



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMİK SANTRALLERDE ELEKTRİK ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI- E.Ü.A.Ş. SEYİTÖMER TERMİK SANTRALİ ÖRNEĞİ

Mümin TAŞKINOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMİK SANTRALLERDE ELEKTRİK ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI - E.Ü.A.Ş. SEYİTÖMER TERMİK SANTRALİ ÖRNEĞİ

Mümin TAŞKINOĞLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr Nurettin ÇETİNKAYA

2011, 131 Sayfa

Jüri
Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Doç.Dr. Abdullah ÜRKMEZ
Yrd.Doç.Dr. Muciz ÖZCAN

Ülkemizde enerji verimliliği konusu; en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Sürekli artan enerji ihtiyacı, enerji kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmakta; bunun için de enerji verimliliği ve enerji tasarrufu kavramlarının önemleri gün geçtikçe artmaktadır.

Ülkemizde enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için gereken prosesler için elektrik enerjisi harcamak gerekir. Termik santrallerde ünitelerin iç ihtiyaçlarında harcanan elektrik enerjisi; enerji üretim maliyetini doğrudan etkileyen faktörlerden birisidir. Bu nedenle termik santrallerin iç ihtiyaçlarında harcanan elektrik enerjisi için yapılacak enerji verimliliği ve tasarrufu çalışmaları da enerji üretim maliyetini düşürecek faktörlerdendir.

Bu çalışmada; birçok alanda uygulanabilecek enerji verimliliği elektriksel olarak ele alınmış olup termik santrallerde elektrik enerjisi verimliliğinin arttırılması için gerekli olan metotlar detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmanın sonunda bu metotlar doğrultusunda sistemde yapılan ve yapılabilecek enerji verimliliği çalışmaları neticesinde elde edilebilecek elektriksel enerji tasarrufları hesaplanmış olup bu tasarrufların enerji üretim maliyetine olan etkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca termik santrallerde kullanılan elektrik enerjisi için alınan tedbirler doğrultusunda yapılan verimlilik arttırıcı çalışmalar sonunda yapılan enerji harcamalarıyla, çalışmalar yapılmadan önceki enerji harcamaları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma dışında yapılabilecek farklı elektrik enerjisi verimliliği çalışmaları doğrultusunda elde edilebilecek enerji tasarrufları hakkında önerilerde bulunulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Seyitömer Termik Santrali'nde yapılan elektriksel enerji verimliliği çalışmaları, diğer farklı termik santrallerde yapılan enerji verimliliği çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak Seyitömer Termik Santrali'ndeki elektrik enerjisi verimliliğine yönelik enerji tasarrufları doğrultusunda kWh başına birim enerji üretim maliyeti hesaplanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel enerji verimliliği, enerji tasarrufu, enerji verimliliği, enerji yönetimi, kWh başına birim enerji üretim maliyeti.

ABSTRACT

MS THESIS

INCREASING OF ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY IN THERMAL POWER PLANTS - E.Ü.A.Ş. SEYİTÖMER THERMAL POWER PLANT EXAMPLE

Mümin TAŞKINOĞLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICAL ENGINEERING

Advisor: Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2011, 131 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Assoc.Prof.Dr. Abdullah ÜRKMEZ
Asst.Prof.Dr. Muciz ÖZCAN

Energy efficiency subject has become one of the most discussed topics in our country. The resources have to be used effectively because of energy demand which grows permanently, because of this demand the importance of energy efficiency and energy saving concepts is increasing day by day.

Projects are increasing in number on using energy efficiently day by day. The electrical energy expense is required for the processes for producing electrical energy in thermal power plants. Electrical energy which is spending for own requirements of thermal power plants is one of the factor which effects the cost of producing energy directly. So energy efficiency and energy saving workings for own energy expenses of thermal power plants are some of the factors which are going to decrease producing cost of energy.

In this thesis; the methods which will increase electrical energy efficiency are explained and energy efficiency which will be suitable for many different areas will focus in electric. At the end of this project according to this methods, electrical energy conservations related energy efficiency applications which are done and could be done in the system are calculated and is shown energy savings effect on the cost of producing energy. Also energy expenses in the system which are done, after applications according to electrical energy efficiency by taking precautions and before applications according to electrical energy efficiency, are compared. In this thesis also suggestions are given about energy conservations whick could be gained according to different electrical energy efficiency applications. For this purpose, electrical energy efficiency applications which are done in Seyitömer Thermal Power Plant are compared with electrical energy efficiency applications which are done in different thermal power plants.

Totally production cost of per kWh through energy conservations will be attempted to calculate in Seyitömer Thermal Power Plant.

Keywords: Electrical energy efficiency, energy conservation, energy efficiency, energy management, energy saving, production cost of per kWh.

ÖNSÖZ

Ülkemizde enerji üretim ve tüketim giderlerinin azaltılması ve doğal kaynaklarımızın korunması için enerjinin etkin kullanımı gerekmektedir. Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının iyileştirilmesinde çok önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji üretimiyle mümkün olacağı bilinen bir durumdur.

Enerji verimliliği işte tam burada, ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasını devam ettirmesi adına karşımıza hayati bir konu olarak çıkmaktadır. Enerji verimliliği hem enerjinin üretimi ve iletimi, hem de tüketimi alanında genel çalışmaların tümünü kapsamaktadır. Bir taraftan daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla, diğer taraftan ise aynı miktar enerjiyle daha çok iş yapılması ya da aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmekte, önlemler geliştirilmekte, politika ve yasalar üretilmektedir.

Bu çalışma neticesinde öncelikli olarak termik santrallerde elektrik enerjisi verimliliğinin arttırılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda ilgili metotlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu metotlar doğrultusunda yapılan ve yapılabilecek uygulamalar ve projeler Seyitömer Termik Santrali'ndeki sistemler üzerinde değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmam sırasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, çalışmalarımı yönlendiren danışmam hocam Yrd.Doç.Dr.Nurettin ÇETİNKAYA'ya ve diğer bütün bölüm hocalarıma, yüksek lisans eğitimim sırasında beni sürekli destekleyen eşime ve oğluma ve de eğitim hayatım boyunca benden yardımlarını hiç esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mümin TAŞKINOĞLU
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. ELEKTRİK ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRAN YÖNTEMLER **9**

3.1. Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu 9
3.2. Enerji Yönetimi 11
3.2.1. Enerji yönetiminin önemi 11
3.2.2. Enerji yönetiminin faydaları 12
3.3. Termik Santrallerde Elektrik Enerjisi Verimliliğinin Arttırılması 12
3.4. Elektrik Enerjisi Verimliliğini Arttırma Yöntemleri 13
3.4.1. Kompanzasyon ve güç faktörünün düzeltilmesi 14
3.4.1.1. Bireysel kompanzasyon 19
3.4.1.2. Grup kompanzasyon 20
3.4.1.3. Merkezi kompanzasyon 20
3.4.1.4. Kompanzasyon tesisinde dikkat edilecek hususlar 20
3.4.2. Harmoniklerin azaltılması 21
3.4.2.1. Harmonikleri ortadan kaldırabilecek yöntemler 24
3.4.3. Elektrik motorlarında enerji verimliliğinin arttırılması 26
3.4.3.1. Elektrik motorlarının çalıştırılması 30
3.4.3.2. Elektrik motorlarının bakımı 31
3.4.3.3. Elektrik motorlarında kayıplar 33
3.4.3.4. Elektrik motoru verimini etkileyen faktörler 34
3.4.3.5. Yüksek verimli motorlar 37
3.4.3.6. Termik santrallerde elektrik motorlarının enerji verimini arttırmak 39
3.4.4. Statik yolvericiler (soft starter) 40
3.4.5. Hız kontrol cihazları 41
3.4.5.1. Hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği 44
3.4.5.2. Hız kontrol cihazlarının mekanik faydaları 47
3.4.6. Pompalarda enerji tasarrufu 47
3.4.6.1. Pompalarda hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği 49
3.4.7. Fanlarda enerji tasarrufu 51
3.4.7.1. Fanlarda hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği 52
3.4.8. Kompresörlerde enerji tasarrufu 53
3.4.8.1. Kompresörlerde hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği 54
3.4.9. Termik santrallerde kullanıcılara öneriler 55

3.4.10. Aydınlatmada enerji verimliliğinin arttırılması ve enerji tasarrufu 56
3.4.10.1. Termik santrallerde aydınlatma 65
3.4.10.2. Aydınlatmanın düzgünlüğü 66
3.4.10.3. Aydınlatmada ışık renginin önemi 67
3.4.10.4. Aydınlatma armatürleri 69
3.4.10.5. Aydınlatmada enerji tasarrufu 70
3.4.10.6. Aydınlatma kontrol yöntemleri 75
3.4.10.7. Verimli aydınlatmanın koşulları 77
3.4.10.8. Termik santrallerde kullanıcılara öneriler 78

4. YÖNTEMLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR VE SONUÇLAR 79

4.1. Enerji Tasarrufunun Maddi Getirisinin Hesabı 79
4.2. Kompanzasyon ve Güç Faktörünün Düzeltilmesi 79
4.2.1. Sosyal sitede kompanzasyon sisteminin kurulması 79
4.2.2. Enne ve kayaboğazı pompa istasyonlarının kompanzasyonu 82
4.3. Elektrik Motor Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin Arttırılması 89
4.3.1. 4.Ünite kömür çıkarıcı ve besleyici sistemlerinde enerji tasarrufu 89
4.3.2. 2.Ünite kömür çıkarıcı sistemlerinde enerji tasarrufu 93
4.3.3. 4.Ünite soğutma kule fan motor sistemlerinde enerji tasarrufu 94
4.3.4. 2. Ünite soğutma suyu sirkülasyon pompasında enerji tasarrufu 99
4.3.5. PD park makinesi çark motorunda enerji tasarrufu 102
4.3.6. 1. ve 2. üniteler sistem reglaj hava kompresörlerinde enerji tasarrufu 105
4.4. Aydınlatmada Enerji Verimliliğinin Arttırılması 107
4.4.1. İç aydınlatmada yapılan enerji tasarrufları 107
4.4.2. Dış aydınlatmada yapılan enerji tasarrufları 110
4.5. Santrallerde Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Karşılaştırılması 111
4.6. Verimlilik Çalışmalarının Birim Enerji (kWh) Üretim Maliyetine Etkisi 114

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 117

6. KAYNAKLAR 118

ÖZGEÇMİŞ 121

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AC : Alternatif akım
AG : Alçak gerilim
cos φ : Güç katsayısı
CO_2 : Karbon dioksit
DC : Doğru akım
d/d : Devir/dakika
E_{min} : Minimum aydınlık şiddeti (lux)
E_{ort} : Ortalama aydınlık şiddeti (lux)
EFF 1 : Yüksek verimli motorlar
EFF 2 : Verimli motorlar
EFF 3 : Standart motorlar
f : Frekans (Hz)
F_W : Sürtünme kayıpları
GWh : Gigawatt saat
H : Basma yüksekliği
H_2 : Hidrojen
HID : Yüksek yoğunluklu deşarj (High intensity discharge)
I : Akım (A)
IGBT : İzole kapılı bipolar tranzistör (Insulated gate bipolar transistor)
kWh : Kilowatt saat
lm : Işık akısı (lümen)
lux : Aydınlatma şiddeti
η : Motor verimi
n : Motor devri(devir/dakika)
N : Rotor çıkış devri (devir/dakika)
Ns : Senkron devri (devir/dakika)
OG : Orta gerilim
O_2 : Oksijen
P_a : Aktif güç (watt)
p : Basınç (Pascal, Pa, N/m^2)
PWM : Darbe genişlik modülasyonu

Q_r : Reaktif güç (VAr)
Q : Debi (akış)
R : Direnç (ohm, Ω)
R_a : Işık kaynaklarının renk ayırım özelliği
rpm : Dakikadaki devir sayısı (Revolutions per minute)
S : Görünür güç (VA)
SO_2 : Kükürt dioksit
T : moment (Nm)
TWh : Terawatt saat
THD : Toplam harmonik distorsiyon
VSD : Değişken hız sürücüsü
ω : Açısal hız (rad/s)

Kısaltmalar

CIE : Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
DSİ : Devlet Su İşleri
EEI : Enerji verimliliği indeksi (Energy efficiency index)
EİEİ : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EMC : Elektro-Manyetik Uyumluluk
EN : Avrupa Normları
ETMG : Enerji Tasarrufunun Maddi Getirisi
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HVAC : Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
IEC : Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
LC : Bobin, Kondansatör Kombinasyonu
LCC : Ömür boyu maliyet (Life Cycle Cost)
NECC : Uluslararası Enerji Tasarrufu Merkezi (National Energy Conservation Center)
PUKÖ : Planla, uygula, kontrol et, önlem al-düzelt
SLİ : Seyitömer Linyit İşletmeleri
TKİ : Türkiye Kömür İşletmeleri

1. GİRİŞ

Dünyada artan enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıt rezervleri her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu gelişmekte ve kalkınmakta olan ülkelerin fosil yakıt taleplerinde kesintisiz bir artış söz konusu olmakla birlikte fosil yakıt rezervlerinde paralel bir artış meydana gelmemektedir. Bu gelişmeler enerji fiyatlarını arttırmakla birlikte, atmosfere salınımı sürekli artan sera gazları (CO_2 ve SO_2 vb.) nedeni ile yaşam kalitemizi de olumsuz etkilemektedir. Bunun yanında günümüzdeki kullanım düzeylerinin sabit kalması durumunda bile özellikle petrol rezervlerinin yakın bir zaman içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Petrol rezervlerine göre biraz daha fazla ömür biçilen doğalgaz kaynakları için de benzer bir durumun söz konusu olduğu söylenebilir. Bu nedenle mevcut fosil yakıtların tükeneceği bilinciyle bir taraftan alternatif enerji kaynakları araştırılmakta bir taraftan da enerji kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılmasının sağlanılmasına çalışılmakta ve enerji tüketiminin ilgili standartları etkilemeden azaltılması hedeflenmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bunun en önemli nedenleri sanayileşme, yaşam standartlarının yükselmesi ve nüfus artışı olarak bilinir. Ülkelerin sahip olduğu enerji kaynakları, tüm alanlarda ülkelerin gücü, zenginliği ve diğer ülkelere yani dışa bağımlılığı gösteren bir ölçüt haline gelmiştir. Bu nedenle ülkeler iç ve dış politikalarını bu doğrultuda şekillendirmeye çalışmakta olup sahip oldukları enerji kaynaklarını etkin ve verimli bir biçimde kullanabilmek için çalışmalar yapmaktadırlar.

Dünya ekonomisinin hızına ayak uydurabilmek için alt yapısını tamamlamak, kalkınma yönündeki hedeflerine ulaşmak, toplumsal refahını arttırmak, sanayi sektörünü uluslar arası alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarmak için çalışan ve çaba sarf eden Türkiye'nin enerji talebinde hızlı bir artış gözlemlenmektedir. Bununla birlikte ülkemizde enerjinin verimli bir şekilde kullanılması giderek önem kazanmaktadır. Enerji verimliliği; genel olarak enerjinin üretimi, iletimi ve tüketimi konularında etkinlik çalışmalarının hepsini içine almaktadır. Bu doğrultuda ülkemizde, enerji verimliliği konusunda çalışmalar yapılmakta, önlemler alınmakta, politika ve enerji stratejileri oluşturulmaktadır. Bir diğer önemli nokta ise başta sanayi olmak üzere tüm alanlarda enerji verimliliğinin arttırılması ve enerji tasarruf imkanlarının değerlendirilmesidir. Bu alanlardan birisi de enerji üretiminin yapıldığı termik

santrallerdir. Enerji üretim tesisi olarak nitelendirilen termik santraller de enerji üretimi yapabilmek için kendi ürettikleri elektrik enerjisinin belli bir miktarını iç ihtiyaçlarına yönelik harcarlar. Termik santrallerde harcanan elektrik enerjisi üzerine yapılacak enerji verimliliği ve tasarrufu çalışmaları kWh başına birim enerji üretim maliyetinin belli bir oranda azalmasını sağlayacaktır. Termik santrallerin iç ihtiyaçlarına yönelik tüketilen enerjinin verimli kullanılması, enerji üretimi için daha az enerji tüketilmesini sağlayacaktır. Bunun sonucunda gelişme trendi içinde bulunan sanayimizde kullanılan enerjinin maliyeti de azalmış olacaktır. Böylelikle termik santrallerde elektrik enerjisi verimliliğine yönelik yapılacak çalışmalar neticesinde enerji üretim maliyetinin düşürülmesiyle Türk sanayisinin ve sanayicilerinin dünya ticaret alanında rekabet gücü artabilecek ve de dışarıdaki rakipleriyle ekonomik olarak daha iyi şartlarda rekabet edebilme imkanı elde etmiş olacaklardır.

Yapılan açıklamalar doğrultusunda bu tez çalışmasının giriş bölümünden sonra ikinci bölümünde tez konusuyla ilgili kaynak araştırması yapılmıştır. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde; enerji verimliliği, tasarrufu ve yönetimi kavramları genel olarak açıklanmaya çalışılmış olup termik santrallerde elektriksel enerji verimliliğini arttıracak yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise bu yöntemler doğrultusunda Seyitömer Termik Santrali'nde yapılan çalışmalar, örneklerle ve verilerle açıklanmış ve elde edilen enerji tasarrufları, belirlenen diğer termik santrallerdeki enerji tasarrufu çalışmalarıyla karşılaştırılmış olup Seyitömer Termik Santrali'nde elde edilen enerji tasarruflarının kWh başına birim enerji üretim maliyetine olan etkisi ve katkısı gösterilmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enerji verimliliğinin öneminin farkına ilk defa 1970'lerde birbirini takip eden iki petrol krizinden sonra varılmıştır. Bu krizlerden sonra dünya, ekonomik olarak büyürken enerji bütçesini yüksek enerji verimlilikleri kullanarak düzeltmiştir ve çevreyi korumanın öneminin farkına varmıştır. Enerji verimliliği talepleri Türkiye'de 1980'lerde başlamış olup bu çalışmanın ana hedefi; endüstriyel enerji verimliliği ve yönetimi çalışmalarının gelişimini incelemektir. Planlı enerji tasarrufu aktiviteleri ilk defa 1981'de Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından uygulanmıştır. 1981'den bu yana Elektrik İşleri Etüt İdaresi bu çalışmaları yönetmektedir. 1993 yılının başında Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin de içinde bulunduğu Uluslararası Enerji Tasarrufu Merkezi tüm dünyadaki enerji tasarrufu potansiyelini araştırmak için kurulmuştur. Bu çalışmada Türkiye Endüstrisinin yıllık enerji tasarrufu potansiyelinin hali hazırda kullanılan enerjiye oranla yaklaşık olarak % 30 olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmadan sonra 1995 yılında endüstriyel enerji verimliliği üzerine kanun çıkarılmış ve bunu enerji yönetimi kursları ve enerji hesap kontrolünü yapmayla ilgili sırasıyla 1996 ve 1998 iki yönetmelik takip etmiştir. Bu kanunlar vasıtasıyla Türk endüstri sektöründe önemli bir şekilde hızlandırılmış çabalarla enerji verimliliği ve yönetimi çalışmaları ülkede uygulanmaya başlanmıştır (Hepbasli ve Özalp, 2002).

Danimarka üretim ve imalat sanayinde enerji yönetimi üzerine yapılan incelemede, Danimarka endüstrisinde enerji yönetiminin hangi alanlarda pratiğe dönüştürülebileceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada Danimarka endüstrisinde hangi kaynaklarda enerji yönetiminin geliştirilebileceği üzerine bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Danimarkalı 304 firma ve enerji yönetimi için minimum ihtiyaçların tanımlamaları kullanılarak tanımlamalarına dayanılarak enerji yönetimi için %3 - %14 arasında uygulama alanı tespit edilmiştir. Birçok farklı kaynaktan gelen enerjiyi yönetmek parlak bir fikirken elektrik hizmetleri için enerji yönetimi ana fikir olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ana fikir, gelişmiş enerji yönetimine yol gösteren iki tip enerji yönetimi ve iki potansiyel yolun istatiksel modelini sentezleyen sunuma öncülük etmektedir. Gelişmiş enerji yönetiminin uygulaması doğrultusunda her bir firma için teşvik verilmesi uygun görülmemiş ve bu çalışmada enerji yönetimi uygulaması yapılabilecek muhtemel çeşitli endüstriyel sektörler hedeflenmiştir (Chrisstofersen ve ark., 2005).

Malezya'da enerji tasarrufu üzerine yapılan çalışmada; son birkaç yıl içinde Malezya'da elektrik enerji tüketiminin keskin ve hızlı bir şekilde arttığı tespit edilmiş, bunun sonucunda ulusal enerji politikası için modern enerji verimliliği teknolojilerine aşırı derecede ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma; Malezya için geçerli enerji tüketimi ve çeşitli enerji tasarrufu opsiyonlarının bugünkü durumunu kapsamlı bir şekilde sunmaktadır. Enerji tüketim modelini belirlemek için ayrıntılı bir çalışma yapılmış ve enerji verimliliği için teknikler bulunmuştur. Araştırmanın temelinde enerji tasarrufuna uygun sistemleri geliştirmeye yönelik fizibilite yapılması ve değişik sektörlerde enerji tasarrufu üzerine yapılan araştırmalar sonucu bulunan yeni programları kabul etmek bulunmaktadır. Bu çalışma; ülkenin son on yılda ülkenin enerji tasarrufu politikasının açıkça gelişmiş olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte ülke enerji tasarrufu üzerine dikkatle eğilmeli ve değişik sektörlerde daha değişik enerji verimliliği teknolojileri benimsemek için konuyla ilgili acil ölçümler yapmalıdır (Al-Mofleh ve ark., 2008).

Çin'in ülke politikalarından biri olarak beş yıllık plan dahilinde belirlenen enerji tasarrufu ile 2010 yılından itibaren, ulusal ortalama enerji yoğunluğunun zorunlu olarak belirlenen % 20 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Çin'de değişik politikalara rağmen 2006 ve 2007 yıllarındaki tasarruf hedeflerinin arkasında kaldığı için kanunlar ve yönetimsel reformlar enerji tasarrufunu desteklemektedir. Uygun literatür kombinasyonu ve görüşme tabanlı çalışmalarla bu çalışma, Çin'in elektrik üretim sektöründeki enerji tasarrufu hedefine ulaşmak için enerji tasarrufu uygulamasını ve bunun karşısındaki engelleri araştırmayı amaçlamıştır. Bu çalışma sonucunda enerji tasarrufu için üç ana engel tespit edilmiştir. Bunlar;

- Belediyesel yönetim biçiminin finansal sıkıntısından dolayı merkez yönetimden enerji tasarrufu ile ilgili gelen direktifleri görmezden gelmesi,
- Yüksek verimli enerji üretim ünitelerinin projelerinin zamanında onaylanmasını önleyen prosedürler,
- Enerji üretimi girişimleri ile ilgili enerji tasarrufu projelerinin maliyetlerinin finansal engellerden dolayı yüksek olması

'dır. Bu çalışma hükümete ait kömür yakıtlı elektrik üretim şirketinin daha önceden bahsedilen engellerden nasıl etkilendiğini göstermektedir. Dikkate değer engellerin aşılabilmelerinin yanında, Çin elektrik enerjisi üretim şirketleri devlet destekli elektrik fiyatlandırma programlarına ihtiyaç duymaktadırlar (Zhao ve Ortolano, 2010).

Endüstri sektörü diğer sektörlere göre daha fazla enerji kullanır ve halen bu sektör dünyadaki toplam enerjinin yaklaşık olarak % 37'sini kullanmaktadır. Endüstri sektöründe enerji değişik gruplar tarafından tüketilmekte olup bu gruplar; üretim, tarım, maden, aydınlatma, imalat ve montaj olarak birçok farklı aktivitelerdir. Bu çalışma; yönetim, teknolojiler ve politikalarla oluşturulan endüstriyel enerji tasarrufu ile ilgili gözden geçirilen geniş bir literatür çalışması sunmaktadır. Abdelaziz ve ark. (2010) çalışmalarında; endüstriyel enerji yönetimi, politikalar ve enerji tasarrufu stratejileri ile ilgili en son literatürler; doktora ve tez çalışmaları, dergi makaleleri, konferans notları, web materyalleri, raporlar, kitaplar, el kitaplarından derlenmiştir. Bu çalışmada; enerji yönetimi, deneme programları, bazı enerji yönetim pratiklerinden önceki önişlemler yardımıyla elde edilen enerji tasarrufu gözden geçirilmiştir. Bu çalışmada yüksek verimli motor kullanımı, değişik hız sürücüleri, ekonomizörler, kaçakları önleme, basınç düşüşünü azaltma gibi enerji tasarrufu teknolojileri incelenmiştir. Enerji tasarrufu teknolojileri sonuçları baz alınarak endüstri sektöründe belli bir oranda elektrik enerjisi, emisyon ve faturalarda bu teknolojiler kullanılarak ilgili alanlarda tasarruf yapılabileceği tespit edilmiştir. Farklı enerji tasarruf ölçümleri için geri ödeme periyotları ve birçok durum için ekonomik geçerlilik tespit edilmiştir. Sonuç olarak seçilmiş birkaç ülke için değişik enerji tasarrufu politikaları incelenmiştir.

Enerji verimliliğinin gelişimi sera gazlarının emisyonlarının limitlerini istenilen seviyelere çekmek için dikkate alınmaktadır. Blok'un (2005) elektriksel enerji verimliliğini arttırıcı yeni politikaları gerçekleştirmek için gerekli olanaklar araştırılmıştır. Enerji verimliliğine yönelik aşağıdaki politikalar dikkate alınmıştır.

- Standart olarak 1 W güç tüketen cihazların tanıtılması,
- Büyük güçlü elektrikli cihazlar için artan standartlar,
- Küçük elektrik cihazları için tasarım yönergeleri,
- Aydınlatma için teknolojik standartlar,
- Motor sürücü programı,
- Ofislerde mesai saatleri dışında elektrik kullanımını direkt olarak azaltan program yapılması
- Hizmet sektör binaları için gerçek enerji performans ihtiyaçlarının belirlenmesi

Bu programların gerçekleştirilmesinin, Avrupa Birliğindeki sera gazı emisyon hedeflerine ulaşmak için yeteri kadar katkıda bulunacağı düşünülmektedir. (Bu etkinin

tahmini olarak 2020 yılında CO_2 emisyonunu 200-350 Mton azaltacağı beklenmektedir.)

Harmoniklerin azaltılması ile ilgili problem alternatif olarak enerji kullanıcı problemi olarak ele alınabilir. Enerji kullanıcısının amacı şebekeye harmonik distorsiyonun etkilerini engelleyerek kendi voltaj harmonik distorsiyonu problemini yok etmektir. Bu problemi yok etmek için gereken çare reaktörlere seri bağlı kompanzasyon kondansatörleridir. Zobaa (2003) çalışmasında güç faktörü değeri ve rezonans şartlarını oluşturacak kondansatör değerleri ve üreticinin güç şönt kapasitör standart değerleri istenilen değerde tutulurken yük şebekesinde voltaj harmonik distorsiyonunun minimize edilmesi için gerekli olan optimum "LC" kombinasyonunun bulunması için bir metot sunmuştur.

Endüstri sektörü, dünyadaki enerjinin büyük bir bölümünü kullanmaktadır. Endüstriyel motorlar ise endüstriyel enerjinin büyük bir bölümünü kullanmaktadır. Saidur (2010) çalışmasında, elektrik motorlarının enerji analizleri hakkında geniş bir literatür çalışmasını açıklamaktadır. Bu çalışma; elektrik motorlarında kullanılan enerji, kayıplar, verimlilik, enerji tasarrufu stratejileri üzerine en son literatürler; doktora ve tez çalışmaları, dergi makaleleri, konferans notları, web materyalleri, raporlar, kitaplar, el kitaplarından derlenmiştir. Bir motorda ortaya çıkan değişik tipteki kayıplar tanımlanmış, tanımlanan kayıpların üstesinden gelmek için yollar açıklanmıştır. Motordaki enerji kayıplarını tanımlamaya yardımcı olacak bir enerji auditi geniş olarak tartışılmıştır. Ana enerji kullanıcıları olarak motorlar, yüksek verimli motor, değişken hızlı sürücü ve kullanılan enerjiyi azaltmak için güç katsayısını arttıran kondansatör blokları değişik enerji tasarrufu stratejileri olarak incelenmiştir. Bu çalışmada motorlarda kullanılan enerjinin tasarruf edilebilmesi için değişik tasarruf önlem politikaları incelenmiştir. Bu çalışmada elektrik motorlarında kullanılan enerjinin analiz edilebilmesi için bilgisayar sistemlerinden faydalanılabilineceği konusunda tartışmalar yapılmıştır. Ekonomik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için maliyet analizleri iyi bir şekilde gösterilmiştir. Bundan başka değişik enerji tasarrufu stratejileri için geri ödeme periyotları tanımlanmıştır.

Yeni sokak aydınlatmalarının kurulumlarının veya eskilerinin modernizasyonu ile ilgili tasarımlarının yapılırken aydınlatma tasarımcıları genellikle enerji tasarrufu ve optimal performansı ile ilgili uygun olabilecek bütün yöntemleri dikkate almazlar. Kostic ve Djokic (2009) bu çalışmalarında sokak aydınlatmasındaki enerji tasarrufuna etki edecek faktörler ile ilgili en önemli önerileri çoğul olarak orijinal çalışmaların

sonuçları şeklinde sunmuşlardır. Çalışma; kullanıcıların ihtiyaçları ile ilgili sonuçlara göre kısaca öneriler şeklinde hazırlanmıştır. Bütün bu önerileri hesaba katmak görünümü güzelleşmesini, güvenlik hassasiyetini ve de ayrıca enerji ve maliyet tasarruflarını sağlayacaktır.

Basınçlı hava sistemleri literatürde bulunan birkaç ülkede kullanılan toplam endüstriyel enerjinin yaklaşık % 10'u olarak hesaba katılmaktadır. Basınçlı hava sistemleri endüstriyel olanak olarak en pahalı hizmetlerden biridir. Bu çalışma; basınçlı hava enerjisi kullanımı, tasarrufları, enerji verimi stratejilerinin geri ödeme periyotları ile ilgili geniş bir literatür çalışması içermektedir. Bu çalışma, basınçlı hava enerjisi kullanımı, verimliliği ve enerji tasarrufu stratejileri ile ilgili en son literatürler; doktora ve tez çalışmaları, dergi makaleleri, konferans notları, web materyalleri, raporlar, kitaplar, el kitaplarından derlenmiştir. Saidur ve ark. (2010) bu çalışmalarında basınçlı havanın analizi için bilgisayar sistemleri incelenmiş ve bu incelemeler sunulmuştur. Değişik enerji tasarrufu ölçümleri; yüksek verimli motorlar, değişken hızlı sürücüler, kaçakları önleme, dışarıdan içeriye alınan havanın kullanılması, basınç düşüşünü azaltma, boşa harcanan ısının kazanılması, verimli enjektörlerin kullanılması, yer değiştiren kompresörlerde basınçlı hava enerjisinin tasarrufu için yapılmış ve incelenmiştir. İncelemeler sonucu temel alınarak; basınçlı hava sistemlerinde yüksek verimli motorların kullanılması, hız ihtiyaçlarının değişken hızlı sürücülerle kontrol edilmesi, kullanılan elektrik enerjisinde ve faturalarda tasarruf sağlayacaktır. Ayrıca değişik enerji tasarrufu stratejileri doğrultusunda önemli bir miktarda kullanılan enerjide ve emisyonlarda azalma meydana gelecektir. Geri ödeme periyotları için değişik enerji tasarrufu ölçümleri tanımlanmış ve ekonomik olarak geçerli olacak durumlar bulunmuştur.

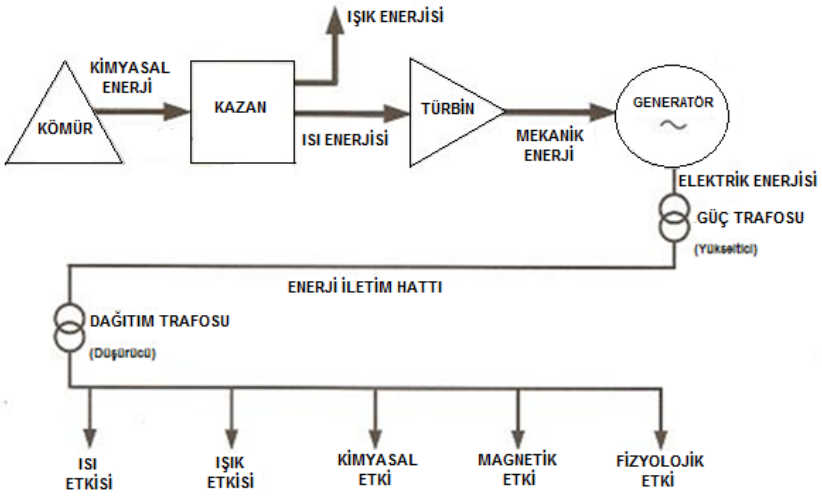
Hindistan'ın güç sektörünün performansını arttırmada kömürle çalışan termik santrallerin verimliliklerinin arttırılması önemli bir rol oynamaktadır. Verimliliğin arttırılması, enerji güvenilirliğini arttırırken ve kömürün verimli kullanılması sonucunda lokal ve global hava kirliliğinin azaltılmasına yardım ederken, tüketici yararının arttırılması doğrultusunda enerji fiyatlarının azalmasını sağlayacaktır. Enerji üreticisi tarafındaki verimlilik ayrıca tüketici tarafındaki devam eden verimlilik çalışmalarını tamamlayacaktır. Hindistan'ın elektrik sektöründeki son yapılanmalar üretim santrallerinin verimliliklerini arttırıcı önemli bir rota sunmakta, generatörlerden toptan elektrik satın alma işlemleri için bağımsız bir tarife ayar işlemlerine düzenleyici mekanizmalar aracılığıyla izin vermektedir. Hindistan'da şu anki güncel tarifeler

ulaşılamayan detaylı performans datalarının olduğu düzenlemelerin vasıtasıyla performans standartları için kuralcı kriterlere dayanmaktadır. Bu yüzden Chiccatur ve ark. (2007) kuralcı temellerden ziyade asimetrik bilgi düzensizliği problemini gerçek verimli datalara dayanan performans kriterleriyle ayarlanarak aşmak için biz yeni bir teşvik edici plan amaçlamaktadırlar. Bu plan verimlilik gelişmeleri için direkt tarife tabanlı teşvikleri uzun dönemde tüketicilerin yararına elektrik maliyetlerini düşürerek sağlayacaktır. Bu öneri ayrıca diğer ülkeler için enerji üretimindeki verimliliğin gelişmesi için benzer teşvikleri kapsayacak düzenlemeler için kullanışlı olabilir.

3. ELEKTRİK ENERJİSİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRAN YÖNTEMLER

3.1. Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu

Para, hatta peşin para olarak adlandırılan enerji; modern sanayi toplumunun bir payandasıdır, başka bir deyişle kalkınmanın motorudur. Bu nedenle enerjiyi verimli kullanarak elde edilecek kazançlar, doğrudan kar olarak düşünülebilir. Enerji ise elektrik enerjisi, mekanik enerji, ısı enerjisi, ışık enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji şeklinde sınıflandırılabilir.



Şekil 3.1. Enerjinin kömürden elektrik enerjisi elde edilmesinden kullanıcıya ulaşıncaya kadar geçirdiği aşamalar

Dünya ülkelerinin enerji tüketimlerindeki yönelimlerinin devam etmesi durumunda 2030 yılına gelmeden dünyadaki enerji tüketiminin bugünkünün yaklaşık iki katı olması beklenmektedir (Anonim, 2005).

Enerji yatırımlarının yüksek bedeller gerektirmesiyle beraber birincil enerji kaynaklarında, özellikle de petrol fiyatlarının son yıllarda artmasının dikkate alınması gerekmektedir. Kaynakların belli coğrafi bölgelerde yoğunlaşmış olması ve kaynaklara rahat ulaşılamaması; enerji üretim maliyetlerindeki artışa ve enerjinin daha tehlikeli formlarının kullanımına, krizlere ve ekolojik etkilere (emisyonlar, suların kirlenişi, vb.) neden olabilecek tetikleme ihtimallerini kuvvetlendirmektedir. Bütün bu gelişmeler karşısında enerji tüketimine ilişkin yeni stratejik hedefler oluşturmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Oluşturulması gereken stratejilerden birisi enerji verimliliğidir. Bu stratejinin öncelikli hedefi enerji ihtiyacı kavramının yeniden ele alınması olmalıdır. Teknolojik

gelişmeler doğrultusunda aynı hizmet bugünkünden daha az enerji kullanarak ve toplamda bugünkünden daha az maliyetle yerine getirilebilir. Bu durum, ileride gelişmiş olan ülkelerin daha fazla gelişmelerine, gelişmekte olan ülkelerin gelişmelerini tamamlamalarına yardımcı önemli unsurlardan biri olacaktır.

Enerji verimliliği; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasını ifade eder. Enerji verimliliği, enerji tasarrufunu da kapsayan daha geniş bir kavramdır. Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm safhalarda en yüksek etkinlikle değerlendirilmesidir. Enerji yönetimi ise enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak üzere yürütülen eğitim, etüt, ölçüm, izleme, planlama ve uygulama faaliyetlerini ifade eder. Enerji tasarrufu denilince genellikle akla ilk etapta basit kısıntı tedbirleri ve kalitenin düşürülerek üretim yapılması gelse de, enerji tasarrufu aslında çok daha geniş tedbirler ve teknolojileri ihtiva etmektedir. Verimli kullanılan enerji;

- En ucuz ve en temiz enerji kaynağıdır.
- Şirketlerin rekabet gücünü arttırır.
- Küresel ısınmayı ve etkilerini azaltır.
- Sosyal bir sorumluluktur.

Elektrik İşleri Etüt İdare'sinin yaptığı sınıflandırmaya göre verimlilik arttırıcı projelerin uygulanabileceği ana alanlar;

- Sanayi,
- Enerji çevrim (termik santral),
- Binalar,
- Tarım,
- Ulaşım,

olarak ilgili yönetmeliklerde yerini almıştır. Yine aynı yönetmeliklerde termik santral iç tüketimlerinin azaltılması için yapılabilecek işlemlerden de bahsedilmiştir.

Enerji tasarrufu; kullanılan enerji ve enerji kaynaklarının daha verimli olarak değerlendirilmesi amacı ile kullanıcılar, tüketiciler tarafından belirli miktardaki üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada veya proses adımında harcanan enerji miktarının alınan tedbirler sonucunda azaltılmasıdır. Enerji verimliliği stratejisinin en önemli basamaklarından birisi hiç şüphesiz enerji tasarrufudur.

Enerji tasarrufu aynı birim üretim zamanı içerisinde bir ürün ya da hizmet için enerji kullanımının minimize edilmesi amacıyla yürütülen teknik çalışmaların

bütünüdür. Enerji tasarrufu, enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek ve bu israfı minimum düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan önlemleri içerir. Enerji tasarrufu; atık enerjinin değerlendirilmesi ve tespit edilen enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının kalite ve performanstan ödün vermemek koşuluyla ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirgenmesidir.

3.2. Enerji Yönetimi

Enerji Yönetimi kavramı ilk defa ikinci dünya savaşı sonrası bir İngiliz bilim adamı tarafından kullanılmıştır. Enerji yönetimi; planlama, koordinasyon ve kontrol gibi birbirinden bağımsız olduklarında etkisiz kalabilecek işlevlerin, bir araya gelerek oluşturduğu bir bütündür. Genel anlamda, toplam kalite felsefesini oluşturan PUKÖ (planla, uygula, kontrol et ve önlem al-düzelt) çevriminin tekrarına dayanan mantıklı ve etkin bir şekilde belirli bir amaca ulaşmak için gerekli olan tüm etkinlikleri içeren enerji yönetimi, çevresel çözümün anahtarıdır. Bir bakıma, hangi enerji kaynağını kullanırsak kullanalım, olmazsa olmaz, enerji verimliliği ve buna giden etkin yol; enerji yönetimidir (Hepbaşlı ve ark., 2001).

