

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TABANLI BARA DİFERANSİYEL KORUMA
SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

OCAK 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TABANLI BARA DİFERANSİYEL KORUMA
SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

OCAK 2025

Emre ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Yapay Zeka Tabanlı Bara Koruma Sistemi” adlı tez çalışması 22.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “YAPAY ZEKA TABANLI BARA DİFERANSİYEL KORUMA SİSTEMİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, etik kurul onay belgesi aldığımı çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(22/01/2025)

Emre ÖZDEMİR





Eşime ve çocuğuma



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde, bilgi ve birikimlerini paylaşarak bana yol gösteren, sabır ve anlayışıyla her zaman yanımda olan kıymetli danışman hocam **Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na** en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, akademik yaşamım boyunca bana ilham kaynağı olmuş ve bu çalışmayı tamamlamamda büyük katkılar sağlamıştır.

Tez sürecimde, her türlü desteği sağlayarak bu yolculuğu kolaylaştıran ve beni her zaman motive eden sevgili eşime ve dünyamı güzelleştiren kıymetli kızım Zümra Deniz Özdemir'e sonsuz teşekkür ederim. Onların varlığı, bu süreci yalnızca bir akademik hedef olmaktan çıkarıp hayatımın anlamlı bir parçası haline getirdiğinden dolayı teşekkür ederim.

Herkese katkılarından ve desteklerinden dolayı bir kez daha gönülden teşekkür ederim.

Emre ÖZDEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı	2
1.1.1. Geleneksel koruma sistemlerinin analizi	2
1.1.2. Yapay zeka ve makine öğrenimi modellerinin entegrasyonu	2
1.1.3. Veri analizi ve model performans değerlendirilmesi	3
1.1.4. Proaktif hata tahmini	3
1.1.5. Endüstriyel uygulamalar	3
1.1.6. Dijital dönüşüm ve enerji sistemleri	3
1.1.7. Tezin amacı ve hedefleri	4
2. KURUMSAL TEMELLER	7
2.1. Orta Gerilim Akım Trafosu	7
2.2. Termik Manyetik Kesiciler	9
2.3. Ayırıcı	10
2.4. Yapay Zeka	12
2.4.1. Yapay zeka yöntemleri	13
2.4.2. Sınıflandırma performans ölçütleri ve eşitlikleri	15
2.4.2.1. Doğruluk (Accuracy)	16
2.4.2.2. Kesinlik(Precision)	16
2.4.2.3. Duyarlılık(Sensitivity/Recall)	17
2.4.2.4. F1 Puanı(F1 Score)	18
3. BARA DİFERANSİYEL KORUMA	19
4. BARA DİFERANSİYEL KORUMA SENARYOSU	25
4.1. Transformatörler (TRA ve TRB)	26
4.2. Fiderler (F1,F2,F3,F4,F5,F6)	27
4.3. Kesiciler ve Ayırıcılar	27
4.4. Baralar (A ve B Barası)	28
4.5. Sistemin Genel Değerlendirilmesi	28
5. BARA DİFERANSİYEL ARIZA DURUMLARI	31
5.1. Genel Yorum ve Sistem Analizi	53
5.1.1. Trafo yük durumları	53
5.1.2. Kuplajların durumu	53
5.1.3. Baraların durumu	54

5.1.4. Fider arızaları	55
5.1.5. Enerji dengesizlikleri.....	56
5.1.6. Arıza yönetimi ve sistem güvenliği.....	56
6. YAPAY ZEKA MODELLERİNİN UYGULANMASI.....	59
6.1. K En Yakın Komşu(KNN)	59
6.2. Karar Ağacı (Decision Tree)	61
6.3. Destek Vektör Manineleri (SVM)	64
6.4. Naive Bayes.....	66
6.5. Yapay Sinir Ağları (Neural Networks).....	68
7. SONUÇ	71
7.1. Yapay Zeka Modellerinin Performansı	71
7.2. Enerji Sistemlerine Katkıları	72
7.3. Koruma Sistemlerinde Yenilikler.....	72
8. ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77



KISALTMALAR

MVCT	: Orta gerilim alım trafosu
MV	: Orta gerilim
SF6	: Kükürt hegzaflorür
YZ	: Yapay zeka
TP	: Doğru pozitif
TN	: Doğru negatif
FP	: Yanlış pozitif
FN	: Yanlış negatif
I_p	: Trafo primer akımı
I_s	: Trafo sekonder akımı
I_d	: Diferansiyel akım
K	: Eğim
I_r	: Tutucu akım
TR_A	: A Trafosu
TR_B	: B Trafosu
Ke	: Kesici
Ay	: Ayırıcı
F₁	: 1. Fider
F₂	: 2. Fider
F₃	: 3. Fider
F₄	: 4. Fider
F₅	: 5. Fider
F₆	: 6. Fider
KA	: A Kuplajı
KB	: B Kuplajı
S	: Güç



SİMGELER

kV	: Kilovolt
kVA	: Kilo volt Amper
MVA	: Mega volt Amper
U_k	: Kısa devre gerilimi
I_{fault}	: Arıza akımı





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Karmaşıklık matrisi içeriği.....	14
--	----





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Orta Gerilim Akım Trafosu Şematik Gösterimleri [11].	9
Şekil 2.2. Kesicinin Çalışma Mekanizması Bölümleri [12].	9
Şekil 2.3. Kesici Sembolleri.	10
Şekil 2.4. Ayırıcı [13].	11
Şekil 3.1. Bara Diferansiyel Koruma Akım Gösterimi.	19
Şekil 3.2. Bara Diferansiyel Koruma Yön Gösterimi.	20
Şekil 3.3. Diferansiyel Koruma Çalışma Alanı.	21
Şekil 3.4. Çalışma Bölgesi.	21
Şekil 3.5. Bara Diferansiyel Arızalı Akım.	22
Şekil 4.1. Uygulanacak Sistemin Tek Hat Şeması.	26
Şekil 5.1. Kuplaj Kapalı A Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.	31
Şekil 5.2. Kuplaj Kapalı B Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.	36
Şekil 5.3. Kuplaj Açık A Trafosu Devrede İken Arıza Akımları.	41
Şekil 5.4. Kuplaj Açık B Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.	46
Şekil 6.1. KNN Doğrulama Karmaşası Matrisi.	60
Şekil 6.2. KNN Doğrulama Roc Eğrisi.	60
Şekil 6.3. KNN Tahminler Modeli.	61
Şekil 6.4. Karar Ağacı Doğrulama Karmaşası Matrisi.	62
Şekil 6.5. Karar Ağacı Doğrulama Roc Eğrisi.	62
Şekil 6.6. Karar Ağacı Tahminler Modeli.	63
Şekil 6.7. SVM Doğrulama Karmaşası Matrisi.	64
Şekil 6.8. SVM Doğrulama Roc Eğrisi.	65
Şekil 6.9. SVM Tahminler Modeli.	65
Şekil 6.10. Naive Bayes Doğrulama Karmaşası Matrisi.	66
Şekil 6.11. Naive Bayes Doğrulama Roc Eğrisi.	67
Şekil 6.12. Naive Bayes Tahminler Modeli.	67
Şekil 6.13. Yapay Sinir Ağları Doğrulama Karmaşası Matrisi.	68
Şekil 6.14. Yapay Sinir Ağları Doğrulama Roc Eğrisi.	69
Şekil 6.15. Yapay Sinir Ağları Tahminler Modeli.	69



YAPAY ZEKA TABANLI BARA DİFERANSİYEL KORUMA SİSTEMİ

ÖZET

Enerji sistemlerinin güvenliği ve verimliliği, modern elektrik şebekelerinin en kritik önceliklerinden biri hâline gelmiştir. Bara diferansiyel koruma sistemleri, enerji sistemlerinin güvenilirliği açısından hayati bir role sahiptir. Geleneksel diferansiyel koruma sistemleri, bara üzerindeki anormallikleri tespit etmek için akım farklarını ölçerek çalışır. Ancak bu sistemler genellikle sabit eşik değerlerine ve sınırlı veri işleme yeteneklerine sahiptir. Elektrik şebekelerinin karmaşıklığının artması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi faktörler, geleneksel koruma yöntemlerinin sınırlarını zorlamakta ve daha dinamik, uyarlanabilir çözümler gerektirmektedir. İşte bu noktada yapay zeka teknolojilerinin devreye girmesiyle enerji sistemleri için yeni bir dönemin kapıları aralanmaktadır.

Yapay zeka tabanlı sistemler, geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek enerji sistemlerinin güvenilirliğini ve esnekliğini artırmaktadır. Yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak enerji sistemlerinden büyük miktarda veri toplayabilir ve bu verileri hızlı bir şekilde analiz edebilir. Bu veriler, sistemin normal çalışma koşullarını öğrenmek ve anormal durumları tespit etmek için kullanılır. Geleneksel koruma sistemlerinin aksine, YZ tabanlı sistemler, yalnızca mevcut arızaları tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda gelecekte meydana gelebilecek potansiyel arızaları öngörebilir. Bu, enerji sistemlerinin proaktif bir yaklaşımla yönetilmesine olanak tanır ve arızaların meydana gelmeden önce engellenmesine katkıda bulunur.

Gerçek zamanlı veri analizi, yapay zekanın sunduğu en büyük avantajlardan biridir. Geleneksel sistemler, sabit eşik değerlerine dayandığı için sınırlı bir hassasiyet sunarken, YZ tabanlı sistemler, farklı işletme koşullarına uyarlanabilir algoritmalar sayesinde daha esnek bir yapı sergiler. Özellikle büyük enerji santralleri ve endüstriyel tesislerde, bu esneklik, hem güvenilirliği artırmak hem de enerji kesintilerini en aza indirmek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bara diferansiyel koruma sistemlerinde yapay zeka uygulamaları, birçok farklı yeteneği beraberinde getirir. Bunlardan ilki, anormallik tespitinde geleneksel yöntemlerin ötesine geçen bir hassasiyet sağlamasıdır. Yapay zeka tabanlı sistemler, enerji sistemlerinin sürekli değişen dinamiklerini öğrenerek, normalden sapmaları hızlı bir şekilde tespit eder. Örneğin, bara üzerinde meydana gelen bir kısa devre veya topraklama arızası durumunda, Yapay zeka sistemleri daha hızlı ve doğru bir yanıt verebilir. Bu, enerji kesintilerinin süresini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda arızaların sistemin diğer bölümlerine yayılmasını da engeller.

Bunun yanı sıra, yapay zeka sistemleri, geçmişteki arıza kayıtlarını inceleyerek gelecekte meydana gelebilecek benzer durumların nasıl oluşabileceğine dair öngörülerde bulunabilir. Bu tür bir öngörü yeteneği, enerji sistemlerinde uzun vadeli güvenilirlik planlamasına büyük katkı sağlar. Örneğin, bir trafo merkezinde geçmişte yaşanan bir arızanın verileri, benzer koşullar altında oluşabilecek yeni arızaları tahmin

etmek için kullanılabilir. Bu, yalnızca sistemin güvenliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda bakım faaliyetlerinin daha etkin bir şekilde planlanmasına da yardımcı olur.

Yapay zeka tabanlı bara koruma sistemleri, özellikle büyük enerji santralleri, endüstriyel tesisler ve trafo merkezlerinde önemli avantajlar sunar. Bunlardan bazıları şunlardır:

Hassasiyet ve hız, yapay zeka sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve hassas bir şekilde arızaları tespit edebilir. Bu, enerji kesintilerinin süresini önemli ölçüde azaltır.

Uyarlanabilirlik, farklı trafo merkezlerinin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen yapay zeka algoritmaları, sistemin esnekliğini artırır. Örneğin, yüksek yenilenebilir enerji penetrasyonuna sahip bölgelerde, yapay zeka algoritmaları bu değişken üretim kaynaklarını dikkate alarak çalışabilir.

Proaktif yönetim, geçmiş verilerden öğrenerek gelecekteki arızaları öngörebilen yapay zeka sistemleri, bakım ve onarım süreçlerinin daha etkili bir şekilde planlanmasına olanak tanır.

Verimlilik artışı, gerçek zamanlı veri analizi ve sürekli öğrenme yeteneği, enerji sistemlerinin genel verimliliğini artırır. Bu, hem operasyonel maliyetlerin düşmesini sağlar hem de enerji arz güvenliğini artırır.

Yapay zeka (YZ), bara diferansiyel koruma sistemleri için devrim niteliğinde yenilikler sunmakta olup, geleneksel koruma sistemlerinin sınırlarını aşarak enerji sistemlerinin güvenilirliğini ve operasyonel verimliliğini en üst düzeye çıkarma potansiyeline sahiptir. Geleneksel diferansiyel koruma sistemleri belirli arıza tespit yöntemlerine dayanırken, YZ tabanlı koruma sistemleri dinamik ve karmaşık enerji altyapılarına adaptasyon sağlayarak, enerji kesintilerini en aza indirebilmekte ve sistem güvenliğini önemli ölçüde artırabilmektedir.

YZ destekli koruma sistemlerinin en belirgin avantajlarından biri, yalnızca mevcut arızaların tespit edilmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda gelecekte meydana gelebilecek arızaları öngörerek proaktif bir koruma yaklaşımı sunmalarıdır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları sayesinde, sistemdeki anomaliler anlık olarak analiz edilerek potansiyel risk faktörleri belirlenebilmekte ve olası kesintilerin önlenmesi sağlanmaktadır. Bu öngörüşel bakım yaklaşımı, enerji sistemlerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine olanak tanımakta, böylece sistem güvenilirliği ve şebeke kararlılığı artırılmaktadır.

YZ tabanlı koruma sistemleri, büyük veri analitiği ve dijital ikiz teknolojileriyle entegre edilerek daha kapsamlı bir koruma mekanizması oluşturabilmektedir. Bu sistemler, enerji üretim ve dağıtım süreçlerinde meydana gelebilecek olağanüstü durumları gerçek zamanlı olarak değerlendirerek, optimum koruma stratejileri geliştirebilmektedir. Özellikle akıllı şebekelerin yaygınlaşmasıyla birlikte, YZ'nin sağladığı bu yenilikçi çözümler, enerji sistemlerinin adaptif ve esnek bir yapıya kavuşmasını mümkün kılmaktadır.

YZ teknolojilerinin ilerlemesiyle, enerji sistemlerinde yalnızca arıza tespiti ve önleyici bakım değil, aynı zamanda enerji yönetiminde daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümlerin uygulanması da mümkün hâle gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, enerji talep tahmini ve optimizasyonu gibi konular, YZ destekli sistemler sayesinde daha etkin bir şekilde yönetilebilmektedir. Örneğin, fotovoltaik ve rüzgar enerjisi sistemlerinde üretim tahmin modellerinin geliştirilmesi,

enerji depolama sistemleri ile senkronize çalıştırılması ve talep yönetimi stratejilerinin optimize edilmesi gibi süreçler, YZ algoritmaları aracılığıyla daha verimli hale getirilebilmektedir.

Sonuç olarak, YZ tabanlı diferansiyel koruma sistemleri, enerji sektöründe geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha kapsamlı ve etkili çözümler sunmaktadır. Gelecekte bu teknolojilerin yaygınlaşması, enerji altyapılarının daha güvenilir, sürdürülebilir ve ekonomik bir yapıya kavuşmasını sağlayarak küresel enerji güvenliğine ve sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunacaktır. Yapay zeka destekli sistemlerin enerji sektöründeki entegrasyonunun hızlanması, aynı zamanda akıllı şebekeler, mikro şebekeler ve dağıtık enerji kaynakları gibi yeni nesil enerji sistemlerinin gelişimine de ivme kazandıracaktır. Bu bağlamda, enerji sistemlerinin geleceğinde yapay zekanın oynayacağı rol giderek daha kritik bir hl almaktadır.





ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED BUSBAR DIFFERENTIAL PROTECTION SYSTEM

SUMMARY

The safety and efficiency of energy systems have become one of the most critical priorities of modern electricity networks. Busbar differential protection systems have a vital role in terms of the reliability of energy systems. Conventional differential protection systems work by measuring current differences to detect anomalies on the busbar. However, these systems usually have fixed threshold values and limited data processing capabilities. Factors such as the increasing complexity of electricity grids and the integration of renewable energy sources are pushing the boundaries of traditional protection methods and require more dynamic, adaptive solutions. At this point, the doors of a new era are being opened for energy systems with the introduction of artificial intelligence technologies.

Artificial intelligence-based systems are increasing the reliability and flexibility of energy systems by going beyond traditional methods. Using artificial intelligence, machine learning and deep learning algorithms, it can collect large amounts of data from energy systems and analyze this data quickly. This data is used to find out the normal operating conditions of the system and to detect abnormal situations. Unlike traditional protection systems, AI-based systems can not only detect current failures, but also predict potential failures that may occur in the future. This allows energy systems to be managed with a proactive approach and contributes to preventing failures before they occur.

Real-time data analysis is one of the biggest advantages offered by artificial intelligence. While traditional systems offer a limited sensitivity because they are based on fixed threshold values, AI-based systems exhibit a more flexible structure thanks to algorithms that can be adapted to different operating conditions. Especially in large power plants and industrial plants, this flexibility is of critical importance both for improving reliability and minimizing energy outages.

Artificial intelligence applications in busbar differential protection systems bring with them many different capabilities. The first of these is that it provides a sensitivity that goes beyond traditional methods of anomaly detection. Artificial intelligence-based systems quickly detect deviations from the normal by learning the constantly changing dynamics of energy systems. For example, in the event of a short circuit or grounding failure occurring on the busbar, Artificial intelligence systems can provide a faster and more accurate response. This not only reduces the duration of power outages, but also prevents the spread of failures to other parts of the system.

In addition, artificial intelligence systems can make predictions about how similar situations that may occur in the future by examining the fault records in the past. This kind of foresight ability makes a great contribution to long-term reliability planning in energy systems. For example, data from a failure experienced in the past at a substation can be used to predict new failures that may occur under similar conditions. This not

only increases the security of the system, but also helps to plan maintenance activities more effectively.

Artificial intelligence-based busbar protection systems offer significant advantages, especially in large power plants, industrial plants and substations. Some of these are:

Precision and Speed, Artificial intelligence systems can detect failures faster and more accurately compared to traditional methods. This significantly reduces the duration of power outages.

Adaptability, artificial intelligence algorithms that can be customized according to the needs of different substations increase the flexibility of the system. For example, in regions with high renewable energy penetration, artificial intelligence algorithms can work by taking into account these variable sources of production.

Proactive management, artificial intelligence systems that can predict future failures by learning from historical data allow maintenance and repair processes to be planned more effectively.

Efficiency increase, real-time data analysis and continuous learning ability increase the overall efficiency of energy systems. This allows both the reduction of operational costs and increases the security of energy supply.

Artificial intelligence (AI) offers revolutionary innovations for bus differential protection systems, surpassing the limitations of traditional protection systems and maximizing the reliability and operational efficiency of energy systems. While conventional differential protection systems rely on specific fault detection methods, AI-based protection systems can adapt to dynamic and complex energy infrastructures, minimizing power outages and significantly enhancing system security.

One of the most significant advantages of AI-supported protection systems is that they not only detect existing faults but also predict potential future faults, adopting a proactive protection approach. Through machine learning and deep learning algorithms, anomalies in the system are analyzed in real-time, allowing potential risk factors to be identified and possible outages to be prevented. This predictive maintenance approach enables more efficient and sustainable management of energy systems, thereby increasing system reliability and grid stability.

AI-based protection systems can be integrated with big data analytics and digital twin technologies to create a more comprehensive protection mechanism. These systems can assess extraordinary situations in energy generation and distribution processes in real time, developing optimal protection strategies. With the increasing prevalence of smart grids, the innovative solutions provided by AI allow energy systems to acquire an adaptive and flexible structure.

With advancements in AI technologies, not only fault detection and preventive maintenance but also the implementation of more sustainable and environmentally friendly solutions in energy management have become feasible. The integration of renewable energy sources, energy demand forecasting, and optimization are managed more effectively with AI-supported systems. For instance, the development of production forecasting models in photovoltaic and wind energy systems, synchronization with energy storage systems, and optimization of demand management strategies can all be achieved more efficiently through AI algorithms.

In conclusion, AI-based differential protection systems provide much more comprehensive and effective solutions compared to traditional methods in the energy

sector. The widespread adoption of these technologies in the future will enhance the reliability, sustainability, and economic efficiency of energy infrastructures, making significant contributions to global energy security and sustainability. The acceleration of AI-supported systems' integration into the energy sector will also drive the development of next-generation energy systems such as smart grids, microgrids, and distributed energy resources. In this context, the role of artificial intelligence in the future of energy systems is becoming increasingly critical.





1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi sistemlerinde, güvenlik ve verimlilik her zaman öncelikli konular arasında yer almaktadır. Elektrik şebekelerinin büyüklüğü ve karmaşıklığı arttıkça, bu sistemlerin korunması ve istikrarlı bir şekilde çalışması da giderek daha önemli hale gelmektedir. Özellikle, trafo merkezlerinde ve enerji dağıtım noktalarında yer alan baraların korunması, enerji sürekliliğinin sağlanması ve sistemin zarar görmeden çalışmasına devam etmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bara diferansiyel koruma sistemleri, baralarda meydana gelebilecek kısa devreler, aşırı yüklenmeler veya diğer arıza türlerini tespit ederek sistemin güvenliğini sağlayan hayati bir koruma yöntemidir. Geleneksel yöntemlerle çalışan bu sistemler, belirli eşik değerlere dayalı olarak çalışsa da, elektrik şebekelerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi ve dinamik koşulların sürekli değişmesi, daha akıllı ve uyarlanabilir çözümlere olan ihtiyacı artırmıştır.

Yapay Zeka' kavramı, ilk duyulduğunda ister akademisyen, öğretmen, öğrenci olsun ister iş insanı olsun, hemen hemen herkesin ilgisini çeker ve merak uyandırır. Bunun nedeni, zeka gibi soyut ve insana özgü bir kavramın "yapay" olarak nitelendirilmesidir. Yapay zekanın çevresinde dönen temel konular ise yapay sinir ağları, uzman sistemler, bulanık mantık ve genetik algoritmalar gibi bileşenlerdir. Bu bileşenler, yapay zekanın karmaşık problemleri çözme ve insan benzeri kararlar alma yeteneğini akıl almaz derecede ortaya koyar.

Bu noktada, yapay zeka (YZ) teknolojileri devreye girerek bara diferansiyel koruma sistemlerinin daha etkin ve esnek hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Yapay zeka, enerji sistemlerinden elde edilen büyük verileri analiz ederek sistemin normal çalışma koşullarını öğrenir ve olağan dışı durumları hızlıca tespit eder. Böylece, geleneksel sistemlerin sınırlamalarının üstesinden gelerek, arızaların daha hassas bir şekilde tespit edilmesini ve yanlış alarmların en aza indirilmesini sağlar. Ayrıca yapay zeka, arıza tahmini gibi ileri düzey yeteneklerle, potansiyel sorunları önceden belirleyip arızaların meydana gelmeden önce önlenmesine olanak tanır. Bu, enerji sistemlerinin

güvenilirliğini artırırken, kesintilerden kaynaklanan maliyetleri de önemli ölçüde azaltır.

Yapay zeka tabanlı bara diferansiyel koruma sistemlerinin uygulanması, enerji altyapısının dijital dönüşümünün bir parçası olarak da değerlendirilebilir. Enerji sektörü, Endüstri 4.0 ile birlikte dijitalleşme ve otomasyon süreçlerine hızla entegre olurken, bu yeni teknolojiler enerji sistemlerinin daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunmaktadır. Yapay zekanın sunduğu analiz yetenekleri sayesinde, koruma sistemleri sadece arızalara tepki vermekle kalmaz, aynı zamanda gelecekte meydana gelebilecek sorunları da proaktif olarak yönetir.

1.1. Tezin Kapsamı

Bu tez, enerji sistemlerinde güvenlik ve verimliliği artırmak için bara diferansiyel koruma sistemlerinin yapay zeka destekli bir yaklaşımla iyileştirilmesini ele almaktadır. Çalışma, aşağıdaki kapsam çerçevesinde yürütülecektir.

1.1.1. Geleneksel koruma sistemlerinin analizi

Mevcut diferansiyel koruma sistemlerinin çalışma prensipleri, kullanılan teknikler ve sınırlamaları detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

Geleneksel sistemlerin, özellikle karmaşık ve dinamik elektrik şebekelerinde yetersiz kaldığı noktalar tespit edilecektir.

Klasik sistemlerde kullanılan eşik değer yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları tartışılacaktır.

1.1.2. Yapay zeka ve makine öğrenimi modellerinin entegrasyonu

Yapay zeka destekli bir koruma sistemi için kullanılacak makine öğrenimi modelleri (Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Naive Bayes) tanıtılacaktır.

