

# Güç Trafolarında Katı Yalıtkanların Önemi ve Özellikleri

Selim Yürekten ENPAY Yönetim Kurulu Başkanı

## TÜRKİYE'DE TRAFÖ SANAYİNİN KISA GEÇMİŞİ

Türkiye'de trafo ile ilgili ilk çalışmalara 1959-60 yıllarında İzmir'de TEK ile Fransız ortaklığı olarak kurulan fabrikada, TEK'in trafolarını tamir ile başladı ve arkasından küçük güçlü orta gerilimli dağıtım trafolarının üretimine geçildi.

Daha sonra 1966-68 yıllarında İstanbul, Gebze ve Balıkesir'de yeni fabrikalar kurularak orta gerilimli trafo üretimi yapıldı.

Ancak 1970'li yılların ortalarından itibaren yüksek gerilimli (66-170 kV) güç trafoları üretimi başlayabildi, 1980'li yıllarda 400 kV'luk ünitelerin üretimine geçildi. Balıkesir'deki fabrikanın dışındakiler Alman, Fransız ve Amerikan teknolojileri ile işe başladı, ilerleyen yıllarda Balıkesir'deki fabrika da Avusturya'dan aldığı lisansla üretimine artırarak devam etti.

Adı geçen bu birkaç fabrikadaki mühendis ve teknisyenler, sonraki yıllarda kendi firmalarını kurdular ve böylece Türkiye'de orta gerilim dağıtım-güç trafo fabrika ve atölye sayısı bir ara 25 civarına kadar yükseldi.

Trafo üretiminde kullanılan diğer hammadde ve yarı mamul parçalar gibi katı yalıtkanların tamamı ithal ediliyordu. Özellikle o yıllarda trafo güç ve gerilimi yükseldikçe, ihtiyaç olan stratejik yalıtkan parçaların tedarik süreleri uzamaktaydı. Örneğin, sektör yaka ve borulu sektör (angling/snout) v.s. gibi yalıtkan parçaların temini için en az 6 ay beklenirdi. Trafo üretim süreleri de hayli uzun (en kısa 1 yıl) ve gecikmeliydi. Bu satırların yazarı bir trafo üreticisi olarak o yıllardaki sıkıntıyı çekenlerden biridir (Döviz sıkıntıları, uzun ithal formaliteleri ve yüksek güm-

rük bedelleri). Türkiye'deki trafo üretimi ile ancak yurt içindeki ihtiyaçların bir kısmı karşılanabiliyor, büyükçe miktar yurt dışından ithal ediliyordu.

Aradan geçen zaman içinde, Türkiye trafo sanayii hayli büyüyecek, gerek kalite ve gerekse kapasite olarak dünyada ilk sıralarda yerini aldı. Bu gelişmeyi, diğer ülkelerle mukayese edersek oldukça hızlı gerçekleştiğini takdirle anmalıyız.

1978 yılında kurulan ENPAY şirketler grubu, diğer aktivitelerinin yanında trafo sanayiinin içinde bulunduğu yalıtkan malzemede tedarik sıkıntılarını gidermek, modern trafo üretim tekniklerini Türkiye'ye aktarmak üzere çalıştı. 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren de bu komponentleri Türkiye'de üretmek, tedarik müddetlerinin kısalmasını sağladı. Son yıllarda 750 kV'a kadar olanlarının ihracıyla, dünya trafo sanayiinde lider üreticiler arasında yerini aldı.

## YALITKANLARIN ÖNEMİ

Elektrik enerjisinin kesintisiz olmasının önemini herhalde izaha gerek yoktur. Ancak günlük hayatta elektrik kesintilerinin verdiği sıkıntıları maalesef yaşamaktayız. Trafolar, elektrik şebekelerinin ana elemanlarıdır, arızalanmaları halinde elektriksiz kalırız. Bugün dünyada santral ana trafo güçleri 1500-2000 MVA'ya kadar yükselmiş, 750 kV'luk iletim hatları oldukça yaygınlaşmaktadır. Yakın gelecekte 1000 kV'luk şebekeler işletmeye girecektir (HVDC, HVAC). Türkiye'de en yüksek gerilimli şebeke 400 kV'dur.

