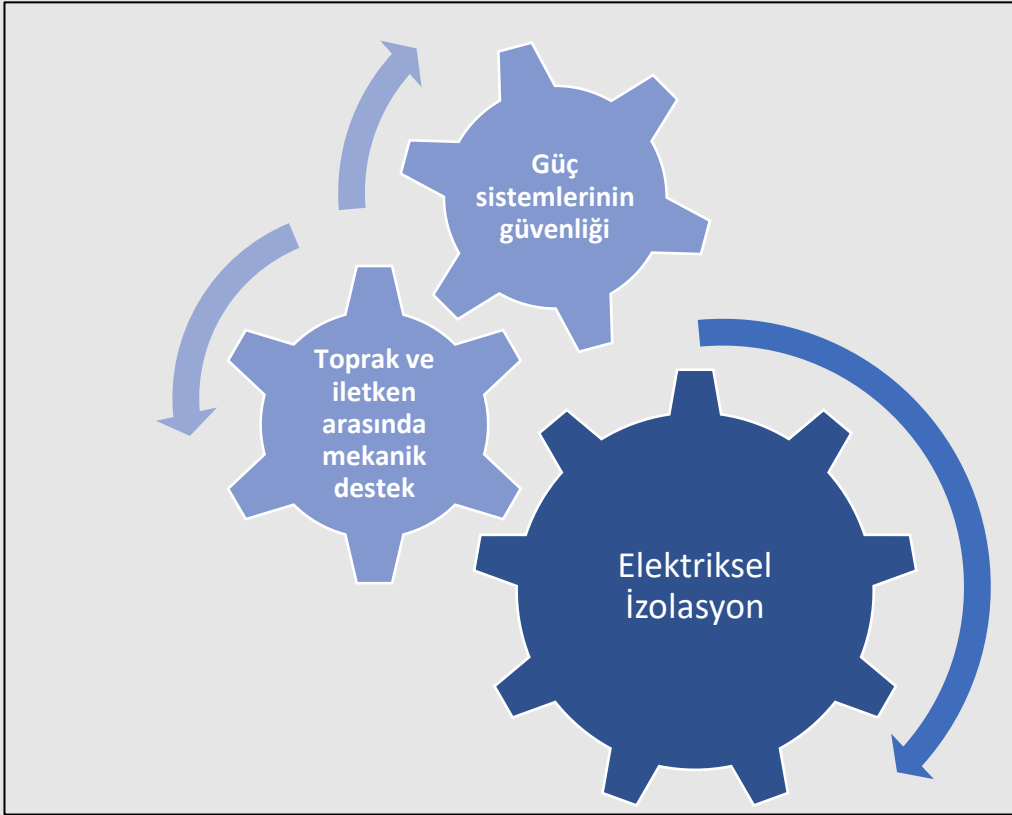


Kirlenmiş Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Elektrik Alan Dağılımının Derin Öğrenme Tabanlı Tahmini

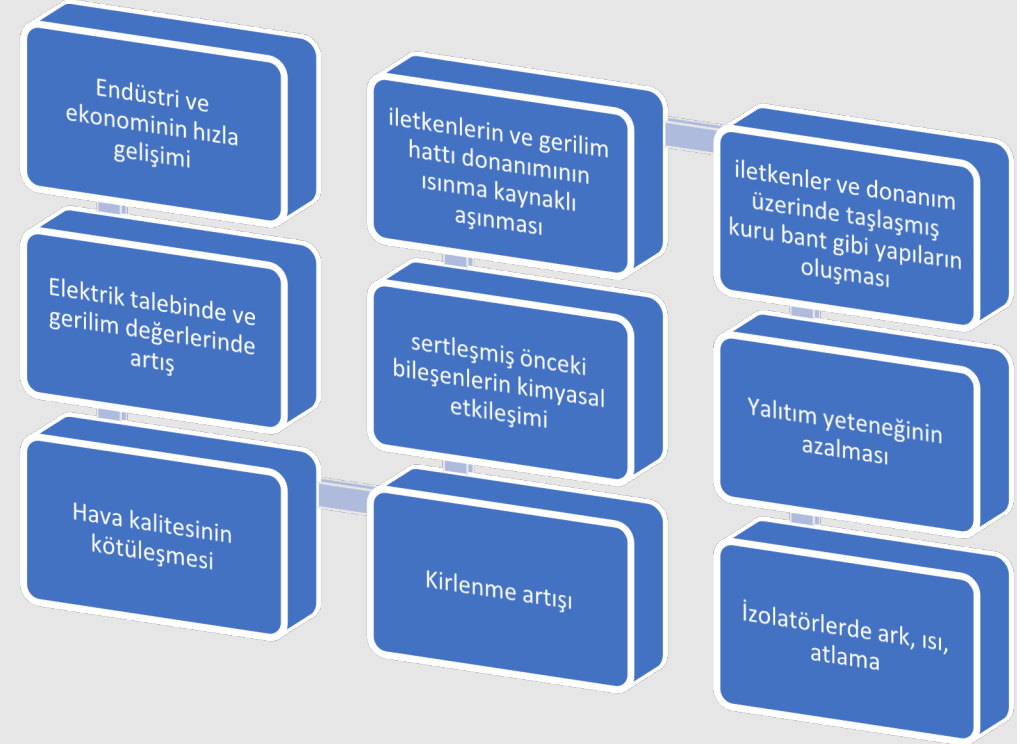
Arş.Gör.İrem GÖRGÖZ
Prof.Dr.Mehmet CEBECİ

