



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN PARALEL BAĞLI
TRAFOLARDA GÜÇ AKTARIMI UYGULAMASI**

**Oğuz GÖKHASAN
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL**

**BİLECİK, 2019
Ref. No: 10275039**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN PARALEL BAĞLI
TRAFOLARDA GÜÇ AKTARIMI UYGULAMASI**

**Oğuz GÖKHASAN
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL**

BİLECİK, 2019



**BİLECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Science
Department of Energy System Engineering**

**APPLICATION OF POWER TRANSMISSION IN
PARALLEL CONNECTED TRANSFORMERS FOR
ENERGY EFFICIENCY**

**Oğuz GÖKHASAN
Masters' Thesis**

**Thesis Supervisor
Assist. Prof. Dr. Nazım İMAL**

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.06.2019 tarih ve 31-01 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28.06.2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Oğuz GÖKHASAN'ın "Enerji Verimliliği İçin Paralel Bağlı Trafolarda Güç Aktarımı Uygulaması" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğretim Üyesi Nazım İMAL

ÜYE : Doç. Dr. Tolga YÜKSEL

ÜYE : Doç. Dr. Murat BARUT

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA / MÜHÜR

TEŐEKKÖR

Çalışmalarım süresince emek vererek katkıda bulunan ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince her türlü desteği, anlayışı gösteren eşime ve Okan Örs'e teşekkür ederim.



1. BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

26.07.2019

Oğuz GÖKHASAN

ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN PARALEL BAĞLI TRAFOLARDA GÜÇ AKTARIMI UYGULAMASI

ÖZET

Elektrik enerjisi tüketiminde son gerilim sağlayıcı olan transformatörlerin verimli kullanımı, enerji kayıplarının azaltılması bakımından önem arz eder. Transformatörlerin paralel çalıştırılması ile farklı güçlerde çalışma yeteneğinin kazanılması hedeflenmektedir. Böylece, hem bakım arıza gibi üretimi aksatacak durumlarda enerji güvenilirliği sağlanır, hem de tezin asıl konusu olan enerji verimliliğine katkı konusunda önemli bir fayda sağlanacaktır. Gerek güç transformatörlerinin yanlış seçiminden kaynaklı, gerekse yük periyodundaki aşırı değişkenliğe karşın, uygun transformatör kullanılarak enerji verimliliği arttırılabilir. Bu tez kapsamında, yük akış periyodundaki değişkenliğin algoritmik olarak kontrol edilerek, uygun güce uygun transformatör seçiminin gerçekleştirildiği, yazılım kontrollü bir uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Düşük güç kullanımında küçük güçlü, büyük güç kullanımında ise büyük güçlü transformatör kullanımı ile talebe uygunluk esas alınmıştır. Güç talebine uygun transformatör kullanımı ile düşük güç talebi durumunda büyük güçlü transformatör kullanımı engellendiğinden, boş çalışma kayıplarının azaltılması ile enerji verimliliği arttırılmıştır. Enerji verimliliği esaslı yük aktarımı, transformatörlerin kısa süreli paralel çalıştırılması ile sağlandığından, tüketici kısmında yük aktarımından etkilenme önlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güç Transformatörü, Paralel Transformatör, Verim, Kayıp

APPLICATION OF POWER TRANSMISSION IN PARALLEL CONNECTED TRANSFORMERS FOR ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

The efficient utilization of transformers providing the latest voltage in the consumption of electricity is important in terms of reducing the energy losses. With parallel operation of transformers, it is aimed to gain the ability of working in different power levels. Thus, both energy reliability is ensured in situations such as maintenance failure the production and an important benefit is obtained by contributing to energy efficiency which is the main scope of this thesis. Against both the unsuccessful selection of power transformers and the excessive volatility in the load period, energy efficiency can be increased by using the appropriate transformer. In the scope this thesis, a software-controlled application is carried out by controlling the variability in the load flow period with an algorithm in order to compensate demanded power with the selection of appropriate transformer regulate required. Due to the fact that major power transformer's usage is precluded in case low power demand with usage of proper transformer to power demand, energy efficiency was increased with reduction of action's losses. Impressed by load transfer was prevented on the consumer part because of that essential load transfer energy efficiency is supplied with short term parallel operating of transformer.

Keywords:Power Transformer, Parallel Transformer, Efficiency, Lost

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
BEYANNAME.....	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür Çalışması.....	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı	4
1.3 Çalışmanın Yöntemi	5
2. TRANSFORMATÖRLER	7
2.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışması.....	8
2.2 Transformatörlerde İndüklenen Emk Değeri ve Dönüştürme Oranı	10
2.3 Transformatörlerin Çalışma Karakteristiği	11
2.4 Transformatörlerin Eşdeğer Devresi	11
2.5 Transformatör Çeşitleri	12
3. TRANSFORMATÖRLERDE KAYIPLAR ve ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	14
3.1 Demir Kayıpları	15
3.2 Bakır Kayıpları.....	16
3.3 Transformatörlerde Enerji Verimliliği.....	16
3.4 Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar	16
3.5 Transformatör Seçiminde Serinin ve Gücün Önemi.....	17
3.5.1 Transformatör gücü seçiminin kayıplara etkisi.....	23
3.5.2 Güç ve tipin maliyete etkisi	24
4. TRANSFORMATÖRLERDE PARALEL ÇALIŞMA ve YÜK AKTARIMI ..	26
4.1 Transformatörlerin Paralel Çalışması	26
4.2 Transformatörlerin Paralel Bağlanma Şartları	26
4.3 Transformatörlerin Paralel Bağlanma Şekilleri	27

4.3.1	Primerleri ortak paralel bağlama.....	27
4.3.2	Sekonderleri ortak paralel bağlama	28
4.3.3	Primerleri ve sekonderleri ortak paralel bağlama	29
5.	UYGULAMA ve ANALİZLER	30
5.1	Enerji Verimliliği Esaslı Çift Transformatör Kullanımı.....	32
5.2	Çalışmada Kullanılan Donanım	33
5.2.1	Kullanılan arduino mikroişlemci ve özellikleri	34
5.2.2	ACS712 akımölçer.....	34
5.2.3	I2C haberleşme kartı	35
5.3	Çalışmada Kullanılan Yazılım	35
5.3.1	Yazılıma temel oluşturan algoritma ve akış şeması	36
5.3.2	Yazılım	38
5.4	Transformatörlerin Çalışma Aralıkları	38
5.4.1	Çalışma aralıklarının belirlenmesi	39
5.5	Transformatör Aktarımından Elde Edilen Enerji Verimliliği.....	39
5.6	Çalışmada Elde Edilen Verilerin Daha Büyük Sistemlere Uygulanmasına Yönelik Tahminsel Analizler	40
5.7	Çalışmanın Devresi	42
6.	SONUÇ.....	45
	KAYNAKLAR.....	47
	EKLER.....	49
	ÖZ GEÇMİŞ.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Elektrik enerjisinin üretilmesi ve alternatif gerilim ile yükseltilmesi	7
Şekil 2.2.	İletimhattı	8
Şekil 2.3.	Gerilimin düşürülmesi işlemi.	8
Şekil 2.4.	Transformatörlerin yapısı ve çalışması.	9
Şekil 2.5.	Transformatörlerin eşdeğer devresi.	12
Şekil 2.6.	Transformatörlerde nüve türleri.	13
Şekil 3.1.	Tavşanlı Belediyesi yüklenme eğrisi.	17
Şekil 3.2.	Oluşan kayıplar	20
Şekil 3.3.	Maliyet değişimi.....	20
Şekil 3.4.	Paralel bağlı transformatörün 16. yılda devreye alınmasıyla oluşan maliyet değişimi	23
Şekil 3.5.	Farklı güçlerdeki transformatörlerin kayıpları	24
Şekil 4.1.	Paralel bağlı transformatörler.....	27
Şekil 4.2.	Primerleri ortak paralel bağlama.	28
Şekil 4.3.	Sekonderleri ortak paralel bağlama.	28
Şekil 4.4.	Primerleri ve sekonderleri ortak paralel bağlama.	29
Şekil 5.1.	Paralel bağlı transformatörlerin tek hat şeması.	32
Şekil 5.2.	Transformatörlerde paralel yük artırımı.	33
Şekil 5.3.	Arduino uno.	34
Şekil 5.4.	ACS712 akım ölçer	35
Şekil 5.5.	I2c haberleşme kartı lcd bağlantısı.	35
Şekil 5.6.	Devre akış şeması.	37
Şekil 5.7.	Örnek yüklenme eğrisi.	39
Şekil 5.8.	Büyük güçlü transformatörlerin 5 aylık demir kaybı	41
Şekil 5.9.	Örnek devre şeması	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge3.1. Anma gücüne göre transformatör kayıplar	18
Çizelge3.2. İlk satın alma maliyetleri.	19
Çizelge3.3. Yıllara göre maliyet.	21
Çizelge 5.1. Transformatör güçlerine göre kayıplar.....	31
Çizelge 5.2. İllere göre sekonder bağlı transformatör kayıpları.	41
Çizelge 5.3. Farklı güçteki transformatörler için elde edilen parametrik tahminler	42
Çizelge 5.4. Yapılan devre ile elde edilecek tahminsel kazançlar	42



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

KWH: Kilowatt saat

TL :Türk Lirası

EMK: Elektro Motor Kuvveti

I: Akım (Amper)

W: Watt

V: Voltaj

mV: MiliVolt.

E1: Girişte indüklenen EMK (Volt)

E2: Çıkışta indüklenen EMK (Volt)

U1: Girişe uygulanan gerilim (Volt)

U2: Çıkıştan alınan gerilim (Volt)

N1: Giriştur sayısı

N2: Çıkıştur sayısı

I1: Giriş akımı (Amper)

I2: Çıkış akımı (Amper)

k: Transformatör dönüştürme oranı

Us: Tur başına düşen gerilim (Volt/Tur)

F: Frekans (Hz)

ϕ_{max} : Manyetik akı (Weber),

Kc : Çekiş yönünde kayıp

Pb : Transformatör boшта kaybı

Pcu : Transformatör bakır kaybı

Ec : Transformatörden aktarılan aylık enerji miktarı (KWH)

Tc: Aylık saat miktarı (h)

Pn : Transformatör anma gücü (KVA)

1.GİRİŞ

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacına karşın kaynakların sınırlı olması, elimizdeki kaynakların en yüksek verimde kullanmasını gerektirmektedir. Gerek elektrik tesislerinin tasarımında tedbirli davranılması zorunluluğu, gerekse abonelerin güç tüketimindeki değişken davranışları, güç transformatörlerinde oluşan boş çalışma kayıplarında artışa neden olmaktadır. Bu kayıpları en aza indirmek için yüksek değerli transformatörlerin seçimi yerine, ihtiyaç doğrultusundaki transformatörün kullanımını sağlamak, diğer bir ifadeyle mevcut transformatöre paralel transformatör kullanımı tezin gerçekleştirilme amacını oluşturmaktadır.

Çalışmada, teknolojiye gelişmelere bağlı olarak düşünülen bu sistem, yazılım kontrolü ile geleneksel sistemlere göre daha kararlı ve duyarlı olarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Güç talebindeki anlık değişimler ile devreye alma ve devreden çıkarma işleminin sürekli yapılması, sisteme ve rölelere zarar vereceğinden, operasyon çalışması doğrudan olarak gerçekleştirilmeyip, güç azalması yada artmasının kararlı hale gelmesini değerlendiren bir kontrol kartı ve yazılım ile gerçekleştirilmektedir.

Şebekeden elektrik enerjisi çeken abonelerin, kullandıkları enerji günün değişik saatlerinde değişimler gösterdiği gibi; haftaların, ayların ve yılın farklı zamanlarında da büyük değişimler gösterebilmektedir. Özellikle gece ve hafta sonları çalışmayan kamu kurumları, sanayi tesisleri v.b. birimlerde bu fark değeri güç talebinin tümüne yaklaşabilir. Güç talebinde olan bu büyük değişim, dağıtım transformatörlerinin boş çalışma ile tam yüklü çalışma arasında farklı yüklenmelerine yol açar.

Alçak gerilim aboneleri için bu değişimin olumsuz bir etkisi görülmez. Bu değişime uyumluluk göstermesi gereken elektrik enerji işletmeleri ya da yüksek gerilim aboneleri, güç talebinde olan değişim nedeniyle kaynaklanan kaybı üstlenir. Boş ya da düşük güç oranlı çalışmanın oluşturduğu verimsizliğe katlanıldığı gibi, bazı zaman dilimlerinde oluşabilecek maksimum (peak) güç taleplerinin karşılanması zorunludur. Bir başka ifadeyle, transformatör sorumluluğu kendisine ait bir elektrik tesisinde, boş ya da düşük güç oranlı çalışmadan kaynaklanan oransal kayıp fazlalığı, bu tesisin elektrik enerji maliyetine olumsuz etki olarak yansıtacaktır.

Tasarlanılan bu sistemin ilave kontrol ve algılayıcılar gerektirmesi, maliyet ve işletme açısından külfet olarak görülebilir. Buna rağmen, kayıpların en aza indirilmesi için mevcut sistemde yapılacak en küçük bir iyileştirme bile, tüm sistemler

düşünüldüğünde yüksek bir kazanç sağlayabilir. Bu amaç doğrultusunda, paralel bağlı transformatörlerin yük aktarımlı çalışması, verimliliği artırabildiği gibi kayıpları da azaltacaktır.

Bu çalışmada, transformatörü kendisine ait bir abonenin, boş yada düşük güç oranlı güçte transformatör çalıştırmasını azaltmaya yönelik bir uygulama gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, birden fazla transformatör kullanılarak talep edilen güç oranına uyumluluk hedeflenmektedir. Bu amaçla kullanılan kontrol devresi, transformatör ya da transformatörlerin devrede olup olmasını, herhangi bir enerji kesintisi oluşturmaksızın sağlamaktadır. Böylece, talep edilen güce uygun büyüklükte güç sağlayabilen transformatör ya da transformatörlerin devrede olmasını sağlayan bir kontrol akışı ile ilave elektrik enerji verimliliği hedeflenmektedir.

Gün geçtikçe artan enerji sarfiyatı ve bu talebi karşılarken yapılan enerji tasarımları doğrultusunda üretilen enerjinin hiç de azımsanmayacak bölümü, kayıplara gitmektedir. Bu kayıpların bir kısmı ise yüksek güçlü transformatörlerden kaynaklanmaktadır. Öyle ki, büyük işletmelerde enerji iletim dağıtım şirketlerinde kullanılan transformatörlerin belirli bir bölümünün, mevcut transformatörlerin ve gereğinden büyük seçilen transformatörlerin boşa ve yükte çalışması ile oluşan kayıpları yok etmek için çalıştığı gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Birden fazla transformatörün paralel çalıştırıldığı işletmelerde transformatör, kayıpları en düşük düzeyde tutacak biçimde gruplandırılabilir. Yük tevzi merkezlerince, saatlik, günlük, aylık ve yıllık periyotlar dikkate alınarak, yük dağılımları ve puant yük değerleri belirlenir. Belirlenen bu değerlere uygun olarak toplam transformatör gücü tepe (puant) yüke göre saptanır (İstenirse, bir de yedek transformatör bulundurulur). Çoğunlukla tepe (puant) yük bir yıl içinde yalnızca kısa zaman periyotlarında oluşabildiğinden, geri kalan zaman periyotlarında o bölgenin yük değişimine bağlı olarak var olan toplam transformatör gücünün ancak az yada çok az bir bölümünden yararlanılır.

Bakır kayıpları oluşacak direnç ile orantılıdır. Devreye ne kadar paralel bağlı transformatör alınırsa, düşen dirençten dolayı bakır kayıpları da düşecektir. Bu durumda yükün değişmemesi şartı gözetilir. Ancak demir kayıpları da yükten bağımsız şekilde devreye alınan transformatör sayısı ile orantılı bir şekilde artar. Eğer bir tesiste birden fazla paralel şekilde transformatöre ihtiyaç duyuluyorsa kayıpların en aza indirilmesi göz önünde tutularak çıkarımlar yapılır. Tesiste yüklenme şekli transformatörü gereğinden

fazla yükü yükleyip daha sonra ikinci transformatörün devreye alınması yerine sınır akımına ulaşan transformatörü tam yüklemeyen diğer transformatörün devreye alınması transformatörün fazlaca ısınıp kayıpların artmaması yönünden daha uygundur. Zira transformatörler fazla yüklenmelerde sürekli çalışamazlar (Electra,2019).

1.1 Literatür Çalışması

Kayıpların bu kadar çok olması ve artan enerji miktarı birçok çalışmaya kayıpların indirgenmesi amacıyla ön ayak olmuştur.

Kütahya ili Tavşanlı ilçesinde dağıtım sisteminde meydana gelen kayıpların tespiti ve azaltılmasına yönelik çalışmada enerjinin verimli bir şekilde kullanılmadığını ve gerekli düzenlemeler ve seçimler ile yapılacak olan iyileştirmelerin kazanımları üzerinde durulmuştur.

Tavşanlı Enerji Dağıtım sisteminde Ocak 2004 - Ocak 2005 dönemi arasındaki verilerden yararlanılarak yapılan ölçümlerde meydana gelen enerji kayıplarının 4. 532. 936 KWH ve dağıtımına sunulan enerjiye göre oranının %11, 01 olduğu görülmüştür (Terzi ve Sargın, 2006).

Çınar ve arkadaşları(Çınar vd., 2014), transformatör seçiminin ne kadar önemli olduğunu vurgulamak için A ve C serisi aynı güce sahip 2 transformatör ile, yarı güce sahip 2 adet transformatör kullanarak aynı gücü yakaladığı paralel bağlı 3. transformatörü kıyaslayarak uzun yıllar ömrü olan transformatörlerin seçiminin maliyet hesabı üzerinde durmuşlardır.

