

# **Yüksek Gerilim ve Ultra Yüksek Gerilim Güç Trafolarında Sargı Çıkış Sistemleri**

**Emre ÖZTÜRK – Hakan COŞER**  
**Enpay Transformer Components**

Bu yazının hazırlık ve gelişim safhasında çok kıymetli vaktini cömertçe harcayarak, bizlere vermiş olduğu yapıcı destekten dolayı Enpay Onursal Başkanı Sayın Selim Yürekten'e içtenlikle teşekkür ederiz.

**Özet:** Bu makale mevcut yüksek gerilim ve Ultra yüksek gerilim güç trafolarında uygulanan projeler üzerinde elektrik alan hesaplamaları yapılarak çıkış yalıtım sistemi , ortadan çıkış sisteminin tasarım proseslerini anlatır.

**Anahtar kelimeler:** Yalıtım, dizayn, ortadan çıkış, sargı çıkış sistemleri, ayar sargıları , Ultra Yüksek gerilim , transformatör , trafo .

## **I-Giriş**

Gelişen dünyada elektrik enerjisine artan talep Üretim merkezlerinden son kullanıcıya daha fazla enerjinin iletilmesini gerektirmektedir.

Bu yayılan ve artış gösteren talep daha uzun iletim hatlarıyla birlikte hatlarda artan kayıplara sebep olur. Artan hat kayıpları düşürmenin yolu uzun iletim hatlarında iletim gerilimini arttırmaktan geçer.Uygun ileri malzemelere erişimle birlikte , öngörülü tasarım prosesleri ve etkili üretim kabiliyetleriyle 420, 550 ,800 kV Ultra yüksek gerilim seviyelerinde ki çeşitli trafoların düzenli olarak iletim hatları için üretilmesi gerçekleştirilebilir hale gelmiştir.

Özel optimize edilmiş tasarımlar ve ileri yalıtım malzemeleri ile birlikte 1200kV seviyeleri şu anda gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde artan gerilim seviyeleri sargı çıkış sistemlerini , özellikle ortadan çıkış sistemlerini trafo içerisinde en önemli komponentler haline getirmektedir.

Ortadan çıkış sistemi ve Çıkış yalıtım sistemi, hem daha az yağ ve çelik malzemesi kullanımını sağlayan hemde yüksek gerilim sargısıyla bushing bağlantısını yapan kritik yalıtım komponentleridir. Böylelikle fiyat optimizasyonu olur. Sargı çıkış sistemlerinin uygun ileri teknoloji hammaddeleri ve öngörülü dizayni , trafo üreticileri için malzeme tasarrufu ile sonuçlanan bariyer ve yağ kanalı miktarları nedeniyle dom çapının düşmesine izin verir.

Bu tür sistemlerde kullanılan trafo yağı ve tank çeliği maliyetlerini karşıladığımızda Dom içinde kullanılan çıkış yalıtım sistemlerinde güvenli ve optimize edilmiş dizayn prosesleri sayesinde %35-40 oranında ağırlık ve hacimde azalma gerçekleştirilebilir.

## II- Tasarım prosedürleri

Trafo yalıtım dizayn sistemi ve üretimi hakkındaki genel bilgi 80 yıldan fazla zamandır selülozun ve trafo yağının birlikte kullanılması temeline dayanır. Yalıtım tasarımı yağ emdirilmiş katı yalıtımlarlar arasındaki elektrostatik alan stresi dağılımı bu temel bilginin yerini alır. Elektrik Alan değeri yalıtım malzemelerinin geometrisiyle ve malzemenin dielektrik sabitiyle uyumlu bir şekilde dağıtılır. Ayrıca yalıtım düzeni tasarım eğrilerine göre düzenlenir.

