senaryoları altında şebekenin davranış biçimi modellenmiş ve sistemin performansı detaylı biçimde incelenmiştir. Elde edilen veriler, özellikle bölgesel yük yönetimi, kapasite planlaması, trafo ve fider seçim

kriterlerinin yeniden değerlendirilmesi, gerilim regölasyonu stratejilerinin optimize edilmesi gibi teknik sorunların çözümüne katkı sağlayacak niteliktedir. Bununla birlikte, dağıtım şebekelerine entegre edilecek olan yeni nesil şarj altyapılarının, yer seçimi ve saatlik kullanım profili gibi parametreler göz önünde bulundurularak daha verimli şekilde tasarlanmasına da olanak tanımaktadır. Çalışmadan elde edilen teknik bilgiler, yalnızca teorik bir değerlendirme sunmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji yönetimi, şehir planlaması, altyapı projeleri ve akıllı şebeke uygulamalarında kullanılmak üzere karar vericilere ve uygulayıcılara stratejik destek sağlayacak potansiyele sahiptir.



1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Otomotiv sektörü, küresel ekonominin en büyük bileşenlerinden biri olup, ulaşımın sürdürülebilir hale getirilmesi açısından önemli bir role sahiptir. Geleneksel içten yanmalı motorlar, çevresel kirliliğe ve fosil yakıt bağımlılığına neden olurken, alternatif enerji kaynaklarına dayalı çözümler giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçlar, düşük karbon salınımı, enerji verimliliği ve sürdürülebilir mobilite sağlamaları nedeniyle geleceğin ulaşım sistemleri arasında kritik bir yer edinmiştir. Şekil 1’de elektrikli araçların küresel olarak satış adedini belirten grafik sunulmuştur (IEA, 2024).



Şekil 1. Elektrikli araçların küresel satışlardaki artış miktarı

Son yıllarda elektrikli araç teknolojilerine olan ilginin artması, hükümetler tarafından teşvik edilen politikalar, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon ve batarya teknolojilerindeki gelişmeler ile desteklenmektedir (Nykvist ve Nilsson, 2015). Özellikle Avrupa Birliği, Çin ve ABD gibi büyük pazarlar, karbon emisyonlarını azaltma hedefleri doğrultusunda elektrikli araç kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır (IEA, 2023).

Elektrikli otomobil satışı, 2023 yılında güçlü bir büyüme göstererek 14 milyona yakın satış rakamlarına ulaşmıştır. Elektrikli otomobillerin toplam satışlar içindeki payı, 2020 yılında yaklaşık %4 iken, 2023'te %18'e yükselmiştir. 2024 yılına kadar elektrikli araç satışlarının güçlü bir şekilde devam etmesi beklenmektedir. 2024 yılının ilk çeyreğinde 3 milyondan fazla elektrikli otomobil satışı gerçekleşmiş olup, bu rakam geçen yılın aynı dönemine göre yaklaşık %25 daha fazla olmuştur. 2024 yılının ikinci yarısında hızlanan yeni alımlarla birlikte, yıl sonuna kadar toplamda yaklaşık 17 milyon elektrikli otomobil satışı öngörülmektedir. Bu, yıllık bazda %20'den fazla bir artışı işaret etmektedir. Elektrikli otomobillerin, tüm takvim yılı boyunca satılan her beş otomobilden birini oluşturması beklenmektedir. Ulusal politikalar ve teşvikler, bunun yanı sıra artan fiyat rekabeti, satışların desteklenmesine yardımcı olacaktır. Mevcut politika ve trendler doğrultusunda, elektrikli araçların yaygınlaşması ile 2030 yılına kadar günde yaklaşık 6 milyon varil petrol tüketiminin engellenmesi beklenmektedir (IEA, 2024). Bu artışın temel nedenlerinden biri, birçok ülkenin karbon emisyonlarını azaltma hedefleri doğrultusunda içten yanmalı motorlu araçlara yönelik kısıtlamalar getirmesidir (van Wee B, 2019).

Özellikle Çin, dünyanın en büyük elektrikli araç pazarı olarak öne çıkmaktadır. Çin hükümeti, yerli üreticilere teşvikler sağlamak ve elektrikli araç altyapısını hızla genişletmektedir (Zhou vd., 2020). Avrupa Birliği de karbon nötr olma hedefleri doğrultusunda 2035 yılı itibarıyla içten yanmalı motorlu araçların satışını yasaklamayı planlamaktadır. (European Commission, 2023).

ABD'de ise federal ve eyalet bazında sağlanan teşvikler, elektrikli araç satışlarının artmasını sağlamıştır. Tesla gibi öncü firmaların yanı sıra Ford, General Motors ve Volkswagen gibi büyük otomotiv üreticileri de elektrikli araç üretimini artırmaktadır (Lutsey vd., 2018).

1.1. Elektrikli Araçların Yapısı ve Temel Bileşenleri

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlar yerine elektrikli motorlar kullanan ve enerjisini genellikle bataryalardan alan taşıma araçlarıdır. Bu araçlar, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Elektrikli araçların temel yapısı, içerdikleri ana bileşenlere dayanır. Bu bileşenler arasında elektrikli motor, batarya, güç elektroniği, şarj altyapısı ve sürücü kontrol ünitesi yer alır. Her bir bileşen, aracın verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için özel bir rol üstlenmektedir. Şekil 2’de elektrikli araçların temel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2. Elektrikli araç temel yapısı

1.1.1. Elektrikli Motor

Elektrikli motor, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ana bileşendir. Elektrikli araçlarda kullanılan motorlar genellikle iki türdür: doğru akım (DA) motorlar ve alternatif akım (AA) motorlar. DA motorlar, daha basit yapıları nedeniyle daha az bakım gerektirirken, AA motorlar daha verimli ve dayanıklıdır. Elektrikli motorlar, bataryadan gelen elektrikle çalışarak aracı hareket ettirir. Motorun gücü, aracın hızını ve torkunu belirler (Maruf vd., 2020).

1.1.2. Güç Elektroniği

Güç elektroniği, batarya ile elektrikli motor arasındaki enerji akışını kontrol eden sistemdir. Bu sistem, doğru akım (DA) elektrikle çalışan bataryadan alınan enerjiyi, motor için uygun olan alternatif akıma (AA) dönüştürür. Güç elektroniği, aracın enerji verimliliğini artırır ve bataryanın ömrünü uzatır. Bu bileşenler, enerji yönetimini optimize eder ve aracın performansını iyileştirir (Amry vd., 2022).

1.1.3. Şarj Altyapısı

Elektrikli araçların şarj edilmesi, araçların kullanım sürekliliği için büyük önem taşır. Elektrikli araçlar, ev tipi prizler üzerinden yavaşça şarj edilebileceği gibi, özel şarj istasyonları kullanılarak daha hızlı şarj edilebilirler. Şarj altyapısı, batarya kapasitesine ve şarj istasyonlarının yaygınlığına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Elektrikli araçların geniş çapta benimsenmesi, etkili bir şarj altyapısının kurulmasını gerektirmektedir.

1.1.4. Sürücü Kontrol Ünitesi

Sürücü kontrol ünitesi, aracın hızını, torkunu ve diğer dinamiklerini kontrol eden bir sistemdir. Bu ünite, motorun verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için çeşitli algoritmalar ve sensörler kullanılır. Ayrıca, sürücünün talimatlarına göre aracın hızını ayarlayan bir yazılım bileşeni de bulunmaktadır (Cai vd., 2021).

1.1.5. Batarya

Elektrikli araçların enerji kaynağı olan bataryalar, aracın menzilini ve performansını doğrudan etkileyen en önemli bileşendir. Elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan batarya türü, lityum-iyon (Li-ion) bataryalardır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunlukları, uzun ömürleri ve hızlı şarj olma özellikleri ile tercih edilmektedir. Batarya kapasitesi, aracın menzilini belirlerken, batarya şarj süreleri de kullanıcı deneyimini etkileyen bir diğer önemli faktördür (Li, 2023).

1.2. Elektrikli Araçların Çevresel ve Ekonomik Faydaları

Elektrikli araçların en önemli avantajlarından biri düşük karbon salınımıdır. Fosil yakıtlı araçlar, karbon dioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde gibi kirleticiler üretirken, elektrikli araçlar doğrudan emisyon yaymazlar (Bicer ve Dincer, 2017). Yapılan araştırmalar, bir elektrikli aracın yaşam döngüsü boyunca ürettiği emisyonların, geleneksel içten yanmalı motorlara kıyasla %50 ila %70 oranında daha düşük olduğunu göstermektedir (Hawkins vd., 2013). Şekil 3' te elektrikli araçların faydaları gösterilmiştir.



Şekil 3. Elektrikli araçların faydaları

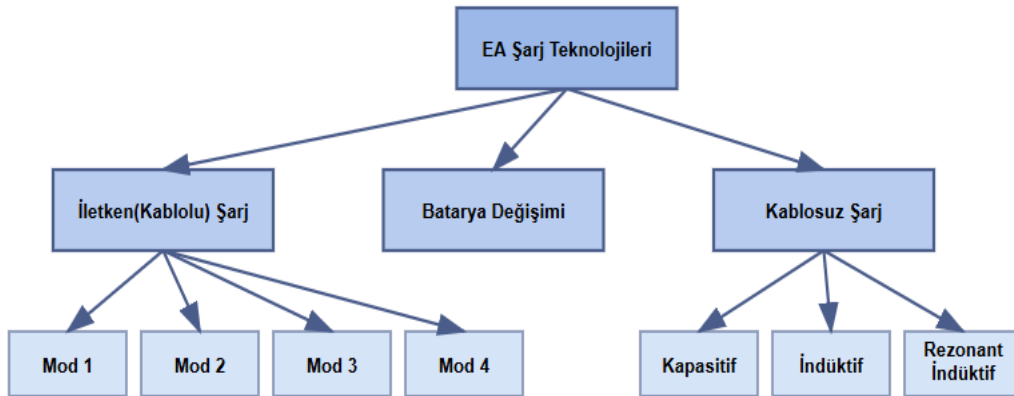
Elektrikli araçlar ayrıca enerji verimliliği açısından da avantajlıdır. İçten yanmalı motorların verimi yaklaşık %20-30 seviyelerinde kalırken, elektrikli motorlar %85-90'a varan verimlilikle çalışmaktadır (Tomić ve Kempton, 2007). Bu durum, elektrikli araçların daha az enerji tüketerek daha uzun mesafeler kat edebilmesini sağlamaktadır.

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, elektrikli araçların bakım ve işletme maliyetleri, geleneksel araçlara kıyasla daha düşüktür. Elektrikli motorların daha az hareketli parça içermesi, bakım ihtiyacını azaltırken, enerji maliyetleri açısından da fosil yakıtlara kıyasla daha uygun fiyatlı olmaktadır (Holland vd., 2015). Bununla birlikte, batarya üretim maliyetleri hala yüksek olmakla birlikte, lityum-iyon batarya teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte bu maliyetlerin azalması beklenmektedir (BloombergNEF, 2022).

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GELİŞTİRİLEN ŞARJ YÖNTEMLERİ

Elektrikli araçların yaygınlaşması, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, bu araçların etkin kullanımı için gerekli olan şarj altyapısının geliştirilmesi, kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Şarj istasyonlarının teknolojik gelişimi, elektrikli araçların benimsenme oranını doğrudan etkilemekte ve menzil kaygısını azaltarak kullanıcı güvenliğini artırmaktadır (Demirtaş vd., 2021).

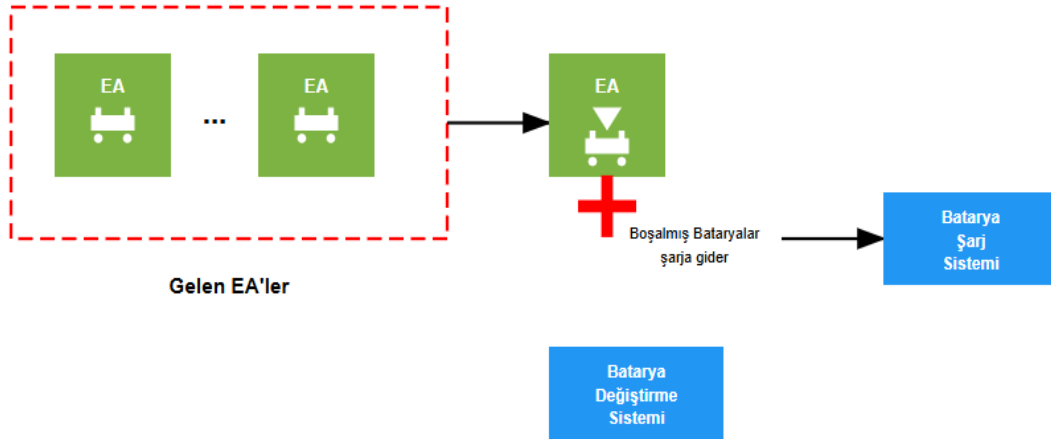
Şarj istasyonları, teknolojik özelliklerine göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Temaslı şarj yöntemleri, genellikle alternatif akım (AA) ve doğru akım (DA) olarak sınıflandırılmaktadır. AA şarj istasyonları, ev ve iş yerlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup daha düşük güç seviyelerinde çalışmaktadır. DA hızlı şarj istasyonları ise yüksek güçlü şarj imkânı sağlayarak, araçların bataryalarını kısa sürede doldurabilmektedir. Bunun yanı sıra, kablosuz şarj teknolojileri de gelişmekte olup, manyetik alanlar kullanarak enerji aktarımı yapmaktadır (Durmuş ve Kaymaz, 2020). Şekil 4 ile EA şarj teknolojilerinde kullanılan yöntemler belirtilmiştir.



Şekil 4. Elektrikli araç şarj teknolojileri

2.1. Batarya Değişimi

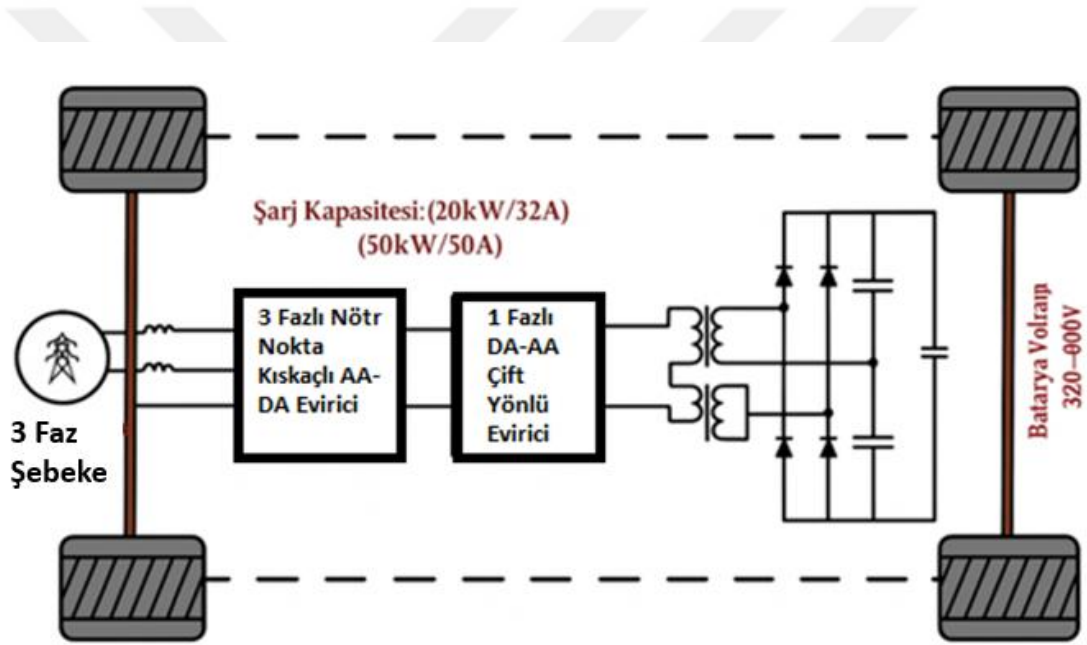
Batarya değişim istasyonları, kullanıcıların bataryaları belirli bir ücret karşılığında aylık olarak kiralaması esasına dayalı olarak işletilmektedir. Bu sistem, elektrikli araç sahiplerine bataryalarını şarj noktalarında bekleyerek şarj etmek yerine doğrudan değiştirme imkânı sunmaktadır. Batarya değişimi iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. İlk yöntemde, araç sahibi bataryasını değiştirerek tamamen şarj edilmiş bir batarya ile devam edebilir ve daha sonra eski bataryasını teslim almak üzere geri dönebilir. İkinci yöntemde ise, orijinal batarya muhafaza edilerek, belirlenen fiyat farkı ödenmek suretiyle yedek batarya kullanılmaya devam edilebilmektedir. Bu değişim yöntemi, özellikle elektrikli forkliftlerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Öte yandan, elektrikli araçların şarj edilmesine yönelik kablosuz sistemler, sürücülerin araçlarını toprak altına yerleştirilmiş veya yüzeyde konumlandırılmış bobinler üzerine park ederek enerji transferi sağlamalarına olanak tanımaktadır. Kablosuz şarj teknolojisi, fiziksel bağlantı gereksinimini ortadan kaldırarak şarj sürecini daha pratik ve verimli hale getirmektedir. Batarya değiştirme sistemine ilişkin konfigürasyon Şekil 5'te sunulmaktadır (Saraswathi ve Ramachandran, 2024).



Şekil 5. Batarya değişimi işleyişi

2.2. Kablosuz Şarj

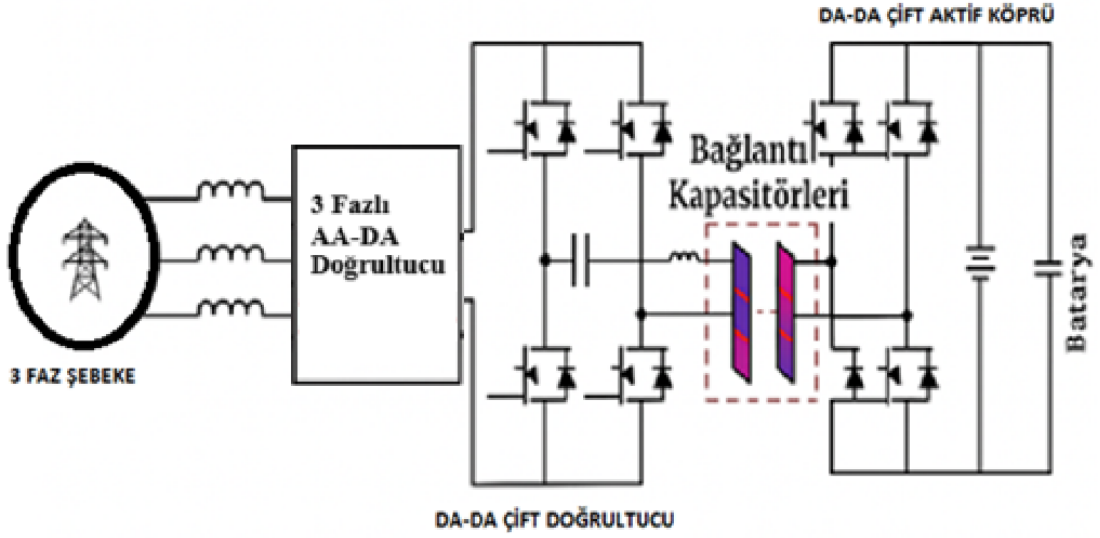
Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasına göre, transformatörler aracılığıyla gerçekleştirilen güç aktarımı prensibi, kablosuz bir güç aktarım sisteminin çalışmasını sağlar. Elektrikli araçlar ise manyetik alanlar kullanılarak, temassız güç aktarımı yöntemiyle endüktif olarak şarj edilmektedir. Taşınabilir cihazlara elektrik sağlamak için elektromanyetik indüksiyon (kablosuz) kullanılmıştır. Otomobiller, elektrikli diş fırçaları, elektrikli aletler ve sağlık ürünleri endüktif şarj kullanmaktadır. Endüktif şarj, enerjiyi endüktif kuplaj yoluyla dağıttığı için bu adı almıştır. Şarj istasyonunun içindeki endüktif bir bobin alternatif akımlar iletir. Şekil 6'da kablosuz şarj devresi gösterilmiştir (Yılmaz ve Krein, 2012).



Şekil 6. Kablosuz şarj devresi

2.2.1. Kapasitif Kablosuz Şarj

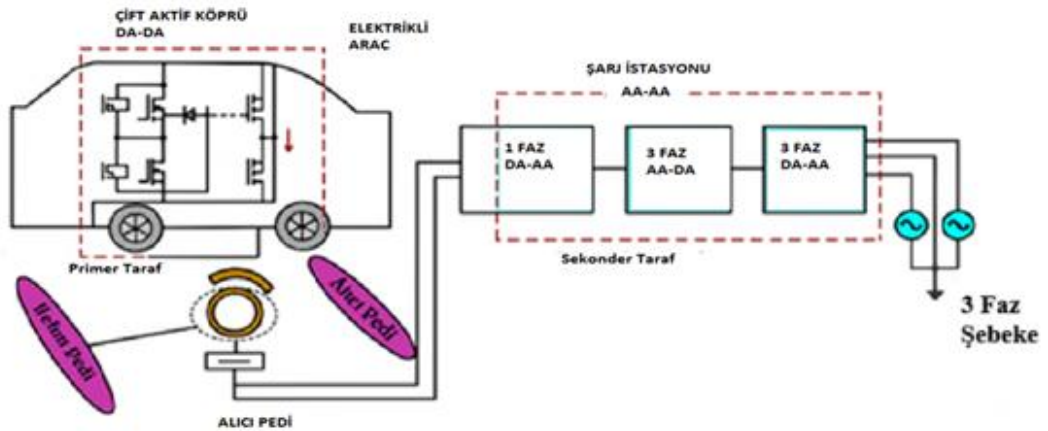
Kapasitif şarj, verici ve alıcı pedlerle donatılmış iki metalik plaka arasında bir elektrik alanı uygulayarak, plakalar ile güç kaynağı veya yük arasında doğrudan bir bağlantı sağlayarak oluşturulabilir. Şekil 7 kapasitif şarj teknolojisinin bir gösterimidir. Plakalar arasında bir elektrik alanı oluşturmak ve bir alıcı pedinde olduğu gibi bir akım indüklemek için, iki kapasitör olarak işlev görerek paralel bağlanırlar. Alıcı ve verici pedleri arasındaki elektrik alanının değişim oranı, bu indüklenen akıma eşdeğerdir. (Saraswathi ve Ramachandran, 2024).



Şekil 7. Kapasitif kablosuz şarj devresi

2.2.2. İndüktif Kablosuz Şarj

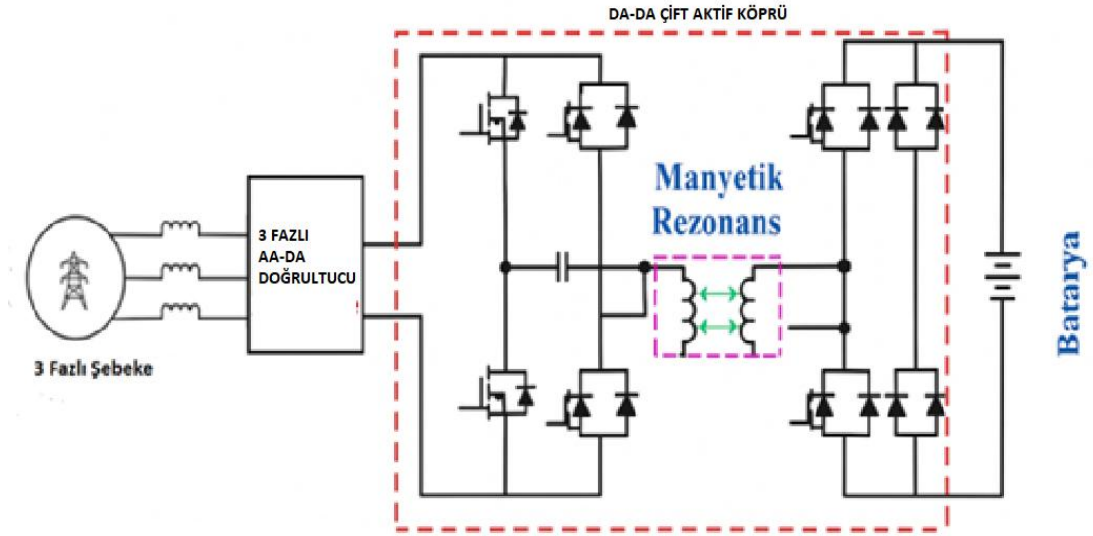
Güç, elektromanyetik bir alan aracılığıyla bir verici plakadan bir alıcı plakaya iletilir ve Şekil 8'de görülebileceği gibi endüktif şarjı modern ulaşım için en yeni ve uygun maliyetli yakın şarj çözümlerinden biri haline getirir. Bataryalı elektrikli araçların (BEA) bataryalarını şarj etmek için güvenilir ve etkili bir kablosuz güç aktarım sistemi oluşturmak için en önemli adımlardan biri uygun bir güç yastığı tasarlamaktır. Bununla birlikte, kablosuz güç aktarım sistemleri hala güç yastığı ve bobin tasarımları, elektromanyetik alan koruması ve daha fazlası gibi çeşitli engellerle karşı karşıyadır (Peschiera ve Williamson, 2013).



Şekil 8. İndüktif kablosuz şarj devresi

2.2.3. Rezonans İndüktif Kablosuz Şarj

Rezonans indüktif şarjı, aynı zamanda manyeto-rezonans şarj olarak bilinir. Frekansı nedeniyle endüktif şarjdan daha üstündür ve dengeleyici kapasitörler eklenerek yükseltilebilir ve büyük iletim mesafelerine izin verir. Bu şarj teknolojileri aşamalı olarak uygulanmaktadır: Aşama 1 basit konut sistemleri; Aşama 2, park alanları; Aşama 3, cadde üstü park ve Aşama 4 dinamik şarj sistemleri veya gelecekteki otoyol teknolojisi. Şekil 9, literatürde ele alınan manyeto-rezonans şarj teknolojisini göstermektedir. (Saraswathi ve Ramachandran, 2024).