Enerji Yönetimi; enerji ve enerji kaynaklarının olanaklar içersince en verimli biçimde kullanılmasını sağlamak üzere uygulanan önlemlerin tümünü kapsar (Hepbaşlı, 1999).

Genel bir tanım yapmak gerekirse enerji yönetimi, kârı maksimize etmek için enerji maliyetlerinin azaltılması ve çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmek ya da tümüyle kaldırmak için yapılan planlı, organizasyona dayalı çalışmaların tümüdür. Enerji yönetimi; kârları maksimuma çıkarmak (giderleri minimuma düşürmek) ve rekabet konumlarını arttırmak için enerjinin akılcı ve etkin kullanımıdır. Enerji yönetiminin odak noktası enerji tasarrufudur. Enerji yönetimi daha kapsamlı bir çalışma olmakla birlikte süreklilik arz eden bir ekip işidir.

3.2.1. Enerji yönetiminin önemi

Termik santrallerde enerji üretimi için gerekli olan işlemler ve prosesler yoğun olarak elektrik tüketimi yapmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artış ve gittikçe artan elektrik tüketim değerleri, termik santraller ve diğer endüstriyel tesislerde enerjinin daha

verimli kullanılması hususunda hükümetin bu yönde bir politika oluşturmasına neden olmuştur. Termik santrallerin içinde yer aldığı enerji sektöründe diğer sektörlerde olduğu gibi enerji kayıplarının azaltılması ve bu enerjinin tekrar proseste kullanılması çok önemlidir.

Bir termik santralde enerji tüketiminin kontrol altına alınması için, en önemli kriter çalışanların için her kademede bu bilincin uyandırılmasından geçer. Yönetimin ve çalışanların enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesinden sonra, bu doğrultuda bilgi seviyesinin arttırılması, katılımın sağlanması ve enerji üretim proseslerinde görevli herkesin proje kapsamında düşünülüp, bir ekip olarak çalışması gerekmektedir. Enerji yönetiminde dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri de, termik santral içinde değişik birimlerin beraber çalışmasının gerekliliğidir ve bu yüzden yüksek seviyede bir koordinasyon verimliliği yönelik tasarrufun sürekliliği ve projenin başarısı için gereklidir.

3.2.2. Enerji yönetiminin faydaları

Tesislerde enerji değişik şekillerde kullanılmaktadır. Küçük miktardaki enerji maliyetlerinin yekûnu büyük rakamlar oluşturmaktadır. Genelde yöneticiler ve mühendisler bu maliyetlerin üzerinde çok fazla durmazlar. Fakat bir tesiste üretim devam ettiği sürece sürekli bir maliyet oluşacaktır. Bu maliyetin ürün maliyeti içerisindeki payı tesisin enerji yönünden durumunu ortaya koyar. Sonuçta enerjinin verimli kullanılması ile maliyetler arasında çok büyük bir ilişki bulunmaktadır. Örneğin küçük yatırımlarla ya da yatırımsız gözle görülebilecek sorunlara bulunacak basit önlemlerle çok önemli tasarruflar sağlanabilir. Ayrıca enerji tasarrufunu sadece para tasarrufu olarak ele almamak gerekir. Enerji tasarrufu bir enerji yönetim programının alt başlığı olarak değerlendirildiğinde çevre yönü de ön plana çıkmış olur. Az enerji veya enerji verimli kullanıldığında, çevresel kirlilikte az olur. Dolayısıyla enerji yönetiminin faydaları kısaca; maliyetlerin azaltılması, çevresel etkilerin azaltılması, yasalara uyulması ve şirket profilinin geliştirilmesi olarak sıralanabilir (Anonim, 2009).

3.3. Termik Santrallerde Elektrik Enerjisi Verimliliğinin Arttırılması

Elektrik enerjisi; temizlik, kullanım, ölçüm, kontrol ve dağıtım kolaylıkları nedeniyle diğer enerji türlerine göre daha avantajlıdır. Bunun yanında elektrik enerjisi

buhar, basınçlı hava gibi diğer enerji taşıyıcılarına göre daha kolay ölçülebilir özelliktedir. Bu sebepten kullanılan enerjinin hangi birimde ne kadar kullanıldığı ve maliyeti diğer enerji türlerine göre daha kolay hesaplanabilir.

Elektrik enerjisinin birim fiyatının yüksekliği nedeniyle toplam enerji maliyetinin % 50'ye yakını, bazı durumlarda çok daha fazlası elektrik enerjisi için ödenir. Bu sebeple yapılacak enerji tüketim planlamalarında elektrik enerjisinin tüketim payı düşük olsa da bu durumun dikkate alınması gerekmektedir.

Elektrik enerjisi; termik santrallerde, santrallerin iç ihtiyaçları için bir çok proses ekipmanının tahrik gücü olarak; motorlarda, fanlarda, pompalarda, kompresörlerde kullanılmasının yanında ısıtma, kimyasal proses gibi işlemlerde de kullanılmaktadır. Termik santrallerde elektrik enerjisinin diğer bir kullanım alanı ise aydınlatmadır. Ayrıca termik santrallerde iç ihtiyaca yönelik olan sistemlerde güç katsayısının düzeltilmesi ve harmoniklerin azaltılması santrallerde kullanılan enerji kalitesini arttıracak ve istenmeyen durumları ve arızaları da ortadan kaldıracaktır. Son derece geniş kullanım alanı olan elektrik enerjisinin ülkemizde % 50 civarındaki kısmı termik santrallerde önemli dönüşüm kayıpları ile üretilmekte ve çevresel problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle işletmeler için önemli olan birim enerji üretim maliyeti yüksek elektrik enerjisinin, ülke ekonomisi için de önemi fazladır. Elektrik enerjisi tüketiminin yıllık olarak yaklaşık % 10 civarındaki artışı termik santraller için gerekli yatırımların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple termik santraller için yatırımların yapılmasının yanında, santrallerin iç ihtiyaçlarına yönelik elektrik enerjisinin verimli kullanımının arttırılması ve enerji tasarrufu için yapılacak çalışmalar tesis ve ülke ölçeğinde ekonomik yönden tasarruf sağlayacaktır (Sezer, 2008).

Termik santrallerde elektrik enerjisini izleme çalışmalarına başlamak ve verimlilik çalışmalarının sonuçlarına ulaşmak için ünitelerin iç ihtiyaçlarında kullanılan elektrik enerjisinin kullanım miktarının ve maliyetinin bilinmesi gerekmektedir.

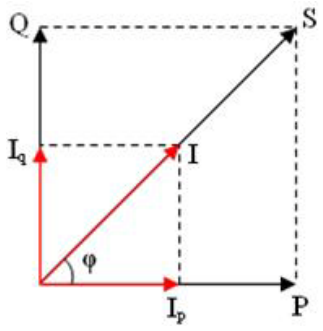
3.4. Elektrik Enerjisi Verimliliğini Arttırma Yöntemleri

Günümüzde elektrik enerjisini verimli kullanmak; enerji üretim maliyetlerini düşürerek ve enerji tüketimini azaltarak çevreyi korumak açısından büyük önem kazanmıştır. Enerji verimliliği ve tasarrufu konularının gittikçe artan bir şekilde önem kazanmasıyla, bu amaca yönelik çalışmalardan, enerji kalitesini yükseltmek için yapılan çalışmalar da her geçen gün artmaktadır (Kaypmaz ve Engin, 2009). Tüketiciye sunulan

elektrik enerjisinin ucuz ve kesintisiz sağlanması, gerilim, frekans ve güç faktörü gibi büyüklüklerin de istenen sınırlar içerisinde olması şeklinde tanımlanabilecek enerji kalitesi kavramı, uzun süredir üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Bu amaçla genellikle gerilimdeki dalgalanmalar, çökmeler ya da kesintiler ve geçici olaylar üzerinde çalışılmakla birlikte, hiç şüphesiz, en çok reaktif güç kompanzasyonu ve harmoniklerin azaltılması çalışmaları da yapılarak enerji kalitesi ile birlikte verim artırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Termik santrallerde elektriksel enerji verimini arttırmanın ve enerji tasarrufu sağlamanın en etkin yöntemleri; reaktif güç kompanzasyonu, harmoniklerin azaltılması, motor sistemleri ve aydınlatmada enerji verimliliğini arttırma çalışmaları olarak sıralanabilir.

3.4.1. Kompanzasyon ve güç faktörünün düzeltilmesi

Reaktif enerjinin istenen yerde ve istenen miktarda üretilmesi suretiyle elektrikli cihazların şebekeden çektiği reaktif gücün azaltılmasına reaktif güç kompanzasyonu denir. Bir başka deyişle kompanzasyon; yüklerin şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif güç çekilerek faz kaydırıcıları tarafından dengelenmesidir. Böylece güç faktörü olarak tanımlanan cosφ, 1'e yaklaştırılmış olur.



Şekil 3.2. Güç bileşenleri ve akım bileşenlerinin grafiksel gösterimi

Aktif gücü dirençler, reaktif güçleri de endüktif ve kapasitif yükler ve devreler çekmektedir. Eğer bir devrede hem direnç hem de reaktanslar varsa bu devrede hem aktif hem de reaktif güç birlikte çekilir. Böyle devrelerde güç, akım ile gerilimin çarpımına eşittir. Bu güce de görünen veya görünür güç denir. Görünür güç (S) harfiyle gösterilir ve birimi VA'dir.

$$S = U \cdot I \qquad (3.1)$$

S = görünür güç (VA) , U = gerilim (volt), I = akım (amper)

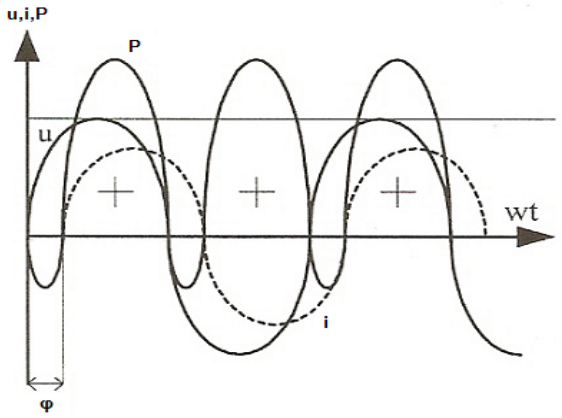
Gücün her an değişik değer aldığı durumlarda iş gören, faydalı olan gücün ortalama değerine alternatif akımda aktif güç (etkin güç) denir. Alternatif akımda güç denildiğinde kastedilen aktif güçtür. Aktif güç (P) harfiyle gösterilir ve birimi watt'tır.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \qquad (3.2)$$

Aktif güç U gerilim vektörü ile I.cosφ akım vektörünün çarpımına eşittir. Akımın da iki vektörü olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. I_p = I. cosφ bileşen akımın aktif bileşeni (faydalı akım) olup I_q = I.sinφ ise akımın reaktif bileşenidir.

Omik (saf direnç) devrelerde cosφ = 1'dir. Bunun sonucu olarak omik devrelerde aktif güç mevcuttur ve P=U.I' dır. Endüktif ve kapasitif devrelerde cosφ = 0' dır. Endüktif ve kapasitif devrelerde aktif güç P=0' dır.

Devrede ortalama değeri sıfır olan güce reaktif güç denir. Ortalama sıfır olduğundan faydalı bir iş görmez. Alıcı, çeyrek periyotta sistemden enerji alır ikinci çeyrek periyotta ise aldığı gücü tekrar şebekeye iade eder.



Şekil 3.3. Endüktif devre değişim eğrileri

1. bölgede sistemden güç alınır. 2. bölgeden alınan güç sisteme iade edilir. Kısaca "U.I.sinφ" çarpımına reaktif güç denir. Q harfi ile gösterilir. Birimi VAr'dır. VAr : Volt – Amper – reaktif.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \qquad (3.3)$$

Ortalama (aktif), reaktif ve görünür güçler arasındaki geometrik bağıntıyı gösteren üçgene güç üçgeni denir. Bilindiği gibi endüktif bir devrenin uçlarına bir gerilim uygulandığında devre, geriliminden geri fazda bir akım çeker. Kapasitif devreler de ise devrenin uçlarına gerilim uygulandığında devre geriliminin ileri fazda bir akım çeker.

Aktif gücün, görünür güce oranına "güç faktörü" denir ve faz açısının kosinüs değerine eşittir. Termik santrallerde elektrik enerjisi tüketen makine ve ekipmanların çoğu endüktif karakteristikli olduklarından, iç ihtiyaç için kendilerine gereken aktif gücün yanında bir miktarda reaktif güç çekerler. Kör güç adı verilen bu reaktif güç termik santrallerdeki transformatör, motorlar gibi bütün devre elemanlarını gereksiz yere yükleyerek bu ekipmanlardan tam kapasiteyle faydalanmasına engel olur. Ayrıca bu ekipmanlarda gerilim düşümüne de sebep olur. Bunun yanında reaktif enerjinin olumsuzluklarına rağmen gerekli olduğu durumlar da vardır. Generatör, transformatör, bobin ve motor gibi ekipmanların çalışmaları için gereken manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilmektedir. Bu reaktif güç, endüksiyon prensibine göre çalışan cihazların çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan manyetik alanların oluşturulması için gereklidir. İş yapmayan ve sadece motorda manyetik alan doğurmaya yarayan endüktif reaktif güç, iletim hatlarında, trafolarda, tablo, şalterler ve kablolarda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet vermektedir. Sistemde güç faktörü örneğin 0,80 ise görünür gücün % 80'i faydalı güce dönüşüyor demektir (Sankaran, 2002). Bu değerin 1,0'a mümkün olduğu kadar yakın olmasının istenmesinin sebebi, reaktif enerjinin sınırlandırılması ve elektrik sistemi elemanlarının fazla yüklenmekten kurtarılmasıdır. Bu sayede gerilim düşümleri ve kayıplar azalırken sistem elemanlarının ömrü artar ve maliyetleri düşer.

Düşük güç faktörünün termik santrallerde meydana getirebileceği sorunlar;

Kurulacak bir tesiste;

- Genaratör ve transformatörlerin gerekenden daha büyük güçte seçilmelerine sebep olur.
- İletkenlerin gerekenden daha kalın kesitli olmalarına sebep olur.
- Kumanda, kontrol ve koruma cihazlarının daha büyük ve hassas olmamalarına sebep olur.

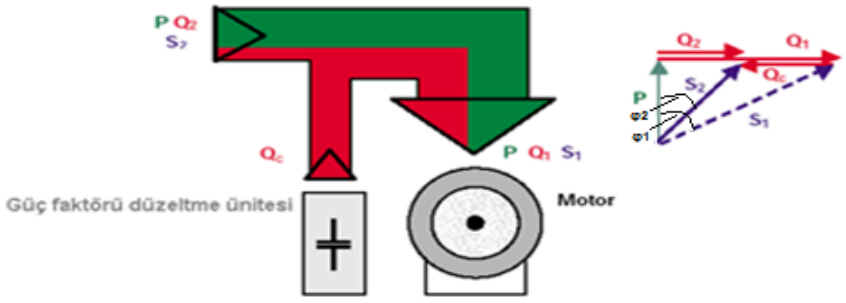
Kurulu bir tesiste;

- Üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verim düşer.
- İletkenlerde gerilim düşümü ve enerji kayıpları artar.
- Gerilim regülasyonu ve işletmecilik zorlaşır.

- İç ihtiyaçta kullanılan transformatörün ve tesisatın kapasite ve verimi düşer.
- İç ihtiyaçta daha çok reaktif enerji (kVArh) çekilir.
- İç ihtiyaçta kayıpların ve gerilim düşümlerinin artmasına neden olur.

Sonuç olarak üretimde kWh maliyeti artar. Düşük güç faktörü iç ihtiyaç için oluşturulan dağıtım hat kayıplarının da artmasına neden olur. Düşük güç faktörlerinde yükün ihtiyaç olan gerçek gücü sağlamak için iletkenden daha fazla akım geçeceğinden dağıtım kayıpları artacaktır. Reaktif güç tüketicileri şunlardır:

- Düşük ikazlı senkron makineler
- Asenkron motorlar
- Az uyartılmış senkron motorlar
- Bobinler
- Transformatörler
- Redresörler
- Kaynak makineleri
- Havai hatlar
- Flüoresan lamba balastları
- Sodyum ve cıva buharlı lamba balastları
- Neon lamba balastları vb.



Şekil 3.4. Bir tesiste kompanzasyondan önceki (1) ve sonraki (2) güç diyagramı

Q_1,φ_1 ; Güç faktörü düzeltilmeden önceki çekilen reaktif güç ve güç faktörü

Q_2,φ_2 ; Güç faktörü düzeltildikten sonra çekilen reaktif güç ve güç faktörü

Q_C ; Güç faktörünü düzeltmek için gerekli kapasitif reaktif güç

Reaktif güç kompanzasyonu; elektrik enerjisi verimini arttırmanın ve enerji tasarrufunu sağlamanın en etkin ve en kolay yollarından birisidir. Reaktif güç üretimi yükün yanında kurulacak yardımcı sistemler aracılığıyla tüketici tarafından da yapılabilir. Basitçe yüke paralel olarak bağlanan kondansatörler yardımıyla reaktif güç

üretimi yapılabilir. Kondansatördeki kapasitif reaktif güç ile yükün endüktif reaktif gücü vektörel olarak aynı doğrultuda fakat ters yöndedir. Böylece birlikte kullanıldığında kapasitif güç, endüktif gücü azaltarak kompanzasyon etkisi yapar ve akım ile gerilim arasındaki faz farkı azaltılmış olur (Kaypmaz ve Engin, 2009).

Sistemdeki reaktif gücü azaltmakla sağlanacak faydalardan en önemlileri sistemin kapasitesinin artması ve ısı kayıpları ile gerilim düşümünün azalmasıdır. Ayrıca kompanzasyon ile sistem elemanları fazla yüklenmekten kurtulacağı için sistemin boyutları küçültülebilir. İhtiyaç duyulan reaktif enerjinin belirlenmesi için öncelikle tesisin çektiği görünür gücün ve güç katsayısının ($\cos\varphi_1$) bilinmesi gerekir; bunlarla birlikte güç katsayısının arttırılmak istendiği değer ($\cos\varphi_2$) de belirtilmelidir.

Aktif gücün sabit tutularak $\cos\varphi_1$ güç katsayısı altında çekilen P aktif gücü sabit tutularak S_1 görünür gücü S_2 gibi daha düşük bir değere geriler. Bu duruma ait kompanzasyon gücü aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P\,(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \qquad (3.4)$$

Genel olarak bir tesiste kurulacak kompanzasyon sisteminin tipi sistemdeki yüklerin dağılımına, reaktif güç ihtiyacının değişimine ve tesisteki harmoniklerin miktarına bağlıdır.

Elektrik sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu sağlayacak faz kaydırıcıları ikiye ayrılırlar.

i. Dinamik faz kaydırıcılar

Senkron motorların uyartım akımlarının değiştirilmesi ile motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca senkron motorun şebekeden çektiği reaktif gücün miktarı da, uyartım akımı ile ayarlanabilmektedir. Bundan dolayı senkron motorlar, dinamik güç kompansatörü olarak kullanılabilmektedirler. Senkron motor güç kompansatörü olarak kullanılırken, üzerinde herhangi bir yük yok ise, kaynaktan çekeceği aktif güç, sadece mekanik kayıpları karşılamak için gereklidir. Senkron motor eğer kompanzasyon yapılan sistemde başka bir amaçla kullanılmıyorsa ekonomik değildir. Ayrıca bu makinalar sürekli bakım gerektirmeleri, büyük güçlü olanların ekonomik olmamaları ve alçak gerilim dağıtım şebekesinde gereksiz yere reaktif güç ile yüklemeleri nedeniyle günümüzde tercih edilmemektedir. Ekonomik olması nedeniyle reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde kondansatörler yoğun olarak kullanılmaktadır.

ii. Statik faz kaydırıcılar

Kondansatörler statik faz kaydırıcılardır. Statik faz kaydırıcılar enerji tüketen birimlere bağlanır. Bu nedenle orta ve alçak gerilim şebekelerini boş yere reaktif güçle yüklemezler. Kayıpları çok düşüktür, çok az bakım gerektirirler ve maliyetleri (kVAr başına) senkron motorlara göre düşüktür. Kondansatörlerden oluşan sistem birçok elemandan meydana geldiği için ulaşımı, tesisi ve monte edilmesi kolaydır ve de gerektiğinde sistem genişletilerek güç artımına gidilebilinir.

Güç kompanzasyonu tesislerinden azami verim elde etmek için kompanzasyon sisteminin yerinin ve bağlama şeklinin uygun bir şekilde seçilmesi gerekir. Güç faktörü aşağıda belirtilen yöntemlerden biri ile düzeltilebilir.

- Bireysel kompanzasyon
- Grup kompanzasyon
- Merkezi kompanzasyon

3.4.1.1. Bireysel kompanzasyon

Bireysel kompanzasyon yöntemi en basit ve en etkili yöntemdir. Genellikle sabit kompanzasyon olarak yapılır. Kondansatörler cihazın uçlarına doğrudan veya bir anahtar ile paralel bağlanır. İşletmedeki üç fazlı motorlar ayrı ayrı çalışıyor ve farklı zamanlarda devreye girip çıkıyor ise en iyi yöntem bunlara ayrı ayrı kondansatör bağlamaktır. Motorlardan başka aydınlatma balastları da reaktif güç harcarlar. Bu nedenle flüoresan lamba balastlarına bireysel kompanzasyon yapılabilir.

Bireysel kompanzasyonun avantajları;

- İyileştirme tüm dağıtım sistemini etkiler ve kapasitenin artmasını sağlar. Devrede bulunan makine sayısı ne olursa olsun güç faktörünün değeri her zaman uygun değerdedir.
- İlave anahtara gerek olmadan kondansatör doğrudan düzeltme yapacak donanıma bağlanabilir.

Bireysel kompanzasyonun dezavantajları;

- Çok sayıda kondansatöre ihtiyaç vardır. Bu da maliyeti yükseltir.
- Yükte geniş dalgalanmalar olduğu zamanlarda sistem kendini ayarlayamadığı durumlarda aşırı kompanzasyona neden olabilir. Bu yöntem sabit güçle sürekli çalışan tüketiciler için uygun olabilir.

3.4.1.2. Grup kompanzasyon

Reaktif yüklere ayrı ayrı kondansatör bağlanması yerine gruplar halinde kondansatörlerin bağlanması yöntemidir. Bu yöntemde kompanzasyon tesisinin maliyeti düşer ve dağıtım sisteminin kapasitesi artar. Yüklerdeki değişmelere bağlı olarak kimi zaman kondansatör gruplarına anahtarlama yapmak gerekir. Çünkü bazı ekipmanlar devre dışı iken aşırı kompanzasyon oluşur. Grup kompanzasyonunda iyi bir güç faktörü elde etmek için gruba dahil ekipmanın tümü devrede olmalıdır.

3.4.1.3. Merkezi kompanzasyon

Merkezi kompanzasyonda işletmenin güç faktörü bir yerden denetlenir. Bu sistem en ucuz yöntemdir. Burada aşırı kompanzasyonu önlemek için kondansatör grubunu otomatik olarak devreye sokan ve çıkaran reaktif güç kontrol röleleri vardır. Bu sistemde tüketici sayısı ve bunların devreye girip çıkmasıyla çekilen güçte değişiklik olduğundan, kondansatörlerin otomatik olarak devreye girip çıkması gerekir. Bu sayede hem düşük kompanzasyon hem de aşırı kompanzasyon önlenmiş olmaktadır.

3.4.1.4. Kompanzasyon tesisinde dikkat edilecek hususlar

- Kompanzasyon tesislerinin otomatik ayar kademeli yapılmaması durumunda (özellikle küçük tesislerde) kompanzasyonun bireysel tüketim noktalarına konulmasına özen gösterilmelidir.
- Gerek bireysel ve gerekse merkezi kompanzasyon tesislerinde, elektrik kesilmesi halinde bu kompanzasyonun şebeke ile ilişkisini kesecek şekilde gerekli önlem alınmalıdır.
- Kompanzasyon tesisi, güç faktörü sınırları (0,85 – 1) içine alacak şekilde yapılmalıdır. Aşırı kompanzasyonun tesiste gerilim yükselmesine neden olacağı unutulmamalıdır.
- Kondansatörler devreden çıkarken büyük arklar meydana getirirler. Bu yüzden açma anahtarları çok hızlı olmalıdır. Ya da kondansatör akımı sıfır iken yapılmalıdır.
- Açma sırasında oluşacak arkların kontakları deforme etmemesi için kontak akımları kondansatör akımının 1,25 -1,8 katına göre seçilmelidir.

- Başlangıçtaki darbe akımları göz önüne alınarak kondansatör tesislerinde kullanılan iletkenlerin kesitleri normal tesislerdeki kesitlerden daha büyük seçilmelidir.

3.4.2. Harmoniklerin azaltılması

Harmonik kaynakları;

- Transformatörler,
- Döner makinalar,
- Güç elektroniği elemanları,
- Hız kontrol cihazları, yumuşak yol vericiler
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Gaz deşarjlı aydınlatma,
- Elektronik balastlar,
- Bilgisayarlar,

vb. şeklinde belirtilebilir.

AC şebekelerinde elektrik üretim, iletim ve dağıtımı sırasında gerilim ve akımın dalga şekillerinin tam sinüs şeklinde olması istenir. Bu koşul, elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Bunun için sistem, sinüzoidal bir kaynakla beslenmeli ve doğrusal yüklerle yüklenmelidir. Ancak sisteme bağlanan ve sayıları gün geçtikçe artan doğrusal olmayan yükler, sistemde 50 Hz'ten farklı frekanslardaki büyüklüklerin doğmasına neden olur. Buna harmonik bozulma adı verilir. Harmonik bozulma sonucunda gerilimin ve akımın şekli bozulur ve sinüs biçiminden ayrılır. Bu ise enerji sistemlerinde zararlı etkilere neden olur.

Genel olarak sinüs biçiminde olmayan periyodik bir fonksiyon, fourier serisine göre sonsuz sayıda harmoniklerin toplamına eşittir. Sinüsoidal olmayan bir gerilimin veya akımın etkin değeri harmonik bileşenlerinin karesel ortalamasına eşittir.

Gerçekte harmonik mertebeleri 1, 2, 3,.....∞ 'a kadar tam sayılardır. Ancak elektriksel büyüklüklerin sık rastlanan şekilleri bakımından bazı harmonik mertebeleri belirgin olurken, bazıları da hiç ortaya çıkmamaktadır. Periyodik eğrilerin harmonik analizi yapıldığında, sadece 1., 3., 5., 7.,.....gibi tek mertebeli harmoniklerin toplamı olduğu görülür. Bu eğriler apsis eksenine göre simetrik olan eğrilerdir.

Demir çekirdekli cihazların harmonik üretmeleri, demir çekirdeğin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmamasına bağlıdır. Tristörlü güç konvertörleri

ve tristör kontrollü reaktörlerde olduğu gibi sinüs eğrisinin kesilmesi elektrik devrelerinin lineer olmamasına yol açar. Güç elektroniği devrelerinde sinüsoidal gerilimin anahtarlanması lineer olmayan olaylardır. DC motorlar ve frekans konvertörleri harmonik üreten kaynaklardandır. Redresör ve tristörler, sinüsoidal akım dalgasını kıyarken harmonikler oluştururlar. Anlatılan bu sebeplerle oluşan yüksek frekanslı harmonik akımlarının sistemde dolaşması, harmonik frekanslı gerilimlerin sistemde meydana gelmesine sebep olur. Temel frekansa (50 Hz) ilişkin ana bileşenin ani değerleri ile tüm harmonik akım veya gerilimlerinin ani değerleri toplamı olarak ortaya çıkar.

Harmonikli bir gerilim dalgası göz önüne alınırsa bileşke gerilimin ani değeri ;

$$V=V_{1m}\sin(\omega t+Q_{1})+V_{2m}\sin(2\omega t+Q_{2})+\ldots+V_{nm}\sin(n\omega t+Q_{n}) \qquad (3.5)$$

biçiminde yazılabilir. “$\omega = 2\pi f$” , “f” temel bileşen frekansı (anma frekansı), V_{nm} : n. harmoniğe ilişkin gerilimin tepe değeridir.

Benzer şekilde, harmoniklerin bulunması durumunda akımın ani değeri ;

$$I=I_{1m}\sin(\omega t+Q_{1})+I_{2m}\sin(2\omega t+Q_{2})+\ldots+I_{nm}\sin(n\omega t+Q_{n}) \qquad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Harmoniklerin sınırlanmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu, gerilim ve akım için sırasıyla;

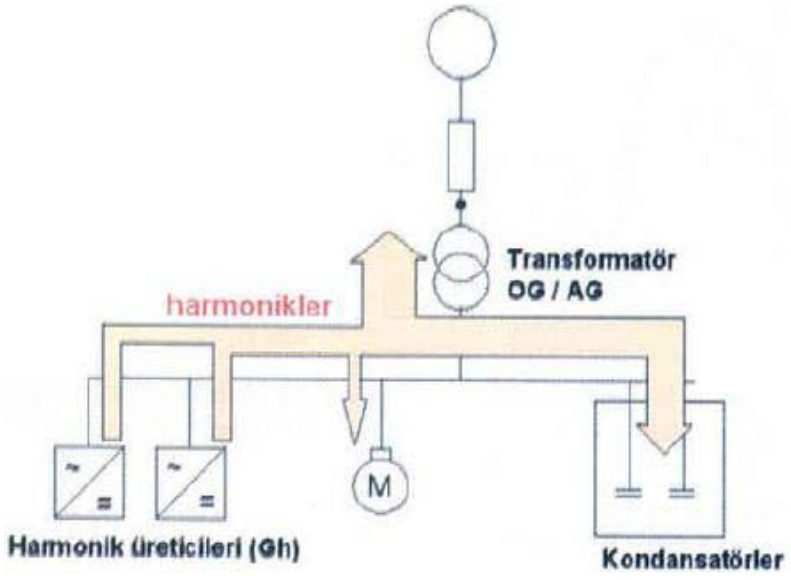
$$THD_V=\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}V_n^2}}{V_1},\quad THD_I=\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}I_n^2}}{I_1} \qquad (3.7)$$

formülleri ile tanımlanmıştır. Görüldüğü gibi THD, alternatif akım veya gerilimdeki harmoniklerin etkin değerleri kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olup dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değerdir ve genellikle “%” olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını belirlemek için kullanılır. IEEE 519 numaralı standarda göre

sistemdeki tekli harmonikler en fazla % 3, THD ise en fazla % 5 olabilir (Anonymous, 1992).

Harmonik akımlar, yalnızca yüklerin dalga şeklini bozmakla kalmaz aynı zamanda sistemde ve sisteme bağlanan elemanlar üzerinde de pek çok olumsuz etkiler meydana getirir. Harmonikler; motorlar, generatörler, kondansatörler, transformatörler ve iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar. Bazı durumlarda harmonikler, sistem elemanlarının zarar görmesine veya devre dışı kalmasına yol açabilirler.

Tüketicilerden sisteme verilen harmonik akımları, filtrelerle (süzgeçlerle) sınırlandırılmış olsa bile sistemde önemli oranda gerilim bozunumunun oluştuğu durumlarla karşılaşılabilir. Bunun sebebi, harmonik frekanslarından birinin sistemin rezonans frekansına yakın bir değerde olmasıdır. En yüksek gerilim bozunumu genellikle rezonansa sebep olan kondansatörde meydana gelir ki bu kondansatörler harmonik kaynağından uzakta da olabilir (Dugan ve ark.,2002).



Şekil 3.5. Harmoniklerin motor ve kondansatörlere etkisi

Harmoniklerde mertebe yükseldikçe genlik (amplitüd) değeri düşer.

Kondansatörlerin ve bunlara bağlı anahtarlama elemanlarının harmoniklerden olumsuz etkilenmesini önlemek için harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri kullanılabilir. Böylece tehlikeli olabilecek harmonik akımları önlenirken sistemin reaktif güç ihtiyacı da karşılanmış olur.



Şekil 3.6. Modüler yapılı harmonik filtreli kompanzasyon paneli

Sistemde kompanzasyon yaparken yalnızca kondansatör kullanmak yerine harmonik filtreli kompanzasyon sistemi kurulursa aynı anda hem sistemdeki reaktif güç azaltılmış hem de harmonik rezonansının önüne geçilmiş olur .

3.4.2.1. Harmonikleri ortadan kaldırabilecek yöntemler

Bu yöntemler 3 başlık altında incelenebilir;

a. OG Kompanzasyon

Harmonik kaynaklar genellikle yoğun olarak AG sistemlerinde mevcut olduğundan AG sisteminde kompanzasyon yapılmaz ve kompanzasyon OG'de tasarlanır. Bu sayede kondansatörlerin sisteme olan paralel rezonans etkisi ile sistemde rezonans şartları oluşmayacağından harmonikler giderilmiş olmasa da sorunları azaltmak için uygulanabilecek bir yöntemdir.

b. Pasif filtreler

Pasif filtreleri

i) Düşük ayarlı pasif filtreler

ii) Ayarlı filtreler

olarak iki grupta toplamak mümkündür.

i.Düşük ayarlı pasif filtreler;

Harmonik filtreli kompanzasyon olarak da tabir edilen bu filtre sisteminde, kompanzasyon yerine ana harmonik frekansından daha düşük bir frekansta endüktans bobini tasarlanarak kondansatörlerin önüne seri bağlandığı sistemdir. Düşük ayarlı pasif filtre sistemlerinde amaç kondansatörlerin sisteme olan paralel rezonans etkisini tamamen ortadan kaldırmak ve bu noktada empedansı belirlenen merkezi frekansta

sıfıra eşitleyerek harmonik gerilimlerini minimuma indirmektir. Bu sayede kondansatörlerin sisteme olan etkisi ortadan kalktığından, kondansatörlerin sistemde oluşturduğu harmonik akımları da giderilir ancak tesiste üretilen harmonik akımlarına karşı etkisizdir.

Harmonik filtreli kompanzasyon sistemi sayesinde paralel rezonansın ortadan kaldırılabilmesi için tesiste seri rezonans devresi meydana getirilir. Seri bağlı kondansatör ve bobinin toplam reaktansı seçilen frekans değerinde sıfır şekilde seçilir. Oluşturulan seri rezonans devresi ile paralel rezonansın kondansatörler ve sistemin diğer noktalarındaki etkisi ortadan kaldırılır.

ii. Ayarlı filtreler;

Merkezi frekans ayarlı filtreler, filtreli kompanzasyon mantığı ile aynı olmakla beraber endüktans bobini, tesiste etkin harmonik frekansı veya frekanslarına eşit olacak şekilde tasarlanır. Merkezi frekans ayarlı filtreler, harmonik filtreli kompanzasyona kıyasla daha etkili, güç kayıpları ve kurulum maliyeti daha yüksek bir sistemdir.

Merkezi frekans ayarlı filtrasyon, sistemde mevcut bulunan baskın harmonik frekanslarına göre tasarlanır. Sistemde mevcut bulunan harmonik üreteçlerinin elektriksel yapısı analiz edildiğinde, 6 darbeli tabir edilen 6 adet anahtarlama elemanı bulunan (tristör, IGBT) cihazlar bulunuyorsa sistemde 5. ve 7. harmonik, eğer 12 darbeli sistemler bulunuyorsa 11. ve 13. harmonik sistemde baskın harmonik mertebesi olacaktır.

Ayarlı pasif filtreler paralel rezonans devresinin sonsuz empedans etkisini ortadan kaldırmak amacıyla sistemde oluşabilecek rezonans frekanslarından baskın olanları için tasarlanan seri rezonans devresidir. Sistemde belirlenen merkezi frekanslarda X_C ve X_L değerleri eşitlenir (seri rezonans şartı). Bu sayede seçilen merkezi frekanslardaki harmonik akımlarının filtre üzerinden akması sağlanır. Bu sistem sayesinde, sistemdeki harmonik gerilimleri sıfıra çekilir. Diğer taraftan kondansatörler nedeni ile oluşan harmonik akımları ortadan kaldırılır ve sistemdeki diğer harmonik üreteçleri tarafından üretilen harmonik akımları ortadan kaldırılır.

c. Aktif filtreler

Aktif filtre, pasif filtre yapısından tamamen farklı olup bir güç elektroniği sistemidir. Genel yapı olarak sistemdeki akım ve gerilimi ölçerek akım harmoniklerini şebeke tarafında yok eder. Akımdaki distorsiyona bağlı olarak ortaya çıkan gerilim distorsiyonu da bu sayede ortadan kaldırılır. Akım distorsiyonunu ortadan kaldırdığından kesin çözümdür.

Aktif filtre uygulanmasının şebeke harmoniklerini % 97 mertebesinde ortadan kaldırdığı bilinir. Ayrıca, isteğe bağlı olarak sistemin ihtiyacı olan reaktif güç sağlanabilir. Diğer taraftan harmoniklerin tesis üzerindeki olumsuz etkileri tamamen ortadan kaldırılacaktır. Bu sayede sistemin enerji kalitesi de yükselecektir.

3.4.3. Elektrik motorlarında enerji verimliliğinin arttırılması

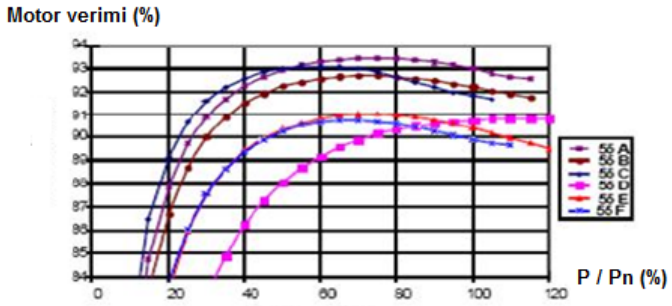
Tezin bu bölümünde termik santrallerde kullanılan elektrik motorları ve sistemlerinde enerji verimliliğini arttıracak sistemler ve yöntemler açıklanacak ve motorlarda yapılabilecek tasarruf potansiyellerinden bahsedilecektir. Elektrik motorları, elektriksel gücün mekanik güce çevrilmesi amacıyla en yaygın olarak kullanılan makinelerdir. Termik santrallerde iç ihtiyaçlara yönelik kullanılan elektrik enerjisinin yarısından fazlasının elektrik motorları tarafından tüketilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Bu nedenle elektrik motoru seçimi, çalıştırılması ve bakımı özel dikkat gerektirir. Elektrik motorlarının bir endüstriyel tesisteki tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %75'ini tükettiği bilinmektedir (Anonymous, 2001). Termik santrallerde bu sistemlerde yapılacak her türlü enerji verimliliğinin önemi enerji üretim maliyetine etki edeceğinden dolayı büyüktür. Enerji üretiminde kullanılan motor sistemlerinin verimliliği direkt olarak termik santrallerdeki genel elektrik enerjisi verimliliğini etkileyecektir. Motor sistemleri bir tesisteki sabit ve değişken maliyetleri etkiler. Üretim maliyetlerinin yanında iç ihtiyaca yönelik enerji maliyetleri büyük oranlar oluşturmasa da, termik santrallerde elektriksel enerji verimliliğinin arttırılması sonucu enerji tüketimindeki azalış direkt olarak santralin verimliliğine ve ekonomik olarak kazanca neden olacaktır (Anonymous, 2006).