Transformatör seçiminde kayıpların ve serinin önemi tam olarak bilinmemektedir. Wilhelm1959 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında bu noktalar üzerinde net bir şekilde durmuştur. Değerlendirmelerinde kurulum maliyetinden bakım maliyetine ve ürün ömrüne kadar tüm koşulları göz önüne almıştır. Yaptığı çıkarımlarda; verim, transformatörlerin ömrü,belirli yıl sonunda işletim maliyetleri,ve düşük maliyetli transformatörlerin cazip olan ucuz kurulum maliyetine rağmen enerji verimliliği, bakım ve ömürleri üzerinde durmuştur. Çalışmalarında, işletmedeki KWH başına tutan kayıpları göz önüne alarak,daha elverişli olan transformatörün,az kayıplı olan transformatör olduğuna kanat getirmiştir. Ayrıca kayıpların belirli yıllar sonunda ne kadar önem arz ettiğini de ispatlamıştır.

Sabhan K. (Sabhan K, 2008) yaptığı çalışmada 3 farklı güçteki yağlı transformatörlerde güce göre hangi kaybın arttığı ve kayıpların önlenmesi için neler

yapılması gerektiği üzerine durmuştur. Bakır kaybı akım ile değişmektedir. Bakır kaybı demir kaybından daha büyük olan transformatörler, bakır demir kaybı birbirine yakın olan transformatörlere göre daha düşük yüklenme oranına sahip olurlar. Demir kaybı arttıkça transformatör gücü de arttığı oranda verimlilik artmaktadır. Bu çalışmada karşılaştırılan transformatörlerde de, transformatör gücü arttıkça kayıpların da arttığı görülmektedir. Bakır kayıpları yüklenme ile değişse de, demir kayıplarının önüne geçmek zordur. Bu nedenle transformatör gücü seçimi önem arz etmektedir.

Kaya ve arkadaşları 2018 yılında yayınladıkları "Energy Efficiency Based Load Transfer Transformer Analysis" adlı bildiri ve "On power transformers energy efficiency based load transfer analysis" adlı makale çalışmalarında, paralel bağlı çift transformatör kullanımı, yük aktarımı ve enerji verimliliği üzerinde durmuşlardır (Kaya vd., 2018).

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Gerçekleştirilen çalışma ile transformatör güçlerinin gereğinden fazla büyüklükte seçimini engelleyerek, gerekli değerlerde transformatör gücü seçiminin sağlanması hedeflenmiştir. Böylece, enerji kaybını en aza indirmeyi sağlayan, maliyeti azaltan ihtiyaç duyulan yüke ve zamana göre transformatör devreye alan paralel bağlı transformatörlerin olduğu bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda, başlangıç olarak enerjide yapılacak tasarruf ele alınmaktadır. Oluşan tüm olumlu olumsuz durumlar değerlendirilerek, çalışmanın yararlı hale gelmesi ve bilimsel veriler kullanılarak en doğru sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Tesislerin kuruluşunda enerji nakillerinde güç hesabı bazen ileriye düşünerek yapılmak zorundadır. Üzerine karmaşık güç hesapları da eklendiği zaman tedarikçiler kendini de güvenceye almak için bir üst kademe transformatör gücü ya da daha ilave değerli transformatör seçebilmektedir. Bunun önüne geçebilmenin bir yolu da paralel bağlı transformatörlerin kullanımınıdır.

Bu teze, uygulamalı çalışmalar ve sonuçları eklenerek çalışmanın gerçek sistemlere uygulanabilirliği gösterilmek istenmiştir. Bu amaçla, transformatörlerin en verimli şekilde çalışması için paralel bağlı transformatörler üzerinde durulmuştur. Planlı tesis ve kuruluşların verimli bir şekilde çalışabilmesi ve en az maliyet ile üretim yapması için büyük transformatör güçlerinden kaçınarak kayıpları azaltması, çalışmanın kapsamı dâhilindedir.

Yapılan çalışmalarda transformatör kayıplarının öneminden bahsedilmiş, farklı tip

transformatörlerde kayıplar ele alınmıştır. Kayıpların sıfıra inmesi imkânsızdır, ancak seçim ve hesaplamadan doğacak kayıpların önüne geçilebilir. Paralel bağlanma şartları göz önünde tutularak, müşterek bağlı transformatör güçleri gerekli duyulduğunda paralel bağlantılar yapılarak artırılabilir. Bu sayede hem transformatörler tam yükte çalışarak verimleri artırılmış olur, hem de gereksiz kayıpların önüne geçilebilir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Yapılan çalışmada teorik hesaplamalar ile elde edilen çıkarımlar doğrultusunda, çalışmanın kapsamı uygulamaya yöneltilmiştir. Transformatörlerin tam yükte ve yüksüz durumdaki kayıpları hesaplanarak, değişken yüke sahip tesislerin transformatör seçimlerinden dolayı yaşadığı kayıplar incelenmiştir. İki farklı güçteki transformatörün değişken yük durumunda devreye girip çıkışını sağlamak ve uygun yüke uygun güçte transformatör seçimi sağlamak istenmiştir. Oluşturulan devreye, farklı güçteki yükler bağlanarak, istenilen şartların sağlanması ile gerekli olan transformatörü devreye almak amaçlanmıştır. Devrede ölçülen akım değerleri, belirli zaman aralıklarına tabi tutularak veriler gözlemlenmiştir.

Tesislerin mevsimsel olarak farklı üretimde çalışması normaldir. Bazen de tüketim sahalarında plansız büyümeler olabilmektedir. Her ne olursa olsun, elektriksel tüketim gücünde her zaman için azalma ya da artma ihtimali mevcuttur. Kış aylarında kapanan bazı tesislerde beklenilenden fazla gelen faturalar ya da güç kullanım oranındaki düşmeye rağmen aynı oranda düşmeyen maliyetlerin önemli nedenlerinden biri transformatör kayıpları olarak nitelenebilir.

Transformatörlerden hiç güç çekimi dahi olmasa, primer tarafındaki gerilim kesici ile enerjisi kesilmediğinde, yüklü çalışmaya göre azalsa da, bakır ve demir kaybı oluşmaktadır. Yüksek güçteki transformatörlerde bu kayıp, düşük güçteki transformatörlere göre bir hayli fazladır. Bu sebeple, transformatör gücü seçimi, ya da paralel bağlantılarla gücü büyütme ya da küçültmenin kayıplar üzerindeki önemi daha iyi anlaşılabilir. Düşük kapasitelerde düşük güçlü transformatörlerle, yüksek kapasitelerde yüksek güçlü transformatörlerle besleme yapmak, kaybı en aza indirdiği gibi yüklenme oranlarındaki artış, verimi de en üst seviyeye çıkaracaktır.

Yapılan bu uygulamada benzer biçimde çalışan tesisler göz önüne alınmıştır. Transformatör sayısı, devreye girme süreleri ve güçleri istenildiği gibi yazılım ile ayarlanabilmektedir. Yükün az olduğu zaman dilimlerinde küçük güçlü transformatörler

devrede tutulurken, yükün fazla olduğu zaman dilimlerinde büyük güçlü transformatörler devreye alınmaktadır.

Gerek küçük güçteki transformatörlerden büyük güçlü transformatörlere, gerekse büyük güçteki transformatörlerden küçük güçlü transformatörlere yük aktarımı gerçekleştirilmesi, yazılım kontrollü olarak, anlık değışimlerden etkilenmeksizin kararlı olarak gerçekleştirilmektedir.



2. TRANSFORMATÖRLER

Frekansta değişiklik yapmadan indüksiyon yolu yardımı ile akım ve gerilim ayarı yapmamıza olanak veren elektrik makinesine transformatör denir. Hareketli bir parçası olmamasına karşın enerji dönüşümü yapabilmektedirler. Transformatörlere kısaca trafo da denilmektedir. Transformatörlerden özellikle de güç transformatörleri elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında büyük önem taşır.

Elektrik enerjisini diğer enerji türlerine göre bir adım öne çıkaran özellik, çok uzak mesafelere kolayca taşınıyor olmasıdır. Taşımada yüksek akımlar kayba sebebiyet verdiği için gerilim olabildiğince yüksek tutulur. Elektrik enerjisi doğru ya da alternatif akım şeklinde üretilir. Doğru akımda yüksek gerilim ile iletimler son yıllarda kendini göstermektedir. Ancak iletimde istenilen düzeylere ulaşılamamıştır. Doğru akıma karşılık alternatif akımın, transformatörler vasıtasıyla kolaylıkla düşürölüp yükseltilmesi alternatif akımı hep üstün konumda tutmuştur. Güç ve frekansı değiştirmeden, gerilim ve akımda istenilen düzeyde ayar yapmayı sağlayan transformatörler alternatif akımın en önemli elemanı halindedir. Şekil 2.1’de barajda üretilen enerji Şekil 2.2’de iletilmekte, Şekil 2.3’de ise düşürme işlemine tabi tutulmaktadır.



Şekil 2.1. Elektrik enerjisinin üretilmesi ve alternatif gerilim ile yükseltilmesi (TMH, 2006).



Şekil 2.2. İletim hattı(Kalenderli, 2019).



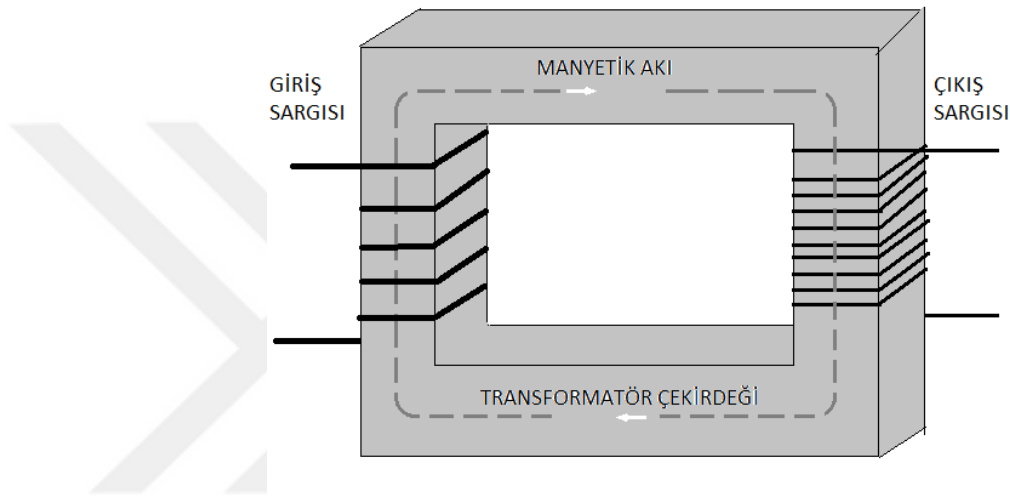
Şekil 2.3.Gerilimin düşürülmesi işlemi (Özkan, 2014).

2.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışması

Yapısı silisli ince saclardan oluşan(oksijen silisyum ve silis bulunan dayanıklı

malzeme) tamamen kapalı manyetik gövde ve gövdeye sarılmış bakır sargılardan meydana gelen elektrik elemanına transformatör denir. Transformatör yapısında iki sargı bulunur. Giriş sargısına primer (birincil) sargı, çıkışa ise sekonder (ikincil) sargı denir.

Yaygın tarz kullanılan transformatörlerde, giriş ve çıkış sargıları elektriksel olarak birbiri ile bağlantı içermez. Giriş çıkış ve nüve birbirleri arasında yalıtımlıdır. Yalıtımda bakalit, mika, kağıt yalıtkanlar, plastik maddeler, çeşitli yağlar, pertinaks ve ağaç takozlar gibi bazı maddeler tercih edilir. Genel transformatörün yapısı Şekil 2.4'deki gibidir.



Şekil 2.4. Transformatörlerin yapısı ve çalışması.

Transformatörün giriş sargısına alternatif bir gerilim uygulandığında nüvesinde manyetik alan meydana getirir. Manyetik alan demir nüveden değişken bir tarzda akarken sargıları üzerinde emk indükler. Girişteki alternatif gerilimin temel yapısında zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti frekansa bağlı olarak, manyetik alanında yönü ve şiddeti değişir ve bu değişken manyetik alan, çıkış sargılarında alternatif bir gerilim indükler. Böylece dönüşüm oranına bağlı olarak bir gerilim elde edilir.

Transformatörün birincil sargısına doğru akım ya da gerilim uygulandığında manyetik alan meydana gelir. Ancak doğru gerilimin yapısı gereği zamanla yönü ve şiddeti değişmediğinden ikincil sargıda manyetik alan oluşturamaz. Buna karşın doğru gerilimin uygulandığı ya da kesikli şekilde verildiği anlarda değişim olur. Bu değişim kısa süreli olarak sekonderde gerilim indüklemesi yapar. Doğru gerilim uyguladığımız primer sargı devresine, devreyi seri şekilde açan kapatan “TTL Devresi” denilen bir devre elemanı eklenirse primer sargılara sanki alternatif gerilim uygulanmış olacağından, çıkış

sargılarında alternatif gerilim elde edilecektir.

Her şartta transformatör yapısı gereği sekonder sargıdan gerilim alabilme şartı olarak girişte uygulanacak zamana göre, yönü ve şiddeti değişen gerilim ve akıma ihtiyaç duyulur. Bu şart sağlanmadığı sürece sekonder sargılarda gerilim alınması mümkün olamayacaktır (Şendil, 2011).

2.2 Transformatörlerde İndüklenen Emk Değeri ve Dönüştürme Oranı

Transformatörlerde indüklenen emk değeri ve dönüştürme oranının bilinmesi ve hesaplamalarda kullanılabilmesi, akım ve gerilim uyumluluklarının sağlanabilmesi için büyük önem taşır. Transformatörlerde indüklenen emk;

$$E1 = 4,44 \cdot f \cdot \phi_{\max} \cdot N1 \cdot 10^{-8} \text{ (Volt)} \quad (2.1)$$

$$E2 = 4,44 \cdot f \cdot \phi_{\max} \cdot N2 \cdot 10^{-8} \text{ (Volt)} \quad (2.2)$$

eşitlik 2.1' ve eşitlik 2.2'deki gibidir. Buradan primer ve sekonder gerilimleri;

$$U1 = 4,44 \cdot f \cdot \phi_{\max} \cdot N1 \cdot 10^{-8} \text{ Volt (primer)} \quad (2.2)$$

$$U2 = 4,44 \cdot f \cdot \phi_{\max} \cdot N2 \cdot 10^{-8} \text{ Volt (sekonder)} \quad (2.3)$$

Tur başına indüklenen gerilim $U_s = U1/N1$ veya $U_s = U2/N2$ 'dir. Buradan dönüştürme oranı "k" ;

$$k = \frac{U1}{U2} = \frac{N1}{N2} = \frac{I1}{I2} \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Her transformatörün dönüştürme oranı sabittir.

Formülde bulunan değerlerde

E1: Primer sargıda indüklenen EMK (Volt)

E2: Sekonder sargıda indüklenen EMK (Volt)

U1: Primer sargıya uygulanan gerilim (Volt)

U2: Sekonder sargıdan alınan gerilim (Volt)

N1: Primer sargısı tur sayısı (Tur)

N2: Sekonder sargısı tur sayısı (Tur)

I1: Primer sargısı akımı (Amper)

I_2 : Sekonder sargısı akımı (Amper)

k : Dönüştürme oranı (sabit)

U_s : Tur başına oluşan gerilim (Volt/Tur)

f : Frekans (Hz)

$\phi_{\max}$: Manyetik akı (Weber),

2.3 Transformatörlerin Çalışma Karakteristiği

Enerji transferi yapılırken her makinenin yaşadığı gibi transformatörler de yüzde yüz verim ile çıkış vermez. Enerjide kayıplar meydana gelir. Transformatörlerdeki kayıplar, nüve manyetik akısı üzerindeki histerisiz ve fukolt kayıpları ile sargı dirençleri üzerindeki bakır kayıpları olarak meydana gelir. Histerisiz ve fukolt kayıpları manyetik esaslıdır, yük akımı ile ilişkisi az olduğundan ekseriyetle boş çalışma gücü içerisinde ele alınır. Bakır kayıpları transformatörün yüklenmesi ile meydana çıkar ve yük değişimi ile orantılıdır. Anlaşılabacağı üzere manyetik esaslı kayıplar sabit kayıp, yük esaslı bakır kayıpları ise değişken kayıp olarak adlandırılır. Eşitlik 2.5'te boşta çalışma anında çok küçük akım değeri olduğundan boşta kayıp histerisiz ve fuko kayıplarından oluşan demir kayıplarıdır (İlgaz, 2017). Bakır kayıpları ise Eşitlik 2.6' da belirtildiği gibi sargı direnci ile artar.

P_0 : Boşta kayıp.

P_{his} : Histerisiz kayıp.

P_{fuko} : Fuko kaybı.

P_{cu} : Bakır kaybı.

$$P_0 = P_{his} + P_{fuko} \quad (2.5)$$

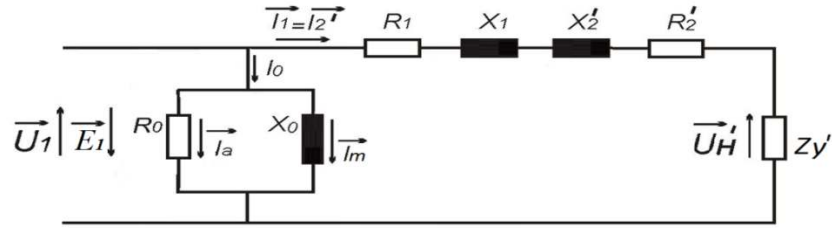
$$P_{cu} = I^2 \times R \quad (2.6)$$

Transformatörlerin tam yükte iken verimliliği en üst seviyeye çıksa da, bakır kayıpları da en yüksek değerine ulaşır. Tam yük verimliliğinin oluşabilmesi için transformatörde tam güçte enerji talebi olması gerekir. Tam yükte çalışma gerçekleşmeyen transformatörlerde ise, çekilen sabit güç kayıpları nedeniyle, verimde düşüşler meydana gelir.