Bildiri ID Numarası:0165

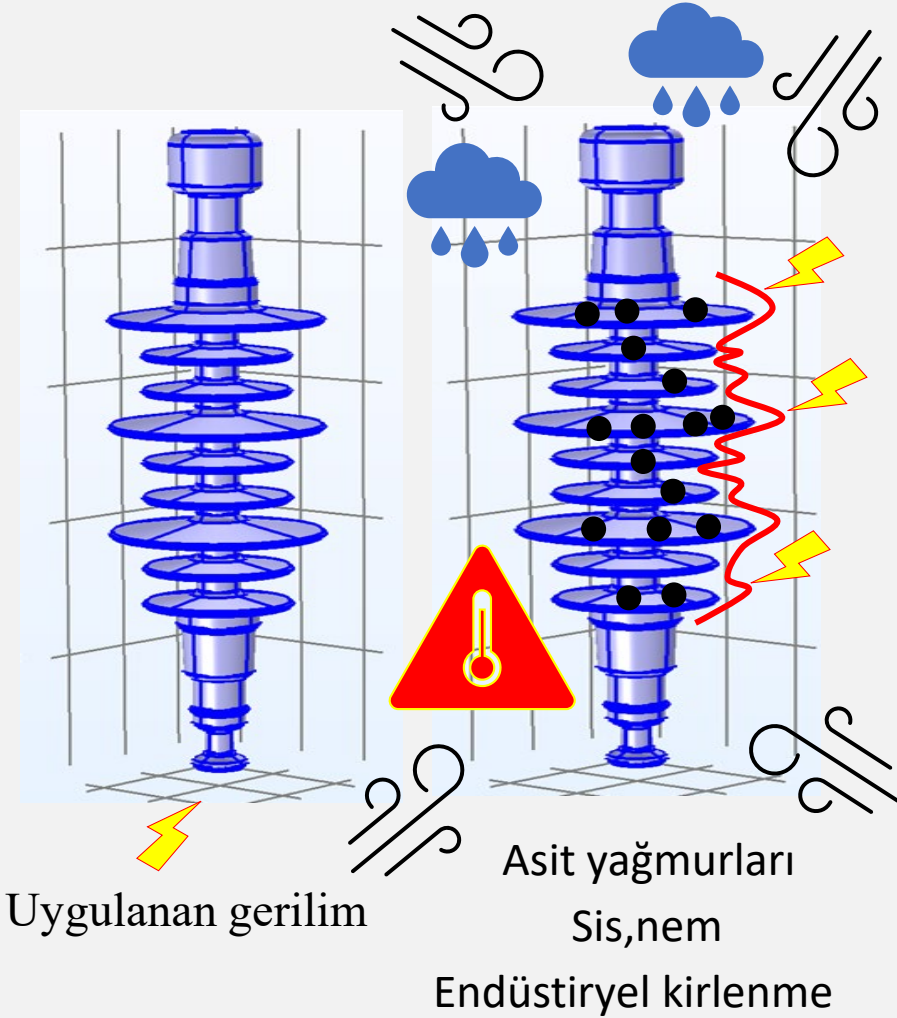
İzolatörlerin Çalışma Döngüsü Nedir?

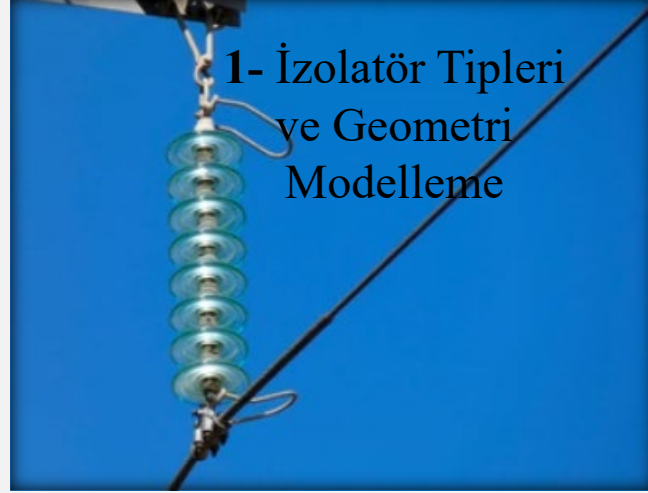


İzolatörlerin Çalışmasını Engelleyen Etkenler



Kirlenmenin İzolatör Yüzeyi Üzerinde Olumsuz Etkisi





- Elektrik alan hesaplamaları COMSOL Electric Currents modülü ile yapılmıştır. Modül, Elektrik alanı, akım ve potansiyel dağılımlarını çözmek için kullanılmıştır.
- Hesaplamalar Frekans Domeni (Frequency Domain) çözümüyle gerçekleştirilmiştir.
- Kullanılan temel denklemler aşağıdaki gibidir.

