

176193

T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
SAYISAL YÖNTEMLER ANABİLİM DALI

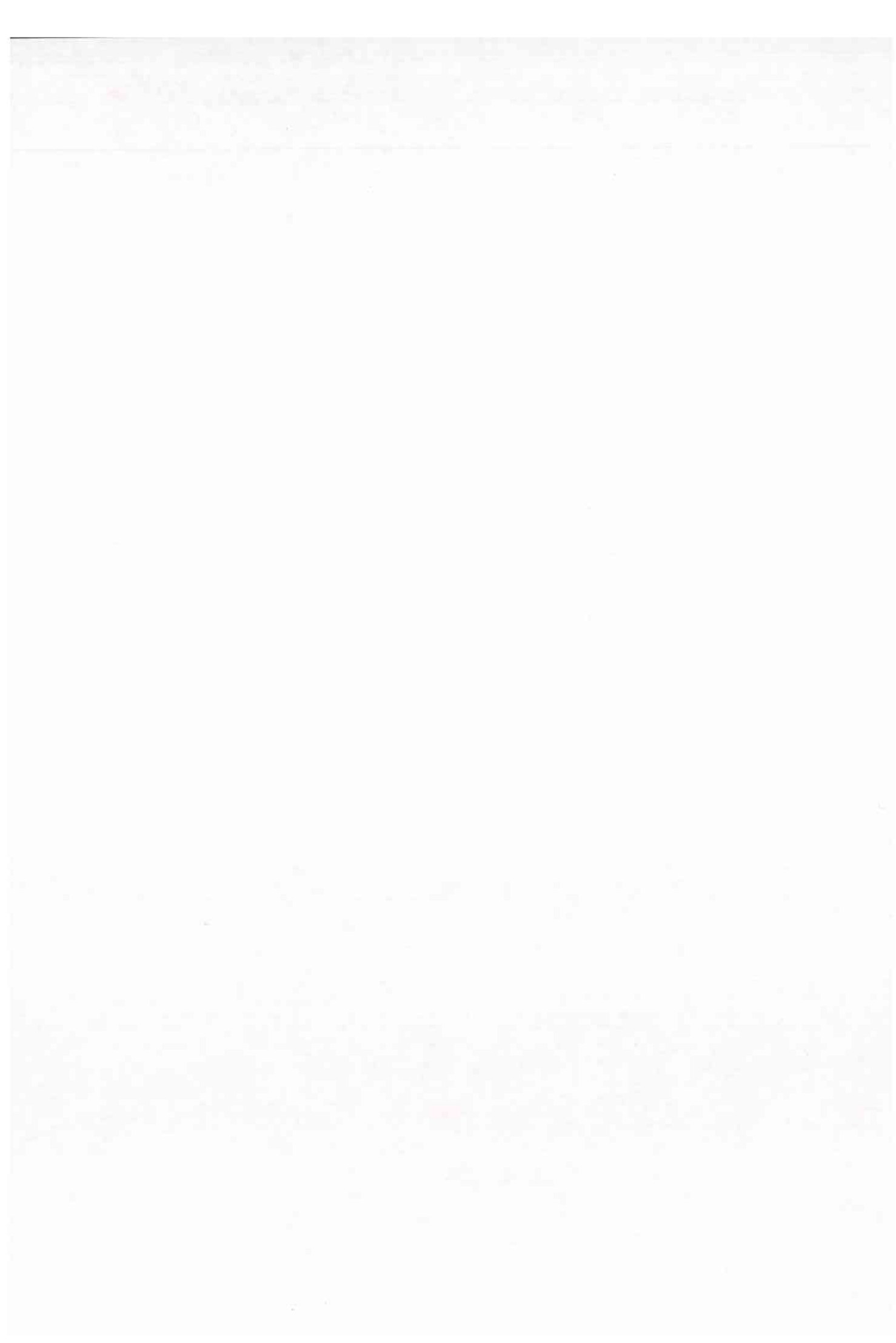
**ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNDE  
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNUN  
EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERGÜN EROĞLU**

Danışman  
Prof. Dr. Yılmaz TULUNAY

İstanbul - 1998





T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
SAYISAL YÖNTEMLER ANABİLİM DALI

**ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNDE  
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNUN  
EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERGÜN EROĞLU

Danışman  
Prof. Dr. Yılmaz TULUNAY

İstanbul - 1998

## **TEŐEKKÜR**

"Elektrik Enerjisi Tüketiminde Reaktif Güç Kompanzasyonun Ekonomik Açıdan İncelenmesi" konusundaki tezimin oluşturulması sırasında, çalışmalarımnda beni büyük bir titizlikle yönlendiren ve destekleyen hocam Sayın Prof. Dr. Yılmaz TULUNAY 'a ve bana yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Dilek EROĞLU'na teşekkürlerimi arz ederim.

İstanbul, Haziran 1998

Ergün EROĞLU

# İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
<b>TABLolar</b> .....	<b>ii</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>NOTASYON LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ENERJİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Enerji İhtiyaçları</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 <i>Termik İhtiyaçlar</i> .....	<b>5</b>
2.1.2 <i>Mekanik Güç İhtiyacı</i> : .....	<b>6</b>
2.1.3 <i>Hammadde İhtiyaçları</i> : .....	<b>6</b>
2.1.4 <i>Işık İhtiyacı</i> : .....	<b>7</b>
<b>2.2 Enerjinin Boyutları</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 <i>Fiziksel Boyut</i> .....	<b>7</b>
2.2.2 <i>Teknolojik Boyut</i> .....	<b>9</b>
2.2.3 <i>Politik Boyut</i> .....	<b>10</b>
2.2.4 <i>Çevresel Boyut</i> .....	<b>11</b>
<b>2.3 Enerji Kaynakları</b> .....	<b>12</b>
2.3.1 <i>Birincil Enerji Kaynakları</i> .....	<b>13</b>
2.3.1.1 <i>Taş kömürü ve Linyit</i> .....	<b>13</b>
2.3.1.2 <i>Petrol</i> .....	<b>14</b>
2.3.1.3 <i>Doğal Gaz</i> .....	<b>15</b>
2.3.1.4 <i>Hidrolik Enerji</i> .....	<b>16</b>
2.3.1.5 <i>Nükleer Enerji</i> .....	<b>16</b>
2.3.1.6 <i>Hayvansal ve Bitkisel Atıklar</i> .....	<b>17</b>
2.3.1.7 <i>Kojenerasyon</i> .....	<b>17</b>
2.3.2 <i>Yenilenebilir Enerji Kaynakları</i> .....	<b>18</b>

2.3.2.1 Güneş Enerjisi .....	19
2.3.2.2 Rüzgar Enerjisi .....	20
2.3.2.3 Jeotermal Enerji .....	20
2.3.2.4 Biyo Gaz Enerjisi .....	20
2.3.2.5 Deniz Enerjileri .....	21
2.4 Enerji ve Ekonomik Önemi .....	21
2.5 Dünya Enerji Problemi .....	24
2.6 Elektrik Enerjisi Sektörünün Ekonomik Önemi .....	24
2.7 Ülkemizde Enerji Sorunu .....	25
<b>3. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU .....</b>	<b>30</b>
3.1 Doğru ve Alternatif Akımda Güç .....	35
3.2 Elektrik Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu .....	44
3.2.1 Alçak Gerilimde Kompanzasyon .....	44
3.2.2 Şebekenin Alçak Gerilim Tarafında Kompanzasyon Yapılması .....	47
3.2.2.1 Münferit kompanzasyon .....	48
3.2.2.2 Grup Kompanzasyon .....	48
3.2.2.3 Merkezi Kompanzasyon .....	49
3.2.3 Orta Gerilimde Kompanzasyon .....	49
3.2.3.1 Enerji Dağıtım Hatlarında Orta Gerilim Kompanzasyonu .....	50
3.2.3.2 Kondansatör Konulacak Yerlerin Seçimi .....	52
3.2.3.3 Şönt Kondansatörlerin Hesabi .....	53
<b>4. KONDANSATÖRLER .....</b>	<b>56</b>
4.1 Kondansatörlerin Kapasitesi .....	57
4.2 Kondansatörde Kapasite değerinin toleransı .....	58
4.3 Kondansatörlerin dayanacağı gerilim .....	58
4.4 Kondansatör Tipleri .....	58
4.5 Kondansatörlerin Gücü .....	59
4.6 Kondansatör Kayıpları .....	59
4.7 Bir Kondansatörün Eşdeğer Devresi .....	60
4.8 Kondansatör Çeşitleri, Kullanıldığı Yerler ve Kompanzasyon Hesabı ....	60
4.8.1 Kondansatör Çeşitleri .....	60
4.8.2 Güç Kondansatörleri .....	61
4.8.3 Daimi Devre Kondansatörleri .....	62

4.8.4	<i>Parazit Giderici Kondansatörler</i> .....	62
4.8.5	<i>Demaraj (İlk Hareket-Yol Alma) Kondansatörleri</i> .....	62
4.9	<b>Kompanzasyon İçin Kondansatör Seçimi</b> .....	63
4.9.1	<i>Kağıt Yalıtkanlı Yağlı Tip</i> .....	63
4.9.2	<i>Polipropilen Yalıtkanlı Tip</i> .....	63
4.9.3	<i>Metalize Polipropilen Kuru Tip</i> .....	63
4.9.4	<i>Karma Yalıtkanlı, Yağlı Tip:</i> .....	64
4.10	<b>Bir Kondansatörün Eşdeğer Devresi</b> .....	64
<b>5.</b>	<b>HARMONİKLER, HARMONİKLERİN KOMPAZASYON</b>	
	<b>TESİSİNDEKİ ETKİLERİ</b> .....	66
5.1	<b>Harmonik Kaynakları</b> .....	68
5.2	<b>Harmonikli Elektriksel Büyüklükler</b> .....	69
5.3	<b>Harmoniklerin Hesaplanması</b> .....	71
5.4	<b>Harmoniklerin etkileri</b> .....	74
5.4.1	<i>Kondansatörler Üzerine Etkileri</i> .....	74
5.4.2	<i>Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri</i> .....	75
5.4.2.1	<i>Jeneratör ve Şebeke Geriliminin Şeklinin Bozulması</i> .....	76
5.4.2.2	<i>Gerilim Düşümünün Artması</i> .....	76
5.4.2.3	<i>Kondansatörler üzerine etkisi :</i> .....	76
5.4.2.4	<i>Zayıfın Artması</i> .....	76
5.4.2.5	<i>Elektrik Makinaları Üzerine Etkisi</i> .....	77
5.4.2.6	<i>Sayaçlar Üzerine Etkisi</i> .....	77
5.4.2.7	<i>Kontrol Cihazları Üzerine Etkisi</i> .....	77
5.4.2.8	<i>Mikro Bilgi İşlemciler Üzerine Etkisi</i> .....	77
5.4.2.9	<i>Toprak Temasının Kompanzasyonu</i> .....	77
5.4.2.10	<i>İzolasyonun Delinmesi</i> .....	78
5.4.2.11	<i>Rezonans Olayları</i> .....	78
5.4.2.12	<i>Telekomünikasyon Tesislerine Etkisi</i> .....	78
5.5	<b>Harmoniklerin Ortadan Kaldırılması</b> .....	79
<b>6.</b>	<b>YÜK KOMPAZASYONUNUNUN EKONOMİK OLARAK</b>	
	<b>İNCELENMESİ</b> .....	81
6.1	<b>Enerji Tarifeleri</b> .....	81
6.1.1	<i>Reaktif Enerji Tarifeleri</i> .....	81

6.2	Kompanzasyon Tesisinin ekonomik hesabı .....	84
6.3	Elektrik Enerji Tasarufu .....	87
6.3.1	<i>Şirket Kuruluş Bilgilerinin Alınması</i> .....	87
6.3.2	<i>Yük Eğrilerinin Düzenlenmesi</i> .....	87
6.3.3	<i>Güç Kompanzasyonu</i> .....	89
6.3.4	<i>Verimli Teknoloji seçimi</i> .....	89
6.4	Reaktif güç Kompanzasyonu İçin Örnek Uygulama .....	90
6.5	Orta Gerilim Kompanzasyonda Maliyet Hesabı .....	96
7.	SONUÇ .....	107
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>109</b>

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. 1994 Yılında Ülkelere göre Kişi Başına Enerji Tüketimi .....	22
Tablo 2.2. Türkiye’de Son Yıllara Ait Kişi Başına Enerji Tüketimi .....	25
Tablo 2.3. Elektrik Enerjisi Tüketimi.....	27
Tablo 2.4. Enerji Kaynaklarına Göre Brüt Elektrik Enerjisi Üretimi .....	28
Tablo 2.5. Enerji Üreten Kuruluşlara Göre Elektrik Enerjisi Üretimi .....	29
Tablo 3.1. Enerji Üreten Kuruluşlara Göre Elektrik Enerjisi Üretimi .....	55
Tablo 6.1. TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş. Elektrik Enerjisi Satış Tarifeleri .....	83
Tablo 6.2. BEDAŞ 10 kV Kompanzasyon Sistemi Orta Gerilim Şalt Panosu Malzeme Listesi ve Keşfi .....	98
Tablo 6.3. BEDAŞ 10 kV Kompanzasyon Sistemi Malzeme Listesi ve Keşfi .....	105

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. 1994 Yılında Ülkelere göre Kişi Başına Enerji Tüketim Grafiği.....	23
Şekil 2.2. Türkiye’de Son Yıllara Ait Kişi Başına Enerji Tüketim Grafiği .....	26
Şekil 2.3. Elektrik Üretiminin Enerji Kaynaklarına göre dağılımı .....	29
Şekil 3.1. Direnç Yük Devresi .....	30
Şekil 3.2. Endüktif Yük Devresi .....	31
Şekil 3.3. Kapasitif Yük Devresi .....	31
Şekil 3.4. Alternatif Akımda Gerilim, Akım ve Güç .....	38
Şekil 3.5. Akım ve Güç İçin Fazör Diyagramı .....	43
Şekil 3.6. Elektriksel Gücün Bileşenleri.....	43
Şekil 3.7. Kompanzasyon Tesisinin Yeri (Yüke Yakınlığı) .....	45
Şekil 4.1. Kondansatör Şekli .....	56
Şekil 4.2. Kondansatörlerin Yıldız Bağlanması .....	65
Şekil 4.3. Kondansatörlerin Yıldız Bağlanması .....	65
Şekil 5.1. Kare dalga gerilim .....	71
Şekil 5.2. Serinin Çizgi Spektrumu .....	74
Şekil 6.1. Koç Grubu Şirketlerinde Elektrik Enerjisi Tasarrufu Çalışmaları Blok Şeması .....	95

## KISALTMALAR

a.g.e.	Adı Geçen Eser
bkz..	Bakınız
BEDAŞ	Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.
B.Y.K.P.	Beş Yıllık Kalkınma Planı
ÇEAŞ	Çukurova Elektrik Anonim Şirketi
D.İ.E.	Devlet İstatistik Enstitüsü
D.P.T.	Devlet Planlama Teşkilatı
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
Giga	Milyar ( $1.10^9$ )
G.S.M.H	Gayri Safi Milli Hasıla
GW	Giga watt ( $1.10^6$ kW)
GWh	Giga watt saat ( $1.10^6$ kWh)
İTO	İstanbul Ticaret Odası
İ.T.Ü.	İstanbul Teknik Üniversitesi
İ.Ü.	İstanbul Üniversitesi
İ.E.E.E.	Institute of Electrical and Electronics Engineer
kW	Kilowatt
kWh	kilo watt saat
MW	Megawatt ( $1.10^3$ kW)
MWh	mega watt saat
TW	Terawatt ( $1.10^9$ kW)
TWh	Terawattsaat ( $1.10^9$ Kwh)
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
T.E.K.	Türkiye Elektrik Kurumu

## NOTASYON LİSTESİ

- $C_{\Delta}$  : Üçgen bağlamada her iki hat arasındaki kondansatörün kapasitesi  
 $C_y$  : Üçgen bağlamada her iki faz-nötr arasındaki kondansatörün kapasitesi  
 $\delta U$  : Enine gerilim düşümü  
 $\Delta U$  : Boyuna gerilim düşümü  
 $\varepsilon$  : Bağlı gerilim düşümü  
 $f$  : Frekans  
 $f_v$  : Harmonik frekansı  
 $I_c$  : Kondansatör akımı  
 $I_L$  : Yük akımı  
 $I_{max}$  : Maksimum akım  
 $I_p$  : Aktif akım  
 $I_q$  : Reaktif akım  
 $I_R$  : Direnç akımı  
 $I_v$  : Harmonik akımı  
 $\varphi$  : Faz açısı  
 $P$  : Aktif güç  
 $P_z$  : Kayıp güç  
 $Q$  : Reaktif güç  
 $Q_c$  : Kondansatör gücü  
 $R$  : Hattın ohmik direnci  
 $S$  : Görünür güç  
 $U_f$  : Faz gerilimi  
 $\omega$  : Açısal frekans  
 $X$  : Hattın reaktif direnci  
 $Z$  : Devre empedansı

## ÖZET

Bu çalışmada, elektrik dağıtım ve tüketiminde yük kompanzasyonu ve kompanzasyonda kondansatör kullanımı, mühendislik ve ekonomik açıdan incelenmiştir. Kompanzasyonun, elektrik enerjisi üreticileri ve elektrik enerjisini bir girdi olarak kullanan işletmeler açısından gerekliliği, kompanzasyonun yapılmasının ekonomik olarak faydaları ve kompanzasyon tesislerinde kullanılan kondansatörün önemi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, enerji üretim ve tüketiminin önemi anlatılmıştır. Elektrik enerjisi tüketiminde reaktif güç ve işletmeler tarafından çekilen bu gücün kompanzasyon ile optimizasyonu ve kompanzasyonun önemi anlatılmaya çalışılmıştır.

İkinci bölümde; enerjinin tanımı, enerji kaynakları, kıt kaynakların kullanımı, elektrik enerjisi ve elektrik enerjisi tüketimi hakkında tanım, araştırma ve istatistikler verilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

Üçüncü bölümde kompanzasyonun elektrik mühendisliği açısından gerekliliği, kompanzasyon tesislerinin çeşitleri ve kompanzasyonun matematiksel olarak tanımı verilmiştir ve kompanzasyonda kondansatör hesabı yapılmıştır. Kompanzasyonun belirli bir güç için hesabı yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, kompanzasyon tesisatının en önemli elemanı olan kondansatörün elektriksel olarak tanıtılması, kondansatör üretimi ve kullanıldığı yerler hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde, yükten ve çeviricilerden kaynaklanan harmoniklerin tanımı ve oluşan bu harmoniklerin giderilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Altıncı bölümde, belirli bir güç için yapılan hesap sonucu gerekli kompanzasyon tesisatı ekonomik olarak değerlendirilmiştir. Tesisatta yer alan tüm elemanların ortalama fiyatları toplanarak, tesisat için gerekli yatırım maliyetleri ortaya çıkarılmıştır.

Yedinci bölümde ise, elektrik kompanzasyon tesisatı kurmuş bir işletme için kompanzasyon tesisatının ekonomik olarak faydaları gerçek olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde, kısaca tez konusunun önemi, tez çalışmasının içeriği ve çalışmanın sonucunda ulaşılan neticelerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda enerjinin rolü, önemi ve enerjiye olan gereksinim büyük ölçüde artmıştır. Gün geçtikçe özellikle petrol sıkıntısının artması, temel bir girdi olan enerjinin ekonomik değerini bir kat daha arttırmaktadır. Böyle bir süreç, alternatif enerji rezervlerinin de sınırlı olması nedeniyle, enerji üretimi ve tüketimi konusunda bir dizi araştırmanın yapılmasına yol açmıştır. Bu araştırmalarda öncelikle petrol, doğal gaz ve kömür; fiyat ve rezervlerine bağlı olarak ön sıralarda yer almıştır. Elektrik enerjisinin bir girdi olarak önemi, alternatif enerji kaynaklarının kullanımlarında ortaya çıkan problemler sonucunda gündeme gelmiştir. Enerji kaynaklarının nispi fiyatlarındaki değişiklikler, bunların maliyetlerini arttırmış ve sonuçta enerjinin kullanımı konusunda bir tasarrufa yönelme ihtiyacı doğmuştur. Bu durum, elektrik enerjisi üreten, tüketen ve planlayan ekonomik birimleri, rasyonel bir üretim, tüketim ve fiyat stratejisi üretmeye zorlamıştır. Elektrik enerjisi üretimi için gerekli alt yapının oluşturulması, orta vadeli bir planlamanın gerekliliği, eski santrallerin devre dışı bırakılması ve yenilerinin yapılması büyük maliyetlere neden olmaktadır.<sup>[1]</sup>

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın gün geçtikçe artış göstermesinden dolayı bir enerji krizi ile karşı karşıya kalınmaması için bir taraftan yeni enerji kaynakları araştırılırken, diğer taraftan mevcut enerji kaynak ve sistemlerinden daha faydalı bir şekilde yararlanmak için bir takım çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de *elektrik enerjisinin reaktif bileşeninin kompanze edilmesidir*. Reaktif gücün kompanze edilmesi, özellikle ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacının giderek arttığı

---

[1] EKREN, N., "Türkiye'de İmalat Sanayiinde Elektrik Enerjisi Tüketiminin Ekonometrik ve Mühendislik Analizi" Doktora Tezi, İstanbul 1996, S.1.

ve mevcut kaynakların bu ihtiyacı yeterli ölçüde karşılayamadığı son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Yük kompanzasyonu; alternatif akım enerji sistemlerinde beslemenin kalitesini yükseltmek için reaktif gücün yönetilmesidir.

Günümüzde genellikle elektrik enerjisi alternatif akım olarak üretilir ve dağıtılır. Tüketicilerin şebekeden çektikleri alternatif akım, aktif ve reaktif akım olarak iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından faydalı hale getirilir; örneğin, motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif güç faydalı güce çevrilemez ise de bundan da vazgeçilemez. Elektrodinamik prensibe göre çalışan jeneratör, transformatör, bobin ve motor bütün işletme araçlarının normal çalışmaları gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilir. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslama akımı çekerler, bu mıknatıslama akımı reaktif akımdır. Bu nedenle faydalı gücün yanında, mutlak reaktif güce de ihtiyaç vardır.

Günümüzde kompanzasyon teknik ve ekonomik bir zorunluluktur. İdeal bir alternatif akım enerji sisteminde; bütün baraların gerilim ve frekanslarının sabit ve harmoniksiz olmasının yanında güç katsayısının da uygun bir değerde olması gerekmektedir. Özellikle de bu parametreler tüketici yüklerinin karakteristik ve boyutundan bağımsız olmalıdırlar.

Bu kaliteyi sağlamak için reaktif güç kompanzasyon cihazlarının kullanılması gerekir. Önceleri alternatif akım şebekelerindeki yükler jeneratörlerle yakın konumda oldukları için kullanılmıyorlardı. Enerji üretiminde kullanılan senkron jeneratörlerde aktif güç yanında, uyarma akımı değiştirilerek yükün ihtiyacı olan reaktif güç temin edilebiliyordu. Şebekenin büyümesi ile yük sayısının artması ve jeneratörlerden uzak yerlerde bulunması sonucu 1940'lı yıllardan itibaren, halen günümüzde kullanılan senkron motorlar, küçük senkron kompanzatorlar gibi

dinamik elemanlar kullanılmaya başlandı. Elektrik tüketicilerinin yani yüklerin çeşitlenmesi sonucu, yüklerin yanına sabit kapasitelerden oluşan cihazlar konuldu. Yüksek gerilim hatlarının kurulması ile seri kapasiteler ve şönt (paralel) reaktörler önemli kompanzasyon cihazları olmuştur.

1970'li yıllardan itibaren özellikle endüstride elektrik enerjisi kullanımına dayanan büyük tesisler (ark fırınları, elektrikli trenler vb..) kuruldu. Bu yükler ani değişim gösteren büyük değerlerdeki yükler olduğu için sabit kapasiteler ve ya senkron kondansatörler ile bu güçleri anında karşılamak ve şebekeyi dengeli tutmak mümkün değildir. Tristörlerin geliştirilmesi ile hareketli parçası bulunmayan "statik kompanzatörler" geliştirildi. Bu cihazlar dağıtım sistemi ve enerji iletim uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaya başlandı ve bu cihazların kullanılması ile kayıpların minimize edilmesi bir ölçüde sağlanmış oldu.<sup>[2]</sup>

---

[2] GÜLER, Ö., "Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sakıncaları" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Şubat 1995, S.1.

## 2. ENERJİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ

“Bir madde yada maddeler sisteminin iş görebilme yeteneği <sup>[3]</sup>” olarak tanımlanan enerji, toplumların sosyal ve ekonomik kalkınmaları için vazgeçilmez araçlardan biridir. Çağımızda her türlü mal ve hizmet üretiminde enerji kullanımı bir ön şarttır. Sanayi devrimi ve sonrasında üretim sürecinde bir girdi olarak kullanılmaya başlanması ile enerji, özellikle 1775’li yıllarda keşfedilen buhar makinesi ile Avrupa’da modern manada sanayiye geçiş döneminin başlamasına sebep olmuştur. Teknolojik gelişmeyle ve teknolojinin sosyal ve ekonomik hayata daha fazla girişiyle birlikte, enerji kaynakları tüketimi çok daha hızlı oranlarda artmıştır.

Ancak enerji sektöründeki gelişme başarısı teknolojik ilerlemelerden çok temel sorunların çözülebilmesine bağlıdır. Enerjinin temel sorunları nelerdir? Başta, enerjinin “*bulunabilirliği*” ve “*sürekliliği*” gelmektedir. Bu özellikler kısaca, bir yandan enerjinin sağlanabilmesi konusunu oluştururken diğer yandan toplumun sürekliliği ve gelişmesini desteklemek için yeterli enerji ikmalinin yapılabilmesi sorununu ortaya çıkarmaktadır.

