

## Pressboard Bariyerli İzolasyon Sistemleri ve Krep Kağıtlı Kalın Sarılmış Sistemlerin 800kV Link Bağlantı Sistemi Uygulamasında Karşılaştırılması

### Comparison between Pressboard Barrier System and Wrapped Crepe Paper Method in the design of 800 kV Winding Link Connection Insulation System

Selim Yürekten<sup>1</sup>, Faruk Erenler<sup>2</sup>, Emre Öztürk<sup>3</sup>, Hakan Coşer<sup>4</sup>

ENPAY Transformer Components

[s.yurekten@enpay.com](mailto:s.yurekten@enpay.com), [f.erenler@enpay.com](mailto:f.erenler@enpay.com), [e.ozturk@enpay.com](mailto:e.ozturk@enpay.com), [h.coser@enpay.com](mailto:h.coser@enpay.com)

#### Özet

CIGRE çalışma grubu (A2-37) güvenilirlik incelemesinde trafo arızalarının yüzde 50 si sargılarda olduğu rapor edilmiştir. Hurda olmuş trafolarında bu oran sargılar için yüzde 65, tamir trafolarında ise sargı hataları yüzde 42 ye denk gelmektedir. Yüksek gerilimli trafolarında kısmi boşalmadan dolayı izolasyon bileşenlerinin bozulması da ana problemlerden biridir.

Yüksek gerilim bushingi ve yüksek gerilim sargı çıkışları arasındaki izolasyon transformatörün en hassas ve kritik izolasyon parçalarından biridir. Trafo izolasyonunun kalitesinin belirlenmesinde, kullanılacak malzemenin kalitesi ve tasarımı önemli bir rol oynar ve ayrıca güç transformatörlerinin ömrü konusunda da belirleyicidir. Çıkış izolasyon sistemlerinin özellikleri PD nedeniyle bozulur. PD sınırları aşıldıktan sonra arıza aniden gerçekleşir ve tüm sistem çökebilir. Bu nedenle, yüksek gerilimli güç ekipmanlarını sağlıklı durumda tutmak için PD'nin sürekli izlenmesi ve tespiti, elektrik mühendisinin önemli görevlerinden biridir.

Pressboard bariyerli izolasyon sistemi ile bütün halde sarılmış krep kâğıtlı izolasyonun sisteminin nem ve yaşlanma açısından karşılaştırdığımızda; yumuşak krep kağıdı daha fazla nemi emer. Bu emilen aşırı nem daha uzun bir kurutma işlemine ihtiyaç duyar. Krep kağıt izolasyonu, bu daha uzun işleminden dolayı yaşlanır. Özellikle sorun döneminde transformatörlerde nem (aşırı veya ppm); hem katı hem de sıvı izolasyonu etkiler.

AC gerilim koşulları altında nem ve yaşlanmanın pressboard ve krep kağıt izolasyonlu sistemin, elektriksel dayanımı üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlıyoruz. Bariyerlerin ana fonksiyonu, küçük yağ

kanallarına bölünmesi sayesinde dielektrik dayanımını arttırmaktır. Bu nedenle, HV transformatörünün çıkış sisteminin optimize edilmesini sağlar. Aslında bariyer sistemi (yağ boşluğu) sargılarda da kullanıyor. Bariyer yayılan elektronları durdurmak için tasarlanmış bir yapıdır.

Bu çalışma elektrostatik stres, nem davranışı ve kısmi deşarj konularına odaklanacaktır

**Anahtar Kelimeler;** Pressboard bariyer sistemi, krep kağıdı, çıkış izolasyon sistemi, sargı, HV izolasyon bileşenleri, FEM analizi, elektrik alanlar.

#### Abstract

It was reported that about %50 of major failures occurs in the windings in CIGRE Working Group (A2-37) Transformers Reliability Survey. The failure ratio in scrapped transformer WINDINGS is about %65, in repaired transformers WINDINGS is %42 PD and Breakdowns due to PD of insulation components are one of the major problems in high voltage transformers.

One of the most sensitive and critical insulation part of transformer is the insulation between the HV winding and the tank including the HV bushings and leads. In the determination of the quality of transformer insulation, the quality of material to be used and the design play an important role and are decisive about lifetime of power transformers. Properties of exit insulation systems deteriorate due to PD. After PD over limits, breakdown takes place suddenly and entire power system might collapse. Therefore, continuous monitoring and detection of PD is the one of the important task for electrical engineer to keep the high voltage power equipment in healthy condition.

