



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN PARÇACIK SÜRÜ  
OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE AĞIRLIK  
OPTİMİZASYONU**

**Hüseyin DEMİR**

**ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2011**

**DÜZCE**

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN PARÇACIK SÜRÜ  
OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE AĞIRLIK  
OPTİMİZASYONU**

**HÜSEYİN DEMİR**

**ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2011**

**DÜZCE**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüseyin DEMİR

Hüseyin DEMİR tarafından hazırlanan KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE AĞIRLIK OPTİMİZASYONU adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr Ali ÖZTÜRK .....

Tez Danışmanı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr Oğuz KÖYSAL .....

Fizik A.B.D., Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr Uğur GÜVENÇ .....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D., Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr Ali ÖZTÜRK .....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D., Düzce Üniversitesi

Tarih: 28 /06/2011

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Refik KARAGÜL .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür

## **ÖNSÖZ**

Bu tezi hazırlama sürecinde yapmış olduğu rehberlikten dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatımda emeği geçmiş, maddi manevi desteğiyle yanımda olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli eşim Leyla Sariye'ye çalışmalarım sırasındaki manevi desteğinden dolayı şükranlarımı sunarım.

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilim Merkezi Müdürü Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat ÇAKAN'a, değerli iş arkadaşlarım Atilla ERGİN'e, Yunus ÇİMENLİ 'ye ve tüm İTÜ Bilim Merkezi ailesine desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

**Haziran 2011**

**Hüseyin DEMİR**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ .....	İ
İÇİNDEKİLER .....	İİ
ŞEKİL LİSTESİ.....	İV
ÇİZELGE LİSTESİ .....	V
SEMBOL LİSTESİ .....	VI
ÖZ .....	VIII
ABSTRACT .....	X
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	3
2.1. TRANSFORMATÖRLER İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER .....	6
2.1.1. Transformatorün Tanımı.....	6
2.1.2. Transformatorün Çalışma Prensibi.....	8
2.1.3. Transformatorün Dönüştürme Oranı .....	8
2.1.4. Transformator Kayıpları .....	10
2.1.4.1. Demir Kayıpları.....	11
2.1.4.2. Bakır Kayıpları.....	12
2.1.5. Transformatorlerde Verim .....	13
2.1.6. Transformatorde Polarite .....	14
2.1.7. Transformatorlerin Paralel Çalışması.....	14
2.2. BİR FAZLI TRANSFORMATÖRLER .....	15
2.2.1. Bir Fazlı Transformatorlerin Yapısı .....	15
2.2.1.1. Demir Nüve .....	16
2.2.1.2. Sargılar .....	17
2.3. ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLER .....	18
2.3.1. Yıldız Bağlantı .....	19
2.3.2. Üçgen Bağlantı .....	20
2.3.3. Zikzak Bağlantı .....	21
2.3.4. Üç Fazlı Transformatorlerin yapısı .....	22
2.4. TRANSFORMATÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI .....	24
2.5. TRANSFORMATÖRLERİN SOĞUTULMASI.....	24
2.5.1. Radyasyon Yöntemi.....	24
2.5.2. Konveksiyon Yöntemi .....	25
2.5.2. Transformatorlerde Soğutma Türleri .....	25
2.6. YAĞLI TİP TRANSFORMATÖRLER .....	26
2.7. KURU TİP TRANSFORMATÖRLER .....	31
2.7.1. Kuru Tip Transformatorlerin Yapısı .....	32
2.7.2. Temel Üretim Metodu 1 .....	36
2.7.3. Temel Üretim Metodu II.....	36
2.7.3.1. Mekanik Dayanım .....	36
2.7.3.2. Neme Karşı Dayanım .....	37
2.7.3.3. Yüksek izolasyon özelliği.....	37
2.7.4. Kuru Tip Transformatorlerde Soğutma.....	39
2.7.5. Vakumla Epoksi Reçine Dökümü .....	40

2.7.5.1. Harici Döküm .....	40
2.7.5.2. Dahili Döküm.....	40
2.7.6. Kuru Tip Transformatörlerin Avantajları.....	41
2.7.6.1. Çevresel Güvenlik.....	41
2.7.6.2. Nem Geçirmeme .....	41
2.7.6.3. Aşırı Yük Kapasitesi.....	41
2.7.6.4. Darbe Dayanımı.....	41
2.7.6.5. Bakım .....	41
2.7.6.6. Düşük Gürültü Seviyesi.....	42
2.8. HAVA İLE KENDİ KENDİNE SOĞUYAN KURU TİP TRANSFORMATÖRLERİN TOPLAM AĞIRLIK VE VERİM HESABI	43
2.9. KURUTİP TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN AMAÇ FONKSİYON .....	50
2.9.1. Primer ve Sekonder Sargı Ağırlığı.....	50
2.9.2. Transformatör Boyunduruk ve Bacak Ağırlığı.....	50
2.9.3. Transformatör Toplam Ağırlığı.....	50
2.10. TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN DEĞİŞKENLER.....	51
2.11. TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN KISITLAR.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	52
3.1. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ.....	52
3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması .....	54
3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının Parametreleri .....	56
3.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemiyle Örnek Problem Çözümü.....	56
4. BULGULAR.....	61
4.1. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ İLE 1,5 kVA' LIK KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN AĞIRLIK OPTİMİZASYONU.....	61
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	69
KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	75

## ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 2.1	: Bir fazlı transformatör prensip şeması .....	7
Şekil 2.2	: Manyetik akının değişim eğrisi.....	8
Şekil 2.3	: Bir fazlı transformatörün temsili dış görünüşü.....	15
Şekil 2.4	: Çekirdek tipi nüve.....	16
Şekil 2.5	: Mantel tipi nüve .....	16
Şekil 2.6	: Silindirik sarılmış demir nüve.....	17
Şekil 2.7	: Dilimli sargılı demir nüve .....	17
Şekil 2.8	: Kuru tip üç fazlı transformatör .....	18
Şekil 2.9	: Yağlı tip üç fazlı transformatör.....	19
Şekil 2.10	: Transformatör sargı uçlarının yıldız bağlantısı.....	20
Şekil 2.11	: Transformatör sargı uçlarının üçgen bağlantısı .....	21
Şekil 2.12	: Transformatör sargı uçlarının zikzak bağlantısı .....	21
Şekil 2.13	: Üç fazlı çekirdek tipi transformatör nüvesi .....	23
Şekil 2.14	: Üç fazlı transformatör nüve örnekleri.....	23
Şekil 2.15	: Doğal soğutmalı yağlı transformatör .....	25
Şekil 2.16	: Suni soğutmalı yağlı transformatör.....	27
Şekil 2.17	: 250 MVA'lık yağlı güç transformatörü .....	28
Şekil 2.18	: Genleşme depolu yağlı transformatör .....	29
Şekil 2.19	: Hermetik tip yağlı transformatör .....	30
Şekil 2.20	: Kuru tip dökme reçineli transformatörün yapısı.....	34
Şekil 2.21	: Üç fazlı kuru tip transformatör .....	38
Şekil 2.21	: Üç fazlı kuru tip transformatör .....	39
Şekil 3.1	: Bir kuş sürüsünün hareketi .....	53
Şekil 3.2	: Yiyecek bulmaya doğru alçalan bir kuş sürüsünün hareketi .....	53
Şekil 3.3	: Parçacık sürü optimizasyonu algoritması.....	56
Şekil 4.1	: İterasyon ve çevrim sayısının 100 olduğu çözüm.....	64
Şekil 4.2	: İterasyon ve çevrim sayısının 100 olduğu çözüm.....	65
Şekil 4.3	: İterasyon ve çevrim sayısının 300 olduğu çözüm.....	65
Şekil 4.4	: Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 210. iterasyon için ağırlık değişimi .....	66
Şekil 4.5	: Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 67. İterasyon için verim .....	67
Şekil 4.6	: Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 15. İterasyon için verim ve ağırlık.....	68
Şekil 4.7	: Değişik iterasyonlar sonucunda elde edilen en iyi ağırlık değeri .....	68
Şekil 5.1	: 113 iterasyon sonucunda transformatör ağırlık değişimi .....	70



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b>	: Transformatörlerin sınıflandırılması .....	<b>24</b>
<b>Çizelge 2.2</b>	: Transformatörlerde soğutma şekillerinin simgeleri .....	<b>28</b>
<b>Çizelge 2.3</b>	: Hava ile soğutulan kuru, çekirdek tipi nüveli transformatörler için amper sarım değerleri .....	<b>45</b>
<b>Çizelge 2.4</b>	: Bakır sargılarda kullanılan akım yoğunluğu değerleri.....	<b>45</b>
<b>Çizelge 2.5</b>	: Hava ile soğutulan kuru, çekirdek tipi nüveli transformatörlerin pencere bakır doldurma faktörü.....	<b>45</b>
<b>Çizelge 3.1</b>	: Birinci iterasyonda rastgele oluşturulan parçacık değerleri .....	<b>58</b>
<b>Çizelge 3.2</b>	: Birinci iterasyon için hesaplanan hız değerleri.....	<b>60</b>
<b>Çizelge 3.3</b>	: Birinci iterasyon için hesaplanan konum değerleri.....	<b>61</b>
<b>Çizelge 4.1</b>	: Ağırlığı optimize edilecek olan 1,5 kVA 'lık transformatör verileri	<b>62</b>
<b>Çizelge 4.2</b>	: 1,5 kVA 'lık üç fazlı çekirdek tipinüveli bir transformatörün ağırlık optimizasyonu sonucu elde edilen değerler .....	<b>67</b>
<b>Çizelge 5.1</b>	: Parçacık sürü optimizasyonu yöntemi ile yapılan ağırlık optimizasyonunda elde edilen değerlerin klasik hesap yöntemiyle karşılaştırılması .....	<b>70</b>

## SEMBOL LİSTESİ

<b>PSO</b>	: parçacık sürü optimizasyonu
<b>Trafo</b>	: transformatör
<b>GA</b>	: genetik algoritma
$\varepsilon$	: kayıp oranı
$\varepsilon_2$	: ilave kayıp faktörü
<b>P<sub>cu</sub></b>	: özgül bakır kaybı
<b>P<sub>fe</sub></b>	: özgül demir kaybı
<b>S</b>	: akım yoğunluğu
<b>B</b>	: çekirdek endüksiyonu
<b>B<sub>j</sub></b>	: boyunduruk bacak endüksiyonu
<b>q</b>	: kesit
<b>q<sub>fe</sub></b>	: demir kesiti
<b>q<sub>fej</sub></b>	: boyunduruk bacak kesiti
<b>f</b>	: frekans
<b>S</b>	: görünür güç
$\theta$	: manyetik akı
<b>C</b>	: trafo demir kesiti uygunluk faktörü
<b>D</b>	: demir çekirdeğin çapı
<b>q<sub>fej</sub></b>	: boyunduruk bacak kesiti
<b>w<sub>1</sub></b>	: primer sargı siper sayısı
<b>w<sub>2</sub></b>	: sekonder sargı siper sayısı
<b>L<sub>s</sub></b>	: pencere veya bacak yüksekliği
<b>L</b>	: sargı yüksekliği
<b>A<sub>s</sub></b>	: amper sarım
<b>a</b>	: pencere genişliği
<b>k<sub>cu</sub></b>	: pencere bakır doldurma faktörü
<b>l<sub>m1</sub></b>	: primer sargı uzunluğu
<b>l<sub>m2</sub></b>	: sekonder sargı uzunluğu
<b>a<sub>2</sub></b>	: alt gerilim sargısı radyal yüksekliği
$\gamma_{cu}$	: bakır özgül ağırlığı
<b>k<sub>cu</sub></b>	: pencere bakır doldurma faktörü
<b>G<sub>cu</sub></b>	: bakır ağırlığı
<b>G<sub>cu1</sub></b>	: primer sargı bakır ağırlığı
<b>G<sub>cu2</sub></b>	: sekonder sargı bakır ağırlığı
<b>P<sub>cu</sub></b>	: bakır kaybı
<b>M</b>	: bacaktaki özgül demir kaybı

$P_{cu1}$	: primer sargı bakır kaybı
$P_{cu2}$	: sekonder sargı bakır kaybı
$G_{fej}$	: boyunduruk demir ağırlığı
$\gamma_{fe}$	: demir özgül ağırlığı
$r_1$	: primer sargı direnci
$r_2$	: sekonder sargı direnci
$r_0$	: bakır özgül direnci
$P_{cu1}$	: primer sargı bakır kaybı
$P_{cu2}$	: sekonder sargı bakır kaybı
$k$	: direnç artma faktörü
$G_{fej}$	: toplam boyunduruk demir ağırlığı
$P_{10}$	: ilave kayıp faktörü
$U_1$	: primer sargı gerilimi
$U_2$	: sekonder sargı gerilimi
$I_1$	: primer sargı akımı
$I_2$	: sekonder sargı akımı
$P_{feb}$	: bacaktaki özgül demir kaybı
$G_{feb}$	: toplam bacak demir ağırlığı
$P_{feb}$	: toplam bacak demir kaybı
$P_{fej}$	: özgül boyunduruk demir kaybı
$P_{fej}$	: toplam boyunduruk demir kaybı
$P_k$	: transformatörün toplam kaybı
$OR$	: pencere yüksekliğinin pencere genişliğine oranı
$Ver$	: verim
$G_{top}$	: toplam ağırlık

**KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON  
YÖNTEMİ İLE AĞIRLIK OPTİMİZASYONU**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hüseyin DEMİR**

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2011**

**ÖZ**

Transformatörler, elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında önemli bir yere sahip olup elektrik enerjisini alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan elektrik makinalarıdır. Transformatörler soğutma yöntemine göre yağlı tip ve kuru tip olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru tip transformatörler geçmişte ısınma problemi ve havanın delinme geriliminden dolayı kullanılmamasına rağmen yapılan çalışmalar sonucunda avantajlarının ortaya çıkmasıyla günümüzde kullanımı yaygınlaşmıştır. Ağırlık transformatörler için demir nüvenin sebep olduğu başlıca problemdir. Transformatörün veriminden ve çalışma sisteminden taviz vermeden ağırlığının en aza indirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada modern bir optimizasyon yöntemi olan parçacık Sürü optimizasyon yöntemi kullanılarak kuru tip transformatörün yeniden tasarlanması ve ağırlığının optimum seviyeye çekilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma sonucunda transformatörün ağırlığının düşürülebileceği görülmüştür. Çalışmanın ilk bölümünde transformatörler hakkında genel bilgi verilmiş ve kuru tip transformatörler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İkinci bölümde parçacık sürü optimizasyonu yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve örnek problem çözümü yapılmıştır. Son bölümde ise parçacık sürü optimizasyonu yöntemi kullanılarak 1500 VA'lık üç fazlı, kuru, çekirdek tipi nüveli transformatörün çıkarılan

matematiksel modeli kullanılarak ağırlık optimizasyonu yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

**Bilim Kodu** : 404759

**Anahtar Kelimeler** : *Elektrik güç sistemleri, Transformatörler, optimizasyon Parçacık sürü Optimizasyonu.*

**Sayfa Adedi** : 75

**Tez Yöneticisi** : Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

**WEIGHT OPTIMIZATION OF DRY TYPE TRANSFORMER WITH  
PARTICLE SWARM METHOD**

**(M.Sc. Thesis)**

**Hüseyin DEMİR**

**DUZCE UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2011**

**ABSTRACT**

**Transformers have an important role of producing, transferring and consuming the electrical energy besides transformers are the electrical machines which amplify or reduces the electrical energy. Transformers are divided into two; oiled type and dry type according to cooling method. Although in the past dry type transformers are not preferred because of heating problem and penetration tension of the air, they have widespread use today by the benefits which occurred as a result of studies done. Mass is the main problem which is caused by the iron core. There have been made many studies for to have a lower weight without compromising efficiency of the transformer and operating system. In this study it is aimed to re-design a dry type transformer and getting the weight to an optimum level by using the Particle Swarm Optimization method. As a result of this study it has been observed that the weight of the transformer can be reduced. At the first part of this study general information about transformers is given and dry type transformers are described in detail. At the second part Particle Swarm Optimization method is described and an example problem solution is made. At the last part by using the particle swarm optimization method a 1500 VA, three-phased, dry, core-type core transformer's mathematical model is created and weight level is optimized. Finally the results obtained are compared.**

**Science Code : 404759**

**Key Words : *Electrical power systems, Transformers, optimization, particle swarm optimization***

**Page Number :75**

**Adviser : Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK**

## 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı nüfus artışına bağlı olarak her geçen gün artmakta ve enerji kaynakları kullanıldıkça tükenmeye doğru gitmektedir. Elektrik enerjisinde günümüzde en çok, tükenebilen kaynaklar olan doğalgaz, petrol, kömür gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerjinin dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Birçok yakıt cinsi kullanarak elde ettiğimiz elektrik enerjisinin önemi üretim şekline dahi kendini göstermektedir. Bu kadar önemli olan elektrik enerjisinin alçaltılıp yükseltilmesinde kullanılan transformatörlerde bir o kadar gerekli ve önemlidir. Elektrik sistemlerinde en çok kullandığımız elektrik makinalarından bir tanesi transformatörlerdir. Günlük hayatımıza girmiş olan transformatörler genelde elektronik cihazların kutuları içerisinde saklanmış vaziyettedir. Örneğin radyolar, televizyonlar, anfiler, cep telefonu şarj aletleri en az birer transformatör içermektedir. Ayrıca elektrik enerjisinin ölçülmesi, dağıtılması gibi alanlarda kullanılan transformatörler de mevcuttur. Bu kadar içli dışlı olduğumuz bir elektrik makinasını her yönüyle optimize etmek insan hayatını kolaylaştırma adına atılmış büyük bir adım olacaktır.

Bu tez çalışmasında transformatörün ağırlığının optimize edilmesi üzerinde durulmuştur. Bu optimizasyonu gerçekleştirmek için Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) yöntemi kullanılmıştır. Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemi popülasyon temelli sezgisel bir tekniktir. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Bu yöntemi Eberhart ve Kennedy 1995 yılında Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) adıyla literatüre sokmayı başarmıştır. PSO yönteminde kuş sürülerinin yem arama sırasındaki davranışlar temel alınmıştır. Bu yöntem son yıllarda sık kullanılan eniyileme yöntemlerindedir.

Tezin 2. bölümünde literatürde yer alan transformatör tasarımı ile ilgili çalışmalar ve parçacık sürü optimizasyonu yönteminin kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir. Transformatörler ile ilgili temel kavramlar, transformatörlerin sınıflandırılması, kuru tip



transformatörün yapısı ve özellikleri, kuru tip üç fazlı transformatörlerde kayıp güç hesabı, kuru tip üç fazlı transformatörlerde verim hesabı da bu bölümde açıklanmıştır. 3. Bölümde parçacık sürü optimizasyonu yöntemi örnek bir problemle anlatılmıştır. 4. Bölümde 1,5 kVA lık kuru tip bir transformatörün matematiksel modeli çıkarılarak, transformatör ağırlığı optimizasyonu parçacık sürü optimizasyonu yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. 5. Bölümde ise yapılan optimizasyon benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu yöntemin diğer transformatör tiplerine uygulanmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

## 2. GENEL KISIMLAR

Transformatörlerde optimizasyon çalışmaları klasik yöntemler haricinde yakın zamanda başlamıştır. 2000'li yıllara kadar klasik yöntemler uygulanmaktaydı daha sonra sezgisel yöntemlerin gelişmesiyle optimizasyon çalışmalarında bu yöntemler kullanılmıştır. Elektrik güç sistemlerinin küçülerek günlük hayatımıza girmesiyle transformatörlerin ağırlığının optimize edilmesi gerektiği sonucu kaçınılmaz olmuştur. Günümüzde özellikle transformatörlerin ağırlığı ciddi bir problem haline gelmiştir. Transformatörlere uygulanan sezgisel yöntemlerin birçoğu transformatörlerin ağırlık veya dış görünüşünü optimize etme amacıyla uygulanmıştır. Transformatör ağırlığını düşürmeye yönelik yöntem tercihinde önemli olan optimum sonucu elde etmektir. Sezgisel eniyileme yöntemlerinin bir çoğu elektrik güç sistemlerine uygulanmıştır. Ancak transformatörler konusunda bazı yöntemler uygulanmayı beklemektedir.

Aybar (2008), Transformatörlerde farklı oranlarda silisyum içeren saclar kullanarak transformatörün performans parametrelerini analitik olarak incelemiştir.

Çanakoğlu (2008), tek fazlı bir transformatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak, belirli bir yük empedansı için primer ve sekonder sargı akımlarını hesaplamış ve deneysel değerlerle karşılaştırmıştır.

Özyalçın (2007), 400kVA'lık kuru tip bir transformatörün teknik değerlerini kullanarak verim arttırma tekniklerini araştırmış ve verimin arttırılabilirliğini matlab programını kullanarak simulasyon ortamında tespit etmiştir.

Bozkurt (2005), pencere tipi bir transformatörün kaçak akı değerlerini ölçü bobinleri ile ölçerek kaçak akı değerlerini elde etmiş, daha sonra bu değerleri sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemiyle de hesaplayarak akı dağılımını elde etmiş daha sonra bu

değerleri karşılaştırmış ve ölçüm sonuçlarını referans olarak ölçüm değerlerine en yakın sonucu veren yöntem olarak sonlu elemanlar yöntemini tercih etmiştir.