2.4 Transformatörlerin Eşdeğer Devresi

Transformatörlerin hesaplamalarında, anma parametreleri ve yük parametrelerinin dikkate alındığı eşdeğer devreler kullanılır. Şekil 2.5'te transformatörlere

ait bir fazlı eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2.5. Transformatorlerin eşdeğer devresi (Yağcı ve Ürkmez,2009).

Transformatorlerin akıma bağlı değişken kayıpları, güç çekilmediğinde ortadan kalkarken, manyetik esaslı güç kayıpları sabit kalarak değişmemektedir. Bu durum ise, özellikle büyük güçlü transformatorlerde, yüksüz yada küçük yüklerde çalıştırılmaları durumunda, kayıp oranını arttırarak verimsizliğe yol açmaktadır. Buna karşılık, güç talebine uygun büyüklükte transformator çalıştırılması durumunda, transformator etiket gücüne yakın güçte çalışacağından verimlik de artacaktır. İhtiyaç olmaksızın güç ve enerji kullanımı ile transformator enerji verimliliğinde bir artış olsa bile, daha üst aşamalarda değerlendirilen enerji verimliliği olumsuz etkilenecektir.

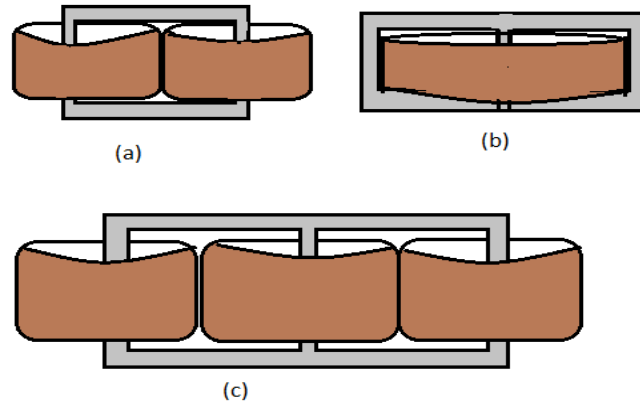
2.5 Transformator Çeşitleri

Transformatorler kullanım yeri amacı, işlevi birçok özelliğine göre sınıflandırılabilir. Bu anlamda alçaltıcı yükseltici, akım gerilim, bir fazlı üç fazlı gibi birçok şekilde duyabiliriz. Transformatorler nüve tipi, faz sayısı, çalışma ortamı ve kullanım amacı gibi farklı şekillerde değerlendirilerek de sınıflandırılabilirler.

Nüve tipine göre adlandırmalar;

- Çekirdek tipi transformator
- Mantel tipi transformator
- Dağıtılmış tip transformator

olarak sıralanabilir. Şekil 2.6'da transformator nüve türleri görülmektedir. Burada, (a) çekirdek tip nüve, (b) mantel tipi nüve (c) ise üç fazlı nüveyi ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Transformator nüve türleri.

Faz sayısına göre;

- Bir fazlı transformator
- Çok fazlı transformator

Çalışma ortamına göre;

- Yeraltı transformator
- Sualtı transformator
- İç mekan transformator

olarak sınıflandırılır.

Bir transformatorde çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek ise yükseltici, düşük ise alçaltıcı transformator anlamına gelir. Genel anlamda transformatorler;

- İletim transformatorleri
- Dağıtım transformatorleri
- Güç transformatorleri
- Yalıtım transformatorleri
- Ses frekans transformatorleri
- Kontrol transformatorleri
- Ölçü transformatorleri

olarak da sıralanabilir(Aşkın, 2011).

3. TRANSFORMATÖRLERDE KAYIPLAR ve ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji tasarrufunun her zaman ciddi anlamda yararı vardır. En çabuk fayda ise üretici ve tüketicilere ulaşan maliyetlerdeki ciddi düşüşlerdir. Enerji üretimi büyük oranda fosil kaynaklara dayanan ülkemizde, bu tasarruf ülke menfaatlerine yaradığı gibi dışa bağımlılığı da azaltacaktır. Enerji tasarrufu ile doğa korunmuş ve çevreye verilen zarar en aza indirgenmiş olacağı gibi, geleceğe daha yaşanır bir dünya bırakılmış olacaktır (Çetin, 2004).

Hidroelektrik enerji üretim yeteneğinin %25 kadarını kullanan, yenilenebilir enerji üretimi henüz yeteri seviyelere ulaşmayan olan ülkemiz, üretilen enerjinin %20 ye yakını kayıp ve kaçak olarak kaybetmektedir. Bu kayıpların da etkisiyle, ülkemiz üretimde dünya'da 24'ncü olmasına rağmen, kişi başına elektrik enerjisi tüketiminde ancak 76'ıncı olabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran %6 ile %10 arasında olurken, OECD ülkelerinde %7'dir. Enerji kaynaklarının bu derece kısıtlı olduğu ülkemizde enerjinin verimli bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Burada, enerji iletim ve dağıtımında önemli bir yer tutan transformatörlerde oluşan kayıplar ele alınmıştır. Transformatörlerde oluşan kayıpların küçük olması, enerji verimliliğine katkı yaptığı gibi, uygun güçte transformatör kullanımı da bu katkıyı arttıracaktır. Bu kapsamda, transformatörlerde oluşan demir ve bakır kayıpları öncelikle ele alınacaktır.

Ticarî rekabet, transformatör üreticilerini piyasaya mümkün mertebe rekabet edebilir ürünler sürmeye sevk etmiştir. Müşterileri ilk başta etkileyen bu ucuz ürünler, işletme maliyeti bakımından aslında mali açıdan uzun vadede pahalı olandır. Zira ekonomikliğin tayininde teknik tasarımdan daha ziyade verimlilik, arıza ve bakım masrafı gibi başka masraflar rol oynarlar.

İlk kurulumda kalitesi düşük ve verimsiz olan ürünler tercih edildiğinde başlangıç maliyeti düşük bile olsa uzun vadede yatırım payı, bakım masrafları ve kayıplardan dolayı oluşan masraflar artar. İlk kurulumda kaliteli ve verimli olan ürünler tercih edildiğinde ise maliyet payı sürekli azalacağından, ilk aylarda yüksek olan mali bilanço amortisman süresinin sonlarına doğru düşmeye başlamaktadır.

Benzer biçimde, başlangıçta yüksek olan kaliteli transformatörün ömrü boyunca oluşacak mali kayıpları belli bir maliyet üzerinden oluşabilecek finans hesabı ile bulunur. Teknik ve ekonomik incelemelerde sabit bir yatırım payı ile hesap yapılırken Eşitlik

3.1’de verildiği gibi bileşik faiz formülü ile bulunur ve tesis bedelinin yüzdesi olarak verilir;

$$P = P_c + P_a = P_f \quad (3. 1)$$

Burada "P_c" faizleri, "P_a" faiz hesabına benzer surette hesaplanan yıpranma paylarını, yani amortismanları göstermektedir (Wilhelm, 1959).

3.1 Demir Kayıpları

Manyetik akının yönünün ve şiddetinin değişmesi, malzemenin histerisiz etkisinden dolayı transformatörde ısınma olarak ortaya çıkar. Bu ısınma transformatörde enerji kaybı ve verimin düşmesine neden olur. Sıcaklık, transformatör sargı ve nüvelerinin izolasyonuna zarar verir ve transformatör ömrünü azaltarak verimliliğini düşürür. Difüzyon etkisi nedeniyle, her 8 derecelik artışta transformatör ömrü yarı yarıya düşeceğinden soğutma sisteminin sürekliliği sağlanmalıdır.

Transformatörlerde demir kaybı manyetik alan içerisinde histerisiz ve girdap akımlarından kaynaklı oluşan sıcaklıktan meydana gelir. Transformatörün yapısı gereği giriş ya da çıkıştaki sargıda akım ve gerilimde oluşabilecek herhangi bir değişimi diğer sargıda da değişime neden olacaktır. Yani, çıkış tarafında herhangi bir yük olmasa dahi, primere uygulanan gerilim, oluşturduğu manyetik alan ve boş çalışmadan dolayı kayıplara neden olacaktır. Boş çalışmada oluşan bakır kayıpları çok az olduğundan, kayıplar büyük ölçüde demir kayıplarından oluşmaktadır. Demir kayıpları ise başlıca histerisiz ve fuko (fukolt) kayıpları olarak ele alınır;

Histerisiz Kaybı: Manyetik alana maruz kalan bazı maddeler sürekli yada geçici olarak manyetiklik özelliği gösterir. Oluşan bu manyetiklik transformatörün manyetik alanına terstir ve ısı enerjisi olarak açığa çıkar kayıp olarak adlandırılır. Bu kayba histerisiz kaybı denir. Histerisiz kaybı, nüvedeki moleküllerin birbirleri ile olan etkileşiminde sürtünmeler ile ısı enerjisi kaybına yol açar.

Fuko (Fukolt) Kaybı: Nüve üzerine sarılı bobinden akım geçince nüvede gerilim indüklenir. Nüvede oluşan gerilim nüve üzerinde kendi arasında kapalı çevrim olarak akım yolları oluşturur. Bu olay nüve yüzeyi ile sınırlı kalmayıp iç kısımda da oluşur. Elde edilen bu akımlara fuko akımları (eddy akımları) denir. Fuko akımlarının geçtiği devreler kapalı minik halka şeklindedirler. Minik halka devre yollarında oluşan akımlar uygulanan gerilim şiddetine bağlıdır. Bu kapalı alan akım şiddeti yol direnci ile ters orantılıdır.

3.2 Bakır Kayıpları

Transformatörlerde primer (birincil) sargılarda, sekondere yük bağlanmamış olsa bile sargı dirençlerinden dolayı kayıp meydana gelir. Bu kayıplar ısı olarak ortaya çıkar ve soğutma sistemiyle transformatörden dışarıya atılmalıdır. Eğer transformatör yüklenmiş ise bu defa hem giriş hem de çıkıştaki sargı dirençlerinde kayıplara yol açar. Bu kayıplar sargıların direncinden kaynaklandığından bakır kayıpları olarak adlandırılır.

Yüklü bir transformatörde oluşan bakır kayıpları, yüksüz ya da düşük güçte çalışan bir transformatöre göre çok daha fazla gerçekleşir. Bu durum, Eşitlik 3.2'de görüldüğü gibi bakır kayıplarının geçen akımın karesi ile artmasından kaynaklanır.

$$P = I^2 \times R \quad (3.2)$$

3.3 Transformatörlerde Enerji Verimliliği

Transformatörler her ne kadar verimi yüksek olsalar da, kalitesi düşük transformatör tercihi, uygun güçte transformatör çalıştırılmaması gibi sebeplerden dolayı enerjinin verimli kullanılmasını etkilemektedirler. Yapılan değerlendirme ve örneklerde de görüleceği gibi, birçok transformatör yanlış seçim ile meydana gelen güç ihtiyaçlarını karşılamak için olması gerekenden daha fazla kayıp ile çalışmakta ve verimleri azalmaktadır.

Transformatör kaynaklı olarak enerji verimliliğinin arttırılması hedeflendiğinde ise, seçilen transformatörün kaliteli olmasının yanında, uygun güçte seçilmesi de önem arz etmektedir. Transformatör kaynaklı olarak enerji verimliliği, önemsiz olarak algılanmamalıdır. Çünkü enerji verimliliğinde önemli oranlara ulaşabilmek için küçük kabul edilen bileşenler dikkate alınmalıdır.

3.4 Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar

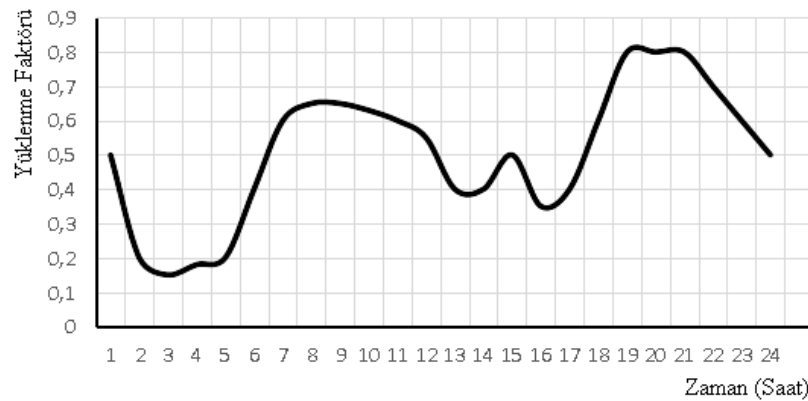
Dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıplarda transformatörler de ele alınmalıdır. Bu kapsamda burada, transformatörlerde enerjinin verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı, gerekli düzenlemeler ve seçimler ile yapılacak olan iyileştirmelerin kazanımları üzerinde durulmuştur.

Tavşanlı Belediyesi enerji iletim dağıtım hattında Ocak 2004'den Ocak 2005'e yapılan ölçümlerde ulaşılan kayıp enerji miktarı 4.532.936 KWH ve dağıtımı yapılan enerjiye oranla %11,01 değerinde olduğu görülmüştür. Bu kayıplar evrensel olarak kabul görülen, önlenemeyen ya da önlenemeyen kayıplardan oluşmaktadır. Önlenemeyen

kayıplar transformatör yapısından meydana gelen kayıplardır ve adı üzerinde önüne geçilemez ama en aza indirilebilir kayıplardır. Önlenebilir kayıplar ise, tamamen hesaplama, hatta bağlı yüklerle ilgili olan ve sisteme kazandırılabilen kayıplardır(Sargın ve Terz, 2008).Tavşanlı Belediyesindeki kayıpların genel yapısı;

- OG transformatörlerde oluşan kayıplar
- AG transformatörlerde oluşan kayıplar
- OG dağıtım hatlarında oluşan kayıplar
- AG dağıtım hatlarında oluşan kayıplar

olarak sınıflandırılmıştır. Sadece transformatörlerde meydana gelen kayıplar 2005 yılı Tavşanlı Belediye'sinin 1 yıllık sokak aydınlatmasını karşılamaktadır. Şekil 3.1 incelendiğinde kayıpların nedenleri, çeşitli saatlerde düşük yüklenmeden dolayı meydana gelen verim düşüklüğü ve buna istinaden seçilen yüksek güçteki transformatörler oluşturmaktadır.



Şekil 3.1. Tavşanlı şebekesi yüklenme eğrisi (Sargın ve Terz, 2008).

3.5 Transformatör Seçiminde Serinin ve Gücün Önemi

Transformatörlerde kaybı belirleyen en önemli iki etken transformatör gücü ve tipidir.

Çizelge 3.1'de farklı güçteki ve tipteki transformatörlerin kayıpları nasıl etkilediği gösterilmiştir. .

Çizelge3.1. Anma gücüne göre transformatör kayıpları(Çınar vd., 2014).

	Yağa Daldırılmış Nüve ve Bobinler						Uk
	Boştaki Kayıplar (W)			Yükteki Kayıplar (W)			
	A'	B'	C'	A	B	C	
50	190	145	125	1100	1350	875	4
100	320	260	210	1750	2150	1475	
160	460	17	300	2350	3100	2000	
250	650	530	425	3250	4200	2750	
400	930	750	610	4600	6000	3850	
630	1300	1030	860	6500	8400	5400	
630	1200	940	800	6750	8700	5600	6
1000	1700	1400	1100	10500	13000	9500	
1600	2600	2200	1700	17000	20000	14000	
2500	3800	3200	2500	26500	32000	22000	

Transformatörlerde kayıplar; çalışma durumuna göre boшта ve yükteki kayıplar olarak ele alınıp incelenmektedir.

Yüklenme oranından bağımsız olan demir (nüve) kayıpları transformatör enerjili olduğu müddetçe mevcuttur. Histeresiz ve eddy kayıpları olarak adlandırılan bu kayıplar boшта çalışma kaybı olarak geçer. Yüklenme oranına bağılı kayıplara bakır ya da kısa devre kayıpları denilir. Yüklenme oranı artan transformatörün yapısında bulunan bakır sargılar da kaybı artırır. Nüve ve bakır sargılarında meydana gelecek bu kayıpları en aza indirmek için yapılan her çalışma, direkt olarak verime etki edecektir.

Demir kayıplarını en aza indirmenin yolu, nüve imalatında kullanılacak olan malzemenin manyetik geçirgenlik performansına bağılıdır. Nüve tasarımı, çeşidi hatta dizim ve yerleşimi bile nüvede oluşacak kayıpları dolayısı ile verimi etkiler. Nüve kesiti ile üzerinde oluşacak manyetik akı yoğunluğu doğru orantılıdır. Nüve kesiti arttıkça verim (azalan demir kaybından dolayı) artacaktır. Günümüzde kullanılan en belirgin malzeme amorf malzemeler olup, düşük kayıplarından dolayı nüve üretimlerinde tercih edilirler. İmalatta amorf malzemelerin yardımı ile boş çalışma kayıplarının %70 oranında azalabilmesi mümkündür (Çınar vd., 2014).

Yükte çalışmalarda sargıda oluşacak kayıp akımın karesi ile doğru orantılıdır. Transformatör ne kadar çok yüklenirse bakır kaybı artan akım ile artacaktır. Sargı iletken kesiti artırılırsa kayıp düşecektir. Düşen akım yoğunluğu kaybı düşürse de, transformatörün ilk üretim maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Yani, transformatör

sargılarının üretiminden nüve bacaklarına yerleştirilmesine kadar olan tüm detaylar verimi doğrudan etkilemektedir. Tüm bu üretim aşamaları küçük güçlü transformatörlerde otomatik makine ve cihazlarla yapılırsa da, büyük güçlü transformatörlerde halen insan gücü kullanılmaktadır.

Çizelge3.2. İlk satın alma maliyetleri (Schneider,2015).