Genellikle arızaların en kötüsü ve en pahalısı, kısa devre sebebiyle trafo içindeki yalıtkan malzemenin görevini yapamaz hale gelişidir. Şebekelerin kısa devre güçle-

ri arttıkça, trafoların içindeki yalıtkan malzeme özelliklerinin de buna dayanması şarttır.

Diğer yandan, yalıtkan dizaynı (alana uygun/feldkonform) da problemlerin çözümünde anahtar durumundadır. Modern dizayn edilen trafolarla boyutlar, ağırlıklar ve kayıplar küçülmüştür. Büyük güç trafolarında bakır ve demir kayıplarını bir yana bırakacak olursak, elektrik ve mekanik dayanımın hesabı ve dizaynı en önemli konudur. İşletmedeki emniyeti sağlayacak yalıtım kalitesinden emin olmak için, son 20 yıldır trafo yalıtkanlık seviyesi test metodlarının geliştirilmesine çalışılıyor. ENPAY 20 yıldır bu konularda trafo üreticilerini bilgilendirmektedir.

Bundan sonraki bölümde yalıtkan spekleri ve kullanım yerlerini inceleyeceğiz.

## YALITKANLARIN ÖZELLİKLERİ

Yağlı trafolar takriben 100 yıldır üretilmektedir. Son 30 yıldır Japonya'da yağ yerine SF6 gazı kullanılarak üretilen trafolar, 200 MVA'nın üzerindeki ünite güçlerine ulaşmış durumdadır. Yangın ihtimalini ortadan kaldıran bu teknik Pasifik bölgesinde süratle gelişmektedir. Fiyat rekabeti sebebiyle henüz diğer kıtalarda görülüyor. Sargı yalıtımında özel plastik folyolar (polyester) ve transformerboard malzeme kullanılıyor.

Biz yağlı trafo yalıtımında kullanılan malzemeleri, aşağıdaki şekilde sınıflandırarak inceleyeceğiz.

### 1. SAF SELÜLOZ

#### BAZLI YALITKANLAR

##### 1.a. Pressbandlar / PSP

(Transformerboard/Pressboard)

##### ve Bunlardan Üretilen

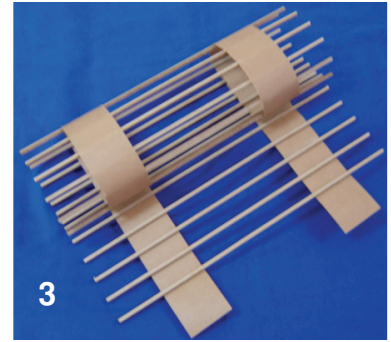
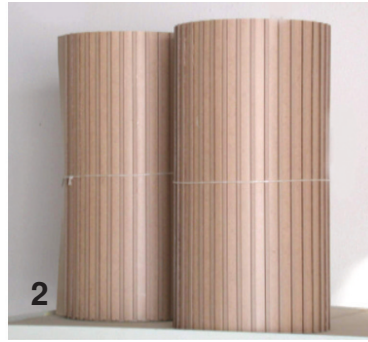
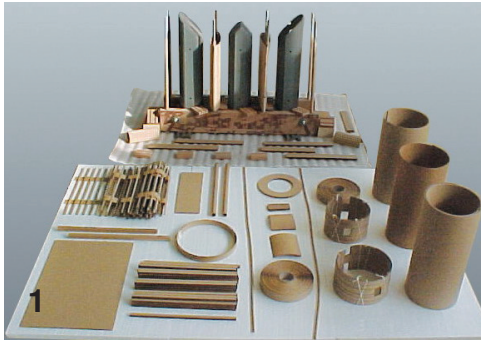
##### Parçalar:

IEC 60641 ve DIN EN 60641'de özellik, test, kalite verileri görülebilir. Tablo 1'de bazı değerler verilmiştir:

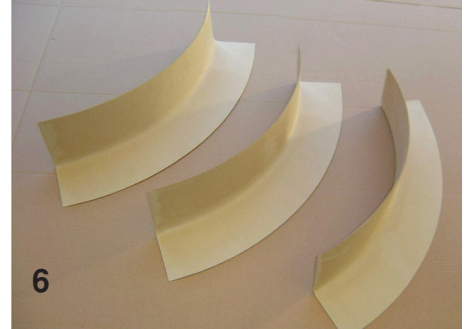
Son 50 yıldır en yüksek gerilimlere kadar (800-1000 kV) modern yağlı trafolarında kullanılan izole parçalar, saf selüloz bazlı karton ve hamurlardan üretiliyor. Normalde içlerindeki % 7-8'lik nem, aktif kısmın kurutulmasıyla yok edilir. % 10 civarında yağ emerek çok yüksek bir yalıtkanlık değerine ulaşır. (40-50 kV/mm)

Tablo 1: IEC 60641 ve DIN EN 60641'e göre pressbant özellik, test ve kalite verileri

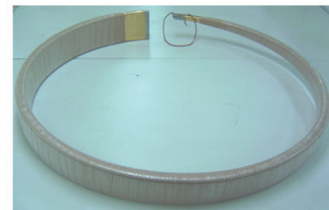
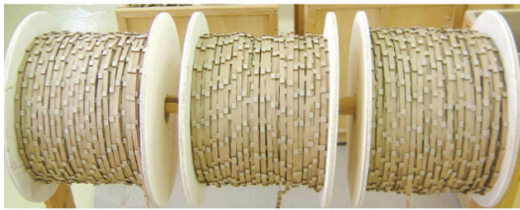
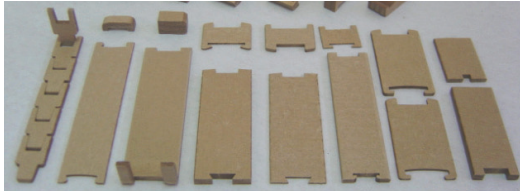
Yoğunluk	: 0,8-1,3 g/cm <sup>3</sup>
Kalınlık	: 0,1-8 mm. 0,1 – 1 mm arası kalınlıklar rulo halinde, 1-8 mm arası kalınlıklar plaka halinde üretilmektedir.
Nem	: < %8
Delinme Gerilimi (50 Hz)	: 40 – 50 kV/mm
Darbe Gerilimi Dayanımı 1,2/50µs	: 80-100 kV/mm.
Yüzey yapısı	: İnce olanlar (maksimum 3 mm) parlak, kalınlar mat, elek izli
Hammadde	: Saf sülfat selülozu
Piyasada 1x2 m / 2x3 m v.s. boyutlu plakalar halinde satılır.	



Resim 1, 2, 3'te görülen orta gerilim ( $\leq 36$  kV) dağıtım trafo yalıtkanları, küçük boyutlu olup yapımları büyük zorluk göstermez. Küçük silindirler, çıtalar, yağ kanalları, sargı sonu halkaları gibi parçalarıdır.



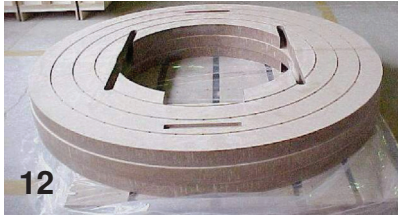
Güç trafolarında gerilim yükseldikçe kullanımı zorunlu hale gelen sektör yakalar ve borulu sektörler (angling/snout), ekranlı halkalar, baskı halkaları, ara parçaları, büyük silindirler, elektrodlu çıkış takımları (Lead Exit) saf selüloz bazlı IEC 60641-IEC 60763 ve IEC 61061'e uygun malzemeden ENPAY'da üretilmekte ve kullanımlarını içeren teknik bilgiler verilmektedir. Bu parçalara ait resimler 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11'de görülüyor.



### 1.b. Yapıştırılmış Kalın PSP (Laminated board/ Blockspan)

Malzeme spekleri IEC 60763 ve DIN EN 60763'de tarif edilmiştir. Büyük trafolarında yapıştırılmış kalın PSP'ler, KP'ler ve reçine emdirilmiş kağıt (resin-bonded paper), veya cam iplik bazlı olanlar benzer işler için kullanılır. Örneğin; sargıların mekanik olarak desteklenmesi, çıkış tellerinin fikslenmesinde baskı halkaları, baskı lataları, takozlama parçalarının kullanılması gibi.