Şekil 9. Rezonans indüktif kablosuz şarj devresi

2.3. Kablolu (İletken) Şarj

İletken şarj, Tablo 1'de gösterildiği gibi güç seviyesine bağlı olarak Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 gibi üç şarj seviyesini takip eden şarj girişi ile araç arasında bir elektrik bağlantısı içerir. Mod 1 ve Mod 2 şarj, AA gücüne sahip yerleşik şarj cihazlarında kullanılırken, Mod 3 şarj DA gücüne sahip yerleşik olmayan şarj cihazlarında kullanılır. Mod 1 ve Mod 2 şarj EA hizmet ekipmanı yerleşik olmalı ve Mod 3 EAŞİ yerleşik olmayan şarj cihazları olmalı ve SAE J1772 standardını takip etmelidir. Mod 1 şarj cihazı 120 V tek fazlı AA güç kaynağı kullanır ve genellikle herhangi bir ek altyapı olmadan düşük güç seviyeli (1,92 kW'a kadar) evlerde kullanılan en yavaş şarj hızına sahiptir (Safayatullah vd., 2022). Elektrikli araç sahipleri, Mod 1 şarj cihazlarına kıyasla hızlı değişim oranları ve standartlaştırılmış şarj cihazı-arac bağlantıları nedeniyle Mod 2 şarj cihazlarıyla ilgilenmektedir. DA hızlı

şarj veya Mod 3 şarj, elektrikli araç bataryasına yüksek gerilimli DA gücü sağlamak için 480 Vac elektrik gücü kullanır. Mod 2 şarj cihazları, 30 dakika içinde araç dışı şarj cihazlarında 300 V ila 800 V civarında DA gerilimi sağlamak için 50 kW ila 350 kW arasında yüksek güç öfkesini kaldırabilir. Mod 2 şarj cihazları yüksek güç akışı nedeniyle aracın dışına yerleştirildiğinden şarj cihazlarının hacmi ve ağırlığı azalır. DA hızlı şarj cihazları, araç dışı şarj cihazları aracılığıyla doğrudan araca bağlanır ve Mod 3 hızlı şarj için CHAdeMO, Tesla süper şarj cihazları ve CCS kombinasyon 1,3 konektörleri dikkate alınır. Mod 3 şarjın şarj süresi 1 saatten azdır ve elektrikli araç sahiplerinin sürüş menzili endişesini azaltır. Bununla birlikte, düşük güçlü şarj cihazları, Mod 1 ve Mod 2, yoğun zamanlarda elektrik şebekesi üzerinde en düşük olumsuz etkiye sahiptir. Yerel dağıtım şebekesi, yoğun zamanlarda yüksek güç kullanımı nedeniyle Mod 3 şarj cihazları tarafından aşırı yüklenebilir. (Bae ve Kwasinski, 2011).

Tablo 1. Elektrikli araçların şarj seviyelerinin karşılaştırılması

Özellik	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
Şarj Gücü	1,44kW- 1,9kW	3,1kW- 19,2kW	20kW- 350kW	>350 kW
Şarj Cihazı Tipi	Araç Üstü- Yavaş Şarj	Araç Üstü- Yarı Hızlı Şarj	Araç Dışı Şarj Cihazı-Hızlı Şarj	Araç Dışı Şarj Cihazı-Ultra Hızlı Şarj
Şarj Lokasyonu	Konut	Özel ve Ticari	Ticari	Ticari
Şarj Süresi	200km: +/- 20 saat	200km: +/- 5 saat	%80 veya 200km: +/- 30 dk	Yüksek enerji yoğunluğu ile yaklaşık 5 dk
Güç Kaynağı	120/230Vaa, 12A- 16A, Tek Faz	208/240Vaa, 12A- 80A, Tek Faz/bölünmüş faz	300-800Vda, 250-500A, Üç Faz	1000Vda ve üzeri, 400A ve daha yüksek- Çok Fazlı
Besleme Arayüzü ve Koruma Tipi	Standart priz (Kablo içinde devre kesici)	Özel EA Besleme Ekipmanı (Kabloda devre kesici ve pilot fonksiyonu)	Özel EA besleme ekipmanı (EA ve şarj istasyonu arasında iletişim ve olay izleme)	Özel EA besleme ekipmanı (EA ve şarj istasyonu arasında iletişim ve olay izleme)
Standartlar	SAE J1772, IEC 62196-2, IEC 61851 2/2/3, GB/T 20234 2	SAE J1772, IEC 62196-2, IEC 61851 2/2/3, GB/T 20234 2	IEC 61851 23/24 IEC 62196-3	IEC 62196 SAE J2836/2 & J2847/2

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), güvenli bir şarj işleminin temel özelliklerini ve enerji kaynağı gereksinimlerini sağlamanın yanı sıra, AA ve DA şarj sistemleri için dört şarj modu (IEC-62196 ve 61851) tanımlamaktadır (IEEE). Tablo 2’de bu şarj modlarına ilişkin özellikler belirtilmiştir. Aşırı yüklenme ve sızıntıya karşı koruma sağlamak için bir devre kesici ve topraklama mekanizması içeren Mod 1, yavaş şarj uygulamaları için kullanılır. Ülkeye bağlı olarak, mod 1’in akım limiti 8 A ila 16 A arasında değişmektedir. Mod 1’de, elektrikli araç standart bir soket aracılığıyla tek fazlı için 240 V veya üç fazlı için 480 V’de doğrudan AA şebekesine bağlanır. Orta düzeyde güç sağlamak için kablolar, standart bir elektrik prizinden yavaş şarj mod 2’de belirli bir EA koruma düzenlemesi ile birleştirilir. Maksimum 32A akım akışı ile Mod 2, elektrikli aracı AA şebekesine doğrudan ve yarı aktif olarak bağlar. Bizim akımımız, aşırı ısınma önleme ve koruyucu toprak algılama özelliklerinin tümü mod 2 kablosu tarafından sunulmaktadır. Mod 2 şarj bağlantıları daha yüksek akım akışına sahip olduğundan ve çağdaş elektrikli araçlar için minimum gereksinimler ve makul güvenlik sunduğundan, bu nedenle mod 1 kablolarından daha maliyetlidir. (Bräunl, (2012).

Mod 3, belirlenmiş bir kontrolör prizi aracılığıyla hızlı veya yavaş şarja izin verir. Kamu veya konut şarj istasyonlarındaki düzenlemelere uymak için, özel devre bu modda koruma ve kontrol için kalıcı olarak yerleştirilir. Tek fazlı veya üç fazlı şebeke entegrasyonu için sabit EAŞİ için kullanılan Mod 2, maksimum 250 A akım ile daha yüksek bir güç seviyesine izin verir. EA ile şebeke arasında uygun iletişimi kolaylaştırmak için bağlantı kablosunda bir toprak ve kontrol pilotu bulunur. 600 V DA güç ile hızlı şarj istasyonu, CHAdeMO şarj teknolojisi gibi sabit EAŞİ aracılığıyla mod 4’ü kullanır. Mod 4 şarj cihazları, mod 3 şarj cihazlarından daha maliyetlidir ve 400 A’e kadar akımı düzenlemek için bir kontrol pilotuna ve toprak bağlantısına sahiptir. Gövde dışı şarj cihazları, 150 kW gücü aşan çok çeşitli şarj kapasitelerine sahiptir ve mod 4 gereksinimlerine uygundur. Tablo 2’de modlar ve özellikleri ifade edilmiştir (Bahrami, 2020).

Tablo 2. Farklı şarj modlarının karşılaştırılması

Şarj Modu	Faz	Akım	Gerilim	Güç (Maks)	Özel Konnektör	Şarj Konfigürasyonu
Mod 1	AA- 1 Faz	16 A	230-250 V	3.8 kW	Hayır	Ev Prizi ile Şarj
	AA- 3 Faz		480 V	7.6 kW		
Mod 2	AA- 1 Faz	32 A	230-250 V	7.6 kW	Hayır	AA Şarj- Kontrol ve İletişim ile
	AA- 3 Faz		480 V	15.3 kW		
Mod 3	AA- 1 Faz	32-250 A	230-250 V	60 kW	Evet	Özel Konnektörle AA Şarj
	AA- 3 Faz		480 V	120 kW		
Mod 4	DA	250-400 A	600-1000 V güç dşV	>150 kW	Evet	DA Hızlı Şarj- Kontrol ve İletişim ile

Güvenilir elektrikli araç akü şarjı ve deşarjının yanı sıra koruma sağlayan birincil EAŞİ bileşenleri arasında elektrik prizleri, konektörler, kablolar ve bağlı fişler gibi elektrikli araç şarj bileşenleri yer almaktadır Standartlar, güç değerleri ve şarj çevre cihazı yapılandırmaları ülkeye ve bölgeye göre farklılık göstermektedir. Tablo 3 ilgili spesifikasyonlarına uygun olarak piyasada bulunan çeşitli bağlantı noktalarını göstermektedir (Das vd., 2020; Rivera vd., 2021).

Tablo 3. Farklı AA ve DA hızlı şarj bağlantı noktaları

Şarj Türü	ABD	JAPONYA	AVRUPA	ÇİN
Tek Faz / 3 Faz AA Şarj				
	SAE J 1772 Seviye 1, Seviye 2 Tek Faz	SAE J 1772 Seviye 1, Seviye 2 Tek Faz	IEC 62196 Seviye 1 Tek Faz	IEC 62196-2 Seviye 1, 2 Tek / Üç Faz
DA Hızlı Şarj				
	Seviye 1 + DA SAE J1772	Seviye 2 + DA Combo JEVS G105-1993 CHAdemo DC Hızlı Şarj	IEC 62196-3 Hibrit	GB/T 20234 3-2011 DA Hızlı Şarj

Standartlarla ilgili sorunları ve çatışmaları en aza indirmek için üreticiler standartlaştırılmış şarj EATE'leri uygulamaya çalışmaktadır. Hem AA hem de DA şarj

sistemleri Avrupa'da IEC 62196 standartlarına ve Amerika Birleşik Devletleri'nde SAE J1772 standartlarına bağlı kalmıştır. Japonya'da DA hızlı şarj EATE'si için CHAdeMO kullanılırken, AA şarj portları ve konektörleri SAE J1772 spesifikasyonlarına uymaktadır. Çinli otomobil üreticisi, kendi DA hızlı şarj protokolü olarak GB/T 20234'ü veya kısaca GB/T DA hızlı şarjı oluşturdu ve uyguladı. Tablo 3 ve 4, çeşitli elektrikli araç şarj bağlantı noktalarının yanı sıra AA ve DA şarj konektörlerini standartlarıyla birlikte listelemektedir. Avustralya elektrikli araç şarj fişleri ve konektörleri standardı (IEC 62196), tek bir standart uygulamak yerine hem ABD hem de AB konektör standartlarının benimsenmesini teşvik etmektedir (Queensland, 2018).

DA hızlı şarj cihazları için dört farklı bağlantı düzenlemesi IEC 62196 standardı tarafından belirtilmiştir. Bunlar AA (CHAdeMO), BB (GB/T), EE (CCS-Tip 1) ve FF (CCS Tip 1) konfigürasyonlarını içerir (IEC, 2015).

Avrupa'da kullanılan bir diğer yaygın DA hızlı şarj bileşeni, AA J1772'ye benzeyen ancak farklı bir tasarımda ekstra DA şarj pimleri içeren birleşik bağlantılar ve bağlantı noktalarıdır. Şu anda üreticiler ve idari makamlar, hızlı ve ultra hızlı şarj sistemleri için standartlaştırılmış kuplörler, protokoller ve standartlar oluşturarak uyumluluğu garanti altına almak için çalışmaktadır (Acharige vd., 2022). Tablo 4, piyasada bulunan farklı konektörleri içermektedir (Das vd., 2020; Rivera vd., 2021).

Tablo 4. AA ve DA hızlı şarj için farklı bağlantı tipleri

Şarj Türü	ABD	JAPONYA	AVRUPA	ÇİN	
Tek Faz / 3 Faz AA Şarj	 SAE J 1772 Seviye 1, Seviye 2 Tek Faz	 SAE J 1772 Seviye 1, Seviye 2 Tek Faz	 IEC 62196-2 Seviye 1, 2 Tek / Üç Faz	 IEC 62196-2 Seviye 1, 2 Tek / Üç Faz	
DA Hızlı Şarj	 Seviye 1 + DA SAE J1772	 Tesla Süper Şarj Cihazı	 CHAdeMO DA Hızlı Şarj Cihazı	 IEC 62196-3 Hibrit	 GB/T 20234 3-2011 DA Hızlı Şarj

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ

EAŞİ dağıtımlarının sayısının artması, mevcut dağıtım şebekesinin (DŞ) bir dizi zorlukla karşılaşacağını daha açık hale getirmektedir. Bu konuda araştırmacılar tarafından çok sayıda inceleme gerçekleştirilmiştir. Tanımlarına göre, elektrikli araç etki çalışması, elektrikli araçların DŞ'nin verimliliği, trafo yaşlanması ve enerji çıkışı da dahil olmak üzere elektrik şebekesinin çeşitli unsurlarını nasıl etkilediğini değerlendirmeyi içerir. Önemli etkilerden biri, elektrikli araçların yoğun yük saatlerinde şarj edilmesinin, üretim kapasitesinde potansiyel bir artış gerektiren yoğun yük gücüne olan talebi artırabilmesidir. Elektrikli araçlara yönelik artan talep, trafo merkezlerini ve hizmet transformatörlerini aşırı yüklenme tehlikesiyle karşı karşıya bırakabilir ve bu da genel olarak kullanım ömürlerini kısaltabilir. Ayrıca, gerilim düşüşleri, güç dengesizlikleri ve gerilim/akım harmonikleri gibi güç kalitesi sorunları elektrikli araç şarjı nedeniyle ortaya çıkabilir (Yuvaraj vd., 2024).

3.1. Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olumsuz Etkileri

Şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu kısımda olumsuz etkileri ifade edilmiştir. Şekil 10' da olumsuz etkiler gösterilmiştir.



Şekil 10. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumsuz etkileri

3.1.1. Gerilim Kararlılığı

Güç dağıtım şebekesinin temel bileşenlerinden biri gerilim kararlılığıdır; bu, bozulmalar giderildikten sonra tüm baraların gerilimlerini sabit tutma kapasitesidir. Hızlı şarj istasyonlarının getirdiği ani yük artışı, modern güç DŞ'sinde sıklıkla gerilim kararsızlığına neden olmaktadır. Bu hızlı şarj istasyonu yükleri doğası gereği doğrusal olmadığından, elektrikli araç bataryalarını hızla şarj etmek için çok fazla güce ihtiyaç duyarlar. Sonuç olarak, hızlı şarj istasyonu yük özellikleri gerilim kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu da onları güç sistemi kesintilerine önemli bir katkıda bulunur hale getirir (Razipour vd., 2019)

3.1.2. Güç Kalitesi

EAŞİ yük gereksinimleri dinamik olduğundan, güç kalitesinin korunması büyük bir zorluktur. Yük talebinin özellikleri arasında harmonikler, gerilim dengesizlikleri ve gerilim düşüşleri yer alır. Toplam harmonik bozulma (THB), AA gücü DA elektriğe dönüştürüldüğünde, tipik olarak yüksek frekanslı anahtarlama dönüştürücüleri kullanılarak EA pillerinin şarj edilmesi sırasında elektrik sistemine dahil edilir. Bu THB enjeksiyonunun çeşitli olumsuz etkileri vardır. Bunlar arasında dağıtım transformatörlerinin termal ve elektriksel olarak aşırı yüklenmesi, dalga biçimi bileşenlerinin bozulması ve kablolar, sigortalar ve nötr teller dahil olmak üzere DŞ bileşenleri üzerinde yüksek gerilim potansiyeli bulunmaktadır. Bu unsurlar birlikte çalışarak sistemin genel elektrik kalitesini düşürebilir (Khalid vd., 2019; Niitsoo vd., 2015).

3.1.3. Transformatör Yüklenmeleri

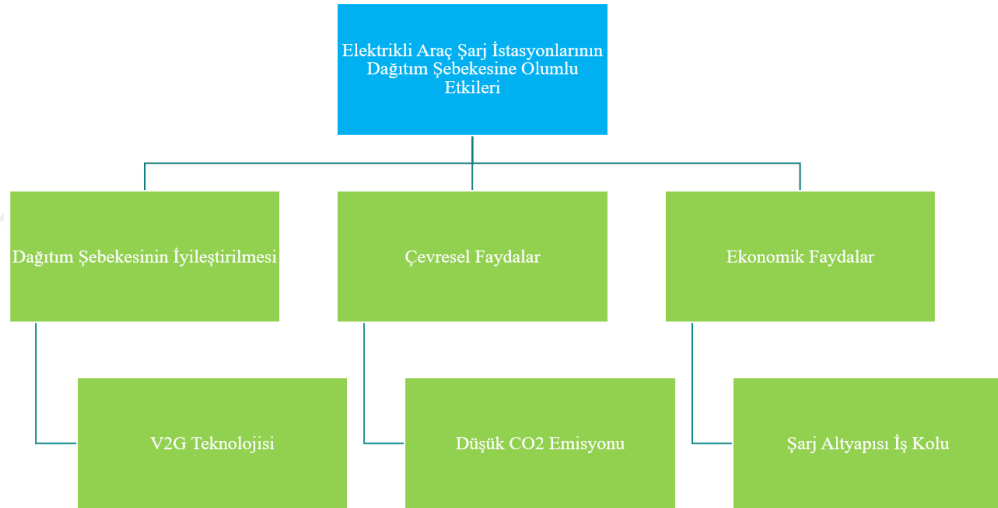
Güç dağıtım transformatörleri, EAŞİ'lerin artan kullanımının bir sonucu olarak daha fazla zorlanma yaşayabilir ve bu da ömürlerini kısaltabilir. Daha yüksek yükler ve trafo için daha yüksek sıcak nokta sıcaklıkları ortaya çıkabilir. Uygun olmayan elektrikli araç şarj koordinasyonu nedeniyle trafo performansı daha da kötüleşebilir ve yaşlanma süreci hızlanabilir. Bununla birlikte, yapılan bir çalışmada transformatörün uzun ömürlülüğünün %10'a kadar elektrikli araç penetrasyonundan etkilenmediğini gösterilmiştir (Shareef vd., 2016).

3.1.4. Kayıplar

Elektrikli araçların şebekeye kademeli olarak entegre edilmesiyle ortaya çıkan gelecekteki talep, güç sistemi kayıplarını ciddi bir sorun haline getirmektedir. Yapılan bir çalışmada, elektrikli araçların %60'ı şarj olurken yoğun olmayan saatlerdeki güç kaybı neredeyse %40 oranında artabilir (Shareef vd., 2016). Burada büyük güç kayıplarına neden olabilen koordinasyonsuz şarj, bu artışın ana nedenidir. Güç kaybındaki artışı daha da azaltmak için EAŞİ'lerin konumlandırılmasını optimize edilmelidir.

3.2. Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olumlu Etkileri

Bu kısımda şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumlu etkileri incelenmiştir. Şekil 11'de olumlu etkileri belirtilmektedir.



Şekil 11. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine olumlu etkileri

3.2.1. Dağıtım Şebekesinin İyileştirilmesi

V2G (vehicle to grid-araçtan şebekeye) teknolojisini yenilenebilir enerji ile birleştirmenin sayısız avantajından biri, elektrik kesintileri sırasında şebekeye elektrik pompalamak için kullanılabilmesidir. Bu avantajlar arasında gelişmiş frekans kontrolü, azaltılmış güç hattı kaybı, gelişmiş eğirme rezervi, daha iyi yük yönetimi ve azaltılmış tepe yükü bulunmaktadır (Khalid vd., 2019). V2G modunda DŞ'ye aktif güç sağlayan elektrikli araçlar, bara gerilim dengesizliği miktarını da azaltır (Alshahrani

vd., 2019). V2G teknolojisi kullanılarak yük merkezlerinden dağıtık üretim istasyonlarına geçiş mümkündür (Golla ve Sudabattula, 2021). Bu hareket, tipik olarak tüketici olan elektrikli araçların, reaktif güç desteği, yük dengeleme, yardımcı hizmetler, yenilenebilir enerji üretimini izleme ve Talep Tepkisi girişimlerine katılma gibi ekstra işlevleri yerine getirerek profesyonel tüketici gibi davranmasına olanak tanır. Bu yeni pozisyonlar elektrikli araç sahiplerini elektrik şebekesinin istikrarına katkıda bulunmaya ve para kazanmaya teşvik etmektedir.

3.2.2. Çevresel Etkiler

Dünyadaki enerji santrallerinin çoğu elektrik üretmek için fosil yakıt kullansa da elektrikli araç sahipleri bu yeni pozisyonlar aracılığıyla yardımcı olmaya teşvik edilmektedir. EA bataryaları, doğrudan fosil yakıtları yakmak yerine bir elektrik şebekesi tarafından sağlanan enerji kullanılarak şarj edilmektedir. Bu da bir miktar kirliliğin şehirlerden elektriğin üretildiği alanlara aktarıldığını göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle kentsel alanlarda, Yenilenebilir enerji kaynaklarının EAŞİ ile entegrasyonu kirlilik emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Böylece, elektrik üretimi ve ulaşımındaki sera gazı emisyonları ve diğer kirleticiler, yenilenebilir enerji kaynaklarının şarj altyapısına uygun şekilde entegre edilmesiyle azaltılabilir., Elektrikli araçlar için EAŞİ'lerin kurulması, daha düşük partikül madde, karbon monoksit, nitrojen oksit ve CO2 emisyonları da dahil olmak üzere bir dizi olumlu çevresel etkiye sahip olmaktadır (Yuvaraj vd., 2024).

3.2.3. Ekonomik Etkiler

Elektrikli araçlar (EA), hem enerji şirketleri hem de sürücüler için tasarruf fırsatları sunmaktadır. Elektrikli araçların yakıt ve işletme maliyetleri, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşüktür. Ancak, elektrikli araçların satın alınması ve elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) kurulumu, geleneksel benzinli araçlarla karşılaştırıldığında yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bu durum, elektrikli araç alım hızının düşük olmasına neden olmakta ve dolayısıyla mevcut kamuya açık EAŞİ'ler, yalnızca sınırlı bir kâr elde etme potansiyeline sahiptir (Zhang vd., 2018). Bununla birlikte, elektrikli araçların üretiminin yaygınlaşması ve buna bağlı olarak EAŞİ'lerin artan kurulumlarıyla birlikte, her iki maliyetin de önemli ölçüde azalması

beklenmektedir. Elektrikli araç sahipleri, araçlarındaki bataryalarda depolanan enerjiyi elektrik şebekesine satmak suretiyle V2G teknolojisinden de kazanç sağlayabilirler. Ek olarak, ev sahipleri, elektrik şebekesinin talep ve gerilim dengesini optimize etmek amacıyla talep yanıtı programlarına katılarak katkıda bulunabilirler (Sun vd., 2018)

3.3. Literatür Taraması

Nurmuhammed vd. (2023) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım ağı üzerindeki etkilerini yönetmek için bir matematiksel model geliştirilmiş ve IEEE 33-bus test sistemi ile doğrulanmıştır. Çalışmada, şarj istasyonlarının devrede olmadığı ve tüm istasyonların aktif olduğu iki senaryo değerlendirilmiş, 70 elektrikli aracı şarj edebilen istasyonların uygun hatlara bağlanabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma, elektrikli araçların dağıtım ağına entegrasyonunun planlanmasına katkı sağlayarak, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabileceğine işaret etmiştir.

Simarro-García vd. (2023) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım ağına entegrasyonunun farklı penetrasyon seviyelerindeki etkisi incelenmiştir. Burada Yunanistan'daki tipik bir elektrik sistemi simüle edilerek, V2G teknolojisinin etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, V2G teknolojisiyle bağlanan elektrikli araçların gerilim profilini düzleştirerek, akıllı şarj cihazlarıyla şarj saatlerini sınırlayarak ağ verimliliğini artırdığını ve enerji kayıplarını azaltma potansiyeli sunduğunu göstermektedir. Çalışma, gelecekteki sistem entegrasyonuna yönelik kritik bilgiler sunmakta ve güç yönetimi ve şarj zamanlamasının önemini vurgulamaktadır.

Sharma vd. (2021) çalışmasında, dağıtım şebekesi (DŞ) birimlerinin optimal kapasite tahmini ve Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının (EAŞİ) uygun yerleştirilmesinin, güç kayıplarını azaltıp gerilim stabilitesini iyileştirme etkileri incelenmiştir. Üç farklı optimizasyon algoritması kullanılarak problem çözülmüş ve hibrit parçacık sürü optimizasyonu ve gri kurt optimizasyonu (HPSOGWO) algoritması en optimal çözümü sunarak en düşük güç kaybı ve gerilim sapması sağlamıştır. Çalışma, DŞ ve EAŞİ yerleştirilmesi konusunda önemli bilgiler sunmakta ve HPSOGWO algoritmasının etkinliğini vurgulamaktadır.

Altaf vd. (2024) çalışmasında, elektrikli araç (EA) şarj istasyonları (EAŞİ) ve dağıtık enerji kaynaklarının yerleştirilmesinin güç kayıplarını azaltıp gerilim profillerini iyileştireceği vurgulanmıştır. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO)

algoritması ile IEEE-33 hat sisteminde optimal yerleşim yapılmış ve önerilen yaklaşımın güç kayıplarını 1-2,5 kat azalttığı, hesaplama süresini ise daha verimli hale getirdiği gösterilmiştir. Çalışma, dinamik yük ve değişken yenilenebilir enerji çıkışlarının gelecekteki araştırmalara dahil edilmesini önermektedir.

Güneş vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının yüklerinin dağıtım şebekesinin güvenilirlik indislerine etkisi incelenmiştir. Bursa bölgesindeki verilerle yapılan analizde, elektrikli araçların şebekeye etkisi, sayısal model ve otopark verileriyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, elektrikli araç sayısındaki artışla güvenilirlik indislerinde belirgin bir artış olduğunu ve şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerine büyük etkisi olduğunu göstermektedir.

Bilal ve Rizwan (2021) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal konumunu belirlemek için yeni bir hibrit yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, şarj istasyonlarıyla birlikte reaktif güç kompanzasyonu sağlayarak güç kaybı sorunlarını ve ağ güvenilirliğini iyileştirmektedir. Yöntem, gri kurt optimizasyonu (GWO) ve PSO algoritmalarının birleşiminden oluşmaktadır. IEEE-33 hat ve 34 hatlı sistemlerde uygulanan bu teknik, GWO ve PSO'ya kıyasla sırasıyla %30,67 ve %27,6 oranında kayıp azalışı sağlamış, net karı ise önemli ölçüde artırmıştır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın etkinliğini ve üstünlüğünü göstermektedir.

Lam vd. (2014) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonu yerleştirme problemi (EVCSPP) ele alınarak, şehirlerde artan elektrikli araç ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun şarj istasyonu konumları belirlenmiştir. Çalışma, EVCSPP'nin deterministik olmayan polinom zaman zorluğunu kanıtlayarak dört çözüm yöntemi önermekte ve bu yöntemlerin performansları farklı senaryolarda değerlendirilmiştir. Simülasyonlar, şarj istasyonlarının konumlandırılmasının, şehirlerde ulaşım elektrifikasyonunu desteklediğini ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik ettiğini göstermektedir. Ayrıca, insan faktörlerine odaklanarak sürücülerin rahatlığını optimize eden bir model geliştirilmiştir.