Endüstriyel tesis olan termik santrallerde maliyet analizi yapılırken her bir uygulama için ayrı analiz yapılmalıdır. Bir motor sistemi için enerji maliyetleri, yüksek verimli bu sistemin ilk yatırım maliyetinin katları olarak ifade edilmektedir. Maliyet analizi yapılırken, yıllık işletme süresindeki artışın (azaltılmış bakım masrafları ve daha uzun süreli çalışma), daha düşük işletme maliyetlerinin, daha fazla enerji üretim verimliliğinin getirdiği maddi üstünlükler de düşünülmelidir. Çoğu zaman endüstriyel tesis olan termik santrallerde bu maliyetler, enerji verimliliğinin kendisinden daha önemli olabilmekte ve işletmeci açısından tercih sebebi olmaktadır.

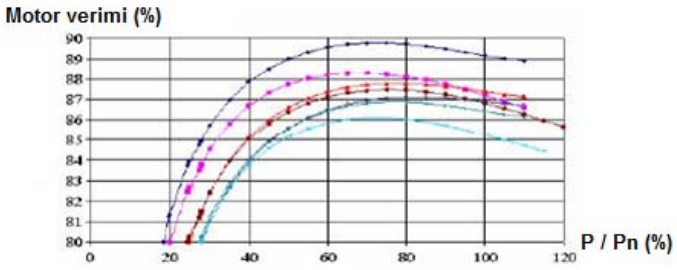
Termik santrallerde diğer endüstriyel tesislerde olduğu gibi iyi bir bakım işlemi ile büyük, güçlü bir elektrik motoru değiştirilmeden uzun bir süre çalışabilir. Ekipman

değiştirilme işleminde enerji verimli ekipmanların seçimi, üzerinde durulan enerji verimliliği konusu için önemlidir ve termik santraller kapsamında yapılacak enerji verimliliği bu cihazların ne şekilde seçildiği ile yakından ilişkili olacaktır.

Endüstri tesislerinde kullanılan birçok elektrik motoru ihtiyaç duyulan güç değerlerine göre daha büyük boyutlandırılıp tesis edilmişlerdir. Bu nedenle çoğu motor %50-%75-%100 yük değerleri arasında çalışmaktadır. Bir endüstriyel tesiste motor verimlilikleri hesaplanırken motor üreticileri tarafından %50 ve %75 yüklerdeki verimlilik değerlerinin verilmesi önemlidir. Şekil 3.8'deki verimlilik değerlerine bakılırsa, yükle birlikte motor verimlilik değerleri de değişmektedir. Bu nedenle yüksek verimli kabul edilen bir motor, daha az yüklendiğinde yine yüksek verimli olacağı anlamına gelmemektedir. Özellikle demir kayıpları yüksek olan motorlar için kısmi yüklerdeki verimlilik değerlerinin üreticiler tarafından sağlanması büyük önem arz etmektedir. Şekil 3.7'deki 55 kW, Şekil 3.8'de ise 11 kW asenkron motorlar (Sırasıyla ABB, ACEC, Brook Hansen, Leroy Somer, Siemens ve WEG marka motorlar)için farklı yüklerdeki verimlilik değerleri verilmektedir (Slaets ve ark., 2000).



Şekil 3.7. 55 kW motorların farklı yüklerdeki verimlilik değerleri



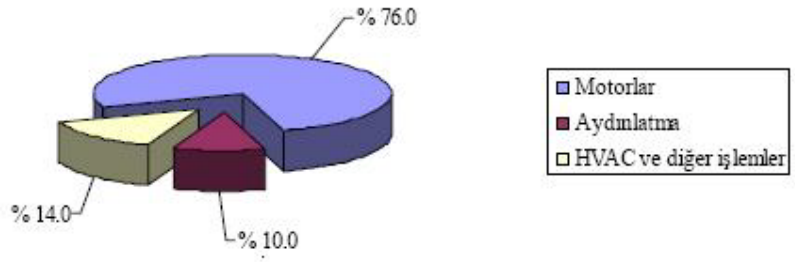
Şekil 3.8. 11 kW motorların farklı yüklerdeki verimlilik değerleri

Termik santrallerde elektrik motorlarının kullanım alanı çok geniş olmakla beraber kullanılan motorlar 0.18 kW - 2400 kW aralığında değişik yüklerde çalıştırılabilmektedirler. Tüm sektörlerde olduğu gibi termik santrallerde de bir kısım

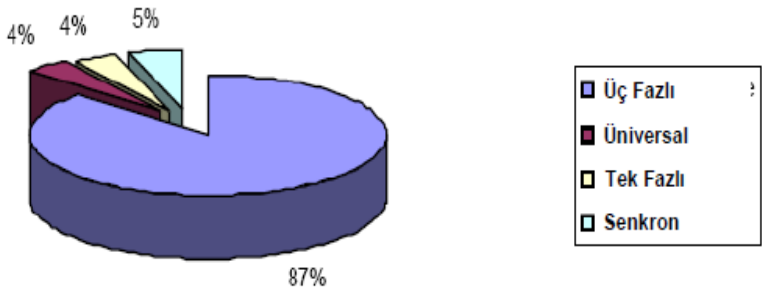
motorlar büyük boyutlandırıldığından normal çalışma profilinde % 50 yük skalasında olup, düşük verimlerde yüksek enerji tüketimleri söz konusudur. Prosese yönelik değişik amaçlar için kullanılan (bant, konveyör, park makinaları, fan, pompa, kompresör sistemlerinin tahriki vb.) elektrik motorları geniş bir güç aralığında değişik adetlerde karşımıza çıkarlar.

Termik santrallerde motorlar birçok prosese hizmet edip, enerji üretimine direkt olarak etki ederler. Motor sistemlerinde gerçekleştirilecek enerji verimliliği çalışmaları direkt olarak santrallerdeki enerji verimliliğine, dolayısıyla iç ihtiyaçtaki enerji tüketimine ve de üretilen enerjinin maliyetine etki eder.

Prensip olarak cihaz seçiminde ve proje tasarım süresinde enerji verimliliğinin düşünülmesi ve buna göre seçim yapılması mantıklı olacaktır. Çoğu zaman bir motor sisteminin veriminin arttırılması birçok işletme ve bakım sorununu ortadan kaldıracaktır. Motor sistemlerinden bahsederken enerjinin girdiği bölümden son ürün çıkışına kadar olan kısımdan bahsedilir. Düzenli bir motor sistem yönetimi verimli ve güvenilir bir işletme sağlarken, aynı zamanda enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, endüstriyel tesislerde elektrik motorlarının harcadığı elektrik enerjisi tüm tesisin %75'inden fazladır. Bu oran termik santraller için de geçerlidir. Ayrıca Şekil 3.10'da motorların besleme gerilimlerine göre dağılımları görülmektedir. Bunun yanında aydınlatma ekipmanları ve HVAC (ısıtma, havalandırma, soğutma) cihazları diğer elektrik enerjisi tüketen elemanlardır.

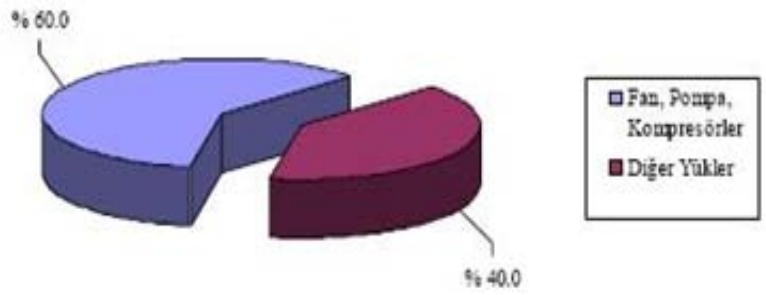


Şekil 3.9. Endüstriyel tesislerde tüketilen elektrik enerjisinin dağılımı



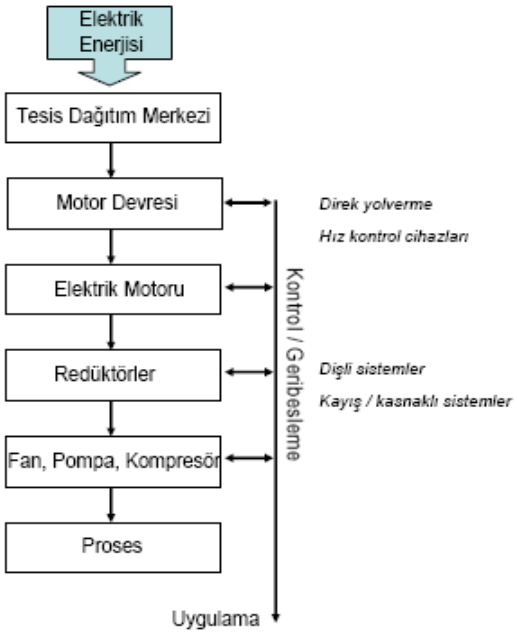
Şekil 3.10. Motorların besleme gerilimine göre dağılımı

Tüm endüstriyel tesisler içindeki elektrik motorlarının % 60'lık bölümü akışkan kontrolü için kullanılmaktadır (Capehart ve ark., 2004). Akışkan kontrolü ile hava, su, kimyasal akışkanlar, gaz vb. maddelerin kontrolü söz konusudur (Anonymous, 2001). Şekil 3.11 bu dağılımı daha açık göstermektedir.



Şekil 3.11. Elektrik motorlarının tesislerde kullanımına göre dağılımları

Motor sistemleri farklı bölümlerden oluşurlar ve bunlar; enerji girişi, enerji çevrim donanımı, kontrol mekanizması ve proses ihtiyaçlarına göre çıkış donanımlarıdır. Elektrik motorları termik santrallerde; havalandırma, kurutma, proses ısıtma, buhar sistemleri, soğutma, kömür, kazan yakma ve basınçlı hava sistemleri gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 3.12'de bir motor sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Burada motor devresi kullanılan yol verme teknolojisine göre direkt (kontaktörler ile) veya elektronik (yumuşak yolvericiler veya hız kontrol cihazları ile) olabilir.



Şekil 3.12. Motor sisteminin şematik gösterimi

3.4.3.1. Elektrik motorlarının çalıştırılması

Bir elektrik motorunun bir sistemi tahrik etmesini inceleyip alınan sonuçlara dayanan bakım ve yenileme çabaları ile büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir. Örneğin sık sık çalıştırılıp durdurulan motorlar hem çok fazla enerji tüketir hem motorların ömrü kısalır hem de şebeke için fazla yük meydana getirip ek ödemelere yol açabilirler. Ayrıca, işletme bir motora bağlı döner parçaları en aza indirmelidir, çünkü döner kısımları hızlandırmak için çok fazla enerjiye ihtiyaç vardır ve bu enerjide dönen kısmın kütlesi ile doğrudan orantılıdır. Hızlandırılacak kütle azaldıkça sarf edilen enerji de aynı oranda azalır.

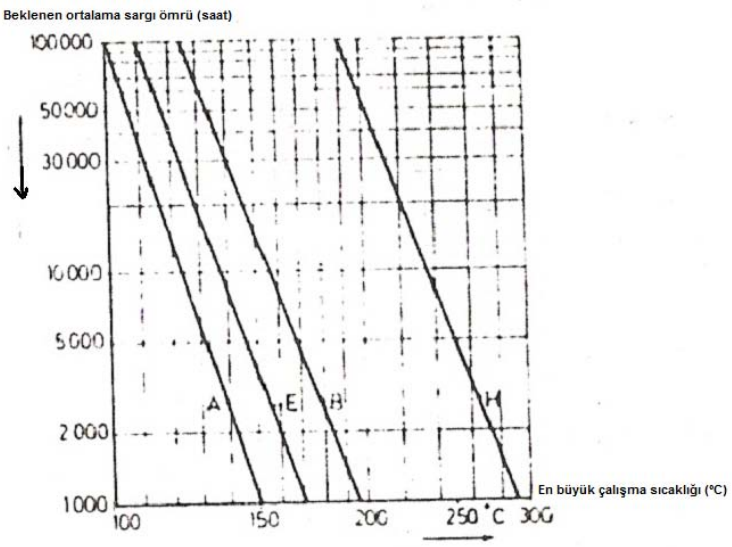
Termik santrallerde elektrik motorlarının, etiketlerindeki sınırlamalara göre çalıştırılmalarına dikkat edilmelidir. Motor üzerine bir etiket konmasının birinci amacı, tasarım değerlerine uygun olarak çalıştırılacak motor hakkında kullanıcıya yeterli bilgiyi vermektir. Genel olarak tanınmış motor imalatçılarının kullandığı değer, standart endüstriyel uygulamaya ve güvenlik standartlarına dayanır. Motorların yeterli performansı, motorlar üzerindeki etiketindeki gerilimin ± % 10'u ve frekansın ± % 5'i içinde çalıştırıldıkları zaman elde edilebilir. İşletmede motor ömrünü kısaltan ve güvenlik problemleri meydana getiren bir duruma yol açmamak için aşağıdaki hususlara uyulmalıdır.

- Elektrik motorları etiketteki gerilimin ± % 10'undan daha farklı bir gerilimde çalıştırılmamalıdır. Yüksek gerilimler motor sıcaklığını, hızı ve titreşimi olumsuz yönde etkiler ve gerilime duyarlı motor kontrol rölelerini etkileyebilir. Düşük gerilimler ise kalkış anında motorun aşırı yüklenmesine neden olabilir ve termik aşırı yük koruma cihazlarının hatalı biçimde açmasına yol açabilir.
- Motorlar etiketinde belirtilenden başka nominal frekanslarda çalıştırılmamalıdır.
- Motorlar etikette yazılı olan değerlerden daha fazla yüklenmemelidir.
- Sıcaklık artışı etikette belirtilen değeri aşmamalıdır.

Bir motor etiketinde belirtilenden farklı bir çalışma çevriminde çalıştırıldığında, genellikle çalışma sıcaklığının yükselmesine, motorun ömrünün azalmasına ve termik aşırı yük koruma cihazlarının hatalı çalışmasına yol açar.

3.4.3.2. Elektrik motorlarının bakımı

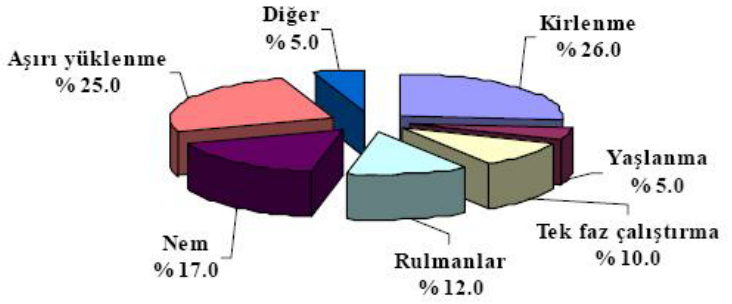
Bir çeşit endüstriyel tesis olan Termik santrallerde bir elektrik motorunun görevi, faydalı bir iş yapmak üzere çeşitli makinelere tahrik enerjisi sağlamaktır. Elektrik motoruyla tahrik edilen donanım; bantlar, konveyörler, park makinaları, hava kompresörleri, pompalar ve fanlar olabilir. Tahrik enerjisi için elektrik motorlarına bağımlı başka tip birçok donanım vardır. Çoğu donanımın çalışması, elektrik motorlarının uygun çalışmasına bağımlı olduğundan motorların güvenli ve verimli çalışma sağlayacak biçimde çalıştırılmalarının ve bakımlarının yapılması esastır. Uygun bakım yapılmadığında motordaki kayıplar daha yüksek değerlere çıkabilir. Uygun olmayan yağlama, motorlarda ve bağlı olduğu tahrik sisteminde sürtünme artışına neden olabilir. Sıcaklık arttıkça iletkenlerdeki elektrik direnci artacağından, havalandırma giriş çıkışları ve soğutma sistemleri engellenir veya kirlenirse, motordaki direnç kayıpları artar. Motorları olabildiğince serin durumda çalıştırmak için tozların motor açıklıklarında toplanmasına izin verilmemelidir. Artan sıcaklık yalıtımın ömrünü de azaltacağından, serin tutulan motorlarda enerji tasarrufu sağlanacak olup aynı zamanda serin tutulan motorun ömrü de uzayacaktır. Şekil 3.13'te olağan dışı yüksek motor sıcaklıklarının, yalıtım ömrü üzerine etkisi gösterilmiştir. En yüksek çalışma sıcaklığındaki oldukça küçük artışların, yalıtımın ömrünü ve dolayısıyla motorun ömrünü önemli miktarda kısalttığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.13. Sargı sıcaklığının motor ömrüne etkisi

Elektrik motorlarının bakımları genellikle çok kolaydır. Ancak bu basitlik nedeniyle motor bakımlarına bazen yeterince dikkat gösterilmemektedir.

Elektrik motorlarında bakımın amacı elektrik motorlarının sürekli çalışmasını, maksimum performansının sürekliliğini sağlamak ve arıza nedeniyle devre dışı olduğu süreyi mümkün olduğunca azaltmaktır. Bakımı sürekli ve düzgün olarak yapılmış bir elektrik motoru hem daha verimli çalışır, hem de daha az sürtünme ve sıcaklık değerlerine sahip olur. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi elektrik motorlarında en fazla karşılaşılan arıza tipleri kir, pislik ve toz ile aşırı yüklenmeden kaynaklanmaktadır (Anonymous, 2002).



Şekil 3.14. Motor sistemlerinde rastlanan arıza tipleri

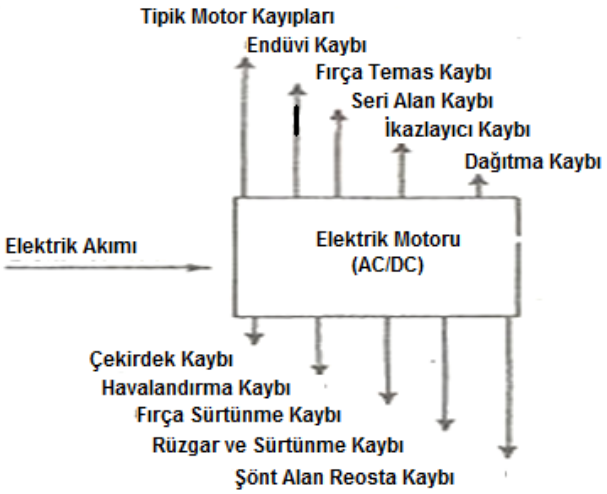
3.4.3.3. Elektrik motorlarında kayıplar

Bir asenkron motordaki tipik kayıplar Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bu kayıplar iki ana bölüme ayrılır.

i) Motor boşta çalışırken oluşan kayıplar

ii) Motor yükte çalışırken oluşan kayıplar

olarak iki ana gruba ayrılabilir.



Şekil 3.15. Tipik motor kayıpları

i.Motor boşta çalışırken oluşan kayıplar

Motor yüküne bağlı olmayan kayıplar olup

a. Demir kayıpları (manyetik kayıplar)

b. Sürtünme kayıpları (mekanik kayıplar)

olarak iki grupta değerlendirilebilinir:

a. Demir kayıpları (manyetik kayıplar)

Demir kayıpları iki bileşenden oluşur; kullanılan çeliğin fiziksel karakteristikleri tarafından belirlenen histeresiz kayıpları ve çelik katmanlarının imalat ve yapısına bağlı olan fuko akım kayıpları. Bu kayıplar motorun manyetik devresine enerji verilmesi sonucu oluşur. Manyetik yapıdaki akı yoğunluğu, bu kayıpların saptanmasındaki başlıca etkendir. Demir kayıpları reaktif akım tüketiminin sonucu ortaya çıktığı için motorun güç kaybını etkiler. Yük düşük ise demir kayıpları baskın gelir ve düşük güç faktörlerine neden olur. Tam yükte dahi asenkron motorların güç faktörleri düşüktür, 0.8-0.9 değerleri arasında yer alır. Bu nedenle motor ve yükü birbirine mümkün

olduğunca uygun eşleyerek düşük verimi ve kötü güç faktörlerini minimize etmek, ekonomik bakımdan çok yararlı olacaktır.

Motorun çalışması sırasında manyetik devrede dolaşan akı yoğunluğu ne kadar az olursa enerji kayıpları da en aza indirgenir. Bunu sağlamak için de manyetik devre sarımlarının kesit alanı olabildiğince geniş olmalıdır. Demir göbek-eddy akımları kayıplarını en aza indirgeyebilmek için olabildiğince ince tabakalardan yapılmalı ve bu tabakalar iyi izole edilmelidir. Manyetik kayıpları azaltmak için hava aralıkları mümkün olduğunca az, gerekli olanlar ise olabildiğince dar olmalıdır.

b.Sürtünme kayıpları (mekanik kayıplar)

Yükten bağımsız olarak verilen hızda sabittir. Bu tür kayıplar rotor karşısında hava sürtünmesi ve yataklardaki sürtünmeden oluşurlar.

ii) Motorun yükte çalışması sırasında oluşan kayıplar

Motor kayıpları sarımın direnci (R) ve akımın (I) karesi ile doğru orantılıdır. (I^2R) sarımların direncini düşürmek için kesit alanını büyütmek ve daha çok sarım kullanmak gerekir.

- Primer (Stator) bakır kayıpları; akımın stator sargısından geçmesi ile oluşan bir direnç kaybıdır. Bu kayıp statordan geçen akıma ve stator sargısının direncine bağlıdır.
- Sekonder (Rotor) bakır kayıpları; rotor iletkenindeki direnç kayıplarıdır. Rotordaki güç kaybı genellikle kayma kaybı olarak ifade edilir.

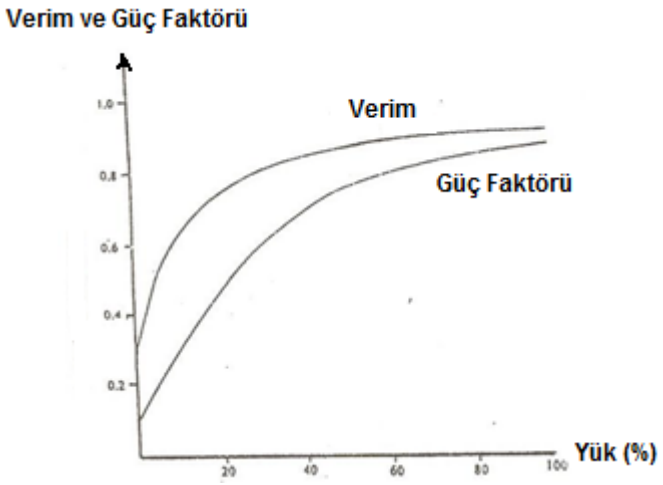
3.4.3.4. Elektrik motoru verimini etkileyen faktörler

Termik santrallerde en yüksek verime sahip motorun saptanıp, satın alınmasından sonra tüm sorunların çözüldüğü söylenemez. Bunun yanında bir motorun çalışma verimini etkileyen bir takım çalışma ve bakım faktörleri vardır. Motorun çalışma verimliliğini korumak ve geliştirmek için aşağıda detaylı olarak açıklanan faktörlerin tümünün göz önüne alınması gerekir.

- Motor ebadı; motor verimi özellikle küçük güçteki motorlarda motor ebadı ile oldukça önemli oranlarda değişmektedir. Büyük ebatlı motorların küçük ebatlı motorlardan daha verimli oldukları kabul edilmektedir. Bu nedenle standart motorlar için motor dizaynındaki ana kriter, sıcaklık artışının sınırlandırılmasıdır. Büyük motorlarda sıcaklık artışı sınırlandırılması, motor kayıplarının daha düşük değerlerde kalmasını prensip olarak zorunlu hale getirir. Bu yüzden bu motorlar daha yüksek verimde

üretilirler. Daha ağır bir demir göbek ve daha kaliteli malzemelerin kullanılması, büyük ebatlı motorların daha verimli çalışmasına katkıda bulunur.

- Motor yükü; verimliliği etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Şekil 3.16'da görüldüğü gibi, % 50 yükle çalışan bir motor aşağı yukarı sabit bir verime ulaşır. Ancak, daha düşük yerlerde verim hızla düşer. Düşük verimler genellikle düşük yükte veya boşta çalışan motorlar nedeniyle oluşur ki; bu durumlar mümkün olduğu kadar önlenmelidir. Şekil 3.16 bunun yanında motor yükünün güç faktörüne olan etkisini de göstermektedir. Düşük yüklerde güç faktöründe olan azalma, verim düşüşünde çok daha fazla etkilidir. Motorların düşük yükte veya boşta çalışmasını en aza indirilmeye çalışılmasının bir diğer nedeni de budur.



Şekil 3.16. Motor verimi, yük seviyesi

- Motor seçimi; motor seçiminde mühendisler, güvenlik faktörünü de göz önüne alarak elektrik motorlarını halen çalışmakta olan eski endüstriyel tesislerde dahil olmak üzere gerekenden daha büyük güçlü olarak seçerler. Düşük güçlü motorlar gereken işin yapılmasını sağlayamazken, çok büyük ebatlı motorlar yatırım maliyetinin fazla olması yanında düşük yükte çalıştıklarından verimleri de düşük olur. Ayrıca düşük yükte çalışan motorların tesisteki güç faktörleri de düşük olur.

- Gerilim sapmaları; motor üreticileri, nominal frekansta gerilim sapmalarının ±%10'u aşmaması konusunda uyarıda bulunmaktadır. Motor dizaynında, üretici firmalar tesisin güç dağıtım sistemindeki gerilim düşüşü için bir pay ayırmaktadır. (Örneğin 380 V'luk sistem gerilimi için, minimum motor gerilimi 340-350 Volt civarındadır.) Gerilim sapmalarının motor verimine oldukça önemli bir etkisi vardır. (Tablo 3.1) Bunun yanında diğer motor parametreleri için de bir takım etkileri

bulunduğundan, motor ömrünün azalmasına yol açar. Tablo 3.1'de özetlendiği gibi, gerilim sapması özellikle gerilim değerleri nominal değerlerden daha yüksek olduğu zaman ters etki meydana getirir. Üç faz arasındaki gerilim dengesizliği motorun çalışması açısından daha önemli etkiler meydana getirdiği için kesinlikle kontrol altına alınmalıdır. Düşük gerilim, motor sargılarında aşırı akımın dolaşmasına neden olduğundan motor kayıpları artar. Ayrıca motorun fazla ısınmasına ve ömrünün kısalmasına neden olur. Bu nedenle motorların çalışması sırasında gerilim değerleri kesinlikle ölçülmelidir. Motor veriminin arttırılmasına yönelik olarak bir kontrol ve koruyucu bakım programı geliştirilmesi gerekir. Motor gerilimi ve akımı(yük) periyodik olarak ölçülmelidir.

Tablo 3.1. İndüksiyon motorunda gerilim sapmalarının etkisi

Çalışma Özellikleri	Gerilim Değişiminin Etkisi		
	% 90 Gerilim	% 110 Gerilim	% 120 Gerilim
Başlangıç ve Maksimum Çalışma Torku	% 19 Azalma	% 21 Artış	% 44 Artış
Senkron Devri	Değişme Yok	Değişme Yok	Değişme Yok
Kayma Yüzdesi	% 23 Artış	% 17 Azalma	% 30 Azalma
Tam Yükteki Hız	% 0.5-1 Azalma	% 1 Artış	% 0.5-1 Artış
Başlangıç Akımı	% 10-12 Azalma	% 10-12 Artış	% 25 Artış
Tam Yükte Akım	% 1-5 Artış	% 2-11 Artış	% 15-35 Artış
Tam Yükte Sıcaklık Artışı	% 6-12 Artış	% 4-23 Artış	% 30-80 Artış
Standart NEMA B Motorları Verimi			
Tam Yükte	% 0.5-1 Artar	% 1-4 Azalır	% 7-10 Azalır
3/4 Yükte	% 1-2 Artar	% 2-5 Azalır	% 6-12 Azalır
1/2 Yükte	% 2-4 Artar	% 4-7 Azalır	% 14-18 Azalır
Güç Faktörü			
Tam Yükte	% 8-10 Artar	% 10-15 Azalır	% 10-30 Azalır
3/4 Yükte	% 10-12 Artar	% 10-15 Azalır	% 10-30 Azalır
1/2 Yükte	% 10-15 Artar	% 10-15 Azalır	% 14-40 Azalır

- Motorların tekrar sarımı; endüstrisi gelişmiş ülkelerdeki çalışmalar, motorda yapılan kötü sarımın motor verimini % 1-4 mertebesinde düşürebildiğini göstermiştir. Tekrar sarım işlemindeki verim kaybı, tekrar sarım tekniklerine bağlı olarak değiştiği bilinir. Yalıtım malzemesinin çıkartılmasını kolaylaştırmak amacıyla motorun yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması, iç direncin zarar görmesine ve böylece manyetik (göbek) kayıplarının artmasına neden olabilir. Gerçekte, tekrar sarım işlemi sırasında tüm kayıplar artabilir. Örneğin tekrar sarım işlemi için daha küçük çapta veya düşük kalitede tel kullanılması stator I^2R kayıplarını arttırır; stator dönüşlerini azalttığı için motorun güç faktörünü düşürebilir; stator veya rotor göbeğine zarar verdiği için hava boşluğu

geometrisini ve stator kayıplarını etkileyebilir. Bununla birlikte tekrar sarılan eski motorların verimleri, sarım tekniğine, kullanılan malzemenin kalitesine ve iş gücünün kalitesine göre azalabilmektedir. Sürtünme ve hava sürtünmesi kayıpları yataklardaki veya gres yağındaki bir değişiklikle, fan ikamesi veya bir montaj işlemi ile artabilir. Sürekli çalışan motorlar da için verimde % 1'lik bir düşüş bile enerji maliyetini önemli derecede arttırdığından bu gibi motorların tekrar sarılması yerine yenisi ile değiştirilmesi önerilir. Bu verimdeki düşüş uzun dönemde enerji tüketiminde önemli artışlara neden olmaktadır.

Enerji verimliliği doğrultusunda elektrik motorlarıyla ilgili yapılabilecek çalışmalar iki kategoride değerlendirilebilinir.

a. Motorların verimlilik sınıflarının yükseltilmesi (yüksek verimli motorlar)

b. Kontrol şekillerinin değiştirilmesi (soft starterler, hız kontrol cihazları)

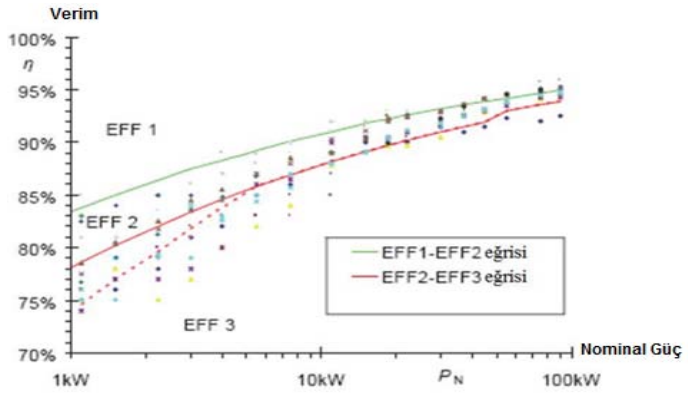
3.4.3.5. Yüksek verimli motorlar

Yüksek verimli motorların üretimi son 15 yıldır artan enerji fiyatları ile paralel olarak gelişmiştir. Bu motorların fiyatları diğer motorlara nazaran % 15 – 25 fazla olduğu halde, kendilerini kısa bir sürede amorti etmektedirler. Bu motorlarda kayıplar daha iyi bir tasarım ve kaliteli malzemelerin kullanılması ile düşürülmektedir. Primer I^2R kayıpları stator sargılarında kullanılan bakır iletkenin kesitinin arttırılması ile düşürülebilir. Demir göbek kayıpları akı yoğunluğunun azalması ile, genellikle stator göbeğinin boyunun arttırılması ile sınırlanabilir. Bunun yanında bu kayıplar levha kalınlığının azalması ve kaliteli alaşımlı kullanılarak da azaltılabilir. Sürtünme ve hava sürtünmesi kayıpları için tasarımda iyileştirmeler olabilir. Ayrıca yüksek verimli motorlarda azalan kayıplar nedeniyle açığa çıkan ısının dışarıya verilmesi gereksinimi azalır.

Pompaları, fanları ve kompresörleri kontrol eden elektrik motorları toplam tüketilen endüstriyel enerjinin % 60'ından fazlasını oluşturmaktadır (Anonymous, 2009). Bir elektrik motoru tasarım kriterlerine göre belirtilmiş ömrünü doldururken, kullanıcı önemli bir karar vermek zorundadır. Olası uygulamalar mevcut motorun tekrar sardırılması ve onarımı veya yeni bir motor ile değiştirilmesidir. Genellikle bu karar ilk yatırım maliyeti ile yakından ilgili olsa da, toplam motor maliyetinden bahsedildiğinde servis ve bakım maliyetleri de ihmal edilmemelidir. Tipik olarak 20 yıllık ömrü olan bir elektrik motoru için toplam maliyetin %1'i ilk satın alma, %1'i servis ve bakım, geriye

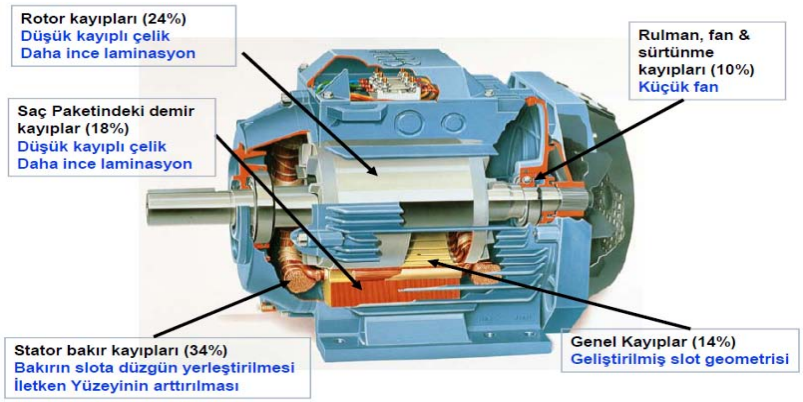
kalan %98'si ise enerji tüketim maliyetleri olmaktadır (Doppelbauer, 2007). Eski ve verimsiz bir motor sisteminin, yeni ve yüksek verimli bir sistem ile değiştirilmesi genellikle 10 yıl önceki motorlara göre %3 daha verimli olmaktadır.

Aşağıda şekil 3.17'de görüldüğü gibi EFF1 ile gösterilen bölümdeki motorlar en yüksek verime sahiptirler, bunlara yüksek verimli motorlar denilmektedir. İki çizgi arasında kalan bölgedeki motorlar EFF2 verim sınıfındadır. Bu tip motorlara eskiden verimli motorlar denilmekteyken, artık günümüzde EFF2 motorlar standart motor olarak adlandırılmaktadır. En alttaki bölümdeki EFF3 motorlar ise önceden standart motor olarak adlandırılırken artık üretimi sınırlandırılmaktadır. Bu motorlar hiçbir enerji verimliliği standardı ile uyumlu olmayıp, çoğu tesiste kullanılmamaya başlamıştır (Slaets ve ark., 2000).



Şekil 3.17. Farklı üreticilere ve güçlere göre motor verimleri

Standart motor ile yüksek verimli motorların verimle ilgili kıyaslamalar Şekil 3.18'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi yüksek verimli motorlar, ortalama yaklaşık % 5 verim artışı göstermektedir.



Şekil 3.18. EFF1 Enerji verimli motorlar

Yapılan tahminlere göre Avrupa Birliği içindeki tüm motorların EFF1 motorlar ile değiştirilmesi sonucunda toplamda %1.3 oranında elektrik enerjisinde tasarruf yapılabilecektir (Anonymous, 2009). Yaklaşık olarak bu tasarruf 150 TWh /yıl anlamına gelmektedir. Buna ilave olarak sistematik olarak yapılacak hız kontrol cihazları modernizasyonu ile tasarruf miktarı %8 daha artacaktır.

3.4.3.6. Termik santrallerde elektrik motorlarının enerji verimini arttırmak

Elektrik motorlarının uygulama alanları çok çeşitlidir. Termik santrallerde belli başlı tasarruf alanları olarak şunlar sayılabilir.

- Kömür Çıkarıcı Motorları
- Park Makinesi Çark Motorları
- Bant Motorları
- Pompalar
- Kompresörler
- Fanlar
- Takım Tezgahları vb.

En verimli ve ekonomik çalıştırmaya başlandıktan sonra motorlar, düzenli ve özel olarak bakıma alınmalıdırlar. Motorların çalışma ömürlerini uzatabilmek, verimli ve sürekli çalışmalarını sağlamak ve daha az enerji sarf etmelerini sağlamak için şu hususlar dikkate alınmalıdır.

- Yüksek devir hızında çalışan motorlar tam yükte çalışırken, alçak devir hızında çalışan motorlarından daha verimlidir. Ancak bu yüksek devir hızında çalışan motorların her sistemde en verimli oldukları anlamına gelmez. Hızın sık sık değiştiği vitesli ve makaralı işletmelerde alçak devir hızında çalışan motorlar daha yüksek verim sağlar, çünkü yüksek devir hızında çalışan motorların hızları değiştirildikçe verimleri büyük oranda azalır.
- Tam yükle çalışan motorların güçleri arttıkça verimleri de aynı oranda artar. Ancak düşük güç gerektiren işlerde gereğinden daha güçlü motor kullanmak verimi büyük ölçüde düşürür. Tam yüklerinin % 50 ile % 60 kapasitesinde çalışan çok sayıda motora rastlamak mümkündür. Ancak bunlar hem güç faktörünü düşürürler hem de düşük verimli çalışırlar. Bu yüzden bu motorlar daha küçük güçteki uygun motorlar ile yenilenmelidir.
- Motor verimi aynı zamanda yapıldığı parçalara bağlıdır.

- Güç faktörünü olabildiğince yüksek tutabilmek için motor tam yük veya tam yüke yakın bir güç ile çalışmalıdır.
- Isı kayıplarını en aza indirebilmek için iletkenler üzerinde yük mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.
- Kontaktörler sık sık kontrol edilmelidir; düşük voltaj bazen bu kontaktörlerin devre dışı kalmasına neden olur, bu da hem zaman hem de enerji kaybına neden olur.
- Kompresöre yol veren motorlar % 50 ve daha aşağı kapasite ile çalıştıkları takdirde daha küçük kompresör ve daha düşük güçteki uygun bir motor ile değiştirilmelidir.

3.4.4. Statik yolvericiler (soft starter)

Güç dengeleyicisi olarak çalışan soft starterler, standart AC indüksiyon motorlar için, düşük gerilimli motor kontrol cihazları ve starterleridir. Bu cihazlar;

i. Elektrik enerjisi tüketiminde tasarruf sağlamakta,
ii. Motorun güç faktörünü yükseltmekte,
iii. Motora yumuşak bir yol verme sistemi sağlamakta,
iv. Motorun çalışma ısısını düşürmekte,
v. Motorun beslendiği gerilimi gereken seviyede tutabilmekte,
vi. Faz kayıplarından motoru korumaktadır.

i. Elektrik enerjisi tüketiminde tasarruf

Düşük yükte çalışan motorlar tam yükte çalışıyorlarmış gibi istenenden daha fazla güç tüketirler. Bu motorlar düşük yüklerde boşa enerji harcarlar. Bu nedenle, soft starterler güç tüketiminin yük koşullarıyla daha orantılı olmasını sağlayarak, motorun koşullarını yüke elektronik olarak uydurur.

ii. Güç faktörünü yükseltme

Soft starterler güç faktörünü kontrol eder elektronik devre yapısında bulunan teknik özellikler ile motorun güç faktörünü yükseltir.

iii. Yumuşak yol verme

Yumuşak yol verme sistemi ile motorlara ayarlanabilir bir zaman dilimi içinde düzgün ve basamaksız ivme verilmesi sağlanır. Normal çalışma sırasındaki akımdan 6-8 kat fazla olan kalkınma akımları yüksek devirli motorların zamanından önce bozulmasına neden olur. Böylece daha düşük çalışma sıcaklığı ve daha uzun ömür

sağlanır. Soft starter, kalkınma akımını normal çalışma akımının 2-3 katına kadar düşürür. Ayrıca motorun ters yönde döneceği veya hızının değiştirileceği zamanlarda da yumuşak yol verme uygulanır.

iv. Motorun çalışma ısısının düşürülmesi

Normalde ısıya dönüşen akım azaldığı için, motor daha soğuk olarak çalışır. Motorun güç faktörünü yükselterek motorda oluşan ilave kayıpları azaltarak ısıya sebep olan akım azalır.