Bu modellerin, bara diferansiyel koruma sistemlerinde uygulanabilirliği değerlendirilecek ve hangi senaryolarda daha etkili oldukları incelenecektir.

Modellerin performansını artırmaya yönelik veri işleme, özellik seçimi ve algoritma optimizasyonu gibi yöntemlere yer verilecektir.

1.1.3. Veri analizi ve model performans değerlendirilmesi

Enerji sistemlerinden toplanan 32.000 veri kullanılarak yapılan model eğitimleri ve doğrulama sonuçları detaylandırılacaktır.

Hata matrisleri, doğruluk oranları, yanlış pozitif ve yanlış negatif analizleri gibi performans metrikleri sunulacaktır.

Farklı yapay zeka modellerinin karşılaştırması yapılacak ve en iyi performansı gösteren model belirlenerek sistemde uygulanabilirliği analiz edilecektir.

1.1.4. Proaktif hata tahmini

Yapay zeka modellerinin, geçmiş verilerden yola çıkarak gelecekteki arızaları tahmin etme yetenekleri değerlendirilecektir.

Bu tahminler sayesinde enerji kesintilerinin önlenmesi ve sistem güvenilirliğinin artırılması konusundaki katkıları incelenecektir.

Potansiyel arızaların erken teşhis edilmesi ve alınabilecek önlemler için öneriler geliştirilecektir.

1.1.5. Endüstriyel uygulamalar

Yapay zeka destekli bara koruma sistemlerinin, büyük enerji santralleri ve endüstriyel tesislerde uygulanabilirliği değerlendirilecektir.

Bu sistemlerin enerji sürekliliğine katkıları, maliyet avantajları ve sistem güvenilirliğini artırmadaki potansiyeli açıklanacaktır.

Farklı trafo merkezi konfigürasyonlarına uyarlanabilir yapay zeka algoritmalarının geliştirilmesi üzerinde durulacaktır.

1.1.6. Dijital dönüşüm ve enerji sistemleri

Endüstri 4.0 çerçevesinde enerji altyapılarında yapay zeka ve dijital dönüşüm uygulamalarının önemi giderek artmaktadır. Günümüz enerji sistemlerinde, otomasyon ve sürdürülebilirlik süreçlerini iyileştirmek amacıyla yapay zeka destekli sistemlerin entegrasyonu büyük bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda, yapay zeka algoritmaları sayesinde enerji şebekelerinin daha verimli yönetilmesi, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve kesintisiz enerji arzının sağlanması mümkün hale gelmektedir.

Bu tez çalışması, enerji sektöründe dijitalleşmenin geleceğine dair kapsamlı bir perspektif sunmayı amaçlamakta ve akıllı enerji yönetim sistemleri ile yenilikçi yapay zeka çözümlerinin rolünü ele almaktadır. Enerji sistemlerinde veri odaklı karar alma mekanizmalarının geliştirilmesi, otomatik arıza tespiti, talep tahmini ve enerji verimliliği gibi kritik süreçlerde yapay zekanın sunduğu avantajlar detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Ayrıca, çalışma kapsamında enerji altyapılarının dijital dönüşüm sürecine katkı sağlayacak yeni teknolojiler ve yapay zeka tabanlı güvenlik önlemleri üzerine derinlemesine analizler yapılmaktadır. Enerji sistemlerinin hem akademik hem de endüstriyel açıdan daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesi için geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar ele alınarak, sektördeki dönüşüm sürecine ışık tutulması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, tez çalışması enerji sektörünün geleceğini şekillendirecek önemli adımlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

1.1.7. Tezin amacı ve hedefleri

Bu tez, enerji sistemlerinde kullanılan bara diferansiyel koruma sistemlerini daha güvenilir, hızlı ve hassas hale getirebilmek amacıyla yapay zeka tabanlı yenilikçi bir yaklaşım geliştirmeyi hedeflemektedir. Günümüzde enerji altyapılarında meydana gelen arızaların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi, hem sistem güvenliği hem de enerji arzının sürekliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak geleneksel koruma sistemlerinin sınırlı yetenekleri, modern enerji şebekelerinin giderek artan talebi ve karmaşık yapıları karşısında yetersiz kalabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı, enerji sistemlerinde güvenliği üst seviyeye çıkarmak, arızaların erken aşamada tespit edilmesini sağlayarak olası kesintilerin önüne geçmek ve enerji altyapılarının dijital dönüşüm süreçlerine katkı sunan yapay zeka tabanlı yenilikçi bir koruma çözümü geliştirmektir.

Bu çalışma kapsamında, bara diferansiyel koruma sistemlerinde meydana gelen arızaların daha hassas bir şekilde tespit edilebilmesi için farklı yapay zeka tekniklerinin uygulanabilirliği detaylı bir şekilde araştırılacaktır. Enerji sistemlerinde yaşanan arızaların hızlı bir şekilde belirlenmesiyle, sistemlerin yanıt verme süresinin iyileştirilmesi ve kesintilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte, enerji sistemlerinden elde edilen büyük veri setleri üzerinde detaylı analizler yapılarak,

normal çalışma koşulları ile arıza durumlarını birbirinden ayırt edebilecek makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı modellerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Tez çalışmasında ayrıca, elektrik şebekesi üzerinde meydana gelen dinamik değişiklikleri algılayabilecek ve proaktif bir şekilde yanıt verebilecek bir model tasarlanacaktır. Bu doğrultuda, sinir ağları, destek vektör makineleri ve karar ağaçları gibi farklı yapay zeka algoritmalarının enerji sistemlerinde koruma uygulamalarına nasıl entegre edilebileceği detaylı bir şekilde incelenecek ve bu algoritmaların performansları karşılaştırılacaktır. Geliştirilen modellerin doğruluk oranı, tepki süresi ve hata oranı gibi kritik performans metrikleri analiz edilerek, en etkili ve güvenilir yapay zeka tabanlı koruma sistemi ortaya konulacaktır.

Çalışmanın bir diğer önemli aşaması, geliştirilen yapay zeka destekli koruma sistemlerinin gerçek enerji şebekelerinde test edilerek performanslarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliklerinin kapsamlı bir biçimde değerlendirilmesidir. Bu süreçte, yapay zeka tabanlı sistemlerin farklı işletme koşullarında nasıl bir performans sergilediği, olası arızalara ne kadar hızlı tepki verebildiği ve geleneksel yöntemlere kıyasla ne gibi avantajlar sunduğu ayrıntılı olarak incelenecektir.

Ayrıca, geliştirilen modelin sadece teknik açıdan değil, ekonomik ve operasyonel açıdan da sürdürülebilir olması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, sistemin uygulanabilirliğini artırmak amacıyla ölçeklenebilir bir yapı tasarlanacak ve farklı büyüklükteki enerji şebekelerine uyarlanabilirliği değerlendirilecektir. Önerilen modelin düşük maliyetli, kolay entegrasyon sağlayan ve uzun vadeli kullanımda verimliliği artıran bir çözüm sunması hedeflenmektedir.

Enerji kesintilerinin en aza indirilmesi, enerji sistemlerinin güvenilirliğinin artırılması ve ani arızaların etkilerini minimize edecek proaktif bir yaklaşım geliştirilmesi çalışmanın öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, enerji şebekelerinin dijitalleşmesine katkıda bulunarak, yapay zeka destekli çözümler sayesinde daha esnek, daha öngörülebilir ve daha verimli bir enerji altyapısı oluşturulması amaçlanmaktadır. Geliştirilen sistemlerin, mevcut enerji altyapılarına entegrasyonu ile akıllı şebeke sistemlerinin yaygınlaştırılması sürecine katkı sağlaması ve enerji sektörünün dijital dönüşüm sürecine ivme kazandırması beklenmektedir.

Bu bağlamda, çalışma yalnızca teknik bir geliştirme sürecini değil, aynı zamanda enerji sektörünün geleceğine yönelik stratejik bir vizyon ortaya koymayı da amaçlamaktadır. Yapay zeka tabanlı koruma sistemlerinin enerji şebekelerine kazandıracağı yenilikler, hem kısa vadede operasyonel verimliliği artıracak hem de uzun vadede daha güvenli, kararlı ve sürdürülebilir bir enerji altyapısının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Bu bölümde, çalışmada kullanılacak ürünler, teknolojiler ve yöntemler ayrıntılı bir şekilde ele alınarak araştırmanın temel bileşenleri açıklanmaktadır. Öncelikle, enerji sistemlerinde güvenilirliği artırmak amacıyla tercih edilen donanım ve yazılım bileşenleri tanıtılmakta, bunların seçim kriterleri ve sağladıkları avantajlar detaylandırılmaktadır. Bunun yanı sıra, yapay zeka algoritmalarının nasıl uygulanacağı, veri analizi süreçlerinin hangi teknikler kullanılarak gerçekleştirileceği ve model geliştirme aşamalarında izlenecek yöntemler kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Çalışmada uygulanacak test senaryoları, performans değerlendirme kriterleri ve doğrulama süreçleri de bu bölümde detaylandırılarak, geliştirilecek sistemin etkinliğini ölçmek için izlenecek yol haritası ortaya konmaktadır. Böylece, araştırmanın bilimsel temelleri net bir şekilde açıklanarak, metodolojik süreçlerin sistematik ve güvenilir bir çerçevede yürütülmesi sağlanmaktadır.

2. KURUMSAL TEMELLER

Bu bölümde, çalışmanın temelini oluşturan ürünler, kullanılan teknolojiler ve izlenen yöntemler hakkında detaylı bilgiler sunulmaktadır. Araştırmada hangi donanım ve yazılım araçlarının tercih edildiği, yapay zeka algoritmalarının nasıl uygulandığı ve veri analizi süreçlerinin hangi tekniklerle gerçekleştirildiği ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca, çalışmada izlenecek metodolojik yaklaşım, veri toplama süreçleri, test aşamaları ve performans değerlendirme kriterleri hakkında kapsamlı bir çerçeve çizilmektedir. Kullanılacak modellerin seçimi, bu modellerin eğitimi ve doğrulama süreçleri de yine bu bölümde açıklanmaktadır. Böylece, çalışmanın bilimsel temelleri net bir şekilde ortaya konularak, araştırma sürecinin sağlam ve sistematik bir yapıya oturtulması sağlanmaktadır.

2.1. Orta Gerilim Akım Trafosu

Orta Gerilim Akım Transformatörleri (mvct'ler), Alet Transformatörleri (ITs) olarak bilinen geniş transformatör kategorisine girer. Orta Gerilim akım trafoları, dağıtım sistemlerindeki yüksek değerlerden akımı, düşük voltajlı ölçüm cihazları kullanılarak ölçülebilen düşük değerlere dönüştürmek için kullanılır. Orta Gerilim olarak kabul edilen voltaj aralığı 34,5 kV ila 10 kV primer arasındadır ve genellikle kısa devre sekonderinde 5 amper veya daha azı ölçülür [1]. Orta gerilim akım trafoları üç ana işlev için kullanılır: dağıtım sistemi koruyucu ekipmanlarını ve rölelerini beslemek, dağıtım sistemini yöneten kontrol sistemlerine giriş sinyali sağlamak ve kalite kontrolleri ve faturalandırma amacıyla izleme cihazlarını çalıştırmak. Ortalama ömrü 25 yıldan fazla olan hareketli parçaları olmayan güvenilir cihazlardır [1]. Yalıtım malzemelerine göre iki temel tiptedirler: Sıvıya daldırılmış yağ dielektrik ortamı, Kuru tip gaz veya katı dielektrik ortam. Kuru tip transformatör pazarının, kuru tip ünitelerin sıvıya daldırılmış ünitelere göre çeşitli avantajları nedeniyle artması beklenmektedir. Bu avantajlardan birkaçı aşağıda listelenmiştir [2].

Kuru tip transformatörlerde kullanılan yalıtım sistemleri, geleneksel olarak sıvıya daldırılmış ve yanıcı özellik taşıyan ünitelerde kullanılan yalıtım malzemelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilme avantajına sahiptir. Bu durum, kuru tip

transformatörlerin daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlarken, aynı zamanda güvenlik açısından da önemli bir avantaj sunmaktadır.

Kuru tip transformatörler, sıvıya daldırılmış transformatörlerin aksine belirli bir dikey konumlandırmaya ihtiyaç duymadan herhangi bir yönde monte edilebilir. Katı yalıtım malzemeleri, üreticilere izolasyon sistemlerini farklı şekillerde tasarlama ve sızıntı mesafelerini optimize etme konusunda daha fazla esneklik sunar. Ayrıca, kuru tip transformatörlerin üretimi için gereken sermaye yatırımları daha düşük olduğu için, yatırımcılar açısından daha cazip bir yatırım getirisi sağlamaktadır.

Gaz yalıtımlı sistemler arasında, SF₆ gazı kuru tip akım transformatörlerinde en yaygın kullanılan yalıtım malzemelerinden biridir. Yüksek dielektrik dayanımına sahip olmasına rağmen, çevresel etkileri ve potansiyel sızıntı riski nedeniyle ciddi bir tehdit oluşturabilir. Özellikle, dağıtım sistemlerinin genellikle yoğun nüfuslu bölgelerde bulunması, SF₆ gazının sızması durumunda sağlık açısından ciddi tehlikelere yol açabilme riskini artırmaktadır.

Alternatif olarak, epoksi reçine bazlı polimer yalıtım malzemeleri kuru tip akım transformatörlerinde yaygın şekilde tercih edilmektedir. Polimer bazlı yalıtım malzemeleri hafif, kolay şekillendirilebilir ve kirliliğe karşı yüksek direnç gösteren özelliklere sahiptir. Ayrıca, çevresel etkileri SF₆ gazına kıyasla daha azdır ve açık hava koşullarında uzun yıllar boyunca güvenle kullanılabilir. Nitekim, polimer yalıtım malzemelerinin dış mekan kullanımında 30 yılı aşkın süredir başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir.

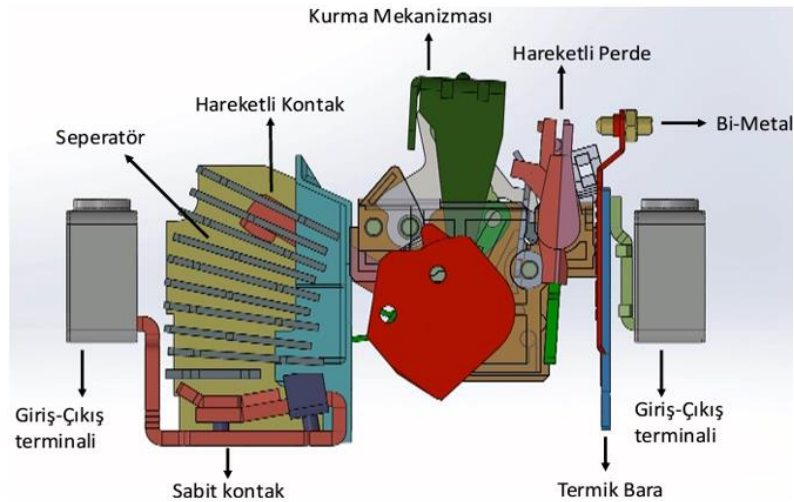
Ancak, polimer yalıtım sistemlerinin zaman içinde yaşlanma ve çevresel faktörlerden etkilenecek bozulma riski bulunmaktadır. Yalıtım yüzeyinde oluşabilecek herhangi bir kusur veya nem birikimi, zamanla transformatörün genel ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir. Bununla birlikte, akım trafolarında bulunan iç iletkenler nedeniyle, polimer bazlı yalıtım sistemlerinin geleneksel elektrik ekipmanlarındaki polimer yalıtımlara göre farklı performans göstermesi beklenmektedir. Bu çalışmada, söz konusu performans farkları araştırılacak ve sonuçlar bilimsel bir bakış açısıyla sunulacaktır.

Standardın ait olduğu ülke		Tekhat Şeması	Prensip Şeması
TÜRK	ŞTD		
	TSE		
AMERİKAN			
FRANSIZ			
ALMAN (DIN)			

Şekil 2.1. Orta Gerilim Akım Trafosu Şematik Gösterimleri [11].

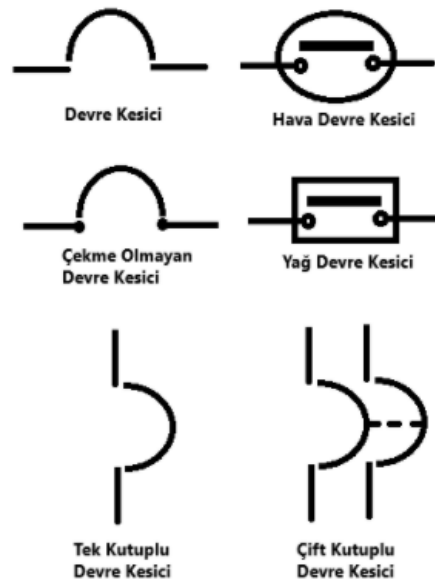
2.2. Termik Manyetik Kesiciler

Termik koruma devre kesici içerisinde bulunan bimetal malzeme ile sağlanmaktadır. Termik koruma, uzama katsayıları farklı olan iki metalin birleştirilmesi ile oluşan ve bimetal diye adlandırılan malzemelerin mekanik bir sistemi tetiklemesi ile koruma sağlayan sistemlerdir. Akımın artmasıyla doğru orantılı olarak bimetal ve kontaklar üzerindeki sıcaklık artmaktadır. Bunun sonucunda uzama katsayısı büyük olan metal diğer metalin üzerine doğru bükülmekte ve kesici içerisindeki mekanik düzeneğin açılmasına yardımcı olmaktadır. Böylece anma akımının üstündeki akımlarda devre kesiciyi açarak, devreden aşırı akım geçmesine izin vermemektedir.



Şekil 2.2. Kesicinin Çalışma Mekanizması Bölümleri [12].

Manyetik koruma sistemi, aşırı akım veya kısa devre gibi olağanüstü durumlarda devre kesicinin güvenli bir şekilde devreyi açmasını sağlayan bir mekanizmadır. Bu sistem, devre kesici içerisindeki manyetik akımın oluşturduğu mıknatıslanma etkisiyle çalışır. Akım belirli bir eşik değerini aştığında, manyetik alanın etkisiyle sabit nüve, hareketli nüveyi kendisine doğru çeker. Hareketli nüvenin bu çekilme hareketi, açtırma mekanizmasını tetikleyerek devre kesicinin devreyi açmasına neden olur. Böylece, olası zararları önlemek ve sistemin güvenliğini sağlamak amacıyla devre kesici elektrik akışını keser. Termik ve manyetik koruma mekanizmaları, yüksek büyüklükteki hata akımlarına karşı hassas olacak şekilde kalibre edilir ve bu sayede elektrik devrelerinde güvenilir bir koruma sağlar. Yukarıdaki şekilde termik ve manyetik koruma ünitelerini içeren mekanik yapı verilmiştir [6-7]. Aşağıda ise 3 devre kesiciye ait resim de verilmiştir.



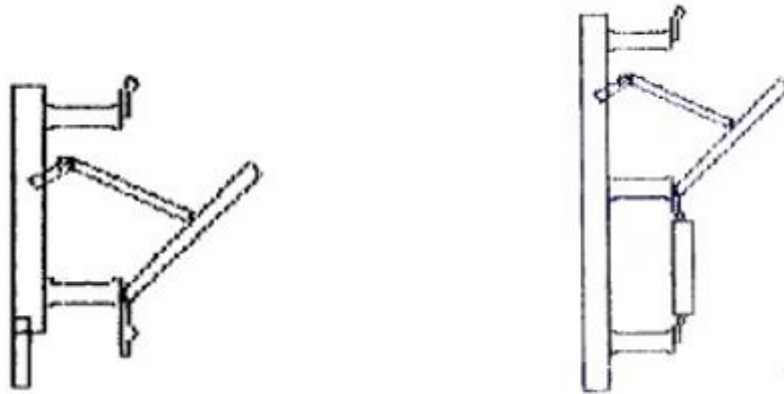
Şekil 2.3. Kesici Sembolleri.

2.3. Ayırıcı

Ayırıcılar, orta ve yüksek gerilim elektrik sistemlerinde kullanılan ve devre yüksüz iken açma-kapama işlemlerini gerçekleştirebilen önemli bir şalt cihazı türüdür. Bu cihazlar, açık konumda iken gözle görülebilir bir fiziksel ayırma aralığı oluşturarak, ilgili devrenin elektriksel olarak izole edildiğini garanti eder. Uygulamada "seksiyoner" olarak da bilinen bu ekipmanlar, son zamanlarda daha yaygın olarak "ayırıcı" adıyla anılmaktadır.

Ayırıcıların temel işlevi, elektrik tesislerinin farklı bölümlerini birbirinden ayırarak bakım, kontrol ve onarım işlemlerinin güvenli bir şekilde yapılmasını sağlamaktır. Özellikle enerji altında çalışmanın risklerini minimize etmek için devredeki enerji akışını keserek, elektrikle temas riskini ortadan kaldırır. Bu durum, personelin güvenliğini artırırken aynı zamanda ekipmanların korunmasına da katkıda bulunur. Bunun yanı sıra, birden fazla ana bara bulunan sistemlerde, bara değişiklikleri sırasında açma ve kapama manevralarının gerçekleştirilmesinde ve farklı baraların birbirine bağlanmasında da kritik bir rol oynar.

Ayırıcılar, devreden akım geçerken, yani devre yüklü iken açma veya kapama işlemi için kullanılmamalıdır. Bu tür bir işlem yapılması durumunda, hem ayırıcı cihaz ciddi hasar görebilir hem de bu işlemi gerçekleştiren personel için hayati tehlikeler oluşabilir. Bu nedenle, ayırıcıların yalnızca yüksüz devrelerde kullanılması ve bu kurala sıkı şekilde uyulması gereklidir.



Şekil 2.4. Ayırıcı [13].

Ayırıcılar, devreden akım geçerken, yani devre yüklü durumda iken açma veya kapama işlemleri için kullanılmaz. Eğer böyle bir işlem gerçekleştirilirse, hem ayırıcı cihaz zarar görebilir hem de bu işlemi yapan kişi ciddi bir tehlikeyle karşılaşabilir. Bu nedenle, açma ve kapama işlemleri sırasında ayırıcıların doğrudan kullanılması doğru bir yöntem değildir. Bu tür işlemler "manevra" olarak adlandırılır ve belli bir sıralamaya göre gerçekleştirilmelidir.

Elektrik devrelerinde açma ve kapama işlemlerinin güvenli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için belirli bir sıralamaya uyulması gerekmektedir. Açma işlemi sırasında, öncelikle devredeki kesici devreden çıkarılmalı, yani açılmalıdır. Bu adım, devrede herhangi bir akım akışının olmamasını sağlamak için kritik bir öneme sahiptir.

Kesici açıldıktan sonra, güvenliği tam anlamıyla sağlamak adına, kesicinin giriş ve çıkışında yer alan ayırıcılar belirli bir sıraya göre açılarak sistem tamamen enerjisiz hale getirilmelidir.

Kapama işlemi sırasında ise bu adımların tam tersi uygulanır. Öncelikle ayırıcılar kapatılarak elektrik akışının sağlanacağı hat hazırlanır. Daha sonra kesici kapatılarak devreye enerji verilir ve sistemin normal çalışma düzenine geçmesi sağlanır. Bu işlem sırasına titizlikle uyulması, hem sistemin güvenliği hem de ekipmanların uzun ömürlü ve sağlıklı bir şekilde çalışması açısından son derece önemlidir.

Eğer sistemde bir kesici bulunmuyorsa, önce devredeki alıcılar yükten ayrılır, daha sonra ayırıcı açılır. Bu işlem sıralaması, ekipmanın zarar görmesini ve güvenlik risklerini önlemek için son derece önemlidir [8].

2.4. Yapay Zeka

Yapay zeka, günümüzün en heyecan verici ve hızla gelişen teknolojilerinden biri olup, bilgisayarların ve bilgisayar kontrollü makinelerin insan zihnine özgü olduğu düşünülen akıl yürütme, öğrenme, anlam çıkarma ve genelleme gibi ileri düzey bilişsel süreçleri gerçekleştirme yeteneği olarak tanımlanır. Yapay zekanın sunduğu bu kabiliyetler, günümüzde pek çok alanda devrim niteliğinde gelişmelere yol açmakta ve insan hayatını köklü bir şekilde dönüştürmektedir.