Mogos ve Grillo (2021) çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonlarının İtalya'daki dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu etkileri azaltmak için mekanizmalar önermiştir. Araştırma, gerçekçi veriler ve dört vaka çalışmasıyla desteklenmiş ve elektrikli araç yük penetrasyonunun gerilim profili, maksimum gerilim sapması, aktif gücün tepe/ortalama oranı (PAR), tepe yükleri ve trafo yükü

üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, elektrikli araç yük penetrasyonunun artışıyla trafo yükü ve PAR'ın arttığını, ancak gerilimin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını göstermiştir. Ayrıca, önerilen azaltma mekanizması ile trafo yükü ve PAR'da önemli bir düşüş sağlanmış, şebeke stabilitesi artırılmıştır. Bu bulgular, şebeke güvenilirliğini sağlamak için etkili stratejilerin önemini vurgulamaktadır.

Xu vd. (2025) yapmış olduğu çalışmada, elektrikli araçların yüksek penetrasyonlu şarjından kaynaklanan şebeke dalgalanması ve güvenlik sorunlarını optimize etmek amacıyla yeni bir dağıtım ağı kapasite planlama modeli önermiştir. Araştırma, elektrikli araç trafiği ile enerji ağı arasındaki bağlantıyı dikkate alarak geliştirilen birleşik trafik modeli ve şarj planlaması için tasarlanan çift katmanlı kontrol stratejisi ile desteklenmiş, bu sayede güç dengesinin optimizasyonu sağlanmıştır. Simülasyonlar ve deneysel verilerle desteklenen çalışma, şebeke operasyonel senaryoları altında, önerilen modelin 300 kW'ın altında kontrol edilen tepe güç yükleriyle %84,91 oranında kapsamlı enerji verimliliği sağladığını ve benzer algoritmalara kıyasla üstün performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, dağıtım ağı içinde istikrarlı, verimli ve uygun maliyetli bir enerji depolama kapasite sisteminin kurulduğu belirtilmiştir. Değişen penetrasyon oranlarında, tepe yüklerin başarılı bir şekilde düzenlendiği ve enerji depolama sistemlerinin entegrasyon oranları ile maliyet etkinliği hakkında içgörüler sağlandığı vurgulanmıştır. Bulgular, elektrikli araçların gelecekteki yaygınlaşmasına yönelik altyapı planlamasında veri odaklı, akıllı teknolojilerin entegrasyonunun önemini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Rize iline ait OG dağıtım şebekesi modeli oluşturulmuştur. Modelleme kapsamında, ilin karakteristik özelliklerini yansıtan iki farklı güç yoğunluğundaki fiderler seçilmiş ve bu fiderler için düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı yüklenme senaryosu geliştirilmiştir. Her senaryoda, elektrikli araç şarj istasyonlarının entegrasyonu farklı yoğunluklarda gerçekleştirilerek, şebekenin bu yeni yük profillerine verdiği tepkiler analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, şarj alt yapısının bölgesel dağıtım şebekesi üzerindeki teknik etkilerini değerlendirerek, şebekenin verimlilik ve güvenilirliğini tehdit edebilecek olası sorunları ortaya koymaktır.

4. MODELLEME SÜRECİ VE UYGULANMASI

Bu çalışmada, 47 MW güç yoğunluğuna sahip bir şehir olan Rize Trafo Merkezi'ne ait en çok yük bağlı olan iki fidere bağlı güç değerleri farklı olan kabinler seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, bu fiderlere bağlı kabinlere sırasıyla "az yüklenme," "orta yüklenme" ve "çok yüklenme" senaryoları uygulanmıştır. Analiz, Rize trafo merkezinin genel durumu, ilgili fiderlerin performansı, seçilen trafoların özellikleri ve bu trafoları besleyen hatların davranışları temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. Rize Trafo Merkezi

Trafo merkezleri, elektrik enerjisinin gerilim seviyesini düşürmek veya yükseltmek amacıyla kullanılan, içerisinde transformatörler ve çeşitli koruma-kontrol ekipmanlarının bulunduğu tesislerdir. Özellikle yüksek gerilimden orta gerilime dönüşüm sağlayan trafo merkezleri, iletim sistemi ile dağıtım sistemi arasında bir köprü işlevi görür. Elektrik enerjisi genellikle üretim noktasından 154 kV veya 380 kV gibi yüksek gerilim seviyelerinde iletilir, çünkü yüksek gerilimle yapılan iletim enerji kayıplarını minimize eder. Ancak bu yüksek gerilim, doğrudan tüketiciler tarafından kullanılamayacağı için trafo merkezlerinde transformatörler aracılığıyla 34,5 kV, 15 kV veya 10 kV gibi orta gerilim seviyelerine düşürülür. Bu şekilde enerji, daha küçük trafo merkezleri veya doğrudan dağıtım fiderleriyle mahallelere, sanayi bölgelerine ya da işletmelere ulaştırılır. Trafo merkezlerinde ayrıca kesici, ayırıcı, bara, ölçü ve koruma sistemleri gibi ekipmanlar bulunur ve bu ekipmanlar şebekenin güvenli, kararlı ve izlenebilir şekilde çalışmasını sağlar. Bu yönüyle yüksek gerilimden orta gerilime indiren trafo merkezleri, elektrik enerjisinin güvenli, verimli ve kontrollü bir şekilde dağıtılabilmesi için hayati öneme sahip tesislerdir.

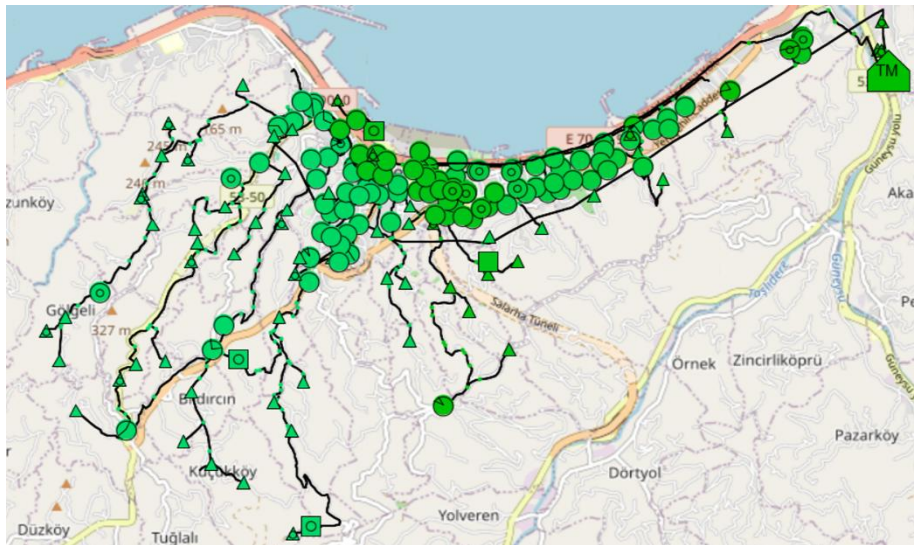
Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine entegre edilmesinden önceki ve sonraki süreçte Rize Trafo Merkezi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Rize trafo merkezinin temel performans parametreleri aşağıdaki tabloda sunulmuş olup, bu veriler üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'te yükleme yapılmadan önceki Rize trafo merkezinin değerleri belirtilmektedir.

Tablo 5. Rize trafo merkezinin yüklenme öncesi değerleri

Trafo Merkezi (TM)	Yüklenme Oranı (%)	Aktif Güç (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Hat Kayıpları (MW)	Trafo Kayıpları (MW)
Rize TM	77,6	47,001	1,118886	0,473182	0,645704

4.2. Fiderler

Fiderler, elektrik dağıtım sisteminde enerjinin trafo merkezlerinden çıkış yaparak sanayi tesisleri, yerleşim alanları ve işletmeler gibi son kullanıcılara ulaştırılmasını sağlayan ana iletim hattıdır. Genellikle orta gerilim seviyesinde çalışan fiderler, yer altı kablosu veya havai hat şeklinde olabilir ve enerji taşımakla birlikte yük dağılımını dengelemek, şebekeyi korumak ve kontrol etmek gibi görevleri de üstlenir. Üzerlerinde bulunan kesiciler, ayırıcılar ve koruma röleleri sayesinde arıza durumlarında belirli bölgeler izole edilerek sistemin geri kalanının çalışması sürdürülebilir. Yük fiderleri tüketicileri beslerken, transformatör fiderleri trafolarla enerji taşır; yedek fiderler ise olası arızalarda devreye girerek sistemin sürekliliğini sağlar. Bu yönüyle dağıtım fiderleri, enerji iletiminin sürekliliğini, güvenliğini ve kontrolünü sağlayan kritik bir altyapı bileşenidir. Bu çalışmada, Rize Trafo Merkezi'ne ait en yüksek yüke sahip iki fider olan Fider 1 ve Fider A temel alınmıştır. Şekil 12'de bu fiderlere ait DIgSILENT modeli gösterilmektedir.



Şekil 12. Fider 1 ve Fider A 'ya ait DIgSILENT modeli

Fider seçiminde, hat kayıpları, bu fider üzerinden beslenen transformatör kayıpları, yüklenme oranları ve fider üzerindeki aktif güç verileri dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Söz konusu fiderlere entegre edilmesi planlanan elektrikli araç şarj istasyonlarının etkileri, entegrasyon öncesi ve sonrası elde edilen verilerin karşılaştırılmasıyla analiz edilmiştir. Şarj istasyonlarının fiderler üzerindeki teknik etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiş olup, entegrasyonun performans üzerindeki olası etkileri incelenmiştir. Denklem 4.1 ile fider iletken kayıpları hesaplanabilir (TEDAŞ, 2001).

$$\Delta P_{kW} = \left(\frac{N^2}{U^2} \right) \times R_o \times L \quad (4.1)$$

ΔP_{kW} , iletim hattındaki aktif güç kaybını kilowatt (kW) cinsinden ifade ederken; N, hat üzerinden geçen gücü temsil eder ve bağlama göre değişmekle birlikte genellikle yük akımıyla ilişkilendirilen bir büyüklüktür (kVA veya amper cinsinden olabilir). U, iletim hattının gerilimini volt (V) cinsinden belirtir. R_o , birim uzunluktaki iletkenin elektriksel direncini ohm/km (Ω/km) olarak tanımlar ve L ise iletim hattının toplam uzunluğunu kilometre (km) cinsinden ifade eder.

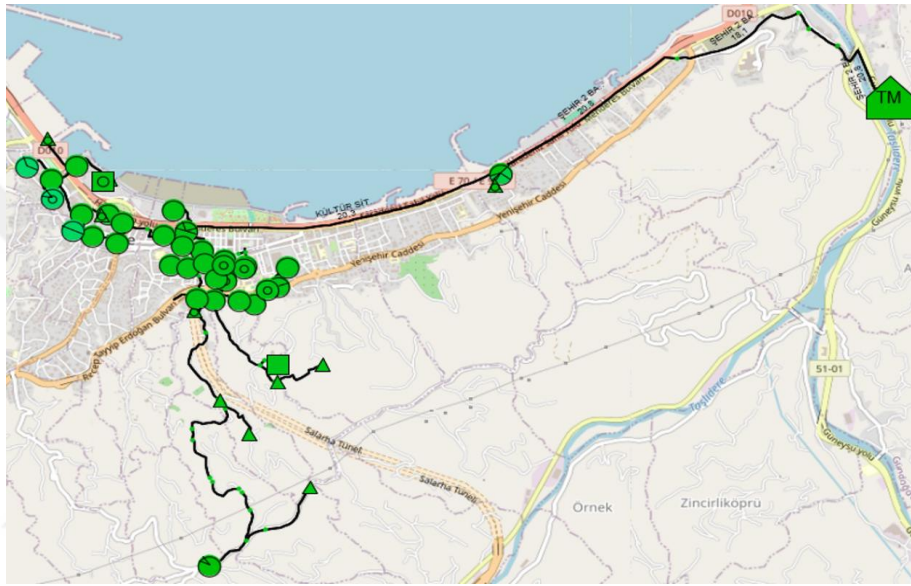
4.2.1. Fider 1 Yüklenme Öncesi Değerleri

Tablo 6 Fider 1'in yüklenme öncesindeki teknik parametrelerini sunmaktadır. Fider 1, 6,382 MW'lık bir yük profiline sahiptir. Fiderin %20,8'lik yüklenme oranı, kapasitenin oldukça altında bir işletme durumuna işaret etmektedir. Sistemde gözlemlenen 0,084286 MW'lık toplam kayıp değeri, aktif gücün %1,32'sine karşılık gelmektedir. Hat kayıplarının 0,023465 MW ile trafo kayıplarına göre düşük olması, iletim verimliliğinin daha yüksek olduğunu gösterirken, trafo kayıplarının 0,06082 MW ile toplam kayıpların %72'sini oluşturması, bu fiderde ağırlıklı olarak transformatör kaybının bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 6. Fider 1 yüklenme öncesi değerleri

Fider	Hat Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Kayıpları (MW)
Fider 1	0,023465	0,084286	6,382	20,8	0,06082

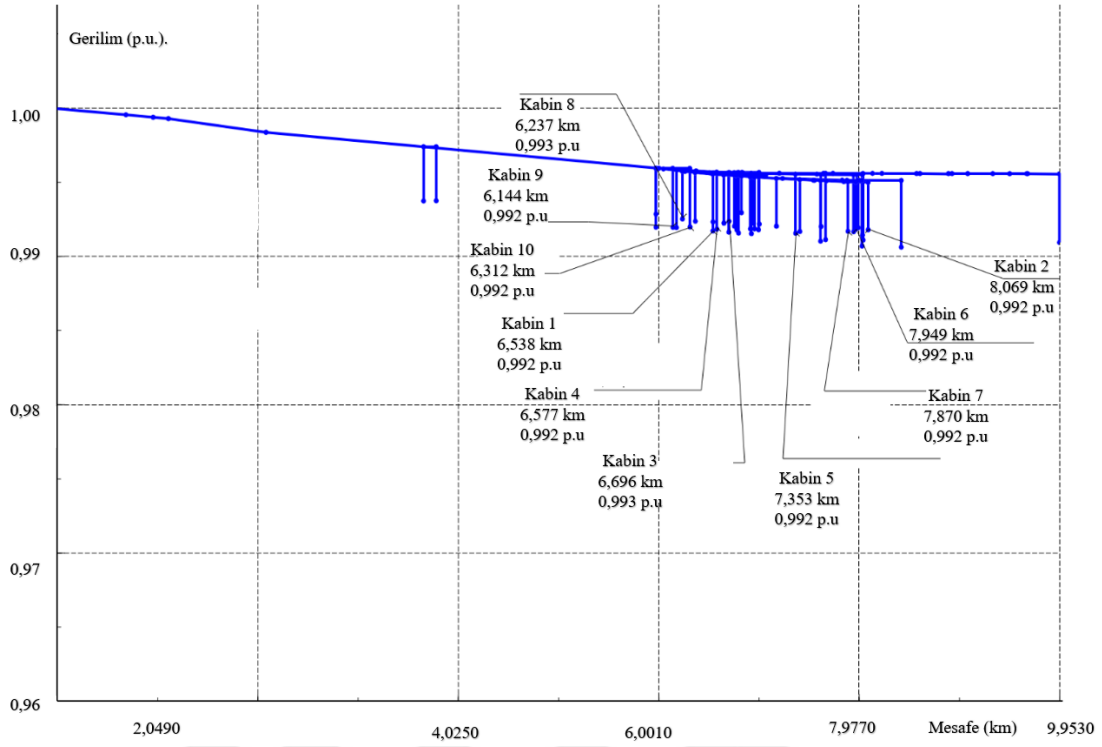
Şekil 13'te Fider 1'e ait oluşturulan DİgSILENT modeli gösterilmektedir. Bu model üzerinde Fider 1'in kapsadığı bölge belirtilmektedir.



Şekil 13. Fider 1 DIgSILENT modeli

4.2.1.1. Fider 1 Gerilim Profili

Şekil 14'te Fider 1 üzerindeki kabinlerinin yüklenme öncesindeki gerilim profili ve hat üzerindeki konumları incelenmiştir. Yatay eksen, kilometre cinsinden mesafeyi temsil ederken, dikey eksen gerilim değerlerini (per unit) göstermektedir. Her kabin için belirli bir gerilim seviyesi ve uzaklık değeri verilmiştir.



Şekil 14. Fider 1 yüklenmeden önceki gerilim profili

Fider 1 hattında yer alan trafoların mesafe ve gerilim değerlerini Tablo 7’de sunulmaktadır. 10 farklı kabin için mesafe (km) ve yüklenme öncesi gerilim (p.u.) değerlerini içeren tabloya göre, en uzak kabin 8,069 km ile kabin 2, en yakın kabin ise 6,144 km ile kabin 9 olarak belirlenmiştir. Diğer kabinlerin mesafeleri 6,144 km ile 8,069 km arasında değişiklik göstermektedir. Gerilim değerleri, yüklenme öncesi her kabin için p.u. cinsinden ifade edilmiş olup 0,992 ile 0,993 arasında seyretmektedir. Bu durum, hat boyunca gerilim düşümünün sınırlı olduğunu göstermekte ve özellikle kabin 3 ve kabin 8'deki 0,993'lük değerler, bu noktalarda daha az gerilim düşümü yaşandığını ortaya koymaktadır.

Tablo 7. Fider 1 trafoların mesafeleri ve gerilim seviyeleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi
KABİN 1	6,538	0,992
KABİN 2	8,069	0,992
KABİN 3	6,696	0,993
KABİN 4	6,577	0,992
KABİN 5	7,353	0,992
KABİN 6	7,949	0,992
KABİN 7	7,87	0,992
KABİN 8	6,237	0,993
KABİN 9	6,144	0,992
KABİN 10	6,312	0,992

Denklem 4.2 aracılığıyla Fider üzerindeki transformatörlerin gerilim düşüm değerleri hesaplanabilir (TEDAŞ, 2001).

$$\Delta u\% = \frac{(N \times L \times 100)}{U^2} \times (R_o \times \cos\phi + X_L \times \sin\phi) \quad (4.2)$$

Bu formül, özellikle alçak ve orta gerilim seviyelerinde yük değişimine bağlı olarak hattaki gerilim düşümünün değerlendirilmesinde kullanılır. $\Delta u\%$, yüzde olarak gerilim düşümünü ifade eder. N, hat üzerinden geçen gücü (kVA), L, hattın uzunluğunu (km), U, hat gerilimini (kV), R_o , hattın birim uzunluk başına direncini (Ω/km), X_L , hattın birim uzunluk başına reaktansını (Ω/km) belirtir. $\cos\phi$, güç katsayısını, $\sin\phi$ ise güç açısının sinüsünü ifade eder.

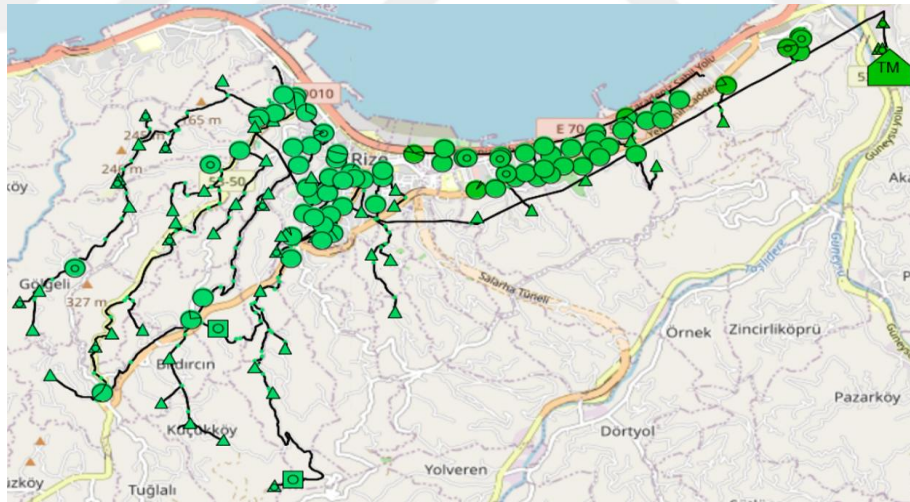
4.2.2. Fider A Yüklenme Öncesi Değerleri

Tablo 8 Fider A'nın yüklenme öncesindeki verilerini sunmaktadır. Fider A, 12,593 MW'lık aktif güç değeri ile Fider 1'e kıyasla daha yüksek bir yük profiline sahiptir.

Tablo 8. Fider A yüklenme öncesi değerleri

Fider	Hat Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Kayıpları (MW)
Fider A	0,193573	0,322119	12,593	52,4	0,128546

Fiderin %52,4'lük yüklenme oranı, kapasitesinin yarısından fazlasının kullanıldığını gösterirken, bu durum enerji iletim hattında Fider 1'e göre daha belirgin bir kayıp yaşandığını ortaya koymaktadır. 0,322119 MW olarak hesaplanan toplam kayıp, aktif gücün %2,56'sına karşılık gelmekte olup, bu oran sistemdeki enerji kayıplarının seviyesini göstermektedir. Hat kayıplarının 0,193573 MW ile toplam kayıpların %60'ını oluşturması, iletim hattındaki enerji kaybının trafo kayıplarına kıyasla daha yüksek olduğunu belirtirken, 0,128546 MW'lık trafo kayıpları ise toplam kayıpların %40'ını oluşturarak iletim sistemi içerisinde kayıpların önemli bir kısmının iletim hatlarından kaynaklı olduğunu göstermektedir. Şekil 15'te Fider A ya ilişkin DİgSILENT modeli sunulmuştur.

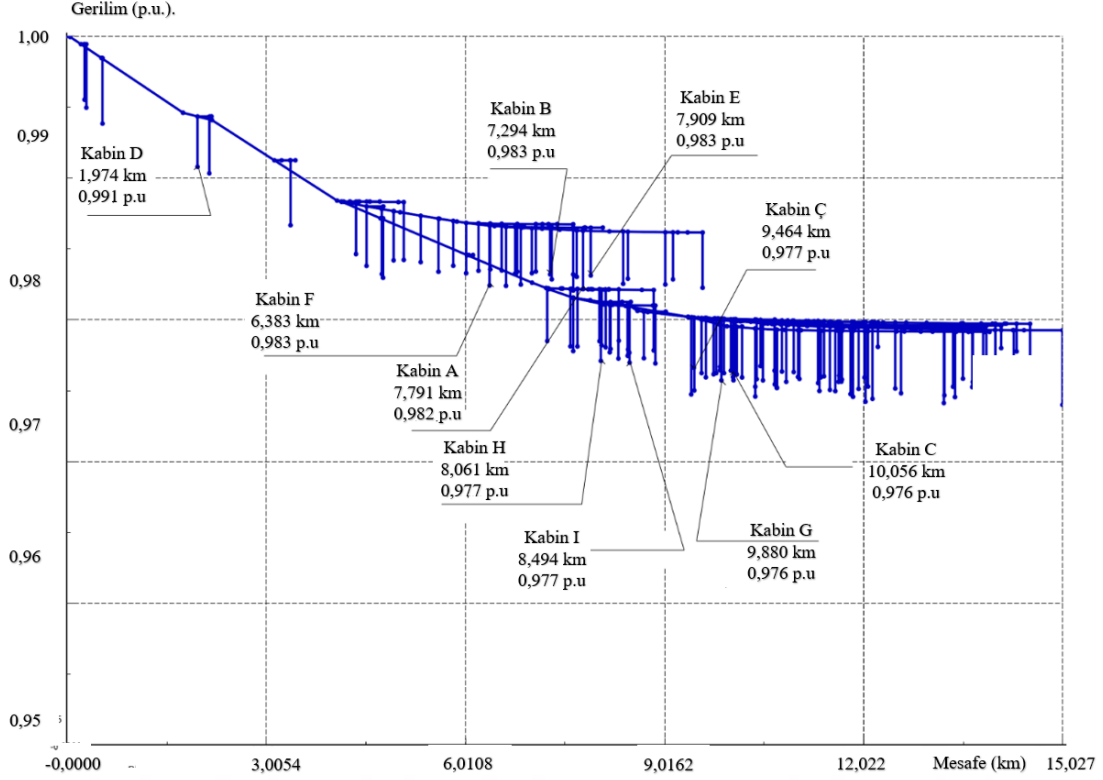


Şekil 15. Fider A DIgSILENT modeli

4.2.2.1. Fider A Gerilim Profili

Şekil 16’da Fider A üzerindeki kabinlerinin yüklenme öncesindeki gerilim profili ve hat üzerindeki konumları incelenmiştir. Yatay eksen, kilometre cinsinden

mesafeyi temsil ederken, dikey eksen gerilim değerlerini (per unit) göstermektedir. Her kabin için belirli bir gerilim seviyesi ve uzaklık değeri verilmiştir.



Şekil 16. Fider A yüklenme öncesi gerilim profili

Fider A hattında bulunan trafoların mesafe (km) ve yüklenme öncesi gerilim (p.u.) değerlerini Tablo 9’da sunulmaktadır. Toplamda 10 farklı kabin için sunulan verilere göre, en uzak kabin 10,056 km ile kabin C, en yakın kabin ise 1,974 km ile kabin D olarak belirlenmiştir. Diğer kabinlerin mesafeleri 1,974 km ile 10,056 km arasında değişiklik göstermektedir.

Tablo 9. Fider A trafoların mesafeleri ve gerilim düşümleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi
KABİN A	7,791	0,982
KABİN B	7,294	0,983
KABİN C	10,056	0,976
KABİN Ç	9,464	0,977
KABİN D	1,974	0,991
KABİN E	7,909	0,983
KABİN F	6,383	0,983
KABİN G	9,88	0,976
KABİN H	8,061	0,977
KABİN I	8,494	0,977

Gerilim değerleri ise yüklenme öncesi her kabin için p.u. cinsinden ifade edilmiş olup, 0,976 ile 0,991 arasında seyretmektedir. Bu durum, hat boyunca gerilim düşümünün olduğunu ve özellikle kabin D'deki 0,991'lik değer bu noktada daha az gerilim kaybı yaşandığını göstermektedir. Buna karşın, kabin C ve kabin G'de 0,976 p.u. ile en düşük gerilim değeri ölçülmüştür ve bu durum, bu kabinlerde gerilim düşümünün diğer kabinlere kıyasla daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3. Dağıtım Transformatörleri

Dağıtım transformatörleri, elektrik enerjisinin yüksek gerilimli iletim hatlarından alınarak konutlar, iş yerleri ve sanayi tesisleri gibi son kullanıcılara uygun düşük gerilim seviyelerinde ulaştırılmasını sağlayan cihazlardır. Bu transformatörler, elektrik enerjisinin güvenli, verimli ve kesintisiz bir şekilde dağıtılmasında kritik bir rol oynar. Genellikle yüksek gerilimleri alçak gerilim seviyelerine düşürerek kullanılabilir hale getirirler. Dağıtım transformatörleri sayesinde enerji kayıpları azaltılır, sistem kararlılığı sağlanır ve şebeke yükü dengelenir. Konutlardan sanayi tesislerine, hastanelerden alışveriş merkezlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan bu transformatörler, modern yaşamın sürdürülebilirliği açısından temel bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

Bu transformatörler, trafo merkezinden çıkan fiderler aracılığıyla beslenmektedir. Bu çalışmada, Rize Merkez ilçesinde yer alan ve Fider 1 ile Fider A üzerinden enerji alan toplam 20 adet dağıtım transformatörü incelenmiştir. Her iki fiderden de beslenen onar transformatör olmak üzere, elektrikli araç şarj istasyonlarının entegrasyonu öncesi ve sonrasında, transformatörlerin yüklenme oranları, kayıpları, trafodan çekilen akım değerleri, gerilim seviyeleri ve aktif güç

değerleri gözlemlenmiştir. Aşağıda sunulan tablolarda, Fider 1 ve Fider A fiderlerinden beslenen transformatörlerin entegrasyon öncesine ait verileri yer almaktadır

4.3.1. Fider 1 Üzerinden Beslenen Transformatörler

Tablo 10'da Fider 1 üzerinden beslenen dağıtım trafolarının yüklenme öncesi performans verileri sunulmuştur.

