

# KURU TİP YÜKSEK GERİLİM GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN SARGI İZOLASYONU İÇİN YENİ BİR TASLAK

Selim TRABULUS

Erdin GÖKALP

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 80750, Yıldız, İstanbul

e-posta: trabulus@yildiz.edu.tr

e-posta: gokalp@yildiz.edu.tr

*Anahtar sözcükler: İzolasyon, Sargı, Transformator, Yüksek Gerilim, XLPE- Kablo*

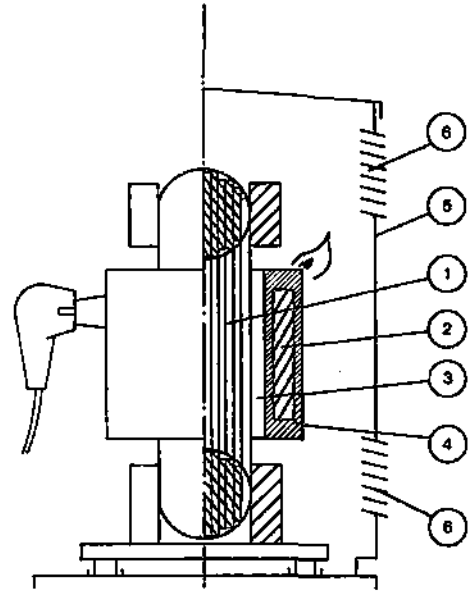
## ABSTRACT

*When installing transformers, protection of the environment, operational reliability, maintenance and fire risks are important considerations. This applies in particular to distribution transformers which are often installed close to load centers. In this paper, a new design concept and the present state of development of the dry-type distribution transformers is discussed and compared with the oil and gas insulated transformers considered the loading capability.*

## 1. GİRİŞ

Ekonomik nedenlerden dolayı transformatörler, özellikle tüketicilerin yoğun olarak bulunduğu sistemlerde enerjinin gerekli olduğu bölgeye (örneğin; elektrik makinalarının sıkça kullanıldığı üretim yerleri, yüksek binalardan oluşan stratejik noktalar...v.b.) mümkün olduğu kadar yakın olarak kururlar. Ayrıca, uygun olmayan iklimsel şartlara sahip yerlerde, yangın riskinin yüksek olduğu alanlarda ve içme suyunun korunması gerektiği bölgelerde gerçekleştirilen birçok teknik uygulama transformatörlerin montajını gerektirmektedir.

Kuru tip transformatörler için sargıların dışında ayrı bir izolasyon veya soğutma ortamı gerekli olmamaktadır. Şekil-1'de görüldüğü gibi iç kısım (1) ve sargılar (2), çevreleyen havayla direkt temas halindedir. Yağ ve gaz izolasyonlarına kıyasla havanın zayıf izolasyon ve soğutma özelliklerinden dolayı büyük soğutma kanalları (3) sağlanmak zorundadır. Gerilim altındaki aktif malzemenin hacmi daha büyük olmalı ve sargılar kalın tabakalar halindeki izolasyonla (4) çevrilmelidir. Bununla birlikte kısmen nemli alanlardaki montaj için döküm reçine veya benzeri transformatörler özel olarak kapsüllenmiş sargılarla teçhiz edilmek zorundadır. Bu tip transformatörlerde tabiatıyla yağ birikme çukurları gerekli olmamaktadır. Harici veya sert iklimlerdeki kurulum için transformatörler kapsül (5) biçiminde ilave bir koruma gerektirmektedir. Bu kapsüller çok büyük olmamakla birlikte transformatörün soğutulması için hava giriş ve çıkış açıklıklarıyla (6) donatılırlar. Fakat bu açıklıklar yoluyla nem, toz ve korozyona neden olacak gazlar içeri girebilmektedir. Bu tür etkiler transformatörün



Şekil-1 Kuru tip bir transformatörün genel görünümü (Açıklamalar için metne bakınız)

sargıları arasındaki mesafeyi azaltabilmektedir. Bundan dolayı özellikle soğuk ve nemli havada düzenli olarak temizlik yapılması gerekmektedir. Kuru tip transformatörlerde sadece izolasyon malzemesinin yanma ihtimali olduğu için yangın ve kirlenme tehlikesine karşı sıvı izoleli transformatörlere kıyasla bir üstünlüğe sahiptir. Tutuşma sıcaklıkları 500°C nin üzerindedir ve kalorifik değerler sıvı izoleli transformatördekinden daha düşüktür.

