

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL SANAYİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE
ENERJİ VERİMLİ MOTOR SİSTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Evren ÖNÖZ**

Anabilim Dalı: ENERJİ BİLİM VE TEKNOLOJİ

Programı: ENERJİ BİLİM VE TEKNOLOJİ

HAZİRAN 2008

**TEKSTİL SANAYİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE
ENERJİ VERİMLİ MOTOR SİSTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elek. Müh. Evren ÖNÖZ
(301031042)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih: 5 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sermin ONAYGİL
Diğer Jüri Üyeleri Yrd.Doç.Dr. Özgür ÜSTÜN (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Önder GÜLER (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

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 arzıyla mümkün olacağı bilinen bir olgudur.

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 tekstil sektöründe, daha sonra tüm sanayide enerji verimliliği incelenmiş ve sürdürülebilir enerji adına bazı öneriler ve tavsiyelerde bulunulmaya çalışılmıştır. Enerji tüketimi, enerji maliyeti, spesifik enerji tüketimi ve sanayide enerji tüketimi ile üretim arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmiş ve tüm endüstri için bazı genel sonuçlara varılmaya çalışılmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, bana her zaman yol göstermiş olan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Sermin Onaygil'e en derin şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

Bu çalışma sırasında bana hem bilimsel hem de manevi açıdan yardımlarını asla esirgemeyen anneme, Sayın Bihrat Önöz'e teşekkür ederim.

Aileme...

Haziran 2008

Evren ÖNÖZ

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ | ii |
| KISALTMALAR | v |
| TABLO LİSTESİ | vi |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| ÖZET | ix |
| SUMMARY | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. DÜNYA VE TÜRKİYE ENERJİ DURUMU | 3 |
| 2.1 Kömür..... | 3 |
| 2.2 Ham Petrol ve Doğalgaz | 5 |
| 2.3 Hidroelektrik | 7 |
| 3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ..... | 9 |
| 3.1 Verimlilik ve Tasarruf Terimleri..... | 9 |
| 3.2 Kişi Başına Enerji Tüketimi ve Enerji Yoğunluğu | 10 |
| 4. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ | 15 |
| 4.1 Elektrik Enerjisinde Talep Gelişimi..... | 15 |
| 4.2 Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu | 16 |
| 4.3 Sanayide Elektrik Tüketimi | 18 |
| 5. TEKSTİL SEKTÖRÜ | 22 |
| 5.1 Tekstil Sektörüne Genel Bakış..... | 22 |
| 5.2 Türkiye’de Durum..... | 23 |
| 5.3 Türkiye Tekstil Sanayinde Enerji Verimliliği..... | 24 |
| 6. TEKSTİL ÜRETİMİNDE İŞLEM ANALİZİ..... | 26 |
| 6.1 Tekstil Üretim İşlemleri | 26 |
| 7. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ENERJİ YÖNETİMİ | 36 |
| 7.1 Enerji Yönetiminin Önemi..... | 36 |
| 7.2 Enerji Yönetimi Programının Oluşturulması | 37 |
| 8. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİSİNİN KULLANIMI | 40 |
| 8.1 Üretim İşlemi | 40 |
| 8.2 Aydınlatma..... | 40 |
| 8.3 HVAC Sistemleri | 41 |

| | |
|--|------------|
| 9. ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ..... | 42 |
| 9.1 Sıcak Su ve Isı Geri Geri Kazanım Sistemlerinde Enerji Kayıpları | 42 |
| 9.2 Kaçaklar ve Eksik Bakım Sonucu Enerji Kayıpları | 42 |
| 9.3 Makinelerde ve Borularda Yalıtım Sorunları..... | 43 |
| 9.4 Kazan Yalıtımı ve Kontrol Sistemi | 44 |
| 9.5 Yakma Kontrol Sistemleri | 44 |
| 9.6 Boyama ve Kurutma Prosesi..... | 44 |
| 10. TEKSTİL FABRİKALARI İNCELEMESİ..... | 46 |
| 10.1 Tekstil Sektöründeki Organizasyon Yapısı..... | 46 |
| 10.2 Tesis Detayları ve Enerji Tüketim Karakteristiği | 46 |
| 10.3 Tesislerin Karşılaştırılması (Benchmarking) | 51 |
| 11. ENERJİ VERİMLİ MOTOR SİSTEMLERİ | 56 |
| 11.1 Tekstil Sektörü ve Elektrik Motor Sistemleri | 56 |
| 11.2 Elektrik Motorlarında Verimlilik Ölçümü | 56 |
| 11.3 Verimli Motor Sistemleri | 59 |
| 11.4 Fan, Pompa, Kompresör Sistemleri ve Enerji Verimliliği..... | 65 |
| 11.5 Yüksek Verimli Motorlar | 67 |
| 11.6 Bakım | 70 |
| 11.7 Hız Kontrolü | 72 |
| 12. HIZ KONTROL CİHAZLARI | 77 |
| 12.1 Hız Kontrol Cihazı Çalışma Prensipleri..... | 77 |
| 12.2 Hız Kontrol Cihazı Özellikleri | 79 |
| 12.3 Hız Kontrol Cihazları ile Enerji Verimliliği | 86 |
| 13. KORTEKS İPLİK FABRİKASI VE HIZ KONTROL CİHAZLARI | 91 |
| 13.1 Korteks İplik Fabrikası..... | 91 |
| 13.2 Korteks Enerji Tüketim Değerleri..... | 92 |
| 13.3 Hız Kontrol Cihazı Uygulamaları | 96 |
| 14. SONUÇ | 117 |
| KAYNAKLAR | 121 |
| ÖZGEÇMİŞ | 123 |

KISALTMALAR

| | |
|--------------|---|
| OECD | : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü |
| GSMH | : Gayri Safi Milli Hasıla |
| GSYİH | : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla |
| TEP | : Ton Eşdeğer Petrol |
| IEA | : Uluslararası Enerji Kurumu |
| PİGM | : Petrol İşleri Genel Müdürlüğü |
| IHA | : Uluslararası Hidroelektrik Kurumu |
| HEP | : Hidroelektrik Potansiyel |
| BHEP | : Brüt Hidroelektrik Potansiyel |
| THEP | : Teknik Hidroelektrik Potansiyel |
| EHEP | : Ekonomik Hidroelektrik Potansiyel |
| DHEP | : Dağıtılmış Hidroelektrik Potansiyel |
| ETKB | : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı |
| DTÖ | : Devlet Ticaret Örgütü |
| HVAC | : Isıtma, Havalandırma ve Soğutma |
| IEEE | : Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü |
| IEC | : Uluslararası Elektroteknik Kurumu |
| IGBT | : İzole Kapılı Bipolar Transistörler |
| PWM | : Darbe Genişlik Modülasyonu |
| IP | : Uluslararası Koruma Sınıfı |
| EMC | : Elektromagnetik Uyumluluk |
| THD | : Toplam Harmonik Distorsiyonu |
| PID | : Oransal, Entegral ve Türev |

TABLO LİSTESİ

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Tablo 2.1 : | Değişik Ülkelerdeki HEP Potansiyelleri..... | 8 |
| Tablo 3.1: | Dünyada Farklı Enerji İstatistikleri (2005)..... | 13 |
| Tablo 3.2: | Farklı Ülkelerdeki ve Türkiye'deki Enerji İstatistikleri (2005)..... | 13 |
| Tablo 3.3: | Farklı Ülkelerdeki Enerji Yoğunluğunun Yıllar İçindeki Değişimleri | 14 |
| Tablo 4.1: | Türkiye'de Yıllar İçinde Talep Enerjisinin Değişimi | 16 |
| Tablo 4.2: | 2016 Yılına Kadar Elektrik Enerjisindeki Talep Projeksiyonu | 16 |
| Tablo 10.1: | Tekstil Fabrikaları ve Üretim Bölümleri | 47 |
| Tablo 10.2 : | Enerji Tüketim ve Fiyatları..... | 47 |
| Tablo 10.3 : | Üretimin Aylara Göre Dağılımı | 48 |
| Tablo 10.4 : | Enerji Tüketimi ve Enerji Maaliyetleri Yüzdeleri | 50 |
| Tablo 10.5 : | Enerji Tüketimi ile İlgili İstatistikler | 51 |
| Tablo 11.1 : | Yüksek Verimli Motor Karşılaştırması | 68 |
| Tablo 11.2 : | Asenkron Motorlarda Yol verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması | 76 |
| Tablo 12.1 : | IP Koruma Sınıfı Değerleri..... | 81 |
| Tablo 13.1 : | Soğutma Kuleleri Motor Plaka Değerleri | 99 |
| Tablo 13.2 : | Soğutma Kuleleri Enerji Tasarruf Değerleri..... | 99 |
| Tablo 13.3 : | Tekstüre ve Büküm Klima Santral Enerji Tasarruf Değerleri | 103 |
| Tablo 13.4 : | Tekstüre Duman Emici Fanların Motor Plaka Değerleri..... | 105 |
| Tablo 13.5 : | Tekstüre Duman Emici Fanlarda Enerji Tasarruf Değerleri..... | 106 |
| Tablo 13.6 : | Tekstüre Duman Emici Fanlarda Geri Ödeme Süreleri..... | 107 |
| Tablo 13.7 : | Yardımcı İşletmelerdeki Pompaların Motor Plaka Değerleri..... | 112 |
| Tablo 13.8 : | Yardımcı İşletmelerdeki Pompaların Enerji Tasarruf Değerleri..... | 113 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 : 2005 yılı verileriyle Dünya Kömür Rezervleri..... | 4 |
| Şekil 2.2 : 2005 yılı kömür tüketim değerleri..... | 5 |
| Şekil 3.1 : Dünyada Kişi Başına Enerji Tüketim Değerleri (TEP)..... | 12 |
| Şekil 4.1: 2016 Yılına Kadar Elektrik Enerjisindeki Talep Projeksiyonu..... | 17 |
| Şekil 4.2 : Farklı Sanayi Kollarında Yıllara Göre Enerji Yoğunluğu..... | 21 |
| Şekil 6.1 : Tekstil Üretim İşlemleri | 27 |
| Şekil 6.2: Pamuk ve Yün İplik Üretimi Adımları..... | 27 |
| Şekil 6.3 : Balya Açıcı Makinesi | 28 |
| Şekil 6.4 : Mikser İşlemi..... | 29 |
| Şekil 6.5 : Dik Açıcı | 30 |
| Şekil 6.6 : Toz Alma Makinesi | 30 |
| Şekil 6.7 : İplik Üretim İşlem Makineleri..... | 31 |
| Şekil 6.8 : Tarak Makinesi..... | 32 |
| Şekil 6.9 : Cer İşlemi | 32 |
| Şekil 6.10 : Fitol Makinesi | 33 |
| Şekil 6.11: Eğirme (Sarma) İşlemi | 34 |
| Şekil 10.1 : Tekstil Fabrikasındaki Örnek Organizasyon Şeması | 46 |
| Şekil 10.2 : Üretimin Aylara Göre Dağılımı (Grafiksel Gösterim)..... | 49 |
| Şekil 10.3 : Boyama Tesisleri için Aylık Elektrik Tüketimi ve Üretim | 53 |
| Şekil 10.4 : Boyama ve Dokuma Tesisleri için Aylık Elektrik Tüketimi..... | 53 |
| Şekil 10.5 : Tüm Tesislerde Aylık Elektrik Tüketimi ve Üretim | 54 |
| Şekil 10.6 : Tüm Tesislerde Yıllık Enerji Tüketimi ve Üretim | 54 |
| Şekil 10.7 : Boyama Tesisleri için Spesifik Enerji Tüketimi ve Üretim | 55 |
| Şekil 10.8 : Boyama ve Dokuma Tesisleri için Spesifik Enerji Tüketimi..... | 55 |
| Şekil 11.1 : Farklı Motorlar İçin IEEE ve IEC Standartlarının Karşılaştırması | 58 |
| Şekil 11.2 : 55kW Motorların Farklı Yüklerdeki Verimlilik Değerleri..... | 59 |
| Şekil 11.3 : 11kW Motorların Farklı Yüklerdeki Verimlilik Değerleri..... | 59 |
| Şekil 11.4 : Endüstriyel Tesislerde Tüketilen Elektrik Enerjisinin Dağılımı | 60 |
| Şekil 11.5 : Elektrik Motorlarının Tesislerde Kullanımına Göre Dağılımları..... | 60 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 11.6 : Motor Sisteminin Şematik Gösterimi..... | 61 |
| Şekil 11.7 : Yüksek Verimli Motorlar ile Tasarruf..... | 69 |
| Şekil 11.8 : Farklı Üreticilere ve Güçlere Göre Motor Verimleri | 69 |
| Şekil 11.9 : EFF1 Motorlar ile Hız Kontrol Cihazlarının Karşılaştırması..... | 70 |
| Şekil 11.10 : Motor Sistemlerinde Rastlanan Arıza Tipleri | 71 |
| Şekil 11.11 : Motor Yalıtım Test Sonuçları..... | 72 |
| Şekil 11.12 : Direk Yol vermede Kalkış Akımları | 74 |
| Şekil 12.1 : Hız Kontrol Cihazlarının Yapısı..... | 78 |
| Şekil 12.2 : Doğrultucunun Yapısı | 78 |
| Şekil 12.3 : Eviricinin Yapısı | 78 |
| Şekil 12.4 : Farklı Güçte Hız Kontrol Cihazları | 80 |
| Şekil 12.5 : IP54 Korunmalı ve Panolu Hız Kontrol Cihazları | 80 |
| Şekil 13.6 : Elektromagnetik Uyumluluk Standartları | 82 |
| Şekil 12.7 : Elektromagnetik Uyumluluk Ortamları..... | 83 |
| Şekil 12.8 : Harmonik Filtreleme İçin Şok Bobinleri..... | 84 |
| Şekil 12.9 : Farklı Şok Bobinleri İçin THD Değerleri..... | 84 |
| Şekil 12.10 : Hız Kontrol Cihazı Bağlantı Şeması | 85 |
| Şekil 12.11 : Elektrik Motorlarının Enerji Tüketimi | 86 |
| Şekil 12.12 : Motorların Güçlere Göre Dağılımı..... | 86 |
| Şekil 12.13 : Motorların Besleme Gerilimine Göre Dağılımı | 87 |
| Şekil 12.14 : Değişken Moment Uygulamalarının Oranı | 87 |
| Şekil 12.15 : Değişken Momentli Sistemlerde Hız ve Moment Eğrisi..... | 88 |
| Şekil 12.16 : Sabit Momentli Sistemlerde Hız ve Moment Eğrisi | 88 |
| Şekil 12.17 : Hız Kontrol ve Damper Kontrolü Enerji Tüketimi Karşılaştırması | 90 |
| Şekil 13.1 : Koteks Enerji Tüketim Oranları..... | 92 |
| Şekil 13.2 : Korteks 2005 Yılı Elektrik Tüketimi | 93 |
| Şekil 13.3 : 2004, 2005 ve 2006 Yıllarına Ait İplik Üretim Değerleri..... | 94 |
| Şekil 13.4 : Korteks Aylık Üretim ve Elektrik Tüketim Değerleri | 95 |
| Şekil 13.5 : 2004, 2005 ve 2006 Yıllarına Ait Spesifik Enerji Değerleri..... | 95 |
| Şekil 13.6 : Soğutma Kulesi | 96 |
| Şekil 13.7 : PID Kontrol Fonksiyonun Değişkenleri..... | 97 |
| Şekil 13.8 : Uyku – Uyanma Fonksiyonu..... | 98 |
| Şekil 13.9 : Soğutma Kule Fan 2007 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri..... | 100 |
| Şekil 13.10 : Kompresör Kule Fan1 2007 Yılı Tüketim Değerleri | 100 |
| Şekil 13.11 : Tekstüre Klima Santrali Yapısı | 102 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 13.12 : Tekstüre Klima Santrali Otomasyonu | 102 |
| Şekil 13.13 : Tekstüre Klima Santrali 2007 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketimi..... | 104 |
| Şekil 13.14 : Atlama Frekansı Fonksiyonu..... | 106 |
| Şekil 13.15 : Duman Emici Fanlarda Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri..... | 107 |
| Şekil 13.16 : Pompalarda Hız, Moment Grafiği | 108 |
| Şekil 13.17 : Pompa Sistemlerinin Yapısı | 108 |
| Şekil 13.18 : Pompalarda Çalışma Nontasının Belirlenmesi..... | 109 |
| Şekil 13.19 : Pompalarda Basınç, Verim ve Debi Eğrileri..... | 110 |
| Şekil 13.20 : Soğutma Çevriminin Yapısı | 111 |
| Şekil 13.21 : Tüm Soğutma Çevriminin Bileşenleri..... | 112 |
| Şekil 13.22 : Evaporatör 3 Nolu Pompa Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri | 113 |
| Şekil 13.23 : Çoklu Pompa Uygulaması..... | 114 |
| Şekil 13.24 : Çoklu Pompa Elektriksel Şeması | 115 |
| Şekil 13.25 : Uyku – Uyanma Modu Uygulaması..... | 117 |

TEKSTİL SANAYİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ENERJİ VERİMLİ MOTOR SİSTEMLERİ

ÖZET

Türkiye’de enerji verimliliği konusu en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Ülkemizde enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çabalar ve çalışmalar her geçen gün artarken, enerji tüketimimizin en büyük bölümlerinden biri olan sanayi alanında enerji verimliliğinin ve yoğunluğunun iyileştirilmesi ülkemiz için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, enerji verimliliği ile Türkiye’nin sanayide elde edeceği fırsatlar ve faydalara dikkat çekilmektedir. Türkiye’nin enerji istatistikleri detaylı olarak verilirken özellikle enerji yoğunluğu verileri ile ülkemiz OECD ülkeleri ve dünyadaki diğer ülkeler ile karşılaştırılmaktadır. Sanayideki enerji kaynaklarından elektrik enerjisinin kullanımı ve tasarruf potansiyelleri anlatılırken, tekstil sektörü detaylı olarak incelenmektedir. Tekstil sektöründeki enerji verimliliği potansiyellerinden bazılarına işaret edilirken enerji tüketimi, enerji maliyeti ve spesifik enerji tüketimi arasındaki ilişkiler ele alınmaktadır.

Bu çalışmada aynı zamanda, tekstil sektöründe faaliyet gösteren bazı tesislere ait enerji tüketimi, yıllık üretim ve diğer bazı veriler incelenecek veya bazı önemli literatür çalışmalarından alıntılar yapılacaktır. Daha sonra bu veriler ile Türkiye tekstil sektörü ile ilgili bazı genel sonuçlara ulaşılmaya çalışılacaktır. Elde edilen sonuçlar ile birlikte sadece tekstil değil, diğer tüm sektörlerle ilgili bazı genel sonuçlar yine çalışma kapsamında belirtilecektir.

Verimli motor sistemlerinin endüstriyel tesislerde enerji verimliliği açısından önemi vurgulanırken, hız kontrol cihazları ile yapılabilecek potansiyel enerji tasarrufu üzerinde özellikle durulmuştur. Bu potansiyel daha sonra finansal açıdan da değerlendirilerek enerji verimliliği ve geri ödeme süreleri arasındaki ilişkilerin detayları açıklanacaktır. Çalışma kapsamında hız kontrol cihazları ile yapılabilecek tasarruf ön plana çıkarılırken, bu cihazlar ile yaklaşık 380 adet motorda yapılan bir projenin detayları ve geri ödemesi süresinin bir yıldan kısa sürede olduğu gösterilecektir.

ENERGY EFFICIENCY IN TEXTILE INDUSTRY AND ENERGY EFFICIENT MOTOR SYSTEMS

SUMMARY

Energy efficiency recently became one of the most discussed topics in Turkey. While efforts and projects are increasing in number on using energy efficiently, it is very important to increase overall efficiency in industry, since nearly half of energy consumed is done by industry.

In this study, main concern is to reveal attention to opportunities that can lead to energy efficiency in Turkey's industrial business. While energy statistics like energy intensity, energy consumption will be given, benchmarking of OECD and other countries will be performed taking in account these values. Electrical energy and its usage in textile sector will be outlined and energy management opportunities (EMOs) will be shown in order to increase overall efficiency. Then relations between specific energy consumption, energy intensity and textile production rate will be shown in details.

Also in this study, a survey of energy data of some textile companies will be analysed and some data from important thesis from the literature will be shown to reach some overall energy efficiency results for textile sector in Turkey. After some analysis of these energy characteristics, it will be shown that it is possible to get overall energy results not only for textile sector but also for whole industry.

Energy efficient motor systems and variable speed drives will be explained in details to maintain high energy efficiency in industrial facilities. Financial issues like return on investment and simple payback will be outlined to insist on huge electrical energy savings potential that is possible with usage of efficient motor systems and variable speed drives. Also in the study a textile company where approximately 380 motors have been installed with variable speed drives, will be analysed to show huge saving which is shorter than one year.

1. GİRİŞ

Türkiye hızla büyüyen yapısında, gelişmekte olan bir ülke konumunda en üst sıralarda yer almaktadır. Ülke içi pazarı her yıl artarak dünyada sayılı yatırım merkezlerinden biri haline gelmiştir. Balkanlar'ın, merkez Asya'nın, Ortadoğu'nun, Kuzey Afrika'nın, Avrupa'nın ve Rusya'nın ortasında Türkiye stratejik konumu ile dikkat çekmektedir. Bu bakış açısında Türkiye, birçok ülke ile işbirliği halinde bulunarak temelleri sağlam bir ekonomi olma yolunda hızla ilerlemektedir.

Türkiye kendi bölgesinde en hızlı ve istikrarlı büyümeyi sağlayan ülkelerden biridir. 1980 ile 2006 arasında, son 26 yılda ortalama %4.3 büyüme oranıyla bölgedeki en yüksek gayri safi milli hasıla (GSMH) değerine sahiptir. 2006 yılında, bir önceki yıla göre %5.0 büyüme oranıyla GSMH 381 Milyar \$ olarak açıklanmıştır [1]. Hızlı nüfus artışı ve şehirleşme ile beraber genç nüfusun dinamizmi Türkiye'nin bu dönemde hızlı büyümesine neden olmuştur. Özellikle ihracatımız son yıllarda göstermiş olduğu yüksek performans ile ekonomik büyümenin temel unsurlarından biri olmuştur. Ülkemiz 2003, 2004 ve 2005 yıllarında OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkeleri arasında en yüksek oranlı gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) artışını gerçekleştirirken, 2004 yılında %33.7, 2005 yılında %16.3 ve 2006 yılında ise %15.9 oranında artan ihracatımız güçlü büyümenin lokomotifine haline gelmiştir. Dünya ekonomisinin 2005 yılında %4.9 oranında büyümesinin ardından, 2006 yılında %5 oranında bir hızla büyüme kaydettiği tahmin edilmektedir. Ülkemizde ise 2005 GSMH %7.6, GSYİH ise %7.4 seviyesinde artmış ve küresel ortalamanın üzerinde bir performans gerçekleştirilmiştir [2].

Bir ülkedeki enerji ihtiyacı, ekonomik büyüme ve üretim sektörlerindeki enerji yoğunluğu ile yakından ilişkilidir. Endüstrideki enerji yoğunluğu ülkenin teknolojik gelişim seviyesiyle ve sektörlerle göre farklılık gösterecektir. Türkiye, sektörlerdeki büyümenin sürdürülebilmesi için, enerjinin sürdürülebilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle enerji stratejisi, ülkenin ekonomik büyümesi üzerine herhangi bir etkisi olmadan enerji talebinin karşılanması olarak belirlenmiştir. Bu

nedenle tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi, ülkemizde de enerji verimliliği ülkenin en önemli gündeminden biri olmaktadır. Türkiye’de iç enerji kaynakları büyük oranda kullanılmıştır, bu yüzden ekonomi özellikle petrol kaynaklı ürünlerin ithalatına bağımlı durumdadır. Günümüzde tüm enerji ihtiyacının %70’i ithal edilmektedir. Bu nedenle ülkemiz tüm ihracat kazancının yaklaşık %40-50’sini ağırlıklı olarak ham petrol ve doğalgaz alımı için kullanmaktadır. Petrol ve doğalgaz toplam enerji ihtiyacının %60, kömür ise yaklaşık %25’ini karşılamaktadır [3]. Yeterli, güvenli ve sürdürülebilir enerji kaynakları Türkiye’nin öncelikli stratejileri arasında olmalıdır ve ülkede enerjinin verimli kullanılması en az diğer etkiler kadar önemli ve hayati olmak zorundadır.

Türkiye’de tüketilen elektrik enerjisi her geçen gün artmaktadır, 2005 yılında %7.2 ve 2006 yılında ise %8.3 artış gerçekleşerek, 2006 yılı sonunda 174.2 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bahsedilen bu elektrik enerjisinin %70’inden fazlası elektrik motorları tarafından tüketilmekte olup, bu motorların içinde de akışkan kontrolü sağlayan motorlar (fan, pompa, kompresör motorları) %65 civarındadır. Bu nedenle elektrik motorlarında yapılabilecek enerji verimliliği çalışmaları toplam elektrik enerjisi tüketimimizde çok önemli bir yere sahiptir.

Bu tezin başlıca amacı enerji tüketimi, enerji maliyetleri ve üretimi ilişkilerini incelerken, enerji verimliliğinin öneminin tekrar vurgulanmasıdır. Bu kapsamda enerji yönetimi, tekstil sektörü, verimli enerji yönetim olasılıkları ve verimli motor sistemleri detayları ile beraber incelenecektir.

2. DÜNYA VE TÜRKİYE ENERJİ DURUMU

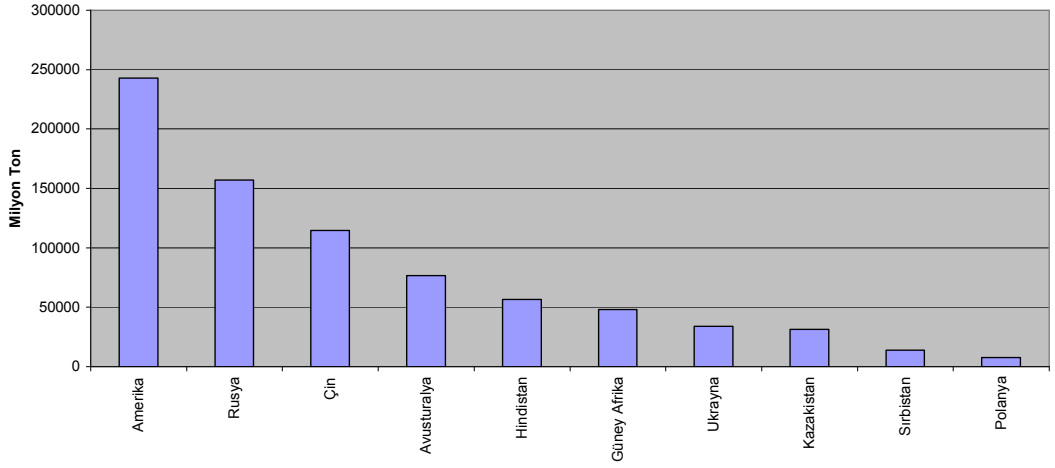
Toplumlar için enerji kaynaklarının sürekliliği her dönemde en önemli konulardan biri olmuştur. Günümüzde enerji konusundaki en büyük sıkıntı; enerjinin büyüme, sürdürülebilir gelişim ve ekonomik aktiviteler için vazgeçilmez olmasına rağmen, üretimi ve kullanımının çevreye ciddi hasarlar vermesidir. Bu nedenle insanlar tarafından aşılması gereken en önemli sorun, artan enerji ihtiyacını karşılarken çevreye salınan sera gazlarının ve diğer maddelerin nasıl azaltılacağı olmalıdır.

Enerji kaynakları tüm dünya ekonomilerinin bel kemiğidir. Ancak günümüzde enerji kaynaklarının kullanımı o kadar fazladır ki, gelecek nesiller için kolay, ulaşılabilir kaynakların varlığı ve bulunma olasılığı gittikçe güçleşmektedir. Bu nedenle doğal kaynaklarımızın sürdürülebilirliği için uzun vadeli planlar yapılmalı ve enerji zincirine daha fazla önem verilmelidir.

2.1 Kömür

Ana enerji kaynakları içinde kömür dünyada en hızlı gelişen yakıttır. Rezervlerin yeri, boyutu ve ulaşılabilirliği ile ilgili soruların aksine kömür büyük oranlarda mevcut ve dünya coğrafyasında homojen dağılmış durumdadır. Ekonomik olarak ulaşılabilir kömür kaynakları 70'den fazla ülkede bulunmaktadır. **Şekil 2.1**'de ülkelerin kömür rezervleri ile ilgili detaylı bilgiler bulunmaktadır. İlgili kaynak ve raporlara göre, çıkarılabilir 850 milyar ton (jeolojik kaynaklar ile çok daha fazla) ile kömür daha uzun yıllar boyunca enerji kaynağı olarak var olacaktır.

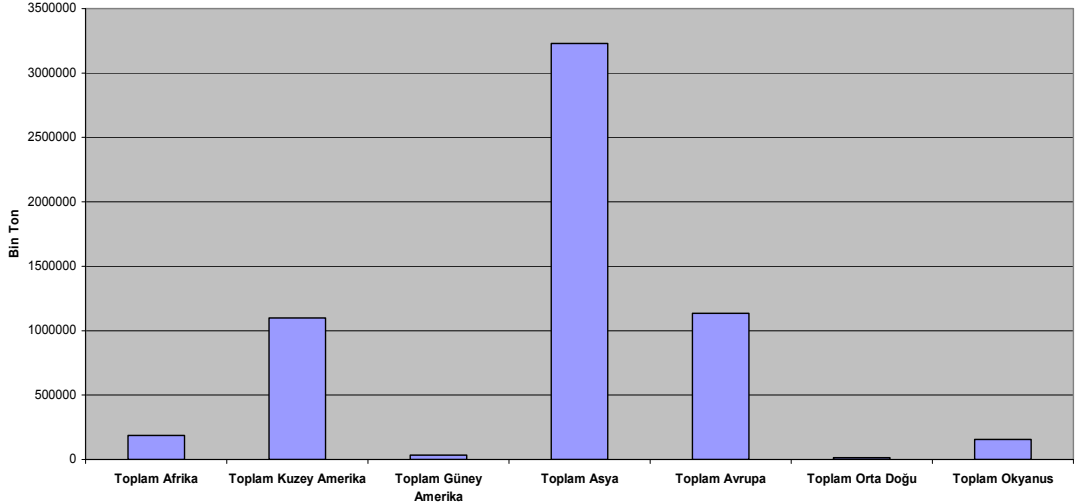
2005 sonu itibariyle kömür rezervleri 847.5 milyar ton civarındaydı. Yıllar boyu süren keşif, lokasyon, boyut ve karakteristik çalışmaları sonunda tüm ülkelerin kömür rezervleri yaklaşık olarak bilinmektedir. Ancak bu rakamlar teknik olarak çıkarılabilecek kömür konusunda değişikliklere uğrayabilmektedir. Mevcut üretim değerleri ile küresel rezervler 150 yıl daha kullanılabilir olacaktır [4].



Şekil 2.1 : 2005 yılı verileriyle Dünya Kömür Rezervleri

Geçtiğimiz yıllarda enerji talebi astronomik değerlerde yükselmiş ve birincil enerji talebi 1980 yılına oranla %50 mertebelerinde artışlar göstermiştir. Bu büyümenin tahmini olarak 2004 ila 2030 arasında enerji talebinin yıllık %1.6 oranında artması beklenmekte olup, bunun %70'i gelişmekte olan ülkeler tarafından olacaktır. Örnek olarak Çin tek başına sadece bu büyümenin %30'unu kapsamaktadır. Fosil yakıtların yakın gelecekte toplam enerji talebinin %80'ini karşılayacağı düşünülmektedir ve kömür bunların içinde en büyük artışı görecektir. Tahminlere göre 2004 yılında 2,772 milyon eşdeğer ton (TEP) olan tüketim, 2030 yılında 4,441 milyon eşdeğer ton (TEP) olacaktır. Bu artışın en büyük oranı aynı şekilde gelişmekte olan ülkeler tarafından karşılanıp, %86 Asya tarafından olacaktır [4]. Gelişmiş ülkelerden OECD ülkelerindeki artışlar, aynı seviyelerde devam edecektir.

Kömür kaynakları geniş, coğrafi olarak dağınık ve yüksek olasılıkla kullanılabilir olacaktır. Bu şekilde kömür talebi gelecekte artmaya devam etmelidir. Diğer enerji kaynaklarından petrol ve gazda özellikle son yıllarda oluşan arz sorunları ve dalgalanmalar nedeniyle (politik veya iklim), stratejik olarak ülkeler güvenli ve sabit enerji kaynaklarına daha sıcak bakmaktadırlar. Kömür bu konuda tüm ilgiyi toplarken, bunda en büyük etken kömür fiyatlarının diğerlerine göre göreceli olarak daha az dalgalı olmasıdır.



