

## **ANSYS@MAXWELL KULLANILARAK TRANSFORMATÖRLERİN ANİ AKIMLAR DURUMUNDA MEYDANA GELEN ELEKTRİK ALAN ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Yıldırım ÖZÜPAK<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Silvan MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır, 21000, Türkiye  
Geliş tarihi: 11.01.2021 Kabul tarihi: 25.01.2021

### **ÖZET**

Transformatörlerin sargılarında beklenmedik bir anda oluşan aşırı gerilim ve akımlara karşı transformatörün mekanik açıdan dayanıklılığının tahmin edilebilmesi, transformatör üreticileri için tasarım sürecinde kullanıcılar için de üretimden sonraki süreçte çok önemlidir. Bu yüksek gerilim ve akımlara neden olan etkenler yıldırım-darbesi ve kısa devre arıza akımlarıdır. Yüksek gerilime neden olan yıldırım darbesi elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım darbe analizinin doğru gerçekleştirilmesi güç sistemlerinde son derecede önemlidir. Ani olarak meydana gelen yıldırım darbeleri durumunda transformatörlerin mekanik dayanımının sağlanabilmesi için tasarım sürecinde aşırı gerilimlere maruz kalan kısımların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Maxwell ortamında modellenen transformatörün, yıldırım darbesi durumundaki elektrik alan dağılımı, transformatörün sargılarında meydana gelen aşırı akımlar, transformatörün yalıtım malzemesinde meydana gelen zorlanmalar ve sargılardaki elektrik alan-gerilim dağılımı ilişkisi analiz edilmiştir. Bunun için Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne (SEY) dayanarak çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell yazılım programı ile transformatörün 2D modeli kullanılarak elektrik alan analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada trafonun hem normal çalışma koşullarında hemde yıldırım darbesi durumundaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, sargılardaki elektrik alan-gerilimi dağılımı, mekanik dayanımın az olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Primer ve sekonder sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Elektrik alanı, Transformatör, SEY, Yıldırım-Darbesi*

## **USING ANSYS@MAXWELL, THE REALIZATION OF THE ELECTRIC FIELD ANALYSIS OF TRANSFORMERS IN THE CASE OF INSTANT CURRENTS**

### **ABSTRACT**

The ability to predict the mechanical strength of the transformer against overvoltages and currents that occur unexpectedly in the windings of transformers is very important for transformer manufacturers in the design process and for users after production. The factors that cause these high voltages and currents are lightning-strikes and short-circuit fault currents. Lightning strike causing high voltage is a very important phenomenon for electrical power systems. For this reason, the correct performance of lightning impulse analysis is extremely important in difficult systems. In order to ensure the mechanical strength of the transformers in case of sudden lightning strikes, the parts exposed to excessive voltages must be determined during the design process. In this study, the electric field distribution of the transformer modeled in the Maxwell environment in the case of lightning strikes, the overcurrents in the transformer windings, the stresses in the transformer insulation material and the electric field-voltage distribution relationship in the windings are analyzed. For this, electric field analysis was performed by using 2D model of the transformer with ANSYS @ Maxwell software program, which realized a solution based on Finite Element Method (FEM). Here, analyzes of the transformer in both normal operating conditions and lightning strikes have been performed. In this way, the electric field-voltage distribution in the windings and the regions with low mechanical strength were determined. Critical areas that may cause deterioration in the insulation materials between primary and secondary windings have been determined. The results obtained were compared with the experimental and theoretical results.

*Keywords: Electric field, Transformer, FEM, Lightning-impulse*

\* e-posta<sup>1</sup>: [yildirimozapak@gmail.com](mailto:yildirimozapak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8702> (Sorumlu Yazar)

## 1. Giriş

Transformatörler, elektrik enerjisini farklı voltaj seviyelerinde kullanmak için çok önemli elektrik makineleridir. Transformatörler güç kapasitesi bakımından güç transformatörleri ve dağıtım transformatörleri olarak ikiye ayrılır.

Yıldırım darbesi, aşırı gerilim nedeniyle tüm elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım darbe analizi, güç sistemlerini yıldırım hasarlarına karşı korumak için önemli bir çalışmadır. Literatürde simülasyon programları kullanılarak transformatörlerin yıldırım analizi ve yalıtım malzemeleri ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Trafo sargıları üzerindeki yıldırım-darbe gerilim dağılımlarının analizlerini, azaltılmış ölçekli modele dayalı trafo sargılarındaki geçici aşırı gerilim dağılımının analizini, sonlu eleman modellerini ve geçici potansiyel ve alan dağılımının hesaplanması için yıldırım darbe testini içerir [1-5]. Güç transformatörlerinin sargı sisteminde, geçici rejim altında güç transformatöründe modelleme ve yalıtım tasarım metodolojisi, yıldırım darbesi modellemesi ve güç ve dağıtım transformatörlerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir [6-8]. Devre tekniğine bağlı SEY yıldırım darbesi altında bir güç trafosunun sargı ve yalıtım tasarımlarının geçici analizi için, yıldırım darbe analizi ile kuru tip bir transformatörün ayrıntılı bir modeli için birleştirilmiş analitik ve SEY yöntemleri incelenmiştir [9]. Yıldırım darbe analizi transformatör yağında yük taşımada iyonik ayrışma, güç aktarımında iç yalıtım tasarımı iyileştirmeleri için elektrik alan analizine sahip transformatörler, dağıtım güç transformatörleri aracılığıyla yıldırımın neden olduğu aşırı gerilimlerin hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

Bu makalenin katkıları şunları içerir: Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımı üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sargının elektrik alan dağılımları araştırılmış ve 2-B sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak analiz edilmiştir. Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımına etkisi, daha önceki çalışmalarda araştırılmamış olan konularda ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Aralıklı sargı yapısı, transformatörlerin kaçak endüktansını azaltabildiği görülmüştür. Elektrik alan dağılımı ve analiz sonuçlarının incelenmesi için önerilen yöntemin, transformatörlerde elektrik alan dağılımının iyileştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. Matematiksel Model ve Hesaplama Yöntemi

Elektrik alanın hesaplanması, transformatör sargısındaki yaklaşık yük yoğunluğuna dayanmaktadır. Yük dağılımını bulmak için yaklaşım fonksiyonları, farklı derecelerdeki polinom fonksiyonları olabilir [10]. Genellikle Nokta eşleştirme yöntemi kullanılır ve entegrasyon analitik olarak yapılır.