Sarikaya (2006), toroidsel transformatör nüvelerinin optimal tasarımında, genetik algoritma(GA) ve sonlu elemanlar yöntemlerinin ardışık kullanımı ile manyetik nüve geometrisinin optimize edilerek manyetik kayıpların ve kullanılan manyetik malzemenin maliyetinin azaltılabileceğini göstermiştir.

İlkkahraman (2008), 240 adet güç transformatörü arızasını inceleyerek arıza istatistiği oluşturmuş ve bu arızalarının incelenmesine yardımcı olacak bilgisayar yazılımı ile güç transformatörü arızalarına ait analitik analizler yapmıştır.

Karaca (2008), harmoniklerin türk elektrik iletim sistemindeki güç trafolarının en sıcak nokta ve üst yağ sıcaklıklarına etkilerini incelemiştir.

Kömürgöz ve Güzelbeyoğlu (2002), kendi kendine soğuyan kuru tipte bir transformatörün sıcaklık dağılım eğrisini hesap yoluyla elde etmişlerdir. Aynı zamanda Ansys programını kullanarak sıcaklık dağılım eğrisini bulmuş ve her iki eğriyi kıyaslamışlardır.

Çapanoğlu S. (2006), güç elektroniği devrelerinde yüksek frekanslarda kullanılan ferrit çekirdekli transformatörlerin tasarım yöntemlerini ele almıştır.

Mahmoud (2008), üç farklı güçte olan (100kVA, 160kVA, 250 kVA) üç fazlı yağlı dağıtım transformatörlerinin teorik ve pratik kayıplarını incelemiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

Çelebi (2007), 100 kVA lık yağlı bir transformatörü Genetik Algoritma(GA) ile simule edip maliyet optimizasyonu yapmıştır. Böylece transformatör ağırlığını yaklaşık olarak 50 - 60 kg düşürmeyi başarmıştır. GA'nın elektrik makineleri tasarım optimizasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Eren (2008), SF6 gazlı transformatör ile yağlı transformatörleri karşılaştırmış ve her iki transformatörün birbirine karşı güçlü ve zayıf yanlarını incelemiştir. Transformatör tercihi için transformatörün kurulacağı tesisin fiziksel şartları göz önüne alınması gerektiğini ifade etmiştir.

Çelebi (2009), 1.5 kVA'lık hava ile soğuyan kuru tip transformatörü genetik algoritma(GA) ile simüle edilip ağırlık optimizasyonunu yapmış ve bu optimizasyonun tasarım uygunluğunu Ansoft sonlu elemanlar metodu( SEM) ile analiz etmiştir.

Megep (2007), üç fazlı transformatör sarımı ile ilgili bir modül oluşturulmuş olup hem teorik olarak transformatör hakkında bilgi verilmiş hemde pratiğe yönelik uygulama faaliyetleri bir plan çerçevesinde ele alınmıştır.

Gözde ve diğ. (2009), iki bölgeli ara-ısıtmalı bir termal güç sisteminin yük-frekans kontrolünde, ikincil kontrolü gerçekleştiren oransal-integral (PI) kontrolörün kazançlarını parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi ile ayarlamışlardır.

Tozan (2007), sensör yerleştirme probleminde genetik algoritma(GA) ile parçacık sürü optimizasyonu(PSO) yöntemini kıyaslamıştır. Yaptığı deneylerden elde edilen sonuçlara göre GA yönteminin PSO yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Güner (2006), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) yöntemini kapasitesiz tesis yeri seçimi probleminde uygulamış ve optimum sonuçları kabul edilebilir işlem zamanı içinde elde etmiştir.

Yılmaz (2006), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yönteminin çok doruklu problemlerde en uygun çözüm kümesini bulmakta başarılı olduğunu deneysel olarak göstermiştir.

Belgin (2007), güvenilirlik kısıtı altında minimum maliyetli haberleşme şebekelerinin topolojik eniyilemesi probleminin çözümünde değişken komşu arama, kuş sürüsü eniyilemesi (PSO) ve karınca kolonisi eniyilemesi genel amaçlı sezgisellerine dayalı

algoritmalar geliştirmiş, geliştirdiği algoritmaların performanslarını çözümlerini ve çözümlerini karşılaştırmıştır.

Uysal (2006), büyük çaplı problemler için toplam yapım zamanı ve en büyük pozitif gecikme zamanı kriterlerini birlikte dikkate alarak, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) , genetik algoritma (GA) sezgisel yöntemini geliştirmiş ve standart test problemlerine uygulayarak iki algoritmanın performanslarını karşılaştırmıştır.

Yetkin (2008), bir GPS (Global Positioning System) yani global yer belirleme sistemi ağının duyarlık ve maliyet optimizasyon kriterlerine göre tasarımını parçacık sürü optimizasyonu ile gerçekleştirilmiştir.

Tamer ve Karakuzu (2007), parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının başarımını artırmak için geliştirilmiş Hibrit PSO – GA (HPSOGA) algoritması kullanılarak eğitilen bulanık-nöral kontrolörlerle çeşitli sistemlerin denetlenmesine ait benzetim sonuçları elde etmişlerdir.

Bu bölümde transformatörler ile ilgili temel bilgiler, bir fazlı ve üç fazlı transformatörler, transformatörlerin sınıflandırılması, kurutip transformatörler ve parçacık sürü optimizasyonu hakkında bilgiler verilmiştir.

## **2.1. TRANSFORMATÖRLER İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER**

### **2.1.1. Transformatörün Tanımı**

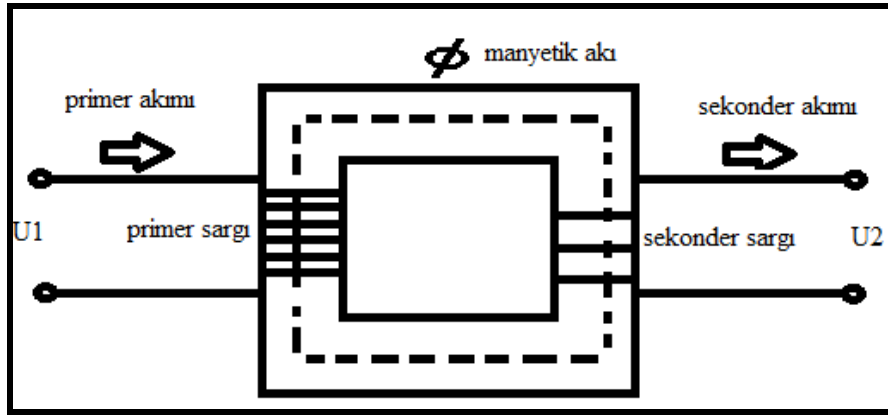
Transformatörün temel işlevini 1831'de elektrik alanında ilk çalışmaları yapmakta olan İngiliz fizikçi Michael Faraday bulmuştur. Yüzyılın sonlarında değişken akımlı (a.c.) güç sistemleri tüm dünyada kullanılmaya başlanmıştır ve transformatörler elektrik iletim ve dağıtımında anahtar rolünü üstlenmişlerdir.(Eren, 2008)

Transformatör 19.ncu yüz yılın başında geniş çapta geliştirilmiş ve kullanılmıştır. (İlkkahraman, 2008)

Transformatörler elektrik enerjisini bir elektrik devresinden diğerine frekansı değiştirmeden elektromanyetik indüksiyon yoluyla transfer eden statik cihazlardır.(Mahmoud, 2008)

Transformatörler aynı zamanda belirli bir gerilimdeki elektrik enerjisini alçaltmaya veya yükseltmeye yararlar. Kullanıldıkları yer neresi olursa olsun, prensip bakımından daima aynıdır ve genel olarak yekdiğerine ve toprağa karşı izole edilmiş iki sargı ile üzerinde sargıları taşıyan demir çekirdekten oluşurlar. (Boduroğlu , 1981)

Şekil 2.1’de transformatöre ait prensip şeması bulunmaktadır. Prensip şemasında sargıların yerleştirildiği nüve ve nüve üzerinde dolaşan akı görülmektedir.

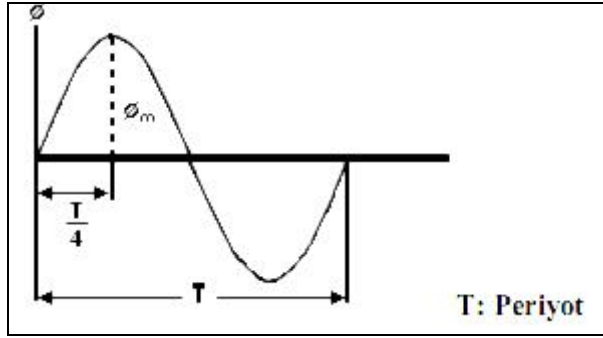


Şekil 2.1: Bir fazlı transformatörün prensip şeması

Elektrik güç sistemlerindeki işlevinin dışında, transformatörler elektrikle çalışan birçok cihazın elemanıdır. Örneğin bir elektronik devrede düşük gerilim için transformatör gereklidir. (Boduroğlu , 1981)

Bilindiği gibi elektrik doğru veya alternatif akım şeklinde üretilebilir. Doğru akımda yüksek gerilimli enerji iletimi son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Ancak bu konuda istenilen düzeye gelinebilmiş olup çalışmalar sürdürülmektedir. Buna karşılık alternatif akımlı elektrik enerjisinin gerilimi transformatörler yardımı ile yükseltip düşürülebildiğinden, enerjinin alternatif akımla taşınması önemini korumaktadır. (Gürçan, 2010)

Lenz kanununa göre bir iletkende indüklenen elektromotor kuvvet (emk) saniyede kesilen kuvvet çizgisi sayısı ile orantılıdır. Kuvvet çizgisi kesme hızı ne kadar fazla ise indüklenen emk'da o kadar büyük olur. Transformatörün primer sargısına alternatif bir gerilim uygulandığında bu akım şekil 2.2'de görüldüğü gibi değişen bir manyetik alan oluşturur.



Şekil 2.2: Manyetik akının değişim eğrisi (Boduroğlu , 1981)

Değişken manyetik alanın 1 Hz'lik (bir periyotluk) süre içindeki değişimi, uygulanan alternatif gerilimin değişimine benzer. Bir Hz'lik sürenin dörtte birinde manyetik alan maksimum değerini alır. T/4 süre içinde  $w_1$  adet iletkende endüklenen emk' nın volt olarak ortalama değeri denklem 2.1 de belirtilmiştir.

### 2.1.2. Transformatörün Çalışma Prensibi

Transformatörün primer sargısına alternatif bir gerilim uygulandığında, bu sargı değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu değişken manyetik alan, üzerinde sekonder sargısında bulunduğu manyetik demir nüve üzerinden devresini tamamlar. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimin zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değiştiğinden oluşturduğu manyetik alanında her an yönü ve şiddeti değişir. Bu değişken manyetik alanın sekonder sargıyı kesmesi ile sekonder sargıda alternatif bir gerilim indüklenir. Transformatörün gerilim düşürücü veya gerilim yükseltici olması sargıların siper sayılarından anlaşılabilir.

Transformatörlerin primer sargısına doğru gerilim uygulandığında da manyetik alan meydana gelir ancak bu manyetik alan değişken olmadığı için sekonder sargıda elektromotor kuvveti indüklenmez.

### 2.1.3. Transformatörün Dönüştürme oranı

Primer sargıya uygulanan gerilim ile demir nüvede bir manyetik alan uyarılır. Primer gerilimin alternatif bir gerilim olmasından ötürü meydana gelen bu manyetik alanda alternatiftir ve devresini kapamak üzere sekonder sargının bulunduğu demir çekirdekten geçerken sekonder sargıda bir elektro-motor-kuvvet (emk) endükler. Endüklenen emk sekonder sarım sayısı, primerde uyarılıp sekonder sargı içinden geçen magnetik akının maksimum değeri ve iki sargıyı kavrayan alternatif alanın frekansına bağlıdır. Primer ve sekonderde endüklenen emk'ları yazarken dağılma akısı bulunmayan ideal bir transformatör için denklem 2.1 ve 2.2 elde edilir.

$$E_1 = 4,44 \times f \times w_1 \times \theta_{\max} \times 10^{-8} \text{ volt} \quad (2.1)$$

$$E_2 = 4,44 \times f \times w_2 \times \theta_{\max} \times 10^{-8} \text{ volt} \quad (2.2)$$

Bu denklemlerde  $f$ , frekans,  $w_1$ , primer sargı siper sayısı,  $w_2$  sekonder sargı siper sayısı ve  $\Theta$  manyetik akıyı ifade etmektedir.  $f$  ve  $\Theta$  her iki sargıda da sabit kalmaktadır. Elde olunan  $E_1$  ve  $E_2$  elektro-motor-kuvvetleri için bulunan değerler efektif değerlerdir.(Boduroğlu , 1981)

Bu gerilimler arasındaki oran, denklem 2.3'te ifade edildiği gibi sarım sayıları arasındaki orana eşittir.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = \ddot{u} \quad (2.3)$$

Buna transformatörün değiştirme oranı denir. Primer ve sekonder taraftaki güç faktörlerinin birbirlerine çok yakın olmasından ötürü primer ve sekonder güçler denklem 2.4'te olduğu gibi yaklaşık olarak birbirine eşit yazılabilir.

$$U_1 \times I_1 \times \cos \phi_1 = U_2 \times I_2 \times \cos \phi_2 \quad (2.4)$$

$U_1$ , Primer sargı gerilimini,  $U_2$  sekonder sargı gerilimini,  $I_1$  primer sargıdan geçen akımı,  $I_2$  sekonder sargıdan geçen akımı ifade etmektedir.(Boduroğlu , 1981)



Denklem 2.3'ü ve 2.4'ü oranlarsak denklem 2.5'teki bağıntı elde edilir.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \ddot{u} \quad (2.5)$$

Bu oranlama aynı zamanda  $a$  ile de ifade edilebilmektedir. Bu orana transformatörün dönüştürme oranı da denilmektedir. (Mahmoud, 2008)

#### **2.1.4. Transformatör Kayıpları**

Transformatörler girişlerine uygulanan enerjinin büyük kısmını, niteliğini değiştirmeden, yine elektrik enerjisi olarak çıkışlarına iletirler. Bu sebeple transformatörlerde enerji dönüşümü olmaz, sadece yapılarında kullanılan malzemelerde, küçük miktarda enerji şekil değiştirir ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkarak çevreye yayılır. (Özyalçın, 2007)

Bütün elektrik makinalarında olduğu gibi transformatörlerde de güç kaybı meydana gelmektedir. Transformatörlerdeki bu güç kayıpları ikiye ayrılır,

- Demir Kayıpları (Iron Loss)
- Bakır Kayıpları (Copper Loss)

Transformatörlerin diğer elektrik makinalarından en önemli farkı hareketli parçası olmaması ve bundan dolayı rüzgar ve sürtünme kayıplarının olmamasıdır. Dolayısıyla kayıpları az verimleri yüksektir. (Boduroğlu , 1981)

Demir kayıpları transformatör boş çalışma deneyi ile bakır kayıpları ise transformatör kısa devre deneyi ile bulunabilir.

#### 2.1.4.1 Demir Kayıpları

Transformatörün sekonder sargı çıkış uçları boşta iken oluşan kayıplara demir kayıpları denir. Transformatörlere uygulanan gerilim ve frekans değişmediği sürece demir kayıpları sabit kalır. Çok küçük olan boştaki yüksüz devrenin akımının oluşturduğu bakır kayıpları dikkate alınmazsa boş çalışmada sadece demir kayıpları meydana gelir. Transformatörde meydana gelen bu kayıplara çekirdek kayıpları da denilmektedir.

Fuko Kayıpları: Transformatör nüvesi üzerinde indüklenen girdap akımlarının neden olduğu kayıplardır. Bu kayıplar ısı şeklinde ortaya çıkar. Bu kayıpları azaltmak için transformatör yapımında kullanılan silisyum alaşımli ve çok ince olan sacların bir tarafı yalıtılır.

Böylece akımın sacdan saca geçmesine engel olunmuş olur. Eğer bu izolasyon yapılmazsa nüve tek bir kütle oluşturacağından içinde endüklenen gerilim büyük bir fuko akımının akmasına yol açar. Artan fuko akımları etkisiyle saclar aşırı ısınır ve bazı noktalarda akkor haline bile gelebilir. Bu nedenle demir malzemenin ısınması dikkate alınarak, makine içinde gerekli soğutma tedbirleri alınmalı ve makinenin çalışmasına zarar verecek ısı değerlerine ulaşması engellenmelidir.

Histerezis Kayıpları: Transformatör nüve moleküllerinin frekansa bağlı olarak yön değiştirmesi sırasında moleküllerin birbirleri ile sürtünmeleri sonucu ısı şeklinde ortaya çıkar.

Genel olarak histerezis ve foucault akımları kayıplarından meydana gelen bu kayıplar, normal işletmede sabit bir gerilim ve frekansla çalışıldığından değişmezler. Bu kayıplar material sabitelerinden başka yalnız B endüksiyonu ve frekansa bağlıdır. (Boduroğlu , 1981)

Demir kayıpları fuko ve histeresiz kayıplarından oluşmaktadır.

$$P_{fe} = p_{10} \times \left(\frac{B}{10000}\right)^2 \text{ watt/ kg dir.} \quad (2.6)$$

$$f = 50 \text{ periyot/saniye} \quad (2.7)$$

Denklem 2.6'daki  $p_{10}$  kayıp faktörünü, B çekirdek endüksiyonunu,  $P_{fe}$  de demir kayıplarından dolayı oluşan kayıp gücü ifade etmektedir. (Boduroğlu , 1981)

Denklem 2.7 ise ülkemizdeki şebeke frekansını ifade etmektedir. (T.C. Resmi Gazete, 2008)

$p_{10}$  kayıp faktörü, 10000 gauss ve denklem 2.7 değişik kalite ve incelikteki saclar için tespit olunmuştur. (Boduroğlu , 1981)

Son zamanlarda soğukta haddelenmiş ve kristalleri manyetik yöneltilmiş 0,35 mm lik transformator saclarında demir kayıplarını 0,6 watt/ kg in altına düşürmek kabil olmuştur.Belli bir endüksiyon için soğukta haddelenmiş transformatör sacları sıcakta haddelenmiş olanlara oranla çok küçük miknatislanma akımı gerektirir. Bunun sonucunda denklem 2.6 de verilen demir kayıpları  $p_{10}$  kayıp faktörü kadar artar. (Boduroğlu , 1981)

$$P_{fe} = \varepsilon \times p_{10} \times \left(\frac{B}{10000}\right)^2 \text{ watt / kg dır.} \quad (2.8)$$

$$\varepsilon = \frac{P_{cu}}{P_{fe}} \text{ watt/kg} \quad (2.9)$$

Denklem 2.8 de  $\varepsilon$  kayıp oranını,  $p_{10}$  kayıp faktörünü,  $P_{fe}$ ' de demir kayıplarından dolayı oluşan kayıp gücü ifade etmektedir. (Boduroğlu , 1981)

#### 2.1.4.2. Bakır kayıpları

Bakır kayıplarını transformatör nüvesi üzerindeki sargılar oluşturmaktadır. Transformatörlerde bakır kayıpları kısa devre deneyi ile bulunur. Transformatörün

sekonder sargısına bir yük bağlandığı zaman hem primer sargıdan hemde sekonder sargıdan bir akım geçer. Sargılardan geçen akımlar iletkenin direncinden dolayı güç kaybına sebep olur.

Bakır kayıpları 1000 kVA'nın altındaki güçlerde genelde transformatörün görünür gücünün % 4'ü kadardır. Örneğin görünür gücü 1500 VA olan transformatörün sargı dirençlerinden dolayı oluşan kayıp yaklaşık olarak 60 w civarındadır. Toplam bakır kaybı primer ve sekonder sargılarındaki kayıpların toplamıdır. Denklem 2.10, 2.11, 2.12'de sargılar üzerinde oluşan toplam kayıpların elde edilişi gösterilmiştir.

$$P_{cu_1} = I_1^2 \times r_1 \text{ watt} \quad (2.10)$$

$$P_{cu_2} = I_2^2 \times r_2 \text{ watt} \quad (2.11)$$

$$P_{cu} = P_{cu_1} + P_{cu_2} \text{ watt} \quad (2.12)$$

### 2.1.5. Transformatörde Verim

Transformatörlerde verim, diğer elektrik makinelerinde olduğu gibi, alınan gücün verilen güce oranı şeklinde bulunur. Her iki gücün birbirine eşit olması günümüz şartlarında mümkün görünmemektedir. Bunun nedeni ideal transformatör şartlarının oluşturulamamasıdır.

Transformatörlerde verim iki şekilde bulunur:

❖ Direkt metotla verimin bulunması;

Bu metotla daha çok küçük güçlü transformatörlerde uygulanır. Sekonder yükü sıfırdan başlanarak tam yüke kadar yavaş yavaş artırılır. Her yükte primer ve sekonderdeki wattmetreden okunan değerler alınarak verim elde edilir.

Buna göre verim denklem 2.13 teki oranlama ile ifade edilmiştir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Transformatörden Alınan Güç}}{\text{Transformatöre Verilen Güç}} = \frac{P_A}{P_V} \quad (2.13)$$

Her zaman alınan güç verilen güçten düşüktür. Çünkü kayıplar alınan gücü düşürmektedir. Transformatöre verilen güç primer sargısının gücü, transformatörden alınan güç ise sekonder sargısının gücüdür. Transformatörlerin güçleri arttıkça verimleri artar. Transformatörlerin verimleri yük ile de değişir.