Şekil 2.2 : 2005 yılı kömür tüketim değerleri

2005 yılı dünya kömür tüketimine bakıldığında en büyük payı Asya kıtası oluşturmaktadır. Asya kıtasında Çin ve Hindistan en büyük tüketim değerleri ile öne çıkmaktadır. Bununla birlikte Çin 2,000,000 bin ton ve Amerika 1,021,015 bin ton tüketimleri ile ilk iki sırayı oluşturmaktadırlar [4]. Şekil 2.2’de bölgelere göre kömür tüketim bilgileri verilmiştir. Türkiye kömür rezervleri ve tüketimi konusunda yüksek değerlere sahiptir. 2005 yılı sonu itibariyle kanıtlanmış, çıkarılabilir kömür rezervleri 1,814 milyon ton olup büyük bölümü linyit kömürüdür. 2005 yılında Türkiye’de kömür üretimi 64,390 bin ton olup, tüketim 76,700 bin ton olarak kayıtlara geçmiştir [5].

2.2 Ham Petrol ve Doğalgaz

Dünya üzerinde genel tüketime bakıldığında, ham petrol en önemli birinci kaynak durumunu korumaktadır. Ham petrol 2006 sonu itibariyle %36.4 değeri ile dünya enerji tüketimi içerisinde ilk sırada yer almaktadır. Uluslararası Enerji Kurumu (IEA) tarafından yapılan araştırmalarda petrolün bu konumu ve önemini birkaç yüzyıl daha sürdüreceği görülmektedir [6].

BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) firması tarafından yapılan bir araştırmada, 2006 yılı sonunda ham petrol rezervleri 387 milyar ton olarak belirlenmiştir [7]. Bu rezerv dünyada birçok bölge arasında dağılsa da, orta doğu bölgesi 160 milyar ton ile ilk sıradadır. Daha sonra Rusya (59 milyar ton), Kuzey Amerika (58 milyar ton), Afrika (37 milyar ton), Güney Amerika

(35 milyar ton), Asya (24 milyar ton) ve en son Avrupa gelmektedir. Kuzey Amerika'nın rezervlerinin %65'i keşfedilmiş olup, Ortadoğu'da bu değer %24 ile sınırlıdır. 2005 yılında yapılan araştırmalarda üretilen ham petrolün 2/3'ü başka bölgelere veya ülkelere tanker veya boru hatları ile taşınmıştır.

2005 yılı sonu itibariyle Türkiye'de bugüne kadar bulunmuş tüm petrol rezervuarları için, toplam yerinde petrol miktarı 6.87 milyar varil (yaklaşık 1 milyar ton) olarak tahmin edilmektedir. Yerinde petrol miktarlarının yaklaşık %16.5'ine karşılık gelen 1.16 milyar varil petrol ise üretilebilir ham petrol olarak tanımlanmaktadır. Bunun 877 milyon varili bugüne kadar üretilen toplam petrol miktarıdır. Dolayısıyla, 2005 yılı sonu itibariyle kalan üretilebilir ham petrol rezervimiz 281.2 milyon varildir. Bu verilerden anlaşılacağı gibi, Türkiye'nin dünya üretilebilir doğal ham petrol rezervlerindeki payı %0.1'den azdır.

Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM) verilerine göre Türkiye'de 2005 yılı için üretim sonrası kalan üretilebilir petrol rezervinin o yıl içinde verilen petrol üretimine bölünmesiyle elde edilen rezerv/üretim oranı petrol sahalarımız için 17 yıl olarak hesaplanmaktadır. Türkiye son dört yılda yerli kaynaklardan yıllık ortalama 16.6 milyon varil petrol üretirken, 235 milyon varil petrol tüketmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, petrol tüketimimizin ancak yüzde 7.1'inin iç (ulusal) kaynaklarımızdan karşılandığı ve dolayısıyla Türkiye'nin petrolde dışa bağımlı olduğu açıkça anlaşılmaktadır [5,8].

Türkiye doğal gaz durumuna bakılırsa, kalan üretilebilir doğal gaz rezervlerimiz 2005 yılı itibariyle yaklaşık 7 milyar m³'tür. Türkiye'nin dünya toplam rezervleri içerisinde oranı petrol gibi çok düşüktür [8]. 2005 yılı için üretim sonrası kalan üretilebilir doğal gaz rezervinin o yıl için verilen doğal gaz üretimine bölünmesiyle elde edilen rezerv/üretim oranı, doğal gaz sahalarımız için 7.8 yıl olarak hesaplanmaktadır. Son dört yılda kaynaklarımızdan yıllık ortalama 636 milyon m³ doğal gaz üretimi ve buna karşılık yıllık ortalama 22 milyar m³ tüketimi gerçekleştirmiştir. Bu rakamlardan doğal gaz tüketiminin ancak %3'nün ulusal kaynaklarımızdan karşılandığı ve dolayısıyla Türkiye'nin doğal gazda da dışa bağımlı olduğu anlaşılmaktadır.

2.3 Hidroelektrik

Dünya genel enerji tüketimi 1971 yılından itibaren %70 oranında artmıştır ve hala da her sene %2 oranında artmaya devam etmektedir [8]. Bu büyük talep artışı ağırlıklı olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerden gelmektedir. Gelecekteki enerji talebi ile ilgili birçok senaryo olmasına rağmen, yenilenebilir enerjinin enerji talebindeki yeri gittikçe artacaktır.

2005 yılında dünyada toplam enerji üretiminin içinde yenilenebilir enerjinin oranı 1/5 seviyelerindedir. Bu enerjinin içinde ise hidrolik enerjisi %87 üretim oranı ile en fazla kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Sadece 2005 yılında yeni 18 GW yeni hidroelektrik kapasite kullanıma girmiştir. Uluslararası Hidroelektrik Kurumu (IHA) verilerine göre, dünyadaki hidroelektrik potansiyelinin sadece 1/3'ü geliştirilmiştir. Dünya genelinde 160 ülke hidroelektrik potansiyelinden faydalanmaktadır, bunların içinde beş tane ülke üretiminin yarısından çoğunu bu kaynaktan sağlamaktadırlar; Brezilya, Kanada, Çin, Rusya ve Amerika [4].

Yüzyılımızın temel sorunlarından biri enerji gereksiniminin karşılanması olup, bu durum Türkiye'nin jeoenerjistik konumu nedeni ile jeostratejik önemini daha da artırmaktadır. Ülkemiz, yenilenebilir elektrik enerjisi kaynakları içerisinde en önemlisi olan hidroelektrik potansiyel bakımından oldukça zengindir. Farklı kesimler tarafından sık sık hidroelektrik potansiyel (HEP) yüzde 35 olarak belirtilmektedir. Ancak hidroelektrik potansiyeli; Brüt (BHEP), Teknik (THEP), Ekonomik (EHEP) ve değerlendirilmiş (DHEP) olarak incelemek gerekir.

- Brüt (BHEP): Havza gelişme planlarına göre belirlenen potansiyeldir. Brüt HE potansiyeli sabit olarak kabul edilebilir. Değişik kaynaklardan HE potansiyeli yaklaşık 433 TWh/yıl olarak belirlenmektedir.
- Teknik (THEP): Gelişen teknolojik olanaklarla zaman içinde bir miktar değişse de, büyük değişimler beklenmemelidir. Türkiye'nin THEP'nin 215 TWh/yıl olduğu kabul edilmişse de, yapılan son çalışmalarda 237 TWh/yıl olarak alınabilmektedir.
- Ekonomik (EHEP): Teknik HE potansiyelinin alternatif enerji kaynakları ile karşılaştırılması sonucunda belirlenen düzeydir. Günümüzde karşılaştırma kriteri olarak doğal gaz ve ithal kömürden üretilen elektrik kullanılmaktadır. Termik ve nükleer santrallerinin ataletlerini çok yüksektir, devreye giriş-çıkış

zamanları uzundur ve bu nedenle “baz grup” olarak nitelendirilirler. Buna rağmen HES’ler (hidroelektrik santraller) ataletleri düşük santrallerdir. Devreye giriş ve çıkış zamanları kısadır, “Puant Grup” olarak adlandırılırlar. HES’lerin ürettikleri elektrik enerjisi pahalıdır ve bu nedenle dünyada 2,500–3,000 saat/yıl düzeylerinde çalıştırılırlar.

- Değerlendirilmiş (DHEP): 2005 yılı sonu itibariyle ülkemizin değerlendirmiş olduğu HEP 42 TWh/yıl düzeyindedir. Buna göre günümüzdeki EHEP’imizin sadece $41.9/141 = \%29.7$ veya $41.9/190 = \%22.1$ oranını değerlendirmiş bulunmaktayız. Buradan da anlaşıldığı gibi gelişmiş ülkeler EHEP’lerini sonuna kadar kullanmaktadırlar ve teknik potansiyellerini zorlayarak, kurulu güçlerini gerekli revizyonlarla $\%60$ oranında arttırmışlardır. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi BHEP değeri 90 TWh/yıl’dan büyük olan Avrupa ülkelerinin EHEP’leri ve değerlendirilme oranları incelendiğinde, Türkiye’nin mevcut potansiyelinin diğer ülkelerden çok geride olduğu dikkat çekmektedir. Bu şekilde değerlendirilmiş değerler, D83 (83 yılı değerleriyle), D00 (2000 yılı verileriyle) yüzdesel olarak ifade edilmiştir [5,9].

Tablo 2.1 : Değişik Ülkelerdeki HEP Potansiyelleri

| Ülke | EHEP TWH/yıl | D83 (TWh) | D83/EHEP (%) | D00 (TWh) | D00/EHEP (%) | D05 (TWh) | D05/EHEP (%) |
|------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Türkiye | 126.1 | 11.3 | 9.0 | 30.9 | 24.5 | 41.9 | 29.7 |
| Norveç | 104.5 | 106.0 | 101.4 | 142.0 | 135.9 | | |
| Fransa | 64.5 | 70.0 | 108.5 | 72.0 | 111.6 | | |
| İtalya | 64.1 | 44.0 | 68.6 | | | | |
| İsveç | 60.0 | 43.5 | 72.5 | 79.0 | 131.7 | | |
| Yugoslavya | 47.5 | 22.2 | 46.7 | | | | |
| İspanya | 47.1 | 31.0 | 65.8 | | | | |
| Avusturya | 32.9 | 31.0 | 94.2 | | | | |
| İsviçre | 32.0 | 36.0 | 112.5 | | | | |
| Almanya | 15.5 | 19.0 | 122.6 | | | | |

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliğinin dünyada ve ülkemizde bu kadar önemli olduğu bugünlerde, verimlilik ve tasarruf terimlerinin ayırt edilmesi ve düzgün terminolojinin kullanılması önemlidir. Türkiye'nin enerji yoğunluğu ve kişi başına tüketimleri incelenerek ülkemizin dünyadaki yeri ve enerji verimliliği konusundaki potansiyelinin bilinmesi açısından bu bölümdeki bilgiler aydınlatıcı olacaktır.

3.1 Verimlilik ve Tasarruf Terimleri

1970'lerin ortasından itibaren sanayileşmiş Batı ülkelerinin enerji tüketimindeki büyümede güçlü bir azalış meydana gelmiştir, ancak yine de eğer mevcut yönelimler devam ederse, dünya enerji tüketiminin 2030 yılından önce bugünkünün yaklaşık iki katı olması beklenmektedir [10].

Kaynaklara rahatça erişimin yokluğunun veya kaynakların belli coğrafi bölgelerde yoğunlaşmış olmasının, enerji ürünlerinin maliyetlerindeki artışın ve enerjinin daha tehlikeli formlarının kullanımının, krizleri ve ekolojik etkileri (emisyonlar, suların kirlenmesi, vb...) tetikleme mümkün gözükmektedir. Enerji yatırımlarının yüksek bedeller gerektirmesi kadar, birincil enerji kaynaklarında, özellikle de petrolde son yıllarda görülen fiyat artışları da, dikkate alınması gereken önemli noktalardan biridir.

Bütün bu gelişmeler karşısında enerji kullanımına ilişkin yeni stratejiler oluşturmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Söz konusu strateji enerji verimliliğidir. Böyle bir strateji öncelikle enerji ihtiyacı kavramının yeniden ele alınmasına dayanmaktadır. Aynı hizmet bugünkünden daha az enerji kullanarak ve toplamda bugünkünden daha az maliyetle yerine getirilebilir. Bu durum, ileri teknolojileri kullanan ve belirgin biçimde etkin ekonomilere sahip ülkeler için de geçerlidir.

Enerji verimliliği ile stratejinin en önemli basamaklarından birisi hiç şüphesiz enerji tasarrufudur. Her ne kadar enerji tasarrufu, genelde basit kısıntı tedbirlerini veya

kalitenin düşürülerek üretim yapılması olarak algılanıyor ise de, aslında çok daha geniş tedbirler ve teknolojilerin kullanımını içermektedir. Halk arasında genellikle enerjinin az kullanılması, iki lambadan birinin söndürülmesi veya sanayide daha az çıktının, daha az kalitesiz olarak üretilmesi olarak algılansa da, aslında enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, kalite ve performanstan ödün vermeden en aza indirgenmesidir.

Basitçe ifade edilecek olursa enerji verimliliği, enerji tasarrufunu da kapsayan daha geniş bir kavramdır. Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm safhalarda en yüksek etkinlikle değerlendirilmesini ifade eder. Enerji tasarrufu ise, enerji ve enerji kaynaklarının daha verimli olarak değerlendirilmesi amacı ile kullanıcılar, tüketiciler tarafından alınan tedbirler sonucunda belirli miktardaki üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada veya proses adımında harcanan enerji miktarının azaltılmasıdır.

3.2 Kişi Başına Enerji Tüketimi ve Enerji Yoğunluğu

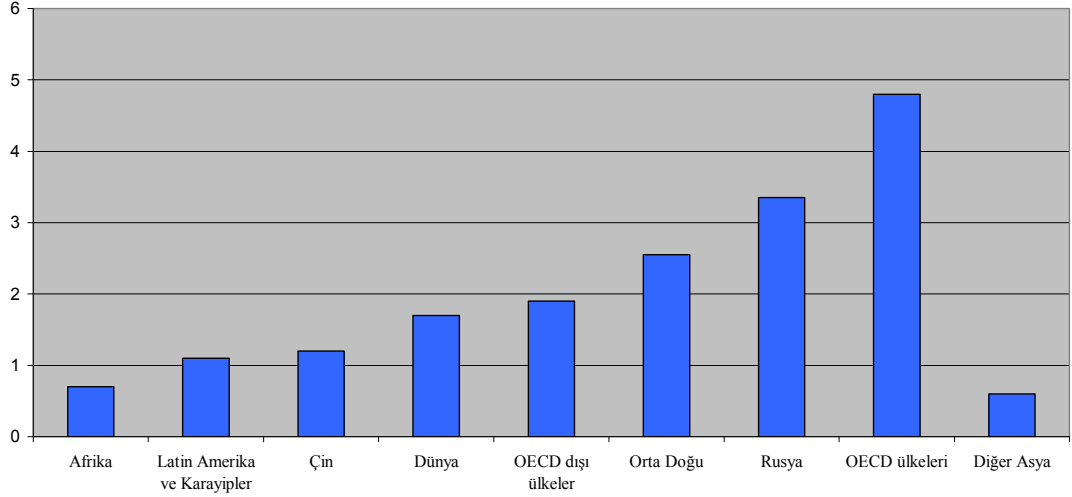
Enerji verimliliğinden bahsedildiğinde bilinmesi gereken diğer bir konu da enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu enerji verimliliğinin incelenmesi açısından önemli bir kriterdir. Enerji yoğunluğu, GSYİH başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünya tarafından kabul görmüş bir göstergedir. Genellikle 1,000\$'lık bir GSYİH için tüketilen TEP (ton eşdeğer petrol) miktarı dünyada enerji yoğunluğu göstergesi olarak kabul görmüştür. TEP'den bahsedildiğinde bilinen farklı enerji kaynaklarının ortak bir birimde toplanması amaçlanmıştır. Bu kaynakların tanımlanması için kg, m³, ton, kWh gibi farklı birimler kullanılabilir. 1 TEP, 1 ton petrolün kullanılması ile elde edilecek enerjiye eşittir ki bu da yaklaşık; 10⁷ kcal, 41.8 x 10⁹ Jule veya 11.6 x 10³ kWh değerine eşdeğerdir.

Enerji yoğunluğunun önemli olmasının sebebi, bir ülkenin yoğunluğu ne kadar düşükse o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerji miktarı o kadar düşük demektir ki, bu da açıkça ülkedeki enerjinin verimli kullanıldığının göstergesidir. Enerji yoğunluğu seviyeleri, ekonomik faaliyetin yapısı ve farklı enerji kullanımları için enerji verimliliğinin seviyesi olmak üzere iki temel faktöre bağlıdır.

Bu göstergenin detaylı incelenmesi sonucunda, ülkeler arasında gelişmişlik seviyesine bağlı olarak farklılıklar olduğu görülür. Bir ülkenin gelişmişlik seviyesi iki ana gösterge ile takip edilebilir. Bunlardan ilki kişi başına düşen enerji tüketimi, ikincisi ise enerji yoğunluğudur. Kişi başına düşen enerji tüketiminin yüksek olması, hem ülkedeki ekonomik canlılığa, hem de yaşam kalitesinin ve refah seviyesinin yüksek olduğuna işaret eder. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise, aynı miktar enerji ile ülke içinde daha çok katma değer üretildiğini simgeler. Sonuç olarak bir ülkenin enerji bakımından gelişmişliğinin analizinde en önemli göstergeler, kişi başı enerji tüketiminin yüksek ve enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır.

Kişi başına enerji tüketimi IEA standartları tarafından TEP/Nüfus olarak belirlenmiştir. Genellikle en yüksek değerli ülkeler en küçük nüfuslu ülkelerdir, 2005 yılında İzlanda'da bu değer 12.4 TEP, Lüksemburg'da 10.7 TEP olarak kaydedilmiştir. İzlanda için bu değer bu kadar yüksek olması iklimin ve ucuz, temiz termal kaynakların varlığındandır. Lüksemburg durumunda ise petrol ürünleri için uygulanan düşük vergilerden kaynaklanmaktadır. Amerika ve Kanada aynı şekilde yüksek değerlere sahip olup, sırasıyla 7.8 TEP ve 8.3 TEP olarak kaydedilmiştir. 1971 ile 2005 yılları arasında OECD ülkeleri içinde kişi başına düşen enerji tüketiminde farklı değerler görülmüştür, buna göre; Kore'de 1971 değerlerine göre sekiz kat büyüme, Yunanistan, İzlanda, Portekiz, İspanya ve Türkiye'de ise iki katından daha fazla bir artış olmuştur. Buna karşılık aynı zaman diliminde dört OECD ülkesinde bu değerlerde düşüş kaydedilmiştir; Lüksemburg (-%11), Polonya (-%11), Danimarka (-%7) ve Çek Cumhuriyeti (-%5). Genellikle OECD dışı ülkelerde bu değer daha düşük olup, 2004 yılında Çin'de 1.2 TEP, Güney Afrika'da 2.9 TEP, Brezilya'da 1.1 TEP ve Hindistan'da 0.5 TEP olarak belirlenmiştir [11]. **Şekil 3.1** dünyada değişik bölgelerdeki kişi başına enerji tüketim değerlerini göstermektedir.

Buna göre Türkiye'nin kişi başına tüketimi 2005 yılı değerleri ile 1.18 TEP olup, OECD ülkeleri standartları 5 TEP civarı olduğu düşünülürse, arada ciddi farklar bulunmaktadır [12].



Şekil 3.1 : Dünyada Kişi Başına Enerji Tüketim Değerleri (TEP)

Türkiye'nin kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin sadece Afrika ve Asya ülkeleri ile nüfusu 1.3 milyar seviyesinde olan Çin'den yüksek olması, bir az gelişmişlik seviyesi olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin bu konularda göstergelerine biraz daha detaylı bakıldığında gelişmemişlik seviyesi önemini korumaktadır. Örnek olarak 2005 yılında kişi başına düşen elektrik tüketimi 1,898 kWh iken bu değer Amerika'da 13,640 kWh olarak belirlenmiştir.

Kişi başına enerji tüketiminde OECD standartlarının altında kalan Türkiye, enerji yoğunluğu değerleri ile de gelişmiş ülkelerin gerisinde değerlere sahiptir. Dünya genelinde 2005 yılında bu değer ortalama 0.29 TEP/Bin\$ olarak gerçekleşmiştir, Türkiye'deki enerji yoğunluğu ise 0.35 – 0.38 TEP/Bin\$ olarak kaydedilmiştir. Enerji yoğunluk değeri Türkiye'den yüksek olan Çin ve Hindistan'daki durum nüfusun aşırı olmasıyla, Rusya'daki durum ise teknolojinin geriliği ile açıklanabilmektedir. Buna karşılık dünyada enerji yoğunluğu en düşük ülke 0.11 değeriyle Japonya'dır.

Tablo 3.1'de dünyadaki farklı enerji değerleri, kişi başına düşen elektrik tüketimi dahil gösterilmektedir. Çin'in bu tabloda gösterilmesindeki amaç diğer kıtaların içinde bile Çin'in önemini vurgulanmasıdır. Tablo 3.2'de ise Türkiye dahil farklı ülkelerdeki enerji istatistikleri verilmektedir. Enerji yoğunluğunun yıllar içindeki değişimine Tablo 3.3'den bakıldığında da, 1995 ila 2002 yılları arasında sadece İzlanda, Portekiz, İspanya ve Türkiye'de pozitif yönde değişim veya hiç değişim olmadığı görülmektedir. Polonya aynı sürede -%5.4 azalma değeriyle en yüksek değişimi kaydetmiştir. Ülkemizde enerji yoğunluğunun OECD ortalamasının

üzerinde olduğu ve yıllar içinde azalma eğilimini bir türlü yakalayamadığı ve kişi başına tüketim değerlerinde OECD değerlerinin yaklaşık dörtte biri olduğu bilinmektedir [11].

Tablo 3.1: Dünyada Farklı Enerji İstatistikleri (2005)

| | Nüfus (Milyon) | Tüketilen Enerji (MTEP) | Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP/Nüfus) | GSYİH (Milyar, 2000\$) | Enerji Yoğunluğu (MTEP/GSYİH) | Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/Nüfus) |
|----------------------|----------------|-------------------------|---|-------------------------|-------------------------------|---|
| Dünya | 6,432 | 11,434 | 1.78 | 36,281 | 0.32 | 2,596 |
| OECD | 1,172 | 5,548 | 4.74 | 28,394 | 0.2 | 8,365 |
| Ortadoğu | 187 | 503 | 2.69 | 786 | 0.64 | 2,980 |
| Eski Sovyet Ülkeleri | 285 | 980 | 3.44 | 525 | 1.87 | 4,209 |
| OECD Dışı Ülkeler | 54 | 105 | 1.94 | 152 | 0.69 | 3,086 |
| Çin | 1,311 | 1,735 | 1.32 | 2,098 | 0.83 | 1,802 |
| Asya | 2,080 | 1,286 | 0.62 | 1,974 | 0.65 | 646 |
| Latin Amerika | 449 | 500 | 1.11 | 1,620 | 0.31 | 1,695 |
| Afrika | 894 | 605 | 0.68 | 731 | 0.83 | 563 |

Tablo 3.2: Farklı Ülkelerdeki ve Türkiye'deki Enerji İstatistikleri (2005)

| Ülke | Nüfus (Milyon) | Tüketilen Enerji (MTEP) | Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP/Nüfus) | GSYİH (Milyar, 2000\$) | Enerji Yoğunluğu (MTEP/GSYİH) | Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/Nüfus) |
|------------|----------------|-------------------------|---|-------------------------|-------------------------------|---|
| ABD | 297 | 2,340 | 7.89 | 10,996 | 0.21 | 13,640 |
| Fransa | 63 | 276 | 4.4 | 1,430 | 0.19 | 7,707 |
| Almanya | 82 | 345 | 4.18 | 1,962 | 0.18 | 7,111 |
| Arjantin | 39 | 64 | 1.64 | 314 | 0.2 | 2,418 |
| Avustralya | 20 | 122 | 5.96 | 470 | 0.26 | 11,439 |
| Brezilya | 186 | 210 | 1.12 | 670 | 0.31 | 2,013 |
| Hindistan | 1,095 | 537 | 0.49 | 644 | 0.83 | 480 |
| Çin | 1,305 | 1,717 | 1.32 | 1,890 | 0.91 | 1,781 |
| İsveç | 9 | 52 | 5.78 | 272 | 0.19 | 15,430 |
| İtalya | 59 | 185 | 3.16 | 1,133 | 0.16 | 5,676 |
| Japonya | 128 | 530 | 4.15 | 4,994 | 0.11 | 8,233 |
| Kanada | 32 | 272 | 8.43 | 822 | 0.33 | 17,307 |
| Rusya | 143 | 647 | 4.52 | 350 | 1.85 | 5,786 |
| Türkiye | 72 | 85 | 1.18 | 246 | 0.35 | 1,898 |

Tablo 3.3: Farklı Ülkelerdeki Enerji Yoğunluğunun Yıllar İçindeki Değişimleri

| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | Yıllık Ortalama Değişim 1995-2002 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| Avusturya | 100.0 | 103.5 | 101.6 | 99.2 | 95.7 | 92.1 | 100.2 | 98.2 | -% 0.3 |
| Belçika | 100.0 | 105.7 | 104.4 | 104.3 | 102.3 | 99.0 | 95.6 | 89.5 | -% 1.6 |
| Bulgaristan | 100.0 | 109.4 | 102.8 | 96.8 | 85.4 | 81.7 | 81.8 | 76.6 | -% 3.7 |
| Kıbrıs | 100.0 | 105.5 | 100.7 | 107.5 | 100.4 | 100.5 | 97.7 | 96.1 | -% 0.6 |
| Çek Cumhuriyeti | 100.0 | 98.7 | 100.0 | 97.7 | 89.7 | 91.8 | 91.4 | 90.0 | -% 1.5 |
| Danimarka | 100.0 | 110.0 | 99.7 | 95.8 | 90.0 | 85.1 | 85.9 | 83.6 | -% 2.5 |
| Estonya | 100.0 | 101.5 | 90.4 | 81.4 | 76.1 | 66.1 | 69.3 | 62.9 | -% 6.4 |
| Finlandiya | 100.0 | 104.0 | 102.9 | 99.4 | 95.0 | 89.5 | 90.8 | 93.6 | -% 0.9 |
| Fransa | 100.0 | 104.3 | 99.9 | 99.6 | 96.4 | 95.7 | 96.4 | 95.3 | -% 0.7 |
| Almanya | 100.0 | 102.7 | 100.3 | 98.1 | 94.4 | 92.3 | 94.2 | 92.4 | -% 1.1 |
| Yunanistan | 100.0 | 102.8 | 99.9 | 101.5 | 97.8 | 98.2 | 97.0 | 96.2 | -% 0.5 |
| Maceristan | 100.0 | 100.9 | 94.6 | 89.4 | 86.7 | 81.1 | 79.5 | 77.6 | -% 3.6 |
| İzlanda | 100.0 | 109.6 | 109.1 | 110.3 | 121.3 | 120.6 | 122.3 | 124.2 | % 3.1 |
| İrlanda | 100.0 | 98.3 | 92.9 | 90.7 | 86.5 | 80.7 | 79.5 | 76.6 | -% 3.7 |
| İtalya | 100.0 | 98.8 | 98.2 | 99.5 | 99.2 | 97.1 | 95.6 | 95.7 | -% 0.6 |
| Litvanya | 100.0 | 102.1 | 89.8 | 93.6 | 80.9 | 71.1 | 75.7 | 75.2 | -% 4.0 |
| Lüksemburg | 100.0 | 98.7 | 89.8 | 82.1 | 80.0 | 77.4 | 79.1 | 81.5 | -% 2.9 |
| Malta | 100.0 | 106.1 | 106.9 | 108.6 | 103.8 | 94.7 | 84.9 | 82.8 | -% 2.7 |
| Norveç | 100.0 | 93.1 | 93.2 | 94.8 | 97.2 | 92.2 | 92.6 | 89.3 | -% 1.6 |
| Polonya | 100.0 | 101.1 | 91.2 | 82.0 | 75.5 | 70.2 | 69.6 | 67.6 | -% 5.4 |
| Portekiz | 100.0 | 96.3 | 98.3 | 100.8 | 104.3 | 101.8 | 102.7 | 107.3 | % 1.0 |
| Romanya | 100.0 | 103.2 | 99.1 | 94.0 | 85.3 | 87.5 | 82.2 | 76.2 | -% 3.8 |
| Slovakya | 100.0 | 90.8 | 91.2 | 86.1 | 84.2 | 82.5 | 88.9 | 85.7 | -% 2.2 |
| Slovenya | 100.0 | 101.2 | 97.8 | 93.6 | 87.6 | 84.8 | 87.4 | 86.2 | -% 2.1 |
| İspanya | 100.0 | 96.3 | 97.4 | 97.8 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 100.1 | % 0.0 |
| İsveç | 100.0 | 101.1 | 96.2 | 93.6 | 89.7 | 81.0 | 86.2 | 84.5 | -% 2.4 |
| Hollanda | 100.0 | 100.9 | 95.7 | 91.6 | 87.4 | 85.9 | 86.8 | 87.0 | -% 2.0 |
| Türkiye | 100.0 | 101.6 | 99.5 | 98.3 | 101.3 | 102.8 | 103.2 | 100.0 | % 0.0 |
| İngiltere | 100.0 | 101.8 | 96.2 | 96.5 | 93.2 | 90.4 | 88.9 | 85.3 | -% 2.2 |

4. TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ

Türkiye dünyadaki gelişmekte olan ülkelerden biridir ve bu durumunda yüksek enerji tüketim değerlerine sahiptir. Bir önceki bölümde enerji istatistiklerini gördükten sonra elektrik enerjisindeki talep değerleri, gelecekteki talep projeksiyonu ve sanayideki elektrik tüketim değerlerinin incelenmesi ile elektrik enerjisinin ülkemiz için tüketiminin ve verimliliğinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

4.1 Elektrik Enerjisinde Talep Gelişimi

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi+dış alım-dış satım) 2005 yılında %7.2 artış ile 160.8 milyar kWh, 2006 yılında ise %8.3 artış ile 174.2 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye net tüketimi Tablo 4.1'de görüldüğü gibi, 2005 yılında 129.5 milyar kWh, 2006 yılında ise 141.1 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [13].

Türkiye enterkonnekte sisteminin yıllar itibariyle ani puant talebi ve enerji gelişimi Tablo 4.1'de görülmektedir. 2005 yılında puant talep 25,174 MW, minimum yük 10,120 MW olarak, 2006 yılında ise puant talep 27,594 MW, minimum yük 10,545 MW olarak gerçekleşmiştir. 2005 yılında minimum yükün puant yüke oranı %40 iken 2006 yılında bu oran %38 olmuştur. Kısaca 2006 yılında, sistem yük eğrisi şeklinin baz bölümü 2005 yılına göre azalmış ve nispeten daha kötü bir tüketici eğrisi örneği olmuştur. Böylece 2006 yılı üretim sistemini oluşturan tesislerin sadece %38 payındaki üretimleri yıl boyunca kullanılmış, geri kalan üretim miktarları ise daha kısa süreler için değerlendirilmiştir. Bir başka deyişle, 2006 yılında baz yük ihtiyacının artması beklenirken azaldığı görülmüştür.

Tablo 4.1: Türkiye’de Yıllar İçinde Talep Enerjisinin Değişimi

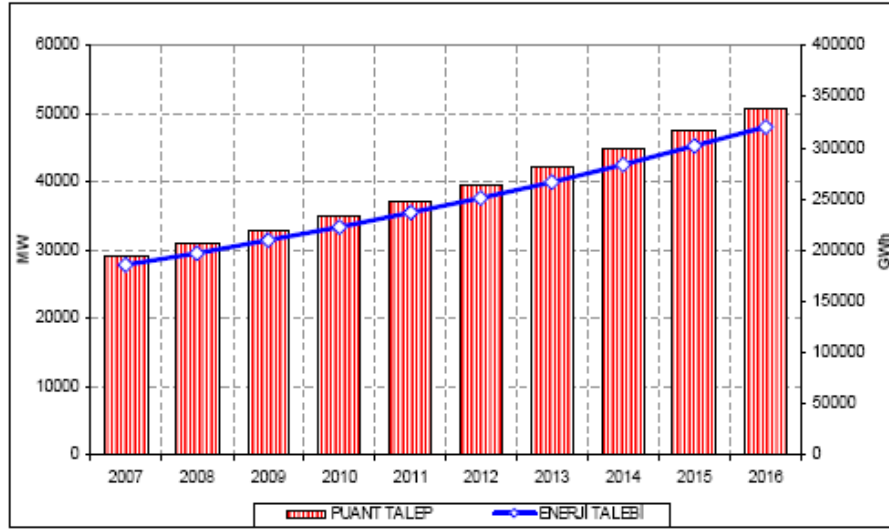
| | Puant Güç Talebi (MW) | Fark (%) | Enerji Talebi (GWh) | Fark (%) |
|------|-----------------------|----------|---------------------|----------|
| 1997 | 16,926 | % 11.0 | 105,517 | % 11.3 |
| 1998 | 17,799 | % 5.2 | 114,023 | % 8.1 |
| 1999 | 18,938 | % 6.4 | 118,485 | % 3.9 |
| 2000 | 19,390 | % 2.4 | 128,276 | % 8.3 |
| 2001 | 19,612 | % 1.1 | 126,871 | -% 1.1 |
| 2002 | 21,006 | % 7.1 | 132,553 | % 4.5 |
| 2003 | 21,729 | % 3.4 | 141,151 | % 6.5 |
| 2004 | 23,485 | % 8.1 | 150,018 | % 6.3 |
| 2005 | 25,174 | % 7.2 | 160,794 | % 7.2 |
| 2006 | 27,594 | % 9.6 | 174,230 | % 8.4 |

4.2 Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu

Türkiye’de 2006 verileri göz önünde bulundurularak, 2007–2016 yılları arasında Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yapılan projeksiyonlara bakılacak olunursa, tüketimdeki artışın %6.2 - %6.5 arasında olduğu görülür. Tablo 4.2 ve Şekil 4.1’den de görüldüğü gibi senelik %6 üzerindeki artış ile 2016 yılında 321,567 GWh’lık bir elektrik enerjisi talebi beklenmektedir. Projeksiyonların gerçekleşme oranları, kalkınma hızıyla yakından ilişkilidir. Kalkınmanın artmasına bağlı olarak başta sanayi sektörü gelişmekte ve enerji tüketimi de buna bağlı olarak artmaktadır.