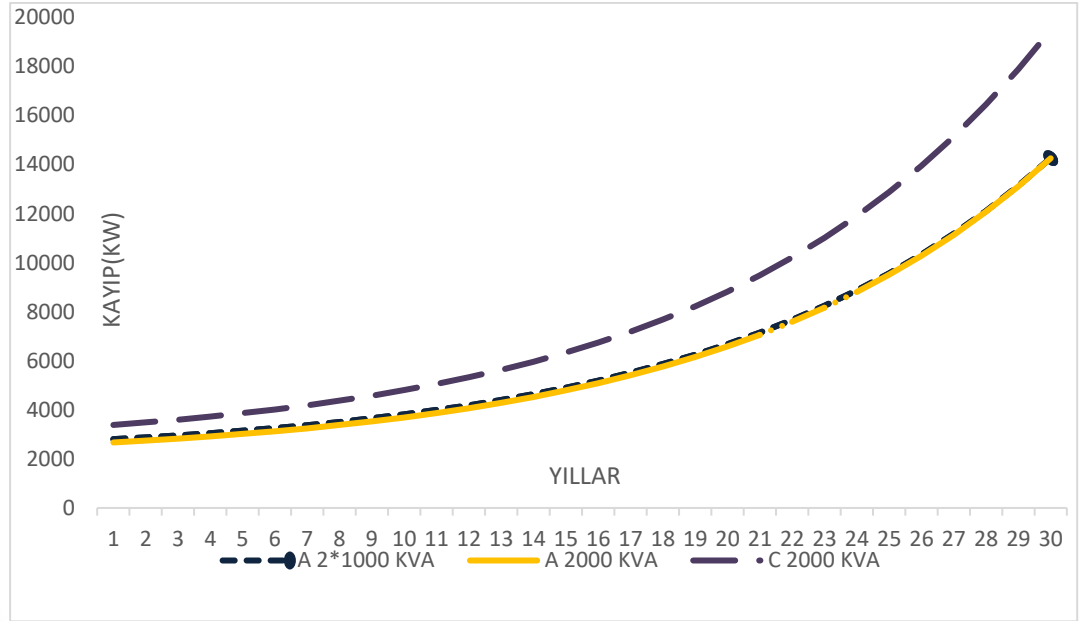
Anma Gücü (KVA)	Kayıp Sınıfı	Boşta Kayıplar (W)	Yükte Kayıplar (W)	Fiyat (Euro)
2000	ODT2000KVA-C(C sınıfı)	3300	25000	26 199
2000	ODT2000KVA-D(A sınıfı)	2700	18000	31 393
1000	ODT1000KVA-D(A sınıfı)	1450	8900	18 541

Çizelge 3.2’de belirtilen transformatör ilk kurulum maliyetinde sadece transformatör fiyatları verilmiştir. Transformatörlerin maliyeti, bazen ilk kurulum şartlarında yeterince değerlendirilemeyebilir. Transformatör güçleri yıllık büyüme politikaları göz önünde tutularak seçilmektedir. Örneğin 100 KVA güçteki kurulu güç %10 büyüme ile 5 yıl sonunda 161 KVA kurulu güce ulaşmaktadır. Bu şartlarda tesis kurulurken yatırımlar da bu ölçüde göz önüne alınmalıdır. Ancak transformatör ömrü normal şartlarda 30 yıl civarındadır (Tedaş, 2017). Bu ömür transformatörlerin seçiminde önemli rol oynar.

Farklı güç ve kayıp değerlerine sahip 3 transformatörün ilk kurulum maliyetleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Grafikler, transformatörlerin ilk kurulum maliyeti ve transformatör katalog değerlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur (Schneider, 2015).

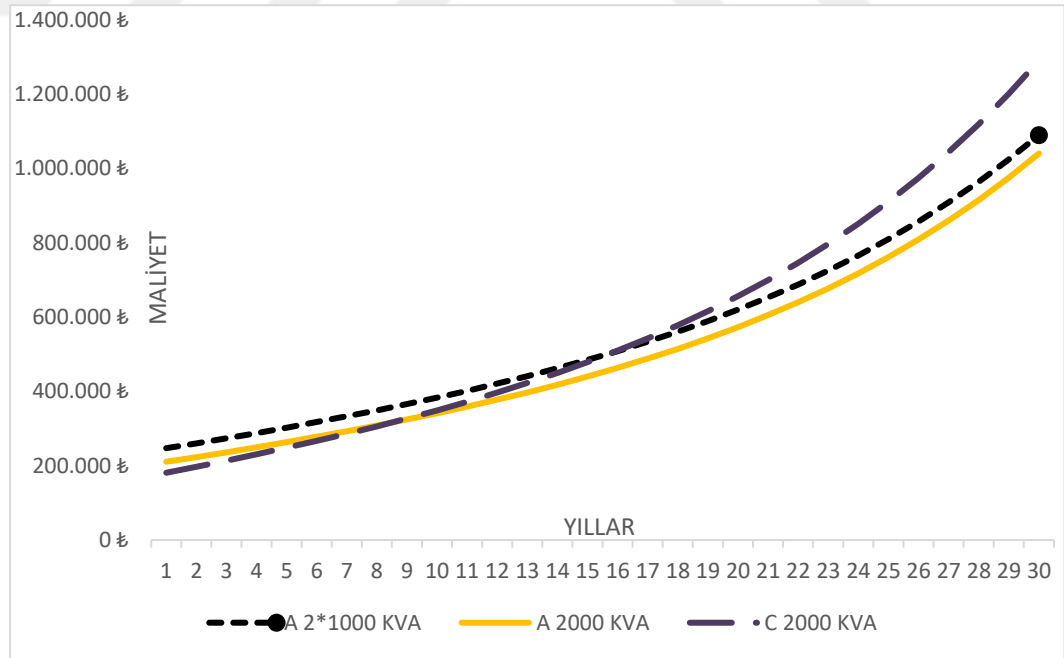
Aynı güçteki transformatörler kullanılan malzeme kalitesine göre çok farklılıklar göstermektedir. Örneğin A sınıfı 2000 KVA transformatör boşta %18.18 ve yükte %28 kadar daha C sınıfı transformatöre göre kayıp bakımından düşüktür.

Tüm bunlara binaen kullanım süreleri güçteki artışların yanı sıra kayıplar da maliyet hesabında belirleyici etkindir. Bu yüzden maliyet hesabında önemli yer tutar. Kayıpların 30 yıllık transformatör ömrüne göre tahmini Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Oluşan kayıplar.

Transformatör ömürleri yıllara göre artan güç miktarı ve kayıpların da yer aldığı toplam sahip olma maliyetleri ise sayısal veri olarak şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Maliyet değişimi.

Örnek hesaplamalarda sadece transformatör maliyetlerini değerlendirmek yeterli

değildir. Gerekli durumlarda orta gerilim şalt malzemelerinin maliyetlerini de hesaba dahil etmek daha gerçekçi sonuçlar verir. İki adet paralel 1000 KVA gücünde transformatörün kurulum ve işletme maliyetleri karşılaştırıldığında, iki transformatörün aynı anda bağlı bulunup çıkış yüklerinin de eşit olarak dağıldığı varsayılabilir.

Çizelge 3.3’de yıllara göre maliyetler gösterilmiştir. C sınıfı en ucuz olan transformatör 15. yıldan sonra 2x1000 KVA, paralel bağlı A sınıfı transformatörlerden işletim, bakım ve kayıp faktörleri yüzünden daha maliyetli duruma düşmüştür. A sınıfı 2000 KVA transformatör ise 9. yıldan itibaren maliyet yönünden en avantajlı duruma gelmiştir. Transformatör ömürleri göz önüne alındığında A sınıfı paralel bağlı transformatörün bile belirli zaman sonunda hem maliyet hem de işletme yönünden C sınıfına göre ne kadar uygun olduğu görülmektedir (16. yıl).

Bu tezde transformatör kayıpları değerlendirilmiş, ancak diğer devre elemanların maliyetlerini maliyet hesabına katılmamıştır. Kullanılan tüm veriler katalog değerlerinden elde edilmiştir. 30 yıllık transformatör ömrü göz önünde tutulmuş ve % 5 büyüme ile 30 yıl sonunda 2000 KVA yakınlarında bir kurulu güce ulaşılacağını varsayarak yıllara göre maliyet çizelgesini oluşturulmuştur.

Çizelge3.3. Yıllara göre maliyet.

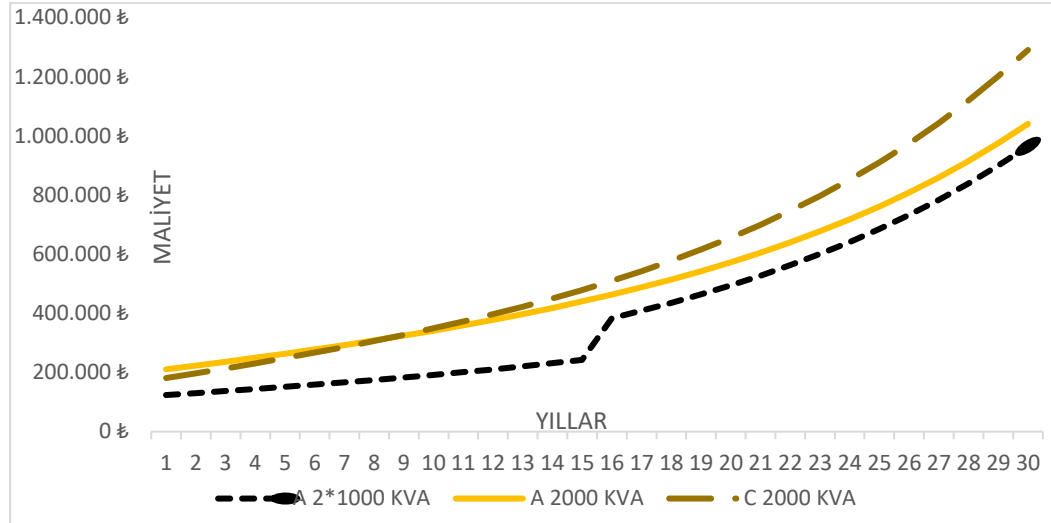
Yıl	(KW)	Toplam Sahip Olma Maliyeti		
		C SINIFI 2000 kVA	A SINIFI 2000 kVA	A SINIFI 2x1000 kVA
1	450	181.137 ₺	210.697 ₺	247.283 ₺
2	473	197.127 ₺	223.279 ₺	260.485 ₺
3	496	213.640 ₺	236.237 ₺	274.058 ₺
4	521	230.730 ₺	249.611 ₺	288.042 ₺
5	547	248.455 ₺	263.442 ₺	302.479 ₺
6	574	266.881 ₺	277.778 ₺	317.414 ₺
7	603	286.080 ₺	292.670 ₺	332.899 ₺
8	633	306.130 ₺	308.175 ₺	348.991 ₺
9	665	327.120 ₺	324.357 ₺	365.752 ₺
10	698	349.144 ₺	341.284 ₺	383.250 ₺
11	733	372.310 ₺	359.032 ₺	401.560 ₺
12	770	396.735 ₺	377.687 ₺	420.767 ₺
13	808	422.547 ₺	397.341 ₺	440.961 ₺
14	849	449.889 ₺	418.096 ₺	462.244 ₺
15	891	478.917 ₺	440.065 ₺	484.728 ₺

Çizelge 3.3. (Devam Ediyor) Yıllara göre maliyet.

16	936	509.804 ₺	463.373 ₺	508.536 ₺
17	982	542.741 ₺	488.157 ₺	533.804 ₺
18	1031	577.939 ₺	514.568 ₺	560.680 ₺
19	1083	615.627 ₺	542.773 ₺	589.331 ₺
20	1137	656.063 ₺	572.956 ₺	619.937 ₺
21	1194	699.528 ₺	605.319 ₺	652.700 ₺
22	1254	746.331 ₺	640.087 ₺	687.840 ₺
23	1316	796.816 ₺	677.505 ₺	725.601 ₺
24	1382	851.359 ₺	717.845 ₺	766.252 ₺
25	1451	910.377 ₺	761.407 ₺	810.089 ₺
26	1524	974.328 ₺	808.521 ₺	857.438 ₺
27	1600	1.043.718 ₺	859.551 ₺	908.660 ₺
28	1680	1.119.104 ₺	914.898 ₺	964.151 ₺
29	1764	1.201.101 ₺	975.005 ₺	1.024.349 ₺
30	1852	1.290.387 ₺	1.040.360 ₺	1.089.737 ₺

Buna göre, Çizelge 3.3 ve Şekil 3.3’de belirtilen değerlere bakarak, A sınıfı verimliliğe sahip transformatörün kuruluş maliyeti C sınıfı transformatöre göre fazladır. Ancak yıllar geçtikten sonra verimdeki düşüşler, boşa ve yükte meydana gelen kayıplar C sınıfı transformatörün ilk kurulum maliyetindeki avantajını yitirmesine neden olmaktadır. Aynı güçteki 2000 KVA transformatörlerden A sınıfı verimli transformatör 9. yıldan sonra avantajlı konuma geçmektedir.

Tablolara istinaden 2000 KVA transformatör ile 2x1000 KVA transformatör kayıpları birbirlerine yakındır. Ancak hesaba ilk satın alma maliyetleri girdiğinde 2000 KVAA sınıfı transformatör daha uygun görülmektedir. Paralel bağlı bu transformatörler 16 yıl sonunda yine C sınıfı transformatöre göre daha uygun hale gelse de, 30 yıllık kullanım süresi içinde 2000 KVA A sınıfı transformatörün altında kalmış olmaktadır. Burada ise göz ardı edilen 2x1000 KVA güce ihtiyaç 15. yıldan sonra hâsıl olunmaktadır. Bu önemli faktör hesaba katıldığında maliyet hesabında ciddi değişimler yaşanmaktadır.



Şekil 3.4. Paralel bağlı transformatörün 16. yılda devreye alınmasıyla oluşan maliyet değişimi.

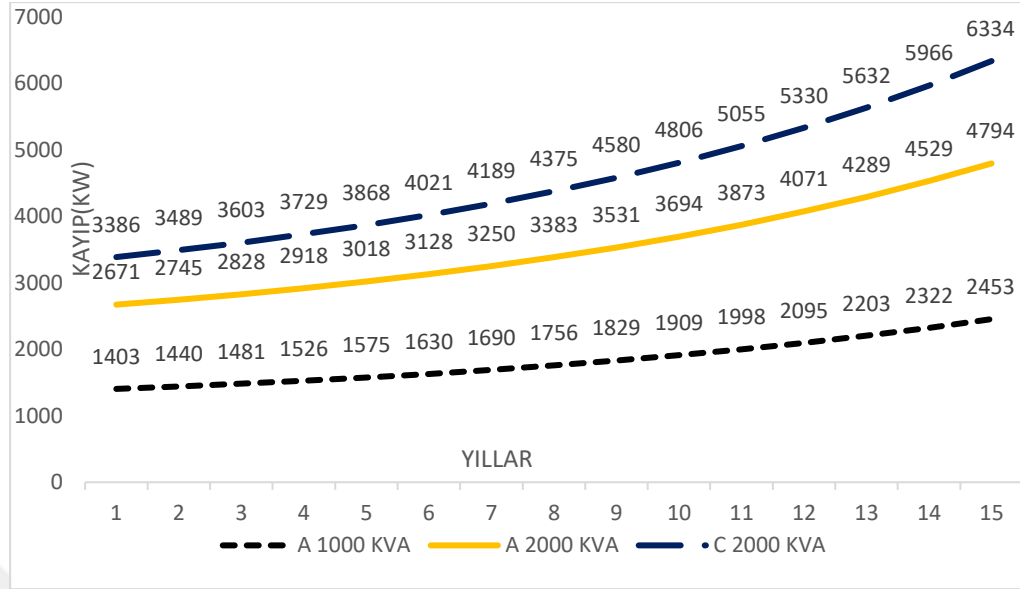
3.5.1 Transformatör gücü seçiminin kayıplara etkisi

Ülkemizde birçok transformatörün gereğinden çok büyük seçilmiş olması, dengesiz yüklenmelerin yarattığı bakır ve demir kayıpları, gereksiz yere konulan transformatörler, bakımsız transformatörlerde fazladan kayıpların oluşması, bazı bölgelerin zaman zaman değişen dalgalı yük eğrisine sahip olması, transformatörlerde güç seçiminin önemini ve kaybı azaltmanın şart olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Ülkemizde özellikle OG / AG transformatörlerinde meydana gelen kayıplar toplam üretime oranla çok yüksek değerdedir (Sargın ve Terz, 2008). Kayıp oranının yüksek olmasının nedeni, yıllık tüketimler göz önüne alındığında da görülmektedir ki tüketimden çok daha fazla transformatör gücünün tesis edilmesidir. Yapılan çalışmalar da gösteriyor ki bu tarz kayıpların önlenmesindeki en kolay yol, gereksiz olarak fazla seçilen transformatör güçlerinden kaçınılmasıdır.

Çizelge 3.3’de üzerinde durulan 30 yıllık büyüme planında, ilk 15 yılda 1000 KVA lık transformatör gücünün yeterli olması, tesise ya da dağıtım şirketine iki seçenek sunmaktadır. Ya 15 yıl kayıpları göz ardı ederek 2000 KVA’lık bir transformatör kullanmak ya da 15. yıldan sonra transformatör gücünü artırma. Bu güç artırımını yeni transformatörle yapılacağı gibi paralel bağlantı yapılarak da giderilebilir. Kayıpların göz ardı edildiği bir tesiste 15 yıl sonunda A sınıfı 2000 KVA transformatör seçilirse, fazladan 25411 KWH, C sınıfı 2000 KVA transformatör seçilirse fazladan 41 054 KWH kayıp

enerji oluşacaktır (A sınıfı 1000 KVA' ya göre).



Şekil 3.5. Farklı güçlerdeki transformatörlerin kayıpları.

3.5.2 Güç ve tipin maliyete etkisi

Yapılan çalışma bize ilk kurulum maliyeti ile ucuz gibi görünen kayıpları yüksek transformatörlerin yıllar sonra daha pahalı bir hale geldiğini göstermektedir. Bu sebeple transformatör seçimi yapılırken ilk öncelik, ömür boyu kullanım maliyeti hesabının da daha karlı olmasıdır.