❖ Endirekt metotla verimin bulunması;

Endirekt metotla verimin bulunması büyük güçlü transformatörlerde uygulanır. Bunun için boş çalışma deneyi ile, transformatörün demir kayıpları; kısa devre deneyi ile de bakır kayıpları bulunur.

#### **2.1.6. Transformatörde Polarite**

Transformatörlerin paralel bağlanması için polarite çok önemlidir. Polarite, sargılarda indüklenen gerilimlerin ani yönlerini gösterir. Transformatörlerin primer ve sekonder sargılarının her iki uçlarının işaretleri alternatif gerilimin frekansına bağlı olarak değişir. Bundan dolayı paralel bağlanacak transformatörlerin uçlarının polaritesinin bilinmesi gerekir.

#### **2.1.7. Transformatörlerin Paralel çalışması**

Elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak, transformatörlerin bakımı veya arıza hallerinde yedekte bulunan transformatörleri devreye sokabilmek için transformatörler paralel bağlanabilir. Transformatörlerin yüklerinde artma olursa birden çok sayıda transformatör paralel bağlanabilirler. Aynı yerde bulunan transformatörler ortak bir bara sistemi, uzak mesafede bulunan transformatörler ise enterkonnekte sistem ile paralel bağlanırlar. Ülkemizde elektriğin sürekliliği için enterkonnekte sistem kullanılmaktadır.

Transformatörleri paralel bağlamanın bazı şartları vardır. Bunlar :

- Transformatörlerin primer ve sekonder gerilimleri birbirine eşit olmalıdır,
- Transformatör normal yükündeki kısa devre gerilimleri birbirine eşit veya birbirine yakın olmalıdır,

- Transformatörlerin güçleri birbirine eşit veya yakın olmalıdırlar,
- Transformatörlerin sekonder sargılarının polaritesi ve kodları aynı olan uçları birbirine bağlanmalıdır.

## 2.2. BİR FAZLI TRANSFORMATÖRLER

Sadece tek bir fazdan beslenen transformatörlerdir. Genelde günlük hayatımızda kullandığımız elektrikli cihazlardaki şebeke gerilimi olan 220 voltu 12-24 volta düşürerek hem yüksek gerilim tehlikesini azaltmış hemde hayatımızı kolaylaştırmış olur. Şekil 2.1 de bir fazlı çekirdek tipi demir nüveli transformatörün prensip şeması gösterilmiştir. Ayrıca şekil 2.3’de bir fazlı transformatöre ait temsili dış görünüş yer almaktadır.



Şekil 2.3: Bir fazlı transformatörün temsili dış görünüşü

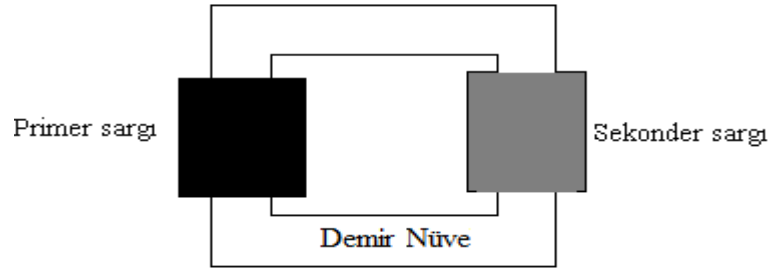
### 2.2.1. Bir Fazlı Transformatörlerinin Yapısı

Demir nüve, manyetik akı için bir kapalı devre teşkil eden uygun manyetik özelliklere sahip primer ve sekonder sargıların üzerine sarılmış bulunduğu kısımdır. Kayıplar, işçilik ve ekonomik nedenlerden dolayı nüve 0,35 mm kalınlıktaki saçlar seçilerek imal edilir. Bu saçların birer yüzleri yalıtkan tabaka (lak, kağıt, karlit vb.) ile kaplanmıştır. Amaç fuko kayıplarını azaltmaktır. Ayrıca işletme esnasında gürültü olmaması için saclar preslenir.

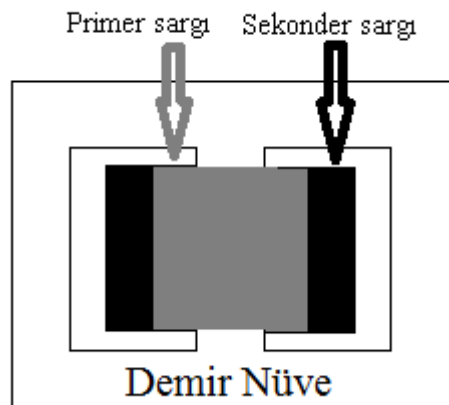
Nüve kesiti transformatörün gücüne göre tasarlanır. Büyük güçlü transformatörler için nüvelerde soğutma kanalları açılır.

### 2.2.1.1 Demir Nüve

Demir nüve, manyetik akı için kapalı devre teşkil eden uygun manyetik özelliklere sahip primer ve sekonder sargılarının üzerine sarıldığı kısımdır. Demir nüve 0,35mm kalınlığındaki silisyumlu alaşımlı bir tarafı yalıtılmış sacların bir araya getirilmesi ve preslenmesi ile oluşur. Sargıların geçirildiği kısma bacak ve bu bacakları üst ve alttan birleştiren kısımlara ise boyunduruk denir. Demir nüve Çekirdek tipi(şekil 2.4) ve mantel tipi (şekil 2.5) olmak üzere genellikle iki tiptedir.



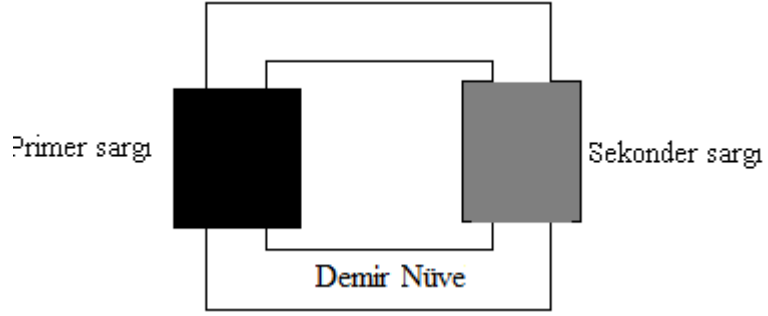
Şekil 2.4: Çekirdek tipi nüve



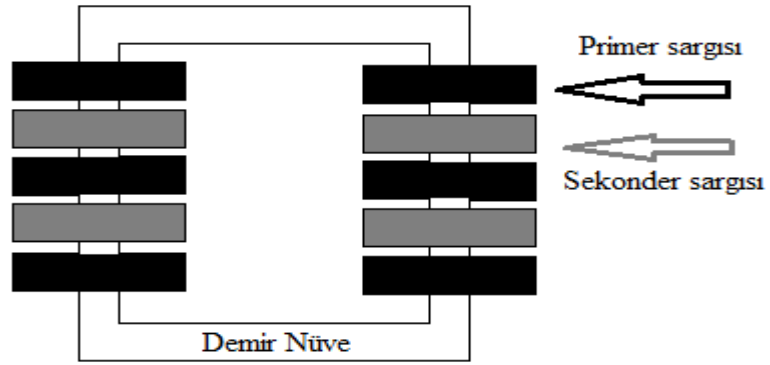
Şekil 2.5: Mantel tipi nüve

### 2.2.1.2 Sargılar

Sargılar yapılarına göre silindirik sargı ve dilimli sargı olmak üzere iki kısma ayrılırlar:



Şekil 2.6: Silindirik sarılmış demir nüve



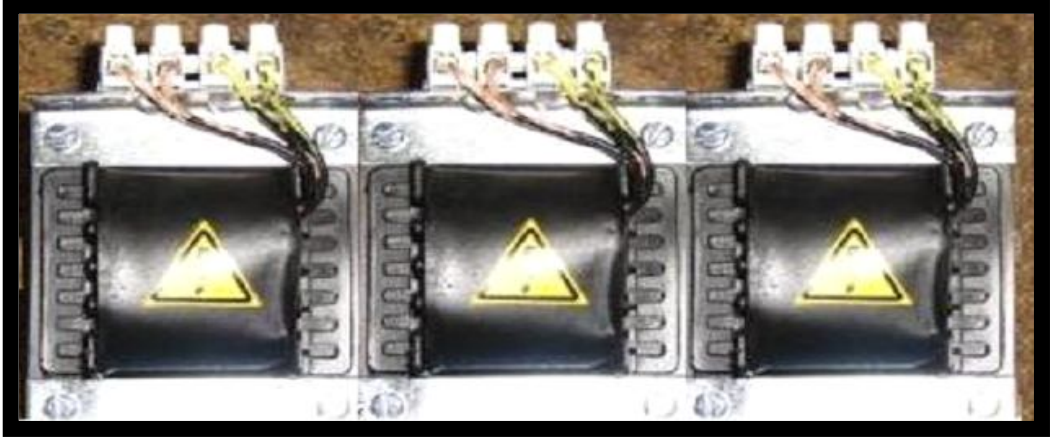
Şekil 2.7: Dilimli sargılı demir nüve



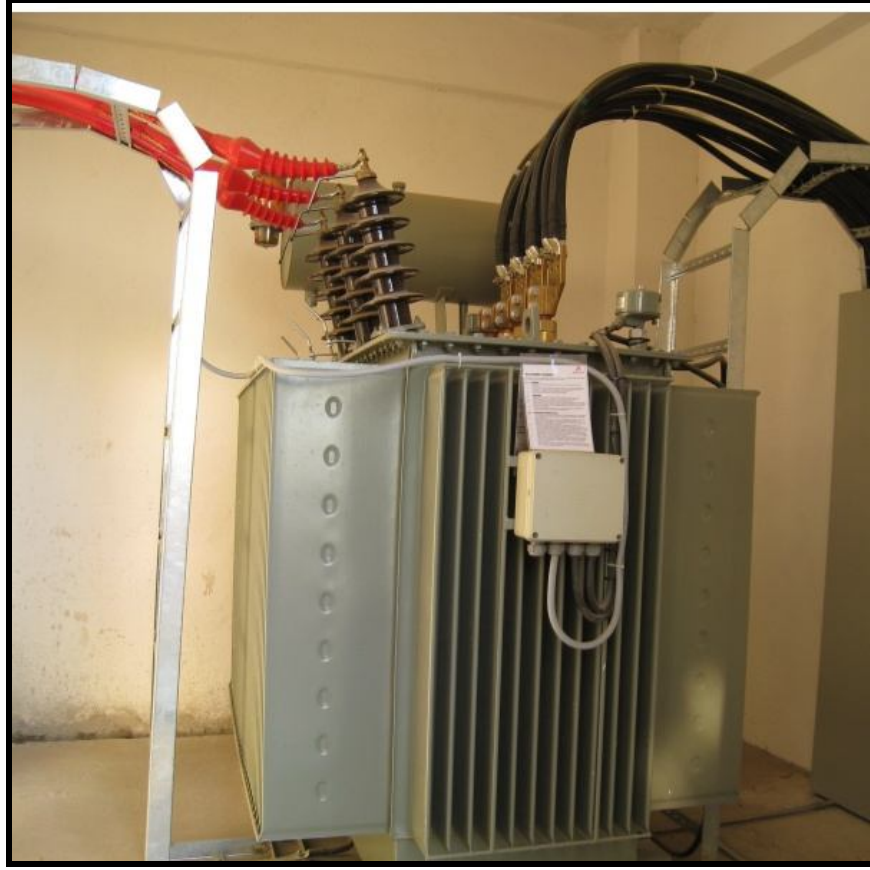
### 2.3. ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLER

Üç fazlı bir alternatif akım sisteminde aralarında  $120^0$ 'şer derece faz farkı bulunan üç ayrı faz bulunur. Üç fazlı transformatörler, üç adet ayrı ayrı bir fazlı transformatörün bağlanma şekli olan yıldız ,üçgen veya zikzak bağlanmasından oluşur. (Boduroğlu , 1981)

Şekil 2.8 de üç adet bir fazlı kuru tip transformatörün üç fazlı transformatör olarak kullanılması görülmektedir. Sargısız üç bacağı oluşturduğu ortak bacak her üç transformatörün manyetik akılarını birleştirir. Burada dikkat edilmesi gereken transformatörlerin aynı özellikte olmasıdır. Yağlı tip transformatörlerde aynı durum sözkonusu değildir. Şekil 2.9'da üç fazlı yağlı tip transformatöre ait temsili dış görünüş bulunmaktadır.



Şekil 2.8: Kuru tip üç fazlı transformatör.(Megep,2007)



Şekil 2.9: Yağlı tip üç fazlı transformatör

D,d Y,y ve Z,z harflerine. Öncelikle büyük harfler primer tarafını, küçük harfler sekonder tarafını ifade eder. Ayrıca büyük harf gerilimin yüksek olduğu, küçük harf küçük olduğu tarafıda gösterir. D üçgen bağlantı, Y yıldız bağlantı ve Z harfide zikzak bağlantı demektir.

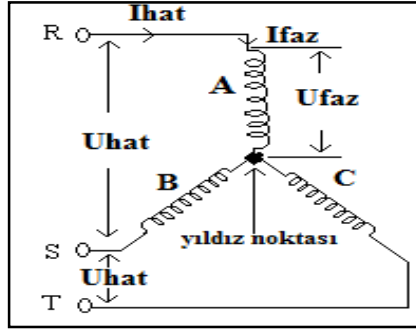
### 2.3.1. Yıldız Bağlantı

Bu bağlantı hem primer sargısı hemde sekonder sargısı için yapılır. Her bir faza ait sarguların birer uçları birleştirilmiş olup diğer uçlara fazlar tatbik edilir. Birleşme noktasına yıldız noktası veya nötr noktası denir. Şekil 2.10'da her bir transformatöre ait bobin ve bu bobinlerin yıldız bağlantı şekli gösterilmiştir.

$$I_{\text{faz}} = I_{\text{hat}} \quad (2.14)$$

Denklem 2.14, her sargı üzerinden geçen akımın faz akımına eşit olduğunu ifade etmektedir. Sargı üzerine düşecek olan gerilim ise denklem 2.15 ve şekil 2.10 'da ifade edilmiştir.

$$U_{faz} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} \quad \text{Volt} \quad (2.15)$$



Şekil 2.10: Transformatör sargı uçlarının yıldız bağlantısı

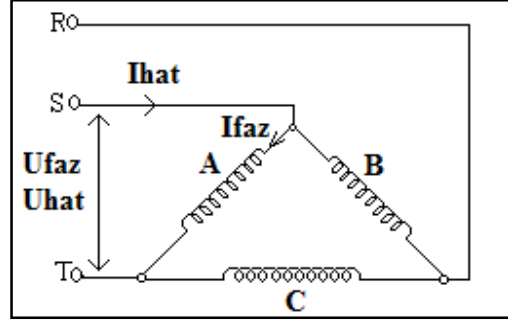
### 2.3.2. Üçgen Bağlantı

Bu bağlantı hem primer sargısı hemde sekonder sargısı için yapılır. Nötr hattının gerekmediği yerlerde sargı uçları üçgen bağlanır. Her sargı üzerindeki gerilim değeri eşittir. Akımlar ise farklıdır denklem 2.16'da akım ifadesi yer almaktadır.

$$I_{faz} = \frac{I_h}{\sqrt{3}} \quad \text{Amper} \quad (2.16)$$

Her faza ait sargılar birbirleriyle kapalı bir devre oluştururlar. Şekil 2.11'de her bir transformatöre ait bobin ve bu bobinlerin bağlantı şekli verilmiştir. Her koldaki gerilim faz gerilimi ile aynıdır. Bu eşitlik, denklem 2.17'de belirtilmiştir

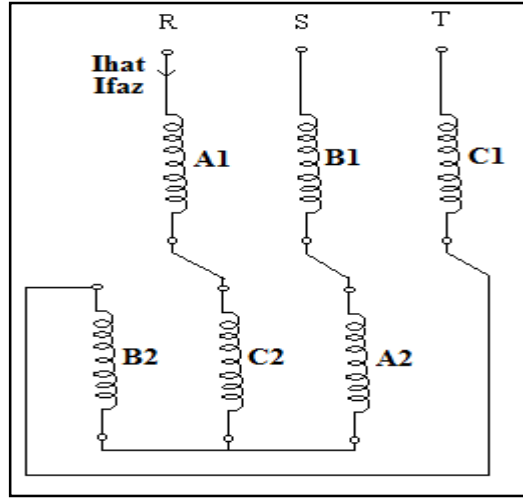
$$U_{hat} = U_{faz} \quad \text{Volt} \quad (2.17)$$



Şekil 2.11: Transformör sargı uçlarının üçgen bağlantısı

### 2.3.3. Zikzak Bağlantı

Zikzak bağlantı simetrik olmayan yüklerin beslemesinde kullanılır. Sadece sekonder sargının üzerinde gerçekleşir. Her fazın sargısı iki kısımdır. Böylece fazların dengeli yüklenmesi sağlanır. Ancak yıldız ve üçgen bağlantıya göre daha fazla iletken kullanılır. Şekil 2.12’de her bir transformöre ait bobin ve bu bobinlerin bağlantı şekli verilmiştir.



Şekil 2.12: Transformör sargı uçlarının zikzak bağlantısı

Belirtilen bu bağlama şekillerinin avantaj ve dezavantajları belirtilecek olursa:

Yıldız bağlamanın avantajı şebekenin nötr noktasını sağlayarak fazlararası gerilimden başka birde faz nötr geriliminin kullanılmasını sağlar. Üçgen sargısız simetrik olmayan yüklerle elverişli değildir, yani sıfır noktası tam yüklenemez. Üçgen bağlı sargıların en önemli avantajı üç ve üçün katları frekanslarındaki akımları devresinden geçirmesidir.

Yıldız bağlantıda ise her üç fazdaki akımın üçün katındaki harmonikleri aynı fazda olduklarından akımlar sıfır noktasında yığılır. Üçgen bağlantılı sargının bu avantajına karşılık bazı sakıncaları vardır:

üçgen bağlı sargılarda, yıldız bağlı sargıyla aynı fazlar arası gerilimi meydana getirebilmek için yüzde 1.73 kadar daha fazla iletken kullanmak gerekir. Her ne kadar sargı kesiti de aynı oranda küçülecek ise de, sargılar daha geniş bir yer kaplayacaktır. Diğer taraftan bu bağlama şeklinde faz sargılarının başlangıç ve son noktaları şebeke ile bağlı olduğundan, şebekeden gelecek üstün gerilimlere her iki taraftan maruz kalacaktır ki, bu takdirde sargıların şebekeden gelecek üstün gerilimlere karşı her iki taraftan yalıtılması gerekecektir. Bu da transformatörün maliyetini arttırır. Bu yüzden yüksek gerilimlerde üçgen sargı tercih edilmez. Üçgen bağlantının büyük güçlerde ve düşük gerilimde, yıldız bağlantının ise küçük güçlerde ve yüksek gerilimde kullanılması avantajlıdır.

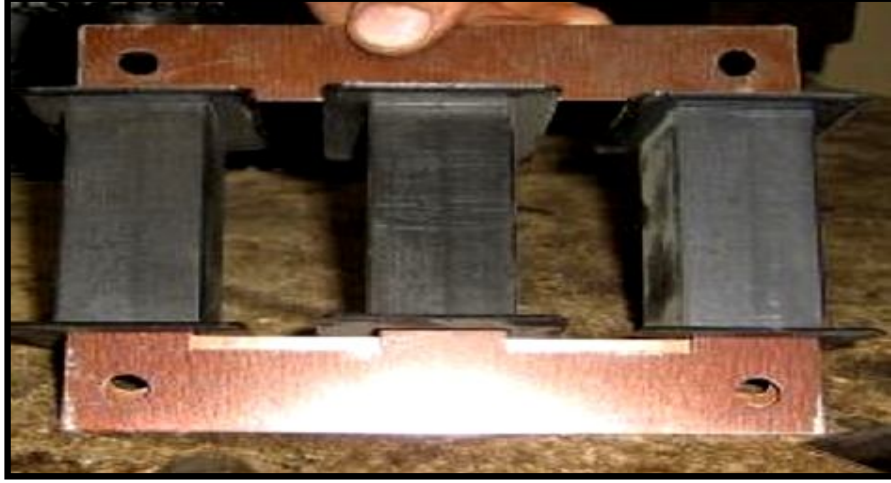
Sekonder sargıları Zikzak bağlamalı üç fazlı transformatörlerde ise yıldız ve üçgen bağlantıya nazaran 1,16 kat daha fazla sarım sayısına ihtiyaç vardır bu sakınca da ihmal edilmeyecek derecededir. (Boduroğlu , 1981)

Primer ve Sekonder sargıların yıldız bağlantısı küçük güçlü dağıtım transformatörlerinde kullanılabilir. Ancak nötr hattı % 10 üzerinde yüklenemez. Primer sargıların yıldız ve Sekonder sargıların zikzak bağlantısı yine küçük güçlü dağıtım transformatörlerinde kullanılabilir. Nötr hattı tam yüklenebilir. Primer sargıların Üçgen ve Sekonder sargıların yıldız bağlantısı büyük güçlü dağıtım transformatörlerinde kullanılabilir ve nötr hattı tam yüklenebilir. Santrallerde büyük güçlü transformatörlerde kullanılan bağlantı çeşidi ise primer sargılar yıldız, sekonder sargılar üçgen şeklindedir

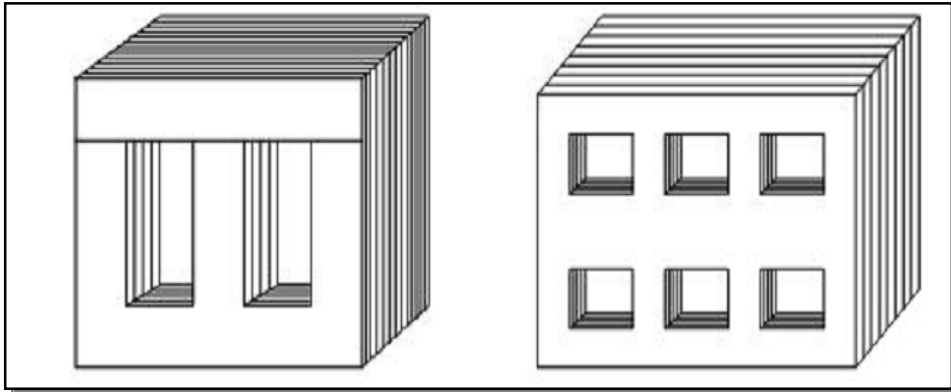
#### **2.3.4. Üç Fazlı Transformatörlerinin Yapısı:**

Üç fazlı transformatörlerde çekirdek tipi ve mantel tipi nüveler kullanılır. Şekil 2.13'te ve şekil 2.14 a'da çekirdek tipi nüve görülmektedir. Her faz sargısına ait bacaklar birbirine eşittir. Şekil 2.14 b'deki mantel tipi nüvede ise ortadaki bacaklar yandaki bacakların iki katı kadardır. Bu durum fazların manyetik devrelerinin birbirinden ayrı simetrik şekilde olmasını sağlar. Üç fazlı transformatörlerde her faz

sargısı için ayrı ayrı primer ve sekonder sargılar bir fazlı transformörde olduğu gibi sarılır. Büyük güçlü transformörlerde nüveye karşı yalıtımı kolaylaştırmak amacıyla gerilimi küçük değerde olan sargı altta, büyük değerde olan sargı ise üsttedir. Alt ve üst sargı arasına presbant yerleştirilir.