## 2. YENİ TASLAK

Kuru tip transformatörün yeni taslağı, geleneksel transformatör teknolojisiyle yüksek gerilim kablo teknolojisinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu yeni kombinasyon ve basit, yüksek ölçüde tesirli soğutma sistemi kuru tip transformatörün büyük bir güvenilirlikle kurulumunu sağlamaktadır. İzolasyon sistemi tamamen XLPE'den (cross-linked polyethylene) oluşan katı dielektrik malzemeden teşkil edilmektedir [1]. Klasik tipte yağ/selüloz izolasyonlu

Tablo-1 Dış boyutlar için örnek veriler.

Nominal Güç (MVA)	Gerilim (kV)	Dış Boyutlar (m) G x U x Y	Toplam Ağırlık (ton)	Yüksüz Durumda Kayıplar (kW)	Yüklü Durumda Kayıplar (kW)	Kısa-Devre Empedansı (%)
20	40/10	2,0 x 7,0 x 4,0	35	15	60	9
40	69/10	2,3 x 7,2 x 4,3	55	28	105	10
100	132/10	2,5 x 8,0 x 5,3	105	60	200	12

sarımlar yerine tabaka tarzında kablo sarımları kullanılmaktadır. Tablo-1 dış boyutları göstermektedir. Kablonun dıştaki yarı iletken tabakası, sargının her bir tabakası üzerinde bulunan toprak potansiyeline sahiptir. Bu yarı iletken tabaka;

- Kısmi deşarjların veya koronanın azaltılmasını,
- Personel güvenliğinin artırılmasını, sağlamaktadır. Kapsül, galvanizli çelikten yapılmaktadır ve transformatöre ilave destek temin etmesi yanında harici kötü şartlardan korumakta ve korozyon problemlerini azaltmaktadır.

### 3. GENEL TANIM

#### 3.1. Özellikleri ve Yararları

- Yüksek güvenilirlik
- Azalan bakım işlemleri
- Kolay kurulum
- Tutuşabilen veya akıcı hiçbir akışkan olmaması. Böylece, transformatörün arızalanmasından dolayı ortaya çıkan yangın veya patlama tehlikesinin azaltılması
- Çevre kirlenmesinin azaltılması
- Personel güvenliğinin artırılması
- Direkt kablo birleştirme bağlantıları kullanıldığı zaman çevrede hiçbir elektrik alan oluşmaması
- Kablo uçlarının esnek yerleştirilebilmesi
- Yüksek kısa devre dayanıklılığı
- Kısa devre empedans değerlerinin esnek seçimi
- İzolasyon malzemesinin geriye dönüşümlü olması

#### 3.2. Uygulama

Yağ izolasyonunun olmayışı ve sisteme direkt kablo bağlantısı ile ortaya çıkan yeni dizayn şekliyle transformatör çok farklı şartlarda kullanım için ideal hale gelmiş olmaktadır. Kuru tip transformatörler yağ izolasyonu içermediklerinden genel ve çevresel gereksinimleri yerine getirmektedirler. Bu gereksinimler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kırsal kesimdeki yeni veya mevcut şalt tesisleri
- Kentlerdeki yeni veya mevcut şalt tesisleri
- Sahil kenarları ve yağ kirlenmesine karşı hassas diğer alanlar
- Elektrik alanına karşı çok hassas bölgeler
- Nemli veya tropikal yerler
- Korozyona yol açabilecek ortamlar

### 3.3. Uygulanan Testler

Transformatörün performansını kontrol etmek için seri testler uygulanmak zorundadır:

- Rutin Testler: Oran, polarite, sargı rezistansı, yüklü ve yüksüz durumda kayıplar, ikaz akımı, uygulanan gerilim için test, kısmi deşarjla birlikte indüklenen gerilim için test ve kısa devre empedans testi.
- Model Testleri: Yıldırım darbesi, sıcaklık artışı, duyulabilir ses seviyesi.
- Özel Testler: Kısa devre kapasitesi, EMF-Elektromagnetik Alan Ölçümü.