Tablo 4.2: 2016 Yılına Kadar Elektrik Enerjisindeki Talep Projeksiyonu

| Yıl | Puant Güç Talebi (MW) | Fark (%) | Enerji Talebi (GWh) | Fark (%) |
|------|-----------------------|----------|---------------------|----------|
| 2007 | 29,305 | %6.2 | 185,032 | %6.2 |
| 2008 | 31,151 | %6.3 | 196,689 | %6.3 |
| 2009 | 33,114 | %6.3 | 209,081 | %6.3 |
| 2010 | 35,200 | %6.3 | 222,253 | %6.3 |
| 2011 | 37,417 | %6.3 | 236,255 | %6.3 |
| 2012 | 39,775 | %6.3 | 251,139 | %6.3 |
| 2013 | 42,280 | %6.3 | 266,961 | %6.3 |
| 2014 | 44,944 | %6.3 | 283,779 | %6.3 |
| 2015 | 47,820 | %6.4 | 301,941 | %6.4 |
| 2016 | 50,929 | %6.5 | 321,567 | %6.5 |



Şekil 4.1: 2016 Yılına Kadar Elektrik Enerjisindeki Talep Projeksiyonu [13]

Tablo 4.3’de görüldüğü gibi, 2000 yılında 67.5 milyon olan nüfusun %1.6 artarak 2005 yılında 73 milyona, 2005–2010 döneminde %1.4 artarak 2010 yılında 78.5 milyona, 2010–2015 döneminde %1.2 artarak 2015 yılında 83.3 milyona, 2015–2020 döneminde ise %1 oranında artarak 2020 yılında 87.8 milyona ulaşacağı kabul edilmiştir.

Tablo 4.3: Türkiye’de GSYİH ve Nüfus Projeksiyonu

| | GSYİH Büyüme (%) | Nüfus Artışı (%) |
|-----------|------------------|------------------|
| 2000-2005 | 3.1 | 1.6 |
| 2005-2010 | 5.5 | 1.4 |
| 2010-2015 | 6.4 | 1.2 |
| 2015-2020 | 6.4 | 1.0 |

Tablo 4.4: Farklı sektörlerin milli gelire katkıları

| | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tarım | % 13.4 | % 11.9 | % 10.6 | % 9.4 | % 8.4 |
| İnşaat | % 5.0 | % 4.2 | % 4.9 | % 5.5 | % 5.5 |
| Maden | % 1.4 | % 1.0 | % 0.8 | % 0.7 | % 0.6 |
| İmalat | % 23.8 | % 24.6 | % 24.1 | % 23.8 | % 23.6 |
| Enerji | % 3.2 | % 3.5 | % 3.8 | % 4.0 | % 4.3 |
| Hizmetler | % 53.2 | % 54.8 | % 55.8 | % 56.6 | % 57.6 |
| Toplam | % 100.0 | % 100.0 | % 100.0 | % 100.0 | % 100.0 |

Tablo 4.4’de görüleceği gibi, tarım ve maden sektörünün milli gelire katkılarına gittikçe azalırken, imalat sanayinin katkısının ilk başta artacağı ancak daha sonra

hafifçe azalacağı öngörülmektedir. Uzun dönemde ise, inşaat ve enerji sektörlerinin payı artmakla birlikte, en fazla artışın hizmet sektöründen gelmesi beklenmektedir.

Hizmet sektörü için birçok farklı tarif ve sınıflandırma yapılmıştır. Bir hizmetin tarifinde sağlanan fayda esas alınmaktadır. Bazı hizmetler derhal veya kısa sürede bir fayda sağlamaktadır. Bunlara fast-food lokantaları, sinema, temizlik hizmetleri, benzin istasyonları örnek olarak verilebilir. Bazıları orta dönemli veya yarı dayanıklı hizmet sağlamaktadır. Otomobil tamirati, vergi danışmanlığı, diş tedavisi bu sınıfta düşünülebilir. Finansman hizmetleri, hayat sigortaları, emeklilik düzenlemeleri gibi. Diğerleri ise, daha dayanıklı ve daha uzun süreli faydalar sağlar.

4.3 Sanayide Elektrik Tüketimi

Elektrik enerjisi birçok farklı kullanım alanlarında, değişik oranlarda kullanılır. Tablo 4.5'den 2006 yılı istatistiklerine bakılırsa, toplam elektrik tüketiminin %42.18'i sanayide, %25.18'i konutlarda, %14.28'i ticarethanelerde kullanılmıştır [14]. Tablodaki GWh olarak tüketim değerleri incelendiğinde sanayide tüketimin %42.18 olduğu görülür, ancak toplam elektrik tüketim bütçesine bakıldığında sanayide tüketimin oranı %28.7'ye düşmektedir. Aynı şekilde konutlardaki tüketim GWh olarak %25.18 iken toplam tüketim bütçesi içinde %30 seviyelerine yükselmektedir. Bunun sebebi konutlarda ve sanayideki elektrik birim maliyetlerinin farklı olmasıdır. Örnek olarak 2006 yılı içinde konutlarda elektrik birim maliyeti 0.15834 YTL/kWh iken, sanayide 0.12579 YTL/kWh olmuştur. Konutlarda 2006 yılı içinde elektrik enerjisi en ucuz maliyetli doğalgaza göre %294, sanayide ise doğalgaza göre %309 oranında pahalı kalmıştır. 2006 yılı içinde elektriğe yapılan ortalama fiyat artışı %0'dır. 2007 yılı içinde konutlarda elektrik maliyeti 2006 yılı ile aynı olup, doğalgaza göre %246 pahalı kalmıştır. Sanayide ise elektrik 0.120998 YTL/kWh olup, doğalgaza göre oranı %249 olmuştur. Son olarak 2008 yılı mart ayındaki konutlardaki elektrik maliyetlerine bakılırsa fiyatların yükseldiği görülmektedir. Mart ayı sonu itibariyle elektrik konutlarda 0.188994 YTL/kWh olup, doğalgaza göre %273 pahalı kalmıştır. Mart itibariyle senelik fiyat artışı %19.4 olarak gerçekleşmiştir. Mart ayı sonu itibariyle sanayide elektrik maliyeti ise 0.138112 YTL/kWh olup, doğalgaza göre %260 pahalı kalmıştır. Sanayide elektrik maliyeti bir önceki yıla göre %14.1 oranında artmıştır [15].

Tablo 4.5 : Sanayi Sektörlerinin Elektrik Tüketimindeki Miktar ve Bütçe Oranları

| | Oran (%) GWh | Oran (%) YTL |
|--------------------------|--------------|--------------|
| Resmi Daire | 4.03 | 5.20 |
| Sanayi + Otoprodüktör | 42.18 | 28.70 |
| Ticarethaneler | 14.28 | 21.00 |
| Konutlar | 25.18 | 30.00 |
| Tarımsal Sulama | 2.29 | 2.70 |
| Şantiyeler | 1.71 | 2.60 |
| Sokak Aydınlatması | 2.79 | 2.60 |
| Diğer + EÜAŞ direk satış | 7.54 | 7.20 |

Türkiye’de imalat sanayinde, sanayi grubuna göre elektrik tüketimi farklılıklar gösterir. İmalat sanayi içinde bulunan alt sektörler ise;

- Gıda, içki ve tütün sanayi
- Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayi
- Orman ürünleri ve mobilya sanayi
- Kağıt - kağıt ürünleri ve basım sanayi
- Kimya – petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi
- Taş ve toprağa dayalı sanayi
- Demir-çelik metal ana sanayi
- Demir-çelik dışı metal ana sanayi
- Metal eşya ve makine-teçhizat sanayi olarak adlandırılabilir.

Bu alt sektörlerin elektrik tüketimlerine bakılırsa 2005 yılında, demir-çelik metal sanayi (%25), taş ve toprağa dayalı sanayi (%21) ve dokuma, giyim ve deri sanayi (%19) ilk sıraları oluşturmaktadır [9]. En çok elektrik enerjisi tüketen bu sektörlerin kendi içlerindeki tüketimlerine bakılırsa, tekstil sanayi %29’luk elektrik tüketimi ile diğer tüm sektörleri geride bırakmaktadır. Kısaca tekstil sanayi tükettiği elektrik enerjisi anlamında dikkatle incelenmesi gereken bir endüstri dalıdır.

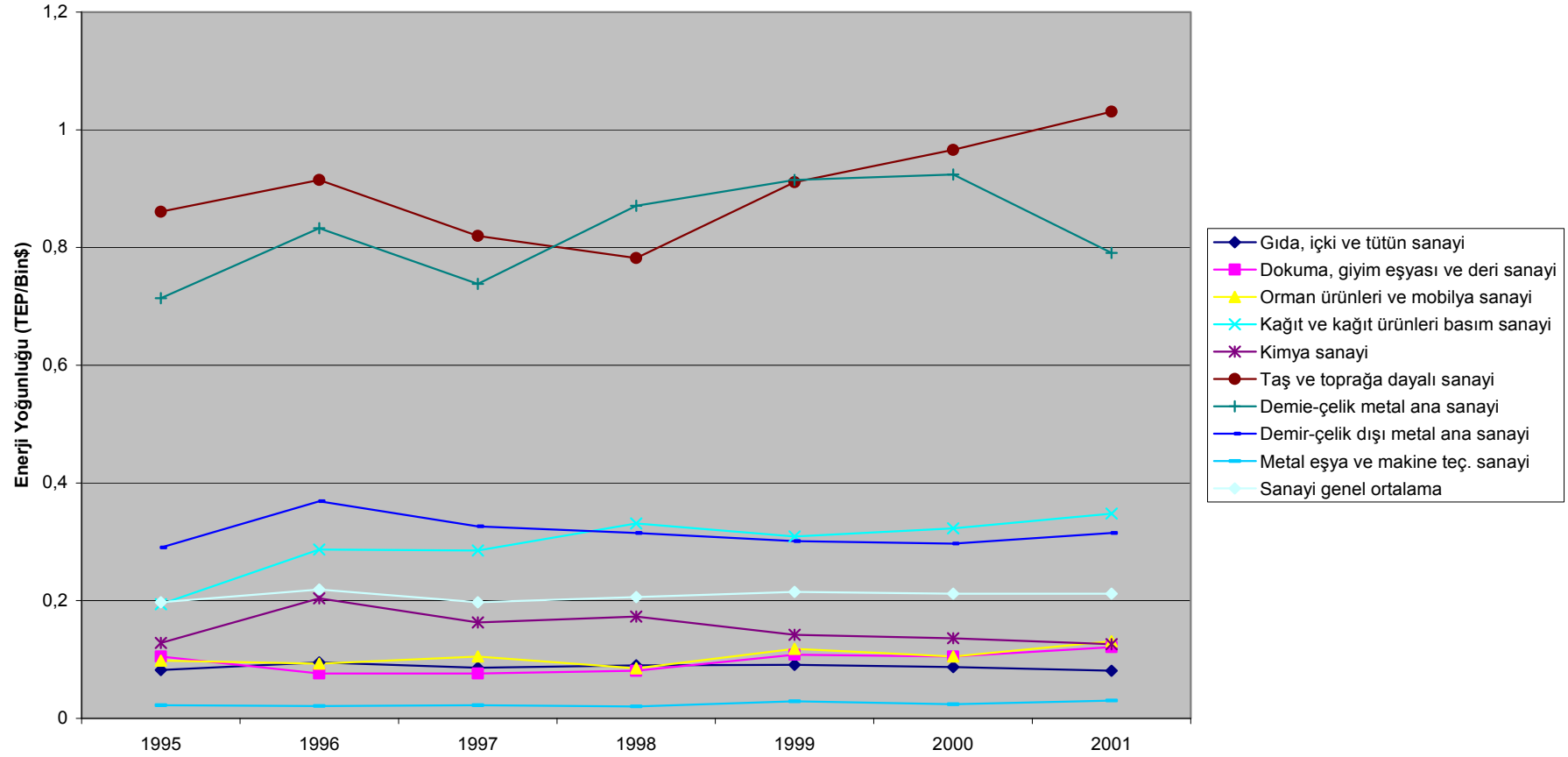
Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayinden bahsedildiğinde;

- Elyafın hazırlanması, iplik haline getirilmesi, dokunması, boyanması vb. bitirme işlemleri

- Giyim eşyası dışında kalan hazır dokuma eşya üretimi
- Örme sanayi
- Halı ve kilim sanayi
- İp, sicim, ağ ve urgan sanayi
- Diğer dokuma ürünleri sanayi
- Deri ve kürk giyim eşyası sanayi
- Deri ve kürk dışında kalan hazır giyim eşyası sanayi, konfeksiyon, yapay süet kürk ve plastik giyim eşyası
- Deri işleme sanayi
- Deri ve benzeri eşyalardan yapılmış eşya sanayi (ayakkabı ve giyim eşyası hariç)
- Ayakkabı sanayi (kalıp mamulü lastik ve plastik ayakkabılar hariç) anlaşılmalıdır.

Türkiye'nin enerji yoğunluğu daha önceki bölümlerde incelenmişti. Her bir sanayi kolu için enerji yoğunluğundaki gelişime bakılırsa, bu eğrilerin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. 2001 yılında yapılan çalışmalarda her bir alt imalat sanayi dallarının enerji yoğunlukları incelenmiştir [9].

Şekil 4.2'den açıkça görüldüğü gibi, demir-çelik metal ana sanayi ve taş ve toprağa dayalı sanayi dallarında en yüksek enerji yoğunluğu değerleri elde edilmiştir. Bu iki sektörün yoğunluk değerlerinin diğer sanayi kollarına göre yüksek olması sadece ülkemize özgü bir durum olmayıp, prosesin yapısı gereği çok yüksek sıcaklıklarda çalışılması gerekliliğindedir. Örnek olarak demir-çelik sanayinde demirin eritilip sıvı hale getirilmesi büyük miktarda enerji tüketimine yol açmaktadır. En çok elektrik tüketimin gerçekleştiği sanayi dallarından tekstilin Türkiye sanayi genel enerji yoğunluğunun altında değerlere sahip olduğu görülmektedir, ancak Türkiye genel enerji yoğunluğu da olması gerekenin çok üstünde olduğundan, tekstil sektöründe buna rağmen yapılacak birçok verimlilik potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 4.2 : Farklı Sanayi Kollarında Yıllara Göre Enerji Yoğunluğu

5. TEKSTİL SEKTÖRÜ

Bu bölümde tekstil sektörünün genel durumu dünya ve Türkiye ölçeğinde incelenmiş ve sektördeki enerji yoğunluk değerleri ile verimlilik olasılıkları irdelenmeye çalışılmıştır.

5.1 Tekstil Sektörüne Genel Bakış

Tekstil ve Hazır Giyim/Konfeksiyon sanayi sağladığı istihdam imkanı, üretim sürecinde yarattığı katma değer ve uluslararası ticaretteki ağırlığı nedeniyle ekonomik kalkınma sürecinde ülkemiz için önemli rol oynayan bir sanayi dalıdır. Gelişmiş ülkelerin 18. yüzyılda gerçekleştirdikleri sanayileşme sürecine damgasını vuran tekstil ve daha sonra hazır giyim sanayi, günümüzde de gelişmekte olan ülkelerin kalkınmalarında benzer bir rol oynamaktadır. Tekstil, gelişmiş pazar ekonomilerinde yaratılan katma değer sıralamalarında da, bu ülkelerin yüksek teknoloji sektörlerinin ağırlığına rağmen, ilk sıralarda yer almaktadır.

Tekstil ve hazır giyim ticareti, uluslararası ticaretteki global kısıtlamalara rağmen, üretimin önünde gelişmektedir. Dünya tekstil üretimi 1980–1999 döneminde yaklaşık %15 artarken, ticareti %150'nin üzerinde artış göstermiştir [16]. 2005 ve sonrasında DTÖ (Dünya Ticaret Örgütü) düzenlemelerinin hayata geçmesiyle, dünya tekstil ticareti de artmıştır. Bloklar içi (AB, NAFTA, Uzakdoğu) tercihli ticaret giderek daha fazla ağırlık kazanmakta, bu da bloklar arası ticaret ve özellikle bloklar dışında kalan ekonomiler için yeni ve büyük boyutlu bir rekabet engeli yaratmaktadır.

Diğer bir önemli husus, işgücü maliyetlerinin düşük olduğu gelişmekte olan ülkelerin, tekstil ve hazır giyim üretim ve ticaretindeki paylarını, gelişmiş ülkelere oranla giderek artırmalarıdır. 1980–2000 yılları arasında tekstil üretimi Asya kıtasında yaklaşık %100, Amerika kıtasında %75 kadar artmış, Avrupa'da ise %33 kadar gerilemiştir. 1980'de tekstil üretiminin yaklaşık yarısını gerçekleştiren Avrupa'nın payı bugün %30 dolaylarına düşmüş, aynı dönemde Asya ülkelerinin

payı ise %25'ten %35–40 seviyelerine yükselmiştir. Amerika kıtası, dünya tekstil üretimindeki payını son çeyrek yüzyılda %20'lerden %25–30 dolaylarına yükseltmeyi başarmıştır [19]. Önümüzdeki yıllarda Çin dahil Asya ülkelerinin paylarının diğer bölgeler aleyhine artmaya devam edeceği beklenmektedir.

5.2 Türkiye'de Durum

Türk tekstil sektörü teknoloji düzeyi, ekonomik etkinliği ve sosyal etkileşimi itibariyle ülkenin önde gelen sosyo-ekonomik faaliyet alanlarından biridir. Sektörün bu konumunu önümüzdeki yirmi yıl boyunca koruması, hatta geliştirmesi beklenmektedir. Tekstil sektörümüzün ürün kalitesi ve üretim teknolojisi çağdaş dünya standartlarındadır. Üretimimizin yaklaşık $\frac{3}{4}$ ' ü on yaşından daha genç makine ve teçhizatla gerçekleştirilmektedir.

Üretim kapasitesi açısından Türkiye, kurulu kapasite iş sayısı itibariyle dünyada altıncı, rotor sayısında ise dördüncü sıradadır ve iş sayısında dünya kapasitesinin %3.4'üne, rotor sayısında ise %5.5'ine sahiptir. Avrupa Birliği'nde kurulu pamuk tipi kısa elyaf kapasitesinin yaklaşık yarısı Türkiye'dedir; Türkiye'de kurulu kapasite tek başına AB kurulu kapasitesine denktir. Dokuma ve örgü kumaş üretiminde, yaşlı mekikli tezgahlar dikkate alınmasa dahi, kurulu dokuma kapasitesi AB toplamının $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır ve Avrupa'daki en büyük yuvarlak örme kapasitesine sahiptir. Kumaş işleme (terbiye) kapasitesi, kurulu ham bez üretim kapasitesini (dokuma ve örgü) rahatlıkla işleyecek seviyededir. Terbiye (boya, baskı, apre) sanayimiz gerek boyutu ve teknoloji düzeyi, gerekse ürün kalitesi açısından AB kurulu kapasitesine en azından eşit düzeydedir [16].

Tekstil sektörü ülkede yaratılan katma değer (GSMH) $\frac{1}{10}$ 'undan, ülke ihracatının $\frac{1}{3}$ 'ünden fazlasını gerçekleştirmektedir [9]. Tekstil ve hazır giyim sektörünün imalat sanayi içindeki katma değer payı $\frac{1}{6}$ 'dır. Özellikle giyim alt sektörünün emek yoğun karakteri nedeniyle, tekstil sektörü toplam yaklaşık 27,500 işyerinde 523,000 kayıtlı kişiye istihdam sağlamaktadır. Sektör yaygın yan sanayi ağı ile birlikte iki milyona yaklaşan çalışanıyla önemli bir sosyal işleve sahiptir [16,17].

Tekstil ve hazır giyim sektörü yüksek ihracat performans ve potansiyeline sahiptir, dünya tekstil ihracatındaki payı %2.7, hazır giyimdeki payı %3.4 dolaylarındadır. Sınır, bavul ve turist ticareti ayrı tutulduğunda dahi, 15 milyar \$ civarındaki tekstil ve

hazır giyim ihracatıyla Türkiye, tekstilde Avrupa'nın birinci, dünyanın ondördüncü; hazır giyim ürünlerinde de Avrupa'nın ikinci, dünyanın yedinci büyük tedarikçisidir. Sektördeki beklentiler, artık bu sektör ürünlerinin ülke için bir marka olması, bir imaj yaratmasıdır.

Tekstil sektörünün bugünkü konumunu daha da güçlendirerek sürdürebilmesi ise, teknolojisini çağın önünde tutabilecek düzeyde geliştirmesine, bilgi yoğunluğu ve katma değeri yüksek ürünlere yönelmesine bağlıdır. Bunun için, tekstil sektörünün faaliyet gösterdiği iplik, örme, “nonwoven”, dokuma, tekstil terbiyesi ve konfeksiyon alanlarında teknoloji geliştirme ve ArGe çalışmalarına önem vermesi ve kaynak ayırması gerekmektedir.

5.3 Türkiye Tekstil Sanayinde Enerji Verimliliği

Tekstil sektörü kriz yılları da dahil ihracatı sürekli artan bir sektör olması nedeniyle Türk sanayisinde büyük öneme sahiptir. Tekstil sanayisi incelendiğinde enerji kullanım miktarlarının inişli çıkışlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu sektörde enerji tüketiminin genel bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunu destekleyici olarak, 2001 yılı krizinde bile tekstil enerji tüketimi açısından 1999 değerine yakın seviyelerde gerçekleşmiştir. Tekstil sanayinde satıştan elde edilen gelirin dalgalı olduğu görülmektedir, ancak elde edilen bu değer hep %10'un üstünde olmuştur.

2001 yılında yapılan bir çalışma neticesinde tekstil sektöründe enerji yoğunluğu 0.121 TEP/Bin\$ olarak hesaplanmıştır. 1995–2001 süresince tekstil sanayindeki enerji yoğunluğu sürekli bir artış eğiliminde olmuştur. Buna rağmen 0.121 değerinin Türkiye sanayi ortalamasının (0.212 TEP/Bin\$) altında olduğu görülmüştür. Tekstil sanayinde dört ana alt sanayi dalı vardır ve bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [9] :

- Dokuma sanayi (elyaf hazırlama, iplik haline getirme, dokuma ve boyama işlemleri, hazır dokuma eşya, yün, pamuk, kadife ve ipek dokuma ve kumaşlar, çeşitli bezler, örme işleri, halı ve kilim, pamuk ipliği, ip, sicim, urgan, ağ, vb.)
- Ayakkabı dışında giyim eşyası sanayi (hazır giyim eşyası, konfeksiyon, yapay süet kürk ve plastik giyim eşyası, iç çamaşırları, takım elbiseler, iş elbiseleri, spor kıyafetleri, kaşkol ve eldivenler, şapkalar, bereler, vb.)

- Deri, deri benzeri maddeler ve kürk eşyası sanayi (deri işleme, kürk işleme ve boyama, deri ve benzeri maddelerden yapılmış eşyalar, vb.)
- Ayakkabı sanayi

Bu dört ana alt sektörlerdeki enerji yoğunluklarına bakılırsa, ayakkabı sanayinin 0.02 TEP/Bin\$, deri sanayinin 0.033 TEP/Bin\$, giyim eşyası sanayinin 0.04 TEP/Bin\$ olurken, dokuma sanayinde bu değer 0.174 TEP/Bin\$ olduğu görülür. Görüldüğü gibi dokuma sanayinde enerji yoğunluğu diğer alt sektörlerle göre oldukça yüksektir, ancak bu değer yine Türkiye sanayi ortalamasının altındadır.

Tekstil sektöründe en çok kullanılan enerji türünün elektrik olduğu görülmektedir. 2001 yılı verileri ile tekstil sektöründe elektrik kullanımının payı %29 olmuştur. Benzin, motorin, taşkömürü, LPG tüketiminin çok az paya sahip olduğu ve payın yıllar itibariyle değişmediği görülmüştür. Doğalgaz tüketimi tekstil sanayinde önemli bir yer tutar, elektrikten sonra ikinci tüketim değeriyle (2001, %27) öne çıkar.

6. TEKSTİL ÜRETİMİNDE İŞLEM ANALİZİ

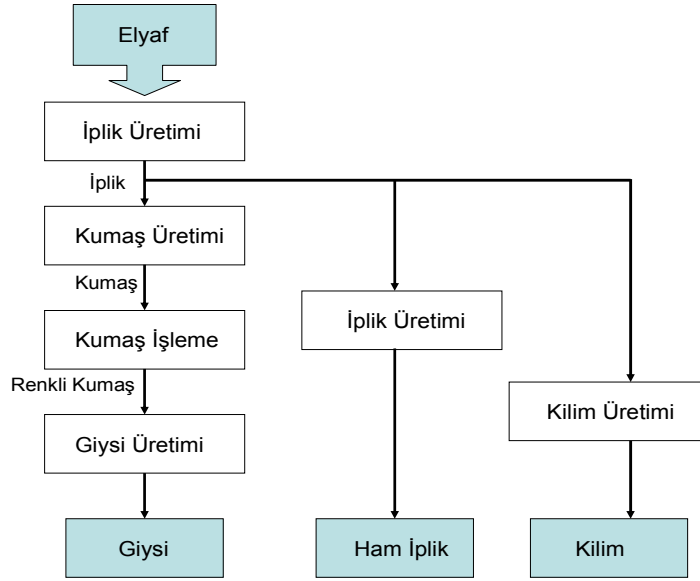
Bu bölümde tekstil üretim işlemleri incelenmiş, iplik üretiminden giysi/elbise üretimine kadar olan işlemler detaylı olarak anlatılmıştır.

6.1 Tekstil Üretim İşlemleri

Tekstil’de ilk işlem ham elyafın üretilmesinden geçer. Tekstilde kullanılan elyaf doğal kaynaklardan (yün, pamuk, vb.), selüloz malzemelerden veya tamamen sentetik (polyester, naylon) malzemelerden elde edilebilir. Ham, doğal veya üretilmiş elyaf taşındıktan sonra giysi üretimi için Şekil 6.1’de görülen dört ana işlemde geçer [20] :

- İplik üretimi
- Kumaş üretimi
- Kumaş işleme (Wet Processing)
- Giysi/Elbise üretimi

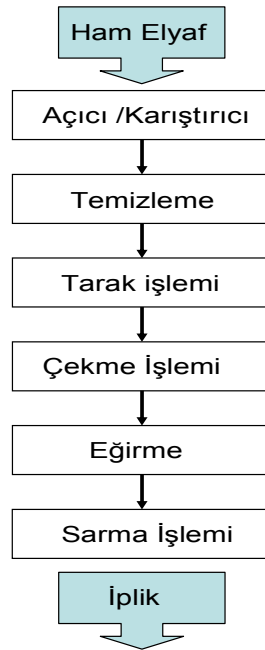
Son ürün olarak elde edilen giysiden başka, depolanmak üzere iplik ve kilim/halı prosesin farklı kademelerinden elde edilebilir.



Şekil 6.1 : Tekstil Üretim İşlemleri

6.1.1 İplik Üretimi

İplik üretimi ham elyafın ipliğe dönüştürülmesini içeren işlemin tümüne verilen isimdir. Bu işlem boyunca alınan ham elyaflar harmanlanır, temizlenir, ayrılır ve en sonunda eğirme işlemine gelerek dokuma için hazırlanmış olurlar. Şekil 6.2 elyaftan iplik oluşumuna kadar işlemi göstermektedir.



Şekil 6.2: Pamuk ve Yün İplik Üretimi Adımları

6.1.1.1 Doğal Elyaf lar

Doğal elyaf lar iplik haline gelmeden önce 5 ana işlem geçerler; harman-hallaç dairesi, tarak dairesi, cer prosesi, fitil dairesi ve son olarak ring iplik eğirme prosesi.

Harman-Hallaç Dairesi : Harman hallaç dairesinin amacı balyalar halinde gelen elyaf ı mümkün olduğu kadar tek lif halinde açıp yabancı maddeleri temizlemek ve homojen bir karışım elde etmektir. Bu işlemle çeşitli karakterlerdeki liflerin karışımıyla istenilen renk görünümü elde edilir ve ekonomiklik sağlanır. Ayrıca lifin belli bir uzunluğuna belirli bir de ağırlık kazandırmak harman hallaç hattının görevlerindedir. Harman-hallaç hattında bulunan makineler aşağıda sıralanmıştır.

Balya açıcı : Elyaf lar harmanlandıktan sonra ilk aşama olarak Şekil 6.3’de görülen balya açıcıdan geçer. Burada farklı cinsteki hammaddeler karıştırılabileceği gibi aynı cins hammadde de karıştırılabilir. İyi bir harman için homojen bir karışım yapılması esastır.



Şekil 6.3 : Balya Açıcı Makinesi [19]

Mikser: Bundan sonraki işlem elyaf ın mikserden geçmesidir. Bu işlem istenildiği takdirde, elyaf ın daha da iyi harmanlanabilmesi için kullanılır. Genellikle 6–8 hazneye sahiptir. İlk olarak en sağdaki hazne doldurulur. Fotosel vasıtasıyla hazne dolduğunda kapak kapanır ve bir sonraki hazne dolmaya başlar, bütün hazneler dolduğunda makine çalıştırılır. Yaklaşık 400–600 kg kapasiteye sahiptir [20]. Haznelerin altlarında bulunan besleme silindirleri çiftleriyle hammadde taşıyıcı bant üzerine dökülür. Böylece iyi bir karışım yapılmış olur. Şekil 6.4’de günümüz teknolojisinde bir mikser makinesi görülmektedir.



Şekil 6.4 : Mikser İşlemi [19]

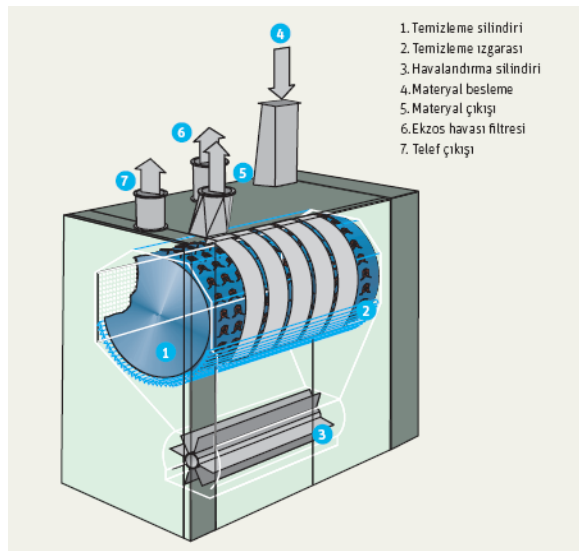
Telef gözü : Elyaf mikserden geçtikten sonra fanlar vasıtasıyla telef gözüne gelir. Telef gözü, içinde açılmış halde telef bulunduran bölümdür. Bu sebeple harmana telef karıştırılacaksa balya açıcıdan değil, telef gözünden karıştırılır. Buradaki telef tarak telefli olabilir. Harmana açılmış halde bulunan telefin karıştırılması, telefin karışıma daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Böylece kalitesiz elyaf bir yere toplanmamış olduğundan harmanın kalitesini olumsuz yönden etkilememiş olur.

Dik açıcı : Elyaf telef gözünden sonra hava yardımıyla Şekil 6.5’de görülen dik açıcıya gelir. Makinenin ana parçası, dikey bir şafta bağlı 6–8 çelik disklerdir. Her disk üzerinde perçinlenmiş vurucu parmaklar vardır. Bu parmakların sayısı 33–34 olup diskin yüzeyi ile değişen açı yaparlar. Böylece alttan giren elyaf helisel bir hareketle birkaç devir yaptıktan sonra yukarıdaki borudan makineyi terk eder. Vurucu parmaklar çepeçevre ızgaralarla çevrilmiştir. Izgara sayısı lif uzunluğuna göre seçilebilir. Şaft aşağı yukarı değiştirilerek (vurucu parmak-ızgara) ayarı yapılabilir [19,20].