Tablo 10. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme öncesi verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)	Kayıplar (MW)	Akım (kA)	Aktif Güç (MW)
KABİN 1	20,72	0,002697	0,006077	0,322697
KABİN 2	20,71	0,00308	0,00759	0,40308
KABİN 3	20,75	0,001275	0,002396	0,127275
KABİN 4	20,72	0,002144	0,004748	0,252144
KABİN 5	20,75	0,001938	0,003804	0,201938
KABİN 6	20,76	0,001273	0,002397	0,127273
KABİN 7	20,78	0,000923	0,001524	0,080923
KABİN 8	20,74	0,001275	0,002395	0,127275
KABİN 9	20,75	0,001939	0,003802	0,201939
KABİN 10	20,8	0,000648	0,000953	0,050648

Tabloda yer alan değerlere göre tüm trafoların yüklenme oranları %20,71 ile %20,80 arasında sınırlı bir değişkenlik göstermektedir. Aktif güç açısından değerlendirildiğinde, en yüksek değer kabin 2'de kaydedilmiş olup, bu değer sistemdeki en yüksek yükü temsil etmektedir. Öte yandan, en düşük aktif güç değeri ise kabin 10'a aittir. Buna bağlı olarak kayıp değerleri incelendiğinde, en yüksek kayıp değeri kabin 2'de gözlemlenirken, en düşük kayıp değeri kabin 10'da tespit edilmiştir. Bu veriler, kabin 2'nin sistemdeki en yoğun yükü taşıırken, kabin 10'un en az yük taşıyan trafo olduğunu göstermektedir. Denklem 4.3 ile transformatörlerin kayıp değerleri hesaplanabilmektedir (MEB,2012).

$$P_{top} = P_{fe} + P_{cu} \quad (4.3)$$

Bu denklemde P_{fe} demir kayıplarını (W), P_{cu} ise bakır kayıplarını (W) ifade etmektedir. Demir kayıpları denklem 4.4 ile hesaplanır.

$$Pfe = Po = U^1 \times I_b \times \cos(\varphi_b) \quad (4.4)$$

Bu formül, transformatörlerde demir kayıplarını belirlemek için kullanılır. Boşta çalışırken çekilen akım ve gerilimle birlikte güç katsayısı dikkate alınarak hesaplanır. U^1 , primer anma gerilimini (V); I_b , boşta çalışma akımını (A); $\cos(\varphi_b)$, boşta çalışma güç katsayısını ifade etmektedir. Denklem 4.5 iletkenler üzerinde oluşan ısı kaybını ifade etmektedir.

$$Pcu = I^2 \times R \quad (4.5)$$

Bu denklemde I, sargıdan geçen akımı (A); R, sargı direncini (Ω) ifade etmektedir.

4.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Transformatörler

Fider A üzerinden beslenen trafoların yüklenme öncesi elektriksel parametreleri Tablo 11’de sunulmuştur. Trafoların yüklenme oranları %20,77 ile %21,12 aralığında değişmektedir.

Tablo 11. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme öncesi verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)	Kayıplar (MW)	Akım (kA)	Aktif Güç (MW)
KABİN A	20,92	0,002666	0,006136	0,322666
KABİN B	20,94	0,001258	0,002418	0,127258
KABİN C	21,11	0,000903	0,001548	0,080904
KABİN Ç	21,12	0,000904	0,001549	0,080905
KABİN D	20,77	0,001936	0,003807	0,201936
KABİN E	20,96	0,000912	0,001537	0,080912
KABİN F	20,95	0,001258	0,00242	0,127258
KABİN G	21,06	0,002645	0,006126	0,322645
KABİN H	21,03	0,002106	0,004819	0,252106
KABİN I	21,06	0,0019	0,00386	0,2019

Aktif güç verileri değerlendirildiğinde, en yüksek değer kabin A’ya, en düşük değer ise kabin C’ye aittir. Bu bağlamda kayıp değerleri incelendiğinde, en yüksek kayıp kabin A’da, en düşük kayıp ise kabin C’de ölçülmüştür. Bu bulgular, Fider A’ya bağlı trafolar arasında belirli ölçüde güç ve kayıp farklılıkları bulunduğunu, ancak

genel sistemin yüklenme açısından dengeli olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kabin A ve kabin G, sistemde en yüksek yükü taşıyan trafolar olarak öne çıkarken; kabin C, Ç ve E daha düşük güç ve kayıp değerleriyle düşük yük taşıyan trafolar arasında yer almaktadır.

4.4. Şarj İstasyonu Modeli

Bu çalışma kapsamında Mod 4 grubuna dahil olan ve yaygın kullanımına sahip 200 kW gücündeki elektrikli araç şarj istasyonu seçilmiştir. 200 kW değerindeki elektrikli şarj istasyonları, genellikle yüksek hızlı şarj kapasitesine sahip olan istasyonlardır ve elektrikli araçların bataryalarını hızlı bir şekilde doldurmak için kullanılır. 200 kW gücünde şarj istasyonları, yüksek gerilim ve akım değerleri sayesinde elektrikli araçların bataryalarını hızlı bir şekilde şarj edebilme kapasitesine sahiptir; örneğin, %10'dan %80'e kadar olan bir dolum işlemi yaklaşık 15-20 dakika içinde tamamlanabilmektedir. Bu istasyonlar genellikle 400 V ile 920 V aralığında doğru akım (DA) gerilimi sağlar ve 400 A'ya kadar çıkan akım kapasitesiyle yüksek hızlı şarjı mümkün kılar (Delta Electronics, 2025; Seবাদis, 2024). Ancak bu düzeyde bir güç iletimine olanak tanıyabilmek için, istasyonların kurulumu sırasında orta gerilim bağlantıları, yüksek güçlü trafolar ve gelişmiş elektrik altyapıları gereklidir.

4.4.1. Fiderlere Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri

Bu aşamada daha öncesinde bahsedilen az, orta ve çok yüklenme senaryoları oluşturulmuştur.

4.4.1.1. Fider 1'e Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri

Fider 1 kapsamında gerçekleştirilmesi planlanan elektrikli araç şarj istasyonu entegrasyonuna ilişkin üç farklı senaryo doğrultusunda trafo kabinleri üzerine eklenecek yük değerleri Tablo 12'de sunulmaktadır. Bu senaryolar, Fider 1'e sırayla 5, 15 ve 25 adet olmak üzere farklı sayılarda şarj istasyonu entegrasyonunu içermekte olup; az, orta ve çok yüklenme durumlarını temsil etmektedir. Her senaryo için ilgili trafolarla bağlanan şarj istasyonu adedi ve bu istasyonların oluşturduğu toplam güç talepleri ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 12. Fider 1 şarj istasyonu entegrasyon verileri

AZ ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI				ORTA ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI		ÇOK ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI	
Kabin	Trafo Gücü (MVA)	Adet	Güç Değeri (kW)	Adet	Güç Değeri (kW)	Adet	Güç Değeri (kW)
KABİN 1	1,6	1	200	2	400	4	800
KABİN 2	2	1	200	2	400	4	800
KABİN 3	0,63	0	0	1	200	2	400
KABİN 4	1,25	1	200	2	400	3	600
KABİN 5	1	1	200	2	400	3	600
KABİN 6	0,63	0	0	1	200	2	400
KABİN 7	0,4	0	0	1	200	1	200
KABİN 8	0,63	1	200	2	400	2	400
KABİN 9	1	0	0	1	200	3	600
KABİN 10	0,25	0	0	1	200	1	200
TOPLAM		5	1000	15	3000	25	5000

Az yüklenme senaryosunda (5 adet şarj istasyonu), toplam 5 farklı trafoya yalnızca 1'er adet 200 kW kapasiteli istasyon bağlanmış ve toplam güç talebi 1000 kW olmuştur. Orta yüklenme durumunda (15 adet şarj istasyonu), trafolarla 1 ila 2 adet arasında değişen istasyonlar eklenmiş, toplam 3000 kW'lık bir yük oluşturulmuştur. Çok yüklenme senaryosunda ise her trafoya 1 ila 4 adet arasında şarj istasyonu entegre edilerek toplam güç ihtiyacı 5000 kW'a ulaşmıştır.

4.4.1.2. Fider A'ya Entegre Edilecek Şarj İstasyonu Verileri

Fider A'ya ait trafo kabinlerine entegrasyonu planlanan elektrikli araç şarj istasyonlarının üç farklı senaryo kapsamında değerlendirilmesine ilişkin veriler Tablo 13'te sunulmaktadır. Bu senaryolar, sistemin artan yük seviyelerini temsil eden az (5 adet), orta (15 adet) ve çok (25 adet) sayıda şarj istasyonunun sisteme dâhil edilmesi durumlarını kapsamaktadır. Her senaryoda, ilgili trafo kabinlerine bağlanan şarj istasyonu adedi ve buna karşılık gelen toplam güç değerleri ayrı ayrı belirtilmiştir.

Tablo 13. Fider A şarj istasyonu entegrasyon verileri

AZ ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI				ORTA ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI		ÇOK ŞARJ İSTASYONU YÜKLEMESİ SONRASI	
Kabin	Trafo Gücü (MVA)	Adet	Güç Değeri (kW)	Adet	Güç Değeri (kW)	Adet	Güç Değeri (kW)
KABİN A	1,6	1	200	2	400	4	800
KABİN B	0,63	0	0	1	200	2	400
KABİN C	0,4	0	0	1	200	1	200
KABİN Ç	0,4	0	0	1	200	1	200
KABİN D	1	1	200	2	400	3	600
KABİN E	0,4	0	0	1	200	1	200
KABİN F	0,63	0	0	1	200	2	400
KABİN G	1,6	1	200	2	400	4	800
KABİN H	1,25	1	200	2	400	4	800
KABİN I	1	1	200	2	400	3	600
TOPLAM		5	1000	15	3000	25	5000

Az yüklenme durumunda, 5 farklı kabine 1'er adet 200 kW'lık istasyon bağlanarak toplamda 1000 kW'lık güç talebi oluşturulmuştur. Orta yüklenme senaryosunda, kabinlere 1 veya 2 adet olmak üzere toplamda 15 adet istasyon dağıtılmış ve sistemin toplam yükü 3000 kW seviyesine ulaşmıştır. En yoğun senaryo olan çok yüklenme durumunda ise, her kabine 1 ila 4 adet şarj istasyonu entegre edilerek toplamda 25 adet istasyonla sistemin toplam güç ihtiyacı 5000 kW'a yükselmiştir.

5. BULGULAR

Bu çalışmada, Rize iline ait orta gerilim (OG) dağıtım şebekesi modellenmiş ve sistemin farklı yüklenme düzeylerindeki performansını değerlendirmek amacıyla “az yüklenme,” “orta yüklenme” ve “çok yüklenme” olmak üzere üç senaryo oluşturulmuştur. Söz konusu senaryolar kapsamında ilgili fiderlere; az yüklenme durumunda her birine 5 adet, orta yüklenme durumunda 15 adet ve çok yüklenme senaryosunda ise 25 adet elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilmiştir. Bu senaryolar doğrultusunda, Rize trafo merkezinin genel performansı, seçilen fiderlerin işletme koşulları ve bu fiderler üzerinden beslenen dağıtım transformatörlerinin çalışma durumları ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Senaryo uygulamaları sonucunda elde edilen bulgulara aşağıda yer verilmiştir

5.1. Az Yüklenme Senaryosu Sonrası Değerlendirme

Bu senaryo da trafo merkezi, ilgili fiderler ve fiderlerin üzerinden beslenen transformatörlere az yoğunluklu EAŞİ entegrasyonu sonrasındaki değişimler incelenmiştir.

5.1.1. Rize Trafo Merkezi Verileri

Rize trafo merkezinde gerçekleştirilen az yüklenme analizi sonuçları, sistemin operasyonel parametrelerinde kayda değer değişimler göstermektedir. Yüklenme öncesi %77,6 olan yüklenme oranı, yüklenme sonrasında %81'e yükselerek %3,4'lük bir artış kaydetmiştir. Buna paralel olarak, aktif güç değeri 2 MW'lık bir artış göstermiştir. Bu yüklenme artışının sistem kayıpları üzerindeki etkisi de gözlemlenmiş olup, toplam kayıplar 0,055148 MW'lık bir artış sergilemiştir. Kayıp bileşenleri incelendiğinde, hat kayıplarının 0,03789 MW'lık bir artış gösterdiği, trafo kayıplarının ise 0,017258 MW'lık bir artış kaydettiği tespit edilmiştir. Tablo 14 bu verilerin, artan yüklenme oranının sistem kayıpları üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ve güç sisteminin yük karakteristiğinin değişimine bağlı olarak kayıp profilinin de değiştiğini göstermektedir.

Tablo 14. Rize trafo merkezi az yüklenme sonrası verileri

Parametreler	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası
Yüklenme Oranı (%)	77,6	81
Aktif Güç (MW)	47,001	49,001
Toplam Kayıplar (MW)	1,118	1,174
Hat Kayıpları (MW)	0,473182	0,511072
Trafo Kayıpları (MW)	0,645704	0,662962

5.1.2. Fider 1 Az Yüklenme Sonrası Verileri

Fider 1'e az sayıda elektrikli araç şarj istasyonunun entegre edilmesinden önce ve sonra oluşan elektriksel büyüklükler karşılaştırmalı olarak Tablo 15'te, sunulmaktadır. Şarj istasyonlarının sisteme dâhil edilmesiyle birlikte çeşitli kayıplarda ve yüklenme oranlarında meydana gelen değişimler dikkat çekmektedir.

Tablo 15. Fider 1 az yüklenme sonrası verileri

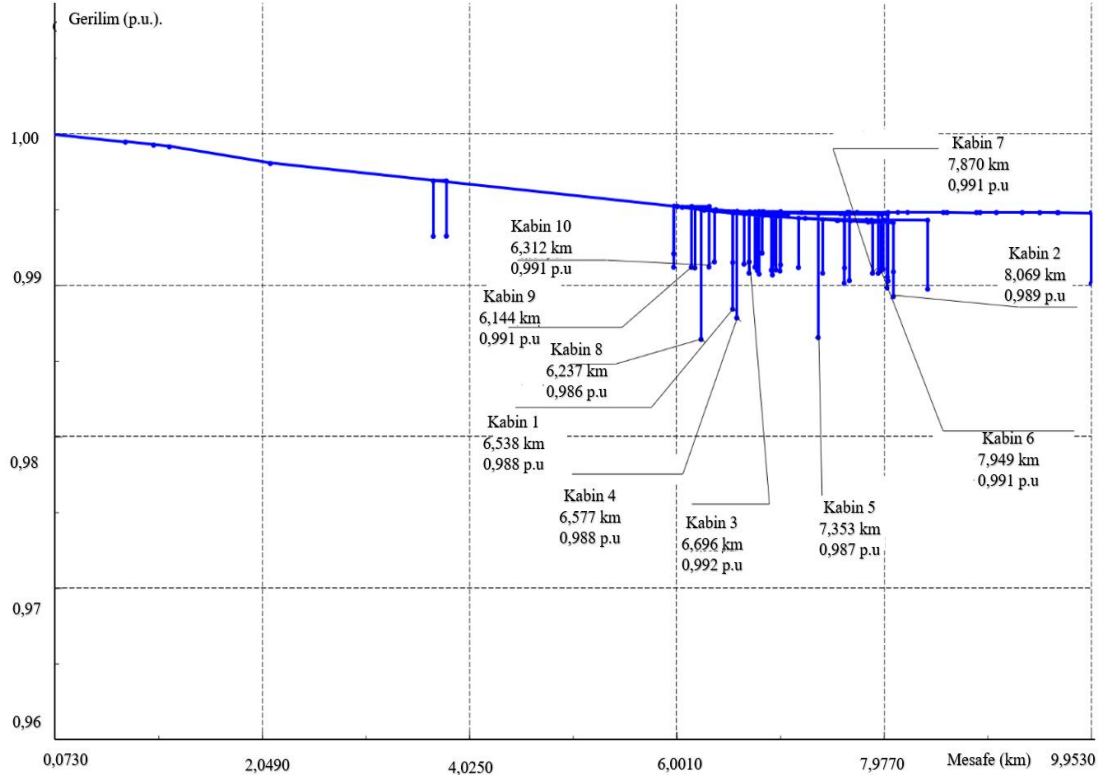
Fider 1	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası
Hat Kayıpları (MW)	0,02465	0,031559
Toplam Kayıplar (MW)	0,084286	0,096932
Aktif Güç (MW)	6,382	7,382
Yüklenme Oranı (%)	20,8	24,2
Trafo Kayıpları (MW)	0,06082	0,065373

Hat kayıpları, entegrasyon öncesinde 0,02465 MW iken, entegrasyon sonrası %28 artışla 0,031559 MW seviyesine ulaşmıştır. Benzer şekilde, toplam sistem kayıpları da yükselmiştir. Aktif güç değerinde ise 1 MW'lık bir artış gözlemlenmiştir. Yüklenme oranı açısından değerlendirildiğinde, Fider 1'in yüklenme seviyesi %20,8'den %24,2'ye yükselmiştir. Trafo kayıpları da artarak entegrasyonun trafolar üzerindeki ek yükünü ortaya koymaktadır.

Genel olarak, az yüklenme senaryosu kapsamında yapılan entegrasyonun sistemde ölçülebilir düzeyde bir güç artışına ve kayıplarda belirli oranlarda artışlara neden olduğu tespit edilmiştir.

5.1.2.1. Fider 1 Az Yükleme Sonrası Gerilim Profili

Şekil 17, Fider 1 üzerindeki kabinlerin az yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 17. Fider 1 az yüklenme sonrası gerilim profili

Fider 1'e bağlı on adet kabinde gerçekleştirilen az yüklenme senaryosu sonrası gerilim (p.u.) değişimleri Tablo 16'da sunulmaktadır. Her kabin için önceki ve sonraki gerilim değerleri karşılaştırılarak sistem üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir. Az yüklenme sonrası tüm kabinlerdeki gerilim değerleri, 0,986 ile 0,992 p.u. aralığında seyretmektedir. Az yüklenme sonrası ise bu değerlerde sınırlı fakat ölçülebilir düzeyde azalmalar gözlemlenmiştir.

Tablo 16. Fider 1 az yüklenme sonrası gerilim değerleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası
KABİN 1	6,538	0,992	0,988
KABİN 2	8,069	0,992	0,989
KABİN 3	6,696	0,993	0,992
KABİN 4	6,577	0,992	0,988
KABİN 5	7,353	0,992	0,987
KABİN 6	7,949	0,992	0,991
KABİN 7	7,87	0,992	0,991
KABİN 8	6,237	0,993	0,986
KABİN 9	6,144	0,992	0,991
KABİN 10	6,312	0,992	0,991

En dikkat çekici gerilim düşüşü kabin 8'de gözlemlenmiştir; bu kabinde yükleme öncesinde 0,993 p.u. olan gerilim değeri, yükleme sonrasında 0,986 p.u.'ya düşerek 0,007 p.u.'luk bir azalma ile en yüksek değişimi göstermiştir. Bu sonucu takiben, kabin 3, kabin 6, kabin 7, kabin 9 ve kabin 10'de gerilim farkı 0,001 p.u. olup kabinlerde görece olarak daha düşük değişimler yaşanmıştır. Öte yandan, az yüklenme senaryosunda kabin 3, kabin 6, kabin 7, kabin 9 ve kabin 10'a doğrudan herhangi bir yük eklenmemesine rağmen gerilim değişimi gözlemlenmiş olması, enterkonnekte sistem yapısının dolaylı etkilerini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, az yüklenme senaryosunun tüm sistem genelinde sınırlı düzeyde bir gerilim düşüşüne neden olduğu, ancak özellikle kabin 8'de bu etkinin daha belirgin şekilde hissedildiği görülmektedir.

5.1.2.2. Fider 1 Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Az Yüklenme Sonrası Değişimleri

Fider 1 üzerinden beslenen on adet trafonun az yüklenme senaryosu öncesi ve sonrası temel performans parametrelerini Tablo 17 içermektedir. Tablo; yüklenme oranı (%), kayıplar (MW), akım (kA) ve aktif güç (MW) gibi kritik göstergeleri karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Tablo 17. Az yüklenme sonrası fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası
KABİN 1	20,72	33,7	0,002697	0,003553	0,006077	0,009882	0,322697	0,523553
KABİN 2	20,71	31,07	0,00308	0,003905	0,00759	0,011391	0,40308	0,603905
KABİN 3	20,75	20,75	0,001275	0,001275	0,002396	0,002398	0,127275	0,127275
KABİN 4	20,72	37,33	0,002144	0,003073	0,004748	0,008553	0,252144	0,453073
KABİN 5	20,75	41,55	0,001938	0,002865	0,003804	0,007615	0,201938	0,402865
KABİN 6	20,76	20,76	0,001273	0,001273	0,002397	0,002399	0,127273	0,127273
KABİN 7	20,78	20,78	0,000923	0,000923	0,001524	0,001525	0,080923	0,080923
KABİN 8	20,74	53,71	0,001275	0,002344	0,002395	0,006202	0,127275	0,328345
KABİN 9	20,75	20,75	0,001939	0,001939	0,003802	0,003805	0,201939	0,201939
KABİN 10	20,8	20,8	0,000648	0,000648	0,000953	0,000954	0,050648	0,050648

İlk olarak, yüklenme oranlarında önemli artışlar gözlemlenmiştir. Örneğin, kabin 8'de yüklenme oranı %20,74'ten %53,71'e yükselmiş ve en yüksek artış gösteren kabin olmuştur. Bunu %41,55'e çıkan kabin 5 takip etmektedir. Buna karşılık, az yüklenme senaryosunda herhangi bir yük eklenmeyen kabin 3, 6, 7, 9 ve 10'da yüklenme oranlarında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

Kayıplar açısından değerlendirildiğinde, en yüksek kayıp kabin 2'de, en düşük kayıp ise kabin 10' da gözlemlenmiştir. Bu durum, yüklenme oranı ile kayıplar arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer bir eğilim akım değerlerinde de mevcuttur. Nitekim kabin 2, yükleme sonrası en yüksek akımı çekerken; kabin 10, en düşük akım değerine sahiptir. Bu noktada, kabin transformatörlerinin farklı güç değerlerine sahip olması etkili olmaktadır. Örneğin, yüklenme oranında en yüksek artışın yaşandığı kabin 8'e kıyasla, kabin 2'nin transformatör gücünün daha yüksek ve daha yüklü olması, bu kabindeki kayıp değerinin daha fazla olmasına neden olmuştur.

Aktif güç değerleri açısından en çarpıcı artış, kabin 2'de yaşanmıştır. Ayrıca kabin 1, 4 ve kabin 5 dikkat çeken artışlar sergilemiştir. Buna karşın, kabin 10, aktif güç açısından hem yükleme öncesi hem de sonrası en düşük değerlere sahip olmuştur. Bunun başlıca nedeni az yüklenme senaryosu kapsamında bu kabine herhangi bir şarj istasyonu entegrasyonu yapılmaması gösterilebilir.

Sonuç olarak, az yüklenme senaryosu sonrası sistem genelinde belirgin şekilde yük artışı yaşanmış; bu artış özellikle kabin 1,2, 4, 5 ve 8 gibi trafolarda kayıpları, akımı ve aktif gücü önemli düzeyde artırmıştır. Bu farklılıklar, şebeke planlamasında dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdir.

5.1.3. Fider A Az Yüklenme Sonrası Verileri

Fider A'ya az sayıda elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilmesi öncesi ve sonrasındaki sistem performansına ilişkin temel elektriksel parametreler karşılaştırmalı olarak Tablo 18'de sunulmaktadır. Entegrasyonun ardından fiderde hem güç tüketimi hem de kayıplar düzeyinde anlamlı değişiklikler meydana gelmiştir.