Green'in 2D Laplace denklemi için alan aşağıda verilmiştir [10]:

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{2\pi} \ln(|\vec{r} - \vec{r}'|) \quad (1)$$

Burada,  $\vec{r}$  bir hesaplama noktasının mesafesi ve  $\vec{r}'$  bir kaynak üzerindeki referans noktanın mesafesidir. Bu nedenle, elektrik alan potansiyeli  $\varphi(\vec{r})$  şu şekilde ifade edilebilir:

$$\varphi(\vec{r}) = \int_{\Omega'} \frac{1}{2\pi} \sigma(\vec{r}') \ln\left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|}\right) d\Omega' \quad (2)$$

Burada  $\sigma(\vec{r}')$  yüzey yükü yoğunluğunun dağılımı ve  $\Omega'$  iki boyutlu elemanların yüzeyidir. Her sınır elemanında  $\sigma$  yük dağılımını bularak, sargının etrafındaki uzaydaki potansiyel ve elektrik alanını hesaplamak mümkündür.

Yüzey yükü yaklaşık olarak N temel fonksiyonları  $f_i$  ile hesaplanır:

$$\sigma(\xi) = \sum_1^N a_i f_i \xi \quad (3)$$

Burada  $a_i$  bilinmeyen katsayılardır. Bu katsayılar, nokta eşleştirme yöntemi kullanılarak bilinen potansiyelden elde edilir. Problem iki boyutlu olduğundan, (1) deki  $|\vec{r} - \vec{r}'|$  şu şekilde yazılır:

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (4)$$

Doğrusal yaklaşım kullanılırken, temel fonksiyonlar  $f_{1x} = x$ ,  $f_{1y} = y$ ,  $f_{2x} = 1 - x$  ve  $f_{2y} = 1 - y$ 'dir.

Her bir bobin, hem radyal hem de aksel yönde dört segmente ayrılmıştır. Bu nedenle, on altı doğrusal eleman vardır.

Bilinmeyen katsayıları hesaplamak için çözülmesi gereken iki integral vardır. Analitik çözümleri appendiks A'da gösterilmektedir. İntegrallerin analitik çözümü, parçalarla ikame ve entegrasyon kullanılarak elde edilmektedir. Çözümün doğruluğu, matematiksel yazılımın sonuçları ve sayısal entegrasyonun sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanabilir.

Bilinmeyen yük yoğunluğu dağılımı elde edildikten sonra, herhangi bir  $\vec{r}$  noktasındaki potansiyel ve elektrik alan kuvveti belirlenebilir. Ayrıca, yük dağılımını elde ederek kapasitans matris elemanlarını aşağıdaki gibi hesaplamak da mümkündür [10]:

$$C_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\varphi_i - \varphi_j} \quad i \neq j. \quad (5)$$

Burada  $\varphi_i$  ve  $\varphi_j$ , i-th ve j-th iletkeninin potansiyelleridir  $Q_{ij}$ , i-th iletkenindeki yükten etkilenen j-th iletkeni üzerindeki toplam yüküdür.

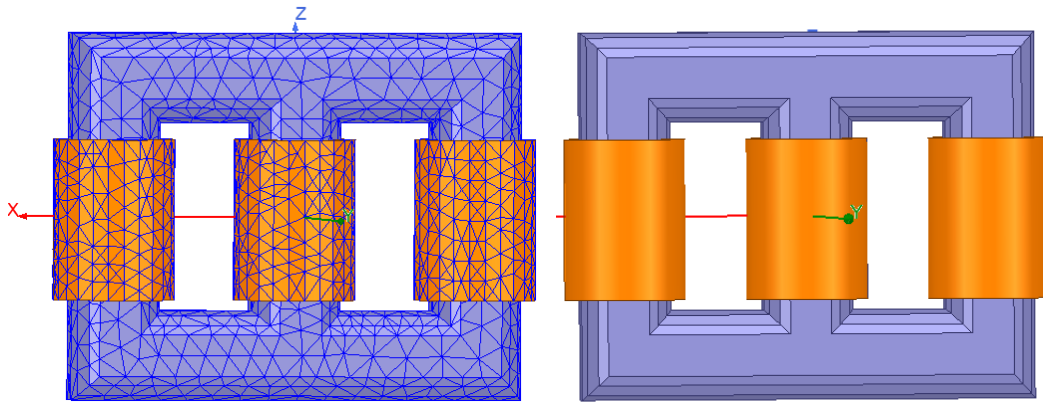
$$Q_{ij} = \int_{\Omega_j} \sigma_j d\Omega_j = \sum_{k=1}^N \sigma_{kj} d\Omega_{kj} \quad (6)$$

Burada  $\sigma_{kj}$ , j-th iletkeninin k-th segmentindeki yüzey yükü yoğunluğu ve  $\Omega_{kj}$  yüzeyidir, N ise j-th iletkeninin sonlu segmentlerinin sayısıdır.

### 3. Ansys@Maxwell Ortamında Transformatörün Modellenmesi

Bu çalışmada ANSYS Maxwell simülasyon programı kullanılarak 15MVA güç kapasiteli bir kuru tip dağıtım trafosunun yıldırım elektrik alan analizi gerçekleştirilmiştir.