*When we compare pressboard barrier system with insulation made by full wrapped crepe paper in terms of moisture and ageing; soft crepe paper absorbs more moisture. This absorbed excessive moisture is exposed to a longer drying process. Crepe paper insulation is aged due to this longer process. In the term of particular problem is moisture (excessive or ppm) in transformers; it affects both solid and liquid insulation.*

*We aim to examine ageing and moisture effects on the electric breakdown strength of pressboard and crepe paper insulation under AC voltage condition. The barriers have main function to increase the dielectric strength due to divide tighter gaps. So it is enable to optimize of HV transformer's lead exit system. Actually barrier system (oil gap) is using also in the windings. A barrier is a structure which is designed to stop electrons that is spreading. This paper will focus on the points of electrostatic stress, moisture behaviour and partial discharge.*

## 1. Giriş

Yeni veya işletmede olan trafolar üretilirken izolasyonun uzun ömürlü olması için selüloz içindeki su oranının en azından %0,5'e eşit veya altında olması gerekiyor. Oysa ki Transformatör içinde kullanılan selüloz bazı izolasyon malzemeleri ve komponentlerinin ısı ve vakum karşısında ki davranışları malzemelerin yapısal farklılıkları ve kullanıldıkları yerdeki geometri ve kalınlık farklılıkları nedeni ile farklı davranışlar sergilemektedir.

Transformatörün aktif kısmının kurutulması sonrasında tank içine konulup vakum altında yağ basılana kadar geçen period çok kritik bir süreçtir. Bu süre zarfında aktif kısım saatleri bulan süreler içinde üretim sahasında bekleyebilmektedir, bu esnada izolasyon malzemelerin nem alma davranışları da malzemenin yapısal ve kullanıldığı yere göre nem alma davranışları da farklılık göstermektedir.

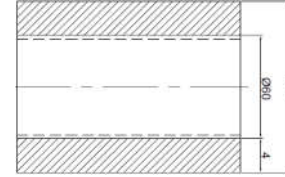
Kurutma, bekleme ve vakum altında yağ basma, dinlendirme ve teste giden bu süreç içinde yapılacak malzeme girdi ve proses hataları uygun şartlarda 50 yılın üzerinde ömrü olan bir trafonun ömrünü onlarca yıl kısaltabilmektedir.

Bu amaçla denk şartlarda şartlandırılmış iki ana malzeme ,kağıt ve boardun, temel bir kaç test metodu ile kuruma davranış farklılıkları, trafo yağına olan etkileri, nem alma ve verme miktarları karşılaştırılmıştır. [2] [3] [4]

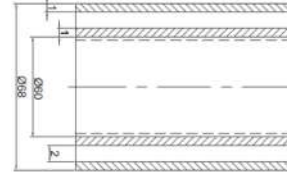
## 2. Temel Deneysel Tasarım Prosedürleri ve Uygulama Çalışması

İzolasyon yapılarının formu, Krep kağıdı ve Pressboard bariyerli sistem olmak üzere iki tür malzeme kullanılarak incelenmiştir. İnceleme, ilk olarak sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılan yazılım ile

"elektrostatik alan yoğunluğu" şartları birbirine eşdeğer iki model oluşturulmasıyla başladı.[1] Sistemler, farklı gerilim seviyeleri için bariyer konumlarını ve izolasyon kalınlığını değiştirerek aynı güvenlik katsayılarının etkisi altında eşitlendi. Çıkış bağlantıları kullanılan sistemler simülasyon edilerek karşılaştırmalı bir çalışma yapıldı. Bölüm 2.3'te Uygulama Çalışması; pressboard bariyerli izolasyon sistemi ile modellenmiş bir proje 3D çizim ile mekanik simülasyonlar ve 2D - 3D FEM analiz programı yardımıyla Elektrostatik analiz yapılarak incelenmiştir.



Model A krep kağıdı



Model B bariyerli sistem

Model A, alüminyum boru üzerine 1 mm ve 4 mm krep kağıdı (CP) izolasyonu, %50 bindirmeli (IEC 60554-3-3)

Model B, 1 mm Pressboard izolasyon (MPB) ve ayrıca 1 mm pressboard bariyer (IEC 60641-3-1)

Aşağıda, elektrostatik alan yoğunluğu bakımından izolasyon yapılarının eşit olduğu modelleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

### 2.1 Elektriksel Deneyler

#### 2.1.1 Simülasyonlar

#### 2.1.2 Elektriksel dayanım ve kısmi deşarj (PD) başlangıç gerilimi

### 2.2 Kimyasal Deneyler

İki model arasında kurutma sonrası su oranlarının incelenmesi (1 hafta, 0,01 mbar altında, 105°C'de kurutma sonucunda elde edilen)

### 2.3 Uygulama Çalışması

800kV yüksek gerilim sargıları için bariyerli bağlantı sistemi.