Bu sorunlar ayrıca, hem bu günkü kuşaklarla ve hem de gelecekteki kuşaklarla ilgilidir. Enerji, insanlık için temel bir ihtiyaç olduğundan, gelecek kuşaklara enerjinin “*saklanabilmesi*”, bu günkü toplum ile enerji arasında kritik bir bağlantı olmaktadır; başka bir deyişle enerjinin “*sürekliliği*”nin sağlanabilmesidir.

---

[3] BERBEROĞLU, N., “Türkiye’nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu”, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayını, Yayın No:245/165, Eskişehir, 1982, S.9.

Ülkelerin enerji talebi düzgün bir şekilde artmaktadır. Fakat ülkelerin ekonomik büyümelerinin farklı oluşu ve çok hızlı nüfus artışı karşısında, ülkeler arasında enerji bakımından giderek büyüyen bir "eşitsizlik" ortaya çıkmaktadır. 1950 yılında 2.5 milyar olan Dünya nüfusu hızla artarak bugün 5-6 milyara ulaşmıştır. Artışın esas kaynağı gelişmekte olan ülkelerdir. Gelişmekte olan ve geri kalmış ülkelerin nüfusu, Dünya nüfusunun %75 'ini oluştururken, Dünyada tüketilen ticari enerjinin ancak %30 'unu kullanmaktadırlar.<sup>[4]</sup>

## 2.1 Enerji İhtiyaçları

Enerji üzerine her düşünce, başlangıçta ihtiyaçlar yönünden gelişir. Nitekim, enerjinin üretimi, dağıtımı ve tüketimi ancak bir ihtiyacın karşılanması durumunda anlam kazanmaktadır.

Enerji, ihtiyaçların karşılanması için bir araçtır. Enerji tüketimlerine yol açan bu ihtiyaçlar dört büyük bölüme ayrılabilir.

### 2.1.1 Termik İhtiyaçlar

Belirli ürünlerin işlenmesi, piyasaya hazırlanması ve yaşanan ortamın iyileştirilmesi amacıyla, doğrudan ya da su, hava ve diğer akışkanların yardımıyla çeşitli sıcaklıklarda sağlanan ısıtma veya soğutma ihtiyacıdır. Genel olarak çeşitli sıcaklıklar; yüksek, orta ve düşük sıcaklık olarak tanımlanır.

Konutların ısıtılması, pişirme, yıkama için sıcak su, endüstri için yüksek sıcaklıkta ısı (buhar, damıtma, pişirme, kurutma, füzyon), soğuk hava depolarında saklama bu ihtiyacın çeşitleridir.

---

[4] YÜCEL, F.B., "Enerji Ekonomisi", Birinci baskı, Ankara-1994, s.2.

Termik ihtiyaçlar, ülkelere göre deėiŐen iklim koŐullarına, endüstriyel ısı ihtiyaçları ise endüstrileŐme düzeyine bağlıdır.

### **2.1.2 Mekanik Güç İhtiyacı:**

İnsan ya da hayvan gücünün yerine kullanılması amacıyla, sabit ya da hareketli mekanik iş üretme ihtiyacıdır.

Mekanik güç, çeşitli uygulama yöntemleriyle (buhar makinası, patlamalı motor, elektrik motoru, hidrolik türbin, gaz türbini vs.) taşıma ve kaldırma araçlarında inŐaat, endüstri, küçük sanatlar, tarım ormancılık, balıkçılık iŐlerinde geniş kullanım alanına sahiptir.

### **2.1.3 Hammadde İhtiyaçları:**

Enerjiler çoğu kez endüstride temel ürün görevi de yaparlar. Petrolden ve doğal gazdan elde edilen kimyasal ürünler (petro kimya), kömür ve yan ürünlerinden elde edilen kimyasal ürünler (karbo kimya) metal oksitlerinin redüksiyonu için katı ya da gaz biçiminde karbon kullanımı (karbonik redüksiyon), kimya endüstrisinde ısı uygulamar dışında elektrik enerjisi kullanımı (elektro kimya), enerjinin hammadde Şeklindeki ihtiyaçlarının örnekleridir.

Gerçekten plastikler, sentetik elyaf, boya ve gübre üretiminde, petrol ve doğal gazın bu ürünlerin başlıca hammaddesi sayılması gerekir. Elektrik ise, elektro metalürji ve elektroliz iŐlemlerinde öylesine önemli bir etkendir ki, bu gibi durumlarda bir üretim elemanı olarak ele alınması doğal görünmektedir.<sup>[5]</sup>

---

[5] YÜCEL, F.B., "Enerji Ekonomisi", Birinci baskı, Ankara-1994, s.3,4.

#### **2.1.4 Işık İhtiyacı:**

Aydınlatma (elektrik, havagazı, gaz lambası gibi), gün ışığına bağlılığa son vererek bir yandan konfor sağlarken, diğer yandan endüstrileşmenin yoğunlaşmasında önemli bir etken olmuştur.<sup>[6]</sup>

## **2.2 Enerjinin Boyutları**

Dünyada enerji tüketiminin, benzerlerine uymayan bir gelişme gösterdiği ve sürekli büyüdüğü gözlenmektedir. Nitekim, son otuz yılda yaklaşık 3 kat artarak 1989' da 8 milyar ton petrol eşdeğerine ulaşmıştır.

Kullanımındaki bu aşırı genişleme, enerjiye Dünya ölçüsünde fiziksel boyutunun dışında yeni boyutlar kazandırmıştır. Bunlar; teknolojik, politik ve çevresel boyutlardır.

### **2.2.1 Fiziksel Boyut**

Ekonomik yönden işletilebilir olup olmadıkları dikkate alınmaksızın teknolojik araçlarla yararlanılabilir. Bu varlıkların bir bölümü, ekonomik yönde işletilebilir durumda ya da ileride ekonomik olarak değerlendirilebileceği bilinen veya beklenen yenilenemez doğal enerji kaynakları (tükenbilir enerji kaynakları) dır. Bunların diğer bir bölümü de, yine ekonomik yönden işletilebilir durumda olan ve sürekli yenilenen doğal enerji kaynakları (yenilenebilir enerji kaynakları) dır.

Tükenbilir enerjilere “**stok enerjiler**”, yenilenebilir enerjilere “**akım enerjileri**” de denilmektedir.

---

[6] YÜCEL, F.B., a.g.e., S.3,4.

Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüm uygulanmamış biçimi; “**birincil enerji**” veya “**primer enerji**” olarak tanımlanır.

Uluslararası literatürde birincil kaynaklar aşağıdaki şekilde sınıflara ayrılır;

- ◆ katı yakıtlar (kömür, linyit...)
- ◆ petrol (petrol ürünleri),
- ◆ doğal gaz,
- ◆ hidrolik enerji,
- ◆ nükleer enerji,
- ◆ yeni enerjiler (güneş jeotermilik, rüzgar, biyogaz...),
- ◆ geleneksel veya ticari olmayan enerjiler (odun, bitki ve hayvan artıkları).

Katı yakıtlar, petrol, doğal gaz ve nükleer enerjiler “**tükenebilir enerji**” leri oluşturur . Hidrolik enerji, yeni enerjiler ve ticari olmayan enerjilerin tamamı “**yenilenebilir enerji**”leri oluştururlar. Bunlardan hidrolik ve yeni enerjilerin oluşturduğu gruba “**modern enerjiler**” de denilmektedir.

Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji çeşidi “**ikincil enerji**” veya “**sekonder enerji**”dir. İkincil enerjinin en önemli ve en çok kullanılan türü “**elektrik enerjisi**”dir.

Dünyada tüketilebilir enerji kaynaklarının artan bir tempoda kullanılması karşısında, bir gün biteceği düşünülebilir. Bu konuyla ilgili değişik tahminlerin birleştieği nokta; petrol, doğal gaz ve uranyumun gelecek yüzyılın sonlarına doğru tükeneceği üzerinedir.

Doğanın bu stokları oluşturmak için milyonlarca yıl geçirmesine karşılık, insanoğlu bunları birkaç yüzyılda kullanıp bitirmiş olacaktır. Bu durumda geriye kömürün dışında, yenilenebilir enerji kaynakları kalacaktır. Yenilenebilir enerjiler Dünyayı her

gün besleyen güneş enerjisi akımı olduğuna göre; gelecekte bir gün insanlığın enerji ihtiyaçlarını karşılamak için güneş enerjisinin akımı ile yetinmek zorunda kalacağını söylemek kehanet olmayacaktır.

### **2.2.2 Teknolojik Boyut**

Enerji, teknolojik açıdan incelendiğinde, bazı alanlarda erişilen ve karmaşık teknik gelişmelerin ve mevcut teknolojinin olağanüstü çeşitliliği göze çarpmaktadır.

1859'da Albay Drake'nin Titusville'de ilk olarak kullandığı ilkel sondaj gerecinden 120 yıl sonra, su altında 1500 metre derinlikte kuyu açma imkanlarını veren elektronik aygıtlarla donatılmış sondaja ulaşılmıştır.

Aynı şekilde, güneş enerjisinin ilk basit kullanımı olan güneş serleri ile bir güneş motorunun hareket sağladığı uçak (solar challenger) arasında mukayese edilemeyecek kadar büyük teknolojik gelişme farkı bulunmaktadır.

Enerji alanında 20. Yüzyılın en önemli teknolojik gelişmeleri;

- ◆ 1939'da fiziğin bir temel buluşunun sonucu nükleer enerjinin ortaya çıkması,
- ◆ doğal gazın daha uzun mesafelere taşınması imkanını veren sıvılaştırma tekniklerinin uygulamaya konulması,
- ◆ denizaltı petrol kaynaklarına ulaşılması,

dır.

Teknolojik gelişmeler, enerji alanında çıkabilecek yetersizlikleri sürekli şekilde erteleyen bir yapıya sahiptir. Örneğin; Dünyada taşıt araçlarında gelişme sonucu özgül tüketimin düşürülmesi, petrol kaynaklarının tükenme sürelerini uzatmaktadır.

Halen gelişme safhasında olan jeneratörlerin ticari işletmeye girişleri de, yeryüzündeki uranyum yataklarının ömrünü uzatacaktır.

Enerji alanında teknolojik yeniliklerin etkinlikleri, ancak uzun bir süre sonra geniş ve yaygın hale gelebilmektedir. Bu hantallık, enerjinin teknolojik boyutunun bir özelliğidir.<sup>[7]</sup>

### 2.2.3 Politik Boyut

Enerji, her zaman ve her devirde politik bir malzeme olmuştur. Ancak 1970'li yılların petrol krizleri, politika ile enerjiyi ayrılmaz ortaklar haline getirmiştir. Enerjinin artan politik öneminin çeşitli gerekçeleri bulunmaktadır.

- ◆ Petrol stratejik bir maddedir. Örneğin; petrol zengini ülkeler etkin askeri üstünlük sağlayabilmektedir.
- ◆ Enerji sektöründeki kesintilerin maddi ve manevi sıkıntıları ekonomik, toplumsal ve politik düzeyde hissedilmektedir.
- ◆ Enerji fiyatlarında küçük ölçüde ortaya çıkan değişiklikler karşısında Pazar ekonomileri kendilerini ayarlayabilmektedir. Ancak, durumu büyük oranda altüst eden değişiklikler meydana gelirse, politik müdahaleler söz konusu olabilmektedir.

Dünya enerji piyasasının temsil ettiği ekonomik sorunların genişliği, çok defa neden olduğu politik olaylarla noktalanmıştır. Örneğin; Ortadoğu, petrol paylarını isteyen büyük Devletlerin çatışma alanı olmuştur. Kippur Savaşı, İran Devrimi, İran ile Irak

---

[7] YÜCEL, F.B., "Enerji Ekonomisi", Birinci baskı, Ankara-1994, S.5,6.

arasındaki savaşlar, Irak'ın Kuveyt'i işgali, Dünya enerji sahnesini anında etkileyen olaylar olmuştur.

Büyük barajların yapımı veya projelerinin teknolojik kontrolünü elinde tutamayan bir ülkede bir nükleer programın uygulanması söz konusu olursa, bunun yalnız ekonomik hesaplardan değil, daha çok politikanın rol oynadığı bazı kararların sonucu olduğu anlaşılır. Örneğin; Irak, Pakistan ve Hindistan' da bir sivil nükleer programın geliştirilmesi, hiç bir zaman askeri görüşlerden soyutlanmış değildir.

Özetle, ihtiyaçlar açısından ekonomik yaşantımıza gösterişsiz bir biçimde giren enerjinin, oldukça kısa bir sürede, Dünyanın başlıca politik çalkantılarının kaynağı haline geldiği söylenebilir.

#### ***2.2.4 Çevresel Boyut***

Büyük miktarlarca enerjinin üretilmesi ve dağıtılması sonucu çevre bozulmaktadır. Karbondioksit gazı ile diğer muhtelif gazların yayılmasıyla sera etkisi ve bunlara bağlı iklimsel değişiklikler, yanma tesisleri ve kara taşıt araçlarından yayılan gazlardan oluşan asit yağmuru, nükleer enerji artıklarının saklanması gibi çevresel enerji faaliyetleri sonucu ortaya çıkmaktadır.

1960'lı yıllara kadar enerjinin arzı ve kullanımındaki gelişmelerin sağlığa ve çevreye yaptığı etkilere kamuoyunda fazla dikkat edilmemişti. Ancak, nükleer radyasyon tehlikesinin yarattığı gerilim hava kirliliğini azaltmak için yapılan baskıları çevre ile ilgili diğer sorunlarla birleşince, modern toplumun endişelerinin belirtileri olarak önem kazanmıştır.

Gelişmiş ülkeler son otuz yıl içinde çevreden gelecek toplam zararları azaltma çabası içinde olmuşlardır. Kuzey Amerika ve Batı Avrupa'da toplumsal amaç sağlığa ve çevresel zararların sifra indirilmesine yöneliktir. Böylece, enerji

etkinlikleri giderek daha sıkılaşan kurallara bağlanmakta ve enerji kurumları çevresel zararları azaltma konusunda açık bir hedef durumuna gelmektedir. evre koruma önlemleri, bazı ülkelerde önem bakımından ekonomik ölçülerinin önüne geçme yolundadır.

Artık, *Enerji-Ekonomi* ikilisinin yerini *Enerji-Ekonomi-evre* ls almaktadır. Batıda genel ekolojik uyanıştan bu yana tüketiciler geçmişteki pasif kullanıcı konumdan çıkarak müdahaleci, karar verici duruma gelmişlerdir. Tüketiciler gezegenimizin geleceğini korumak için herhangi bir enerji sistemine karşı çıkabilmekte, dolayısıyla *Enerji-Ekonomi-evre* lsnn işleyişindeki aksaklıkların zmne katılabilmektedirler.

### 2.3 Enerji Kaynakları

Enerji, çeşitli kaynaklardan elde ediliş şekillerine göre ve tketimekinin ekonomik olup olmamsına göre, iki şekilde sınıflamaya tabi tutulur. İlk ayrıma göre, enerji üç şekilde incelenir.

- ◆ **Birincil enerji kaynakları;** tabiatta buldukları şekilde, hiçbir değişikliğe uğratılmadan kullanılabilen enerji kaynakları (linyit, taşkömürü, odun, doğal gaz, hidrolik ve nükleer enerji vs.),
- ◆ **İkincil enerji kaynakları;** birincil enerji kaynaklarının belli bir işlemden geçirilip, Şekil değiştirilmesi ile elde edilen enerji türleridir.<sup>8</sup> (Elektrik, kok, havagazı vs.).
- ◆ **Yinelenebilir enerji kaynakları.** (Güneş, rüzgar, jeotermal, biyo gaz ve deniz enerjileri sayılabilir.)

---

<sup>8</sup> BERBEROğLU, N., a.g.e., S.11.

İkinci ayrıma göre,

- ◆ **Ticari enerji kaynakları;** tüketimleri ekonomik olan kaynaklar, (petrol ürünleri, kömür vs.),
- ◆ **Ticari olmayan enerji kaynakları ise;** kullanımları ekonomik olmayan enerji kaynaklarıdır.<sup>[9]</sup> (Odun, bitkisel ve hayvansal atıklar vs.).

Ülkeler enerji potansiyelleri ve gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak enerji kaynaklarını çeşitli miktarlarda ve bileşenlerde tüketmektedirler.

### **2.3.1 Birincil Enerji Kaynakları**

#### **2.3.1.1 Taş kömürü ve Linyit**

Enerji kaynakları yönünden zengin olmayan ülkemizde yerli kaynak olarak kömür, hidroelektrik kapasite ile birlikte ön sırada yer almaktadır. 1980'den beri taşkömürü iki kat, linyit talebi üç kat hacme ulaşmıştır.

Elektrik Üretimimizin %40'a yakın bir bölümü kömürden sağlanmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de geniş rezervleri dolayısıyla kömürün gelecekte enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rolü bulunacaktır. Bu rol, çevreye verdiği zararın azaltılması oranında artacaktır.<sup>[10]</sup>

Yerli kaynaklarımız içerisinde önemli bir yere sahip olan Linyit kömürü, ülkemizin hemen hemen her bölgesinde bulunmaktadır. Linyit kömürü, konutlarda, termik

---

[9] Ibid, S.11.

[10] YÜCEL, F. B., "Kömür: Geleceğin Enerjisi", Kaynak Elektrik, Sayı 100, Temmuz 1997, S.73.

santrallarda ve sanayide yoğun olarak tüketilmektedir.

Ülkemizde, son yıllarda iyi nitelikli linyitlerin küçük sanayide, ulaşırmada ve konutlarda artan bir oranda kullanıldığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, bu özellikteki linyitler taşkömürünün ikamesi olarak ele alınmaktadır. 1993 yılında Türkiye’de tüketilen toplam enerji içinde taşkömürün ve linyitin payı %35,1 dir.

Önemli bir enerji kaynağı olan kömürün üretimi, taşınması, depolanması, dağıtılması ve tüketimi sırasında çevre ve insan sağlığı üzerinde bir dizi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kömürün üretiminde elde edebilecek zararlı faktörlerin minimuma indirmek için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

### **2.3.1.2 Petrol**

Günümüzde en yoğun bir şekilde kullanılan enerji kaynakları petrol, doğal gaz ve kömürdür. Bu üç enerji kaynağından elde edilen enerji, temel sanayi sektörlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu üç kaynak içinde petrolün tercih edilmesinin üç ana sebebi bulunmaktadır.

- ◆ Diğer enerji kaynaklarına nazaran kullanım alanı geniştir,
- ◆ Dağıtımı, diğer enerji kaynaklarına oranla daha kolay ve ucuzdur,
- ◆ Yeraltında çıkarılması kolaydır.

Dünya petrol rezervlerinin % 65.5’nin Ortadoğu ülkelerinde olduğu görülmektedir. Petrol rezervleri 1991 yılı baz alındığında 1992 de kuzey Amerika bölgesinde %5.7 azalmış, Asya ve Avustralya’da sabit kaldığı gözlenmiştir. Diğer bölgelerde ise

nispi oranlarda artışlar olduğu tespit edilmiştir.<sup>[11]</sup>

### 2.3.1.3 Doğal Gaz

Doğal gazın oluşumu petrol gibidir. Doğal gaz, yeraltında gaz veya sıvı, petrol içinde çözülmüş biçimde veya petrol üzerinde gaz tabakası durumunda bulunur. Diğer yakıtlardan farklı olan doğal gazın, ucuz ve kullanıma hazır olması, önemli bir özelliğidir.

Doğal gazın, özellikle son yıllarda olumlu bir biçimde gelişen çevre bilincinin de etkisiyle, önümüzdeki yıllarda Dünya Primer Enerji Pazarı'nda Pazar payını giderek arttırması beklenmektedir. Talep artışına paralel olarak, yeni doğal gaz rezervlerinin bulunmasına yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır.

Dünya doğal gaz rezervlerinde 1991 yılına göre 1992 de %11.2'lik bir artış gerçekleşmiştir. Bu artış, özellikle eski SSCB'de ve Ortadoğu'da bulunan yeni rezervlerden kaynaklanmıştır. Eski SSCB dünya doğal gaz rezervlerinin %39.8'ine sahip olup, bunu %14.3'lük pay ile İran takip etmektedir. 1992 yılı üretim miktarı baz alındığında Dünya rezervlerinin ömrünün 65 yıl olduğu belirtilmektedir.

Doğal gaz, temiz bir yakıt olması sebebiyle, son yıllarda bütün dünyada tercih edilen bir enerji kaynağı durumuna gelmiştir. Bu sebeple yetersiz olan üretimimiz, 1987 yılında Rusya Federasyonundan başlatılan ithalat ile takviye edilmiştir. Günümüzde Türkiye'nin doğal gaz arz imkanı, mevcut anlaşmalara göre Rusya Federasyonundan 6 milyar m<sup>3</sup> / yıl, Cezayir de 2 milyar m<sup>3</sup> / yıl LNG ve 100-200

---

[11] Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, "Türkiye 6. Kongresi", 17-22 Ekim 1994, İzmir, S.8.

milyon m<sup>3</sup>lük yerli üretim ile toplam 8.2 milyar m<sup>3</sup> / yıldır. Ancak giderek artan talep ile birlikte Türkiye'nin 2000'li yıllarda doğal gaz ihtiyacının 18-20 milyar m<sup>3</sup>lük seviyeye ulaşması beklenmektedir.<sup>[12]</sup>

Doğal gazın, diğer fosil yakıtlara oranla çevreye olan olumsuz etkisi oldukça az olmasına rağmen, sıvı olarak taşınması, sırasında dolum tesislerinde su kirliliğine sebep olmaktadır.

#### **2.3.1.4 Hidrolik Enerji**

Dünya petrol bunalımı dolayısıyla giderek daha hızlı artan enerji talebinin karşılanmasında, diğer bir primer enerji kaynağı olan hidrolik enerji de önem kazanmıştır.

Dünya çapında değerlendirilebilecek 14000 TWh hidrolik enerji kapasitesi bulunmaktadır. Avrupa ve Kuzey Amerika da değerlendirilebilecek kapasitenin %60 civarındaki bölümünü kullanılırken dünyanın geri kalan kısmında, bu potansiyelin henüz % 9-10 kullanmaktadır.

Ülkemizdeki hidrolik enerji potansiyeli 433 milyar kWh/yıl, teknik yönden değerlendirilecek potansiyeli ise 215 milyar kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Son yapılan çalışmalara göre, Türkiye'nin yararlanılabilir ekonomik hidrolik enerji potansiyeli 122 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.<sup>[13]</sup>

#### **2.3.1.5 Nükleer Enerji**

---

[12] Dünya Enerji Konseyi, **a.g.e.**, S.32.

[13] Dünya Enerji Konseyi, **a.g.e.**, S.35.

Üniversite mensupları tarafından yapılan bir çalışmada, 2020 yılında elektrik talebinin 640 TWh olması düşünüldüğünde bu talebin karşılanabilmesi için, doğal gaz ve ithal kömür gibi çok kullanılan kaynaklara daha fazla yüklenmenin mümkün olmayacağı ve nükleer enerjinin gerekli olduğu açıkça gösterilmiştir. Bu nedenle 2010 yılında Akkuyu 'da 2640 MW, 2015 yılında Sinop'ta ilave 3100 MW ve 2020 yılında Çilingöz Çiftliği'nde 5500 ek ile Türkiye'de nükleer kurulu gücün 2020 yılında 11240 MW değerine yükselmesi ve talebin %11'ini karşılamasının gerekli olduğu gösterilmiştir. Bu gereklilikten dolayı Türkiye'ye 660 MW net gücünde PHWR tipi doğal uranyum reaktörü örneği teklif edilmiştir. Bu santrallerin 1966 yılına kadar hayat boyu ortalama yük sayısı %90 olmuştur.<sup>[14]</sup>

#### **2.3.1.6 Hayvansal ve Bitkisel Atıklar**

Ülkemizde enerji talebini karşılayabilecek yeterli düzeyde ticari yakıtın olmaması, bazı bölgelerde ulaşım imkanlarının çok kısıtlı ve halkın satın alma gücünün düşük olması sebebiyle hayvan gübresi, fındık kabuğu, prina gibi artıklar enerji amacıyla kullanılmaktadır.

Hayvan ve bitki artıkları, uzun yıllardan beri ısıtma, yemek pişirme alanlarında etkin bir şekilde tüketilmektedir.

#### **2.3.1.7 Kojenerasyon**

Kojenerasyon elektrik ve ısının birlikte üretim teknolojisidir. Başka bir ifadeyle elektrik amaçlı bir üretimde atık ısının çok büyük oranda geri kazanılmasıdır. Kojenerasyon sistemleri, 30 yıldan beri Dünya 'da uygulanmaktadır. Türkiye gerek kojenerasyon ve gerekse kombine çevrim sistemleriyle 1980'li yıllarda tanışmıştır.

---

[14] AYBERS, N., "Nükleer Enerji", Enerji Dünyası, Aralık 1997, Sayı 15, S.13.

Kojenerasyonda doğal gaz, motorin, nafta, LPG, fuel oil veya biyo gaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar içerisinde bu yıla kadar doğal gaz en ekonomik yakıt olarak kojenerasyon uygulamalarında rakipsiz olmuştur. Türkiye’de çeşitli devlet kuruluşları (kağıt ve şeker fabrikaları, PETKİM, TÜPRAŞ, demir çelik tesisleri başta olmak üzere otoprodüktör olarak yaklaşık 25 yıldan beri fabrikalarının yan ürünleriyle elektrik üretimi yapmaktadır. Bu suretle bugüne kadar 1050 MW kapasitede otoprodüktör üretim tesislerinin kurulduğunu görmekteyiz. Bu tesislerin önemli bir bölümü fabrikanın yan ürünlerinin elektrik enerjisine dönüştüğü kojenerasyon projeleridir.