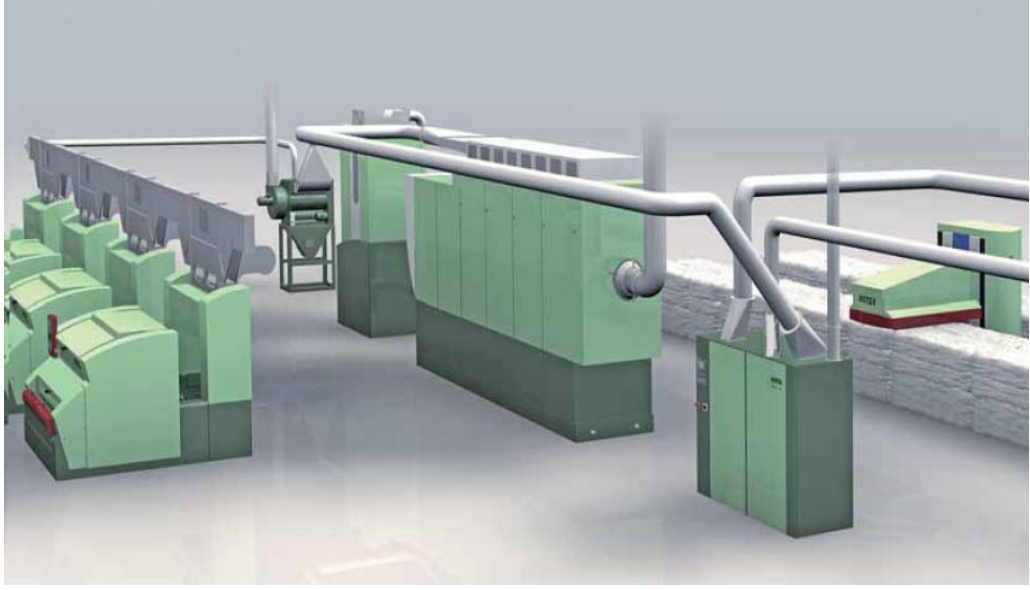


Şekil 6.5 : Dik Açıcı [19]

Toz alma makinesi : Elyaf kanallar içerisinde geçen veya çalışma esnasında hava emişiyle, elyaf elementleri içerisinde bulunan toz emilerek uzaklaştırılır. Buradan çıkan elyaf tarağa gelmeden önce metal ayırıcılardan geçmektedir. Malzeme bir metal detektörün önünden geçer. Önceki proseslerde içinde metal kalan elyaf başka bir hazneye düşürülür. Elyaftaki metallerin ayrılması, özellikle tarakta yangın ihtimalini ve tellerin zarar görmesini engeller. Şekil 6.6’da örnek bir toz alma makinesi ve Şekil 6.7’de iplik üretim işleminin tüm adımlarını gösteren bir temsili çizim görülmektedir.



Şekil 6.6 : Toz Alma Makinesi [19]



Şekil 6.7 : İplik Üretim İşlem Makineleri [19]

Tarak Dairesi : Harman işleminden sonra elyaf Şekil 6.8'de görülen tarak makinesine gelir. Tarak makinesinin görevleri :

1. Daha sonraki işlemlerde yabancı maddelerin kolay giderilebilmesi için elyafı tek tek liflerine ayırır.
2. Elyaf %80–95 oranında temizlenir. Tarak şeridi %0.05-0.3 arasında yabancı madde içerir.
3. Elyaftaki hataların büyük bir kısmı tarakta açılır. Açılmayan küçük bir miktarı ise sabit şapka tarafından toplanır.
4. Hammadde içindeki çok kısa elyaf çıkartılır. Bu işlem kısa liflerin şapkadaki tellerin içerisine bastırılabilmesiyle gerçekleştirilir. Kısa lifler uzun liflere göre davulun tellerine daha az tutunurlar ve şapka tellerine geçerler. Tarakta giderilen kısa elyaf yüzdesi %2–3 tür.
5. İşlem süresince tambur üzerinde elyafın homojen karışımı söz konusudur. Bu da malzemenin tamburdan doffere bir devirde aktarılmaması ile sağlanmaktadır. Böylece tambura yeni gelen elyaf bir önceki elyaf ile tambur üzerinde karışır.
6. Harman hallaç dairesinde tozun büyük bir kısmı giderilmesine rağmen, tarak makinesinde de tozun büyük bir oranı giderilir [20].



Şekil 6.8 : Tarak Makinesi [19]

Cer Prosesi : Taraktan gelen şeritteki elyaflar çok değişik yönlerde ve diziliştedirler. Şekil 6.9'deki cer makinesi bu düzgünsüzlüğü gidermek için kullanılır. Burada hatalar giderildiği için cerden sonra gelen makinelerin çekim sistemleri daha kolay ayarlanır. Eğer cer uygun şekilde ayarlanmamışsa, ipliğin mukavemeti ve elastikiyeti olumsuz yönde etkilenebilir. Dolayısıyla cer işleminin kaliteye etkisi çok fazladır. Cer makinesinde çekim şu şekilde gerçekleşir: iki silindir arasında tutulan elyafların bazıları bir öndeki silindirlerin daha hızlı dönmesiyle ileri çekilir. Tutulan elyaf diğer elyafların arasından çekilirken sürtünmeyle hem kendi ucunu düzeltir, hem de arasından sıyrıldığı elyafların düzelmesini sağlar. Bu işlemin iyi kontrolü için silindirler arası mesafe iyi ayarlanmalıdır. Arka silindir elyafı bırakırken öndeki silindirin alması ideal durumdur.



Şekil 6.9 : Cer İşlemi [19]

Fitil Dairesi : Her ne kadar cer şeridinden doğrudan doğruya iplik imal etmek mümkünse de daha iyi bir kalitede iplik elde etmek için şeridi önce fitil haline getirmek gerekir. Bu işlem Şekil 6.10’da görülen fitil makinesi ile yapılır.



Şekil 6.10 : Fitil Makinesi [19]

Ring İplik Eğirme Prosesi : İplik makinesi, elyaftan iplik imal etme prosesinin son makinesidir, bundan dolayı üretimi ve malın kalitesi yönünden önemlidir. Şekil 6.11’de resmi verilen bu makinenin görevleri :

- Gelen fitili çekimle gerekli inceliğe kadar getirmek,
- Nihai iplik numarasını vererek ipliği büküp ipliğin mukavemet kazanmasını sağlamak,
- Oluşan ipliği kolay taşınabilmesi ve saklanabilmesi için sarmaktır.



Şekil 6.11: Eğirme (Sarma) İşlemi [19]

6.1.2 Kumaş Üretimi

İkinci kademe olarak kumaş üretiminde mevcut teknikler sırasıyla; dokumacılık, örme işlemi, tafting ve dokusuz kumaştır (non-woven). Tafting ve nonwoven teknikleri kumaş üretiminde kullanılırsalar da dokumacılık ve örgü kadar yaygın değildir.

6.1.3 Kumaş İşleme

Dokumacılık veya örme işlemleri sonucunda üretilen kumaş kaba bir haldedir ve çoğu zaman “gri” kumaş (gray fabric) olarak adlandırılır [21]. Kumaş bu haliyle kaba, sert ve dokunulması hoş olmayan bir haldedir. Kumaş işleme prosesi (wet processing), kumaşın görünümünü iyileştirmek ve daha uzun ömürlü olmasını sağlamak için yapılır. İşlemin bu kısmında yapılan ana işlemler; ön-işlem, boyama, baskı ve yaş terbiyedir. Şu ana kadar yapılan açıklamalardan da görüldüğü gibi tekstil üretiminde ilk iki işlem; iplik ve kumaş üretimi ağırlıklı olarak kuru işlemler (çok az sıvı ve kimyasal madde) içerirler. Üretimin üçüncü işlemi, kumaş işleme ise ağırlıklı olarak ıslak bir prosestir. Oluşan atık malzemeler göreceli olarak diğer işlemlere göre çok daha fazladır.

6.2 Tekstil Sektöründe Enerji Tüketim Karakteristiği

Bir tekstil fabrikasında kullanılan enerjinin büyük bir bölümü elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi işlemlerde kullanılan makinelerin beslemelerinde, soğutma ve

sıcaklık kontrol sistemlerinde, aydınlatma, ofis ekipmanlarında, vb... kullanılmaktadır. Bunların dışında petrol, LPG, kömür veya doğalgaz buhar jeneratörlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'deki endüstride tüketilen enerjinin alt sektörler göre dağılımına bakılırsa, tekstil sektörü toplam tüketilen enerjinin %6-7'lik kısmını oluşturmaktadır. Buna göre tekstil sektörü demir/çelik (%35) ve çimento sektöründen (%20) sonra üçüncü sırayı almaktadır [10]. Endüstrideki tüketilen enerjinin içinde tekstil bu önemli yeri ile potansiyel enerji tasarrufuna ve yeni yöntemlere acil olarak ihtiyaç duymaktadır. Tekstil başlığı altında; iplik üretimi, dokumacılık, giysi/elbise üretimi, eğirme prosesi, boyama, kurutma, apre ve örgü işlemleri en büyük enerji tüketimi ile dikkat çeken proseslerdir.

7. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ENERJİ YÖNETİMİ

Enerji yönetimi, tüm sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde enerji yönetiminin, enerjinin daha verimli kullanılmasına yönelik önemi ve bir firmada enerji yönetiminin sağlanması için hangi adımların atılması gerektiğinden bahsedilecektir.

7.1 Enerji Yönetiminin Önemi

Tekstil endüstrisinin içerdiği endüstriyel işlemler yoğun olarak elektrik tüketimi yapmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artış ve gittikçe artan elektrik tüketim değerleri, endüstriyel tesisleri ve hükümeti enerjinin daha “verimli” kullanılması konusunda zorlamaktadır. Tekstil sektöründe, diğer sektörlerde olduğu gibi enerji kayıplarının azaltılması ve bu enerjinin tekrar prosesde kullanılması çok önemlidir. Endüstriyel tesislerde ısıtma proseslerinde büyük miktarlarda atık enerji üretilir. Özellikle tekstil sektöründe bu enerji geri kazanılabilir ve prosesin bir kısmında tekrar faydalı olarak kullanılabilir. Bu yolla önemli enerji verimliliği sağlanması olasıdır.

Bir endüstriyel tesiste enerji tüketiminin kontrol altına alınması için, en önemli kriter çalışanlar içinde her kademede bilincin uyandırılmasından geçer. Çalışanların, yönetimin ve hissedarların enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesinden sonra, bu konuda bilgi seviyesinin artırılması, katılımın sağlanması ve üretim prosesindeki herkesin proje kapsamında düşünülüp, bir ekip olarak çalışması şarttır. Enerji yönetiminde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri de, firma içinde değişik bölümlerin beraber çalışmasının gerekliliğidir ve bu yüzden yüksek seviyede bir koordinasyon tasarrufun sürekliliği ve projenin başarısı için gereklidir.

7.2 Enerji Yönetimi Programının Oluşturulması

Bir endüstriyel tesiste enerji yönetimi programının oluşturulmasında firma üst yönetiminin katkısı, enerji yöneticisi veya koordinatörünün tanımı ve raporlamanın önemi bu bölümde daha detaylı incelenecektir.

7.2.1 Firma Üst Yönetiminin Katkısı

Daha önceden bahsedildiği gibi, bir enerji yönetimi programı kapsamında en önemli konu tesis üst yönetiminin programa aktif olarak dahil olmasıdır. Bu katılım sağlanamadığı zaman, yüksek olasılıkla program istenen hedefine ulaşamayacaktır. Bu nedenle enerji yönetim müdürünün, üst yönetimin desteğini alması kritik bir süreçtir. Bir enerji yönetimi programı oluşturulurken izlenebilecek iki tip yol bulunmaktadır. İlkinde üst yönetim tesiste bir enerji yönetimi çalışması yapılmasına karar vermiştir ve programın uygulanmasını istemiştir. Bu durumda enerji yönetim müdürü sorumlu kişidir. İkinci durumda bir çalışan ve/veya enerji yönetim müdürü bir çalışmanın yapılması için üst yönetimi ikna edebilir. İstenen durum genellikle üst yönetimin böyle bir çalışmayı şart koymasındır, ancak birçok enerji yönetim programı genellikle üst yönetimin ikna edilmesi ile başlamıştır.

İlk durumu biraz daha detaylı ele alırsak; bu tip durumlar genellikle üst yönetimin artan enerji maliyetleri ve enerji tüketimi sonucunda dış kaynaklardan enerji yönetiminin faydalarını duymaları sonucunda olabilir. Böyle bir durumda yapılması gereken, gerekli takımın oluşturulması ve periyodik olarak programın yönetilmesidir.

İkinci durumu daha detaylı ele alırsak, enerji yöneticisi veya bir çalışan enerji maliyetlerinin artışını görüp, şirket kaynaklarının daha verimli kullanılması gerektiğini fark etmiş olabilir. Bu durumda yapılması gereken bu ihtiyaçların analizinin yapıp, üst yönetimin ikna edilmesidir.

7.2.2 Enerji Yönetim Koordinatörü / Enerji Yöneticisi

Programın başarılı olması için, endüstriyel tesislerde enerji yönetim programından sorumlu bir kişinin atanması gerekmektedir. Eğer bir kişi bu iş için atanmamışsa, üst yönetim büyük ihtimalle enerji yönetim projelerine gerekli önemi vermeyecektir. Sonuç olarak, program başarıya ulaşamayacaktır.

Enerji yönetim koordinatörü veya enerji yöneticisi iyi bir yönetici olmalıdır. Daha da önemlisi üst yönetim bu kişiyi gerekli tüm kaynaklar ile donatabilmelidir. Enerji yöneticisi tesis içinde olabilecek en üst seviyede raporlama yapmalıdır, aksi takdirde gerekli formalite rutininde program istenen başarıya ulaşamayabilir. Endüstriyel tesis yapısına göre, bir veya birden fazla fabrika olabilir, bu durumda her fabrika için bir enerji yöneticisi atanabilir.

7.2.3 Enerji Yönetim Takımı

Her pozisyonda olduğu gibi enerji yönetim programında da tek bir kişide tüm yeteneklerin ve bilgilerin mevcut olmasını beklemek hata olur. Enerji yönetimi kapsamında mekanik, elektrik, inşaat, vb... gibi birçok farklı disiplinden bahsetmek gerekir. Bir endüstriyel tesisin komple analizinin yapılması için birçok farklı bakış açısından yaklaşmak gerekir; buhar üretimi, dağıtılması, kullanımı, kondens geri besleme sistemleri, aydınlatma, HVAC (Isıtma, Havalandırma ve Soğutma), vb. Bu yüzden doğru bir enerji yönetimi için bir takımdan bahsetmek daha doğru olacaktır ve genellikle bu takım teknik ve uygulama olmak üzere iki alt gruptan oluşur [22].

Teknik grup ağırlıklı olarak teknik geçmişe sahip insanlardan oluşur; kimya, endüstri, elektrik, inşaat ve makine mühendisliğinden gelen insanlar bu komite için uygun insanlardır. Bu grubun amacı enerji yöneticisine gerekli teknik konularda yardımcı olmak ve çözüm sunmaktır. Uygulama grubu teknik grubun aksine çok daha farklı bir konuda faaliyet göstermelidir. Enerji yönetimi tesiste birçok farklı bölümü ve insanı kapsadığından, gerekli iletişimin kurulması uygulama grubunun sorumluluğundadır. Bu grup tüm tesisin enerji yönetim programından haberdar olmalı ve gruba gerekli kişilerin katılımı sağlanmalıdır.

7.2.4 Raporlama ve İzleme

Bir enerji yönetim programının başarılı sayılması için ölçülebilmesi ve somut olarak ifade edilmesi gerekir. Ölçülemeyen enerjinin, tasarruf edilmesi veya verimli kullanılması söz konusu olamaz. Bu yüzden verimli bir enerji izleme sisteminin kurulması enerji yöneticisinin yapması gereken ilk işlerden biri olmalıdır. Enerji izleme sisteminin amacı enerji tüketiminin ölçülerek, program hedefleri ve/veya gerekli endüstriyel tesis standartları ile karşılaştırılabilmesidir. Bu standartlar prosese ve/veya tesise göre değişebilmektedir. Öncelikli olarak izlenmesi gereken bölümler;

HVAC sistemleri (klima santralleri, fanlar, pompalar, vb.), buhar sistemleri, kompresörler, çiller ve soğutma grupları ile kazanlardır.

Türkiye tekstil sektöründe enerji yönetiminden denilince, belirlenen bir alan için enerji kullanımının optimizasyonundan bahsetmek doğru olacaktır. Bu alanlar ağırlıklı olarak; üretim, ısıtma, aydınlatma, vb. olabilir. Düşünülenin aksine enerji yönetiminden bahsedildiğinde sadece teknik iyileştirme ve/veya daha yüksek teknolojik cihazların kullanımı değil, daha iyi bir yönetim veya daha iyi bir organizasyon da ciddi faydalar sağlayabilir. Tekstil sektöründe enerji yönetimi ile kasıt enerjinin daha verimli kullanılması, kısaca üretimde uygun ve doğru cihazlar kullanılarak enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Ancak tasarrufun sağlanmasında, üretimde kaliteden ve standartlardan asla ödün verilmemelidir.

8. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİSİNİN KULLANIMI

Tekstil sektöründe elektrik enerjisi ağırlıklı olarak üretimde, HVAC sistemlerinde ve aydınlatmada kullanılmaktadır. Bir tekstil fabrikasında tüketilen elektrik enerjisi toplam enerji tüketiminin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır [23]. Özellikle ileriki bölümlerde inceleneceği gibi ısıtma, soğutma, havalandırma ve duman emici fanlarda tüketilen elektrik enerjisinde çok önemli enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır.

8.1 Üretim İşlemi

Tekstil endüstrisinde üretim proseslerinde çok sayıda elektrik motorları kullanılır. Çoğunluğu küçük güçlerde olmasına rağmen, motor güç aralıkları geniştir. Bazı klasik proses makinelerinde tek motor kullanılırken, yeni daha teknolojik makinelerde kontrol kartının kumanda ettiği birden fazla motor kullanılmaktadır. Elektrik motorları genellikle %50–100 yük arasında çalışmak üzere tasarlanmışlardır. Buna rağmen en yüksek verim %75 yük civarında elde edilir. Bu seviyeden sonra, yani %50 seviyelerinin altında motor verimi hızlı bir şekilde azalmaya başlar [24]. Tekstil sektörü için proseslerde kullanılan elektrik motorlarının genellikle değişken yüklerde çalışmaları gerektiğinden, iki hızlı motorlar veya hız kontrol cihazlarının kullanımı enerji tasarrufu açısından önemlidir. Sanayideki çoğu motor, tekstil sektöründe de olduğu gibi ihtiyaca göre büyük boyutlandırıldığından, çoğu motor %50 verimin altında çalışmaktadır.

8.2 Aydınlatma

Ülkemizde net bir ölçüm sonucu olmamakla beraber, tüketilen elektrik enerjisinin %20'si aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle aydınlatmada gerçekleştirilecek enerji verimliliği önemlidir. Endüstride tüketilen elektrik enerjisinin içinde aydınlatmanın payı değişmekle beraber %10 civarındadır. Ancak

bu değerler sektörlerlere göre değişmektedir. Tekstil sektöründe bu değerin %5–10 arasında olduğu düşünölmektedir [23]. Dünya genelinde bu oranın %5 ila %25 arasında değiştii bilinmektedir [22]. Küçük bir yüzde gibi görölen aydınlatma maliyetinde gerçekleştirilen verimlilik, uzun saatler boyunca çalışan tesislerde küçömsenmeyecek boyutlara ulaşabilir. Aydınlatmada verimliliğin, lamba söndürerek değil, görme yeteneği ve görsel konfordan ödün vermeden, gerekli minimum düzeyde aydınlık düzeylerinin yaratılması ile sağlanabileceği unutulmamalıdır. İyi ve kaliteli aydınlatma ile çalışanların görme yetenekleri iyileştirilerek, iş hacmi ve verimi artırılır. Çalışma konforu ve iş potansiyelinin artmasıyla elde edilecek tasarruf elektrik enerjisine ödenen miktardaki azalmadan çok daha önemlidir.

8.3 HVAC Sistemleri

HVAC (Isıtma, havalandırma ve soğutma) sistemleri tekstil prosesinin en önemli bölümlerinden biridir. HVAC ile fabrika içinde proses ve insanların konforu için kullanılacak havanın koşullandırılması, taşınması ve gerekli sıcaklık, nem ve hava kalitesi değerlerinin ayarlanmasından bahsedilir. Tekstil endüstrisi için dokuma prosesinde sıcaklık değerlerinin yaklaşık 30°C, nemin ise %60–70 civarında olması istenir [21].

9. ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde tekstil fabrikalarında yapılabilecek bazı enerji verimliliği konularına dikkat çekilecektir. Daha sonraki bölümlerde ise elektrik enerjisi daha detaylı incelenenerek, elektrik motorlarındaki enerji verimliliği potansiyellerinden bahsedilecektir.

9.1 Sıcak Su ve Isı Geri Kazanım Sistemlerinde Enerji Kayıpları

Tekstil sektöründe ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı, sıcak su ve buhar sistemlerine olan ihtiyacın azaltılması bakımından enerji verimliliğine katkıda bulunur. Bu nedenle enerji kayıplarının düşürülmesi ve kaybedilen enerjinin geri kazanılması çok önemlidir. Tekstil sektöründe bilindiği gibi ısıtma prosesi ciddi bir atık enerji oluşmasına neden olur, ısı enerjisi atık sıcak su sistemlerinde bir ısı değiştiricisi kullanılarak elde edilebilir. Sonuç olarak atık ısı geri kazanım cihazları enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olabilir ve bu enerjinin başka proseslerde kullanılması ile verimlilik artırılabilir.

Buhar kondens borularından sıcak ve temiz su buharları geçer. Bu akış boyler sistemlerinde giriş suyu veya boyama prosesinde boya havuzlarında hazırlık için kullanılabilir. Bu potansiyel yöntemler su tüketimini azaltırken, aynı zamanda atık su miktarını da azaltırlar ve bu şekilde enerji tasarrufu sağlanır. Kurutma prosesi tekstil sektöründe genellikle en çok enerji tüketen prosestir. Kurutma prosesinde kullanılan çeşitli kurutucular büyük oranlarda sıcak ve nemli hava üflerler.

Isı geri kazanım sistemlerinde minimum %5 buhar oranı olan kazanlar bu tip uygulamalar için uygundur [23]. Daha yüksek enerji tasarrufu için yüksek basınçlı kazanlar kullanılmalıdır. Genellikle atık ısı sistemlerinde sıcaklıklar 60–70°C civarındadır.

9.2 Kaçaklar ve Eksik Bakım Sonucu Enerji Kayıpları

Birçok tekstil firmasında genellikle boru hatları ve donanımların yerleşimi düzgün olmadığından, buhar ve sıcak su sistemlerinde kaçaklar oluşmaktadır. Kaçak miktarının ve bunun sonucunda gerçekleşen kaçak maliyetini belirlemek zor da olsa, kesin olan bir şey varsa o da sıcak su ve buhar kaçakları sonucunda ciddi bir enerji

kaybı gerçekleşmektedir. Borulama sistemleri ve yalıtım genellikle standart ile açıklanmış olmasa da, bu tip sorunların en büyük nedeni proses sırasında makinelerin durdurulmaması gerektiğinden gerekli bakımın yapılamamasıdır.

Genellikle tekstil fabrikalarında buhar ihtiyacı tam olarak hesaplanmadığından, fabrika genişletilme süresince daha fazla buhar ihtiyacı varsa ilk işlem yeni kazanların ve boylerlerin eklenmesidir. Oysa bunun yerine buhar ihtiyacının iyi belirlenmesi gerekir. Fazla ve gereksiz buhar kullanımının en önemli sebebi gerekli sıcaklığa ulaştıktan sonra banyolara hala buhar basılmasıdır. Genellikle fabrikalardaki buhar kapanları tam olarak çalışmadığından, yoğunlaşma sonucunda buhar dışarı rahatlıkla çıkabilmektedir. Bilindiği gibi buhar borulama sistemi içerisinde yüksek basınçla hareket eder, bu nedenle zarar görmüş vanalar ve borular kaçaklar için elverişli yerlerdir. Yukarıda bahsedilen tüm sorunlar buhar ve sıcak su kaçaklarına sebep olmaktadır ve bunların engellenmesi tesislere önemli enerji tasarrufu olarak geri dönecektir.

9.3 Makinelerde ve Borularda Yalıtım Sorunları

Tekstil sektöründe daha önceden de bahsedildiği gibi buhar ihtiyacı ve kullanımı diğer sektörlerle göre oldukça yüksek olup, oldukça önemlidir. Isı yayılımı sonucunda buhar taşıma sistemlerinden ve basınç düşümlerinden kaynaklanan buhar kayıpları tesislerde ciddi sorun oluşturur. Kazanların duvarları, yakma hücreleri ve borular yalıtım malzemeleri ile yalıtılmalıdır. Uzun mesafeli buhar iletiminde borulama sistemlerinde yüksek basınçlı ve küçük çaplı sistemler yerine, düşük basınçlı ve daha geniş çaplı sistemler tercih edilmelidir. Bununla birlikte boruların kıvrımlarında basınç kayıpları yüksek olduğundan, kıvrımların veya dönemeçlerin çaplarının genişletilmesi bu kayıpları azaltmaktadır. Özellikle Türkiye'deki tekstil tesislerine bakıldığında, buhar ve sıcak su sistemlerindeki yalıtım seviyelerinin düzgün olmadığı görülür, bunun en önemli nedeni yırtılan yalıtım malzemelerinin bakım yetersizliği veya yanlış bakımıdır.

Çevreye ısı kaybı genellikle makinelerden dışarıya ısı iletimi ile olur. Yıkama ve kurutma prosesinde ve özellikle haşıl sökme işleminde, ağartma, jigler makineleri genellikle yeterli yalıtılmadığından ısı kayıpları yüksektir. Bilindiği üzere ısı yayılımının miktarı makinenin içindeki sıcak yüzey ile dışarıdaki soğuk yüzey arasındaki farkın fonksiyonudur. Düzgün seçilmiş ve uygulanmış yalıtım ısı

transferini engelleyerek ısıtma prosesinde daha az buhar ve yakıt kullanılmasını sağlar.

9.4 Kazan Yalıtımı ve Kontrol Sistemi

Kazanların ısı yalıtımı güvenlik, enerji tasarrufu ve performans kriterleri açısından önemlidir. Bir kazanın yalıtımı için seçilecek malzeme, kazanın yaşına ve tasarımına göre farklılıklar gösterecektir. Kazan üstündeki yalıtım zamanla yüksek sıcaklığa ve aşınmaya maruz kalacağından periyodik bakımı ve tamiri çok önemlidir. Kazan kontrol sistemleri kazanı korumalı ve düzgün çalışmasını sağlamalıdır. Bu sistemler yakma kontrol sistemlerini, alev güvenlik sistemini, su seviye ve yakıt kontrol proseslerini içermeli ve enerjinin daha verimli kullanılmasını denetlemelidir. Buhar akışını gösteren cihazlar kazanın veriminin ve performansının hesaplanmasında faydalı olabilir, ayrıca sistem tarafından talep edilen buharın ölçülmesinde bu cihazlar kullanılabilir.

9.5 Yakma Kontrol Sistemleri

Kazanın yakma işleminde optimum hava ile beslenmesi ısı kayıplarının önüne geçilmesi ve yakma veriminin artırılması açısından çok önemlidir. Endüstriyel kazanlarda belirli bir yakıt miktarı için yeterli havanın sağlanması fanlarla sağlanır. Damperler, giriş vanaları veya ilerleyen teknoloji ile birlikte hız kontrol cihazları havanın kontrolünde sıklıkla kullanılır. Hava yakıt karışımının sağlanması için yakma kontrol sistemleri kullanılarak, güvenli ve verimli yakma sağlanır. Yakma sıcaklığı ve baca gazı oksijen (veya karbondioksit) konsantrasyonu yakma verimini gösteren ilk verilerdir. Pratikte yakma koşulları mükemmel değildir ve ilave hava katkısı yakıtın yakılması için gereklidir. Bu nedenle doğru karışımın bulunması için baca gazı ve karbondioksit seviyelerinin yoğunluğunun incelenmesi gerekir.

9.6 Boyama ve Kurutma Prosesi

Tekstil endüstrisinde boyama ve kurutma, ısıtma için en fazla enerji tüketen iki prosestir. Genellikle fuel-oil veya LPG kullanılır. Boyama süreci için 80°C'de sıcak su kullanılırken, kurutma süreci yüksek seviyede buhar kullanır. Kurutma işleminde tekstil parçaları sıcak yüzeyli bir silindir üzerinden geçirilir ve kazandan sağlanan

sıcak buhar silindirin içinde bulunur. Yakma prosesinde kumaşın yıkanması için yüksek miktarda sıcak su ihtiyacı oluşur, aynı zamanda kurutma işlemi boyunca önemli miktarda sıcak nemli hava ve yıkama işlemi boyunca da ılık atık su oluşur. Tekstil endüstrisindeki verimin artırılması ve bununla birlikte enerji tasarrufu yapılabilmesi için bu proseslere dikkat edilmesi gerekir.

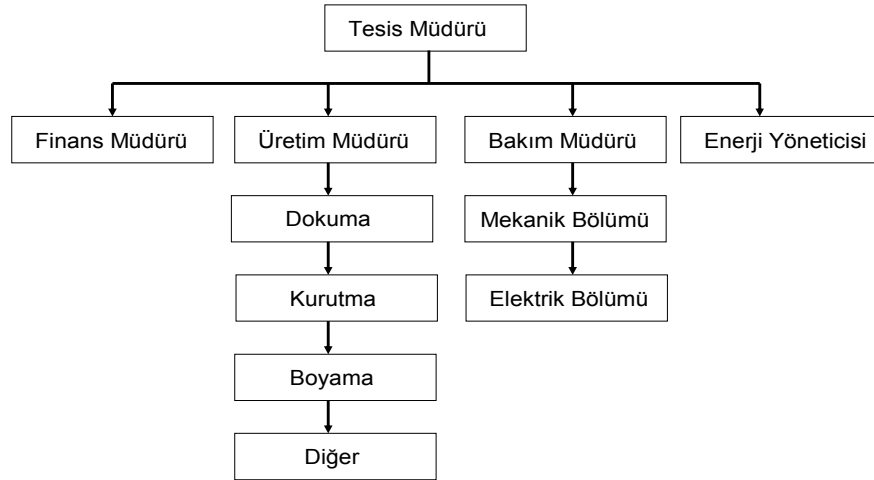
Kurutma işlemi, apre ve boyama işlemlerinden sonra en uzun zaman alan, pahalı ve enerji tüketen bölümdür. Kurutma terimi tekstil endüstrisinde bir kumaştan veya giysiden ısısal enerji yoluyla suyun veya uçucu çözücülerin uzaklaştırılmasıdır. Kurutma boyunca yüksek miktarda buhar kullanılır. Boyama, yıkama ve diğer proseslerde kullanılan ham maddenin nem oranı yüksektir. Bu yüksek nem değeri kurutucular yardımı ile düşürülür. Kurutma süresince sıcak nemli hava atmosfere yollanır, ancak verimlilik açısından bu hava tekrar kurutma prosesinde kullanılmalıdır. Havanın nemli ve genellikle iplik, toz ve kimyasal maddelerle dolu olması, bu karışım havanın tekrar kurutma prosesinde kullanılmasına engeldir. Kurutma işleminde kuru, taze ve sıcak hava sürekli sağlanabiliyor olmalıdır. Belirli sıcaklıkta olması gereken bu havanın ısıtılmasında, toz ve iplik içerikli sıcak ve nemli hava, geri kazanım sistemleri sayesinde kullanılabilir. Bu sayede fiziksel temas olmadan ısı transferi rahatlıkla yapılabilir. Aynı şekilde kazandan atılan baca gazları da geri kazanım sistemleri ile enerji verimliliğine katkıda bulunabilir [16,20,21].

10. TEKSTİL FABRİKALARI İNCELEMESİ

Bu bölümde tekstil sektöründeki enerji tüketimi, enerji maliyetleri ve enerji kullanımı ile tekstil üretimi arasındaki ilişki incelenecektir. Dört farklı tesis bilgileri ve bunların daha detaylı tüketim analizleri bu bölümde sunulmuştur [23].

10.1 Tekstil Sektöründeki Organizasyon Yapısı

Klasik bir tekstil fabrikasındaki Şekil 10.1’de görülen yapıya bakılırsa tesis müdürüne (fabrika müdürü) bağlı olarak farklı bölümler oluşturulduğu görülür. Bunlar; bakım, üretim ve finans bölümüdür. Enerji yöneticisi veya enerji müdürü diğer bölümler gibi tesis müdürüne bağlı olarak çalışabilmektedirler [24].



Şekil 10.1 : Tekstil Fabrikasındaki Örnek Organizasyon Şeması

10.2 Tesis Detayları ve Enerji Tüketim Karakteristiği

Bahsedilecek tesisler üretim ve istihdam seviyelerine göre büyük, orta ölçekli veya küçük işletmelerdir. Tablo 10.1’den de görüldüğü gibi tesislerin kuruluş yılları, istihdam seviyeleri ve üretim işlemleri farklılıklar göstermektedir. Bu bölümde bahsedilecek tesisler ve enerji tüketim değerleri daha sonraki bölümlerde yapılacak olan incelemeleri desteklemesi açısından 2005 yılı Energy dergisindeki, tekstil

sektöründe enerji kullanımı ve maliyetleri çalışmasından alıntı yapılarak yazılmıştır [23].