#### 2.1 Elektriksel İnceleme

Yüksek elektrostatik alan şiddeti yoğunluğu izolasyon malzemeleri üzerinde kısmi boşalmaların oluşmasına, DP değerinin zamanla düşmesine ve yaşlanmanın oluşmasına sebep olur.

Bu bilgiler tasarım aşamasında değerlendirilmesi gereken hususlardır. Bu izolasyon malzemenizin ömrü ve dolayısıyla trafonuzun ömrünü belirleyen bir durumdur.[5]

Transformatörlerde izolasyon büyük ve küçük izolasyon olarak sınıflandırılabilir. Büyük izolasyon sargıları kapsayan izolasyon, sargılar ve nüve arasında, yüksek gerilim çıkışları ve toprak arasındaki izolasyonu içerir. Küçük izolasyon sargılar içinde izolasyondur, örneğin: interturn ve interdisc izolasyon. [6]

Yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim sistemlerinde tasarımın başlangıç aşamasında elektrostatik alan şiddet yoğunluğunu azaltmak hedeflenir. Elektrostatik alan şiddetinin şekillendirilmesinde, yumuşatılmasında geometrilerin büyük önemi vardır. Geometriler değiştirilerek ve mesafeler ile oynayarak bu elektrik alan şiddeti yoğunluğu uygun bir seviyeye indirilebilir.

İyi bir dielektrik performansı için maximum dielektrik stresini azaltmak her zaman yeterli değildir. İzolasyon malzemesinin kısmi deşarj başlangıç gerilim değeri ,uygulanan dalga formu, elektrodun şekli, yüzey koşulları, nem, saflık ayrıca dikkate alınmalıdır[6]

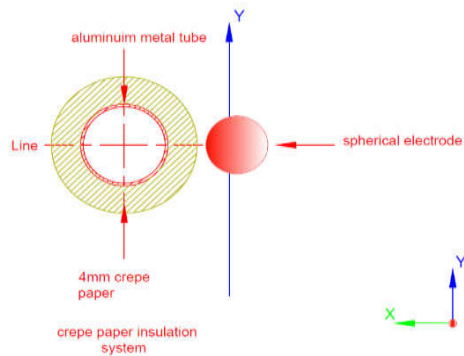
Daha iyi creepage dayanımı için, boşluksuz üretim,daha büyük bindirmeler, ve yüksek stresli bölgelerin azaltılması,elektriksel alanların belirli forma getirilmesi bazı temel tasarım ilkelerindedir. [7] [8]

Bariyerlerin konumlandırılması, kalınlıkların önceden belirlenerek tasarım aşamasında malzemelerin (ön üretim koşulları, kurutma,yağ emme vs.) simüle edilmesi bize daha optimize ve güvenli tasarım yapmamıza olanak sağlar.

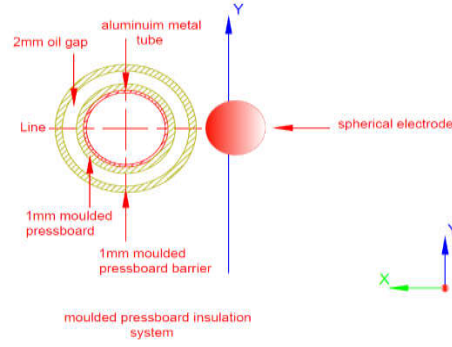
İncelenen izolasyon yapılarının iki modeli pressboard bariyer sistemi ve krep kağıdından yapılmış kalın izolasyondur

### 2.1.1 Simülasyonlar

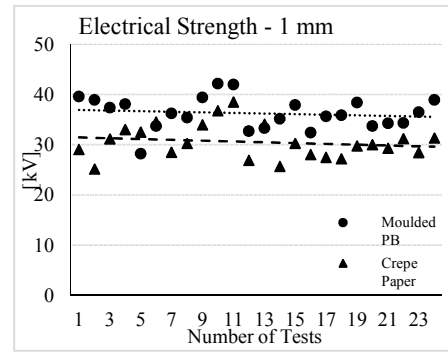
Karşılaştırmalı eğriler ve sonuçlar



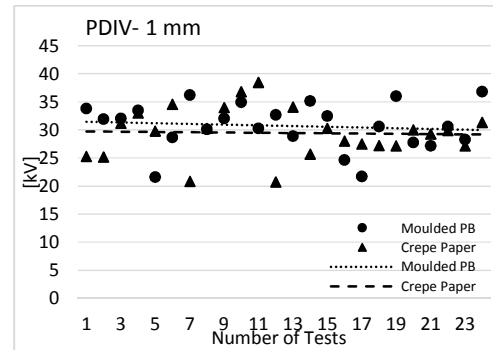
Şekil 1 - Model A-Krep kağıt izolasyon geometrisi (sarılmış)