2 - 5 mm PSP plakalar özel tutkalla büyük preslerde yapıştırılarak elde edilir. Resim 12'de ENPAY'da üretilen büyük baskı halkaları görülmüştür. (Çap: maks. 3,2 m)



IEC 60243 veya DIN EN 60243'e göre, muhtelif cins KP malzeme ile Laminated Boardların delinme gerilim değerleri aşağıdaki grafikte görülmüştür. Üretimde en çok kullanılan KP 20 222'nin 60 kV seviyelerinde delinmesine karşın, laminated board 110 kV'a kadar dayanıyor. Diğer yandan, KP 20 222 trafo içinde %20 civarında yağ emerken, Laminated board %10 civarında yağ emiyor. Malzemelerin yağ emme oranları mukayese edilerek maliyet-kalite karşılaştırılması yapılabilir. Özellikle trafo gerilimleri yükseldikçe bu nokta önem kazanır. Riskten kaçınmak için Laminated board malzeme kullanımı tavsiye edilir.

### 1.c. Yalıtkan Kraft Kağıtları

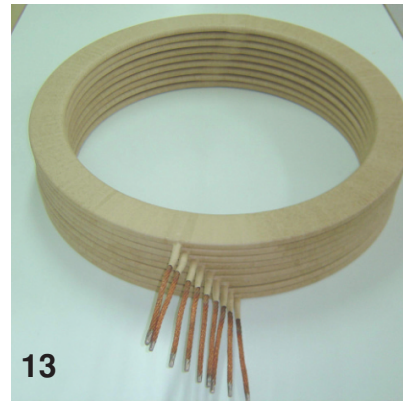
%100 saf sülfat selülozundan üretilir. IEC 60554 ve DIN EN 660554'de özellikleri verilmiştir. 0,040-0,250 mm arasındaki kalınlıklarda, iletkenlerin ve sargıların yalıtımında, ek yerlerinin örtülmesinde kullanılır. Piyasada rulo halinde bulunur.

Yağ içindeki delinme gerilimi : 60-75 kV/mm 100°C'de yağ içinde dielektrik kayıp değeri tgδ: 0,0038-0,0048'dir.

### 1.d. Yalıtkan Krep Kağıtları

Yukarıda özellikleri verilmiş kraft kağıdından krepaj yapılarak üretilir. Muhtelif kalınlıklarda, sargı çıkışlarında, karmaşık şekilli esneklik istenen parçalarda ve ek yerlerinin yalıtılmasında kullanılır. Resim 13'te görünen halka ekran buna örnektir.

Ayrıca yüksek gerilimli yağlı ölçü trafolarının sargılarının yalıtımında da çok miktarda kullanılmaktadır. %50 civarında yağ emer. Yağ içinde %80 gerilmiş haliyle (10 kat) delinme gerilimi 220-230 kV/cm 90°C'de yağda dielektrik kayıp değeri tgδ : 0,0050-0,0095'dir.



### 1.e. DDP (DPP) Epoksi Emdirilmiş Kağıtlar

0,06 - 0,25 mm kalınlığındaki kraft kağıtları ve rulo PSP'lere kareler halinde epoksi reçine basılarak üretilir. Orta gerilim dağıtım trafolarında sargı katlarının ve tellerin, birbirine yapışmasını sağlar.

Aktif kısmın kurutulması esnasında kompakt bir duruma gelir, kısa devre akımlarının meydana getirdiği aksiyal kuvvetlere karşı, trafonun yüksek gerilim sargısını korur. Özellikle Türkiye şebekelelerinde bu risk çok büyüktür.

### 1.f. Nomex ® (Du Pont) Meta-aramid Pressboard'lar

Gerek kuru trafolarında ve gerekse yağlı trafolarında, A sınıfından daha yüksek ısınma dayanımı istendiğinde, yalıtkan olarak (F sınıfı - 155°C, H Sınıfı - 180°C v.s.) Nomex malzeme kullanılmaktadır. 1 mm kalınlığa kadar rulo halinde, daha kalınları (1,6 - 10 mm) ise plaka halinde (Pressboard) bulunur.