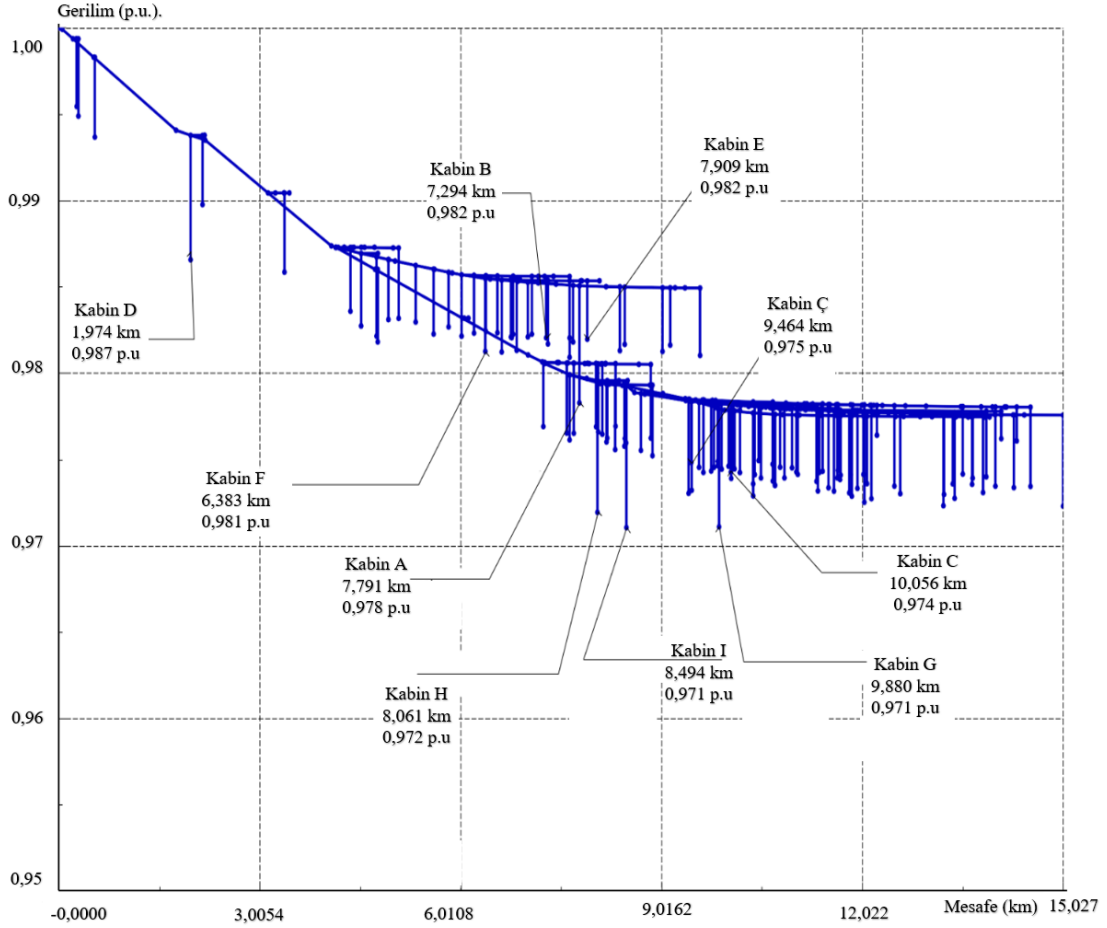
Tablo 18. Fider A az yüklenme sonrası değerleri

Fider A	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası
Hat Kayıpları (MW)	0,19373	0,22337
Toplam Kayıplar (MW)	0,322119	0,35628
Aktif Güç (MW)	12,593	13,593
Yüklenme Oranı (%)	52,4	56,4
Trafo Kayıpları (MW)	0,128546	0,132911

Hat kayıpları, entegrasyon öncesinde 0,19373 MW olarak ölçülmüşken, şarj istasyonlarının devreye alınmasıyla bu değer %15,3 oranında artarak 0,22337 MW seviyesine ulaşmıştır. Toplam kayıplarda da benzer bir artış gözlenmiş olup, 0,35628 MW'a yükselmiştir. Bu artış, sistemin genelinde enerji verimliliği açısından dikkate alınması gereken bir durumu ortaya koymaktadır. Aktif güç, şarj yüklerinin eklenmesiyle birlikte toplamda 1 MW'lık bir artış göstermiştir. Bu durum, fiderin enerji taşıma kapasitesinin daha yüksek seviyede kullanılmaya başlandığını göstermektedir. Yüklenme oranı da benzer şekilde artarak %52,4'ten %56,4'e ulaşmıştır ve bu artış, sistemin giderek işletme sınırlarına yaklaştığını ifade etmektedir. Ayrıca, trafo kayıpları artarak; bu durum, trafo bileşenlerinin üzerindeki yükün arttığını ve kayıpların çoğaldığını göstermektedir.

5.1.3.1. Fider A Az Yükleme Sonrası Gerilim Profili

Şekil 18, Fider A üzerindeki kabinlerin az yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 18. Fider A az yüklenme sonrası gerilim profili

Fider A'ya bağlı toplam 10 kabinde az yüklenme senaryosu öncesi ve sonrası ölçülen gerilim (p.u.) değerleri Tablo 19'da sunulmaktadır. Tablodaki verilere göre, yükleme öncesi gerilim değerleri 0,976 ile 0,991 p.u. arasında değişmekte olan, bir profil sergilediği görülmektedir. Az yüklenme sonrası tüm kabinlerde hafif gerilim düşüşleri meydana gelmiş ve bu düşüşler kabinler arasında farklılık göstermiştir.

Tablo 19. Fider A az yüklenme sonrası gerilim değerleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası
KABİN A	7,791	0,982	0,978
KABİN B	7,294	0,983	0,982
KABİN C	10,056	0,976	0,974
KABİN Ç	9,464	0,977	0,975
KABİN D	1,974	0,991	0,987
KABİN E	7,909	0,983	0,982
KABİN F	6,383	0,983	0,981
KABİN G	9,88	0,976	0,971
KABİN H	8,061	0,977	0,972
KABİN I	8,494	0,977	0,971

En dikkat çekici gerilim düşümü kabin I'da gerçekleşmiştir. Bu kabinde yükleme öncesi gerilim 0,977 p.u. iken, yükleme sonrası 0,971 p.u. olarak ölçülmüş ve 0,006 p.u.'luk düşüş gözlemlenmiştir. kabin C, 10,056 km ile en uzak mesafeye sahip kabindir ve Enterkonnekte sistem yapısı dolayısıyla yükleme yapılmamasına rağmen gerilim düşümü yaşandığı görülmektedir.

Öte yandan, yükleme yapılan trafolar arasından kabin D, yalnızca 0,004 p.u.'luk bir düşüş göstermiş ve az yüklenme senaryosundan daha az etkilenen noktalardan biri olmuştur.

Sonuç olarak, Fider A üzerinde gerçekleştirilen az yüklenme senaryosu sonrası, sistem genelinde düşük seviyeli gerilim kayıpları yaşanmış; en yüksek gerilim düşüşü kabin I'da tespit edilmiştir.

5.1.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Az Yüklenme Sonrası Değişimleri

Az yüklenme senaryosu sonrasında Fider A üzerinden beslenen 10 trafonun performansına ilişkin verileri Tablo 20'de sunulmaktadır. Yüklenme oranı (%), kayıplar (MW), akım (kA) ve aktif güç (MW) parametreleri üzerinden yapılan karşılaştırmalar, az yüklenme senaryosunun sistem üzerindeki etkilerini detaylı biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 20. Az yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerinin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası
KABİN A	20,92	34,04	0,002666	0,003539	0,006136	0,009983	0,322666	0,523539
KABİN B	20,94	20,94	0,001258	0,001258	0,002418	0,002418	0,127258	0,127258
KABİN C	21,11	21,11	0,000903	0,000903	0,001548	0,001548	0,080904	0,080904
KABİN Ç	21,12	21,12	0,000904	0,000904	0,001547	0,001547	0,080904	0,080904
KABİN D	20,77	41,54	0,001936	0,002864	0,003807	0,007614	0,201936	0,402864
KABİN E	20,96	20,96	0,000912	0,000912	0,001537	0,001537	0,080912	0,080912
KABİN F	20,95	20,95	0,001258	0,001258	0,002422	0,002422	0,127258	0,127258
KABİN G	21,06	34,29	0,002645	0,00353	0,006176	0,010057	0,322645	0,52353
KABİN H	21,03	37,94	0,002106	0,003064	0,004819	0,008692	0,252106	0,453064
KABİN I	21,06	42,2	0,0019	0,002855	0,00386	0,007735	0,2019	0,402855

İlk olarak yüklenme oranları incelendiğinde, en büyük artışın kabin I'da yaşandığı görülmektedir. Bu kabinde yüklenme oranı %21,06'dan %42,2'ye yükselmiştir. Bunu kabin D takip etmektedir. Bu artışlar, ilgili trafolardaki enerji ihtiyacının belirgin şekilde yükseldiğine işaret etmektedir.

Kayıplar (MW) açısından bakıldığında, az yüklenme sonrası en yüksek değerler kabin A, D, H, G ve kabin I trafolarında görülmektedir. Bu kayıpların yük artışları ile doğru orantılı olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, kabin I'da yüklenme oranındaki yaklaşık %21'lik artış, kayıplarda da anlamlı bir yükselişe neden olmuştur. Akım (kA) değerleri bakımından da benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. kabin A, yükleme sonrası en yüksek akımı çekerken, kabin I ve kabin G bu eğilimi desteklemektedir. Bu durum, yüksek yüklenme oranlarının iletim hattı üzerinden geçen akımı da artırdığını göstermektedir.

Aktif güç (MW) verilerine göre ise en büyük artış kabin A'da gerçekleşmiş, bu artış kabin D, G, H ve kabin I trafolarında da belirgindir. Bu sonuçlar, sistemin belirli trafolarla yükü daha fazla paylaştığını ve bazı trafoların senaryoya daha aktif şekilde yanıt verdiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Fider A üzerinde yapılan az yüklenme senaryosu çalışması, özellikle kabin A, D, G, H ve I gibi uç noktalarda belirgin bir yük artışı ve buna bağlı olarak kayıp, akım ve aktif güç değerlerinde yükselme meydana getirmiştir.

5.2. Orta Yükleme Senaryosu Sonrası Değerlendirme

Bu senaryo da ise orta yoğunluklu EAŞİ entegrasyonu sonrasında trafo merkezi, ilgili fiderler ve fiderlerin üzerinden beslenen transformatörlerin az yüklenme senaryosuna kıyasla değişimleri incelenmiştir.

5.2.1. Rize Trafo Merkezi Verileri

Rize trafo merkezinin (TM) az yüklenme ve orta yüklenme senaryolarına ait performans verileri karşılaştırmalı olarak Tablo 21’de sunulmaktadır. Yükleme oranı, az yüklenme koşulunda %81 iken, orta yüklenme durumunda %87,9’a yükselmiştir. Bu artış, sistemin talep yönlü bir yoğunluk yaşadığını ve dolayısıyla daha yüksek güç transferi gereksinimi doğduğunu göstermektedir. Gerçekten de aktif güç değerleri incelendiğinde, az yüklenme senaryosunda 49,001 MW olan değer, orta yüklenme sonrasında 53,001 MW’a çıkmıştır. Bu durum, yaklaşık %8,16 oranında bir artışa işaret etmektedir.

Tablo 21. Rize trafo merkezi orta yüklenme sonrası verileri

Parametreler	Az Yükleme Sonrası	Orta Yükleme Sonrası
Yükleme Oranı (%)	81	87,9
Aktif Güç (MW)	49,001	53,001
Toplam Kayıplar (MW)	1,174	1,309439
Hat Kayıpları (MW)	0,511072	0,59962
Trafo Kayıpları (MW)	0,662962	0,70982

Yük artışıyla birlikte toplam kayıplarda da belirgin bir yükseliş gözlemlenmiştir. Toplam kayıplarda %11,54 oranında artış gerçekleşmiştir. Kaybın bileşenlerine bakıldığında, hat kayıpları %17,36’lık bir artış gösterirken trafo kayıpları ise %7,07 oranında artmıştır.

Bu bulgular, yüklenme düzeyindeki artışın enerji kayıplarını doğrudan etkilediğini ve özellikle iletim ve dağıtım sisteminde kayıpların yükseldiğini ortaya koymaktadır. Hat kayıplarındaki artış oranının trafo kayıplarına göre daha yüksek olması, iletim hatlarının artan akım nedeniyle daha fazla direnç kaybına maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum, sistemin verimliliğini etkileyen önemli bir faktör olup ileri düzey entegrasyon planlarında dikkate alınması gereken bir husustur.

5.2.2. Fider 1 Orta Yükleme Sonrası Verileri

Fider 1'in az yükleme ve orta yükleme koşulları altındaki performans verileri karşılaştırmalı olarak Tablo 22'de sunulmaktadır. İlk olarak yükleme oranı dikkate alındığında, az yükleme durumunda %24,2 olan oran, orta yükleme senaryosunda %30,9'a yükselmiştir. Bu durum, sistemin daha yoğun bir enerji talebiyle karşılaştığını ve yük profilinde belirgin bir artış yaşandığını göstermektedir. Bu artışa paralel olarak aktif güçte de önemli bir yükseliş gözlenmiştir; az yükleme durumunda 7,382 MW olan aktif güç değeri, orta yükleme sonrası 9,382 MW'a ulaşmıştır ve bu %27,1 oranında bir artışı temsil etmektedir.

Tablo 22. Fider 1 orta yükleme sonrası verileri

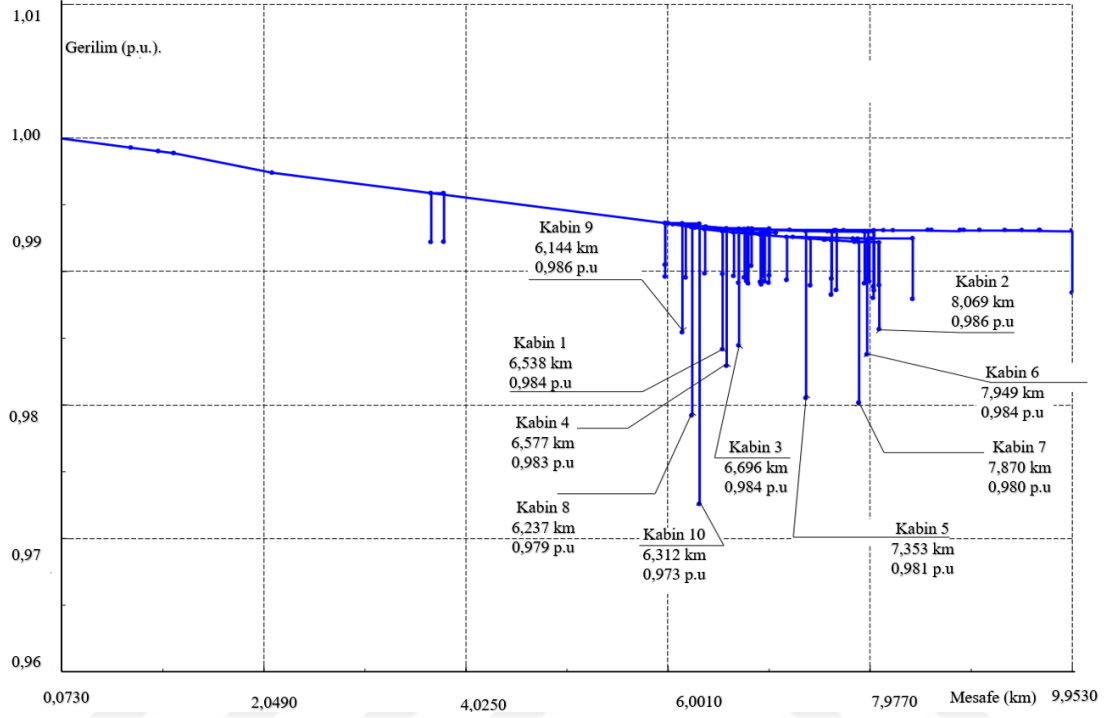
Durum	Fider	Hat Kayıpları (MW)	Trafo Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yükleme Oranı (%)
Az Yükleme Sonrası		0,031559	0,065373	0,096932	7,382	24,2
Orta Yükleme Sonrası	Fider 1	0,051526	0,080141	0,131667	9,382	30,9

Yükleme artışı, sistemdeki toplam kayıplara da yansımıştır. Toplam kayıplar, az yükleme sonrası 0,096932 MW iken, orta yükleme durumunda bu değer 0,131667 MW'a çıkmış ve böylece %35,8 oranında bir kayıp artışı meydana gelmiştir. Bu kaybın bileşenlerine bakıldığında, hat kayıplarının 0,031559 MW'tan 0,051526 MW'a yükseldiği ve bu artışın yaklaşık %63,3 olduğu görülmektedir. Bu ciddi artış, iletim hatlarında artan akımın dirençle daha fazla kayba yol açtığını göstermektedir. Benzer şekilde trafo kayıpları da 0,065373 MW'tan 0,080141 MW'a yükselmiş ve bu da %22,6'lık bir artışı temsil etmektedir.

Bu sonuçlar, yükleme oranındaki artışın yalnızca enerji iletim ve dağıtım kapasitesini değil, aynı zamanda sistemin enerji verimliliğini de etkilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle hat kayıplarındaki yüksek artış oranı, sistemin daha fazla yük altında daha az verimli çalıştığını göstermekte ve bu nedenle sistem planlamasında enerji kayıplarının optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

5.2.2.1. Fider 1 Orta Yüklenme Sonrası Gerilim Profili

Şekil 19, Fider 1 üzerindeki kabinlerin orta yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 19. Fider 1 orta yüklenme sonrası gerilim profili

Fider 1'e ait orta yüklenme senaryosu sonrasında trafolarla bağlı on farklı kabinin gerilim seviyeleri Tablo 23'te verilmiştir. Veriler hem az yüklenme hem de orta yüklenme durumları sonrası ölçülen gerilim değerlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Bu bağlamda, tüm kabinlerde gerilim seviyelerinde hafif düşüşler gözlemlenmiştir. Az yüklenme sonrası en yüksek gerilim değeri 0,992 p.u. ile kabin 3'te kaydedilirken, en düşük değer 0,986 p.u. ile kabin 8'de görülmüştür. Orta yüklenme sonrası ise en yüksek gerilim değeri 0,986 p.u. ile kabin 2 ve kabin 9'da elde edilmiş, en düşük değer ise 0,973 p.u. ile kabin 10'da kaydedilmiştir.

Tablo 23. Fider 1 orta yüklenme sonrası transformatörlerin gerilim seviyeleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası
KABİN 1	6,538	0,988	0,984
KABİN 2	8,069	0,989	0,986
KABİN 3	6,696	0,992	0,984
KABİN 4	6,577	0,988	0,983
KABİN 5	7,353	0,987	0,981
KABİN 6	7,949	0,991	0,984
KABİN 7	7,870	0,991	0,980
KABİN 8	6,237	0,986	0,979
KABİN 9	6,144	0,991	0,986
KABİN 10	6,312	0,991	0,973

Orta yüklenme ile tüm kabinlerde küçük çaplı gerilim düşüşleri yaşanmıştır. En fazla düşüş, kabin 10’da gerçekleşmiştir; kabin 10’daki bu belirgin düşüş, kabinin şebeke sonuna daha yakın konumda olması ve 6,312 km’lik mesafesi ile yük artışına karşı daha hassas bir gerilim tepkisi vermesiyle açıklanabilir.

Genel olarak, orta yüklenme durumu, şebekenin yük taşıma kapasitesi arttıkça gerilim düşüşlerinin daha belirgin hâle geldiğini ortaya koymakta; bu da dağıtım hattı boyunca mesafe ve yük yoğunluğuna bağlı olarak enerji kalitesinin farklı seviyelerde etkilenebileceğini göstermektedir.

5.2.2.2. Fider 1 Üzerinden Beslenen Transformatörlerin Orta Yüklenme Sonrası Değişimleri

Fider 1 üzerinden beslenen dağıtım trafolarına ait orta yüklenme senaryosu sonrası elde edilen veriler Tablo 24’te sunulmaktadır. Tablo, yüklenme oranı, kayıplar, akım ve aktif güç gibi kritik performans göstergeleri açısından “Az Yüklenme Sonrası” ve “Orta Yüklenme Sonrası” olmak üzere iki ayrı senaryoyu karşılaştırmalı biçimde içermektedir.

Tablo 24. Orta yüklenme sonrası fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası
KABİN 1	33,7	46,8	0,003553	0,004836	0,009882	0,013725	0,523553	0,724836
KABİN 2	31,07	41,54	0,003905	0,005071	0,011391	0,015227	0,603905	0,805071
KABİN 3	20,75	53,82	0,001275	0,002345	0,002398	0,006214	0,127275	0,328345
KABİN 4	37,33	54,13	0,003073	0,004557	0,008553	0,012402	0,453073	0,654557
KABİN 5	41,55	62,61	0,002865	0,004441	0,007615	0,011476	0,402865	0,604441
KABİN 6	20,76	53,86	0,001273	0,002345	0,002399	0,006219	0,127273	0,328345
KABİN 7	20,78	73,08	0,000923	0,002558	0,001525	0,005358	0,080923	0,282558
KABİN 8	53,71	87,19	0,002344	0,004407	0,006202	0,010068	0,328345	0,530407
KABİN 9	20,75	41,59	0,001939	0,002864	0,003805	0,007623	0,201939	0,402864
KABİN 10	20,8	105,15	0,000648	0,003234	0,000954	0,004818	0,050648	0,253234

İlk olarak, yüklenme oranları değerlendirildiğinde, orta yüklenme sonrasında en yüksek değer %105,15 ile kabin 10'da görülmüştür. Bu durum, kabin 10'un sistemin nominal kapasitesinin üzerinde yüklendiğini, yani aşırı yüklenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Bu tür bir durum, trafonun sınırlarını zorlayarak sistem güvenliğini riske atabilir. Yüklenme oranındaki bu artışın temel nedeni, şarj istasyonlarının entegrasyonu ile birlikte yük talebinin belirli trafolarla yoğunlaşmasıdır.

Kayıplar açısından incelendiğinde, orta yüklenme sonrası maksimum kayıp kabin 2'de, minimum kayıp ise kabin 3 ve kabin 6'da tespit edilmiştir. Bu farklılık, trafoların yüklendiği güç miktarı ve yükün sürekliliği ile ilişkilidir. Özellikle daha yüksek yük çeken trafolarla iletim hatlarındaki ısı kayıpları da artmaktadır.

Aktif güç değerleri açısından bakıldığında, en yüksek güç kabin 2'de, en düşük değer ise kabin 10'da gözlemlenmiştir. Bu durum, kabin 2'nin daha yüksek sayıda veya daha yoğun çalışan yükleri barındırdığını göstermektedir. kabin 10 her ne kadar en yüksek yüklenme oranına sahip olsa da, trafodan çekilen aktif güç nispeten daha düşük kalmış ve bu da güç talebi veya yük tipi farklılıklardan kaynaklanabilir.

Sonuç olarak, orta yüklenme senaryosunda bazı kabinlerde sistemin sınırlarını zorlayabilecek derecede değişimler meydana gelmiş; bu da entegrasyon sonrası yük dengesizliğinin ve trafolar arası kapasite planlamasının önemini vurgulamaktadır. Gözlemlenen maksimum ve minimum değerler, sistemde dikkatle izlenmesi gereken

noktaları işaret etmektedir. Bu tür analizler, ileriye dönük kapasite artırımı, trafo yenilemesi veya yük dengeleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından öneme sahiptir.

5.2.3. Fider A Orta Yüklenme Sonrası Veriler

Fider A'nın az yüklenme ve orta yüklenme koşullarındaki performans değişimleri ayrıntılı biçimde Tablo 25'te sunulmaktadır. Az yüklenme durumunda %56,4 olan yüklenme oranı, orta yüklenme senaryosunda %65,1'e yükselmiş ve bu, sistemin daha yüksek bir güç talebiyle karşı karşıya kaldığını göstermektedir. Bu artış, aktif güç değerlerine de doğrudan yansımıştır; az yüklenme durumunda 13,593 MW olan aktif güç, orta yüklenmede 15,593 MW'a ulaşmış ve bu yaklaşık %14,7'lik bir artış ifade etmektedir.

Tablo 25. Fider A orta yüklenme sonrası verileri

Durum	Fider	Hat Kayıpları (MW)	Trafo Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)
Az Yüklenme Sonrası	Fider A	0,22337	0,132911	0,35628	13,593	56,4
Orta Yüklenme Sonrası		0,291954	0,147088	0,439039	15,593	65,1

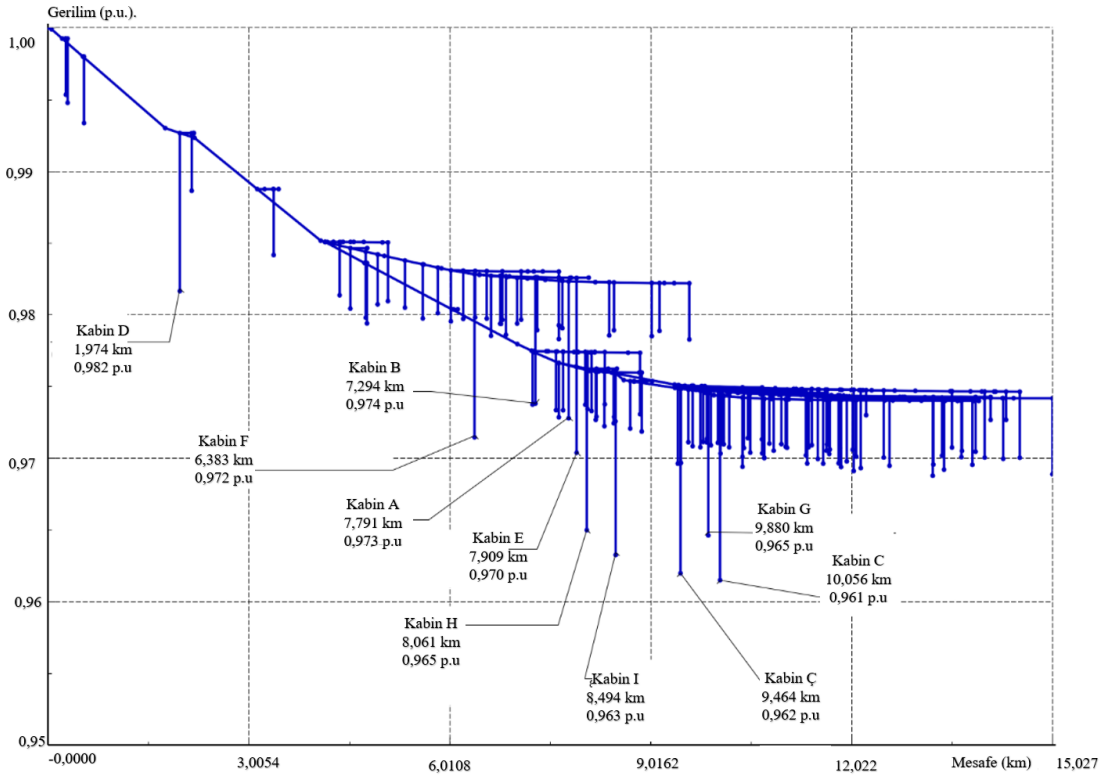
Yükteki bu artış, enerji iletim ve dönüşüm sistemindeki kayıplarda da dikkate değer yükselişlere yol açmıştır. Toplam kayıplar, az yüklenme sonrasında 0,35628 MW iken, orta yüklenme sonrası 0,439039 MW'a çıkarak %23,2 oranında artış göstermiştir. Hat kayıpları bu artışa daha belirgin katkı sağlamış ve %30,7'lik bir artış sergilemiştir. Bu durum, artan akım yoğunluğu nedeniyle iletim hatlarındaki direnç kaynaklı kayıpların arttığını göstermektedir. Öte yandan, trafo kayıpları daha sınırlı bir artış göstererek %10,7 oranında artmıştır.

Bu bulgular, sistemin yük altındaki davranışının enerji verimliliği açısından kritik olduğunu ve özellikle hat bileşenlerinde kayıpların daha fazla etkilendiğini ortaya koymaktadır. Artan aktif güç ihtiyacı ve buna bağlı olarak yükselen yüklenme oranı, kayıpların sistem genelinde eş zamanlı olarak arttığını ve bu nedenle yük planlaması ve sistem kapasitesinin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi gerektiğini

göstermektedir. Bu tür analizler, enerji altyapısının sürdürülebilirliği ve ekonomik verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

5.2.3.1. Orta Yüklenme Sonrası Fider A Gerilim Profili

Şekil 20, Fider A üzerindeki kabinlerin orta yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 20. Fider A orta yüklenme sonrası gerilim profili

Fider A üzerinden beslenen çeşitli transformatör kabinlerinin gerilim seviyeleri, az yüklenme ve orta yüklenme koşulları altında karşılaştırmalı olarak Tablo 26’da sunulmaktadır. Gerilim seviyeleri birim değer (p.u.) cinsinden ifade edilmiş olup, sistem gerilim dengesinin yük artışı karşısındaki tepkisini değerlendirmek açısından önem arz etmektedir. Tablo ayrıca her bir kabinin fider başlangıcına olan uzaklık değerlerini de içermektedir.