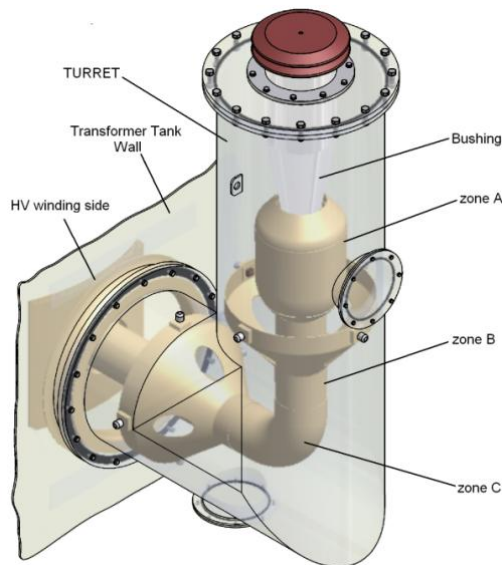
Bu eğriler daha önce uygulanmış onlarca yıllık tecrübeye , üretim prosesine ,insan gücüne, malzemelerin kalite etüdlerinden elde edilmiştir.

Yağ soğutmalı trafolarında , silisli saç , bakır, madeni yağların malzeme olarak dönemselsel yetersizliği ve artan dalgalı fiyatları nedeniyle , trafo boyutlarını , toplam maliyeti , trafo ağırlığını azaltmak ve alternatif çözümler bulmaya yönlendirmiştir. Bariyer sistemleriyle büyük yağ kanalından küçük yağ kanalına dönüşen sistem tasarımları yalıtımda daha güvenli daha ekonomik olmakta ve daha iyi kurutma performansı ile uzun ömürlü olmaktadır.

## III- Sargı çıkış sistemleri

Sargı çıkış sistemi bushingın alt tarafı ile yüksek gerilim sargı sonunu birbirine bağlayan yalıtım parçasıdır. Yüksek gerilim sargı sonu bobinin yüksekliğine göre sargının üstünde veya ortasında konumlandırılabilir. Dom çapı sistem gerilimi ve sargı çıkış yalıtım tasarımına bağlıdır. Küçük dom çapı daha az trafo yağı ve çelik kullanılmasını sağlar bu hem maliyet hemde trafonun boyutu, ağırlığı için önemlidir. Sargı çıkış sistemleri güç trafosu üreticilerinin malzemeden tasarruf etmelerine olanak sağlar.

Sargı çıkış sistemleri trafo tankı veya domun içinde olabilir. Sargı bağlantıları her bir faz için sargının üstü tarafında veya ortasında olabilir. 500kV kadar olan tek faz veya 3 faz güç trafolarında durum böyledir. Fakat 765kV ve 1200kV trafolarında genelde taşıma ve yüksek gerilim güvenli mesafe sınırlarından dolayı tek faz ve sargının ortasından çıkıştır.



Sargı çıkış sistemleri elektrik alan olarak 3 kısımda incelenebilir. 1 . kısım elektrodun çevresi (alan A) ikinci kısım direk boru tarafı (alan B) ve 3 . kısım ise borunun büküm tarafı (alan C).yalıtım tasarımlarının analizleri sonlu eleman metoduyla(FEM) yapılmaktadır. Analiz prosesi ANSYS firmasının Maxwell programıyla yapılmaktadır. Alan A ve B 'nin analizi 2D rotasyonel metoduyla yapılırken. Karmaşık olan Alan C için 3D analiz yapılmaktadır.

Yukarıdaki gösterimde ortadan girişli sargı çıkış sistemi , buna bağlı dom ve kritik alanlar gösterilmiştir.

Aşağıda ki elektrik alan çalışmaları ve eğrilerden de görüleceği gibi sargı çıkış sisteminin alan stress dağılımı düzgün değildir. Geometriler alan stress dağılımı optimum olacak şekilde dağılması için düzenlenmelidir. Bu optimazyon geometrileri anlamak ve sonuçları karşılaştırmayı gerektirir.