Şekil 2.13: Üç fazlı çekirdek tipi transformör nüvesi (Megep, 2007)



Şekil 2.14 a: Üç fazlı çekirdek tipi nüve b: Üç fazlı mantel tipi nüve (Megep, 2007)

## 2.4. TRANSFORMATÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Transformatörlerin çeşitli özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma çizelge 2.1 de özetlenmiştir. (Özyalçın,2007)

<b>TRANSFORMATÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI</b>		
<b>Soğutma şekline göre</b>	<b>Sargı durumlarına göre</b>	<b>Kuruluş yerlerine göre</b>
Kuru tip transformatörler	Yalıtılmış sargılı transformatörler	İç ortam tipi transformatörler
Yağlı tip transformatörler	Oto transformatörleri	Açık hava tipi transformatörler
<b>Soğutucu cinsine göre</b>	<b>İzolasyon tipine göre</b>	<b>Manyetik nüve tipine göre</b>
Hava ile soğutmalı transformatörler	Yağ izoleli transformatörler	Çekirdek tipi nüveli transformatör
Yağ ile soğutmalı transformatörler	Gaz izoleli transformatörler	Mantel tipi nüveli transformatör
Gaz ile soğutmalı transformatörler	Hava izoleli transformatörler	Dağıtılmış nüve tipli transformatör
Su ile soğutmalı transformatörler	<b>Kullanış amaçlarına göre</b>	<b>Sargı tiplerine göre</b>
<b>Çalışma prensibine göre</b>	Güç transformatörleri	Silindirik sargılı transformatörler
Sabit akımlı transformatörler	Ölçü transformatörleri	Dilimli sargılı transformatörler
Sabit gerilimli transformatörler	Özel transformatörler	Basit bobin sargılı transformatörler

Çizelge 2.1: Transformatörlerin sınıflandırılması

## 2.5. TRANSFORMATÖRLERİN SOĞUTULMASI

Transformatörün çalışmasında demir gövdede oluşan histerezis ve fuko kayıpları ile sargılarda meydana kayıplar, sargıların ve demir çekirdeğin sıcaklıklarını belli bir zaman içinde yükseltir. Oluşan ısının sargılara zarar vermemesi için bir an önce uzaklaştırılıp çevreye iletilmesi için iki ayrı yöntemi vardır. Bu ısının açığa çıktığı yerden çevreye iletilmesinde soğutucu ortam olarak sıvı yağ ve/veya hava kullanılır.

### 2.5.1. Radyasyon Yöntemi

Isınmış olan her malzemenin yaydığı gözle görülebilen veya görülemeyen bir ışıma vardır. enerji bunun sayesinde bulunduğu ortamdan dışarıya atılır.

Yağlı transformatörlerin çalışma sıcaklıkları 60°C dir. Bu sıcaklıkta radyasyon ile yayılan ışıma enerjisi sıcaklığın çok düşük olmasından dolayı ihmal edilecek seviyelerde bir değere sahiptir (%1) .(Sabhan, 2007)

### 2.5.2. Konveksiyon Yöntemi

Bu yöntemde farklı sıcaklıklara sahip ve biri akışkan olan bu ortamlar birbiri ile temas ederek ısı transferini gerçekleştirirler (%99). Isı enerjisi sıcaklığı yüksek olan ortamdandır, sıcaklığı daha düşük olan ortama doğru yayılır. Dolayısıyla ısı enerjisini verene “soğutulan” ve enerjiyi alana ise “soğutan” adı verilir. Transformatörde soğutulan esas itibariyle demir çekirdek ve sargılardır. Soğutan ise bu iki eleman ile temas halinde olan ortamdır Bu ortamın iyi yalıtkan, ısı transfer katsayısı yüksek olan, bol miktarda bulunan ucuz bir malzeme olması gereklidir. Soğutanın cinsine göre soğutma sınıflara, ayılabildiği gibi, soğutanın soğutulanla olan temas sıklığına göre de sınıflama yapmak mümkündür. (Sabhan, 2007)

### 2.5.3. Transformatörlerde soğutma türleri

Transformatörlerde soğutma doğal yada suni olabilir veya herikiside olabilir. Büyük güçlü transformatörlerde yağ ve hava soğutma için aynı anda kullanılabilir. Şekil 2.15’ te doğal olarak soğuyan bir transformatör görülmektedir.



Şekil 2.15: Doğal soğutmalı yağlı transformatör

Ayrıca transformatör tankı içindeki sıcak yağın tank yüzeyine çarparak soğuması, yağ ile doğal soğutma sınıfına girmektedir. Eğer sistemde iki değişik soğutan varsa, önce birinci soğutanın harfleri, daha sonra ikinci soğutanın harfleri verilir. Şekil 2.14’ te



soğutan yağ ve soğutma türü tabii olduğundan harfleri ON (Oil-Natural)' dır. İkinci soğutan ise yağ ve kazan yüzeyi, bunları soğutan hava, soğutma türü tabii olduğundan AN (Air-Natural) olarak adlandırılmaktadır. İki harf grubu birleştirilerek transformatörün soğutma yöntemi ONAN olarak ifade edilir. Gücü 5- 20 MVA kadar olan transformatörlerde daha fazla soğutma için radyatörler kullanılır. Böylece yağın gezebileceği yüzey genişletilmiş olur.

Transformatörde ikinci tür soğutma suni soğutma türüdür. Eğer tabii soğutma gücü yetersiz kalırsa, suni soğutma yöntemi kullanılır. Tabii soğutmada kullanılan radyatörler yetersiz kaldığında radyatörere temas eden havanın miktarını arttırmak için fan kullanılır ve bu durumda soğutma suni olduğundan transformatör soğutması kısaca ONAF olarak belirtilir. Şekil 2.15' de suni soğutmalı bir transformatör yer almaktadır. Şekil 2.16'da ise 250 MVA lık yağ soğutmalı güç transformatörü yer almaktadır.



Şekil 2.16: Suni soğutmalı yağlı tip transformatör

Eğer transformatör 20 MVA dan daha güçlü ise su ile suni soğutma yapılır. Isınan yağ bir pompa yardımıyla bakırdan yapılmış serpantine basılır, serpantin içi soğuk su dolu bir havuzun içindedir. Isınmış yağ ısı enerjisini havuzun soğuk sularına terk ettikten sonra tekrar transformatör kazanına dönerek transformatörü soğutmaya devam eder fakat transformatörden havuza verilen ısı enerjisi kapalı havuz suyunu ısıtır. Havuz suyunun da soğutulmaya ihtiyac duyulur. Bu nedenle havuz suyu bir başka su pompası ile soğutma kulesine basılır. Burada sıcak su küçük damlalar haline dönüştürülür. Kevgire benzeyen su eleğinden geçer ve milyonlarca su damlasına dönüşür. Bu dönüşümde her damla yüzeyi çok küçük olmasına rağmen, milyonlarcasının meydana getirdiği çok büyük yüzeyden yararlanılarak suyun soğuması sağlanır. Bu işlem sırasında soğuyan su buharlaşarak kütlelerinin bir kısmını kaybeder ve soğutma kulesinde su seviyesi azalmaya başlar. Dolayısıyla su kulesine su takviyesi yapmak gerekir. Bu tip soğutma sistemini temsil için O F W F harfleri kullanılır. Soğutma sisteminin kısaca anlaşılması için Çizelge 2.2'deki simgeler kullanılmaktadır.



Şekil 2.17: 250 MVA'lık yağ soğutmalı güç transformatörü (İlkkahraman,2008)

Çizelge 2.2. Transformatörlerde soğutma şekillerinin simgeleri (Sabhan, 2007)

1.HARF		2.HARF		3.HARF		4.HARF	
Sargılara değen soğutma ortamı ile ilgilidir.				Dış soğutma sistemine değen soğutma ortamı ile ilgilidir.			
Soğutma ortamı türü		Dolaşım türü		Soğutma ortamı türü		Dolaşım türü	
O	N	A	N	O	N	A	F
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Yağ	Tabii	Hava	Tabii	Yağ	Tabii	Hava	Cebri
				(vantilatörler fanlar)		Yağ	Cebri
						W	F
						↓	↓
						Su	Cebri

## 2.6. YAĞLI TİP TRANSFORMATÖRLER

Primer ve sekonder sargıları tamamen sıvı yağ içerisine daldırılmış ve bu şekilde sargıları soğutmayı amaçlayan tipte transformatörlerdir. Yağlı tip transformatörler 50-20000 kVA arasında güçlerde 36 kV sistem gerilimine kadar imal edilmektedir. Standart tipler olan üç fazlı yağlı doğal soğutmalı (ONAN) transformatörler dahili ve harici olarak kullanılabilirlerdir.

Yağlı tip transformatörler, hermetik ve genişleme depolu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Şekil 2.17 de hermetik tipte, şekil 2.18 de ise genişleme depolu yağlı transformatör görülmektedir.



Şekil 2.18: Genişleme depolu yağlı transformatör



Şekil 2.19: Hermetik tip yağlı transformatör

Her iki tipte de trafo sargıları tamamen yağın içindedir. Ancak hermetik tipte olanlar atmosfere kapalıdır ve bakım gerektirmemektedir. Hermetik tipte yağlı trafolarında genişleme deposu bulunmamakta ve sargıların bulunduğu kazan tümüyle yağ doludur. Hermetik tip transformatörlere fabrika ortamında hermetik basınç ayarı yapılarak atmosfere kapatılır. Yağın genişmesi elastik ve dalgalı olan kazan yapısıyla kontrol altına alınmıştır. Dalga duvarlar hem ısıyı dışarıya iletme, hem de genişleyip büzülme hareketleriyle genişleyen ilave yağ da absorbe etme görevi görürler. Transformatör yağı hava ile temas etmediği için ortamda oksijen yoktur. Hava ile temas olmadığından transformatör yağı nemden etkilenmez. Dolayısıyla yağ oksitlenmeye maruz kalmamaktadır. Bu nedenlerden ötürü hermetik tip trafolar genişleme depolulara kıyasla daha uzun ömürlü olmaktadır. Hermetik transformatörlerde genişleme deposu olmadığı için yükseklikleri genişleme depolulara göre azdır. Bu da daha küçük alanlarda montaj imkanı sağlamaktadır. Genleşme depolu yağlı trafoların periyodik bakımlarının yapılması gerekmektedir. Yağ atmosfer ile sürekli olarak etkileşim halinde bulunduğu için yağın bozulması ve yalıtıcılık özelliğini yitirmesi gibi durum söz konusudur. Bu sebeple hermetik transformatörlere göre ömürleri daha kısadır. Genleşme depolu transformatörlerde belli aralıklar ile periyodik yağ değişimi ve aktif kısmın kurutulması işlemleri yapılması gerekmektedir. (Al, 2010)

## 2.7. KURU TİP TRANSFORMATÖRLER

Primer ve sekonder sargıları herhangi bir sıvıya daldırılmamış olan ve soğutmanın sıvı madde kullanılmaksızın yapıldığı transformatörlere kuru tip transformatörler denir. Bu transformatörler 1970'li yıllara kadar sargıları E veya H sınıfı izolasyona sahip iletkenler kullanılarak üretilmişlerdir. Ancak dielektrik dayanımından dolayı genellikle 10 kV seviyesinin üstüne çıkılamamıştır. 1970'li yıllardan itibaren reçine teknolojisinde sağlanan gelişmeler reçinenin işlenmesinde, kısmi deşarj ve reçinenin ömrü ile ilgili problemleri çözmüş ve günümüzde yaygın kullanımı olan (36 kV gerilim seviyesi de dahil) sargıları epoksi reçine ile örtülmüş dökme reçineli kuru tip transformatörler üretilmeye başlanmıştır.

Sargıları epoksi reçine ile örtülmüş dökme reçineli kuru tip transformatörlerin yağlı tip trafolarına göre başlıca farkı sargıların yalıtıcı bir sıvıya daldırılmamış olmasıdır. Sargılar cam elyaf takviyeli epoksi ile örtülmüş ve yalıtılmıştır. Soğutma ortamı havadır. Genelde elektrik dağıtım tesislerinde, şalt cihazlarında, transformatörlerde, kondansatörlerde izole edici veya soğutucu olarak madeni yağlar kullanılmaktadır. Ancak işletmelerde meydana gelen transformatör yangınlarında madeni yağ tehlikesi, madeni yağlarla yalıtılmış cihazların dahili olarak kullanılmasının yasaklanmasına sebep olmuştur. Çözüm olarak yerine 250-300 °C ye kadar yanmayan klofen kullanılmış, böylece transformatörlerden dolayı oluşan yangın olayları kısmen önlenmiştir. Ancak klofenli bir transformatörün yanması sırasında sıcaklığın 600 °C' ye ulaşmasıyla meydana gelen çok zehirli gazlar, bu tür transformatörlerin de kullanılmamasına sebep olmuştur. 1960' lı yılların ortalarına kadar yağlı transformatörlere alternatif olarak klasik kuru tip transformatörler kullanılmıştır. Klasik kuru tip transformatörler yeterli olmayan dielektrik özelliklerinden dolayı yalnız 10 kV' a kadar olan anma gerilimlerinde uygun bir alternatif çözüm olabilmıştır. 10kV'a kadar ki anma gerilimlerinde bile izolasyon sınıfı E, uzun süre devre dışı kalan bir transformatörde nem alıp tekrar devreye alınması sırasında kurutulması gerektiğinden sorunlara neden oluyordu. (Özyalçın,2007)

Klasik kuru tip transformatörlerin gürültü düzeyinin, çekirdeğinin büyüklüğü dolayısıyla yağlı transformatörlere oranla oldukça yüksek olması da klasik kuru tip transformatörlerin bir olumsuz yanıdır. Çünkü gürültü istenmeyen hastane, okul gibi

işletmelerde gürültünün kesilmesi için maliyeti artıran önlemlerin alınması gerekmektedir.

Klasik kuru tip transformatörlerin yüksek arıza oranının sebebi izolasyonlarının havanın nemine karşı çok hassas olması ve yağlı transformatörlere oranla oldukça düşük darbe gerilimlerine sahip olmaları gösterilebilir.

Klofenin zehirli özelliği klasik kuru tip transformatörlerin neme karşı çok hassas ve oldukça düşük darbe gerilimlerine sahip olması üreticileri emniyet isteyen bina içi tesislerde kullanılacak, problemsiz bir transformatör tipi geliştirmeye zorlamıştır. 1964 yılında 20kV'luk transformatörlerin bina içine yerleştirilmesi istendiğinde bu tip işletme koşullarına uygun klasik kuru transformatörler mevcut olmadığından ilk kez vakum altında dökülen dökme reçineli kuru tip transformatörler yapılmıştır. Bu transformatörlerin yüksek gerilim sargıları dökme reçineli orta gerilim, gerilim transformatörlerinin sargılarına benzemekteydi.

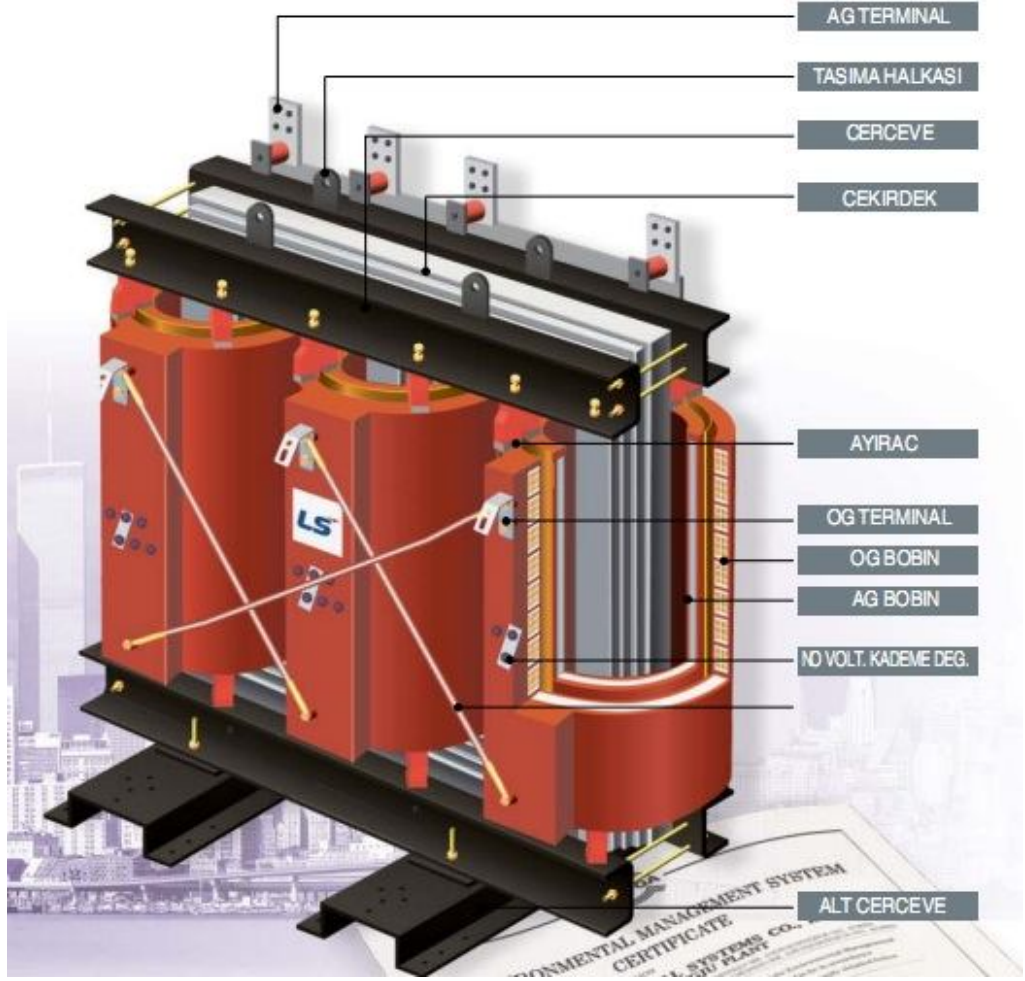
Büyük miktardaki dökme reçinenin işlenmesinde, kısmi deşarj ve reçinenin ömrü açısından var olan bazı problemlerinde çözümlenmesiyle; 36kV'a kadar anma gerilimlerinde, ekonomik sınırlar içinde, tüm test koşullarını yerine getiren, bina içi tesislerde yüksek güvenilirlik ve işletme emniyeti sağlayan, çevreyi kirletmeyen "dökme reçineli kuru tip transformatör" ortaya çıkmıştır. (Özyalçın,2007)

### **2.7.1. Kuru Tip Transformatörün Yapısı**

Demir Gövde, silisyumlu alaşımlı, 0,35 mm kalınlığındaki saclardan oluşur ve bu sacların bir tarafı yalıtılarak fuko kayıplarının azalması sağlanır. Sargılar iki boyunduruk arasına yerleştirilmiş bacakların üzerine sarılır. Transformatörün montajına alt boyunduruktan başlanır. Saclar boyunduruk şeklinde dizilip, yerleştirildikten sonra, bacak sacları alt boyunduruk saclarının aralarına girecek şekilde yerleştirilir. Titreşim ve gürültüye karşı çok sağlam cam elyaf bantlarla gerekli olan yerlerinden sıkıca bağlanırlar. Eski imalat yöntemlerinde sacların birleştirilmesi için bantlar yerine, her iki taraftan sıkıştırılan saplamalar kullanılmaktaydı. Ancak saplamanın bacağın içinden geçebilmesi için açılan delikler hem akının akacağı demir kesitin küçülmesine hem de delik etraflarında akı yoğunluklarının artmasına neden olmaktaydı. Ayrıca deliklerin ekseni boyunca delik çapı kadar olan ince ve şerit şeklindeki demir alandan

yararlanılamıyordu bu sakıncaların yanı sıra deliklerin içine saplama yerleştirilmeden önce yalıtıktan yapılmış içi boş olan bir borunun yerleştirilmesi ve bu işlemten sonra saplamanın bu boş borunun içinden geçirilmesi gerekliydi. Böylece saplamanın, enine yerleştirilmiş transformatör saclarını kısa devre etmesine engel olunurdu. Doğal olarak bütün bunlar işçiliği ve maliyeti arttırdığından, son yıllarda bu yöntem kullanılmamaktadır. Bacakların bağlanma ve sıkılaştırma işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanmış olan alçak gerilim bobini, daha küçük çaplı olduğundan iç tarafa, yani demire yakın tarafa yerleştirilir. Daha sonra alçak gerilim bobininin dışına gelecek şekilde daha büyük çaplı yüksek gerilim bobini yerleştirilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra üst boyunduruk sacları bacak saclarının arasına itina ile yerleştirilerek montaj tamamlanır. Bobinlerin iç içe yerleştirilmesinin avantajı her birinde meydana gelen kaçak akıların miktarını azaltmak ve kaçak kabul edilebilecek bir akıdan yararlanmaktır. Bu suretle kaçak akılar bobinleri kavrayacağından, kaçak akı miktarında azalma, faydalı akı miktarında da artma meydana gelir .