Şekil 2 - Model B-Moulded Pressboard bariyeri geometrisi



Şekil 3 1mm izolasyon için Elektrik dayanım grafiği



Şekil 4 PDIV değeri 1 mm izolasyon için

Aynı güvenlik faktöründeki benzer gerilim seviyelerinde ki elektrik alanlar ile sistemler eşitlendi

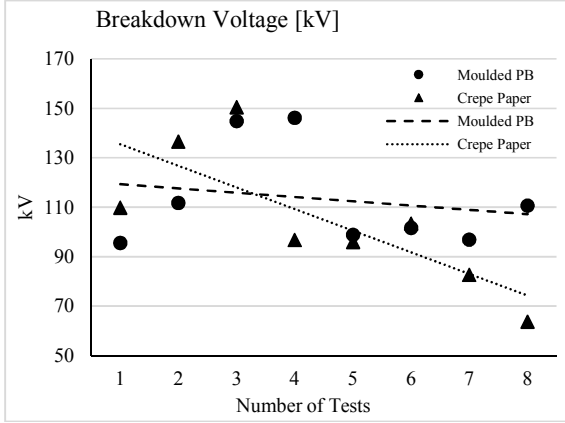
Çalışmalar, gazdan arındırılmış yağ ile yağ kanalı genişliğine göre kısmi değer başlangıç gerilimi eğrileri ile yapılır.

### 2.1.2 Elektriksel dayanım ve kısmi deşarj (PD) başlangıç gerilimi

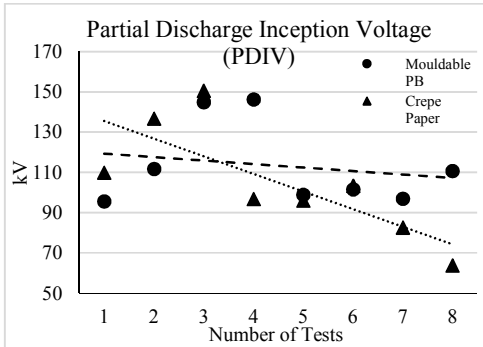
Alüminyum boru üzerine sarılmış 1 mm krep kağıt izolasyonu, %50 bindirmeli (IEC 60554-3-3)

Alüminyum boru üzerinde 1 mm Pressboard (MPB) (IEC 60641-3-1)

1 mm krep kağıt izolasyonundan ve 1 mm Pressboarddan yapılmış modellerin elektriksel mukavemet ve kısmi deşarj açısından karşılaştırılması ve gerilimler yukarıda verilmiştir. Kısmi deşarj ve gerilimler eğilim çizgilerine göre benzer görünüyor. Bununla birlikte, Mouldable Pressboard, elektrik dayanımı açısından krep kağıdına kıyasla daha iyi sonuçlar verir. [9]



Şekil 5 Model A ve Model B için breakdown değerleri

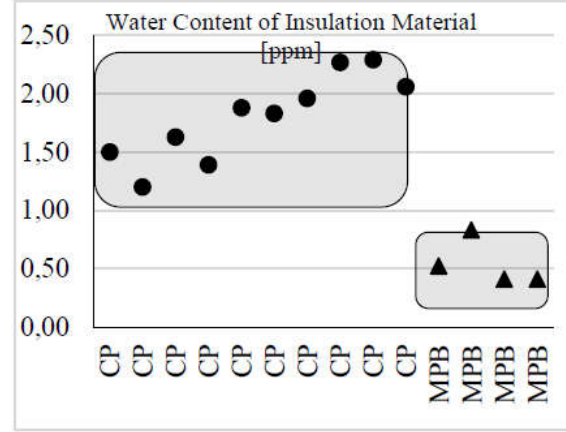


Şekil 6 Model A ve Model B için PDIV değerleri

Krep kağıtlı sarılan izolasyon sistemi yağ kanalı dayanımı açısından pressboard bariyer sistemli izolasyon sistemi ile simülasyonda benzer sonuçlar vermesine rağmen, Pressboard bariyer izolasyon sistemi, test sonuçları karşılaştırıldığında daha kararlı sonuç vermiştir.