Bugüne kadar 1050 MW ’lık 32 kojenerasyon tesisi, 4/9/1985 te çıkan kararnameden sonra da toplam kapasitesi 837 MW olan 27 kojenerasyon tesisi kurularak işletmeye açılmıştır. Ayrıca, toplam üretim kapasitesi 878 MW olan 31 kojenerasyon tesisinin ETKB ’ndan kuruluş izinleri alınmış ve inşaatlarına başlanmıştır. Bunların dışında 1066 MW olan 51 tesis için otoprodüktörlerin ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)’na müracaatların inceleme ve değerlendirme aşamasında olduğu anlaşılmaktadır.<sup>[15]</sup>

### **2.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyanın birçok bölgesinde enerji arzına küçükte olsa bir katkıda bulunacağı bir gerçektir. Özellikle bazı ülkeler ürettikleri enerjinin çoğu kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarının yardımıyla üretmişlerdir.

---

[15] AĞIŞ, Ö., "Türkiye’de Kojenerasyon Uygulamalarının Disiplininde Kojenerasyon Derneğinin Görevi", Enerji Dünyası Aralık 1997, Sayı15, S.41.

### 2.3.2.1 Güneş Enerjisi

İnsanoğlunun yaşadığı çevrede büyük çapta enerjiler mevcuttur. Bu enerjiler içinde en önemlilerinden biri de güneş enerjisidir. Soğutma amaçlı ters ısı çevrimlerine güneş enerjisinin uygulanması, bu enerjinin pik olduğu dönemlerde çekici bulunduğundan ilginç olmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları nı şu şekilde sınıflayabiliriz.

- ◆ Isıtma (değişik amaçlı olarak),
- ◆ Elektrik enerjisi üretimi,
- ◆ Tatlı su elde etme,
- ◆ Hidrojen enerjisi üretimi.

Ülkemiz, dünyada güneş enerjisi kuşağında yer alan ülkeler arasındadır. Ancak, güneşin ışınım şiddeti bölgeden bölgeye değişmektedir. Ülkemizde yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti  $3.7 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$  ve yıllık ortalama güneşlenme süresi de 2609 saat olarak tespit edilmiş olup bölgelere göre bu değer 3016 ile 1966 saat arasında değişmektedir.

Güneş enerjisi açısından zengin yörelerde soğutma gereksinimi büyük olmaktadır. Bozulabilir gıdalar ile ilaç ve aşların soğuk depolanmasına, buz üretimine yönelim güneşli soğutma (solar refrigeration), özellikle izole alanlar ve kırsal yöreler için ilginçtir.<sup>[16]</sup>

Güneş termik elektrik santralleri tarafından yansıtıcı düz ayna yardımı ile toplanan ısı enerjisi ile sıvı akışkan buharlaştırılmakta, klasik termik santrallerine benzer

---

[16] ÜLTANIR, M. Ö., "Güneşli Soğutma Sistemleri", Enerji Dünyası, Sayı 15, Aralık 1997, S.33.

biçimde buhar türbini ve jeneratör ikilisinden elektrik üretilmektedir.

### **2.3.2.2 Rüzgar Enerjisi**

Rüzgar, çok eski yıllardan beri kullanılan enerji türü olmakla beraber, güneş enerjisi gibi yoğun olmayan bir enerji kaynağıdır. Temelde rüzgar enerjisi de, dönüşüme uğramış güneş enerjisidir. Gerek güneş enerjisi ve gerekse rüzgar enerjisi çevre dostu temiz enerji kaynaklarıdır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ilk kez 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Danimarkalılar 1918 yılında 20 - 35 kW 'lık türbinlerle 120 kırsal merkezin elektrifikasyonunu sağlayacak bir program başlatmışlardır.<sup>[17]</sup>

### **2.3.2.3 Jeotermal Enerji**

Jeotermal enerji, yer kabuğunun içerisinde uygun koşullarda oluşan ısınan suların ve buharın içerdiği enerjidir. Jeotermal enerjinin uygulama alanları; elektrik enerjisi üretimi, ısıtma ve tuz gibi kimyasal madde üretimidir. Ülkemiz jeotermal enerji açısından zengin ülkeler arasında sayılabilir. Bu olanaklarımızın şehir ve sera ısıtması ile elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır.

### **2.3.2.4 Biyo Gaz Enerjisi**

Biyo gaz, biyolojik humus gazıdır. Bu gaz, hava ile ilişkisi kesilmiş özel kaplar içindeki organik atık ve ahır gübresinin metan bakterileri yardımı ile fermante olması sonucunda oluşur. Oluşan gazın bileşimi, yaklaşık olarak %60-62 metan ve

---

[17] ÜLTANIR, M. Ö., "Artık Güneş ve Rüzgar Elektrik Santralleri Planlamaya alınmalı", Kaynak Elektrik, Sayı 100, Temmuz 1997, S.149.

%38-40 karbondioksittir.<sup>[18]</sup>

### 2.3.2.5 Deniz Enerjileri

Denizdeki enerji denizlerdeki sıcaklık farkı, dalga enerjisi ve med-cezir enerjileridir. Bu enerjiler güneş ve rüzgar enerjisinin etkisiyle oluşan yenilenebilir enerji kaynağıdır.

## 2.4 Enerji ve Ekonomik Önemi

“Ekonomik olarak bir ülke geliştikçe enerji ihtiyacı da büyüme gösterir.” Enerji ile ekonomi arasındaki bu sıkı ilişkinin başlıca iki sebebi, **“enerjinin hem bir üretim girdisi; hem de tüketim maddesi olarak”** doğrudan kullanılmasıdır.

Enerji tüketim miktar ve türlerine bağlı olarak; toplumların refah seviyesine,

- ◆ Gelir düzeyinin yükseltilmesi için üretim girdisi olarak,
- ◆ Sosyal refahın yükseltilmesi için doğrudan tüketilerek,

iki şekilde etki eder.

Enerji ile ekonomi arasındaki bu sıkı ilişki daha da ileri götürülerek son yıllarda *“ekonomik gelişme düzeyi ile ilgili ölçütler arasında ülkelerde kişi başına tüketilen enerji miktarı da eklenmiştir.”* Bu görüşü desteklemekle birlikte söz

---

[18] DROHAN, M., “Energy Features for Oil Importing Developing Countries”, Energy Policy, Vol 13, No.3, 1985, S.220.

konusu ölçütü kişi başına tüketilen ticari enerji miktarı şeklinde yorumlamak daha doğru olur.<sup>[19]</sup>

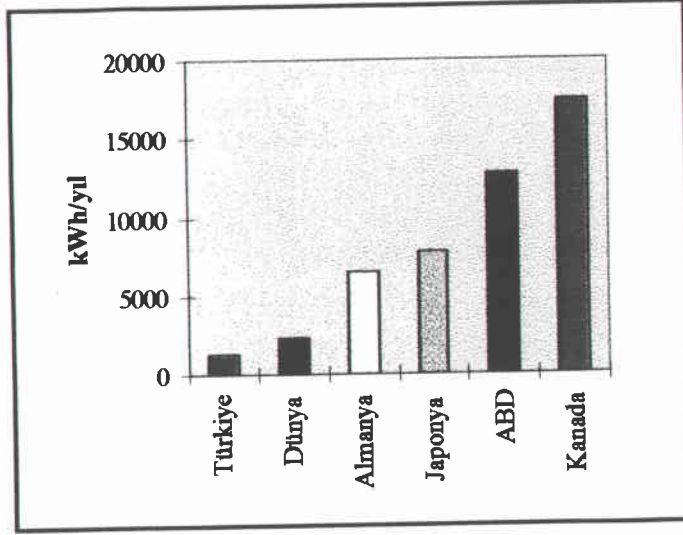
Sanayileşmiş ülkelerde kişi başına yıllık enerji tüketimi ortalama 12000 kWh/yıl, gelişmekte olan ülkelerde ise bu yaklaşık 1500 kWh/yıl mertebesindedir. Gelişmekte olan ülkelerin nüfus artışı frenlenemeyecek olursa, bunun sonucu olarak, devasa bir enerji talebi ortaya çıkacaktır. 1990 yılında dünyanın enerji talebinin yaklaşık 15 tWy (teravat yıl) olmasına karşılık, bu talebin 2050 yılına doğru en az 50 tWy olacağı hesaplanmıştır. Buna karşılık dünyanın bugün bilinen petrol rezervleri 2050, doğal gaz rezervleri 2070 ve kömür rezervleri 2150 yılında muhtemelen tamamen tükenmiş olacaktır.<sup>[20]</sup>

**Tablo 2.1. 1994 Yılında Ünelere göre Kişi Başına Enerji Tüketimi**

Türkiye	1280
Dünya	2245
Almanya	6528
Japonya	7726
ABD	12711
Kanada	17510

[19] TOPAL, B., “Türkiye Elektrik Enerjisi Talebi İstatistik Analizi”, Doktora Tezi, İstanbul 1990.

[20] ÖZEMRE, A.Y., “Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları”, EMO Ocak-Şubat 1995, S.7.



**Şekil 2.1.** 1994 Yılında Ülkelere göre Kişi Başına Enerji Tüketim Grafiği<sup>[21]</sup>

Genel bir eğilim olarak elektrik enerjisi tüketimi GSMH'nin büyüme oranından daha fazla bir oranda artmaktadır. Elektrik enerjisi tüketimindeki yüksek artış oranı sanayileşmeye ve şehirleşmeye bağlıdır. Elektrik enerjisi tüketimi ile ilgili ekonomik ve demografik koşullardaki değişiklikler yapılacak enerji tahminleri açısından son derece önemlidir.<sup>[22]</sup>

[21] ERDOĞAN, S., "7. Enerji Kongresi Notları", TMMOB EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Şubat 1998, Sayı:11, S.23.

[22] ÇATALCA, H., "Demir-Çelik Sektöründe Elektrik Enerjisi Tüketimi Analizinde Ekonometrik ve Mühendislik Modellerin Karşılaştırılması", İÜ İşletme Fak. Dergisi, C: 26, S: 2/Kasım 1997, S. 61-70.

## 2.5 Dünya Enerji Problemi

Bir ülkenin enerji problemi tek boyutlu olmayıp, tümüyle ulusal ekonominin bir problemidir. “İster üretime dönük, ister tüketime dönük olsun, bir toplumun her faaliyeti enerji tüketimini gerektirir”. Konuya bu açıdan bakıldığında, enerjinin gerektiği zaman ve yerde, istenen miktarda bulunabilmesi önem arz etmektedir. Enerjinin her an bulunabilmesinin yanı sıra tüketicinin enerji alıp kullanabileceği bir fiyattan temin edebilmesi de gözden uzak bulundurulmamalıdır.

## 2.6 Elektrik Enerjisi Sektörünün Ekonomik Önemi

20. yüzyılın ilk başlarında enerji arz ve talebinin %95’ni kömürün oluşturduğu görülmektedir. Aynı dönemde, toplam enerji tüketiminin %4’nü petrol ve doğal gaz, %1’ni ise hidrolik enerjisi oluşturmuştur. Günümüzde fosil yataklarının kullanımı sürekli olarak artmış, bu artış süresince petrol ve doğal gazın dünya enerji tüketimi içindeki payı artarken kömürün payında büyük bir azalma olmuştur.<sup>[23]</sup>

Dünya enerji kullanımına genel olarak bakıldığında, zaman içinde gittikçe büyüyen miktarlarda birincil enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi için tüketildiği, buna bağlı olarak da elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimi içindeki payının arttığı tespit edilmiştir.<sup>[24]</sup>

---

[23] EKREN, N., a.g.e. S.41.

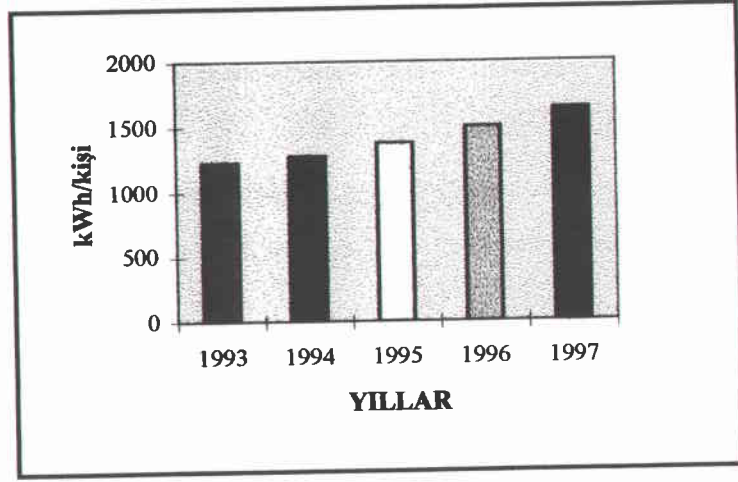
[24] Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, 1992 Enerji Raporu, Ankara Aralık 1993, S.5.

## 2.7 Ülkemizde Enerji Sorunu

Ülkemiz dünyada gelişmekte olan ülkeler arasındadır. Ülkemiz, enerji gereksinimindeki gelişmelere paralel olarak enerji yatırımlarını artırmak ve yeni enerji kaynaklarını devreye sokmak zorundadır. Fakat, ülkemizde enerji yatırımlarının son yıllarda azalması, enerji açısından ülkemizi giderek dışa bağımlı hale getirmiştir. Türkiye enerji yatırımlarında komşu ülkelere nazaran geri kalmış durumdadır. Enerji üretimi 1970-1991 yılları arasında %101 oranında artarken, aynı dönem içerisinde Yunanistan %478 oranında, Suriye %579 oranında artış sağlamıştır.

**Tablo 2.2.** Türkiye’de Son Yıllara Ait Kişi Başına Enerji Tüketimi

YILLAR	kWh / yıl
1993	1227
1994	1280
1995	1376
1996	1499
1997	1639



**Şekil 2.2.** Türkiye’de Son Yıllara Ait Kişi Başına Enerji Tüketim Grafiği

Türkiye 1997 yılında yaklaşık 2,02 milyar kWh elektrik enerjisi ithal etmiştir. 1998 yılında ise bu rakam 8-10 milyar kWh ’a tırmanması olasıdır. Bu şekilde bir enerji sorunu olan Türkiye’nin bu sorunu gidermesi gerektiği hakkında çeşitli görüşler ortaya atılmaktadır. Nükleer enerji santralleri kurmak öne sürülen çözümlerden biridir. Dünya toryum rezervlerinin %60’ının Türkiye’de bulunması bu görüşü destekleyen en güçlü nedendir. Buna karşılık ABD’nin 1978 yılından bu yana nükleer enerji santralleri inşaatlarını durdurmuş olması, Kanada’nın şu an işletme halindeki 21 nükleer santralin 7-9 tanesini 1998 yılında kapatmayı planlaması, nükleer enerji santrallerinin çevreye zarar verdiği düşünülerek, nükleer enerjinin dışındaki kaynaklara yönelmesi gereği ileri sürülmektedir. Örneğin, temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilen rüzgar, güneş, biyo gaz türü kaynakların kullanılacağı gibi çözümler olmaktadır. Fakat bu çözümler için yapılan araştırmalar henüz yeterli düzeyde değildir.<sup>[25]</sup>

[25] ERDOĞAN, S., a.g.e.,S.23.

Kaynaklarımızı düzenli kullanabildiğimiz takdirde bu sorunu kısmen ortadan kaldırmak elimizdedir. Mevcut santral kapasitemize baktığımızda hidrolik + termik santrallerin toplam kurulu gücü 22000 MW 'dır. Ani puant dediğimiz (yılda bir gün ve bir saatten az bir zaman içinde çekilen en büyük güç) de 12 Ağustos 1997 de 14382MW 'dır. Ülkemizde enerji yatırımlarının kapasite kullanım oranı son derece düşüktür ve %60 dolaylarındadır. Bu oran, kurulu gücün yaklaşık yarısını kullanmakta olduğumuzu gösterir.

**Tablo 2.3. Elektrik Enerjisi Tüketimi<sup>[26]</sup>**

YILLAR	TOPLAM (10 <sup>6</sup> kWh)
1988	39.722
1989	43.120
1990	46.820
1991	49283
1992	53.985
1993	59.237
1994	61.401
1995	67.394

Ülkemizin, bu günkü üretim teknolojileri esas alındığında elektrik enerjisi potansiyeli 84000 MW 'dır. Şu anda bunun yaklaşık %25'i kullanılmaktadır. Yapılan tahmin hesaplarına göre 2010 yılında kurulu güç, 54000 MW olacak ve bu potansiyelin ancak yaklaşık %63'ü kullanılabilir olacaktır. Yapılan araştırmalara göre;

[26] DİE Aylık İstatistik Bülteni, 1996

- ◆ Hidrolik potansiyelimizin %28'i,
- ◆ Linyit rezervlerimizin %33'ü,
- ◆ Jeotermal potansiyelimizin %3'ü kullanılmaktadır.<sup>[27]</sup>

Ülkemizde ki enerji kaynaklarına göre brüt elektrik enerjisi üretimi ve enerji üreten kuruluşlara göre brüt elektrik enerjisi üretimi aşağıda tablolar halinde verilmektedir.

**Tablo 2.4. Enerji Kaynaklarına Göre Brüt Elektrik Enerjisi Üretimi<sup>[28]</sup>**

KAYNAK	YILLAR					1996			
	1992	1993	1994	1995	1996	III	IV	V	VI
Taşkömürü	1815 <sup>[29]</sup>	1796	1977	2232	2547	156	136	139	252
Linyit	22756	21964	26257	25815	27840	1932	1825	1612	2428
Fuel Oil	5271	5171	5547	5498	6425	567	518	270	295
Motorin	1,7	3,1	2,0	274	365	2,2	0,2	0,2	24,9
Jeot, D.gaz,diğer	10930	10922	13952	16684	-	-	-	-	-
Doğal gaz	-	-	-	-	16823	1044	1345	1427	1488
Jeotermal	-	-	-	-	84	8	8	6	5
Diğer	-	-	-	-	175	19	14	13	14
Su	26568	33951	30586	35541	41475	4414	3445	3781	2800

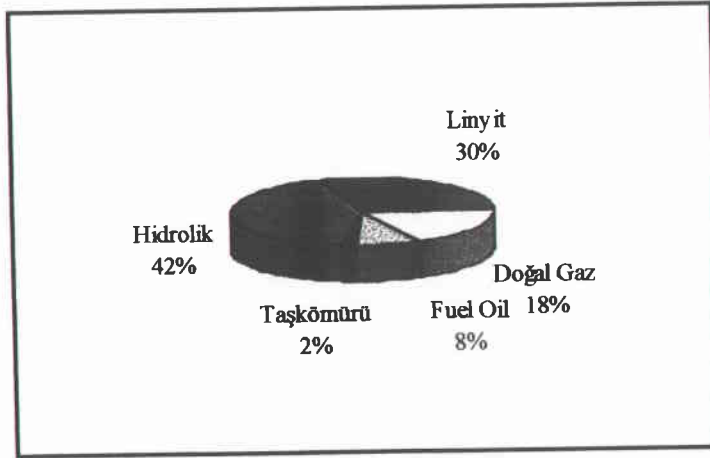
[27] YEŞİL, H., "7. Enerji Kongresi Notları", TMMOB EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Şubat 1998, Sayı:11, S.25.

[28] DİE Aylık İstatistik Bülteni, 1997, III, IV, V., S.20.

[29] Değerler, 10<sup>6</sup> kWh ile çarpılacaktır.

**Tablo 2.5. Enerji Üreten Kuruluşlara Göre Elektrik Enerjisi Üretimi<sup>[30]</sup>**

KURUM	TİPİ	YILLAR					1996			
		1992	1993	1994	1995	1996	III	IV	V	VI
TEAŞ	Toplam	61533	67100	71943	70909	33368	6235	5231	5018	5140
	Termik	36936	35372	42998	37803	13573	2220	2195	1657	2588
	Hidrolik	24579	31728	28945	33105	19794	4015	3036	3361	2552
Oto prodüktör	Toplam	3727	4172	44619	5625	2875	482	465	478	457
	Termik	3715	4156	4614	5617	2868	481	463	476	456
	Hidrolik	12	16	45	8	7	1	2	2	2
Ayrıcalıklı Şirketler	Toplam	2015	2467	1686	2301	1926	381	385	400	239
	Termik	123	329	123	-	-	-	-	-	-
	Hidrolik	1892	2138	1563	2301	1926	381	385	400	239
Ür. Şrkt.	Toplam	67	69	73	126	92	17	22	18	7
Özel. İd.	Toplam	-	-	-	7286	7288	1032	1187	1334	1563
TOPLAM	Toplam	67342	73808	78322	86247	45549	8146	7291	7247	7407
	Termik	40774	39957	47736	50706	23730	3732	3844	3466	4607
	Hidrolik	26568	33951	30586	35541	21819	4414	3445	3781	2800

**Şekil 2.3. Elektrik Üretiminin Enerji Kaynaklarına göre dağılımı<sup>[31]</sup>**

[30] DİE Aylık İstatistik Bülteni, 1997, III, IV, V., S.21.

[31] ERDOĞAN, S., a.g.e., S.23.

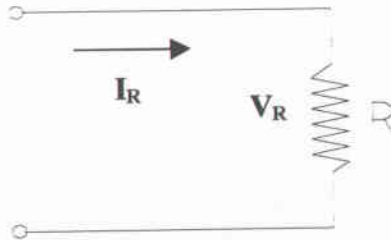
### 3. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Günümüzde kullandığımız bir çok aygıt elektrik enerjisi kullanarak işlev görürler. Elektrik enerjisi tüketen aygıtlar şebekeden çektikleri enerji açısından ikiye ayrılırlar.

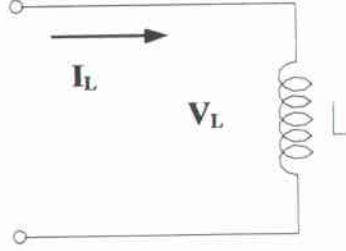
- ◆ Doğru akım tüketicileri,
- ◆ Alternatif akım tüketicileri.

Bu aygıtlar elektriksel yük olarak adlandırılırlar. Elektriksel yükler genel olarak üç çeşittir.

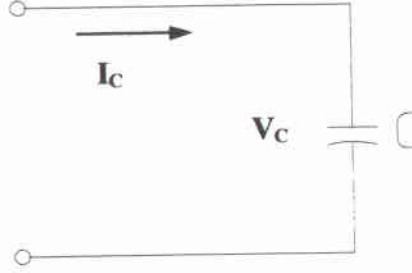
- ◆ Direnç özelliği olan yükler (ohmik yükler),
- ◆ Bobin etkisi özelliğinde olan endüktanslar (endüktif yükler),
- ◆ Kapasite özelliği olan kondansatörler (kapasitif yükler).



Şekil 3.1. Direnç Yük Devresi



**Şekil 3.2.** Endüktif Yük Devresi



**Şekil 3.3.** Kapasitif Yük Devresi

Direnç özelliğindeki yükler,  $R$  ile gösterilir ve birimi ohm ( $\Omega$ )'dur. Endüktif yükler,  $L$  ile gösterilir ve birimi Henry 'dir. Kapasitif yükler yani kondansatörler  $C$  ile gösterilir ve birimi Farad 'dır. Bu yük tipleri bir elektriksel devrede her zaman saf halde bulunmazlar. Genel olarak bir elektrik devresinde bu yükler, her zaman değişik büyüklüklerde karşımıza çıkarlar. Örneğin, bir bobinin endüktif yük özelliği

yanında, küçük de olsa bir direnç değeri bulunur. Bir hattın kapasite değeri yanında bir direnç değeri söz konusudur. En genel halde bir devre, bütün yük tiplerini kapsayan RLC devresidir.

Alternatif akım tüketicileri şebekeden alternatif akım çekerler ve bu akım,

◆ aktif ( etkin ) akım ( $I_p$ )

◆ reaktif ( tepkin ) akım ( $I_q$ )

olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce, aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Fakat elektrodinamik prensibe göre çalışan jeneratör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilir. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslama akımı çekerler, bu mıknatıslama akımı reaktif akımdır.<sup>[32]</sup>

Alternatif akım ile beslenen sistemlerde endüksiyon prensibine göre çalışan makina ve cihazların temel işlevlerini yapabilmeleri için, şebekeden aktif güç ile birlikte reaktif güç de çekerler. Gerilime göre reaktif güç saat ibresi yönünde 90 derece ileri fazda reaktif akım meydana getirir.

Reaktif güç, yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerinde

---

[32] GÜLER, Ö., “Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sakıncaları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Şubat 1995, S.7.

istenmeyen bir şekilde tesir eder; jeneratörleri, transformatörleri, hatları ve bobinleri fuzuli olarak işgal eder ve gereksiz yere yükler, ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Aktif enerji normal sayaçlarda tespit edildiği halde, reaktif enerji normal bir sayaç ile kontrol edilemez. Reaktif enerjiyi kaydedebilmek için işletmelerde normal sayaçtan ayrı bir de reaktif enerji sayacı gereği vardır.<sup>[33]</sup>

Günümüzde elektrik enerjisine duyulan gereksinim, teknolojik ilerlemeye paralel olarak, hızla artmaktadır. Bu artış ülkemiz gibi kalkınma ve sanayileşme hamlesi yapmakta olan ülkelerde, kalkınmış ülkelere oranla daha da hızlı (%12-%16) olmaktadır. Bu artışı karşılamak üzere;

- ◆ Büyük güçlü üreteçlerin oluşturulması gereği yanında, bunlarda üretilen enerjinin iletimi için de genellikle uzak mesafe ve yüksek gerilimli hatların kullanılması,
- ◆ Bir takım idari ve teknik tedbirlerle, mevcut sistemin en verimli şekilde işletilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

İdari tedbirler içinde, yaz saati uygulaması puant zamanında, enerji tüketimini sınırlamak ve kısıtlamak amacıyla, yüksek ücretli tarife kullanmak ilk akla gelenlerdir. Teknik tedbir olarak da “*Güç Katsayısı Düzeltilmesi*” ya da “*Reaktif Güç Kompanzasyonu*” gündeme gelmektedir.