Görece yeni bir kavram olmasına rağmen yapay zeka, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Örneğin, Slage yapay zekayı sezgisel programlamaya dayanan bir yaklaşım olarak görürken, Genesereth ve Nilsson onu akıllı davranışların incelenmesi üzerine yoğunlaşan bir çalışma alanı olarak ele almıştır. Onlara göre, yapay zekanın nihai amacı doğadaki varlıkların sergilediği akıllı davranışları yapay yollarla üretmeyi sağlayan teoriler geliştirmektir.

Daha farklı bir perspektiften bakan Tesler ise yapay zekayı, günümüzde hâlâ başarısız şeyler olarak tanımlayarak, alanın sürekli evrilen ve gelişmeye açık doğasına vurgu yapmıştır. Axe ise yapay zekayı, akıllı programlar geliştirmeyi amaçlayan bir bilim dalı olarak değerlendirmiştir. Axe'nin yaklaşımına göre, yapay zeka sistemleri yalnızca karmaşık problemleri çözmekle kalmayıp, aynı zamanda insan düşünme sürecini taklit edebilmeli, karşılaştıkları durumları analiz ederek mantıklı yanıtlar üretebilmeli ve sürekli öğrenerek bilgi tabanlarını genişletebilmelidir.

Tüm bu farklı tanımlar, yapay zekanın ne kadar geniş ve dinamik bir alan olduğunu gözler önüne sermektedir. İnsan zekasının belirli yönlerini taklit eden ve zamanla daha da gelişen bu teknoloji, gelecekte çok daha büyük yeniliklerin kapısını aralayarak hem bilim dünyasında hem de günlük yaşamda derin etkiler yaratmaya devam edecektir.

2.4.1. Yapay zeka yöntemleri

Sınıflandırma yöntemleri, farklı disiplinlerde yaygın olarak kullanılan ve veri analizi süreçlerinde kritik bir rol oynayan tekniklerdir. Bu yöntemler, eldeki verilerin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek amacıyla kullanılır ve genellikle tahminleme yaparak çalışır. Sınıflandırmanın temel amacı, verilerin ortak özelliklerini analiz ederek, onları belirli kategorilere ayırmaktır. Bu süreç, özellikle büyük veri setlerinin işlenmesi ve anlamlandırılması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında, farklı sınıflandırma algoritmalarının performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla K En Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı (Decision Tree), Destek Vektör Makineleri (SVM), Naive Bayes ve Sinir Ağları gibi yaygın olarak kullanılan yöntemler incelenmiştir. Bu algoritmaların başarı düzeylerini belirlemek için çeşitli istatistiksel ölçüm metriklerinden yararlanılmıştır. Değerlendirme sürecinde özellikle Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix) temel alınarak modellerin doğruluk ve güvenilirlik seviyeleri analiz edilmiştir. Karmaşıklık matrisi, modelin yaptığı tahminlerin ne kadar isabetli olduğunu gösteren detaylı bir tablo sunarak sınıflandırma başarısını anlamada önemli bir araç olarak kullanılmıştır.

Bununla birlikte, model performansını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek için aşağıdaki istatistiksel metrikler de değerlendirilmiştir:

Doğruluk (Accuracy), Modelin toplam tahminleri içindeki doğru tahmin oranını ifade eder. Genel başarı düzeyini ölçmede en temel metriklerden biridir.

Duyarlılık (Sensitivity/Recall), Pozitif sınıfların doğru tahmin edilme oranını gösterir. Yanlış negatiflerin (False Negative) minimize edilmesi gereken durumlarda kritik bir performans ölçütü olarak öne çıkar.

Kesinlik (Precision), Modelin pozitif olarak tahmin ettiği örneklerin ne kadarının gerçekten doğru olduğunu belirler. Yanlış pozitiflerin (False Positive) etkisini azaltmayı amaçlayan bir metriktir.

F1 Puanı (F1 Score), Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması alınarak hesaplanan bir ölçüttür. Bu metrik, özellikle veri setinde sınıflar arasında dengesizlik olduğunda önemli bir performans göstergesi olarak değerlendirilir.

Bu metrikler sayesinde, farklı algoritmaların güçlü ve zayıf yönleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiş ve belirli bir veri seti için en uygun modelin seçilmesi mümkün hale gelmiştir. Özellikle karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modellerinin hata oranlarını ayrıntılı bir şekilde ortaya koyarak model seçim sürecine büyük katkı sağlamıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan bu metrik, sınıflandırma algoritmalarının performanslarını değerlendirirken kritik bir referans noktası oluşturur.

Bu çalışma, farklı sınıflandırma yöntemlerinin etkinliklerini karşılaştırarak, belirli veri kümeleri için hangi algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini belirlemeye yardımcı olmuş ve gelecekte benzer problemlerde en uygun yöntemin seçilmesine katkı sağlamıştır. Aşağıdaki tabloda karmaşıklık matrisi içeriği belirtilmiştir. [10]

Tablo 2.1. Karmaşıklık matrisi içeriği.

	Pozitif Tahmin	Negatif Tahmin
Gerçek Pozitif	Doğru Pozitif (TP)	Yanlış Negatif (FN)
Gerçek Negatif	Yanlış Pozitif (FP)	Doğru Negatif (TN)

Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modellerinin tahmin performansını değerlendirmek için kullanılan önemli bir araçtır. Bu matris, modelin ne kadar doğru tahminde bulunduğunu ve hangi tür hatalar yaptığını ayrıntılı bir şekilde göstererek, modelin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeye yardımcı olur. Matrisin içeriği dört temel bileşenden oluşmaktadır: Doğru Pozitif (TP), Doğru Negatif (TN), Yanlış Pozitif (FP) ve Yanlış Negatif (FN). Bu bileşenler, sınıflandırma modelinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerlerin ne kadar uyumlu olduğunu anlamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Doğru Pozitif (TP), modelin pozitif olarak sınıflandırdığı ve gerçekte de pozitif olan örnekleri ifade eder. Örneğin, bir hastalık teşhis modelinde hastanın gerçekten hasta olması ve modelin de onu hasta olarak sınıflandırması bir doğru pozitif durumudur.

Modelin yüksek TP değerine sahip olması, pozitif sınıfları doğru bir şekilde ayırt ettiğini gösterir ve bu da sınıflandırma modelinin güvenilirliğini artırır.

Doğru Negatif (TN) ise, gerçek değeri negatif olan bir örneğin model tarafından da negatif olarak tahmin edilmesi anlamına gelir. Örneğin, bir spam filtreleme sisteminde, gerçekten spam olmayan bir e-postanın model tarafından da spam olarak algılanmaması TN değerine karşılık gelir. Yüksek TN oranı, modelin gereksiz yanlış pozitif tahminlerde bulunmadığını gösterir ve modelin genel doğruluk seviyesini artırır.

Yanlış Pozitif (FP) durumu, aslında negatif olan bir örneğin model tarafından yanlışlıkla pozitif olarak sınıflandırılmasıdır. Örneğin, bir güvenlik sisteminin masum bir kişiyi yanlışlıkla şüpheli olarak algılaması, yanlış pozitif bir tahmindir. FP değerinin yüksek olması, modelin aşırı hassas davrandığını ve yanlış alarm ürettiğini gösterir. Bu tür hataların en aza indirilmesi, modelin yanlış yönlendirmeler yapmasını önlemek açısından önemlidir.

Yanlış Negatif (FN) ise, gerçekte pozitif olan bir örneğin model tarafından yanlışlıkla negatif olarak tahmin edilmesini ifade eder. Örneğin, bir hastalık teşhis sisteminde gerçekten hasta olan bir bireyin sağlıklı olarak değerlendirilmesi, yanlış negatif bir tahmindir. FN değerinin yüksek olması, kritik durumların gözden kaçırılmasına yol açabilir ve bu da özellikle sağlık, güvenlik ve finans gibi alanlarda ciddi sonuçlar doğurabilir.

Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modellerinin tahmin doğruluğunu analiz ederken en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Modelin başarılı olması için doğru pozitif ve doğru negatif tahminlerin artırılması, yanlış pozitif ve yanlış negatif tahminlerin ise minimize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, karmaşıklık matrisi kullanılarak yapılan analizler, modelin eksik yönlerini belirleyerek iyileştirilmesi için gerekli stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olur.

2.4.2. Sınıflandırma performans ölçütleri ve eşitlikleri

Sınıflandırma modellerinin başarısını değerlendirmek için çeşitli ölçüm metrikleri kullanılmaktadır. Bu metrikler, sınıflandırıcının doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 puanı gibi özelliklerini detaylı bir şekilde analiz etmeye olanak tanır. Aşağıda, bu metriklerin tanımları, hesaplanma yöntemleri ve eşitlikleri açıklanmıştır.

2.4.2.1. Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk, modelinin tüm veri kümesi üzerinde yaptığı doğru tahminlerin oranını ifade eden temel bir performans ölçütüdür. Modelin, hem pozitif hem de negatif sınıfları ne kadar doğru bir şekilde ayırt edebildiğini gösterir. Bu metrik, doğru pozitif (TP) ve doğru negatif (TN) tahminlerin toplamının, veri kümesindeki tüm örneklerin toplamına bölünmesiyle hesaplanır.

Bir sınıflandırma modelinin doğruluk değeri ne kadar yüksekse, modelin genel performansı da o kadar başarılı kabul edilir. Ancak, doğruluk her zaman modelin gerçek başarısını tam olarak yansıtmayabilir. Özellikle sınıf dağılımının dengesiz olduğu durumlarda, doğruluk metriği tek başına yeterli olmayabilir. Örneğin, pozitif sınıfın çok az olduğu bir veri kümesinde, model yalnızca negatif sınıfı tahmin ederek yüksek doğruluk oranına ulaşabilir, ancak bu durumda modelin pozitif sınıfları doğru bir şekilde tespit edip etmediğini değerlendirmek için ek metrikler kullanmak gerekiyor.

$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2.1)$$

Bu nedenle, doğruluk metriği genellikle duyarlılık (recall), kesinlik (precision) ve F1 skoru gibi diğer performans ölçütleriyle birlikte analiz edilerek modelin farklı yönlerden değerlendirilmesi sağlanır.

2.4.2.2. Kesinlik(Precision)

Kesinlik (Precision), bir sınıflandırma modelinin pozitif olarak tahmin ettiği örneklerin gerçekten ne kadar doğru olduğunu belirten önemli bir performans ölçütüdür. Modelin yaptığı pozitif tahminlerin güvenilirliğini ölçerek, yanlış pozitif (False Positive - FP) tahminlerin etkisini değerlendirir. Matematiksel olarak, doğru pozitif (True Positive - TP) tahminlerin, toplam pozitif tahminlere (TP + FP) oranı alınarak hesaplanır.

$$\text{Kesinlik (Precision)} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2.2)$$

Kesinlik metriği özellikle yanlış pozitiflerin yüksek olduğu durumlarda kritik bir rol oynar. Örneğin, bir e-posta spam filtreleme sisteminde kesinlik değeri yüksekse, modelin spam olarak işaretlediği e-postaların büyük çoğunluğu gerçekten spamdır ve

önemli e-postalar yanlışlıkla spam klasörüne düşmez. Benzer şekilde, tıbbi teşhis sistemlerinde yüksek kesinlik, modelin yanlışlıkla sağlıklı bireyleri hasta olarak sınıflandırma olasılığının düşük olduğunu gösterir.

Ancak, kesinliğin tek başına değerlendirilmesi her zaman yeterli değildir. Modelin tüm pozitif sınıfları ne kadar iyi tespit edebildiğini ölçen duyarlılık (Recall) metriği ile birlikte analiz edilmesi gerekir.

Kesinliği artırmak için model daha az pozitif tahminde bulunabilir, ancak bu durumda bazı gerçek pozitif örnekler gözden kaçabilir. Bu nedenle, modelin genel performansını daha iyi anlamak için kesinlik ve duyarlılık dengeli bir şekilde ele alınmalı ve gerektiğinde F1 skoru gibi birleşik metrikler kullanılmalıdır.

2.4.2.3. Duyarlılık(Sensitivity/Recall)

Duyarlılık (Recall), bir sınıflandırma modelinin gerçek pozitif örnekleri ne kadar başarılı bir şekilde tespit edebildiğini gösteren önemli bir performans ölçütüdür. Modelin, gerçekten pozitif olan verileri ne derece doğru sınıflandırdığını anlamamıza yardımcı olur.

Matematiksel olarak, doğru pozitif (True Positive - TP) tahminlerin, toplam pozitif örneklerin (TP + FN) oranı alınarak hesaplanır.

$$\text{Duyarlılık (Sensitivity)} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.3)$$

Duyarlılık metriği özellikle yanlış negatiflerin (False Negative- FN) azaltılmasının kritik olduğu senaryolarda büyük önem taşır. Örneğin, bir kanser tarama sisteminde düşük duyarlılığa sahip bir model, kanserli hastaları sağlıklı olarak değerlendirme riski taşır, bu da ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Benzer şekilde, güvenlik sistemlerinde duyarlılığın düşük olması, tehdit oluşturan unsurların gözden kaçmasına sebep olabilir.

Ancak, duyarlılık tek başına modelin genel başarısını tam olarak yansıtmaz. Duyarlılığı artırmak için model daha fazla pozitif tahminde bulunabilir, fakat bu durumda yanlış pozitif (False Positive- FP) oranı da artabilir. Bu nedenle, duyarlılık metriği genellikle kesinlik (Precision) ile birlikte değerlendirilerek, modelin pozitif sınıfları doğru bir şekilde tespit etme yeteneği daha dengeli bir şekilde analiz edilir. Modelin genel performansını ölçmek için F1 skoru gibi birleşik metrikler kullanılarak duyarlılık ve kesinlik arasındaki denge sağlanabilir.

2.4.2.4. F1 Puanı(F1 Score)

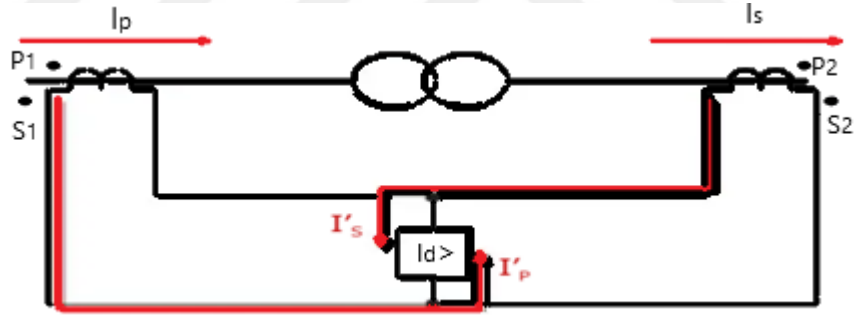
F1 puanı, kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeyi ölçen metriktir. Denklem (2-2) 'te gösterildiği gibi, kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması alınarak hesaplanır. Özellikle dengesiz sınıflara sahip veri setlerinde, modelin performansını değerlendirmek için kullanışlıdır.

$$\text{F1 Puanı (F1 Score)} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (2.4)$$

Bu metrikler, sınıflandırıcıların farklı açılardan performansını değerlendirmek için birlikte kullanılabilir. Örneğin, bir modelin genel başarısını anlamak için doğruluk ölçütü kullanılırken, dengesiz veri kümelerinde F1 puanı daha anlamlı sonuçlar sağlayabilir. Bu nedenle, değerlendirme sürecinde tüm metriklerin bir arada incelenmesi, daha kapsamlı bir analiz yapılmasına olanak tanır.

3. BARA DIFERANSİYEL KORUMA

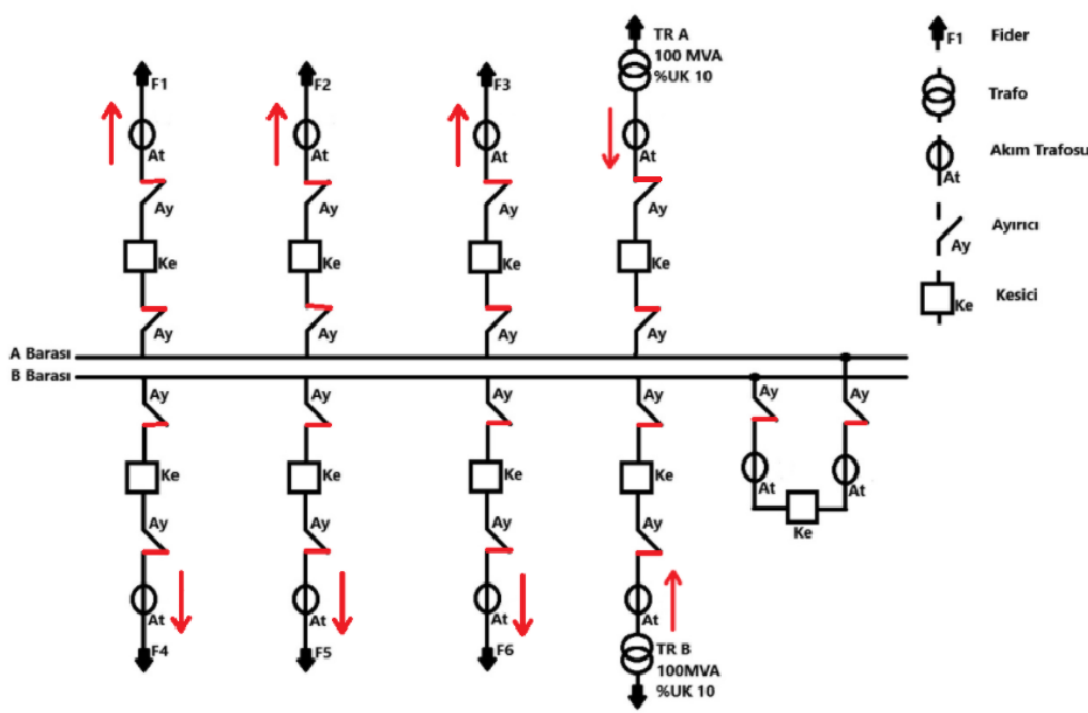
Bara diferansiyel koruma sistemleri, özellikle trafo merkezleri ve enerji dağıtım istasyonları gibi kritik altyapılarda, baralarda meydana gelebilecek arızaları erken aşamada tespit etmek için kullanılan hayati bir koruma mekanizmasıdır. Baralar, elektrik enerjisinin farklı kaynaklardan birleştirilip, çeşitli çıkışlara yönlendirildiği merkezlerdir. Bu noktalar, enerji akışının düzenli ve kesintisiz bir şekilde dağıtılmasında merkezi rol oynar, dolayısıyla herhangi bir arıza, sadece lokal değil, tüm sistemin performansını etkileyebilecek büyük çaplı kesintilere yol açabilir. Bu tür arızalar, sadece enerji kaybı değil, aynı zamanda ekipmanların zarar görmesi ve yüksek maliyetli onarımlara yol açabilir. Bu nedenle, baraların güvenli bir şekilde çalışabilmesi, enerji şebekelerinin stabilitesi ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 3.1. Bara Diferansiyel Koruma Akım Gösterimi.

Bara diferansiyel koruma sistemi, barada meydana gelen kısa devreler, aşırı akımlar, toprak arızaları veya diğer anormallikleri tespit etmek için tasarlanmıştır. Bu sayede sistem, potansiyel arızaların yayılmasını engelleyerek, elektrik akışının sürdürülebilirliğini sağlar. Sistem, giriş ve çıkış akımlarını sürekli olarak izleyerek, bu akımlar arasındaki farkı ölçer. Normalde bu fark sıfıra yakın olmalıdır, çünkü enerji doğru bir şekilde dağıtılmaktadır. Ancak bir arıza meydana geldiğinde, bu fark ani bir şekilde artar ve bu durum, arızanın sistemdeki diğer bölümlere zarar vermesini engellemek amacıyla hızlı bir şekilde algılanır.

Bara diferansiyel koruma sisteminin etkinliği, hem sistemin güvenliği hem de operasyonel verimliliği için kritik öneme sahiptir. Anormal durumlar tespit edildiğinde, sistem hızla reaksiyon gösterir ve arızalı ekipmanları devre dışı bırakır. Bu hızlı yanıt, enerji sisteminin geri kalan kısmının sağlıklı bir şekilde çalışmaya devam etmesine olanak tanır. Ayrıca, bu tür sistemler, bakım sürecinin optimizasyonunu sağlamak ve arıza tespiti sırasında zaman kaybını minimize etmek için kritik veriler sunar. Böylece, bara diferansiyel koruma, sadece bir arıza engelleme değil, aynı zamanda sistemin genel dayanıklılığını artıran proaktif bir yaklaşım sunar.



Şekil 3.2. Bara Diferansiyel Koruma Yön Gösterimi.

Diferansiyel korumanın temel prensibi, iki akım trafosu arasındackalan alana giren akımlarla, çıkan akımların toplamının sıfır olmasıdır.

Kuplaj Açık iken;

$$I_{f1} + I_{f2} + I_{f3} + I_{tra} = 0 \quad (3.1)$$

$$I_{f4} + I_{f5} + I_{f6} + I_{trb} = 0 \quad (3.2)$$

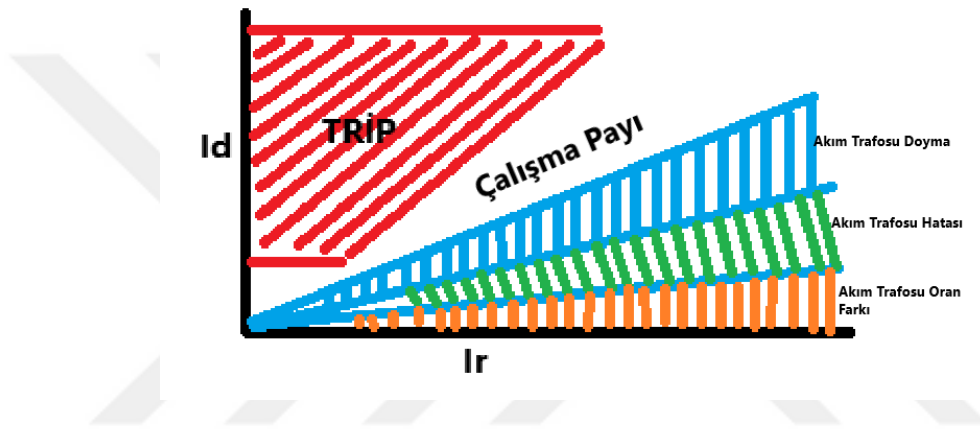
Kuplaj kapalı iken;

$$If1+If2+If3+Itra+ If3+If4+If5+Itrb=0 \quad (3.3)$$

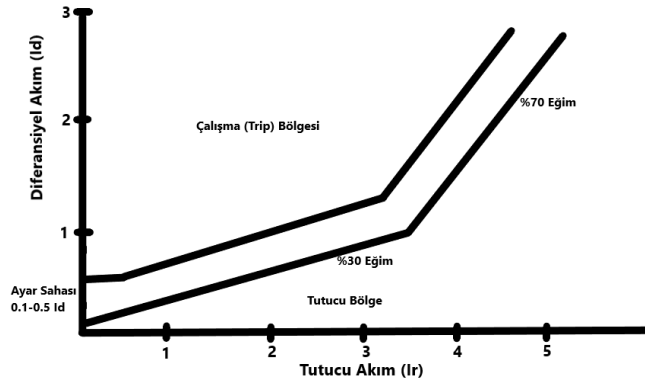
olmaktadır.

Diferansiyel koruma fonksiyonunun çalışma prensibi en basit haliyle şekilde görülen tek hat şemasıyla açıklanabilir. Burada difensiyel fonksiyon döner diskli bir aşırı akım rölesi ile modellenmiştir.

I'_s ve I'_p akımlarının birbirine eşit ve zıt yönlü oluşları $I_d >$ aşırı akım rölesi bobininin diski döndürecek tork oluşturmasını engeller.



Şekil 3.3. Diferansiyel Koruma Çalışma Alanı.



Şekil 3.4. Çalışma Bölgesi.

Bara diferansiyel arızaolarak bir adet örnek verirse ilk olarak diferansiyel akımları karşılaştırır. Eğer bu iki akım arasında bir fark varsa, bu fark barada bir arıza olabileceğini işaret eder.