## 2.2 Kimyasal deneyler

İki model arasında kurutma sonrası su oranlarının incelenmesi (1 hafta, 168 saat, 0,01 mbar altında 105°C)

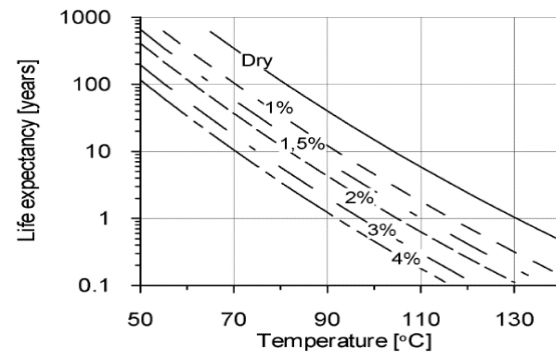


Şekil 7 izolasyon malzemesi içindeki su miktarı

Aynı fırın içinde, 1 hafta (168h) 0,01 mbar altında 105°C'de kurutulmuş iki model üzerinde su miktarı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlere göre Moulded Pressboard (MPB) istenen değere ulaşmıştır ama Krep Kâğıdının (CP) bu süre içinde memnun edici su miktarına ulaşamadığı görülmüştür. Krep kağıdın da %1 – 2 arasında su miktarı tespit edilmiştir.

Krep kâğıdı kalınlığı nedeni ile kurutmanın kolay olmadığı tespit edilmiştir. İçinde kalan su miktarının yaşlanmaya negatif etkisi olacaktır. Burada önemli olan MPB'nin istenen su miktarına ulaşmasına rağmen CP kağıdından üretilen modelde kurutma ihtiyacı devam etmesidir. [10] [11][12]

Bir transformatörün içinde sargı izolasyonunda ki kağıd ve pressboard izolasyon malzemesinin yaşlanmasında ana faktörler oksijen, sıcaklık ve nem varlığıdır. [13][14][15][16]



Şekil 8 Katı izolasyon için beklenen yaşam; nem ve sıcaklığa bağlılığı

Asitlerin çözünmesini sağlayarak katalitik etkinliğini artıran oksitlenme, karbolik asit ve su, trafo içinde ki selüloz bazlı izolasyonun yaşlanmasına neden olur. [17][18][19][20]

### 2.3 Uygulama Çalışması

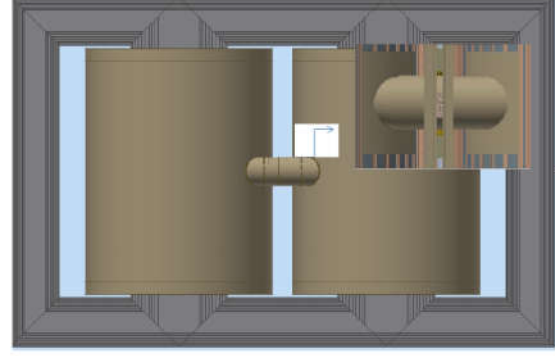
#### 800kV yüksek gerilim sargılarının bariyerli bağlantı sistemi

Trafoların gücü arttığına sargı 2 nüve bacağına dağıtılır. Yüksek gerilimlerde bu iki bacaktaki paralel sargıları birbirine bağlamak çözülmesi gereken sorun oluşturabilir. Tercih edilen kalın krep izolasyon kurutma zorlukları ve montaj sınırlamaları getirir. Uzun kurutma prosesleri malzemelerin yaşlanmasına neden olacağı gibi, kurutma eksiklikleri de testlerde sorunlara neden olmaktadır. Bunun yanı sıra kalın krep kağıdı ile yapılan bu tür bağlantı sistemlerinde yaşanan bu tür aksaklıklar bizim tarafımızdan geliştirilen pressboard bariyer sistemlerin öne çıkmasını sağlamıştır. Kalın krep izolasyonu sistemler tek başına yeterli olmadığı durumlarda üzerlerine pressboard bariyerler de monte edilmesi gerekmektedir.

Elektriksel bağlantılar krepin sarıldığı iletken bakır ile yapılmaktadır. Bu bağlantılar krep izolasyon sarımı bariyerlerin montajı düşünüldüğünde montajı uzun elleçleme süreci oluşmaktadır. Her elleçleme farklı dielektrik malzemenin taşınmasını sağlar. Farklı dielektrik malzemeler sistemi olumsuz etkileyebilir. Ayrıca bu bağlantı sistemleri kalın krep kağıdı kullanılarak yapılan izolasyon ile sağlandığında; sabitleme kelepçeleri yürüme yolları yarattığı için tercih edilemeyebilir.