İdeal bir alternatif akım (AC) enerji sisteminde; bütün baraların gerilim ve frekanslarının sabit ve harmoniksiz olmasının yanında, güç katsayısının da uygun bir

---

[33] BAYRAM, M., “Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu”, Beşiktaş 1997, S.2.

değerde olması gerekmektedir. Özellikle de bu parametreler tüketici yüklerinin karakteristik ve boyutundan bağımsız olmalıdırlar.

**Yük kompanzasyonu; alternatif akım enerji sistemlerinde beslemenin kalitesini yükseltmek için reaktif gücün yönetilmesidir ve kompanzasyon elemanları genellikle yükün yakınına bağlanmaktadır. Yük kompanzasyonunun;**

- ◆ Güç katsayısını düzeltmek,
- ◆ Gerilim ayarlanmasını iyileştirmek,
- ◆ Yükü dengelemek,

gibi üç ana amacı vardır.<sup>[34]</sup>

Güç katsayısının düzeltilmesi, elektrik tesislerinde çeşitli yararlar sağlar; bu yararlar şunlardır;

- ◆ Jeneratörlerin, transformatörlerin ve enerji nakil hatlarının yükleri düşer ve yeni yükler için imkan sağlanır,
- ◆ Tesisdeki toplam gerilim düşümü küçülür ve
- ◆ Tesisdeki toplam kayıplar azalır.

Burada söz konusu olan üç olay da, ya tesislerin daha küçük güçlere göre

---

[34] KAYPMAZ, A., “Reaktif Güç Kompanzasyonu”, Yayınlanmamış Makale

yapılmasına yani bunların daha ucuza mal edilmesine yol açarlar, yahut da bu gibi tesislerden daha büyük güç çekmek imkanı doğar. Enerji sıkıntısı çeken ülkeler için bu ikinci imkan daha önemlidir. Hiç olmazsa belirli bir süre, mevcut tesislerin kapasitelerinden daha iyi yararlanarak daha büyük tüketici kitleleri beslenebilirler.<sup>[35]</sup>

Uygulamalarda başlıca iki tür kompanzasyon problemi ile karşılaşmaktadır. Bunlardan ilki, reaktif güç istemi hızlı bir biçimde dalgalanan büyük endüstriyel yüklerin (ark ocakları, haddehane makineleri vb.) bu istemlerini karşılamaya yönelik yük kompanzasyonudur.<sup>[36]</sup>

### 3.1 Doğru ve Alternatif Akımda Güç

Kompanzasyon konusuna hazırlık olmak ve bazı temel kavramları hatırlatmak üzere, önce bazı elektriksel tanımlar verilecektir. Bu tanımlar daha ilerdeki konularda kullanılacaktır.

Bilindiği gibi elektriksel güç, gerilimle akımın çarpımına eşittir ( $P = V \cdot I$ );  
(P : elektriksel güç, V : gerilim, I : akım)

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (3.1)$$

Burada,

---

[35] BAYRAM, M., a.g.e., S.1.

[36] ARIKAN, C., ERMIŞ, M., "Reaktif Güç Kompanzasyonunda Modern Yöntemler", EMO 1983, Seminer Notları

$p(t)$  : ani güç

$v(t)$  : o andaki gerilim

$i(t)$  : o anda devreden geçen akımdır.

Doğru akımda güç, gerilimle akım arasında herhangi bir faz farkı söz konusu olmadığından doğrudan doğruya ( 3 . 1 ) eşitliğinden belirlenir.

Alternatif akımda söz konusu olacak güç ise gerilim ve akımın,

$$V(t) = V_{\max} \cdot \text{Sin}(wt) \quad (3.2)$$

$$i(t) = I_{\max} \cdot \text{Sin}(wt - \phi) \quad (3.3)$$

biçiminde sinüzoidal olarak değiştiklerini varsayalım. Bu eşitliklerin ( 3 . 1 ) denkleminde kullanılmasıyla,

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = V_{\max} \cdot i_{\max} \cdot \text{Sin}(wt) \cdot \text{Sin}(wt - \phi) \quad (3.4)$$

veya

$$p(t) = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \cdot [\text{Cos}(\phi) - \text{Cos}(2wt - \phi)] \quad (3.5)$$

elde edilir. Burada akım ve gerilimin etkin değerleri;

$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot v_{\max} \quad \text{ve} \quad I = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_{\max} \quad (3.6)$$

şeklinde olacağından, (3.5) ifadesi;

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos(\phi) - V \cdot I \cdot \cos(2\omega t - \phi) \quad (3.7)$$

olacaktır. Şekil 3.4. da gücün değişimi gösterilmektedir. Bu gücün değişimi incelendiğinde, iletilen  $p(t)$  gücünün, ortalama güç olan  $2P = (V \cdot I \cdot \cos \phi)$  etrafında açılma frekansının iki katı ( $2\omega$ ) frekansı ile salınım yaptığı ve her periyodun bir kısmında bu gücün negatif olduğu, bunun ise bu aralıkta enerji akışının, şebekeden yüke değil, yükten şebekeye doğru olduğu anlamına geleceği anlaşılacaktır. Bir RLC devresinde, akım ve gerilim dalgaları arasında  $\phi$  açısı kadar bir faz farkı vardır.

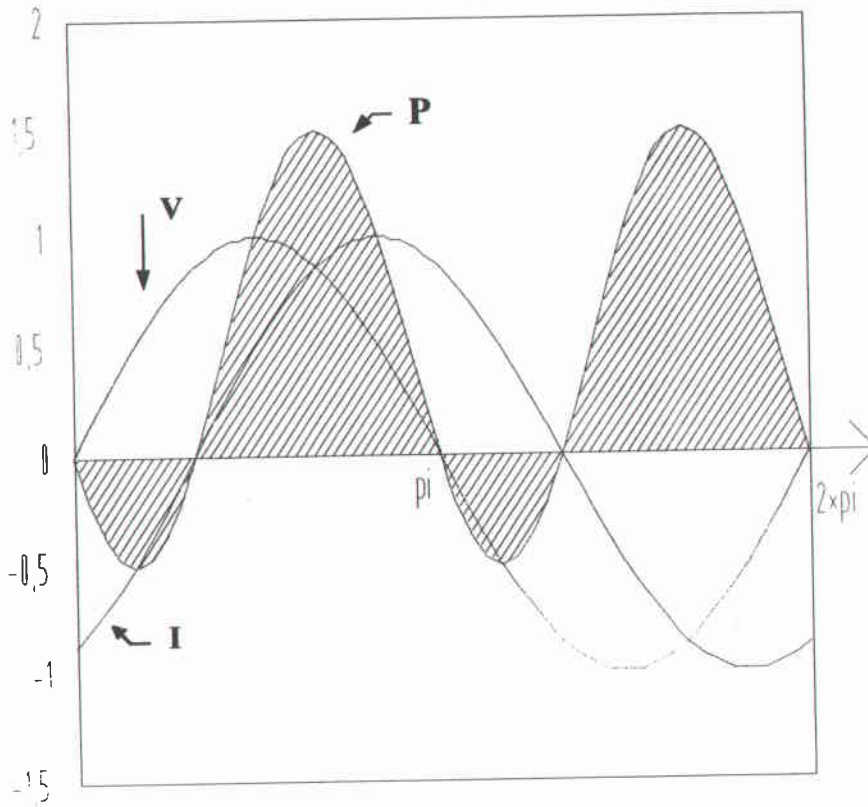
$$0 \leq \phi \leq 90$$

$$0 \leq \cos \phi \leq 1$$

$$\text{Güç Faktörü } (\cos \phi) = \text{kW} / \text{kVA}^{[37]}$$

---

[37] <http://www.currentthinking.com>



**Şekil 3.4.** Alternatif Akımda Gerilim, Akım ve Güç

Denklem ( 3 . 7 ) de verilen güç ifadesi genel olarak;

$$p(t) = \underbrace{V \cdot I \cdot \cos\phi}_{\text{I}} (1 - \cos 2\omega t) - \underbrace{V \cdot I \cdot \sin\phi}_{\text{II}} \cdot \sin 2\omega t \quad (3.8)$$

biçiminde iki kısımda ifade edilmektedir. Şekil 3.4. 'den de görüldüğü gibi burada I ile gösterilen ifade, ortalama değeri hiçbir zaman negatif olmayan (pozitif) bir

değişimi, II ifadesi ise ortalama değeri sıfır olan bir değişimi göstermektedir.<sup>[38]</sup>  
( 3 . 8 ) ifadesinde;

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad \text{ve} \quad Q = V \cdot I \cdot \sin\phi \quad ( 3 . 9 )$$

olarak, sırasıyla reel ve ya aktif güç ve reaktif güç tanımlanacak olursa, bu ifade

$$p(t) = P \cdot (1 - \cos 2\omega t) - Q \cdot \sin 2\omega t \quad ( 3 . 10 )$$

elde edilir. Bu ifadenin Şekil 3.4'de verilen değişimi incelendiğinde özet olarak,

1. Aktif güç P, p(t) iletim gücünün ortalama değeri olarak tanımlandığı, bundan dolayı fiziksel olarak bunun iletilmiş olan “ **faydalı güç** ” olacağını ve şiddetinin de  $\cos\phi$  güç katsayısına sıkı sıkıya bağlı olduğu,
2. Reaktif güç Q 'nun da hat boyunca ileri ve geri gezinen güç bileşeninin tepe değeri olarak tanımlandığı, ortalama değerinin sıfır olduğunu ve bundan dolayı bu güçten iş olarak faydalanmanın mümkün olamayacağı kolayca söylenebilir.

Burada aktif güç P ve reaktif güç Q 'nun Watt boyutunda olmalarına rağmen,

---

[38] TUNÇAY, R. N.-TACER, M. E., “Güç Elektroniği Devreleri”, İTÜ Vakfı, Yayın No: 29, S.1.30

reaktif gücü vurgulayabilmek için Q 'nun Volt-Amper reaktif (VAr) ve katları boyutunda kullanıldığını unutmamak gerekir.

Denklem ( 3 . 10 ) 'da verilen bu ani gücün bir periyot boyunca ortalama değeri:

$$P_{ort} = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (3.11)$$

dir.<sup>[39]</sup>

Bu ortalama gücü fazör büyüklükler (kompleks, vektörel büyüklükler) cinsinden veren bir bağıntı elde edilirse, bu bağıntı sinüzoidal sürekli halin incelenmesinde kolaylıklar getirir. Bu amaçla,

$$\tilde{S} = \tilde{V} \cdot \tilde{I}^* \quad (3.12)$$

bağıntısında görülen, gerilim fazörünün, akım fazörünün eşleniği ile çarpılması sonucu bulunan “ **Kompleks Güç (Görünür Güç)**” tanımı yapılmıştır. Bu kompleks güç:

$$\tilde{S} = \tilde{V} \cdot \tilde{I}^* = V \cdot I \cdot e^{j\theta} = V \cdot I \cdot \cos\phi + j \cdot V \cdot I \cdot \sin\phi \quad (3.13)$$

biçiminde yazılabilir. Bu bağıntıdan kompleks gücün reel kısmının ortalama güce eşit olduğu görülmektedir. Kompleks bir sayı olan kompleks gücün reel kısmı aktif

---

[39] TUNCAY, N. - TACER, M.E. “**Güç Elektroniği Devreleri**”, İ.T.Ü. Vakfı, Yayın no:29, S.1.30.

güç olarak, sanal kısmı da reaktif güç olarak adlandırılır. Buna göre aktif ve reaktif güç sırasıyla;

$$P = R_e \{S\} = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$Q = I_m \{S\} = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (3.14)$$

bağıntıları ile hesaplanır.<sup>[40]</sup>

Bir tüketicinin üç fazlı alternatif akım şebekesinden çekmiş olduğu görünür güç:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I \quad (3.15)$$

dir. Burada,

$U_N=U_{faz}$ : Nominal gerilim olup, iki faz arası gerilim olarak tanımlanmıştır.

$I$  : Faz akımı

dır. Ohmik - endüktif bir tüketicide  $I$  faz akımı  $U_N$  geriliminden açısı kadar geridedir. Şebekeden endüktif reaktif güç çekilmesi halinde aktif ve reaktif akımlar;

---

[40] GÜLER, Ö., a.g.e., S.3.

$$I_p = I \cdot \cos \phi$$

$$I_q = I \cdot \sin \phi \quad I_p = I \cdot \cos \phi$$

ve *aktif* ve *reaktif güçler*;

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$Q = S \cdot \sin \phi \quad (3.16)$$

biçimindedir ve

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (3.17)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.18)$$

bağıntıları ile verilebilir. Aktif ve reaktif akım ve güç bileşenlerine ilişkin fazör diyagramı ve blok şekilleri aşağıda verilmiştir.



## 3.2 Elektrik Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu

### 3.2.1 Alçak Gerilimde Kompanzasyon

Elektrik şebekelerinde abone gücü arttıkça reaktif yüklerde çok hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Bunun neticesi olarak da güç katsayısı (  $\text{Cos } \varphi$  ) 0,50 - 0,80 arasında muhtelif değerlerde seyretmeye başlamıştır.

Trafo merkezlerinde, hatlarda ve jeneratörlerde güçlerin artması; aktif güçler kadar ve belki de daha önemli miktarda reaktif güçlerinde artmasına sebep olmuştur.

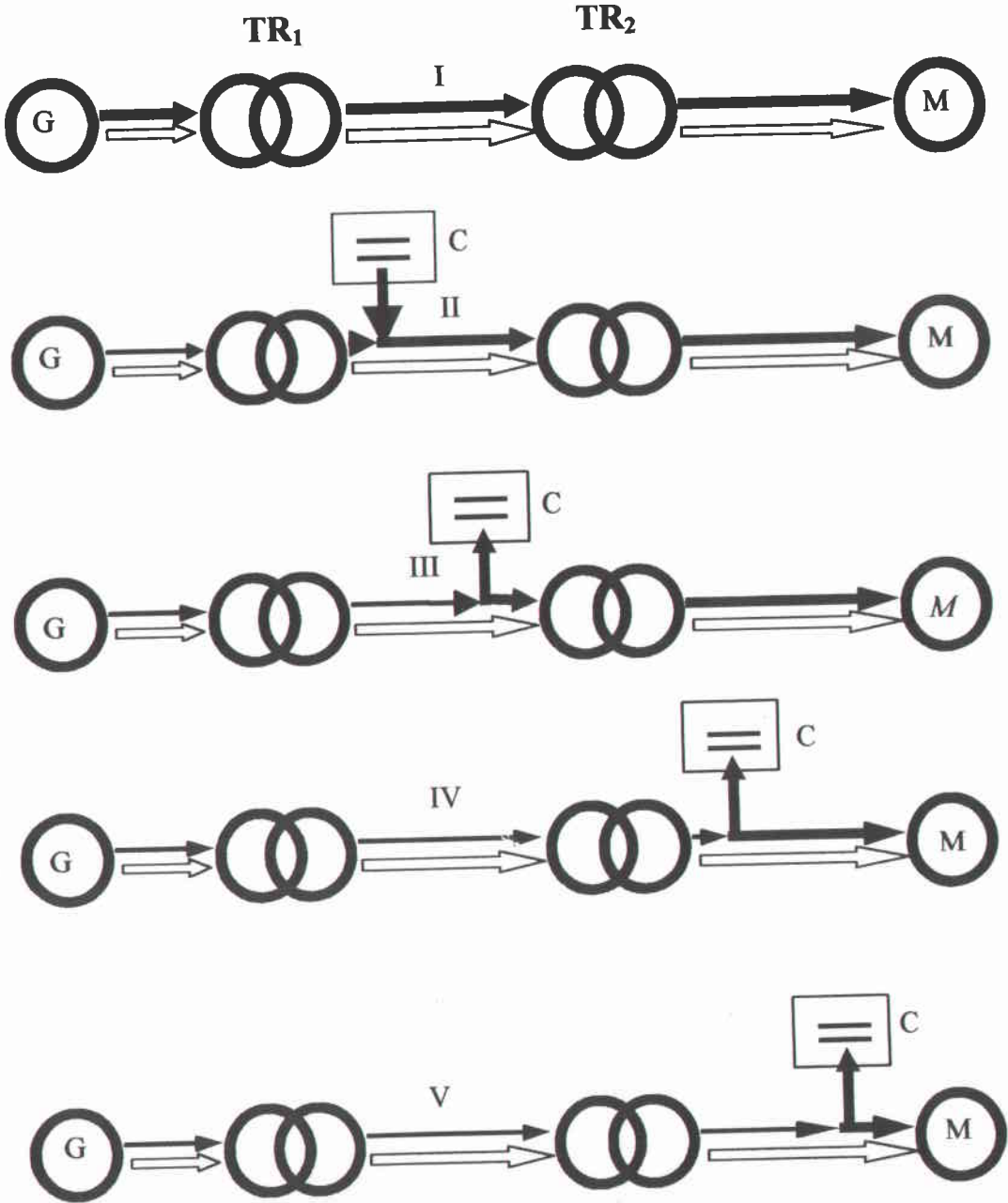
Aşırı yüklemeler ve gerilim düşmelerinin önlenmesi için, reaktif yüklerin kompanze edilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Şehir şebekelerindeki örnekler göstermiştir ki, çıkış dağıtım fiderlerinde (besleme kablolarında) genelde ortalama  $\text{Cos } \varphi$  0,80 'den düşüktür ve genelde güç katsayısı 0,70 - 0,80 arasındadır. Bazı hallerde 0,70 'in altına düştüğü görülmektedir.

Sanayi aboneleri bulunmayan beldelerde reaktif tüketimin artmasına sebep; özellikle ticari ve sosyal bölgeleri besleyen dağıtım hatları ve trafo merkezleri üzerindeki irili ufaklı motor ve neon ışıklarının artmasıdır.

Sosyal hayatın gelişmesiyle başlayan refah; buzdolabı, çamaşır makinası, video, klima vs. gibi ısıtma, havalandırma ve soğutma gibi cihazların kullanımını arttırmış ve bu durum günümüzde reaktif enerji tüketimini arttırmıştır.

Genel kural olarak en gerçekçi yol; reaktif akımlar kendilerini tüketen cihazlara en yakın noktada üretilmelidirler. (Şekil 3.7.) Bu durumda abonelerden başlayarak dağıtım hatlarından itibaren üretim kaynağına kadar söz konusu cihazlar için gerekli reaktif enerji sistemden taşınmayacak ve bu sebeple;



Şekil 3.7. Kompanzasyon Tesisinin Yeri (Yüke Yakınlığı)

- 1- Tüketicinin toplam reaktif enerji gereksinimini jeneratörden sağlanmaktadır.
- 2- Jeneratör ve TR1 reaktif enerjinin önemli miktarından kurtarılmıştır.
- 3- Diğer durumlarda ise kondansatörlerin bulunduğu noktalar ile jeneratör arasında kalan kesimlerde trafo ve hatlar reaktif enerjinin büyük bir bölümünden kurtarılmıştır.
  - a) Şebekedeki güç kayıpları önemli oranda azalacak,
  - b) Üretim ve dağıtım sisteminin kapasitesi artacak,
  - c) Gerilim düşümünün taşınan gücü sınırladığı dağıtım hatlarında enerji taşıma kapasitesi büyük oranda artmış olacaktır.

Şekil 3.7.'deki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi reaktif güç; alıcıdan üretece kadar sistem kapasitesinin önemli bir kısmını oluşturur.

Günümüzde önemli ölçüde artan aktif ve reaktif güçler sistemde aşırı gerilim düşümleri ve transformatörler ile jeneratörlerin aşırı yüklenmelerine neden olmaktadır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi kompanzasyonda genel ilke reaktif akımların tüketildikleri noktaya en yakın yerde üretilerek karşılanmasıdır. Ancak, bu yöntem oldukça masraflıdır ve TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş.) tarafından işletme ve bakımı hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle;

1. Malzeme standardizasyonu ve kalite kontrolü yapılarak imalat esnasında üretilen cihazlar için gerekli kapasitörlerin konulması sağlanmalıdır.
2. Gücü ne olursa olsun işletmeye açılacak bir iş yerinin reaktif tüketimi

oranında kompanzasyon yapması sağlanmalıdır.

3. Sanayi de dahil bütün sulama motopomplarının kompanzasyon yapımları mecbur tutulmalı ve bu şartı yerine getirmeyen aboneye enerji verilmemelidir.
4. Gücü ne olursa olsun bütün transformatörlerde gücünün %5 'i ile %10 'u arasında alçak gerilim tarafında sabit kompanzasyon yapılması sağlanmalıdır.

Bütün bu önlemler alındığı takdirde orta gerilimde yapılacak kompanzasyonun MVAr mertebelerinden kVAr mertebelerine düşeceği muhakkaktır.

### ***3.2.2 Şebekenin Alçak Gerilim Tarafında Kompanzasyon Yapılması***

Kullanıcılar açısından kompanzasyonun alçak gerilim tarafında gerçekleştirilmesi daha büyük avantajlar sağlar. Çünkü, büyük sanayi tesislerinde dahi alçak gerilim kompanzasyon tesislerinin sayısı fazla olmamakla birlikte düzenli, işletilmeleri ve bakımları kolaydır. Bundan başka ekonomik açıdan değerlendirildiğinde kullanılan tüm cihazlar gerek fiyat olarak ve gerekse de kapladıkları hacim itibarı ile oldukça avantaj teşkil eder.

Şehir ve kasaba şebekelerinde kompanzasyon tesisinin alçak gerilimde yapılması ve bakım açısından büyük zorluklar taşımaktadır. Bu nedenlerden dolayı şehir ve kasaba şebekelerinde orta gerilimde kompanzasyon yapmak tercih edilebilir. Zira bu durumda kompanzasyon tesisi sayısı oldukça sınırlı olacaktır.

Ancak köy şebekelerinde kompanzasyon yapılması gerektiğinde alçak gerilimde kompanzasyon yapmak daha uygundur. Çünkü, köy şebekeleri trafo sayısı bakımından oldukça sınırlıdır.

Alçak Gerilim (AG) de kompanzasyon belli başlı üç şekilde dzenlenirler.

- a) Mñferit kompanzasyon
- b) Grup kompanzasyon
- c) Merkezi kompanzasyon

### **3.2.2.1 Mñferit kompanzasyon**

Sñrekli olarak işletmede bulunan bñyñk gñçlü abonelerin reaktif enerji gereksinimlerini temin için, tñketicinin uçlarına paralel bağlanırlar.

Yıldız üçgen (Y/ $\Delta$ ) anahtarlarla yol verilen asenkron motorlara ait kondansatörler motor sargılarının uçlarına paralel bağlanmış olurlar. Yıldızdan üçgene geçme esnasında şarjlı olan kondansatörler kısa süreli olarak şebekeden ayrılır ve fazlar ters olarak şebekeye bağlanırlar. Dolayısıyla bu durum darbe akımları meydana getirir.

İkinci bir husus da motor şebekeden ayrıldığı anda kinetik enerji ile dönmeye devam eder. Bu durumda sargıları yıldız bağlı motorun uçlarında nominal gerilimin iki katı gerilim indüklenir. Bu nedenlerden dolayı söz konusu direkt bağlamalar 2.5 kW 'a kadar motorlar için kullanılabilir.

### **3.2.2.2 Grup Kompanzasyon**

Bir tesiste birden fazla tñketicinin birlikte bulunması ve bunların ayrı ayrı kompanze edilmesi yerine mñřterek bir kompanzasyon tesisi ile kompanze edilmesidir.

Bu tür kompanzasyon tesisinde kondansatörlerin özel anahtarlarla ve gerektiği miktarlarda şebekeye bağlanmaları gereklidir.

Kondansatörlerin açma ve kapama esnasında meydana getirdikleri arkı karşılamak için uygun anahtarlar kullanılmaktadır. Anahtar açıldığında çok ani ve süratle bir deşarj direnci üzerinden topraklanmaktadır. [42]

Ayrıca kondansatörleri kısa devrelere karşı korumak için gecikmeli sigorta ile korunmalıdırlar.

### **3.2.2.3 Merkezi Kompanzasyon**

Merkezi kompanzasyon değişken yük şartlarına otomatik olarak uyabilen, grup kompanzasyonun daha gelişmiş halidir.

Bu tür kompanzasyonun yapıldığı tesiste tüketici sayısı çok olduğundan ve bunların hepsinin sürekli devrede kalmaları mevzu bahis olmadığından kompanzasyon gücünü ayarlayabilen bir ayar düzeni bulunur.

Böylece gerek düşük ve gerekse aşırı kompanzasyona sebebiyet verilmez. Bu işlemde tesis reaktif güç rölesi yardımı ile sürekli olarak kontrol altında tutularak gerektiği kadar kondansatör grubunun devrede kalması sağlanmış olur.

### **3.2.3 Orta Gerilimde Kompanzasyon**

Elektrik şebekelerinde alçak gerilimde yapılan kompanzasyonun yeterli olmadığı

---

[42] COPER POWER SYSTEMS, "Capacitor Products, Kilo VAR Briefs", 1997, S.4.

durumlarda orta gerilimde kompanzasyon yapma yoluna gidilebilir. Orta gerilimde yapılan kompanzasyon şehir şebekelerinde ideal bir çözüm şekli olmamakla birlikte yine de gerektiğinde yapılması lazımdır.

Orta gerilimde yapılan kompanzasyon tesisi belli bölgelerde toplandığı için işletme ve bakımı daha kolaydır. Ancak ülkemizde orta gerilim kompanzasyon teçhizatı imal edilmemektedir. Bu konuda sadece orta gerilim kondansatörleri üretimi yapılmaktadır.

Kondansatörleri devreye alıp çıkarırken oluşan yüksek kesme akımına dayanacak kesiciler gerekmektedir.