Transformatör Gücü= 100 MVA

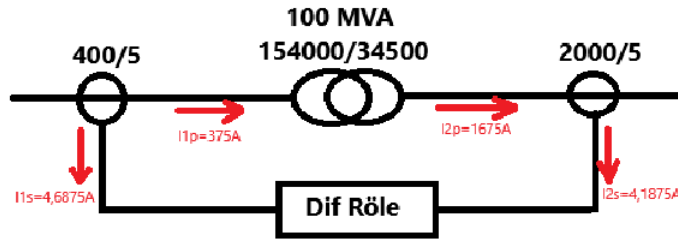
Primer Gerilim= 154 kV

Sekonder Gerilim =34,5 kV

Akım Trafoları (CT);

Primerde 400/5 oranında

Sekonderde 2000/5 oranında



Şekil 3.5. Bara Diferansiyel Arızalı Akım.

$$I_{1p} = \frac{S}{V1.\sqrt{3}} \quad (3.4)$$

$$I_{1p} = \frac{100 .10^6}{154.10^3.\sqrt{3}} \quad (3.5)$$

I_{1p} =375 A olarak Primer akımı olarak bulunmaktadır.

$$I_{2p} = \frac{S}{V2.\sqrt{3}} \quad (3.6)$$

$$I_{2p} = \frac{100 .10^6}{34,5.10^3.\sqrt{3}} \quad (3.7)$$

I_{2p} =1675 A olarak Primer akımı olarak bulunmaktadır.

Primer tarafı CT oranı 400/5

$$I_{1s} = \frac{I_{1p}}{CT \text{ oranı}} = \frac{375}{400/5} \quad (3.8)$$

I_{1s} =4,6875A olarak bulunmaktadır.

Sekonder tarafı CT oranı 2000/5

$$I_{2s} = \frac{I_{2p}}{CT\ oranu} = \frac{1675}{2000/5} \quad (3.9)$$

$I_{1s}=4,1875A$ olarak bulunmaktadır.

Diferansiyel röle, primer ve sekonder tarafındaki dönüştürülmüş akımları karşılaştırır.

Eğer bu iki akım arasında fark (ΔI) varsa, bir arıza olduğunu algılar.

$$\Delta I = I_{1s} - I_{2s} = 4,6875 - 4,1875 = 0,5\ A \quad (3.10)$$

olarak arızalı olduğu bulundumaktadır.





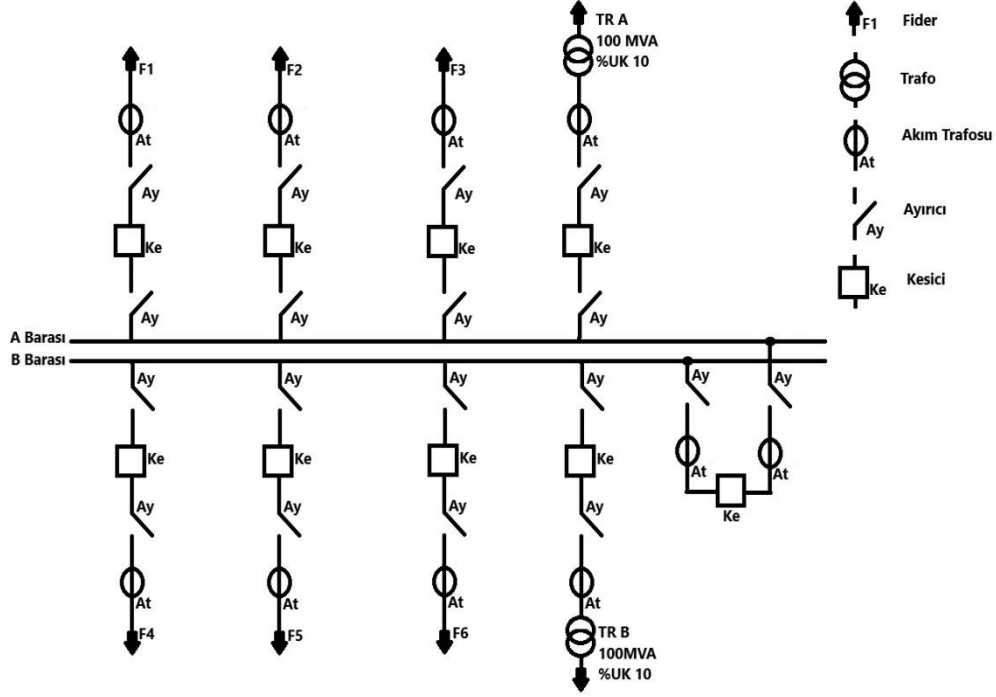
4. BARA DIFERANSİYEL KORUMA SENARYOSU

Günümüzde elektrik dağıtım sistemleri, giderek daha karmaşık hale gelen yapıları ve sürekli olarak yeni teknolojilerin entegrasyonu ile dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, yapay zeka tabanlı algoritmaların bu sistemlerdeki verimliliği artırma potansiyeli oldukça büyüktür. Elektrik dağıtım sistemlerinde yapay zeka uygulamalarının etkilerini değerlendiren bu çalışmada, gerçek zamanlı veriler kullanılarak çeşitli yapay zeka modelleri doğruluk oranları açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler, hem mevcut sistemlerin sınırlarını hem de yapay zekanın bu sınırları aşmadaki rolünü ortaya koymaktadır.

Özellikle bara diferansiyel koruma sistemleri üzerine odaklanan bu çalışmada, yapay zekanın geleneksel yöntemlere kıyasla sağladığı avantajlar detaylı olarak ele alınmıştır. Geleneksel sistemler, sabit ayarlar ve akım farkları gibi statik parametrelere dayalı olarak arızaları tespit ederken, yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, sistemlere dinamik bir uyarlanabilirlik ve öngörü yeteneği kazandırmaktadır. Bu sayede, elektrik dağıtım sistemleri yalnızca reaktif bir şekilde arızaları tespit etmekle kalmayıp, proaktif bir yönetim anlayışıyla daha güvenilir hale getirilebilmektedir.

Çalışma kapsamında, MATLAB ortamında 32.000 veri kullanılarak yapay zeka algoritmalarının eğitimi ve doğrulama süreçleri gerçekleştirilmiştir. Eğitim sırasında kullanılan veriler, modelin öğrenme kapasitesini artıracak şekilde yapılandırılmış ve farklı yapay zeka modellerinin performansı, doğruluk oranları ve hata matrisleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, enerji sistemlerinin güvenilirliğini artırmak için yapay zekanın potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bu kapsamlı değerlendirme, yapay zekanın enerji sistemlerinde sadece mevcut sorunları çözmekle kalmayıp, aynı zamanda gelecekteki ihtiyaçlara uyum sağlayacak bir altyapı oluşturma potansiyelini de gözler önüne sermektedir. Çalışmada sunulan bulgular, yapay zeka tabanlı çözümlerin, enerji dağıtım sistemlerinde operasyonel verimliliği artırma ve daha sürdürülebilir bir yönetim anlayışı sağlama noktasındaki önemini vurgulamaktadır.



Şekil 4.1. Uygulanacak Sistemin Tek Hat Şeması.

Yukarıdaki tek hat şeması, bir elektrik dağıtım sisteminin temel bileşenlerini ve bunların birbirleriyle olan bağlantılarını detaylı bir şekilde göstermektedir. Şema, enerji akışını kontrol etmek, güvenliğini artırmak ve verimliliği sağlamak için kullanılan temel elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanların her biri, sistemin genel performansı açısından önemli roller üstlenmektedir. Aşağıda, sistemin ana bileşenleri ve işlevleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1. Transformatörler (TRA ve TRB)

Sistemde kullanılan TR A ve TR B transformatörleri, her biri 100 MVA gücünde olup, enerji dönüşümünü optimize etmek ve yük dengesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Her iki transformatör de %10 bağlı kısa devre gerilimi (%UK) değerine sahiptir, bu da kısa devre anındaki gerilim düşüş oranını belirleyerek sistemin dayanıklılığı hakkında önemli bir gösterge sunar.

Bu transformatörlerin yük altında sergilediği performans, doğrusal modelleme teknikleri kullanılarak ayrıntılı bir şekilde analiz edilecektir. Özellikle ani yük değişimlerine ve dengesiz yük koşullarına nasıl tepki verdikleri incelenecek, sistem kararlılığını koruma açısından olası senaryolar değerlendirilecektir. Yapılan analizler,

transformatörlerin uzun vadeli güvenilirliğini artırmak ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için önemli çıkarımlar sunacaktır.

4.2. Fiderler (F1,F2,F3,F4,F5,F6)

Fiderler, elektrik enerjisinin güvenli ve verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayan kritik bileşenlerdir. Her bir fider, belirli bir yükü besleyerek sistemin dengeli çalışmasına katkıda bulunur. Şemada yer alan toplam altı fider, enerji dağıtım ağının farklı noktalarına güç iletimini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu yapı, sistemin esnekliğini artırırken, enerji sürekliliğini koruma açısından da önemli bir rol oynar.

Her bir fiderin üzerinden geçen akımlar, akım trafoları (AT) yardımıyla hassas bir şekilde ölçülerek sistemin genel performansı detaylı olarak analiz edilecektir. Bu ölçümler, enerji akışındaki olası dengesizlikleri tespit etmeye, aşırı yüklenme durumlarını belirlemeye ve enerji kayıplarını minimize etmeye yönelik değerli veriler sunacaktır. Elde edilen veriler doğrultusunda, sistemin daha kararlı ve verimli çalışması için gerekli iyileştirmeler yapılabilecek, böylece enerji altyapısının güvenilirliği artırılabilecektir.

4.3. Kesiciler ve Ayırıcılar

Kesiciler(Ke), elektrik sistemlerinde güvenliği sağlamak ve ekipmanları korumak adına kritik bir rol üstlenir. Aşırı akım, kısa devre veya ani gerilim dalgalanmaları gibi olağanüstü durumlar meydana geldiğinde, devreyi otomatik olarak keserek hasarın yayılmasını önler. Bu sayede, sistemin daha dayanıklı ve sürdürülebilir bir şekilde çalışması sağlanır. Kesiciler, sadece arıza anlarında değil, aynı zamanda bakım süreçlerinde de güvenli bir müdahale ortamı oluşturmak için hayati önem taşır.

Ayırıcılar(Ay), elektrik devrelerinde hatları tamamen enerjisiz bırakmadan güvenli bir şekilde izole etmeye yarayan önemli bileşenlerdir. Özellikle bakım, onarım ve sistem genişletme süreçlerinde, enerji akışını kontrollü bir şekilde keserek teknik ekiplerin güvenliğini sağlar. Kesicilerden farklı olarak, ayırıcılar yük altında açma-kapama işlemi yapmaz; bu yüzden kullanım anında sistem koşullarının dikkatlice değerlendirilmesi gerekir. Doğru şekilde çalıştırıldıklarında, hem operatör güvenliğini artırır hem de sistemin uzun vadeli güvenilirliğine katkıda bulunur.

Elektrik sistemlerinin güvenliğini daha ileri bir seviyeye taşımak amacıyla, kesici arızalarının önceden tespit edilmesini sağlayan yapay zeka tabanlı izleme sistemleri

geliştirilecektir. Bu modeller, geçmiş operasyon verilerini analiz ederek, olası kesici arızalarını yüksek doğrulukla tahmin edebilecek şekilde eğitilecektir. Gerçek zamanlı veri akışıyla desteklenen bu akıllı sistemler, arızaların önceden belirlenmesine ve gerekli önlemlerin alınmasına imkan tanıyacaktır. Böylece, hem plansız kesintilerin önüne geçilecek hem de bakım süreçleri daha verimli hale getirilerek sistemin genel güvenliği artırılacaktır.

4.4. Baralar (A ve B Barası)

Elektrik sistemlerinin omurgasını oluşturan baralar, enerji akışının yönetildiği ve dağıtıldığı merkezlerdir. Şemada yer alan A ve B baraları, sistemin farklı bölgelerine enerji iletimini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Her iki baranın sonunda yer alan kuplaj sistemi, bu baralar arasında enerji geçişini mümkün kılarak esneklik ve güvenilirlik kazandırır. Kuplaj mekanizması, bir barada arıza oluşması durumunda diğer baranın devreye girerek enerji akışını sürdürmesini sağlar. Böylece, kesintisiz güç temini sağlanarak sistemin güvenilirliği artırılır.

Baralar üzerindeki yük dağılımının dengeli olması, sistemin stabil ve verimli çalışması için büyük önem taşır. Yük dağılımındaki dengesizlikler, gerilim dalgalanmalarına ve ekipman üzerinde aşırı yüklenmelere neden olabilir. Bu nedenle, enerji akışını en uygun şekilde yönlendirebilmek adına yapay zeka tabanlı akıllı optimizasyon sistemleri devreye alınacaktır. Bu sistemler, gerçek zamanlı veri analizleri yaparak yük dengesizliklerini tespit edecek ve enerji akışını otomatik olarak dengeleyecek şekilde çalışacaktır. Böylece hem enerji kayıpları minimize edilecek hem de sistemin uzun vadeli performansı artırılarak sürdürülebilir bir güç yönetimi sağlanacaktır.

4.5. Sistemin Genel Değerlendirilmesi

Elektrik sistemleri, sürekli değişen yük koşulları ve ani dalgalanmalara karşı esnek ve dayanıklı bir yapıya sahip olmalıdır. Bu doğrultuda, sistemin farklı bileşenleri gerçek zamanlı veri analizleriyle kesintisiz olarak izlenecek ve performans optimizasyonu sağlanacaktır. Özellikle transformatörlerin yük altındaki çalışma dinamikleri, fiderlerin enerji akışı, kesici ve ayırıcıların operasyonel işlevselliği gibi kritik unsurlar detaylı bir şekilde değerlendirilecektir. Bu kapsamlı izleme süreci, olası aksaklıkları erkenden tespit ederek sistem güvenilirliğini en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir.

Günümüzün hızla gelişen elektrik dağıtım sistemlerinde, yapay zekanın entegrasyonu sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda sistemin proaktif ve akıllı bir şekilde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Geleneksel yöntemler genellikle reaktif bir yaklaşıma dayanırken, yapay zeka tabanlı algoritmalar sayesinde sistem, potansiyel arızaları henüz oluşmadan önce tespit edebilecek bir öngörü yeteneğine kavuşmaktadır.

Bu akıllı algoritmalar, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi teknikleri kullanarak geçmiş operasyon verilerini sürekli olarak değerlendirmekte ve sistemde meydana gelebilecek anomalileri önceden tahmin edebilmektedir. Böylece, kritik bileşenlerde oluşabilecek aşınma ve arızalar erkenden belirlenerek, bakım süreçleri daha planlı ve verimli hale getirilmektedir. Plansız kesintilerin en aza indirilmesi, sadece operasyonel sürekliliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda enerji kayıplarını azaltarak ekonomik verimliliği de artırır.

Yapay zeka destekli sistemlerin sağladığı bu akıllı yönetim mekanizması, enerji dağıtım altyapılarının gelecekte nasıl daha güvenilir, esnek ve sürdürülebilir hale geleceğine dair önemli bir vizyon sunmaktadır. Gelecekte, bu sistemler sadece arızaları öngörmekle kalmayacak, aynı zamanda enerji talebini optimize etmek, yük dağılımını dinamik olarak dengelemek ve şebeke esnekliğini artırmak gibi daha karmaşık görevleri de üstlenerek enerji sektöründe büyük bir dönüşümün öncüsü olacaktır.

Bu sistem, elektrik dağıtım süreçlerinin nasıl etkin bir şekilde yönetilebileceğini anlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Geleneksel sistem tasarımlarının ötesine geçerek yapay zeka ile entegre edilen bu yapı, modern elektrik dağıtım ağlarının gelecekte nasıl evrileceğini ve daha akıllı hale geleceğini göstermektedir. Verimli, güvenilir ve ölçeklenebilir bir enerji yönetimi sağlamak adına geliştirilen bu yenilikçi yaklaşım, ilerleyen yıllarda enerji sektöründe daha büyük bir dönüşümün temelini oluşturacaktır.



5. BARA DIFERANSİYEL ARIZA DURUMLARI

Seneryomuzdaki A ve B Trafosundaki arıza akımını güç, nominal gerilim ve kısa devre düşüşü olarak hesaplarsak;

Güç (S): 100 MVA = 100000 kVA

Nominal gerilim (V_{nom}): 34.5 kV

Kısa devre gerilim düşüşü (U_k): %10

Yukarıda verdiğimiz değerlere göre

$$I_{fault} = \frac{S}{V_{nom} * \sqrt{3}} * \frac{100}{U_k} \quad (5.1)$$

Yaklaşık olarak maksimum arıza akımı $I_{fault} = 16,72$ kA olacaktır.

Bu değer, kısa devre gerilim düşüşü %10 ve nominal gerilim 34.5 kV olan bir 100 MVA'lık trafo için hesaplanmış arıza akımıdır.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	TRA	TRB	KA	KB	C1	C2	C3
27	69	10	3	22	136	-267	0	161	-161	0	0	1
13081	5	30	3	2	3	-13124	0	8	-8	0	0	1
39	12986	24	6	1	4	-13060	0	11	-11	0	0	1
21	39	13182	8	0	2	-13252	0	10	-10	0	0	1
79	6586	4465	0	0	0	-11130	0	0	0	0	0	1
5322	9	3260	9	1	3	-8604	0	13	-13	0	0	1
6130	5143	5	7	2	4	-11291	0	13	-13	0	0	1
4394	4704	4306	4	3	4	-13415	0	11	-11	0	0	1

Şekil 5.1. Kuplaj Kapalı A Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.

Fider Yüklerinin Durumu: F1 - F6: Fiderler sistemin yük dağılımını temsil eder. Tabloda bazı fiderlerin yükünün çok yüksek (örneğin, F1 = 12507, F2 = 12620 gibi) olduğu, bazılarının ise neredeyse hiç yük taşımadığı görülüyor. Dengesiz bir yük dağılımı mevcut. Fiderlerin bazıları aşırı yüklenmişken, diğer fiderler minimum seviyede çalışıyor. Bu durum, sistemin yük paylaşımı açısından optimize edilmediğini ve potansiyel olarak bir arıza veya yükleme hatası yaşanabileceğini gösterebilir.

Trafo Durumları (TRA ve TRB):

TRA (Trafo A) tüm satırlarda negatif değerde (örneğin, TRA = -701 ile TRA = -13162 arasında değişiyor). Negatif değer, Trafo A'nın çıkış yönlü (yük taşıyan) bir şekilde çalıştığını gösterir. Bu, sistemdeki aktif yüklerin tamamının Trafo A tarafından karşılandığı anlamına gelir.

TRB (Trafo B) tüm satırlarda sıfır değerde. Bu, Trafo B'nin devrede olmadığını veya herhangi bir yük taşımadığını gösterir. Sistemde tek bir trafo çalışıyor gibi görünüyor.

Trafo B'nin devrede olmaması, Trafo A'nın tek başına tüm sistemi beslemek zorunda kaldığını gösteriyor. Bu durum, Trafo A'nın aşırı yüklenmesine ve olası arızalara neden olabilir. Eğer bu sistem sürekli olarak çalışıyorsa, yedekleme amacıyla Trafo B'nin devreye alınması düşünülmelidir.

Kuplaj Durumları (KA ve KB) KA (Kuplaj A): Pozitif değerde (örneğin, KA = 4 ile KA = 14 arasında). Pozitif değer, Kuplaj A'nın aktif olarak güç taşıdığını ve bu gücün genellikle A barasına yönlendiğini gösteriyor. KB (Kuplaj B): Negatif değerde (örneğin, KB = -4 ile KB = -14 arasında). Negatif değer, Kuplaj B'nin zıt yönde güç taşıdığını ve bu gücün B barasından uzaklaştığını gösteriyor.

KA ve KB arasında ters yönlü ve dengeli bir güç akışı var. Bu, sistemin kuplaj mekanizmasının aktif olduğunu ve baralar arasındaki güç dengesini sağlamaya çalıştığını gösteriyor. Ancak, yüklerin Trafo A tarafından taşınıyor olması kuplaj sisteminin verimliliğini düşürüyor olabilir.

Bara Durumları (C1, C2, C3);

C1: Tüm satırlarda 0. Genel bir bara arızası yok. Sistem stabil bir şekilde çalışıyor.

C2: Tüm satırlarda 0. Hem A barasında hem de B barasında herhangi bir spesifik arıza bulunmuyor.

C3: Tüm satırlarda 1. Kuplaj kapalı, yani A ve B baraları arasında doğrudan bir fiziksel bağlantı var.

Baralarda herhangi bir arıza olmaması, sistemin elektriksel açıdan sağlıklı olduğunu gösteriyor. Ancak kuplajın kapalı olması, baralar arasındaki güç transferini optimize etmek için sistemin manuel olarak müdahaleye açık olduğunu gösteriyor.

Son sütun ise yapay zekaya işlenen adetleri göstermektedir.

1.Satır;

Fiderler, F1 ve F2 düşük seviyede yük taşırken, F5 orta derecede, F6 ise biraz daha yüksek seviyede enerji çekmektedir. Diğer fiderlerde ise kayda değer bir yük görülmemektedir.

Trafo, TRA değeri -701 olarak hesaplanmış olup, bu durum sistem yükünün oldukça düşük seviyede olduğunu ve transformatörün rahat çalıştığını göstermektedir.

Kuplaj, KA=599 ve KB= -599 değerleri, kuplajlar arasındaki yük transferinin stabil bir şekilde gerçekleştiğine işaret etmektedir.

Baralar, baralar tarafından herhangi bir arıza veya olağan dışı bir durum tespit edilmemiş, kuplaj kapalı konumdadır.

Mevcut durumdasistemde herhangi bir arıza görünmemektedir. Yük seviyeleri düşük olduğundan sistem rahat çalışmaktadır.

2.Satır;

Fiderler, F1'in aşırı yük altında olduğu görülmektedir (12507), diğer fiderlerde ise oldukça düşük seviyelerde yüklenme bulunmaktadır.

Trafo, TRA = -12541 değeri, Trafo A'nın yüksek yük altında çalıştığını ve tüm sistem yükünü tek başına taşıdığını göstermektedir.

Kuplaj, KA = 9 ve KB = -9 değerleri, sistemde yük transferinin oldukça düşük seviyede olduğunu ve yük dağılımında ciddi bir dengesizlik bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Baralar, Baralar tarafında herhangi bir sorun rapor edilmemiştir, kuplaj kapalı durumdadır.

F1 üzerindeki aşırı yüklenme, uzun vadede fiderde arızaya, aşırı ısınmaya veya sistemde dengesiz bir enerji dağılımına yol açabilir. Acil müdahale gerekebilir.

3. Satır;

Fiderler, F2'nin aşırı yük altında olduğu görülmektedir (12620), diğer fiderlerin yükü ise oldukça düşük seviyededir.

Trafo, TRA = -12714, tüm yükün Trafo A tarafından taşındığını göstermektedir. Kuplaj, KA = 14 ve KB = -14 değerleri, düşük seviyede olsa da kuplajlar arasında bir yük akışı olduğunu göstermektedir.

Baralar, Baralar stabil ve herhangi bir arıza rapor edilmemiştir.

F2 üzerindeki aşırı yüklenme, sistemde ciddi bir dengesizliğe neden olabilir. Yedek fiderlerin devreye alınması veya yükün daha eşit bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

4. Satır;

Fiderler, F3 yüksek yük taşımakta (12511), diğer fiderler ise düşük seviyelerde çalışmaktadır.

Trafo, TRA = -12580, yine sistem yükünün tamamen Trafo A üzerinde olduğunu göstermektedir.

Kuplaj, KA = 5 ve KB = -5 değerleri, minimal düzeyde bir yük transferi olduğunu ifade etmektedir.

Baralar, Baralarda herhangi bir arıza görülmemektedir.

F3'ün aşırı yük altında olması, sistemde dengesizlik yaratmaktadır. Uzun süreli yüksek yük, fiderin dayanıklılığını zorlayarak aşırı ısınma veya arızalara yol açabilir.

5. Satır;

Fiderler, F2 ve F3 yük taşıyor, diğer fiderler düşük seviyede çalışmaktadır.

Trafo, TRA = -13162, sistem yükünün artarak Trafo A'nın daha yoğun çalıştığını göstermektedir.

Kuplaj, KA = 8 ve KB = -8 değerleri, orta seviyede bir yük transferi olduğunu ortaya koymaktadır.

Baralar, Baralarda herhangi bir problem gözlenmemektedir.

Yük artışı ile birlikte sistem üzerindeki baskı yükselmektedir. Trafo A'nın sürekli olarak yüksek yük altında çalışması, aşırı ısınma veya verim kaybına yol açabilir. Yük dağılımını dengelemek için bazı fiderlere yönlendirme yapılmalıdır.

6. Satır:

Fiderler, F1 ve F3 yük taşımaktadır, diğer fiderler düşük seviyelerde çalışmaktadır.

Trafo, TRA = -11255, sistemin orta seviyede bir yük altında çalıştığını göstermektedir.

Kuplaj, KA = 4 ve KB = -4 değerleri, güç transferinin düşük seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. Baralar, Baralarda herhangi bir sorun gözlenmemektedir.