Yağ kanalları ve yalıtım gereksinimlerine karar verirken yüksek stresli sargı çıkış sistem parçalarını derinlemesine analiz etmek gerekir. Yüksek stres değeri kısmi desarji oluşmaması için sınır değerlerin altında kalan alanda kalmalıdır. İzin verilen maximum stres değeri yağ kanallarının genişliğine bağlıdır. Çalışmalar kısmi desarj başlangıç gerilim eğrileri ile yalıtım siteminde bulunan gazı alınmış yağın kanal genişliğine göre yapılır.

Yalıtım bariyerleri büyük yağ kanallarını küçük yağ kanallarına çeviren transformerbordlardan yapılır.

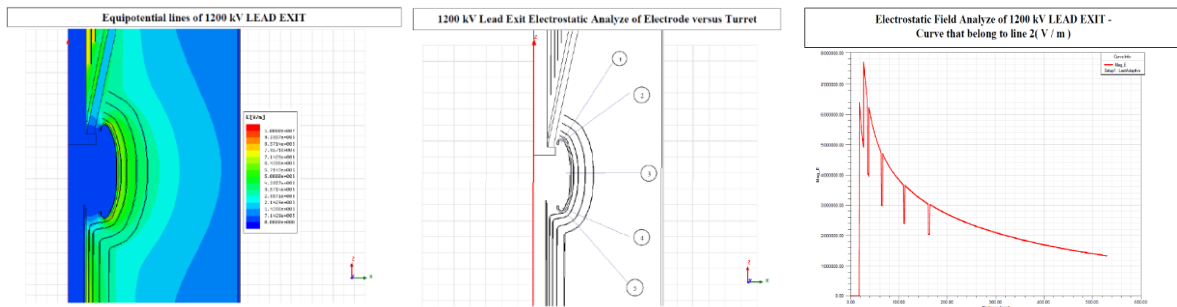
Transformerboard Yüksek güvenlik sağlayan yağa karşı dayanıklı selüloz liflerine sahiptir. Yalıtım bariyerleri tasarlanırken en önemli nokta alan yapısına uygun geometrilerde bariyerler elde etmektir. örneğin ideal bariyerler elektrik alan çizgilerine dikey konumdadır ve bariyerler aşağıda gösterilen FEM analiz örneğinden görüleceği üzere Eş potansiyel eğrilerine paraleldir.

Yağ emdirilmiş transformerboard ve yağın elektrik alan içinde birbiriyle davranışı ortadan çıkış sistemi ve çıkış yalıtım sistemleri gibi akıllı çözümler tasarlayabilmemizi sağlar.

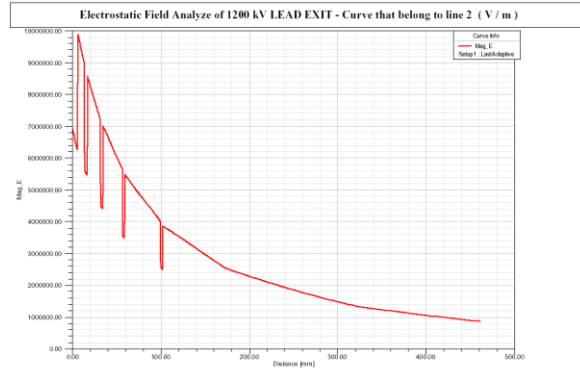
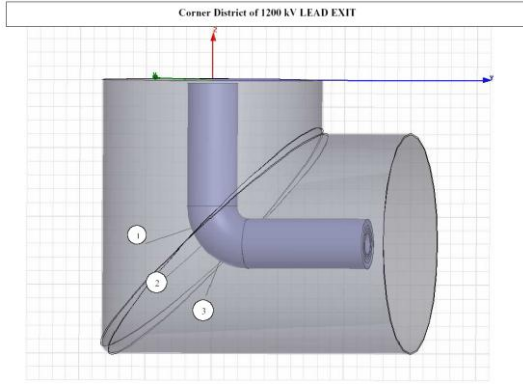
Aşağıda 1200kV sargı çıkış sitemleri ve 420kV middle exit tasarım prosesleri gösteriliyor.