Buna göre Tesis4 en eski olup, aynı zamanda en fazla çalışan sayısına sahiptir. Tesis3 yeni bir tesis olup, en az sayıda çalışanla üretim yapan bir tekstil fabrikasıdır. Bu tesislerin üretim tipleri veya üretim mamulleri ise aşağıda belirtilmiştir.

- Tesis1 : Düz/Desensiz kumaş
- Tesis2 : Düz/Desensiz kumaş ve havlu/bornoz
- Tesis3 : Düz/Desensiz kumaş
- Tesis4 : Düz/Desensiz kumaş ve havlu/bornoz

Tablo 10.1: Tekstil Fabrikaları ve Üretim Bölümleri

| | Tesis1 | Tesis2 | Tesis3 | Tesis4 |
|-------------------------|--------|----------------|--------|----------------|
| Kuruluş Yılı | 1995 | 1985 | 1999 | 1960 |
| Çalışan Sayısı | 180 | 200 | 65 | 500 |
| Üretim Bölümleri | Boyama | Boyama, Dokuma | Boyama | Boyama, Dokuma |

Tesislerin enerji tüketimi, enerji fiyatları (sanayi için) ve yıllık elektrik tüketim bütçeleri ile fuel-oil ve LPG tüketimleri Tablo 10.2’de verilmiştir.

Tablo 10.2 : Enerji Tüketim ve Fiyatları

| | Enerji Tipi | Enerji Tüketimi (kWh, kg) | Enerji Maaliyetleri (kWh/YTL, kg/YTL) | Yıllık Enerji Masrafları (YTL) |
|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Tesis1 | Elektrik (kWh) | 2,583,000 | 0.138112 | 356,743 YTL |
| | Fuel-oil (kg) | 3,740,000 | 1.050847 | 3,930,168 YTL |
| | Toplam | | | 4,286,911 YTL |
| Tesis 2 | Elektrik (kWh) | 3,819,000 | 0.138112 | 527,450 YTL |
| | Fuel-oil (kg) | 2,690,000 | 1.050847 | 2,826,778 YTL |
| | LPG (kg) | 156,000 | 3.121469 | 486,949 YTL |
| | Toplam | | | 3,841,177 YTL |
| Tesis 3 | Elektrik (kWh) | 1,210,000 | 0.138112 | 167,116 YTL |
| | Fuel-oil (kg) | 2,005,000 | 1.050847 | 2,106,948 YTL |
| | Toplam | | | 2,274,064 YTL |
| Tesis 4 | Elektrik (kWh) | 927,920 | 0.138112 | 128,157 YTL |
| | Fuel-oil (kg) | 1,485,000 | 1.050847 | 1,560,508 YTL |
| | Toplam | | | 1,688,665 YTL |

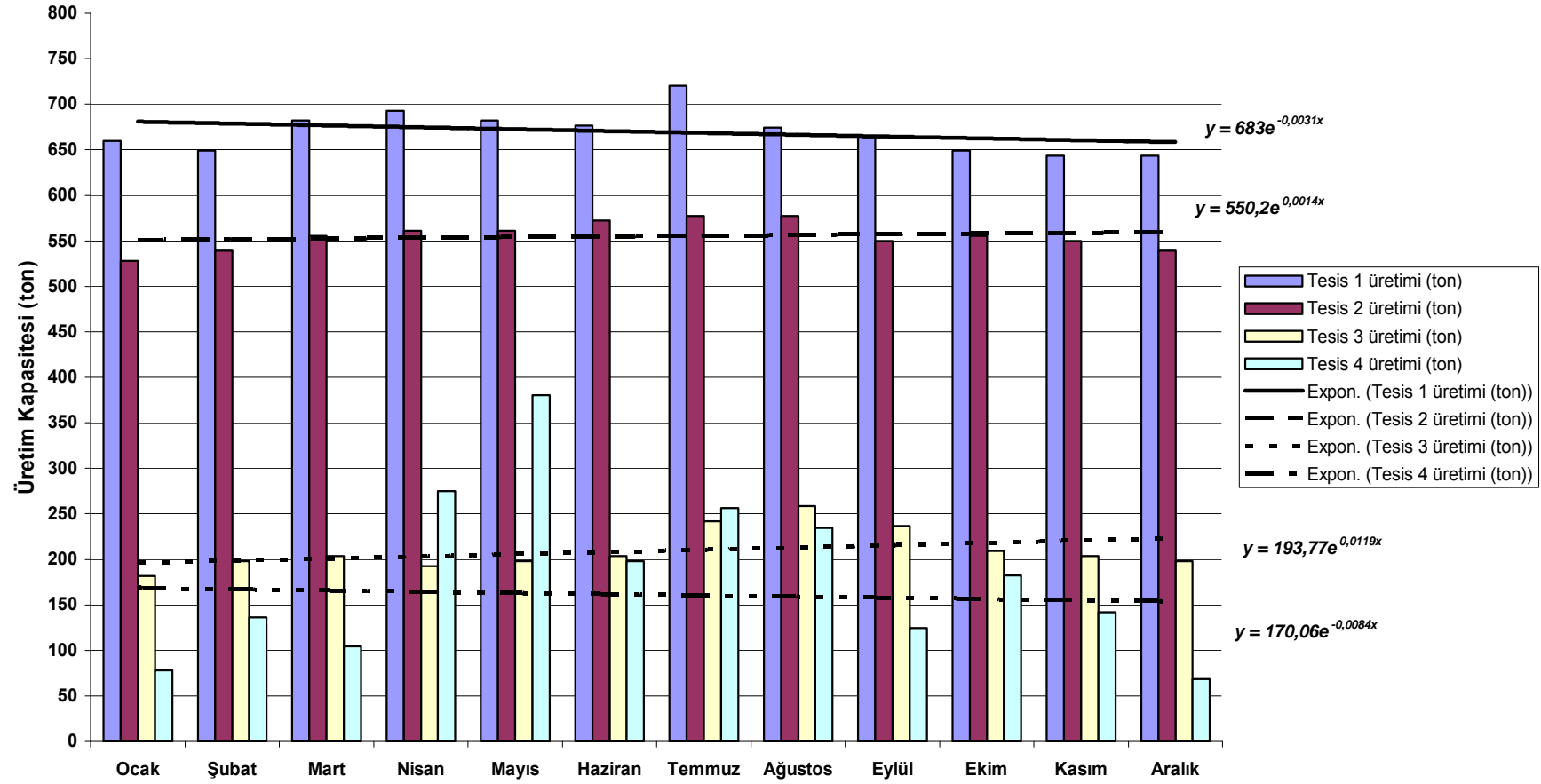
Buna göre, elektrik maliyeti kWh başına 0.138 YTL, Fuel-oil maliyeti kg başına 1.05 YTL ve LPG maliyeti kg başına 3.12 YTL olmaktadır [15]. Tüm tesislerde tüketim rakamları farklı olmasına rağmen, birim enerji maliyetleri sabittir.

Tablo 10.3’de ise tesislerin yıllık üretim kapasiteleri verilmiştir. Bahsedilen tesislerde üretim yıl boyunca aynı oranda olmayıp, bahar aylarında artarken, sonbahar aylarında ise düşmektedir. Tesis4’ün üretim kapasitesi yüksek olmasına rağmen, üretimin aylara göre dağılımında tutarsızlıklar görülmektedir, bunun sebebi fabrikanın eski olması ve kullanılan donanımın diğer fabrikalara göre daha çok bakım gerektirmesidir. Bakım süreleri ve verimsiz donanım kullanımı üretimin eşit olarak dağılmasını engellemektedir.

Tablo 10.3 : Üretimin Aylara Göre Dağılımı

| Aylar | Tesis 1 üretimi (ton) | Tesis 2 üretimi (ton) | Tesis 3 üretimi (ton) | Tesis 4 üretimi (ton) |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Boyama | Boyama, Dokuma | Boyama | Boyama, Dokuma |
| Ocak | 600 | 480 | 165 | 71 |
| Şubat | 590 | 490 | 180 | 124 |
| Mart | 620 | 505 | 185 | 95 |
| Nisan | 630 | 510 | 175 | 250 |
| Mayıs | 620 | 510 | 180 | 346 |
| Haziran | 615 | 520 | 185 | 180 |
| Temmuz | 655 | 525 | 220 | 233 |
| Ağustos | 613 | 525 | 235 | 213 |
| Eylül | 605 | 500 | 215 | 113 |
| Ekim | 590 | 505 | 190 | 166 |
| Kasım | 585 | 500 | 185 | 129 |
| Aralık | 585 | 490 | 180 | 62 |
| Toplam | 7,308 | 6,060 | 2,295 | 1,982 |

Bir sonraki adım, dört adet tesisin verimliliklerinin daha detaylı olarak incelenmesidir. Tablo 10.2 ve Şekil 10.2 sırasıyla tesislerdeki enerji tüketim değerlerini ve tekstil üretimini gösterirken, Tablo 10.4 ise bu tesislerdeki enerji tüketimlerinin ortak bir paydada toplanmasını amaçlamaktadır. Tüm enerji birimleri TEP olarak ifade edilip, her bir tesisin toplam enerji tüketim ve maliyetleri gösterilmiştir.



Şekil 10.2 : Üretim Aylara Göre Dağılımı (Grafiksel Gösterim)

Tablo 10.4 : Enerji Tüketimi ve Enerji Maliyetleri Yüzdeleri

| | Enerji Tipi | Enerji Tüketimi (kWh, kg) | Enerji Tüketimi (TEP) | Enerji Tüketimi (%) | Enerji Maaliyetleri (YTL) | Enerji Maaliyetleri (%) | Birim enerji maaliyeti (YTL/TEP) |
|---------|----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Tesis1 | Elektrik (kWh) | 2,583,000 | 222 | 6.00% | 356,743 YTL | 8.3% | 1,606 |
| | Fuel-oil (kg) | 3,740,000 | 3,846 | 94.00% | 3,930,168 YTL | 91.6% | 1,022 |
| | Toplam | | 4,068 | 100.00% | 4,286,911 YTL | 100.0% | 1,054 |
| Tesis 2 | Elektrik (kWh) | 3,819,000 | 328 | 10.00% | 527,450 YTL | 13.0% | 1,606 |
| | Fuel-oil (kg) | 2,690,000 | 2,885 | 85.00% | 2,826,778 YTL | 73.5% | 980 |
| | LPG (kg) | 156,000 | 175 | 5.00% | 486,949 YTL | 12.6% | 2,778 |
| | Toplam | | 3,388 | 100.00% | 3,841,177 YTL | 100.0% | 1,134 |
| Tesis 3 | Elektrik (kWh) | 1,210,000 | 104 | 6.00% | 167,116 YTL | 7.3% | 1,606 |
| | Fuel-oil (kg) | 2,005,000 | 1,923 | 94.00% | 2,106,948 YTL | 92.7% | 1,096 |
| | Toplam | | 2,027 | 100.00% | 2,274,064 YTL | 100.0% | 1,122 |
| Tesis 4 | Elektrik (kWh) | 927,920 | 80 | 7.00% | 128,157 YTL | 7.5% | 1,606 |
| | Fuel-oil (kg) | 1,485,000 | 1,442 | 93.00% | 1,560,508 YTL | 92.4% | 1,082 |
| | Toplam | | 1,522 | 100.00% | 1,688,665 YTL | 100.0% | 1,109 |

Tesislerdeki enerji tüketimlerinden elektrik, fuel-oil ve LPG toplamda TEP olarak ortak bir paydada toplandığında, fuel-oil'in yakıt olarak tüm tesislerde ağırlıklı olarak kullanıldığı görülmektedir. Fuel-oil bahsedilen tesislerde yoğun olarak kullanılmasına rağmen, günümüzde doğalgaz daha sık kullanılmaktadır. Ancak enerji maliyetlerine bakıldığında, elektrik enerjisinin maliyeti yüksek olduğundan, tüketim oranlarıyla enerji maliyetleri arasında farklılıklar vardır. Oranlar sırasıyla Tesis1 için %6 'dan %8.3 değerine, Tesis2 için %10'dan %13 değerine, Tesis3 için %6'dan %7.3 değerine ve son olarak Tesis4 için %7'den %7.5 değerlerine çıkmıştır.

Bir diğer önemli konu ise, enerji tiplerinin birim enerji maliyetleri incelendiğinde elektriğin değeri 1,606 YTL/TEP olurken, bu değer fuel-oil için 1,022 YTL/TEP olmasıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi, elektrik fuel-oil'e göre daha pahalıdır ve elektrikte yapılacak her türlü verimlilik tesislere enerji tasarrufu ve maddi kazanç olarak geri dönebilecektir. Günümüzde doğalgaz tekstil fabrikalarında fuel-oil yerine kullanılmaktadır, özellikle maliyeti nedeniyle doğalgaz fuel-oil'e göre daha avantajlı olmaktadır. 2008 Mart ayı itibarıyla fuel-oil 1.050847 YTL/kg, doğalgaz ise 0.4959 YTL/m³ olarak belirlenmiştir. 1000 kcal için enerji maliyetlerine bakılırsa fuel-oil 0.13 YTL, doğalgaz ise 0.0646 YTL olmaktadır. Fuel-oil 2007 yılına göre %33.3, doğalgaz ise %7.6 zam görmüşlerdir. Aynı şekilde sanayide fuel-oil en fazla zam gören yakıt durumundadır. Enerji tüketimi, enerji maliyetleri ve üretim ilişkilerinin incelenmesi endüstriyel tesislerin verimliliklerinin hesaplanmasında önemli bir ölçüttür. Tablo 10.5'de dört tesisin farklı istatistiksel değerleri görülmektedir.

Tablo 10.5 : Enerji Tüketimi ile İlgili İstatistikler

| | Enerji Tüketimi (TEP/kg) | Tekstil Üretimi (ton) | Üretim Enerji Maaliyeti (YTL/ton) | Enerji Tüketimi (TEP) | Enerji Maaliyeti (YTL/TEP) | Çalışan Başına Üretim (ton/personel) |
|--------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Tesis1 | 557 | 7,308 | 587 | 4,068 | 1,054 | 41 |
| Tesis2 | 559 | 6,060 | 634 | 3,388 | 1,134 | 30 |
| Tesis3 | 883 | 2,295 | 991 | 2,027 | 1,122 | 35 |
| Tesis4 | 768 | 1,982 | 852 | 1,522 | 1,109 | 4 |

Tablo 10.5’den görüldüğü üzere, bir tekstil fabrikasındaki üretim azaldığı zaman birim ürün başına harcanan enerji maliyeti artmaktadır. Aynı şekilde enerji tüketimi arttığında, üretilen kg başına harcanan enerji değeri azalmaktadır. Bir diğer dikkat edilmesi gereken nokta ise, enerji maliyetleri (YTL/TEP) verisidir; buna göre Tesis1, Tesis3 ve Tesis4’de birim enerji başına maliyetler yaklaşık aynıdır. Tesis1 için 1,054, Tesis3 için 1,122 ve Tesis4 için 1,109 YTL/TEP olmaktadır. Ancak Tesis2 diğer tesislerden ortalama %7 daha fazla birim enerji maliyeti ödemektedir, bunun nedeni yıllık 3,819,000 kWh elektrik tüketimi ile ilk sırada olmasıdır. Tesis2 elektrik tüketimi Tablo 10.4’den görüldüğü gibi Tesis1 elektrik tüketiminin 1.47 katı, Tesis3 tüketiminin 3.15 katı ve Tesis4 elektrik tüketiminin yaklaşık 4.11 katıdır.

10.3 Tesislerin Karşılaştırılması (Benchmarking)

Bu bölümde endüstriyel tesislerin enerji verileri gösterildikten sonra, sanayide kullanılan bazı karşılaştırma grafikleri üzerinde durulacaktır. Bir endüstriyel tesisin diğerleri ile karşılaştırılmasında kullanılan iki tip yöntem vurgulanacak ve bahsedilen tesislerin bilgileri ile boyama ve dokuma ağırlıklı tekstil fabrikalarındaki üretim-enerji tüketimi arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılacaktır.

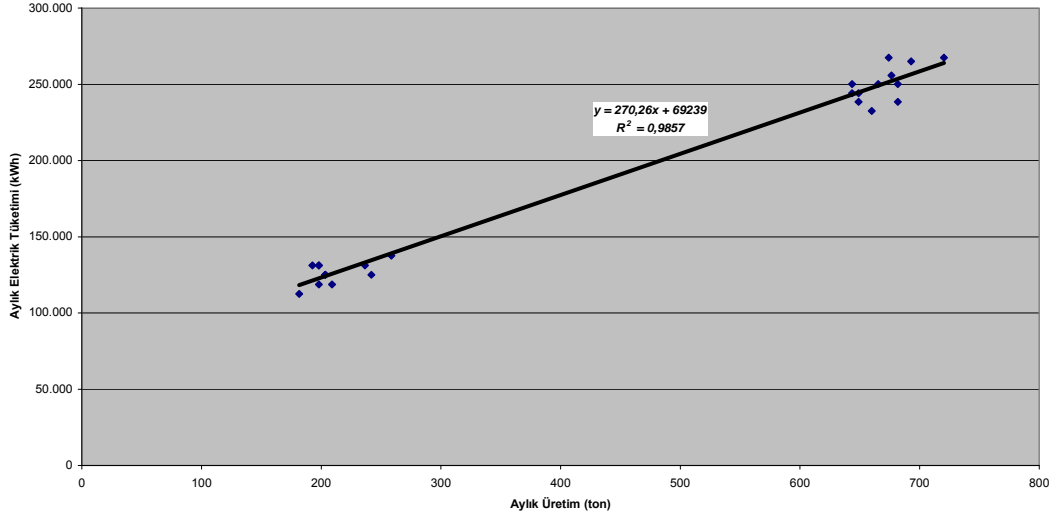
10.3.1 Üretim ve Enerji Tüketimi

Sanayide kullanılan en kullanışlı ve basit analizlerden birincisi tekstil üretim çıktı değeri (ton olarak) ile enerji tüketim değeri arasındaki ilişkinin bir grafik üstünde incelenmesidir [25]. Birçok tekstil işlemi veya sanayideki çoğu uygulama aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi lineer bir eğilimde olacaktır. Bu tesislerden ikisi boyama işlemi yaparken, diğer iki tesis hem boyama hem de dokuma işlemlerini yapmaktadır. Bu yüzden enerji tüketim ve üretim analizlerinin daha gerçekçi olması için tesisler üretim bölümlerine göre ayrılıp incelenecektir. Şekil 10.3’de boyama yapan tesislerin aylık elektrik tüketim değerleri kWh cinsinden, aylık tekstil üretim değerleri ton cinsinden alınarak grafik çizdirilmiştir. Hesaplama sonucunda çizdirilen

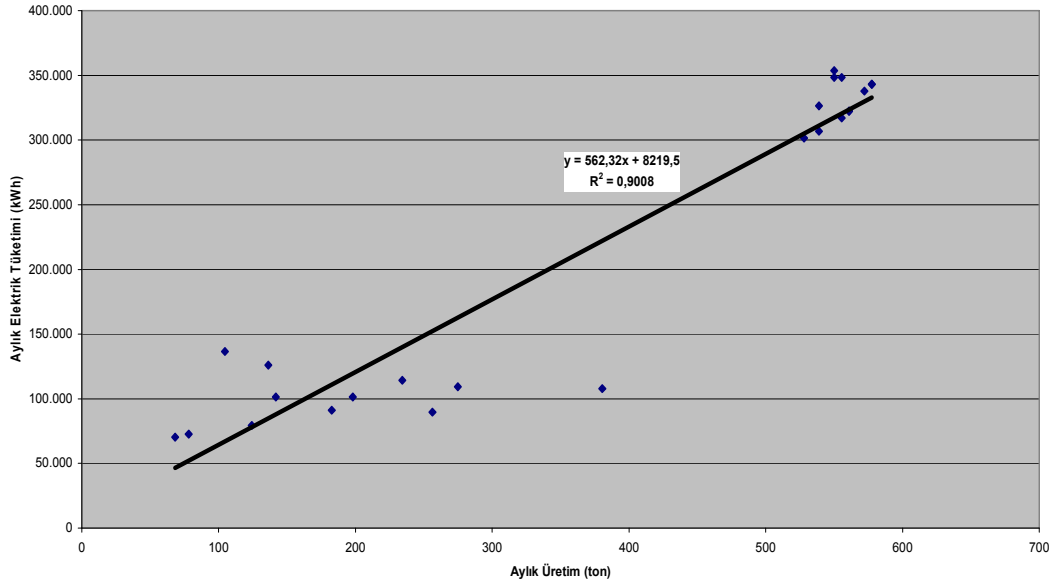
lineer doğru yardımıyla, boyama tesisleri ile ilgili bazı bilgilere ulaşılabilir. Şekil 10.3’de verilen $y = mx+c$ denkleminde y: enerji eksenini, x: üretim eksenini, m: çizginin eğimini ve c: başlangıç değerini vermektedir. Buna göre $y = 270.26x + 69,239$ denklemi ile

- Üretimin neredeyse sıfıra yakın olduğu durumlarda bile aylık 69,239 kWh elektrik enerjisinin tüketileceği,
- Eğrinin eğimi ile her ilave üretim değeri için harcanacak elektrik enerjisi miktarının 270.26 kWh/ton olduğu görülür.

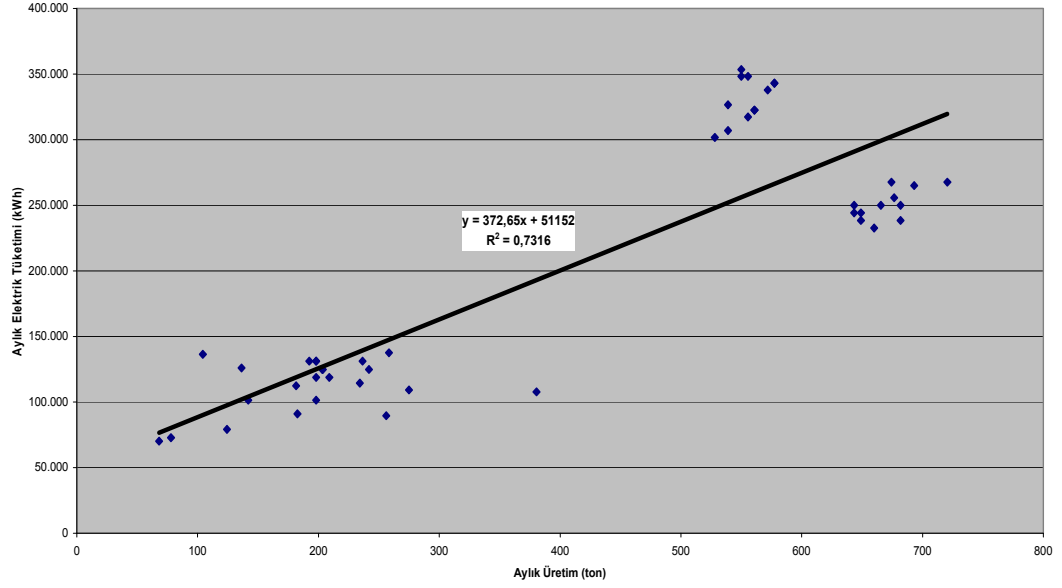
Daha detaylı analiz için Şekil 10.4’de boyama ve dokuma işleminin birlikte yapıldığı tesislerdeki aylık elektrik tüketimi ve üretim, Şekil 10.5’de dört tesisteki ortalama aylık elektrik enerjisi tüketimi ve üretim grafikleri verilmiştir. Buna göre bu tesislerdeki aylık elektrik enerjisi tüketimlerine bakılarak, lineer bir doğru ile uyumlu oldukları söylenebilir. Diğer bir ifadeyle üretim tipleri yakın olan tekstil firmalarında aylık ton olarak üretim kapasitelerine göre, yaklaşık elektrik tüketimlerinin tahmin edilebileceği görülür. Şekil 10.6’da ise sadece elektrik enerjisi değil, bu kez tüm enerji harcamaları ve toplam yıllık üretim grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre tesislerin yıllık üretimleri az da olsa çok da olsa, toplam enerji tüketimlerinin belirli sınırlar içinde olacağı görülür. Bu bölümde de bahsedildiği gibi, üretim ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiler incelenerek tesislerin geneli ile ilgili bazı sonuçlara ulaşılabilmesi mümkündür. Buna göre aylık veya yıllık üretimi bilinen bir tekstil dokuma veya boyama tesisindeki elektrik ve toplam enerji tüketimi yaklaşık olarak tahmin edilebilir.



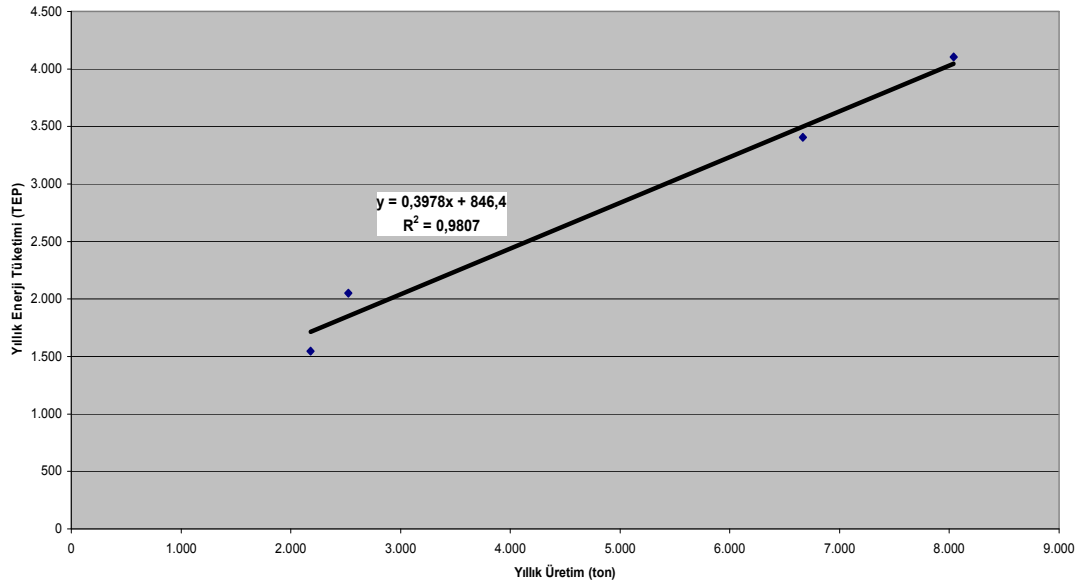
Şekil 10.3 : Boyama Tesisleri için Aylık Elektrik Tüketimi ve Üretim



Şekil 10.4 : Boyama ve Dokuma Tesisleri için Aylık Elektrik Tüketimi ve Üretim



Şekil 10.5 : Tüm Tesislerde Aylık Elektrik Tüketimi ve Üretim

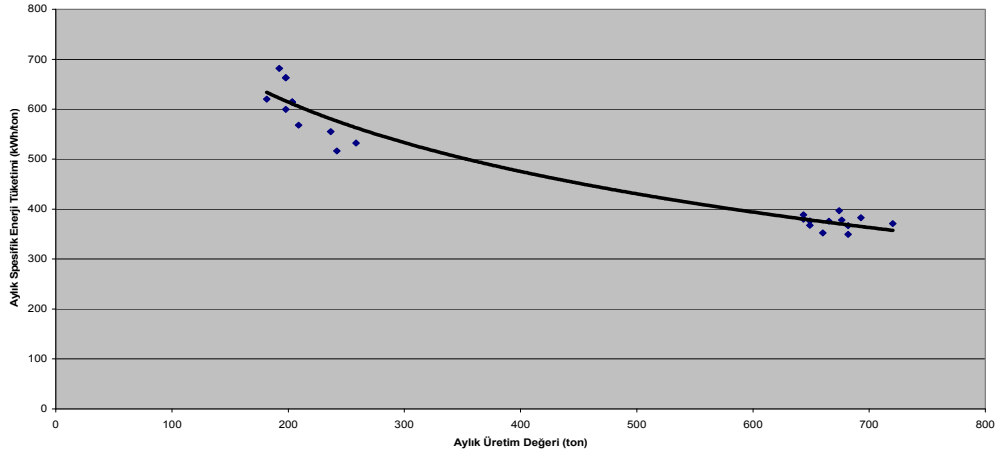


Şekil 10.6 : Tüm Tesislerde Yıllık Enerji Tüketimi ve Üretim

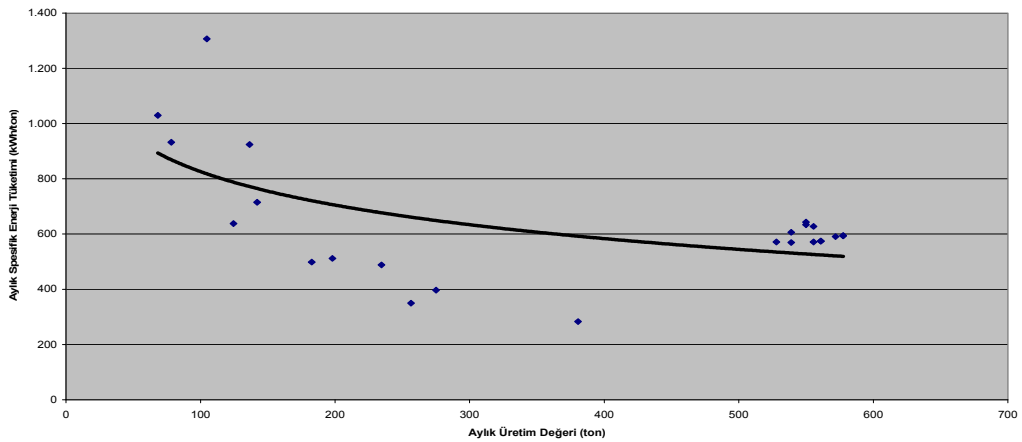
10.3.2 Spesifik Enerji Tüketimi

Spesifik enerji tüketimi ile üretim arasındaki ilişki bu bölümde tanıtılacak yöntem ile incelenecektir. Spesifik enerji tüketimi 10.3.1 nolu bölümde bahsedilen elektrik tüketim (kWh) değerlerinin, üretim (ton) değerlerine bölünmesiyle elde edilir. Genellikle elde edilen eğri ilk yöntem gibi lineer bir doğru olmayıp, daha çok azalan bir eğri şeklindedir [25]. Bu eğriden, üretim arttığı zaman üretilen birim çıktı için

harcanan enerjinin de azalacağı anlaşılmaktadır. Şekil 10.7’de boyama üretimi yapan Tesis1 ve Tesis3 için spesifik enerji tüketimi aylık olarak elektrik enerjisi için kWh/ton cinsinden verilmiştir. Ancak hem boyama hem de dokuma işlemi olan Tesis2 ve Tesis4 için Şekil 10.8’de çizilen spesifik enerji tüketim grafiğinde Şekil 10.7’ye göre bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Sadece boyama işleminin yapıldığı Tesis1 ve Tesis3 için spesifik enerji tüketim değerleri eğri ile uyumlu bir şekilde dağılmışken, hem boyama hem de dokuma işleminin olduğu Tesis2 ve Tesis4 için, bu değerlerden bazıları eğri ile uyumlu değildir. Dağınık olan bu değerler Tesis4’e ait olup, Şekil 10.2’den de görüldüğü gibi bu tesis dağınık ve düzensiz bir üretim grafiğine sahiptir. Aynı zamanda Tesis4, hem en fazla personel çalıştıran hem de en eski kuruluş yılına sahip, teknolojik olarak en eski tesis olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 10.7 : Boyama Tesisleri için Spesifik Enerji Tüketimi ve Üretim



Şekil 10.8 : Boyama ve Dokuma Tesisleri için Spesifik Enerji Tüketimi ve Üretim

11. ENERJİ VERİMLİ MOTOR SİSTEMLERİ

Elektrik motorlarının bir endüstriyel tesisteki tüketilen elektrik enerjisinin %75'ini tükettiği bilinmektedir [24] , bu sistemlerde yapılacak her türlü enerji verimliliğinin önemi büyüktür. Bu bölümde motor sistemlerinin tanımı, enerji verimli motor sistemlerinin açıklaması ve motorlarda yapılabilecek tasarruf potansiyellerinden bahsedilecektir.

11.1 Tekstil Sektörü ve Elektrik Motor Sistemleri

Tekstil sektöründe elektrik motorlarının kullanımı çok yüksek olup, kullanılan motorlar küçük güçlerde ve değişik yüklerde çalışma olasılığına sahiptir. Bu yüzden çift hızlı motorlar veya ilerleyen teknoloji ile birlikte hız kontrol cihazları kullanılmaktadır. Tüm sektörlerde olduğu gibi tekstil endüstrisinde de motorlar büyük boyutlandırıldığından normal çalışma profilinde %50 yük skalasında olup, düşük verimlerde yüksek enerji tüketimleri söz konusudur. Bir tekstil fabrikasındaki elektrik motorları ağırlıklı olarak akışkan kontrolü için kullanılır, bunlar fan ve pompa motorları olarak karşımıza çıkarlar. Proses için kullanılan pompaların güçleri ortalama 15kW civarında iken, yardımcı işletmelere ait soğutma sistemi pompaları ise 75kW dolayında güç değerlerine sahiptir. Fanlar daha çok iklimlendirme ve hassas koşullandırma istenen yerlerde klima santralleri şeklinde olmaktadır, bu motorların güçleri düşük olup (3.3kW – 5.5kW) yüksek adetlerde bulunmaktadır.