Tablo 26. Orta yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası
KABİN A	7,791	0,978	0,973
KABİN B	7,294	0,982	0,974
KABİN C	10,056	0,974	0,961
KABİN Ç	9,464	0,975	0,962
KABİN D	1,974	0,987	0,982
KABİN E	7,909	0,982	0,97
KABİN F	6,383	0,981	0,972
KABİN G	9,88	0,971	0,965
KABİN H	8,061	0,972	0,965
KABİN I	8,494	0,971	0,963

Az yüklenme koşullarında kabinlerdeki gerilim değerleri 0,971 p.u. ile 0,987 p.u. arasında görülmektedir. Ancak orta yüklenme durumunda tüm kabinlerde gerilim düşüşü meydana gelmiş; bu düşüş özellikle hat sonuna daha uzak konumda bulunan kabinlerde daha belirgin olmuştur. Örneğin Kabin C’de gerilim 0,974 p.u.’dan 0,961 p.u.’ya düşerek %1,33 oranında azalmıştır. En yüksek gerilim değeri az yüklenme durumunda Kabin D’de 0,987 p.u. iken, orta yüklenmede bu değer 0,982 p.u. olarak kaydedilmiş ve göreceli olarak sistemin en stabil bölgesi olmuştur.

Gerilim düşüşlerinin mesafe ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmektedir. Örneğin, 10,056 km uzaklıkta bulunan Kabin C’de 0,013 p.u. düşüş yaşanırken, sadece 1,974 km mesafedeki Kabin D’de bu düşüş sadece 0,005 p.u. ile sınırlı kalmıştır. Bu durum, hat uzunluğunun gerilim kayıpları üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca Kabin E, G, H ve I gibi birbirine benzer uzaklıktaki kabinlerde de benzer oranlarda gerilim düşüşü gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, yüklenme seviyesindeki artışın sistem üzerindeki gerilim dengesini bozduğu; bu etkinin özellikle uzak kabinlerde daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, iletim sistemlerinin yük artışlarına karşı yeterli gerilim regülasyon kabiliyetiyle donatılması gerektiğini ve daha etkin kompanzasyon sistemlerinin kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

5.2.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Transformatörlerin Orta Yüklenme Sonrası Değişimleri

Orta yüklenme senaryosu sonrası Fider A üzerinden beslenen dağıtım trafolarının performans verileri Tablo 27’de sunulmakta olup, analiz dört temel gösterge üzerinden gerçekleştirilmiştir: yüklenme oranı, kayıplar, akım ve aktif güç. Tabloda, az yüklenme sonrası ve orta yüklenme sonrası durumlarına ait karşılaştırmalı veriler yer almaktadır.

Tablo 27. Orta yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası
KABİN A	34,04	47,35	0,003539	0,004851	0,009983	0,013884	0,523539	0,724851
KABİN B	20,94	54,4	0,001258	0,00235	0,00242	0,006282	0,127258	0,32835
KABİN C	21,11	74,49	0,000903	0,002599	0,001551	0,005461	0,080904	0,282599
KABİN Ç	21,12	74,45	0,000904	0,002598	0,00155	0,005458	0,080904	0,282598
KABİN D	41,54	62,54	0,002864	0,004435	0,007614	0,011463	0,402864	0,604435
KABİN E	20,96	73,81	0,000912	0,002579	0,001539	0,005411	0,080912	0,282579
KABİN F	20,95	54,53	0,001258	0,002354	0,002422	0,006297	0,127258	0,328354
KABİN G	34,29	47,74	0,00353	0,004863	0,010057	0,014001	0,52353	0,724863
KABİN H	37,94	55,13	0,003064	0,004604	0,008692	0,012631	0,453064	0,654604
KABİN I	42,2	63,73	0,002855	0,004487	0,007735	0,01168	0,402855	0,604487

Yüklenme oranları incelendiğinde, orta yüklenme senaryosu sonrasında en yüksek değer %74,49 ile kabin C transformatöründe, en düşük değer ise %47,35 ile kabin A transformatöründe gözlemlenmiştir. Bu durum, kabin C transformatörünün kapasite sınırına doğru yaklaştığını ve ilerleyen süreçte tam yük koşullarına ulaşma potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir.

Kayıp değerleri açısından incelendiğinde, orta yüklenme sonrası maksimum kayıp kabin G’de, minimum ise kabin E’de gerçekleşmiştir. Kayıplardaki bu farklılıklar, yük yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir ve iletkenlerdeki ısı kayıplarının yük artışıyla birlikte arttığını göstermektedir. Özellikle yüksek yük altında çalışan trafolar, kayıpların da belirgin biçimde arttığı gözlenmiştir.

Akım değerleri incelendiğinde, orta yüklenme sonrası en yüksek akım kabin G, en düşük değer ise ile kabin E'de kaydedilmiştir. Bu bulgular, aktif güç çekişi ile doğru orantılı olup, yüksek akım değerlerinin sistem elemanlarını zorlayabileceği ve güvenlik sınırlarını aşabileceği yönünde uyarı niteliğindedir.

Aktif güç değerlerine bakıldığında ise en yüksek değer kabin G, en düşük değer ise kabin E'de gözlemlenmiştir. kabin G, sistemdeki en yüksek yük çekişine sahip trafo olup, bu durum aynı zamanda akım ve kayıp değerlerinde de zirveye ulaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak, Fider A üzerinden beslenen trafolarda orta yüklenme sonrası, özellikle kabin G ve kabin C gibi trafolarda belirgin yük artışları ve buna bağlı kayıp, akım ve aktif güç yükselmeleri yaşanmıştır. Bu durum, ilerleyen dönemlerde kapasite artırımı, yük dengelemesi ve trafo optimizasyonu gibi stratejilerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu tür analizler, sistem güvenliğinin ve enerji verimliliğinin artırılması açısından kritik önem taşımaktadır.

5.4. Çok Yüklenme Senaryosu Sonrası Değerlendirme

Bu aşamada belirlenen çok yoğunluklu yüklenme senaryosu dağıtım şebekesine entegre edilerek alınan sonuçlar orta yüklenme senaryosu sonuçları ile analiz edilmiştir.

5.4.1. Rize Trafo Merkezi Verileri

Rize trafo merkezi'ne ait orta ve çok yüklenme sonrası sistem performans verileri karşılaştırmalı olarak Tablo 28'de sunulmuştur. Şarj istasyonu entegrasyonu sonrasında aktif güç talebinin 4 MW yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu artış, sistemdeki toplam yükün artmasına bağlı olarak yüklenme oranının %87,9'dan %94,8'e çıkmasına neden olmuştur. Yükteki bu artış, doğal olarak sistem kayıplarını da etkilemiştir.

Tablo 28. Çok yüklenme sonrası Rize trafo merkezi verileri

Parametreler	Orta Yüklenme Sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
Yüklenme Oranı (%)	87,9	94,8
Aktif Güç (MW)	53,001	57,001
Toplam Kayıplar (MW)	1,309439	1,474148
Hat Kayıpları (MW)	0,59962	0,703881
Trafo Kayıpları (MW)	0,70982	0,770267

Orta yüklenme senaryosunda toplam sistem kayıpları 1,309439 MW olarak hesaplanırken, çok yüklenme senaryosunda bu değer %12,6 oranında artarak 1,474148 MW'a ulaşmıştır. Bu yükseliş, özellikle iletim hatları ve transformatör sistemlerinde meydana gelen kayıplardaki artıştan kaynaklanmaktadır. Hat kayıpları %17,4'lük bir artış göstermiştir. Bu durum, hatlardan geçen akım miktarının artmasına bağlı olarak meydana gelen ısı kayıplarının artışını yansıtmaktadır. Öte yandan, trafo kayıpları da %8,5 oranında artmıştır. Bu artış, transformatörlere düşen yükün artmasıyla birlikte, bakır kayıplarının yanı sıra demir kayıplarının da yükselmesiyle ilişkilidir.

Bu veriler, şarj istasyonu entegrasyonunun sistem üzerindeki yükü artırdığını ve buna bağlı olarak hem sistem verimliliğini düşürdüğünü hem de kayıpları yükselttiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, ileride yapılacak entegrasyon planlamalarında bu tür yük artışlarının sistem performansı üzerindeki etkileri dikkate alınmalı, gerekirse altyapı güçlendirme çalışmaları planlanmalıdır.

5.4.2. Fider 1 Çok Yüklenme Sonrası Verileri

Fider 1'e ait orta ve çok yüklenme sonrası performans değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 29'da sunulmuştur. Elektrikli araç şarj istasyonlarının entegrasyonu sonrasında sistem yükünde belirgin bir artış meydana gelmiş; bu durum aktif güç değerinin 9,382 MW'tan 11,382 MW'a yükselmesine neden olmuştur. Aktif güçteki bu artışa paralel olarak yüklenme oranı da %30,9'dan %37,6'ya çıkmıştır. Bu değişim, sisteme entegre edilen şarj istasyonlarının dağıtım fideri üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 29. Çok yüklenme sonrası Fider 1 verileri

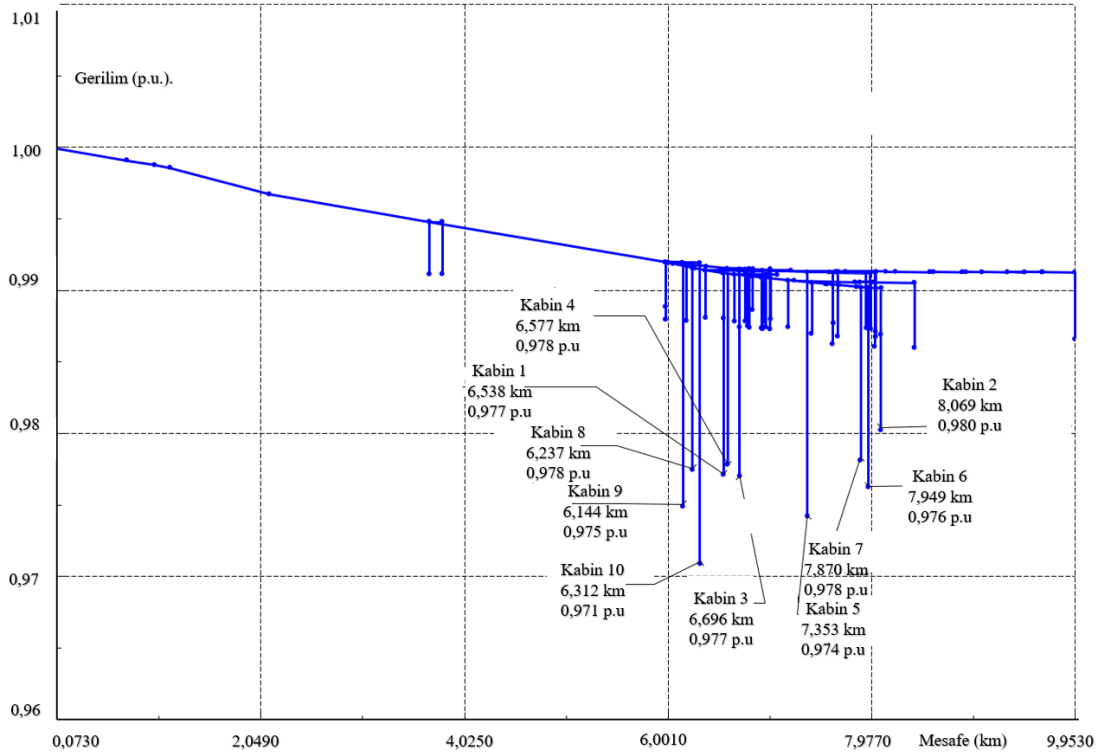
Durum	Fider	Hat Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Kayıpları (MW)
Orta Yüklenme Sonrası		0,051526	0,131667	9,382	30,9	0,080141
Çok Yüklenme Sonra	Fider 1	0,076845	0,176455	11,382	37,6	0,09961

Yük artışı, sistem kayıplarında belirgin bir artışa neden olmuştur. Orta yüklenme senaryosunda toplam kayıplar 0,131667 MW olarak belirlenmişken, çok yüklenme senaryosunda bu değer %34 oranında artarak 0,176455 MW'a ulaşmıştır. Bu artış hem hat hem de trafo kayıplarındaki yükselişten kaynaklanmaktadır. Hat kayıpları %49,2 artış göstermiştir. Bu durum, iletkenlerden geçen akımın artmasına bağlı olarak meydana gelen direnç temelli kayıplarındaki artışı yansıtmaktadır. Trafo kayıpları ise %24,3 oranında artmıştır. Bu artış, trafolardaki yük artışı nedeniyle bakır kayıplarının yanı sıra, demir kayıplarının yükselmesiyle açıklanmaktadır.

Sonuç olarak, şarj istasyonu entegrasyonunun Fider 1 üzerindeki yükü artırdığı ve buna bağlı olarak hem hat hem de trafo seviyesinde kayıpların yükseldiği görülmektedir. Bu durum, sistem verimliliğinin korunabilmesi için ileriye dönük yük yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini ve altyapının uygun şekilde güçlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

5.4.2.1. Fider 1 Çok Yüklenme Sonrası Gerilim Profili

Şekil 21, Fider 1 üzerindeki kabinlerin orta yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 21. Fider 1 çok yüklenme sonrası gerilim profili

Fider 1 üzerinden beslenen on adet dağıtım kabinine ait orta ve çok yüklenme sonrası gerilim seviyeleri ile mesafe bilgileri Tablo 30'da sunulmuştur. Elektrikli araç şarj istasyonlarının entegrasyonu sonrası sistem yükünde meydana gelen artış, kabin gerilim seviyeleri üzerinde de etkili olmuştur. Tabloda görüldüğü üzere, orta yüklenme sonrasında gerilim seviyeleri 0,979 p.u. ile 0,986 p.u. arasında değişmekte iken, çok yüklenme sonrası bu değerler 0,971 p.u. ile 0,980 p.u. aralığına gerilemiştir. Bu düşüş, sistemin daha yüksek akımla beslenmesi sonucu iletim hatlarındaki gerilim düşümünün artmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 30. Çok yüklenme sonrası Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Çok Yüklenme Sonrası
KABİN 1	6,538	0,984	0,977
KABİN 2	8,069	0,986	0,98
KABİN 3	6,696	0,984	0,977
KABİN 4	6,577	0,983	0,978
KABİN 5	7,353	0,981	0,974
KABİN 6	7,949	0,984	0,976
KABİN 7	7,87	0,98	0,978
KABİN 8	6,237	0,979	0,978
KABİN 9	6,144	0,986	0,975
KABİN 10	6,312	0,973	0,971

Özellikle kabin 10 gibi fider sonuna yakın olan ve 6,312 km mesafede yer alan kabinlerde gerilim değeri 0,973 p.u.'dan 0,971 p.u.'ya düşmüştür. Benzer şekilde, en uzak mesafedeki kabin 2 (8,069 km), 0,986 p.u.'dan 0,980 p.u.'ya gerilemiştir. Bu durum, kabin ile trafo merkezi arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte hat direncinden kaynaklı gerilim düşümünün daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Özellikle sistemin daha fazla yük altında çalışmasıyla birlikte iletkenlerdeki gerilim kayıpları artmakta ve bu da son kullanıcıya ulaşan gerilimi olumsuz etkilemektedir.

Bu veriler, şarj istasyonu entegrasyonunun yalnızca güç ve kayıp parametrelerini değil, aynı zamanda gerilim profilini de etkilediğini göstermektedir. Gerilimdeki bu düşüşlerin belirli bir sınırın altına inmesi durumunda kullanıcı ekipmanlarının performansı ve güvenliği riske girebilir. Dolayısıyla, ileriye dönük planlamalarda gerilim regülasyonu sağlamak üzere reaktif güç kompanzasyonu, kablo kesiti artırımı veya gerilim destek sistemlerinin kullanımı gibi önlemler değerlendirilmelidir.

5.4.2.2. Fider 1 Üzerinden Beslenen Transformatörlerin Çok Yüklenme Sonrası Değişimleri

Fider 1 üzerinden beslenen on adet kabine ait orta ve çok yüklenme sonrası transformatör verileri ayrıntılı biçimde Tablo 31’de sunulmuştur. Şarj istasyonu entegrasyonu sonucunda trafolardaki yüklenme oranlarında, kayıplarda, akım değerlerinde ve aktif güç tüketimlerinde belirgin artışlar meydana gelmiştir.

Tablo 31. Çok yüklenme sonrası Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
KABİN 1	46,8	73,25	0,004836	0,008716	0,013725	0,02148	0,724836	1,128716
KABİN 2	41,54	62,59	0,005071	0,008456	0,015227	0,022943	0,805071	1,208456
KABİN 3	53,82	87,38	0,002345	0,004418	0,006214	0,01009	0,328345	0,530418
KABİN 4	54,13	71,11	0,004557	0,006616	0,012402	0,016291	0,654557	0,856616
KABİN 5	62,61	83,97	0,004441	0,006694	0,011476	0,01539	0,604441	0,806694
KABİN 6	53,86	87,45	0,002345	0,004421	0,006219	0,010098	0,328345	0,530421
KABİN 7	73,08	73,23	0,002558	0,002562	0,005358	0,005369	0,282558	0,282562
KABİN 8	87,19	87,34	0,004407	0,004415	0,010068	0,010085	0,530407	0,530416
KABİN 9	41,59	83,91	0,002864	0,006689	0,007623	0,015379	0,402864	0,806689
KABİN 10	105,15	105,33	0,003234	0,003242	0,004818	0,004826	0,253234	0,253242

İlk olarak yüklenme oranlarında gözlemlenen artış, tüm kabinler için belirgindir. Orta yüklenme sonrası %41,54 ile %105,15 arasında değişen oranlar, çok yüklenme sonrası %62,59 ile %105,33 aralığına çıkmaktadır. En yüksek yüklenme artışı kabin 10’da gerçekleşmiş olup, %105’in üzerine çıkan yüklenme oranı, aşırı talep durumunu göstermektedir. Bu durum, şebeke kapasitesinin sınırlarının aşıldığını işaret eder.

Kayıplar (MW) bakımından en yüksek artış, kabin 1’de gerçekleşmiştir. Yüklenme yapılan kabinler arasındaki en düşük kayıp artışı ise kabin 6’da yaşanmıştır. Bu artışlar, akımın karesiyle orantılı olarak gelişen I^2R kayıpları ile açıklanabilir. Özellikle yüksek akım çeken trafolarda daha fazla ısı kaybı oluşmakta ve bu durum toplam sistem verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Akım değerleri incelendiğinde, en

yüksek artış kabin 1’de gerçekleşmiştir. Aktif güç (MW) verileri incelendiğinde ise, en büyük artışın kabin 1’de olduğu görülmektedir. En düşük aktif güç değerine ise kabin 10 sahiptir, bu da sistem yük dağılımının dengesiz olduğunu ve belirli trafolarla daha fazla yük bindiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, şarj istasyonu entegrasyonu ile birlikte sistemdeki yük artışı, trafoların çalışma oranlarını ciddi şekilde etkilemiş ve buna bağlı olarak kayıplar, akım ve aktif güç değerlerinde yükselmeler meydana gelmiştir. Bu durum, sistemde hem termal hem de elektriksel stresin arttığını ve gelecekteki genişleme planlarında trafo kapasite artışı, yük dengelemesi ve kayıpları azaltmaya yönelik önlemlerin alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

5.4.3. Fider A Çok Yüklenme Sonrası Verileri

Fider A’ya ait orta ve çok yüklenme sonrası sistem performans parametreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 32’de sunulmuştur. Şarj istasyonu entegrasyonu sonucunda aktif güç talebi 15,593 MW’tan 17,593 MW’a yükselmiş ve bu artışla birlikte yüklenme oranı da %65,1’den %74,1’e çıkmıştır. Bu durum, sisteme entegre edilen ilave elektrikli araç şarj istasyonlarının Fider A üzerindeki yükü artırdığını açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 32. Çok yüklenme sonrası Fider A verileri

Durum	Fider	Hat Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Kayıpları (MW)
Orta Yüklenme Sonrası	Fider A	0,291954	0,439039	15,593	65,1	0,147088
Çok Yüklenme Sonrası		0,370893	0,539353	17,593	74,1	0,16846

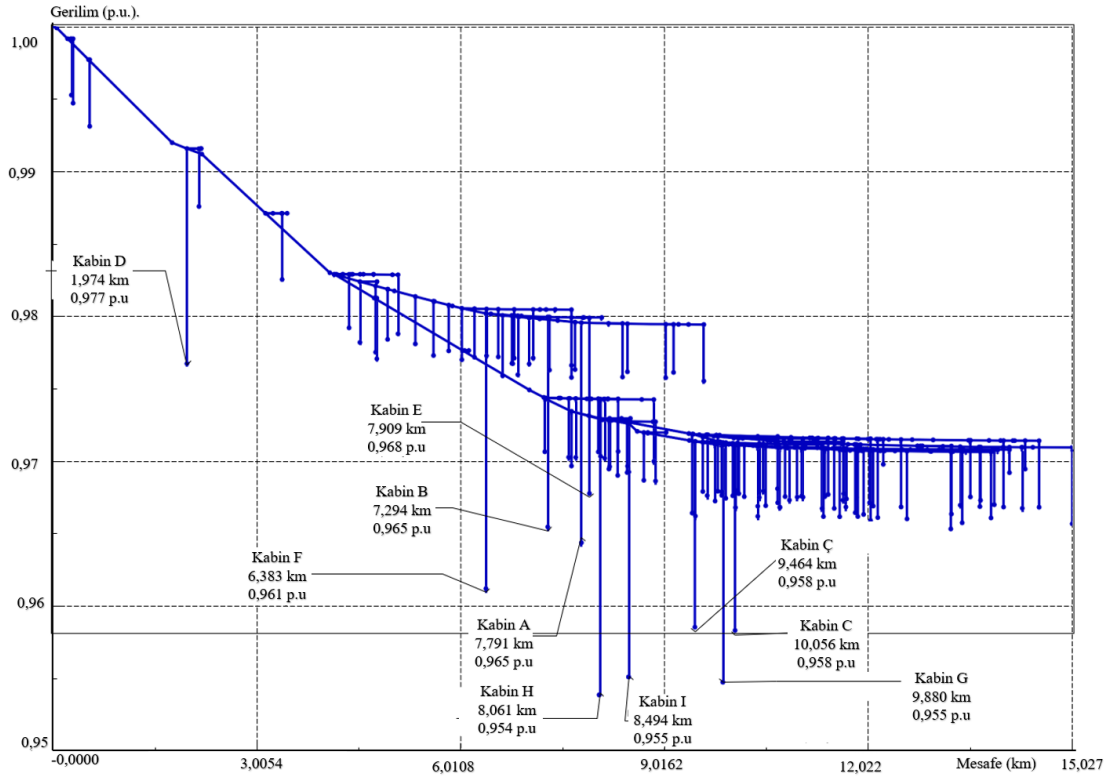
Yük artışıyla birlikte sistem kayıplarında kayda değer bir artış gözlenmiştir. Toplam sistem kayıpları, yaklaşık %22,84 oranında artış göstermiştir. Bu artışın temel nedeni olan hat kayıpları ise yaklaşık %27,03 oranında yükselmiştir. Bu durum, sistemden geçen akımın artmasıyla iletim hatlarında meydana gelen I^2R kayıplarının artmasıyla açıklanabilir.

Trafo kayıplarında da belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Yaklaşık %14,55 oranında artış göstermiştir. Bu yükseliş, trafolardaki yükün artmasına bağlı olarak oluşan daha yüksek manyetik ve dirençsel kayıplardan kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, Fider A üzerindeki elektrikli araç şarj istasyonu entegrasyonu, aktif güç talebini ve yüklenme oranını artırarak hem iletim hem de trafo kaynaklı kayıplarda anlamlı bir yükselmeye neden olmuştur. Bu bulgular, entegrasyon planlamalarında sistem kayıplarının minimize edilmesi ve mevcut altyapının güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5.4.3.1. Fider A Çok Yüklenme Sonrası Gerilim Profili

Şekil 22, Fider A üzerindeki kabinlerin çok yüklenme sonrasındaki gerilim profilindeki değişimleri ve hat üzerindeki konumlarını göstermektedir.



Şekil 22. Fider A çok yüklenme sonrası gerilim profili

Fider A üzerinden beslenen transformatörlere ait gerilim seviyeleri, orta ve çok yüklenme senaryoları sonrası olmak üzere iki ayrı durumda Tablo 33'te sunulmuştur. Her bir kabine ait mesafe bilgileri ile birlikte, yüklenme durumuna göre gözlemlenen

gerilim değerleri karşılaştırılmıştır. Orta yüklenme sonrası gerilim değerleri 0,961 p.u. ile 0,982 p.u. arasında değişirken, çok yüklenme sonrası bu değerlerin 0,954 p.u. ile 0,977 p.u. aralığında seyrettiği görülmektedir. En yüksek gerilim değeri, KABİN D’de gözlemlenmiştir; bu kabinde gerilim 0,982 p.u.’dan 0,977 p.u.’ya düşerek 0,005 p.u.’luk bir azalma yaşanmıştır. Her ne kadar sayısal olarak bu fark küçük görünse de, sistemin nominal gerilimine yakın çalıştığı dikkate alındığında bu değişim, yüklenmenin etkisini göstermek açısından anlamlıdır.

Tablo 33. Çok yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin gerilim seviyeleri

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Çok Yüklenme Sonrası
KABİN A	7,791	0,973	0,965
KABİN B	7,294	0,974	0,965
KABİN C	10,056	0,961	0,958
KABİN Ç	9,464	0,962	0,958
KABİN D	1,974	0,982	0,977
KABİN E	7,909	0,97	0,968
KABİN F	6,383	0,972	0,961
KABİN G	9,88	0,965	0,955
KABİN H	8,061	0,965	0,954
KABİN I	8,494	0,963	0,955

Ancak, oransal olarak en dikkat çekici gerilim düşüşü kabin G’de yaşanmıştır. Bu kabinde gerilim seviyesi orta yüklenme sonrası 0,965 p.u. iken, çok yüklenme sonrası 0,955 p.u.’ya gerileyerek 0,010 p.u.’luk bir azalma göstermiştir. Bu durum, kabin G’nin hem şebeke mesafesi açısından daha uzak bir noktada bulunması (9,880 km) hem de yüklenme altında daha zayıf gerilim regülasyonuna sahip olması ile açıklanabilir. Bu bağlamda, sistemin en uç noktalarında yer alan transformatörlerin, yük artışı karşısında daha duyarlı olduğu ve daha fazla gerilim düşümü yaşadığı görülmektedir. Dolayısıyla, planlama ve iyileştirme çalışmalarında özellikle bu tür noktaların dikkate alınması gerekmektedir.