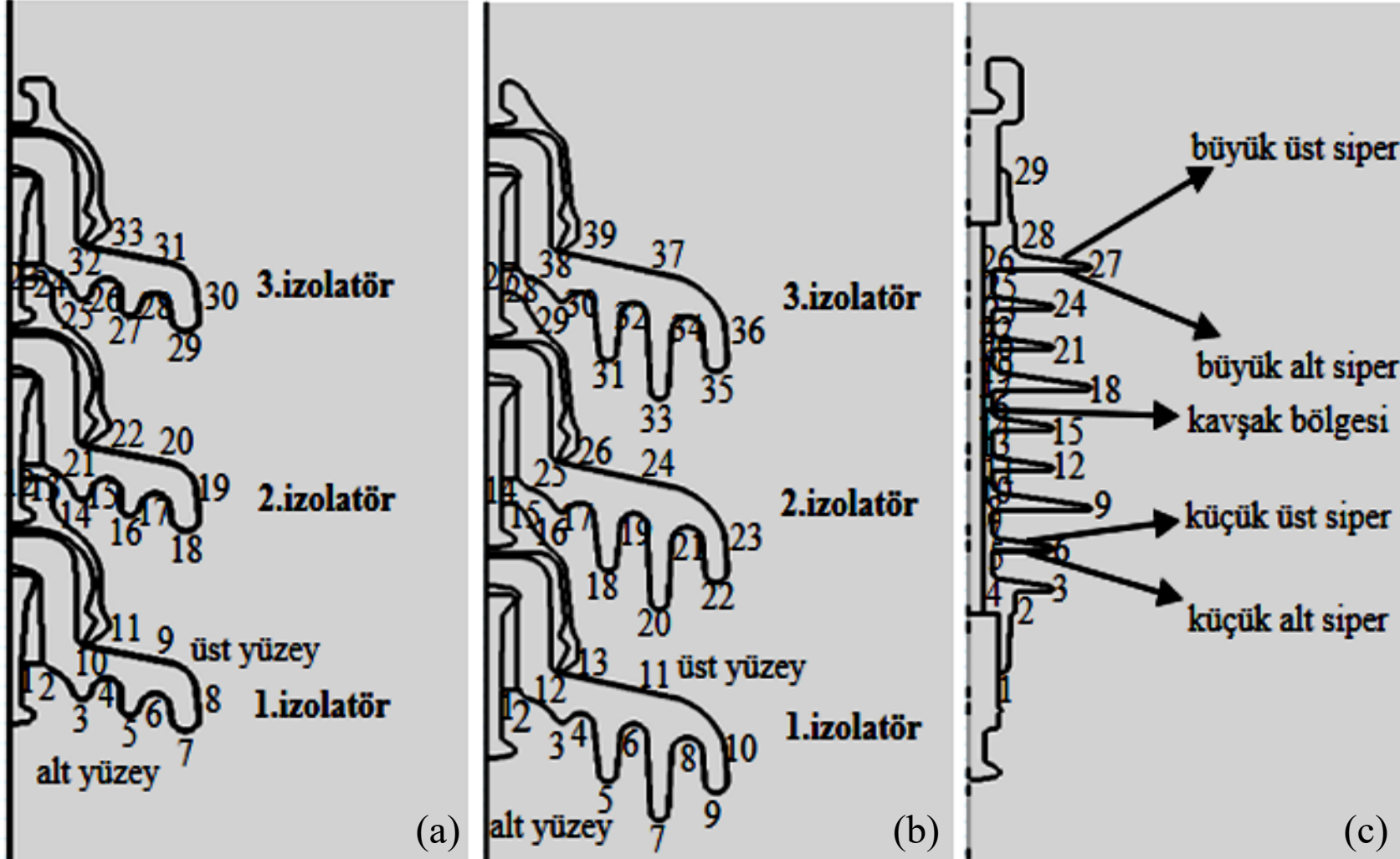
$$\begin{aligned}\nabla \cdot J &= Qj \\ J &= (\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon_r)E + Je \\ E &= -\nabla V\end{aligned}$$

- Kir tabakası iletkenliği, akım dağılımını ve alan şiddetini doğrudan etkilemektedir. Yüzey iletkenliği, izolator yüzeyinde biriken tuz ve nem tabakasının oluşturduğu kirlenme seviyesini yansıtan temel bir parametredir. Seçilen bölgelerde 0,5 mm kalınlığında kir tabakaları modellenmiş olup, bu tabakaların iletkenliği COMSOL ortamında malzeme özelliği olarak tanımlanan elektriksel iletkenlik değerlerinin sayısal olarak atanmasıyla belirlenmiştir.