Şekil 2.20: Kuru tip dökme reçineli transformatörün yapısı (LS, 2006)

Transformatörün gücü büyüdükçe demir bacağı ve boyundurukların kesitleri de büyür. Sacların preste dikdörtgen şeklinde kesildikten sonra ardışık olarak dizilmesi, sargı taşıyan bacak kesitinin de dikdörtgen olmasına neden olur. Bu durumda sargı silindiri ile demir arasında oluşan boşluklar gücün ve dolayısıyla demir kesitin artmasıyla sargı için tehlike oluşturur. Sargılara etkiyen kuvvetler büyür ve sargının boşluklara doğru göçme tehlikesi belirir. Ayrıca dikdörtgen kesitin sivri köşeleri sargı izolasyonunu zedeler ve muhtemel bir gövde kısa devresine neden olur. Bütün bu olumsuzlukları önlemek amacıyla demir kesitin dairesel yapılmasına özen gösterilir. Şekil 2.20’de dökme reçineli transformatörün yapısı gösterilmiştir.

Üç fazlı transformatörde orta bacağı ait fazın demir çekirdek boyu, diğer iki yan bacalara yerleştirilmiş fazlarda bulunan bacakların boylarına göre daha kısadır. Yan bacaklardan çıkan akının geçtiği yol, orta baktan çıkan akının geçtiği yola göre daha

uzundur. Bu nedenle bacaklarda oluşan manyetik dirençler farklıdır. Fazlara uygulanan gerilimlerin ve endüklenen emk'ların eşit olması gerektiğine göre, bu gerilimleri üretecek manyetik akılar da eşit demektir. Ancak relüktansların farklı olması ile bacaklardaki amper-sarım eşitliği bozulur. Orta bacağıın relüktansı küçük olduğundan amper-sarımı da küçük olacak ve sonuç olarak bu değeri veren bacak akımı da diğerlerine göre küçük olacaktır.

Transformatör sargıları genellikle bakır iletkenlerden yapılır, ancak alüminyum iletken imal edilen sargı tipleri de vardır. Sargılar transformatörün gücünün büyüklüğüne ve transformatörün soğutma şekline göre yuvarlak veya dikdörtgen kesitli olabilir. Bobinler yerlerine konmadan önce bobin ile demir gövde arasında çalışma gerilimine uygun özellikte, silindirik şekilde izolasyon malzemesi yerleştirilir. Bunun amacı sadece bobinin demir gövdeye karşı yüksek gerilimden korumak değil, aynı zamanda bobin yerleştirme işlemi sırasında bobinin dışarıda yapılmış izolasyonunu darbelerden ve izolasyonu bozucu etkilerden korumaktır.

Transformatör işletmede olduğu zaman, sargılardan akan akımların yarattığı aksiyal ve radyal kuvvetlerin etkileri altında kalır. Bunlar bobinleri aksiyal veya radyal eksenler boyunca hareket ettirmeye gayret ederler. Ancak bobinlerin bu iki yönde kesinlikle hareket etmemeleri gerekmektedir. Kuvvetlerin büyük olmasından dolayı kütlelerde küçük yer değiştirmeler meydana gelebilir. Çalışma esnasında vurutuya veya frekansı yüksek olan hareketlenmeler, titreşim ve gürültüye yol açarlar. Bu tip istenmeyen olayların önüne geçmek amacıyla aksiyal yöndeki kuvvetlerin etkilerini önlemek için alt ve üst boyunduruklar ile bobinler arasında takozlar yerleştirilir.

Radyal kuvvetler etkilerini, bobinlerin kendi merkezlerine doğru sıkıştırılması veya dışarıya doğru uzaklaştırılması şeklinde ortaya koyarlar, yani alçak ve yüksek gerilim bobinlerini birbirlerine yakınlaştırmaya veya uzaklaştırmaya çalışırlar. Bu durum bobinlerin büzülmesine ve esnemesine yol açar. Bu etkiler primer ve sekonder bobinlerin arasında bulunan soğutma kanalının da genişliğinin bozulmasına yol açar. Bunu önlemek amacıyla değişik sayıda tahta veya fiber çubuklar kullanılır.

Günümüzde kuru tip transformatörler için iki temel üretim metodu uygulanmaktadır:

### **2.7.2. 1.Temel üretim metodu**

Yüksek gerilim sargısı, alüminyum folyo ile spiral şeklinde sarılıp, birbirleri ile seri bağlanmış tek tek bobinlerin dolgu malzemesi kuvarz kumu olan epoksi reçine ile vakum altında dökülmesi ve fırında sertleştirilmesi ile oluşmaktadır. Sertleştirmeden sonra sargılar oldukça kalın kuvarz dolgulu epoksi reçine ile kaplanmış olur. Alçak gerilim sargısı ise bakır veya alüminyum folyo ile sarılıp kat izolasyonu kullanılır. (Özyalçın,2007)

### **2.7.3. 2.Temel üretim metodu**

Yüksek gerilim ve alçak gerilim sargıları, profil bakır tellerden imal edilir. Sarım sırasında sargıların etrafı ve araları sıkı bir şekilde cam elyaf keçesi ile doldurularak cam elyafli bandajla bandajlanır. Bu şekilde hazırlanmış bobin, kalıplar içinde vakum altında sadece epoksi reçine ile dökülür ve sertleştirilir. Sertleştirmeden sonra sargı tellerinin etrafı cam elyafli boşluksuz epoksi reçine sistemini meydana getirir. (Özyalçın,2007)

#### *2.7.3.1. Mekanik Dayanım*

Bütün sertleştirilmiş epoksiler ve diğer döküm reçineleri düşük sıcaklıklarda gevrek, yüksek sıcaklıklarda yumuşayan bir özelliğe sahiptir. Düşük ve yüksek sıcaklık tanımı daima reçine sistemi ile bağıntılıdır. Fakat her zaman nominal sıcaklık yeterli rezerv ile yüksek sıcaklık değerinin altında seçilmekle düşük sıcaklıklarda meydana gelebilecek esneklik önlenmiş olur. Ayrıca gevrekleşme problemi reçineye yeterli miktarda yumuşatıcı katılmakla da çözülebilmesine rağmen, elektriksel özellikleri bozulduğundan tercih edilmemektedirler. Bu hususta en uygun önlem sargı izolasyonu mümkün olduğunca sıkı cam elyaf keçesi ile doldurularak alınır. Böyle imal edilen bir bobinde cam elyaf keçesi içindeki boşlukları reçine vakum altında döküm sırasında doldurduğundan ve sertleşmeden sonra meydana gelen yapı cam elyaf dolgulu epoksi reçinedir ve bu yapı çok büyük mekanik dayanıma sahiptir.

#### *2.7.3.2. Neme Karşı Dayanım*

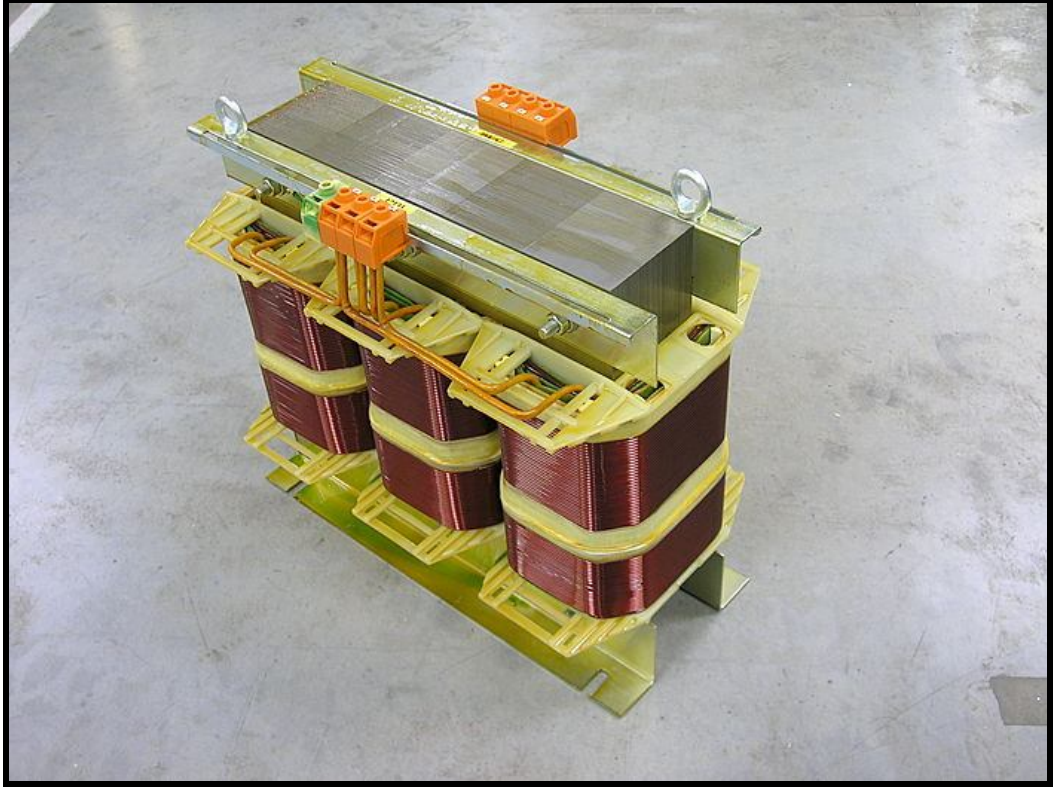
Cam elyaf keçe dolgu malzemeli epoksi sistemi ile imal edilen sargılar etrafındaki yapı, sargıları boşluksuz olarak sarar ve havanın neminin çok yüksek olduğu tropikal iklimlerde bile neme karşı korur.

Bu metodla imal edilmiş dökme reçineli 5kV, 100kVA'lık bir fazlı bir transformatör su içine daldırılmış ve 300kVA ile haftalarca yüklenmiştir. Daha sonra kanallar içinde meydana gelen kireçlenmeden sonra deney kesilmiştir. Böyle bir testin amacı, dökme reçineli kuru transformatörlerin su içinde işletilebileceğini kanıtlamak olmayıp, %100 hava rutubetinin olduğu tropikal ortamlarda sargılarına bir zarar gelmeden ve hiçbir önleme gerek duyulmadan servis harici ve dahili işletilebileceği gibi uzun sürede depolanabileceğini göstermektedir. Ayrıca, transformatörün diğer elemanları da rutubete karşı korunmuş olmalıdırlar (Çekirdek, sıkıştırma demiri vs.). Bu tür imal edilmiş transformatörlerden yüzlercesi hava rutubet oranının %100 olduğu Basra körfezi, Güney Amerika vs. yerlerdeki işletmelerde bulunmaktadır.(Özyalçın,2007)

### *2.7.3.3. Yüksek izolasyon özelliği*

Dökme reçineli kuru tip transformatörlere yağlı transformatör kadar darbe gerilimine dayanma özelliğini kazandırmak, havanın elektrik dayanımının yağa nazaran daha düşük olması nedeniyle pek çok denemeleri gerektirmiştir. Bu denemeler sonucu elektrik alanın homojenleştirilmesi bile yeterli olmayıp çözüm ancak elektriksel zorlanmaları azaltmak olmuştur. Bu da gerilim salınımlarının nasıl amortise edileceği sorusunu ortaya çıkarmıştır. Bilindiği gibi sargıların diferansiyel olarak dağıtılmış endüktansları, kapasitansları ve omik dirençleri vardır. Bunlar anahtarlamada ve darbe gerilimlerinde gerilim yönünden zorlayıcı öz titreşimler meydana getirmektedir. Bu tür titreşimler sargıda toprak potansiyeline karşı uygulanan gerilimden daha yüksek gerilim genliklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan sargının kendi içindeki izolasyonda bu titreşimlerden dolayı gerilim zorlanmalarına maruz kalmaktadır. Eğer bu titreşimler kuvvetli bir şekilde amortise edilirlerse, sargı ile toprak arasındaki hava yolunun ve aynı zamanda katı izolasyonun zorlanması oldukça büyük ölçüde azaltılmış olacaktır. Bu husus ise, yüksek gerilim bobin sargıları içerisine hava kanallarının yerleştirilmesi ve tek bobinlerin oldukça az tek katlar halinde üretilmesi ile uzmanlarca sürpriz kabul edilebilecek bir tarzda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kullanılan malzemenin dielektrik dayanımının yüksek olması ve oldukça az tek katlar şeklinde imal edilmiş tek tek bobinlerin, katları arasına reçineyi absorbe edebilen kat izolasyonu kullanılmaktadır. Yani katı izolasyon malzemesinin dielektrik dayanımı havadan çok iyi olmasına rağmen bir darbe testinde gerilimin tamamı hava yolu boyunca düştüğünden katı izolasyon malzemesi pratik olarak zorlanmamaktadır.(Özyalçın,2007)

Günümüzde dökme reçineli kuru tip transformatörler genellikle; Trafo Merkezlerinde, otellerde, ısı merkezlerinde, hastanelerde, alışveriş merkezlerinde demiryolu Sistemlerinde hava alanları gibi yerlerde kullanılmaktadır. Şekil 2.21’de alçak gerilimde kullanılan 10 kVA’lık üç fazlı kuru tip transformatör, şekil 2.22’de ise orta gerilimde kullanılan 1600 kVA’lık üç fazlı kuru tip transformatör görülmektedir.



Şekil 2.21: Üç fazlı kuru tip transformatör (C2Eİ, 2010)



Şekil 2.22: Üç fazlı kuru tip transformatör

#### 2.7.4. Kuru tip transformatörlerde soğutma

Genellikle kuru tip transformatörler doğal hava sirkülasyonu ile kendi kendine soğurlar. Nüve ve sargılar hava ile doğrudan doğruya temas halindedirler. Isının çevreye aktarılması ışınım (radyasyon) ve hava dolaşımı (konveksiyon) şeklinde iki türlü olur. Işınım ile çevreye verilen ısı transformatörün sıcaklığına, yüzeyinin büyüklüğüne, dış boyasının rengine bağlı olarak değişir. Ancak soğutmadaki payı küçük olduğundan hesaplamalarda güvenlik payı olarak değerlendirilir.

Hava dolaşımı ile ısının çevreye iletilmesi, transformatör sargılarına temas ederek ısınan havanın yoğunluğunun azalarak yükselmesi ve böylece hava dolaşımı oluşturması

prensibine dayanır. Çevreye daha fazla ısı verebilmek için transformator üzerindeki hava kanalları, hava akımları yönünde açılmalıdır.

Büyük güçlü transformatorlerin soğutulmasında havanın doğal sirkülasyonunun yeterli olmadığı durumlarda veya kapasitesinin üzerinde yüklenme durumlarında, fanlarla üzerlerine hava üflenerek veya vantilatörlerle içinden soğuk hava geçirilen kapalı bir yere konularak soğutulurlar. Böylece birim zamanda dışarıya verilen ısı miktarı yükseltilmiş olacağından, daha etkili bir soğutma ve kapasitesinin üzerinde yüklemelere dayanım sağlanmış olur .

### **2.7.5. Vakumla Epoksi Reçine Dökümü**

Epoksi reçine malzemeleri ülkemizde genellikle Belçika ve Avrupa ülkelerinden hazır alınarak ve transformator fabrikalarında belirli yüzdelerde karışımı yapılarak hazırlanmaktadır. İki çeşit reçine vardır. Bunlar;

#### *2.7.5.1 Harici döküm*

Beş çeşit kimyasal maddenin karışımından oluşan epoksi reçinedir. Harici mekanlarda kullanıma uygundur.

#### *2.7.5.2 Dahili döküm*

Dört çeşit kimyasal maddenin karışımından oluşan epoksi reçinedir. Dahili mekanlarda kullanıma uygundur.

Epoksi dökümhanesi özel bir teknoloji ve orta büyüklükte bir tesis gerektirir. Trafolar Epoksi reçine ile doldurulduktan sonra fırınlarda ‘Harici’ ise 80 °C de, dahili ise 130 °C’ de 8 saat pişirilir. Pişirilmesinin amacı epoksi reçinenin bu sıcaklıklarda reaksiyona girmesidir. Pişirimden sonra transformator soğumaya bırakılır. (Özyalçın,2007)

## **2.7.6. Kuru Tip Transformatörün Avantajları**

### *2.7.6.1. Çevresel Güvenlik*

Kuru tip transformatörler atmosfere yağ ve toksit gazlar bırakmazlar. Sargı yalıtımında kullanılan epoksi kolay tutuşmayan, kendi kendine sönebilen ve arka maruz kaldığında dahi çevreye zehirli gaz yaymayan özelliklere sahiptir. Bu nedenle çevre kirliliğine neden olmazlar. Koruma kafesine alınarak insanların yoğun olarak bulunabileceği yerlerde emniyetle kullanılabilir.

### *2.7.6.2. Nem Geçirmeme*

Vakum altında tasarlanan bobinler, nemin sargılara sirayet etmesini engelleyecek şekilde üretilmektedir. Bu nedenle hem depolama esnasında hem de işletme esnasında, ön kurutma gerektirmeden direkt olarak enerjilendirmeye imkan sağlar. Neme karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir

### *2.7.6.3. Aşırı Yük kapasitesi*

Ani asiri yuklere dayanım kabiliyeti, demiryolu gibi ağır yük uygulamalarında sıkça karşılaşılmaktadır. Kuru tip transformatörler yağlı transformatörlere oranla kısa süreli aşırı yüklenmelere çok daha dayanıklıdırlar. Fanlı soğutma sistemi ilavesi ile güç kapasitesinin %50'ye varan oranlarda artırmak mümkün olabilmektedir

### *2.7.6.4. Darbe Dayanımı*

Kuru tip transformatörler darbe gerilimlerine karşı çok yüksek dayanım gösterirler. Sargı yapısı nedeniyle kısa devrelere karşı yüksek dayanıklılık göstermektedir. Özel yapısı sayesinde dayanım seviyesi 200kV a kadar ulaşabilmektedir.

### *2.7.6.5. Bakım*

Bakım gerektirmez. Bakım neredeyse tamamen elimine edilmiştir. Yağlı transformatörlerde olduğu gibi sıvı seviyesi kontrolü, nem emilmesiyle ilgili dielektrik teste gerek yoktur. Düzgün bobin yüzeyi sayesinde, en kötü şartlar altında dahi kir ve toz etkisinde kalmaz.

Bakım gerektirecek herhangi bir parçası mevcut olmadığından işletme ömrü boyunca bakım gerektirmemektedir. Bu nedenle işletme masrafları yok denecek kadar azdır. Tavsiye edilen bakım, gözle kontrol yapılmasıdır.



#### *2.7.6.6. Düşük Gürültü Seviyesi*

Kuru tip transformatörlerin demir çekirdeğinin epoksi reçine ile kaplanması, fark edilir seviyede gürültünün azalmasını sağlar.

## 2.8. HAVA İLE KENDİ KENDİNE SOĞUYAN KURU TİP ÇEKİRDEK NÜVELİ BİR TRANSFORMATÖRÜN TOPLAM AĞIRLIK VE VERİM HESABI

Bu bölümde yapılacak olan hesaplarda üç fazlı çekirdek nüveli kuru tip transformatör esas alınacaktır.