## **1200 kV Exit Insulation System**

BIL : 2300 kV SIL : 1800 kV



Elektrik alan dağılımı renklendiriliş gösterimi ve Line 3'e ait alan dağılım eğrisi gösterilmiştir.



Line 2 'e ait 3 boyutlu analiz ile alan dağılım örneği gösterilmiştir.

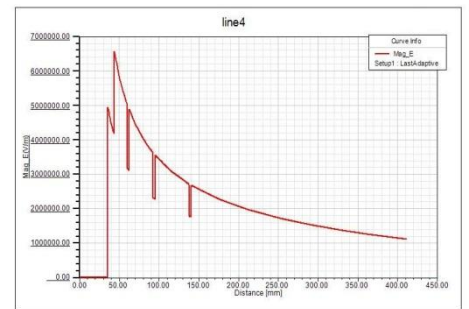
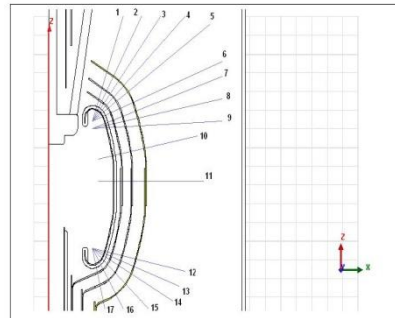
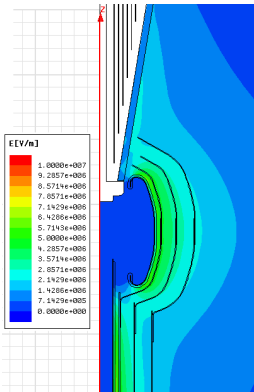
Tasarım FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) a göre çözümlene yapan programlar ile geliştirilmektedir. Analizler ile birlikte bariyerlerin tam yerleşim yeri ve bir çok kritik yol tanımlanmaktadır. Tasarımları yapılan bu sargı çıkış düzenleri dünyanın çeşitli ülkelerinde üretilen trafolarla montajları yapılmış ilgili trafo testlerinden başarıyla geçmiştir.



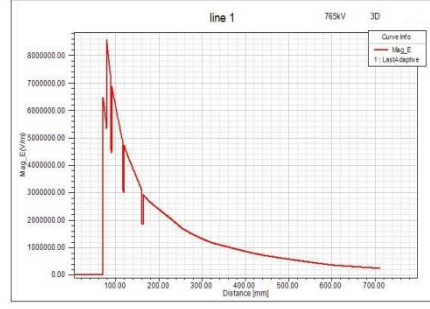
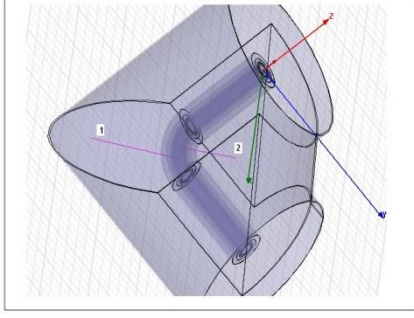
Güç trafosu Dom içinde 1200kV sargı çıkış sistemi