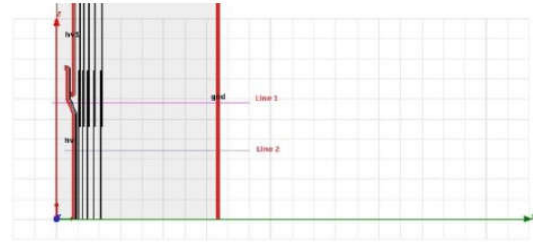
Kısa devre testlerinde kendi içinde sabitlenmiş bu sistemler titreşime neden olabilir. Bariyer sistemler mekanik olarak yürüme yolunu uzatmaya olanak sağlar. Dolayısı ile kelepçe ve lata sistemleri ile sıkıştırma demirine bağlantı yapılabilmesi güvenli hale gelir. Sabitleme yerleri arttığı için kısa devre testlerinde titreşim daha az olur. Yukarıda belirtildiği gibi 800 kV ve 1200 kV gibi yüksek gerilimler ve büyük güçlerde kalın krep kağıdı ile yapılan izolasyon yerine pressboard bariyer kullanıldığında kurutma prosesi optimize olacak nem çıkışı kolaylaşacak malzeme daha az yaşlanacak kısmi boşalma başlangıç gerilimi değerleri yükselecektir. Bağlantı sistemleri dizayn aşamasında mekaniksel ve elektriksel olarak tasarlanırlar. Bariyer sistemler tasarımcılara devamlı güvenli, riskli noktası az olan çözümler oluşturmalarına yardımcı olurlar. 800 kV seviyesinde bağlantılar böylelikle çok güvenli ve kolay hale gelir.

800 kV seviyesinde aşağıdaki tasarımda bu çözümü görebilirsiniz.

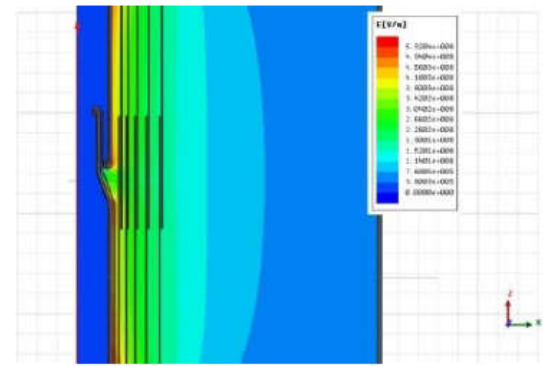


Şekil 9 bağlantı bölgesinin gösterimi

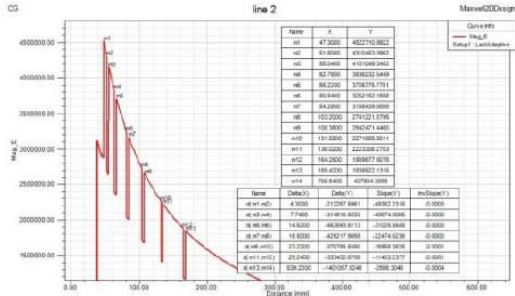
800 kV gerilimde, sargı çıkış tarafına bağlanır. Sistem, paralel bir sargıdan diğerine geçiş için mekanik ve elektriksel olarak analiz edilir. Flanşlı borular, sargı silindirlere ve sınırlı sargı mesafesi arasındaki boşluğu göz önüne alarak, tasarım uygun geçiş ve örtüşen mesafelerle yapılır. Bu tasarımda bir bariyer sisteminin kullanılması, montaj kolaylığı sağlayan çözümler üretmemizi sağlar. 2D ve 3D elektrik alan analizi, sistemin güvenli olduğunu belirlememizi sağlar.



Şekil 10 FEM programı için Geometrik model



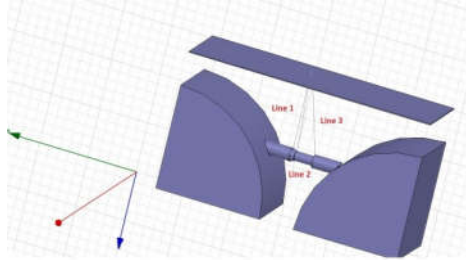
Şekil 11 FEM elektrik alan dağılım grafiği