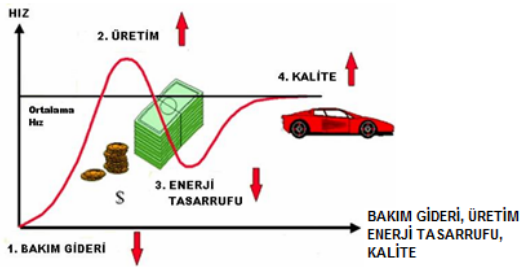
v. Gerilim ayarı

Düşük gerilim kontrolü, kontrol cihazının minimum çalışma gerilimini ayarlar. Giriş gerilimi operatör tarafından belirlenen seviyenin altına düşerse kontrol cihazı motoru devre dışı bırakır. Kapatma seviyesi çalışma geriliminin % 50'sinden % 100'üne kadar değişebilir.

vi. Faz kaybından motoru koruma

Üç fazlı motorlar dengeli üç güç hattı ile çalışacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Herhangi bir nedenden doğan bir faz kaybı, motorun yanmasına ya da pahalıya mal olabilecek devre dışı olma zamanına neden olabilir. Bir ya da birden fazla fazdaki giriş gücünde bir kayıp olduğu takdirde, soft starter koşullar eski haline dönünceye kadar motoru durdurur ve korur.

3.4.5. Hız kontrol cihazları



Şekil 3.19. Hız kontrol cihazı kullanmak için 4 ana neden

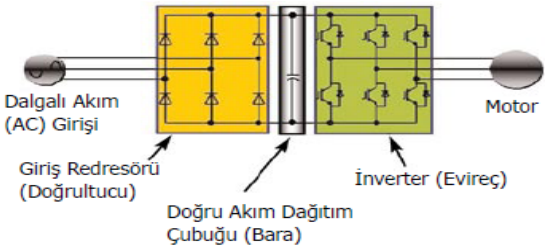
Hız kontrol cihazı kullanmak için 4 ana nedeni aşağıdakiler olarak sayabiliriz:

- Azalan bakım giderleri; diğer yol verme çeşitleri ile karşılaştırıldığında mekanik ve elektriksel yüklenmeler minimuma iner, bakım gerekliliği azalır.

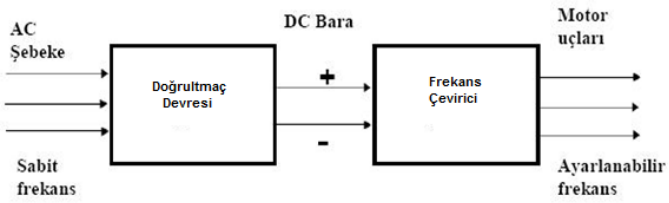
- Üretim artışı; gerektiğinde hızı nominal hızın üzerine çıkararak üretim artışına olanak sağlar.
- Enerji tasarrufu; pompa ve fan gibi birçok uygulamada prosesin ihtiyacını sağlayan düşük hızlarda büyük miktarda enerji tasarrufu yapılabilmesini sağlar.
- Kalite artışı; optimum proses kontrolü ile ürün kalitesi artar.

Bilinen tüm diğer motor hız kontrol yöntemlerinin içinde en bilineni frekans kontrolüdür. Motora uygulanan şebeke frekansının değiştirilmesi için kullanılan cihazlara frekans konvertörleri, sürücüler, hız kontrol cihazları veya frekans inverterleri denilmektedir. AC hız kontrol cihazı esas anlamıyla motorun hızının değiştirilmesi için, motora sağlanan gerilimin frekansını değiştirebilen bir cihazdır.

Hız kontrol cihazı öncelikle tek fazlı veya üç fazlı alternatif (AC) besleme gerilimini girişindeki diyot veya tristörler yardımı ile doğru gerilime (DC) çevirir. Daha sonra doğru gerilim değişik anahtarlama yöntemleri ile tekrar istenen frekansta alternatif gerilime çevrilerek motora uygulanır. Hız kontrol cihazına giren frekans 50 Hz değerinde sabit olup, çıkışındaki frekans uygulamaya bağlı olarak değişken olabilir. Tipik bir AC hız kontrol cihazının yapısının gösterildiği Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de görüldüğü gibi, cihazın çıkışındaki frekans isteğe bağlı olarak ayarlanabilmektedir. IGBT çevirici, hız kontrol cihazının motor çıkış tarafındaki doğru gerilimi istenilen frekansta alternatif akıma dönüştüren modüldür. Modül içerisinde yüksek anahtarlama frekansına sahip tranzistörler bulunmaktadır.

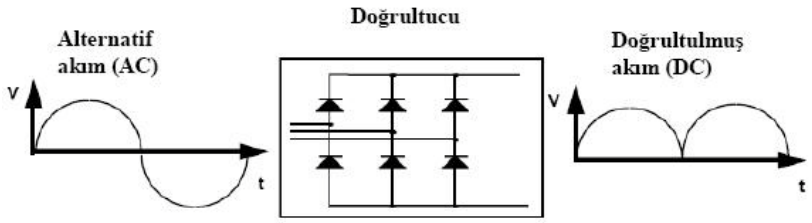


Şekil 3.20. Hız kontrol cihazının yapısı-1



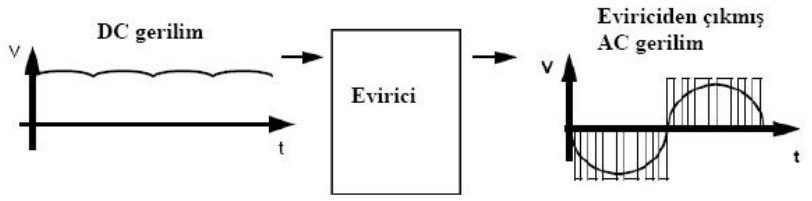
Şekil 3.21. Hız kontrol cihazının yapısı-2

Diyot köprüsü her faz içinde iki adet diyot veya tristör bulunan ve alternatif akımı doğru akıma çeviren bir sistemdir. Bu köprü sayesinde hız kontrol cihazının giriş tarafındaki akım doğrultularak DC baraya aktarılır. Şekil 3.22'de doğrultulmuş bir akım dalga şekli görülmektedir.



Şekil 3.22. Doğrultucunun yapısı

Doğrultucudan çıkan gerilimin dalga şekli düzensiz ve kabadır. Değişik filtreleme yöntemleri DC gerilimi düzeltmek için uygulanabilir. İstenilen mümkün olduğunca düz ve sabit bir değerde DC akım dalga şekli elde etmektir. Bu filtreleme işlemi doğrultucu ile evirici arasında DC bara içinde yapılır. Daha sonra düzleştirilmiş gerilim eviriciye yollanır. Şekil 3.23'te eviricinin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.23. Eviricinin yapısı

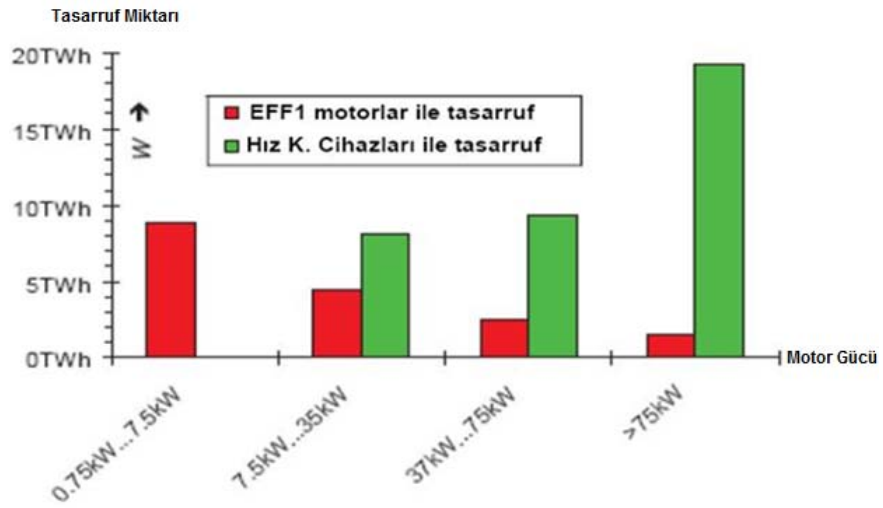
Evirici tekrar motora sağlanacak alternatif akımı oluşturur. Eviriciler darbe genişlik modülasyonu prensibi (PWM) ile çalışırlar. Evirici içinde bulunan IGBT modülleri yüksek anahtarlama frekanslarında çalışarak doğru akımı istenen frekansta alternatif gerilim haline çevirmek için tetiklenirler. Günümüzde IGBT'lerin gelişmesi ile anahtarlama frekansları 16 kHz mertebelerine kadar çıkabilmektedir. Bununla birlikte çoğunlukla 2.5 – 4 kHz değerleri kullanılmaktadır.

3.4.5.1. Hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği

Hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği konusunda endüstride öncelikli uygulama alanları; pompalar, fanlar ve kompresörlerdir. Bunun nedenleri;

- Kullanılan motorların güç tüketimleri yüksektir.
- İlk kuruluşta maksimum kapasitenin üzerinde motorlar seçilir.
- Elektrik motorlarının yaklaşık % 60'ı bu uygulamalarda çalışmaktadır.
- Ömür boyu maliyet içinde (LCC - Life Cycle Cost) enerji maliyetleri büyüktür.

Endüstride kullanılan fan ve pompa motorlarında, yükün talep ettiği tork değeri hızın karesi ile değiştiğinden hız kontrol cihazları ve yüksek verimli motorların kombinasyonu ile yüksek enerji tasarrufu elde edilebilmektedir. ERA tarafından yapılan araştırmalarda EFF1 sınıfındaki motorların kullanımı ile hız kontrol cihazlarının kullanımından yapılacak tasarruf oranları motorun güç değerlerine göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Şekil 3.24'te EFF1 motorlar ve hız kontrol cihazları ile elde edilen tasarruf değerleri gösterilmektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi küçük motorlarda EFF1 yüksek verimli motorlar daha iyi sonuç verirken, 7.5 kW'dan büyük motorlarda hız kontrolü daha yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 3.24. EFF1 Motorlar ile hız kontrol cihazlarının karşılaştırılması

Birçok motor sistemi değişken yük ihtiyacı altında klasik kontrol sistemleri (vana, damper, klape, vb...) ile kontrol edilmektedirler. Pompalar için by-pass yöntemi, akışkanın bir hazne veya depoya geri gönderimi (sirkülasyon) gibi farklı kontrol yöntemleri de vardır. Ancak tüm bu yöntemlerin ortak özelliği, elektrik motorunun

nominal hızda (sabit hızda) ve tam yük koşullarında çalıştırılmasıdır. Bu şekilde yükün değişken olduğu zaman aralıklarında motor yükün durumuna göre gereken ihtiyaç koşullarına uygun olarak hızını azaltamadığından önemli oranlarda enerji israfı yapılır.

Pompaların veya fan sistemlerinin ihtiyaç duydukları yük eğrisi değişken yük eğrisidir. Bu tip değişken yük eğrisine sahip yüklerdeki akış, hız, basınç ve güç eşitliklerine bakıldığında gücün hızın küpü ile orantılı olduğu görülür.

n: motorun hızı (devir/dakika), Q: akış (m^3/h), p: basınç (bar), kW: güç (kW) olarak ifade edilirse;

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{n_2}{n_1}\ ,\ \frac{p_2}{p_1}=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2,\ \frac{kW_2}{kW_1}=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \tag{3.8}$$

n: motorun hızı (devir/dakika), f : frekans, p : çift kutup sayısı olarak ifade edilirse;

$$n=\frac{f\ x\ 60}{p} \tag{3.9}$$

T: motorun momentini (Nm), P : motor gücünü, n: motorun hızı (devir/dakika) olarak ifade edilirse

$$T=\frac{P\ x\ 9750}{n} \tag{3.10}$$

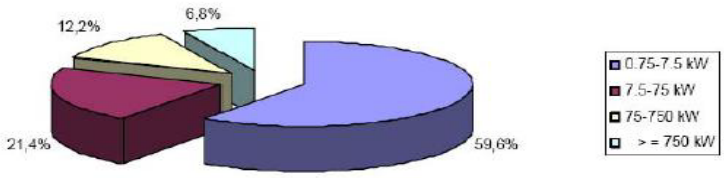
olarak gösterilir.

Hız kontrol sistemleri enerji verimliliğine ilave olarak;

- Hassas proses kontrolünü
- Daha uzun cihaz ömrünü
- Yumuşak hızlanma ve yavaşlamayı sağlarlar.

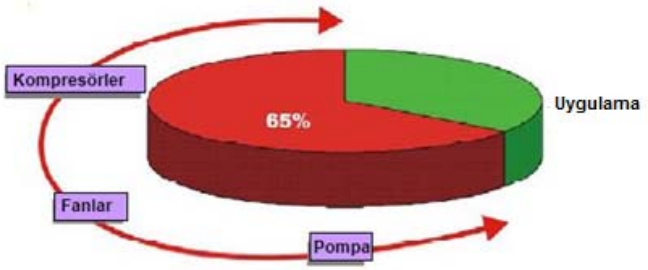
Motor hız kontrolü yöntemi ile üretimde yük ihtiyacına göre motorun hızı gerektiği kadar ayarlanarak çok önemli enerji tasarrufları yapılabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi fan, pompa ve kompresör sistemlerinin büyük bir çoğunluğunda güç ihtiyacı akışın küpü ile orantılıdır. Akış, hız ile direkt olarak değişirken; hızda yapılacak %20 oranında bir azalma yaklaşık %50 enerji verimliliği olarak işletmeye geri dönecektir.

Hız kontrol cihazları motora uygulanan gerilimin frekansını değiştirerek motorun anlık olarak hızını değiştirebilmektedirler. Özellikle yük ihtiyacının zaman içinde sabit kalmadığı uygulamalarda motorun çıkış kapasitesinin (debi, sıcaklık, basınç, vb.) de düşürülmesi enerji verimliliği sağlar. Biraz daha basit anlamıyla bakılırsa, eğer yük ihtiyacı değişiyorsa motorun da hızının bu oranda değiştirilmesi ile termik santrallerde birçok alanda yüksek enerji tasarrufu yapılabilir. Şekil 3.25'te görüldüğü gibi endüstride tüketilen toplam enerjinin %70'den fazlası elektrik motorları tarafından harcanmaktadır (Anonymous, 2009). Şekil 3.25'te görüldüğü gibi, harcanan enerjinin % 59.6'sı 0.75-7.5kW arası motorlarda, % 21.4'ü 7.5kW – 75kW ve %12.2'si 75kW – 750kW arasındaki motorlarda, % 6.8'i gücü 750 kW ve üzerindeki motorlarda tüketilmektedir (Anonymous, 2007).



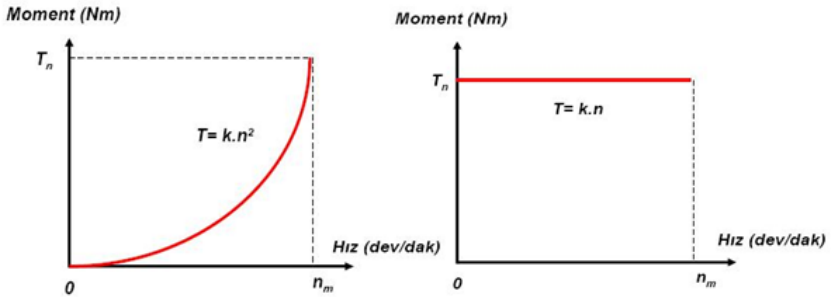
Şekil 3.25. Motorların güçlere göre dağılımı

Hız kontrol cihazları ile özellikle değişken torklu uygulamalarda (fan, pompa ve kompresörler gibi) yüksek enerji tasarrufu sağlanabilir. Endüstride temel olarak sabit torklu ve değişken torklu olmak üzere iki tip hız kontrol uygulama tipi mevcuttur. Şekil 3.26'da görüldüğü gibi kullanılan elektrik motorlarının % 65'i değişken tork uygulamaları olup bu uygulamalar bir akışkanın hareket ettirilmesi prensibine dayanmaktadır. Kompresörlerde basınçlı hava, pompalarda su, yağ, vb. akışkanlar ve fanlarda da hava bir yerden başka ortama taşınır. Değişken torklu uygulamalarda tork ihtiyacı ve eğrisi hızla karesel olarak değişirken, sabit torklu uygulamalarda tork ihtiyacı hızdan bağımsız, her hız değerinde sabittir.



Şekil 3.26. Değişken tork uygulamalarının oranı

Şekil 3.27'deki tork eğrisi(a) hızla karesel değişmektedir. Bu duruma örnek olarak bir fan sisteminde düşük hızlarda düşük tork, yüksek hızlarda çok daha fazla tork ihtiyacı gösterilebilir. Bunun tersine, Şekil 3.27'de verilen gibi sabit torklu(b) sistemlerde, örnek olarak bir konveyör sisteminde, hız ne olursa olsun sistem tarafından talep edilen tork değeri sabittir.



a b

Şekil 3.27. Değişken(a) ve sabit torklu(b) sistemlerde hız ve tork eğrisi

3.4.5.2. Hız kontrol cihazlarının mekanik faydaları

Hız kontrol cihazları mekanik fayda olarak;

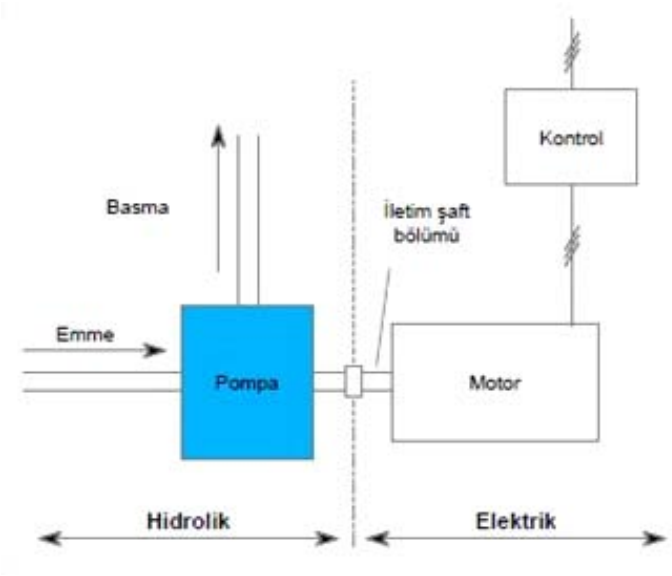
- Mekanik darbeleri azaltır. (Hammering effect)
- Boşluk oluşumu riskini azaltır.
- Kalkışta tork sıçramaları oluşmadığı için mekanik aksamları da yıpratmazlar.
- Ömür boyu maliyet içinde bakım giderlerini düşürür.

3.4.6. Pompalarda enerji tasarrufu

Pompalama işlemi endüstri tesisi olan termik santrallerde elektriksel gücün en yaygın uygulama alanlarından birisidir. Pompaların çalışma veriminin arttırılması hiç kuşkusuz bu alanlarda güç tüketimini büyük ölçüde etkileyecektir. Başlıca pompa çeşitleri santrifüj, eksenel ve pistonlu pompalardır.

Pompaların çalışma prensipleri incelendiğinde iki ana bölüm olduğu görülmektedir. Şekil 3.28'de gösterildiği gibi bunlar; hidrolik ve elektrik bölümleridir. Hidrolik bölümde pompa akışkanı bir yerden emerek, istenen yere doğru daha yüksek

basınçla basmaktadır. Bunun mümkün olabilmesi için elektrik motorunun bir kontrol birimi ile kontrol edilmesi gerekir.

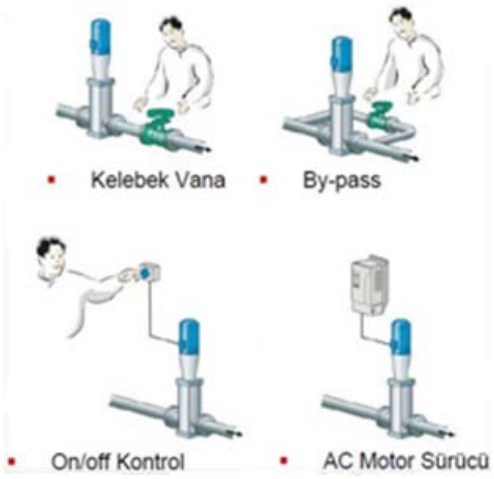


Şekil 3.28. Pompa sistemlerinin yapısı

Termik santrallerde yoğun olarak kullanılan santrifüj pompalar (hidrodinamik pompalar) dönen bir çark ve pompa gövdesi olarak adlandırılan iki ana parçadan oluşur. Gövdenin emme ve basma kısımları vardır. Santrifüj pompalarda suya verilen enerji üzerinde kanatlar bulunan ve bir eksen etrafında dönen çark tarafından sağlanır. Çarkın sıvıya verdiği kinetik enerji, sıvı çarktan ayrıldıktan sonra yayıcı ve salyangoz içerisinde basınç enerjisine dönüşür. Santrifüj pompalar sıvıyı bir seviyeden diğer bir seviyeye sürekli bir şekilde basar. Bir mile bağlı olan çarkın devir sayısına göre sıvının basıncı sınırlı bir şekilde arttırılır. Çarkın devir sayısı çok geniş aralıklarda olabilir. Santrifüj pompada çark sıvıyı belli bir yüksekliğe kadar basar. Sıvıyı daha fazla yüksekliklere basmak için çarklar aynı gövde içinde seri bağlanır. Bir santrifüj pompanın bastığı sıvı miktarının arttırılması için pompalar paralel bağlanırlar.

Pompa sistemleri, fan sistemleri gibi değişken tork yapısına sahiptirler. Santrifüj pompalar daha önceden bahsedildiği gibi değişken tork yapısına sahip olup, yüksek enerji tasarrufu potansiyeli olan uygulamalar arasındadır. Değişken tork yapısına sahip yük karakteristiklerinde tork değeri motor hızının karesi ile orantılı olarak değişmektedir ($T=k.n^2$). Pompa motorlarında nominal tork değerine ulaşana kadar, tork değeri hızın karesi ile orantılı olmaktadır. Kalkış anında ihtiyaç duyulan başlangıç tork değeri yüke bağlı olarak değişebilmektedir.

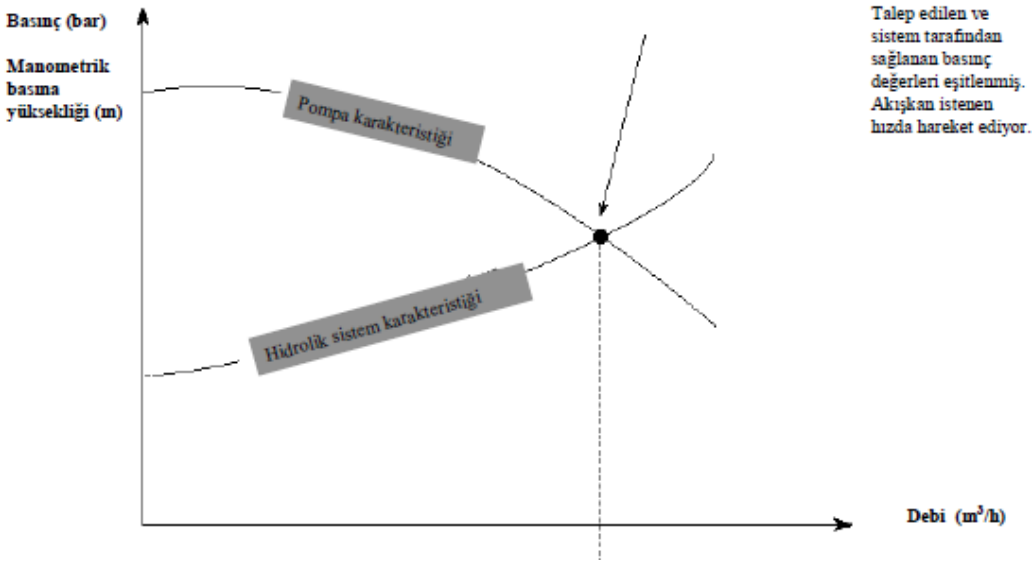
Pistonlu pompalarda (hacimsel pompalar) silindir içinde hareket eden piston, sıvının basıncını arttırır. Pistonun geri hareketinde ise emme subabı kapanır, sıvı sıkışır ve basma subabı açılır. Pistonlu pompalar sıvıyı kesikli şekilde basarlar. Pistonlu pompalarda yüksek basınç ve dolayısıyla büyük basma yüksekliklerine erişebilirler. Pistonlu pompaların devir sayısı sınırlıdır (10-100 devir/dak). Pistonlu pompalar, dişli pompalar ve rotatif pistonlu pompalar, hacimsel pompalar grubuna girer. Bu pompalara hidrostatik pompalar da denir.



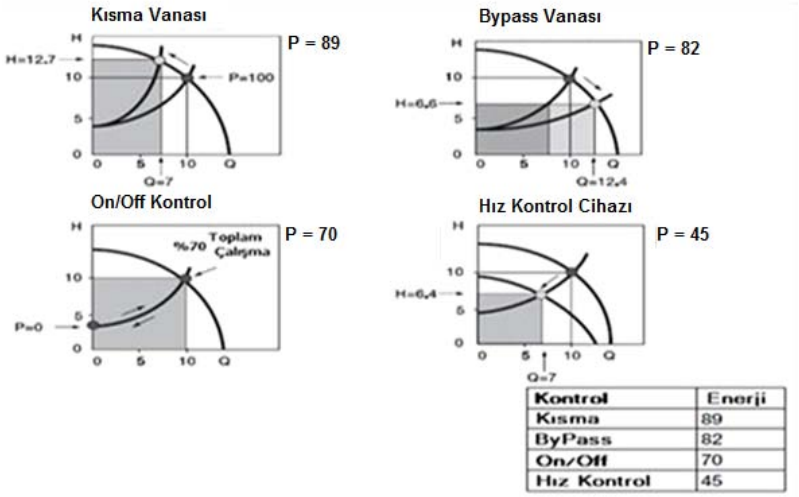
Şekil 3.29. Pompalarda kontrol yöntemleri

3.4.6.1. Pompalarda hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği

Pompalarda hız kontrol cihazları kullanıldığında, pompaların çalışma eğrisi bilinmesi gereken diğer önemli noktalardan biridir. Her pompanın bir çalışma karakteristiği bulunur. Bu karakteristikte bir eksen akışı, debi olarak ifade ederken; diğer eksen manometrik basma yüksekliği veya basınç değerini vermektedir. Bu karakteristik eğride debi (Q) m^3/h olarak, basma yüksekliği (H) ise metre olarak gösterilir. Bu eğriye göre uygun çalışma noktası belirlenir. Çalışma noktası pompa karakteristik eğrisi ile hidrolik sistemin veya akışkan talep eğrisinin çakıştığı noktadır. Değişik hidrolik sistem eğrilerine göre bir pompanın birden fazla çalışma noktası olabilir. Şekil 3.30'da bir pompaya ait çalışma eğrisi örnek olarak gösterilmektedir.



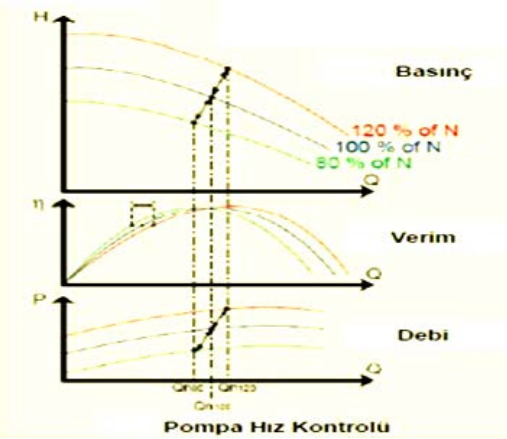
Şekil 3.30. Pompalarda çalışma noktasının belirlenmesi



Şekil 3.31. Pompalarda kontrol yöntemlerinin enerji tüketimi karşılaştırması (H: Basma yüksekliği, Q: Debi, P: Güç) (Yılmaz, 2007)

Pompaların çalışma karakteristikleri hidrolik sisteme göre değişebilmektedir. Ancak pompaların hızının sistem taleplerine göre değiştirilmesi istendiğinde, bunun yapılabilmesi için hız kontrol cihazlarının kullanılması zorunludur. Daha önceden de bahsedildiği gibi sistemdeki yüke göre hız kontrolü yapılmadan, bir motor sisteminde (fan, pompa, kompresör, vb.) enerji tasarrufu istenen verimde yapılamaz. Şekil 3.31'de görüldüğü gibi "N" pompanın nominal hızını gösterirse, pompanın hızı değiştirildiğinde karakteristik eğrisi aşağı veya yukarı kaymaktadır. Buna göre %120 nominal hız değerinde eğri nominal hıza göre daha yukarıda olmaktadır. Aynı şekilde hız kontrolü

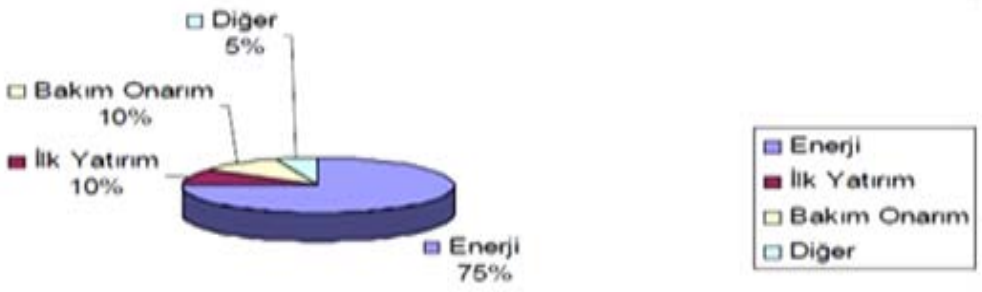
yapıldığında motor verim ve sistemin debi değerlerindeki değişimler de görülmektedir (Önöz, 2008).



Şekil 3.32. Pompalarda Basınç, Verim ve Debi Eğrileri

3.4.7. Fanlarda enerji tasarrufu

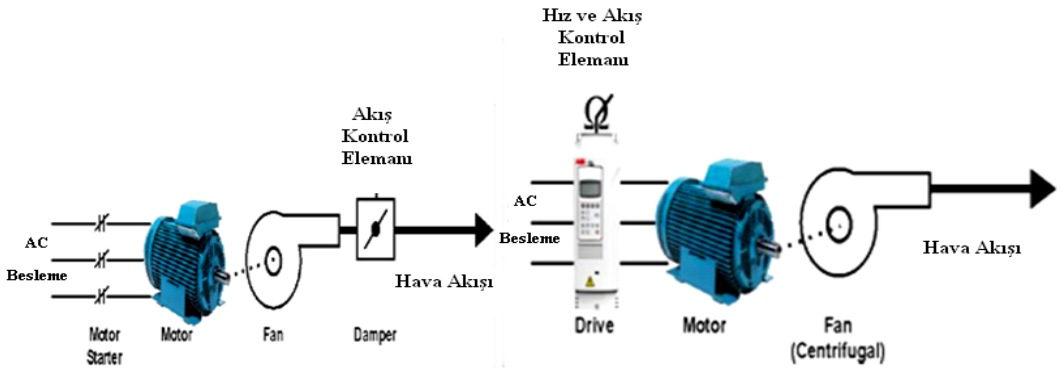
Fanlar termik santrallerde havanın sağlanması ve dışarıya atılması için kullanılan donanımlardır. Fanlar genel olarak eksenel, santrifüj ve karışık akışlı olmak üzere üçe ayrılır. Bugün kullanılan fanların bir çoğunun elektrik enerji fiyatlarının oldukça düşük ve enerji ile ilgili kaygıların duyulmadığı bir zamanda seçilme ihtimali yüksektir. Bu nedenle günümüzdeki yüksek maliyetler, fanların minimum proses gereksinimlerinde çalıştırılmalarını zorunlu hale getirmiştir. Hava debisinin azaltılması, fanda enerji tasarrufu için kullanılan en yaygın yoldur.



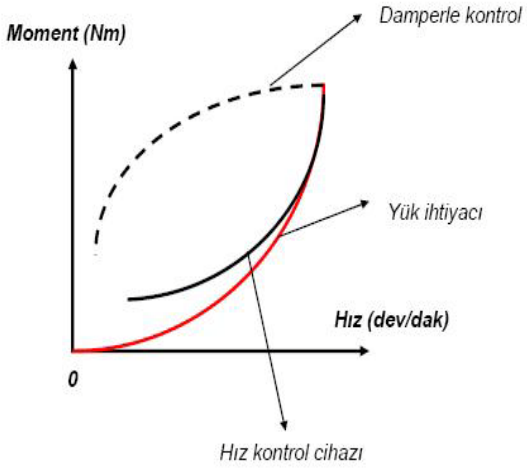
Şekil 3.33. Pompa ve fanlarda ömür boyu maliyet oranları (LCC-Life Cycle Cost)

3.4.7.1. Fanlarda hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği

Fanlar için hız kontrol cihazının uygulanması düşünüldüğünde ihtiyaç duyulan, gerekli olan yükte değişik hızlarda çalıştırma için fanın uygun olup olmadığı, bu tür bir çalıştırmaya uygun özellikleri taşıyıp taşımadığı araştırılmalı ve gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Eğer fanla ilgili herhangi bir tanımlama yapılamaz ise ilişkili olan santrifüj veya aksiyel akış sistemi ile ilgili konular üzerinde çalışma yapılmalıdır. Aksiyel akışın değişken olduğu birimlerde tasarım verimlilik avantajları çok avantajlı değişken hızlı sürücüler hariç olmak üzere diğerlerinde dikkatlice değerlendirilmelidir.



Şekil 3.34. Fanlarda kontrol yöntemleri: damper ve hız kontrol cihazı



Şekil 3.35. Hız kontrol ve damper kontrolünde enerji tüketimi karşılaştırması

3.4.8. Kompresörlerde enerji tasarrufu

Basınçlı havanın bir çok avantajlara sahip olması nedeniyle onun yüksek maliyetli bir güç kaynağı olduğu sık sık gözden kaçırılır. Endüstride basınçlı hava akımını, gerçek sıkıştırma şartlarını her zaman belirtme gereğinden kaçınmak için, sanki atmosferik basınçta hava akımıymış gibi 'serbest hava akımı' olarak adlandırmak genel bir uygulamadır. Bu da basınçlı havanın maliyetinin bir miktar göz ardı edilmesine yol açmaktadır.

Basınçlı hava uygun, güvenli ve emniyetli olduğu için bir güç kaynağı olarak;

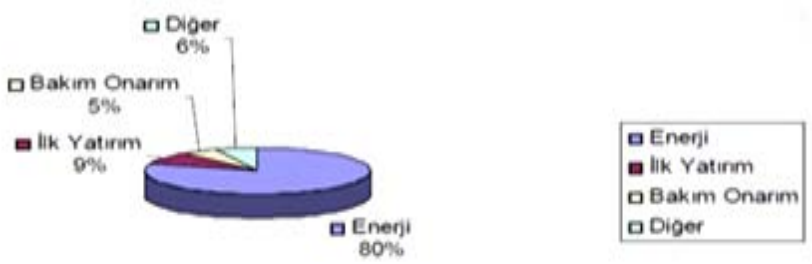
- Hava motorlarında
- Kontrol valflerinde, pnömatik valflerde, seviye kontrolörlerinde vb.
- Delme işlemlerinde
- Hava tabancalarında
- Boya spreylerinde

ve diğer bir çok amaçla kullanılmaktadır.

Basınçlı hava kullanımının bazı avantajları şunlardır:

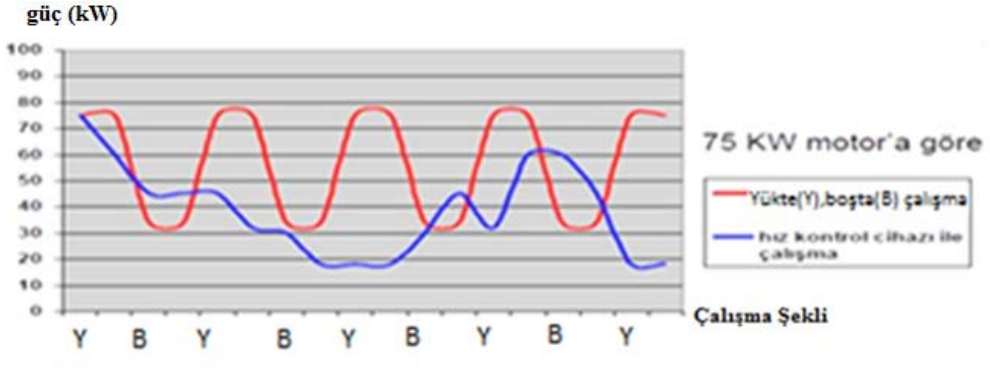
- Pnömatik enerjinin kaynağı olan hava atmosferde bol miktarda bulunur.
- Basınçlı hava uzak mesafelere taşınabilir.
- Ateş alma tehlikesi olmadığından sıcak ortamlarda ve elektrikli aletlerin kullanılması sakıncalı olduğu ortamlarda emniyetle kullanılabilir.
- Hava temiz olduğundan çevreyi kirletmez.
- Devre elemanları basit ve ucuzdur.
- Aşırı yüklenmelere karşı emniyetlidir.
- Yüksek hız elde edilmektedir.
- Hız ve üretilen kuvvet değişik değerlere ayarlanabilir.

Elektrik enerjisini veya mekanik enerjiyi, pnömatik (basınçlı hava) enerjiye dönüştüren, diğer bir tanımla; basınçlı hava üreten makinelere kompresör denmektedir. Basınçlı hava kompresörleri çalışma prensipleri bakımından dinamik ve deplasmanlı olmak üzere iki ana gruba ayrılır.



Şekil 3.36. Kompresörlerde ömür boyu maliyet oranları (LCC-Life Cycle Cost)

Kompresörlerde 75 kW motora göre değişken güç tüketimi şekil 3.37'de gösterilmiştir (Yılmaz, 2007).



Şekil 3.37. Kompresörlerde değişken güç tüketimi

- AC motor sürücü olmayan kompresörde çalışma profili yükte (load) %100 güç tüketimi, boşta (unload) %40-50 güç tüketimi şeklinde özetlenebilir.
- AC motor sürücü takıl olan kompresörde sistem ihtiyacına bağlı olarak sürekli güç değişimi sağlanır.

3.4.8.1. Kompresörlerde hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği

Bir endüstriyel tesiste kullanılan basınçlı havanın miktarı gün boyunca sabit değildir. Bu nedenle kompresörler için arz ve talep dengesini sağlamak üzere bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Kontrol sistemleri sayesinde % 5 - % 20 arasında bir enerji tasarrufu sağlanması mümkündür.

Pek çok kompresör zamanın önemli bir kısmında tam yükten daha az yükte çalışır. Zamanın belirli bir süresi için kısmen veya tamamen yüksüz olarak çalıştırılan bir kompresör, düşük güç faktörü nedeniyle tam yükte tüketmiş olduğu gücün % 75'ini tüketebilir. Bu da motor verimliliğini azaltır.

En yaygın kontrol metotları yük-boş kontrolü ve ayarlama (modulating) kontrolü olmakla beraber son zamanlarda çeşitli kompresör üreticileri ve endüstriyel tesisler değişken hız sürücüsü (VSD- Variable Speed Drive) kontrolünü da uygulamaktadır.