Elektriksel katsayılar

Malzeme	Elektriksel iletkenlik σ (S/m)	Dielektrik geçirgenlik ϵ_r
Porselen	10^{-14}	4.2
çimento	10^{-14}	2.09
demir	$1.12 \times 10^{+7}$	1
silikon	10^{-14}	3.2
kompozit	10^{-12}	7.2

Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Elektrik Alan Analizi



Üç izolatör tipi incelenmiştir:
(a) Üçlü normal tip seramik-U40 BL zincir (33 kritik nokta)
(b) Üçlü sis tipi seramik-U70 BLP zincir (39 kritik nokta)
(c) Silikon kompozit izolatör (29 kritik nokta)

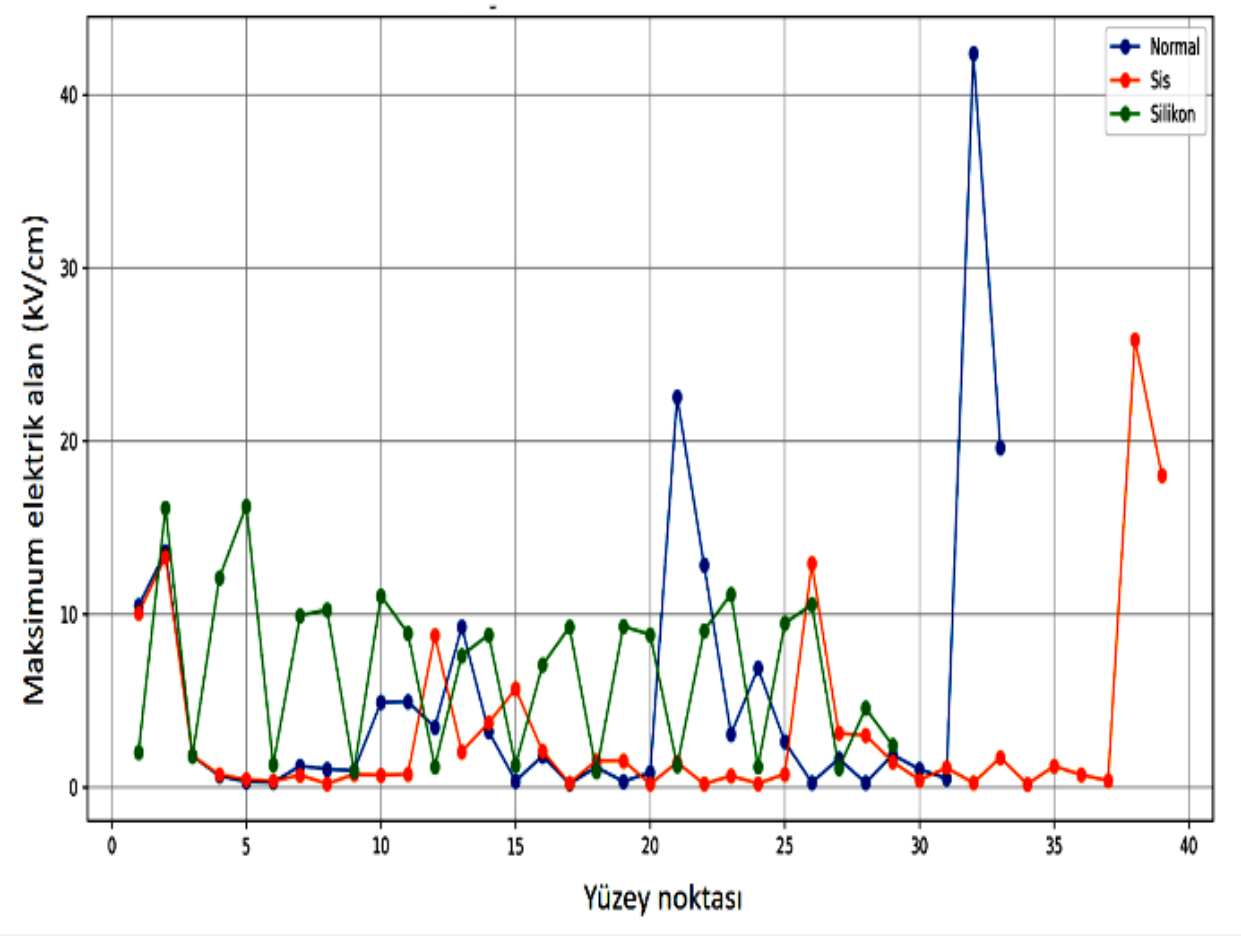
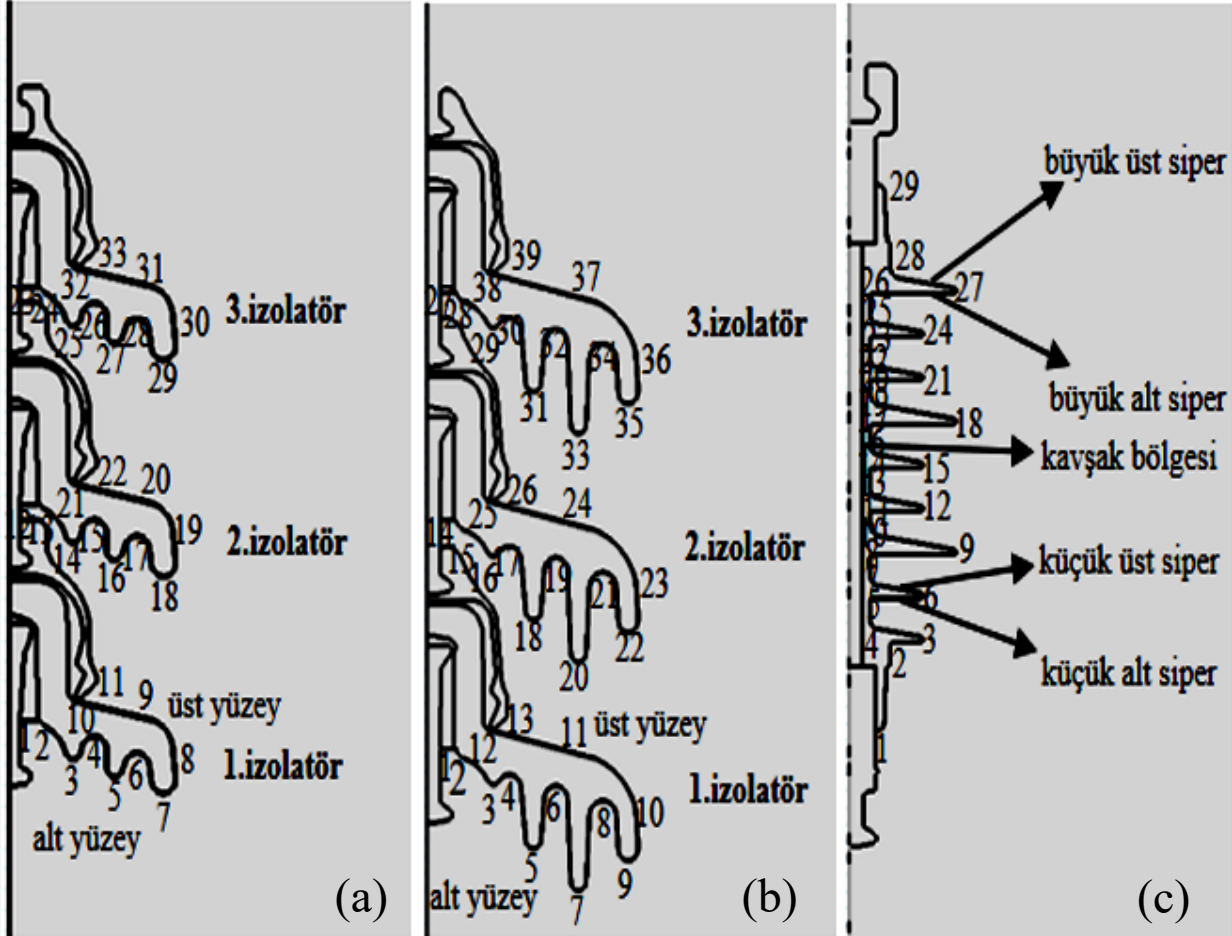
Üç Farklı İzolatör Tipinde Maksimum Elektrik Alan Noktalarının Karşılaştırılması