Bir transformatörün yıldırım darbe analizinde, primer sargıya 1000 kV'luk bir uyarı ile yıldırım darbesi uygulanır. Yıldırım analizinin çözüm türü elektrik geçişine ayarlanmıştır. Tasarlanan model 50  $\mu$ s zaman aralığında 1  $\mu$ s zaman adımında analiz edilir. Tasarlanan güç transformatörünün ANSY@Maxwell ile trafo modeli Şekil 1'de verilmiştir.



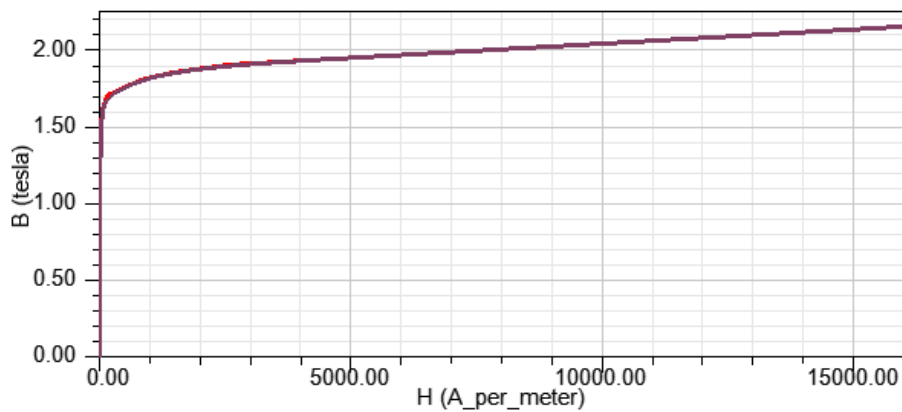
**Şekil 1.** Transformatörün modeli ve örülen Mesh(ağ)

Program ortamında transformatör modelinin sınır şartları, geometric ölçüleri ve kullanılan tüm malzemelerin özellikleri model üzerinde tanımlanmaktadır. Transformatöre ait analizlerde kullanılan elektriksel bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Tasarlanan transformatöre ait elektriksel ve mekaniksel veriler.

Parametre	Değer
Nominal Güç	15.MVA
Primer Voltajı	33000 V
Sekonder Voltajı	11000V
Çekirdek Kayıpları	12500 W
Bakır Kaybı	97000 W
Frekans	50 Hz
Çekirdek Materyali	M125-027S

Transformatörün nüvesi manyetik malzemenin B-H eğrisi ve ince saclarla program ortamında tanımlanmaktadır. Kullanılan nüve malzemesinin manyetik özelliği olan B-H eğrisi Şekil 2’de verilmiştir.

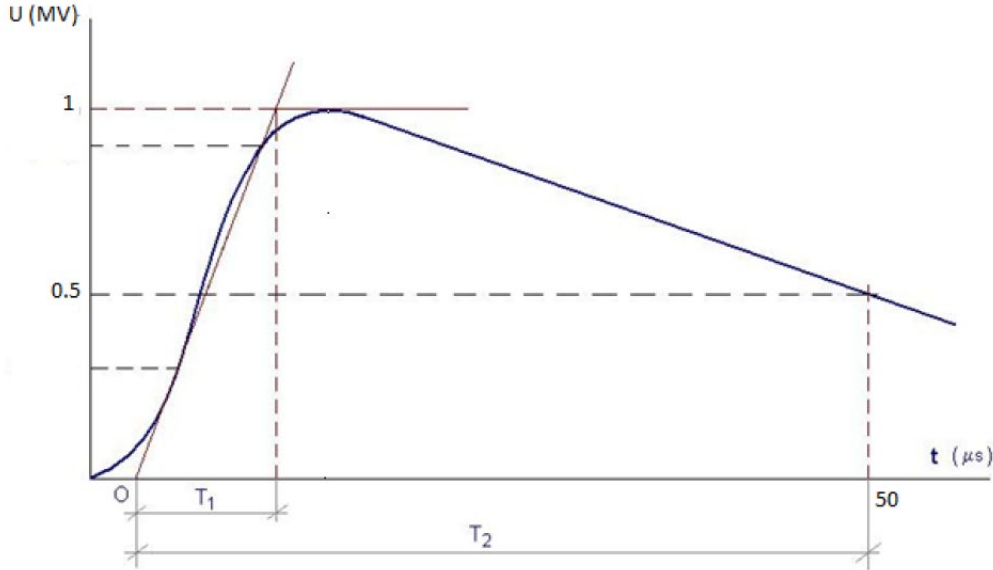


**Şekil 2.** Nüve materyalinin B-H eğrisi

Modellenen transformatör iki durum için analiz edilmiştir. Hem normal çalışma koşullarında hem de ani akım durumunda analiz edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır.