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (2.18)$$

Denklem 2.18'de üç fazlı bir transformatör için S görünür gücü, U primer veya sekonder sargı gerilimini, I ise primer veya sekonder sargılarından geçen akımı ifade eder.

$$S_2 = \sqrt{3} \times U_2 \times I_2 \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (2.19)$$

Transformatörlerin sekonder sargılarındaki görünür güç denklem 2.19'da olduğu gibi sekonder sargıdaki akımın, gerilimin 1,73 katıyla çarpılması sonucu elde edilir.

$$S_1 = \sqrt{3} \times U_1 \times I_1 \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (2.20)$$

Transformatörlerin primer sargılarındaki görünür güç denklem 2.20'de olduğu gibi primer sargıdaki akımın, gerilimin 1,73 katıyla çarpılması sonucu elde edilir.

$$q_{fe} = C \times \sqrt{\frac{1000 \times S}{3 \times f}} \quad \text{cm}^2 \quad (2.21)$$

Denklem 2.21'de  $q_{fe}$ , çekirdek demir kesitini, C, transformatör demir kesiti uygunluğunu, S transformatör görünür gücünü ifade eder. C değeri kurutip transformatörler için 5,9 ile 10,6 arasında değişmektedir. (Boduroğlu , 1981)

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{q_{fe}}{0,677 \times \Pi}} \quad \text{cm} \quad (2.22)$$

Denklem 2.22’de transformatör nüve çekirdeğini çevreleyen dairenin çapı hesaplanır. Burada D çap, pi sabit sayıyı ifade eder. (Boduroğlu , 1981)

$$w_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} \times 4,44 \times f \times \theta \times 10^{-8}} \text{ sipir} \quad (2.23)$$

$$w_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3} \times 4,44 \times f \times \theta \times 10^{-8}} \text{ sipir} \quad (2.24)$$

Denklem 2.23 ve 2.24’te her bir bacak için gerekli olan sarım sayısı bulunur. Bu denklemlerde  $U_1$  ve  $U_2$  primer ve sekonder gerilimlerini, 4,44 sabit sayıyı,  $\theta$  çekirdek kesitinden geçen toplam manyetik akıyı ifade eder. (Boduroğlu , 1981)

$$q_1 = \frac{I_1}{s} \text{ mm}^2 \quad (2.25)$$

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \text{ mm}^2 \quad (2.26)$$

Denklem 2.25 ve 2.26 ‘daki  $q_1, q_2$  transformatörün primer ve sekonder sargı kesitlerini,  $I_1$  ve  $I_2$  transformatörün primer ve sekonder sargılarından geçen akımları, s ise akım yoğunluğunu ifade eder. Burada s değişken bir değer olup kuru tip transformatörler için 1,7 ile 2 arasında değişmektedir. (Boduroğlu , 1981)

$$L_s = \frac{2 \times w_1 \times I_1}{A_s} \text{ cm} \quad (2.27)$$

Denklem 2.27’deki  $L_s$  primer ve sekonder sargı yüksekliğini ifade eder ancak transformatör boyunduruğu ile sargı arasına koruyucu takozlar yerleştirileceği varsayılırsa yaklaşık olarak 1’er cm lik mesafenin  $L_s$  değerinden çıkarılıp sargı yüksekliğinin L ile ifade edilmesi daha doğru olacaktır.

Çizelge 2.3: Hava ile soğutulan kuru,çekirdek tipi nüveli transformatörler için amper sarım değerleri. (Boduroğlu , 1981)

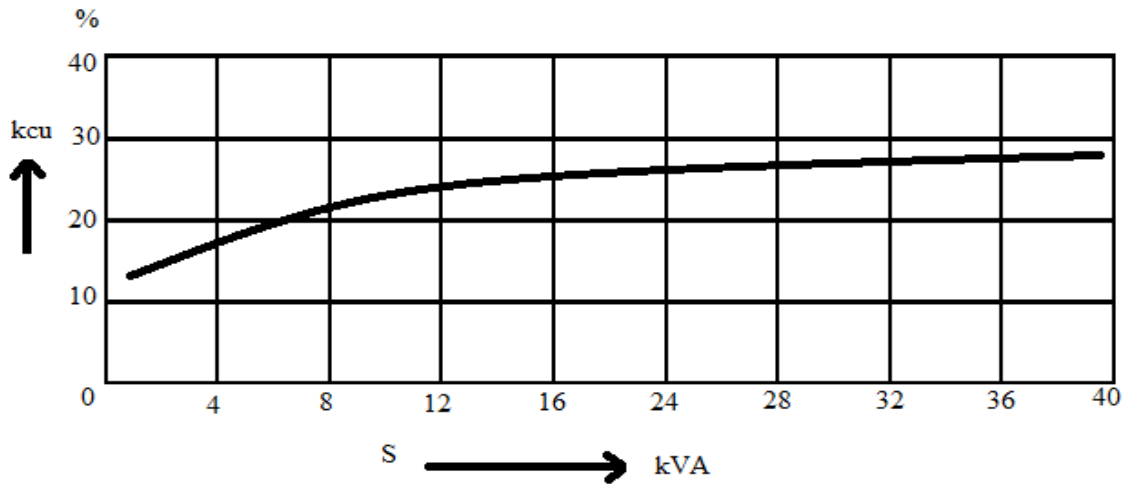
S (kVA)	0,5	1	2	4	8	10	15	20	25	30
As (A/cm)	80	90	100	110	123	127	135	142	147	150

Çizelge 2.4: Bakır sargılarda kullanılan akım yoğunluğu değerleri. (Boduroğlu , 1981)

Soğutma şekli	Akım yoğunluğu (s)
Hava ile soğutulan transformatörlerde	1,7-2,0
Kendi kendine soğutulan yağlı transformatörlerde	2,2-3,5
Sun'i olarak soğutulan transformatörlerde	3,5-5,0

Denklem 2.17 transformatör pencere veya bacak yüksekliğini bulmak içindir. Burada  $A_s$  özgül amper sarımdır çizelge 2.2' den elde edilir. (Boduroğlu , 1981)

Çizelge 2.5: Hava ile soğutulan kuru, çekirdek tipi transformatörlerin pencere bakır doldurma faktörü (Boduroğlu , 1981)



$$a = 4 \times \frac{w_1 \times q_1}{(10 \times kcu \times Ls)} \quad \text{cm} \quad (2.28)$$

Denklem 2.28'de a ifadesi, çekirdek tipi transformatör için pencere genişliğidir. Burada  $k_{cu}$  pencere bakır doldurma faktörüdür tablo 2 den elde edilir.

$$Lm_1 = \pi \times (D + 3.32) \quad \text{cm} \quad (2.29)$$

$$Lm_2 = 10^{-2} \times \pi(10 \times D + 8 + a_2) \quad \text{cm} \quad (2.30)$$

Denklem 2.29 ve 2.30 kullanılarak ortalama sargı uzunlukları elde edilir. Bu denklemde  $a_2$  sekonder sargının yüksekliğidir.(Çelebi, 2009)

Denklem 2.23, 2.24 teki sarım sayıları, denklem 2.25, 2.26'daki sargı kesitleri ve denklem 2.29, 2.30'daki sargı uzunlukları kullanılarak transformatörün bakır ağırlığı elde edilir. Transformatörün her üç bacağı için primer bakır ağırlığı denklem 2.31'de belirtilmiştir.

$$G_{cu_1} = 3 \times \gamma_{cu} \times w_1 \times q_1 \times Lm_1 \times 10^{-5} \quad \text{kg} \quad (2.31)$$

Sekonder sargının bakır ağırlığı ise denklem 2.32'de belirtilmiştir.

$$G_{cu_2} = 3 \times \gamma_{cu} \times w_2 \times q_2 \times Lm_2 \times 10^{-5} \quad \text{kg} \quad (2.32)$$

Bu denklemlerde yer alan  $\gamma_{cu}$ , bakır özgül ağırlığıdır ve  $75 \text{ C}^0$  lik sıcaklık derecesinde 8,9 değerini alır. Ayrıca denklem 2.33 ve 2.34 'te bakır sargı direncini elde edilirkende kullanılacak olan  $\rho = 0.0216 \text{ mm}^2/\text{m}$  alınacaktır. (Boduroğlu, 1981)

$$r_1 = \rho \frac{Lm_1 \times w_1}{q_1} \quad \text{ohm} \quad (2.33)$$

$$r_2 = \rho \frac{Lm_2 \times w_2}{q_2} \quad \text{ohm} \quad (2.34)$$

Bakır kayıplarını hesaplamak için denklem 2.33 ve 2.34 'te hesaplanan  $r_1$  ve  $r_2$  değerleri denklem 2.35 ve 2.36 da yerlerine yazılır.

$$Pcu_1 = 3 \times I_1^2 \times r_1 \text{ watt} \quad (2.35)$$

$$Pcu_2 = 3 \times I_2^2 \times r_2 \times k \text{ watt} \quad (2.36)$$

Denklem 2.36 da ki  $k$  değeri, lehim yerlerinden ve akım yığılmasından ileri gelen kayıpları ifade eder. ihmal edilebilir bir değerdir Bulunan değerler toplanarak üç fazlı kuru tip çekirdek nüveli bir transformatördeki toplam bakır kaybı elde edilir. (Boduroğlu , 1981)

$$Pcu = Pcu_1 + Pcu_2 \text{ watt} \quad (2.37)$$

Transformatördeki diğer kayıp güç ise demir nüve üzerinden meydana gelmektedir. Demir kayıplarını elde etmek için demir ağırlığının hesaplanması gerekmektedir. Demir ağırlığı transformatörün boyunduruk ve bacak ağırlığı olarak ifade edilir.

$$Gfe_b = 3 \times \gamma Fe \times qfe \times Ls \times 10^{-3} \text{ kg} \quad (2.38)$$

Denklem 2.38'deki  $Gfe_b$  transformatör üç adet bacağına ağırlığıdır. Bu değer denklem 2.39 da yerine koyulursa her üç bacağın demir kaybı elde edilmiş olur.

$$Pfe_b = Gfe_b \times pfe_b \text{ watt} \quad (2.39)$$

Denklem 2.28 de yer alan  $\gamma_{fe}$  , demir özgül ağırlığı olup 7,6 değerini alır.  $Gfe_b$  ise transformatör bacak ağırlığıdır. Diğer ağırlık ise transformatör boyunduruk ağırlığıdır.  $Gfe_j$  olarak denklem 2.40'da ifade edilmiştir. (Boduroğlu , 1981)

$$G_{fej} = \gamma_{fej} \times q_{fej} \times 1.1 \times 2 \times (2 \times a + 3 \times Ls) \times 10^{-3} \text{ kg} \quad (2.40)$$

Denklem 2.28’de  $a$  pencere genişliği,  $b_{\text{bacak}}$  ise transformatör pencere yüksekliğini ( $L_s$ ) ifade eder.

$$p_{fej} = \varepsilon_2 \times p_{10} \times \left(\frac{B_j}{10000}\right)^2 \text{ watt / kg dır.} \quad (2.41)$$

Denklem 2.31 deki  $p_{fej}$  özgül boyuduruk demir kaybı,  $\varepsilon_2$  ilave kayıp faktörü,  $B_j$  boyunduruk bacak endüksiyonudur. Bu denklem 2.33 te yerine yazıldığında transformatör boyunduruğunda oluşan demir kaybı hesaplanabilir.

$$P_{fej} = G_{fej} \times p_{fej} \text{ watt} \quad (2.42)$$

Elde edilen, denklem 2.38 ve denklem 2.40 toplandığında transformatör demir ağırlığı elde edilmiş olur. Buda denklem 2.43’te yer almaktadır.

$$G_{fe} = G_{feb} + G_{fej} \text{ kg} \quad (2.43)$$

Bu toplamı denklem 2.44 da yerine yazıldığında watt cinsinden transformatör demir kaybı elde edilir.

$$P_{\text{Fekayıp}} = P_{feb} + P_{fej} \text{ watt} \quad (2.44)$$

Transformatörün toplam ağırlığı, primer sargı ağırlığının, sekonder sargı ağırlığının, boyunduruk ağırlığı ile bacak ağırlığının toplamına eşittir. Bu eşitlik denklem 2.45’te kısaca ifade edilmiştir

$$G_{\text{toplām}} = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{feb} + G_{fej} \text{ kg} \quad (2.45)$$

Transformatördeki toplam kayıp, bakır kaybı ve demir kaybının toplanmasıyla denklem 2.46’ dan elde edilir.

$$P_{\text{kayıp}} = P_{cu} + P_{\text{Fekayıp}} \text{ watt} \quad (2.46)$$

Hesabı tamamlanan transformatörün verimi ise yüzde olarak transformatörden alınan gücün transformatöre verilen güce oranlanması ile elde edilir. Bu oran denklem 2.47’de ifade edilmiştir. (Boduroğlu , 1981)

$$Verim = \frac{(100 \times S_2)}{S_2 + P_{cu} + P_{fe}} \quad (2.47)$$

Transformatörün veriminin % 90 ile % 99 arasında olması transformatörün tasarım ve kullanım yönünden bir sakıncasının olmadığını gösterir.



## 2.9. TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN AMAÇ FONKSİYONU

Transformatör ağırlık optimizasyonu problemlerinde amaç fonksiyon, transformatör sargıları, boyunduruk ve bacak ağırlık hesabından elde edilmektedir. Amaç, transformatörün her bir parçasının ağırlığını optimize etmek ve böylece transformatörün ağırlığını düşürmektir.

### 2.9.1. Transformatör primer ve sekonder sargı ağırlığı

Primer ve sekonder sargılarının ağırlığının toplamından oluşmaktadır. Denklem 2.31 ve 2.32’de ifade edilen sargı ağırlıkları toplandığında denklem 2.48’de toplam sargı ağırlığı elde edilir.

$$G_{cu} = 3 \times \gamma_{cu} \times w_1 \times q_1 \times Lm_1 \times 10^{-5} + 3 \times \gamma_{cu} \times w_2 \times q_2 \times Lm_2 \times 10^{-5} \text{ kg} \quad (2.48)$$

### 2.9.2. Transformatör boyunduruk ve bacak ağırlığı

Denklem 2.43’teki ifadeler açık haliyle yazılacak olursa transformatörün toplam demir ağırlığı denklem 2.49’daki gibi olur.

$$G_{fe} = 3 \times \gamma_{fe} \times q_{fe} \times Ls \times 10^{-3} + \gamma_{fej} \times q_{fej} \times 1.1 \times 2 \times (2 \times a + 3 \times Ls) \times 10^{-3} \text{ kg} \quad (2.49)$$

### 2.9.3 Transformatör toplam ağırlığı

Denklem 2.45’teki ağırlık ifadeler açık olarak yazıldığında denklem 2.50’de transformatör toplam ağırlığı ifade edilmiş olur.

$$G_{toplam} = 3 \times \gamma_{cu} \times w_1 \times q_1 \times Lm_1 \times 10^{-5} + 3 \times \gamma_{cu} \times w_2 \times q_2 \times Lm_2 \times 10^{-5} + 3 \times \gamma_{fe} \times q_{fe} \times Ls \times 10^{-3} + \gamma_{fej} \times q_{fej} \times 1.1 \times 2 \times (2 \times a + 3 \times Ls) \times 10^{-3} \text{ kg} \quad (2.50)$$

Denklem 2.50 aynı zamanda transformatör ağırlığının amaç fonksiyonudur.

## 2.10. TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN DEĞİŞKENLER

Transformatör ağırlık optimizasyonunda amaç fonksiyonunu etkileyen kontrol değişkenleri vardır. Bunlar :

- ❖ Transformatör demir kesiti uygunluk faktörü (C),
- ❖ Akım yoğunluğu (s) olarak ifade edilir.

## 2.11. TRANSFORMATÖR OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN KISITLAR

Transformatör ağırlık optimizasyonunda kısıt kullanılmasının sebebi transformatörün çalışma sistemini optimum düzeyde tutmaktır. Kısıt kullanılmaması durumunda amaç fonksiyon olumsuz yönde sapma gösterebilir. Transformatör optimizasyonunda verim ve pencere yüksekliğinin pencere genişliğine oranı kısıt olarak değerlendirilebilir. Kısıtlanan değer aralıkları şunlardır ;

Birinci kısıt, denklem 2.51’de verilen değerler arasında değişmelidir.

$$0.9 < \text{verim} < 1 \quad (2.51)$$

İkinci kısıt, denklem 2.52’de verilen değerler arasında değişmelidir.(Boduroğlu , 1981)

$$2 < \frac{Ls}{a} < 4.5 \text{ (Boduroğlu , 1981)} \quad (2.52)$$

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu tez çalışmasında kuru tip transformatörün ağırlığı Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemiyle düşürülmüştür. Bu optimizasyon yöntemi ilk olarak 1995 ve 1996 yıllarında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir. Bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alan bu yöntem bölüm 3.1 de açıklanmıştır.

#### **3.1 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ**

Parçacık sürüsü optimizasyonu, genetik algoritmalara benzer olarak doğrusal ya da doğrusal olmayan fonksiyonların evrimsel optimizasyonu için türevsel optimizasyon yöntemlerine alternatif, iteratif bir yöntemdir. 1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından uçan kuş sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. (Kennedy ve Eberhart, 1995)

Şekil 3.1 de bir örnek bir kuş sürüsünün hareketi görülmektedir.

Genelde optimizasyon, tasarım problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Bunun için bir başlangıç çözümünden hareketle en iyiye ulaşılmaya çalışılmaktadır. Yani mevcut çözüm iyileştirilmektedir. Şekil 3.1 de bir örnek bir kuş sürüsünün hareketi görülmektedir.



Şekil 3.1: Kuş sürüsünün hareketi



Şekil 3.2: Yiyecek bulmaya doğru alçalan kuş sürüsünün hareketi

PSO'da arama işlemi genetik algoritmada olduğu gibi popülasyondaki bireyler tarafından ve belirlenen nesil sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü denir. Her bir parçacık, bir önceki tecrübesinden yararlanarak kendi pozisyonunu bir önceki sürüdeki en iyi pozisyona göre ayarlar.

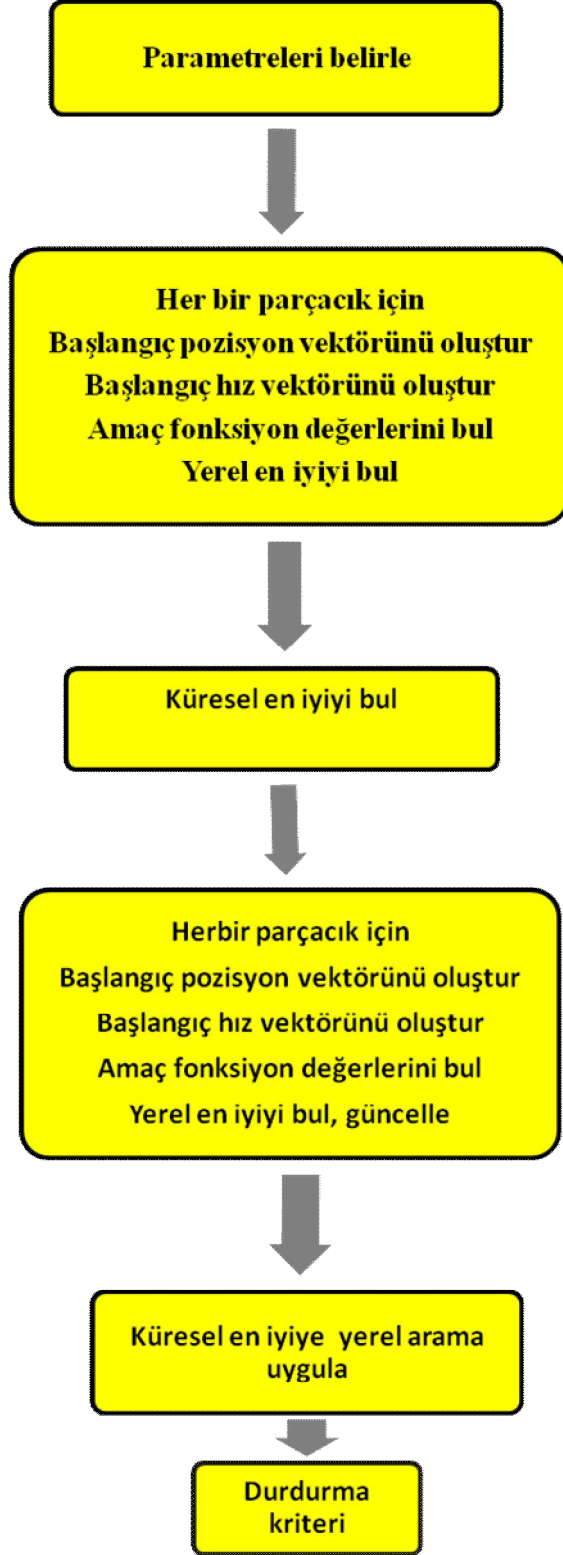
PSO yönteminde ilk olarak, kullanılacak parametreler belirlenir, İkinci olarak ise popülasyon değerleri rastgele belirlenir daha sonra bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Amaç fonksiyon değeri en iyi olan parçacık, global en iyi olarak atanır ve bu parçacık değerleri global komşular olarak saklanır. Aynı şekilde başlangıçtaki her bir parçacığın amaç fonksiyon değerleri yerel en iyiler olarak saklanıp parçacık değerleri de yerel komşular olarak saklanır. (Poli ve diğerleri, 2009)

### **3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması**

Bir bölgede rasgele yiyecek arayan bir kuş grubunun olduğunu ve arama yapılan alanda yalnızca bir parça yiyecek olduğunu varsayalım. Kuşların hiçbiri yiyeceğin nerede olduğunu bilmesin. Fakat her bir iterasyon sonunda yiyeceğin ne kadar uzakta olduğunu bilsinler. Bu durumda en iyi yöntem yiyeceğe en yakın olan kuşu takip etmektir. Algoritma bu senaryoya göre çalışarak optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılır. Parçacık sürü optimizasyonunda her bir çözüm, arama bölgesindeki bir kuştur ve bu bir “parçacık” (particle) olarak isimlendirilir. Tüm parçacıkların, optimize edilecek uygunluk fonksiyonu tarafından değerlendirilen bir uygunluk değeri ve uçuşlarını yönlendiren hız bilgileri vardır. Kuşlar problem alanında mevcut optimum parçacıkları takip ederek uçarlar.