### **800 kV Exit Insulation System**

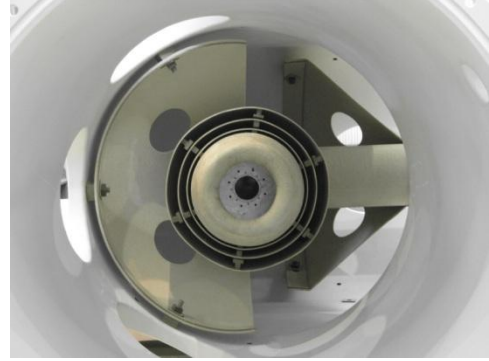
BIL : 1950 kV SIL : 1550 kV



Line 4'e ait alan dağılım eğrisi örneği



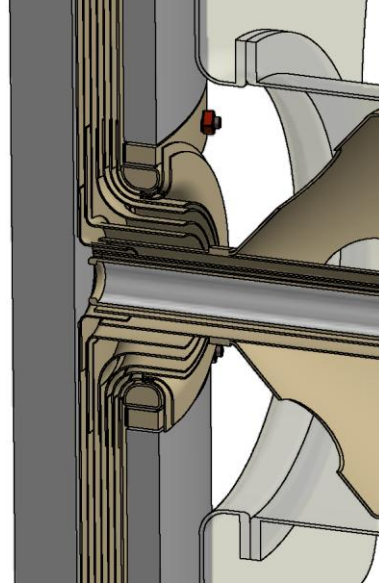
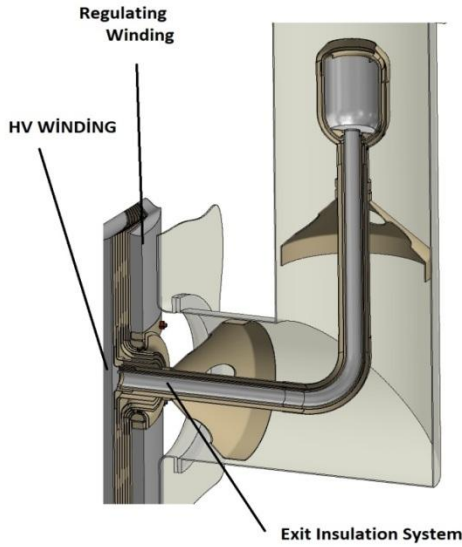
Line 1'e ait 3 boyutlu analiz alan dağılım örneği



Güç trafosu Dom içinde 765kV sargı çıkış sistemi

1200kV ve 800kV için tasarlanan sistemler FEM alan çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Analizle beraber bariyerleri tam konumları ve kritik noktalar belirlenmektedir.

## IV-Ortadan Çıkış Sistemi

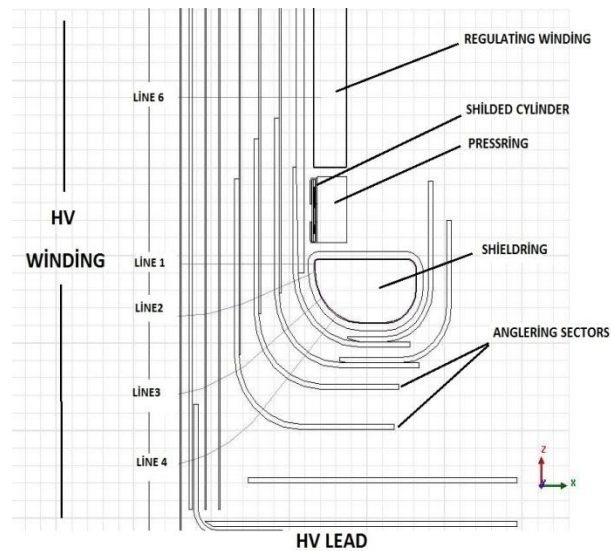
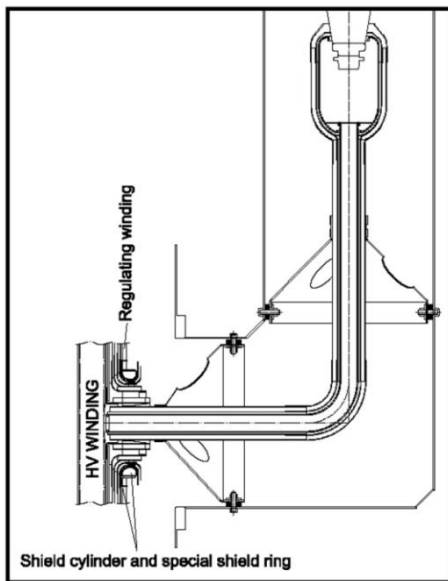


Ortadan Çıkış Sistemi

Ayar sargısı YG sargısının dışında konumlandırıldığı durumlarda sistemi daha güvenli hale getirmek için ortadan çıkış sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygulama , ayar sargılarına bağlanır ve çıkış düzenin , montajı kolaylaştırarak ve uygun ayar sargısı destekleri kullanarak korur.