11.2 Elektrik Motorlarında Verimlilik Ölçümü

Elektrik motorlarında verimliliğin belirlenmesi için birçok standart bulunmaktadır. Temel olarak bu standartlar arasındaki fark, ilave yük ve kaçak kayıpların nasıl ele alındığıyla ilgilidir. Bazı durumlarda sabit bir katsayı alınmasına rağmen, diğer durumlarda mekanik çıkış güç ölçümü temel alınmaktadır. Japonya verimlilik ölçüm standardı JEC 37, temel olarak ilave yük kayıplarını ihmal etmektedir. IEEE 112-B

standardında ilave yük kayıpları, giriş ve çıkış güçleri arasındaki farktan, stator, rotor kayıpları ile demir ve sürtünme kayıp değerlerinin çıkarılması ile elde edilir; IEC 60034–2 standardında bahsedilen ilave yük kayıpları giriş gücünün %0.5 katı olarak hesaplanır [26]. Bahsedilen standartlardaki ilave yük kayıplarına ait değerlerin hesaplanma yöntemleri farklı olduğundan, hesaplanan elektrik motor verimlilik değerleri de birbirlerinden küçük farklılıklar gösterebilir.

Günümüzde yeni bir standart olan IEC 61972 ile çalışılmaktadır. Bu standarda göre ilave yük kayıplarının hesaplanması için iki yöntem bulunmaktadır; çıkış motor gücünün ölçülmesi ile hesaplama ve aynı güçteki her makine için sabit bir katsayı kullanılmasıdır. Aşağıda değişik standartlara göre hesaplama yöntemleri özetlenmektedir [27]:

IEEE 112-B standardı:

$$P_{ilave} = (P_{giriş} - P_{mekanik}) - (P_{stator} + P_{rotor} + P_{demir} + P_{sürtünme \& \text{ sargı}}) \quad (11.1)$$

IEC 60034–2 standardı:

$$P_{ilave} = \%0.5 * P_{giriş} \quad (11.2)$$

JEC 37 standardı:

$$P_{ilave} = 0 \quad (11.3)$$

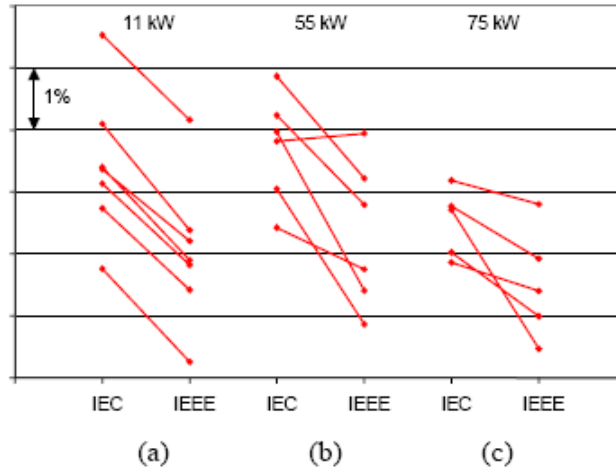
IEC 61972 standardı:

$$P_{ilave} = \%x * P_{giriş} \quad [x=F(P_{nominal})] \quad (11.4)$$

Bu yöntem kapsamında x değeri 0.9 ile 1.8 arasında değişebilmektedir.

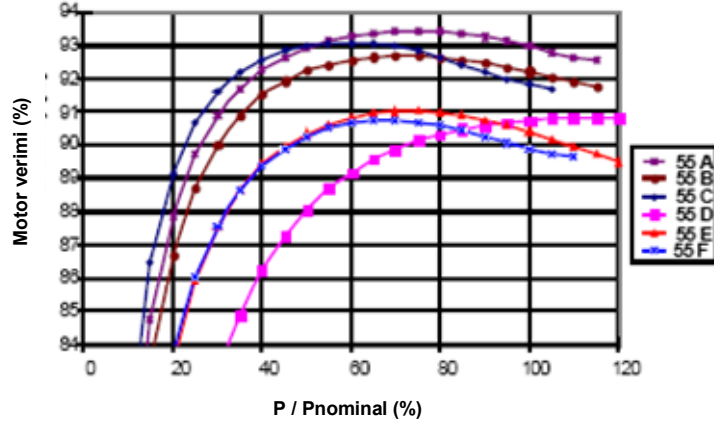
Değişik tipteki asenkron motorlar ile yapılan ölçümler ile ilave yük kayıplarının ne kadar farklılık gösterdiği incelenmiştir. Buna göre ABB, ACEC, Brook-Hansen, Leroy Somer, Siemens ve WEG marka 11 kW, 55 kW ve 75 kW güçlerindeki elektrik motorları ile yapılan ölçümler sonucunda [27], ilave yük kayıplarının 11 kW motorlar için giriş gücünün %1.5 ile %2.3'ü arasında değiştiği, 55 kW motorlar için giriş gücünün %0.4 ile %3'ü ve 75 kW motorlar için ise giriş gücünün %0.9 ile %2.7'si arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 11.1'de, IEC 60034–2 ile IEEE 112-B

standartları arasındaki farklılık sırasıyla 11 kW, 55 kW ve 75 kW motorlar için gösterilmektedir.

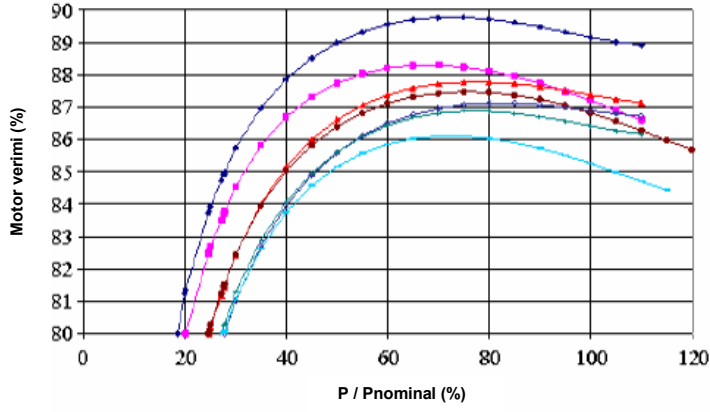


Şekil 11.1 : Farklı Motorlar İçin IEEE ve IEC Standartlarının Karşılaştırması [27]

Endüstride kullanılan birçok motor güvenlik nedeniyle ihtiyaç duyulan güç değerlerine göre daha büyük boyutlandırılır. Bu nedenle çoğu motor %50-%75-%100 yük değerleri arasında çalışmaktadır. Bir tesiste motor verimlilikleri hesaplanırken motor üreticileri tarafından %50 ve %75 yüklerdeki verimlilik değerlerinin verilmesi önemlidir. Şekil 11.2'deki verimlilik değerlerine bakılırsa, yüklerle 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 11.2'deki 55 kW, Şekil 11.3'de ise 11 kW asenkron motorlar için farklı yüklerdeki verimlilik değerleri verilmektedir.



Şekil 11.2 : 55kW Motorların Farklı Yüklerdeki Verimlilik Değerleri [27]



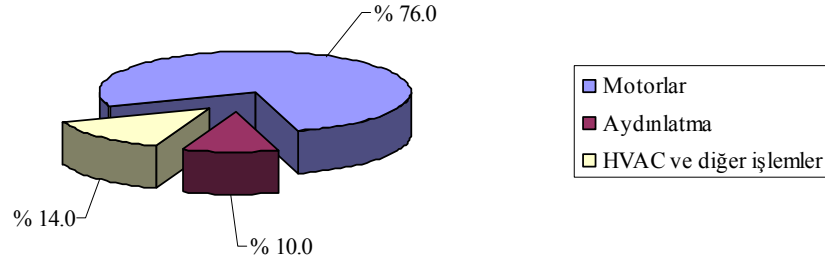
Şekil 11.3 : 11kW Motorların Farklı Yüklerdeki Verimlilik Değerleri [27]

11.3 Verimli Motor Sistemleri

Motorlar birçok prosese hizmet edip, üretime ve kaliteye direk olarak etki ederler. Motor sistemlerinde gerçekleştirilecek enerji verimliliği direk olarak tesisteki enerji verimliliğine, dolayısıyla enerji tüketimine etki eder.

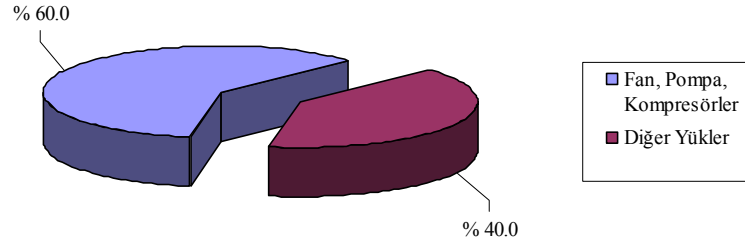
Genellikle cihaz seçiminde ve tasarım süresinde enerji verimliliğinin düşünülmesi ve buna göre seçim yapılması mantıklıdır. Çoğu zaman bir motor sisteminin veriminin artırılması birçok üretim ve bakım sorununu ortadan kaldıracaktır. Motor sistemlerinden bahsederken enerjinin girdiği bölümden son ürün çıkışına kadar olan kısımdan bahsedilir. Enerji kullanımı ise üretilen ürün başına harcanan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Düzgün bir motor sistem yönetimi verimli ve güvenilir bir üretim sağlarken, aynı zamanda üretim maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur. Şekil 11.4'de görüldüğü gibi, endüstriyel tesislerde elektrik motorlarının harcadığı

elektrik enerjisi tüm tesisin %75'inden fazladır. Bunun yanında aydınlatma ekipmanları ve HVAC (ısıtma, havalandırma, soğutma) cihazları diğer elektrik enerjisi tüketen elemanlardır.



Şekil 11.4 : Endüstriyel Tesislerde Tüketilen Elektrik Enerjisinin Dağılımı

Tüm endüstriyel tesisler içindeki elektrik motorlarının %60'lık bölümü akışkan kontrolü için kullanılmaktadır [22,24]. Akışkan kontrolü ile hava, su, kimyasal akışkanlar, gaz, vb. maddelerin kontrolü söz konusudur. Şekil 11.5 bu dağılımı daha açık göstermektedir.

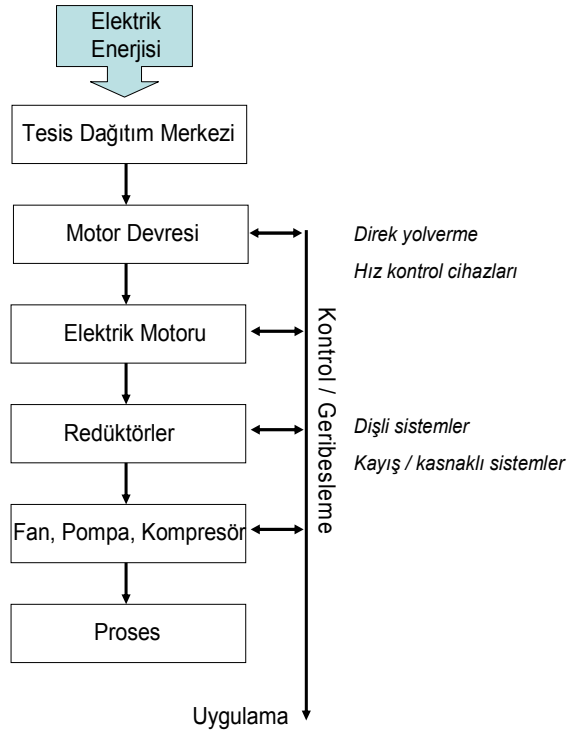


Şekil 11.5 : Elektrik Motorlarının Tesislerde Kullanımına Göre Dağılımları

11.3.1 Motor Sisteminin Bölümleri

Motor sistemleri farklı bölümlerden oluşur bunlar; enerji girişi, enerji çevrim donanımı, kontrol mekanizması ve proses ihtiyaçlarına göre çıkış donanımlarıdır. Motorlar endüstriyel tesislerde havalandırma, kurutma, proses ısıtma, buhar sistemleri, soğutma, kazan yakma ve basınçlı hava sistemleri gibi farklı amaçlar için kullanılabilir. Şekil 11.6'da bir motor sistemi şematik olarak gösterilmektedir.

Burada motor devresi kullanılan yolverme teknolojisine göre direk (kontaktörler ile) veya elektronik (yumuşak yolvericiler veya hız kontrol cihazları ile) olabilir.



Şekil 11.6 : Motor Sisteminin Şematik Gösterimi

11.3.2 Ekonomik Kriterler

Üretimde kullanılan motor sistemlerinin verimliliği direk olarak tesisin genel enerji verimliliğini etkiler. Motor sistemleri bir tesisteki sabit ve değişken maliyetleri etkiler. Üretim maliyetlerinin yanında enerji maliyetleri büyük oranlar oluşturmasa da, enerji maliyetlerindeki azalış direk olarak tesisin verimliliğine ve ekonomik olarak kazançta neden olur. Örnek olarak bir tesisteki kar oranı %10 ve elektrik maliyetleri toplam maliyetin %4'ü ise, enerji maliyetlerindeki %25'lik bir azalış, aynı satış hacminle kar marjında %10 oranında bir artış sağlayabilecektir [25].

Bir endüstriyel tesiste 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 üretim verimliliğinin getirdiği maddi üstünlükler de düşünülmelidir. Çoğu zaman endüstriyel tesislerde bu maliyetler, enerji verimliliğinin kendisinden daha önemli olabilmekte ve işletmeci açısından tercih sebebi olmaktadır.

Endüstriyel cihazlar tesislerde uzun yıllar boyunca hizmet vermektedirler, iyi bir bakım işlemi ile büyük güçlü bir elektrik motoru değiştirilmeden 25 yıl çalışabilir. Cihaz değiştirilme işleminde enerji verimli ekipmanların seçimi, üzerinde durulan enerji verimliliği konusu için önemlidir ve tesis kapsamında yapılacak enerji verimliliği bu cihazların ne şekilde seçildiği ile yakından ilişkilidir.

Fabrikalarda yapılan endüstriyel cihaz projelendirmelerinde karşılaştırma amaçlı bazı önemli veriler aşağıda sıralanmaktadır.

- Basit geri ödeme hesabı: Yatırım maliyeti / Yıllık ortalama kazanç değeri
- Net değer hesabı: Cihazın çalışma süresi boyunca yapılacak tüm bakım masraflarının ve tasarrufların beraber düşünülmesidir. Bu yöntemde toplam kazanç değeri her zaman toplam masraflardan büyük olmalıdır.
- Geri dönüşüm oranı hesabı: Kazançlardan elde edilen miktar ile ilk yatırım maliyeti arasındaki oran.

11.3.3 Sistem Seçiminde Öncelik Yönetimi

Birden fazla motor sistemi olan endüstriyel tesislerde, hangi sistemin öncelikli olarak incelenmesi veya değiştirilmesi gerektiği ile ilgili bazı ölçütler bu bölümde sıralanmıştır.

- Her zaman en problemlili motor sistemi ile başlanmalıdır.
- Motor veya diğer donanımları en çok bakım gerektiren sistemler olarak genellikle ilk incelenmesi gereken sistemler olacaktır.
- Yılda en az 2,000 saat çalışan, 55kW'den büyük değişken torklu yükleri kontrol eden elektrik motorları büyük olasılıkla yüksek potansiyel oluşturacaklardır.
- Pompa, fan ve kompresör yüklerini kontrol eden motor sistemleri öncelikli olarak ele alınmalıdır. Çünkü bu sistemler büyük olasılıkla vanalar (iki yollu, üç yollu, oransal) veya damperler ile akışkan kontrolü yapmaktadırlar. Bu nedenle mekanik aşınma, bakım ve kayıplar yüksek oranlarda olacaktır.

Endüstriyel tesislerde yukarıda belirtildiği gibi, sistematik bir yaklaşım verimliliğin artırılması ve daha da önemlisi fabrikada karşılaşılan diğer sorunların önlenmesi

açısından önemlidir. Aşağıda herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşılan sorunların çözülmesi için bazı tipik çözüm yöntemleri sunulmuştur. Bu örnekteki tesisat basınçlı hava sistemli olup, tüm motor sistemleri için rahatlıkla genelleme yapılabilir özelliktedir.

- Daha fazla elektriksel güç artımı yapılması: Eski kompresörün, %50 daha güçlü bir sistem ile değiştirilmesi veya eski sistem kullanılırken, anlık yüksek talep ihtiyacı için ikinci aynı güçteki yeni bir kompresör ile desteklenmesi. Bu çözümler en yüksek yatırım maliyetini oluşturmaktadır, daha fazla enerji tüketimi söz konusudur.
- Ekipman yaklaşımı: Cihazın komple değiştirilmesi yerine, istenen performansı göstermeyen parçanın değiştirilmesi veya bakımının yapılması işlemi. Potansiyel enerji verimliliği oranı %15 civarındadır.
- Sistem yaklaşımı: Problem oluşturan cihazın tek başına değil de, komple bir sistem olarak ele alınmasıdır. Bu şekilde arızalı bölümler değiştirilebilir, bakımları yapılabilir. Büyük boyutlandırılmış bir sistem, yeni teknolojik cihazların kullanımı ile daha az güçlerde çalıştırılabilir. Potansiyel enerji verimliliği oranı %20 ile %50 arasında veya daha fazladır.

11.3.4 Motor Sistemlerinde Verimlilik İçin 7 Adım

Verimli bir motor sisteminin oluşturulması için önemli adımlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklamaktadır.

Problemin veya İstenen Hedefin Belirlenmesi

Tesiste yapılacak bir projelendirme öncesinde, o sistemi işletecek ve bakımı yapacak kişilerin önerilerinin alınması önemlidir. Bununla birlikte sistemin değişimi veya projelendirilmesi ile ne kadar enerji verimliliği yapılacağı, üretim kalitesinin ve verimliliğinin ne kadar artırılması istendiği açıkça ortaya konmalıdır. Eski sistemde karşılaşılan problemlerin yeni sistemde de oluşmaması için, sorunların kaynakları ve oluşma sıklıklarının belirlenmesi önemlidir.

Bilgi Toplama

Sistemde çalışacak tüm cihazların ve donanımların işleyişiyle ilgili bilginin toplanıp, gerekli teknik detaylar ile birlikte bir şema oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte sistemin yaptığı işi, çalışma koşullarını, işletme mantığını, motor kontrol ve

plaka değerlerinin iyice belirlenmesi 6nemlidir. Bunun sonucunda yapılacak bir saha incelemesi ile cihazın d6zg6n çalışıp çalışmadığı saptanır.

Sistemin alışmasının İzlenmesi

Sistem ile ilgili hangi verilerin 6l6l6p, izleneceğinin belirlenip, d6zg6n izleme için bir plan oluşturulması 6nemlidir. Hangi alışma koşullarında hangi veriler izlenecekse bunlar d6zg6n raporlanmalı ve tasarım 6l6tleri ve bilgileri ile karşılaştırılmalıdır. 6rnek olarak, bir pompa sistemi başlangıçta 4 bar basınç sağlamak için tasarlandıysa, mevcut çalışma koşullarında bu basıncı sağlayıp, sağlayamadığı ve eğer sağlıyorsa hangi hızda ve verimde sağladığı karşılaştırılmalıdır.

Revizyonların Gerçekleştirilmesi

Sistemin alışma hayatı boyunca bakım yapıldığında, yeni alternatif 6z6mlerin de getirilebilmesi 6nemlidir. Tasarrufun hesaplanması ve bunun maliyetinin bilinerek gerekli hesaplar yapılp, teknik revizyonların sisteme uygulanması, o sistemin 6mr6n6 ve verimini arttırıcı bakımlar ve 6z6mler olarak karşımıza çıkarlar. Bu revizyonların hepsi 6retim değerleri ve ihtiyaçları ile paralellik g6sterip, 6retimde verimliliği arttırıcı amaçlı olmalıdır.

Tekliflerin Değerlendirilmesi

Sistemin veriminin arttırılması ve 6retimin daha efektif olması için gelecek tekliflerin, revizyon 6nerilerinin iyi değerlendirilmesi tesisin genel verimi açısından 6nemlidir. Bu nedenle farklı taahh6t firmalarından, 6r6n sağlayıcılarından ve diğer teknik firmalardan gelen uyarılar ve teklifler dikkatle değerlendirilmelidir.

Projenin Hayata Geçirilmesi

Toplanan gerekli bilgiler ve alınan teklifler ışığında, hedeflenen verimlilikte ve performanstaki sistem projesinin hayata geçirilme işlemidir. Proje hayata geçirildikten sonra, hedeflenen 6zellikte ve performansta olup olmadığı dikkatle incelenip, istenen enerji verimliliğinin elde edildiği çok iyi g6zlemlenmelidir.

İletişim

Sistemde yapılan t6m revizyon, yeni devreye alma işlemleri t6m tesis çalışanları ve ilgili y6netim kademeleriyle paylaşılmalıdır. Bu bilgi paylaşımı bir sonraki proje taleplerinde gerekli desteklerin alınmasını kolaylaştırır. Bir projede yapılan enerji

verimliliği düzgün bir şekilde üst yönetimle paylaşılsa, diğer projeler için gelecek maddi ve manevi destek daha da kuvvetli olacaktır.

11.4 Fan, Pompa, Kompresör Sistemleri ve Enerji Verimliliği

Verimli motor sistemlerinden bahsedildiğinde veya bir tesiste elektrik motorlarının tükettiği elektrik enerjisi azaltılmak istendiğinde, bu sistemlerin çalışıp, çalışmadığından daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulur. Fan, pompa ve kompresör gibi akışkan kontrol sistemleri, bir endüstriyel tesiste sıklıkla kullanılır ve bu yüzden bu sistemlerin çalışma şekilleri detaylı olarak anlaşılmalıdır. Bu bölümde bu tip motor sistemlerinde yapılabilecek bazı enerji verimliliği olasılıklarından bahsedilecektir.

Hatalı Çalışma Noktası

- Üretim koşullarında meydana gelen değişiklikler sonucunda, motor sistemleri performans eğrilerinden farklı çalışma noktalarında çalışırlar ve bu da sistem verimliliğinde azalmalara neden olur.
- Üretimin uzun bir süre boyunca durması sistemin verimliliğini azaltan bir diğer etkidir. Uzun duraksamalar genellikle üretimdeki değişikliklerden, mevsimsel talep değişikliklerinden veya çevresel etkilerden, örnek olarak sıcaklık koşullarından oluşabilir.
- Büyük boyutlandırılmış, tüm gün çalışan ve çoğunlukla damper veya vanalar yardımı ile kontrolü yapılan sistemler verimsiz bölgede çalışırlar.

Ekipman Yaşı

- Eski motor sistemleri çoğunlukla enerji verimliliği kavramından yoksun olarak tasarlanmışlardır.
- Birçok defa bakım, revizyon görmüş sistemler büyük olasılıkla istenen verimden uzak çalışmaktadırlar.
- Yeni sistemler yeni teknoloji ve cihazlar kullanmaktadırlar. Bu sayede daha hassas ve verimli çalışmaları olasıdır.

Alternatif Yöntemler

- Bazı uygulamalar diğer başka sistemler, teknolojiler veya üretim teknikleri ile daha verimli ve düzgün çalışabilir.

- İstenen çalışma koşullarının sağlanması için bakım aralıkları ayarlanmalıdır. Örnek olarak; filtre değişimi, ısı transfer yüzeylerinin temiz olması, düzgün yağlama işlemi ve elektriksel veya mekanik bağlantıların düzgün yapılmış olması gibi.

Akışın Gerektiğinden Fazla Yapılması

- Akışın fazla olması her zaman istenen bir durum olmayabilir. Damperler veya vanalar yardımı ile yapılan akış kontrolü daha verimli bir şekilde yapılabilir. Örnek olarak pompanın veya fan sisteminin hız kontrol cihazları ile istenildiği hızda döndürülmesi gibi.
- İşlem ihtiyaçlarının ve gerektirdiklerinin iyi anlaşılması önemlidir, buna göre sistem çıkışında bu değerlerin elde edilmesi de önemlidir.

Akışın Gereksiz Durumlarda Yapılması

- Bazı uygulamalarda ve çevrimlerde akışa ihtiyaç duyulmaz. Böyle zamanlarda akışkan by-pass sistemi döndürülür veya bir depo veya hazneye geri gönderilir.
- Prosesin geri kalan kısmı durdurulduğunda sistemin açık kalması veya çalışır halde unutulması olasıdır.
- Akışkan iletim sistemlerinde arıza, kaçaklar veya korozyon sonucunda gereksiz akışlar olabilir.

Basınç Kayıpları

- Basınç kayıpları akışkan hızı ile karesel olarak artmaktadır.
- Özellikle pompa emiş veya fan emiş tarafında yumuşak geçişler basınç kayıplarını azaltmaktadır.
- İnşaat veya tasarım kriterlerinden kaynaklanan yanlış borular veya yanlış hava kanalları tasarımı basınç düşüşlerine neden olabilir.
- Klasik sistemle akışkan kontrolü yapıldığında, vanalar veya damperler donmaya veya mekaniksel olarak yanlış çalışmalara karşı kontrol edilmelidir.
- Tıkalı filtreler veya korozyona uğramış borular ile bakımları eksik yapılmış sistemler basınç düşümü için en elverişli yerlerdir.

Sürekli Çalışan Sistemler

- Bazı sistemler tasarım aşamasında büyük boyutlandırıldığında veya üretim şartlarında değişiklikler olduğunda tüm gün maksimum hızda çalışmakta, akış damper veya vanalar ile kısılmaktadır. Bu tip sistemlere endüstriyel tesislerde çok fazla rastlanır. Özellikle pompa sistemlerinde büyük boyutlandırma önemli bir problemdir.
- Böyle bir duruma; güvenlik aralıklarının gereksiz fazla olmasından, sistemin farklı ihtiyaçtaki uygulamalarda kullanılma ihtiyacından veya bir parçanın çıkarılmasından gelinmiş olabilir.

Gereksiz Çalışma

- Endüstriyel tesislerde üretim öncelikli olduğu ve tesisin sürekli çalışır olması istendiğinden, projelendirme sırasında tüm güvenlik önlemleri oluşabilecek en kötü duruma göre tasarlanır. Bu yüzden çoğu zaman elektrik motorları gereksiz performansta çalışabilmektedir.
- Motor sistemlerine kontrol cihazlarının (bina yönetim sistemleri, programlanabilir lojik kontrolörler, hız kontrol cihazları, vb...) eklenmesi fan, pompa veya kompresörlerin ihtiyaç olmadığına kapatılmasını sağlayabilir.
- Otomatik kontrol sistem entegrasyonu yapıldığında, geri besleme sinyalinin maksimum değerine yükseltilmesi veya algılayıcı bağlantılarının kopması, zarar görmesi durumunda, motor yine maksimum performansta çalışabilir ve gereksiz yere enerji tüketebilir.

11.5 Yüksek Verimli Motorlar

Pompaları, fanları ve kompresörleri kontrol eden elektrik motorları toplam tüketilen endüstriyel enerjinin %60'ından fazlasını oluşturmaktadır [28]. 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 [29]. Eski ve verimsiz bir motor sisteminin, yeni ve yüksek verimli bir sistem ile değiştirilmesi genellikle 10 yıl önceki motorlara göre %3 daha verimli olmaktadır. Bununla birlikte tekrar sarılan eski motorların verimleri, sarım tekniğine, kullanılan malzemenin kalitesine ve iş gücünün kalitesine göre %2'ye kadar azalabilmektedir. Bu verimdeki düşüş uzun dönemde enerji tüketiminde önemli artışlara neden olmaktadır.

Örnek olarak 1,000 kW gücündeki bir fan motoru yılda 8,500 saat çalışıyorsa (yıllık 10 gün kapalı kalma durumunda), eski bir elektrik motorunun tekrar sarılması enerji tüketimi açısından ilave 4,850 € gibi bir maliyet getirecektir. Tabii ki aynı şekilde eski motor, yeni motora göre daha kısa ömürlü olacaktır. Yeni yüksek verimli motor ise yıllık 18,000 € gibi bir enerji tasarrufu sağlamaya devam edecektir. Tablo 11.1'de görüldüğü gibi yeni yüksek verimli motor kendini yaklaşık 2 yılda geri ödeyebilecektir. Verilen örnekteki motorun tekrar sarılma işleminde verim düşüşü yaşanmasa bile, yeni yüksek verimli motor yine daha ekonomik ve güvenilir bir çözüm olmaya devam edecektir.

Tablo 11.1 : Yüksek Verimli Motor Karşılaştırması

| <i>Eski Motor</i> | | <i>Motorun Değiştirilmesi</i> | |
|---|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| Verim (sarılmadan önce) | % 94.0 | Verim | 97.0% |
| Tekrar sarma ücreti | 24,310 € | Yeni motor ücreti | 37,400 € |
| Verim (sarıldıktan sonra) | 93.0% | - | - |
| İlk yıl yatırım maliyeti | 24,310 € | İlk yatırım maliyeti | 37,400 € |
| İlk yıl ilave enerji maliyeti (verimin azalmasından dolayı) | 4,850 € | İlk yıl enerji tasarrufu | 18,000 € |
| İlk yıl toplam maliyet | 29,160 € | İlk yıl toplam maliyet | 19,400 € |
| Yıllık ilave enerji maliyeti | 4,850 € | Yıllık ilave enerji tasarrufu | 18,000 € |

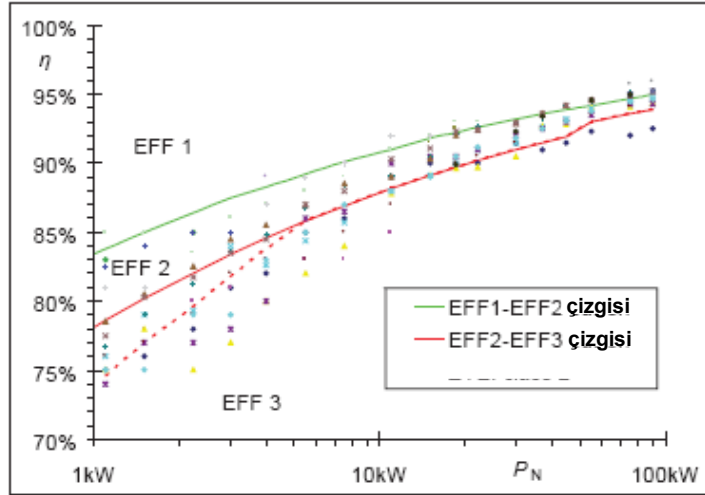
Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi yüksek verimli motorlar bir tesiste enerji verimliliği sağlayan önemli unsurlardan biridir. Şekil 11.7'de görüldüğü gibi yüksek verimli motorlar ile Avrupa ülkeleri için yıllık 24 milyar kWh tasarruf potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir. Daha sonraki bölümlerde bahsedilecek hız kontrol cihazları ile de yıllık 45 milyar kWh enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur [28].

Motor tipleri için yapılan verimlilik çalışmaları sonucunda motorlar üç ana verimlilik kategorisi altında toplanmaktadır. Gruplandırma dahilinde motor tipi, kutup sayısı ve en önemlisi motor nominal güç değerleri belirleyici olmaktadır.

| | Tasarruf Potansiyeli (milyar kWh/yıl) | | | | | |
|---|---------------------------------------|-------|--------|---------|--------|-----------|
| | EU-15 | EU-25 | Fransa | Almanya | İtalya | İngiltere |
| Yüksek Verimli Motorlar | 24 | 27 | 4 | 6 | 4 | 3 |
| Hız Kontrol Cihazları | 45 | 50 | 8 | 10 | 7 | 6 |
| Motor Sistemlerinde Uygulama tarafı (Pompa, Fan, Kompresör) | 112 | 125 | 19 | 26 | 17 | 15 |
| Toplam Elektrik Enerjisi Tasarruf Potansiyeli | 181 | 202 | 31 | 42 | 28 | 24 |

Şekil 11.7 : Yüksek Verimli Motorlar ile Tasarruf

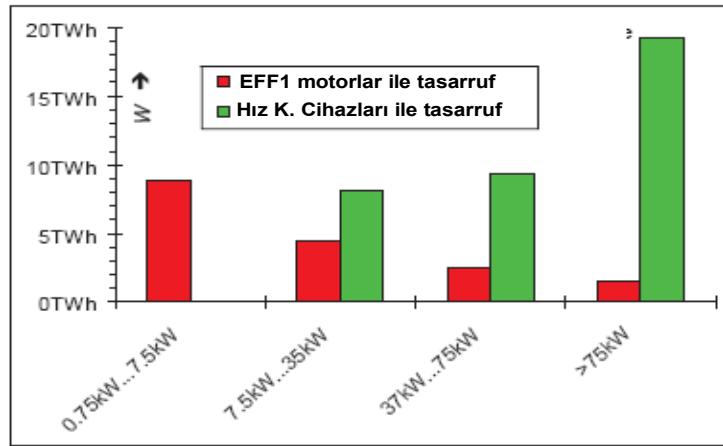
Şekil 11.8’de görüldüğü gibi EFF1 ile gösterilen bölümdeki motorlar en yüksek verime sahiptirler, bunlara yüksek verimli motorlar denilmektedir. İki çizgi arasında kalan bölgedeki motorlar EFF2 verim sınıfındadır. Bu tip motorlara eskiden verimli motorlar denilmekteyken, artık günümüzde EFF2 motorlar 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 [27].