5.4.3.2. Fider A Üzerinden Beslenen Transformatörlerin Çok Yüklenme Sonrası Değişimleri

Fider A üzerinden beslenen transformatörlere ait veriler, orta yüklenme sonrası ve çok yüklenme sonrası olmak üzere iki farklı senaryo kapsamında Tablo 34'te değerlendirilmiştir. Yüklenme oranı, kayıplar, akım ve aktif güç parametreleri her bir kabin için ayrı ayrı incelenmiştir.

Tablo 34. Çok yüklenme sonrası Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin verileri

Kabin	Yüklenme Oranı (%)		Kayıplar (MW)		Akım (kA)		Aktif Güç (MW)	
	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
KABİN A	47,35	74,23	0,004851	0,008841	0,013884	0,021769	0,724851	1,128841
KABİN B	54,4	88,45	0,00235	0,004475	0,006282	0,010213	0,32835	0,530475
KABİN C	74,49	74,76	0,002599	0,002608	0,005461	0,005481	0,282599	0,282608
KABİN Ç	74,45	74,74	0,002598	0,002607	0,005458	0,00548	0,282598	0,282607
KABİN D	62,54	83,76	0,004435	0,006674	0,011463	0,015353	0,604435	0,806674
KABİN E	73,81	74,03	0,002579	0,002585	0,005411	0,005427	0,282579	0,282585
KABİN F	54,53	88,84	0,002354	0,004501	0,006297	0,010258	0,328354	0,530501
KABİN G	47,74	74,96	0,004863	0,008936	0,014001	0,021981	0,724863	1,128936
KABİN H	55,13	90,01	0,004604	0,009509	0,012631	0,020621	0,654604	1,059509
KABİN I	63,73	85,64	0,004487	0,006838	0,01168	0,015696	0,604487	0,806838

Yüklenme oranı (%) açısından, en yüksek artış kabin H'de gözlemlenmiştir; orta yüklenmede %55,13 olan oran, çok yüklenme senaryosunda %90,01'e yükselmiştir. Bu artış, entegre edilen elektrikli araç şarj istasyonu sayısının kabine düşen payının artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Kayıplar (MW) açısından, maksimum artış kabin H'de yaşanmıştır. Yaklaşık %106 oranında artış göstermiştir. Bu artış hem yüklenme oranının hem de akım değerlerinin yükselmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Aktif güç (MW) bakımından ise en yüksek artış kabin H'de gerçekleşmiştir; orta yüklenmede 0,654604 MW olan değer, çok yüklenme sonrası 1,059509 MW'a ulaşmıştır. Bu kabin üzerinden önemli miktarda güç çekildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, çok yüklenme senaryosu altında kabin H, yüklenme oranı, kayıplar, akım ve aktif güç açısından en yüksek artışların gözlemlendiği kabin olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, bu kabine entegre edilen şarj istasyonu sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

5.5. Senaryolar Sonrası Genel Değerlendirme

Bu kısımda belirlenen az, orta ve çok yüklenme senaryolarının uygulanmasının ardından yaşanan değişimler göz önüne çıkarılmıştır. Dağıtım şebekesinin yüklenmeden önceki ve tüm yüklenmeler yaşandıktan sonraki değişimleri analiz edilmiştir.

5.5.1. Rize Trafo Merkezi Verileri

Rize trafo merkezinin senaryolar sonucunda oluşan değerleri Tablo 35'te yer verilmiştir. Yer alan verilere göre, Rize trafo merkezinin performansı yüklenmeden önce ve çok yüklenme sonrası durumları üzerinden değerlendirildiğinde, sistemde önemli değişiklikler meydana geldiği gözlemlenmektedir. Yüklenme oranı %77,6'dan %94,8'e yükselmiş, bu da trafo merkezinin daha yüksek bir talep altında çalıştığını göstermektedir. Bu artışa paralel olarak, aktif güç değeri 10 MW'lık bir artış sergilemiştir. Artan güç talebi, sistemdeki kayıpları da doğrudan etkilemiştir. Toplam kayıplar 1,118 MW'tan 1,474148 MW'a yükselmiş, bu da %31,8 oranında bir artışa işaret etmektedir.

Tablo 35. Rize trafo merkezi genel tablosu

Parametreler	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme Sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
Yüklenme Oranı (%)	77,6	81	87,9	94,8
Aktif Güç (MW)	47,001	49,001	53,001	57,001
Toplam Kayıplar (MW)	1,118	1,174	1,309439	1,474148
Hat Kayıpları (MW)	0,473182	0,511072	0,59962	0,703881
Trafo Kayıpları (MW)	0,645704	0,662962	0,70982	0,770267

Ayrıntılı olarak incelendiğinde, hat kayıpları %48,7'lik bir artış göstermiştir. Bu durum, yük artışıyla birlikte iletim hatlarındaki akım değerlerinin yükselmesi sonucu oluşan I^2R kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, trafo kayıpları da %19,3 oranında bir artış göstermiştir. Trafo kayıplarındaki bu artış, hem yükün artmasına bağlı olarak demir ve bakır kayıplarının yükselmesiyle hem de trafonun daha yüksek güçte çalışması nedeniyle verimliliğin düşmesiyle açıklanabilir.

Sonuç olarak, sistem yükündeki önemli artış hem aktif güç seviyesinde hem de sistem kayıplarında belirgin artışlara yol açmış; özellikle iletim hatları üzerindeki kayıplar daha yüksek oranda etkilenmiştir. Bu durum, şebeke tasarımında ve kapasite planlamasında dikkatle değerlendirilmesi gereken önemli bir husustur.

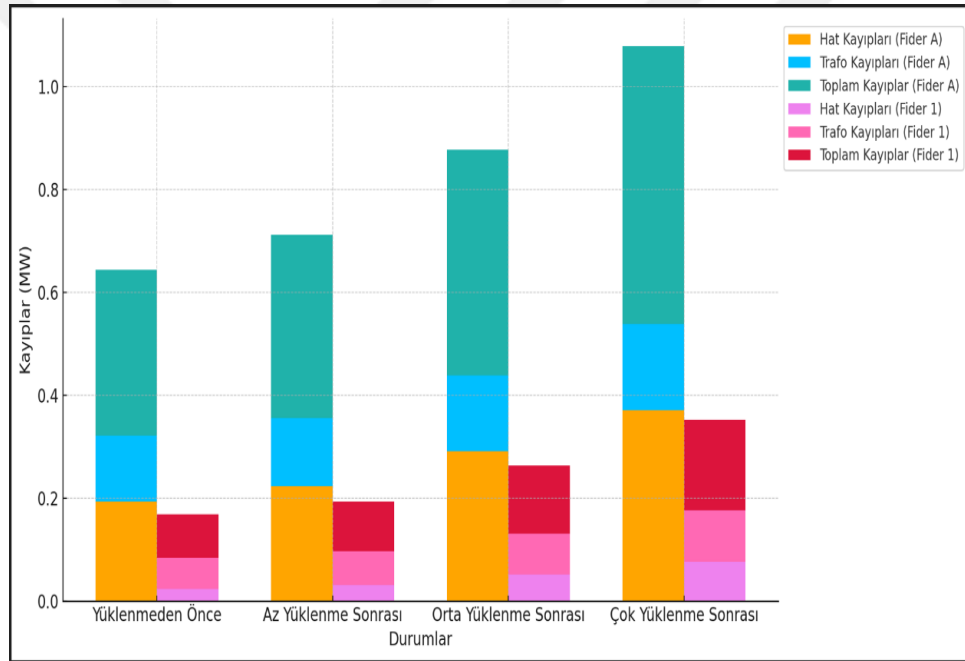
5.5.2. Fiderler

Fider 1 ve Fider A'nın senaryolar sonucundaki değişimler Tablo 36'da sunulmuştur. Sunulan verilere göre, yüklenmeden önceki ve çok yüklenme sonrası durumlar karşılaştırıldığında, Fider A ve Fider 1 arasında belirgin performans farkları ortaya çıkmıştır. Fider A'ya ait hat kayıplarında yaklaşık %91,5, toplam sistem kayıplarında %67,4 ve trafo kayıplarında %31,1 oranında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, aktif güç değerinde de yaklaşık %39,7 oranında bir artış meydana gelmiştir. Yüklenme oranı ise %52,4'ten %74,1'e yükselmiştir. Bu durum, sistemin artan güç talebi karşısında daha yüksek akım taşınması gerektiğini ve bunun sonucunda kayıpların arttığını ortaya koymaktadır.

Tablo 36. Fider A ve Fider 1 genel tablosu

Durum	Fider	Hat Kayıpları (MW)	Trafo Kayıpları (MW)	Toplam Kayıplar (MW)	Aktif Güç (MW)	Yüklenme Oranı (%)
Yüklenmeden Önce	Fider A	0,193573	0,128546	0,322119	12,593	52,4
	Fider 1	0,023465	0,06082	0,084286	6,382	20,8
Az Yüklenme Sonrası	Fider A	0,22337	0,132911	0,35628	13,593	56,4
	Fider 1	0,031559	0,065373	0,096932	7,382	24,2
Orta Yüklenme Sonrası	Fider A	0,291954	0,147088	0,439039	15,593	65,1
	Fider 1	0,051526	0,080141	0,131667	9,382	30,9
Çok Yüklenme Sonra	Fider A	0,370893	0,16846	0,539353	17,593	74,1
	Fider 1	0,076845	0,09961	0,176455	11,382	37,6

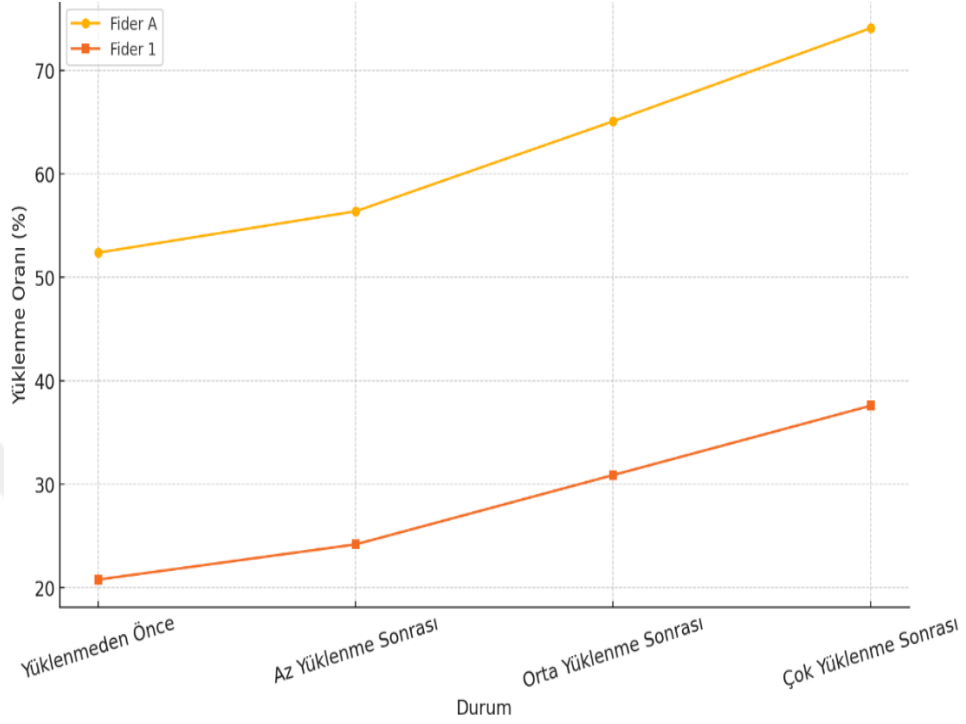
Fider 1 özelinde değerlendirildiğinde, hat kayıplarında yaklaşık %227,5, toplam sistem kayıplarında %109,3 ve trafo kayıplarında %63,8 oranında artış meydana gelmiştir. Ayrıca, aktif güç değerinde yaklaşık %78,3'lük bir yükseliş gözlemlenmiştir. Bu artışlar, sistem üzerindeki yüklenmenin Fider 1'in performans parametreleri üzerinde ciddi etkiler yarattığını göstermektedir. Yüklenme oranı %20,8'den %37,6'ya artmıştır. Fider 1'in yüklenme oranı ve güç artışı, Fider A'ya kıyasla daha düşük seyretse de oransal olarak kayıplarındaki artış dikkat çekicidir. Bu durum, Fider 1'in altyapısının Fider A kadar güçlü olmadığını veya daha kısa mesafeli, daha az yüklü bir hatta hizmet verdiğine işaret etmektedir. Şekil 23'te kayıplara ilişkin veriler sunulmaktadır.



Şekil 23. Fiderlerin kayıpları genel grafiği

Genel olarak, her iki fiderde de yük artışına paralel olarak hat, trafo ve toplam kayıplarda belirgin yükselmeler gözlemlenmiştir. Bu artışlar, elektriksel iletimde karşılaşılan direnç kaynaklı enerji kayıplarının yüklerle doğru orantılı olarak arttığını ve sistem kapasitesine yaklaşan yüklenmelerde verimliliğin azaldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, Fider A'nın başlangıçta ve yüksek yük altında daha büyük güç taşıdığı ve buna bağlı olarak mutlak kayıplarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, sistem tasarımında bu tür kayıpların kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması

gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 24'te fiderlerin şarj istasyonu entegrasyonları sonrasında yüklenme oranlarındaki değışimleri belirtilmiştir.



Şekil 24. Fiderlerin yüklenme oranlarının değışimi

5.5.2.1. Fider 1 Gerilim Profili

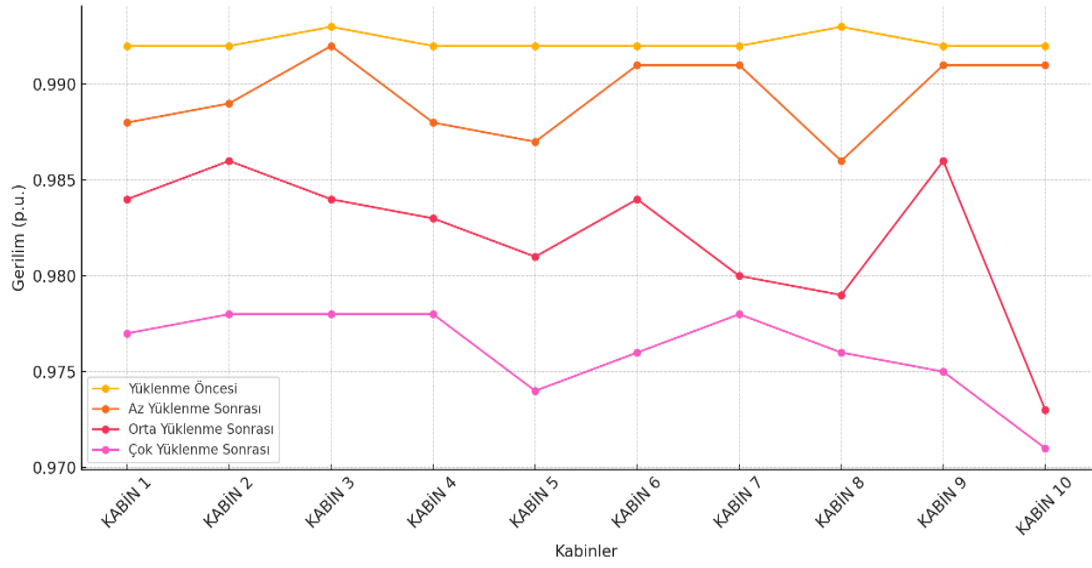
Fider 1'e bağlı on farklı dağıtım kabininde, yüklenmeden önce ve çok yüklenme sonrası gerilim değeri Tablo 37'de gösterilmektedir. Değerlendirme yüklenme öncesi ve çok yüklenme sonrası verileri arasındaki farklara odaklanmaktadır. Gerilim değeri p.u. (per unit) cinsinden ifade edilmiş olup, sistemdeki gerilim düşüşünün genel eğilimi analiz edilmiştir.

Tablo 37. Fider 1 gerilim profili genel tablosu

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Çok Yüklenme Sonrası
KABİN 1	6,538	0,992	0,988	0,984	0,977
KABİN 2	8,069	0,992	0,989	0,986	0,98
KABİN 3	6,696	0,993	0,992	0,984	0,977
KABİN 4	6,577	0,992	0,988	0,983	0,978
KABİN 5	7,353	0,992	0,987	0,981	0,974
KABİN 6	7,949	0,992	0,991	0,984	0,976
KABİN 7	7,87	0,992	0,991	0,98	0,978
KABİN 8	6,237	0,993	0,986	0,979	0,978
KABİN 9	6,144	0,992	0,991	0,986	0,975
KABİN 10	6,312	0,992	0,991	0,973	0,971

Yüklenme öncesinde tüm kabinlerde gerilim değerleri 0,992 ile 0,993 p.u. arasında değişmektedir. Çok yüklenme sonrası ise bu değerler 0,971 p.u. ile 0,980 p.u. aralığına gerilemiştir. Bu veriler ışığında, en yüksek gerilim düşüşü kabin 10'da gözlemlenmiştir. Bu kabinde gerilim değeri 0,992 p.u.'dan 0,971 p.u.'ya düşerek 0,021 p.u.'luk bir azalma göstermiştir. Bu, %2,1'lik bir düşüşe ve 1 p.u. = 31,5 kV kabulüyle yaklaşık 0,6615 kV'luk bir gerilim farkına karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, kabin 5 ve kabin 9 gibi kabinlerde de dikkat çekici düşüşler gözlenmiştir.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ne göre, yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde indirici trafo merkezlerinin sekonderinden itibaren gerilim düşümünün %7'yi aşmaması gerekmektedir. (EKAT Yönetmeliği) Bu sınır 1 p.u.'nun 31,5 kV (Rize OG Seviyesi) üzerinden değerlendirildiğinde 0,07 p.u. (2,205 kV) olarak hesaplanmakta olup, mevcut tabloda hiçbir kabin bu sınırı aşmamıştır. En fazla düşüş gösteren kabin 10'da gerilim kaybı 0,021 p.u. (yaklaşık %2,1, 0,6615 kV) olup, sınırın altında kalmaktadır. Ancak bu kabinlerin daha yüksek yük talebiyle karşılaşması durumunda gerilim regülasyonu açısından dikkatli olunması gerektiği anlaşılmaktadır. Özellikle kabin 5, kabin 9 ve kabin 10 gibi düşüş eğiliminin belirgin olduğu noktalarda gerilim kalitesinin sürekliliğini sağlamak amacıyla izlenmesi önerilmektedir. Şekil 25'te senaryoların uygulanması sonucunda kabinlerdeki gerilim seviyelerinin değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 25. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin genel grafiği

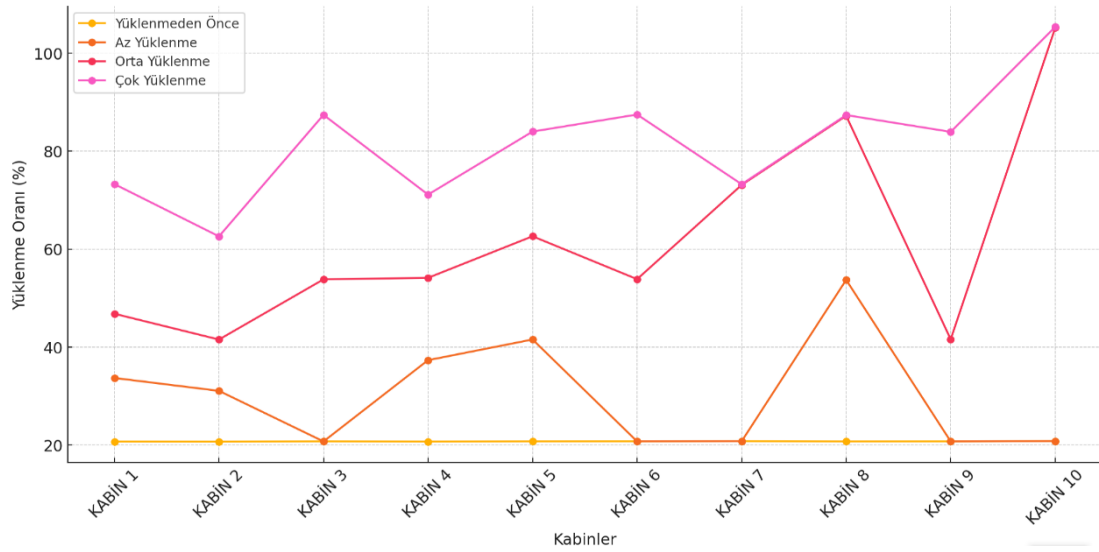
5.5.2.2. Fider 1 Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörlerinin Değişimleri

Fider 1 üzerinden beslenen on farklı dağıtım trafosuna ait yüklenme oranı (%), kayıplar (MW), akım (kA) ve aktif güç (MW) parametrelerinin, yüklenmeden önceki durumla çok yüklenme sonrası arasındaki değişimi Tablo 38’de ortaya koyulmaktadır. Değerlendirme yalnızca bu iki durum arasındaki farklılara odaklanmıştır

Tablo 38. Fider 1 üzerinden beslenen dağıtım transformatörlerinin değişimi

Kabin	Yüklenme Oranı (%)				Kayıplar (MW)				Akım (kA)				Aktif Güç (MW)			
	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
KABİN 1	20,72	33,7	46,8	73,25	0,002697	0,003553	0,004836	0,008716	0,006077	0,009882	0,013725	0,02148	0,322697	0,523553	0,724836	1,128716
KABİN 2	20,71	31,07	41,54	62,59	0,00308	0,003905	0,005071	0,008456	0,00759	0,011391	0,015227	0,022943	0,40308	0,603905	0,805071	1,208456
KABİN 3	20,75	20,75	53,82	87,38	0,001275	0,001275	0,002345	0,004418	0,002396	0,002398	0,006214	0,01009	0,127275	0,127275	0,328345	0,530418
KABİN 4	20,72	37,33	54,13	71,11	0,002144	0,003073	0,004557	0,006616	0,004748	0,008553	0,012402	0,016291	0,252144	0,453073	0,654557	0,856616
KABİN 5	20,75	41,55	62,61	83,97	0,001938	0,002865	0,004441	0,006694	0,003804	0,007615	0,011476	0,01539	0,201938	0,402865	0,604441	0,806694
KABİN 6	20,76	20,76	53,86	87,45	0,001273	0,001273	0,002345	0,004421	0,002397	0,002399	0,006219	0,010098	0,127273	0,127273	0,328345	0,530421
KABİN 7	20,78	20,78	73,08	73,23	0,000923	0,000923	0,002558	0,002562	0,001524	0,001525	0,005358	0,005369	0,080923	0,080923	0,282558	0,282562
KABİN 8	20,74	53,71	87,19	87,34	0,001275	0,002344	0,004407	0,004415	0,002395	0,006202	0,010068	0,010085	0,127275	0,328345	0,530407	0,530416
KABİN 9	20,75	20,75	41,59	83,91	0,001939	0,001939	0,002864	0,006689	0,003802	0,003805	0,007623	0,015379	0,201939	0,201939	0,402864	0,806689
KABİN 10	20,8	20,8	105,15	105,33	0,000648	0,000648	0,003234	0,003242	0,000953	0,000954	0,004818	0,004826	0,050648	0,050648	0,253234	0,253242

Yüklenme oranlarında en fazla artış kabin 10'da gözlemlenmiş olup, yüklenmeden önce %20,8 olan oran, çok yüklenme sonrasında %105,33'e yükselmiş ve böylece %84,53'lük kayda değer bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, kabin 10'un sistemdeki diğer trafolarla kıyasla kapasitesine göre daha yüksek düzeyde bir yük artışına maruz kaldığını ve kritik bir sınır olan %100 yüklenme değerini aştığını göstermektedir. Şekil 26'da senaryolar sonrasında kabinlerin yüklenme durumlarının değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 26. Fider 1 üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme durumları

TEDAŞ (2017) Alçak Gerilim/Orta Gerilim (AG/OG) Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesine göre, dağıtım trafolarının %100 dengesiz yükleme altında sürekli çalışmaya uygun olması gerekmektedir. Bu bağlamda, özellikle %100 sınırını aşan kabin 10, ve bu sınıra yaklaşan kabin 3, kabin 5, kabin 6, kabin 8 ve kabin 9 gibi trafolar dikkatle izlenmelidir. Bu trafolardaki yük artışı, sistemin sınır değerlerine yaklaştığını ve olası aşırı ısınma, kayıp artışı ya da gerilim dengesizliği gibi performans sorunlarına zemin hazırlayabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu trafoların sürekli yüksek yük altında çalışıp çalışamayacağı değerlendirilirken söz konusu teknik şartnameye uygunluk kritik bir değerlendirme kriteri olmalıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çok yüklenme senaryosu altında hem yüklenme oranlarında hem de buna bağlı olarak kayıplarda, akımda ve aktif güçte belirgin artışlar yaşandığı görülmektedir. Bu artışlar, transformatörlerin sınırlarına

yaklaşan veya bu sınırları aşan yüklemelere maruz kaldığını, bunun sonucunda da iletim kayıplarının arttığını ve sistemin enerji taşıma kapasitesinin zorlandığını ortaya koymaktadır. Özellikle kabin 3, 4, 5, 6, 8 ve 10 gibi trafolar, %100'e yaklaşan ya da bu sınırı aşan yüklenme oranları ve buna eşlik eden yüksek akım, kayıp ve aktif güç artışları ile dikkat çekmektedir. Bu durum, söz konusu trafoların TEDAŞ AG/OG Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesinde belirtilen %100 dengesiz yükleme altında sürekli çalışabilme şartını zorlayabilecek düzeyde çalıştığını göstermektedir. Dolayısıyla bu trafolar, sistem güvenliği, verimliliği ve termal dayanım açısından yakından izlenmeli ve gerektiğinde yük dengelemesi veya kapasite artırımı gibi planlamalarla desteklenmelidir.

5.5.2.3. Fider A Gerilim Profili

Fider A'ya bağlı on farklı dağıtım kabininde yüklenme öncesi ve çok yüklenme sonrası gerilim değerlerini (p.u.) karşılaştırmalı olarak Tablo 39'da sunulmakta ve bu iki durum arasındaki değişimleri analiz etmektedir.