Sistem orta seviyede yük altında çalışıyor olsa da yük dağılımındaki dengesizlik devam etmektedir. Uzun vadede bu durum, belirli fiderlerin aşırı yüklenmesine ve sistem verimliliğinin düşmesine neden olabilir.

7. Satır:

Fiderler, F1 ve F2 yüksek yük altında çalışmaktadır.

Trafo, TRA = -12477, sistem yükünde artış olduğunu göstermektedir.

Kuplaj, KA = 9 ve KB = -9 değerleri, orta seviyede bir güç transferine işaret etmektedir.

Baralar, Baralarda herhangi bir sorun bulunmamaktadır.

F1 ve F2'nin aynı anda yüksek yük altında olması, sistemde yük dengesizliğine yol açmaktadır. Fiderlerin daha dengeli çalıştırılması ve yük transferinin daha verimli yapılması gerekmektedir.

8. Satır:

Fiderler, F1, F2 ve F3 yük taşımaktadır.

Trafo, TRA = -12406, sistem yükünün sabitlenmiş olduğunu göstermektedir.

Kuplaj, KA = 4 ve KB = -4 değerleri, düşük seviyede bir yük transferine işaret etmektedir.

Baralar: Baralarda herhangi bir problem bulunmamaktadır.

Sistem genel olarak stabil görünse de yük dağılımında hala dengesizlik bulunmaktadır. Özellikle bazı fiderler yoğun çalışırken diğerleri neredeyse hiç kullanılmamaktadır.

Tüm veriler göz önüne alındığında, sistemde ciddi bir yük dengesizliği olduğu açıkça görülmektedir. Bazı fiderler aşırı yükte çalışırken, diğerleri düşük seviyede çalışmaktadır. Özellikle F1, F2 ve F3 belirgin şekilde yüksek yük altında olup, diğer fiderler neredeyse ihmal edilebilir seviyede çalışmaktadır. Bu durum, sistemde belirli bölgelerde aşırı ısınmaya, ekipman ömrünün kısılmasına ve uzun vadede olası arızalara yol açabilir.

Ayrıca, sistemin tamamında yükün yalnızca Trafo A üzerinden taşındığı ve Trafo B'nin devrede olmadığı dikkat çekmektedir. Bu, sistemin tek bir trafoya bağımlı çalıştığını ve uzun vadede aşırı yüklenme nedeniyle verimsizlik ve arıza riskinin arttığını göstermektedir.

Kuplaj sisteminde KA ve KB değerlerinin orta seviyelerde seyretmesine rağmen, yük transferinin beklenenden daha düşük seviyede gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bu durum, sistemin yedekleme kapasitesinin tam anlamıyla kullanılmadığını ve enerji

akışının daha dengeli yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. Yük paylaşımı mekanizmasının daha verimli hale getirilmesi, olası arızalara karşı sistemin dayanıklılığını artıracak ve ani yük değişimlerinde daha kararlı bir çalışma sağlayacaktır.

Öte yandan, baralar açısından herhangi bir teknik arıza veya kritik bir sorun tespit edilmemiş olsa da, mevcut dengesiz yük dağılımı ve sistemin yalnızca tek bir trafoya bağımlı şekilde çalışması, uzun vadede ciddi riskler barındırmaktadır. Tek bir trafo üzerinden tüm yükü yönetmek, sistemin belirli noktalarında aşırı gerilim ve ısınma sorunlarına yol açabileceği gibi, ani yük artışlarında istenmeyen kesintilere neden olabilecek bir zafiyet oluşturmaktadır.

Bu nedenle, yük dengesinin sağlanması için sistemin daha dinamik bir yönetim anlayışıyla optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yedek trafo ve fiderlerin daha etkin kullanılması, kuplaj mekanizmasının daha verimli çalışacak şekilde yeniden yapılandırılması ve enerji akışını daha esnek hale getirecek otomatik kontrol sistemlerinin devreye alınması, sistemin sürdürülebilirliğini ve operasyonel güvenliğini önemli ölçüde artıracaktır.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	TRA	TRB	KA	KB	C1	C2	C3
37	55	14	3	28	249	0	-386	-106	106	0	0	1
1	7	30	7	1	3	0	14391	-14338	14338	1	1	1
9	3	24	7	2	0	0	14469	-36	36	1	2	1
3	0	2	13476	4	10	0	-13492	-5	5	0	0	1
5	3	4	27	13431	15	0	-13480	-12	12	0	0	1
12	1	1	26	23	12608	0	-12659	-14	14	0	0	1
9	3	3	58	6206	5821	0	-12091	-15	15	0	0	1
12	1	1	6422	5	4619	0	-11048	-14	14	0	0	1
7	1	3	6012	2779	6	0	-8801	-11	11	0	0	1
13	2	3	3730	3943	4174	0	-11852	-18	18	0	0	1
2	3	3	36	26	3	0	905	-887	887	1	1	1
5	3	4	6	3	7	0	856	-12	12	1	2	1

Şekil 5.2. Kuplaj Kapalı B Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.

1. Satır

TRA = -386, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -106$, $KB = 106$: A kuplajı negatif, B kuplajı pozitif bir yük taşıyor.

$C1 = 0$, $C2 = 0$, $C3 = 1$: Arıza yok, sistem sorunsuz çalışıyor. Kuplaj kapalı.

Sistemde herhangi bir arıza veya olağandışı bir durum tespit edilmemiştir. Mevcut durumda, A trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıırken, B trafosu devrede değildir. Bu, sistemin mevcut enerji ihtiyacını tek bir trafo üzerinden karşılayacak şekilde çalıştığını göstermektedir.

Kuplajın kapalı olmasına rağmen, enerji dağıtımında belirgin bir dengesizlik veya operasyonel bir problem gözlemlenmemektedir. Bu durum, sistemin mevcut yük seviyelerinde stabil bir şekilde çalıştığını ve herhangi bir aşırı yüklenme ya da gerilim dalgalanmasının yaşanmadığını göstermektedir.

2. Satır;

$TRA = 14391$, $TRB = 0$: A trafosu pozitif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -14338$, $KB = 14338$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif bir yük var.

$C1 = 1$, $C2 = 1$, $C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Yorum: A barasında yaşanan kısa devre arızası, enerji sisteminin işleyişini olumsuz etkiliyor. Pozitif yük taşıyan A trafosu yüksek bir enerji üretirken, A kuplajı yükü dengelemekte zorluk çekiyor. Bu tür arızalar, trafonun yıpranmasına ve enerji kayıplarına yol açabilir. Arızanın hızlı bir şekilde giderilmesi önemli.

3. Satır;

$TRA = 14469$, $TRB = 0$: A trafosu pozitif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -36$, $KB = 36$: A kuplajında düşük negatif, B kuplajında düşük pozitif yük var.

$C1 = 2$, $C2 = 1$, $C3 = 1$: B barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

B barasında meydana gelen kısa devre arızası, enerji dengesizliğine yol açabilir. A trafosu pozitif bir yük taşımakta ve bu, kuplajın dengesiz çalışmasına neden olabilir. Sistem, B barasındaki arızayı hızlı bir şekilde çözmezse, arıza diğer bileşenlere de yayılabilir.

4. Satır;

$TRA = -31492$, $TRB = 0$: A trafosu büyük bir negatif yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -5, KB = 5$: A kuplajında düşük negatif, B kuplajında düşük pozitif yük var.

$C1 = 1, C2 = 1, C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

A barasındaki kısa devre arızası, trafonun aşırı yüklenmesine neden olmuş durumda. Trafonun bu şekilde uzun süre çalıştırılması, sistemde ciddi arızalara ve hatta fiziksel hasara yol açabilir. Bu büyüklükteki negatif yük, enerji dağıtımının verimli bir şekilde yapılamadığını gösteriyor.

5. Satır;

$TRA = -13480, TRB = 0$: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -12, KB = 12$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1, C2 = 1, C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Yorum: A barasında yaşanan kısa devre arızası, negatif yük taşımaya sebep olmuş. Bu durumda trafonun yük taşıma kapasitesi düşer ve sistemin verimliliği azalır. Arızanın devam etmesi, trafoda daha büyük hasarlara yol açabilir. Bu tür durumlarda kısa devreyi izole etmek için trafonun devre dışı bırakılması gerekebilir.

6. Satır;

$TRA = -12659, TRB = 0$: A trafosu negatif yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -14, KB = 14$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1, C2 = 1, C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Yorum: Negatif yük taşıyan A trafosu, baradaki kısa devre arızası nedeniyle dengeli çalışmıyor. Kısa devre kaynaklı enerji kayıpları, trafonun performansını düşürmekte. Bu durum, enerji dağıtım ağında daha büyük sorunlara yol açabilir.

7. Satır;

$TRA = -12091, TRB = 0$: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -15, KB = 15$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1, C2 = 1, C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Yorum: A barasındaki kısa devre arızası, sistemin performansını olumsuz etkiliyor. Trafonun negatif yük taşıması, enerji kayıplarına ve kuplajlar arasında dengesizliklere yol açmakta. Arızanın hızlı bir şekilde giderilmesi gerekiyor.

8. Satır;

$TRA = -11048$, $TRB = 0$: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -13$, $KB = 13$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1$, $C2 = 1$, $C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Bu satırda da A barasında bir kısa devre arızası mevcut. Bu durum, enerji dağıtımında aksaklıklara yol açabilir. Sistem, arızayı izole etmek için kuplajı kapalı tutsa da, trafonun negatif yük taşıması dengesizliğin sürdüğünü göstermektedir.

9. Satır;

$TRA = -8801$, $TRB = 0$: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -11$, $KB = 11$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1$, $C2 = 1$, $C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

Negatif yük taşıyan A trafosu, baradaki kısa devre arızasından etkileniyor. Enerji dağıtımında yaşanan bu dengesizlik, sistemin performansını düşürmekte. Trafonun aşırı yüklenmemesi için arızanın bir an önce giderilmesi gerekiyor.

10. Satır;

$TRA = -11852$, $TRB = 0$: A trafosu negatif bir yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

$KA = -18$, $KB = 18$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif yük var.

$C1 = 1$, $C2 = 1$, $C3 = 1$: A barasında kısa devre arızası var. Kuplaj kapalı.

A barasında meydana gelen kısa devre arızası, enerji kaybına ve trafonun yük taşıma kapasitesinin azalmasına yol açıyor. Kuplajların açık tutulmaması, enerji sisteminde hasarı sınırlandırma çabası olarak değerlendirilebilir.

11. Satır;

$TRA = 905$, $TRB = 0$: A trafosu pozitif bir yük taşıyor, ancak bu yük oldukça düşük. B trafosu devrede değil.

$KA = -887$, $KB = 887$: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif bir yük var.

$C1 = 1$, $C2 = 2$, $C3 = 1$: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj kapalı.

Bu durumda B barasında bir faz-toprak arızası mevcut. Bu tür bir arıza, enerji sisteminde akım kaçaklarına yol açabilir ve sistem güvenliği açısından ciddi riskler

oluşturur. A trafosunun pozitif bir yük taşımasına rağmen, yükün düşük olması, sistemin mevcut arıza nedeniyle dengeli bir şekilde enerji sağlayamadığını gösteriyor. Faz-toprak arızası izole edilmeli ve ekipmanların hasar görmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle kuplajın kapalı tutulması, arızanın diğer bölgelere yayılmasını engellemek adına doğru bir tercihtir.

12. Satır;

TRA = 856, TRB = 0: A trafosu düşük bir pozitif yük taşıyor. B trafosu devrede değil.

KA = -12, KB = 12: A kuplajında negatif, B kuplajında pozitif bir yük var.

C1 = 1, C2 = 2, C3 = 1: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj kapalı.

12. satır, 11. satırdaki durumla benzer bir senaryoyu temsil etmektedir. B barasındaki faz-toprak arızası, enerji sisteminin sağlıklı çalışmasını engellemekte ve sistemin dengesiz bir şekilde çalışmasına neden olmaktadır. Faz-toprak arızaları genellikle izolasyon bozulmaları, aşırı gerilim etkileri veya dış etkenler (örneğin, hava koşulları veya mekanik hasarlar) nedeniyle meydana gelir. Bu tür arızalar, hatlarda aşırı akım akışına, gerilim düşümüne ve koruma sistemlerinin devreye girmesine yol açarak şebeke güvenliğini tehdit eder.

Bu durumda, A trafosu pozitif yük taşıyor olsa da, bu yük oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bu da mevcut arızanın, enerji dağıtımında dengesiz bir yük dağılımına ve sistemin tam kapasiteyle çalışamamasına sebep olduğunu gösterir. Trafo, beklenen güç seviyesinde çalışmadığında, bu durum hem enerji kayıplarına hem de sistemin kararsız bir hale gelmesine yol açabilir. Özellikle kritik yüklerin bulunduğu sistemlerde, bu tür dengesizlikler cihazların zarar görmesine, voltaj dalgalanmalarına ve hatta büyük ölçekli kesintilere sebep olabilir.

Bunun yanı sıra, A barasında sıkça kısa devre arızalarının meydana gelmesi, enerji sisteminin genel verimliliğini ciddi şekilde düşürmektedir. Kısa devre arızaları, hatlarda aşırı akım oluşturarak şalt ekipmanlarının (kesiciler, sigortalar, röleler vb.) daha sık devreye girmesine ve sistemin sürekli kesintilere uğramasına sebep olabilir. Bu tür tekrar eden arızalar, trafo ve enerji iletim hatlarında ısınma, ekipman yaşlanması, aşırı yüklenme ve verim kaybına neden olur.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	TRA	TRB	KA	KB	C1	C2	C3
437	0	45	0	0	0	-482	0	0	0	0	0	0
0	0	-91	0	0	0	15170	0	0	0	1	1	0
11833	34	1	0	0	0	-11868	0	0	0	0	0	0
20	9303	1	0	0	0	-9324	0	0	0	0	0	0
20	58	10717	0	0	0	-10795	0	0	0	0	0	0
749	91	16	0	0	0	-856	0	0	0	0	0	0
81	647	13	0	0	0	-741	0	0	0	0	0	0
78	38	776	0	0	0	-892	0	0	0	0	0	0
448	38	436	0	0	0	-922	0	0	0	0	0	0
428	348	33	0	0	0	-809	0	0	0	0	0	0
19	382	364	0	0	0	-765	0	0	0	0	0	0
292	155	163	0	0	0	-610	0	0	0	0	0	0
5148	5039	29	0	0	0	-10216	0	0	0	0	0	0
9	5229	3356	0	0	0	-8594	0	0	0	0	0	0
3510	0	8257	0	0	0	-11767	0	0	0	0	0	0
3716	3022	2141	0	0	0	-8879	0	0	0	0	0	0
20	17	34	0	0	0	859	0	0	0	1	1	0
26	11	46	0	0	0	14221	0	0	0	1	1	0
11	43	7	0	0	0	877	0	0	0	1	1	0

Şekil 5.3. Kuplaj Açık A Trafosu Devrede İken Arıza Akımları.

1. Satır TRA = -299, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor. Bu, ters enerji akışına işaret edebilir ve hatalı bağlantılar veya enerji geri beslemesi gibi sorunlardan kaynaklanabilir. B trafosu ise devrede değil ve yük taşımıyor. KA = 0, KB = 0: A ve B kuplajlarında herhangi bir yük gözlenmiyor. C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Sistem barasında herhangi bir arıza bulunmuyor. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Bu senaryoda A trafosunun negatif yük taşıması sistemde bir ters akış durumu olduğunu gösteriyor. Ters enerji akışı enerji güvenliği açısından büyük bir sorun oluşturabilir. Bunun nedeni enerji tüketiminin beklenen yönde olmaması veya hatalı bağlantılar olabilir. Sistemin sorunsuz çalışabilmesi için yükün dengelenmesi ve ters akışın nedeninin tespit edilmesi gerekiyor.

2. Satır TRA = 15064, TRB = 0: A trafosu pozitif bir yük taşıyor ve bu yük oldukça yüksek seviyede. Bu durum A trafosunun enerji iletiminde aktif olarak kullanıldığını gösteriyor. B trafosu devrede değil ve yük taşımıyor. KA = 0, KB = 0: A ve B kuplajlarında herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında kısa devre arızası mevcut. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Bu senaryoda A barasında kısa devre arızası olması ciddi bir problemdir. Kısa devre arızası enerji iletiminde büyük

bir kesintiye yol açabilir ve ekipmanlara zarar verebilir. Arızanın sebebinin hızlıca belirlenmesi ve sistemin güvenli hale getirilmesi gerekiyor.

3. Satır TRA = -11232, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor ve bu oldukça büyük bir değer. Negatif yük, ters enerji akışı veya enerji geri beslemesi gibi sorunları işaret edebilir. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 0, C3 = 0: A barasında bir kısa devre arızası mevcut. Kuplaj açık durumda. Sonuç: A trafosunda negatif yük ve A barasında kısa devre arızasının bir arada bulunması enerji iletim sisteminin stabilitesini ciddi şekilde bozabilir. Bu durumun devam etmesi enerji sisteminde daha büyük arızalara yol açabilir. Hızlı bir müdahale gereklidir.

4. Satır TRA = -12918, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor ve bu yük değeri oldukça yüksek. Bu durum ters enerji akışını veya sistemde hatalı bir enerji iletimini gösteriyor. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük taşınmıyor. C1 = 1, C2 = 0, C3 = 0: A barasında bir kısa devre arızası mevcut. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Sistem, A barasındaki kısa devre arızası nedeniyle kritik bir durumda. Bu arıza, enerji iletimini tamamen kesintiye uğratabilir ve ekipmanların zarar görmesine yol açabilir. Ters enerji akışının nedenleri de araştırılmalıdır.

5. Satır TRA = -9931, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor. Bu, enerji geri beslemesi veya enerji akışındaki bir sorunun göstergesi olabilir. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: A ve B kuplajlarında yük taşınmıyor. C1 = 1, C2 = 0, C3 = 0: A barasında bir kısa devre arızası mevcut. Kuplaj açık durumda. Sonuç: A trafosu negatif yük taşıırken A barasındaki kısa devre arızası sistemdeki enerji akışını olumsuz etkiliyor. Bu durum, ekipmanların zarar görmesini önlemek için hızlıca çözülmelidir.

6. Satır TRA = -921, TRB = 0: A trafosu düşük bir negatif yük taşıyor. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: A ve B kuplajlarında herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Faz-toprak arızası, enerji kaçaklarına ve izolasyon hatalarına yol açabilir. Bu tür arızalar hızlıca izole edilmeli ve sistemin güvenliği sağlanmalıdır.

7. Satır TRA = -723, TRB = 0: A trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıyor. Bu, enerji geri beslemesinin az da olsa devam ettiğini gösteriyor. B trafosu devrede değil.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda.

A barasındaki faz-toprak arızası enerji iletiminde kesintilere ve sistemin kararsız çalışmasına yol açabilir.

8. Satır TRA = -881, TRB = 0: A trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıyor. Bu durum enerji sistemindeki dengesizlikleri işaret edebilir. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: A ve B kuplajlarında herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: A barasındaki faz-toprak arızası, enerji iletim sistemini dengesiz hale getiriyor. Bu tür arızalar, izolasyon kaybı ve enerji kaçakları gibi sorunlara yol açabilir. İlgili baranın izolasyonu yapılarak sorunun giderilmesi önemlidir.

9. Satır TRA = -870, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor, ancak bu yük düşük seviyede. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 2, C3 = 0: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: B barasındaki faz-toprak arızası enerji sistemi için büyük bir risk oluşturuyor. Arızanın giderilmesi ve sistemin stabilitesinin yeniden sağlanması gerekiyor.

10. Satır TRA = -857, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor. Bu, ters enerji akışı veya enerji dengesizliği işaret edebilir. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 2, C3 = 0: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Faz-toprak arızası, enerji sisteminde kritik bir sorun oluşturuyor. Bu arıza, sistemde enerji kesintilerine ve ekipman arızalarına neden olabilir. Sorunun hızlıca çözülmesi gerekiyor.

11. Satır TRA = -754, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor. Bu yük düşük seviyede, ancak sistemdeki dengesizliklere işaret edebilir. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Faz-toprak arızası, izolasyon sorunlarının bir göstergesidir ve sistemin kararlılığını olumsuz etkileyebilir. Arıza, enerji iletiminde büyük bir kesintiye yol açmadan giderilmelidir.

12. Satır TRA = -730, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor, ancak bu yük düşük seviyede. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 2, C3 = 0: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık

durumda. Sonuç: Enerji sistemi, B barasındaki arıza nedeniyle kritik bir dengesizlik yaşıyor. Arızanın hızlı bir şekilde tespit edilip onarılması şarttır.

13. Satır TRA = -8138, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor ve bu yük oldukça yüksek seviyede. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: A barasındaki faz-toprak arızası, sistemin çalışmasını ciddi anlamda etkileyebilir. Negatif yük seviyesinin de yüksek olması, arızanın boyutunu artırmaktadır.

14. Satır TRA = -9061, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor ve bu yük oldukça yüksek. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 2, C3 = 0: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Faz-toprak arızası enerji sisteminde kritik bir sorun oluşturuyor. Yüksek negatif yük, sistemin dengeyi sağlayamadığını gösteriyor. Hızlı bir müdahale gereklidir.

15. Satır TRA = -9825, TRB = 0: A trafosu negatif bir yük taşıyor ve bu yük oldukça yüksek seviyede. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0: A barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Yüksek negatif yük seviyesinin yanında, A barasındaki faz-toprak arızası sistemde büyük bir sorun yaratabilir. Ekipmanların zarar görmemesi için arıza acilen giderilmelidir.

16. Satır TRA = 9551, TRB = 0: A trafosu pozitif bir yük taşıyor ve bu yük oldukça yüksek seviyede. B trafosu devrede değil. KA = 0, KB = 0: Kuplajlarda herhangi bir yük bulunmuyor. C1 = 1, C2 = 2, C3 = 0: B barasında faz-toprak arızası var. Kuplaj açık durumda. Sonuç: Pozitif yük seviyesinin yüksek olmasına rağmen, B barasındaki faz-toprak arızası enerji sisteminin kararlılığını bozmaktadır. Arıza hızlı bir şekilde tespit edilip onarılmalıdır.

17. Satır A trafosu 913 birimlik pozitif bir yük taşımakta olup, bu değer sistemin mevcut enerji talebinin oldukça düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Buna karşın, B trafosu devrede değildir ve herhangi bir yük taşımamaktadır. Kuplaj sisteminde KA ve KB değerleri sıfır olarak gözlemlenmiş, yani iki bara arasında herhangi bir güç transferi gerçekleşmemektedir.

Ancak, C1 ve C2 değerlerinin 1, C3 değerinin ise 0 olması, A barasında bir faz-toprak arızasının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu tür bir arıza, özellikle uzun süre giderilmezse, sistemde enerji kaçaklarına yol açarak verimliliği düşürebilir ve olası kısa devre risklerini artırabilir. Mevcut düşük yük seviyesi, arızanın sistem üzerindeki anlık etkisini sınırlasa da, bu durum sistemin uzun vadeli güvenilirliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Arızanın hızla tespit edilip giderilmesi, ilerleyen süreçlerde daha büyük sorunların önüne geçmek adına kritik bir önem taşımaktadır.

18.Satır, Bu satırda, A trafosunun taşıdığı yükün 14.582 birime ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu, sistemin mevcut enerji talebinin oldukça yüksek olduğunu ve transformatörün önemli bir yük altında çalıştığını göstermektedir. Öte yandan, B trafosu devrede olmamakla birlikte herhangi bir yük taşımamaktadır, bu da tüm enerji talebinin yalnızca A trafosu tarafından karşılandığını ortaya koymaktadır.

Kuplaj sistemine baktığımızda, KA ve KB değerlerinin sıfır olduğu, yani iki bara arasında herhangi bir yük transferinin gerçekleşmediği görülmektedir. Ancak en kritik nokta, C1 ve C2'nin 1, C3'ün ise 0 olmasıyla birlikte A barasında bir faz-toprak arızasının devam ettiğidir. Mevcut enerji talebinin yüksek olması, bu arızanın sistem üzerindeki etkisini daha da artırmakta ve operasyonel riskleri büyütmektedir. Özellikle yüksek yük altında çalışan sistemlerde, faz-toprak arızaları izolasyon hatalarına, enerji kaçaklarına ve hatta büyük çaplı kesintilere neden olabilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle, sistemin stabilitesini korumak adına arızanın en kısa sürede giderilmesi kritik bir öncelik olmalıdır.

19. Satır, A trafosunun taşıdığı yük, 817 birim seviyesinde olup oldukça düşük bir değerdedir. Bu, sistemin mevcut enerji ihtiyacının azaldığını veya belirli bir darboğazın söz konusu olduğunu düşündürmektedir. B trafosu yine devrede değildir ve herhangi bir yük taşımamaktadır, yani enerji dağıtımını yalnızca A trafosu üzerinden sağlanmaktadır.