Ortadan çıkış uygulaması sadece yüksek gerilim sargısı ile sargı çıkış sisteminin alt tarafının bağlantısını sağlamaz , aynı zamanda daha az işçilik , daha az montaj zamanı ve montaj malzemesinden tasarruf eden avantajlı bir tasarım sunar.

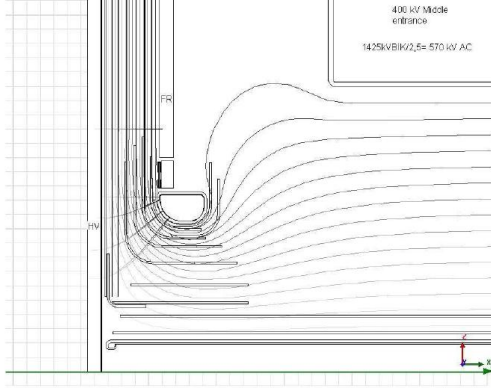
Ek olarak ortadan çıkış sistemi insan gücüne bağlı montaj hatalarını da elimine eder.



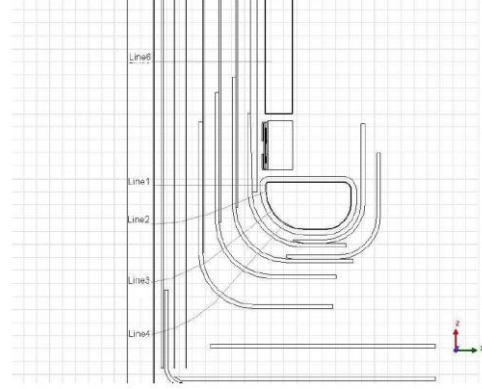
Elektrik Alan simülasyonu için ortadan çıkış parçalarının yerleri.

İzin verilebilir değerlerle birlikte tanımlanan noktaların alan dağılımı ve stress karşılaştırılması;

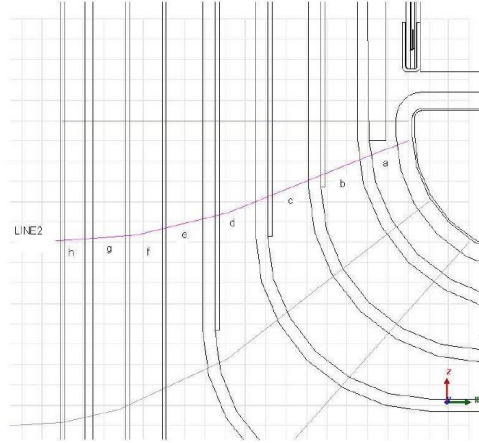
Voltage Distribution



Defined Lines



Line 2 Oilducts

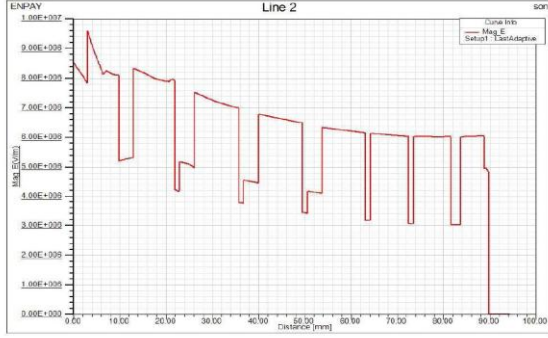


Programlarda çözümler için Geometrilerin gösterimi

Tasarımda bariyerlerin tam yerleri ve kritik noktalar FEM analizlerinden elde edilen verilere göre belirlenmektedir.