Ayrıca orta gerilimde otomatik kompanzasyon yapılması oldukça ayrıntı gerektirdiğinden, genellikle sabit yapılmaktadır. Bu durum ise düşük yük şartlarında aşırı kompanzasyona sebebiyet verebilmektedir. Aşırı kompanzasyon yapıldığı durumlarda ise şebekede voltaj yükselmesine sebebiyet verebilmektedir. Bu mahsuru önlemek için, birden fazla kademeli olarak kondansatör grupları tesis edilmelidir. Bu takdirde puant saatte kondansatör gruplarının tamamı, puant zamanının dışında ise kısmi olarak devreye alınarak aşırı kompanzasyon önlenmeye çalışılır.

Orta gerilim kompanzasyon tesisinin işletme ve bakım masrafları her ne kadar alçak gerilim kompanzasyon tesisine göre avantajlı görünüyorsa da; şehir şebekelerinde ideal verim alçak gerilim kompanzasyondan elde edilebilir. Zira kompanzasyonda esas kaide, reaktif enerjinin tüketildiği noktada üretilmesidir.

### ***3.2.3.1 Enerji Dağıtım Hatlarında Orta Gerilim Kompanzasyonu***

Orta gerilim empedans yükleme sınırının çok altında olmasından dolayı orta gerilim hatlarında şönt kompanzasyon yapmadan ekonomik bir yükleme yapılması mümkün

değildir.

Hat üzerinde empedans yüklemesi yapıldığında, hattın ürettiği ve tükettiği reaktif güçler birbirlerini dengelemekte ve bu durumda hattın iki ucundaki gerilimler eşit olmaktadır. Her ne kadar ideal yükleme bu ise de bu değer hattın termik yükleme sınırının çok altında olduğundan ekonomik olmamaktadır. Hat empedans yüklemesinin çok üstünde bir değerde yüklendiğinde hatta bir gerilim düşümü meydana gelmekte ve reaktif güç akışı başlamaktadır. Bu durum sistemde gerilim dalgalanmalarına sebebiyet vermekte ve sistem kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

$\cos \phi$  'yi 1'e yakın bir değerde tutabilmek için; minimum yük şartlarında sistemde devamlı serviste kalan ve üzerinde otomatik kontrol düzeni olmayan şönt kondansatörler ile  $\cos \phi = 1$  civarında tutulmakta, puant saatlerinde ise  $\cos \phi$  'yi 1 değerinde tutabilmek için ilave kondansatörler otomatik bir kontrol düzeni ile sisteme bağlanmaktadır.

Orta gerilim şebekelerinde şönt kapasitörlerin tesis edilebilecekleri yerler şu şekilde sıralanabilir.

- ◆ Yüksek Gerilim / Orta Gerilim trafo merkezleri,
- ◆ Orta Gerilim / Orta Gerilim trafo merkezleri,
- ◆ Orta Gerilim şalt ve tevzi merkezi,
- ◆ Orta Gerilim hatlarında direk üzerinde.

Orta gerilim şebekesinde şönt kompanzasyon için geliştirilen kondansatör banklarının özellikleri Tablo 2.3'te görülmektedir. Bu banklar 3 - 12 - 24 veya

48 üniteli olarak imal edilmekte ve güçleri kademeli olarak 300 – 500 – 600 – 1200 – 1800 – 2000 – 2400 – 3600 – 4000 – 4800 – 7200 – 8000 – 9600 olarak değişmektedir.<sup>[43]</sup>

Gücü 600 kVAr 'a kadar olan kondansatör bankları bina içinde bir hücreye ve direk üstünde tesis edilebilirler. Bunlar sigortalı bir yük ayırıcısı ile sisteme bağlanabilirler. 600 kVAr 'ın üstünde olan kondansatör bankları hariçte tesis edilerek SF6 veya vakum tipi bir kesici ile sisteme bağlanabilir. Büyük güçlü banklar dengesiz akım rölesi ile korunmalıdır.

Bu durumlarda kondansatör bankları iki kademeli olarak düzenlenerek bir grubu sisteme sabit bağlanmalı, ikinci grubun ise otomatik olarak sisteme bağlanmalıdır. Bankların otomatik olarak servise alınıp çıkarılması için, aşağıdaki düzeneklerden har hangi biri kullanılabilir.

- ◆ Akım kontrolü,
- ◆ Gerilim kontrolü,
- ◆ VAr kontrolü,
- ◆ Zaman saatli kontrol.

### **3.2.3.2 Kondansatör Konulacak Yerlerin Seçimi**

Pratik olarak orta gerilim kondansatör bankları hattın 2 / 3 mesafesinde tesis edildikleri takdirde azami faydayı sağladıkları tavsiye edilmektedir. Tabii bu

---

[43] KÖKSAL, M., "Cos  $\phi$  - Reaktif Güç Kompanzasyonu", Ankara 1993, S.1.

noktalarda uygun yerlerin bulunması gerekmektedir.

### 3.2.3.3 Şönt Kondansatörlerin Hesabi

◆ Trafonun ikincil tarafında son bir yıl içerisinde aylara göre çekilen aktif ve reaktif enerji miktarları kaydedilir ve ortalama  $\text{tg } \phi$  değerleri hesap edilir.

◆ Bu hesaplardan yararlanılarak  $\text{tg } \phi$  'nin en yüksek olduğu ay tespit edilir. Puant gücün zamanı tespit edilerek 24 saatlik ölçümler yapılır. (Aktif reaktif güçler tespit edilir.

Mevcut güç katsayılarını 0.98'e yükseltmek için gerekli kondansatör güçleri hesap edilir.

◆ Trafo merkezindeki yıllık kayıtlardan yararlanılarak son bir yılda kaydedilen puant aktif ve reaktif güç ile bunlara tekabül eden diğer değerler hesap edilir.

◆ Diğer değerler incelenerek maksimum kondansatör gücü bulunur. Bulunan güç trafo gücünün (İndirici trafonun) %20 sinden büyük olması halinde %20'ye düşürülür.

◆ Orta Gerilimde yapılan kompanzasyonun sistemde sağladığı faydalar puant güçte şöyle izah edilebilir.

◆ Trafo merkezinde artan kapasite: (MVA)

$$\Delta S = \left[ \frac{Q_c}{S} \cdot \text{Sin} \phi - 1 + \sqrt{1 - \frac{Q_c^2}{S^2} \cdot \text{Cos}^2 \phi_1} \right] \cdot S$$

$Q_c$  = MVAr Kondansatör gücü

$S$  = MVA olarak trafo nominal gücü

$\phi_1$  = Mevcut güç faktörü

◆ Trafo artan aktif güç kapasitesi

$$\Delta_p = 100 \cdot \left( \frac{\cos \phi_2}{\cos \phi_1} - 1 \right)$$

% olarak hesap edilir.

◆ Gerilim Artışı:

$$\Delta U = U_k \cdot \frac{Q_c}{S}$$

$U_k$  = % olarak trafonun kısa devre gerilimi

$S$  = MVA olarak trafonun nominal gücü

$Q_c$  = MVAr olarak kondansatör gücü.<sup>[44]</sup>

---

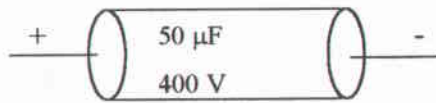
[44] KÖKSAL, M., "Cos  $\phi$  - Reaktif Güç Kompanzasyonu", Ankara 1993, S.1.



#### 4. KONDANSATÖRLER

Kondansatör elektrik enerjisini depolayabilen bir elemandır. Dielektrik adı verilen yalıtım malzemesi ile ayrılmış iki iletken levha bir kondansatörü oluşturur. Kondansatör C sembolü ile gösterilir ve Farad (F) adı verilen bir birim ile ölçülür. Böyle bir kondansatöre doğru gerilim uygulanırsa; iletken levhalardan biri pozitif (+), diğeri negatif (-) elektrikle yüklenir. Kondansatör doğru gerilim kaynağından ayrılır ve iki ucu bir tel ile birleştirilirse bir kıvılcım atlayarak toplanan yük boşalır.<sup>[45]</sup>

Bir kondansatöre alternatif akım uygulanırsa, bir yarım periyotta yukarıda anlatıldığı gibi yüklenir. İkinci periyotta boşalarak ters yönde yüklenir. Alternatif akımda bu olay sürekli devam ettiğinden kondansatörler sürekli doğru akımı geçirmez; fakat alternatif akımı geçirir.<sup>[46]</sup>



Şekil 4.1. Kondansatör Şekli

[45] ÖNAL, H., "Kondansatörler 1", 3e, Nisan 1996, S.76.

[46] ÖNAL, H., "Büyük Güçlü Kondansatörlerin Yapılışı ve Kompanzasyon", 3e, Kasım 1997, S.70.

Kondansatörlerde, iki iletken tabaka ve bu iki iletken tabaka arasına konulmuş yalıtkan (dielektrik) malzeme bulunur. İletken tabakalar arasındaki kısma konan yalıtkan malzeme olarak; özel kağıt, polipropilen veya buna benzer maddeler kullanılır. Ayrıca bu maddelerin arasına sızdırılan çeşitli yağ ve kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. İletken malzeme olarak da genellikle alüminyum folyo kullanılmaktadır.<sup>[47]</sup>

Kondansatör tipleri, kullanılan dielektrik yani yalıtkan malzemenin cinsine göre isimlendirilir. Kağıtlı, mikalı, polyester, seramik gibi.

Kondansatörlerin dört önemli özelliği vardır.

1. Kondansatörlerin kapasitesi (Farad ile ölçülür),
2. Kondansatörün kapasitesinin toleransı (% olarak verilir),
3. Kondansatörün dayanacağı gerilim (Volt olarak verilir),
4. Kondansatörün tipi (Bazı tipler doğru akımda (DC)'de kullanılır).

#### 4.1 Kondansatörlerin Kapasitesi

Kondansatörün kapasitesi yük alma özelliğidir. Kapasite C ile gösterilir ve birimi Farad (F)'dir. Farad birimi çok büyük olduğundan daha küçük alt katları kullanılır. Mikro Farad ( $\mu\text{F}$ ), Nano Farad (nF), Piko Farad (pF) gibi.

Düzlemsel bir kondansatörün kapasitesi şu formül ile hesaplanır:

---

[47] KÖKSAL, M., "Cos  $\phi$  - Reaktif Güç Kompanzasyonu", Ankara 1993, S.1.

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d} \quad (4.1)$$

$\epsilon_0$  : Boşluğun veya havanın dielektrik sabitesidir.

$\epsilon_r$  : Kullanılan yalıtkanın dielektrik sabitesidir. Birimi yoktur.

S : Karşı karşıya duran levhalardan birinin alanı ( m<sup>2</sup> ),

d : iki iletken levha arasındaki uzaklık, yalıtkan malzemenin kalınlığı,

C : Kondansatörün kapasitesi. Farad birimi ile bulunur.

## 4.2 Kondansatörde Kapasite değerinin toleransı

Kondansatörün yapılırken gösterilen titizliğe ve kullanılan malzemenin kararlılığına göre bir toleransı vardır.

Elektrik elemanı olan dirençlerde olduğu gibi en kaba şekilde ölçülüp yapılan kondansatörler % 20 toleranslı, en doğru ölçülüp yapılan kondansatörler ise % 0.01 toleranslıdır.

## 4.3 Kondansatörlerin dayanacağı gerilim

Bir kondansatörün dayanacağı gerilim, iletken levhalar arasına konan yalıtkan dielektrik malzemesinin özelliği ile sınırlıdır. Her yalıtkan malzeme belirli bir gerilime dayanabilir.

## 4.4 Kondansatör Tipleri

Kondansatörler, plakalar arasına konan yalıtım malzemesinin cinsine göre

sınıflandırılırlar. Kağıtlı, mikalı, plastik, polyester, polipropen, strofleks, seramik, tantal, elektrolitik gibi isimler alır. Elektrolitik olan kondansatörler doğru gerilimde kullanılırlar. Bu kondansatörler alternatif akımda kullanılmak istenirse, özel bağlantılar yapılarak kullanılabilir.

#### 4.5 Kondansatörlerin Gücü

Büyük güçlü ve kapasiteli kondansatörler elektrik şebekelerinde güç kompanzasyonu için kullanıldığından reaktif gücün bilinmesinde fayda vardır. Reaktif güç,  $Q=U^2.C.w$  formülü ile hesaplanır ve kVAr (kilo volt amper reaktif) birimi ile ölçülürler. Kondansatör imal eden firmalar müşterilere bu hesabı yaptırmamak için güç değerini kondansatör üzerindeki etikete yazarlar. Bir kondansatörün etiketi üzerinde aşağıdaki bilgiler gösterilir.

$$C = 33 \mu\text{F}$$

$$U = 400 \text{ V}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

$$D = \%0,3$$

$$Q = 1.658 \text{ kVAr}$$

#### 4.6 Kondansatör Kayıpları

İdeal bir kondansatörün iç direnci sonsuz; kayıp faktörü  $\text{tg } \delta = 0$ ; güç faktörü  $\text{Cos } \varphi = 1$ ; reaktif güç, görünür güce eşit olmalıdır. Fakat doğada ideal malzeme bulmak mümkün olmadığından bu eşitlikler sağlanmaz. Kondansatörlerin iç direnci sonsuz olmadığı için kayıp faktörü de sıfır olmaz. Kondansatör şebekeye bağlı kaldığı müddetçe şebekeden aktif güç çeker. Bu aktif güç küçük bile olsa kondansatörler şebekeye gece gündüz devamlı bağlı kaldığı için büyük yekün tutabilir. *Kondansatörlerde gereksiz yere harcanan aktif güç iki bakımdan*

*mahzurludur. Birincisi elektrik idaresine fazla para ödemiş oluruz. İkincisi de, kondansatörler tarafından şebekeden çekilen aktif güç kondansatörlerin içinde harcandığından, kondansatörleri ısıtır ve ömrünü azaltır.* Kondansatörlerde harcanan aktif gücü mümkün olduğu kadar azaltmak için, kullanılan malzemelerde ve imal tekniklerinde gelişmeler olmuştur.

#### **4.7 Bir Kondansatörün Eşdeğer Devresi**

Bir kondansatörün C kapasitesi yanında bir miktar iç direnci vardır. Direnç, yalıtım malzemesinin kaçaklarından; endüktansı (bobin etkisi) ise iletken şeritlerin bir silindir üzerine sarılmasından meydana gelir.

Kondansatörlerin birbirlerine paralel bağlayarak kapasiteleri, seri bağlayarak kullanma gerilimleri artırılabilir. Kondansatörler kullanılmadan uzun süre bekletilecek olur ise, kuru ve serin yerlerde saklanmalıdır. Rutubet ve kimyasal maddeler kondansatörlere zarar verir.<sup>[48]</sup>

#### **4.8 Kondansatör Çeşitleri, Kullanıldığı Yerler ve Kompanzasyon Hesabı**

##### **4.8.1 Kondansatör Çeşitleri**

Sanayide kullanılan kondansatörleri, doğru akım ve alternatif akım kondansatörleri olarak iki gruba ayırmak mümkündür.

---

[48] ÖNAL, H., "Büyük Güçlü Kondansatörlerin Yapılışı ve Kompanzasyon", 3e, Kasım 1997, S.70.

Doğru akımda kullanılanlar da, kendi aralarında; alüminyum elektrolitik, mayler film, tantal elektrolitik, seramik ve mika vs. kondansatörler olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde bunlardan yalnızca alüminyum elektrolitik ve film kondansatör üretimi yapılmaktadır.

Alternatif akımda kullanılan kondansatörlerin (özel amaçlarla doğru akımda da kullanılabilirler) tümü yurdumuzda üretilmektedir.

Kondansatörler kullanım amacına göre;

- a) Güç kondansatörleri,
- b) Daimi devre kondansatörleri,
- c) Parazit gideri filtre kondansatörleri,
- d) Demaraj (yol verme - yol alma) kondansatörleri,

olarak gruplandırılabilir.

#### **4.8.2 Güç Kondansatörleri**

Güç kondansatörleri genel olarak iki kısma ayırabiliriz.

- ◆ Düşük gerilim güç kondansatörleri
- ◆ Orta gerilim güç kondansatörleri

Ve ayrıca, genelde güç kondansatörü olmasına rağmen hem düşük gerilim ve frekansta kullanılması bakımından ayrı bir tip olarak da belirtilebilen

- ◆ Endüksiyon ocak kondansatörleri' dir.

#### **4.8.3 Daimi Devre Kondansatörleri**

Trifaze (üç fazlı) ve monofaze (tek fazlı) motorların, flüoresan, cıva ve sodyum buharı aydınlatma armatürlerinin balastlarının kompanzasyonu ve regülatörler ile trifaze motorların monofaze şebekede çalıştırılabilmesi amacıyla kullanılırlar.

#### **4.8.4 Parazit Giderici Kondansatörler**

Genellikle kolektörlü motorlarda kullanılırlar. Fırça - kolektör sisteminin, eş zaman çalışmada iletişim cihazlarında oluşturduğu parazitleri süzer, aynı zamanda bu tip motorların kullanıldığı araçların topraklanmasını da gerçekleştirmiş olur. Taşıt araçlarında kullanılan ve meksefe olarak da adlandırılan tipleri de birer parazit giderici kondansatördür.

#### **4.8.5 Demaraj (İlk Hareket-Yol Alma) Kondansatörleri**

Tek fazlı motorların yükte kalkış yapabilmeleri için gerekli olan moment değerini sağlayan yüksek kapasiteli kondansatörlerdir. Küçük hacimlerde büyük kapasite gerektiği için, özel tipte elektrolitik olarak yapılmıştır. En büyük özelliği, belirli bir süre için gerilim altında bulunma süresinin kısıtlı olmasıdır. Yalnızca motorun kalkması ve nominal devire ulaşmasına kadar geçen sürede devrede kalır. Motorun nominal devrine ulaşması ile seri bağlı olduğu merkezkaç anahtarının yardımcı sargı devresini açması sonucu bu kondansatör de devreden çıkar. Dolayısıyla tüm bu işlemler 1-3 sn. arasında olduğundan çalışma süreleri de bu değerlerdedir. Kısaca çalışma oranları 1/1 diye açıklanan değer gerçekte; kondansatör 60dk. İçerisinde 60 sn. çalışacak demektir.

## 4.9 Kompanzasyon İçin Kondansatör Seçimi

Günümüzde 4 ayrı yapıda güç kondansatörü üretilmektedir.

- ◆ Kağıt yalıtkanlı yağlı tip
- ◆ Polipropilen yalıtkanlı tip
- ◆ Metalize polipropilen kuru tip
- ◆ Karma yalıtkanlı

### 4.9.1 Kağıt Yalıtkanlı Yağlı Tip

En eski ve ilk uygulanan sistem olup kayıplarının yüksekliği ve büyük hacim gerektirmesi nedeniyle bugün artık kullanım alanını yitirmiştir.

### 4.9.2 Polipropilen Yalıtkanlı Tip

Gerilim dalgalanmalarına dayanıksızlığı ve empenye zorlukları nedeniyle fazla tercih edilmeyen özelliklere sahiptir.

### 4.9.3 Metalize Polipropilen Kuru Tip

Ülkemizde son on yıl içerisinde oldukça geniş kullanım alanı bulan bu tip kondansatörler “kendi kendini onaran” olarak da adlandırılır. Polipropilen film üzerine alüminyum püskürtülmek suretiyle tek katta hem iletken, hem de yalıtkan elemanların elde edilmesi sonucu oldukça küçük ölçülere sığdırılabilmektedir. Kaybı düşüktür. Gerilim dalgalanmalarından etkilenen alüminyumun yoğunlaşması ilkesine dayanan kendini onarma özelliği, avantajlı yanı olmakla birlikte, giderek kapasite değerinin düşmesi dezavantajını da barındırmaktadır. Kondansatörün gücü, kapasitesi doğru orantılı olduğundan, bu tip kondansatörlerin zamanla kVAr gücü de zayıflar.

#### 4.9.4 Karma Yalıtkanlı, Yağlı Tip:

Kısa bir süre önce uygulanmaya başlayan bu sistem ile hem kapasite kutbu önlenmiş, hem de kayıplar düşürülerek daha küçük hacimlere de tutulması gerçekleştirilmiştir. Karma yalıtkanlı, yağlı kondansatör, gerilim dalgalanmalarından etkilenmez.<sup>[49]</sup>

#### 4.10 Bir Kondansatörün Eşdeğer Devresi

Bir kondansatörün C kapasitesi yanında bir miktar direnci ve endüktansı da vardır. Direnç, yalıtım malzemesinin kaçaklarından; endüktansı ise iletken şeritlerin bir silindir üzerine sarılmasından olur. Bu durumda pratikte bir kondansatörün eşdeğer devresinde, direnç ve endüktans özelliği de azda olsa vardır.

Kondansatörler bir elektrik devresine paralel ve seri olarak iki şekilde bağlanır. Paralel bağlandığında eşdeğer kapasite;

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots ,$$

seri bağlandığında ise eşdeğer kapasite;

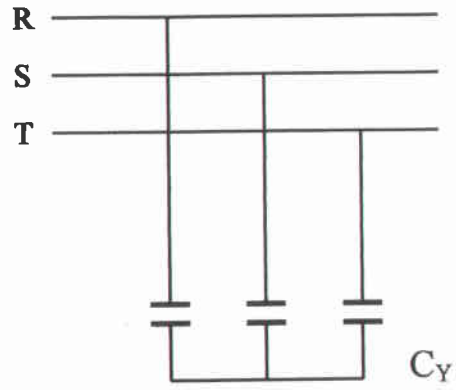
$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots$$

olur. Kondansatörlerin üç fazlı sisteme bağlanması iki şekilde olur.<sup>[50]</sup>

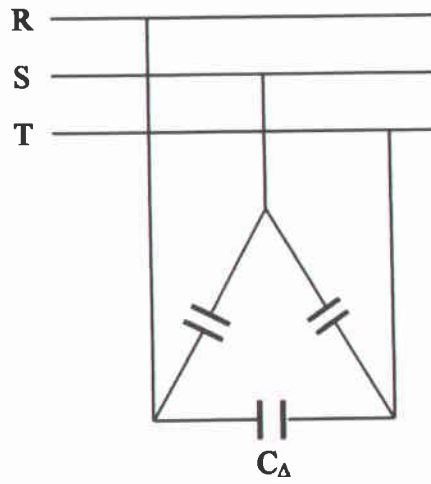
---

[49] DEMİRAY, O.Z., "Kondansatör Çeşitleri, Kullanıldığı Yerler ve Kompanzasyon Hesabı", Kaynak, Sayı 24, S.16-17.

[50] ÇUKUROVA ELK., "Kondansatörler, Güç Faktörü Düzeltmesi ",Yayın No:12, BG 15AB, S.13.



**Şekil 4.2.** Kondansatörlerin Yıldız Bağlanması



**Şekil 4.3.** Kondansatörlerin Üçgen Bağlanması

## 5. HARMONİKLER, HARMONİKLERİN KOMPANZASYON TESİSİNDEKİ ETKİLERİ

Ülkemizde son yıllarda enerji sorununun getirdiği ekonomik bir zorunluluk, reaktif güç kompanzasyonudur. Bir çok işletmelerde bu amaçla kondansatörler tesis edilmektedir. Kompanzasyon tesislerinde bazı tali olaylar baş göstermekte ve bu yüzden işletmenin normal olarak devam etmesi mümkün olmamaktadır. Bu tali olayların en önemlileri, harmonikler ve daha ziyade bunların sebep oldukları rezonans olaylarıdır.

Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi tanımı, şebekenin gerilim ve frekansındaki değişimler ile şebekeden çekilen akımdaki dalga şekli bozulmaları ve bunların neden olduğu gerilim dalga şekli bozulmalarının belirtilmesi amacıyla kullanılır. Yıldırım gibi atmosferik dış olaylar ile açma-kapama olayları sonucu şebeke geriliminin aşırı yükselmesi, kısa devre olayları veya büyük güçlü elektrik motorlarının devreye girmesi sonucu gerilimin kısa süreli düşmesi ve harmonikler enerji kalitesini etkilemektedir.<sup>[51]</sup>

Normal şartlar altında, yani şebeke geriliminin ve akımın sinüs şeklinde olmaları halinde, kondansatörlerin işletmelerinde hiç bir zorluklu karşılaşmaz. Buna karşılık, tesislerde meydana gelen bazı tali olaylar yüzünden, şebeke geriliminin ve akımın şeklinin bozulması bir çok yüksek mertebeli harmoniklerin meydana gelmesine yol açar.

---

[51] REID, E. W., "Power Quality Issues-Standards and Guidelines", IEEE Trans on IA, Vol 32, No 1, May / June 1996

Elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı çoğunlukla radyal hatlarla yapılmaktadır. Uzun radyal hatların empedansı büyük olduğundan, hat sonlarında gerilimin nominal değerinde tutulması zor olmaktadır. Bu tür hatlardan beslenen dinamik yükler gerilimin genlik ve dalga şeklini bozarak enerji kalitesini etkilemektedir ve bunun sonucu olarak komşu diğer işletmelere olumsuz etki yapmaktadır. Ayrıca bazı tüketicilerin ürettiği harmonikler ile dengesiz yükler sonucu gerilimde oluşan dalga şekli bozulmaları aynı hattan beslenen tüketiciler açısından sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji kalitesini etkileyen faktörlerin en önemlisi harmoniklerdir.<sup>[52]</sup>

Enerji tesislerinde harmonikler hiç bir zaman istenmezler; fakat buna rağmen çoğu işletmelerde harmonikler kendiliğinden ortaya çıkarlar. Bunlar işletme araçlarını ve tesisleri faydasız şekilde yükleyerek zayıfların artmasına sebep oldukları gibi, kondansatörlerin aşırı yüklenip termik bakımdan zorlanmasına sebep olurlar ve ayrıca rezonans olayına da yol açarak işletmenin devamını imkansız bir duruma getirirler. Hatta bazı hallerde harmoniklerin baş göstermesi, işletme araçlarında belirli hataların meydana geldiğine işaret eder. Bu nedenle elektrik işletmelerinde birinci derecede harmoniklerin meydana gelmemesi için tedbirler alınır. Fakat bunun gerçekleştirilmesi her zaman mümkün olmadığından, ikinci derecede bunları etkisiz hale getirmek için çarelere baş vurulur.