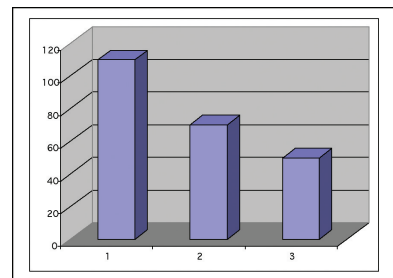
Özel direk tipi yağlı dağıtım trafoları, lokomotif trafoları, hatta 120 MVA'ya kadar güç trafo-



Grafik1: Yalıtkan malzemelerinin IEC 60243 standardına göre yağ içindeki elektriksel dayanımlarının karşılaştırılması.

Elektrotlar arası mesafe 15 mm.  
1: Laminated board  
2: KP 20 222  
3: Reçine emdirilmiş kağıt  
Resin-bonded paper

Delinme Gerilimi [kV<sub>rms</sub>]

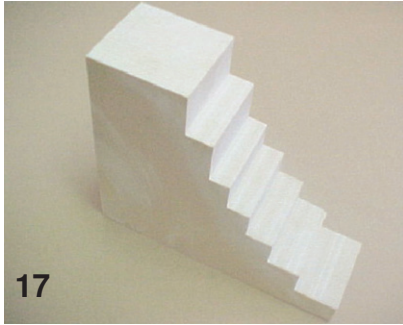
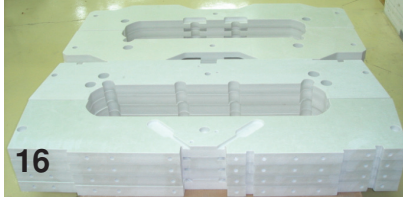


larında yüksek ısınma sınıfı kullanıldığı takdirde, aynı güçte normal yağlı trafolarla nazaran %25 malzeme tasarrufu sağlar.

Ayrıca tellerin kaplanması, yalıtkan parçaların üretiminde Nomex malzeme kullanılabilir. Yukarıda sayılan yalıtkan malzemelere mukayese ile fiyatları çok çok yüksektir. ENPAY Nomex malzemelerden özel parçalar üretmektedir.

### 1.g. UPGM, EP GC ,PF CP Malzemeler

Plaka halindeki IEC 60893 veya DIN EN 60893 standartlarında ve boru –saplama halindeki IEC 61212, DIN EN 61212 standartlarında tarif edilmiştir.

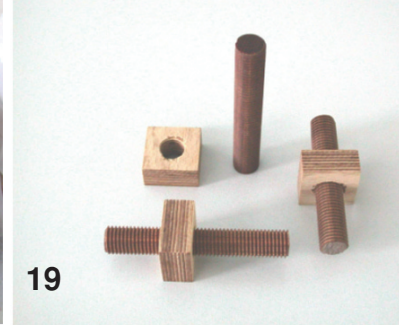


Tüm bu tip malzemeler, gerek kuru tip ve gerekse yağlı trafolarında yüksek ısıya dayanan (F,H sınıfları) ve yüksek mekanik dayanım istenen yerlerde kullanılır. Ancak, elektriksel özellikleri hiçbir zaman selüloz bazlı malzeme ile mukayese edilemeyecek kadar düşüktür. Bu sebeple alan şiddetinin yüksek olduğu yerlerden uzak tutulur.

### 2- PRESLENMİŞ AĞAÇLAR (KONTRAPLAKLAR)

(Plywood/KP, Kunststoffpressholz)

(Kısaca KP olarak anılacaktır.) Orta Avrupa ülkelerinde kayın ağaçlarından üretiliyor. IEC 61061



veya DIN EN 61061 standartlarında, malzeme özellikleri tarif edilmiştir.

#### Tip numaraları:

Preslenmiş ağaçların standartlardaki tip numaraları şöyledir:

KP 20 212 / KP 20 214 / KP 20 222 / KP 20 224 / KP 20 228 / KP 20 242 / KP 20 244.