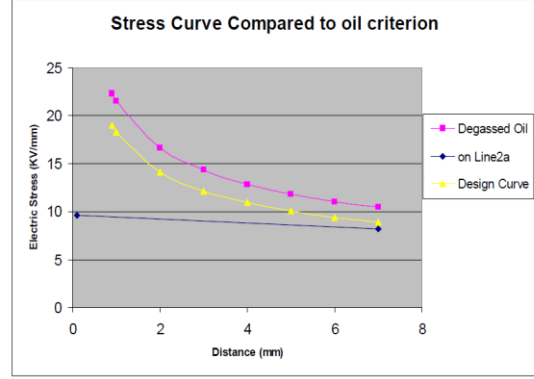
Ortadan Çıkış Sistemi en kritik noktalara göre dizayn edilmektedir. Her bir yağ kanalındaki stres dağılımı yalıtım güvenliğinin kontrolü yapmak için stress eğrileriyle karşılaştırılır.

Stress Distribution



line 2'ye ait elektrik alan dağılım eğrisi

Compared electric stress on each oil duct  
Line2 Duct a



Yağ kanalı stresi ile kriterin karşılaştırılması

Tasarımları yapılan bu ortadan çıkış sistemleri dünyanın çeşitli ülkelerinde üretilen trafolarla montajları yapılmış ilgili trafo testlerinden başarıyla geçmiştir.



Trafo üzerinde middle exit yerleşimi

Yüksek gerilim sargısı etrafında ayar sargısı ve yük altında kademe değiştiricisi bağlantısı yapmak için elektrik alanının daha düşük olduğu bir hacim sağlar.

Ayar sargısını, alt ve üst tarafı arasında ki mesafe bu sistem sayesinde azalacaktır.

Bu uygulama dikey ve yatay sargı makinesi prosesleriyle uyumludur

Alt ve üst Ayar sargısını arasında kullanılan baskı halkalı Geleneksel metotlara göre daha güçlü mekanik dayanım sağlar.



## **V-Sonuç**

Sargı çıkış sistemleri YG trafolarında dom çaplarını veya trafo tankına olan mesafenin küçültülmesine olanak vererek ekonomik kazanım sağlayan ve daha küçük boyutlu trafolar üretilmesine olanak sağlayan aynı zamanda bu kısımda bağlantıların yalıtım güvenlik katsayılarını yükselten daha güvenli sistemlerdir.

Bariyerli Sargı çıkış sistemi ve ortadan çıkış sistemi en iyi çözümdür. Çünkü pul ve takozlardan oluşan Geleneksel yalıtım sistemlerine göre daha güvenli ve daha ekonomiktir.

Ortadan çıkış gibi yalıtım komponentleri güç trafosu üretim zamanını ve kullanılan malzemeyi azaltmayı sağlar.  
Ortadan çıkış komponent paketlerinin bir çok teknolojik ve ekonomik avantajları vardır.

## **BIBLIOGRAPHY**

[1] S.Yürekten, E.Öztürk, Technical Assessment of Lead Exit and Design Process for Power Transformers up to 1200 kV,(International Conference on Development of 1200 kV National Test Station, 09.2010 /New Delhi, India) NATIONALCIGRE

[2] S.Yürekten, E.Öztürk, Technical Assessment of Lead Exit and Design Process for HV. Power Transformers, (Travek VII. International Scientific and Technical Conference Large Power Transformers and Diagnostics Systems, 06.2010 /Moscow, Russia)

[3] H.P. Moser, Transformerboard, 1987

[4] S.Yürekten, E.Öztürk, F.Erenler Enpay Transformer Components, Modern Trends In Application of Insulation Systems For Power Transformer, 11.2011, New Delhi India

[5] V.Dahinden , K.Schulz , A. Kühler, Function of Solid Insulation in Transformers , Transform 98