- Modeller, COMSOL Multiphysics kullanılarak oluşturulmuştur.
- Çözüm doğruluğu için sonsuz eleman domeni eklenmiştir.
- Kirlenme etkisi için yüzey iletkenliği 10^{-6} – 10^{-2} S/m aralığında modellenmiştir.
- 34,5 – 37,95 kV aralığında 5 gerilim değeri izolatörlere uygulanmıştır.
- Kritik noktalar belirlenerek elektrik alan dağılımı analiz edilmiştir.
- Yapay sinir ağı ile kirlenme ve gerilim değişimlerine bağlı elektrik alanı tahmini yapılmıştır

İzolatör yüzeyindeki kritik noktalar ve elektrik alan değerleri

İzolatör tipi	İzolatör yüzeyinde kritik noktalar	Elektrik alan değeri (kV/cm)
Normal tip	2	13,60
	21	22,54
	32	42,39
Sis tipi	2	13,29
	26	12,90
	38	25,83
Silikon	2	16,11
	5	16,22
	23	11,14

Üç Farklı İzolatör Tipinde Maksimum Elektrik Alan Noktalarının Karşılaştırılması



Yüzey bölgeleri ve kritik noktalar. (a) seramik normal tip , (b) seramik sis tipi , (c) silikon izolatör

Normal tip, sis tipi ve silikon izolatörlerdeki kritik noktalara ait maksimum elektrik alan dağılımı

Maksimum Elektrik Alan Dağılımı ve Kritik Bölgelerin Analizi

Seramik izolatörler için maksimum elektrik alan koşulları

Maks. elektrik alan koşulları		Normal tip	Sis tipi
gerilim (kV)		37,95	37,95
maks. elektrik alan (kV/cm)		42,39	25,83
kritik nokta		32	38
İzolator modeli		Maksimum elektrik alanı oluşturan kir iletkenliği değerleri (S/m)	
3'lü zincir elemanı	1. izolator	üst yüzey	10^{-4}
		alt yüzey	10^{-3}
	2. izolator	üst yüzey	10^{-4}
		alt yüzey	10^{-3}
	3. izolator	üst yüzey	10^{-3}
		alt yüzey	10^{-2}

Silikon izolator için maksimum elektrik alan koşulları

gerilim (kV)		37,95
maks. e-field (kV/cm)		16,22
kritik nokta		5
yüzey bölgesi		Maksimum elektrik alanı oluşturan kir iletkenliği değerleri (S/m)
büyük siper	Üst yüzey	10^{-2}
	Alt yüzey	10^{-2}
küçük siper	Üst yüzey	10^{-2}
	Alt yüzey	10^{-6}
kavşak bölgesi		10^{-2}

Seramik izolatorlerde, özellikle 3. ünitenin alt yüzeyi en yüksek iletkenlikte iken 32. ve 38. noktalar kritik bölgeler olarak belirlenmiştir.