Bu konular teknik bakımdan ileri ülkelerde 25 -30 yıl önce incelenmiş ve çözüme bağlanmıştır. Halbuki ülkemizde kompanzasyon, ancak son yıllarda önem kazandığından, bununla birlikte ortaya çıkan zorluklarda yeni yeni ele alınmaya başlanmıştır.

---

[52] GÜL, Ö., "Harmoniklerin Enerji Kalitesine Etkisi ve Harmoniklerin Azaltılması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, 8-14 Eylül 1997 Ankara, S.496.

Harmoniklerin etkilerini hem üreticiler, hem tesisatçılar ve hem de işletmeciler göz önüne almak zorundadır.<sup>[53]</sup>

## 5.1 Harmonik Kaynakları

Elektrik enerji sistemlerinde lineer olmayan yükler 1970 yılından beri, özellikle 1980 yılından itibaren, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Şebekede harmoniklerin oluşmasına neden olan lineer olmayan bu yükleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- ◆ Büyük Güçlü Çeviriciler (Doğrultucular, Tristörler, Eviriciler,..),
- ◆ Doğru Akım Motor Sürücüleri,
- ◆ Alternatif Akım Motor Hız Kontrol Devreleri,
- ◆ Kesintisiz Güç kaynakları,
- ◆ Jeneratörler,
- ◆ Transformatörler,
- ◆ Ark Fırınları,
- ◆ Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu,
- ◆ Frekans Dönüştürücüler,
- ◆ Statik Motor Yol Alma Devreleri,
- ◆ Elektronik Balastlar,
- ◆ Anahtarlamalı Güç Kaynakları.

Yukarıda belirtilen yüklerin toplam güç olarak yaklaşık % 70'ini elektrik motorları

---

[53] BAYRAM, M., "Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu", Beşiktaş 1997, S.131.

oluşturmaktadır.<sup>[54]</sup>

## 5.2 Harmonikli Elektriksel Büyüklükler

Alternatif akım tesislerinde elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması ve tüketilmesi esnasında gerilimin ve akımın tam sinüs dalgası şeklinde olması arzu edilir ve normal şebeke frekansı 50 Hz'dir. Fakat bazı yan etkiler ve bozucu olaylar yüzünden gerilimin ve akımın şekli bozulur ve sinüs şeklinden ayrılır. Gerilimin ve akımın sinüs şeklinde olmaması, aşağıda açıklanacağı gibi, enerji tesislerinde bir çok zararlı tesirlere yol açar.

Genel olarak bilindiği gibi, sinüs şeklinde olmayan her hangi periyodik bir fonksiyon, Fourier serisine göre, sonsuz sayıda harmoniklerin toplamına eşittir. Buna göre sinüs şeklinde olmayan periyodik bir gerilim için,

$$u(t) = U_0 + \sum_{v=1}^{\infty} U_v \cdot \sin(v\omega t + \varphi_v) \quad (5.1)$$

veya başka bir ifade tarzına göre,

$$u(t) = A_0 + \sum_{v=1}^{\infty} A_v \cdot \sin(v\omega t + \varphi_v) + \sum_{v=1}^{\infty} B_v \cdot \cos(v\omega t) \quad (5.2)$$

---

[54] PHILIPPS, J.K., "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems", IEEE Trans on IA, Vol 30, No 2, March / April 1994.

yazılabilir. Burada  $\nu$  harmonik mertebesi olup 1, 2, 3, ... gibi tam sayılar alır.  $U_\nu$  ve  $\varphi_\nu$  ise,  $\nu$ 'ncü harmonik geriliminin tepe değeri ve faz açısıdır. Buna göre,

$$U_\nu = \sqrt{A_\nu^2 + B_\nu^2} \quad (5.3)$$

ve

$$\text{tg}\varphi_\nu = \frac{B_\nu}{A_\nu} \quad (5.4)$$

dür. Sinüzoidal olmayan periyodik bir akımda yine aynı şekilde bir Fourier serisi ile gösterilebilir.  $\nu = 1$  için temel gerilim dalga değeri elde edilir.  $\omega$  temel dalgaının dairesel frekansı olup,  $f$  şebeke frekansı ve  $T$  periyot süresi olmak üzere,

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (5.5)$$

dır ve enerji tesisleri için  $\omega = 2\pi f = 314$  1/s değerini alır. Yüksek frekans harmonikleri bunun  $\nu$  katına eşittir. Harmoniğin mertebesi yükseldikçe genellikle harmoniğin tepe değeri de küçülür. Harmonikleri elde edebilmek için bunların genliklerinin (amplitude) hesaplanması gerekir. Denklem (5.2) deki genliklerin hesabı aşağıdaki integral ifadelerle hesap edilir.

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (5.6)$$

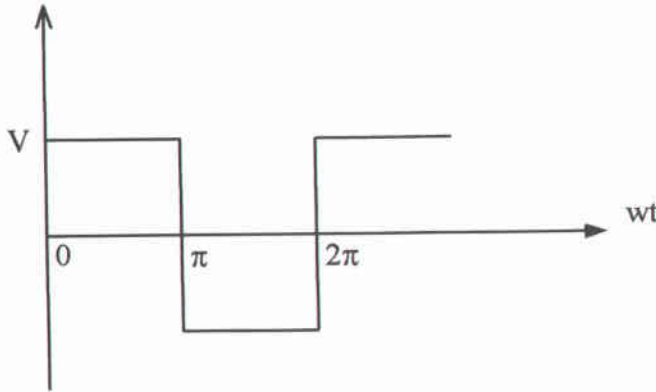
$$A_\nu = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \text{Sin}(\nu\omega t) dt \quad (5.7)$$

$$B_v = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \cos(v\omega t) dt \quad (5.8)$$

Denklem ( 5 . 1 ) de  $U_0$  ve denklem ( 5 . 2 ) de  $A_0$ , gerilimin doğru bileşenidir. Ekseriyetle rastlanan periyodik alternatif akım büyüklüklerinde pozitif ve negatif yarı dalgaların yüzeyleri birbirine eşit olduğundan, doğru gerilim bileşeni bu gibi durumlarda sifıra eşittir. [55]

### 5.3 Harmoniklerin Hesaplanması

Şekil 5.1.'de gösterilen kare dalga gerilimin trigonometrik Fourier açılımını yardımıyla harmonikleri aşağıdaki hesapla belirlenir.



Şekil 5.1. Kare dalga gerilim

$$0 < \omega t < \pi \text{ aralığında } f(t) = V$$

$$\pi < \omega t < 2\pi \text{ aralığında } f(t) = -V$$

dir. Dalga'nın ortalama değeri sıfırdır; bu nedenle  $a_0 / 2 = 0$  olur.<sup>56</sup> Kosinüs katsayıları ( $a_n$ ,  $b_n$ ) integral formülüne fonksiyon yerleştirilerek hesaplanır.

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \int_0^{\pi} V \cdot \cos(n\omega t) \cdot d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} -V \cdot \cos(n\omega t) \cdot d(\omega t) \right\} \\ &= \frac{V}{\pi} \left\{ \left[ \frac{1}{n} \cdot \sin(n\omega t) \right]_0^{\pi} - \left[ \frac{1}{n} \cdot \sin(n\omega t) \right]_{\pi}^{2\pi} \right\} = 0 \quad n\text{'in bütün değerleri} \end{aligned}$$

için.

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \int_0^{\pi} V \cdot \sin(n\omega t) \cdot d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} -V \cdot \sin(n\omega t) \cdot d(\omega t) \right\} \\ &= \frac{V}{\pi} \left\{ \left[ -\frac{1}{n} \cdot \cos(n\omega t) \right]_0^{\pi} + \left[ \frac{1}{n} \cdot \cos(n\omega t) \right]_{\pi}^{2\pi} \right\} \end{aligned}$$

---

[56] HARRIS, F. J., "On The Use of Windows for Harmonic Analysis with The Fourier Transform", IEEE, 1978, 66, S.81-83.

$$= \frac{V}{\pi} (-\cos(n\pi) + \cos(0) + \cos(n2\pi) - \cos(n\pi))$$

$$= \frac{2 \cdot V}{n \cdot \pi} (1 - \cos(n\pi))$$

$n=2,4,6,\dots$  için  $b_n=0$  olur.  $n=1,3,5,\dots$  için

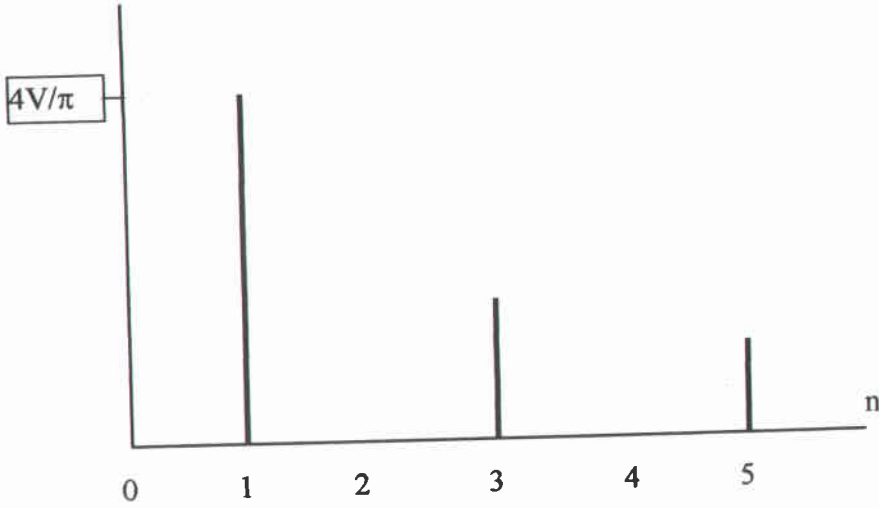
$$b_n = \frac{4 \cdot V}{n \cdot \pi} \quad \text{çıkar. Bu durumda } f(t), \text{ aşağıdaki gibi yazılır.}$$

$$f(t) = \frac{4 \cdot V}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4 \cdot V}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4 \cdot V}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots$$

Bu seriden de anlaşıldığı gibi, yukarıdaki gerilim kare dalgasının harmonikleri tek harmoniklerdir. (1., 3., 5.,...). Temel frekanstaki ( $\omega t$ ) gerilim dalgasını etkileyen harmonikler özellikle 3. Ve 5. harmoniklerdir.<sup>57</sup>

---

[57] EDMINISTER, J. A., "Electric Circuits", Schaum's Outline Series, McGraw Hill- NewYork, 1965, S. 228.



Şekil 5.2. Serinin Çizgi Spektrumu

## 5.4 Harmoniklerin etkileri

### 5.4.1 Kondansatörler Üzerine Etkileri

Genel olarak, kondansatörler nominal şebeke gerilimine bağlı oldukları halde şebekeden büyük akım çekiyorsa, bunun başlıca üç sebebi vardır. Ya kondansatörün kapasitesi nominal kapasiteden büyüktür, ya da şebeke frekansı nominal değerinden yüksektir. Fakat aşırı akımların en önemli sebebi, şebeke geriliminin harmonikler içermesidir.

Elektrik tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu maksadı ile tüketicilerin bağlı oldukları baralara kondansatörler paralel olarak bağlanırlar. Eğer bu baraya harmonik üreten transformatörler, ark ocakları veya büyük güçlü doğrultucular da paralel bağlanırlarsa, kondansatörler harmonikli gerilim ile beslenirler. Kondansatörlerin aşırı akım çekmesinin de en önemli nedeni budur.

Kondansatörlerin kapasitif dirençleri, bobinlerin reaktanslarının aksine, frekans büyüdükçe daha küçük değer alırlar ve bu yüzden kondansatör akımındaki harmoniklerin genlikleri, kondansatöre uygulanan gerilimin genliklerinden büyük olur. Harmonikli bir gerilim altında kondansatörün çektiği akımın etkin değeri, harmonikli gerilimin etkin değerine eşit bir sinüzoidal bir gerilim altında çektiği akımdan büyüktür.

Kompanzasyon tesislerinde besleme iletkeninin kesitinin, sigortaların ve anahtarların seçiminde bu husus daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Gerilimdeki harmonikler sebebi ile kondansatörün gücü de artar. Şebeke işletmesinde sadece temel harmoniğe ait güç önem taşır; buna karşılık kondansatörün dielektrik kayıpları, yani termik zorlanması bakımından toplam kondansatörün gücü geçerlidir.

Toplam gücün tam olarak bulunması için gerilimin ve akımın temel ve harmonik değerlerini ayırdıktan sonra ayrı ayrı temel ve harmonik güçleri hesaplanır ve bunların toplamı alınır. TS 804'e göre kondansatörlerin sürekli olarak nominal güçlerinin %135'i ile yüklenmelerine müsaade edilir. aslında kondansatör gücünün tam olarak tayini önemli değildir; önemli olan husus, bunun müsaade edilen sınır değerini aşıp aşmadığının bilinmesidir. Onun için harmoniklerin kondansatörleri ne mertebede yüklediklerinin bilinmesinde yarar vardır.<sup>[58]</sup>

#### **5.4.2 Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri**

Harmoniklerin elektrik tesisleri üzerine çeşitli zararlı etkileri vardır. Bu etkiler aşağıda özet olarak açıklanmıştır.

---

[58] BAYRAM, M., a.g.e., S.148.

#### **5.4.2.1 Jeneratör ve Şebeke Geriliminin Şeklinin Bozulması**

Her ne kadar boşta çalışan jeneratörlerde sinüs şeklinde gerilim (EMK) indüklenirse de, şebekede üretilen harmonikler sebebi ile yüklenen jeneratör sargılarından harmonikli akımlar geçtiğinde bunlar stator kaçak reaktanslarında kaçak alanlar ve yüksek harmonikli gerilim düşümleri meydana getirirler. EMK (elektro motor kuvveti)'nin sinüs şeklinde olmasına rağmen, bu yüzden jeneratör uçlarındaki gerilimin ve şebeke geriliminin şekli bozulur.

#### **5.4.2.2 Gerilim Düşümünün Artması**

Harmonik akımlarının frekansları, normal şebeke frekansı olan 50 Hz'in  $v$  katlarına eşit olduğundan, bu akımlar karşısında jeneratörlerin, hatların ve kondansatörlerin reaktif dirençleri üzerinde meydana gelen gerilim düşümleri de  $v$  ile orantılı olarak artar. Bu gerilim düşümlerinin frekansları  $v$  ile orantılı olduğundan, bunları normal şebeke gerilimi ile birleşmesi sonucunda gerilimin de şekli bozulur.

#### **5.4.2.3 Kondansatörler üzerine etkisi :**

Kondansatörlerin direnci frekansla ters orantılı olduğundan, yüksek harmoniklerde kondansatörlerin direnci düşer ve çektiği akım artar. Bunun sonucu olarak kondansatör aşırı yüklenir.

#### **5.4.2.4 Zayıflığın Artması**

Harmonik akımları şebekede faz başına  $I_v^2 \cdot R$  gibi ilave bir zayıflığın meydana gelmesine sebep olur. Gerilimin eğrisindeki harmonikler, makinelerin yüklenmesi halinde zararlı ilave akımların geçmesine yol açar; bu yüzden makineler, transformatörler ve nakil hatları ilave olarak ısınırlar. Ayrıca jeneratörlerin amortisman sargıları, ş bir fazlı veya iki fazlı kısa devrelerde meydana gelen

harmonikleri azaltacak ve ortadan kaldıracak şekilde etki ederken kendileri de çok ısınırlar ve jeneratörlerde ilave kayıpların meydana gelmesine yol açarlar.

#### **5.4.2.5 Elektrik Makinaları Üzerine Etkisi**

Harmonikli gerilimle beslenen senkron ve asenkron makineler aşırı ısındıkları gibi, harmonikli akımlar bunların salınım yapmalarına sebep olur.

#### **5.4.2.6 Sayaçlar Üzerine Etkisi**

Endüksiyonlu tip sayaçlarla yapılan enerji ölçümü, harmonikli devrelerde yanlış sonuç verir.

#### **5.4.2.7 Kontrol Cihazları Üzerine Etkisi**

Özellikle ateşleme anları gerilimin sıfırdan geçmesine göre ayarlanmış olan kontrol cihazları ve otomatik anahtarlar, harmonikler sebebi ile yanlış çalışırlar.

#### **5.4.2.8 Mikro Bilgi İşlemciler Üzerine Etkisi**

Yarı iletkenli bilgi işlemci sistemlerde harmonikler hatalı çalışmalara yol açar.

#### **5.4.2.9 Toprak Temasının Kompanzasyonu**

Bir toprak teması halinde, eğer faz arası gerilimler harmonikler ihtiva ederse, kompanzasyonlu şebekelerde toprak teması akımlarında o kadar büyük harmonikler bulunur ki, şebekenin yıldız noktasına bağlı kompanzasyon bobini görevini tam olarak yapamaz. Kompanzasyonsuz şebekelerde sık sık gelip giden toprak teması, işletme frekansından daha yüksek frekanslı aşırı gerilimlerin meydana gelmesine sebep olur; zira arkın her sönüp ve yeniden tutuşması, şebekede yüksek frekanslı

cebri titreşimlere yol açar.

#### **5.4.2.10 İzolasyonun Delinmesi**

Sinüs şeklindeki gerilim eğrisine eklenen gerilim harmoniklerinin meydana getirdiği iğne ucu şeklindeki çok kısa süreli ani gerilim yükselmeleri, mesela gerilim rezonansı gibi hallerde, makine ve transformatör sargılarının izolasyonu ve kondansatörlerin dielektrik maddesi için büyük bir tehlike teşkil ederler ve icabında delinmelere yol açabilirler. Buna karşılık mesnet, askı ve geçiş izolatörleri için bu gibi aşırı gerilimler hemen hemen bir tehlike yaratmazlar.

#### **5.4.2.11 Rezonans Olayları**

Harmoniklerin en önemli etkilerinden biri de rezonans olayıdır. Genellikle elektrik tesislerinde, mesela redresör gruplarının veya ark ocaklarının bağlı oldukları baralara reaktif güç kompanzasyonu maksadı ile kondansatör bataryaları da paralel bağlanırlar. Tesis elemanlarının tabii olarak mevcut olan  $X_L$  endüktif dirençlerine ilave olarak  $X_C$  değerindeki kompanzasyon kondansatörlerinin gelmesi, bilindiği şekilde bir titreşim devresi oluşturur. Bunlar bir taraftan normal şebeke frekanslı gerilimin etkisi altında oldukları gibi diğer taraftan harmonik üreticiler tarafından harmonik akımları ile beslenirler.  $X_L$  ve  $X_C$  elemanlarının bağlı oldukları yerlere göre bunlar bir seri veya paralel titreşim devresi teşkil ederler. En çok rastlanan ve en önemli olan devre paralel titreşim devresidir. Bu gibi devrelerde, bazı özel şartların gerçekleşmesi halinde, rezonans olayları, başta kondansatörler olmak üzere, diğer devre elemanlarının da zarar görmelerine yol açarlar.

#### **5.4.2.12 Telekomünikasyon Tesislerine Etkisi**

Çok yüksek mertebeli harmonikler, genliklerinin küçük olması sebebi ile kuvvetli akım tesislerinde zararsız oldukları halde bunlar, haberleşme tesisleri için zararlı

olurlar ve parazitler meydana getirirler.

## 5.5 Harmoniklerin Ortadan Kaldırılması

Kompanzasyon tesislerinde tabii olarak mevcut olan titreşim devrelerinde, harmonikler sebebi ile meydana gelen rezonans olayları, büyük zararlara yol açabilirler. Rezonansın meydana gelmesine engel olmak ve tesislerin sürekli olarak güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için harmoniklerin ortadan kaldırılmaları gerekir. Bugün harmoniklerin üretildiği kompanzasyon tesislerinde, mesela ark fırınlarını ve büyük redresörleri besleyen şebekelerde, harmonikleri ortadan kaldırmak için filtre devrelerinden yararlanılır. Filtreler, kondansatörler ile bobinlerin seri bağlanmaları ile elde olunurlar. Tesiste baş gösteren her bir harmonik frekansı için ayrı bir filtre devresine ihtiyaç vardır. Bunlar harmonik üreticinin yakınında, şebeke gerilimine paralel bağlıdır. Her bir filtre, hangi harmonik frekansına göre düzenlenmişse, bu harmonik için bir kısa devre oluşturur; böylece şebeke, harmoniklerden kurtarılmış olur. Filtre devrelerinde kapasite büyük ve endüktans küçük olduğundan, bunlar aynı zamanda güç katsayısını düzeltmek için kompanzasyon görevini de üstlenirler. Filtre devreleri bir rezonans devresidir ve enerji çevirici akımının bireysel harmoniklerine ayarlanmıştır.<sup>[59]</sup>

Kabili ayar kondansatörlerin kullanılması halinde, belirli bir motor gücü ve belirli bir kondansatör gücünde de harmonik rezonansı baş gösterebilir. Bu gibi hallerde harmonik ihtimalini azaltmak için mümkünse kabili ayar olmayan sabit kondansatörlerin kullanılması tercih olunur. Harmoniklerin etkisini azaltmak için redresörlerde darbe sayısı artırılır, mesela 6 darbeleri doğrultucu yerine 12 darbeleri

---

[59] SAYIN, S., "Güç Katsayısının Düzeltilmesi ve Harmoniklerin Yok Edilmesi", Kaynak Dergisi, Sayı:6, Kasım 1981, S.25.

doğrultucu kullanılırsa, harmoniklerin genlikleri çok düşer. Transformatörlerin primer sargıları üçgen bağlanırsa, 3. harmonikler şebekeye geçmez. Doğrultucu tesisler iki kısma ayrılıp bir kısmı ise üçgen bağlı ikinci sekonder sargısından beslenirse, 5. ve 7. Harmoniklerde önemli derecede azalma olur.<sup>[60]</sup>

---

[60] BAYRAM, M., a.g.e., S.154-157.

## 6. YÜK KOMPANZASYONUNUN EKONOMİK OLARAK İNCELENMESİ

Daha önceki bölümlerden bilindiği üzere, elektrik enerjisinin aktif ve reaktif olarak nitelendirilen iki bileşeni bulunmaktadır. Bir tesiste tüketiciler, şebekeden aktif enerji yanında reaktif enerji de çekerler. Genellikle aboneler elektrik idaresine, belirli bir birim fiyata ve tarifeye göre çektikleri aktif enerjinin karşılığı bir parayı ödedikleri gibi, başka bir fiyat tarifesine göre de reaktif enerji sarfiyatının bedelini karşılarlar.

Aboneler kullandıkları aktif enerjiyi şebekeden çekmek zorundadırlar, fakat reaktif enerjiyi, istedikleri takdirde bir reaktif güç kompanzasyon tesisi kurarak kendileri de üretebilirler. Söz konusu işletmede uygun bir kondansatör tesisatı kurmakla, gerekli reaktif enerji ihtiyacının daha ucuz bir fiyatla üretilmesi mümkün olmaktadır. Gerekli reaktif enerjinin yüklere yakın yerden beslenmesi şebeke açısından bakıldığında da faydalıdır.

### 6.1 Enerji Tarifeleri

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca çıkarılmış 9 Kasım 1995 tarih ve 22458 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Tarifeleri Yönetmeliği aşağıdadır.

#### 6.1.1 Reaktif Enerji Tarifeleri

Madde 56 - Reaktif Enerji tarifesi tek veya çift terimli tarifeden elektrik enerjisi satın alan aboneye aşağıdaki şartlar dahilinde uygulanır.

- a) Abone, çektiği reaktif enerjiyi ölçmek üzere gerekli ölçü aletlerini tesis etmek zorundadır. Reaktif enerjiyi ölçen düzeni olmayan abonenin, o dönemde çektiği aktif enerjinin 0.90 (yüzde doksan) katı reaktif enerji çektiği kabul edilir. reaktif enerji sayaçlarına geri dönmesiz mandal takılması zorunludur.

Teşekkül veya şirketin yazılı uyarılarına rağmen reaktif enerji ölçü aletleri tesis etmeyen veya arızalı olanları değiştirmeyen aboneye, kurma gideri kendisine ait olmak üzere teşekkül veya şirket tarafından reaktif enerji ölçü aletleri tesis edilir.

- b) Reaktif enerjiyi ölçmek üzere gerekli ölçü aletlerini tesis eden aboneden, çektiği aktif enerjinin 0.50 (yüzde elli) (dahil) katına kadar (endüktif) reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşılsa, çekilen reaktif enerjinin tamamına reaktif enerji tarifesi uygulanır.

- c) Abonenin sisteme vereceği (kapasitif) reaktif enerji miktarı, teşekkül veya şirketin gerekli görmesi durumunda, abone, aşırı kompanzasyon sonucunda sisteme vereceği (kapasitif) reaktif enerjiyi ölçmek için 1 (bir) adet geri dönmesiz reaktif enerji sayacını bildirim tarihinden itibaren 1 (bir) ay içinde tesis ettirecektir. Sisteme verilecek olan reaktif enerji, o dönemde çekilen aktif enerji miktarının 0.25 (yüzde yirmi beş) (dahil) katından fazla olmayacaktır. Bu sınır aşılsa, abonenin çektiği aktif enerjinin 0.90 (yüzde doksan) katı kadar reaktif enerji tükettiği kabul edilir ve reaktif enerji tarifesi üzerinden bedeli alınır.

- d) Bu maddenin (b) ve (c) bentlerinde yazılı sınırların ikisini birden aşan abonenin, çektiği aktif enerjinin 0.90 (yüzde doksan) katı reaktif enerji tükettiği kabul edilir.

- e) Tek fazlı beslenen abone ile bağlantı gücü 9 (dokuz) kW'a (dahil) kadar olan aboneye ve yürürlüğe konulan elektrik enerjisi satış tarifelerinde reaktif enerji bedeli belirtilmemiş olan abonelere reaktif enerji tarifesi uygulanmaz.