Kompresörlerde değişken hız kontrolünde; pistonlu ve vidalı kompresörlerde ideal kontrol sistemi değişebilir hız ile olmaktadır. Daha önceleri değişen hızda çalışan elektrik motorları oldukça pahalı idiler ve bunların kontrol sistemleri çok yer tutuyordu. Geliştirilen kontrol sistemi ile daha ucuz ve daha az yer kaplayan hale gelmiş ve motorlar da geliştirilmiştir. Kompresörlerde değişken hız kontrolü; elektrik motoruna farklı frekans ve voltaj verilerek motorun dolayısıyla vidanın veya pistonun devrinin değiştirilmesi prensibine dayanır. Böylece istenilen miktarda ve basınçta hava temin edilmesi sağlanır (Anonim, 2009).

Kompresörler, hız kontrol cihazlarıyla birlikte çalıştıklarında;

- Değişen hava ihtiyacına bağlı, güç tüketimini kontrol ederek daha az enerji tüketirler.
- Değişken hızlı çalışma ile yükte ve boşta çalışma geçişlerindeki enerji kayıpları önlenir.
- Basınç seviyesindeki daha hassas kontrol sayesinde daha düşük net basınç kullanımına olanak verir.

Tablo 3.2. Enerji verimli motor sistemleri için bazı Avrupa ülkelerinde belirlenen enerji tasarrufu potansiyelleri

	Tasarruf potansiyeli (milyar kWh/yıl)			
	Fransa	Almanya	İtalya	İngiltere
Yüksek verimli motorlar	4	6	4	3
Hız kontrol cihazları	8	10	7	6
Motor sistemlerinde uygulama tarafı (pompa, fan, kompresör)	19	26	17	15
Toplam elektrik enerjisi tasarruf potansiyeli	31	42	28	24

3.4.9. Termik santrallerde kullanıcılara öneriler

- Termik santrallerde aktif enerji yönetimi programı iç ihtiyaçların izlenebildiği sayaçlardan elde edilen değerlerin takibi ile başlar. Bu değerlerin izlenmesi ve düzenli olarak değerlerin tablolanması veya grafiklendirilmesi aşırı tüketimlerin hemen fark edilmesini sağlayacaktır.

- Kullanılmayan elektrikli cihazlar kapatılmalıdır. Bunlara örnek olarak fanlar, kompresörlerdir.
- Sürekli kullanılmayan elektrikli ekipmanın ihtiyaç olana kadar elektriki bağlantıları iptal edilerek kontrol dışı atıl vaziyette çalışması önlenmelidir.
- Elektrik sistemine ait bir bakım programı oluşturulmalıdır. Elektrikli cihazlar periyodik olarak bakıma alınmalıdır.
- Personelin enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesi için bir enerji yönetimi programına başlanmalıdır.
- Çalışma ve faaliyetlerdeki pik talep değerini düşürmek için yeniden çalışma programı yapılmalıdır.

3.4.10. Aydınlatmada enerji verimliliğinin arttırılması ve enerji tasarrufu

Aydınlatma sistemlerine ait enerji tüketimleri toplam elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. 2005 yılında net 13.952.000 GWh olan net elektrik enerjisi tüketiminin 3.418.000 GWh'i aydınlatmada kullanılmıştır. Toplam elektrik enerjisi tüketiminde endüstriyel aydınlatmaya düşen pay ise % 4,5 kadardır (Brown, 2008). Bu oran düşük bir değer gibi gözükse de 632.000 GWh'lik elektrik enerjisi tüketimi 8.900 GWh yıllık elektrik enerji üretimiyle 71 adet Atatürk Barajı Hidroelektrik Santrali'ne denk gelmektedir (Sancak, 2009). 2007 yılında Türkiye'de tüketilen elektriğin net 73.794 GWh'ı endüstriyel tesislerde tüketilmiştir. Bu değerin yaklaşık %10'unun aydınlatma olduğu düşünülürse, aydınlatmaya düşen pay yaklaşık 7.000 GWh olacaktır (Anonim, 2007).

Aydınlatmada enerji tasarrufu, aydınlatmanın kalitesini düşürmeden ve iyi bir aydınlatmanın şartları yerine getirilerek yapılmalıdır. İyi bir aydınlatma, daha verimli aydınlatma elemanları ile sağlanacağı için aynı aydınlatma seviyesinin daha az enerji tüketimi ile sağlanması mümkündür. Verimli bir aydınlatma ile hem daha az elektrik enerjisi tüketimi olacak hem de göz sağlığı korunacaktır.

Son yıllarda ülkemizde, kullanılan alanlara göre elektrik enerjisinin tüketiminde aydınlatmanın payı gittikçe yükselmektedir. Ülkemizde tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık % 10'una yakın kısmı aydınlatmada kullanıldığı için aydınlatma konusunda yapılacak enerji tasarrufu ülke açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum termik santraller için de geçerlidir. İyi bir aydınlatma ile şu yararlar sağlanmaktadır. Gözün

görme yeteneği artar, göz sağlığı korunur, kazalar azalır, iş verimi ve ekonomik potansiyel artar, güvenlik sağlanır.

Verimlilik en basit anlamıyla bir ekipman ya da ekipmanların meydana getirdiği sistemlerin etkinlik faktörü olarak tanımlanabilir. En basit sistemlerde bile sistem verimliliği tek bir parametreye bağlı olarak değişim göstermeyecek ve parametrik etkilerin sonuçları diğer faktörlerin etkilerine göre büyük farklılıklar gösterebilecektir. Özellikle aydınlatma sistem bileşenleri arasında büyük boyutlarda kalite ve verimlilik farklılıkları görülebilmektedir. Genel olarak güncel teknolojilerin tamamı daha verimli ve daha uzun ömürlü bir altyapı konulmasına yönelik olarak gelişim göstermektedir. Bu nedenle de kalite ve verimlilik konularının ön planda olduğu uygulamalarda güncel teknolojilerin yer alması kaçınılmaz olacaktır (Özenç, 2007).

Endüstriyel tesislerde, aydınlatma, gerek tesis gerek işletme olarak önemli bir maliyet kalemini teşkil etmektedir. Geneli yüksek tavanlı hacimler olan bu tür mekânlarda gaz deşarjlı lambalı armatür kullanımı ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda çoklu flüoresan armatürler de endüstriyel tesislerde yer almaya başlamıştır (Sancak, 2009).

Elektrik enerji üretiminin yapıldığı tesisler genellikle yüksek tavanlı hacimlerden oluşmaktadır. Bu tür hacimlerde ışık rengi ve renksel geri verimin önemli olduğu yerlerde yüksek basınçlı civa buharlı ve metal halide lambalı, ışık renginin önemli olmadığı hacimlerde ise yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı, alüminyum çanak reflektörlü armatürler kullanılmaktadır.

Enerji tüketiminde yapay aydınlatma tasarımına etki eden ana faktörler;

- Armatür verimi (Lümen/Watt)
- Armatür performansı
- Armatür sayısı ve lokasyonları
- Dahili yüzeylerin (tavan ve duvarların) yansıtma katsayısı
- Bakım ve çalışma standartları
- Çalışma süresi
- Kullanılan kontrol ve anahtarlama teknikleri

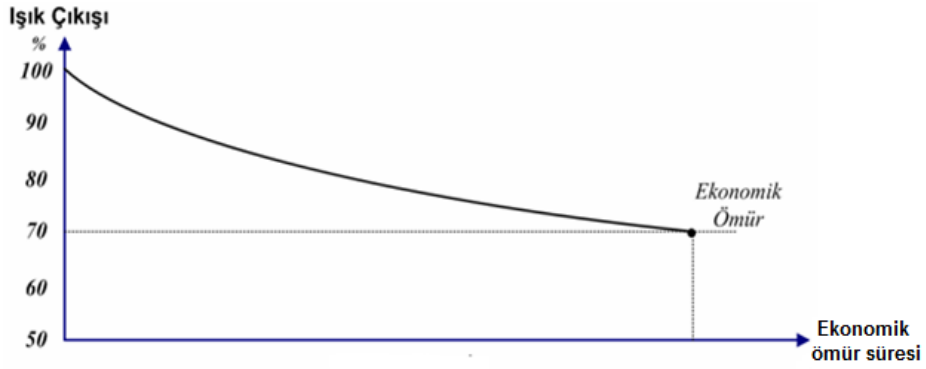
dir (Anonymous, 1994).

Flüoresan ışık kaynakları saniyede 100 kez yanıp sönerek ışık yaymaktadır. Genel olarak gözümüzle hissedemediğimiz bu döngü uzun süreli kullanımlarda ve yüksek hızlı hareketlerin olduğu noktalarda gözü yorucu ve belli oranda rahatsız edici bir hal alabilmektedir. Özellikle sadece yapay aydınlatmayla aydınlatılan bir yapıda

uzun süreli bir kullanım söz konusu ise (örneğin ofis, büro vs) veya dikkat gerektiren ve görmenin önem taşıdığı bir eylem (okuma çizim denetim vs) yapılıyor ise ışık kaynağının çalışma frekansı hissedilir ölçüde görsel kaliteyi etkileyecektir. Bu nedenle bu tip yerlerde yüksek frekansta sabit ışık çıkış özelliği nedeniyle elektronik balast devreleri tercih edilmelidir (Weigand ve David, 2003). Stroboskobik etki; özellikle devinimsel (döner) hareketlerin olduğu yerlerde aydınlatma sisteminin çalışma frekansı nedeniyle oluşan görsel yanılmalar stroboskobik etki olarak tanımlanmaktadır. Özellikle termik santrallerde dahil üretim alanlarında bu tarz risklerin barındırıldığı yerlerde saniye 100 kez yanıp sonen manyetik bir balastlı aydınlatma sistemi kaza riski taşıyabilmektedir. Bununla ilgili klasik çözümlerin mevcut olmasına karşın en uygun çözüm kHz'ler mertebesinde ışık çıkışı sağlayan (saniyede yaklaşık 20.000 – 100.000 kez yanıp-sönme) elektronik balast devresi kullanmaktadır. (HID sistemlerde çalışma frekansı 130 Hz seviyelerindedir.)

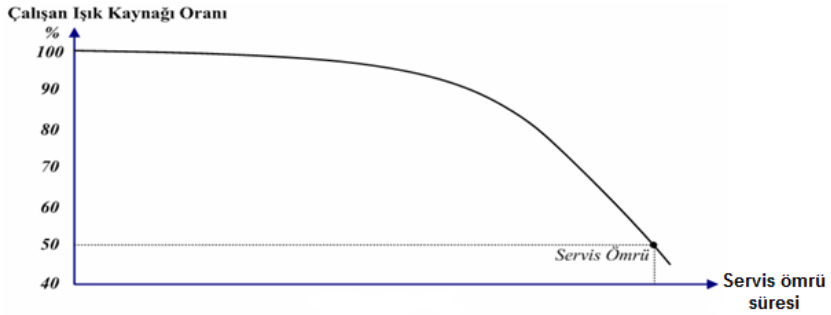
Şebeke gerilimindeki aşırı dalgalanmalar, toz, nem, sarsıntı gibi olumsuz dış etmenler, açma kapama sıklığı ve ortam sıcaklığı lamba ömrünü olumsuz yönde etkileyen faktörler arasında sıralanabilir. Ayrıca lambayla birlikte kullanılan ateşleyici starter ve balast gibi elemanların kalite ve özellikleri lamba ömrü üzerine doğrudan etkilidir. Lamba ömrü, belirtilen çalışma koşullarında ışık kaynaklarının kullanılabilirlik sürelerini göstermektedir. Bu noktada lamba ömrüne ilişkin olarak ekonomik ömür ve servis ömrü olmak üzere iki farklı tanım yapılmaktadır.

Ekonomik ömür; ışık kaynaklarının ışık çıkışlarında zamana bağlı olarak görülen azalmanın karakteristiğinin lümen kararlılığı olarak ifade edilmesidir. İşte bu ifade doğrultusunda bir ışık kaynağının ışıksal çıkışının % 70 oranına düştüğü süre ekonomik ömür olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.38. Ekonomik ömür

Servis ömrü; söz konusu ışık kaynaklarının % 50 sinin fonksiyonunun kaybettiği süre servis ömrü olarak tanımlanmaktadır (Anonymous, 2010).



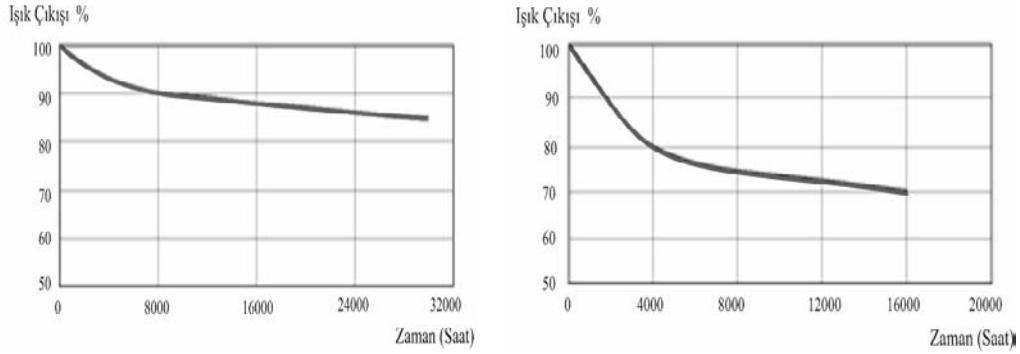
Şekil 3.39. Servis ömrü

Işık kaynağı üreticilerinin tanımlamış oldukları ömür süreleri ideal komponent ve ideal çalışma koşulları için geçerli olmaktadır. Sadece elektronik balastla kullanılabilen ışık kaynağı modelleri hariç diğer tüm modeller için belirtilen ampul ömürleri manyetik balast kullanılması durumu için geçerlidir. Deşarj ampulleriyle birlikte elektronik balast kullanılmasının ampul ömrü üzerine olumlu etkilerin görüleceği kesindir.

Anahtarlama (açma-kapama) da birçok ışık kaynağı yapısında ömrü etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Akkor filamanlı ışık kaynakları veya ledler açma kapama sıklığından etkilenmezken özellikle deşarj ampulleri (flüoresan ve HID ışık kaynakları) ateşleme karakteristikleri nedeniyle açma kapama sıklığından olumsuz etkilenir. Bu nedenle deşarj ampulleri için tanımlanan ömür değerleri belirlenen açma kapama sıklığı değerleri içerisinde geçerlidir. Örnek olarak bir flüoresan lamba için tanımlanan ömür süresi 3 saatlik anahtarlama süresini ön görürken, HID ışık kaynaklarında bu süre 8-11 saat civarındadır. Genel olarak bu değerlerden daha sık açma kapama lamba ömrünü azaltırken, daha seyrek anahtarlama lamba ömrünün uzamasını sağlayacaktır.

Işık kaynaklarının yayımladıkları ışık miktarı elektriksel ve çevresel etkilere bağlı olarak zamanla belli bir azalma gösterecektir. Lümen kararlılığı olarak da adlandırılan bu değer düşümü, hesaplama ve tercihlerde değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir. Lümen kararlılığı bir lambanın kullanım ömrü süresince sabit ışık verimi özelliğini ölçer. Bu nedenle daha verimli sistemlerin yapılandırılabilmesi için yüksek lümen kararlılığına sahip ekipmanların tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Aydınlatma sistemlerinin tasarımında ışık kaynaklarının yapısına bağlı olarak farklılık

gösteren bu karakteristik özellik de hesaplamalara katılır. Aydınlatma sistemlerinde yayımladıkları ışık akısında zamanla ciddi azalmalar yaşayan ışık kaynaklarının kullanılması, kurulu gücün artması ve gereksiz enerji sarfiyatı nedeniyle işletme giderlerinin artması anlamına gelmektedir (Ünal ve ark., 2005). Bu noktada görülebilecek farklılıklarla ilgili olarak standart yüksek basınçlı civa ve yüksek basınçlı sodyum buharlı ışık kaynaklarının lümen kararlılığını gösteren şekil 3.40 (a) ve (b)'deki grafiklerden incelenebilir (Anonymous, 2010).



a b

Şekil 3.40. Yüksek basınçlı sodyum buharlı (a) lamba (E40) ve yüksek basınçlı civa buharlı (b) lamba için lümen kararlılığı

Yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı gibi yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba çalışma ömrü boyunca yaydığı ışık miktarında ciddi azalmalar yaşamazken, standart civa buharlı lamba da ise bu değer düşümü daha belirgin niteliktedir. Buna benzer farklılıklar aynı tipteki ışık kaynaklarının farklı modelleri arasında da görülebilir. Bu nedenle de lamba seçimi yapılırken bu değerler üreticinin verilerinden kontrol edilmelidir. Lümen kararlılığının sistem verimliliği üzerine etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Akkor filamanlı ve halojen ışık kaynakları çok ciddi oranda gerilim farklılıklarından etkilenirler. Gerilimdeki çok ufak bir yükseliş bile lamba ömründe ciddi oranda azalma görülmesine neden olabilmektedir. Deşarj ampulleri ise bu tip değişimlere karşı çok daha dirençlidirler. Fakat şebeke gerilimindeki değişimlerin bu ışık kaynakları üzerine de olumsuz etkileri söz konusudur. Bu noktadaki belirleyici unsur kullanılan balast devresinin genel yapısıdır. Örnek olarak manyetik balastlı devrelerde şebeke gerilimindeki dalgalanmalara karşı ekstra bir dayanım söz konusu değilken elektronik balast devreleri belli sınırlar içerisindeki dalgalanmaları tolore edebilecek niteliktedir. Deşarj ampulleriyle birlikte kullanılan balast devresinin gerilim

kademesi bu konudaki belirleyici unsurdur. Şebeke geriliminde belirtilen sınırların üzerindeki bir artış veya azalım görülmesi ışık kaynağı ve diğer komponentler üzerinde olumsuz etki oluşturabilir.

Şebeke geriliminin belirlenen değerden düşük olması durumunda;

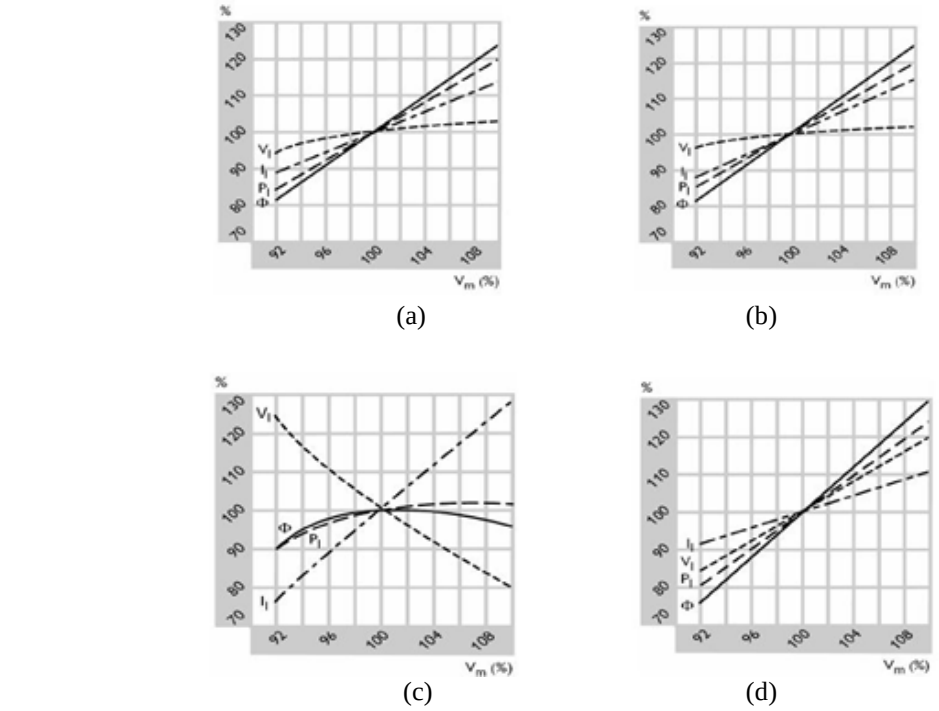
- Lambanın ışık çıkışının azalması
- Işığın renginin değişmesi
- Olumsuz sıcaklık koşullarında ateşleme sorunu yaşanması
- Lümen kararlığının kötüleşmesi

Şebeke geriliminin belirlenen değerden yüksek olması durumunda ise;

- Lamba ömrünün azalması
- Yardımcı ekipmanların ömrünün azalması
- Işığın renginin değişmesi
- Enerji tüketiminin artması
- Güvenlik problemlerinin yaşanması
- Lümen kararlığının kötüleşmesi

gibi sorunlarla karşılaşılabilmektedir.

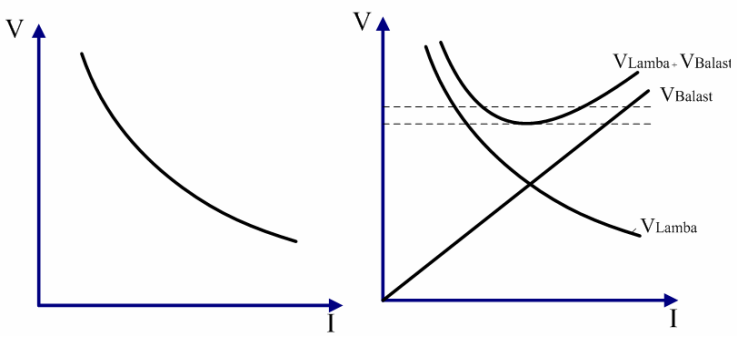
Şekil 3.41'den de incelenebileceği gibi ışık kaynaklarının gerilim dalgalanmalarına karşı gösterdikleri karakteristik özellikleri farklılık arz etmektedir. Genel olarak dalgalanan gerilim değeri lamba akımı, gerilimi ve ışık çıkışında farklılıkların doğmasına neden olabilecektir. Bununla birlikte bazı ışık kaynaklarının renk sıcaklıklarının ve renksel geriverim değerlerinin değişmesi gibi sonuçlarda ortaya çıkabilecektir. Özellikle metal halide ışık kaynaklarında şebeke geriliminde görülen dalgalanmalar ışık kaynağında renksel bozulmaların görülmesine ve/veya görünür ışık titremelerinin oluşmasına neden olabilecektir.



Şekil 3.41. Şebeke gerilimindeki değişimlerin ışıksal ve elektriksel değerler üzerine etkileri, (a) civa-buharlı, (b) metal-halide, (c) alçak basınçlı sodyum, (d) yüksek basınçlı sodyum buharlı

Ateşleme; Lamba elektrotlarında herhangi bir ön ısıtmaya gerek duyulmadan, deşarj lambalarında ilk ateşlemeye yönelik gerilimsel atlamalar olarak tanımlanır. Metal halide ve sodyum buharlı ışık kaynakları ilk çalışma anında şebeke geriliminin çok daha üstünde bir ateşleme gerilimine ihtiyaç duyar. İhtiyaç duyulan bu yüksek gerilim ateşleyici devresi tarafından ışık kaynağının ateşlenebilmesi için darbeler şeklinde uygulanır. Bir ışık kaynağının ateşleme süresi ışık kaynağına, ateşleyici yapısına, ampulün yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Örneğin ani ateşleyici devreleri 1-5 sn içerisinde lambayı ateşleyebilirken standart ateşleyicilerde normal bir ışık kaynağının ateşlenmesi 30 sn kadar sürebilmektedir. Ömrünün sonuna gelmiş ışık kaynakları şebeke gerilimindeki düşüşler ve dış ortam koşulları bu sürelerin artmasına ve çoğu zaman ateşlemenin gerçekleşmemesine neden olabilmektedir (Anonymous, 2010).

Endüktans, kapasite veya direnç yardımıyla deşarj lambalarının akımını sınırlamaya veya ayarlamaya yarayan lamba ile şebeke arasına bağlanan cihaz balast olarak tanımlanmaktadır. Balastlar sadece direnç, endüktans elemanlarından herhangi birinden üretilebileceği gibi bu elemanların birkaçını ve transformatör, flicker önleyici, soğuk ateşleyici, parazit hafifletici vb gibi yardımcı elemanların birçoğunu içinde barındıran yapıda da olabilir (Ünal ve Özenç, 2004).



Şekil 3.42. Ampul-balast karakteristiği

Balast devreleri, üretim teknolojilerine, enerji kayıplarına, devre yapısına ve kullanılan ışık kaynağının yapısına bağlı olarak büyük farklılıklar taşıyabileceğinden dolayı farklı gruplar içerisinde değerlendirilmelidir. Genel olarak balast devreleri devre yapılarına göre manyetik ve elektronik olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Buna benzer şeklide balast devreleri kullanım alanlarına göre flüoresan ve HID balastlar olmak üzere iki ayrı uygulama alanı içerisinde değerlendirilmelidir.

Manyetik balast devreleri; her ne kadar standart bir yapı olarak gözükse de manyetik balast devrelerinde de farklı verimlilik ve kalite standartları söz konusudur. Genel olarak verimlilik ve kalite farklılıkları üretim ve teknolojik değerlere bağlı olarak değişim göstermektedir.



Şekil 3.43. Manyetik balast devreleri HID, flüoresan

Enerji Kayıpları; manyetik balast devreleri üzerinde oluşan kayıplar bakır ve demir kayıplarından oluşmaktadır. Bakır kayıpları balastın akımına ve kullanılan bakırın toplam omajına (yani kesitine ve uzunluğuna) bağlı olarak değişim gösterir. Demir kayıpları ise demir plakaların adedine ve kalınlığına bağlı olarak değişim gösterecektir. Sonuç olarak daha düşük kayıplı bir balast için daha fazla bakır ve demir kullanılacaktır. Düşük kayıplı bir balast aynı teknikte üretilecekse muhtemelen daha büyük daha ağır ve daha pahalı olacaktır (Anonymous, 2010).

Genel olarak deklare edilen balast kayıpları soğuk kayıplardır. Bakırın sürekli çalışma esnasındaki ısı değerine ulaşması durumunda rezistans değeri % 25'lik bir artış gösterecektir. Bu durumda kayıp değerleri deklare edilen değerlerden %10-30 daha yüksek olacaktır. Enerji kayıpları konusunda yüksek basınçlı ışık kaynaklarından oldukça flüoresan sistemlere kıyasla daha sınırlı boyutlarda farklılık görülmektedir. Bunun nedeni olarak balast kayıplarının HID sistemlerde toplam devre gücünün daha düşük bir oranını temsil etmesi ve çalışma frekansının flüoresan sistemlerdeki seviyelerde gerçekleşmemesi gösterilebilinir.

Elektronik balastlar; elektronik balast devreleri manyetik modellerden farklı olarak yapısında yarı iletken devrelerin bulunduğu, üretim teknolojisine de bağlı olarak bünyesinde birçok güvenlik ve kontrol fonksiyonlarını barındıran elektronik çözümlerdir. Genel olarak temel fonksiyonu ışık kaynağının akımını sınırlamaktır. Bunun ötesinde sistem lambanın ateşleme fonksiyonunu da üstlenir bu nedenle sistem ek bir ateşleyici veya starter devresine ihtiyaç duymaz.

Her ne kadar manyetik balast kullanımı yaygın olsa da gerek EEI direktifleri gerekse enerji fiyatları nedeniyle daha düşük kayıp oranına sahip olan elektronik balast kullanımı ağırlık kazanmaktadır. Elektronik balast fiyatları mekanik balastlara oranla daha yüksek olsa da enerji tüketimi ve diğer işletme maliyetlerinde sağladığı ciddi avantajlar sayesinde teknik ve ekonomik açıdan çok daha uygun bir alternatif olmaktadır. Elektronik balast kullanımıyla ilgili olarak sadece enerji tüketim konuları akla gelse de kalite ve güvenlik konularında da sunduğu avantajlar göz ardı edilmemelidir. Elektronik balast devrelerinin sunduğu yeni özellikler sayesinde deşarj ışık kaynakları çok daha kullanışlı bir yapıya sahip olmuşlardır. Elektronik balast kullanımı enerji verimliliği, elektriksel güvenlik, ışık kalitesi, sistem ömrü ve aydınlatma kontrolü konularında ciddi avantajlar sunmaktadır.

Elektronik balast kullanarak birden çok ışık kaynağını tek bir balast devresiyle çalıştırmak mümkündür. Elektronik balastla sistem daha az bileşenden oluşturularak montaj işçiliğinin süresi ve arıza olasılığı da azalacaktır. Buna ek olarak elektronik devre yapısı kullanılması sonucunda kompanzasyon amaçlı olarak kondansatör devresinin kullanılmasına gerek yoktur.



Şekil 3.44. Flüoresan devrelerinde elektronik ve manyetik balast devrelerinin kıyaslanması

3.4.10.1. Termik santrallerde aydınlatma

Bir çeşit endüstri tesisi olan termik santrallerde aydınlatma, yapılan işin cinsine, çalışılan alanın büyüklüğüne, yerleşme düzenine ve tavan yüksekliğine göre farklılıklar gösterir. İstenilen aydınlatma düzeyine göre çözümler üretilir. Bu çözümler içinde en ekonomik olanı tercih edilmeli, yapılacak ekonomik analizde de sadece tesis masrafı değil, işletme ve bakım masrafları da göz önüne alınmalıdır. Termik santrallerde gece vardiyalarında iş veriminin gündüz elde edilenle aynı olması için iyi ve verimli bir aydınlatma gerekmektedir. İyi görme koşullarını sağlayan iyi bir aydınlatma ile gözün gereksiz yere yorulması ve dolayısıyla görme hızı ve görüş keskinliğinin arttırılması ile yapılan işin hızı da arttırılmış olur. Hata oranı azalır ve sonuç olarak da iş verimi yükselir. Endüstriyel tesisler için yapılan bir araştırmanın sonucuna dayanılarak termik santrallerde aydınlık düzeyinin 200 lüx'ten 300 lüx'e çıkartılması halinde iş verimi % 1,6, 500 lüx'e çıkartılması halinde ise % 3,1 oranında yükseltilebilir.

Diğer endüstri tesislerinde olduğu gibi termik santrallerde kullanım amacına göre üç çeşit aydınlatma yapıldığı kabul edilebilir.

i. Genel aydınlatma
ii. Çalışma düzlemlerinde yoğunlaştırılmış lokalize aydınlatma
iii. Özel (lokal) aydınlatma

i. Genel aydınlatma

Tüm çalışma alanında makine ve bantların yerleşim konumlarına bakılmaksızın belli bir düzgünlük derecesine göre yapılan aydınlatmadır. Işık kaynaklarının ve armatürlerin seçimi olası montaj yüksekliğine göre değişir.

ii. Lokalize aydınlatma

Çalışma koşullarının sabit olduğu hacimlerde genel aydınlatma yerine, çalışma düzlemlerinde yoğunlaştırılmış lokalize aydınlatmanın tercih edilmesi bazen işletme ve bakım masrafları açısından daha ekonomiktir. Bu sistemde armatürler çalışma

düzlemlerinin üzerinde oldukça alçak monte edilmektedir. Kamaşma açısından bu sistemde de çevredeki pırıltının genel aydınlatmadaki sınır değeri aşmamasına özen gösterilmelidir.

iii. Özel(lokal) aydınlatma

Termik santrallerde gereksinim duyulan aydınlık düzeyi değerlerine bakıldığında bazı işler için çok yüksek değerlerin gerektiği anlaşılmaktadır. Bu kadar yüksek değerlerin genel aydınlatma ile tüm hacimde sağlanması hem teknik hem de ekonomik açıdan çoğu kez mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda normal düzeyde genel aydınlatma ile beraber sadece üzerinde çalışılan işin ve onun yakın çevresi yoğun olarak aydınlatıldığı lokal aydınlatmalar soruna çare olmaktadır. Her zaman özel aydınlatma genel aydınlatmanın tamamlayıcısı olmalıdır.

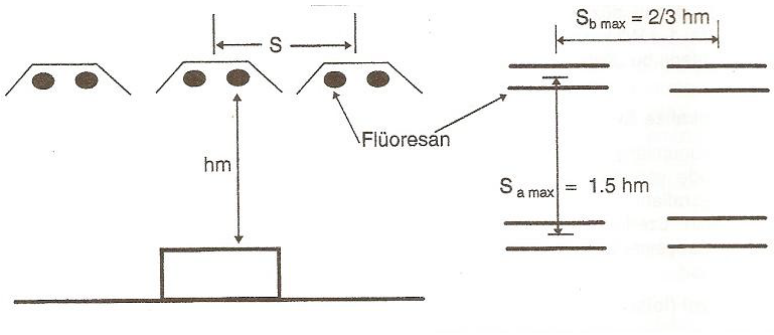
Kamaşmaya karşı önlem olarak armatürlerin yerleşim konumları aşağıda verilmiştir.

- Örtü pırıltısının önlenmesi için yansıyan ışın bakış doğrultusu ile çakışmamalıdır.
- Yayıcı fon üzerindeki detayların gözlemlenmesi isteniyorsa yansıyan ışın bakış doğrultusu ile çakışmamalıdır.
- Pürüzlü yüzeylerin incelenmesinde ışık kaynağı alçağa monte edilmelidir.
- Parlak yüzeyler üzerindeki hatalar geniş yüzeyli armatürler altında daha kolay görünür.
- Dizgi işlerinde geniş yüzeyli kaynaklar daha uygundur.
- Geçirgen malzemelerdeki pürüzler, yüzeyin arkasından yapılan aydınlatma ile daha kolay ortaya çıkar.
- Şekil ve yapının ortaya çıkarılması için doğrusal ışığa gereksinim olduğu bilinir.

3.4.10.2. Aydınlatmanın düzgünlüğü

Genel aydınlatmada döşemeden yaklaşık 0.85m yükseklikteki çalışma düzleminde hacmin özelliklerine göre belli bir düzgünlük oranının sağlanması istenilir. Çalışma düzlemindeki minimum aydınlık düzeyinin düzlemdeki ortalama aydınlık düzeyine oranı 0.8'den büyük olduğunda ($E_{min} / E_{ort} > 0.8$) düzgünlük yeterlidir denir. Montaj yüksekliği tavan yapısı ile sınırlı olduğundan, düzgünlüğün iyileştirilmesi için armatürler arası açıklığın değiştirilmesi gerekir. Direkt aydınlatma sağlayan refletörlü flüoresan lambalı aydınlatma düzeninde aynı sıra üzerinde birbirini takip eden

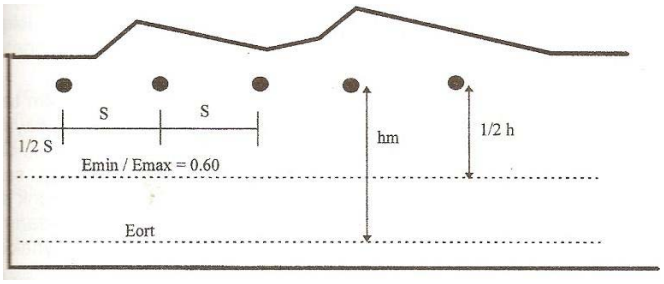
armatürlerin orta noktaları arasındaki mesafe montaj yüksekliğinin (çalışma düzlemi ile armatür arasındaki mesafe) 2/3'ünü, yan yana armatür sıraları arasındaki uzaklık da montaj yüksekliğinin 1.5 katını aşmadığında şekil 3.45'te görüldüğü gibi istenilen düzgünlük oranı sağlanmış olur.



Şekil 3.45. Düzgün aydınlatma için flüoresan aralıkları

H_m : Montaj yüksekliği, S: Flüoresanların arasındaki uzaklığı vermiştir.

Yükseklik fazla olduğunda kullanılan armatür yüksek ışık akılı deşarj lambalı high-bay düzeninde ise düşey düzlemlerde de belli bir düzgünlük gerektiği için çalışma düzleminin 0.85 m olarak sınırlanması doğru değildir. Böyle düzenlerde montaj yüksekliğinin tam ortasındaki yatay düzlemde minimum aydınlık düzeyinin maksimum aydınlık düzeyine oranının 0.6'dan büyük olmasına (E_{min} / E_{max} > 0.6) çalışılmalıdır. (Şekil 3.46)



Şekil 3.46. Düzgünlük oranı

3.4.10.3. Aydınlatmada ışık renginin önemi

Renk sıcaklığı ve renk ayırımı, ışık kaynağının renk özelliği olarak adlandırılır. Değişik renk özellikli ışık kaynakları ile sıcak ve huzurlu ortam oluşturulabildiği gibi;

uyarıcı, çalışmaya teşvik edici ortamlarda hazırlanabilir. Işık kaynaklarının renk sıcaklıkları ve renk ayırım endeksleri birbirinden farklıdır.

Bir ışık kaynağının aydınlattığı ortamdaki renkleri, doğal ışık altında gözlemlendikleri şekilde göstermesinin önemi büyüktür. Işık kaynaklarının bu özellikleri spektrumlarına bağlıdır. Işık kaynaklarının renk ayırım özellikleri R_a harfleri ile simgelenir ve maksimum değeri 100 olan bir sayı ile ifade edilir. R_a'nın belirlenmesi için, bir referans kaynak seçilir (Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu (CIE) siyah cismi referans kabul etmektedir.) ve 14 renk test örneğinin her biri için sapma değerleri belirlenir. Bu 14 rengin 8 tanesi ara renkler, 4 tanesi doyumlu (kırmızı, mavi, sarı, yeşil) renkler ve iki tanesi de özel (insan teni ve yaprak yeşili) renklerden oluşmaktadır. Önce 8 ara renge referans kaynak ve test kaynağı altında bakılarak her renk için sapış değeri belirlenir. İstenirse bu sapma miktarına diğer 6 renk için olanlarda eklenir. Test edilen kaynağın renk ayırım endeksi her renk için bulunan sapmaların ortalamasıdır. Pratik uygulamalar için uluslararası aydınlatma komisyonu (CIE) tarafından belirlenen R_a sınıflarından aşağıda belirtilenler termik santrallerinde içinde bulunduğu endüstriyel tesislerde önerilebilir.

Tablo 3.3. CIE'nin renk ayırım endeksi grupları

R_a Grup	R_a Bölgesi	Renk Görünümü	Uygulama Alanları	
			Tercih Edilen	Kabul Edilen
1 B	$90>R_a \geq 80$	Sıcak-Orta Orta-Soğuk	Özel Endüstri İşleri	
2	$80>R_a \geq 60$	Sıcak Orta Sıcak Soğuk	Endüstriyel İşler	
3	$60>R_a \geq 40$			Endüstriyel İşler
4	$40>R_a \geq 20$			Renk ayırımının az önemli olduğu endüstriyel işler

Ortamın ve içindeki cisimlerin net ve parlak görünmesinin birinci derecede önem taşıdığı uygulamalarda R_a yüksek değerli kaynaklar seçilmelidir. Yüksek R_a değerli kaynaklar, orta ve zayıf R_a'lı kaynaklara oranla ortamın daha canlı ve berrak görünmesini sağlar. Yüksek R_a'lı lambaların etkinlik faktörleri daha düşük olduğundan enerji sarfiyatı bakımından yüksek R_a'lı lambalar daha az ekonomiktir. Aydınlatılan ortamda renk ayırım özelliğinin mi, yoksa ekonominin mi birinci planda olduğuna karar vermek tasarımcının görevidir. Yapılan işin cinsine göre uygun olan minimum değerde

R_a'lı ışık kaynaklarının seçilmesine özen gösterilmelidir. R_a değerlerini dikkate alırken referans kaynak ile test edilen kaynağın aynı renk sıcaklığında olması gerekir.

3.4.10.4. Aydınlatma armatürleri

Genel olarak ışık kaynakları yalnız başlarına iyi bir aydınlatmanın gereklerini yerine getiremezler. Bu nedenle, ışık kaynaklarının uygun aydınlatma armatürleri ile birlikte kullanılmaları zorunludur.