Şekil 11.8 : Farklı Üreticilere ve Güçlere Göre Motor Verimleri [27]

Yapılan tahminlere göre Avrupa Birliği içindeki tüm motorların EFF1 motorlar ile değiştirilmesi sonucunda toplamda %1.3 oranında elektrik enerjisinde tasarruf yapılabilecektir [28]. 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. İleri bölümlerde daha detaylı anlatılacağı gibi

bir asenkron motorun hızının değiştirilmesi yarı iletkenlerin kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bir motorun hızının değiştirilmesi için günümüzde kabul gören yöntem motora uygulanan frekansın değiştirilmesidir. Özellikle 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. Hız kontrol cihazları motorun hızını yük koşullarına göre ayarlarken, çıkış tarafında temiz bir sinüs dalgası oluşturulamadığından motor kayıpları da artmaktadır. ERA tarafından yapılan araştırmalarda EFF1 sınıfındaki motorların kullanımı ile hız kontrol cihazlarının kullanımından yapılacak tasarruf oranları motorun güç değerlerine göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Şekil 11.9'da 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.

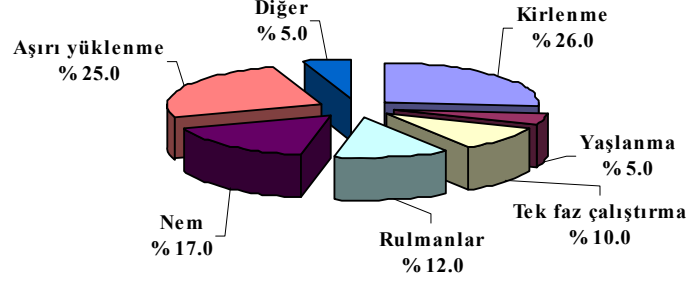


Şekil 11.9 : EFF1 Motorlar ile Hız Kontrol Cihazlarının Karşılaştırması [28]

11.6 Bakım

Bakımın amacı motor sisteminin sürekli çalışmasını, maksimum performansını sürekli korumasını sağlamak ve arıza nedeniyle çalışmadığı süreyi mümkün olduğunca azaltmaktır. Bakımı sürekli ve düzgün olarak yapılmış bir sistem hem daha enerji verimli çalışır, hem de daha az sürtünme ve sıcaklık değerlerine sahip olur. Bu bölümde motor sistemlerinde karşılaşılan önemli bakım arızaları ve servis/test konuları ile ilgili bilgiler verilecektir. Şekil 11.10'da görüldüğü gibi

motorlarda en fazla karşılaşılan arıza tipleri kir, pislik ve toz ile aşırı yüklenmeden kaynaklanmaktadır [30].



Şekil 11.10 : Motor Sistemlerinde Rastlanan Arıza Tipleri

Temizleme

Kir, toz ve pislik motorların sargılarına aşınma ve absorpsiyon yolu ile zarar verir. Motor yağına zarar verdiği gibi rulmanları da zedeler. Motor haznesi üzerinde biriken toz ve kir, fan ve diğer açıklıkları kapayarak motorda gereğinden fazla ısınmaya neden olur. Aşırı ısınma motorun enerji verimliliğini azaltırken, ömrünü de ciddi oranda azaltır.

Yağlama

Büyük güçlü motorların rulmanları periyodik olarak yağlama gerektirir. Ancak bununla birlikte dikkat edilmesi gereken nokta, yağlama işleminde aşırıya kaçılmamasıdır. Çünkü aşırı yağlama fazladan sürtünmeye neden olarak motorun arızalı çalışmasına neden olabilir. Aynı şekilde motor sargılarındaki aşırı yağlama da motorda arızalara neden olabilir.

Titreşim

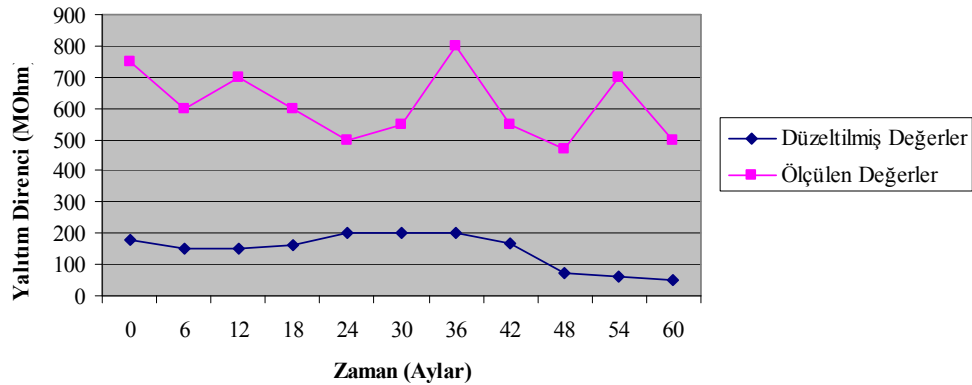
Motor titreşim seviyelerinde fark edilebilir bir artış veya normalden farklı bir titreşim oluşması genellikle rulman sorunlarına, yük dengesizliğine, eğilmiş motor şaft sorununa, motor-yük bağlantı dengesizliklerine veya elektriksel dengesizliklere işaretler. Düzgün yapılmayan kayış ayarları sonucunda motorun enerji tüketimi önemli oranlarda artabilir ve motor ömrü azalabilir.

Gerilim Seviyesi

Nominal gerilim seviyesinin $\pm\%10$ dışında çalışan elektrik motorları, nominal seviyede çalışanlara göre daha verimsizdir ve motor ömürleri önemli oranlarda azalır. Şebeke kaynaklı veya tesis içi dengesiz faz gerilim seviyeleri rotor sargıları üzerinden çok büyük akımlar geçmesine neden olarak, motor sıcaklığını artırır ve sonuç olarak yüksek motor kayıplarına neden olurlar.

Motor Yalıtımı

Endüstriyel tesislerde kritik motorlar için yapılacak direnç testleri motorlarda oluşabilecek yalıtım seviyesindeki düşüş için iyi bir önlemdir. Direnç testleri yılda bir veya iki kere tekrarlanmalıdır. Uzun süreli ölçümler ve kayıtlar motor sargı kalitesinin incelenmesi için iyi bir yöntemdir. Test edilen bir motorun belli aralıklarla ölçülen yalıtım direnç seviyeleri Şekil 11.11’de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, dört yıl sonunda ölçüm seviyelerinde gözle görülür bir düşüş olmaktadır. Şekil 11.11’deki iki grafikten üstteki direk ölçüm sonuçlarından, alttaki ise daha net görülmesi amacıyla ölçüm değerlerinin belirli bir sıcaklık seviyesine indirgenmesi ile elde edilen verilerle çizilmiştir.



Şekil 11.11 : Motor Yalıtım Test Sonuçları

11.7 Hız Kontrolü

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 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, min⁻¹), Q: akış (m³/h), P: Basınç (bar), KW: Güç (kW) olarak ifade edilirse;

$$Q_2/Q_1 = N_2/N_1$$

$$P_2/P_1 = (N_2/N_1)^2$$

$$KW_1/KW_2 = (N_2/N_1)^3 \text{ olarak gösterilir.} \quad (11.5)$$

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 direk olarak değişirken; hızda yapılacak %20 oranında bir azalma yaklaşık %50 enerji verimliliği olarak işletmeye geri dönecektir.

Hız kontrol sistemleri enerji verimliliğine ilave olarak;

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

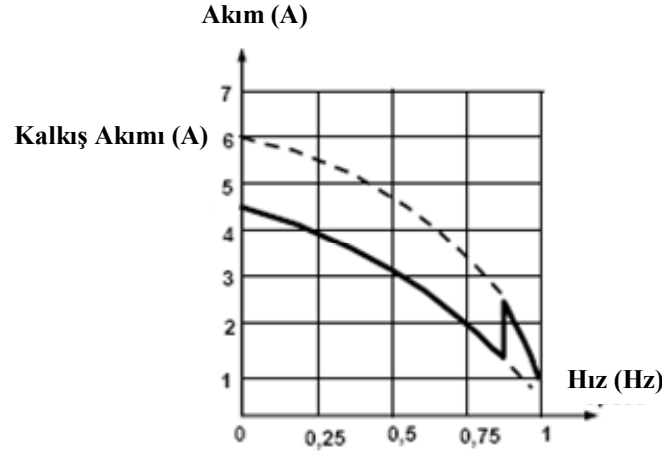
11.7.1 Asenkron Motor Yol verme Yöntemleri

Bir asenkron motora yol verildiğinde şebekeden kalkış anında yüksek miktarda akım çekilir. Bu yüksek akım seviyeleri şebekeye veya tesise göre gerilimde kısa sürelik bir düşüş meydana gelmesine sebep olur. Bu gerilim düşüşleri aydınlatma sisteminde gözle görülür bir değişim meydana getirebilir. Bu tip sorunların engellenmesi için genellikle 5.5kW üstü asenkron motorlar direk yol verme ile çalıştırılmayıp, diğer başka yöntemlerle kaldırılmalıdırlar.

Direk Yol verme

Asenkron motorların direk yol verilmesi en basit yöntemlerden biridir. Bu yöntemde motor stator sargıları direk olarak şebekeye bağlanırlar. Motor kendi karakteristiği gereğince başlatılmış olup, kalkış akımları çok yüksek seviyelere ulaşabilir. Başlangıç seviyesinde akımlar nominal akımların 5 ila 8 katı arasında olabilir. Şekil 11.12’de görüldüğü gibi kalkış akımları, nominal akımın 6 katı olup, daha sonra azalmaktadır. Ortalama kalkış tork seviyesi ise, nominal torkun 0.5 ila 1.5 arasındadır. Basit elektriksel kurulumu, yüksek kalkış tork seviyesi, kısa sürede kalkış ve ucuz maliyeti gibi üstünlüklerinin yanı sıra direk yol verme sistemi sadece aşağıdaki durumlarda kullanılır:

- Motor elektriksel gücünün şebekeye oranla düşük olduğu durumlarda, kalkış akım seviyeleri düşük olacağından,
- Makinenin veya uygulama gereği motorun hemen hızlanması gerekmeyen veya mekanik olarak hızının düşük tutulabildiği uygulamalarda,
- Yüksek kalkış torkunun makineye veya uygulamaya zarar vermediği durumlarda ve motor gücünün 5.5kW’ın altında olduğu zamanlarda direk yol verme kullanılır.



Şekil 11.12 : Direk Yol vermede Kalkış Akımları

Diğer Yol verme Yöntemleri

Direk yol verme dışında asenkron motorların başlatılmasında kullanılan bazı yöntemler vardır. Bunlar daha düşük kalkış akımı ve torku ile kullanılan yıldız-üçgen yol verme, dirençle yol verme, oto-transformatör ile yol verme, bilezikli motorla yol

verme olabilir. Ancak tüm bu yöntemlerde kalkış akımları belirli seviyelerin altına düşürülemez ve istenen yumuşak yol verme gerçekleştirilemez. Bu gibi durumlarda elektronik yol verme sistemleri olan, hız kontrol cihazları ve yumuşak yol vericiler kullanılır. Tablo 11.2’de tüm yol verme sistemlerinin karşılaştırılmaları verilmiştir.

Asenkron Motor Yol verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tablo 11.2 : Asenkron Motorlarda Yol verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

| | Direkt Yol verme | Yıldız-Üçgen | Dirençle Yol verme | Oto-Transformatör | Bilezikli Motorlar | Yumuşak Yol vericiler | Hız kontrol Cihazları |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Motor Tipi | Standart | Standart | Standart | Standart | Özel | Standart | Standart |
| Maliyet | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | ++++ |
| Kalkış Akımı | 5-10 In | 2-3 In | 4-5 In | 1,7-4 In | 2 In | 2-3 In | In |
| Gerilim Düşümü | Yüksek | Bağlantı değiştirmede yüksek | Düşük | Düşük, bağlantı değiştirmede yüksek | Düşük | Düşük | Düşük |
| Akım ve gerilim harmonikleri | Yüksek | Orta | Orta | Orta | Düşük | Yüksek | Yüksek |
| Güç Faktörü | Düşük | Düşük | Orta | Düşük | Orta | Düşük | Yüksek |
| Yapılabilecek Kalkış Sayısı | Sınırlı | Direkt yol vermenin 2-3 katı | Direkt yol vermenin 3-4 katı | Direkt yol vermenin 3-4 katı | Direkt yol vermenin 2-3 katı | Sınırlı | Yüksek |
| Kullanılabilir Moment | Nominal Torkun 2-5 katı | 0.2-0.5 Tn | Tn | 0.5 Tn | 2 Tn | 0.5 Tn | 1.5-2 Tn |
| Motordeki Isı Yükü | Çok yüksek | Yüksek | Yüksek | Orta | Düşük | Orta | Düşük |
| Mekanik Darbeler | Çok yüksek | Orta | Orta | Orta | Düşük | Orta | Düşük |
| Önerilen Yük Tipi | Hepsi | Yüksüz | Pompa ve fanlar | Pompa ve fanlar | Hepsi | Pompa ve fanlar | Hepsi |
| Yüksek Ataletli Yükler | Evet | Hayır | Hayır | Hayır | Evet | Hayır | Evet |

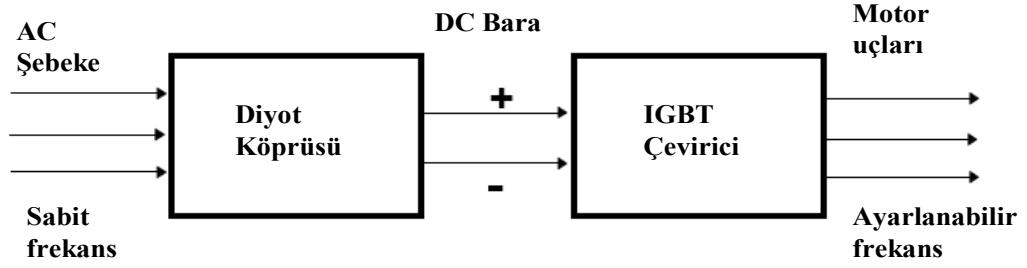
12. HIZ KONTROL CİHAZLARI

Elektrik motorlarının daha verimli çalışması için bir dizi yöntemin incelendiği önceki bölümlerden sonra bu bölümde özellikle hız kontrol cihazlarının faydaları ve motora uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesi ile yapılacak enerji verimliliği potansiyeli incelenecektir.

12.1 Hız Kontrol Cihazı Çalışma Prensibi

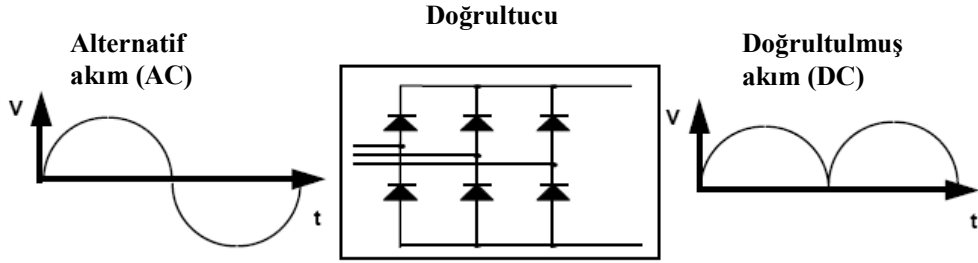
Bilinen tüm diğer motor hız kontrol yöntemlerinin aksine en bilineni ve kabul görmüşü şüphesiz frekans kontrolüdür. Motora uygulanan şebeke frekansının değiştirilmesi için kullanılan cihazlara frekans konvertörleri, sürücüler, hız kontrol cihazları veya frekans inverterleri denilmektedir. AC hız kontrol 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 12.1'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 transistörler bulunmaktadır.



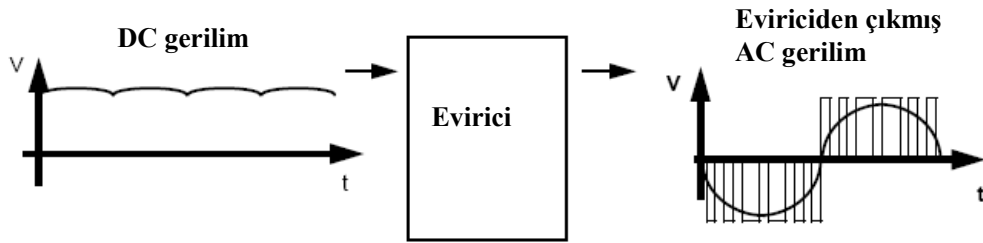
Şekil 12.1 : Hız Kontrol Cihazlarının Yapısı

Diyot köprüsü her faz içinde iki adet diyot bulunan ve alternatif akımı doğru akıma çeviren bir sistemdir. Bu köprü sayesinde hız kontrol cihazının giriş tarafındaki akım doğrultularak DC baraya aktarılır. Şekil 12.2’de doğrultulmuş bir akım dalga şekli görülmektedir.



Şekil 12.2 : 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 12.3’de eviricinin yapısı görülmektedir.



Şekil 12.3 : 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 akım 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.

12.2 Hız Kontrol Cihazı Özellikleri

Bir önceki bölümde hız kontrol cihazları çalışma prensibi üzerinde durulduktan sonra, bu bölümde hız kontrol cihazlarına ait bazı teknik özellikler detaylandırılacaktır.

12.2.1 Güç/Gerilim Aralığı

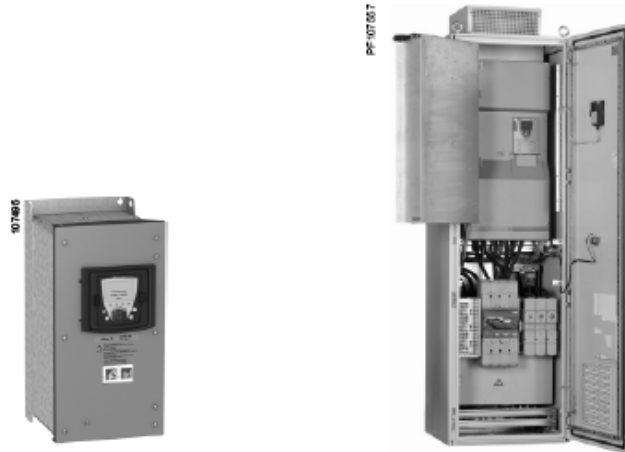
Hız kontrol cihazları farklı besleme şebekelerinde ve farklı güç değerlerinde bulunabilir. Uygulama ihtiyaçlarına göre tek fazlı (220V) veya üç fazlı (220V/400V/690V) farklı cihazlar mevcuttur. Türkiye'de endüstride genellikle 380-400V/500-690V üç fazlı beslemeli motorlar kullanılır. Ancak özellikle imento, demir-elik ve su arıtma tesislerinde bazı büyük güçlü orta gerilim (3.3kV - 6kV – 6.6kV) asenkron motorlar bulunmaktadır. Bu durumda hız kontrol cihazları da 3.3kV veya 6.6kV besleme değerlerinde olmaktadır. Günümüzde güç aralıkları da iyice genişlemiş olup, endüstrideki birçok uygulamanın gerektirdikleri doğrultusunda megavat güçlerinde hız kontrol cihazları bulunmaktadır. şekil 12.4'de 0.75kW ile 315kW arasında farklı büyüklüklerde hız kontrol cihaz resimleri görülmektedir.



Şekil 12.4 : Farklı Güçte Hız Kontrol Cihazları

12.2.2 Koruma Sınıfı

Hız kontrol cihazları değişik uygulama şartlarına bağlı olarak farklı koruma sınıflarında olmak zorundadırlar. Endüstriyel koşullarda genellikle bu cihazlar pano içine montajı yapılarak kullanılırlar. Şekil 12.4’de görülen cihazlar IP21 sınıfıdır. IP21 sınıfı cihazlar panosuz kullanım koşullarında çalışmak için tasarlanmamıştır. Günümüzde artık hazır panolu hız kontrol cihazları üretilmekte, hatta IP54 korumalı motora yakın uygulamalarda kullanılmak üzere cihazlar kullanıcılar tarafından ilgi görmektedirler. Şekil 12.5’de IP54 korumalı ve panolu hız kontrol cihazları görülmektedir.



Şekil 12.5 : IP54 Korumalı ve Panolu Hız Kontrol Cihazları

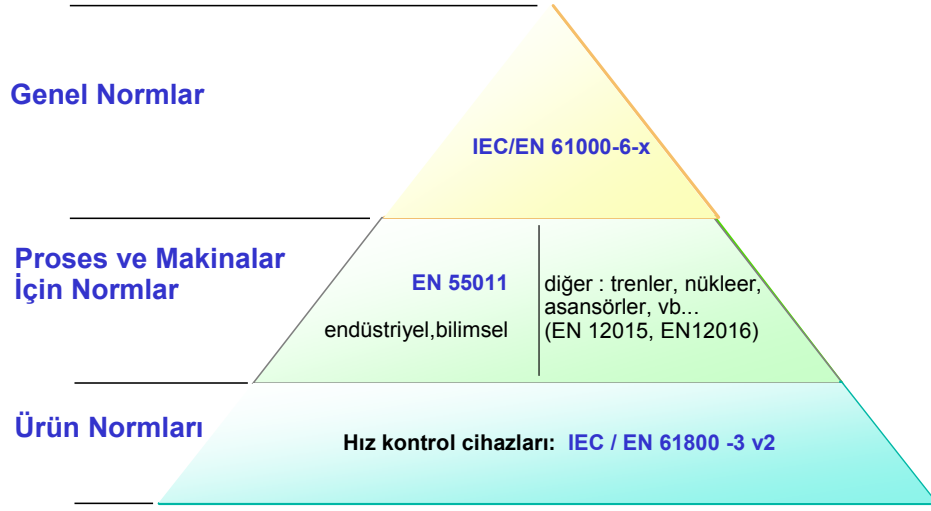
IP koruma sınıflandırması her üründe olduğu gibi hız kontrol cihazlarında da çevresel koşullara karşı dayanıklılıkta önemlidir. IP, iki rakamdan oluşan ve cihazın katı cisimlere ve sıvılara karşı korumasını gösteren bir standarttır. Koruma sınıfı numarası IP arkasından iki basamaklı bir numarayla ifade edilir (IP XY). Birinci basamak (X) katı cisimlere (ve tabii ki kişilere) karşı korumayı, ikinci basamak (Y) sıvılara karşı korumayı belirtir. Genel olarak rakamlar ne kadar büyükse cihazın o kadar korumalı olduğu anlaşılır. Tablo 12.1’de koruma sınıfı ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

Tablo 12.1 : IP Koruma Sınıfı Değerleri

| | X: Katı Cisimlere Karşı Koruma | Y: Sıvılara Karşı Koruma |
|---|---|--|
| 0 | Korumasız | Korumasız |
| 1 | Çapı 50mm'den büyük cisimlere (Elin arkasına) karşı | Damlayan suya karşı |
| 2 | Çapı 12.5mm'den büyük cisimlere (Parmağa) karşı | Dikeyden 15°'ye kadar açıyla damlayan suya karşı |
| 3 | Çapı 2.5mm'den büyük cisimlere (El aleti) karşı | Dikeyden 60°'ye kadar açıyla püsküren (0.07l/dak) suya karşı |
| 4 | Çapı 1mm'den büyük cisimlere (Kablo Damarı) karşı | Her yönden püsküren (0.07l/dak) suya karşı |
| 5 | Toz taneciklerine karşı | Her yönden düşük basınçlı (12.5l/dak) sulamaya karşı |
| 6 | Toz geçirmez | Her yönden yüksek basınçlı (100l/dak) sulamaya karşı |
| 7 | | 15-100cm arasındaki derinlikte geçici süre kalmaya karşı |
| 8 | | Su altında belirtilen derinlikte kalmaya uygun |

12.2.3 Elektromagnetik Uyumluluk ve Harmonik

Elektromagnetik uyumluluk endüstride ve özellikle binalarda kullanılan hız kontrol cihazlarının diğer cihazlarla çalışmalarını etkileyen ve dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biridir. Elektromagnetik uyumluluk (EMC) standartları bir cihazın dışarıya yaydığı düşük ve yüksek frekanslı gürültüleri sınırlandırırken, aynı zamanda dışarıdaki ortamdan cihazı etkileyebilecek gürültülere karşı cihaz dayanımını da tanımlar. Genel EMC normları IEC/EN 61000–6-x standartları [31] ile tanımlanmıştır. Bunun ötesinde hız kontrol cihazları için ürün normları altında IEC/EN 61800–3 versiyon2 tanımlanmıştır. Şekil 13.6’da görüldüğü gibi EMC konusunda hız kontrol cihazlarını ilgilendiren özel bir ürün normu bulunmaktadır.



Şekil 13.6 : Elektromagnetik Uyumluluk Standartları [31]

IEC/EN 61800–3 normları elektromagnetik uyumluluk için evler veya ticari binalar ve endüstriyel ortamlar olmak üzere iki ana ortam tanımlamaktadır; Evler veya ticari binalar ile tanımlanmış ortamlar sinemalar, tiyatrolar, alışveriş merkezleri, hasta haneler, vb. olup direk olarak elektrik şebekesinden beslenen yerlerdir. Bunun tersine endüstriyel ortamlar ise alçak veya orta gerilim transformatörü üzerinden beslenen fabrikalar veya diğer ortamlar olabilir.

IEC/EN 61800–3 hız kontrol cihazları için kategori C1, C2, C3 ve C4 olmak üzere dört ana ortam belirlemektedir. Şekil 12.7’de de görüldüğü gibi C1 ortamında nominal gerilimi 1000V’den küçük olan hız kontrol cihazları binalarda kullanılmak üzere tanımlanmıştır, C2 ortamında binalarda kullanılacak hız kontrol cihazının nominal gerilimi 1000V değerinden düşük olup, C1 ortamından farklı olarak kurulumu ve devreye alınması bir profesyonel tarafından yapılmalıdır, C3 ortamında endüstriyel kullanım için nominal gerilim 1000V’den küçük olan yerler tanımlanmıştır ve C4 ortamında da nominal gerilimi 1000V’den büyük olan endüstriyel tesisler tanımlanmaktadır. Ancak C4 ortamında özel bir tanımlama yapılmayıp ayrı bir EMC planı yapılacak tesisler olarak adlandırılmaktadır.

| Ortam 1 « Binalar » | | Ortam 2 « Endüstri » | |
|------------------------|--|-------------------------|---|
| C1 | Kategori 1 EN 55011 Class B grup1 U < 1000V I<400A - | C3 | Kategori 3 EN 55011 Class A grup2 U < 1000V I<400A Kurulum ve devreye alma bir profesyonel tarafından yapılmalıdır |
| C2 | Kategori 2 EN55011 Class A grup1 U < 1000V I<400A Kurulum ve devreye alma bir profesyonel tarafından yapılmalıdır | C4 | Kategori 4 Tanımlanmamıştır > 400 A veya > 1000 V veya karmaşık sistemler |

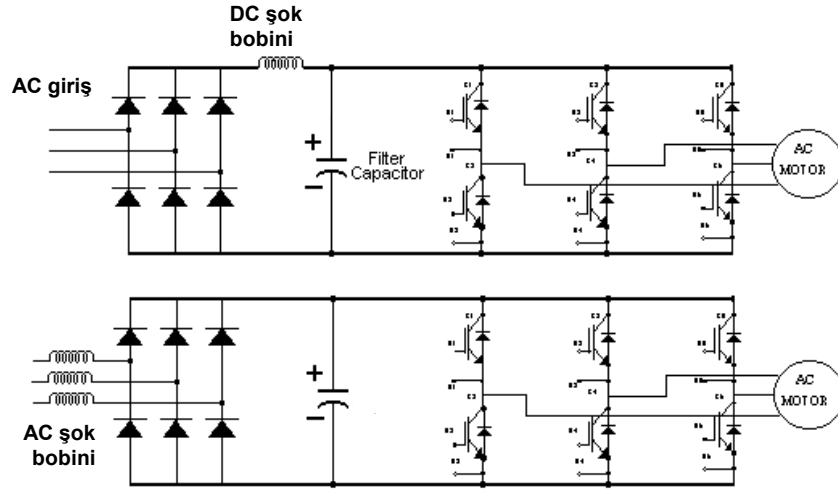
Şekil 12.7 : Elektromagnetik Uyumluluk Ortamları

Harmonik, düşük frekanslı (50Hz civarında) besleme tarafındaki akımın ve dolayısıyla gerilimin dalga şeklindeki bozulmadır. Hız kontrol cihazlarının uyması gereken harmonik standartları IEC 61000–3–12 ile tanımlanmıştır.

Temel olarak harmonik şebeke tarafındaki hız kontrol cihazı tarafından çekilen akımın dalga şeklinin bozulmasıdır ve bu bozulmanın derecesi toplam harmonik bozulması olarak isimlendirilir (THD). Lineer olmayan cihazlar, örnek olarak hız kontrol cihazları, harmonik üretici cihazlardır. Bunun sebebi giriş tarafındaki alternatif akımın doğrultulurken tristörlerden kaynaklanan anlık akım çekilmesidir. Harmonikli akım çekilmesi aynı transformatöre bağlı diğer hassas ekipmanlarda aşağıda sıralanan bazı sorunları oluşturabilmektedir;

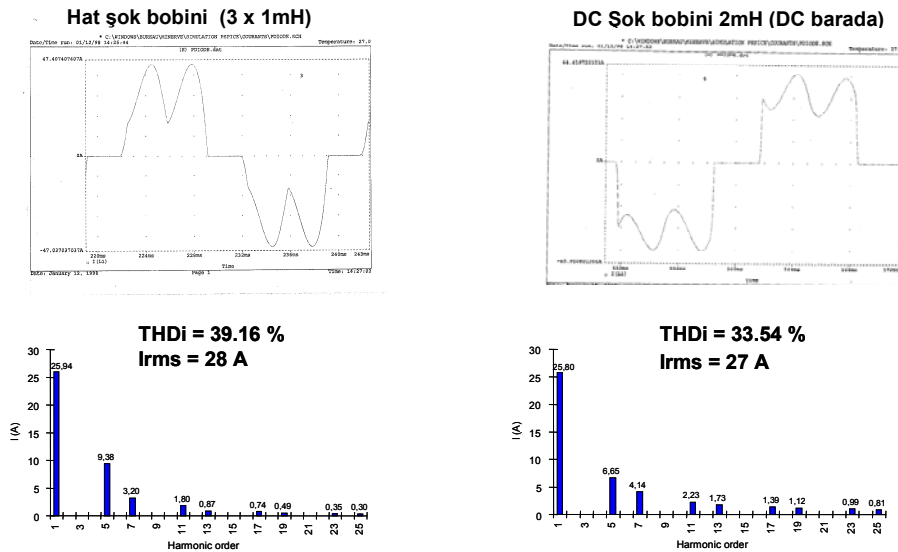
- Şebekeden çekilen efektif akımın maksimum %50 mertebesinde artması,
- Akımın ve gerilimin dalga şeklinin bozulması,
- Güç faktörünün düşmesi,
- Transformatörün, kabloların ve diğer ekipmanların aşırı yüklenmesi ve ısınması,
- Hassas cihazların hatalı çalışması,
- Hız kontrol cihazının doğrultucu bölümünün ve kapasitörlerin aşırı yüklenmesi,
- Güç faktörü kapasitörlerinin aşırı yüklenmesi,
- Rezonans riski,

Hız kontrol cihazı tabanlı harmonik çözümleri ağırlıklı olarak şok bobinleri kullanımı ile yapılmaktadır. Şok bobinlerinin kullanımı ile IEC 61000-3-12 ile tanımlanan kurallara uyulmakta ve THDi (akımdaki toplam harmonik bozulma) %48 seviyelerinin altına indirebilmektedir. Genelde kullanılan hat şok bobini ve DC bara şok bobinlerine bir örnek Şekil 12.8’de gösterilmektedir.



Şekil 12.8 : Harmonik Filtreleme İçin Şok Bobinleri

İki tip çözümün harmonik bozulmasına etkisi aynı olmakla birlikte, DC şok bobini boyut olarak daha küçüktür, ancak hat şok bobini de hız kontrol cihazını besleme hattındaki dalgalanmalara karşı korumaktadır. Şekil 12.9’da görüldüğü gibi iki harmonik çözümü de aynı THD değerlerinde filtreleme yapmaktadırlar.