### 4. YÜKLENME KAPASİTESİ

#### 4.1. Kuru Tip Transformatörler

XLPE izoleli kablo ile sarılmış transformatör için müsaade edilen maksimum aşırı yük, izolasyon sisteminin eskimesiyle sınırlı değildir, fakat XLPE'nin yumuşaklığının sargının mekanik zorlanmasını azalttığı sıcaklık seviyesinin üzerindeki sıcaklıklarla sınırlıdır. Transformatörün mekanik dizaynı sınırlı işletme süreleri için 80°C'lik ve devamlı yüklemeye için 70°C'lik üst sıcaklığa izin vermektedir. Bu sıcaklıklarda XLPE izolasyonunun eskime davranışı önemli değildir. Bu durum, kuru tip bir transformatörün yapısında herhangi bir kayıp ve zarar olmaksızın maksimum sıcaklık seviyesinde işletilebileceğini ifade etmektedir. Yağ izoleli transformatörlerdeki aşırı ısınma noktası sargı ana sıcaklık yükselişinden hesaplanabilmektedir, fakat kuru tip transformatör sargılarındaki aşırı ısınma noktası direkt olarak sensörler vasıtasıyla üst kablo üzerinde ölçülmektedir. Fanlar yardımıyla yapılan havalandırma ile birlikte aşırı ısınmanın yağ izoleli transformatörlerdekinden daha fazla uygun ve güvenilir bir kontrolü sağlanmış olmaktadır.

#### 4.2. Yağ İzoleli Transformatörler

- Konvansiyonel yağ izoleli transformatörlerin aşırı yük kapasitesi yağın bizzat kendisinin ve iletkenleri saran yağa bandırılmış kağıdın ömrüyle sınırlıdır. Bu transformatörler, 98°C'yi geçmeyen aşırı ısınma sıcaklıklarına sahip olacak şekilde dizayn edilirler. Dizayn sınırının altındaki sıcaklıklar transformatör ömrünün uzamasını ifade etmektedir. Bütün işletme şartlarında geçilmemesi gereken maksimum sıcaklık 140°C'dir. Yağ izoleli transformatörler için aşırı ısınma noktası normal olarak uluslararası standartlara göre (IEC 354) sargıda ölçülen ana sıcaklık

artışlarından hesaplanmaktadır. Aşırı yük kapasitesi, devamlı nominal yüke kıyasla transformatör ömründe artma olmaksızın nominal yükten daha düşük bir periyoddan sonra müsaade edilebilen aşırı yük olarak yüklemeye kılavuzundan (IEC 354) elde edilmektedir. Bu amaçla tekrarlı 24 saatlik bir yüklemeye döngüsü kabul edilmektedir [2].

### 4.3. Gaz İzoleli Transformatörler

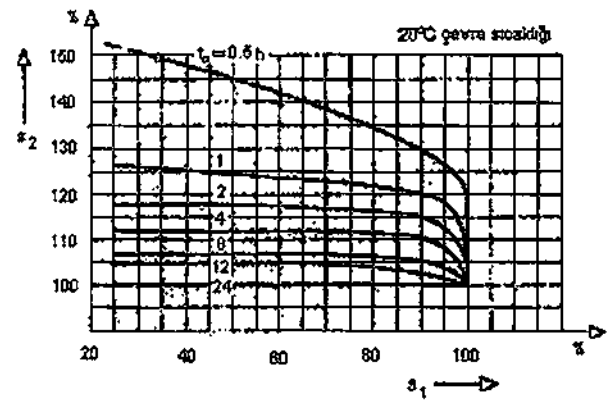
IEC gibi standartlar açısından gaz izoleli transformatörler kuru tip transformatörler gibi düşünülmektedir. Kuru tip transformatörler için ilgili yüklemeye kılavuzu farklı izolasyon sistemleri için kabul edilebilir sıcaklık sınırlarını belirtmektedir. Bundan dolayı transformatör üreticilerinin görevi izolasyon malzemelerini sıcaklık sınıfına göre seçmek olmalıdır. Tablo-2 kabul edilebilir sıcaklıkları göstermektedir.