Çizelge 3.3'deki gibi plana sahip bir tesiste, 1000 KVA 2 transformatörün kurulduğu andan itibaren ihtiyaç olmamasına karşın sürekli çalışır durumda bırakılması paralel bağlı transformatörün daha maliyetli gibi görünmesine neden olmuştur. 30 yıllık ömrü ve her yıl % 5 büyüme planı olan bir tesis için 15 yıla kadar 1000 KVA transformatörün yeterli olduğu görülmektedir. Bu sebeple yapılan kayıp analizlerinden 15 yıl boyunca gerek olmadığı halde çalışan 1 adet 1000 KVA transformatörün hesaplardan çıkarılması gerekmektedir. 15. yıl sonunda 5.330.913 TL maliyet değerine ulaşan 2x1000 KVA transformatörün kurulum maliyetinin de 247.283TL olduğu göz önüne alınırsa 5.083.630TL 2x1000 transformatörün 15 yıllık kaybıdır. Yaklaşık yarısına yakınının ise 15 yıl boyunca kullanılmayacak olan 1000 KVA lık transformatör kaybı olduğu görülür. 30 yıl sonunda 2000 KVA gücündeki transformatörün maliyet değeri 2x1000 KVA paralel bağlı transformatöre göre daha maliyetli olduğu görülecektir.

Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere yüklenme durumundaki kayıpların boştaki

kayıplara nazaran çok daha yüksek olduğu unutulmamalıdır. Bu durumda, 2x1000 KVA transformatörler için her ne kadar da boşa kayıpları yüksek olsa da, yükte kayıpları 2000 KVA ya göre daha düşük olmaktadır. Ayrıca 30 yıllık süreç içinde meydana gelecek transformatör arızalarında ve bakımlarında 2000 KVA lık bir sistemin paraleli olmadığı için,arıza yada bakım boyunca tesis üretime ara vermek zorunda kalacaktır. 2x1000 KVA lık transformatörlerde ise meydana gelebilecek ilk 15 yıl içindeki arıza yada bakımlarda da paraleli devreye alınabilir ve üretimin devamlılığı sağlanabilir. Son 15 yılında ise tesiste oluşacak arızada tamamen üretim durmaz ve yarı kapasitede çalışabilir.

Tüm bu detayların yanı sıra, paralel çalışmanın unutulmaması gereken sakıncaları da mevcuttur. İlk kurulum maliyetin artması, paralel bağlanma koşullarını sağlamak ve bakım onarım masrafları bu detayların başlıcalarını oluşturur.

4. TRANSFORMATÖRLERDE PARALEL ÇALIŞMA ve YÜK AKTARIMI

Tesislerde bazen günlük ihtiyaçlara bağlı olarak yük talebinde artışlar meydana gelebilir. Öyle ki yıl boyunca 1 günlüğüne bile yük 2 katına çıkabilir. Bu ihtiyacı karşılamak için çoğu zaman paralel transformatörler bağlandığı gibi transformatör ve generatörler paralel bağlanabilir. Tesislerin normal çalışmasında bu elemanlar birlikte planlı bir şekilde çalışabilir.

İlave güç ihtiyacının gerektiği durumlar her zaman için bir plan üzerinde olmayabilir. Ani arızalar gibi kesintilerde plansız şekilde transformatör ya da generatörlerin paralelliğine ihtiyaç duyulabilir. Bu durumların dışında, transformatör ya da generatörden beslenen makine ya da ekipmanın, işletme şartlarından ve yahut o anki arıza sebebinden dolayı hızlı bir şekilde beslemesinin değiştirilmesi icap edebilir.

Bu gibi işlemlere manevra adı verilir ve bu tarz olaylar her gün karşılaşılan ya da karşılaşılmaması normal olan durumlardır. Kaynak değiştirme ve paralel bağlanma uygun şartlar gerçekleşmeden yapılamaz. Bu şartlar yerine gelmeden yapılan her bağlama, tesisin normal çalışmasına zarar verecektir. Bazı tesislerde ise yeri geldiğinde kaynak değişimi ya da paralel bağlantı işleminin o an için süratle yapılması mecburidir.

4.1 Transformatörlerin Paralel Çalışması

Transformatörlerde, bir transformatörün yükü beslemede yetersiz kalması, arıza ve bakım durumlarında, diğer transformatörlerle paralel çalışma durumu gerekebilir. Paralel çalışma durumu sürekli olabileceği gibi, bu çalışmada olduğu gibi yük aktarımı durumunda geçici olarak da gerçekleşebilir.

Transformatörlerin sürekli ya da geçici olarak paralel bağlanma durumları birbirinden farklı ele alınmalıdır. Sürekli paralel bağlı transformatörlerde, enerji kayıpları ve verimlilik bakımlarından transformatörlerin paralel bağlanma şartları daha önem kazanmaktadır (Ghivi, 1988 -Şanlı, 2007- Altun, 2017). Geçici paralel bağlantılarda ise bazı şartlar göz ardı edilebilir.

4.2 Transformatörlerin Paralel Bağlanma Şartları

Transformatörlerin arıza ve bakım bir transformatörün yükü beslemede yetersiz kalması durumlarında, birlikte paralel olarak yüklenebilmeleri için bir takım ön şartların sağlanması gerekir. Bu şartlar: (Ghivi, 1988 -Şanlı, 2007- Altun, 2017).

- Bağlantı grupları ve grup açıları birbirleri ile uyumlu olmalıdır.

- Aynı baradan beslenecek transformatörlerin sargı gerilimleri eşit olmalıdır (Buna bağlı olarak, primer bara gerilimleri eşit olan paralel transformatörler için çevirme oranları da eşit olmalıdır.)
 - Transformatörlerin görünür güçler mümkünse birbirine eşit olmalıdır. Bu sağlanamıyorsa en fazla %30'luk bir farka izin verilmelidir.
 - Transformatörlerin bağlı kısa devre empedansları birbirine eşit olmalıdır. Mümkün değilse en fazla %10'luk bir farka izin verilmelidir.
 - Transformatörlerin bağlı boşa çalışma açıları ve boş çalışma akımları birbirine eşit olmalıdır.
 - Sargıların sarım yönleri ve giren ve çıkan akımların yönleri, paralel bağlanmakta olan transformatörler tek fazlı ise birbirine uyumlu olmalıdır.
- Şekil 4.1'de paralel bağlı transformatörler görülmektedir.



Şekil 4.1. Paralel bağlı transformatörler (Elektrikport, 2018).

4.3 Transformatörlerin Paralel Bağlanma Şekilleri

Birlikte çalışma gerekliliği nedeniyle, paralel bağlanması gereken transformatörler için üç farklı bağlantı türü mevcuttur:

- Primerleri ortak paralel bağlama
- Sekonderleri ortak paralel bağlama
- Primerleri ve sekonderleri ortak paralel bağlama

4.3.1 Primerleri ortak paralel bağlama

Giriş bağlantıları ortak çıkıştaki besledikleri yük farklı olan transformatör bağlantı biçimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu bağlantı şekli genelde fazlaca yüke sahip, kurulu

gücü yüksek tesislerde görülür. Bu tarz tesislerde istenilen sayıda transformatör girişleri paralel bağlantı ile elde edilir.

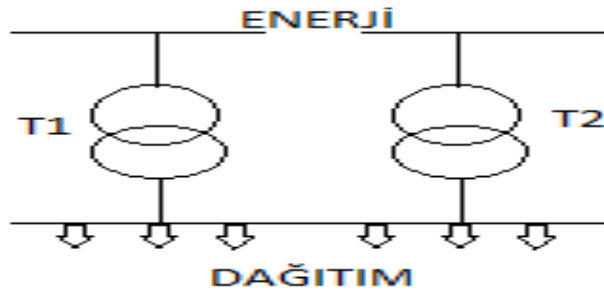


Şekil 4.2. Primerleri ortak paralel bağlama.

Şekil 4.2’de görülen paralel bağlı transformatörlerde giriş sargıları aynı yerden enerji almaktadır. Çıkıştaki dağıtım ise farklı dağıtım panolarına ulaşmaktadır. Burada standart olan bir bağlantı olduğu ve çıkışta beslenen yerler farklı olduğu için paralel bağlı transformatörlerin çevirme oranları aynı ya da farklı olabilir. Bir tesiste farklı değerde gerilim türlerine ihtiyaç varsa, bu şekilde bağlantıya rastlamak mümkündür.

4.3.2 Sekonderleri ortak paralel bağlama

Enerji alış noktaları ayrı beslenen yükün aynı olduğu bağlantı şeklidir. Giriş baraları farklı dağıtım baraları aynıdır. Bu bağlantı şekli tesislerde karşımıza sıklıkla çıkan bağlantı şekli değildir.



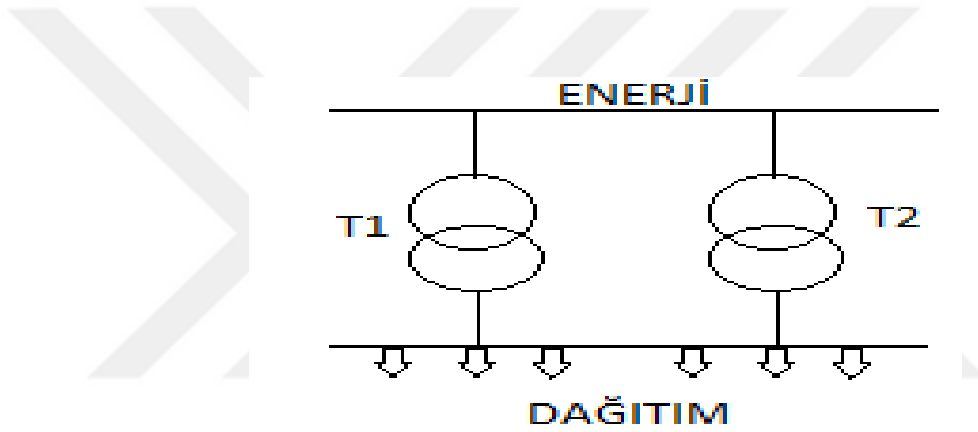
Şekil 4.3. Sekonderleri ortak paralel bağlama.

Şekil 4.3 gibi birden fazla transformatörün bağlantısı çıkışlar ortak girişler ayrı bağlantıya örnektir. Bu bağlantıya sekonderi ortak paralel bağlantı denir. Giriş gerilimleri aynı ya da farklı olabilir. Ancak dönüştürme oranları ile çıkış gerilimleri eşitlenmek

zorundadır. Eğer tesiste orta gerilim hattı var ve transformatörlerle alçak gerilime dönüştürülüyorsa ve mevcut transformatörün alçak gerilim beslemesi var ise bu bağlantıyı görmek mümkündür. Bu bağlantı birden fazla transformatör ve generatör arasında yapılabilir. Bu tarz tesislerde enerji kesintisi yaşandığında generatörler devreye girebilir. Bu şekildeki çalışma, sekonderi ortak paralel bağlamaya örnek olarak gösterilebilir.

4.3.3 Primerleri ve sekonderleri ortak paralel bağlama

En sık rastlanan bağlantı şekli olup, paralel bağlı transformatörlerin enerji kısımları ve dağıtım kısımları paraleldir. Aynı yükü beslemekte olan paralel bağlı transformatörlere ait bağlantı biçimi Şekil 4.4 gibidir.



Şekil 4.4. Sekonderleri ve primerleri ortak paralel bağlama.

Eğer bir tesiste büyüme olur ve güç yetersiz kalırsa ya da gerekmesi durumunda 2 farklı transformatörden besleme istenilir ise bu bağlantı yapılır. İki üç ya da daha fazla transformatör bu şekilde bağlanabilir. Bu bağlantı şeklinde transformatörlerin enerji aldığı bara ile dağıtım yaptığı bara ortaktır.

5. UYGULAMA ve ANALİZLER

Tesislerde ve dolayısı ile dağıtım hatlarında büyümeler bazen planlı bir şekilde gitmeyebilir ve hatta dengesiz büyümeler olabilir. Bu nedenle her zaman uzun vadede hesaplar tutmadığı için ya çok yüksek güçteki transformatörler tercih edilip kayıplar göz ardı edilir ve yahut yetersiz gelen transformatörler büyütülür. Çoğu zaman büyütme yerine transformatörlere paralel bağlantılar yapılarak bu sorun giderilir.

Diğer yandan dengesiz yük dağılımı olan tesis ve hatlarda düşünülmelidir. Sanayinin yoğun olduğu yerlerde enerji talebinde saatler arası pek de farkın olmaması sebebi ile sorunlar yaşanmasa da, sanayinin gelişmediği yerleşkelerde yüklenme oranı 24 saat aynı olmayabilir. Transformatörlerin bazen tam yük ile çalışmasına gerek duyulurken bazen ise yarı kapasitede dahi çalışmasına gerek duymaz. Yüklenme oranı düştükçe kayıpların oranı artacağından verim de düşecektir. Örneğin 08:00-00:00 saatleri arasında çalışan bir tesis için, gece sabaha kadar yüksek güçteki transformatörlerin çok küçük güçlerde çalışması, yıllık bazda ciddi kayıplara sebebiyet verir. Tüm bu sebepler bize paralel bağlı transformatörler ile manevra kabiliyetinin gelişmesi durumunda kayıp oranlarının azalarak verimin artacağını gösterir.

Mevcut transformatörler, kesici ayırıcı vs. ekipmanlar ile hergün sık sık manevralar yapmak pek sağlıklı olmasa da mevsimlik çalışan, yılın belirli bir bölümünde düşük oranda çalışan tesislerin var oluşu bu kayıpların önüne geçilmesi gerektiğini göstermektedir. Burada, 3 zamanlı tarife için, 800 KVA transformatör gücüne sahip bir tesis ele alınarak kayıplar incelenecektir. Burada;

K_c : Çekiş yönünde kayıp

P_b : Transformatör boş kaybı (Çizelge 5.1'den bakılır)

P_{cu} : Transformatör bakır kaybı (Çizelge 5.1'den bakılır)

E_c : Transformatörden aktarılan aylık enerji miktarı (KWH)

T_c : Aylık kullanım saat miktarı (h)

P_n : Nominal transformatör gücü (KVA)

$\cos\phi = 0,95$ alınacak (EPDK, 2005).

$$K_c = (P_b + P_{cu} \left(\frac{E_c}{T_c P_n \cos\phi} \right)^2) T_c \quad (5.1)$$

Çizelge 5.1. Transformatör güçlerine göre kayıplar (EPDK, 2005).

Nominal Transformatör Gücü (P_n)	İşletme Gerilimi	Boşta Kayıplar (P_b)	Yükte Kayıplar (P_{cu})
kVA	kV	kW	kW
50	15	0,19	1,10
	33	0,23	1,25
100	15	0,32	1,75
	33	0,38	1,95
160	15	0,46	2,35
	33	0,52	2,55
250	15	0,65	3,25
	33	0,78	3,50
400	15	0,93	4,60
	33	1,12	4,90
630	15	1,30	6,50
	33	1,45	6,65
800	15	1,50	8,50
	33	1,75	8,70
1.000	15	1,70	10,50
	33	2,00	10,50
1.250	15	2,10	13,00
	33	2,25	13,00
1.600	15	2,60	17,00
	33	2,80	17,00

Gündüz tarifiesi 06:00-17:00 arası olup, bir tesis için 08:00 ile 17:00 arası 9 saattir. Bu saatlerde tesis tam kapasite çalışsın. Hafta sonları 2 günden aylık 8 gün $8 \times 9 = 72$ saat boşta çalışma ile 17:00 ile 08:00 arası 15 saat, aylık, $15 \times 30 = 450$ saat. Toplamda aylık 522 saat, 1600 KVA lık bir transformatörü ilk olarak boşta saatlik tüketimi 15 KW' lık tüketim değeri ile,

$$15 \times 522 = 7830 \text{ KWH} \quad (5.2)$$

bulunur. $P_b = 2,80$ $P_{cu} = 17,00$ değerleri çizelge 5.1'den elde edilir. Buradan eşitlik 5.1'e göre,

$$K_c = 2,80 + 17,00 \left(\frac{7830}{522 \times 1600 \times 0,95} \right)^2 \times 522 = 1462 \text{ KWH} \quad (5.3)$$

Aynı işlemler 400 KVA için yapılırsa (Çizelge 5.1 den $P_b = 1,12$ $P_{cu} = 4,90$),

$$K_c = (1,12 + 4,9 \left(\frac{7830}{522 \times 400 \times 0,95} \right)^2) \times 522 = 588 \text{ KWH} \quad (5.4)$$

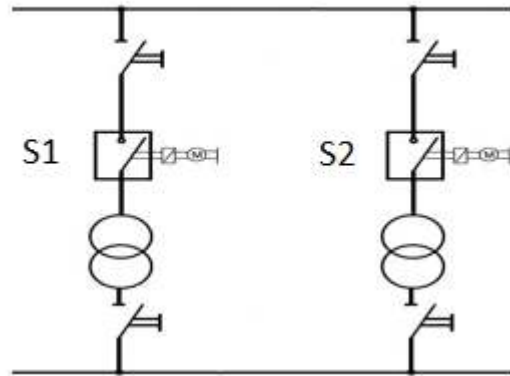
elde edilir. Buradan aylık fark $1462 - 588 = 874$ KWH olacaktır. Yıllık 10480 KWH'ın karşılığı olarak (2019 mesken tek zamanlı elektrik tarifi birim fiyat 0, 4152 TL) 4351, 296 TL yıllık fazladan kayıplara ödenen fiyat olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1 değerleri, tam yükte ve %96 verim ile yüklenmiş transformatör etiket değerleridir. Tam yükte olmayan transformatör verimleri % 80'lerin altına kadar düşebilmektedir. Yapılan hesapta tam verim etiket değerleri dikkate alınarak yapılan bir hesap olduğundan 4351,296 TL olan fiyatın %15 oranlarında artış göstererek 5003 TL değerlerine ulaşması muhtemeldir.