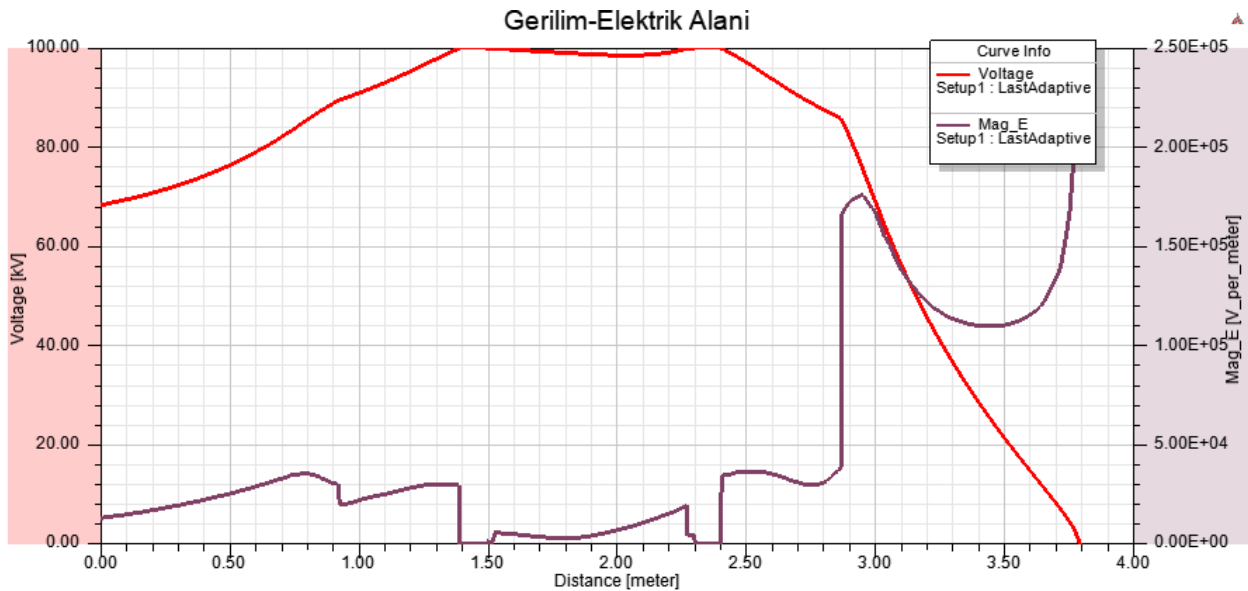
### 3.1 ani akımlar için transformatörün analizi

Bu analiz için modellenen transformatörün primer sargılarına uygulanan yıldırım-darbe gerilimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Primer gerilim, sekonder sargıda yıldırım geriliminden daha düşüktür.



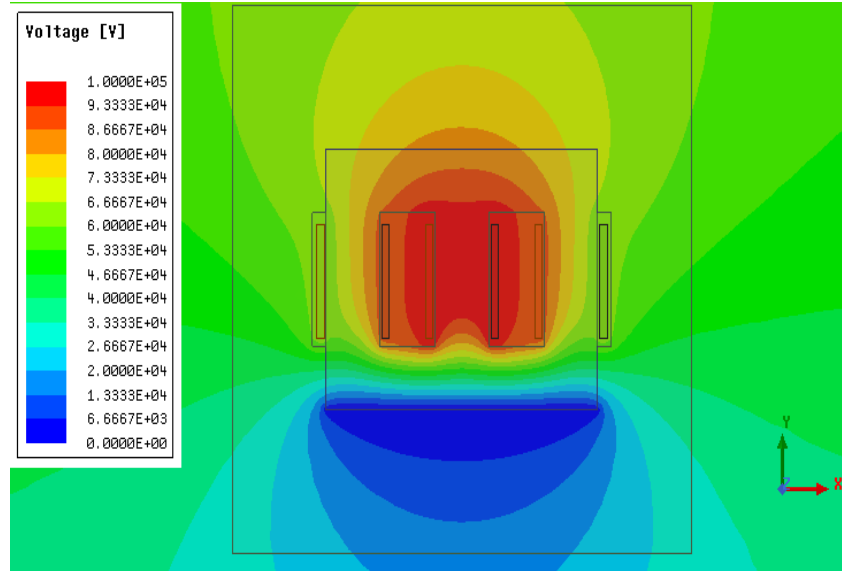
Şekil 3. Uygulanan Yıldırım darbe gerilimi.

Çekirdeğin dış köşesinden Primer sargıya doğru bir çizgi boyunca elektrik alanın büyüklüğü Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu çizgi boyunca elektrik alanın azalması/artması, o çizginin başlangıç / bitiş noktasına değişir.



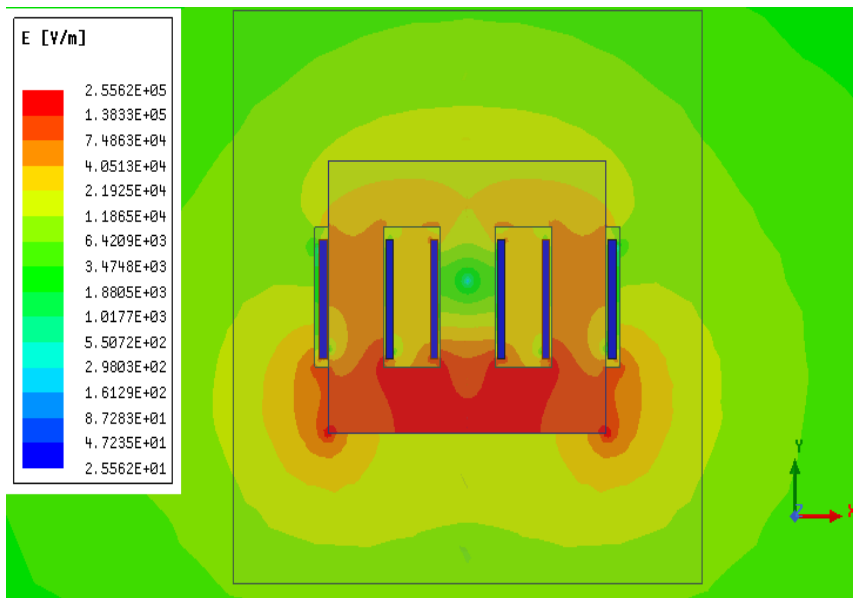
Şekil 4. Yıldırım darbesindeki gerilim-elektrik alanı ilişkisi

Transformatör üzerindeki gerilim dağılımı, Şekil 5'te yıldırım darbesi sırasında sunulmuştur. Sargılarda meydana gelen aşırı gerilim ve akımlar sargıların izolasyon malzemesinin zarar görmesine sebep olmuştur. Kırmızı renk ile görülen kısımlar aşırı gerilim zorlanmalarını gösterir.