Bir aydınlatma armatüründen istenen özellikler şunlardır;

- Çıplak lambanın ışık dağılım eğrisine kumanda ederek ona istenilen şekli vermek,
- İçindeki lamba veya lambaların elektriksel bağlantılarını sağlamak,
- İçindeki ortam sıcaklığını, ışık kaynağının kararlı çalışması için gerekli olan düzeyde tutmak,
- Kamaşmayı önlemek,
- Olması mümkün her türlü değişik ortam koşulunda (aşındırıcı, nemli, patlayıcı ortamla gibi) lamba ve aksamını korumak,
- Kolay tesis edilebilir ve bakım yapılabilir olmak,
- Estetik hislere ve konfor gereksinmesine yanıt vermek,
- Ekonomik olmak,

Değişik aydınlatma tesisatları için farklı tiplerde armatürler gerektiğinden piyasada binlerce çeşit aydınlatma armatürü mevcuttur. Armatürler en genel olarak iç ve dış aydınlatma armatürleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bunların kendi içlerinde çok değişik tipleri mevcuttur. Sabit doğrultulu ve yönlendirilebilen armatürler, tavana gömme, askısız veya askılı tipler, direk tipi ve askı tipi dış aydınlatma armatürleri, projektörler, spotlar bunlara sadece birer örnektirler.

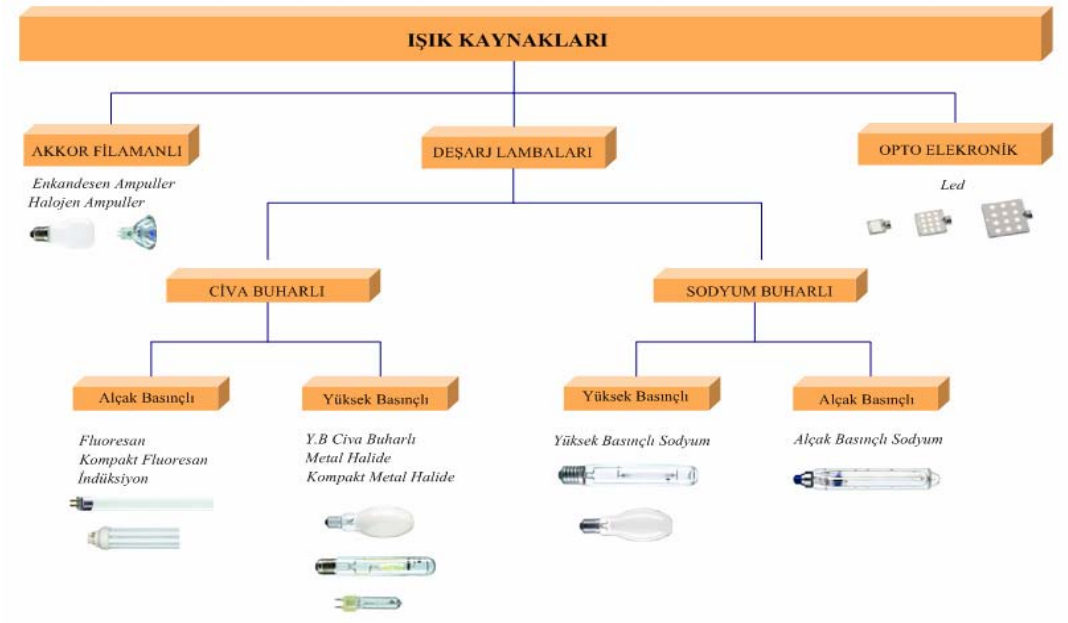
Armatürlerin altları açık ya da şeffaf cam veya kırıcı ya da dağıtıcı bir yüzeyle kaplı olabilir. Şeffaf cam kapak ile optik kontrol yapılamaz, sadece lamba ve aksamı korunarak armatürün temiz kalması sağlanır. Cam kapağın armatürün verimini yaklaşık %10 azaltacağı söylenebilir.

3.4.10.5. Aydınlatmada enerji tasarrufu

Termik santrallerin iç ihtiyacına yönelik aydınlatmanın payı dikkate alınması gereken bir oranda olup iç ihtiyaca yönelik toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %10'u civarındadır. Aydınlatma yükünün çok az olduğu yerlerde enerjide önemli bir tasarruf sağlanabilir. Etkin bir enerji yönetimi programı yapılırken aydınlatma göz ardı edilmemelidir.

Bir enerji tasarrufu çalışması yapılırken ilk yapılacak iş aydınlatılan bölümlerdeki aydınlatma seviyelerinin kontrol edilmesidir. Çeşitli yöntemler ile yapılan ölçümlerin sonucu belirlenen değerlerle karşılaştırılmalı ve bu karşılaştırma sonucunda düşük veya yüksek seviyedeki aydınlatma alanlarının tespit edilmesi gerekir. Enerji tasarrufu açısından özellikle gereğinden fazla aydınlatılan bölgelerin tespiti önemlidir.

Işık kaynağı, görünür bir ışınım üretmek üzere tasarlanmış cihaz olarak tanımlanmaktadır. Uygun bir tasarım için öncelikle ortam ihtiyaçları ve geometrisini iyi analiz edip, ışık rengi, renksel geri verim, lamba verimi, lamba ömrü, cihaz boyutları, bakım, kurulum gibi birçok teknik ve ekonomik parametreyi göz önünde bulundurarak, doğru ışık kaynağını tercih edilmesi gerekir. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinin kalbini oluşturan bu ekipmanlara ilişkin değerlendirme ve kıyaslamaların yapılabilmesi için bu parametrelerin ve kalite verimlilik değeri üzerine etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir (Ünal ve Özenç, 2004).



Şekil 3.47. Işık kaynakları

Termik santrallerde çeşitli alanlarda istenen aydınlatma seviyeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 3.48. Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri

Tablo 3.4. Termik Santrallerde Çeşitli Alanlarda Önerilen Aydınlatma Seviyeleri

Yeri	Genel Lux	Özel Lux
Bürolar		
Mekanik ve mimari projeler	750	-
Kroki ve dekoratif çizimler	500	-
Muhasebe	500	-
Daktilo	500	-
Fiş, dosya	100	-
Müdür odası	250	-
Bekleme odası	150	-
Konferans odası	200	-
Kantin	100	-
Depolar (Ambar)		
Az kullanılan genel depo	25	-
Büyük parçalı malzeme deposu	50	-
Küçük parçalı malzeme deposu	100	-
Çok küçük parçalı malzeme deposu	200	-
Mekanik atölye		
Kaba işleme	250	-
İnce işleme ve parlatma	400	-
Otomatik hassas makinalarla ince işleme	1000	-
Çok ince işleme	2500	-
Diğer servisler ve atölyeler		
Yanma havası hazırlama tesisleri	50	-
Akümülatör dairesi, kazan bakım atölyesi	100	-
Kazanların ön kısmı	50	-
Kazana yakıt yükleme yeri	100	-
Kömür konveyörleri, kırıcılar, diğer hazırlama tesisleri	50	-
Türbin dairesi alt kotlar	100	-
Türbin dairesi	150	-
Hidrojen ve karbondioksit tesisatı mahali	100	-
Su sertliğini giderme tesisatı mahali	100	-
Kimya laboratuarı	250	-
Ana tablo(kumanda) odası	400	-
Tali tablolar	250	-
Dağıtım tabloları	50	-
Emniyet aydınlatması	15	-
Telefon santrali	100	-
Transformatör postası	10	-
Türbin ve kazan platformu	25	-
Kömür boşaltma rampası	25	-
Dış konveyörler	10	-

Termik santrallerde aydınlatmada;

- Yüksek basınçlı civa buharlı lamba yerine, özel metal halide lamba kullanılırsa aynı aydınlık düzeyinde yaklaşık % 30,
- Yüksek basınçlı civa buharlı lamba yerine özel yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kullanılırsa aynı aydınlık düzeyinde yaklaşık % 40,
- Yol aydınlatmasında; yüksek basınçlı civa buharlı lamba yerine özel yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kullanılırsa aynı aydınlık düzeyinde % 50,
- Yüksek basınçlı civa buharlı lamba yerine yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kullanılırsa aynı aydınlık düzeyinde yaklaşık % 60,
- Ofis ortamında en uygun aydınlatma flüoresan lambalarla yapılabilir. Ofislerde tüketilen toplam elektrik enerjisinin % 50'sinden fazlası aydınlatmaya harcanmaktadır. 38 mm çaplı 20 W, 40 W ve 65 W'lık lambalar yerine, 26 mm çaplı sırasıyla 18 W,36 W ve 58 W'lık flüoresan lambalar kullanıma sunulmuştur. Ofislerde elektronik balastlı 58 W'lık flüoresan lambaların kullanıldığı verimli armatürlerle birlikte otomatik kontrol sistemlerinin de kullanılması ile yaklaşık % 75,

enerji tasarruf edilebilir (Anonim, 2009). Bu tasarruf oranları göz önüne alındığında aydınlatma sisteminin yeniden değerlendirilmesinin enerji verimliliği ve tasarrufu açısından sağlayacağı katkı açıktır. Örneğin armatürde değişiklik yapılması düşünülmüyorsa 1000 saat kullanılmış akkor flamanlı ampuller, kompakt flüoresan ampullerle değiştirilebilir. Armatürlerde de değişiklik yapılacak ise akkor flamanlı ampuller flüoresan tüp lambalarla değiştirilmelidir. Aydınlatmada da değişiklik yapılması planlanıyorsa, değişikliğin ve tasarrufun maliyetinin birlikte analiz edilmesi gereklidir. Maliyet karşılaştırmasında lambaların ömürleri ve uzun ömürlü lambaların bakım masraflarının düşük olduğunun da göz önünde tutulması gerekir.

Özellikle büyük alanların aydınlatılmasında uygulamanın el verdiği sınırlar içerisinde (dağılım düzgünlüğü – kamaşma vs.) mümkün olabildiğince en yüksek ışıksal güce sahip kaynakların kullanılması projelendirme maliyeti ve genel işletme giderleri açısından en ekonomik çözüm olacaktır. Tabi bu tercih yapılırken ışık kaynağının etkinlik faktörü yani verimliliği de göz ardı edilmemelidir (Özenç, 2007).

Tablo 3.5. Genel aydınlatma kaynaklarının özellikleri

Tipi	Güç (Watt)	Verim (Lümen/Watt)	Ömür (saat)	Işığın Rengi	Renk Geri Verimi	Kullanım İçin Öneriler
Akkor Flamanlı						
Normal	15 - 1000	10-20	1000	Sıcak	İyi	Kısa süreli çalışmalarda, Genel amaçlı yerlerde
Halojen	20 - 2000	20-25	2000-3000	Sıcak	Çok iyi	Yüksek Yoğunluklu Aydınlatmada, İyi renk verimi gereken yerlerde
Flüoresan						
Tüp	6-65	50-95	4000-7000	Çeşitli Renkler	Ortadan İyiye	Sürekli veya kesintili aydınlatmada genel amaçlar için iyi renk verimi gereken yerlerde
Kompakt	9-25	45-80	8000-10000	Sıcak	İyi	İç ortamlarda yüksek kaliteli aydınlatma gereken yerlerde
Yüksek Basınçlı						
Civa	50 - 1000	40-60	7000	Gün ışığı	Orta	Büyük atölyelerde, Dış ortam aydınlatmalarında
Sodyum	50-1000	70-120	6000	Sıcak	Çok zayıf	Dış ortam aydınlatmasında, büyük atölyelerde, Yol aydınlatmasında, Depolama sahalarında
Metal Halide	400-2000	80-90	2000-6000	Gün ışığı	Zayıf	Sınırlı kaynak sayısı gerektiren geniş sahalarda
Alçak Basınçlı						
Sodyum	8-180	100-180	6000	Sarı	Yok	Renk faktörünün önemli olmadığı dış ortam aydınlatmalarında (otoyol aydınlatması, geniş depolama sahaları)

Tablo 3.6. Farklı lambaların karşılaştırılması

	Akkor Flamanlı Lamba	Flüoresan Lambalar	Filamanlı Civa Buharlı Lambalar	Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar	Sodyum Buharlı Lambalar
Üstünlükleri	- Bağlantısı kolay, doğrudan bağlanabilir. - Ucuzdur. - Boyutları ufaktır. - Anında ışık verir. - Bölgesel aydınlatma için uygundur. - Ortam sıcaklığı ışık akısını etkilemez. - Az kullanılan yer için uygundur. - Sıcak renk ışığına istenen yerlerde uygundur.	- Etkinlik faktörü büyüktür. - İşletme gideri düşüktür. - Fazla ısınmaz. - Kamaşma oluşmaz. - Çeşitli beyaz renkleri vardır. - Ömrü oldukça uzundur. - Gündüz ışığına yardımcı olarak kullanılabilir. - Yüksek aydınlıklar elde etmeye elverişlidir.	- Bağlantısı kolaydır. Yardımcı araçlara gereksinim duyulmaz. - Filamanlı civa buharlı lambalar, akkor filamanlı lambaların yerine takılabilir. - Ömrü uzundur. - Gün ışığına yakın bir ışık sağlayabilmektedir.	- Etkinlik faktörü büyüktür. - Ömrü uzundur. - Sarsıntıya ve darbelere dayanıklıdır. - Isı değişimlerine ve gerilim yükselmelerine karşı dayanıklıdır. - Verdiği ışığa karşı lamba boyutu büyük değildir. - Kullanışı ucuzdur.	- Etkinlik faktörü en büyük olan ışık kaynağıdır. - Ömrü uzundur. - Kullanışı ucuzdur. - Sisli havalarda görüşe yardım eder.
Sakıncaları	- Verimli değildir. (Etkinlik faktörü düşüktür.) - İşletme gideri yüksektir. - Ömrü kısadır. (1000 saat) - Yalnız kullanınca kamaşma oluşturur. - Fazla ısınır. - Işık rengi pempemsidir, yeşile dönük renkleri iyi göstermez.	- Anında ışık vermez, beklemek gerekir. - Yardımcı araçlara gereksinim duyulur. - Kurulum masrafı fazladır. - Bazı durumlarda gürültü çıkarır. - Stroskobik etki göstermesine dikkat edilmelidir.	- Söndürüldükten sonra tekrar yanması için 4-5 dakika beklemek gerekir. - Çoğu renkleri iyi göstermez. - Oldukça pahalıdır.	- Yanma süresi uzundur. (4-5 dakika sonra tam ışığını verir. - Yardımcı araçlara gereksinim duyulur. - Kuruluş masrafı fazladır. - Her rengi ve kırmızıya bakan renkleri iyi göstermez.	- Kuruluş masrafı fazladır. - Renklerin ayırt edilmesine olanak vermez. - Rengi sarıdır.

3.4.10.6. Aydınlatma kontrol yöntemleri

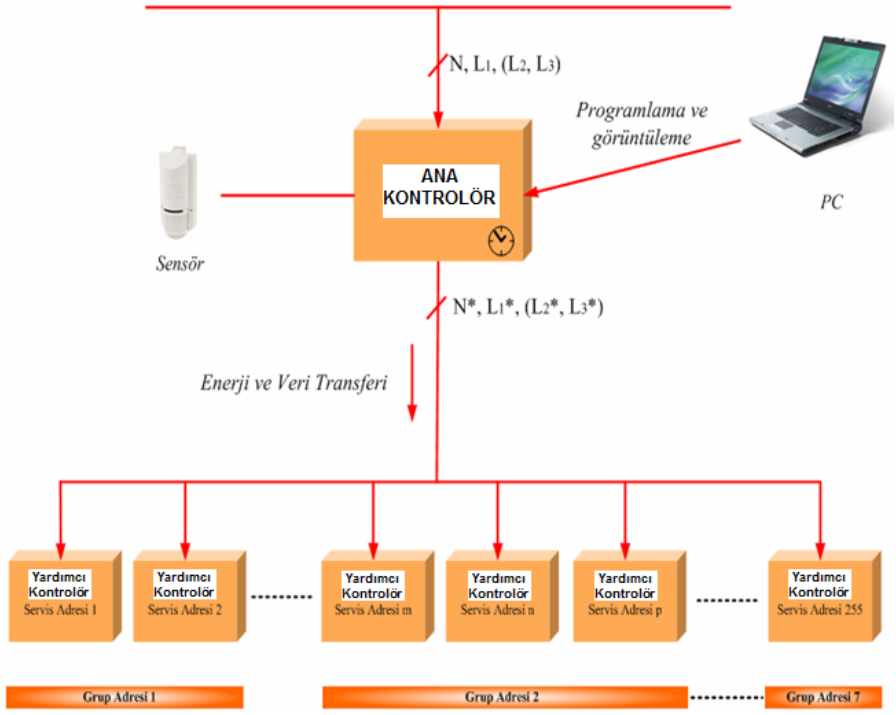
Günümüzde enerji tasarrufunun en önemli konulardan biri haline gelmesinin yanında gün ışığından faydalanılarak otomatik aydınlatma sisteminin kurulması 1970'yıllarda yapılmıştır. Bununla birlikte bu kontrol tipi için önemli teknolojilerin ortaya çıkartılarak, son on yılda kamuya ve özel uygulamalara yönelik çalışmalar sunulmuştur. Aydınlatma kontrol sistemlerinde sensörlerin ışık miktarına ve dış hava şartlarından gelen bozulmalara bağlı olarak pozisyonlandırılması en önemli detaylardan biridir. Bir aydınlatma kontrol sistemi üç ana elemandan oluşmaktadır; ana kontrolör, ana kontrolöre veri sağlayan sensörler, armatürleri (ışık veren cisimleri) kontrol eden anahtarlar veya diğer değişken kontrol tipleridir. Aydınlatma kontrol sistemi için temel görev; gün ışığından en verimli bir biçimde faydalanmak ve gün ışığının ve hava şartlarının değişmesine bağlı olarak ortaya çıkan bozucu etkenleri ortadan kaldırmaktır (Keyser ve Lonescu, 2009).

Verimli lamba ve armatürler kullanılmasına karşın kontrol yapılmıyorsa büyük enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır. Çalışmalar göstermiştir ki, insanlar ışığa gerek duyduklarında düğmeyi açmakta ancak odayı terk ederken veya gün ışığı yeterli olduğunda ışığı kapatmamaktadır. Bir diğer gereksiz ışık kullanımının sonucu da, geniş alanların aydınlatılmasını kontrol eden az sayıdaki anahtar veya düzensiz yerleştirilmiş anahtarlardır. Aşağıda açıklanan çeşitli aydınlatma yöntemleri termik santrallerde kullanılan aydınlatma sistemleri için enerji verimliliğine ve enerji tasarrufuna yönelik uygulamalarda yol gösterici olacaktır.

Aydınlatma kontrolünün sağlayacağı en önemli fayda enerji tasarrufudur. Aydınlatma kontrolü ile enerji tüketiminde %30 ve işletme giderlerinde %10 tasarruf sağlanabilir. Doğru seçilen ve uygulanan bir aydınlatma kontrol sistemi ile konforlu bir çalışma ortamı oluşturulur. Ayrıca uygun bir aydınlatma kontrolü ile çalışanların verimliliği artacaktır (Çolak, 2003).

İyi programlanmış bir aydınlatma otomasyon sistemi ile bu tür çalışma alanlarında, çalışma saatlerine, gün ışığının konumuna ve yapılan işin niteliğine göre en uygun ışık düzeyi ile iş veriminin en yüksek seviyede olması sağlanabilir. Aydınlatma otomasyon sistemleri, aydınlatma programlarının işleve göre ani değişikliklerini çok kısa zamanda gerçekleştirerek, aydınlatma ayarlamalarından kaynaklanacak zaman kaybını da ortadan kaldırır.

Aydınlatma otomasyon sistemlerinde kullanılan dimmer üniteleri sayesinde, aydınlatmanın kısıldığı oranda enerjiden tasarruf etmek ve ışık kaynaklarının ömrünü uzatmak mümkündür.



Şekil 3.49. Aydınlatma otomasyon sisteminin genel yapısına bir örnek

Etkin denetlemeler aydınlatma maliyetlerini azaltmada etkili bir yoldur. Gelişmiş kontrolleri kurmadan önce önerilen bir yerleşim modeli oluşturup kişi davranışlarını inceleyerek kurulan ve seçilen sistemde maliyeti en çok düşürecek kontrol sistemi üzerinde çalışılmalıdır.

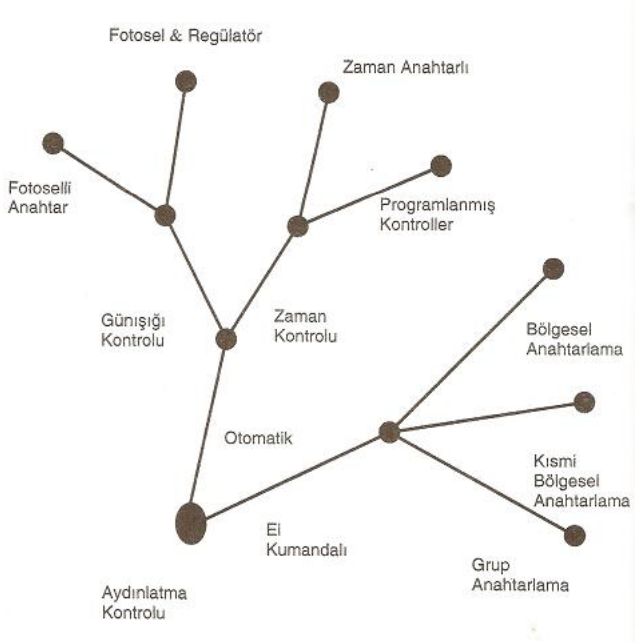
Aydınlatma kontrol yöntemleri 4 başlık olarak sıralanabilir.

a. El ile kontrol

b. Otomatik foto-elektrik kontrolü

c. Otomatik zaman kontrolü

d. Karışık kontrol sistemleri



Şekil 3.50. Aydınlatma kontrol yöntemleri

3.4.10.7. Verimli aydınlatmanın koşulları

- Yüksek verimli uygun ışık kaynağı,
- Işığı en verimli şekilde kullanan armatürler,
- Armatürün düzenli bakımı,
- Uygun aydınlatma proje tasarımı,
- Gün ışığından maksimum düzeyde yararlanabilmek için uygun kontrol sistemlerinin kullanımı,
- Duvar, tavan ve dekorasyon malzemesinin mümkün olduğunca açık renkli seçilmesi,
- Aydınlığın ihtiyaca göre seçilmesi,
- Armatürlerin ışık dağılım eğrisine kumanda eden yansıtıcıyla verimi %10 ile %15 arasında arttırabilmektir. Bu nedenle tam kontrol için en verimli durum yansıtıcı-kırıcı kombinasyonları sağlanması,
- Değişikliğin ekonomik olması,

gibi durumlara dikkat edilmelidir.

3.4.10.8. Termik santrallerde kullanıcılara öneriler

- Aydınlatma seviyesi ölçülmeli ve uygun standartlarda aydınlatma yapılmalıdır.
- Aydınlatma armatürlerinin değiştirilmesi planlanmış ise verimli (etkinlik faktörü yüksek, lümen/watt) aydınlatma kaynakları ile değiştirilmesinin maliyeti çıkartılmalı ve uzun ömürlü lambalar seçilmelidir.
- Santralde aydınlatma için otomatik kontrol uygulaması üzerine mutlaka projeler üretilmeli ve bu konu hakkında uygulamaya geçilmelidir.
- Tozlanan armatür ışığın %50'sini yayar, %50'sini yutar. Bu nedenle armatürler periyodik olarak temizlenmelidir.
- Doğal gün ışığından olduğunca yararlanılmalıdır.
- Çalışılmayan zamanlarda sadece güvenlik amaçlı yeterli aydınlık sağlanmalıdır.

4. YÖNTEMLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR VE SONUÇLAR

4.1. Enerji Tasarrufunun Maddi Getirisinin Hesabı

$$\text{ETMG} = \text{Tasarruf edilen güç x Ortalama enerji fiyatı x Çalışma saati} \quad (4.1)$$

ETMG : Enerji tasarrufunun maddi getirisi
Tasarruf edilen güç : (Eski sistemin çektiği güç) – (Yeni sistemin çektiği güç)
Ortalama enerji fiyatı : kWh başına birim enerji üretim maliyeti
Çalışma saati : Bir yıl boyunca sözü edilen sistemin toplam çalışma zamanı

4.2. Kompanzasyon ve Güç Faktörünün Düzeltilmesi

4.2.1. Sosyal sitede kompanzasyon sisteminin kurulması

Sosyal site lokaldeki merkezi elektrik panosuna 2009 yılının 2. ayında kompanzasyon sistemi kurulmuştur. Şekil 4.4'te kompanzasyon sistemi kurulmadan önceki ve sonraki faturalar görüntülenmektedir. Şekil 4.1'de ise kurulan kompanzasyon sistemi görülmekte olup Şekil 4.2'de ise kompanzasyon sistemi devrede değilken oluşan cosφ değeriyle bir fazdan çekilen akım görülmektedir. Şekil 4.3'te ise kompanzasyon sistemi devrede iken oluşan cosφ değeriyle bir fazdan çekilen akım görülmektedir. Her iki durumda ölçü aleti ile ölçülen akımlar karşılaştırıldığında kompanzasyon sisteminin etkisiyle şebekeden daha az akım çekildiği görülmektedir.



Şekil 4.1. Kurulan kompanzasyon sistemi



Şekil 4.2. Kompanzasyon sistemi devrede değilken okunan cosφ ve faz akım değerleri



Şekil 4.3. Kompanzasyon sistemi devrede iken okunan cos φ ve faz akım değerleri

Kompanzasyon sistemi kurulmadan önceki 2009/01 dönemine ait faturada da görüldüğü üzere 13.11.2008-16.01.2009 tarihleri arasında harcanan aktif enerji miktarı sayaç çarpanı 1 olmak üzere 6926 kWh olup endüktif reaktif enerji miktarı 4182 kVARh ve kapasitif reaktif enerji miktarı da 68 kVARh'dır. Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinde 09.01.2007 tarih ve 26398 sayılı resmi gazetede yapılan değişiklikle; "…bağlantı gücü 50 kVA'nın altında olanlar, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuzüçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji tüketmeleri halinde; bağlantı gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür." denilmektedir. Bu doğrultuda ilgili faturada da görüldüğü üzere çekilen endüktif reaktif enerjinin yine çekilen aktif enerjiye oranı;

Q / P = 4182kVARh/6926 kWh = 0,60 yani % 60'tır.

Bu durum üzerine şekil 4.1'de görüldüğü üzere bir kompanzasyon sistemi ilgili sayacın olduğu yere kurulmuştur. Kompanzasyon sistemi kurulduktan sonraki 2010/10 dönemine ait faturada da görüldüğü üzere 25.09.2010-23.10.2010 tarihleri arasında harcanan aktif enerji miktarı 3699 kWh olup endüktif reaktif enerji miktarı 283 kVARh ve kapasitif reaktif enerji miktarı da 63 kVARh'tir. Yani kompanzasyon sistemi kurulduktan sonra şebekeden çekilen endüktif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı;

Q / P = 283 kVARh/3699 kWh = 0,076 yani % 7.6

seviyelerine çekilmiştir. Böylece işletme ceza ödemekten kurtulmuş ve ilgili yerdeki güç katsayısı kurulan kompanzasyon tesisi ile düzeltilmiştir. Bu durumda kompanzasyondan önceki durumda daha önceden açıklandığı gibi; 4.2 ve 4.3 formüllerinden yola çıkılarak kompanzasyon sistemi kurulduktan sonra Q/P oranından tan φ = 0,076 oradan da φ açısı=4,34° bulunur. Buradan cosφ = 0,997 bulunur. Yani cos φ istenen seviyelere çekilmiştir.



Şekil 4.4. Kompanzasyon sistemi yapılmadan önceki ve yapıldıktan sonraki elektrik faturaları

Kompanzasyon sistemi kurulduktan sonra şebekeden aylık ortalama olarak 2090-283= 1.807 kVARh daha az endüktif reaktif enerji çekilmiştir. Q/P oranının 0,60 değerinden 0,076 değerine çekilmesiyle işletme, 2010 yılı TEDAŞ tarifesi doğrultusunda belirlenen kr/kVARh'in 11,275 olduğu baz alınarak aylık;

1807 x 11,275 = 203,73 TL,

yıllık ise yaklaşık;

203,73 x 12 = 2.444,76 TL/yıl

reaktif enerji tüketim bedeli ödemekten kurtulmuştur.

4.2.2. Enne ve kayaboğazı pompa istasyonlarının kompanzasyonu

Enne ve Kayaboğazı pompa istasyonları; Seyitömer Termik Santrali'nin 1.,2.,3. ve 4. ünitelerinin su ihtiyacını karşılamaktadırlar. Enne Barajı'nda suyun belirlenen seviyenin altına düşmesi sonucunda Kayaboğazı pompa istasyonundaki pompalar devreye alınarak Enne Barajı'na, Kayaboğazı Barajı'ndan su basılmaktadır. Enne Barajı'ndan ve Kayaboğazı Barajı'ndan santralin su ihtiyacı karşılanmaktadır. Enne pompa istasyonunda Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere toplam 6 adet pompa motoru

bulunmaktadır. Kayaboğazı pompa istasyonunda ise Şekil 4.6'da görüldüğü üzere toplam 4 adet pompa motoru bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Enne barajı ve pompa istasyonu

Tablo 4.1. Enne Pompa istasyonunda bulunan pompa motorlarının teknik özellikleri

ENNE POMPA İSTASYONU	3 Adet Pompa Motoru İçin	1Adet Pompa Motoru İçin	2Adet Pompa Motoru İçin
Markası	MARELLİ	SİEMENS	SİEMENS
Tipi	NVT560m4	1LA3312	1LA7632
Gücü	500 kW	485 kW	870 kW
Gerilimi	6 kV	6 kV	6 kV
Akımı	58 A	59 A	102 A
Frekansı	50 Hz	50 Hz	50 Hz
cosφ	0,84	0,84	0,85
Devir Sayısı	1480 d/d	1484 d/d	1485 d/d
İnşa Tipi	B3	B5	B3
İzolasyon Sınıfı	B	F	F

Enne barajı tesislerinin O.G. ve A.G. beslemelerini yapan çift sekonderli trafoların teknik özellikleri;

- Markası : ETİTAŞ
- Tipi : Hususi
- Primer/Sekonder-Gerilim : 34,5 / 6 / 0,4 kV
- Primer/Sekonder-Akım : 43,8 / 202 A
- Gücü : 2500 kVA
- Kısa Devre Gerilimi : % 5,34

- Bağlantı Grubu : Dyn 11
- Kademe Sayısı : 5 - 5
- Yağ Markası : SHELL DİALA FG
- Yağ Ağırlığı : 1800 kg
- Toplam Ağırlık : 7800 kg



Şekil 4.6. Kayaboğazı barajı su hattı ve pompa istasyonu

Kayaboğazı pompa istasyonunda bulunan pompa motorlarının teknik özellikleri;

4 Adet pompa motoru İçin;

- Markası : SİEMENS
- Tipi : 1LA1354
- Gücü : 355 kW
- Gerilimi : 6 kV
- Akımı : 39,5 A
- Frekansı : 50 Hz
- cos φ : 0,86
- Devir Sayısı : 1478 d/d
- İnşa Tipi : B3
- İzolasyon Sın. : B

Kayaboğazı Barajı tesislerinin O.G. beslemesini yapan trafoların teknik özellikleri;

- Markası : MAKSAN
- Primer/Sekonder-Gerilim : 34,5 / 6 kV
- Primer/Sekonder-Akım : 17,6 / 80,86 A
- Gücü : 1000 kVA

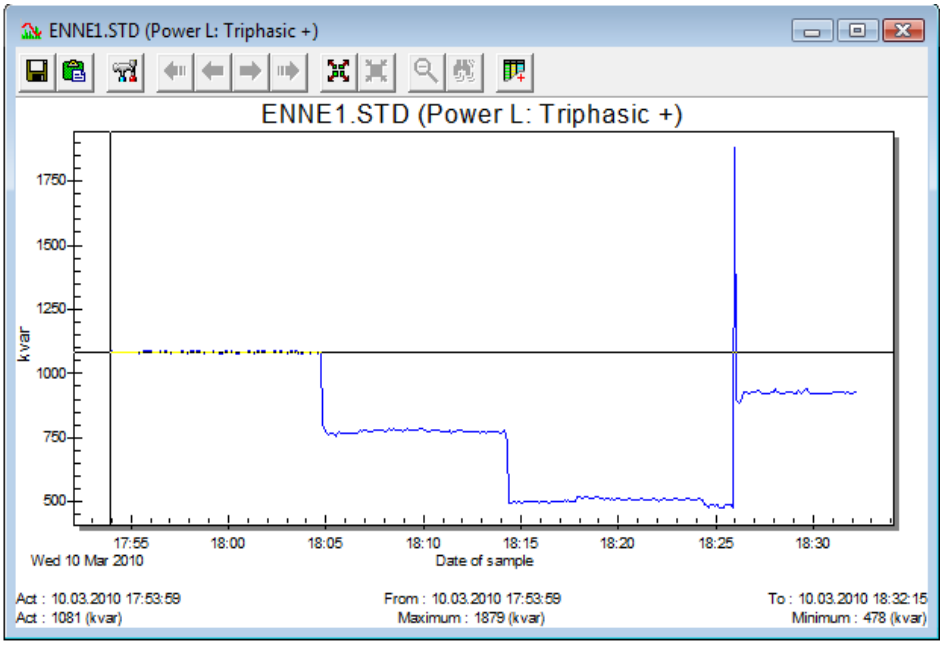
- Kısa Devre Gerilimi : % 6,46
- Bağlantı Grubu : Dyn 11
- Kademe Sayısı : 5
- Yağ Markası : SHELL DİALA AX
- Yağ Ağırlığı : 885 kg
- Toplam Ağırlık : 3145 kg

Seyitömer Termik Santralı İşletme Müdürlüğü I., II., III. ve IV. ünitelerinin su ihtiyacını karşılayan Enne pompa istasyonu ve Kayaboğazı pompa istasyonlarında bulunan OG trafolar ve değişik güçlerdeki (6 kV) elektrik motorlarının halen yürürlükte bulunan elektrik piyasası müşteri hizmetleri yönetmeliğinde belirtilen sınırların altında kalacak şekilde endüktif reaktif enerji tüketimi veya sisteme kapasitif reaktif enerji verilmesini önleyecek kompanzasyon sisteminin yapılması düşünülmektedir.

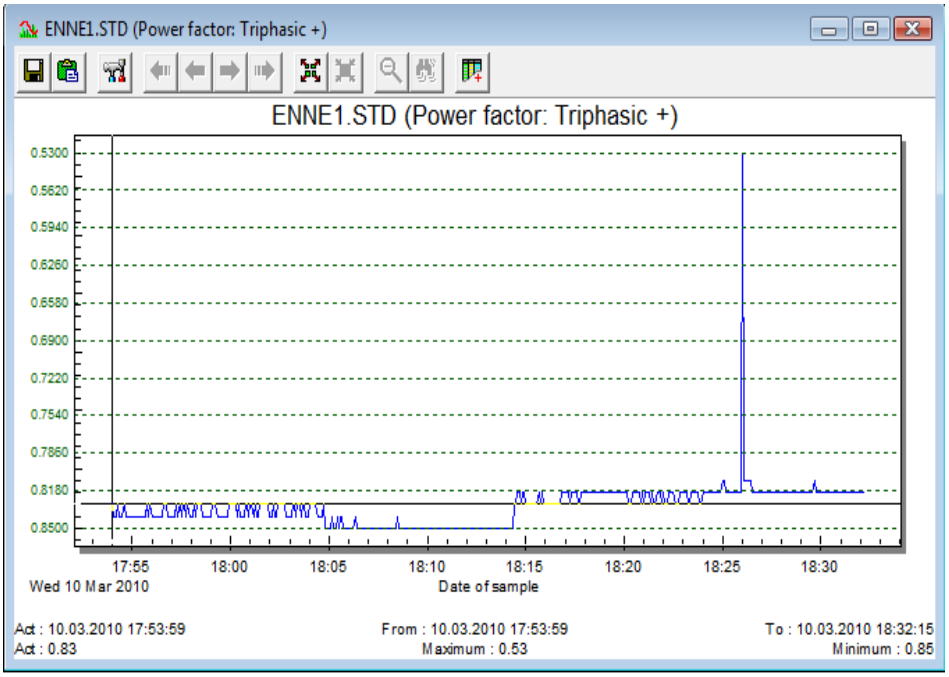
Seyitömer Termik Santrali – Enne Barajı arası eski su isale boru hattı yaklaşık 15 km. uzunluğundadır. Çift sekonderli iki adet 2500 kVA, 34,5 kV / 6 kV / 0,4 kV trafodan tesislerin AG ve OG beslemesi yapılmaktadır. Sayaç 34,5 kV tarafına bağlıdır. Her iki trafo birbirinin yedeği konumundadır. Trafolardan biri devrede iken diğeri yedek olarak beklemektedir. İki adet kesici ile 6,3 kV bara beslemesi, 4 adet elektrik motoru çıkış fideri ve 1 adet yeni su isale hattı çıkış fideri olan BR panosu çıkış fideri olmak üzere toplam 7 adet fider bulunan 6 kV MCCO dağıtım barası bulunmaktadır. Eski su isale hattı üzerinde 3 adet 500 kW, 1 adet 485 kW gücünde toplam 4 adet ve yeni su isale hattında 870 kW gücünde 2 adet elektrik motoru bulunmaktadır. Enne Barajı için mevcut trafo güçlerine göre devreye değişik zamanlarda değişik pompa motorları alınacağı için harmonik filtreli merkezi otomatik kompanzasyon tesisi kurulması düşünülmektedir.

Enne Barajı – Kayaboğazı Barajı arası su isale hattı yaklaşık 35 km. uzunluğundadır. Kayaboğazı pompa istasyonunda 1000 kVA'lık 2 adet 34,5 kV / 6,3 kV trafo ve 34,5 kV / 0,4 kV aydınlatma trafosu mevcuttur. Her bir trafodan beslenen ikişer (toplam dört adet) OG elektrik motoru mevcuttur. Tesisin sayacı 34,5 kV taraftadır. Elektrik motorları SIEMENS marka SF6 gazlı kesicilerle beslenmektedir. Tesislerde sabit tip 100 kVAR kondansatörler bulunmaktadır. Bu kondansatörler yeni projelendirmede devre dışı bırakılacaklardır. 6,3 kV bara iki adet trafo ile ayrı ayrı beslenmektedir. Her bir trafo iki adet 355 kW gücünde elektrik motorunu beslemektedir. Kayaboğazı pompa istasyonu için harmonik filtreli merkezi kompanzasyon sistemi kurulması düşünülmektedir.