Tablo-2 Kuru tip ve gaz izoleli transformatörlerdeki mevcut izolasyon sistemleri için sıcaklık sınırları.

İzolasyon Sistem Sıcaklığı (IEC-726) °C	Sargı Aşırı Isınma Sıcaklığı °C		Nominal Akımdaki Sargı Sıcaklık Artışı ΔΘ <sub>wr</sub>
	Nominal Θ <sub>c</sub>	Max Θ <sub>cc</sub>	
105 (A)	95	140	60
120 (E)	110	155	75
130 (B)	120	165	80
155 (F)	145	190	100
180 (H)	175	220	125
220 (C)	210	250	150

Örneğin; 20°C'lik bir çevre sıcaklığında H sınıfı izolasyon malzemeleri için aşırı ısınma noktasındaki sıcaklık transformatörün servis ömrünü etkilemeksizin devamlı 175°C'de olabilir. Tablo, kısa süreli aşırı yük periyodları için 220°C'lik kabul edilebilir maksimum aşırı ısınma sıcaklığını belirtmektedir. Bununla birlikte 175°C ve 220°C arasındaki sınır, yüklemeye döngüleri ve aşırı yükte işletme için mevcut olmasına rağmen bu durum transformatör ömrünü kısaltabilmektedir, bundan dolayı 175°C üzerindeki sıcaklıklara sadece kısa periyodlar için müsaade edilmektedir. Ana sargı sıcaklığı aşırı ısınma sıcaklığıyla yakından ilgili olduğu için müsaade edilen ana sargı sıcaklık artışı 125K'yi geçmemelidir. Yıllık ortalama çevre sıcaklığının 20°C olduğu kabul edilirse, nominal yükte yıllık ortalama sargı sıcaklığı 145°C olmaktadır. Nominal yükte çalışmak şartıyla aşırı ısınma noktası için (20°C çevre sıcaklığında-Tablo-2) 175°C'lik müsaade edilen sınır değerler ve sargı sıcaklık artışı için 125K geçilmemelidir. Muhtemel bir aşırı yük altında müsaade edilen aşırı ısınma sıcaklığının 220°C 'yi geçmemesi kullanıcının

sorumluluğu olmaktadır. Tam olarak bir ölçüm yapılamadığı için 20°C çevre sıcaklığında aşırı yüklemeye nominal yükün 1,2 katıyla sınırlı olduğu zaman izolasyon için hiçbir tehlike olmaması bir kural gereğidir. Bununla birlikte bu tür şartlar altında transformatör ömrü biraz azaltılmış olabilmektedir. Yük döngüleri, izolasyon ömrüyle ilgili sınırlamalar göz önüne alınarak seçilmelidir. Nominal yük üzerindeki yük döngüleri için müsaade edilen periyodlar; çevre sıcaklığıyla, transformatörün yüklemeye durumuyla ve istenen aşırı yükte birlikte değişmektedir. Şekil-2, 0,5 ve 24 saatleri arasında kalan periyodlar için müsaade edilen aşırı yükleri göstermektedir. Bu veriler, gaz izoleli transformatörler için tipik zaman sabitlerine dayandırılmaktadır. Diğer çevre sıcaklıklarında farklı eğriler ortaya çıkacaktır, fakat bir kural olarak gaz izoleli transformatörlerin hava izoleli kuru tip transformatörlerdeki gibi benzer yük döngülerine sahip olabildiği söylenebilmektedir.