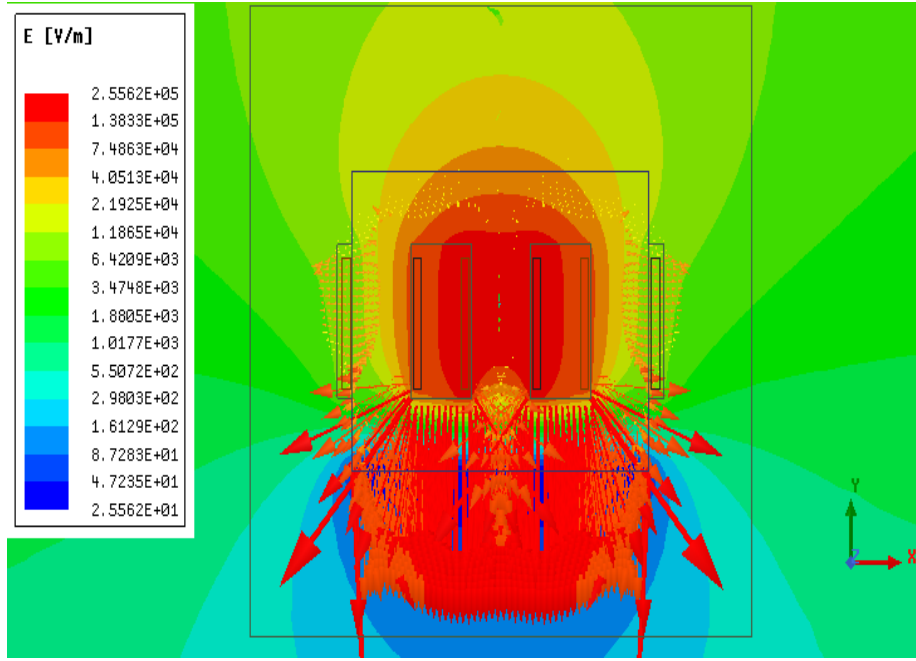
Şekil 5. 2D transformatör modelinde yıldırım darbesi durumunda meydana gelen zorlanma ve gerilim dağılımı.

İki boyutlu transformatör modelinde Primer ve sekonder sargılar arasında yalıtım malzemesinin üst tarafındaki elektrik alan büyüklüğü Şekil 6'da gösterilmiştir

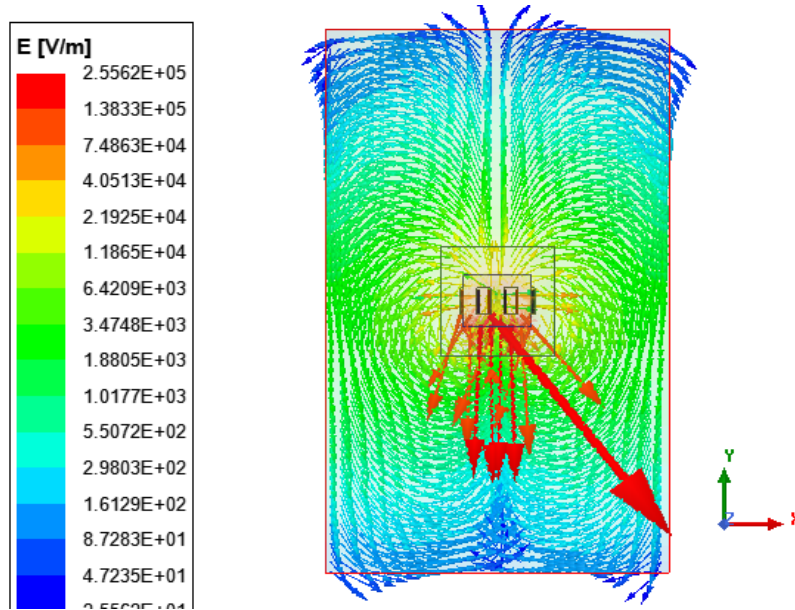


Şekil 6. Yıldırım darbesi sırasındaki elektrik alan dağılımı

İki boyutlu transformatör modelinde elektrik alan dağılımı Şekil 7'de yıldırım darbesi sırasında vektörlerle gösterilmiştir.



Şekil 7. Yıldırım darbesi sırasındaki elektrik alanının vektörel dağılımı

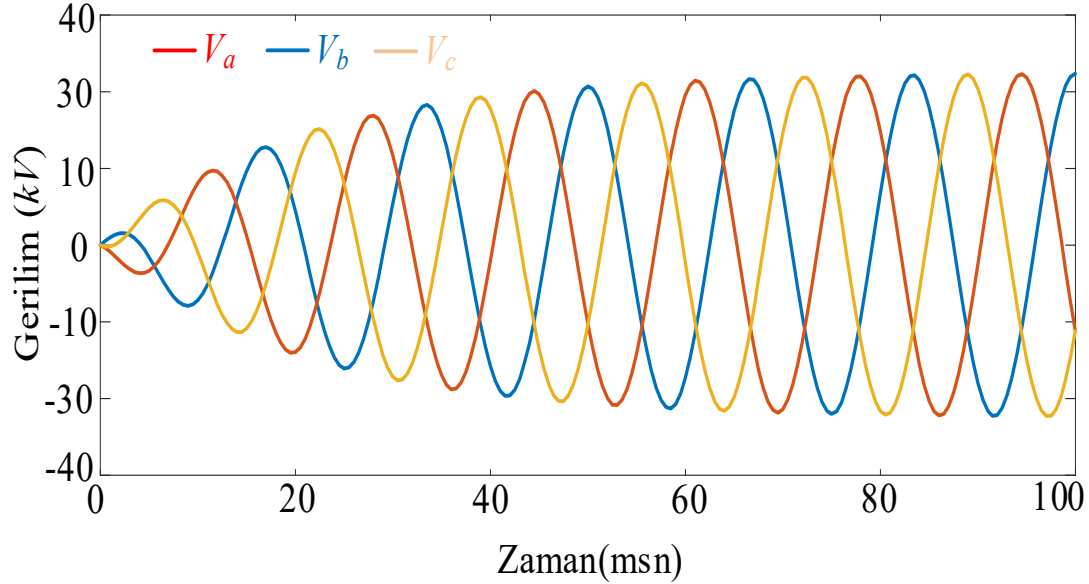


Şekil 8. 2D transformatör modelinde Primer ve sekonder sargılar arasında elektrik alan dağılımı.