Silikon izolatorde küçük alt siperlerin düşük, diğer siperlerin yüksek kir iletkenliğine sahip olduğu durumlar kritik etki göstermiştir.

COMSOL simülasyonları ile çoklu veri setleri oluşturulmuş, maksimum elektrik alanlar ve kritik bölgeler belirlenmiştir. Derin öğrenme modelleri, bu verileri kullanarak elektrik alan değerlerini tahmin etmek için eğitilmiştir.

Tüm kombinasyonlar dikkate alındığında,

Normal tip seramik izolatör için 2.578.125

(5⁶ iletkenlik x 5 gerilim x 33 nokta)

Sis tipi seramik için 3.046.875

(5⁶ iletkenlik x 5 gerilim x 39 nokta)

Silikon izolatör için 453.125

(5⁵ iletkenlik x 5 gerilim x 29 nokta)

veri üretilmiştir.

Model performansı üç temel metrik ile değerlendirilmiştir:

- **MAE (Ortalama Mutlak Hata)** → Tahminlerin gerçek değerlere ortalama yakınlığı
- **MSE (Ortalama Karesel Hata)** → Büyük hatalara duyarlılık
- **R² (Belirleme Katsayısı)** → Modelin varyansı açıklama gücü

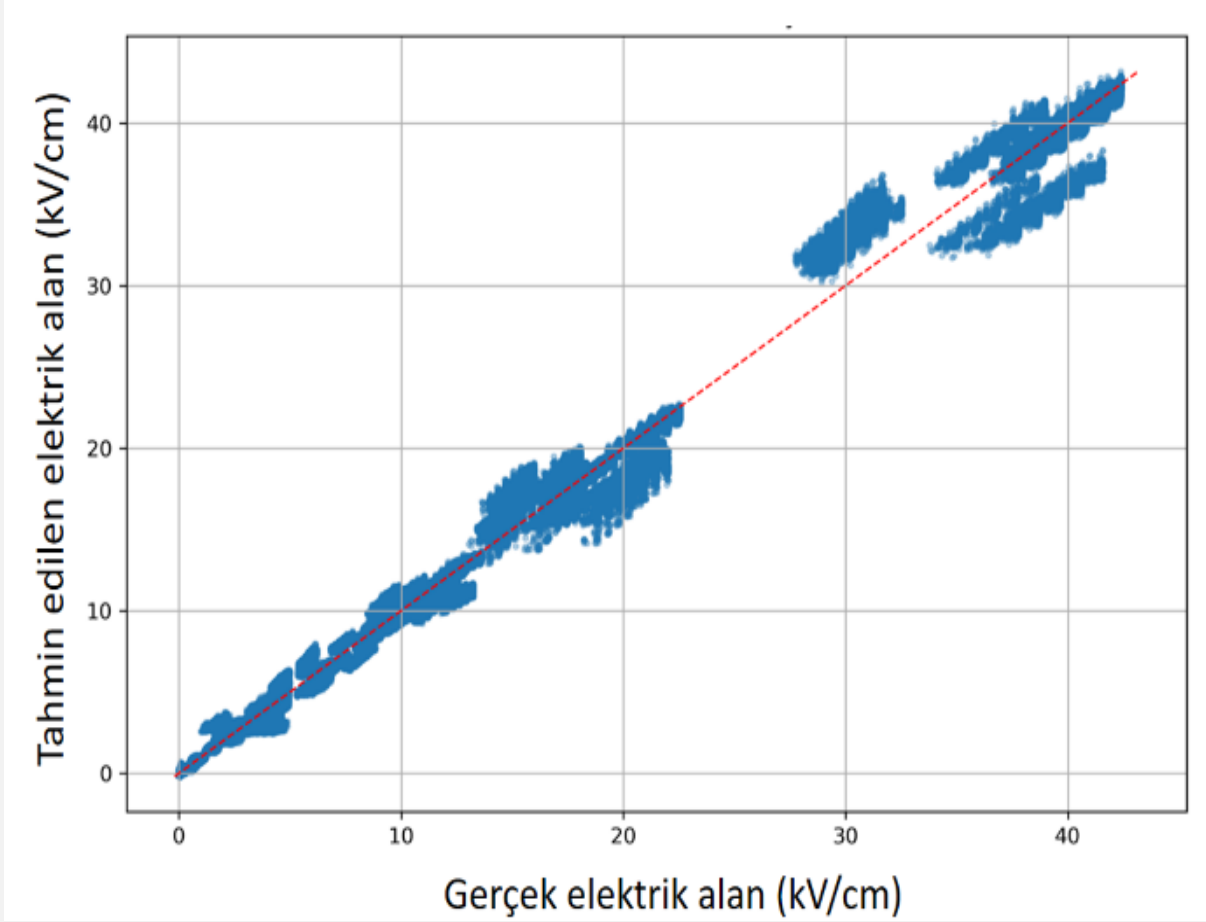
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y_{ii}| \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ii})^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ii})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{iii})^2} \quad (3)$$

n=veri noktalarının sayısı, y_i =gerçek değer, y_{ii} =tahmin edilen değer, y_{iii} =gerçek değerlerin ortalaması