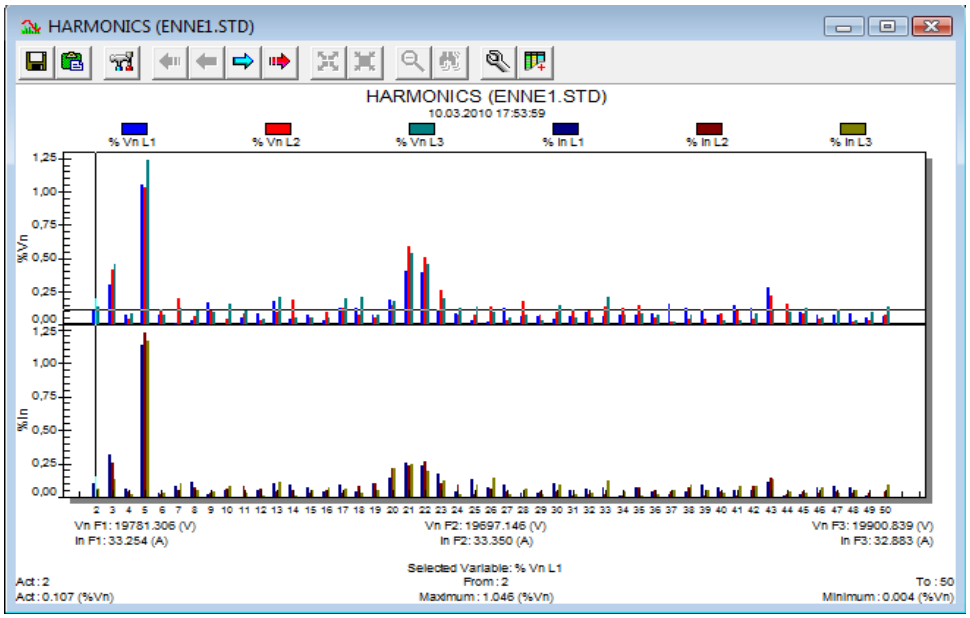
Enne pompa istasyonunda yapılan ölçümler sonucu şebekeden çekilen endüktif reaktif enerjiye, ölçülen güç faktörüne ve pompa istasyonunda oluşan harmoniklere ait grafikler şekil 4.7, şekil 4.8 ve şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Belirlenen pompa motorları devrede iken şebekeden çekilen endüktif reaktif enerji



Şekil 4.8. Belirlenen pompa motorları devrede iken güç faktörünün ölçülmesi



Şekil 4.9. Belirlenen pompa motorları devrede sistemde oluşan harmoniklerin ölçülmesi



Şekil 4.10. Enne barajı için sayaçtan okunan güncel aktif enerji endeksleri



Şekil 4.11. Enne barajı için sayaçtan okunan güncel reaktif enerji endeksleri

Enne ve Kayaboğazı pompa istasyonları şu an itibariyle TEDAŞ abonesi olmayıp güç ihtiyaçları santralin iç ihtiyacından karşılanmaktadır. Santral tesislerinin dışında kalması nedeniyle TEDAŞ bu pompa istasyonlarının TEDAŞ'a abone olmasını

istemektedir. Şu an için bu tesislerdeki sayaçların endekslerinin alınması ve takip edilmesi işi iki kurum yetkililerince beraber yapılmaktadır. Sayaçlardan alınan aylık aktif ve reaktif enerji endeks değerlerine göre reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği'nde belirtilen oranın oldukça üstündedir. Bu durum Enne pompa istasyonu için şekil 4.10 ve şekil 4.11'de, Kayaboğazı pompa istasyonu için ise Şekil 4.12 ve 4.13'te belirtilmiştir.

Enne Barajı için en son okunan güncel aktif enerji 158.310 kWh olup en son okunan güncel reaktif enerji miktarı ise 114.916 kVARh'tir.

Q / P = 114.916 kVARh / 158,310 kWh = 0,725 = % 72,5

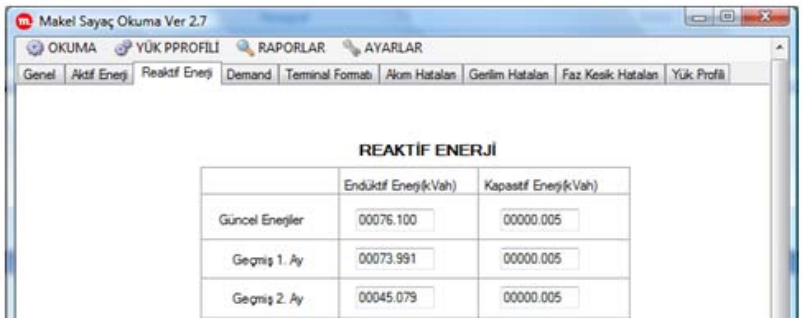
olup belirlenen % 20 değerinin çok üstündedir. Seyitömer Termik Santraline ait Enne Barajı tesislerinin TEDAŞ abonesi olması durumunda mevzuatta belirlenen oranı aştığı için ödemekle yükümlü olacağı yaklaşık reaktif enerji tüketim bedeli (2010 yılı TEDAŞ tarifesi doğrultusunda sanayi için belirlenen kr/kVARh'in 11,275 olduğu baz alınarak); Reaktif enerji tüketim bedeli = 114.916 x 11,275 = 1.295.677 kr = 12.956,77 TL olacaktır. Bu değer yıllık olarak yaklaşık 155.481,24 TL/yıl olacaktır.

Enne Barajı'nda kurulması planlanan harmonik filtreli merkezi kompanzasyon tesisiyle bu değerin ulusal enerji kalitesini arttırmaya yönelik ilgili mevzuatta olabilecek yenilikler göz önünde bulundurularak endüktif reaktif enerji için % 15, kapasitif reaktif enerji için ise % 10 seviyelerine çekilmesi planlanmaktadır. Böylelikle işletme TEDAŞ abonesi olduğunda yıllık olarak 155.481,24 TL ödemekten kurtulacaktır. Bu durumda Q / P oranının % 72,5 seviyelerinden % 15 seviyelerine çekilebilmesi için öngörülen kompanzasyon gücü:

$Q_C = Q_1 - Q_2$ = 158310 kWh x (0,725 – 0,15) = 91.028,25 kVAR'dır.



Şekil 4.12. Kayaboğazı barajı için sayaçtan okunan güncel aktif enerji endeksleri



Şekil 4.13. Kayaboğazı barajı için sayaçtan okunan güncel reaktif enerji endeksleri

Kayaboğazı Barajı için en son okunan güncel aktif enerji 199.528 kWh olup en son okunan güncel reaktif enerji miktarı ise 76.100 kVARh'tir.

Q / P = 76.100 kVARh / 199,528 kWh = 0,381 = % 38,1

olup belirlenen % 20 değerinin üstündedir. Seyitömer Termik Santraline ait Kayaboğazı Barajı tesislerinin TEDAŞ abonesi olması durumunda mevzuatta belirlenen oranı aştığı için ödemekle yükümlü olacağı yaklaşık reaktif enerji tüketim bedeli (2010 yılı TEDAŞ tarifesi doğrultusunda sanayi için belirlenen kr/kVARh'in 11,275 olduğu baz alınarak)

Reaktif enerji tüketim bedeli = 76.100 x 11,275 = 858.027 kr = 8580,27 TL

olacaktır. Bu değer yıllık olarak yaklaşık 102.963,24 TL/yıl olacaktır.

Kayaboğazı Barajı'nda kurulması planlanan harmonik filtreli merkezi kompanzasyon tesisiyle bu değerin ulusal enerji kalitesini arttırmaya yönelik mevzuatta olabilecek yenilikler göz önünde bulundurularak % 15 seviyelerine çekilmesi planlanmaktadır. Böylelikle işletme TEDAŞ abonesi olduğunda yıllık olarak 102.963,24 TL ödemekten kurtulacaktır. Şu an Kayaboğazı pompa istasyonunda motorlarla birlikte devreye girip çıkan sabit kondansatörler bulunduğundan sayaçtan okunan reaktif enerji değerlerini bu sabit kondansatörler etkilemiş lakin zaman içinde eskidiklerinden dolayı Q / P oranını istenilen oranlara çekmeye yeterli gelmemiştir.

4.3. Elektrik Motor Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin Arttırılması

4.3.1. 4.Ünite kömür çıkarıcı ve besleyici sistemlerinde enerji tasarrufu

4.Ünite 1 no'lu ve 6 no'lu kazan kömür besleyici ve çıkarıcı motorlarının tahrik ettikleri kömür besleyici ve çıkarıcı sistemlerinin tüm teknik ve mekanik özellikleri aynı olup 1 no'lu besleyici ve çıkarıcı motorları yeni yapılan bir değişiklikle hız kontrol cihazı ile 6 no'lu besleyici ve çıkarıcı motorları, santralin kurulum aşamasında montajı

yapılmış olan ve motorların hızını kazandaki hava basıncına göre ayarlayan PİV (Pİ Varyatör) ile çalıştırılmaktadır. Pİ Varyatörlü 6 no'lu çıkarıcı motoruyla tahrik edilen sistem şekil 4.15'te de görüldüğü üzere çeşitli mekanik aksamlar içermekte olup 1 no'lu besleyici ve çıkarıcı sistemlerinde şekil 4.14'te de görüldüğü gibi PI Varyatör sistemi bulunmamakta ve motorun hızı yükün durumuna göre hız kontrol cihazı ile kontrol edilerek ayarlanmaktadır. Motorların tahrik ettikleri aynı özellikteki sistemler için çektikleri akımlardan ve motor gerilimlerinden yola çıkarak harcadıkları güçleri arasındaki fark bulunmaya çalışılacaktır. Bu güç farkından PI Varyatörlü sisteme göre hız kontrol cihazı ile yapılan yıllık enerji tasarrufu aşağıdaki gibi hesaplanabilir.



Şekil 4.14. 4. Ünite 1 No'lu çıkarıcı motoru ve 4. ünite 1 No'lu besleyici motoru



Şekil 4.15. 4. Ünite 6 No'lu çıkarıcı motoru ve 4. ünite 6 No'lu besleyici motoru



Şekil 4.16. 4. Ünite 6 No'lu çıkarıcı motoru PIV sistemi



Şekil 4.17. 4. Ünite 1 No'lu çıkarıcı ve besleyici motorlarının hız kontrol cihazları



Şekil 4.18. 4.Ünite 6 No'lu çıkarıcı motorunun çektiği akım ve motor gerilimi

Tablo 4.2. 4.Ünite 1 ve 6 No'lu kömür besleyici ve çıkarıcı sistemlerine ait motorların teknik özellikleri

	4. Ünite 1 No'lu Çıkarıcı Motoru	4. Ünite 1 No'lu Besleyici Motoru	4. Ünite 6 No'lu Çıkarıcı Motoru	4. Ünite 6 No'lu Besleyici Motoru
Markası	EMTAŞ	EMTAŞ	AEG	AEG
Tipi	B3160L/4-NR 768	160 M 42 B3	AM 160M4-4T1	AM132 MR 11
Gücü	15 kW	11 kW	11 kW	7,5 kW
Gerilimi	380 V	380 V	380 V	380 V
Akımı	31,1 A	23,15 A	22,5 A	15,5 A
Frekansı	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
cosφ	0,83	0,83	0,83	0,85
Devir Sayısı	1500 d/d	1460 d/d	1450 d/d	1445 d/dak
İzolasyon Sınıfı	B	F	B	B

4. Ünite nominal 150 MW üretirken besleyici ve çıkarıcı sistemin ortalama 220 t/h debiyle çalıştırılması esnasında 4. ünite 6 no'lu çıkarıcı motorunun gerilimi ve çektiği akımı bara çıkışından ölçü aletleriyle ölçülmüş olup bu değerler şekil 4.18'de görülmektedir. 6 no'lu çıkarıcı motoru ortalama 220 t/h debide 9,5 A akım çekmekte olup bu esnadaki gerilimi de 375,3 V'tur. Ayrıca 4. ünite 6 no'lu besleyici motorunun gerilimi ve çektiği akımı bara çıkışından ölçü aletleriyle ölçülmüştür.

4. Ünite 6 no'lu çıkarıcı motorunun ortalama 220 t/h debide çektiği güç :

P = $\sqrt{3}$ x 375,3 V x 9,5 A x 0,83 = 5,125 kW'tır.

4. Ünite 6 no'lu besleyici motorunun 220 t/h debide çektiği güç :

P = $\sqrt{3}$ x 376,1 V x 6 A x 0,85 = 3,322 kW'tır.

4. Ünite nominal 150 MW üretirken besleyici ve çıkarıcı sistemin 220 t/h debiyle çalıştırılması esnasında 4. ünite 1 no'lu çıkarıcı motorunun gerilimi ve çektiği akımı ile 4. ünite 1 no'lu besleyici motorunun gerilimi ve çektiği akımı bara çıkışlarından ölçü aletiyle ölçülmüştür.

4. Ünite 1 no'lu çıkarıcı motorunun ortalama 220 t/h debide çektiği güç :

P = $\sqrt{3}$ x 376 V x 6,8 A x 0,97 = 4,295 kW'tır.

4. Ünite 1 no'lu besleyici motorunun ortalama 220 t/h debide çektiği güç :

P = $\sqrt{3}$ x 376,9 V x 3,2 A x 0,97 = 2,026 kW'tır.

Sonuç olarak, 4.ünite 1 ve 6 no'lu çıkarıcı motorlarının aynı debide çektikleri güçler arasında;

$P_{M6} - P_{M1}$ = 5,125 – 4,295 = 0,83 kW

4.Ünite 1 ve 6 no'lu besleyici motorlarının aynı debide çektikleri güçler arasında;

$P_{M6} - P_{M1}$ = 3,322 – 2,026 = 1,296 kW

fark bulunmaktadır. Yani hız kontrol cihazları sayesinde 4.Ünite 1 no'lu çıkarıcı sisteminde 0,83 kW ve 1 no'lu besleyici sisteminde 1,296 kW olmak üzere toplam 2,126 kW güç tasarrufu yapılmaktadır. Çıkarıcı ve besleyici motorları günde ortalama 24 saat çalışmakta olup yıllık enerji tasarrufu miktarı yaklaşık olarak; (Çıkarıcı ve besleyici sistemlerinin beslediği değirmenlerin 2,5 ayda bir yaklaşık 2 hafta revizyona alınarak yılda 10 ay çalıştığı dikkate alınarak)

Enerji Tasarruf Miktarı = 2,126 x 24 x 30 x 10 = 15.307,2 kWh/yıl'dır.

Bu tasarrufun sağlayacağı maddi getiri ise;

Enerji Tasarrufunun Maddi Getirisi = 15.307,2 kWh x 0,095 TL = 1.454,16 TL'dir. Bunun yanında hız kontrol cihazı kullanılmasıyla, 4. Ünite çıkarıcı ve besleyici sisteminden sorumlu ilgili buhar üretim servisi yetkilileriyle yapılan görüşmeler sonucunda 1 no'lu çıkarıcı ve besleyici motorlarının hız kontrol cihazlarıyla sürülmeleri sonucu PI Varyatörlerden kaynaklanan arıza masrafların ortadan kaldırılması planlanarak yıllık olarak 20.000 TL olup tasarrufun maddi getirisiyle beraber yaklaşık 21.454,16 TL olacaktır. Bu değerin aylık olarak 1.787,8 TL olması beklenmektedir. 15 kW hız kontrol cihazının bedeli 4.745 TL (2420 Euro) ve 11 kW hız kontrol cihazının

bedeli 3.175 TL (1620 Euro) olup 2 adet hız kontrol cihazı 7920 TL olup cihazların kendilerini 5 ay içinde geri ödemesi beklenmektedir.

4.3.2. 2.Ünite kömür çıkarıcı sistemlerinde enerji tasarrufu



Şekil 4.19. 2. Ünite 1 No'lu çıkarıcı motoru, 2. üniteye ait 6 adet çıkarıcı motorlarını süren hız kontrol cihazları

2. Ünite kömür çıkarıcı sisteminde de yine daha önceden PI Varyatörle çalıştırılan elektrik motorları daha sonradan Şekil 4.19'da da görüldüğü gibi hız kontrol cihazlarıyla birlikte çalıştırılmaktadırlar. Daha önceden PI Varyatörlü sistemde 15 kW olan motor gücü hız kontrol cihazı kullanılmaya başlandığında 18,5 kW'a yükseltilmiştir. PI Varyatör sisteminin yerine hız kontrol sisteminin kurulmasıyla sık sık meydana gelen mekanik arızalar (kasnak, zincir, baskı pabuçları) ortadan kalkmış ve sistemin verimliliği ve de emre amadelik faktörü artmıştır. Bu arızaların ortadan kalkmasıyla ilgili buhar üretim servisiyle yapılan görüşmeler neticesinde işletmenin senelik yaklaşık olarak 6 adet çıkarıcı motorunda 120.000 TL kar elde ettiği tespit edilmiştir. 18,5 kW hız kontrol cihazının bedeli 4.745 TL (2420 Euro) olup hız kontrol cihazı kendini bu masraflar doğrultusunda 1 adet çıkarıcı sistemi için arızalardan kaynaklanan senelik 20.000 TL tasarruf yapılmış olup bu tasarruf bedeli aylık olarak 1.666 TL'dir. Bu değere göre her bir hız kontrol cihazı kendini 3 ay içinde geri ödemiştir.

4.3.3. 4.Ünite soğutma kule fan motor sistemlerinde enerji tasarrufu



Şekil 4.20. 4.Ünite soğutma kuleleri



Şekil 4.21. 4.Ünite soğutma kulesi fan motoru, kanatları, giriş ve çıkış borusu

Soğutma kule vantilatör motorlarında elde edilmesi beklenen enerji tasarrufu hesabına geçmeden önce Seyitömer Termik Santrali'ndeki su-buhar kapalı çevrimi ve bu kapalı çevrimin bir parçası olan soğutma kuleleriyle ilgili özet bir bilginin verilmesi yerinde olacaktır.

Taze hava vantilatörü yanma için gerekli olan havayı atmosferden emer ve bir ısı değiştirgecinden (luvo) geçirerek ısıttıktan sonra kazana basar. Yanma odasında hava yakıt ile birleşerek baca gazını meydana getirir. Baca gazı, kazanın ısıtma yüzeyleri arasından geçerek ısısını bu ısıtma yüzeylerine verir. Daha sonra hava ön ısıtıcısından (luvo), filtrelerden geçer, cebri çekme vantilatörü ile emilerek bacaya verilir ve oradan da atmosfere atılır. Yakıt ile yanma havasının ideal şekilde karıştırılabilmesi mümkün olmadığından, teorik hava miktarı ile tam bir yanma elde edilemez. Bu nedenle

uygulamada bir miktar hava fazlalığı bulunmasına dikkat edilir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da gerçek baca gazı miktarı, teorik baca gazı miktarından daha fazla olur.

Kazandaki su, baca gazları ile ısıtılır, buharlaştırılır ve kızdırılır. Baca gazları ile su arasındaki ısı alış-verişi, borulardan meydana gelen kazan ısıtma yüzeyleri aracılığı ile gerçekleştirilir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında kazandan çıkan buhar, türbinde geniştirilir. Buharın kinetik enerjisi türbin kanatlarında mekanik enerjiye dönüşür ve türbin kanatlarına çarpan buhar, bu kanatlar rotorun üzerine monte edilmiş olduğundan rotoru döndürür.

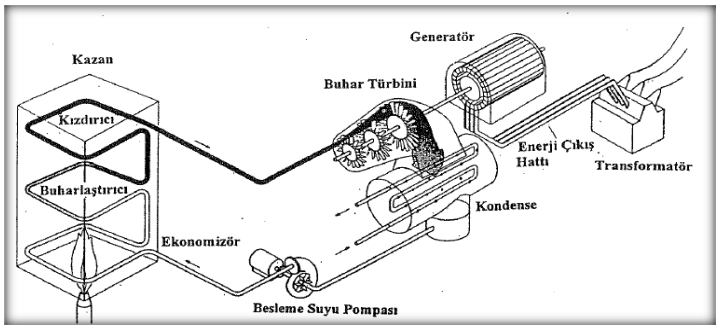
Son türbin kademesinden çıkan buhar kondenseye atılır ve burada yoğuşturulur. Yoğuşarak su haline gelen buhar (kondensat) kondensenin altındaki hotwell diye adlandırılan bir tankta toplanır. Hotwell tankından çıkan kondensat, kondensat pompasına gelir. Burada basıncı bir miktar yükseltilir ve alçak basınç ön ısıtıcılarından geçirilerek besleme suyu tankına gönderilir. Besleme suyu pompası, suyu yüksek basınç ön ısıtıcılarından geçirerek kazana gönderir. Böylece çevrim tamamlanır ve aynı işlemler yeniden başlar. Alçak basınç ve yüksek basınç ön ısıtıcılarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için gerekli olan kızgın buhar, türbinin çeşitli basamaklarından (ara buhar) alınır ve kondensatın ya da besleme suyunun kazana girmeden önce ısıtılmasında kullanılır. Alınan bu ara buharlar zaten türbin kanatlarında iş yapmışlardır. Buna rağmen taşımakta oldukları ısıyı da bu yolla besleme suyuna verdiklerinden kayıpların azalmasına ve dolayısı ile de verimin artmasına neden olurlar. Yani kondensasyon ısı kayıplarının azalması ile ısı harcamasında belirli bir azalma meydana gelir.

Termik santrallerde türbinden çıkarak kondenseye gelen buharı soğutarak yoğuşturmak amacıyla santralin yanına soğutma kuleleri kurulur. Kondenseden ısınmış olarak çıkan su bu kulelerde soğutulur ve tekrar soğutma suyu olarak kondenseye gönderilir. Yani soğutma suyu, kondense ile soğutma kulesi arasındaki bir kapalı devrede devamlı olarak gider gelir. Ancak buharlaşarak kaybolan su devreye eklenir.

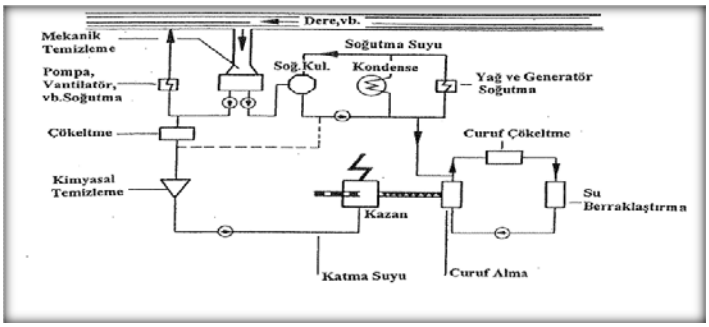
Soğutma suyu sıcaklığının yıllık ortalaması ideal şartlarda 10-15˚C olmalıdır. Bu değerlerin karşılığı olan kondense basıncı 0,03-0,04 ata'dır. Sirkülasyon suyu pompaları, soğutma suyunu kondenseye basarlar. Kondenseye basılan soğutma suyu, burada türbinden gelen buharı yoğuştururken 8-10˚C ısınır. Seyitömer Termik Santrali'nde kondenseden çıkış suyunun sıcaklığı genelde 35-36˚C dereceleri civarındadır. Bu değer kış aylarında yer yer 32˚C'ye düşmekte, yaz aylarında ise yer yer 40˚C'ye kadar çıkmaktadır. Soğutma kulelerinde soğutulmuş olan suyun sıcaklığı 22-

27˚C arasında değişir. Seyitömer Termik Santrali'nde soğutulmuş suyun sıcaklığının yaklaşık 26C olması istenmekle beraber bu değerin 34˚C'yi geçmesi kondensenin vakumunu bozacağından istenmez. Bu değerlerin karşılığı olan kondense basıncı(vakumu) 0,05-0,06 ata'dır. Soğutma kulelerinde soğutulan su, soğutma suyu olarak kullanılmak üzere tekrar kondenseye gönderilir. Buna "kapalı devre ile soğutma" denir. Şekil 4.23'te kapalı devre ile soğutma prensipleri gösterilmiştir.

Su-Buhar çevriminde; Şekil 4.22'de simgesel olarak gösterildiği gibi santralin bir tarafından giren su öteki tarafından atılmamakta tersine, kapalı bir devre içerisinde kimi zaman su fazında, kimi zaman da buhar halinde dönüp durmaktadır.



Şekil 4.22. Su-buhar çevriminin simgesel anlatımı



Şekil 4.23. Kapalı devre ile soğutma

Bu bilgiler ışığında Seyitömer Termik Santrali'nde her bir ünite için 6 adet soğutma kulesi mevcuttur. Bu soğutma kuleleri cebri soğutmalı olup bu cebri soğutma işlemi fanlarla yapılmaktadır. Bu fanlar motorlarla tahrik edilmekte olup motorlar yüksek hızlı devir ve düşük hızlı devir olmak üzere çift devirlidir. Motor devirlerini türbin işletme tablocu soğutma suyunun kondenseden çıkış ve kondenseye giriş sıcaklıklarına göre manuel olarak belirlemektedir. Soğutma kulesindeki soğutma şartları her ne kadar cebri soğutmalı olsa da dış ortamla etkileşim içinde olduğundan

kondenseden kulelere gelen suyu soğutma işlemi dış hava şartlarından etkilenmektedir. Bu durumda yaz aylarının hava koşullarına bağlı olarak hava sıcaklığının ortalaması yüksek olduğundan soğutma kule motorları genellikle yüksek devirde çalıştırılmaktadır. Bu durum kış aylarında ise hava sıcaklığının ortalaması düşük olduğundan motorlar genellikle düşük devirlerde çalıştırılmaktadır. 4. Ünite türbin tablo raporları doğrultusunda kış aylarında motorların çektikleri ortalama akım değerleri ortalama 90 amper civarındayken yaz aylarında motorların çektikleri akımlar ortalama 170 amper civarındadır. Bu ortalama değerler hesaplanırken gün içindeki gece ve gündüz sıcaklık farkları da dikkate alınmıştır. Sonuç olarak soğutma suyunun sıcaklığına göre soğutma işlemini yapabilmek için 6 adet fan motoru değişik yüklerde çalıştırılabilmekte ve de değişik akımlar çekebilmektedirler. Ayrıca yıl içinde bazı zamanlar türbin tablocu motorların arızalanma ihtimaline karşın giriş ve çıkış suyu sıcaklığının farkını arızaya müdahale edilebilmesi için 8°C yerine 11˚C ayarlayabilmektedir. Kondenseye giren ve çıkan soğutma suyunda 11˚C'lik sıcaklık farkına ulaşabilmek için bazı motorlar yüksek devirde çalıştırılarak yüksek akım çekmektedirler. Kış aylarında (Aralık-Ocak-Şubat) günlük raporlar incelendiğinde motorlar ortalama 90 A akım çekmekteyken bazı motorların (genellikle 2 adet motor) arızalara karşı tedbiren soğutma suyu sıcaklık farkını 8˚C yerine 11˚C çıkarılabilmesi için bazı saatlerde yüksek devirde çalıştırılarak 160 A- 215 A arasında akım çektiği tespit edilmiştir. Bu ise olası bir arıza için motorların gereksiz yere yüksek devirde çalıştırılarak enerji sarfiyatına yol açtığı düşünülmektedir. Bu nedenle işletme müdürlüğü tarafından sistemde bu ve buna benzer var olduğu düşünülen enerji sarfiyatlarını engellemek doğrultusunda fan motorlarının ihtiyaç duyulan soğutma suyu sıcaklık farkını elde edebilmek için gereken devirde çalışabilecek şekilde bir skada sistemi dahilinde hız kontrol cihazıyla sürülmelerine karar verilmiştir. Bu işin yapılması sonucunda fan motorları kondenseye giriş ve çıkış sıcaklıklarını belirlemek için giriş ve çıkış borularına sıcaklık sensörü bağlanacak ve bu sensörlerden alınan sinyallerle iletişim içinde olacak bir skada sistemi kurulacak ve hız kontrol cihazı da bu sistemin bir parçası olacaktır. Bu sinyallerden gelen değerlere göre soğutma suyunun kondenseye giriş ve çıkış sıcaklık farkını istenen değere getirinceye kadar (8˚C) skada sistemi kontrolünde otomatik olarak hız kontrol cihazları motorların gereken devirde çalışmalarını sağlayacaktır. Ayrıca skada sistemi belirlenen referans sıcaklığına ulaşılabilmesi için motorların eşit akım çekmesini yani eşit güçlerde çalışmasını sağlayacak bunun sonucunda da motorların eşit miktarda mekanik olarak yaşlanmaları sağlanacaktır. Sonuç olarak hem enerji sarfiyatının da önüne geçilmesi

hem de sistemin ömrünün uzatılması planlanmaktadır. 6 adet 4.Ünite soğutma kule fan motorlarının teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Markası : CONSTRUSTIONS
- Tipi : S 5078
- Gücü : 150/25 kW
- Gerilim : 380 V
- Akım : 282/85 A
- cos φ : 0,87
- Devir Sayısı : 1485/745 d/d
- İnşa Tipi : B3
- İzolasyon Sınıfı : B

Skada sistemi kurulduktan sonra soğutma kule fan motorlarına hız kontrol cihazları takıldıktan sonra kış aylarında elde edilmesi beklenen enerji tasarrufunun yaklaşık olarak tespit edilebilmesi için 4.Ünite soğutucu kule fan motorları ile ilgili raporların incelenmesi sonucunda Aralık-Ocak-Şubat aylarında motorların çektiği ortalama yaklaşık akımın 90 A olduğu tespit edilmiştir.

Aralık-Ocak-Şubat aylarında genellikle iki adet soğutma kule motorunun soğutma suyu sıcaklık farkını 8C yerine soğutma kule motorlarında herhangi bir arıza ihtimaline karşı 1f C çıkardığı ndan gereğinden fazla yüksek devirde çalıştırıldığı için yüksek akım çektiği tespit edilmiştir (Anonim, 2009).

Tablo 4.3. 4.Ünite soğutma kulesi fan motorlarının çektiği akımlar

AYLAR	3. ve 5. No'lu Soğutma Kule Vantilatör Motorlarının Çektiği Akımlar	2. ve 5. No'lu Soğutma Kule Vantilatör Motorlarının Çektiği Akımlar	1. ve 4. No'lu Soğutma Kule Vantilatör Motorlarının Çektiği Akımlar
ARALIK			1. No'lu Motor 11 saat 180 A 4 No'lu Motor 5 saat 188 A, 5 saat 190 A
OCAK	3. No'lu Motor 4 saat 160 A 5 No'lu Motor 1 saat 212 A		
ŞUBAT		2. No'lu Motor 9 saat 185 A 5 No'lu Motor 11 saat 210 A	

Kış aylarında ortalama motorlar yaklaşık 90 A akım çekebilecekken soğutma kule motorlarında herhangi birisinde arıza ihtimaline karşı yüksek devirde çalıştırılan 2 adet motor gereğinden fazla akım çektiğinde fazladan harcandığı ve tasarruf edilebileceği düşünülen yaklaşık enerji miktarı; Aralık, Ocak ve Şubat ayları için;

P = 34.066,5 + 6905,1 + 37359,6

P = 78.331,2 kWh'tır. Bunun yanında motorla birlikte çalışan sistemde meydana gelen mekanik arızalarından da önüne geçilmesi beklenmektedir. Bulunan bu değerler günlük raporlar doğrultusunda elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır.

4.3.4. 2. Ünite soğutma suyu sirkülasyon pompasında enerji tasarrufu

Seyitömer Termik Santrali'nde su-buhar kapalı çevriminin bir parçası olan sirkülasyon suyu pompası soğutma kulelerinde soğutulan suyun kondenseye basılması görevini üstlenir. Bu sayede kondensedeki mutlak basıncın yaklaşık 0.060 kg/cm^2 , vakumun ise 620 mmHg seviyesinde tutulması sağlanmaktadır. Şekil 4.25'te görülen kondensenin gelen buharları yoğuşturma görevini yapabilmesi için bu değerlerin korunması gerekmektedir. Santralde ikinci üniteye ait iki adet soğutma suyu sirkülasyon pompası bulunmaktadır. İkinci üniteye ait kondansede belirlenen basıncın ve vakumun yakalanması için iki pompa birlikte çalıştırılmaktadır. Santralde 2. Ünite için kullanılan şekil 4.24'te görülen iki adet sirkülasyon suyu pompasının ve motorunun teknik özellikleri aşağıda belirtilmektedir.



Şekil 4.24. 2. Ünite soğutma suyu sirkülasyon pompaları



Şekil 4.25. 2. Ünite kondense ünitesi

Soğutma suyu sirkülasyon pompasının teknik özellikleri;

- Markası : FRANCO TOSI
- Tipi : Sv. 96
- Kapasitesi : 11.500 m^3/h
- Devir Sayısı : 490 d/d
- Manometrik Yükseklik : 22 mss
- Gücü : 820 kW

Soğutma suyu sirkülasyon pompa motorunun teknik özellikleri;

- Markası : ASGEN
- Tipi : CVT800L/12
- Gücü : 950 kW
- Gerilim : 6 kV
- Akım : 120 A
- cos φ : 0,85
- Devir Sayısı : 495 d/d
- İnşa Tipi : B5

2.Ünite türbin günlük raporlarında üniteler 150 MW nominal üretim yaparken kondensedeki vakumun 620 mmHg ve mutlak basıncın 0,060 olmasını sağlayabilmek için soğutma suyu sirkülasyon pompalarının aynı anda çalıştırıldıkları ve pompa motorlarının ortalama 95 amper çektiği tespit edilmiştir. Bu akım değerlerinden yola çıkılarak 1 adet pompa motorunun harcadığı güç;

$P = \sqrt{3}$ x 6000 V x 95 A x 0,85 = 839,17 kW'tır.

Pompaların gücü 820 kW olduğu dikkate alınırsa motor kayıpları da dikkate alınarak pompaların tam kapasitede çalıştırıldıkları anlaşılacaktır. Yani iki pompa

birden saatte 23.000 ton soğutma suyunu kondenseye basmaktadırlar. 2. Ünite 1973 yılında devreye alınmış olup, 2. üniteye ait 1978 yılına ait türbin günlük raporlarında ise 2. Ünite 120 MW üretirken kondensedeki vakumun 620 mmHg ve mutlak basıncın 0,060 olmasını sağlayabilmek için tek sirkülasyon pompasının çalıştığı ve motorunun da ortalama 97 A akım çektiği tespit edilmiştir. Santralin ilk işletme yıllarında kondensenin verimliliğinin yüksek olması ve sistemin yeni olması gibi nedenlerle 1978 yılı dikkate alınmıştır. Yukarıdaki bilgiler dikkate alınırsa zamanla kondense sistemindeki verimliliğin düşmesi nedeniyle kondensede aynı vakum ve basınç değerlerinin elde edilebilmesi için iki pompanın tam kapasite çalıştırıldığı tespit edilmiş olup soğutma suyu sirkülasyon pompa sistemlerinde enerji tasarrufu yapılabileceği düşünülmektedir.Ayrıca soğutma sirkülasyonu pompaları da zamanla eskimiş olup pompaların verimleri de oldukça düşmüştür. Bunun için ilk etapta kondense sisteminde yapılacak yenilemelerle ve bakımlarla kondense eski verimliliğine kavuşacak ve böylece belirlenen değerlerin yakalanabilmesi için pompalar tam kapasitede çalıştırılmayacak ve de pompa motorları iç ihtiyaç sisteminden daha az akım çekeceklerdir. Bunun için kondensede yapılabilecek işlemler aşağıda sıralanmıştır;

- Kondense içindeki boru demetlerinin sağlamlığı sağlanabilir.
- Kondense içindeki boru demetlerinin özellikle kireçlenmeye karşı temizliği yapılarak soğutma işlemi için gereğinden fazla soğutma suyu sirküle edilmenin önüne geçilebilir.
- Kondensedeki sıcak drenaj hatlarının sağlamlığı ve sızdırmazlığı sağlanabilir.
- Kondensedeki ejektör hava emiş sistemleri düzeltilebilir.

Sonuç olarak ünite 120 MW üretim yaparken kondensede istenen vakum ve basınç değerlerinin sağlanabilmesi için tek pompa çalıştırılabilirken şu an istenen değerlerin yakalanabilmesi için iki pompa da tam kapasite çalıştırılmaktadır. Bu nedenle işletmede kondensedeki gerekli bakımların ve yenilenmelerin yapılmasından sonra pompa motorlarına hız kontrol cihazları takılarak sistemin ihtiyaç duyduğu yükle orantılı olarak motorların yüke göre akım çekmelerinin sağlanabileceği ve böylece enerji tasarrufu yapılabileceği kanaati oluşmuştur. Böylece ünite 150 MW üretim yaparken kondensede istenen basınç ve vakum değerlerinin sağlanabilmesi için pompalar eşit ve daha düşük kapasitede çalıştırılabilecek iç ihtiyaç sisteminden daha az akım çekebilecektir. Ünite 150 MW üretim yaparken her bir pompanın 75 MW üretimde kondensenin ihtiyacını karşılayabileceği düşünülürse kondensenin ideal özelliklere kavuşmasından sonra daha önce 120 MW üretim için 96 A akım çeken

pompa motoru 75 MW'ta yaklaşık 60 A akım çekebilecek ve pompa tam kapasite yerine % 60 kapasitede çalışabilecektir. Yani pompanın çalışma debisi de sistemin ihtiyacına göre düşmüş olacaktır. Böylece iki pompa 150 MW için yaklaşık % 60'şar kapasitede çalışabileceği düşünülmektedir. Şu anki sistemde 1 adet pompa motorunun çektiği güç yukarıda 839,17 kW olarak hesaplanmıştı. Pompaların hız kontrol cihazlarıyla birlikte % 60 yükte çalışırken çekeceği düşünülen güç;

$P = \sqrt{3}$ x 6000 V x 60 A x 0,97 = 604,83 kW'tır.

Yani bir soğutma suyu sirkülasyon pompa motorundan yaklaşık olarak 234,34 kW tasarruf edilebilecektir. Ayrıca 11.500 t/h debide tam kapasite çalışan bir adet pompanın çalışma debisi de pompalarda değişken torklu uygulamalarda formül 3.8, 3.9 ve 3.10'da de belirtildiği gibi güç hızın küpüyle orantılı olarak değiştiğinden ve de hızlar oranı debiler oranına eşit olduğundan yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu durumda

$((11.500 \text{ t/h}) / Q_2)^3 = 839,17 / 604,83$

Olup yeni debi değerinin 10.360 t/h olması beklenmektedir. Ayrıca bu durum için hem 2. ünite sirkülasyon pompalarının hem de motorlarının değiştirilmesi düşünülmektedir. Motorların yüksek verimli motor olarak seçilmesi düşünülmektedir. Böylece standart motordan kaynaklanan kayıplar ortadan kalkacak ve motor daha yüksek verimde çalışacaktır. Sistemden hız kontrol cihazının takılması ve kondense sisteminde gerekli düzenlemelerin yapılmasından sonra üniteler devrede iken günde 24 saat çalıştırılan 1 adet pompa motorundan beklenen yıllık enerji tasarrufu;

Enerji Tasarrufu = 234,34 kW x 24 x 30 x 12 = 2.024.697,6 kWh

olarak beklenmektedir. Toplam beklenen enerji tasarrufu ise 2. ünitede toplam 2 adet pompa motoru olduğundan 4.049.935,2 kWh enerji tasarrufu beklenmektedir.

4.3.5. PD park makinesi çark motorunda enerji tasarrufu

PB ve PD park makinaları yardımıyla ünitelerin ihtiyaç duyduğu kömürler 800 t/h debiyle bantlar vasıtasıyla kömür bunkerlerine taşınmaktadır. PB park makinesi çark motoru şebekeye üçgen bağlı olup direkt yol verilerek ilk etapta boşta çalıştırılmakta motor devri 1500 d/d'ya ulaşınca hidrolik kaplin yardımıyla kavrama yapılmakta ve böylece kaplinle bağlantılı redüktör mili de çarkı döndürmektedir. Böylece çark motorunun demaraj akımı da sınırlandırılmaya çalışılmaktadır. PD park makinesinde ise çark motoru hız kontrol cihazı ile sürülmekte ve de çark, çark motoruyla birlikte hareket eden redüktör mili tarafından hareket ettirilmektedir. Burada hız kontrol cihazı

kullanıldığı için demaraj akımları ortadan kaldırılmakta ve çark motoruna yumuşak yol verilmektedir. PB ve PD park makinesi ile ilgili teknik özellikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.26. PD park makinesi, çarkı ve çark motoru

PD Park Makinesi Çark Motoru Teknik Özellikleri:

Markası : AEG
Tipi : AM 280 SX4
Gücü : 75 kW
Gerilimi : 380 V
Akımı : 145 A
Frekansı : 50 Hz
Devir Sayısı : 1480 d/d
İnşa Tipi : B3
İz. Sınıfı : B

PD park makinesinin yaklaşık 800 t/h debiyle çalıştırılması esnasında çark motorunun gerilimi, çektiği akımı ölçülmüş olup çark motorunu süren hız kontrol cihazı da şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. PD park makinesi çark motorunun hız kontrol cihazında okunan akım ve gerilimi



Şekil 4.28. PB park makinesi, çarkı ve çark motoru

PB Park Makinesi Çark Motoru Teknik Özellikleri:

Markası : UNELEC

Tipi : FNC 280 M4/B3

Gücü : 75 kW

Gerilimi : 380 V

Akımı : 141 A

Devir Sayısı : 1480 d/d

İnşa Tipi : B3

İz. Sınıfı : B

PB park makinesinin yaklaşık 800 t/h debiyle çalıştırılması esnasında çark motorunun gerilimi, çektiği akımı ölçülerek besleme sisteminden çektiği güç hesaplanmıştır.