Sekonder sargıdaki yıldırım voltajının sonucu, uygulanan yıldırım darbesi ile tutarlıdır. Primer ve sekonder sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler tespit edilmiştir. İki boyutlu modelin yalıtım malzemesi üzerindeki kritik bölgelerdeki elektrik alan dağılımı da gösterilmiştir.

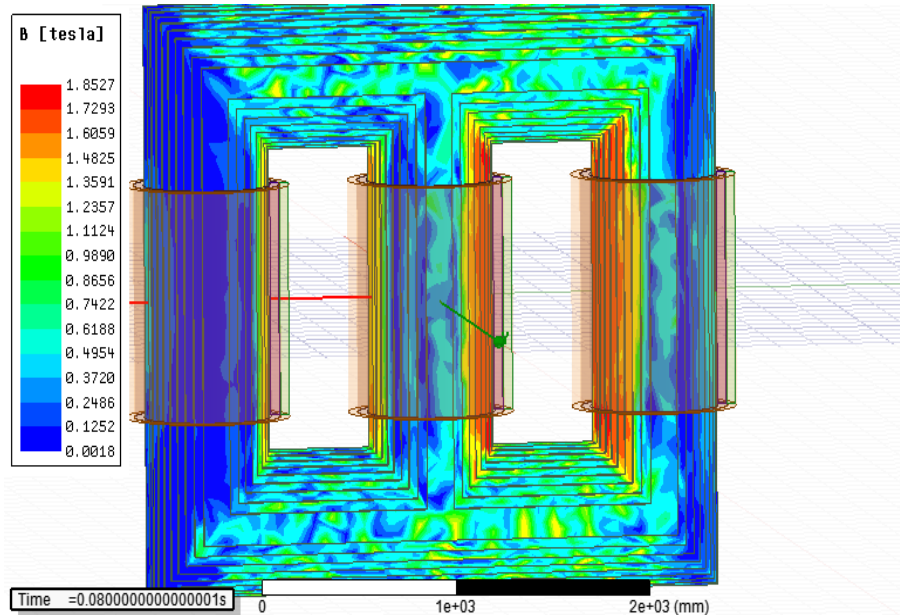
### 3.2 transformatörün normal koşullardaki analizi

Bu bölümde transformatörün, elektromanyetik alan analizi, kayıp değerleri ve sargılardaki elektromanyetik kuvvetleri kalıcı hal durumu için elde edilmiştir. Analiz için programa Şekil 9’da verilen ve exponansiyel olarak artan bir gerilim uyarması verilmiştir [11-12].



Şekil 9. Transformatörün giriş gerilimi

ANSYS@Maxwell 3D ortamında modellenen transformatör ün manyetik akı dağılımı Şekil 10’da sunulmuştur.