01/04/1998 tarihi itibarı ile reaktif güç birim fiyatları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.1. TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş. Elektrik Enerjisi Satış Tarifeleri<sup>[61]</sup>**

TARİFE KATEGORİLERİ ABONE GRUPLARI	AKTİF ENERJİ (TL/kW)	PUANT TARİFESİ (TL/kW)			GÜÇ (TL/kW)	GÜÇ AŞIMI (TL/kW)	REAKTİF ENERJİ (TL/kVar)	
		17/22	22/06	06/17				
<b>A)ÇİFT TERİMLİ TARİFE</b>								
SANAYİ	K.Ö.İ. <sup>[62]</sup>	11.570	19.814	7.210	10.992	705.000	1.057.500	5.785
	DİĞER	12.855	23.291	7.210	12.212	784.000	1.176.000	6.430
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		10.920	18.053	7.210	10.374	562.000	843.000	5.460
İÇME, KULLANMA SUYU	K.Ö.İ.	10.175	16.034	7.210	9.666	575.000	862.500	5.090
	DİĞER	11.310	19.104	7.210	10.745	640.000	960.000	5.655
ARITMA	K.Ö.İ.	8.680	14.861	7.210	8.246	528.000	792.000	4.340
TESİSLERİ	DİĞER	9.640	17.469	7.210	9.158	588.000	882.000	4.820

[61] TEDAŞ, "Pazarlama ve Müşteri Hizmetleri Dairesi Başkanlığı", 01/04/1998.

[62] Kalkınmada Öncelikli Yörelere

A) TEK TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	K.Ö.İ.	13.530	24.091	7.350	12.854	--	--	5.785
	DİĞER	15.030	28.961	7.350	14.279	--	--	6.430
İÇME, KULLANMA SUYU	K.Ö.İ.	11.625	19.739	7.350	11.044	--	--	5.090
	DİĞER	12.915	23.230	7.350	12.269	--	--	5.655
ARITMA TESİSLERİ	K.Ö.İ.	10.145	18.676	7.350	9.638	--	--	4.340
	DİĞER	11.275	21.721	7.350	10.711	--	--	4.820
MESKEN	K.Ö.İ.	13.640	--	--	--	--	--	--
	DİĞER	15.155	--	--	--	--	--	--
TİCARETHANE RESMİ DAİRE ŞANTİYE	18.630	38.717	7.350	17.699	--	--	--	9.315

## 6.2 Kompanzasyon Tesisinin ekonomik hesabı

Toplam aktif gücü  $P$  (kW) olan bir işletmede bir yılda elektrik idaresi tarafından fatura edilen reaktif enerji miktarı  $A_q$  (kVArh) dır. Geçerli tarifeye göre reaktif enerji fiyatı  $f_q$  (TL/kVArh) olup bir yılda ödenen reaktif enerji bedeli;

$$M_q = A_q \cdot f_q \text{ (TL)} \quad (6.1)$$

dır. Bu işletmede bir yıl içerisinde çekilen maksimum reaktif güç  $Q_{max}$  (kVA) dır. Düzenlenmiş yıllık yük eğrisine göre işletme süresi  $h_q$  (saat) dir. Genel olarak yıllık işletme süresi, ortalama 4000-5000 saat arasında değerler alır.

Buna göre bir yılda sarf edilen toplam reaktif enerji;

$$A_q = Q_{\max} \cdot h_q \quad (\text{kVArh}) \quad (6.2)$$

olacaktır. Söz konusu işletme içindeki yüklerin toplamının güç katsayısı  $\cos \varphi_1$  olsun. Bu değer basit ölçümlerle ve basit hesaplarla tespit edilebilir. Güç katsayısı işletmedeki yüklerle göre belirlenir. Genel olarak güç katsayısı 0.6-0.7 gibi değerler alır.

Böyle bir işletmede kompanzasyon tesisi yapılarak, güç katsayısının  $\cos \varphi_2 = 0.9$  değerine çıkarılması istenmektedir.

Bu kompanzasyon tesisi için veya bu yük için gerekli kondansatör gücü;

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (\text{kVAr}) \quad (6.3)$$

veya,

$$Q_c = Q_{\max} \cdot \frac{\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2}{\tan \varphi_1} \quad (\text{kVAr}) \quad (6.4)$$

formülleri kullanılarak hesap edilebilir.

Komple kompanzasyon tesisatının birim fiyatı  $f_c$  (TL/kVAr) ise, tesisin toplam maliyet bedeli;

$$S_c = Q_c \cdot f_c \quad (\text{TL}) \quad (6.5)$$

değerinde olacaktır. Kompanzasyon tesisi için  $S_c$  (TL) tutarında bir yatırım yapıldıktan sonra, birinci yılda  $M_q$  (TL) reaktif enerji bedelinin ödenmesine artık gerek kalmaz. Genellikle  $S_c > M_q$  olduğundan, bunu takip eden  $n$  yıl sonra tasarruf edilen  $n \cdot M_q$  değeri ile  $S_c$  bedeli karşılanacağından

$$n \cdot M_q = S_c \quad (6.6)$$

olur ve böylece  $n$  süresi;

$$n = \frac{S_c}{M_q} \quad (6.7)$$

ifadesi ile belirlenir.

Tecrübelerle, bilgi ve hesaplara göre  $n$  süresi maksimum 2 yıl gibi bir değer alır. Bu sürenin uzun yada kısa oluşunun nedeni, parametreler için verilen değerlerin farklı oluşundan kaynaklanmaktadır.

Bu süre içinde artık elektrik idaresine ödenmeyen  $n \cdot M_q$  lar ile, yapılan yatırım karşılanmış olur.

Ancak  $S_c$  (TL) tutarındaki sermaye yatırımının her yıl ödenmesi gereken

$$m = p \cdot S_c \text{ (TL)} \quad (6.8)$$

gibi sabit bir masrafı vardır. Bu da sermayenin yüzdesi olarak ifade edilen faiz, amortisman, tamir, bakım ve idari masrafları gösteren  $p$  'nin,  $S_c$  (TL) yatırım bedeli ile çarpımından elde edilir. sabit masraflar kondansatör tesisinin ömür süresi

olan yaklaşık 20 yıl boyunca ödenir. Ancak bunun yıllık tutarı, her yıl ödenmesi gereken toplam reaktif enerji bedelinin %10'u kadardır.

Yukarıda yapılan hesaplarda, kompanzasyon tesislerinde meydana gelen enerji zayıyatı ihmal edilmiştir.<sup>[63]</sup>

### **6.3 Elektrik Enerji Tasarrufu**

Şirketlerde elektrik enerjisi çalışmaları enerjinin işletmeye girişinden itibaren her kademede çeşitle konularda yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmaları şu şekilde sıralamak mümkündür.

#### **6.3.1 Şirket Kuruluş Bilgilerinin Alınması**

Genel olarak şirket yetkililerince bilinen ve kuruluştan beri sabit olabilen bu değerler ve bilgiler işletmeyi tanımak, diğer çalışmalara taban oluşturmak ve gerekiyorsa tasarruf hesaplarında kullanılmak üzere alınmaktadır. Bu bilgilerden önemli olanlar; işletmenin kurulu güç değerleri, sözleşme durumu, yük ve güç dağılımlarıdır.

#### **6.3.2 Yük Eğrilerinin Düzenlenmesi**

Enerji sorumlusu ile birlikte sürdürülen bir çalışmada aylık enerji tüketimleri, ortalama aktif güç ve puant güç değerleri incelenmektedir. Bu değerlerin hassas olarak saptanması için genellikle şirketlerde günlük sayaç kontrolleri yapılmaktadır. Ancak bilhassa sanayi şirketlerinde en iyi yöntem, yazıcı özelliği olan wattmetre

---

[63] BAYRAM, M., a.g.e., S.58-59.

kullanılmasıdır. Yazıcı wattmetre gün boyunca çekilen güç değişimlerini kaydederek, günlük yük eğrileri verecek; bu da enerjinin gün boyunca kontrol altında tutulmasını sağlayacaktır. Bu çalışmadan elde edilecek tasarrufu şöyle açıklamak mümkündür.

Elektrik enerjisi tasarrufu öncelikle güç tasarrufu ile başlar. Güç tasarrufu yapmak yük dağılımı eğrisinde görülen puant değerlerin belirlenip yok edilmesi ile sağlanmaktadır. Çekilen gücün tepe değerine puant güç değeri denir. Gün boyunca puant yük çekilen anlar belirlendiği takdirde, hangi işletme koşullarında bu gücün çekildiği saptanabilecektir. Bu durumda planlama sonucu işletmede bir değişiklik yapılabilecek olursa puant değer yok edilecektir. Böylece yük eğrisi zamana göre daha doğrusal bir yatay eğri görünümü kazanacaktır.

Puant gücü sık olan işletmeler, sözleşmelerini güçlerini de bu değere göre belirlemektedirler. Çünkü elektrik dağıtım şirketi, işletmeye enerji tahsisatını bu sözleşme gücüne göre sağlayacaktır. Dolayısıyla işletmenin çektiği güç, sözleşme gücünün her zaman altında olmalıdır. Elektrik dağıtım şirketi, işletmeye en yakın indirici merkezinin ve santralının kurulu gücünün tüm tüketicilerin sözleşme gücüne göre tespit edecektir. Güç gereksiniminin fazlalığı kurulu gücü artırdığından daha fazla güç tesisine gerek doğacaktır ki, bunu yeni yatırımlar izleyecektir. Oysa işletmelerin amacı üretimi optimum enerji ile sağlayıp, ülke enerji tasarrufuna katkıda bulunmak olmalıdır.

Maliyet açısından düşünülürse, enerji talebindeki artış tesis maliyetlerini artıracak, ya da doğrudan elektrik birim fiyatlarına yansiyacaktır.

Yük eğrileri üzerinde yapılan çalışma, işletmeyi ekonomik bakımdan da tasarrufa götürecektir. Enerjiyi bu şekilde kontrol altında tutmak, en uygun sözleşme gücünün ve en uygun tarifenin seçilmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla elektrik enerjisi için gereksiz ödemeler yapılmayacaktır.

### 6.3.3 Güç Kompanzasyonu

İşletmelerin araştırma geliştirme (AR-GE) departmanlarının enerji bölümü güç kompanzasyonu çalışmalarını şu üç amaçla sürdürmektedirler.

1. Güç kompanzasyonu minimum tesis (güç) kullanımı sağlamaktadır. Bunun nedeni güç katsayısının yükselmesi ile aktif gücün artması ve yeni yatırım gerekmeden aynı tesisten yararlanabilmesidir. Aktif gücün artması, ayrıca tüm tesisin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır.
2. Güç kompanzasyonu hatlardaki bakır kayıplarını ve gerilim düşümünü azaltması nedeniyle ulusal enerji sisteminin de verimliliğini artırmakta ve yine santrallardan maksimum yararlanma sağlamaktadır. Dolayısıyla ülke çapında elektrik enerjisi tasarrufuna katkıda bulunmaktadır.
3. Güç kompanzasyonu sonucu, reaktif enerji tüketiminin düşmesi ve reaktif enerji ödemelerinin tamamen ortadan kalkması, mali açıdan işletmeye oldukça büyük bir tasarruf getirmektedir ki, bu da göz ardı edilemeyecek bir konudur.

Ülkemizde büyük sanayi kuruluşları bu konunun önemini kavramış ve bu anlayışla bu konu üzerinde gerekli çalışmaları yapmıştır. Ancak, hala orta yada küçük ölçekli ticari şirketlerde bu konu üzerinde gerekli ehemmiyeti göstermemiştir.

### 6.3.4 Verimli Teknoloji seçimi

Elektrik enerjisi taramaları sırasında üzerinde çalışma yapılan konulardan en önemlisi de verimli teknolojilerin kullanılmasıdır.

Bu kademede ilk basamakta iş makinalarının çeşitli kumanda sistemlerinde mekanik aksam yerine elektronik elemanların kullanılabilirliği araştırılmalıdır. Çünkü mekanik aksam sistemin ataletini artırmakta ve tahrik motorunun

#### 6.4 Reaktif güç Kompanzasyonu İçin Örnek Uygulama

Örnek olarak karakteristik değerleri aşağıdaki gibi olan bir tüketicici alalım:

$$S = 1000 \text{ kVA (Görünür güç)},$$

$$P = 700 \text{ kW (Aktif güç)},$$

$$Q = 714,1 \text{ kVAr (Reaktif güç)},$$

$$\%P_x = \%8 \text{ (Bakır kayıpları)},$$

$$X = 2 \ \Omega / \text{faz (Reaktans)},$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{2240}{\sqrt{2240^2 + 2285^2}} \cong 0,70$$

$$\varphi = \arccos(0,70) = 45,8^\circ$$

$$\sin\varphi = \sin(45,8) \cong 0,7142$$

$$\tan\varphi = \tan(45,8) = 1,0202$$

İşletmenin yıllık çalışma süresi = 4000 saat,

İstenen güç faktörü = 0,85 - 0,90 - 0,95 olsun.

a) Hat sonundun çekilen  $P_1$  aktif gücün sabit kalması hali:

$\text{Cos } \varphi_1$	$\text{Cos } \varphi_2$	$P_1$ (kW)	$\text{tg}\varphi_1\text{-tg}\varphi_2$	$Q_c$ (kVAr)	$S_2$ (kVA)	$\Delta S_2$ (%)	$Q_2$ (kVA)
0,7	--	700	--	--	1000	--	714,1
0,7	0,85	700	0,4005	280	823,5	21,4	526,8
0,7	0,90	700	0,5359	375	778	28,5	339,1
0,7	0,95	700	0,6915	484	736,8	35,7	230,0

a) Hat sonundun çekilen  $S_1$  görünür gücün sabit kalması hali:

$\text{Cos } \varphi_1$	$\text{Cos } \varphi_2$	$S_1$ (kW)	$\text{sin}\varphi_1\text{-sin}\varphi_2$	$Q_c$ (kVAr)	$P_2$ (kVA)	$\Delta P_2$ (%)	$Q_2$ (kVA)
0,7	--	1000	--	--	700	--	714,1
0,7	0,85	1000	0,1873	187,3	850	21,4	526,8
0,7	0,90	1000	0,2782	278,2	900	28,5	339,1
0,7	0,95	1000	0,4019	4401,9	950	35,7	230,0

c) Bu tüketicinin a) hali için sağlayacağı maddi yararlar:

### 1. Reaktif enerji ücreti açısından:

Sözleşme gücü 700 kW 'ta sabit kaldığı halde  $\text{Cos } \varphi_2 = 0,9$  olması halinde tesislerine 375 kVAr 'lık bir kondansatör grubu tesis etmesi gerekecektir.<sup>[64]</sup>

Bu tüketicinin  $\text{Cos } \varphi_1 = 0,7$  ve  $\text{Cos } \varphi_2 = 0,85$  ve  $0,90$  için yıllık aktif ve reaktif

[64] DEMİRAY, O. Z., "Güç Faktörü Yükseltilecek Türkiye'nin Enerji Açığı Kapatılabilir", Kaynak, Sayı 23, S.12.

enerji tüketimleri ile reaktif enerjiye ödeyeceği ücretler ve kondansatör tesis maliyetleri aşağıda verilmiştir.

Kondansatörlerin kVAr fiyatı için T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat listesine göre 1.480.500 (3.328.500 tesis dahil) esas alınmıştır.<sup>[65]</sup>

	$\text{Cos } \varphi_1=0,7$	$\text{Cos } \varphi_1=0,85$	$\text{Cos } \varphi_1=0,9$
<b>Aktif Enerji</b>			
(MWh)	2800	2800	2800
<b>Reaktif Enerji</b>			
(MVarh)	2856,4	1735,2	1356,4
<b>Reaktif Enerji Ücreti</b>			
(Milyar TL)	0,54358	--	--
<b>Gerekli Kondansatör</b>			
<b>Gücü (kVAr)</b>	--	280	375
<b>Kondansatör Tesis</b>			
<b>Maliyeti</b>	--	280x3.328.500	375x3.328.500
(Milyar TL)		=0,932	=1,248

Bu durumda tüketici, mevcut TEDAŞ tarifesine göre  $\text{Cos } \varphi_1$  değerini 0,85'e yükseltmek isteyecektir. Kompanzasyon için 0,932 milyar TL yatırım yapacak, buna karşılık yılda 0,543 milyar TL kazanacaktır. Yaklaşık yedi ayda masraflarını amorti etmiş olacaktır. Oysa tesisi kredi ile yaptığı düşünülürse, aylık kredi maliyeti %6 civarında olduğundan yedi ayda:

$$0,932 \times 0,06 \times 7 = 0,3914 \text{ Milyar TL}$$

[65] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Fiyat Listesi

faiz ödeyecek dolayısıyla amorti süresi 9 aya çıkacaktır.

Bu haliyle reaktif güç kompanzasyonu cazibesini yitirmektedir. Bu nedenle reaktif enerji tarifesinde reaktif güç faktörü limiti 0,90'a hatta 0,95'e çıkarılması istenmektedir. Bu takdirde tesis maliyeti azalacak, ancak reaktif enerji fiyatının ödenmemesi sayesinde tesis 3-4 ay içerisinde kendisini amorti edecektir.

## 2. Kayıplar açısından:

Tüketicinin  $\text{Cos } \varphi=0,7$  ile çarpılmasında ortaya çıkan ısı kayıpları:

$\text{Cos } \varphi=0,85$ 'te	%32,18
$\text{Cos } \varphi=0,90$ 'da	%39,51
$\text{Cos } \varphi=0,95$ 'de	%45,71

oranında azalacaktır. Dolayısıyla kayıplar için ödenen ücretler de bu oranda azalacaktır.

## 3. Gerilim düşümü açısından:

$$\% \sum = 100 \cdot \left( P_z \cdot \text{Cos}^2 \varphi + \frac{P \cdot X}{U^2} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

eşitliğinden faydalanarak  $\text{Cos } \varphi=0,7$  için,

$$\% \sum = 100 \cdot \left( 8 \cdot 0,7^2 \varphi + \frac{700 \cdot 2}{15^2} \cdot 1,202 \right) = \%10,27$$

Cos  $\varphi=0,85$  için,

$$\% \Sigma = 100 \cdot (8 \cdot 0,85^2 \varphi + \frac{700 \cdot 2}{15^2} \cdot 0,6197) = \%9,6$$

Cos  $\varphi=0,90$  için,

$$\% \Sigma = 100 \cdot (8 \cdot 0,90^2 \varphi + \frac{700 \cdot 2}{15^2} \cdot 0,48431) = \%9,49$$

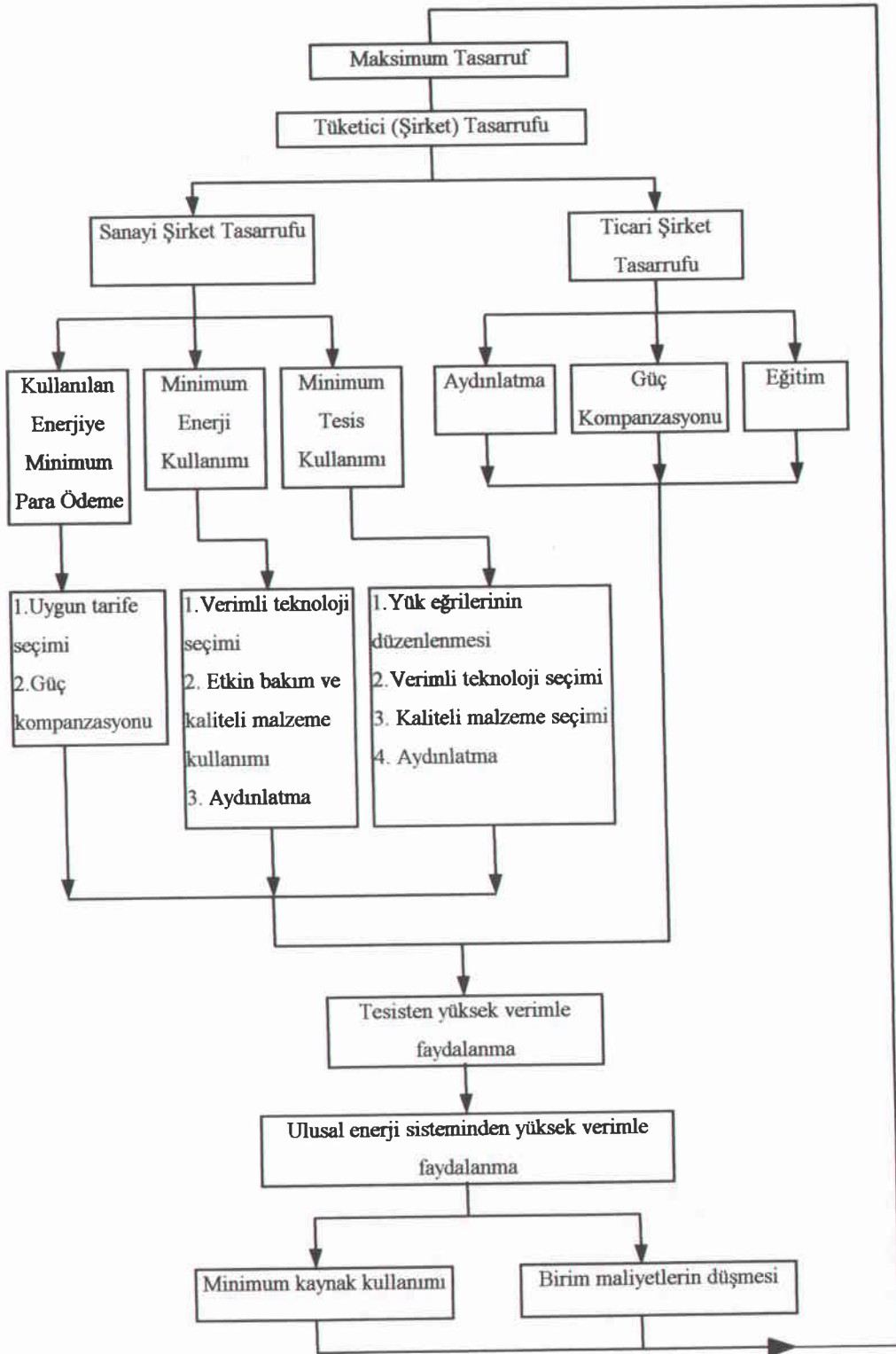
Bu durumda güç faktörünün 0,90 'a çıkarılması ile gerilim düşümünde de %0,78'lik bir azalma ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak yukarıda verilen örnekte,

- ◆ Güç faktörü 0,90 'a çıkarıldığında 250 kW'lık bir aktif güç kazanılacağı yani 250 kW 'lık yeni yükler eklenebileceği,
- ◆ Ayrıca kayıplardaki azalmadan dolayı 25 kW daha kazanılacağı ortaya çıkmaktadır.<sup>[66]</sup>

---

[66] DEMİRAY, O. Z., "Kondansatörler 7-9 Ayda Kendi Bedelini Ödüyor", Kaynak, Sayı 23, S.13.



Şekil 6.1. Koç grubu şirk. elektrik enerjisi tasarrufu çalışmaları blok şeması

### Güç Katsayısı (Cos $\phi$ ) Hesapları Bilgisayar Çıktısı

#### **GİRDİLER**

Kurulu Görünür Güç (kVA)	237
Gerçek Aktif Güç (kW)	130
Var olan Güç Katsayısı	0.7
İstenen Güç Katsayısı	0.95
Gerekli Yatırım (TL)	0
Bir Ayda Tüketilen Aktif Enerji (kWh)	12140
Aylık Reaktif Enerji Tutarı (TL)	198.000.000

#### **SONUÇLAR**

Aktif Güçteki Artma	46.4 kW
Gerekli Kondansatör Gücü	74.6 kVAr

### 6.5 Orta Gerilim Kompanzasyonda Maliyet Hesabı

Boğaziçi elektrik dağıtım A. Ş. İstanbul ilinin Trakya bölümünde kendi sorumluluğunda bulunan 148 trafo merkezinde kompanzasyon tesisi kurma gereğini duymuştur. Bu tesislerin kurulmasıyla birlikte; kayıpların azalacağını, hatların ve trafoların yükünün kısmen azalacağını, arızaların minimuma

indirileceğini planlamaktadır.

Halen her trafo merkezinde bir miktar kondansatör mevcuttur; ancak trafoya bağlı yüklerin artması ve büyümesinden dolayı, eski tesis gerekli kondansatör gücünü karşılayamamaktadır. Bu nedenle her trafo merkezinde istenen kondansatör gücü ve tesisatın yapılabilmesi için bir takım diğer gerekli teçhizatın keşfi çıkarılmıştır. Bu veriler BEDAŞ 'ın 1998 faaliyet raporundan alınmıştır.

Burada kompanzasyon hesabı ve maliyet hesabı her trafo için ayrı ayrı çıkarılmayacak; bütün tesislerin toplamı için bir maliyet hesabı yapılacaktır. Tesisler için gerekli olan malzemeler keşif sonrası ihale usulü ile satın alınmaktadır. Bu ihale sonucu ortaya çıkan malzeme birim fiyatları Tablo 10 'da verilmektedir. Bütün tesislerde kurulacak panoların her biri için Tablo 6.2.'deki malzemeler kullanılacaktır. Bunun dışında her trafo Merkezinin bulunduğu yere ve istenen kompanzasyon gücüne göre değişik malzeme ihtiyacı olacaktır. Kompanzasyon tesisi kurulması düşünülen 148 adet trafo merkezi vardır. Bu merkezlerden çekilen güçler birbirinden farklıdır. Bu merkezlerin hemen hemen hepsinde bir miktar kondansatör mevcut olup bu kondansatörler kurulacak yeni sisteme adapte edilecektir.