Parçacık sürü optimizasyonu bir grup rasgele üretilmiş çözümle (parçacıkla) başlatılır ve jenerasyonlar güncellenerek en uygun değer araştırılır. Her iterasyonda, her bir parçacık iki “*en iyi*” (best) değere göre güncellenir. Bunlardan birincisi parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi uygunluk değeridir. Bu değer daha sonra kullanılmak üzere hafızada tutulur ve “*pbest*” yani parçacığın en iyi değeri olarak isimlendirilir. İkinci en iyi değer ise popülasyondaki herhangi bir parçacık tarafından o ana kadar elde edilmiş en iyi uygunluk değerine sahip çözümdür. Bu değer popülasyon için global en iyi değer olup “*gbest*” olarak isimlendirilir. Çizelge 3.1 ‘de Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının çalışma şekli ifade edilmiştir.





Şekil 3.3 Parçacık sürü optimizasyonu algoritması

### 3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının parametreleri

Parçacık sürü optimizasyonu parametre sayısı diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha azdır.Parçacık sürü optimizasyonunda kullanılan parametreler şunlardır;

Parçacık sayısı: problemin özelliğine göre 20,40,100,200 parçacık kullanılması gerekebilir.

Parçacık boyutu: problemin özelliğine göre değişik boyutlar olabilmektedir.

Parçacık aralığı: problemin özelliğine göre farklı aralıklarda seçim yapılabilir.

Maximum hız (Vmax): bir iterasyonda parçacıkta meydana gelecek maximum değişikliği yani hızı belirler. Parçacığın değer alanına göre belirlenir. Örneğin x6 parçacığı (20,50) aralığında ise Vmax 30 ile sınırlandırılabilir.

Öğrenme faktörleri: c1 ve c2 den oluşur ve (0,4) aralığında seçilir.

Durma koşulu: En yüksek iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritma durdurulabilir.

### 3.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması İle Örnek Bir Problem Çözümü

Bu bölümde inceleyeceğimiz örnek bir test fonksiyonudur. Altı kamburlu deve sırtı olarak bilinen fonksiyonu iki küresel minimum altı yerel minimuma sahiptir. Fonksiyon ve değişken aralığı , denklem 3.1, 3.2 de belirtilmiştir.denklemlere göre fonksiyonun minimum olduğu nokta parçacık sürü optimizasyonu ile araştırılacaktır.

$$f(x) = 4 \times x_1^2 - 2.1 \times x_1^4 + \left(\frac{1}{3}\right) \times x_1^6 + x_1 \times x_2 - 4 \times x_2^2 + 4 \times x_2^4 \quad (3.1)$$

$$-5 \leq x_1, x_2 \leq 5 \quad (3.2)$$

Denklem 5.42 ve 2.43 e göre problemin bilinmeyenleri  $x_1, x_2$  dir.Yani D iki boyutludur. Algoritmanın 10 parçacıkla ve öğrenme faktörleri sabitlerinin( $c_1, c_2$ ) 2 olarak belirlendiği arama uzayında çalıştırılacağı varsayılmıştır. Buna göre adım adım algoritmanın nasıl çalıştığı takip edilirse,

1.Adım : parçacıklar parametrelerin aralık değerlerine uygun bir şekilde rastgele oluşturulur ve uygunluk değerleri uygunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Birinci iterasyon için her bir parçacığın pbest değeri kendisine eşittir. Buradan elde edilen en iyi değere karşılık gelen parçacık gbest olarak seçilir. Buna göre oluşturulmuş 10 parçacık çizelge 3.1 de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1: Birinci iterasyonda rastgele oluşturulan parçacık değerleri. (Sağ, 2009)

Parçacık	$x_{1,1}^0$	$x_{1,2}^0$	Uygunluk Değeri	pbest
P1	-3,7060195	2,81307351	707,5444175	$\vec{p}_1^1$
P2	1,30101908	-1,6908636	24,47949005	$\vec{p}_2^1$
P3	3,5723814	-3,3609453	156,3683986	$\vec{p}_3^1$
P4	1,2363086	2,8388213	258,3875547	$\vec{p}_4^1$
P5	-2,0099463	1,61072044	-10,58678451	$\vec{p}_5^1$
P6	-2,6013287	0,75244956	-96,83639806	$\vec{p}_6^1$
P7	-1,5921306	2,24163608	83,9370077	$\vec{p}_7^1$
P8	-4,9807337	-4,3846604	207,8923222	$\vec{p}_8^1$
P9	-3,5026999	-2,6985498	-94,5324658	$\vec{p}_9^1$
P10	-3,3496718	4,677583	1634,851374	$\vec{p}_{10}^1$
<b>gbest =</b>				$\vec{p}_5^1$

2.Adım: Her bir parçacık için hız hesaplanır. Burada P1 için hesaplama yapılmaktadır. Diğer parçacıkların sonuçları Çizelge 3.2 'de verilmiştir. Burada rand (0, 1) arasında üretilen rastgele bir değeri, i parçacık numarası, k ise iterasyon sayısını gösterir. C1 ve C2, parçacıkları pbest ve gbest konumlarına doğru yönlendiren sabitlerdir. C1 parçacığın kendi tecrübelerine göre, C2 ise sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareketi yönlendirir. Düşük değerler seçilmesi parçacıkların hedef bölgeye doğru çekilmeden önce, bu bölgeden uzak yerlerde dolaşmalarına imkan verir. Ancak hedefe ulaşma süresi uzayabilir. Yüksek değerler seçilmesi hedefe ulaşmayı hızlandırırken,



beklenmedik hareketlerin oluşmasına ve hedef bölgeden sapmaya sebep olabilir. Genellikle  $C_1=C_2=2$  olarak almanın iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir.

$$pbest_1^1 = [-3.7060195, 2.81307351] \quad (3.3)$$

$$gbest^1 = \vec{p}_5^1 = [-2.0099463, 1.61072044] \quad (3.4)$$

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 rand_1^k - (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 rand_2^k - (gbest^k - x_i^k) \quad (3.5)$$

$$v_{11}^1 = 0 + c_1 \times rand_1^k \times (pbest_{1,1}^1 - x_{1,1}^1) + c_2 \times rand_2^1 \times (gbest^1 - x_{1,1}^1) \quad (3.6)$$

$$v_{11}^1 = 0 + 2 \times 0.4 \times (-3.7060195 - (-3.7060195)) + 2 \times 0.6 \times (-2.0099463 - (-3.7060195)) \quad (3.7)$$

$$v_{1,1}^1 = 2.03528784 \quad (3.8)$$

$$v_{1,2}^1 = 0 + c_1 \times rand_1^1 \times (pbest_{1,2}^1 - x_{1,2}^1) + c_2 \times rand_2^1 \times (gbest^1 - x_{1,2}^1) \quad (3.9)$$

$$v_{1,2}^1 = 0 + 2 \times 0.4 \times (2.813073 - 2.813073) + 2 \times 0.6 \times (1.61072 - 2.813073) \quad (3.10)$$

$$v_{1,2}^1 = -1.442823684 \quad (3.11)$$

$$v_1^1 = [2.03528784 - 1.442823684] \quad (3.12)$$

Denklem 3.5 parçacık hızını, denklem 3.13 parçacık konumunun belirlenmesini sağlar.

Çizelge 3.3: Birinci iterasyon için hesaplanan hız değerleri. (Sağ, 2009)

Parçacık	$v_{1,1}^1$	$v_{1,2}^1$	rand1	rand2
P1	2,035288	-1,44282	0,4	0,6
P2	-5,29754	5,282534	0,3	0,8
P3	-8,57238	8,360945	0,1	0,9
P4	-5,19401	-1,96496	0,7	0,8
P5	0	0	0,5	0,1
P6	0,473106	0,686617	0,4	0,4
P7	-0,25069	-0,37855	0,9	0,3
P8	0	0	0,3	0
P9	0,597101	1,723708	0,1	0,2
P10	1,339726	-3,06686	0,6	0,5

3.Adım: Herbir parçacık için denklem 3.3 e göre parçacık konumu güncellenir. P1 için hesap yapıлып diğer parçacıklar çizelge 3.3 te gösterilecektir.

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (3.13)$$

$$x_{1,1}^1 = x_{1,1}^0 + v_{1,1}^1 = (-3,7060195) + 2,035288 = -1,6707315 \quad (3.14)$$

$$x_{1,2}^1 = x_{1,2}^0 + v_{1,2}^1 \Rightarrow x_{1,2}^1 = 2,81307351 + (-1,44282) \Rightarrow x_{1,2}^1 = 137025351 \quad (3.15)$$

$$x_1^1 = [-1,6707315, 137025351] \quad (3.16)$$

(Sağ, 2009)

Çizelge 3.4: Birinci iterasyon için hesaplanan konum değerleri. (Sağ, 2009)

Parçacık	$x_{1,1}^0$	$v_{1,1}^1$	$x_{1,2}^0$	$v_{1,2}^1$	$x_{1,1}^1$	$x_{1,2}^1$
<b>P1</b>	-3,70602	2,035288	2,813074	-1,44282	-1,67073	1,37025
<b>P2</b>	1,301019	-5,29754	-1,69086	5,282534	-3,99653	3,591671
<b>P3</b>	3,572381	-8,57238	-3,36095	8,360945	-5	5
<b>P4</b>	1,236309	-5,19401	2,838821	-1,96496	-3,9577	0,87386
<b>P5</b>	-2,00995	0	1,61072	0	-2,00995	1,61072
<b>P6</b>	-2,60133	0,473106	0,75245	0,686617	-2,12822	1,439066
<b>P7</b>	-1,59213	-0,25069	2,241636	-0,37855	-1,84282	1,863087
<b>P8</b>	-4,98073	0	-4,38466	0	-4,98073	-4,38466
<b>P9</b>	-3,5027	0,597101	-2,69855	1,723708	-2,9056	-0,97484
<b>P10</b>	-3,34967	1,339726	4,677583	-3,06686	-2,00995	1,61072

Yeni konum değerleri elde edildikten sonra bu değerler kullanılarak tekrar başa dönülür ve uygunluk değerleri hesaplanır, pbestve gbest değerleri güncellenir. Sonlanma kriteri sağlanıncaya kadar işleme devam edilir.

## 4. BULGULAR

Bu çalışmada kuru tip transformatörün ağırlık problemi parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile çözülmüştür. Çalışmada 1,5 kVA lık transformatörün ağırlığının minimize edilmesi incelenmiştir.

### 4.1 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ İLE 1,5 kVA' LIK KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN AĞIRLIK OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada ele alınan kuru tip transformatörün verileri çizelge 4.1'de belirtilmiştir

Çizelge 4.1 Ağırlığı optimize edilecek olan 1,5 kVA lık transformatör verileri

Transformatör özellikleri	
Transformatörün gücü	1500 VA
Transformatör nüve tipi	Çekirdek
Transformatör faz sayısı	Üç faz
Primer Gerilimi	220 V
Sekonder Gerilimi	110 V
Bağlantı Grubu	Yıldız / Yıldız
Frekans	50 Hz
Kayıp oranı	1,5
0,35 mm lik silisyum alaşımlı sac levha özelliği	1,3 w / kg
Gauss endüksiyonu	11000
Ortalama transformatör sıcaklığı	75 °C
Soğutma şekli (Doğal)	Hava

Üç fazlı kuru tip transformatörlerde toplam ağırlığı ifade eden, denklem 2.41 amaç fonksiyondur. Denklem 2.42 ve 2.43 problemin kısıtlarını oluşturmaktadır. Değişkenler

ise demir kesiti uygunluk faktörü ve akım yoğunluğu ifadeleridir. Kendi kendine soğuyan kuru tip transformatör için demir kesiti uygunluk faktörü,  $5,9 \leq C \leq 10,6$  değerleri arasında, akım yoğunluğu ise çizelge 2.4' ten okunacak olursa  $1,7 \leq s \leq 2$  aralıkları arasında değişmektedir. (Boduroğlu , 1981)

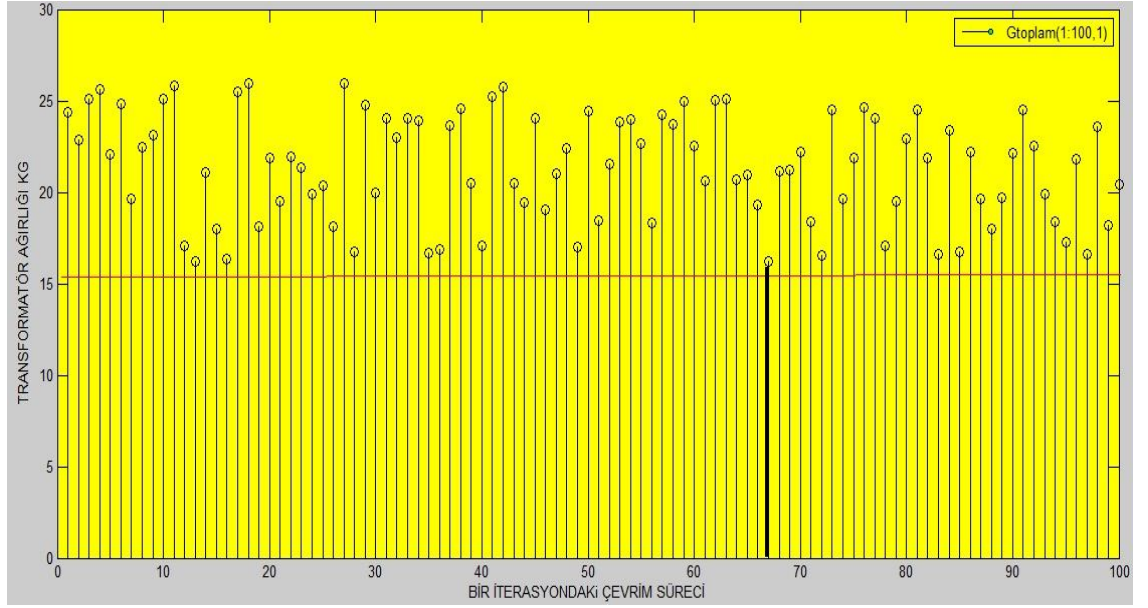
Çizelge 4.1 deki bilgiler kullanılarak denklem 2.11, denklem 2.23, denklem 2.24 ve denklem 2.27'den sırasıyla transformatör sargılarından geçen akımlar( $I_1, I_2$ ), transformatör sargı sipir sayıları( $w_1, w_2$ ), transformatör bacak yüksekliği( $L$ ) bulunur.  $C$  değeri  $Px_1$ ,  $s$  değeri ise  $Px_2$  olarak belirtilecek olursa, Çizelge 4.1 de verilen ve elde edilen değerleri kullanarak, amaç fonksiyon olan denklem 2.50'de yerine yazıldığında amaç fonksiyon denklem 4.1'deki halini alır.

$$G_{top} = 0,046 \times q_1 \times Lm_1 + 0,023 \times q_2 \times Lm_2 + 1,04 \times Px_1 + 0,22 \times Px_1 + \sqrt{Px_1 \times 0,24 \times Px_1} \quad (4.1)$$

Verim ise denklem 4.2 deki en sade halini alır. Bu denklemde  $k$ , transformatör sargılarındaki lehim ve bağlantı yerlerinden dolayı oluşan değeri yaklaşık 1,11 olan ilave kayıp katsayısıdır. (Boduroğlu, 1981)

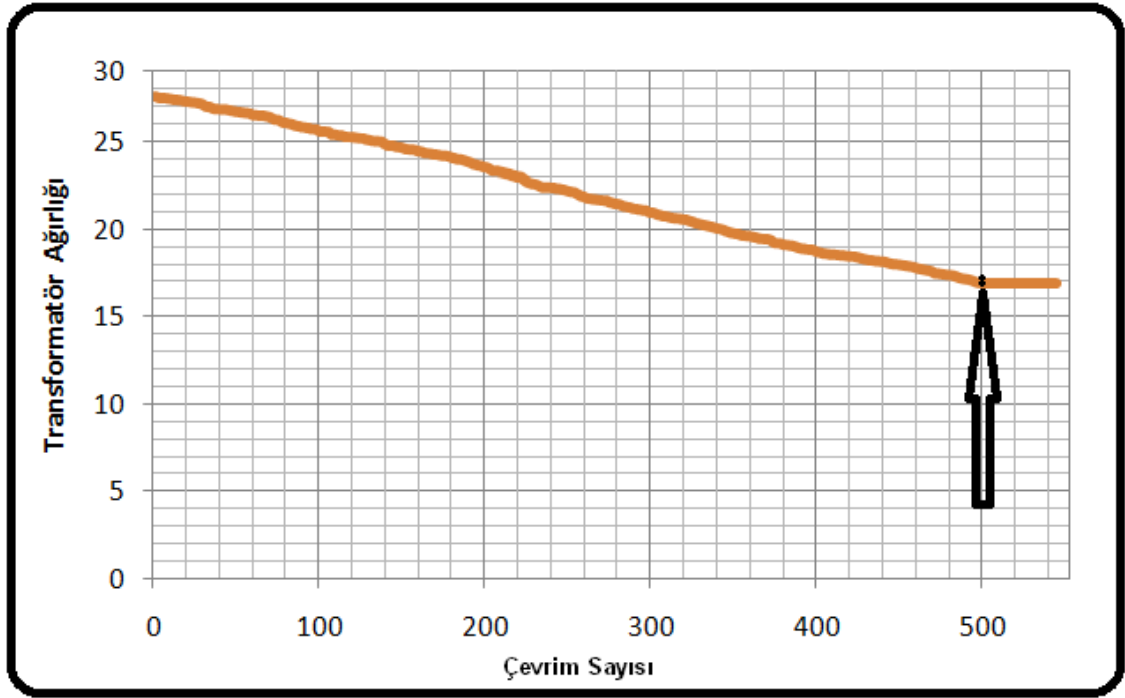
$$ver = \frac{1500}{1500 + 0,03 \times (r_1 \times 46,57 + r_2 \times 186,28 \times k)} \quad (4.2)$$

Elde edilen sadeleştirilmiş değerleri parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında kullandığımızda iterasyon sayısının 1 olduğu çevrim sayısının 100 olduğu durumda şekil 4.1 deki optimizasyon sağlanmıştır. Bu iterasyonda 100 adet ağırlık değeri elde edilmiş olup en iyi değer 67. çevrimde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1: Bir iterasyonda 100 çevrim sonucunda elde edilen değerler

İterasyon sayısının 500 olduğu durumda şekil 4.2'deki optimizasyon elde edilmiştir. Şekil 4.2'de her iterasyonun eniyisi seçilip

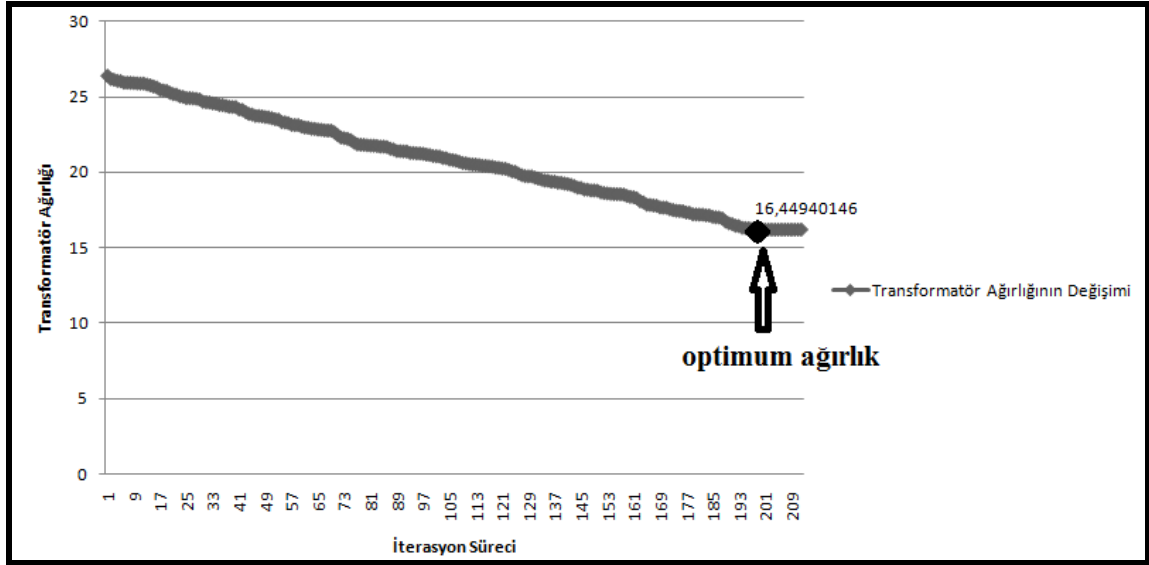


Şekil 4.2: İterasyon sayısının 500 olduğu çözüm

İterasyon sayısının ve çevrim sayısının 350 olduğu durumda şekil 4.3'teki ağırlık optimizasyonu elde edilmiştir.