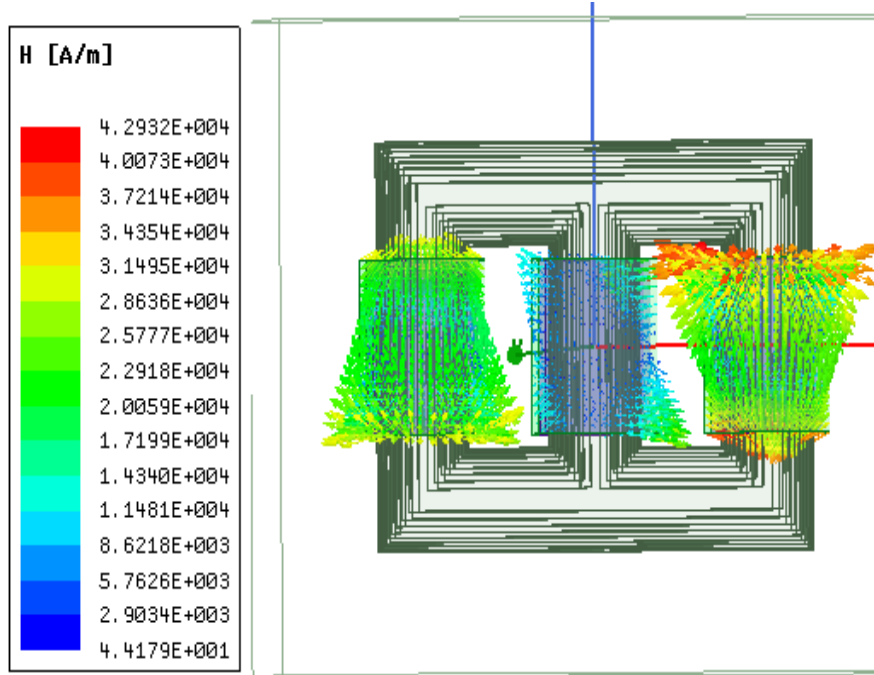


Şekil 10. Modelin manyetik akı dağılımı

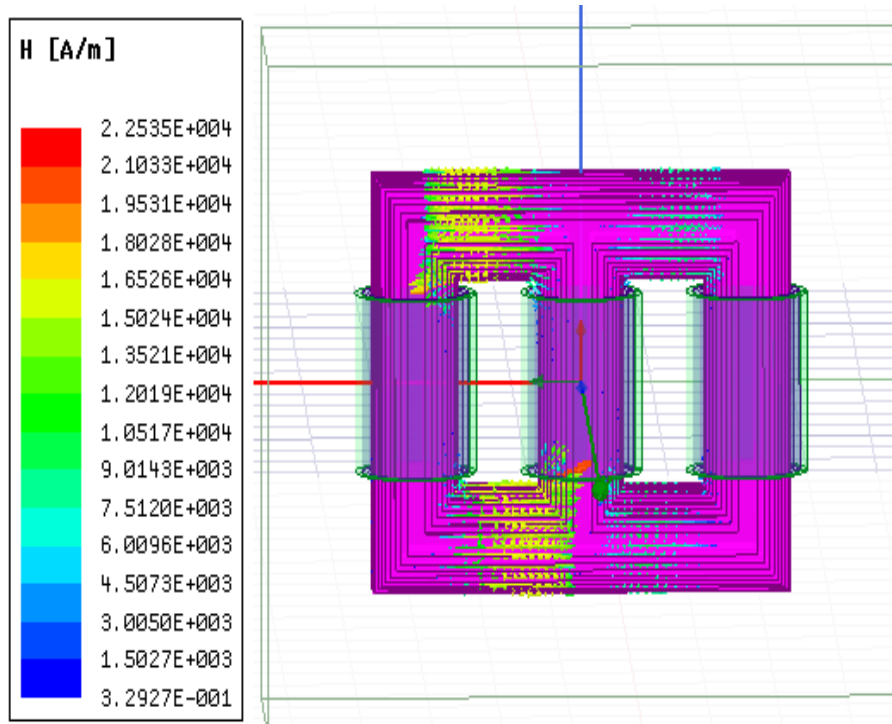
Çalışmadaki analizlerden manyetik alan şiddeti de elde edilmiştir. Hem nüvedeki hem sargılardaki manyetik alan şiddetleri Şekil 11 ve Şekil 12’de sunulmuştur. Alan şiddeti dağılımından sargılardaki



zorlanmalar görülebilmektedir. Özellikle üçüncü fazda sargı izolasyonlarında zorlanmalar meydana gelmiştir. Zorlanmanın fazla olması yalıtım malzemesinin bozulmasına hatta delinmesine dahi sebep olabilmektedir.

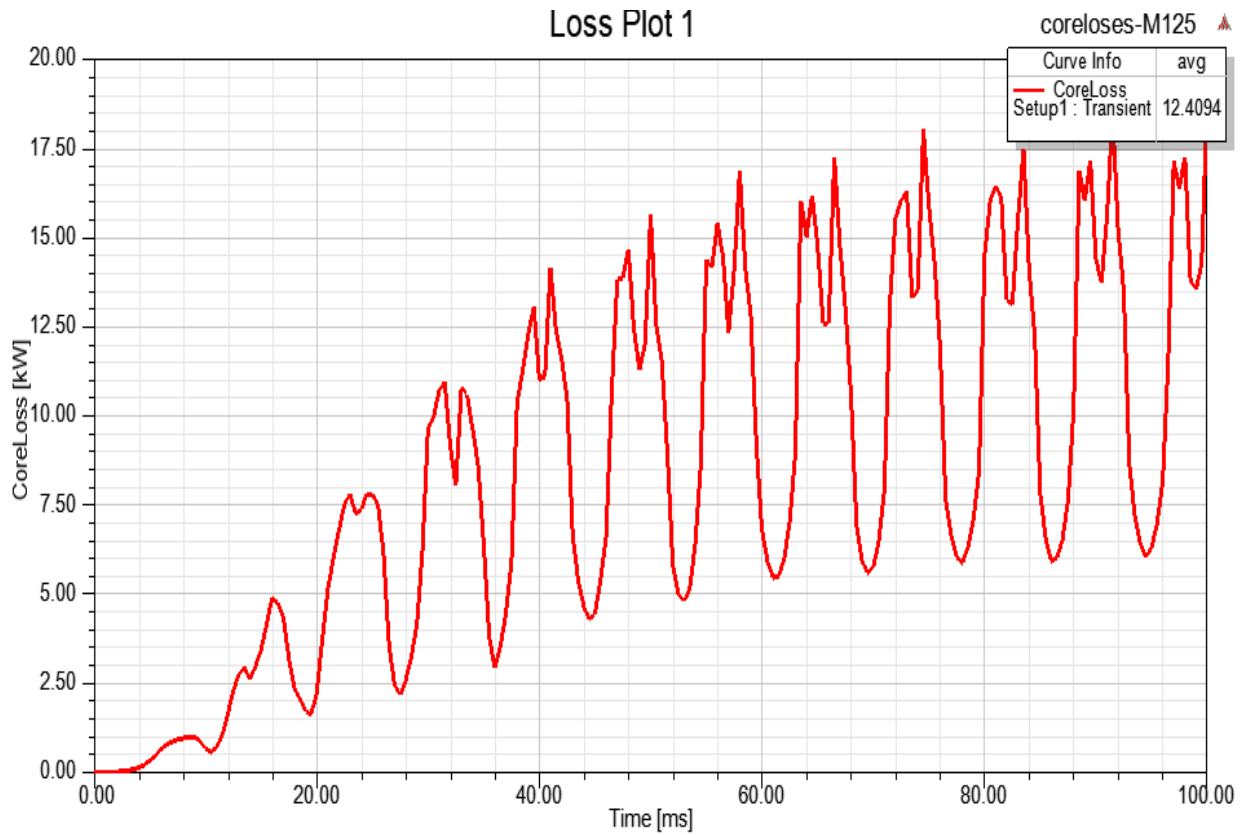


Şekil 11. Sargılardaki manyetik alan şiddeti



Şekil 11. Nüvedeki manyetik alan şiddeti

Modellenen transformatörün ANSYS@Maxwell ile elde edilen çekirdek kayıp eğrisi Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 13. Trafonun çekirdek kayıpları