**Tablo 6.2. BEDAŞ 10 kV Kompanzasyon Sistemi Orta Gerilim Şalt Panosu  
Malzeme Listesi ve Keşfi<sup>67</sup>**

ŞALT PANOSU MALZEME LİSTESİ	MİK. (AD.)	MALZEME BİRİM FİYATI	MONTAJ BİRİM FİYATI	TOPLAM FİYAT
Çekmeceli Şalt Panosu	1	1.768.800.000	206.686.400	1.975.486.400
Tek fazlı, sekonder, ters zamanlı, ani açmalı, aşırı akım rölesi 110V	2	44.220.000	8.844.000	106.128.000
Tek fazlı, sekonder, sabit zamanlı, ani açmalı, toprak rölesi 110V DC	2	44.220.000	8.844.000	106.128.000
Ampermetre 5A	1	4.422.000	884.400	5.306.400
Sinyal Müşiri; Sinyal lambası yerine	1	36.850.000	7.370.000	44.220.000
Pozisyon göstergesi 110V DC	2	36.850.000	7.370.000	88.440.000
Otomatik Sigorta 6A-10A	3	737.000	147.400	2.653.200
Kumanda Butonu 0.5-10A	3	1.474.000	294.800	5.306.400
Yardımcı Röle 110V DC 4 açık 4 kapalı kontaklı	3	2.948.000	589.600	10.612.800
Zaman Rölesi 110V DC	1	4.422.000	884.400	5.306.400
Akım trafosu 5.5 A 12V mesnet tipi	3	66.330.000	13.266.000	238.788.000
Vakum kontaktör 12 kV,400A,8kA	1	1.621.400.000	259.424.000	1.880.824.000
Dahili np sigorta grubu 12kV	3	22.110.000	4.422.000	79.596.000
Dahili sigorta patronu 12kV	3	5.159.000	1.031.800	18.572.400
Termik manyetik şalter 1.6-2.4A	1	11.055.000	2.211.000	13.266.000
Üç fazlı düşük gerilim rölesi 110V	1	73.700.000	14.740.000	88.440.000
<b>BRÜT TUTAR (TL)</b>				<b>4.669.074.000</b>
<b>İSKONTO ( % 40.5 )</b>				<b>2.101.083.300</b>
<b>NET TUTAR (TL)</b>				<b>2.567.990.700</b>

<sup>67</sup> BEDAŞ GENEL MÜD., "1998 Yılı Faaliyet Raporu ve Program Bütçesi",  
Mali İşler Finans Yönetim Müdürlüğü.

Kompanzasyon tesisi kurulması planlanan trafo merkezlerinin güçleri, güç katsayıları ve hesap edilen kondansatör güçleri aşağıda liste şeklinde gösterilmektedir.

TRAFO	cos $\phi$	sin $\phi$	kVA Görünür Güç	kW Aktif Güç	kVAr Reaktif Güç	Gerekli Kond. Gücü
Trafo 1	0,895	0,446	11.500	10.293	5.130	1.800
Trafo 2	0,895	0,446	11.500	10.293	5.130	1.800
Trafo 3	0,895	0,446	8.000	7.160	3.569	1.200
Trafo 4	0,895	0,446	10.200	9.129	4.550	1.800
Trafo 5	0,855	0,519	18.200	15.561	9.439	2.400
Trafo 6	0,885	0,466	12.000	10.620	5.587	1.800
Trafo 7	0,855	0,519	9.000	7.695	4.668	1.200
Trafo 8	0,855	0,519	9.000	7.695	4.668	1.200
Trafo 9	0,855	0,519	15.000	12.825	7.779	2.400
Trafo 10	0,885	0,466	13.800	12.213	6.425	2.400
Trafo 11	0,885	0,466	12.000	10.620	5.587	2.400
Trafo 12	0,852	0,524	6.000	5.112	3.141	1.200
Trafo 13	0,852	0,524	2.400	2.045	1.257	600
Trafo 14	0,852	0,524	10.200	8.690	5.340	2.400
Trafo 15	0,852	0,524	15.000	12.780	7.853	2.400
Trafo 16	0,852	0,524	10.800	9.202	5.654	2.400
Trafo 17	0,852	0,524	7.200	6.134	3.770	1.800
Trafo 18	0,852	0,524	9.600	8.179	5.026	2.400
Trafo 19	0,852	0,524	8.400	7.157	4.398	2.400
Trafo 20	0,852	0,524	-	-	-	-
Trafo 21	0,852	0,524	9.000	7.668	4.712	2.400
Trafo 22	0,852	0,524	10.500	8.946	5.497	2.400
Trafo 23	0,852	0,524	-	-	-	-

Trafo 24	0,833	0,553	7.500	6.248	4.150	2.400
Trafo 25	0,833	0,553	7.200	5.998	3.984	1.800
Trafo 26	0,833	0,553	9.700	8.080	5.367	2.400
Trafo 27	0,833	0,553	10.800	8.996	5.975	2.400
Trafo 28	0,833	0,553	10.800	8.996	5.975	2.400
Trafo 29	0,833	0,553	4.800	3.998	2.656	1.200
Trafo 30	0,833	0,553	4.500	3.749	2.490	1.200
Trafo 31	0,833	0,553	6.900	5.748	3.818	1.800
Trafo 32	0,833	0,553	9.600	7.997	5.311	2.400
Trafo 33	0,833	0,553	9.600	7.997	5.311	2.400
Trafo 34	0,833	0,553	9.000	7.497	4.979	2.400
Trafo 35	0,833	0,553	7.200	5.998	3.984	1.800
Trafo 36	0,833	0,553	7.200	5.998	3.984	1.800
Trafo 37	0,833	0,553	7.200	5.998	3.984	1.800
Trafo 38	0,833	0,553	9.000	7.497	4.979	2.400
Trafo 39	0,833	0,553	12.000	9.996	6.639	2.400
Trafo 40	0,833	0,553	12.000	9.996	6.639	2.400
Trafo 41	0,901	0,434	11.400	10.271	4.946	1.800
Trafo 42	0,901	0,434	11.400	10.271	4.946	1.800
Trafo 43	0,901	0,434	16.200	14.596	7.028	2.400
Trafo 44	0,901	0,434	7.200	6.487	3.123	1.200
Trafo 45	0,901	0,434	10.800	9.731	4.685	1.800
Trafo 46	0,901	0,434	18.000	16.218	7.809	2.400
Trafo 47	0,901	0,434	18.000	16.218	7.809	2.400
Trafo 48	0,901	0,434	8.900	8.019	3.861	1.200
Trafo 49	0,893	0,450	13.200	11.788	5.941	2.400
Trafo 50	0,893	0,450	16.800	15.002	7.561	2.400
Trafo 51	0,893	0,450	12.000	10.716	5.401	1.800
Trafo 52	0,893	0,450	12.000	10.716	5.401	1.800
Trafo 53	0,893	0,450	12.500	11.163	5.626	2.400

Trafo 54	0,893	0,450	12.000	10.716	5.401	1.800
Trafo 55	0,893	0,450	11.000	9.823	4.951	1.800
Trafo 56	0,893	0,450	11.000	9.823	4.951	1.800
Trafo 57	0,893	0,450	10.000	8.930	4.501	1.800
Trafo 58	0,893	0,450	10.000	8.930	4.501	1.800
Trafo 59	0,893	0,450	10.000	8.930	4.501	1.800
Trafo 60	0,928	0,373	3.000	2.784	1.118	600
Trafo 61	0,928	0,373	8.400	7.795	3.130	900
Trafo 62	0,928	0,373	4.800	4.454	1.788	600
Trafo 63	0,928	0,373	6.600	6.125	2.459	600
Trafo 64	0,928	0,373	3.900	3.619	1.453	600
Trafo 65	0,928	0,373	9.000	8.352	3.353	900
Trafo 66	0,928	0,373	11.400	10.579	4.247	1.200
Trafo 67	0,881	0,473	12.100	10.660	5.725	2.400
Trafo 68	0,881	0,473	6.000	5.286	2.839	1.200
Trafo 69	0,881	0,473	6.600	5.815	3.123	1.200
Trafo 70	0,881	0,473	7.700	6.784	3.643	1.200
Trafo 71	0,881	0,473	9.800	8.634	4.637	1.800
Trafo 72	0,881	0,473	7.800	6.872	3.690	1.800
Trafo 73	0,881	0,473	6.000	5.286	2.839	1.200
Trafo 74	0,881	0,473	6.000	5.286	2.839	1.200
Trafo 75	0,881	0,473	11.400	10.043	5.394	2.400
Trafo 76	0,881	0,473	8.000	7.048	3.785	1.800
Trafo 77	0,881	0,473	12.000	10.572	5.677	2.400
Trafo 78	0,881	0,473	9.000	7.929	4.258	1.800
Trafo 79	0,881	0,473	15.200	13.391	7.191	2.400
Trafo 80	0,89	0,456	11.000	9.790	5.016	1.800
Trafo 81	0,89	0,456	12.000	10.680	5.472	2.400
Trafo 82	0,89	0,456	11.500	10.235	5.244	1.800
Trafo 83	0,891	0,454	15.000	13.365	6.810	2.400

Trafo 84	0,891	0,454	15.000	13.365	6.810	2.400
Trafo 85	0,891	0,454	15.000	13.365	6.810	2.400
Trafo 86	0,891	0,454	14.000	12.474	6.356	2.400
Trafo 87	0,891	0,454	12.000	10.692	5.448	1.800
Trafo 88	0,891	0,454	12.000	10.692	5.448	1.800
Trafo 89	0,882	0,471	6.300	5.557	2.969	1.200
Trafo 90	0,882	0,471	15.900	14.024	7.493	2.400
Trafo 91	0,882	0,471	10.500	9.261	4.948	1.800
Trafo 92	0,882	0,471	4.200	3.704	1.979	900
Trafo 93	0,882	0,471	-	-	-	-
Trafo 94	0,927	0,375	20.400	18.911	7.651	1.800
Trafo 95	0,927	0,375	21.600	20.023	8.101	1.800
Trafo 96	0,927	0,375	11.100	10.290	4.163	900
Trafo 97	0,927	0,375	10.800	10.012	4.051	900
Trafo 98	0,927	0,375	15.000	13.905	5.626	1.200
Trafo 99	0,909	0,417	21.600	19.634	9.003	2.400
Trafo 100	0,909	0,417	900	818	375	600
Trafo 101	0,909	0,417	5.500	5.000	2.292	900
Trafo 102	0,909	0,417	5.500	5.000	2.292	900
Trafo 103	0,909	0,417	6.200	5.636	2.584	900
Trafo 104	0,909	0,417	5.200	4.727	2.167	900
Trafo 105	0,916	0,401	5.400	4.946	2.166	600
Trafo 106	0,916	0,401	4.800	4.397	1.926	600
Trafo 107	0,916	0,401	2.000	1.832	802	600
Trafo 108	0,916	0,401	4.800	4.397	1.926	600
Trafo 109	0,927	0,375	1.200	1.112	450	600
Trafo 110	0,927	0,375	12.500	11.588	4.688	1.200
Trafo 111	0,927	0,375	3.800	3.523	1.425	600
Trafo 112	0,927	0,375	-	-	-	-
Trafo 113	0,927	0,375	10.500	9.734	3.938	1.200

Trafo 114	0,927	0,375	12.500	11.588	4.688	1.200
Trafo 115	0,927	0,375	9.800	9.085	3.676	900
Trafo 116	0,927	0,375	5.500	5.099	2.063	600
Trafo 117	0,927	0,375	13.000	12.051	4.876	1.200
Trafo 118	0,927	0,375	15.000	13.905	5.626	1.200
Trafo 119	0,927	0,375	19.100	17.706	7.164	1.800
Trafo 120	0,927	0,375	6.700	6.211	2.513	600
Trafo 122	0,855	0,519	11.400	9.747	5.912	2.400
Trafo 123	0,855	0,519	15.000	12.825	7.779	2.400
Trafo 124	0,855	0,519	14.100	12.056	7.313	2.400
Trafo 125	0,855	0,519	13.800	11.799	7.157	2.400
Trafo 126	0,855	0,519	11.000	9.405	5.705	2.400
Trafo 127	0,901	0,434	3.900	3.514	1.692	900
Trafo 128	0,855	0,519	3.900	3.335	2.023	900
Trafo 129	0,855	0,519	13.200	11.286	6.846	2.400
Trafo 130	0,855	0,519	11.200	9.576	5.809	2.400
Trafo 131	0,855	0,519	12.000	10.260	6.224	2.400
Trafo 132	0,855	0,519	13.200	11.286	6.846	2.400
Trafo 133	0,855	0,519	4.800	4.104	2.489	1.200
Trafo 134	0,895	0,446	-	-	-	-
Trafo 135	0,828	0,561	5.100	4.223	2.860	1.200
Trafo 136	0,828	0,561	5.100	4.223	2.860	1.200
Trafo 137	0,828	0,561	3.500	2.898	1.963	900
Trafo 138	0,828	0,561	3.800	3.146	2.131	1.200
Trafo 139	0,828	0,561	9.100	7.535	5.103	2.400
Trafo 140	0,828	0,561	12.800	10.598	7.177	2.400
Trafo 141	0,828	0,561	-	-	-	-
Trafo 142	0,828	0,561	-	-	-	-
Trafo 143	0,837	0,547	10.000	8.370	5.472	2.400
Trafo 144	0,837	0,547	9.000	7.533	4.925	2.400

Trafo 145	0,891	0,454	9.000	8.019	4.086	2.400
Trafo 146	0,837	0,547	11.500	9.626	6.293	2.400
Trafo 147	0,837	0,547	4.200	3.515	2.298	1.200
Trafo 148	0,837	0,547	10.200	8.537	5.581	2.400
<b>GENEL TOPLAM</b>			<b>1.387.000</b>	<b>1.222.209</b>	<b>649.106</b>	<b>240.300</b>

Toplam görünür güç : 1.387.000 kVA

Toplam aktif güç : 1.222.209 kW

Toplam reaktif güç : 649.106 kVAr

Kurulu güç  $\cos \phi$  değeri (güç katsayısı): 0,883

İstenen  $\cos \phi$  değeri (güç katsayısı): 0,96

Gerekli kondansatör gücü: 240.300 kVAr

Kurulması planlanan bu tesisler için gerekli olan malzeme listesi aşağıda hesap edilmektedir.

**Tablo 6.3. BEDAŞ 10 kV Kompanzasyon Sistemi Malzeme Listesi ve Keşfi**

MALZEME LİSTESİ	AD.	MALZEME ve	
		MONTAJ	TOPLAM
		BİRİM FİYATI	FİYAT (x1000TL)
Orta Gerilim Şalt Panosu	140	5.886.342	824.087.950
Röle Kumanda Dolabı	65	2.996.250	194.756.250
Harici Köşk ve Montajı	140	985.237	137.933.250
10kV XLPE 1x120/16 mm <sup>2</sup>	8400	2.644	22.207.500
Kablo Tesisi			
10kV XLPE Dahili Kablo Başlığı	1680	2.467	4.145.400
AG Kablo Tesisi 2x10 mm <sup>2</sup>	7320	388	2.838.330
AG Kablo Tesisi 12x2.5 mm <sup>2</sup>	7320	634	4.644.540
6x100 kVAr Kondansatör	15	888.300	13.324.500
6x150 kVAr Kondansatör	14	1.332.450	18.654.300
12x100 kVAr Kondansatör	24	1.762.500	42.300.000
12x150 kVAr Kondansatör	37	2.662.000	98.494.000
12x200 kVAr Kondansatör	49	3.525.000	172.725.000
BRÜT TUTAR (TL)			1.536.111.020
İSKONTO ( % 40.5 )			622.124.963
KURULACAK TÜM TESİSLER İÇİN GEREKLİ MALZEMELERİN TOPLAM NET TUTARI (x1000TL)			913.986.057

Tesislerin tam olarak devreye girmesi ile birlikte kayıpların %2-%2.5 düşmesi öngörülmektedir. Bu düşüş BEDAŞ'ın satın aldığı enerjinin azalması ve buna bağlı olarak enerji maliyetlerinde de bir azalma olacaktır. Bu değişimle alınan enerjinin fatura tutarında 306.250.000.000 TL'lik bir azalma olacaktır.

**Bu tesisler için yapılacak yatırımların toplamı 913.986.057.000 TL olduğuna göre yaklaşık üç yıl içerisinde tesis kendi kendisini amorti edecek, daha sonraki yıllarda ise kar etme durumuna geçecektir. Üstelik sistemde kayıpların azalmasından dolayı bir rahatlama olacaktır. Elektrik enerjisindeki kalite sistemin daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayacaktır.**

## 7. SONUÇ

Son yıllarda; bilim ve teknolojinin ilerlemesi, toplumların refah düzeylerinin yükselmesi ve özellikle dünya nüfusunun giderek artması ile birlikte enerji tüketimi fazlaca önem taşımaya başlamıştır. Enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerjinin önemini bir kat daha artırmaktadır.

Ülkemiz açısından bakıldığında da, aynı durum söz konusudur. Enerji üretim ve tüketimi 90 yıllarında başa baş konumunda idi; ancak yaklaşık son beş yıldır enerji yatırımlarının yeteri kadar yapılmaması, enerji tüketiminde ülkemizi dışa bağımlı hale getirmiştir. Yatırımların yeteri kadar yapılmamasından başka, gelişmekte olan ülkemizin nüfus artış hızının yüksek olması nedeniyle ülkemiz, enerji darboğazıyla karşı karşıya kalmıştır.

Ayrıca ülkemizde bulunan enterkonnekte sistemindeki alt yapı yetersizliğinden dolayı; elektrik üretim, iletim, dağıtımında kayıpların büyük olması ve enerji tüketim bilincinin tam olarak oluşturulamaması, enerji açığımızı kapatmamızda karşımıza engel olarak çıkmaktadır. Bu tür kayıp ve kaçakların azaltılması için büyük yatırımlar gerekmektedir.

Dünyada bütün toplumlar bir taraftan yeni enerji arayışlarını sürdürürken, diğer taraftan var olan enerji sistemlerinde kısmen değişiklikler yaparak, enerjiyi daha verimli kullanabilme çabası içine girmişlerdir.

Kayıp ve kaçakların azaltılması için yapılan çalışmalardan bazıları,

- ◆ yeni teknolojilerin sisteme sokulması,
- ◆ doğru akımla elektrik enerjisi iletimi,

◆ güç katsayısının düzeltilmesidir.

Bu tezde reaktif güç kompanzasyonunun önemi ve özellikle ekonomik açıdan güç katsayısının düzeltilmesinin önemi vurgulanmıştır. Bir işletmede reaktif güç kompanzasyonu tesisinin kurulması; hem o işletme için, hem de diğer işletmeler yani diğer tüketiciler için faydalıdır. Güç katsayısının düzeltilmesi artık bir yükümlülük durumundadır.

Güç katsayısının düşük olması bütün tüketicileri, yani sistemin bütünü etkilemektedir. Etkilerden biri, sistemde gerilimin düşmesidir. Konunun birinci boyutu, reaktif güç kompanzasyonunun elektriksel olarak gerekliliği, ikinci boyutu ise ekonomik açıdan gerekliliğidir. Özellikle son yıllarda kondansatör teknolojisinin gelişimi reaktif güç kompanzasyon tesisinin maliyetini azaltmaya başlamıştır. Bu nedenle ekonomi boyutu da önem kazanmaya başlamıştır.

Tez çalışmasında, herhangi bir işletmede güç katsayısı düzeltilmesinin hesabı, gerekli kondansatör gücünün hesabı ve bu değerlerden yola çıkarak kurulacak kompanzasyon tesisi için gerekli tüm malzemeler için oluşan maliyetler ve bu maliyetlerin, enerji maliyetleri ile karşılaştırılması sağlanmıştır.

Son yıllarda yarı iletken teknolojilerinin ve elektronik elemanlarının gelişimi; reaktif güç kompanzasyonunun önemini artırmıştır. Günümüzde hava kirliliği ve su kirliliği olduğu gibi, enerjide de bir kirlilik söz konusudur. Farklı frekansta yüke uygulanan harmonik akımları elektriksel aygıtları bozabilmektedir. Bu nedenle harmoniklerin yüksek olduğu ve güç katsayısının düşük olduğu bir işletme belirli bir süre sonra sorunlarla karşılaşacaktır. Bunun önlemine, reaktif güç kompanzasyon tesisi ve harmonik filtre tesisi kurmakla alabilir. Ülkemizde güç katsayısı 0.83 düzeyindedir. Bunun 0.92 civarına çekilebilmesi kayıpların yaklaşık %2-2.5 azalmasına neden olacaktır. Bunun yanında enterkonnekte sistem daha rahat bir biçimde işlevini sürdürebilecektir.

## 8. KAYNAKLAR

AĞIŞ, Ö., "Türkiye'de Kojenerasyon Uygulamalarının Disiplininde Kojenerasyon Derneğinin Görevi", Enerji Dünyası Aralık 1997, Sayı15

ARIKAN, C., ERMIŞ, M., "Reaktif Güç Kompanzasyonunda Modern Yöntemler", EMO 1983, Seminer Notları

AYBERS, N., "Nükleer Enerji", Enerji Dünyası, Aralık 1997, Sayı 15

BAYRAM, M., "Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu", Beşiktaş 1997

BEDAŞ GENEL MÜD., "1998 Yılı Faaliyet Raporu ve Program Bütçesi", Mali İşler Finans Yönetim Müdürlüğü

BERBEROĞLU, N., "Türkiye'nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu", Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayını, Yayın No:245/165, Eskişehir, 1982

COPER POWER SYSTEMS, "Capacitor Products, Kilo VAr Briefs", 1997, S.4.

ÇATALCA, H., "Demir-Çelik Sektöründe Elektrik Enerjisi Tüketimi Analizinde Ekonometrik ve Mühendislik Modellerin Karşılaştırılması", İÜ İşletme Fak. Dergisi, C: 26, S: 2/Kasım 1997

ÇUKUROVA ELK., "Kondansatörler, Güç Faktörü Düzeltilmesi ",Yayın No:12, BG 15AB

DEMİRAY, O. Z., "Güç Faktörü Yükseltilek Türkiye'nin Enerji Açığı Kapatılabilir", Kaynak, Sayı 23

DEMİRAY, O. Z., "Kondansatörler 7-9 Ayda Kendi Bedelini Ödüyor", Kaynak, Sayı 23

DEMİRAY, O.Z., "Kondansatör Çeşitleri, Kullanıldığı Yerler ve Kompanzasyon Hesabı", Kaynak, Sayı 24

DİE Aylık İstatistik Bülteni, 1997, III, IV, V.

DİE Aylık İstatistik Bülteni, 1996

DROHAN, M., "Energy Features for Oil Importing Developing Countries", Energy Policy, Vol 13, No.3, 1985

DÜNYA ENERJİ KONSEYİ, Türk Milli Komitesi, "1992 Enerji Raporu", Ankara Aralık 1993

DÜNYA ENERJİ KONSEYİ, Türk Milli Komitesi, "Türkiye 6. Kongresi", 17-22 Ekim 1994, İzmir

EDMINISTER, J. A., "Electric Circuits", Schaum's Outline Series, McGraw Hill-NewYork, 1965

EKREN, N., "Türkiye'de İmalat Sanayiinde Elektrik Enerjisi Tüketiminin Ekonometrik ve Mühendislik Analizi" Doktora Tezi, İstanbul 1996

ERDOĞAN, S., "7. Enerji Kongresi Notları", TMMOB EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Şubat 1998, Sayı:11

GÜL, Ö., "Harmoniklerin Enerji Kalitesine Etkisi ve Harmoniklerin Azaltılması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, 8-14 Eylül 1997 Ankara

GÜLER, Ö., "Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sakıncaları" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Şubat 1995

HARRIS, F. J., "On The Use of Windows for Harmonic Analysis with The Fourier Transform", IEEE, 66, 1978

<http://www.currentthinking.com>

KAYPMAZ, A., "Reaktif Güç Kompanzasyonu", Yayımlanmamış Makale

KÖKSAL, M., "Cos  $\phi$  - Reaktif Güç Kompanzasyonu", Ankara 1993

ÖNAL, H., "Büyük Güçlü Kondansatörlerin Yapılışı ve Kompanzasyon", 3e, Kasım 1997

ÖNAL, H., "Kondansatörler 1", 3e, Nisan 1996

ÖZEMRE, A.Y., "Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları", EMO Ocak-Şubat 1995

PHLIPPS, J.K., "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems", IEEE Trans on IA, Vol 30, No 2, March / April 1994

REID, E. W., "Power Quality Issues-Standards and Guidelines", IEEE Trans on IA, Vol 32, No 1, May / June 1996

SAYIN, S., "Güç Katsayısının Düzeltilmesi ve Harmoniklerin Yok Edilmesi", Kaynak Dergisi, Sayı:6, Kasım 1981, S.25.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı fiyat listesi

TEDAŞ, "Pazarlama ve Müşteri Hizmetleri Dairesi Başkanlığı", 01/04/1998

TOPAL, B., "Türkiye Elektrik Enerjisi Talebi İstatistik Analizi", Doktora Tezi, İstanbul 1990

TUNÇAY, R. N.-TACER, M. E., "Güç Elektroniği Devreleri", İTÜ Vakfı, Yayın No: 29

ÜLTANIR, M. Ö., "Artık Güneş ve Rüzgar Elektrik Santralleri Planlamaya alınmalı", Kaynak Elektrik, Sayı 100, Temmuz 1997

ÜLTANIR, M. Ö., "Güneşli Soğutma Sistemleri", Enerji Dünyası, Sayı 15, Aralık 1997

VAN WYK, J. D., "Power Quality, Power Electronics and Control", Energy Laboratory, Rand Africaans University, 16.09.1993

YEŞİL, H., "7. Enerji Kongresi Notları", TMMOB EMO İstanbul Şubesi Bülteni,  
Şubat 1998, Sayı:11

YÜCEL, F. B., "Kömür: Geleceğin Enerjisi", Kaynak Elektrik, Sayı 100, Temmuz  
1997

YÜCEL, F. B., "Enerji Ekonomisi", Birinci baskı, Ankara - 1994