5.1 Enerji Verimliliği Esaslı Çift Transformatör Kullanımı

Transformatörlerde, maksimum verimliliğin sağlandığı etiket gücüne yakın güçlerde çalışmayı sağlamak, yük taleplerindeki büyük değişkenlikler nedeniyle mümkün olamasa da, asıl güç talebinin çok azaldığı, gece ve hafta sonları çalışmayan yüksek gerilim aboneleri tüketicilerde, iki kademeli besleme olarak gerçekleştirilebilir. Şekil 5.1'de yüksek gerilim aboneliğinden beslenen bir tüketici için, iki transformatörlü güç akışı, kontrol şeması olarak gösterilmiştir. Burada TR1 ve TR2, yük akımından elde edilen geri besleme bilgisine bağlı olarak, devreye alınıp çıkartılabilmektedir.

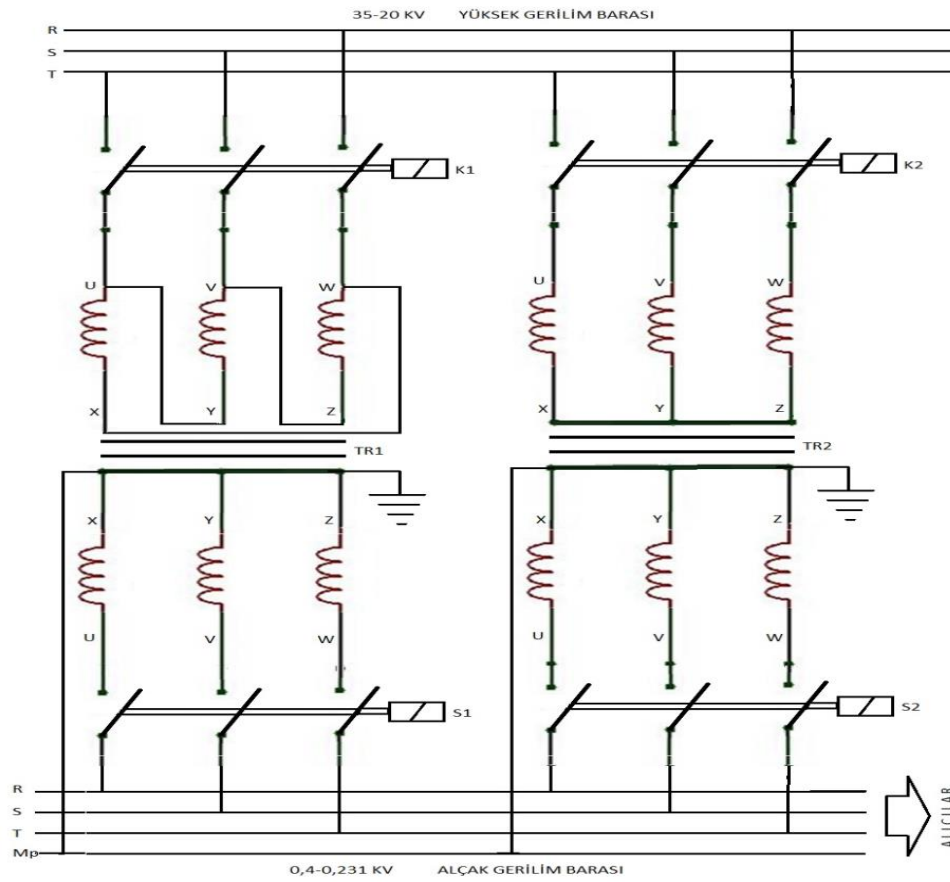
TR1 ve TR2 transformatörlerinin devreye girip çıkmaları sırasında enerji kesintisi mevcut olmamalıdır. Bu amaçla, devreye girme ve çıkma aşamalarında kısa süreli olsa da paralel çalışma söz konusudur. Sürekli paralel çalışma, paralel çalışma şartlarının gereği olan, transformatörler arası minimum 1/3 güç şartının sağlanabilme riski nedeniyle, bu çalışma için uygun görülmemiştir (Ghivi,1988).



Şekil 5. 1. Paralel bağlı transformatörlerin tek hat şeması.

Uygun yük aktarımının gerçekleştirilebildiği güç devresi ise Şekil 5.2'de verilmiştir. Burada yüksek gerilim barasından beslenen TR1 ve TR2 transformatörleri, S1 ve S2 kesici şalterleri üzerinden alçak gerilim barasını beslemektedirler.

Transformatörler arasında, gerekli yük aktarımı ve paralel çalışma ise Şekil 5.3'deki kontrol şemasına uygun olarak kontrol devresi yardımıyla sağlanır. Bu devre algıladığı akım ve gerilim bilgilerine bağlı olarak, transformatörleri devreye alan ya da çıkaran kesici şalterleri işleme alır. Hangi kesicinin hangi durumda ve zamanda, hangi işlevi yerine getireceğine gerekli yazılım yüklü olan PIC kontrolörü karar vermektedir.



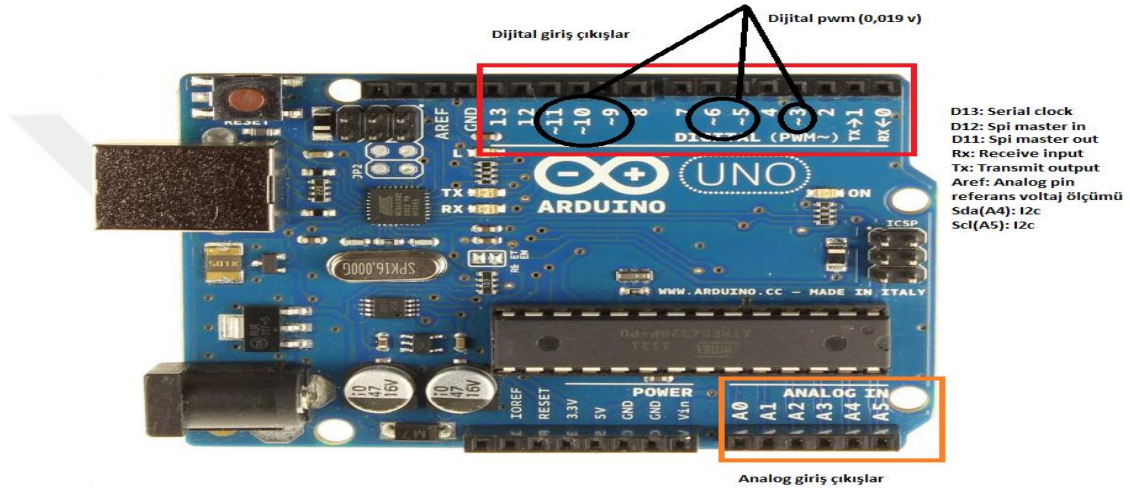
Şekil 5.2. Transformatörlerin paralel yük aktarımı.

5.2 Çalışmada Kullanılan Donanım

Çalışmada, çift transformatörün yükü karşılaması, hangisinin hangi durumda çalışıp çalışmayacağına karar verilmesi arduino temelli mikroişlemci yapısı tarafından kararlaştırılmaktadır. Arduino temelli mikroişlemci yapısı çıkışları ise devreye röle kartları üzerinden bağlanarak kesiciler kumanda edilebilmektedir.

5.2.1 Kullanılan arduino mikroişlemci ve özellikleri

Şekil 5.4’de görülen arduino unoda 14 adet dijital pin, 6 adet analog pin, gerekli haberleşme giriş çıkışı ve besleme girişi bulunmakta olup, USB ile besleme de yapılabilmektedir. Üzerinde pin olarak reset pini olduğu gibi, buton reset de bulunmaktadır. ATMEGA328 mikroişlemcisini kullanan arduinonun giriş ve çıkış pinleri 40 ma seviyelerine kadar akımlara dayanabilmektedir. Bu sebeple yüksek güçlü işlemlerde röle kartlarına başvurulur (Aduinoturkey.com, 2019).



Şekil5.3. Arduino uno.

5.2.2 ACS712 akımölçer

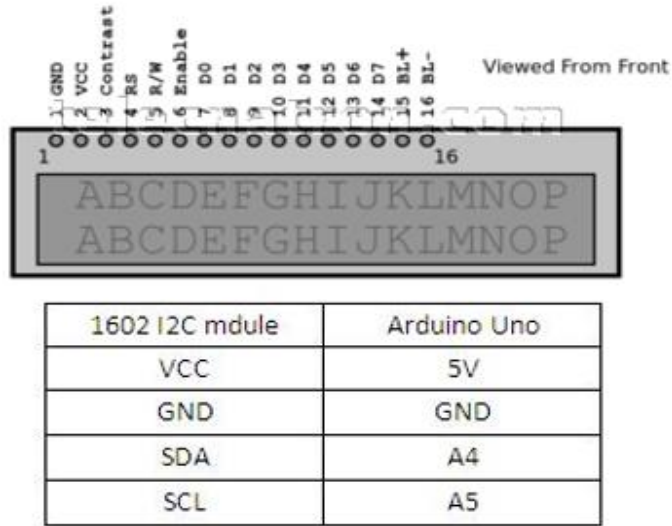
Şekil 5.4’deki analog girişlere uygulanan 0-5 V gerilim dijital olarak 0-1023 arasında okunur. Besleme gerilimi 5 V olan ACS712 ile -5 ve 5 A arasında ölçüm yapabilmektedir. 5 A modülü için hassasiyet 1 A başına 185 mV olarak görülür. 0 A akımda çıkış gerilimi 2,5 V’dir.

	5A Module	20A Module	30A Module
BESLEME GERİLİMİ (VCC)	5Vdc	5Vdc	5Vdc
ÖLÇÜM ARALIĞI	-5 +5 A	-20 +20 A	-30 +30
0 AMPERDE ÇIKIŞ GERİLİMİ	VCC/2 (2.5Vdc)	VCC/2 (2.5Vdc)	VCC/2 (2.5Vdc)
HASSASIYET	185 mV	100 mV	66 mV
KART	ACS712ELC-05A	ACS712ELC-10A	ACS712ELC-30A

Şekil5.4. ACS712 akım ölçer (alldatasheet, 2019).

5.2.3 I2C haberleşme kartı

Acs712 ile alınan bilgi yorumlandıktan sonra, sistemdeki akım bilgisi LCD panele aktarılır. LCD panel bağlantıda pin sayısının fazla olması sebebi ile I2C haberleşme kartı ile kullanılan pin sayısı düşürülebilir.



Şekil5.5. I2C haberleşme kartı LCD bağlantısı (alldatasheet, 2019).

5.3 Çalışmada Kullanılan Yazılım

Arduino geliştirme platformu (IDE), Arduino kütüphaneleri, Arduino bootloader (Optiboot), AVR Dude (Arduino mikrodeneleyici programlama altyapısı) ve geliştirme

ortamı ve derleyiciden(AVR-GCC)oluşur. Arduino kart yazılımı ise kütüphanelerden geliştirme ortamı (IDE)'lerden oluşur. IDE, Processing adlı dil altyapısından geliştirilen Java esaslı bir yazılımdır (Aduinoturkey.com, 2019).

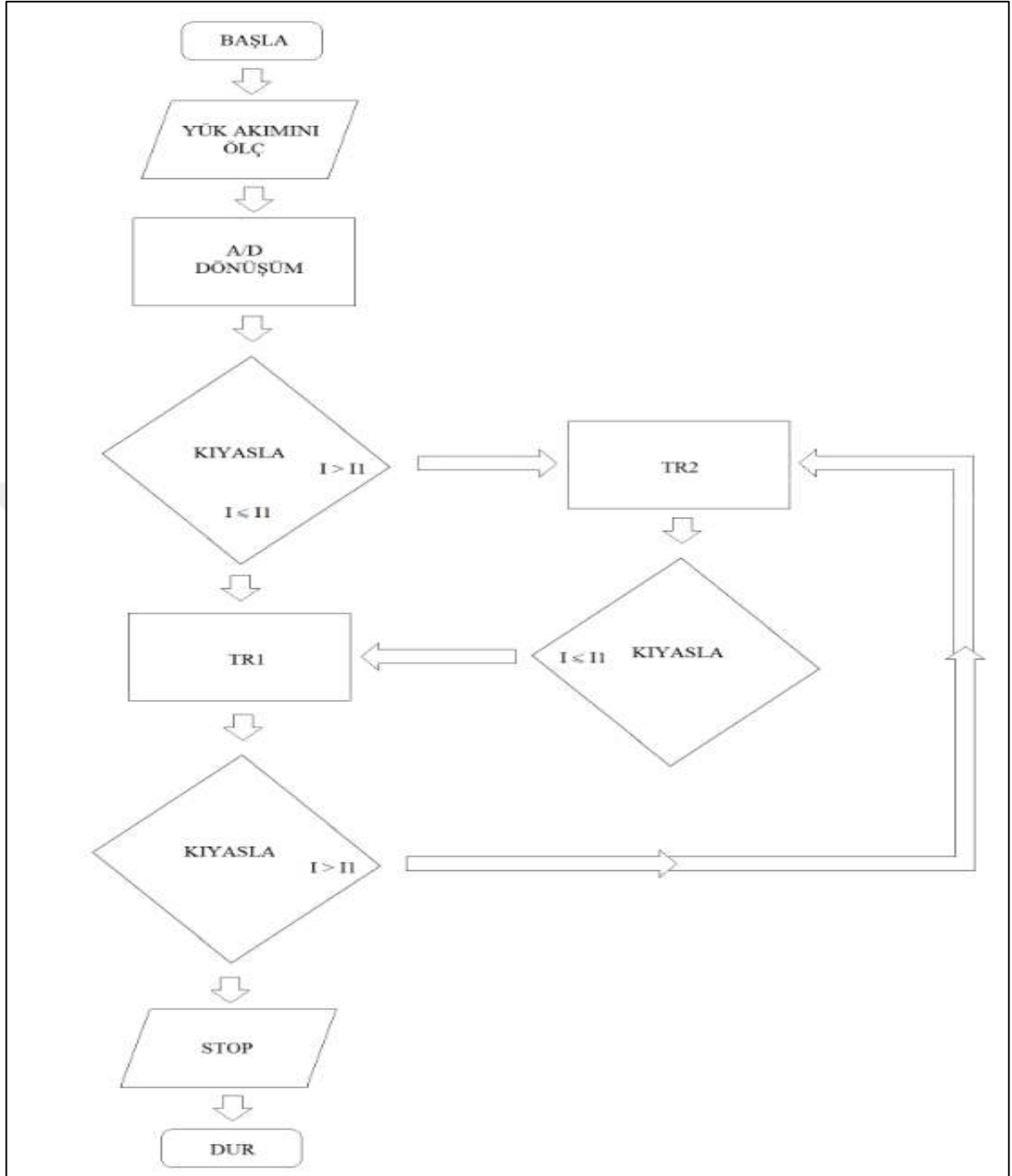
Sistemde transformatörlerden hangisinin devrede olduğu ve devreye alınması gereken transformatörün belirlenmesi, her durum için farklı değer alan bir değişken ile takip edilerek, meydana gelen değişimlere uyumluluk sağlanmaktadır.

5.3.1 Yazılıma temel oluşturan algoritma ve akış şeması

Kullanılan algoritmada Arduino ATmega328 işlemcisi tercih edilmiştir. Sistemde kullanıcı tarafından belirlenen ve tüm tesisler için farklılık gösteren akım sınır değerleri, transformatör sayıları ve sistem normal çalışma süreleri bu çalışmada herhangi bir tesis temel alınmadan rastgele değerler alınarak atanmıştır. Tesis ihtiyacı doğrultusunda kullanılan işlemci ve özellikleri değiştirilebilir. Burada uygulanmak istenilen, kayıpları en aza indirmek ve kesintisiz çalışmaktır. Aşağıda çalışmada esas alınan yük akımı esaslı transformatörleri çalıştırmaya esas olan yazılımı oluşturmada kullanılan algoritma, Şekil 5.6'da ise yazılımın akış şeması görülmektedir.

1. Başla
2. Yük Akımını Ölç
3. Analog-Dijital Dönüştür
4. $I \leq I_1$ ise git 5
5. TR1
6. $I > I_1$ ise git 7
7. TR2
8. Stop Komutu=0 ise git 4
9. Stop Komutu=1 ise git 10
10. Dur

Akış şeması da transformatör sayısı ve ihtiyaç doğrultusunda değişiklikler gösterebilir. Kullanılan akış şemasında, farklı güçteki iki transformatörün belirlenen akım değerleri doğrultusunda, sistemdeki güç talebine uygun olarak gerekli güçteki transformatörü devrede tutması istenmiştir.



Şekil5.6. Devre akış şeması.

Sistemde ölçülen akım değeri arduino kartında değerlendirilmektedir. Ölçülen akım değeri belirlenen (sistem için sınır olan) akım değerinden büyükse transformatör 2 (büyük transformatör) devreye alınır. Transformatör 2 devrede iken değerlendirme devam eder. Akım değeri sınır akımından küçük olursa transformatör 1 (küçük

transformatör) devreye alınır. Sistemde ölçülen ilk akım değeri, sınır akımından küçükse transformatör 1 devreye alınır. Transformatör 1 devrede iken kıyaslama devam eder. Eğer sınır akımının üzerinde akım çekilirse transformatör 2 devreye alınır. Stop komutu aktif oluncaya kadar bu işlem tekrarlanır.

5.3.2 Yazılım

Arduinoya I2C kütüphanesi yüklendikten sonra LCD panel ebatları tanıtılarak giriş ve çıkış pinleri belirtilir. Arduinodan gelen akım bilgisi milisaniye mertebesinde olduğu için değişim ortalama şekilde bir saniyelik periyotlarla alınır. ACS712 kartından gelen bilgi A0 analog girişten okunduktan sonra, I2C kartı ile akım değeri LCD panele gönderilirken, tesis için uygun olan çalışma koşuluna göre transformatörlerden biri (veya geçici olarak paralel durumda ikisi) devreye alınır.

Gerçekleştirilen yazılım iki adet transformatörün, tesisin ihtiyaç duyduğu güç doğrultusunda devreye sürülmesini içerir. Akım bilgisi alınarak 1 saniyelik ortalama akım değeri hesaplanır. Bu akım değeri tesiste belirtilen sınır akım değeri ile karşılaştırılmaya tabi tutulur. Akım değeri karşılaştırılması yapılırken bir de transformatörlerin hangi durumda olduğunu anlayan sayaç değeri kullanılır. Ölçülen akım ilk kez sınır değeri aşmış ve bu akım değeri tesis için belirlenen sürece devamlılık göstermiş ise küçük transformatör devrede iken büyük transformatörde devreye girer.