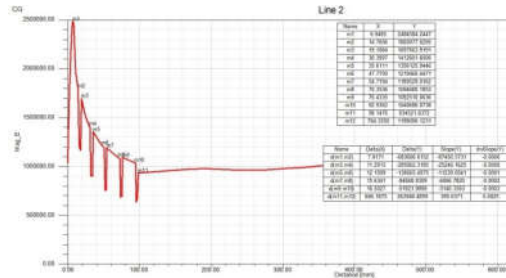
Şekil 12 FEM programı 2D elektrik alan sayısal çıktıları

Kritik noktalar için her bir yağ kanalı incelemesi yapılır. Elektrostatik alan stresi yüksek yerlere göre sistem optimize edilir. Her bir iterasyonda güvenli tasarım adım oluşturulur. Elektrostatik alan çalışması yapılan sistemde bariyer geçişi montaj kolaylığı sağlayan bindirmelere izin verir. Bu sayede mekanik olarak montaj iç içe geçen yağ kanalları ile sorunsuz tasarlanır. Elektrostatik kontrollerden sonra mekanik montaj simülasyonu yapılarak sistem incelenir.

### 3D Elektrik alan İncelemeleri

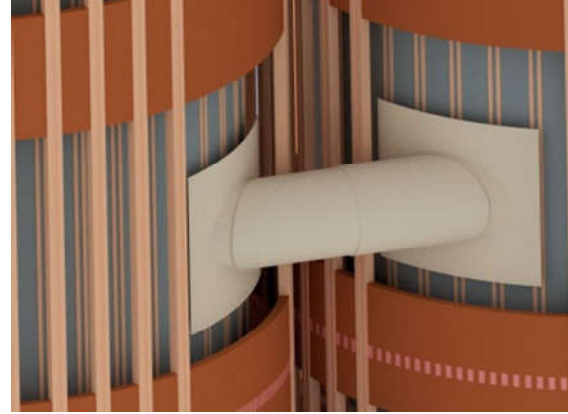


Şekil 13 FEM programı için 3D geometrik model

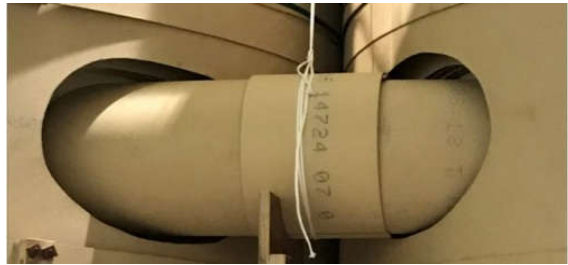


Şekil 14 FEM programı elektrik alan sayısal değerleri

3D mekanik simülasyonlar, montaj aşamasında karşılaşılabilecek zorlukları görmemizi toleranslar açısından dikkat edilecek noktaları önceden tespit etmemizi sağlar.



Şekil 15 3D montaj simülasyonu



Şekil 16 Montaj



Şekil 17 Trafo içerisinde ki Montajın tamamlanması

Mekanik ve elektrik incelemeler sonucunda tespit edilen tüm önlemler alınarak tasarlanan geometriler hem elektrikselsel testlerden hem de mekanik testlerden başarı ile geçmiştir.

### 3.SONUÇ

Bu çalışma farklı iki izolasyon tekniği (pressboard ve krep kağıdı) kullanılarak oluşturulan sistemlerde PD başlangıç gerilimi değeri, içerdiği su miktarı bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki yapı eşdeğer elektrot sistemi kullanılarak çok yüksek gerilimli sargı bağlantı sistemleri için de breakdown gerilimi bakımından uygulama çalışmasında karşılaştırılmıştır.

Bu iki izolasyon tekniğinin uygulamalarda sağladığı farkları görmek için uygulama projesinde 800 kV link bağlantı sistemi mekanik ve elektrostatik olarak dizayn edildi. Yapılan simülasyon incelemelerinde kalın Krep

sarımlı izolasyon mekanik olarak montaj sınırlaması getirdiği yerlerde bariyer sistemleri iç içe geçme ve hareket kabiliyeti sağladığı için tasarım kolaylıklar sağladığı görüldü. Farklı bağlantı noktalarından elektriksel olarak güvenli bağlantıya izin verdiği için Kısa devre testlerinde daha iyi sonuçlar alındığı uygulama projesinde tecrübe edildi.

İnce yağ kanallarından yapılmış bağlantı sistemi, sistemi daha kararlı hale getirir ve kalın krep kağıdına kıyasla ön koşullandırma işleminin verimliliğini artırır. Kurutma ve yağ empenye işlemleri, ince tabakalar sayesinde Pressboard bariyerlerinde daha kolaydır.