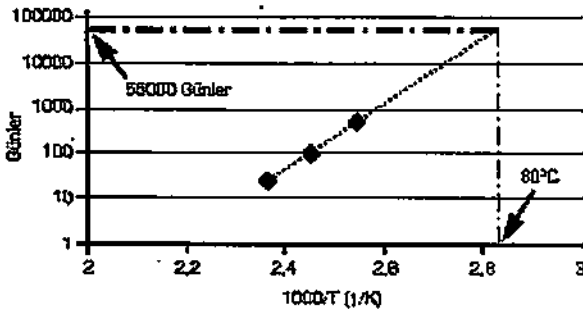
Şekil-2 20°C'lik çevre sıcaklığında yüklemeye periyodları.

s<sub>1</sub>- Nominal güçte (%) ön yüklemeye  
s<sub>2</sub>- Nominal güçte (%) aşırı yüklemeye  
t - Müsaade edilen yüklemeye periyodu (saat/gün)  
( 24 saat )

Örneğin; %80 nominal güçte sabit bir ön yük (s<sub>1</sub>) sahip bir transformatör, herhangi bir yıpranma ortaya çıkmaksızın 20°C'lik bir çevre sıcaklığında, %117 nominal güçteki bir aşırı yük (s<sub>2</sub>) 24 saatlik bir periyod dahilinde 2 saat süreyle işletmede kalabilir.

### 5. XLPE İZOLASYONUN ESKİME DAVRANIŞI

XLPE'nin eskime davranışını tespit etmek için uygulanan işlemler çok çeşitlidir ve IEC216 standardında detaylı olarak açıklanmaktadır. Şekil-3 bu tür işlemlerden ortaya çıkan neticeyi göstermektedir. Şekil-3' de seçilen eskime davranışının kriterleri basit bir gerilme deneyinde %50 de tutulan kırılma uzamasıdır. Mevcut yıpranma testleri 120-150°C sıcaklık aralığındaki izolasyon malzemesinin tabakaları üzerinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil-3 XLPE izolasyon malzemesinin termik oksitlenmeden ileri gelen eskime davranışı. T=sıcaklık ( %50 de tutulan kırılma uzamasına göre eskime zamanı).

Bu Arrhenius taslağı içindeki düz çizginin 80°C'ye ekstrapolasyonu ile 100 yıldan daha fazla bir servis ömrü elde edilebilir. Örneğin; eskime davranışı 1mm kalınlığındaki XLPE tabakaları üzerinde IEC 811 standardına göre havalı fırınlarda gerçekleştirilebilmektedir.

### 5.1.XLPE İzolasyonun Eskime Davranışını Tespit Etmek İçin Formüller

Elektriki izolasyonda kullanılan polimer malzemelerde ortaya çıkan termik oksidasyon birçok polimer için esas bir yıpranma mekanizmasıdır. Oksidasyon reaksiyonunun yer aldığı oran Arrhenius denklemi tarafından tanımlanır:

$$k = A e^{-(\Delta E / RT)} \quad (1)$$

Burada k, reaksiyon oranıdır (birim zamandaki moleküller reaksiyonların sayısı), A- bir sabittir,  $\Delta E$  (J/mol) bir mol değerindeki reaksiyon için aktivasyon enerjisidir, R- genel gaz sabitidir ( 8, 316 J/mol K ) ve T ise K ölçüsünde mutlak sıcaklıktır. Oksidasyon derecesiyle ilgili ve k ile ters orantılı olan t zamanı,

$$t = B e^{(\Delta E / RT)} \quad (2)$$

ile açıklanabilir. B, bir sabittir. Bu formül kısa süreli yüksek sıcaklıklarda testlerin gerçekleştirilmesi için ve sonuçların uzun süreli düşük sıcaklıklarda ekstrapolasyonu için temel teşkil etmektedir. Böylece bir malzeme bir seri T1, T2, T3 sıcaklıklarına maruz bırakılır ve reaksiyonun kesin bir derecesi için t1, t2, t3 süreleri ölçülür. Yukarıdaki denklem logaritmik olarak açıklanırsa;

$$\ln t = \ln B + \Delta E / RT \quad (3)$$

Bundan dolayı 1/T'ye karşı  $\ln t$ 'nin grafiği  $\Delta E/RT$  eğimli düz bir çizgi olacaktır. Düz çizginin ekstrapolasyonu ile, T'nin daha düşük değerlerine göre t'nin değerlerini elde etmek mümkün olmaktadır. Bu işlem yaygın bir şekilde kullanılmakta ve IEC216 standardı içinde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