Sonuç olarak PB ve PD park makinaları çark motorlarının aynı debide çektikleri güçler arasında 43,13 – 42,14 = 0,99 kW fark bulunmaktadır. Yani hız kontrol cihazı sayesinde 0,99 kW güç tasarrufu yapılmaktadır. Çark motorları günde parktan almada ortalama 18 saat çalışmakta olup yıllık enerji tasarrufu miktarı yaklaşık olarak; yıllık enerji tasarrufu miktarı = 0,99 x 18 x 30 x 12 = 6.415,2 kWh'tir. Bu tasarrufun sağlayacağı maddi getiri ise;

Enerji tasarrufunun sağlayacağı maddi getiri = 6.415,2 kWh x 0,095 TL

= 609,44 TL/yıl'dır.

Hız kontrol cihazı PD park makinesinden sorumlu ilgili dış tesisler servisi yetkilileriyle yapılan görüşmeler sonucunda hidrolik kaplin, redüktör dişlileri ve rulmanlardan kaynaklanan arıza masrafları ortadan kaldırılmış yıllık olarak 10.000 TL maddi tasarruf sağlanmıştır. Enerji tasarrufu ve arızaların ortadan kalkmasıyla yıllık ortalama yaklaşık 10.609,44 TL olup bu değer aylık olarak 884,12 TL'dir. 75 kW hız

kontrol cihazının bedeli 15.178 TL (7740 Euro) olup hız kontrol cihazı kendini bu masraflar doğrultusunda 18 ay içinde geri ödeyecektir.

4.3.6. 1. ve 2. üniteler sistem reglaj hava kompresörlerinde enerji tasarrufu

1. ve 2. Üniteler için gerekli olan reglaj havasının bir kısmının temini için kullanılan dalgakıran vidalı hava kompresörünün teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Modeli : DVK-100
- Çalışma Basıncı : 7.5 bar
- Kapasite : 12.4 m^3/dak.
- Güç : 75 kW
- Gerilim : 400 V
- Akımı : 85 A
- Frekans : 50 Hz
- Yağlama Yağı : SHELL CORENA S 46

Kompresörde yüksek verimli motor kullanılmış olup motorun teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Markası : TECO-Westinghouse
- Gücü : 75 kW
- Gerilimi : 380 V
- Akımı : 136 A
- Devir Sayısı : 2970 d/dak
- Verimi : % 93,6
- cos φ : 0,9
- Devir Sayısı : 2970 d/d
- İz. Sınıfı : F

Kompresör; mevcut şartlarda 1. ve 2. ünitelerin reglaj sistemlerinin ihtiyacını karşılamak şekil 4.29'da görüldüğü gibi 5,7–6,7 bar basınç aralığında çalıştırılmaktadır. Burada ayarlanan 6,7 bar basınca ulaşılınca kompresör boşta çalışmaya başlayarak basınçlı hava üretimini durdurmakta ve de basınç değeri 5,7 bar olunca tekrar yükte çalışmaya başlayarak basınçlı hava üretmektedir. Yani kompresör motoru belirlenen alt ve üst basınç limitleri arasında boşta çalışmakta ve enerji israfı meydana gelmektedir. Şekil 4.30'da devreye alındığı 14.08.2006 tarihinden itibaren kompresörün tam ve

toplam çalışma saatleri görülmekte olup tam çalışma saati kompresörün yükte çalışma saatini göstermektedir.



Şekil 3.20. 1. ve 2. ünite reglaj hava kompresörü



Şekil 3.21. Kompresörün tam ve toplam çalışma saatleri

Bu sürelerden faydalanılarak kompresörün devreye alındığı tarihten itibaren belirlenen basınç değerleri aralığında boşta çalışma saati hesaplanabilir. Bu durumda kompresör motoru devrede olup boşta çalışmaktadır.

Kompresörün boşta çalışma süresi = Toplam çalışma saati – Tam çalışma saati

= 29.547 saat – 15.112 saat = 14.435 saat

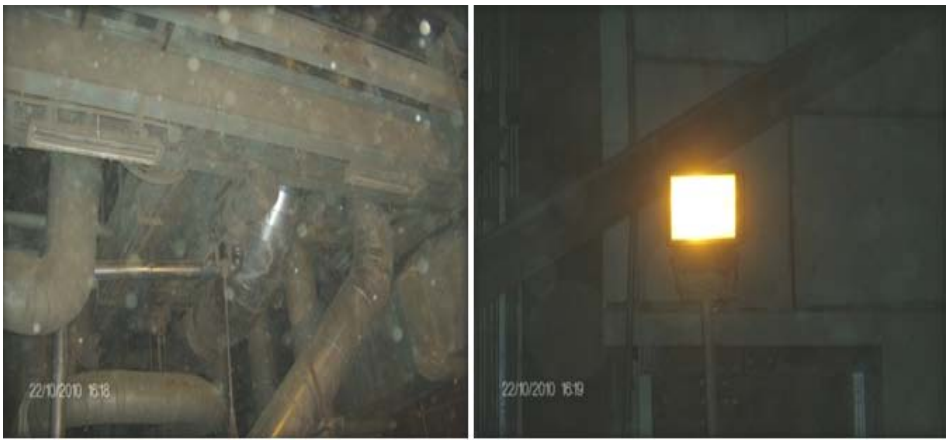
olarak hesaplanabilir. Motorun boşta çalışırken çektiği gücü hesaplayabilmek için kompresör boşta çalışırken sistemden çektiği akım ve motorun gerilimi ölçülerek Kompresörün 5,7–6,7 bar aralığında boşta çalışırken çektiği güç 22,05 kW olarak hesaplanmıştır. Bu güç değeri kompresörün boşta çalışma süresi ile çarpılırsa kompresörün devreye alındığı tarihten itibaren israf edilen güç kWh cinsinden hesaplanabilir. Boşa harcanan güç;

P = 22,05 kW x 14.435 = 318.291,75 kWh'tır.

Yaklaşık 4,5 yıllık enerji israfının tespit edilmesi üzerine yıldız-üçgen yol verilen bu kompresör motorunun hız kontrol cihazıyla sürülmesine karar verilmiştir. Böylece amacı kullanım havasını sürekli olarak istenen basınç değerinde sabit tutmak olan kompresörün basınç sensörü sayesinde kullanımdaki havanın basınç değerini sürekli ölçerek motor devri bu basınç değerine göre ayarlanabilecektir. Ayarlanan basınç değerine (6,2 bar) ulaşılınca hız kontrol cihazı motorun devrini yavaşlatacak, hava tüketimindeki değişikliklere göre motorun hızlanmasına veya yavaşlamasına karar vererek sistemin basıncını sabit tutacaktır. Böylece en ekonomik çalışma sağlanarak mevcut sistemde oluşan kayıplar ve yaşanan arızalar da engellenecektir. Eğer hava tüketimi belirli bir değerin altına düşerse hız kontrol cihazı ayarlı olduğu minimum devre kadar düşecek ve kompresörü boşa geçirecektir. Ayrıca kompresör çalıştırılmaya başlandığında motorun yavaş ve darbesiz bir şekilde sıfırdan maksimum devre ulaşması sağlanacak, kompresör durdurulmak istendiğinde yine kalkış biçimi gibi yumuşak ve kontrollü bir şekilde motor yavaşlatılıp durdurulacaktır. Sonuç olarak enerji israfının önüne geçilerek enerji tasarrufu yapılacaktır. Yıllık olarak yaklaşık 70.731,5 kWh enerji tasarrufu potansiyeli hesaplanmıştır.

4.4. Aydınlatmada Enerji Verimliliğinin Arttırılması

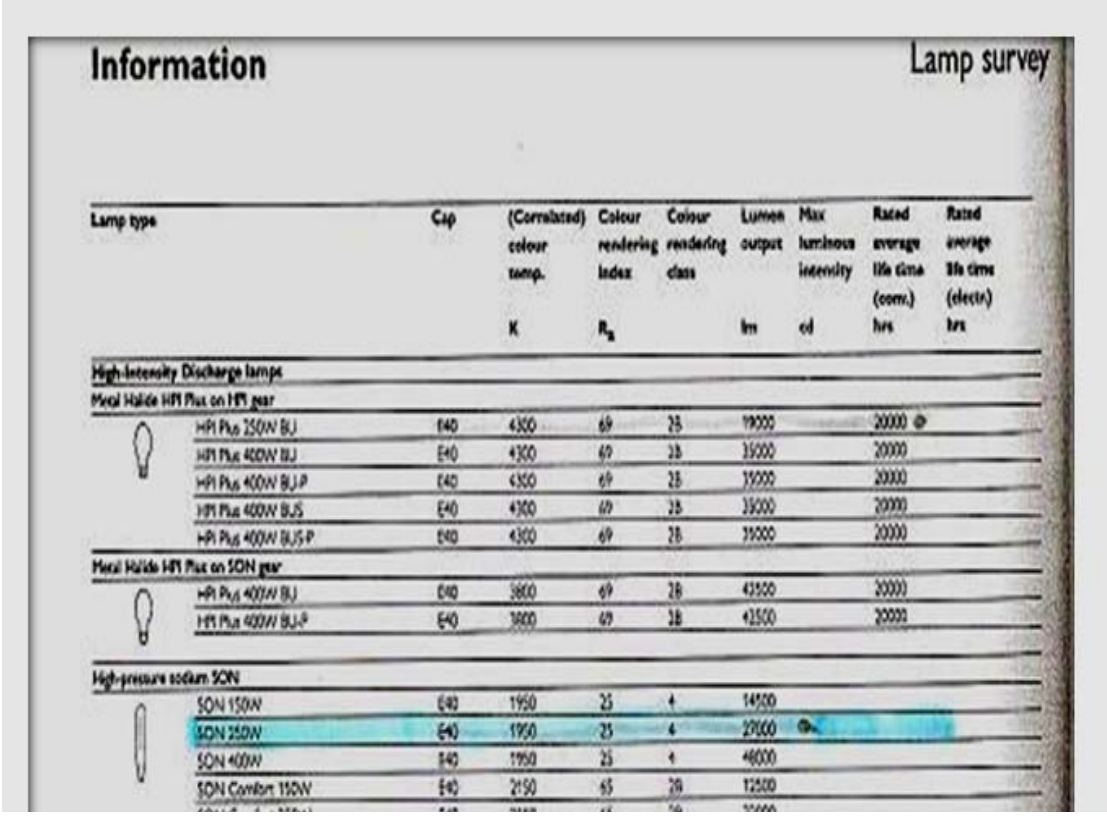
4.4.1. İç aydınlatmada yapılan enerji tasarrufları



Şekil 4.31. 2. Ünite kazan 27 m kodu aydınlatmalarında enerji tasarrufuna yönelik yapılan değişiklikler

Tablo 4.4. 1.ve 2. Ünitelerde kazan kotlarında aydınlatma sisteminde enerji tasarrufuna yönelik yapılan çalışmalara ait veriler

			Daha önceden mevcut olan			Şu an mevcut olan		
Ünite No	Kat	Metre (kot)	Lamba Tipi	Adet	Lamba Gücü (Watt)	Lamba Tipi	Adet	Lamba Gücü (Watt)
1	Zemin	0	Fluoresan	92	40	Y.B. Sod. Buh.	6	250
1	1	10,5	Fluoresan	90	40	Y.B. Sod. Buh.	6	250
1	2	22	Fluoresan	150	40	Y.B. Sod. Buh.	12	250
1	3	27	Fluoresan	69	40	Y.B. Sod. Buh.	5	250
1	4	32	Fluoresan	70	40	Y.B. Sod. Buh.	5	250
1	5	39	Fluoresan	60	40	Y.B. Sod. Buh.	4	250
1	6	43	Fluoresan	54	40	Y.B. Sod. Buh.	3	250
1	7	52	Fluoresan	51	40	Y.B. Sod. Buh.	4	250
2	Zemin	0	Fluoresan	92	40	Y.B. Sod. Buh.	10	250
2	1	10,5	Fluoresan	90	40	Y.B. Sod. Buh.	3	250
2	2	22	Fluoresan	150	40	Y.B. Sod. Buh.	10	250
2	3	27	Fluoresan	69	40	Y.B. Sod. Buh.	6	250
2	4	32	Fluoresan	70	40	Y.B. Sod. Buh.	4	250
2	5	39	Fluoresan	60	40	Y.B. Sod. Buh.	4	250
2	6	43	Fluoresan	54	40	Y.B. Sod. Buh.	4	250
2	7	52	Fluoresan	51	40	Y.B. Sod. Buh.	5	250
			Toplam Güç		50880	Toplam Güç		22750



Şekil 4.32. 2. Ünite kazan 27 m kodu aydınlatmalarında enerji tasarrufuna yönelik kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürün teknik özellikleri

Böylece her iki ünitede 1272 adet 40 watt floüresan lamba yerine 91 adet 250 watt yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür takılmış olup;

Elde Edilen Enerji Tasarrufu =1272 x 40 – 91 x 250 = 28.130 watt

'tır.Bahsedilen yerlerdeki aydınlatmalar günde ortalama 24 saat çalışmaktadır. Bu durumda;

Yıllık enerji tasarruf miktarı = 28.130 x 24 x 30 x 12 = 243.043,2 kWh/yıl'dır.

Ayrıca bu enerji verimliliğine yönelik çalışmalardan da;

Tasarrufun maddi getirisi = 243.043,2 kWh x 0.095 TL = 23.089 TL/yıl'dır.



Şekil 4.33. 1.,2.,3. Ünite 10,5 m türbin-generatör kodu aydınlatmalarında yapılan değişiklikler

I., II., III. ve IV. ünite türbin makine dairelerinde bulunan ve her biri 250 Watt gücündeki 173 adet civa buharlı lamba yerine; I., II. ve III. ünite türbin makine dairelerine 3 adet 2000 watt'lık IV. ünite türbin makine dairesinde ise 2 adet 1000 watt'lık metal halide armatürler kullanılmıştır. Bu çalışma sonucu 43250 W elektrik enerjisi harcanmaktayken ilgili ortamın aydınlatılmasını sağlayan metal halide armatürlerle 35.250 W (43250 W - 8000 W) tasarruf edilmiştir. Bahsedilen yerlerdeki aydınlatmalar günde ortalama 12 saat çalışmaktadır. Bu durumda;

Yıllık enerji tasarruf miktarı = 35.250 x 12 x 30 x 12 = 152.280 kWh/yıl'dır.

Ayrıca bu enerji verimliliğine yönelik çalışmalardan da;

Tasarrufun maddi getirisi = 152.280 kWh x 0.095 TL = 14.466 TL/yıl'dır.

Santral genelinde ve sosyal tesislerde bulunan toplam 232 adet 60 W akkor flamanlı lamba değiştirilerek yerlerine 20 adet 40 W, 75 adet 20 W ve 137 adet 9 W'lık enerji tasarruflu lamba (ampul) takılmıştır. Bu değişiklik sonucu 10.387 W'lık enerji

tasarrufu sağlanmıştır. Bahsedilen yerlerdeki aydınlatmalar günde ortalama 12 saat çalışmaktadır. Bu durumda;

Yıllık enerji tasarruf miktarı = 10.387 x 12 x 30 x 12 = 44.871,84 kWh ’dır.

Ayrıca bu enerji verimliliğine yönelik çalışmalardan da;

Tasarrufun maddi getirisi = 44.871,84 kWh x 0.095 TL = 4.262 TL/yıl’dır.

4.4.2. Dış aydınlatmada yapılan enerji tasarrufları



Şekil 4.34. Açık ambar sahası dış aydınlatmalarında enerji tasarrufuna yönelik yapılan çalışmalardan örnekler

Açık Ambar sahası aydınlatılmasında kullanılan 70 adet 1000 Watt’lık yüksek basınçlı civa buharlı armatür yerine 2 adet 1000 W’lık ve 10 adet 250 Watt’lık yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür kullanılmıştır. Ayrıca santralin ilk kurulum aşamasında gereğinden fazla olan armatürler de devre dışı bırakılmış ve ihtiyaçlar doğrultusunda enerji verimliliğine yönelik armatür değişimleri yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak ilgili yerlerin aydınlatılması için harcanan elektrik enerjisinde 65.500 W tasarruf edilmiştir. Bahsedilen yerlerdeki aydınlatmalar günde ortalama 12 saat çalışmaktadır. Bu durumda;

Yıllık tasarruf miktarı = 65.500 x 12 x 30 x 12 = 282.960 kWh/yıl ’dır.

Ayrıca bu enerji verimliliğine yönelik çalışmalardan da;

Tasarrufun maddi getirisi = 282.960 kWh x 0.095 TL = 26.881 TL/yıl’dır.



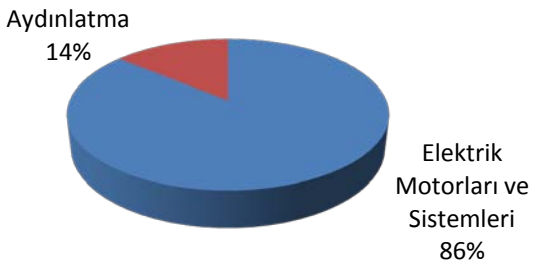
Şekil 4.35. Santral geneli dış aydınlatmalarda enerji tasarrufuna yönelik yapılan değişiklikler

4.5. Santrallerde Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Karşılaştırılması

Seyitömer Termik Santrali'nde bugüne kadar elektriksel enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik yapılan ve yapılması planlanan ve de detayları yukarıda açıklanan çalışmalardan elde edilecek toplam elektriksel enerji tasarrufu aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4.5. Elektriksel enerji verimliliğine yönelik çalışmalarda tasarruf edilebilecek enerji

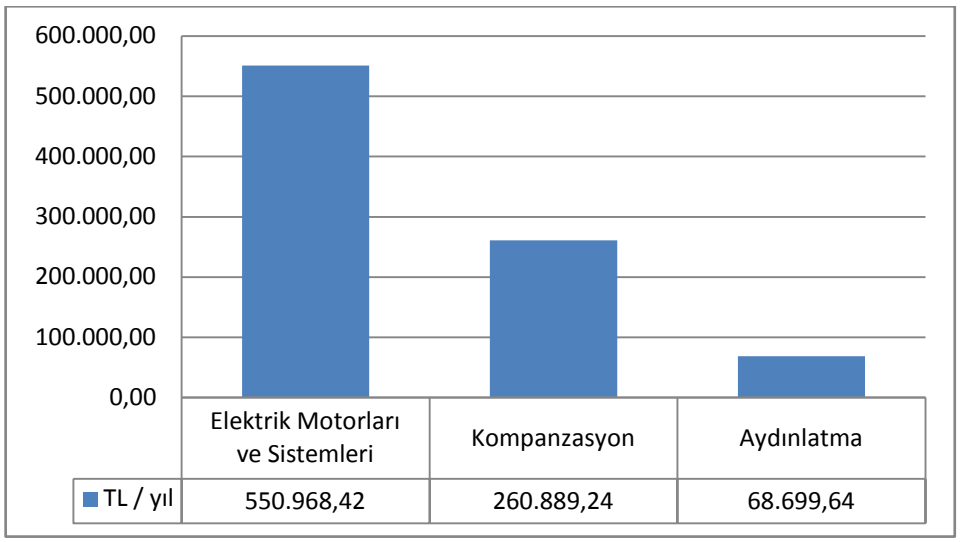
	Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar sonucu tasarruf edilebilecek yıllık enerji miktarı (kWh)
Elektrik motorları ve sistemleri	4.220.720,3 kWh
Aydınlatma	723.154,2 kWh
TOPLAM	4.943.874,5 kWh



Şekil 4.36. Enerji tasarrufu yapılabilecek çalışmaların kWh cinsinden karşılaştırılması

Tablo 4.6. Elektriksel enerji verimliliği çalışmalarında harcamaların azaltılması

	Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar sonucu azaltılacak harcamalar (TL / yıl)
Kompanzasyon	260.889,24
Sistemlerdeki arızaların giderilmesi	150.000
TOPLAM	410.889,24



Şekil 4.37. Enerji tasarruflarındaki maddi kazançların karşılaştırılması

Seyitömer Termik Santrali'nde 2009 yılı için hazırlanan sınai maliyet tablosuna göre üretilen brüt üretim ve net üretim miktarlarıyla bu üretim miktarlarına göre kWh başına brüt üretim ve net üretimde elde edilen birim enerji üretim maliyeti krş ve cent cinsinden aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

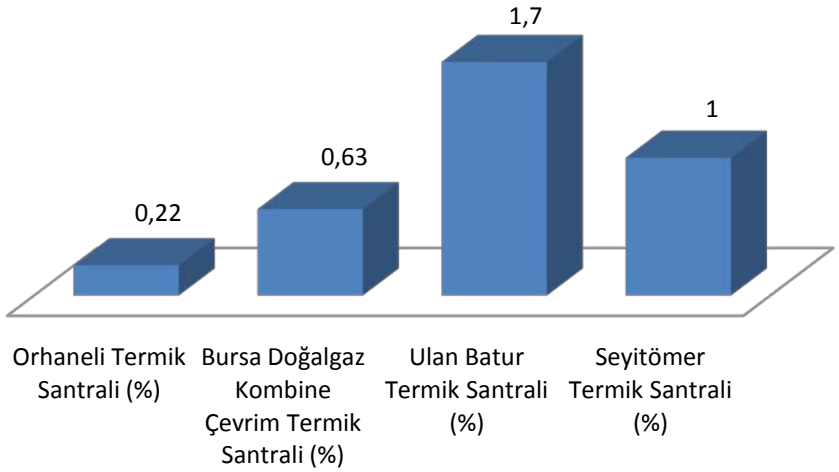
Tablo 4.7. 2009 Yılında seyitömer termik santralindeki brüt ve net üretim miktarları ile bu üretim miktarlarına göre iç ihtiyaç için harcanan enerji miktarı ile kWh enerji üretim maliyetinin belirlenmesi

Brüt üretim (kWh/Yıl)	4.021.980.000	
Net üretim (kWh/Yıl)	3.571.090.542	
İç ihtiyaç için harcanan enerji (kWh/Yıl)	450.889.458	
Elde edilen toplam enerji tasarrufu (kWh)	4.943.874,5	
Elde edilen toplam enerji tasarrufunun iç ihtiyaç enerjisine oranı (%)	% 1,0	
Brüt üretime göre kWh başına birim enerji üretim maliyeti (krş / cent)/Yıl	Krş	Cent
	8,485	5,5
Net üretime göre kWh başına birim enerji üretim maliyeti (krş / cent)/Yıl	Krş	Cent
	9,557	6,19

Yukarıdaki tabloda elde edilen bilgilerin yanında bu bilgilerle karşılaştırmak üzere Orhaneli Termik Santrali 1 ünite (Bursa-210 MW), Bursa Doğalgaz Kombine Çevrim Termik Santrali 6 ünite (Bursa-1432 MW) ve Ulan Batur Termik Santralinde 6 ünitede (Moğolistan-540 MW) enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen enerji tasarruf miktarları elde edilmiştir.

Tablo 4.8. Belirlenen termik santrallerdeki enerji tasarruf miktarlarının santrallerin iç ihtiyaçları doğrultusunda karşılaştırılması

	Bursa Orhaneli Termik Santrali	Bursa Doğalgaz Kombine Çevrim Termik Santrali	Moğolistan Ulan Batur Termik Santrali	Seyitömer Termik Santrali
Kurulu gücü (MW)	210	1432	540	640
Ünite sayısı	1	6	6	4
Brüt üretim (kWh)	1.201.970.000	8.478.411.000	2.150.000.000	4.021.980.000
Net üretim (kWh)	1.061.382.222	8.326.089.282	1.769.450.000	3.571.090.542
İç ihtiyaç (kWh)	140.587.778	152.321.718	380.550.000	450.889.458
Yıllık elde edilen toplam elektriksel enerji tasarrufu (kWh)	318.638	969.239	6.460.000	4.943.874,5
Elde edilen toplam elektriksel enerji tasarruflarının santrallerin iç ihtiyaç enerjilerine oranı	% 0,22	% 0,63	% 1,7	% 1,0



Şekil 4.38. Termik santrallerdeki elde edilebilecek enerji tasarruflarının iç ihtiyaçlarına oranlarının yüzde (%) olarak karşılaştırılması

Elde edilen bu bilgiler ışığında Seyitömer Termik Santrali'ndeki enerji tasarruf verileri, diğer santrallerin enerji tasarruf verileriyle karşılaştırılmıştır. Termik santrallerin iç ihtiyaçları brüt ve net üretimleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Moğolistan Ulan Batur Termik Santrali'ndeki iç ihtiyaçta elektrik enerjisi verimliliğine yönelik çalışmaları içeren rapordan sayısal veriler elde edilmiştir (Badarch ve ark., 2006).

4.6. Verimlilik Çalışmalarının Birim Enerji (kWh) Üretim Maliyetine Etkisi

Seyitömer Termik Santrali'nde kWh başına birim enerji üretim maliyetinin hesaplanmasında kullanılan 2009 yılı sınai maliyet tablosu aşağıda verilmiştir. Bu tabloda kWh başına birim enerji üretim maliyetine etki eden faktörler ve yüzde ağırlıkları verilmiş olup tablonun sonunda hem brüt üretime göre hem de net üretime göre üretim maliyeti verilmiştir. Net üretim maliyeti brüt üretim maliyetine göre fazla olmakla beraber brüt üretim ile net üretim arasındaki farkın yani santralin iç ihtiyacında kullanılan enerjinin üretim maliyeti üzerindeki etkisi tablo 4.9'da görülmektedir. Burada iç ihtiyaçta harcanan enerji net üretim maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle santralin iç ihtiyaç sisteminde enerji verimliliği yönünde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilecek enerji tasarruf miktarıyla iç ihtiyaç azaltılacak, net üretim de iç ihtiyaçtaki azalma miktarı kadar arttırılacak, brüt üretim sabit kalacak ve aşağıdaki formülden de görüleceği üzere kWh başına birim enerji net üretim maliyeti düşürülebilecektir.

$$'\text{kWh}' \text{ Başına Birim Enerji Üretim Maliyeti} = \frac{\text{Toplam Harcamalar}}{\text{Toplam Enerji Üretimi (Brüt veya Net)}} \qquad (4.2)$$

Tablo 4.9. Seyitömer termik santrali 2009 sınai maliyet tablosu

Brüt üretim	4.021.980.000		kWh
Net üretim	3.571.090.542		kWh
	TL	USD	**%**
Toplam yakıt	218.681.234,46	141.577.388	64.08
Personel	34.579.742,98	22.396.705	10,13
Malzeme	11.728.554,02	7.660.171	3,44
Hizmet alımı	22.533.432,55	14.640.567	6,6
Amortisman	48.842.098,49	31.640.157	14,31
Vergi, sigorta vb.	4.910.320,39	3.167.600	1,44
TOPLAM	**341.275.382,89**	**221.082.588**	100
	krş	Cent	
Brüt üretim maliyeti	8,485	5,50	
Net üretim maliyeti	9,557	6,19	

Enerji tasarrufundan önceki 2009 yılı net üretim ve kWh başına birim enerji üretim maliyeti;

'kWh' başına birim enerji üretim maliyeti = 341.275.382,89 TL / 3.571.090.542 kWh

'kWh' başına birim enerji üretim maliyeti = 9,557 krş

Elektriksel enerji verimliliği çalışmaları sonucunda elde edilen toplam enerji tasarrufunun net üretime katkısı sonucu elde edilecek toplam net üretim ve kWh başına birim enerji üretim maliyeti;

Tasarruf sonucu net enerji üretimi = 3.571.090.542 kWh + 4.943.874,5 kWh

= 3.576.034.417 kWh

Ayrıca kompanzasyon sistemlerinin kurulmasından sonra TEDAŞ'a ödenmesi gereken reaktif enerji tüketim bedeli 260.889,24 TL ve arızaların ortadan kalkmasıyla 150.000 TL yapılan malzeme harcamaları da azaltılacaktır. Yani harcamalar 4.2 formülü doğrultusunda;

341.275.382,89 TL – 410.889,24 TL = 340.864.493,6 TL

olacaktır.Tasarruf sonucu kWh başına net enerji üretim maliyeti;

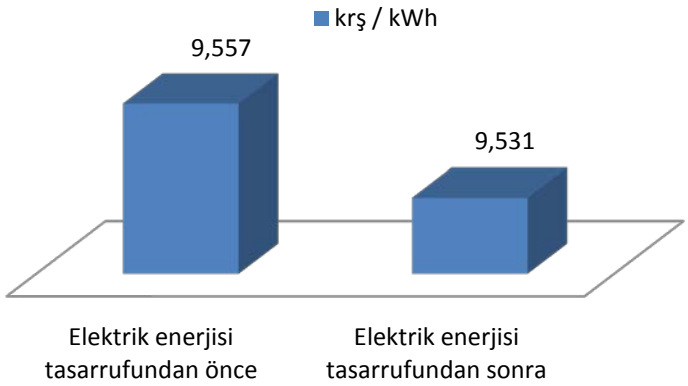
'kWh' başına birim enerji üretim maliyeti = 340.864.493,6 TL / 3.576.034.417 kWh

'kWh' başına birim enerji üretim maliyeti = 9,531 krş

Tablo 4.10. Enerji tasarrufu yapılmadan önce ve sonra kWh başına birim enerji net üretim maliyetlerinin karşılaştırılması

Elektrik enerjisi tasarrufu yapılmadan önce kwh başına birim enerji üretim maliyeti	Elektrik enerjisi tasarrufu yapıldıktan sonra kwh başına birim enerji üretim maliyeti
9,557 krş	9,531 krş

9,557 krş > 9,531 krş



Şekil 4.39. Enerji tasarrufu yapılmadan önce ve sonraki kWh başına enerji üretim maliyetlerinin karşılaştırılması

Sonuçtan da görüleceği üzere enerji tasarrufu santralin iç ihtiyacında harcanan enerjiyi azaltarak kWh başına net enerji üretim maliyetini düşürmüştür. Santral genelinde her alanda yapılacak enerji tasarrufu çalışmaları net enerji üretim maliyetini azaltacaktır. Bunun sonucunda da elektrik enerjisinin kullanıldığı her alanda özellikle sanayi alanında birim enerji kullanım bedeli düşecek ve de Türk ekonomisi güçlenecektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasıyla elektrik enerjisi verimliliğini arttırmaya yönelik tespit edilen yöntemler doğrultusunda termik santrallerin hem iç ihtiyaçlarına yönelik harcanan elektrik enerjisinde enerji tasarrufu hem de işletme giderlerinde maddi tasarruf yapılabileceği tespit edilmiştir. Tezde örnek alınan Seyitömer Termik Santrali'nde elektrik enerjisi verimliliğini arttıran yöntemlerden biri olan kompanzasyon sistemlerinden belirlenen TEDAŞ tarifeleri doğrultusunda yılda 260.889,24 TL maddi tasarruf sağlanabileceği ve ayrıca iç ihtiyaç sisteminde oluşabilecek kayıpların ve gerilim düşümlerinin de önüne geçilerek verimin düşmesine engel olunabileceği tespit edilmiştir. Elektrik enerjisi verimliliğini arttıran diğer bir yöntem olan enerji verimli motor sistemleri çalışmaları doğrultusunda Seyitömer Termik Santrali'nde yıllık 4.220.720,3 kWh'lık enerji tasarrufu yapılabileceği tespit edilmiştir. Aynı şekilde elektrik enerjisi verimliliğini arttıran diğer bir yöntem olan aydınlatmada enerji verimliliğinin arttırılması sonucu yılda 723.154,2 kWh'lık enerji tasarrufu yapılabileceği tespit edilmiştir.

Elektrik enerjisi verimliliğini arttıran yöntemler doğrultusunda yapılabilecek çalışmalar sonucunda gerek elde edilebilecek enerji tasarrufları gerekse maddi tasarruflar sonucunda 2009 yılı için Seyitömer Termik Santrali'nde kWh başına birim enerji net üretim maliyeti olarak belirlenen 9,557 kuruş 9,531 kuruşa düşürülebilecektir. Elde edilen bu sonuçlarla termik santrallerde elektrik enerjisinin verimli kullanılabileceği ve harcamaların kısıtlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç doğrultusunda hem termik santrallerde kWh başına birim enerji net üretim maliyetinin de azaltılabileceği hem de elektrik enerjisi üretebilmek için iç ihtiyaca yönelik daha az enerji tüketilebileceği tespit edilmiştir. Enerji üretim maliyetinin düşürülmesiyle Türk sanayicisi termik santrallerde üretilen elektrik enerjisini daha ucuza kullanabilecek ve bunun sonucunda da ticari platformda yabancı şirketlerle ekonomik olarak daha avantajlı şartlarda rekabet edebilecektir.

Tezde termik santrallerde elde edilebilen verimlilik elektrik enerjisiyle sınırlı kalmayıp santrallerle ilgili bir çok alanda özellikle mekanik olarak da elde edilebilir. Bunun yanında teknolojik gelişmelere paralel olarak tezde elektrik enerjisi verimliliğine yönelik belirlenen başlıklardan başka başlıklarda da çalışmalar yapılabilir. Sonuçta verimlilik doğrultusunda yapılacak tüm çalışmalar sayesinde santrallerdeki kayıplar ve iç ihtiyaç enerjisi azaltılacak ve böylelikle enerji üretim maliyeti düşmüş olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S., 2010, A review on energy saving strategies in industrial sector.

Al-Mofleh A., Taib S., Mujeebu A., Salah W., 2008, Analysis of Sectoral Energy Conservation in Malaysia.

Badarch M., Gantulga D., Luvsan G., Dorjpurev J., Şubat 2006, Energy Efficiency Study Of Thermal Power Plant UlaanBaatar Mongolia, A Technical Study Report.

Blok K., 2005, Enhanced Policies for the improvement of electricity efficiencies.

Brown L.R., Plan B 3.0, 2008, Mobilizing to Save Civilization, W.W. Norton & Company.

Capehart L., Turner C., Wayne, 2004, Guide to energy management, fourth edition, The Fairmont Press, Inc.

Chiccatur P.A., Sagar D., Abhyankar N., Sreekumar N., 2007, Tariff-based incentives for improving coal-power-plant efficiencies in India.

Chrisstofersen B., Larsen A., Togeby M., 2005, Empirical Analysis of Energy Management in Danish Industry.

Çolak, N.,2003, Aydınlatma Kontrolü ve Faydaları, Best Dergisi, Sayı 19.

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2005, Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi.

Doppelbauer M, 2007, Saving Energy and costs in electrical drive systems, SEW Eurodrive.

Dugan, R., McGranaghan, M., Santoso, S., Beaty, W., 2002, Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, New York.

Economic use of electricity in industry. Fuel Efficiency Booklet 9 (1994), Department of the Environment, Energy Efficient Lighting in Buildings, Thermie Programme, Directorate-General for Energy, Commission of the European Communities.

Energy efficient motor systems, 2001, Natural Resources Canada, CIPEC, http://www.oee.nrcan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/motor_system [ZiyaretTarihi : 15 Ekim 2010].

Energy Efficiency Planning and Management, 2002, Natural Resources Canada, CIPEC (Canadian Industry Program for Energy Conversion) http://www.oee.nrcan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/motor_system [ZiyaretTarihi : 20 Ekim 2010].

Hepbaşlı, A., 1999, Enerji Verimliliği Çalışmalarının Payandası: Kampanyalar, Türkiye II. Enerji Sempozyumu, Ankara, s. 387-398.

Hepbaşlı A., Günerhan H., Ülgen K., 2001, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Enerji Yönetim Sisteminin Altın Anahtarları: Enerji Denkliği ve Enerji Tasarrufu Etüdü.

Hepbasli A., Ozalp N., 2002, Development of Energy efficiency and management implementation in the Turkish Industrial Sector.

IEC/EN 61000-6-1, 2010, Elektromagnetik uyumluluk (Electromagnetic compatability, EMC) Standartları.

IEEE Std 519-1992, 1992, IEEE Recommended Practices and Requirements For Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, ABD.

Institute of Systems and Robotics, 2007, June, University of Coimbra, Portugal. EcoDesign of Electrical Motors. China, Beijing, 10-13.

Intelligent Energy Europe, 2006, EMS textile energy management manual, Mayıs 2006.

Kaypmaz A., Engin B., 2009, EMO- 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Enerji Verimliliği ve Tasarrufu açısından Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Çalışmaları.

Keyser D.R., Lonescu C., 2009, Modelling and Simulation of A Lighting Control System, Belgium.

Kostic M., Djokic L., 2009, Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting.

Leonardo Energy, 2009, Global Community for Sustainable Energy Professionals, Energy Efficient Motor Driven Systems, http://www.leonardo-energy.org [ZiyaretTarihi : 05 Kasım 2010].

Önöz E., 2008, Tekstil Sanayinde Enerji Verimliliği ve Enerji Verimli Motor Sistemleri.

Özenç, S., 2007, Aydınlatma Sistemlerinde Kalite Enerji Verimliliği ve Modelleme.

Saidur R., 2010, A Review on electrical motors energy use and energy savings.

Saidur R., Rahim N.A., Hasanuzzaman M., 2010, A Review on compressed-air energy use and energy savings.

Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi Yayınları, 2009, Cilt 1-2-3-4, Elektrik Enerjisinin Verimli Kullanımı, Ankara.

Sancak E., 2009, Endüstriyel Tesislerde Aydınlatma Tekniği Açısından Enerji Verimliliği.

Sankaran, C., 2002, Power Quality, CRC Press, New York.

Seyitömer Termik Santrali İşletme Müdürlüğü Teknik Büro, 2010, Santral Tanıtım Dosyası, Kütahya.

Seyitömer Termik Santrali, 2009, Teknik Büro, 4.Ünite Türbin Tablo Günlük Raporları.

Sezer M., 2008, Elektrik Enerjisinin Verimli Kullanımı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi Yayınları, Ankara.

Slaets B., Van Roy P., Belmans R., Hameyer K., 2000, Energy Efficiency of Induction Machines.

TEDAŞ, 2007, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri.

Ünal, A., Özenç, S., 2004,"Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları", Birsen Yayınevi, İstanbul.

Ünal A., Özenç, S., İzgi, E., 2005, "Aydınlatmada Enerji Verimliliği ve Kayıplar", EVK'2005 Enerji Kalitesi ve Verimliliği Sempozyumu, Kocaeli.

Weigand, David E., 2003, Advanced Lihting Guidelines, New Buildings.

Institute, Inc., www.newbuildings.org [ZiyaretTarihi : 18 Ağustos 2010].

www.lighting.philips.com, 2010, [ZiyaretTarihi : 05 Ağustos 2010].

www.vossloh-schwabe.com , 2010, [ZiyaretTarihi : 15 Ağustos 2010].

Yılmaz B., 2007, EİEİ Enerji Yönetici Kursu, Fan, Pompa ve Kompresörlerde Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu.

Zhao X., Ortolano N., 2010, Implementing Chinese national energy conservation policies at state-owned electric power generation plants.

Zobaa A.F., 2003, A new approach for voltage harmonic distortion minimization.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mümin TAŞKINOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir, 13.02.1980
Telefon : 0 274 248 56 60/303-0 505 925 51 91
Faks : 0 274 248 56 68
e-mail : mumintaskinoglu@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Özel Alanya Erkek Lisesi, Alanya, ANTALYA	1998
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2002
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-2004	Miraç Asansörleri	Elk.Elkt. Mühendisi
2004-2007	Selçuklu Belediyesi	Kontrol Mühendisi
2007-	E.Ü.A.Ş. Seyitömer Termik Santrali İşletme Müdürlüğü	Elk. Bakım Müh.

YABANCI DİLLER

İngilizce, Almanca