Kuplaj değerleri $KA=0$ ve $KB=0$ olarak tespit edilmiştir, bu da iki bara arasında güç transferi olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak, en dikkat çekici husus, önceki satırlarda olduğu gibi A barasında devam eden faz-toprak arızasıdır ($C1=1$, $C2=1$, $C3=0$). Düşük yük seviyesi, sistem üzerindeki genel baskıyı azaltsa da, bu tür bir arızanın varlığı, sistemin uzun vadeli güvenliği açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. Arızanın devam etmesi, izolasyon problemlerine yol açarak enerji

kayıplarını artırabilir ve beklenmedik arızalara zemin hazırlayabilir. Bu nedenle, yük seviyesinin düşük olması bir avantaj gibi görünse de, sorunun giderilmesi için vakit kaybetmeden müdahale edilmesi şarttır.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	TRA	TRB	KA	KB	C1	C2	C3
0	0	0	29	130	35	0	-194	0	0	0	0	0
0	0	0	4	3	-126	0	14906	0	0	1	2	0
0	0	0	10903	16	2	0	-10921	0	0	0	0	0
0	0	0	2	9739	4	0	-9745	0	0	0	0	0
0	0	0	10	128	12499	0	-12637	0	0	0	0	0
0	0	0	729	38	8	0	-775	0	0	0	0	0
0	0	0	55	643	12	0	-710	0	0	0	0	0
0	0	0	31	16	799	0	-846	0	0	0	0	0
0	0	0	438	14	325	0	-777	0	0	0	0	0
0	0	0	433	351	37	0	-821	0	0	0	0	0
0	0	0	22	403	292	0	-717	0	0	0	0	0
0	0	0	218	260	344	0	-822	0	0	0	0	0
0	0	0	4156	5715	17	0	-9888	0	0	0	0	0
0	0	0	21	6025	3388	0	-9434	0	0	0	0	0
0	0	0	4814	7	6228	0	-11049	0	0	0	0	0
0	0	0	3161	3657	3261	0	-10079	0	0	0	0	0
0	0	0	15	6	7	0	864	0	0	1	2	0
0	0	0	3	15	27	0	14714	0	0	1	2	0
0	0	0	11	19	13	0	822	0	0	1	2	0
74	56	229	440	58	221	-359	-719	0	0	0	0	0

Şekil 5.4. Kuplaj Açık B Trafosu Devrede İken Elde Edilen Arıza Akımları.

1. Satır;

TRA = 0, TRB = -194: A trafosu devrede değil. B trafosu negatif bir yük taşıyor, ancak bu yük oldukça düşük seviyede.

KA = 0, KB = 0: Kuplaj A ve B'den herhangi bir yük geçişi bulunmuyor.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Bu durumda sadece B trafosu devrede ve sistemde herhangi bir arıza gözlemlenmemiş. B trafosundaki düşük negatif yük, sistemin stabilize bir şekilde çalıştığını, ancak enerji talebinin düşük olduğunu gösterebilir. Kuplajların açık olması, enerji geçişini önlemiş ve sistemi izole etmiştir.

2. Satır;

TRA = 0, TRB = -14906: A trafosu devrede değil. B trafosu yüksek seviyede negatif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 2: A kuplajında yük yok, ancak B kuplajında pozitif bir yük bulunuyor.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 1: Bara arızası yok. Kuplaj kapalı durumda.

B trafosu devrede ve oldukça yüksek bir negatif yük taşıyor. Kuplaj B'deki pozitif yük, enerji akışının bu kuplaj üzerinden sağlandığını işaret ediyor. Kuplajın kapalı olması, enerji transferini sağlıyor, ancak sistemin aşırı yüklenmesi durumunda bu enerji transferinin sistem güvenliği açısından risk oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

3. Satır;

TRA = 0, TRB = -10921: A trafosu devrede değil. B trafosu orta seviyede negatif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

istemde yalnızca B trafosunun aktif olduğu ve orta seviyede bir yük taşıdığı gözlemlenmektedir. Yük dağılımı genel olarak dengeli görünse de, kuplajların açık olması nedeniyle baralar arasında herhangi bir enerji transferi gerçekleşmemektedir. Bu durum, sistemin yedekleme mekanizmasının devre dışı olduğunu ve enerji akışının tek bir trafo üzerinden sağlandığını göstermektedir. Olası bir arıza veya enerji kesintisi durumunda, sistemin yedekleme avantajından faydalanamayacağı ve kesinti riskinin artabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, sistemin daha esnek ve güvenli çalışmasını sağlamak adına kuplajların kontrollü bir şekilde yönetilmesi ve gerektiğinde enerji transferinin sağlanması önemli bir optimizasyon noktası olacaktır.

4. Satır;

TRA = 0, TRB = -9745: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu devrede ancak düşük bir yük taşıyor. Kuplajların açık olması, enerji transferini engelliyor. Bu durum, sistemin enerji ihtiyacının düşük olduğu bir dönemde

izole çalıştığını gösterebilir. Ayrıca, herhangi bir arıza olmadığı için sistem güvenli bir şekilde çalışmaktadır.

5. Satır;

$TRA = 0$, $TRB = -12637$: A trafosu devrede değil. B trafosu yüksek seviyede negatif bir yük taşıyor.

$KA = 0$, $KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0$, $C2 = 0$, $C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu devrede ve yüksek bir negatif yük taşıyor. Ancak kuplajların açık olması, bu yükün transfer edilmesini önüyor. Sistem, enerji akışını izole ederek çalışıyor ve herhangi bir arıza bulunmuyor. Bu durum, sistemin yüksek enerji talebine rağmen izole bir şekilde çalıştığını gösteriyor.

6. Satır;

$TRA = 0$, $TRB = -775$: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük bir negatif yük taşıyor.

$KA = 0$, $KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0$, $C2 = 0$, $C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu, oldukça düşük seviyede negatif bir yük taşıyor ve bu durum sistemin enerji talebinin minimum seviyede olduğunu gösteriyor. Kuplajların açık olması nedeniyle baralar arasında herhangi bir enerji transferi gerçekleşmiyor, bu da sistemin tamamen izole bir çalışma modunda olduğunu ortaya koyuyor. Mevcut koşullar altında, sistemin düşük talebe uyum sağladığı ve herhangi bir dengesizlik veya kritik sorun yaşanmadığı görülmektedir. Ancak, uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından, yük akışının optimize edilmesi ve kuplaj mekanizmasının gerektiğinde devreye alınarak enerji yönetiminin daha esnek hale getirilmesi faydalı olabilir.

7. Satır;

$TRA = 0$, $TRB = -710$: A trafosu devrede değil. B trafosu çok düşük bir negatif yük taşıyor.

$KA = 0$, $KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0$, $C2 = 0$, $C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Sadece B trafosu devrede ve oldukça düşük bir negatif yük taşımaktadır. Sistem, herhangi bir arıza olmadan düşük enerji talebine göre çalışıyor ve kuplajların açık olması enerji transferini önüyor.

8. Satır;

TRA = 0, TRB = -846: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu devrede ancak taşıdığı yük oldukça düşük. Kuplajların açık olması enerji geçişini önüyor. Sistem, herhangi bir arıza olmaksızın izole bir şekilde çalışıyor. Bu durum, düşük enerji talebinin karşılandığını ve herhangi bir risk olmadığını gösteriyor.

9. Satır;

TRA = 0, TRB = -777: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Sadece B trafosu devrede ve düşük bir negatif yük taşıyor. Kuplajların açık olması nedeniyle enerji transferi yapılmıyor. Bu, sistemin izole bir şekilde çalıştığını ve herhangi bir arıza olmadığını gösteriyor.

10. Satır;

TRA = 0, TRB = -821: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Bu durumda sistemin enerji ihtiyacı oldukça düşük. B trafosu bu ihtiyacı karşılıyor ve kuplajların açık olması enerji transferini engelliyor. Arıza olmadığı için sistem güvenli bir şekilde çalışıyor.

11. Satır;

TRA = 0, TRB = -717: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Sistem düşük enerji ihtiyacını karşılamak için sadece B trafosunu kullanıyor. Enerji transferi yapılmadığı için izole çalışma durumu devam ediyor. Arıza bulunmuyor ve sistem güvenli.

12. Satır;

$TRA = 0, TRB = -822$: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük bir negatif yük taşıyor.

$KA = 0, KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Yorum: Sadece B trafosu devrede ve düşük bir yük taşıyor. Bu durumda herhangi bir arıza bulunmuyor. Sistem düşük enerji talebine göre güvenli bir şekilde izole çalışıyor.

13. Satır;

$TRA = 0, TRB = -9888$: A trafosu devrede değil. B trafosu orta seviyede bir negatif yük taşıyor.

$KA = 0, KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu aktif olarak çalışmakta ve orta seviyede bir yük taşımaktadır. Bu durum, sistemin enerji ihtiyacının belirli bir seviyeye ulaştığını ve talebin artış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ancak, kuplajların açık olması nedeniyle baralar arasında herhangi bir enerji transferi gerçekleşmemekte, bu da sistemin izole bir çalışma düzeninde olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut koşullar altında herhangi bir arıza veya dengesizlik tespit edilmemiş olup, sistem güvenli bir şekilde faaliyet göstermektedir. Bununla birlikte, enerji talebindeki olası artış göz önünde bulundurularak yük akışının daha verimli yönetilmesi ve gerektiğinde kuplajların kontrollü şekilde devreye alınması, sistemin esnekliğini ve güvenilirliğini artırabilir.

14. Satır;

$TRA = 0, TRB = -9434$: A trafosu devrede değil. B trafosu orta seviyede negatif bir yük taşıyor.

$KA = 0, KB = 0$: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

$C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0$: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

B trafosu orta seviyede bir yük taşıyor ve kuplajlar açık durumda. Bu durum, enerji talebinin sistem tarafından güvenli bir şekilde karşılandığını, ancak izole bir şekilde çalışıldığını gösteriyor.

15. Satır;

TRA = 0, TRB = -11049: A trafosu devrede değil. B trafosu nispeten yüksek bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Sadece B trafosu devrede ve yüksek bir negatif yük taşıyor. Kuplajların açık olması, sistemin yedek enerji kaynaklarını kullanmadan çalıştığını gösteriyor. Arıza olmaması güvenlik açısından olumlu bir durumdur.

16. Satır;

TRA = 0, TRB = -10079: A trafosu devrede değil. B trafosu nispeten yüksek bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Yorum: B trafosu yüksek bir negatif yük taşıyor. Bu yük, enerji talebinin arttığını gösterebilir. Sistem herhangi bir arıza olmaksızın izole bir şekilde çalışıyor.

17. Satır

TRA = 0, TRB = 864: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük seviyede pozitif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok. Kuplaj açık durumda.

Bu durumda B trafosu devrede ve pozitif bir yük taşıyor. Ancak bu yük oldukça düşük seviyede. Kuplajların açık olması, enerji transferini engelliyor. Sistem güvenli bir şekilde çalışıyor.

18. Satır;

TRA = 0, TRB = 14714: A trafosu devrede değil. B trafosu oldukça yüksek bir pozitif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 1: A kuplajında yük yok, B kuplajında pozitif bir yük var.

C1 = 0, C2 = 2, C3 = 1: B barasında arıza var, kuplaj kapalı.

Bu durumda B trafosu yüksek bir pozitif yük taşıyor ve B barasında bir arıza var. Bu tür bir arıza, enerji kayıplarına ve ekipman hasarına yol açabilir. Kuplajın kapalı olması enerji transferine izin verirken, sistem güvenliği açısından dikkat edilmesi gerekmektedir.

19. Satır;

TRA = 0, TRB = 822: A trafosu devrede değil. B trafosu düşük seviyede pozitif bir yük taşıyor.

KA = 0, KB = 1: A kuplajında yük yok, B kuplajında pozitif bir yük var.

C1 = 0, C2 = 2, C3 = 1: B barasında arıza var, kuplaj kapalı.

Bu durumda B trafosu pozitif bir yük taşıyor ancak yük oldukça düşük seviyede. B barasında bir faz-toprak arızası mevcut ve bu tür bir arıza enerji kaybına ve güvenlik sorunlarına neden olabilir. Kuplajın kapalı olması, enerji transferine devam edildiğini ancak arızanın daha fazla sorun yaratmaması için dikkat edilmesi gerektiğini gösteriyor. Sistemin arızayı izole etmek ve çözüm üretmek için bakım ihtiyacı var.

20. Satır;

TRA = 74, TRB = 56: A trafosu düşük seviyede pozitif bir yük taşıyor. B trafosu da düşük bir pozitif yük taşıyor.

KA = 229, KB = 440: A kuplajında pozitif bir yük var, B kuplajında ise daha yüksek bir pozitif yük bulunuyor.

C1 = 58, C2 = 221, C3 = 0: Bara arızası yok, kuplaj açık durumda.

Hem A hem de B trafoları devrede ve düşük seviyede pozitif yük taşıyor. Kuplajlar aracılığıyla enerji geçişi sağlanıyor, ancak yük dengesi açısından B kuplajındaki yük, A kuplajına göre daha yüksek. Sistemde herhangi bir bara arızası bulunmuyor, kuplajın açık olması enerji akışını engellemiş. Bu durum sistemde daha stabil bir enerji akışı sağlanabilmesi için kuplajların kapatılmasını veya yedek trafoların devreye alınmasını gerektirebilir.

21. Satır

TRA = -359, TRB = -719: A trafosu düşük seviyede negatif bir yük taşıyor. B trafosu ise A'ya göre daha yüksek bir negatif yük taşıyor.

KA = 0, KB = 0: Kuplajlardan herhangi bir yük geçişi yok.

C1 = 0, C2 = 0, C3 = 0: Bara arızası yok, kuplaj açık durumda.

A ve B trafoları negatif yük taşıyor, ancak bu yükler nispeten düşük seviyede. Kuplajların açık olması, enerji transferini engelliyor ve sistem izole bir şekilde çalışıyor. Bu durum enerji talebinin düşük olduğu bir dönemde sistemin güvenli bir şekilde çalıştığını gösteriyor. Arıza bulunmaması olumlu bir durum, ancak yükler dengelenmelidir.

5.1. Genel Yorum ve Sistem Analizi

5.1.1. Trafo yük durumları

TRA (Trafo A) ve TRB (Trafo B) arasındaki yük dağılımı, sistemin güvenilirliği ve verimli çalışması açısından kritik bir unsurdur. Bazı senaryolarda, A trafosunun devrede olmaması nedeniyle tüm yükün B trafosuna aktarılması, sistemde dengesizliklere ve belirli bileşenlerin aşırı yüklenmesine neden olabilmektedir. Bu tür dengesiz durumlar, özellikle uzun vadede transformatörlerin performansını olumsuz etkileyebilir ve beklenmedik arızalara yol açabilir.

Öte yandan, TRA ve TRB'nin aynı anda pozitif yük taşıdığı durumlarda sistem genel olarak stabil bir şekilde çalışmaktadır. Ancak, gözlemlenen düşük yük seviyeleri, enerji talebinin genel olarak düşük olduğunu veya mevcut trafoların kapasitelerinin tam anlamıyla kullanılmadığını göstermektedir. Bu durum, sistemin potansiyelini tam olarak değerlendirmek adına yük akışının optimize edilmesi ve gerektiğinde trafolar arasında daha dengeli bir yük paylaşımı sağlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve yapay zeka destekli analizlerin kullanılması, sistemin daha esnek ve sürdürülebilir hale getirilmesine katkı sağlayabilir.

5.1.2. Kuplajların durumu

Kuplajlar (KA ve KB), enerji sisteminde yük transferinin sağlanması ve trafolar arasındaki dengeyi koruma açısından kritik bir işlev görmektedir. Ancak analiz edilen verilere göre, çoğu durumda kuplajların açık olduğu (C3 = 0) tespit edilmiştir.

Kuplajların açık olması, enerji akışını kısıtlayarak trafoların birbirine destek olmasını engellemekte ve sistemin izole bir çalışma modunda kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek enerji taleplerinde trafoların aşırı yüklenmesine ve uzun vadede sistemin sürdürülebilirliğinin tehlikeye girmesine yol açabilir.

Öte yandan, kuplajların kapalı olduğu ($C3 = 1$) senaryolarda enerji akışına izin verilmekte ve yüklerin daha dengeli bir şekilde taşınması mümkün hale gelmektedir. Ancak bu tür durumlarda bile $C2 = 1$ (A barasında arıza) veya $C2 = 2$ (B barasında arıza) gibi sorunların sıkça gözlemlenmesi, sistemin güvenilirliği açısından önemli bir risk teşkil etmektedir. Yani, kuplajların devrede olması yük paylaşımını iyileştirse de, beraberinde yeni güvenlik risklerini de getirebilmektedir. Bu nedenle, sistemin daha kararlı bir şekilde çalışabilmesi için kuplaj yönetiminin dinamik bir şekilde optimize edilmesi ve potansiyel arızaların önceden tespit edilerek giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapay zeka tabanlı izleme sistemleri ve otomatik dengeleme mekanizmaları, bu tür dengesizlikleri minimize etmek ve enerji yönetimini daha verimli hale getirmek için güçlü çözümler sunabilir.

5.1.3. Baraların durumu

$C1 = 0$ olan durumlarda, sistemde herhangi bir genel bara arızası bulunmamaktadır. Bu, enerji dağıtımı açısından oldukça olumlu bir durumdur çünkü sistemin istikrarlı ve sorunsuz çalıştığını gösterir. Enerjinin kesintisiz ve verimli bir şekilde dağıtılması, hem tüketiciler hem de işletmeler için büyük bir avantajdır. Ancak, bu durumun devamlılığını sağlamak için sistemin düzenli olarak izlenmesi ve olası risklere karşı önlem alınması gerektiği unutulmamalıdır.

$C2 = 1$ veya $C2 = 2$ olan durumlarda ise A veya B barasında arızalar tespit edilmiştir. Bu arızalar, özellikle faz-toprak arızaları gibi ciddi sorunlar içeriyorsa, enerji kaçaklarına ve önemli güvenlik risklerine yol açabilir. Faz-toprak arızaları, sistemdeki izolasyon hatalarını artırarak hem enerji kayıplarını hem de ekipmanların zarar görme olasılığını yükseltir. Bu tür arızaların sıklıkla tekrarlandığı gözlemlenmiştir ki, bu durum sistemin bakım ve onarım ihtiyacının ne kadar acil ve düzenli olduğunu gözler önüne seriyor. Bu tekrarlayan sorunlar, sistemin belirli noktalarda zayıf olduğunu ve bu bölgelerde daha kapsamlı incelemeler yapılması gerektiğini düşündürüyor.

Faz-toprak arızaları gibi ciddi sorunlar, sistem güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür arızalar, yalnızca enerji kayıplarına değil, aynı zamanda yangın riski

gibi hayati tehlikelere de neden olabilir. Bu nedenle, bu tür arızaların hızlı bir şekilde tespit edilip giderilmesi, hem can güvenliği hem de ekipmanların ömrü açısından büyük önem taşır. Ayrıca, bu sorunların önlenmesi için daha proaktif bir yaklaşım benimsenmeli ve sistemin daha dayanıklı hale getirilmesi için yatırımlar yapılmalıdır. Bu, uzun vadede hem maliyetleri düşürecek hem de sistemin güvenilirliğini artıracaktır.

5.1.4. Fider arızaları

Sistem içerisinde, fiderler (F1, F2, F3, vb.) üzerinde çok sayıda faz kısa devre ve faz-toprak arızası raporlanmıştır. Bu durum, sistemin belirli bölgelerinde ciddi bir zafiyet olduğunu düşündürüyor. Özellikle aynı anda birden fazla fidere etki eden arızalar, enerji dağıtımında zincirleme sorunlara yol açabilir. Bu tür senaryolar, sistemin kırılganlığını ortaya koyarken, bir arızanın diğerini tetikleyebileceği ve tüm sistemi olumsuz etkileyebileceği endişesini de beraberinde getiriyor. Bu nedenle, bu tür arızaların önlenmesi için daha kapsamlı bir analiz ve önleyici tedbirler alınması gerektiği açıkça görülüyor.

Fider bazlı arızalar, trafoların ve baraların yük dengesini bozarak sistemin istikrarsız hale gelmesine neden olabilir. Bu durum, enerji dağıtımının verimliliğini düşürürken, aynı zamanda ekipmanların aşırı yüklenmesine ve erken yıpranmasına da yol açabilir. Arızaların tekrar etmesi, fider hatlarının aşırı yüklenmeye veya dışsal faktörlere (örneğin, hava koşulları, yıpranmış ekipmanlar veya yetersiz bakım) maruz kaldığını gösterebilir. Bu tekrarlayan sorunlar, sistemin belirli noktalarda zayıf olduğunu ve bu bölgelerde daha kapsamlı incelemeler yapılması gerektiğini düşündürüyor. Ayrıca, bu tür arızaların sıklığı, mevcut bakım stratejilerinin yetersiz kaldığını ve daha proaktif bir yaklaşım benimsenmesi gerektiğini ortaya koyuyor.

Bu tür sorunların önlenmesi için, fider hatlarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerekli yükseltmelerin yapılması büyük önem taşıyor. Ayrıca, sistemin daha akıllı ve otomatik hale getirilmesi, arızaların erken tespit edilmesini ve müdahale süreçlerinin hızlandırılmasını sağlayabilir. Bu hem enerji kesintilerinin önlenmesi hem de sistemin genel güvenilirliğinin artırılması açısından kritik bir adım olacaktır. Sonuç olarak, fider bazlı arızaların sıklığı, sistemin sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından ciddi bir uyarı işareti olarak değerlendirilmeli ve bu konuda acil önlemler alınmalıdır.

5.1.5. Enerji dengesizlikleri

TRA ve TRB'nin yük taşıma seviyeleri arasında ciddi dengesizlikler gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin yük dağılımı açısından verimli çalışmadığını ve belirli noktalarda aşırı yüklenmeler yaşandığını gösteriyor. Özellikle bir trafonun devrede olduğu ve diğerinin devre dışı kaldığı durumlarda enerji talebi tek bir trafoya yüklenmektedir. Bu, yedekleme sistemlerinin devreye alınmadığını veya kuplajların açık tutulduğunu gösterebilir. Bu tür bir senaryo, sistemin esnekliğinin yetersiz olduğunu ve yük dağılımının doğru şekilde yönetilmediğini düşündürüyor. Ayrıca, bu durumun uzun süre devam etmesi, trafoların aşırı ısınmasına ve erken yıpranmasına neden olabilir, bu da hem maliyetleri artırır hem de sistemin güvenilirliğini riske atar.

Negatif yük durumları ise sistemde tersine enerji akışı veya dengesiz yüklenme anlamına gelebilir. Bu tür durumlar, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki farklardan kaynaklanabilir. Örneğin, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş panelleri veya rüzga türbinleri gibi) sisteme fazla enerji vermesi veya tüketim noktalarında beklenmedik düşüşler yaşanması, negatif yük durumlarını tetikleyebilir. Bu durumlar, sistemin dengesini bozarak hem ekipmanların performansını olumsuz etkileyebilir hem de enerji kalitesini düşürebilir. Bu nedenle, sistemin daha dengeli hale getirilmesi için ek analizler ve düzenlemeler yapılması gerektiği açıkça görülüyor.

Bu tür sorunların çözümü için, yük dağılımının daha dinamik ve otomatik bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşıyor. Örneğin, akıllı şebeke teknolojileri veya otomatik yük transfer sistemleri, yük dengesizliklerini minimize edebilir ve sistemin daha verimli çalışmasını sağlayabilir. Ayrıca, yedekleme sistemlerinin doğru şekilde devreye alınması ve kuplajların uygun şekilde yönetilmesi, trafolar arasındaki yük dengesizliklerini azaltabilir. Sonuç olarak, bu tür sorunların çözümü, sistemin hem kısa vadede istikrarını korumasını hem de uzun vadede sürdürülebilirliğini sağlayacaktır. Bu nedenle, bu konuda acil adımlar atılması ve sistemin daha esnek ve dayanıklı hale getirilmesi gerekiyor.

5.1.6. Arıza yönetimi ve sistem güvenliği

Faz-toprak ve faz kısa devre arızalarının tekrarlanması, sistemin arıza tespiti ve yönetimi süreçlerinde iyileştirmeler yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu tür arızalar enerji kaybına, ekipman hasarına ve potansiyel güvenlik sorunlarına neden olabilir.