3'lü Normal Tip İzolatör Derin Öğrenme Eğitimi

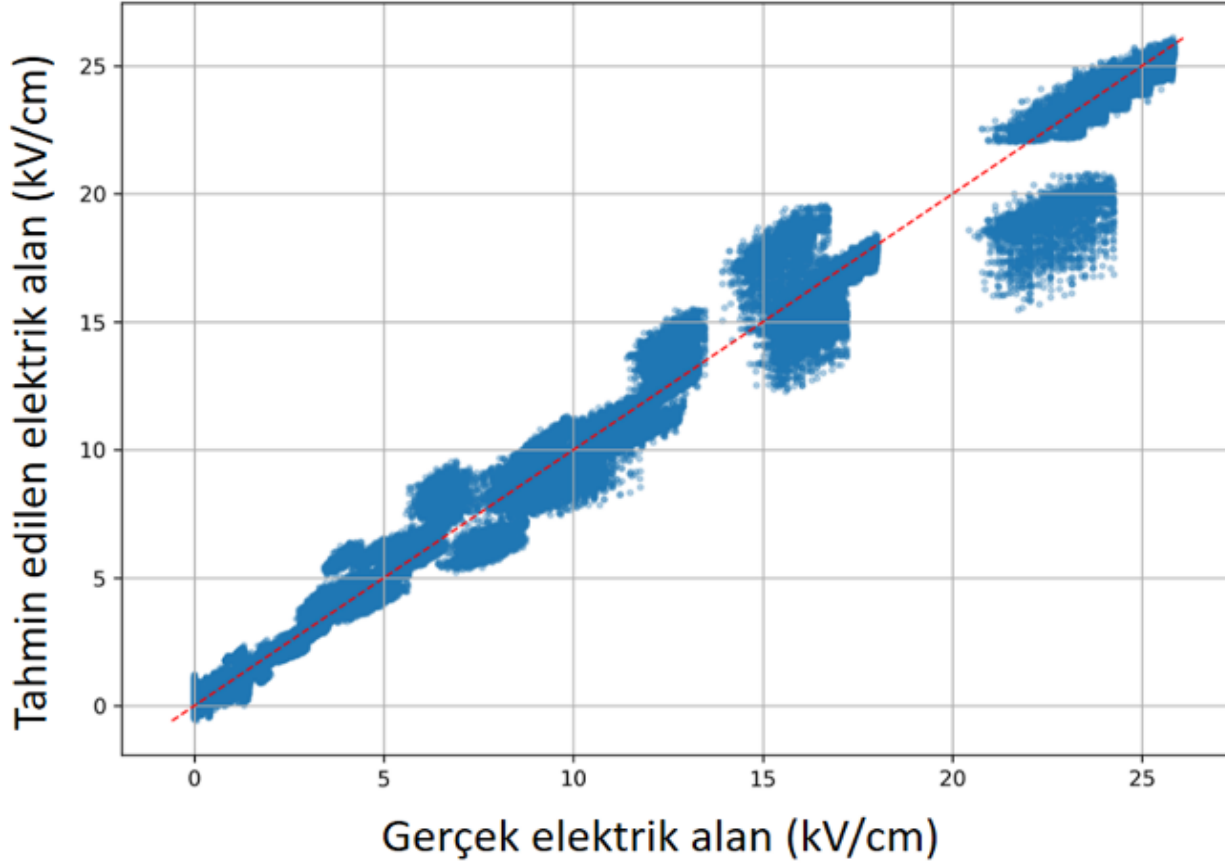


3'lü normal tip izolatör gerçek ve tahmin edilen değerler

3'lü normal tip izolatör derin öğrenme eğitimi

Veri Sayısı	2.578.125
Yapay Sinir Ağı Katmanları	256-128-64-1
Epoch Sayısı	50
Batch Büyüklüğü	1024
Doğrulama Verisi	%20
Öğrenme Oranı	$2,5 \times 10^{-4}$
Test Sonuçları	MSE=0,371, MAE=0,288, $R^2=0,994$