Trasnformatörün normal çalışma şartlarındaki analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Transformatörde meydana gelen nüve ve bakır kayıpları

	Bakır kayıpları		Nüve kaybı		
	Simülasyon sonucu	Deneyse sonuç	Teorik sonuç	Simülasyon sonucu	Deneyse sonuç
Teorik sonuç	97.2 kW	97 kW	12.36 kW	12.41 kW	12.5 kW
96.49 kW					

Modellenen transformatörün analizinde kullanılan malzemelere ait bazı karakteristik bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Transformatörün materyallerinin özellikleri

	Yoğunluk	Isotropic termal iletkenlik	Özel sıcaklık değeri
Sargılar	8933 kg/m <sup>3</sup>	400 W/m <sup>2</sup> °C	385j/kg <sup>2</sup> °C
Nüve	7650 kg/m <sup>3</sup>	5 W/m <sup>2</sup> °C	
İzolasyon		4.5 W/m <sup>2</sup> °C	

Transformatör her iki durum için analiz edildikten sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılarak transformatörün zayıf ve sorunlu bölgeleri tespit edilmiştir.

### 3.3 Sonuçların karşılaştırılması

Modellenen transformatör iki durum için analiz edilmiştir. Hem normal çalışma koşullarında hem de ani akım durumunda analiz edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Sonuçların karşılaştırılması

	Elektrik Alanı	Manyetik Akı (T)	Manyetik alan şiddeti	Elektro-Manyetik kuvvetler
Normal çalışma koşulları	0.85 102 V/m	B =1.84 T	H= 2861 A/m	1.402 N
Ani akımlarda	1.45 105 V/m	B =3.64 T	H= 7903 A/m	3411 N

Trafonun geçici rejim olayındaki manyetik akı, elektromanyetik kuvvet, elektrik alan ve manyetik alan şiddeti değerleri incelendiğinde sonuçların ne kadar farklı olduğu görülmektedir. Meydana gelen elektromanyetik kuvvetin sargı izolasyonlarına zarar verdiği görülmüştür. Elektrik alanine yüksek olması izolasyonda delinmeye yol açmaktadır. Manyetik akının yüksek olması nüve malzemesinin doyuma gitmesine sebep olmuş ve kayıplar artmıştır.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik alanının hesaplanmasında integral denklem yaklaşımının kullanımı sunulmaktadır. Bu yaklaşım, bir transformatörün elektrik alanının hesaplanmasına uygulanabilirliğini doğrulamak için sayısal bir yöntemi çözmek amacıyla kullanılmıştır. Yıldırım Yıldırım darbesi, aşırı gerilim darbesi nedeniyle tüm elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım analizi, güç sorunu için eşit derecede önemlidir. Bu yazıda Yıldırım-darbesi sırasında trafoya uygulanan yıldırım darbe gerilimi, trafonun elektrik alanı ve gerilim dağılımı simülasyon sonuçları ile sunulmuştur. Birincil ve ikincil sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler üç boyutlu olarak gösterilmiştir. İki boyutlu modelin yalıtım malzemesi üzerindeki kritik bölgelerdeki elektrik alan dağılımı da gösterilmiştir. Denklem sistemi, sınır elemanı yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar, ticari bir yazılım olan ANSYS@Maxwell yazılımının sonuçları ile karşılaştırıldığında uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu da kullanılan yöntemi doğrulamaktadır. Sonuçlar analiz edildiğinde, meydana gelen elektromanyetik kuvvetin sargı izolasyonlarına zarar verdiği görülmüştür. Elektrik alanine yüksek olması izolasyonda delinmeye yol açmaktadır. Manyetik akının yüksek olması nüve malzemesinin doyuma gitmesine sebep olmuş ve kayıplar artmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi BAP birimince destek almıştır. Proje No: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

**Kaynaklar**

- [1] Heatcote M, 2007 J&P Transformer Book. Thirteenth Edition, Oxford, United Kingdom, Newness An imprint on Elsevier.
- [2] Turan H, Çekirdekli D 2007 Hava Aralığı Bulunan Reaktör Çeşitlerinin İrdelenmesi ve Bir Prototip için Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
- [3] Dönük A 2012 Modeling and Design of Iron-Core Shunt Reactors With Discretely Distributed Air-Gaps. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, Turkey.
- [4] Zheng T, Zhao YJ, Ying J, Chen PL, Zhang FF 2015 “Design and analysis on the turn-to-turn fault protection scheme for the control winding of a magnetically controlled shunt reactor”. IEEE Transactions, 30(2), 967-975.
- [5] Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K 2013 "Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", Power Electronics, IET, 6 (6), 1058-1068.
- [6] Özüpak Y, MAMIS M. S 2019 Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- [7] Özüpak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H 2019 Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. International Journal of Engineering And Computer Science, 8(1), 24451-24460. (Yayın No: 5774086)
- [8] Yazdani-Asrami M, Mirzaie M, Akmal A. S 2013 No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis, Energy, vol. 50, no. 1, pp. 205-219.
- [9] M. Ostrenko and B. Andriienko, "Transformer impulse surges calculation by FEM coupled to circuit," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 53, no. 6, pp. 1-4, June 2017, Art no. 7401804.
- [10] T. Zupan, B. Trkulja, R. Obrist, T. Franz, B. Cranganu-Cretu, and J. Smajic. Transformer windings rlc parameters calculation and lightning impulse voltage distribution simulation. IEEE Transactions on Magnetics, 52(3):1–4, March 2016.
- [11] Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K (2013)."Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", Power Electronics, IET, 6 (6), 1058-1068.
- [12] Yugendra Rao K N, (2015). Dynamic Modeling and Calculation of Self and Mutual Inductance between a Pair of Coils for Wireless Power Transfer Applications using ANSYS Maxwell, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 10.