Belirlenen paralel çalışma süresince birlikte çalışırlar. Süre tamamlandığında akım şartı devam ediyorsa küçük transformatör devreden çıkar büyük transformatör devrede kalır. Bu durum devam ederken akım sınır değeri üzerinde devam ederse büyük transformatör tek çalışır. Ancak sınır değerinden daha düşük akım çekimi gözlenirse büyük transformatörle birlikte küçük transformatörde devreye girip paralel çalışma süresince birlikte çalışırlar. Sonra büyük transformatör devreden çıkar.

Sistemde hangi transformatörün devrede olduğu ve devreye alınması gereken transformatörün tayinini her durum için farklı değer alan bir değişken ile takip edilir. Böylece akımda meydana gelen değişimler kolaylıkla yorumlanır.

5.4 Transformatörlerin Çalışma Aralıkları

Transformatör çalışma aralıkları tesise ya da dağıtımı yapan birimin günlük, haftalık, aylık değişen yüklenme eğrileri analiz edilerek belirlenir. Her tesiste farklılık gösteren bu eğri belirlendikten sonra, eğri dışına çıkan yüklenmelerin ne kadar zaman

zarfında normalin dışında çalışmayı gösterdiği tespit edilir.

5.4.1 Çalışma aralıklarının belirlenmesi

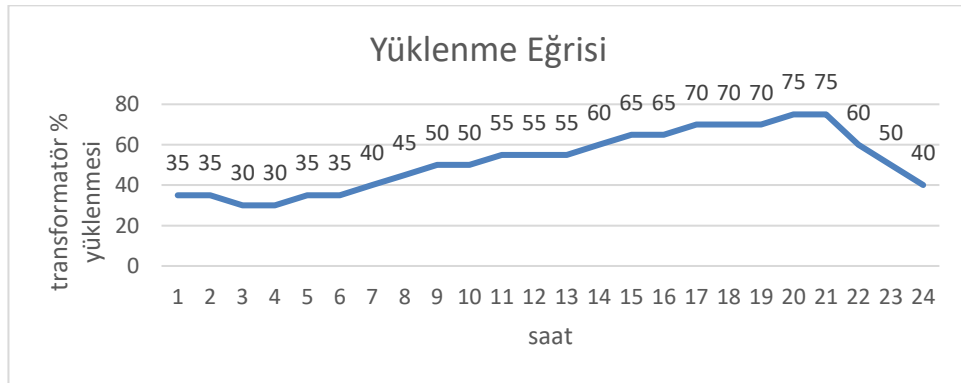
Mevsimlik çalışan tesisler için, yüklenme eğrisi aylık olarak değerlendirilir. Günün belirli saatlerinde çalışan tesislerde ise saatlik eğri tespiti yapılır. Tüketime düşük olduğu zaman aralıklarında küçük güçlü transformatörün devrede kalması, kayıpları en aza indirmek ve düşük yüklenme ile oluşacak verim kaybının önüne geçmek için önem arz eder.

Sistem, güçteki her dalgalanmada ani tepkiler vermemelidir. Sistemin yük aktarımı sırasında belirli süre zarfında birlikte çalışması enerji dalgalanmasının önüne geçecektir. Transformatörler için oluşacak en uygun şartlarda (sıcaklık ve diğer koşullarda) bile fazladan yüklenmenin sınırları vardır. En iyi koşullarda ve %10 luk bir aşırı yüklenmede dahi transformatörler 180 dakikadan fazla aşırı yükle yüklenemez (Elektra,2019).

Bu bilgilere istinaden aşırı yüklenmelerde yüklenmenin fazlalığına göre büyük güçteki transformatörün ivedilikle devreye alınması gerekir. Güç çekiminde yaşanacak azalmada böyle risk bulunmaz ancak mali açıdan fazladan devrede kalacak yüksek güçteki transformatör fazladan kayıplara yol açacaktır.

5.5 Transformatör Aktarımından Elde Edilen Enerji Verimliliği

Transformatörlerin paralel bağlanması ile yük aktarımının sağlanmasına yönelik olarak, Bilecik ilindeki bir seramik fabrikasının kırma eleme tesisi verilerinden yararlanılarak şekil 5.7'deki grafik elde edilmiştir. Yüklenme eğrisi çekilen güç ile oluşturulmuştur.



Şekil5.7. Örnek yüklenme eğrisi.

Şekil 5.7'deki gibi yüklenme eğrisine sahip bir tesis için 11:00-23:00 saatleri dışında yüksek güçteki transformatörün varlığı kayıplara yol açacağı gibi düşük yüklenme sebebi ile verimde de düşmeler meydana gelir. Transformatör tam yükte etiket gücü verimine ulaştığından %50'nin altında yüklenmelerde verimde ciddi düşüşler yaşanır (Özyalçın, 2007).

Paralel bağlı iki transformatör ile kayıplar ciddi oranda indirilebilir. Yapılan çalışmada büyük güçlü transformatör, yükün düşük olduğu zaman süresince devrede olmayacaktır. Böylece küçük güçlü transformatörün yüklenme oranı %50'nin altına hiçbir zaman düşmeyeceği gibi, büyük transformatörün kayıpları da ortadan kalkmış olacaktır.

5.6 Çalışmada Elde Edilen Verilerin Daha Büyük Sistemlere Uygulanmasına Yönelik Tahminsel Analizler

Ülkemizde tarımsal sulama ve mevsimlik atölyelerin olduğu yerlerde özellikle kış aylarında tüketim en aza düşer ya da tüketim olmaz.

Çizelge 5.2'de illerimizin boştaki transformatör kayıpları görülmektedir. Bu kayıplar Mart 2019 aylık kaybıdır. Listede sadece sekonder bağlı aboneler mevcuttur. Bu abonelerden dahi kaynaklanan kaybın bu denli fazla olması oldukça düşündürücüdür (Oedaş, 2019).

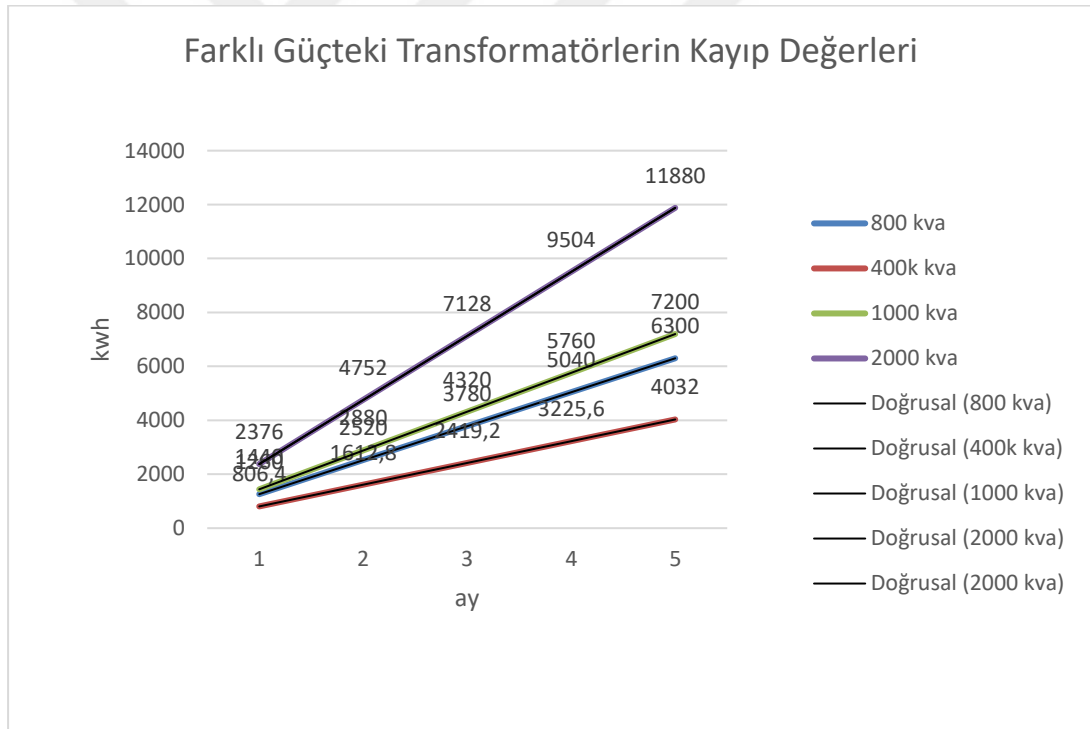
Kayıplar incelendiğinde önüne geçilemeyen kayıplar olağan, olması gerekenin dışında olan kayıplar ise fazladan kayıp olarak görülmektedir. Transformatör yapısı gereği bazı kayıpları sıfıra indirmek mümkün değildir. Ancak kayıpları en aza indirmek temel gayedir.

Bu kayıplar yaz aylarında sulama ile transformatörlerin tam yüklenmesi ile demir ve bakır kayıpları olarak öne çıkarken , kış aylarında yüklenmenin düşük olduğu görülür ve kayıpların çoğu demir kaybıdır. Transformatörler düşük güçte yüklenmede ya da yüklenmelerin sıfıra yakın olduğu anlarda yüksek güçteki transformatörün varlığı dağıtım sistemine ve tüketiciye mali yönden zarar verir. Bunun önüne ya daha düşük ihtiyacı karşılayan transformatör gücü seçilerek ya da güç tüketimi yoksa transformatörün tamamen devreden çıkarılması ile geçilir. Güç aktarımı şeklinde olacak seçimde ise paralel bağlı transformatörlere ihtiyaç duyulur.

Çizelge 5.2.İllere göre sekonder bağlı abone transformatör kayıpları.

İl	Aktif Tüketim	Kayıp	Olağan	Fazladan
Afyonkarahisar	21.490.435,02	715.967,52	283.371,60	432.595,92
Bilecik	4.495.015,96	175.559,04	62.430,24	113.128,80
Eskişehir	8.166.168,24	268.237,92	106.505,76	161.732,16
Kütahya	5.174.320,21	201.744,96	75.971,04	125.773,92
Uşak	5.373.264,83	188.298,72	77.179,92	111.118,80
Genel Toplam	44.699.204,26	1.549.808,16	605.458,56	944.349,60

Çalışmada kapsamında elde edilen verilerin daha farklı sistemlerde, daha büyük güçteki transformatörlere sistemlere uygulanmasına yönelik tahminsel analizler Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Bu analizde sınırlı çalışmadan dolayı tüketimi kurulu gücüne nazaran düşük olan tesisler temel alınmıştır.

**Şekil 5.8.**Büyük güçlü transformatörlerin 5 aylık demir kaybı.

Yüklenme ile değişen bakır kayıplarını değişen güç eğrilerine göre yorumlayıp kesin sonuçlar elde etmek tesislere göre farklılık gösterir. Ancak demir kaybı yükten bağımsız olduğundan daha net veriler elde ederiz. Şekil 5.8'de (Schneider, 2015) katalog değerlerine bakıldığında oluşacak tahmini 5 aylık bakır kayıpları elde edilmiştir. 400

KVA'nın yeterli olduğu bir tesiste 2000 KVA'lık transformatörün devrede kalması sonucunda 7257,6 KWH fazladan demir kaybına harcanmış olur. Şekil 5.8'den elde edilen grafiklerle Çizelge 5.3'deki denklemler bulunur.

Çizelge 5.3. Farklı güçteki transformatörler için elde edilen parametrik tahminler.

Transformatör Gücü	Parametrik Denklemi
2000 KVA	$y = 2376x$
1000 KVA	$y = 1440x$
800 KVA	$y = 1260x$
400 KVA	$y = 806,4x$

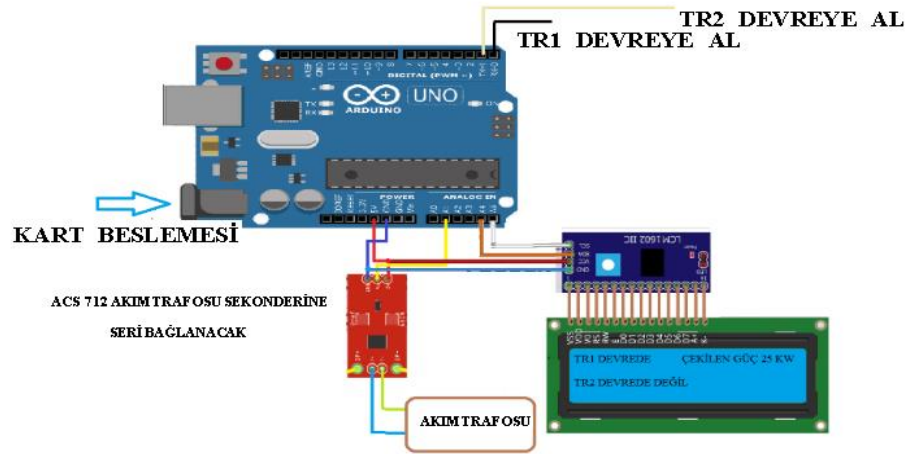
Çizelge 5.4.Yapılan devre ile elde edilecek tahminsel kazançlar.

Kullanılan Transformatör İkili(KVA)		Bir Aylık Sağlanan Kazanç(KWH)
2500	400	1929,6
2000	400	1569,6
1600	400	1209,6
1000	400	633,6
800	400	453,6

Çizelge 5.4'de, çizelge 5.3'deki parametrik denklemlerden yararlanılarak gerçekleştirilen, bu tezde yapılan uygulama devresi ile elde edilecek bir aylık tahmini demir kayıplarından sağlanacak kazançlar, farklı transformatörler için gösterilmiştir. Oluşturulan tabloda transformatör etiket değerleri göz önüne alınmıştır (Schneider, 2015). Kayıp hesapları eşitlik 5.1 ile yapılmış olup, anlık etiket gücünü gören transformatörlerle devam eden ya da yanlış güçteki transformatör seçimi ile çalışan tesiste oluşacak fazladan demir kayıpları bu şekilde en aza indirilebilmektedir.

5.7 Çalışmanın Devresi

Bu çalışma küçük güçlerdeki transformatörlerle yapılmıştır. Ölçüm katında +5 - 5amper aralığında ölçüm yapan ACS712 akım sensör modülü kullanılacaktır. ACS712 modülü 5 V ile çalışmaktadır. Hassasiyeti ise her bir amper başına 185 mV'dur. Devrede karar katı olarak ARDUİNO UNO kartı kullanılacaktır. Yazılımda belirtilen akım değerlerine göre belirli bir zaman sınırlaması ile kontrol sağlanacaktır (Şekil 5.7).



Şekil 5.9. Örnek devre şeması.

Sistem kendi arasında küçük ve büyük güçte iki transformatörün gerekli durumlarda ihtiyaca uygun şekilde bağlanmasına yönelik olarak tasarlanmıştır. Bilindiği üzere paralel bağlanma şartlarında belirli bir güç oranında transformatörler paralel bağlanabilir. Ancak bu çalışmada paralel bağlı transformatörler aynı anda uzun süreli paralel çalışmada kalmayacağı için maksimum (ortam koşullarının kötü yüklenmenin en yüksek olduğu anlar) 30 dakika birlikte çalışma öngörülmüştür (Electra, 2019).

Küçük transformatör devrede iken yük küçük transformatör gücünün %80'inin üzerine çıkar ise ve bu yük belirlenen zaman aralığında süreklilik arz ederse büyük transformatör devreye alınır ve geçiş tamamlandıktan 30 saniye sonra küçük transformatör devreden çıkar. Aynı şekilde büyük transformatör devrede iken yük büyük transformatör gücünün %25'inin altına düşerse, büyük transformatör geçiş süresi tamamlandıktan sonra yerini küçük transformatöre bırakmaktadır. Bu geçişler belirli zaman kısıtlamalarına göre olmaktadır. Yani yük değişimleri belirli bir süreklilik arz etmezse transformatörler arası geçişler olmayacaktır.

Belirtilen %25'lik yüklenme oranından sonra, verimde ciddi düşüşler olduğu için bu değer sınır kabul edilmiştir (Özyalçın, 2007). Transformatörlerin geçişlerdeki paralel çalışma süresi %30 güç oranı şartına uyulmadığı için uzun olamaz. Paralel bağlı transformatörlerde görünür güç farkı %30'un altında kalırsa uzun süreli paralel çalışma gerçekleştirilebilir (Ghivi,1988). Yüklenme oranı kısıtlamasından dolayı, küçük güçteki transformatör, yüzde orana göre aşırı yükte belirli zaman dilimi kadar çalıştırılabilir (Elektra,2019).

Ülkemiz enerji şebekesinde yıllık olarak tahminen 20.000 adet dağıtım transformatörü enerji sistemine ilave edilerek kullanılmaktadır. Gereksiz olarak, her bir transformatörde bir üst güçteki transformatör tercih edilerek kullanılması durumunda, 2018 fiyatlarıyla ortalama 50.000 TL olduğuna göre sadece transformatörlerde her sene 1 Milyar TL boşuna harcanmış olacaktır. Yanlış seçimden dolayı meydana gelen güç kayıpları ise, daha problemlili bir durum arz etmektedir. Örneğin 80 KVA transformatör yerine, ekstra olarak 100 KVA tercih edilirse, boşta sarf edilen demir kaybı miktarı 60 W olarak oluşacaktır. Kaybın yıllık toplam miktarı ise, $60 \times 8760 = 525$ KWH biçiminde elde edilir. Ülkemizde halen 150.000 civarında dağıtım transformatörü olduğu kabul edildiğinde ve üçte birinin uygun güç değerinde seçildiğini kabul edersek, geriye kalan transformatörlerin sadece boşta çalışmalarından dolayı meydana getirdiği kayıp miktarı, $525 \times 100.000 = 52,500$ MWH olur ki, bu değer de yaklaşık olarak Keban Barajının üretmiş olduğu 1 haftalık elektrik enerjisinin boşa tüketilmesi anlamına gelmektedir.