Kuplajların kapalı olduğu durumlarda enerji transferi yapılabilirken, açık olduğuunda sistem izole çalışmaktadır. Arıza durumlarında kuplajın açılması, arızayı izole etmek açısından doğru bir tercih olabilir.

Arızaların tespiti ve çözümü için düzenli bakım, ekipman yenileme ve enerji yönetim sistemlerinin modernize edilmesi gereklidir.





6. YAPAY ZEKA MODELLERİNİN UYGULANMASI

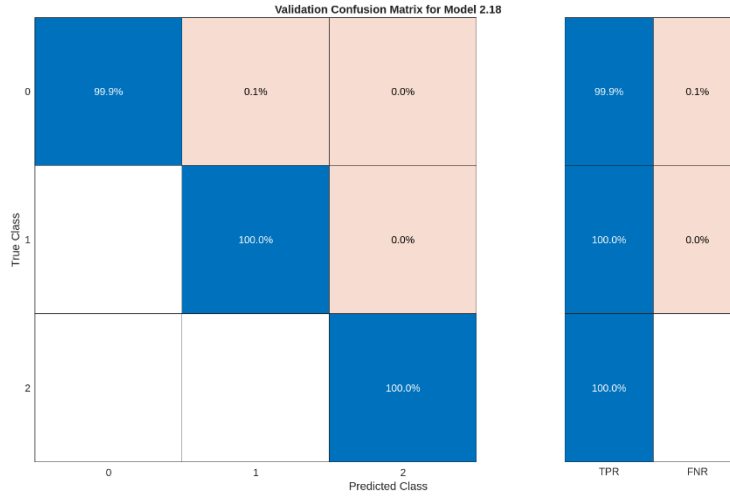
Bu çalışmada, yapay zeka modellerinin elektrik dağıtım sistemlerinde hata tespiti ve performans analizi süreçlerine uygulanabilirliği detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Yapay zeka eğitim süreci, geniş kapsamlı bir veri setiyle gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda 32.000 veri MATLAB ortamında işlenmiştir. Çalışmanın temel aşamaları; veri ön işleme, model seçimi, model eğitimi ve hata tespitine yönelik performans değerlendirmesinden oluşmaktadır.

Veri ön işleme aşamasında, ham veriler temizlenmiş, eksik veriler tamamlanmış ve model eğitimi için uygun hale getirilmiştir. Eğitim ve test süreçlerinde yüksek performans sağlamak amacıyla veriler, eğitim ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Bunun ardından, seçilen yapay zeka modelleri eğitilerek sistemdeki hata oranlarını azaltmak ve doğru tahminler sağlamak hedeflenmiştir.

Model değerlendirme sürecinde, hata matrisleri (confusion matrix) oluşturulmuş ve her modelin sınıflandırma doğruluğu, yanlış pozitif oranı (false positive rate), yanlış negatif oranı (false negative rate) gibi kritik metrikler üzerinden performansı analiz edilmiştir. Bu sayede, modellerin sadece genel doğruluğu değil, aynı zamanda hataları tespit etme ve sistem güvenilirliğini artırma konusundaki etkinlikleri de ortaya konmuştur.

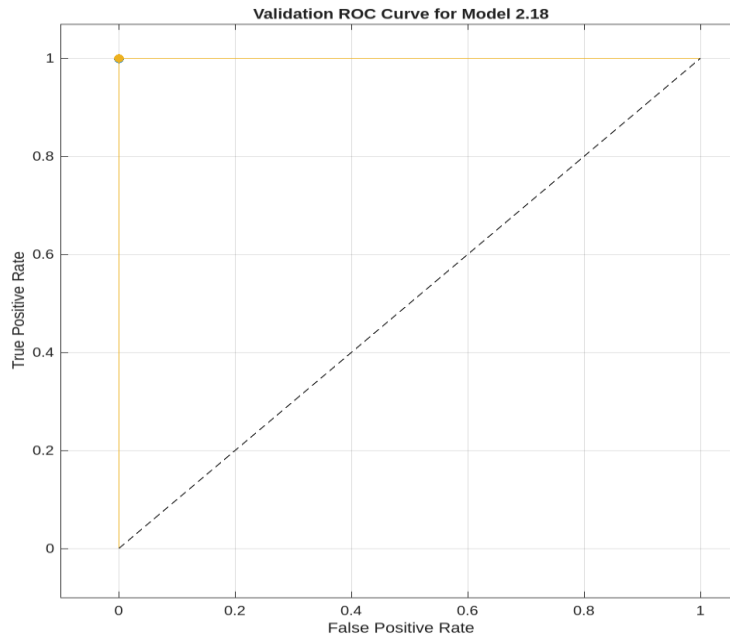
6.1. K En Yakın Komşu(KNN)

KNN algoritması, bir veri noktasını sınıflandırırken, veri setindeki diğer noktalarla olan mesafesini değerlendirir ve en yakın K komşusuna bakarak bir karar verir. Bu yöntem, oldukça sezgisel ve anlaşılır bir yaklaşım sunar. Örneğin, bir noktanın hangi gruba ait olduğunu belirlemek için, etrafındaki "komşularına" bakar ve onların özelliklerinden yola çıkarak bir sonuca varır. Bu, gerçek hayatta da sıkça kullandığımız bir mantığa benzer: Bir kişinin veya bir şeyin özelliklerini anlamak için, çevresindekilere bakarız. KNN de tam olarak bu prensiple çalışır.



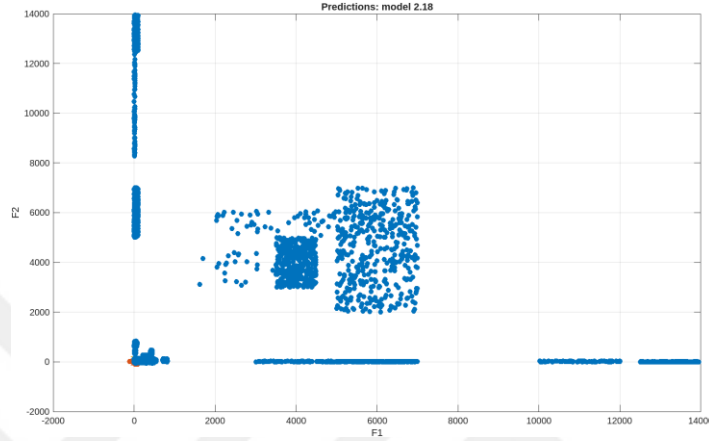
Şekil 6.1. KNN Doğrulama Karmaşası Matrisi.

Belirli bir veri noktasının hangi sınıfa ait olacağını, çevresindeki "komşu" noktaların hangi sınıfa ait olduğuna bakarak belirler. Burada kritik olan, K değerinin (yani kaç komşuya bakılacağını) doğru seçilmesidir. Örneğin, $K = 5$ seçildiğinde, en yakın 5 komşunun sınıflarına bakılır ve çoğunluk hangi sınıfta ise yeni nokta o sınıfa atanır. Bu, demokratik bir karar mekanizması gibi düşünülebilir: "Çoğunluğun kararına uyulur." Ancak, K değerinin çok küçük veya çok büyük seçilmesi, modelin performansını olumsuz etkileyebilir. Örneğin, $K = 1$ seçilirse, model aşırı öğrenme (overfitting) eğiliminde olabilir; K çok büyük seçilirse de model çok genelleyici hale gelebilir ve detayları kaçırabilir.



Şekil 6.2. KNN Doğrulama Roc Eğrisi.

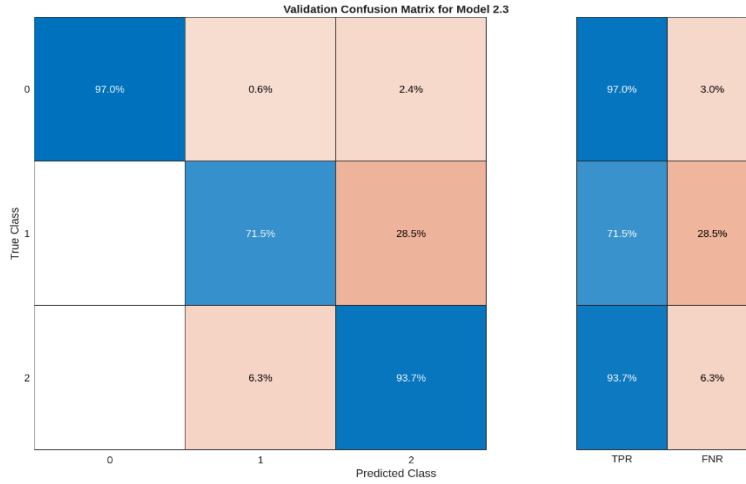
KNN, basit ve etkili bir yöntemdir. Karmaşık matematiksel hesaplamalara gerek duymadan, veri noktaları arasındaki mesafeyi temel alarak çalışır. Bu nedenle, özellikle küçük ve orta ölçekli veri setlerinde oldukça başarılı sonuçlar verir. Ayrıca, hataların lokalize edilmesinde de oldukça etkilidir. Örneğin, bir veri noktasının yanlış sınıflandırılması durumunda, bu hatanın nedenini komşularına bakarak anlamak mümkündür. Bu, modelin şeffaf ve yorumlanabilir olmasını sağlar.



Şekil 6.3. KNN Tahminler Modeli.

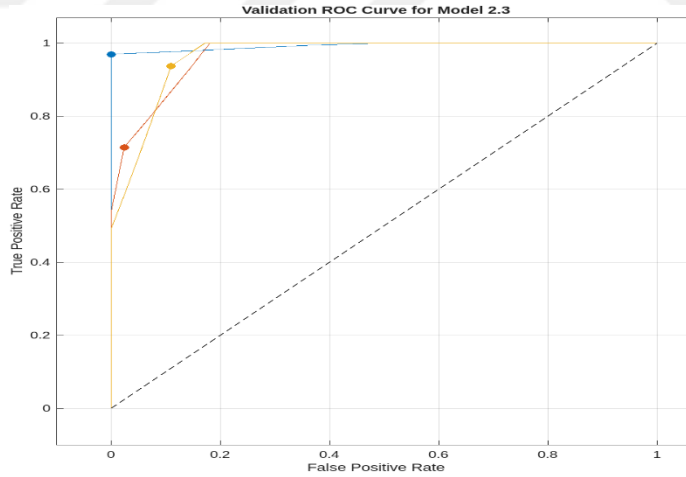
6.2. Karar Ağacı (Decision Tree)

Karar ağacı algoritması, veriyi bir hiyerarşi şeklinde bölerek sınıflandırma veya tahmin yapar. Bu yöntem, adeta bir ağacın dallarını andıran bir yapıda ilerler. Her düğümde bir karar kuralı vardır ve veriler bu kurallara göre dallara ayrılır. Bu, insanların günlük hayatta karar verirken kullandığı "eğer-ise" mantığına benzer. Örneğin, bir elektrik sistemindeki bir arızayı tespit etmek için, "Eğer akım değeri 5A'nın üzerindeyse, bu bir kısa devre olabilir; değilse, başka bir sorun araştırılmalıdır" gibi bir mantık yürütülebilir. Karar ağaçları da tam olarak bu şekilde çalışır ve her adımda veriyi daha küçük parçalara böler.



Şekil 6.4. Karar Ağacı Doğrulama Karmaşası Matrisi.

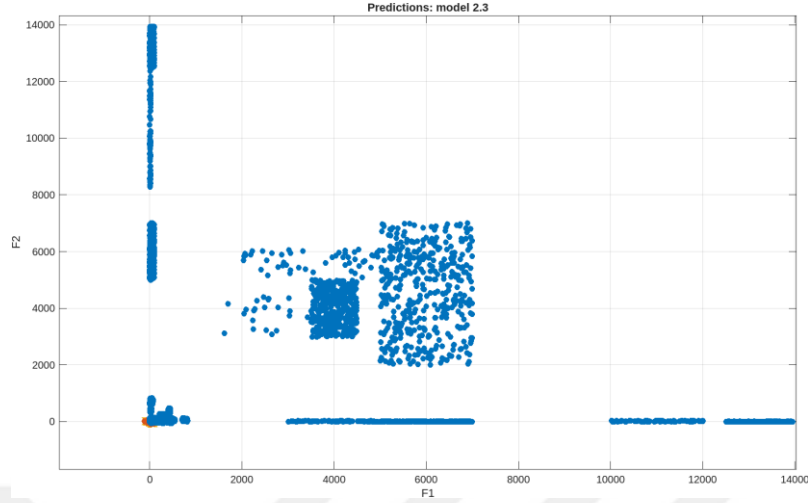
Bir kök düğümden başlanarak, veri özellikleri üzerinden bölme kuralları oluşturulur. Örneğin, bir akım değerinin belirli bir eşiğin üstünde ya da altında olup olmaması gibi basit kurallar kullanılabilir. Veri, her seviyede bir sınıfa doğru ayrılarak son yaprak düğüme ulaşır. Bu yaprak düğüm, nihai kararı veya tahmini temsil eder. Bu süreç, bir ağacın dallanarak büyümesine benzer: Her karar, bir dalı temsil eder ve sonunda yapraklara ulaşılır. Bu yöntem, özellikle elektrik sistemleri gibi karmaşık yapıları analiz etmek için oldukça kullanışlıdır çünkü her adımda ne olduğu açıkça görülebilir.



Şekil 6.5. Karar Ağacı Doğrulama Roc Eğrisi.

Karar ağaçlarının en büyük avantajı, anlaşılır ve görselleştirilebilir bir model olmasıdır. Hangi kararla sonuca ulaşıldığı açıkça görülür, bu da modelin şeffaf ve yorumlanabilir olmasını sağlar. Özellikle elektrik sistemlerindeki karmaşık yapıları görselleştirmek ve anlamak için karar ağaçları oldukça uygundur. Örneğin, bir arızanın nedenini bulmak için, ağacın dallarını takip ederek hangi koşulların arızaya yol açtığını

kolayca anlayabilirsiniz. Ayrıca, karar ağaçları hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilir, bu da onları oldukça esnek bir araç haline getirir.



Şekil 6.6. Karar Ağacı Tahminler Modeli.

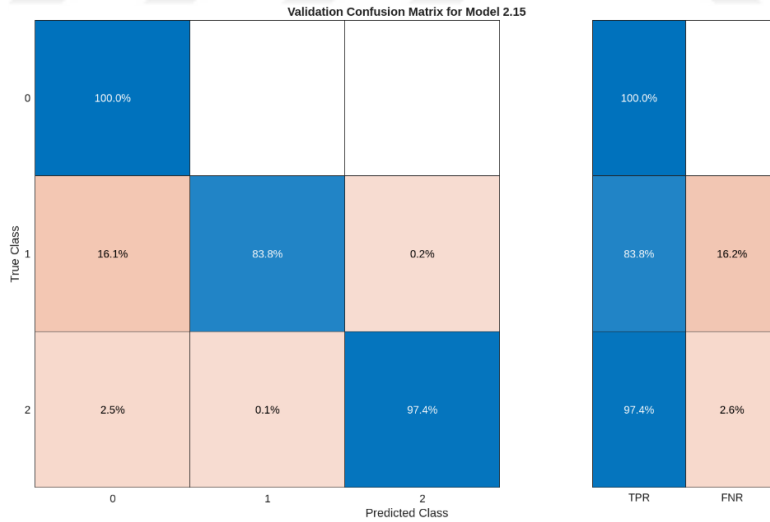
Ancak, karar ağaçlarının bazı dezavantajları da vardır. En önemli sorunlardan biri, aşırı dallanma durumunda aşırı öğrenme (overfitting) problemi yaşanabilmesidir. Yani, model eğitim verilerine çok iyi uyum sağlayabilir, ancak bu durum, yeni veriler üzerinde kötü performans göstermesine neden olabilir. Bu, özellikle elektrik sistemleri gibi dinamik ve değişken yapılarda ciddi bir sorun olabilir. Ayrıca, karar ağaçları küçük veri setlerinde çok iyi çalışsa da, büyük ve karmaşık veri setlerinde performansı düşebilir. Bu nedenle, modelin dallanmasını kontrol etmek için parametrelerin dikkatlice ayarlanması gerekir.

Karar ağaçları, makine öğrenmesi dünyasının en sezgisel ve kullanıcı dostu algoritmalarından biridir. Özellikle, elektrik sistemleri gibi teknik alanlarda, karmaşık süreçleri basit ve anlaşılır bir şekilde modellemek için harika bir araçtır. Ancak, bu algoritmanın sınırlarını bilmek ve aşırı öğrenme gibi potansiyel tuzaklara düşmemek önemlidir. Karar ağaçlarını daha güçlü hale getirmek için, rastgele ormanlar (random forests) veya gradient boosting gibi ensemble yöntemleriyle birleştirmek de mümkündür. Bu, modelin hem doğruluğunu hem de genelleme yeteneğini artırabilir. Sonuç olarak, karar ağaçları doğru kullanıldığında, hem teknik hem de teknik olmayan kullanıcılar için vazgeçilmez bir araç haline gelebilir.

6.3. Destek Vektör Manineleri (SVM)

SVM (Destek Vektör Makineleri), verileri sınıflandırmak için bir hiperdüzlem oluşturur ve bu hiperdüzlem, sınıflar arasındaki en büyük ayrımı sağlayacak şekilde optimize edilir. Bu algoritma, adeta bir "sınır çizme ustası" gibi çalışır. Amacı, iki sınıf arasında mümkün olan en geniş boşluğu bırakarak, sınıfları birbirinden net bir şekilde ayırmaktır. Bu, özellikle elektrik sistemlerindeki arızaları tespit etmek gibi kritik problemlerde oldukça değerlidir çünkü hatalı ve hatasız durumlar arasında kesin bir ayrım yapmayı sağlar.

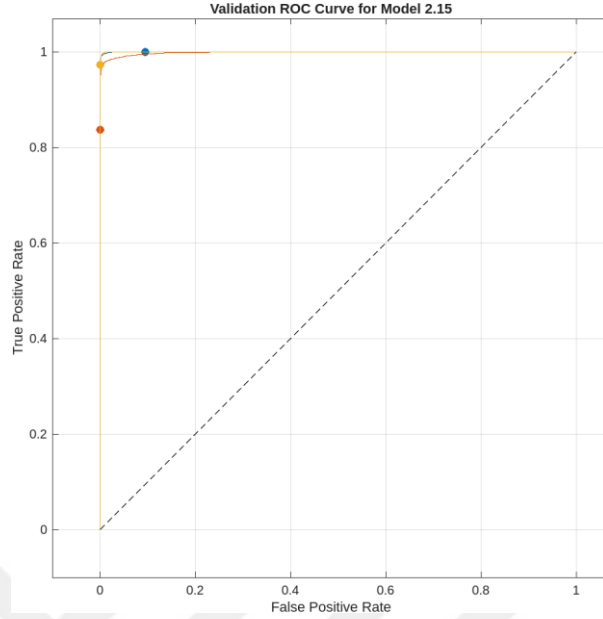
SVM, doğrusal veriler için iki sınıfı ayıran en uygun çizgiyi (veya yüksek boyutlu düzlemi) oluşturur. Bu çizgi, sınıflar arasındaki marjini (boşluğu) maksimize edecek şekilde seçilir. Ancak, gerçek dünya problemlerinde veriler genellikle doğrusal değildir. İşte bu noktada, SVM'nin en güçlü yanlarından biri devreye girer: çekirdek (kernel) fonksiyonları. Bu fonksiyonlar, veriyi daha yüksek boyutlara dönüştürerek, doğrusal olmayan problemleri doğrusal hale getirir. Örneğin, bir elektrik sistemindeki karmaşık arıza desenleri, çekirdek fonksiyonları sayesinde daha anlaşılır ve sınıflandırılabilir hale gelebilir. Bu, SVM'yi özellikle doğrusal olmayan veri setlerinde oldukça başarılı kılar.



Şekil 6.7. SVM Doğrulama Karmaşası Matrisi.

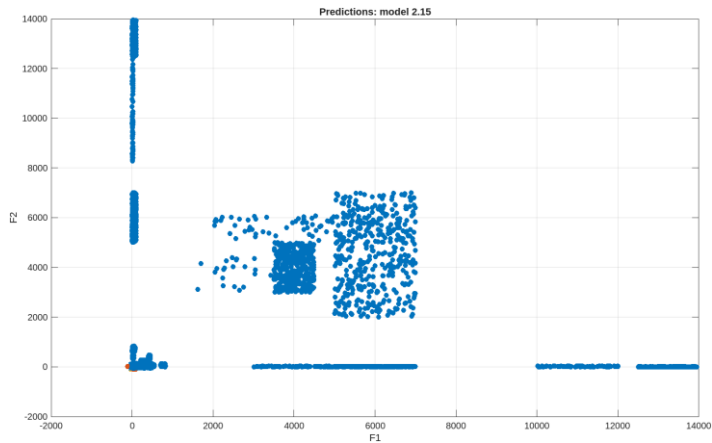
SVM'nin en büyük avantajı, karmaşık ve doğrusal olmayan veri setlerinde dahi başarılı olmasıdır. Özellikle elektrik sistemlerindeki hata tespiti gibi zorlu problemleri çözmede etkili sonuçlar sunar. Örneğin, bir trafodaki anormal akım veya gerilim değerlerini tespit etmek için SVM, veriler arasındaki gizli ilişkileri ortaya çıkarabilir ve bu tür sorunları erken aşamada belirleyebilir. Ayrıca, SVM, sınırlı miktarda veriyle

bile iyi performans gösterebilir, bu da onu özellikle küçük veri setleri için değerli bir araç haline getirir.



Şekil 6.8. SVM Doğrulanma Roc Eğrisi.

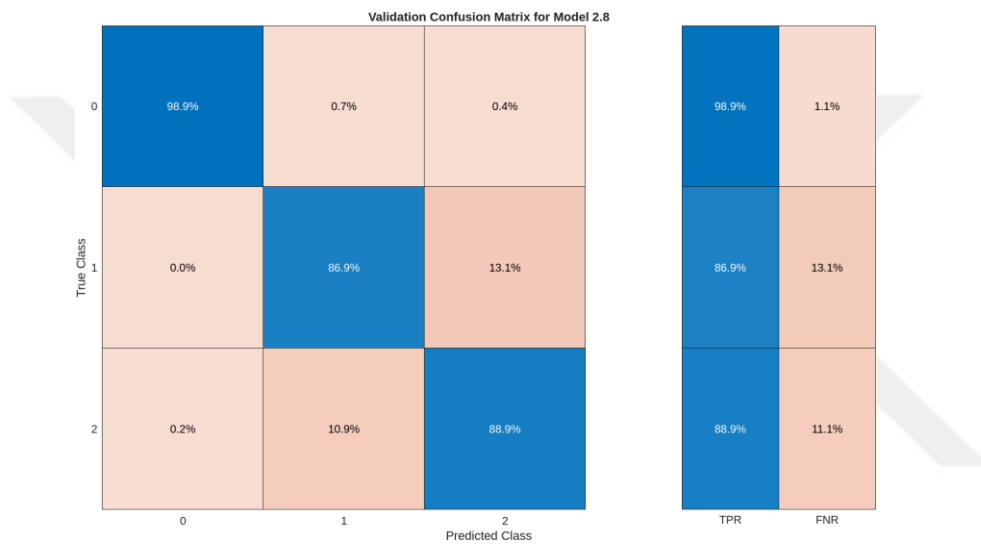
SVM, makine öğrenmesi dünyasının "sınır çizme sanatçısı" olarak adlandırılabilir. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan problemlerde başarılı olması, onu birçok alanda vazgeçilmez kılar. Özellikle elektrik sistemleri gibi teknik alanlarda, karmaşık arıza desenlerini analiz etmek ve sınıflandırmak için oldukça etkilidir. Ancak, SVM'nin de bazı zorlukları vardır. Örneğin, büyük veri setlerinde hesaplama maliyeti yüksek olabilir ve modelin eğitimi zaman alabilir.



Şekil 6.9. SVM Tahminler Modeli.

6.4. Naive Bayes

Naive Bayes algoritması, olasılık teorisine dayalı bir sınıflandırma yöntemidir. Bu algoritma, adından da anlaşılacağı gibi, biraz "saf" bir varsayıma dayanır: Veri setindeki her bir özelliğin birbirinden bağımsız olduğunu kabul eder. Bu varsayım, gerçek dünyada her zaman geçerli olmasa da, Naive Bayes'in basit ve hızlı bir şekilde çalışmasını sağlar. Özellikle metin sınıflandırma, spam tespiti veya elektrik sistemlerindeki arıza tespiti gibi problemlerde oldukça popülerdir. Bu algoritma, karmaşık matematiksel hesaplamalara gerek duymadan, olasılık temelli bir yaklaşımla hızlı sonuçlar üretir.