Her tip numarası ayrı bir fiziksel özellik gösterir ve bu özelliklere göre trafo içinde farklı yerlerde kullanılırlar.

Piyasada 15-200 mm kalınlıklarda, maksimum 2x4 metre boyutlarında plakalar halinde bulunuyor. ENPAY plakaları, trafo içindeki kullanım yerine göre her türlü geometrilerde komponent haline getiriyor, metal partikül testi yaparak saflığını sağlıyor.

Genel olarak, 170 kV'a kadar olan trafolarında ve kuvvetli elektrik alanı oluşmayan bölgelerde kullanılabilir. Örneğin, küçük ve orta

boy trafolarında nüve boyunduruklarını pres etmek için, sargı-boyunduruk arasında takoz yada sargı pres halkası olarak, sargı çıkış uçlarının kelepçelenmesinde, somun ve vidalı çubuk olarak kullanılır. Ancak uzun işletme yıllarında trafoda ısınan yağ kalitesini bozma olasılığı vardır. Hatta bu gibi malzeme, içinde metal parçalarının bulunması ihtimaline karşı mutlaka metal check testinden geçirilmelidir.

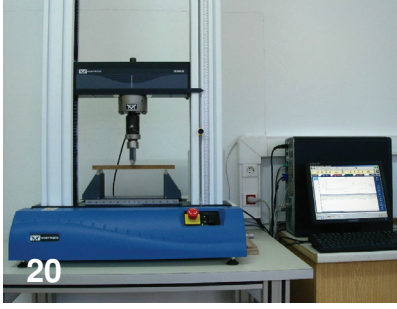
Bazı ülkelerde halen, hatta ülkemizde eski yıllarda KP yerine kurutulmuş kayın ağaçları kullanılmaktaydı. Ancak içindeki özsu, budağı, reçinesi gibi kötü özelliklerden dolayı, trafo yağının kalitesini bozarak, trafo ömrünü kısaltacağından tavsiye edilmiyor.

Aşağıdaki tabloda, IEC 60763'e göre PSP (Laminated board) ile IEC 61061'e göre KP (C2R) malzemelerinin olması gereken değerleri görülmektedir. ➔

Tablo 2: IEC 60763'e göre PSP, IEC 61061'e göre KP malzemelerinin fiziksel değerleri

<b>Laminated Board Numunesi: (LB)</b> Transformerboard plakadan ve polyesterle yapıştırılmış. (LB 3.1.2 –IEC 60763)	<b>Kontraplak Numunesi: (KP)</b> KP 20 222 (C2R – IEC 61061)
	<b>Numune Boyutları:</b> 25 x 25 x 100 mm

Malzeme Özellikleri	Birim	Malzeme	
		LB	KP
Kalınlık	mm	25	25
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1,15 – 1,35	0,9 – 1,1
Nem miktarı	%	8,0	6,0
Yağ emmesi	%	5	15
İletkenlik	mS/m	10	21
Eğilme dayanımı //	N/ mm <sup>2</sup>	100	55
Eğilme dayanımı ⊥	N/ mm <sup>2</sup>	85	55



Enpay'ın yalıtkan test laboratuvarlarında bulunan ölçü aletleri sayfadaki resimlerde görülmüştür.

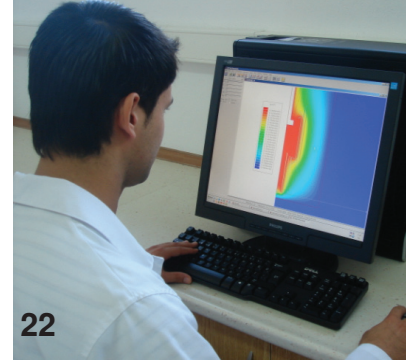
Dizaynlar FEM (Finite Element Method) yardımı ile bilgisiyarda simülasyonu yapılarak analiz edilir. Dizaynda eksik olan veya sorun

görülen yerler defalarca değiştirilip doğru sonuca ulaşılır.