6. SONUÇ

Elektrik enerjisinin üretim aşamasından iletim ve dağıtım aşamalarına kadar birçok yerde, kullanılan güç transformatörlerinin verimliliği enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı işyerleri ve kurumlar için, farklı periyodik zaman dilimleri dikkate alındığında, transformatörlerin küçük güç oranlarında çalıştıklarında, kayıp oranlarının önemli değerlerde artabildiği görülmektedir.

Bu kayıp oranının azaltmaya yönelik olarak, bu çalışmada iki transformatörlü bir model önerilmiştir. Önerilen modelde, çalışma güç oranının büyük olması durumunda büyük güçlü transformatör, çalışma güç oranının küçük olması durumunda küçük güçlü transformatör kullanımı esas alınmıştır. Çalışma güç oranının küçük olması durumunda, küçük güç değerinde transformatör kullanımı ile aylık ve yıllık periyotlarda önemli güç ve enerji tasarrufu sağlanabileceği gösterilmiştir.

Farklı güçteki iki transformatör arasındaki güç aktarımı kısa süreli paralel çalışma şartları, arduino ve güç kontrol katının kumanda ettiği bir kontrol akışı içerisinde modellenmiştir. Sistem, laboratuvar şartları içerisinde oluşturulmuş olup, gerçek güç transformatörlerinde kullanımına yönelik olarak modellenmiştir. Bu çalışma 7. Uluslar Arası İleri Teknoloji Konferansında yayınlanmıştır (Kaya vd., 2018).

Enerji hesapları ve şebeke hatlarındaki zor ve karmaşık hesaplardan kaçınmak isteyen dağıtım şirketleri ve işletmeler kabaca yapılan hesapların yanı sıra hata yapmamak için de ciddi tolerans payları bırakmaktadır. Büyüme planı olmadan veya yapılmadan rastgele seçimlerin yapıldığı birçok işletmede, yıllarca değişmeyen güç talebine karşın seçilen kablo kesitleri ve transformatör güçleri bu kanıyı güçlendirir niteliktedir. Enerjinin çok önemli bir hal aldığı dünyamızda kayıpların en aza indirilip eldeki imkânların yüksek verimle kullanılması gerekmektedir. Transformatörler verim bakımından yüksek, elektrik makinesi olmasına karşın yanlış seçimler ile önemli ölçüde kayıplar doğurabilirler.

Gelişen teknoloji ile birlikte transformatörler gibi yüksek arka sahip elektrik elemanlarının açma kapama sayısı artırıldığında, anlık enerji tüketiminde transformatörler kontaktörler gibi devreye alınıp çıkartılabilirse, çok önem arz eden bu kayıpların önüne geçilebilir. Şu anki endüstriyel pazar göz önüne alındığında çok sık anahtarlama yapmak pek mümkün görülmemektedir. Lakin uzun vadede bu analiz ve uygulamanın uygulanabilirliği yüksektir.

Yapılan çalışma enerjinin en verimli şekilde kullanılabilmesini amaçladığı gibi olası arıza durumlarında işletmelere müdahale şansını vermekte, üretimin ya da akışın bozulmamasına olanak sağlamaktadır. Enerjinin verimli kullanılması sadece maddi çıkarlar için önem arz etmemektedir. Aynı zamanda gelecek nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakmanın tek yolu, enerji israfının önüne geçme, enerjinin verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasından geçmektedir.

Ayrıca, tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar 2018 yılında Antalya'da gerçekleştirilen "7 th International Conference on Advanced Technologies" de, "Energy Efficiency Based Load Transfer Transformer Analysis" adlı bildiri ve 2018 yılında "International Journal of Energy Applications and Technologies" dergisinde "On power transformers energy efficiency based load transfer analysis" adlı makale ile sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Altun H., (2017), Transformatörde Polaritenin Önemi ve Deneysel Olarak Belirlenmesi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 29(2), 137-146.
- Çetin İ., (2004). Sanayide Elektrik Enerjisi Nasıl Tasarruf Edilir?, Yayın No: 2004/39, İstanbul Ticaret Odası Yayınları.
- Çınar M. A., Alboyacı B., Gezer M., (2014). Dağıtım Transformatörü Seçiminde Kayıp Maliyetlerinin EN 50464-1'e göre Değerlendirilmesi, 3e Electrotech, 242.
- EMO Teknik Bilgiler (2019). Transformatörlerle İlgili Genel Bilgiler Bildirgesi , Electra Elektronik Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti.
- EMO Yayınları Şanlı M., (2007) .Transformatör Test ve Deneyleri, EMO yayınları.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2005). 2 Ocak 2005 Resmi Gazete Yayını.
- Ghivi S. E., (1988). Güç Transformatörlerinin Aşırı Yüklenmesi , Marmara Üniversitesi FBE Elk-Elt Müh. YL tezi.
- <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/trafolarin-paralel-baglanmasi-elektrikport-akademi/8012#ad-image-0>. (02.02.2019).
- <https://www.arduinoturkey.com>, (02.02.2019).
- İlgaz A., Bayırlı M., AygörenM., (2017). Transformatör sisteminde manyetik akı dağılımının incelenmesi yöntemiyle güç kayıplarının belirlenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Kalenderli, Ö. (2019). Yüksek Gerilim Elemanları, İstanbul, [https://web.itu.edu.tr/kalenderli /YukseK_Gerilim_Elemanlari_Kalenderli.pdf](https://web.itu.edu.tr/kalenderli/YukseK_Gerilim_Elemanlari_Kalenderli.pdf), (02.02.2019).
- Kaya Z., İmal N., Gökhasan O., (2018). On power transformers energy efficiency based load transfer analysis , International Journal of Energy Applications and Technologies, Cilt 5, Sayı 3.
- Kaya Z., İmal N., Gökhasan O., (2018), Energy Efficiency Based Load Transfer Transformer Analysis, 7 th International Conference on Advanced Technologies, Antalya.
- [library/blob/master/LiquidCrystal_I2C.cpp](#) (Arduino.com arduionun içeriğinde bulunan I2c kütüphanesi).
- Mahmoud, T. K., (2008). Yağlı Dağıtım Transformatörlerde Kayıpların Hesaplanması, Gazi Üniversitesi FBE Elk-Elt Müh. YL tezi.
- Osmangazi Elektrik Dağıtım Şirketi,(2019). Sekonderden Bağlı Abonelerin Mart 2019 Transformatör Kayıpları.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Özkan N., (2014). Trafo Merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Özyalçın B., (2007).Enerji Sistemlerinde 400 KVA' Ya Kadar Kuru Tip Trafolar, Verimi Etkileyen Faktörler ve Tipik Örnek, Gazi Üniversitesi FBE Elk-Elt Müh. YL tezi.
- Schneider katalog bilgisi, (2015). Orta Gerilim Fiyat Listesi. Schneider Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- Şendil M., (2011). Akım ve Gerilim Transformatörleri. Kocaeli, Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi.
- Tedaş Yayınları, (2017). Hermetik Tip Og/Ag Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi.
- Türkiye Mühendislik Haberleri, (2006), (TMH). Keban Barajı ve HES Sayı 442-443.
- Yağcı M., Ürkmez A.,(2009). Üç Fazlı Transformatörlerde Lineer ve Nonlineer Yüklerin Kayıplara Etkisi. Selçuk Üniversitesi Selçuk Teknik Dergisi.
- Wilhelm T., (1959). Transformatör Kayıplarının Değerlendirilmesi, Elektrik Mühendisliği Mecmuası.
- www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=CS712&sField=1, (02.02.2019).

EKLER

YAZILIM

```
#include <LiquidCrystal_I2C_AvrI2C. h> //Kütüphane
LiquidCrystal_I2C_AvrI2C lcd (0x27, 16, 2); // lcd nin ebatlarının belirtilmesi
float amper; // okunan akım için değişken tanımladık
int analogIn=A0;
int sayac=0;
int k, b=0;
int tr1=2;
int tr2=3;
void setup () {
  pinMode (tr1, OUTPUT);
  pinMode (tr2, OUTPUT);
  Serial. begin (9600);
  lcd. begin ();
  lcd. backlight ();}
void loop () {
  float average = 0;
  for (int i = 0; i < 1000; i++) {
    average = average + (. 0264 * analogRead (A0) -13. 51) / 1000;
    delay (1);}
  if (average>=0. 06)//0. 06 ölçülen akım temsilidir.
    sayac=sayac+1;
  else
    sayac=0;
  float OlculenAkim;
  float bilgi=analogRead (analogIn);
  float VIOUT= ( (bilgi/1023. 0)*5000);
  float hassasiyet=185;
  OlculenAkim = ( VIOUT - 2500 ) / hassasiyet;
  Serial. println (average);
  Serial. print ("\n");
```

```

lcd. clear ();
lcd. print (average);
lcd. print (" Amper");
delay (1000);
Serial. println (sayac);
if (sayac>=5){
digitalWrite (tr1, HIGH); //yükli durum birden çıkma...
delay (1000);
digitalWrite (tr2, LOW);
b=1; }
if (sayac<5&& b==1){
digitalWrite (tr2, HIGH);
delay (10000);
digitalWrite (tr1, LOW);
b=0; }
if (sayac<5&& b==0){
digitalWrite (tr2, HIGH);} } //ilk durum yüksüz.

```

LCD EKRAN KÜTÜPHANESİ

```

#include "LiquidCrystal_I2C. h"
#include <inttypes. h>
#include <Arduino. h>
#include <Wire. h>
LiquidCrystal_I2C::LiquidCrystal_I2C (uint8_t lcd_addr, uint8_t lcd_cols, uint8_t
lcd_rows, uint8_t charsize){ //I2c modülü tanımlamaları
_addr = lcd_addr; //adres
_cols = lcd_cols; //sütunlar
_rows = lcd_rows; //satır
_charsize = charsize; //boyut
_backlightval = LCD_BACKLIGHT;} //arka ışık
void LiquidCrystal_I2C::begin () {
Wire. begin (); //wire komutu

```

```

_displayfunction = LCD_4BITMODE | LCD_1LINE | LCD_5x8DOTS;
if (_rows > 1) { // eğer satır 5 den büyükse 2 ye eşitle
_displayfunction |= LCD_2LINE;}
if ( (_charsize != 0) && (_rows == 1)) { //boyut sıfır değil ve satır 1 se yazdır.
_displayfunction |= LCD_5x10DOTS;}
delay (50);
expanderWrite (_backlightval); //arka ışığı kapat
delay (1000);
write4bits (0x03 << 4); // 8 biti 4 bite uyarla
delayMicroseconds (4500); // bekle
write4bits (0x03 << 4); //tekrar dene
delayMicroseconds (4500); // bekle
write4bits (0x03 << 4); //adrese git
delayMicroseconds (150); // bekle
write4bits (0x02 << 4); // 4 bit arayüze ayarla
command (LCD_FUNCTIONSET | _displayfunction);
_displaycontrol = LCD_DISPLAYON | LCD_CURSOROFF | LCD_BLINKOFF; //
ekranı açma
display ();
clear (); //temizle
_displaymode = LCD_ENTRYLEFT | LCD_ENTRYSHIFTDECREMENT; //varsayılan
yazı tipine çevir
command (LCD_ENTRYMODESET | _displaymode); //giriş moduna ayarla
home ();}

void LiquidCrystal_I2C::clear () {
command (LCD_CLEARDISPLAY); // ekran temizleme komutunu çağır
delayMicroseconds (2000); } //üst komut 2 saniyeyi bulabilir.

void LiquidCrystal_I2C::home () { //i2c fonksiyonu
command (LCD_RETURNHOME); //imleç konumunu sıfıra ayarla
delayMicroseconds (2000); } //bekle

void LiquidCrystal_I2C::setCursor (uint8_t col, uint8_t row) { //yan yana 8 karakter
int row_offsets[] = { 0x00, 0x40, 0x14, 0x54 }; //sağ sol aşağı yukarı adresler

```

```

if (row > _rows) { //satırı sorgula 2 satırdan fazlası yazılmaz
row = _rows-1; } // satır 2 den büyükse
command (LCD_SETDDRAMADDR | (col + row_offsets[row])); // komutu başlatan
satırları say

void LiquidCrystal_I2C::noDisplay () { //ekran kapa
_displaycontrol &= ~LCD_DISPLAYON; // ekran aç
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);}

void LiquidCrystal_I2C::display () { //fonksiyon
_displaycontrol |= LCD_DISPLAYON;
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);} //imleç kapa

void LiquidCrystal_I2C::noCursor () { //fonksiyon
_displaycontrol &= ~LCD_CURSORON; //imleç aç
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);}

void LiquidCrystal_I2C::cursor () {
_displaycontrol |= LCD_CURSORON;
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);} //yanıp sönen imleç

void LiquidCrystal_I2C::noBlink () { // imleci kapa
_displaycontrol &= ~LCD_BLINKON;
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);} //tekrar çağır

void LiquidCrystal_I2C::blink () {
_displaycontrol |= LCD_BLINKON; //imleci aç.
command (LCD_DISPLAYCONTROL | _displaycontrol);} //kaydırmayı çağır

void LiquidCrystal_I2C::scrollDisplayLeft (void) { //solakaydır
command (LCD_CURSORSHIFT | LCD_DISPLAYMOVE |
LCD_MOVELEFT);} //kaydırmayı çağır

void LiquidCrystal_I2C::scrollDisplayRight (void) {
command (LCD_CURSORSHIFT | LCD_DISPLAYMOVE |
LCD_MOVERIGHT);} //sağa kaydır

void LiquidCrystal_I2C::leftToRight (void) { //soldan sağa için akan metin
_displaymode |= LCD_ENTRYLEFT; //kaydır
command (LCD_ENTRYMODESET | _displaymode);}

void LiquidCrystal_I2C::rightToLeft (void) { //sağdan sola akan metin

```

```

_displaymode &= ~LCD_ENTRYLEFT;
command (LCD_ENTRYMODESET | _displaymode);} //kaydır
void LiquidCrystal_I2C::autoscroll (void) {
_displaymode |= LCD_ENTRYSHIFTINCREMENT; //otomatik kaydırma
command (LCD_ENTRYMODESET | _displaymode);} //kaydır
void LiquidCrystal_I2C::noAutoscroll (void) { //otomatik kaydırma yapma
_displaymode &= ~LCD_ENTRYSHIFTINCREMENT;
command (LCD_ENTRYMODESET | _displaymode);} //kaydırma
void LiquidCrystal_I2C::createChar (uint8_t location, uint8_t charmap[]) {
location &= 0x7; // sadece 8 alana sahibiz
command (LCD_SETCGRAMADDR | (location << 3)); //konum 3 den küçükse
for (int i=0; i<8; i++) { // git
write (charmap[i]);} //yazdır
void LiquidCrystal_I2C::noBacklight (void) { //arka ışık
_backlightval=LCD_NOBACKLIGHT; //kapat
expanderWrite (0);} //genişletip yaz
void LiquidCrystal_I2C::backlight (void) { //arka ışık
_backlightval=LCD_BACKLIGHT; //kapat
expanderWrite (0);} //genişletip yaz
inline void LiquidCrystal_I2C::command (uint8_t value) { //veriyi al
send (value, 0);} //gönder
inline size_t LiquidCrystal_I2C::write (uint8_t value) { // veriyi al
send (value, Rs);} // rs e gönder
void LiquidCrystal_I2C::send (uint8_t value, uint8_t mode) { //veriyi tut
uint8_t highnib=value&0xf0; // ata
uint8_t lownib= (value<<4)&0xf0; // değerlendir
write4bits ( (highnib)|mode); //yaz
write4bits ( (lownib)|mode); } //yaz
void LiquidCrystal_I2C::write4bits (uint8_t value) { // 4 bit için
expanderWrite (value); //genişlet yaz
pulseEnable (value);}
void LiquidCrystal_I2C::expanderWrite (uint8_t _data){ // 8 bit data

```

```

Wire. beginTransmission (_addr); // wire komutuna at.
Wire. write ( (int) (_data) | _backlightval);
Wire. endTransmission (); } //wire komutu dönüştür
void LiquidCrystal_I2C::pulseEnable (uint8_t _data){
  expanderWrite (_data | En); //genişlet ve yaz
  delayMicroseconds (1); // bekle
  expanderWrite (_data & ~En); //genişlet ve yaz
  delayMicroseconds (50); //bekle}
void LiquidCrystal_I2C::load_custom_character (uint8_t char_num, uint8_t *rows){
  createChar (char_num, rows); } // satır oluşturma
void LiquidCrystal_I2C::setBacklight (uint8_t new_val){ //yeni değişken atama
  if (new_val) {
    backlight (); //ışık kapa
  } else {
    noBacklight (); } } //ışık aç
void LiquidCrystal_I2C::printstr (const char c[]) { //yazdırma komutu
  print (c); } v(Arduino.com,2018).

```

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Oğuz GÖKHASAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar 27.10.1992



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri : Ulaşım Sistemlerinde Titreşim Tabanlı Elektrik Üretimi /Tübitak, 2013.

İş Deneyimi

Stajlar : Afyon Çimsa(2012-2013)

Çalıştığı Kurumlar : Yıldızlar Holding Söğüt Seramik A.Ş.(2014-...)

İletişim

Adres :Ertuğrulgazi Caddesi Söğüt/Bilecik

E-Posta Adresi : oguzgokhasan@gmail.com

Akademik Çalışmaları

- Oğuz Gökhasan, “Ulaşım Sistemlerinde Titreşim Tabanlı Enerji Hasadı”Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye. Cilt 1, Sayı 1, 2014.
- Kaya Z., İmal N., GökhasanO.,(2018), "On power transformers energy efficiency based load transfer analysis", International Journal of Energy Applications and Technologies, Cilt 5, Sayı 3.
- Kaya Z., İmal N., Gökhasan O., (2018), "Energy Efficiency Based Load Transfer TransformerAnalysis", 7 th International Conference on Advanced Technologies, Antalya.

Tarih:28/06//2019