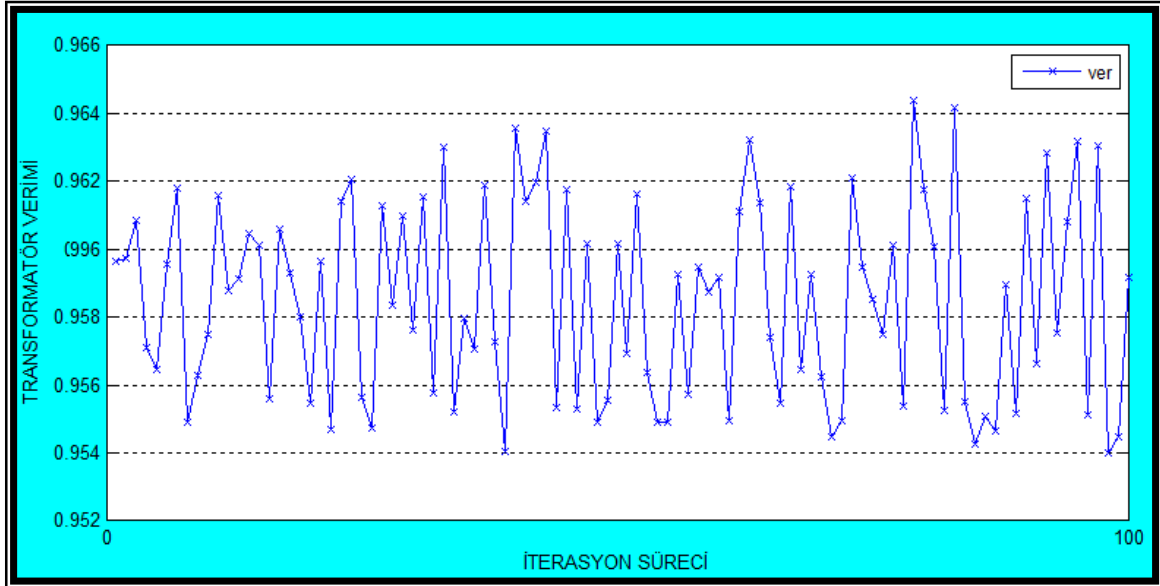


Şekil 4.3: İterasyon sayısı ve çevrim sayısının 350 olduğu çözüm



Şekil 4.4: çevrim sayısının 100 olduğu durumda 210 iterasyon için ağırlık

Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 210 İterasyon için transformatör ağırlık değişimi şekil 4.4'te gösterilmiştir.

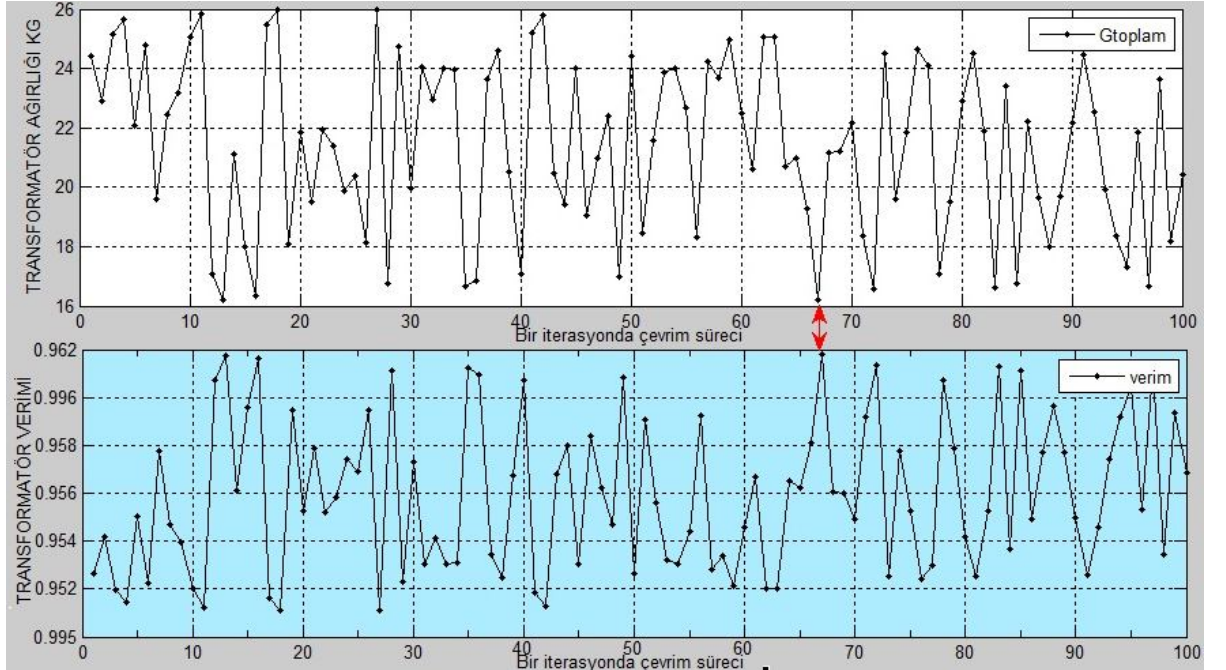


Şekil 4.5: Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 15. iterasyon için verim

Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 15. İterasyon için verim eğrisinin değişimi şekil 4.5 te gösterilmiştir.

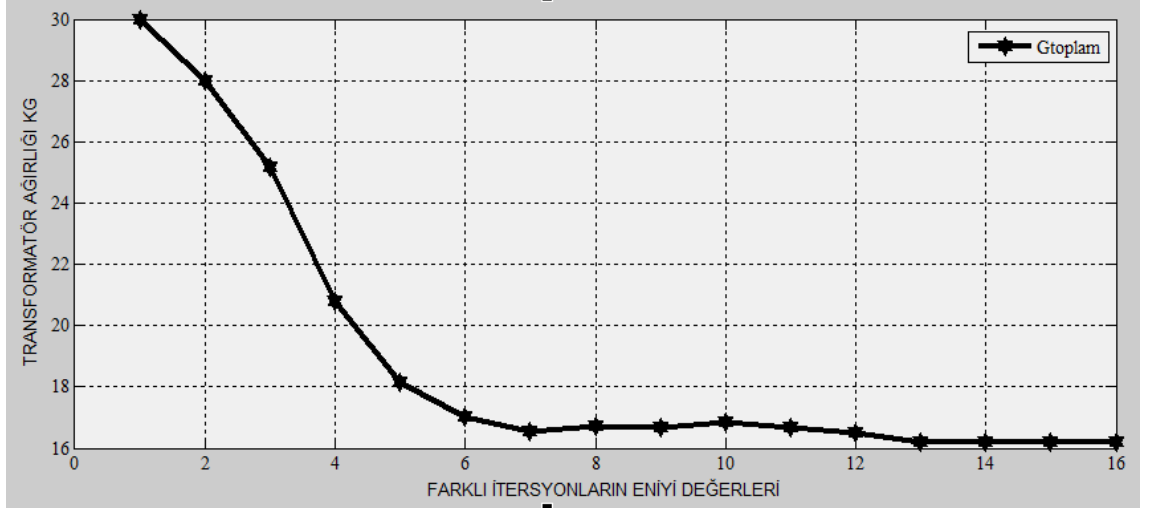


Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 67. iterasyon için verim ağırlık değişimi şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Çevrim sayısının 100 olduğu durumda 67. İterasyon için verim ve ağırlık değişimi

Çevrim ve iterasyon sayısının sırasıyla 1, 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50, 70, 90, 100,100 olduğu durumlarda parçacık sürü optimizasyonu tarafından transformatör ağırlığının optimize edilmiş değerleri şekil 4.7'de gösterilmiştir. Çizelge 4.2 de ise farklı çevrim ve iterasyon sayılarında elde edilen transformatör değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Değişik iterasyonlar sonucunda elde edilen en iyi transformatör ağırlıkları

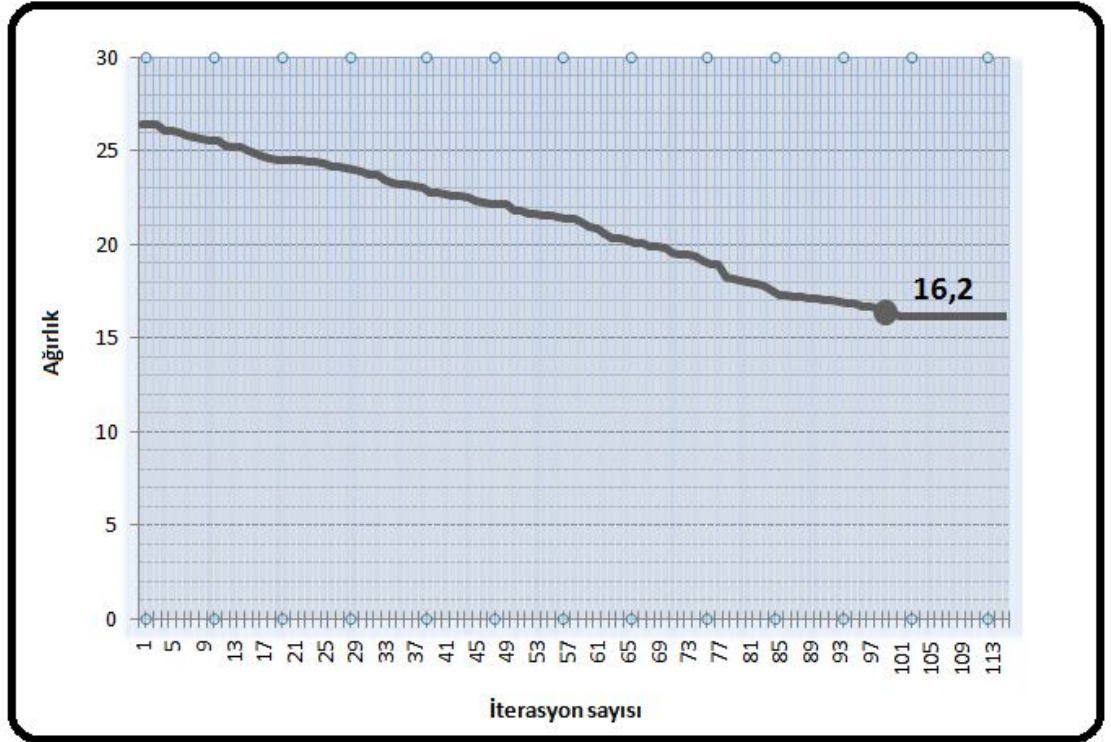
Şekil 4.7’de her iterasyon sonucunda transformatör ağırlığının parçacık sürü optimizasyonu algoritması tarafından optimize edildiği görülmektedir. 14 nolu iterasyondan sonra ağırlık değişmemekte çünkü algoritma kısıtlar çerçevesinde hareket etmektedir.

Çizelge 4.2 : 1,5 kVA'lık üç fazlı çekirdek tipi nüveli bir transformatörün ağırlık optimizasyonu sonucu elde edilen değerler

Çevrim	İterasyon	Gcu1	Gcu2	Gfeb	Gfej	Toplam ağırlık	C	s	a	verim%
1	1	3,59	2,83	9,8	9	25,18	9,14	1,7	7,37	99
5	5	2,98	2,31	8,09	7,42	20,81	7,78	1,8	6,54	99
10	10	3,1	2,35	6,64	6,07	18,16	6,38	1,94	7,26	99
15	15	2,74	2,06	6,38	5,83	17,02	6,13	1,85	6,49	99
20	20	2,8	2,1	6,14	5,49	16,56	5,91	1,72	6,73	99
25	25	2,87	2,16	6,24	5,45	16,73	6	1,91	6,86	98
40	40	2,65	1,99	6,18	5,83	16,67	5,94	1,71	6,36	98
50	50	3,01	2,27	6,28	5,26	16,83	6,04	1,91	7,19	97
70	70	2,84	2,13	6,25	5,25	16,49	6,01	1,81	6,77	97
90	90	2,91	2,19	6,21	5,89	17,21	5,97	1,92	6,97	96
100	100	2,69	2,02	6,18	5,3	16,2	5,94	1,96	6,45	95

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasındaki optimizasyon, sezgisel yöntemlerden olan parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki amaç transformatör ağırlığını optimum bir seviyeye getirmektir. Bu amaç doğrultusunda 1500 VA lik üç fazlı, kuru, çekirdek tipi nüveli transformatör ele alınmıştır. Şekil 5.1’de 113 iterasyonun en iyi sonuçları yer almaktadır. Burada iterasyon sayısına göre transformatör ağırlık değişimi verilmiştir.



Şekil 5.1: 113 İterasyon sonucunda transformatör ağırlık değişimi

Transformatöre uygulanan parçacık sürü optimizasyonu yönteminin sonuçları çizelge 5.4’te Boduroğlu (1981)’in sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır Transformatöre uygulanan

parçacık sürü optimizasyonu yönteminin klasik hesap yöntemine göre daha avantajlı olduğu çizelge 5.4 teki karşılaştırmadan anlaşılabilir. Görüldüğü gibi klasik yöntemle göre hem 15 kg civarında daha az demir çekirdek kullanılarak maliyet düşürülmüş oluyor hemde fiziksel olarak transformatör küçülmüş oluyor. Ayrıca verim farkı da bu çalışmanın amacına ulaştığını ifade etmektedir.

Konu ile ilgili genetik algoritma yöntemi ile de bir optimizasyon çalışması yapılmış olup ancak kullanılan değişken aralıkları ve bazı denklemler kuru tip transformatöre ait olmadığı için çizelge 5.1 'de yer verilmemiştir.

Çizelge 5.1: PSO ile yapılan ağırlık optimizasyonunun klasik yöntemle karşılaştırılması

DEĞİŞKENLER	SEMBOL	BİRİM	KLASİK HESAP YOLU İLE	PSO YÖNTEMİ İLE
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	cm <sup>2</sup> *joule <sup>-1/2</sup>	9,48	5,9
Sargılardaki akım yoğunluğu	(s)	A/mm <sup>2</sup>	2,2	1,7
Pencere genişliği	(a)	mm	58	65
Primer sargı kesiti	(q <sub>1</sub> )	cm <sup>2</sup>	0,018	0,02
Sekonder sargı kesiti	(q <sub>2</sub> )	cm <sup>2</sup>	0,036	0,041
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm	7,5	6
Primer sargı uzunluğu	(lm <sub>1</sub> )	cm	35	29,3
Sekonder sargı uzunluğu	(lm <sub>2</sub> )	cm	26	22,05
Primer sargı ağırlığı	Gcu <sub>1</sub>	kg	2,91	2,69
Sekonder sargı ağırlığı	Gcu <sub>2</sub>	kg	2,16	2,02
Transformatör bacak ağırlığı	Gfeb	kg	9,92	6,18
Transformatör boyunduruk ağırlığı	Gfej	kg	15,85	5,3
Transformatörün toplam ağırlığı	Gtoplam	kg	30,84	16,2
Verim	Ver	%	93	95

Kuru tip transformatörler, parçacık sürü algoritması kullanılarak optimize edildiklerinde enerji ve maliyet tasarrufu sağlar. Bundan sonraki çalışmalarda yüksek güçlü kuru tip transformatörlerin parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılarak optimizasyonuna yönelik araştırmalar yapılabilir. Ayrıca aynı yöntemle yağlı tipte transformatörler ele alınarak optimizasyon çalışması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

AL,O., 2010, Kuru Tip Transformatörler, Ankara, <http://www.optimumalelektrik.com/kuru-tip-trafo.html>[Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2011]

AYBAR, S., 2008, Statik Elektrik Makinalarında Farklı Oranlarda Silisyum İçeren Saclar Kullanılarak Makinanın Performans Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

BELGİN, Ö., 2007, Haberleşme Şebekelerinin Tasarımında Sezgisel Yaklaşımlar: Değişken Komşu Arama, Kuş Sürüsü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

BODUROĞLU, T., Elektrik makineleri Dersleri Cilt 1, Transformatörler, Beta Basım, İstanbul, 1981.

BOZKURT, İ., 2005, Pencere Tipi Transformatörde Kaçak Akı Dağılımının Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle Analizi, Doktora, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

C2Eİ, 2010, Three Phase Transformers, France, <http://www.directindustry.com/prod/c2ei/three-phase-transformers-66735-475989.html> [Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2011]

ÇANAKOĞLU, A.İ., 2008, Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tek Fazlı Trafonun Çalışma Noktasının Belirlenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt (1), 65-73

ÇAPANOĞLU S,N.E., 2006, Ferrit Çekirdekli Trafo Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÇELEBİ, M., 2007, Genetik Algoritma İle Yağlı Bir Trafonun Maliyet Optimizasyonu, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt (1) ,41 48

ÇELEBİ, M., 2009, Genetik Algoritma İle Kuru Bir Trafonun Ağırlık Optimizasyonu ve Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 12 (2) , 30-36

EREN, U., 2008, SF6 Gazlı Transformatörler ile Yağlı Transformatörlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

GÖZDE, H., TAPLAMACIOĞLU, M.C., KOCAARSLAN, İ., ŞENOL, M.A., 2009, İki Bölge Ara-Isıtmalı Termal Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolü İçin Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı PI-Kontrolör, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, cilt 30(1), 13 21

GURCAN, B., 2010, Transformatörler, İstanbul, <http://www.belgeler.com/blg/eu1/transformatörler> [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2011]

GÜNER, A.R., 2006, A Continuous and a Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm For Uncapacitated Facility Location Problem, Master of Science, Fatih University Graduate Institute of Sciences and Engineering

İLKKAHRAMAN, M., 2008, Güç Transformatör Arızalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

KAĞIZMAN, K., 2010, Bir Fazlı Transformatörler, İstanbul, <http://www.belgeler.com/blg/a5s/bir-fazli-transformatörlerin-genel-yapisi.html> [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2011]

KÜÇÜKTAŞ, H., 2008, Güvercinler, USA, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:G%C3%BCvercinler-.JPG> [Ziyaret Tarihi: 01 Nisan 2011]

T.C. Resmi Gazete, 2008, Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Sayı : 26793 <http://www.resmi-gazete.org/sayi/845/elektrik-piyasasi-sebeke-yonnetmeliginde-degisiklik-yapilmasina-dair-yonetmelik.html> [Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2011]

KARACA, H., 2007, Prediction Of Hot-Spot And Top-Oil Temperatures Of Power Transformers According To IEEE Standarts C57.110-1998 AND C57.91-1995, Middle East Technical Universty Graduate School Of Natural And Applied Sciences

KENNEDY, J., EBERHART, R.C., 1995, Particles Swarm Optimization, Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, Perth Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, IV:1942-1948,.

KÖMÜR GÖZ, G ve GÜZELBEYOĞLU, N., 2002, Kendi Kendine Soğuyan Kuru Tip Güç Transformatörlerinde Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi, *itüdergisi/d mühendislik*, cilt1(1), 21

MAHMOUD, S.K., 2008, Yağlı Dağıtım Transformatörlerinde Kayıpların Hesaplanması, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

MEGEP., 2007, Üç Fazlı Transformatör Sarımı, M.E.B, Ankara., [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul) [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2011]

MERGEN, A.F ve ZORLU, S., 2005, “Elektrik Makineleri I Transformatörler”, Birsen Yayınevi, İstanbul

ÖZYALÇIN, B., 2007, 400 kVA'ya Kadar Kuru Tip Trafolar, Verimi Etkileyen Faktörler ve Tipik Örnek, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

POLÍ, R., ENGELBRECHT, A. and KENNEDY, J., 2009, Editorial for the special issue on particle swarm optimization, 2010, *Swarm Intelligence*, Belgium, 243-244.



SAG, T., 2009, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yazılım mutfağı.com, [http://www.yazilimmutfagi.com/MakaleOku.aspx?Makale=Par%C3%A7acık+S%C3%BCr%C3%BC+Optimizasyonu+\(Particle+Swarm+Optimization\)&MakaleKey=1a4ceabd-5ad7-4d8f-88e6-6feb15dd8f2d](http://www.yazilimmutfagi.com/MakaleOku.aspx?Makale=Par%C3%A7acık+S%C3%BCr%C3%BC+Optimizasyonu+(Particle+Swarm+Optimization)&MakaleKey=1a4ceabd-5ad7-4d8f-88e6-6feb15dd8f2d) [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2011]

SARIKAYA, T., 2006, Küçük Güçlü Toroidsel Transformatör Nüvelerinin Optimal Tasarımında Genetik Algoritmaların Uygulanması, Yüksek Lisans, Zonguldak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

TAMER, S. Ve KARAKUZU, C., 2007, Karma (PSO-GA) Rastgele Arama Algoritmasıyla Bulanık-Nöral Kontrolör Eğitimi, *12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildiriler CD'si*, 14-18 Kasım 2007 Eskişehir

TOZAN, A., 2007, Sensör Yerleştirme Problemlerinin Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Çözümü, Yüksek Lisans, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü

UYSAL, Ö., 2006, Comparison Of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Algorithm for Bicriteria Permutation Flowshop Scheduling Problem, Doctor of Philosophy, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences

YETKİN, M., 2008, GPS Ağlarının Optimal Tasarımı ve Robust İstatistik Yöntemlerin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

YILMAZ, M., 2006, Particle Swarm Systems For Multimodal Optimization, Master of Science, Yeditepe University Institute of Graduate Studies in Science and Engineering in partial fulfillment

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Hüseyin  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 11.12.1983 Midyat  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (533) 549 36 12  
e-mail : [huseyin482@hotmail.com](mailto:huseyin482@hotmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Düzce Üniversitesi /Elektrik Eğitimi Bölümü	Halen
Lisans	Düzce Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi Bölümü	2006
Lise	Mardin Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	2000

### İş Deneyimi

Yer	Görev	Yıl
Düzce Üniversitesi	Teknisyen(Teknik Öğretmen)	2010-Halen
İstanbul Teknik Üniversitesi	Teknisyen(Teknik Öğretmen)	2007-2010
Özel Latif A.Ş	İdari Müdür	2006-2007

### Yabancı Dil

İngilizce orta seviye

### Hobiler

Kitap okuma, Masa tenisi turnuvaları, Belgesel çekimleri.