#### 4.KAYNAKLAR

- [1]S.Yurekten, E.Öztürk, F.Erenler, Pressboard Barriers Versus Full Wrapped Crepe Paper in Exit Insulation System for HV Power Transformers, 4th International Colloquium "Transformer Research and Asset Management ,Pula - Croatia , 10-12 May 2017
- [2]S.Yurekten, E.Öztürk, F.Erenler, Insulation components for HV Power Transformers, Travek X-th International Scientific and Technical Conference, Power and Distributive Transformers, Reactors, Systems of Diagnostics, Moscow, 21-22 June 2011
- [3]F.Erenler, S.Yurekten, The Quality Aspects of Solid Insulation in Power Transformers and Reactors, In association with CIGRE, 5.International Conference on Large Power Transformers-Modern Trends in Application, Installation, Operation & Maintenance, New Delhi, 22-25 Jan.2013
- [4]S.Yurekten, E.Öztürk, F.Erenler, Modern Trends in Application of Insulation Systems for Power Transformers, 11.International Conference Trafosem 2011, Indian Transformer Manufacturers Association, NewDelhi 21-22 Nov. 2011
- [5]Vasily Y. Ushakov, Insulation of High-Voltage Equipment, First Edition, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2004
- [6] S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde, Transformer Engineering: Design, Technology, and Diagnostics, Second Edition, CRC press.
- [7] S. Yurekten, Technical Assesment of Lead Exit and Design Process, Travek VII International Scientific and Technical Conference, Large Power Transformers and Diagnostic Systems, Moscow 22-23 June 2010
- [8] E. Öztürk, Exit Insulation Systems (EIS) & Middle Exit Systems, 12.International Conference on Transformer Trafosem 2013, Innovative Quest for transformer Technology for Efficient and reliable Power, Bengaluru 15.nov.2013
- [9] H.-Z. Ding, Z. D. Wang, P. Jarman, Ageing and Moisture Effects on the AC Electrical Strength of Transformerboard, 2007 International Conference on Solid Dielectrics, Winchester, UK, July 8-13, 2007
- [10]Pankaj Shukla, Y.R. Sood, R.K. Jarial, Experimental Evaluation of Water Content In Transformer Oil, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering andTechnology, Vol. 2, Issue 1, January 2013

- [11] Andras Csernatony-Hoffer, Experimental Results with Vacuum Drying of Thick Soft Paper Insulation, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-3, No. 4, November 1968
- [12] Brian Sparling, Jacques Aubin, Assessing Water Content in Insulating Paper of Power Transformers
- [13] Lars E. Lundgaard, Walter Hansen, Dag Linhjell, Terence J. Painter, Ageing of Oil Impregnated Paper in Power Transformers, IEEE Transactions on power Delivery, Vol.19, No.1, January 2004
- [14] Loai S. Nasrat, Nesrine Kassem, Nadia Shukry, Aging Effect on Characteristics of Oil Impregnated Insulation Paper for Power Transformers ENG 2013010817240975
- [15] Lars E Lundgaard, Dave Allan, Ivanka Atanasova - Höhlein, Regine Clavreul, Mats O.Dahlund, Hans Peter Gasser, Richard Heywood, Christoph Krause, Marie-Claude Lessard, Tapan Kumar Saha, Victor Sokolov, Alfonso de Pablo, CIGRE WG D1.53, Ageing of Impregnated Cellulose for Transformers
- [16] H.P. Gasser, J. Huser, C. Krause, V. Dahinden, A.M. Emsley, Determining The Ageing Parameters of Cellulosic Insulation in A Transformer
- [17] J. Gielniak, A. Graczkowski, S. Gubanski, H. Moranda, H. Moscicka-Grzesiak, K. Walczak, Influence of Thermal Ageing on Dielectric Response of Oil-Paper Insulation, Materials Science-Poland, Vol. 27, No. 4/2, 2009
- [18] Mohamad Ghaffarian Niasar, Mechanisms of Electrical Ageing of Oilimpregnated, Paper Due to Partial Discharge, Doctoral Thesis in Electrical Systems, KTH Electrical Engineering, Stockholm, Sweden, 2015
- [19] J. Dai, Z. D. Wang, P. Jarman, 13 - Moisture and Aging Effect on the Creepage Discharge Characteristics at the Oil/Transformerboard Interface under Divergent Field, 2008 Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena
- [20] Laurentiu Badicu, Petru V. Notingher, Laurentiu Dumitran, Gabriel TANASESCU, Dorin Popa, and Gheorghe Batr, Thermal Ageing of Oil Impregnated Paper for Power Transformers Insulation Systems