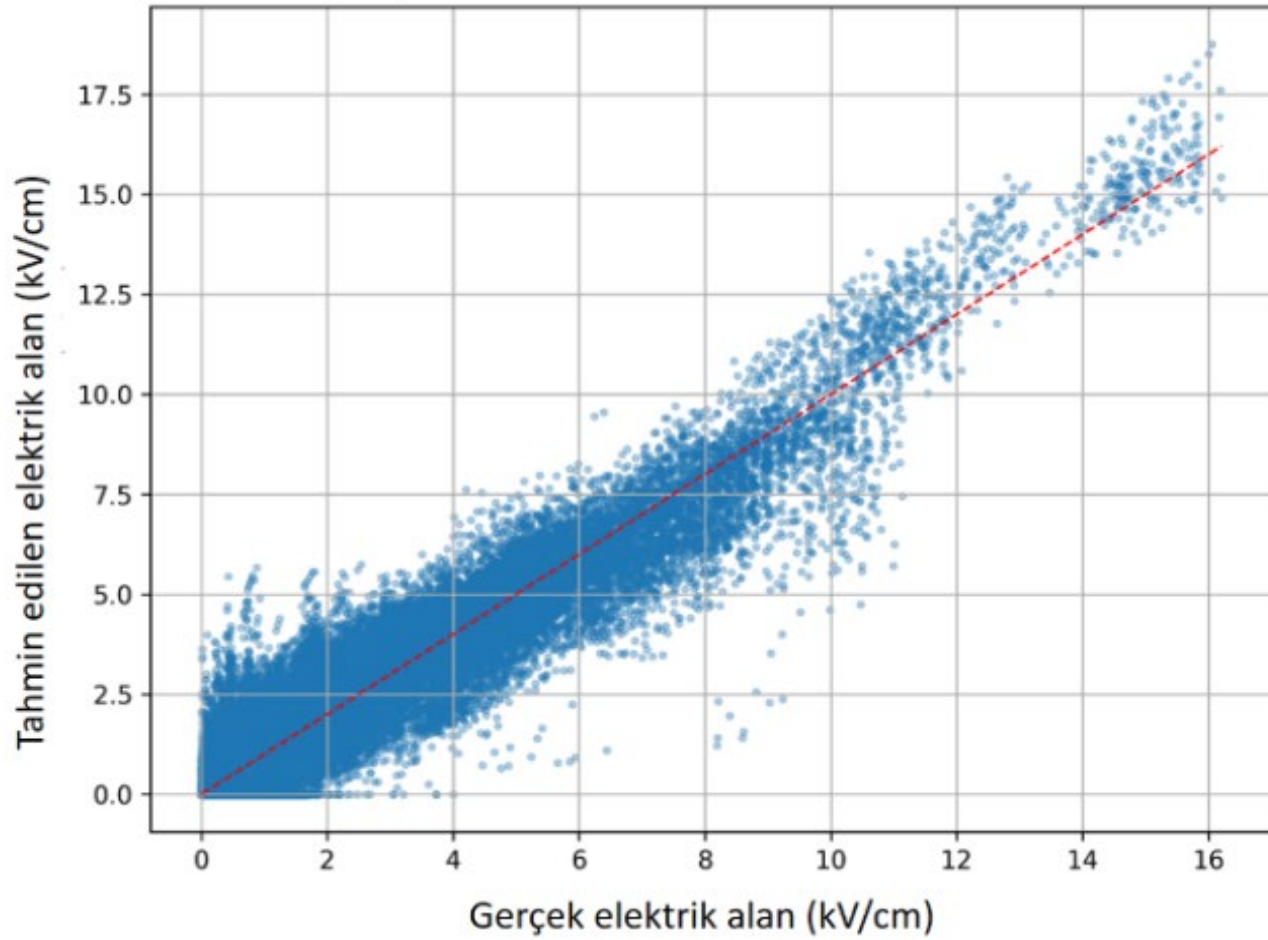
3'lü Sis Tip İzolatör Derin Öğrenme Eğitimi



3'lü sis tipi izolatör gerçek ve tahmin edilen değerler

3'lü sis tip izolatör derin öğrenme eğitimi

Veri Sayısı	3.046.875
Yapay Sinir Ağı Katmanları	256-128-64-1
Epoch Sayısı	50
Batch Büyüklüğü	1024
Doğrulama Verisi	%20
Öğrenme Oranı	$1,25 \times 10^{-4}$
Test Sonuçları	MSE=0,211, MAE=0,213, $R^2=0,991$



Silikon izolatör gerçek ve tahmin edilen değerler

Silikon izolatör derin öğrenme eğitimi

Veri Sayısı	453.125
Yapay Sinir Ağı Katmanları	256-128-64-1
Epoch Sayısı	50
Batch Büyüklüğü	1024
Doğrulama Verisi	%20
Test Sonuçları	MSE = 0,554, MAE = 0,503, $R^2 = 0,877$

- Üç izolator tipi (normal seramik, sis tipi, silikon kompozit) üzerinde elektrik alan dağılımları ve kirlenme etkileri incelendi.
- İzolator tipi, yüzey kirlenmesi ve uygulanan gerilim, alan şiddeti ve dağılımını belirleyici etkenlerdir.
- Normal seramik izolatorlerde lokal alan yoğunlaşmaları belirgin, sis tipi izolatorlerde dağılım daha dengeli, silikon kompozit izolatorler ise kirlenmeye dirençli ve homojen dağılım gösteriyor.
- Kritik alanlar, normal ve sis tipte direğe yakın kapak bölümleri, silikon izolatorde küçük siperli yüzeyler olmuştur.
- Derin öğrenme tabanlı modeller, tüm izolatorlerde elektrik alanı güvenilir şekilde tahmin etti.
- Bulgular, yapay zekâ destekli tahminlerin modern izolator tasarımı, işletme güvenilirliği ve bakım stratejilerinde etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Gelecek Çalışmalar

Gelecek çalışmalarda, benzer analizlerin 154 kV ve üzeri iletim hatlarında kullanılan kompozit izolatörler üzerinde uygulanması planlanmaktadır. Ayrıca, COMSOL tabanlı modelleme ve yapay zekâ tahmin sonuçlarının deneysel testlerle doğrulanması, modelin güvenilirliğini artıracak ve saha koşullarının daha gerçekçi biçimde temsil edilmesine olanak sağlayacaktır.

**GÜÇ SİSTEMLERİ
KONFERANSI IV**



TEŞEKKÜRLER