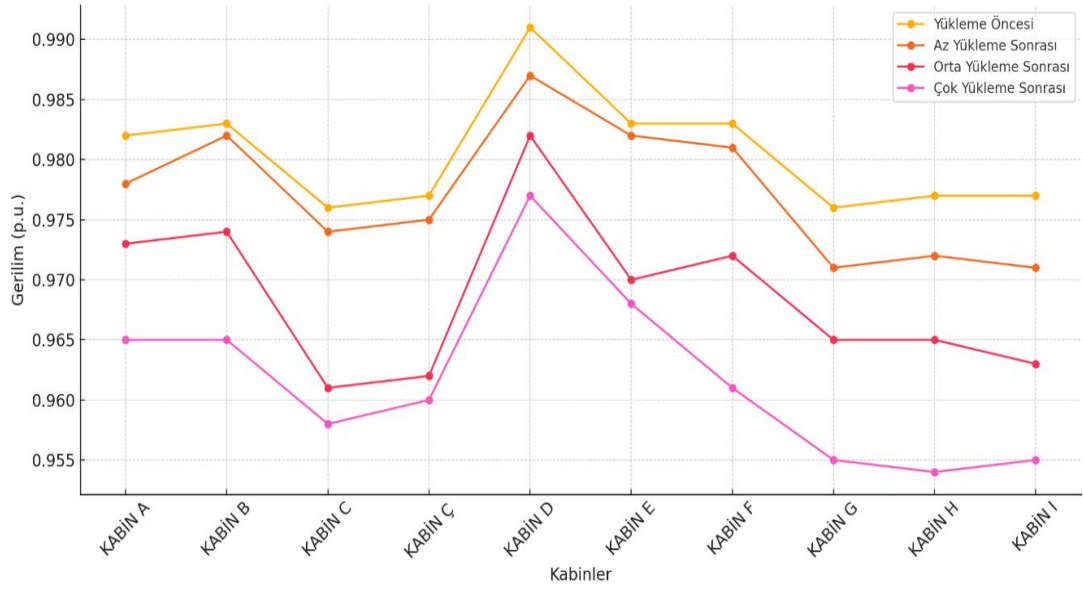
Tablo 39. Fider A gerilim profili genel tablosu

Kabin	Mesafe (km)	Gerilim (p.u.) Yüklenme Öncesi	Gerilim (p.u.) Az Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Orta Yüklenme Sonrası	Gerilim (p.u.) Çok Yüklenme Sonrası
KABİN A	7,791	0,982	0,978	0,973	0,965
KABİN B	7,294	0,983	0,982	0,974	0,965
KABİN C	10,056	0,976	0,974	0,961	0,958
KABİN Ç	9,464	0,977	0,975	0,962	0,958
KABİN D	1,974	0,991	0,987	0,982	0,977
KABİN E	7,909	0,983	0,982	0,97	0,968
KABİN F	6,383	0,983	0,981	0,972	0,961
KABİN G	9,88	0,976	0,971	0,965	0,955
KABİN H	8,061	0,977	0,972	0,965	0,954
KABİN I	8,494	0,977	0,971	0,963	0,955

Veriler incelendiğinde, en yüksek gerilim düşümünün 0,023 p.u. ile kabin H'de gerçekleştiği görülmektedir; bu kabinde gerilim, yüklenmeden önce 0,977 p.u. iken yükleme sonrası 0,954 p.u.'ya düşmüştür. Benzer şekilde, kabin G'de 0,021 p.u. ve kabin I'de 0,022 p.u. oranında dikkat çekici düşüşler kaydedilmiştir. Bu azalmaların

temel nedeni olarak, söz konusu kabinlerin fiderden uzak konumda bulunmaları öne çıkmaktadır. Gerçekten de kabin G (9,88 km), kabin H (8,061 km) ve kabin I (8,494 km) gibi uzak mesafedeki kabinlerde, artan hat direnci ve empedans nedeniyle gerilim düşümünün daha belirgin hale geldiği değerlendirilmektedir. Öte yandan, daha kısa mesafede yer alan kabin F (6,383 km) de 0,022 p.u.'luk bir gerilim kaybına uğramıştır. Bu durum, gerilim düşümünde yalnızca mesafenin değil, aynı zamanda kabinlerin beslediği yük miktarının da belirleyici bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bulgular, fider uzunluğu ve yük dağılımının gerilim profili üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle kabin H'nin en yüksek düşüşü yaşaması, mesafe faktörünün yanı sıra yük artışının neden olduğunu göstermektedir. Bu tür düşüşlerin uzun süreli hâle gelmesi, gerilim kalitesinde bozulmaya ve tüketici cihazlarının performansında olumsuzluklara yol açabilir. Elektrikli Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ne göre, indirici trafo merkezlerinin sekonderinden itibaren yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde gerilim düşümünün %7'yi aşmaması gerekmektedir. 1 p.u.'nun 31,5 kV (Rize OG Seviyesi) olarak kabul edildiği sistemde, bu sınır yaklaşık 2,205 kV'ye denk gelmektedir. Değerlendirmelerde, her kabinin referans gerilim değeri olarak 1,00 p.u. alınmış ve çok yüklenme sonrası ölçülen değerler üzerinden gerilim kayıpları hesaplanmıştır. Buna göre; kabin G'de 0,955 p.u.'luk gerilim seviyesi, 0,045 p.u. düşüşe ($\%4,5 \approx 1,4175$ kV); kabin H'de 0,046 p.u. ($\%4,6 \approx 1,449$ kV); kabin I'da ise 0,045 p.u. ($\%4,5 \approx 1,4175$ kV) gerilim kaybına karşılık gelmektedir. Bu değerler yönetmelik sınırının altında kalmakla birlikte sınıra yaklaşmakta olup, sistemdeki yük artışlarının sürmesi hâlinde kritik eşiklere ulaşılması muhtemeldir. Dolayısıyla, özellikle fiderden uzak mesafede bulunan kabinler için gerilim regülasyon stratejilerinin uygulanması ve izleme sistemlerinin etkinleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Şekil 27'de Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin şarj istasyonları entegrasyonu sonucunda oluşan gerilim profilleri değişimini göstermektedir.



Şekil 27. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin genel grafiği

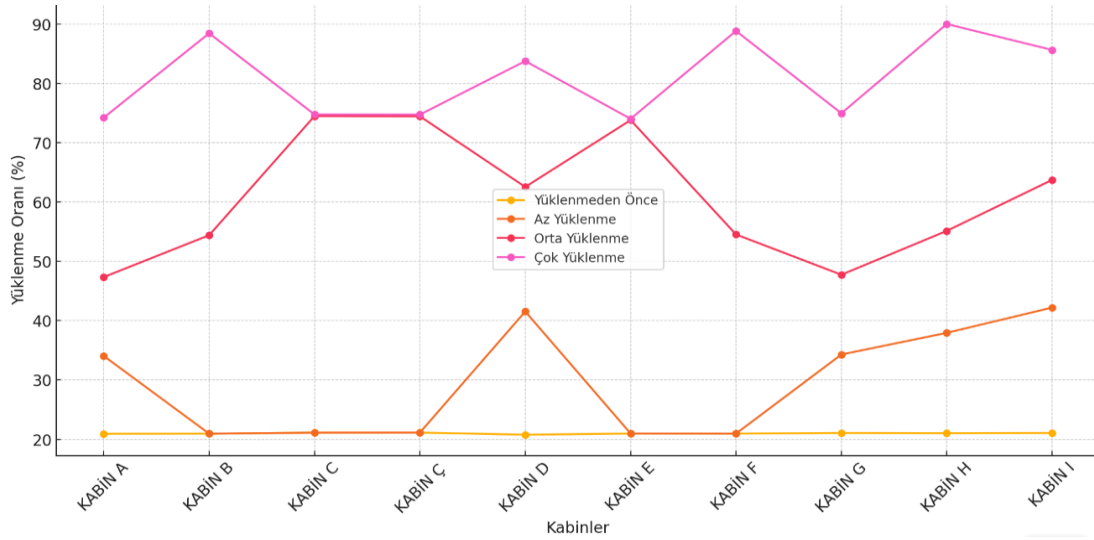
5.5.2.4. Fider A Üzerinden Beslenen Dağıtım Transformatörleri

Fider A üzerinden beslenen on farklı dağıtım trafosunun, yüklenmeden önceki ve çok yüklenme sonrası koşulları dikkate alınarak, yüklenme oranı (%), kayıplar (MW), akım (kA) ve aktif güç (MW) değişkenleri üzerinden karşılaştırmalı olarak Tablo 40’ da gösterilerek analiz edilmesini sağlanılmaktadır. Değerlendirmeler, özellikle bazı trafolarda sistem sınırlarını zorlayan artışları ortaya koymuştur.

Tablo 40. Fider A üzerinden beslenen dağıtım transformatörlerinin değişimi

Kabin	Yüklenme Oranı (%)				Kayıplar (MW)				Akım (kA)				Aktif Güç (MW)			
	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası	Yüklenmeden Önce	Az Yüklenme Sonrası	Orta Yüklenme sonrası	Çok Yüklenme Sonrası
KABIN A	20,92	34,04	47,35	74,23	0,002666	0,003539	0,004851	0,008841	0,006136	0,009983	0,013884	0,021769	0,322666	0,523539	0,724851	1,128841
KABIN B	20,94	20,94	54,4	88,45	0,001258	0,001258	0,00235	0,004475	0,002418	0,00242	0,006282	0,010213	0,127258	0,127258	0,32835	0,530475
KABIN C	21,11	21,11	74,49	74,76	0,000903	0,000903	0,002599	0,002608	0,001548	0,001551	0,005461	0,005481	0,080904	0,080904	0,282599	0,282608
KABIN Ç	21,12	21,12	74,45	74,74	0,000904	0,000904	0,002598	0,002607	0,001547	0,00155	0,005458	0,00548	0,080904	0,080904	0,282598	0,282607
KABIN D	20,77	41,54	62,54	83,76	0,001936	0,002864	0,004435	0,006674	0,003807	0,007614	0,011463	0,015353	0,201936	0,402864	0,604435	0,806674
KABIN E	20,96	20,96	73,81	74,03	0,000912	0,000912	0,002579	0,002585	0,001537	0,001539	0,005411	0,005427	0,080912	0,080912	0,282579	0,282585
KABIN F	20,95	20,95	54,53	88,84	0,001258	0,001258	0,002354	0,004501	0,00242	0,002422	0,006297	0,010258	0,127258	0,127258	0,328354	0,530501
KABIN G	21,06	34,29	47,74	74,96	0,002645	0,00353	0,004863	0,008936	0,006176	0,010057	0,014001	0,021981	0,322645	0,52353	0,724863	1,128936
KABIN H	21,03	37,94	55,13	90,01	0,002106	0,003064	0,004604	0,009509	0,004819	0,008692	0,012631	0,020621	0,252106	0,453064	0,654604	1,059509
KABIN I	21,06	42,2	63,73	85,64	0,0019	0,002855	0,004487	0,006838	0,00386	0,007735	0,01168	0,015696	0,2019	0,402855	0,604487	0,806838

Yüklenme oranı bakımından, en yüksek artış %68,98 ile kabin H’de kaydedilmiş olup, başlangıçta %21,03 olan yüklenme oranı, çok yüklenme sonrası %90,01’e ulaşmıştır. Bu artışı sırasıyla %68,48 ile kabin I, %67,89 ile kabin F, %67,51 ile kabin B ve %66,99 ile kabin D takip etmiştir. %60’ın üzerinde artış gözlemlenen bu trafolar, güvenli işletim sınırlarına oldukça yaklaşmış ve izlenmeleri gereken kritik birimlere dönüşmüştür. Şekil 28’de senaryolar sonucunda kabinler üzerindeki yüklenme durumlarının değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 28. Fider A üzerinden beslenen transformatörlerin yüklenme durumları

Kayıplar açısından en çarpıcı artış kabin H’de gözlenmiş; %351 oranında bir artış sergilemiştir. Kabin F (%258), kabin B (%255), kabin D (%244) ve kabin G (%238) gibi trafolarda da benzer ölçekte kayıp artışları kaydedilmiştir. Bu artışlar, iletkenlerden geçen akımın yükselmesiyle birlikte direnç kaynaklı kayıpların sistemde ciddi boyutlara ulaştığını göstermektedir.

Akım değerleri incelendiğinde, çok yüklenme sonrası en yüksek artış kabin F’de gerçekleşerek %324 oranında artmıştır. Bu değeri sırasıyla kabin B (%322), kabin H (%322), kabin G (%256) ve kabin D (%245) takip etmektedir. Bu artışlar, trafolardan geçen yük akımının sistem sınırlarını aşmaya başladığını ve özellikle bu trafolarda iletim hatlarının dikkatle gözlemlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Aktif güç açısından en yüksek artış kabin H’de gözlemlenmiştir. %320,1’lik bir artış sergilemiştir. Bu dikkat çekici artışı sırasıyla kabin B (%316,8) kabin F

(%316,8) kabin D (%299) ve kabin G (%250,1) takip etmektedir. Her ne kadar kabin G'deki mutlak artış miktarı en yüksek olsa da yüzdesel artış dikkate alındığında kabin H, sistemin en fazla zorlandığı trafo konumundadır. Bu tür yüksek oranlı artışlar, trafo kapasitesinin zorlayıcı bir enerji talebiyle karşı karşıya olunduğunu ve yüklenme sınırlarının yaklaşılmak üzere olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu trafoların hem izlenmesi hem de kapasite artırımı açısından öncelikli değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, özellikle kabin H, I, F, B, D ve G, yüklenme oranı, kayıp, akım ve aktif güç değerlerindeki yüksek artışlarla öne çıkmakta ve sistemin en kritik noktaları olarak değerlendirilmektedir. Bu trafoların, şebeke güvenliği ve sürekliliği açısından düzenli olarak izlenmesi, olası kapasite artışlarının planlanması ve koruma sistemlerinin yeniden değerlendirilmesi gereklidir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çok yüklenme senaryosu altında trafoların yüklenme oranlarında, kayıplarında, akım ve aktif güç değerlerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin enerji taşıma kapasitesinin sınırlarına yaklaştığını ve bazı trafoların TEDAŞ Alçak Gerilim/Orta Gerilim Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesinde belirtilen %100 dengesiz yükleme altında sürekli çalışabilme kriterine yaklaştığını ya da bu sınırı aştığını ortaya koymaktadır. Özellikle kabin B, D, F, H ve I gibi trafoların performans değerleri dikkatle izlenmeli, sistem güvenliğini ve verimliliğini korumak adına gerekli iyileştirme ve planlamalar yapılmalıdır.

6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Rize iline ait 47 MW güç yoğunluğuna sahip orta gerilim dağıtım sistemi temel alınarak, elektrikli araç şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki teknik etkileri detaylı biçimde analiz edilmiştir. PowerFactory DIGSILENT yazılımı kullanılarak yürütülen benzetim çalışmalarında, sistemde yer alan Fider A, Fider 1 ve Rize Trafo Merkezi özelinde az, orta ve çok yoğunluklu şarj yüklemesi senaryoları oluşturulmuş; bu senaryoların sistem kayıplarına olan etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek güçlü şarj istasyonlarının entegrasyonunun hem lokal fiderlerde hem de trafo merkezi seviyesinde belirgin kayıplara neden olduğunu ortaya koymuştur. Fider A'da yüklenme oranı yüklenme öncesi %52,4 iken, senaryolara bağlı olarak %56,4'e, %65,1'e ve %74,1'e çıkmış; toplam kayıplar %67,4 artarak 0,322 MW'tan 0,539 MW'a yükselmiş, hat kayıpları %91,8, trafo kayıpları ise %31 artmıştır. Fider 1'de ise yüklenme oranı başlangıçta %20,8 olup, artan senaryo yoğunluklarına bağlı olarak %24,2, %30,9 ve %37,6 seviyelerine ulaşmış; toplam kayıplar %109 artışla 0,084 MW'tan 0,176 MW'a çıkmış, hat kayıpları %226 ve trafo kayıpları %65 artış göstermiştir. Fider A ve Fider 1 karşılaştırıldığında, Fider A'nın daha yüksek başlangıç yükü nedeniyle daha büyük mutlak kayıplara sahip olduğu, buna karşılık Fider 1'in düşük başlangıç yüküne rağmen özellikle hat kayıplarında oransal olarak daha büyük artışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, düşük başlangıç seviyelerine sahip fiderlerin dahi yüksek yoğunluklu şarj talepleri karşısında performans açısından ciddi bozulmalar yaşayabileceğini ortaya koymuştur. Rize Trafo Merkezi genelinde ise toplam kayıplar %31,8, hat kayıpları %48,7 ve trafo kayıpları %19,3 artmış; yaklaşık %21'lik aktif güç talebi artışı ile sistemin sınırlarına yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen tüm bu veriler, yüksek güçlü elektrikli araç şarj istasyonlarının mevcut dağıtım şebekesi üzerinde ek yük oluşturduğunu, enerji kayıplarını artırdığını ve sistem kararlılığı açısından risk teşkil ettiğini göstermektedir. Bu bağlamda, şarj altyapısının yaygınlaştırılması sürecinde bölgesel kapasiteye duyarlı, veri temelli ve senaryo bazlı planlama yaklaşımlarının benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yük dengeleme stratejileri, talep tarafı yönetimi, enerji depolama çözümleri ve akıllı şebeke teknolojilerinin entegrasyonu artan şarj talebinin şebekeye etkilerini

azaltmada kritik rol oynamaktadır. Bu tür teknik önlemlerin yanı sıra, altyapı yatırımlarının şebeke kapasitesi ve bölgesel yük profilleriyle uyumlu olarak yönlendirilmesi, enerji sistemlerinin güvenilirliği ve sürdürülebilir ulaşım hedefleri açısından temel bir gerekliliktir. Sonuç olarak, bu çalışma, şarj altyapısı planlamasında teknik veri temelli karar alma süreçlerinin önemine dikkat çekmekte ve benzer şebeke özelliklerine sahip bölgeler için uygulanabilir stratejik değerlendirmeler sunmaktadır.



KAYNAKÇA

- Acharige, S. S., Haque, M. E., Arif, M. T., & Hosseinzadeh, N. (2022). Review of electric vehicle charging technologies, configurations, and architectures. arXiv preprint arXiv:2209.15242.
- Alizadeh, M., Wai, H. T., Chowdhury, M., Goldsmith, A., Scaglione, A., & Javidi, T. (2016). Optimal pricing to manage electric vehicles in coupled power and transportation networks. *IEEE Transactions on control of network systems*, 4(4), 863-875.
- Alshahrani, S., Khalid, M., & Almuahini, M. (2019). Electric vehicles beyond energy storage and modern power networks: Challenges and applications. *IEEE Access*, 7, 99031–99064.
- Altaf, M., Yousif, M., Ijaz, H., Rashid, M., Abbas, N., Khan, M. A., ... & Saleh, A. M. (2024). PSO-based optimal placement of electric vehicle charging stations in a distribution network in smart grid environment incorporating backward forward sweep method. *IET Renewable Power Generation*, 18(15), 3173-3187.
- Amry, Y., Elbouchikhi, E., Le Gall, F., Ghogho, M., & El Hani, S. (2022). Electric Vehicle Traction Drives and Charging Station Power Electronics: Current Status and Challenges. *Energies*, 15, 6037.
- Bae, S., & Kwasinski, A. (2011). Spatial and temporal model of electric vehicle charging demand. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1), 394-403.
- Bahrami, A. (2020). EV charging definitions, modes, levels, communication protocols and applied standards. *Changes*, 1, 1-10.
- Bicer, Y., & Dincer, I. (2017). Comparative life cycle assessment of hydrogen, methanol and electric vehicles from well to wheel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(6), 3767-3777.
- Bilal, M., & Rizwan, M. (2021). Coordinated optimal planning of electric vehicle charging stations and capacitors in distribution systems with vehicle-to-grid facility.
- BloombergNEF. (2022). Electric Vehicle Outlook 2022. Bloomberg New Energy Finance Report.
- Bräunl, T. (2012). EV charging standards. University of Western Australia: Perth, Australia, 1-5.
- Cai, W., Wu, X., Zhou, M., Liang, Y., & Wang, Y. (2021). Review and development of electric motor systems and electric powertrains for new energy vehicles. *Automotive Innovation*, 4, 3-22.

- Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, C. W. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120.
- Delta Electronics. (n.d.). Ultra Fast Charger 200kW. Retrieved from <https://www.delta-emea.com/en-GB/products/EV-Charging/Ultra-Fast-Charger-200kW>
- Demirtaş, M., Yılmaz, E., Küçükpehlivan, T., Ağaçsapan, B., & Aksoy, T. (2021). Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 4(1), 11-32.
- Durmuş, F. S., & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli araç şarj yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.
- Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, Resmi Gazete.
- European Commission. (2023). Regulation (EU) 2019/631: Strengthening CO₂ emission performance standards for new passenger cars and vans—100 % emission reduction target from 2035 onwards. EU Climate Action. Retrieved from European Commission website.
- Golla, N. K., & Sudabattula, S. K. (2021). WITHDRAWN: Impact of Plug-in electric vehicles on grid integration with distributed energy resources: A comprehensive review on methodology of power interaction and scheduling.
- Greene, D. L., & Wegener, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of transport geography*, 5(3), 177-190.
- Güneş, D., Tekdemir, İ. G., Karaarslan, M. Ş., & Alboyacı, B. (2018). Assessment of the impact of electric vehicle charge station loads on reliability indices. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(3), 1073-1084.
- Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of industrial ecology*, 17(1), 53-64.
- Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi, TEDAŞ.
- Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., & Yates, A. J. (2015). Environmental benefits from driving electric vehicles? (No. w21291). National Bureau of Economic Research.
- IEA. (2023). Global EV Outlook 2023. International Energy Agency Report.
- IEA. (2024). Global EV Outlook 2024. International Energy Agency Report.
- IEC. (2015). Plugs, Socket-outlets and Couplers for industrial and similar applications, and for Electric Vehicles.

- IEEE Guide--Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008, Electromagnetic compatibility (EMC)--Limits--Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems. IEEE Std 1453.1-2012 (Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008), pp. 1-78, 2012, doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6232421.
- Jin, C., Tang, J., & Ghosh, P. (2013). Optimizing electric vehicle charging: A customer's perspective. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 62(7), 2919-2927.
- Khalid, M. R., Alam, M. S., Sarwar, A., & Asghar, M. J. (2019). A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *ETransportation*, 1, 100006.
- Khalid, M. R., Alam, M. S., Sarwar, A., & Asghar, M. S. J. (2019). A comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *eTransportation*, 1.
- Lam, A. Y., Leung, Y. W., & Chu, X. (2014). Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(6), 2846-2856.
- Li, S., Zhu, X., Ma, Y., Zhang, F., & Zhou, H. (2020). The Role of Government in the Market for Electric Vehicles.
- Li, Z. (2023). A High-efficient Battery Charging System for Electric Vehicle. arXiv preprint arXiv:2308.04731.
- Lutsey, N., Grant, M., Wappelhorst, S., & Zhou, H. (2018, May). Power play: How governments are spurring the electric vehicle industry. Washington, DC, USA: ICCT.
- Maruf, A. A., Galadima, A. A., & Zarma, T. A. (2020). A Review of Motors for Electric Vehicles. ResearchGate.
- Mogos, A. S., & Grillo, S. (2021, September). Impact of EV Charging Stations in Power Grids in Italy and its Mitigation Mechanisms. In 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) (pp. 1-6). IEEE.
- Niitsoo, J., Taklaja, P., Palu, I., & Kiitam, I. (2015, June). Modelling EVs in residential distribution grid with other nonlinear loads. In 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) (pp. 1543-1548). IEEE.
- Nurmuhammed, M., Akdağ, O., & Karadağ, T. (2023). A Novel Newton Raphson-Based Method for Integrating Electric Vehicle Charging Stations to Distribution Network. *Electrica*, 23(2).

- Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature climate change*, 5(4), 329-332.
- Peschiera, B., & Williamson, S. S. (2013). Review and comparison of inductive charging power electronic converter topologies for electric and plug-in hybrid electric vehicles. In 2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Queensland, E. D. (2018). Electric Vehicle (EV) Charging Infrastructure.
- Rajagopal, D., & Phadke, A. (2019). Prioritizing electric miles over electric vehicles will deliver greater benefits at lower cost. *Environmental Research Letters*, 14(9), 091001.
- Razipour, R., Moghaddas-Tafreshi, S. M., & Farhadi, P. (2019). Optimal management of electric vehicles in an intelligent parking lot in the presence of hydrogen storage system. *Journal of Energy Storage*, 22, 144-152.
- Rivera, S., Kouro, S., Vazquez, S., Goetz, S. M., Lizana, R., & Romero-Cadaval, E. (2021). Electric Vehicle Charging Infrastructure: From Grid to Battery. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(2), 37-51.
- Safayatullah, M., Elrais, M. T., Ghosh, S., Rezaii, R., & Batarseh, I. (2022). A comprehensive review of power converter topologies and control methods for electric vehicle fast charging applications. *IEEE Access*, 10, 40753-40793.
- Saraswathi, V. N., & Ramachandran, V. P. (2024). A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles. *Heliyon*.
- Sevadis. MaxiCharger DC Fast 200kW. Retrieved from <https://sevadis.com/dc-chargers/maxicharger-dc-fast-200kw/>
- Shareef, H., Islam, M. M., & Mohamed, A. (2016). A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 403-420.
- Sharma, P., Mishra, A. K., Mishra, P., & Mathur, H. D. (2021, August). Optimal capacity estimation and allocation of distributed generation units with suitable placement of electric vehicle charging stations. In 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP) (pp. 1-7). IEEE.
- Simarro-García, A., Villena-Ruiz, R., Honrubia-Escribano, A., & Gómez-Lázaro, E. (2023). Effect of penetration levels for vehicle-to-grid integration on a power distribution network. *Machines*, 11(4), 416.
- Sun, S., Yang, Q., & Yan, W. (2018). Hierarchical optimal planning approach for plug-in electric vehicle fast charging stations based on temporal-SoC charging demand characterisation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(20), 4388-4395.

- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2012). Güç transformatörleri (Modül No: 522EE0125). Elektrik-Elektronik Teknolojisi Alanı, Ankara.
- Tomić, J., & Kempton, W. (2007). Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *Journal of power sources*, 168(2), 459-468.
- Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ). (2001, Şubat). Dağıtım hat ve şebekeleri: Proje ve tesis dairesi başkanlığı teknik dokümanı Syf:23. TEDAŞ Genel Müdürlüğü.
- van Wee, B. (2019). Assessing the impacts of vehicle emissions and safety regulations. *International Transport Forum Discussion Paper*.
- Xu, Q., Wu, Z., Xin, S., Niu, H., Zhang, P., & Wang, X. (2025). Grid capacity planning model for electric vehicle high charging penetration in power distribution networks. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 20, 279-288.
- Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169.
- Yuvaraj, T., Devabalaji, K. R., Kumar, J. A., Thanikanti, S. B., & Nwulu, N. I. (2024). A comprehensive review and analysis of the allocation of electric vehicle charging stations in distribution networks. *IEEE Access*, 12, 5404-5461.
- Zhang, Q., Li, H., Zhu, L., Campana, P. E., Lu, H., Wallin, F., & Sun, Q. (2018). Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 500-509.
- Zhang, Z., & Gu, D. (2012, September). Impacts of charging plug-in hybrid electric vehicles on the electric grid and its charging strategies. In *2012 Power Engineering and Automation Conference* (pp. 1-4). IEE