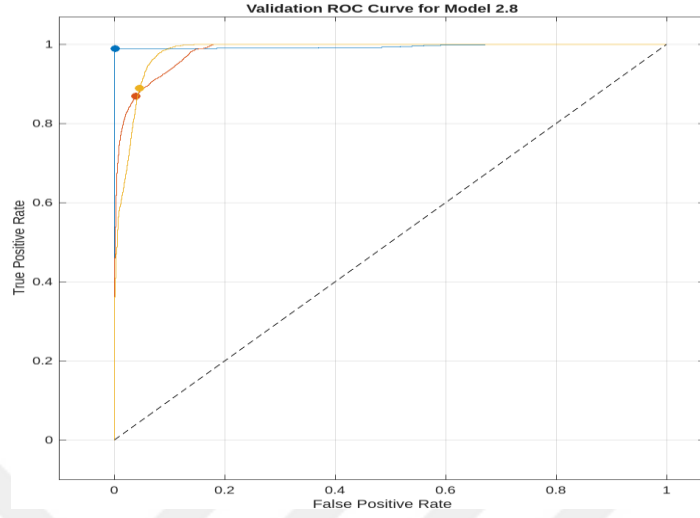


Şekil 6.10. Naive Bayes Doğrulama Karmaşası Matrisi.

Naive Bayes, her sınıf için özelliklerin olasılıklarını hesaplar. Örneğin, bir elektrik sistemindeki arıza tespiti yaparken, akım, gerilim ve sıcaklık gibi özelliklerin her birinin belirli bir arıza türüyle ilişkili olma olasılığı hesaplanır. Daha sonra, bir verinin hangi sınıfa ait olduğu, bu olasılıklar üzerinden belirlenir. Yani, en yüksek olasılık değerine sahip sınıf, verinin ait olduğu sınıf olarak kabul edilir. Bu süreç, oldukça hızlı ve verimlidir, çünkü her özellik bağımsız olarak ele alınır ve karmaşık ilişkiler göz ardı edilir.

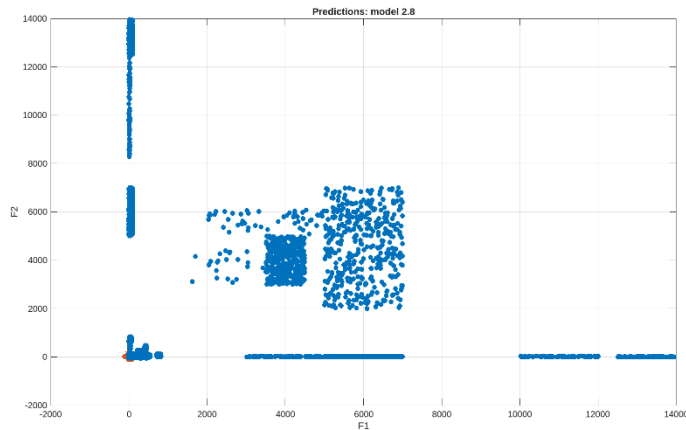
Naive Bayes'in en büyük avantajı, hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabilmesidir. Özellikle büyük veri setlerinde, diğer algoritmalara kıyasla çok daha hızlı sonuçlar üretebilir. Bu, onu gerçek zamanlı uygulamalar veya hızlı karar verme gerektiren durumlar için ideal bir seçenek haline getirir. Ayrıca, metin sınıflandırma gibi problemlerde de oldukça başarılıdır. Örneğin, spam e-postaları tespit etmek veya

belirli bir konuya ait metinleri sınıflandırmak için sıklıkla kullanılır. Elektrik sistemlerinde ise, arıza tespiti veya anormal durumların belirlenmesi gibi görevlerde etkili sonuçlar verebilir.



Şekil 6.11. Naive Bayes Doğrulama Roc Eğrisi.

Naive Bayes'in bazı dezavantajları da vardır. En önemli sorun, özellikler arasında bağımlılık varsa performansın düşebilmesidir. Örneğin, bir elektrik sisteminde akım ve gerilim gibi özellikler birbiriyle ilişkili olabilir, ancak Naive Bayes bu ilişkiyi göz ardı eder. Bu durum, modelin gerçek dünya verilerinde bazen yanıltıcı sonuçlar üretmesine neden olabilir. Ayrıca, kesin olmayan veya belirsizlik içeren sınıflandırma problemlerinde daha az etkili olabilir. Örneğin, sınırda kalan veya net bir şekilde sınıflandırılmayan verilerde, Naive Bayes'in performansı diğer algoritmalarla kıyasla daha düşük olabilir.



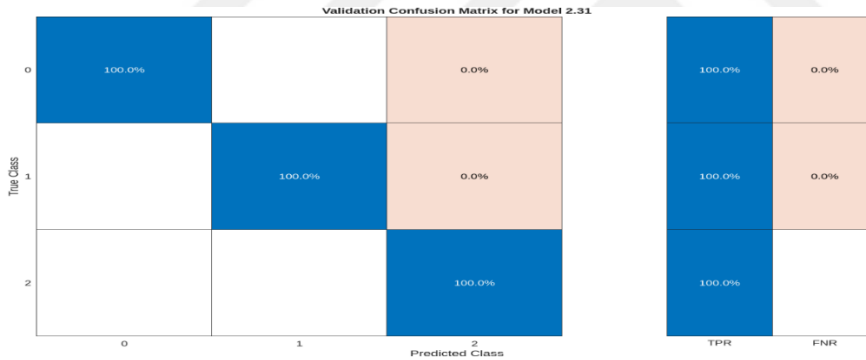
Şekil 6.12. Naive Bayes Tahminler Modeli.

Naive Bayes, makine öğrenmesi dünyasının "saf ama etkili" bir algoritmasıdır. Basitliği ve hızı, onu özellikle büyük veri setleri ve gerçek zamanlı uygulamalar için

vazgeçilmez kılar. Ancak, bu algoritmanın sınırlarını bilmek ve özellikle özellikler arasındaki bağımlılıkları göz önünde bulundurmak önemlidir. Naive Bayes, doğru kullanıldığında, özellikle metin sınıflandırma veya basit sınıflandırma problemlerinde oldukça güçlü bir araç olabilir. Ancak, daha karmaşık veya belirsiz problemlerde, diğer algoritmalarla birlikte kullanılması veya dikkatle değerlendirilmesi gerekebilir. Sonuç olarak, Naive Bayes, makine öğrenmesi araç kutusunda her zaman bulunması gereken, basit ama etkili bir seçenektir.

6.5. Yapay Sinir Ağları (Neural Networks)

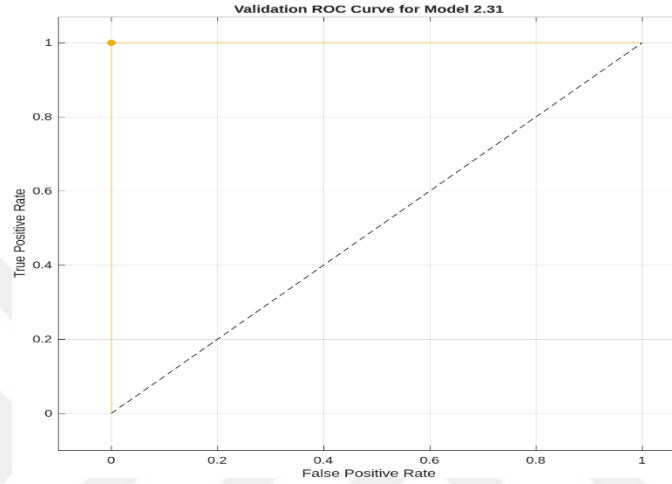
Yapay sinir ağları, insan beynindeki sinir ağlarını taklit ederek çalışır. Bu yöntem, karmaşık bir veri yapısını öğrenmek ve anlamak için kullanılan güçlü bir araçtır. Özellikle elektrik dağıtım sistemleri gibi çok boyutlu ve dinamik veri setlerinde, yapay sinir ağları, geleneksel yöntemlerin çözemediği problemleri çözebilir. Örneğin, bir elektrik şebekesindeki anormal akım veya gerilim değişimlerini tespit etmek veya enerji talebini tahmin etmek gibi karmaşık görevlerde oldukça etkilidir.



Şekil 6.13. Yapay Sinir Ağları Doğrulama Karmaşası Matrisi.

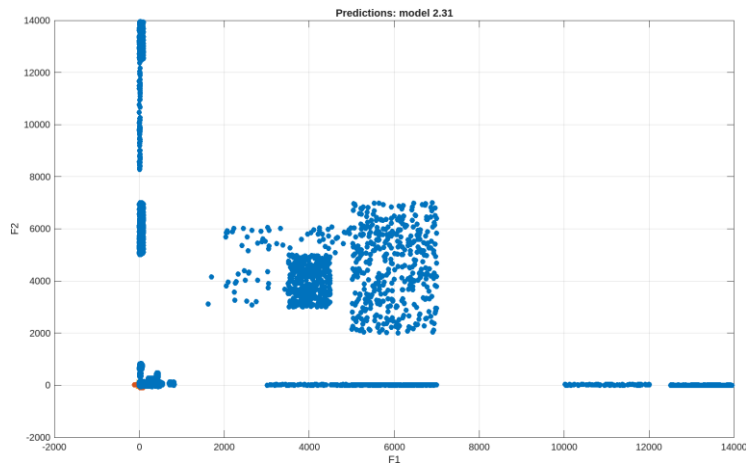
Yapay sinir ağları, çok sayıda "nöron" katmanından oluşur. Her katman, girdileri işler ve bir sonraki katmana aktarır. Bu katmanlar, girdi katmanı, saklı (hidden) katmanlar ve çıktı katmanı şeklinde yapılandırılmıştır. Veri, bu ağda iki temel süreçten geçer: ileri yayılım (forward propagation) ve geri yayılım (backpropagation). İleri yayılım sırasında, veri katmanlar arasında ilerler ve çıktı üretilir. Geri yayılım sırasında ise, modelin hataları ölçülür ve bu hatalar kullanılarak ağırlıklar güncellenir. Bu süreç, modelin doğru sonuçlar üretmeyi öğrenmesini sağlar. Örneğin, bir elektrik sistemindeki arıza tespiti yaparken, yapay sinir ağı, veriler arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenerek, arıza durumlarını doğru bir şekilde sınıflandırabilir.

Yapay sinir ağlarının en büyük avantajı, büyük ve karmaşık veri setlerinde çok güçlü sonuçlar üretebilmesidir. Özellikle elektrik dağıtım sistemlerinde, çok boyutlu ve dinamik veri setlerinde oldukça etkilidir. Örneğin, bir elektrik şebekesindeki enerji talebini tahmin etmek veya arızaları önceden tespit etmek gibi görevlerde, yapay sinir ağları, geleneksel yöntemlerin ötesinde bir performans sergileyebilir. Ayrıca, yapay sinir ağları, özellikle derin öğrenme modelleriyle birlikte kullanıldığında, görüntü işleme, doğal dil işleme ve zaman serisi analizi gibi alanlarda da oldukça başarılıdır.



Şekil 6.14. Yapay Sinir Ağları Doğrulanma Roc Eğrisi.

Ancak, yapay sinir ağlarının bazı dezavantajları da vardır. En önemli sorunlardan biri, eğitim sürecinin uzun olabilesidir. Özellikle büyük veri setleri ve karmaşık modeller söz konusu olduğunda, eğitim süreci saatler, hatta günler sürebilir. Ayrıca, yapay sinir ağları, yüksek hesaplama gücü ve büyük miktarda veri gerektirir.



Şekil 6.15. Yapay Sinir Ağları Tahminler Modeli.

Bu, özellikle küçük ölçekli projeler veya sınırlı kaynaklara sahip kuruluşlar için bir engel olabilir. Ayrıca, yapay sinir ağlarının "kara kutu" olarak adlandırılması da bir

diğer dezavantajdır. Yani, modelin nasıl bir karar verdiğini anlamak ve yorumlamak oldukça zor olabilir. Bu, özellikle elektrik sistemleri gibi kritik alanlarda, modelin güvenilirliğini sorgulanabilir hale getirebilir.

Yapay sinir ağları, makine öğrenmesi dünyasının en güçlü ve esnek araçlarından biridir. Özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde, geleneksel yöntemlerin çözemediği problemleri çözebilir. Ancak, bu gücü kullanırken, eğitim sürecinin uzunluğu ve yüksek hesaplama gereksinimleri gibi zorlukları da göz önünde bulundurmak gerekir. Ayrıca, modelin nasıl çalıştığını anlamak ve yorumlamak, özellikle kritik alanlarda büyük önem taşır. Sonuç olarak, yapay sinir ağları, doğru kullanıldığında, elektrik sistemleri gibi karmaşık problemlerde devrim yaratabilecek bir araçtır, ancak bu gücü doğru şekilde yönetmek ve sınırlarını bilmek önemlidir.

7. SONUÇ

Bu çalışma, yapay zeka tabanlı bara diferansiyel koruma sistemlerinin enerji sistemlerindeki performansını incelemiştir. Yapılan analizler, yapay zeka algoritmalarının geleneksel koruma yöntemlerine göre daha hızlı, doğru ve etkili olduğunu ortaya koymuştur. Aşağıda çalışmanın önemli bulguları ve katkıları detaylandırılmıştır.

7.1. Yapay Zeka Modellerinin Performansı

Yapay Sinir Ağları (YSA), bara diferansiyel koruma sistemlerinde en yüksek performansı göstermiş ve %100 doğruluk oranı ile arıza tespitinde başarılı olmuştur. Bu, şebeke içindeki karmaşık akımları ve dinamikleri etkili bir şekilde öğrenme kapasitesinin bir sonucudur.

Destek Vektör Makineleri (SVM) ve KNN (K-En Yakın Komşu) algoritmaları, baralarda meydana gelen arızaların doğru tespitinde dengeli bir performans sergilemiştir. Bu iki algoritma, özellikle sınıflar arasındaki sınırları net bir şekilde çizemediği ve karmaşık veri yapılarını etkili bir şekilde işleyemediği için, elektrik sistemlerindeki arıza tespiti gibi kritik görevlerde oldukça başarılı olmuştur. SVM, hiperdüzlemlerle sınıfları ayırarak, özellikle doğrusal olmayan verilerde bile yüksek doğruluk oranları sunar. KNN ise, komşuluk ilişkilerine dayalı basit ama etkili bir yaklaşımla, arızaların lokalize edilmesinde başarılı sonuçlar verir. Bu iki yöntem, baralardaki arızaları tespit ederken, hem hızlı hem de güvenilir bir şekilde çalışarak, sistemin sürekliliğini korumaya yardımcı olur.

Naive Bayes ve Karar Ağacı algoritmaları ise, verinin doğrusal ayrışmadığı durumlarda daha düşük başarı oranları göstermiştir. Naive Bayes, özellikle özellikler arasındaki bağımsızlık varsayımı nedeniyle, elektrik sistemlerindeki karmaşık ve birbirleriyle ilişkili veri yapılarında yetersiz kalabilir. Örneğin, akım ve gerilim gibi birbirleriyle yakından ilişkili özellikler söz konusu olduğunda, Naive Bayes'in performansı düşebilir. Karar Ağacı algoritması ise, özellikle aşırı dallanma (overfitting) sorunu nedeniyle, genelleme yeteneğini kaybedebilir. Bu durum, modelin

eğitim verilerine çok iyi uyum sağlarken, yeni veriler üzerinde kötü performans göstermesine neden olabilir. Bu nedenle, bu iki algoritma, baralardaki arızaların tespitinde SVM ve KNN kadar etkili olamamıştır.

7.2. Enerji Sistemlerine Katkıları

Kesinti Sürelerinin Azalması Yapay zeka tabanlı koruma sistemleri, enerji şebekelerinde meydana gelebilecek arızaların erken tespiti ve önlenmesi konusunda çok daha hızlı ve kesin sonuçlar sunmaktadır. Bu durum, elektrik kesintilerinin sürelerini azaltarak ekonomik kayıpları minimize etmiştir.

Stabilite ve Dayanıklılık Artışı, yapay zeka algoritmalarının dinamik şebeke koşullarına uyum sağlama yeteneği, enerji sistemlerinde daha yüksek stabilite ve dayanıklılık sağlamıştır. Bu, özellikle karmaşık sistemlerde büyük bir avantaj sunmaktadır.

Verimlilik ve Optimizasyon, gelişmiş veri analitiği yetenekleri, şebekedeki enerji akışını optimize ederek hem enerji kayıplarını azaltmış hem de maliyet etkinliğini artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu açısından yapay zeka tabanlı sistemler, dalgalı üretim koşullarını etkili bir şekilde yöneterek şebeke kararlılığını desteklemektedir.

Proaktif Arıza Tespiti, sistem, sadece mevcut arızaları tespit etmekle kalmamış, potansiyel arızaların da öngörülmesini sağlamıştır. Bu sayede, arızalar meydana gelmeden önce önlem alınması mümkün olmuştur.

7.3. Koruma Sistemlerinde Yenilikler

Dinamik ve Uyarlanabilir Algoritmalar, yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, geleneksel bara diferansiyel koruma sistemlerinin ötesine geçerek gerçek zamanlı analiz ve karar verme yeteneklerini önemli ölçüde geliştirmiştir. Dinamik şartlara uyum sağlayan öğrenen sistemler, şebekenin değişen koşullarına anında adapte olabilmektedir.

Veriye Dayalı Karar Verme, koruma sistemlerinde, geleneksel sabit eşik değerler yerine yapay zeka algoritmaları sayesinde esnek ve veriye dayalı karar mekanizmaları uygulanmıştır.

8. ÖNERİLER

Yapay Zeka Algoritmalarının Geliştirilmesi, Bara diferansiyel koruma sistemleri için özellikle Yapay Sinir Ağları gibi derin öğrenme yöntemleri daha fazla çalıştırılmalı ve öğrenme kapasitesini artıracak hibrid modeller geliştirilmelidir.

Aşırı öğrenme problemlerini engellemek için geniş çapraz doğrulama ve veri zenginleştirme yöntemleri kullanılmalıdır.

Bara diferansiyel koruma sistemlerinin pilot projelerle büyük enerji santrallerinde uygulanması, bu sistemlerin etkinliğini ortaya koymak için kritik bir adımdır.

Bu sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarının bağlı olduğu mikro şebekelerde kullanılarak hem şebeke stabilitesi hem de sistem entegrasyonu açısından fayda sağlayabilir.

Veri Tahmini ve Proaktif Koruma, yapay zeka algoritmaları, sadece mevcut arızaları tespit etmekle kalmayıp, potansiyel arızaların da öngörülmesi için geliştirilmelidir. Bu öngörü mekanizması, enerji sistemlerinde planlı bakımı kolaylaştırabilir.

Bara koruma sistemlerinde, şebekenin güvenliğini sağlamak amacıyla toplanan veriler üzerinde veri madenciliği tekniklerinin uygulanması, potansiyel zayıf noktaların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Veri madenciliği, büyük veri setleri içerisindeki gizli ilişkileri ve desenleri ortaya çıkararak, şebekedeki riskli alanları tespit edebilir ve bu sayede sistemin erken uyarı mekanizmaları güçlendirilir. Bu tür bir yaklaşım, koruma sistemlerinin etkinliğini artırmak ve arızalara karşı daha hızlı reaksiyon verilmesini sağlamak için son derece faydalıdır.

Ayrıca, bara diferansiyel koruma sistemlerinin tasarımında geleneksel koruma yöntemlerinin yanı sıra, yapay zeka algoritmalarının entegre edilmesi, hibrid sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu hibrid sistemler, hem geleneksel yöntemlerin sağlamlığını hem de yapay zekanın esnekliğini ve adaptasyon yeteneğini bir araya getirerek, daha yüksek güvenilirlik ve hız sunabilir. Yapay zeka algoritmaları, özellikle verilerin çok büyük olduğu ve hızla değişen dinamikler

içerisinde optimal kararların alınması gereken durumlarda oldukça etkili bir çözüm sunmaktadır.

Farklı bara topolojilerinde ve şebeke dinamiklerinde bu tür algoritmaların performansını test etmek, daha genelleştirilebilir ve uygulanabilir çözümler geliştirilmesine imkan verir. Testler sayesinde algoritmalar, çeşitli koşullar altında nasıl bir tepki verdiği ve ne kadar güvenilir olduğu konusunda daha derin bir anlayış kazanılabilir. Bu testler, sistemin farklı senaryolarda ne kadar verimli çalıştığını göstererek, dünya çapında uygulanabilir ve güvenilir koruma sistemlerinin temelini atmaktadır.

Enerji sektöründe yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesi, yalnızca teknolojik yenilik değil, aynı zamanda sektördeki tüm paydaşların eğitim ve farkındalık seviyelerini de artırmayı gerektiriyor. Eğitim programlarının çoğaltılması, karar alıcılar ve teknik personel için özel farkındalık oluşturma faaliyetlerinin yürütülmesi, bu teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak açısından kritik bir adım olacaktır. Yapay zekanın enerji sektöründeki potansiyel faydaları hakkında bilinçli ve eğitilmiş personel, bu teknolojinin daha verimli ve güvenli bir şekilde uygulanmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışma, bara diferansiyel koruma sistemlerinde yapay zekanın kullanımını derinlemesine inceleyerek, enerji sistemlerinin daha etkin korunmasına yönelik önemli bir adım atılmasını sağlamıştır. Yapay zeka destekli koruma sistemlerinin gelecekte daha geniş bir şekilde benimsenmesi, enerji altyapılarının güvenliğini, dayanıklılığını ve verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Bunun yanında, yapay zekanın sunduğu yüksek hızda veri işleme ve karar verme yetenekleri, enerji şebekelerinin daha dinamik bir şekilde yönetilmesine olanak tanıyacak ve böylece olası arızaların etkisini en aza indirecektir. Sonuç olarak, bu yöntemlerin yaygınlaşması, enerji sektöründe sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından devrim niteliğinde değişikliklere yol açabilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Yazdani-Asrami, M. Mirzaie, A. A. S. Akmal, "Investigation on impact of current harmonic contents on the distribution transformer losses and remaining life," IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), pp.689-694, December 1 2010.
- [2] J. Mackevich, M. Shah, "Polymer outdoor insulating materials. Part I: Comparison of porcelain and polymer electrical insulation," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 5-12, June 1997.
- [3] D.A. Greenwood, W. N. Cottingham, Electricity and Magnetism, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [4] B. D. Jenkins, Introduction to Instrument Transformers, CRC Press, Ohio, 1967.
- [5] L. Kui, L. U. Jian-Guo, W. Yi, Q. Zhi-jun and Y. Dong-mei, "Research on the overload protection reliability of moulded case circuit-breakers and its test device," Journal of Zhejiang University-Science A, vol. 8, no. 3, pp. 453-458, 2007.
- [6] Y. Yılmaz, "Alçak gerilim koruma ve kontrol sistemi," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, c. 7, s. 1, ss. 17-21, 2003.
- [7] https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ayırıcılar.pdf.
- [8] Özkan, Y., 2008, Veri Madenciliği Yöntemleri, Papatya Yayıncılık ve Eğitim AŞ, İstanbul, Türkiye.
- [9] Fawcett, T., 2006, An introduction to ROC analysis, Pattern Recognition Letters 27(8), p. 861– 874.
- [10] <https://320volt.com/akim-transformatorleri-hakkinda>.
- [11] A. Rodríguez, Power Losses and Voltage Fluctuations Due to Ferroresonance in Transmission Lines. IEEE Transactions on Power Systems, 31(2), 987-994., 2016.
- [12] Şeker, Halil İbrahim, Muhammed Cinek, and İhsan Pehlivan. "Kısa Devre Deneylerinde Limitör Özelliğinin Alçak Gerilim Devre Kesiciler Üzerindeki Etkisinin İncelemesi." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 9.1 (2021): 386-395.
- [13] AKÜNER, Mustafa Caner. *Transformatör Merkezlerinin Standardizasyonu ve Eğitim Amaçlı Kullanımı*. 1992. Master's Thesis. Marmara Üniversitesi (Turkey).



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emre ÖZDEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2025-halen, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Elektrik Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2012 yılları arasında Başarsoft Teknolojilerinde Coğrafik bilgi Sistemleri uzmanı olarak çalıştı.
- 2012-2016 yılları arasında Şenpiliç Anonim Şirketinde Planlama uzmanı olarak çalıştı.
- 2016-2018 yılları arasında Aydın Endüstri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketinde Üretim Sorumlusu olarak çalıştı.
- 2018-2022 yılları arasında Diverjans Mühendislikte Yönetici olarak çalıştı.
- 2022-Halen Uçak bakım elektronik öğretmeni olarak Milli Eğitim Müdürlüğünde görev almaktayım.