IEC standartlarına göre yapılan testlerin cinsi de aşağıdaki listede verilmiştir. Trafo üretici ve kullanıcıları bu testleri her zaman yaptırabilir, ENPAY'dan hizmet alabilir.

ENPAY yalıtkan test laboratuvarlarında bulunan ölçü aletleri:

Resim 20: Eğilme dayanım testi. Resim 21: Katı yalıtkanların elektrik ve kimyasal test cihazları. Resim 22: FEM ile optimizasyon



- |   |  |
|---|--|
| 1. Kalınlık - Dimensions (Thickness) [mm]                               | 12. Kat Yapışma Direnci - Plybond Resistance [N]                         |
| 2. Yoğunluk - Apparent Density [g/cm <sup>3</sup> ]                     | 13. Nem Oranı - Moisture Content [%]                                     |
| 3. Çekme Dayanımı - Tensile Strength [MPa]                              | 14. İletkenlik - Conductivity of Aqueous Extract [mS/m]                  |
| 4. Eğilme Dayanımı - Flexural Strength [MPa]                            | 15. pH - pH of Aqueous Extract [Range]                                   |
| 5. Elastikiyet Modülü - Apparent Modulus of Elasticity in Flexure [MPa] | 16. Yağ Emme - Oil Absorption [%]  |
| 6. Uzama - Elongation [%]   | 17. Su Emme - Water Absorption [%]                                       |
| 7. İç Kopma Direnci-Internal Tearing Resistance [N]                     | 18. Polimerizasyon Derecesi - DP (Degree of Polymerization)              |
| 8. İç Kat Direnci - Internal Ply Strength [MPa]                         | 19. Elektrik Dayanımı - Electric Strength - kV/mm                        |
| 9. Kenar Kopma Direnci - Edge Tearing Resistance [N]                    | 20. Trafo Yağının Delinme Gerilimi - Transformer Oil Breakdown Test [kV] |
| 10. Sıkıştırılabilirlik - Compressibility [%]                           |  |
| 11. Çekme - Shrinkage [%]   |  |

## Yalıtkan Malzemelerin Standartlar Listesi

- 1 - Transformerboard (PSP)  
IEC 60641 / DIN EN 60641  
Specification for pressboard and presspaper for electrical purposes
- 2 - Laminated board  
IEC 60763 / DIN EN 60763  
Specification for laminated pressboard
- 3 - Laminated wood (KP)  
IEC 61061 / DIN EN 61061  
Non-impregnated densified laminated wood for electrical purposes
- 4 - UPGM + PF CP + EP GC (Plaka)  
IEC 60893 / DIN EN 60893  
Insulating materials - Indust-

- rial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes
- 5 - UPGM + PF CP + EP GC (Boru + Saplama)  
IEC 61212 / DIN EN 61212  
Insulating Materials - Industrial rigid round laminated tubes and rods based on thermosetting resins for electrical purposes
- 6 - Krep + Kraft Paper  
IEC 60554 / DIN EN 60554  
Specification for cellulosic papers for electrical purposes
- 7 - Electrical strength of insulating materials - Test methods  
IEC 60243 / DIN EN 60243

### Kaynakça:

- Highvolt Kolloquium '07, **Tests and measurements in the life cycle of high-voltage equipment**, Dresden Mai 2007
- S.V.Kulkarni, S.A. Khaparde, **Transformer Engineering, Design and Practice**, 2004 Marcel Dekker, New York, Basel
  - Robert M.Del Vecchio, Bertrand Poulain, **Transformer design Principles**, 2002, CRC Press
  - H.P. Moser, **Transformerboard, die Verwendung, von Transformerboard in Grosstransformatoren**, 1979 H.Weidmann AG, CH Rapperswil
  - H.P. Moser, V. Dahinden, **Transformerboard II Eigenschaften und Anwendung von Transformerboard aus verschiedenen Fasern**, 1987 H.Weidmann AG, CH Rapperswil
  - Dr. Techn. Wilhelm Oburger, **Die Isolierstoffe der Elektrotechnik**, Wien, Springer-Verlag
  - ENPAY innovation, **Transformer Components**, Insulation Parts
  - DUPONT Engineering, **Fiber Systems**