## 6. AŞIRI YÜK DURUMLARI

Kuru tip transformatörün yağ izoleli transformatöre göre aşırı yük kapasitesini kıyaslamak için bazı genel aşırı yük durumları kuru tip transformatöre uygulanmaktadır.

**Durum 1:** İşletme tarafından istenebilen kısa süreli acil bir durumdur. %70 nominal yük, 0,5 saat süreyle %140 aşırı yükte kesilir.

**Durum 2:** IEC354 yüklem kılavuzundan alınan tekrarlı (24 saatlik çevrim) bir aşırı yük durumudur. 22 saat süresince %70 nominal yükte bulunurken 2 saat süreyle %134 aşırı yükte kesilmektedir.

**Durum 3:** 30°C'lik çevre sıcaklığında aşırı yüklenme. Bu yükte sargıların 70°C'lik sürekli aşırı ısınma sıcaklığına sahip oldukları kabul edilir. Sargıların mekanik özelliklerini etkilemeksizin sürekli olarak ne kadar fazla aşırı yüke müsaade edilebileceğini göstermek için yapılmaktadır. Sargı aşırı ısınması için zaman sabiti (50 dak.) ve incelemelerde kullanılan aşırı ısınma sıcaklık artışı (30K) kuru tip transformatör dizaynları için tipik olduğu kabul edilmektedir. Tüm durumlar için çevre sıcaklığı 30°C dir. Farklı durumlar için ortaya çıkan aşırı ısınma sıcaklıkları Tablo-3'de belirtilmektedir [3].

## 7. SONUÇLAR

Tablo-3. kuru tip transformatörün tehlikeli sıcaklık seviyelerine ulaşmaksızın bu genel aşırı yüklenme durumlarında işletilebileceğini göstermektedir. Kabloların mekanik bir yük teşkil eden üstteki kıvrım yerlerinde ortaya çıkan en yüksek aşırı ısınma küçük olmaktadır. Böylece yıpranma riski de sınırlanmaktadır. Altındaki kıvrım yerleri bütün sargının ağırlığıyla sıkıştırılmaktadır. Fakat soğutma havası alttan girdiği için buradaki sıcaklık yaklaşık 10K daha düşük olmaktadır. Böylece XLPE izolasyonu yumuşamaya başlayamaz. Dizayn için aşırı ısınma sıcaklığı, 30°C'lik çevre sıcaklığında 60°C dir. Bu durum 70°C'lik bir aşırı ısınma sıcaklığını oluşturan %115 değerindeki bir aşırı yükte kuru tip transformatörün devamlı işletilebileceği manasına gelmektedir (Tablo-3). Bu sıcaklık uzun işletme zamanları içinde güvenilir bir sıcaklık sınırıdır.

Tablo-3 Farklı işletme durumları için aşırı yük ve aşırı ısınma sıcaklıkları.

Durum	Nominal Yük (%)	Aşırı Yük (%)	Aşırı Yük Zamanı (min)	Aşırı Isınma (°C)
1	70	140	30	65
2	70	134	120	80
3	100	115	Devamlı Yük	70

## REFERENCES

- [1] ABB Transformers AB, Dryformer. 1ZSE 954002-6E, Media Tryck, Västerås, 1999.
- [2] Dooley, P.K., A comparison of liquid filled and dry-type transformers for industrial applications, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, pp. 222-226, 1998.
- [3] Pierce, L.W., Thermal considerations in specifying dry-type transformers, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, pp. 1090-1098, 1994.