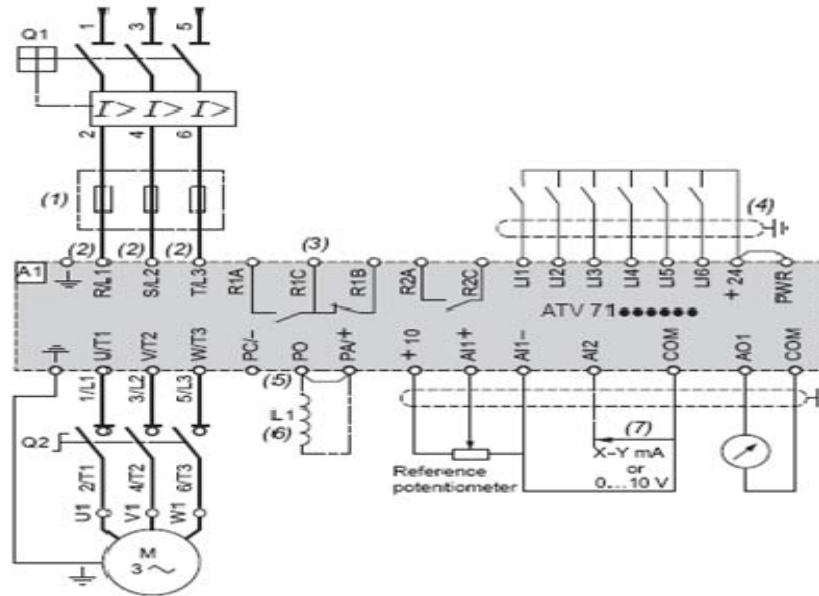


Şekil 12.9 : Farklı Şok Bobinleri İçin THD Değerleri

12.2.4 Hız Kontrol Cihazları Bağlantı Şekilleri

Hız kontrol cihazları gelişmiş elektronik cihazlar olduğundan içinde tüm motor kontrol ve koruma fonksiyonlarını bulundurlar. Bu sebepten teorik olarak motor ile cihaz arasında bir koruma cihazı takılmasına gerek yoktur. Ancak şebeke ile hız kontrol cihazı arasında termik ve manyetik koruma yapılması zorunludur, çünkü bu cihazlar girişlerindeki kısa devre gibi hatalara karşı korumasızdırlar. Bunun için iki seçenek bulunmaktadır; termik-manyetik koruma cihazları veya hızlı sigortalar. Şekil 12.10'da klasik bir hız kontrol cihazı bağlantı şekli görülmektedir. Şekilde Q1 cihaz termik-manyetik devre kesiciyi göstermektedir. Q2 ise motor kontaktörü ayırma işlemi için opsiyonel olarak kullanılabilir. L1 ile opsiyonel olarak kullanılacak DC şok bobini gösterilmektedir. Ancak hat şok bobini de böyle bir devrede rahatlıkla kullanılabilir. IEC standartlarına göre de harmonik filtreleme için DC bara veya hat şok bobini kullanılabilir.

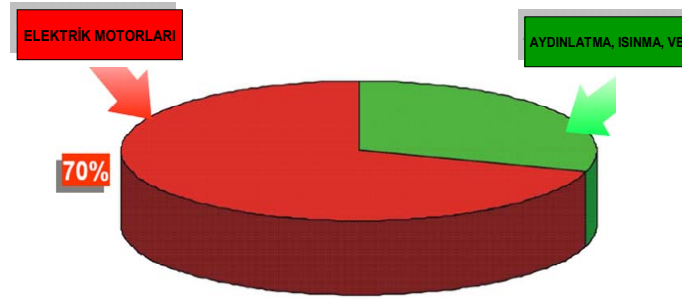
A1 cihazı ise hız kontrol cihazıdır. Görüldüğü gibi kontrol girişleri (dijital ve analog sinyaller) ekranlı kablo kullanılarak çizilmiştir, bunun sebebi dışarıdan gelecek gürültülere karşı bu sinyalleri korumaktır.



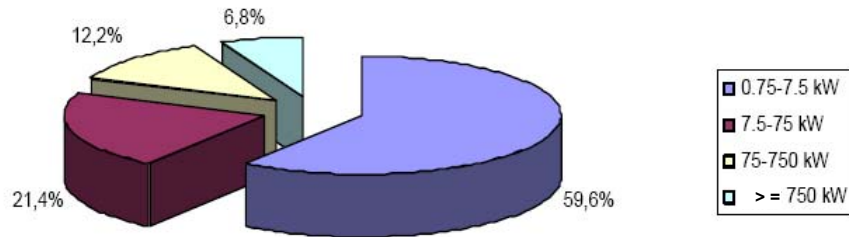
Şekil 12.10 : Hız Kontrol Cihazı Bağlantı Şeması

12.3 Hız Kontrol Cihazları ile Enerji Verimliliği

Bir önceki bölümlerde bahsedildiği gibi hız kontrol cihazları motora uygulanan gerilimin frekansını değiştirerek motorun anlık olarak hızını değiştirebilmektedirler. Özellikle yük ihtiyacının zaman içinde sabit kalmadığı uygulamalarda motorun çıkış kapasitesinin (akış, debi, sıcaklık, basınç, vb.) da düşürülmesi enerji verimliliği sağlar. Biraz daha basit anlamıyla bakılırsa, eğer yük ihtiyacı değişiyorsa motorun da hızının bu oranda değiştirilmesi ile endüstrideki birçok alanda yüksek enerji tasarrufu yapılabilir. Şekil 12.11’de görüldüğü gibi tüketilen toplam enerjinin %70’den fazlası elektrik motorları tarafından harcanmaktadır [28]. Şekil 12.12’de 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 tüketilmektedir.

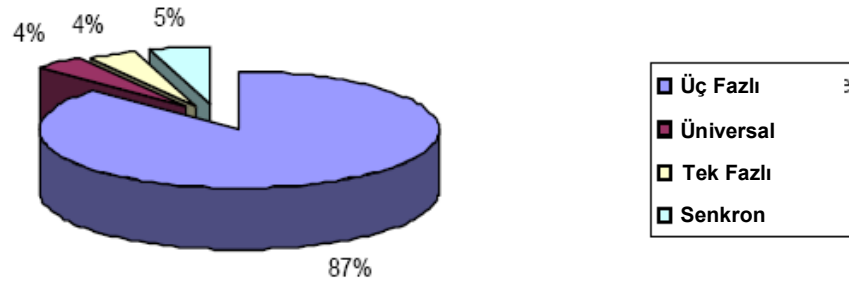


Şekil 12.11 : Elektrik Motorlarının Enerji Tüketimi [28]



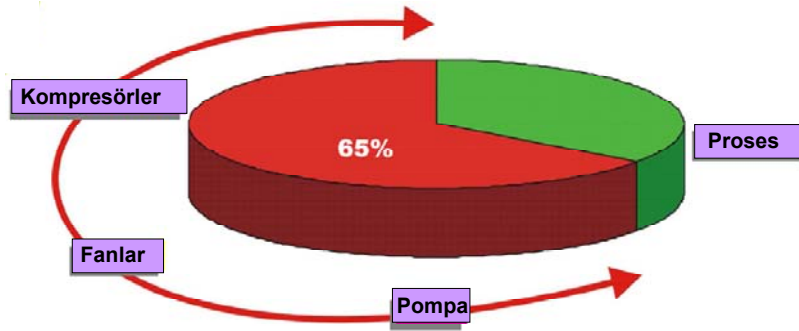
Şekil 12.12 : Motorların Güçlere Göre Dağılımı [32]

Besleme gerilimine göre bakıldığında, kullanılan elektrik motorları ağırlıklı olarak üç fazlı motorlardır. Şekil 12.13’de görüldüğü gibi %87’si üç fazlı motorlardır [32]. Tek fazlı motorlar %4 ve senkron motorlar %5 orana sahiptir.



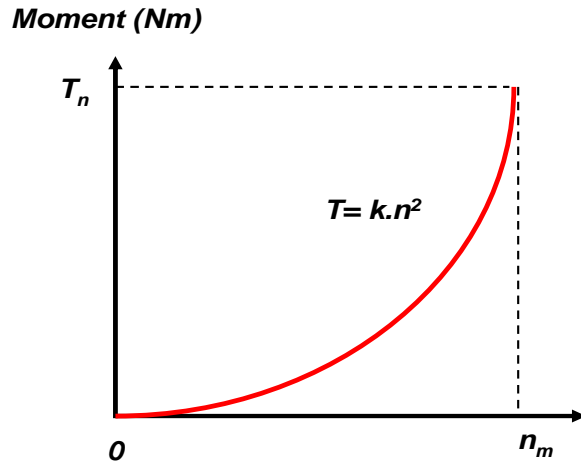
Şekil 12.13 : Motorların Besleme Gerilimine Göre Dağılımı [32]

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 12.14’de görüldüğü gibi kullanılan elektrik motorlarının %65’i değişken tork uygulamaları olup, 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.

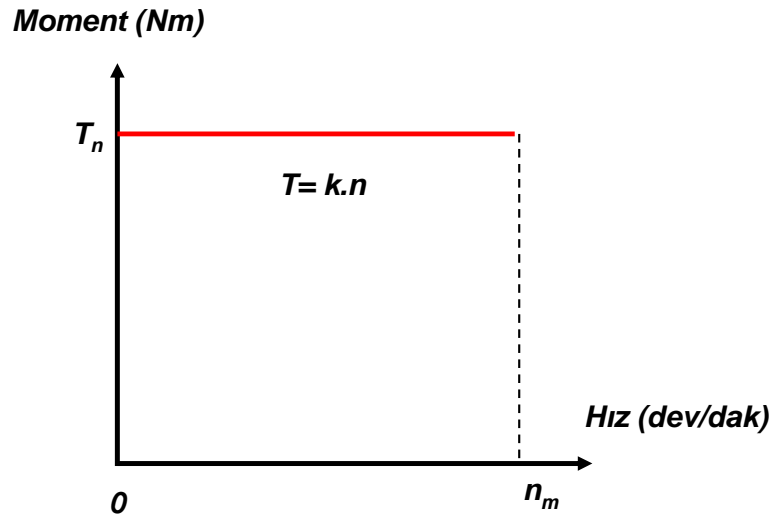


Şekil 12.14 : Değişken Tork Uygulamalarının Oranı

Şekil 12.15’deki tork eğrisi 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 12.16’da verilen gibi sabit torklu sistemlerde, örnek olarak bir konveyör sisteminde, hız ne olursa olsun sistem tarafından talep edilen tork değeri sabittir.



Şekil 12.15 : Değişken Torklu Sistemlerde Hız ve Tork Eğrisi



Şekil 12.16 : Sabit Torklu Sistemlerde Hız ve Tork Eğrisi

12.4 Hız Kontrol Cihazları ile Tasarrufun Hesaplanması

Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi enerji tasarrufu özellikle değişken torklu sistemlerde yapılır. Bunun sebebi değişken torklu yüklerin karakteristiğinin hızla karesel olarak değişmesidir. Bu bölümde basit olarak bir motorun hızının değiştirilmesinin tüketilen elektrik enerjisine olan etkisi incelenecektir.

Örnek olarak, 110 kW, 195A nominal akımlı, 0.86 güç faktörlü, 0.95 verimli bir fan motoru hız kontrol cihazı ile sürülecektir. Bu fan motoru günün 20 saati çalışmakta, geriye kalan 4 saat çalıştırılmamaktadır. Fan yılın 348 günü çalışmakta, günün 20 saatinde ise aşağıdaki çalışma profiline uymaktadır:

- 7 saat boyunca %70 hızda,
- 3 saat boyunca %50 hızda,
- 5 saat boyunca %40 hızda,
- 5 saat boyunca %30 hızda

110 kW güçlü bir fan, yılda 348 gün, günde 20 saat klasik sistemlerle (çıkış damperi) kontrol edilirse, harcadığı elektrik enerjisinin bedeli: $110 \text{ kW} \times 348 \text{ gün} \times 20 \text{ saat} \times 0.13 \text{ YTL/kWh} = 91,872 \text{ YTL}$ olacaktır. Aynı çalışma profilinde hız kontrol cihazı ile kontrol edildiğinde ise,

$$110 \text{ kW} \times 348 \text{ gün} \times 7 \text{ saat} \times 0.13 \text{ YTL/kWh} \times (0.7)^2 = 15,756$$

$$110 \text{ kW} \times 348 \text{ gün} \times 3 \text{ saat} \times 0.13 \text{ YTL/kWh} \times (0.5)^2 = 3,445 \text{ YTL}$$

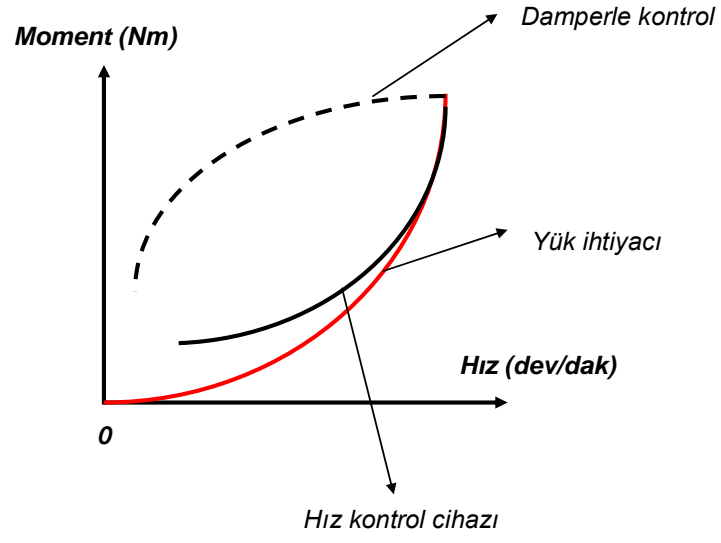
$$110 \text{ kW} \times 348 \text{ gün} \times 5 \text{ saat} \times 0.13 \text{ YTL/kWh} \times (0.4)^2 = 3,674 \text{ YTL}$$

$$110 \text{ kW} \times 348 \text{ gün} \times 5 \text{ saat} \times 0.13 \text{ YTL/kWh} \times (0.3)^2 = 2,067 \text{ YTL}$$

Toplamda 21,942 YTL'lık elektrik enerjisi tüketimi yapacaktır. Bu durumda yıllık elektrik enerjisi tasarrufu yaklaşık 70,000 YTL olacaktır. 110 kW bir hız kontrol cihazının yaklaşık 8,000 YTL olduğu kabul edilirse, yaklaşık geri ödeme süresi de 2 ila 3 ay arasında hesaplanabilmektedir.

Tüm bu hesaplamalar sonucunda açıklanmak istenen klasik yöntemlerle kontrol ile hız kontrol cihazı arasındaki kontrolün enerji verimliliğine yardımcı olmasıdır. Şekil 12.17'de görüldüğü gibi, bir fan motorunda damperle kontrol ile hız kontrol cihazı ile kontrolde büyük bir alan bulunmaktadır. İşte bu alan enerji tasarrufunu

göstermektedir ve tüm bir endüstriyel tesis bazında düşünüldüğünde ciddi bir enerji verimliliği projesi oluşturmaktadır.



Şekil 12.17 : Hız Kontrol ve Damper Kontrolü Enerji Tüketimi Karşılaştırması

13. KORTEKS İPLİK FABRİKASI VE HIZ KONTROL CİHAZLARI

Bu bölümde Korteks iplik üretim tesisindeki hız kontrol cihazları ile yapılan enerji verimliliği incelenecek ve tekstil sektöründeki enerji verimliliği potansiyeli daha somut bir örnekle tekrar ortaya konmaya çalışılacaktır.

13.1 Korteks İplik Fabrikası

Bursa'daki Korteks İplik tesisi Türkiye'nin en büyük endüstriyel tesislerinden biridir. Özellikle tekstildeki önemi büyük olup 470 ton/gün üretim kapasitesiyle dikkat çekmektedir. 2005 yılı enerji tüketimi yaklaşık 89,000 TEP ve aylık elektrik enerjisi tüketimi de yaklaşık 30,000,000 kWh olan Korteks, 2004 yılında kapsamlı bir enerji verimliliği projesine başlamıştır. Uygulama süreci 2005 ile 2006 yılları arasında devam eden proje 2006 yılının ortalarında sona ermiştir. Bu proje kapsamında yaklaşık 382 adet asenkron motorda enerji verimliliği potansiyeli görülmüş olup, hepsinde hız kontrol cihazlarına geçiş yapılmıştır. Hız kontrol cihazı uygulaması yapılan motorlar arasında proses pompaları, yardımcı işletmelere ait kule fanları, kondens ve evaporatör pompaları, tekstüre ve büküm klima santrallerindeki fanlar ve bazı duman emici motorlar bulunmaktadır.

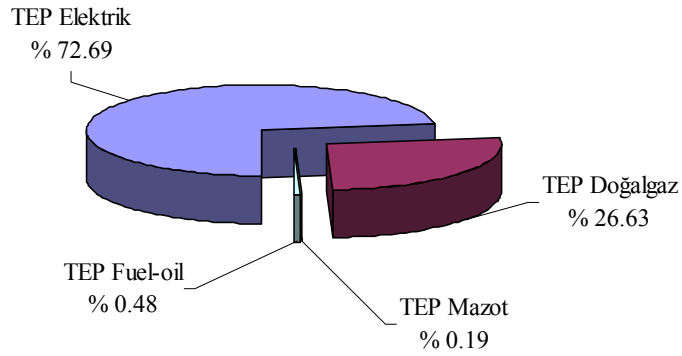
Korteks'de bu projelerin yönetimi ve projelendirilmesi için kapsamlı bir enerji yönetim birimi oluşturulmuştur, tamamı mühendis olan bu birimde,

- Enerji direktörü – Makine mühendisi
- Enerji yönetim birimi müdürü – Makine mühendisi
- Elektronik işletmeler müdürü – Elektronik mühendisi
- Elektrik 2. işletme şefi – Elektrik mühendisi
- Yardımcı işletmeler müdürü – Makine mühendisi bulunmaktadır.

Bu birimde 3 kişinin enerji yönetici sertifikası mevcut olup, 2008 yılı içinde 2 mühendisin daha bu sertifikayı alması tesis yönetimi tarafından planlanmaktadır.

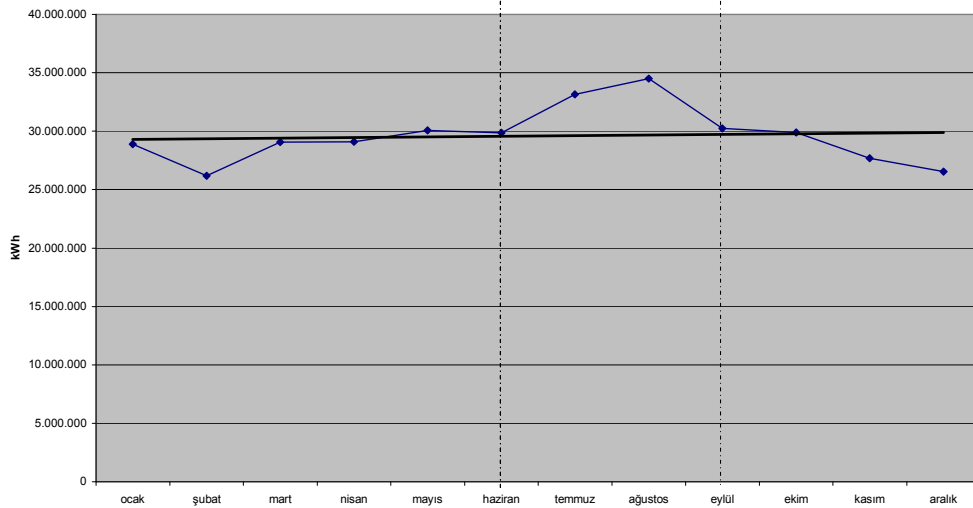
13.2 Korteks Enerji Tüketim Değerleri

Korteks iplik fabrikası enerji tüketim değerlerine bakıldığında en fazla tüketim elektrik enerjisi olarak gerçekleşmektedir. 2005 yılında elektrik tüketiminin değeri %67.2 olmuştur. 2005 yılı enerji tüketimi içinde doğalgaz oranı %32.2, fuel-oil %0.33 ve mazot %0.27 olarak kaydedilmiştir. 2006 yılının ilk yarısında ise elektrik tüketimi %72.69, doğalgaz %26.63, fuel-oil %0.48 ve mazot %0.19 olarak belirlenmiştir. Şekil 13.1’de verilen 2006 yılına ait tüketim değerlerinden de görüldüğü gibi, elektrik enerji tüketiminin büyük bir kısmını kaplamaktadır.



Şekil 13.1 : Korteks Enerji Tüketim Oranları

Korteks iplik fabrikasında elektrik tüketimi aylık ortalama 30 MWh civarında olmaktadır. Şekil 13.2’de görüldüğü gibi 2005 yılı tüketim değerleriyle Haziran ayının ortasından Eylül ayına kadar elektrik tüketimi artmakta, ekim ayından sonra azalmaktadır. Kış aylarında bu ortalama 27 MWh olup, yaz aylarında 34 MWh olarak kaydedilmiştir. Tüm iplik üretim tesislerinde olduğu gibi Korteks tesisinde de temel yükler; soğutma grupları (çilerler), kompresörler ve tekstüre ile büküm klima santrallerindeki fan motor sistemleridir.

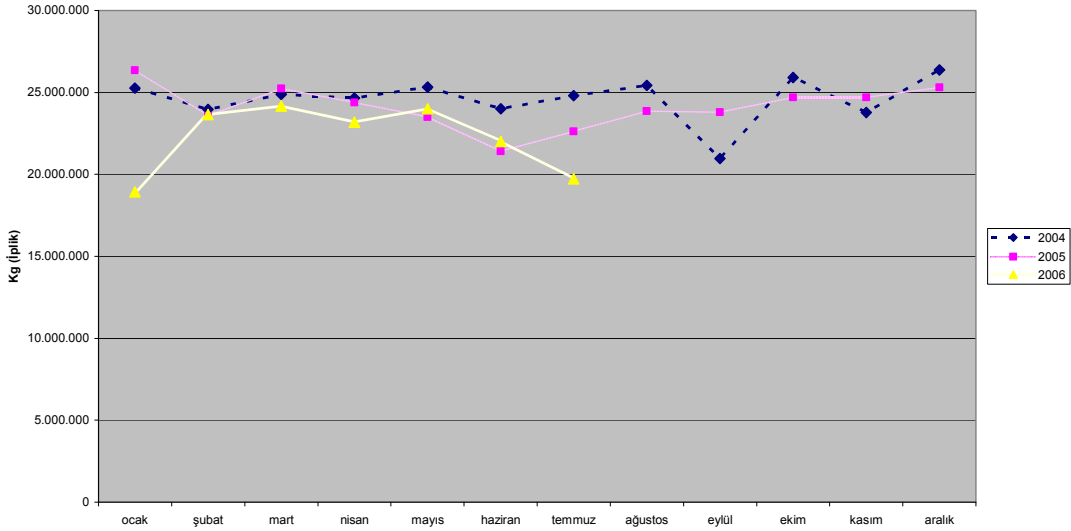


Şekil 13.2 : Korteks 2005 Yılı Elektrik Tüketimi

Korteks fabrikasında farklı tipte iplik üretimi yapılmaktadır. Bunlar; POY, FDY, KDK, tekstüre iplik, büküm iplik ve mikro iplik olarak özetlenebilir. POY iplik, polyester ipliğin ilk üretim aşaması olan ön çekime uğramış, kısmi oryante iplik olarak da bilinir ve bu tipte iplikler geniş kullanım alanına sahiptir. FDY; tekstüre edilmemiş, düz, hacimsiz ve kaygan iplik çeşididir. İngilizcedeki düz (flat) kelimesiyle de ifade edilir. KDK ise; kıvrımlı yapıda bir ipliğin elde edildiği tekstüre yöntemidir. Bu işlemde iplik önce örülür, sonra örülen kumaş fikslenir ve iplik tekrar örüldüğü halde geri sökülerek bobine sarılır. Fiksenin etkisiyle örgü ilmekleri ipliğin yapısında kalır. Bunlara ilave olarak tekstüre işlemi, sentetik ipliklere ısıl veya mekanik işlemler yoluyla doğal iplik görüntüsü ve özelliklerini kazandırma tekniğidir. Bu teknikle üretilen ipliğe tekstüre iplik denilmektedir. Büküm iplik üretiminde ise, büküm elyafları birbirlerine yaklaştırılarak ipliğin daha kompakt hale gelmesi sağlanır.

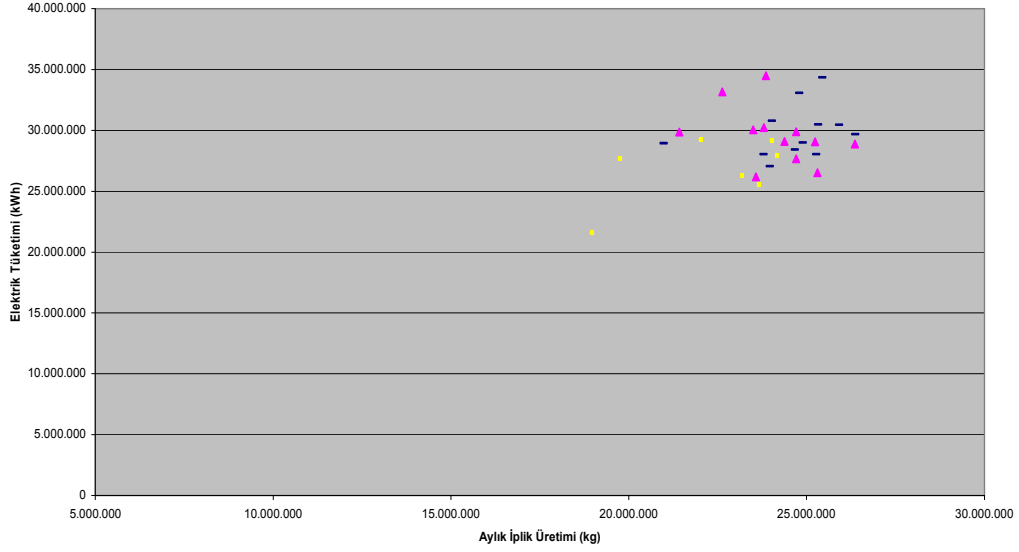
Korteks iplik fabrikasındaki iplik üretiminde en büyük payı POY iplik, daha sonra da tekstüre iplik almaktadır. 2005 yılı üretim verileriyle POY iplik toplam üretimin kg cinsinden %45'ini oluşturmaktadır. Bunu %35 oranıyla tekstüre iplik takip etmektedir. Şekil 13.3'de 2004, 2005 ve 2006 yıllarına ait iplik üretim değerleri görülmektedir. Buna göre 2004 yılında toplamda yaklaşık 295 bin ton, 2005 yılında ise 289 bin ton üretim gerçekleşmiştir. Dikkat edilirse 2004 yılının Eylül ayında tesisin 10 gün durması nedeni ile üretimde bir düşüş yaşanmıştır, 2005 ve 2006 yıllarında aylara göre üretim değerlerine bakıldığında genellikle 2004 üretim değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de tesisin bu yıllarda

maksimum kapasite ile çalışmamıştır. Aynı düşüş 2006 yılı Ocak ayında da yaşanmıştır. Tüm yıllar için üretim değerleri genellikle sabit olup, mevsimsel değişimler göstermemektedir.



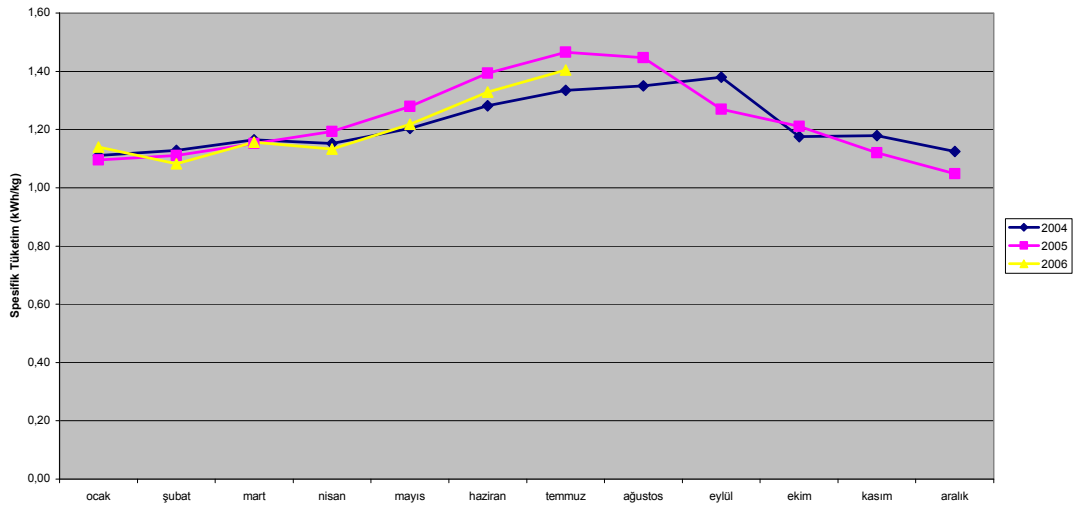
Şekil 13.3 : 2004, 2005 ve 2006 Yıllarına Ait İplik Üretim Değerleri

Korteks tesisindeki iplik üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasındaki ilişkiyi incelediğimizde, iplik üretim işleminde dış koşullara bağlı olarak tüketilen elektrik enerjisinin yüksek oranlarda değişebilmesi nedeni ile daha önceki bölümlerde gösterildiği gibi lineer bir bağlantı bulunması zordur. Şekil 13.3 'de görüldüğü gibi özellikle 2004 ve 2005 yıllarında tüketilen ortalama elektrik enerjisi aylık olarak 30 MWh olarak hesaplanmıştır, grafikte görülen değerler kış ve yaz aylarında 30 MWh değerinin üstünde ve altında gruplaşmışlardır. Korteks tesisinde çekilen güç kışın 41 MW iken, yaz aylarında 48 MW olmaktadır. Aradaki enerji farkı iplik üretiminde üretim ortamındaki havanın koşullandırılması için harcanır. Havanın koşullandırılması için kompresörlerde aylık 9 MW, klimalarda 4 MW ve soğutma gruplarında ise 7 MW elektrik enerjisi tüketilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, yaklaşık 20 MW enerji tüketimi mevsimsel olarak değişkendir, bu durum Şekil 13.4'de görülen dağınık yapıyı daha iyi açıklamaktadır.



Şekil 13.4 : Korteks Aylık Üretim ve Elektrik Tüketim Değerleri

Yapılan enerji verimliliği projelerinin elektrik tüketimine yansıdığı bir gerçektir, Tüketim azalırken üretim de belirli oranda azaldığı için enerji tasarruf değerlerinin yukarıdaki grafiklerden görülmesi zorlaşmaktadır. Yapılan enerji verimliliğinin daha net görülmesi ancak spesifik enerji değerlerinin incelenmesi ile mümkün olabilecektir. Şekil 13.5’de yıllara göre spesifik enerji değerlerinin değişimi görülmektedir. Tüm motorlarda enerji verimliliği projeleri sonuçlandığından Mart 2006’dan itibaren 2005 yılına ait spesifik enerji değerlerine göre belirgin bir azalma görülmektedir.



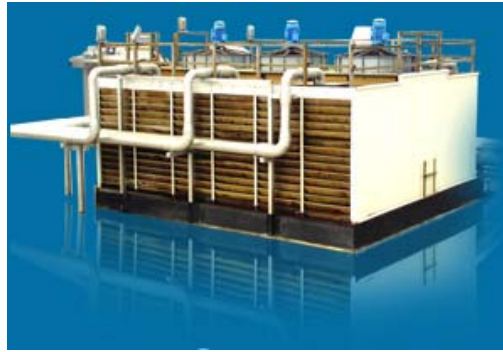
Şekil 13.5 : 2004, 2005 ve 2006 Yıllarına Ait Spesifik Enerji Değerleri

13.3 Hız Kontrol Cihazı Uygulamaları

Bu bölümde Korteks’de yapılan hız kontrol uygulamalarının teknik olarak detayları açıklanacak ve bağlantı şekilleri, tasarruf yöntemleri hakkında bilgi verilecektir. Bu tip tasarruf yöntemleri sadece Korteks gibi bir tesise özel olmayıp, tüm endüstriyel tesislerde, hatta ticari binalarda bile mümkün olmaktadır. Daha önceden bahsedildiği gibi değişken tork karakteristiğine sahip yükler en yüksek enerji verimliliği potansiyeline sahiptir. Bu yüzden endüstriyel tesislerdeki su ve proses pompaları, kule fanları, soğutma çevriminde kullanılan kondenser ve evaporatör pompaları, klima santralleri ve diğer tüm fanlar enerji verimliliği açısından incelenmeli ve potansiyel detaylı olarak görülmelidir.

13.3.1 Soğutma Kule Fanları

Proses sularının soğutulması konusunda yüksek kapasiteleri karşılamak amacıyla kullanılmakta olan hizmet kulelerine endüstriyel tip soğutma kuleleri denir. Çapraz ve karşı akışlı olmak üzere iki farklı çalışma prensibine göre inşa edilmektedirler. Soğutma alanında vazgeçilmez olmalarının en büyük sebebi sağladıkları fiyat avantajıdır. Ayrıca işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle kısa sürelerde kendilerini geri öder ve işletme bütçesine katkıda bulunurlar. Şekil 13.6’da soğutma kulesinin yapısı görülmektedir, sahadan gelen proses akışkanı burada fanlar yardımı ile enerjisini dış ortama aktarır.

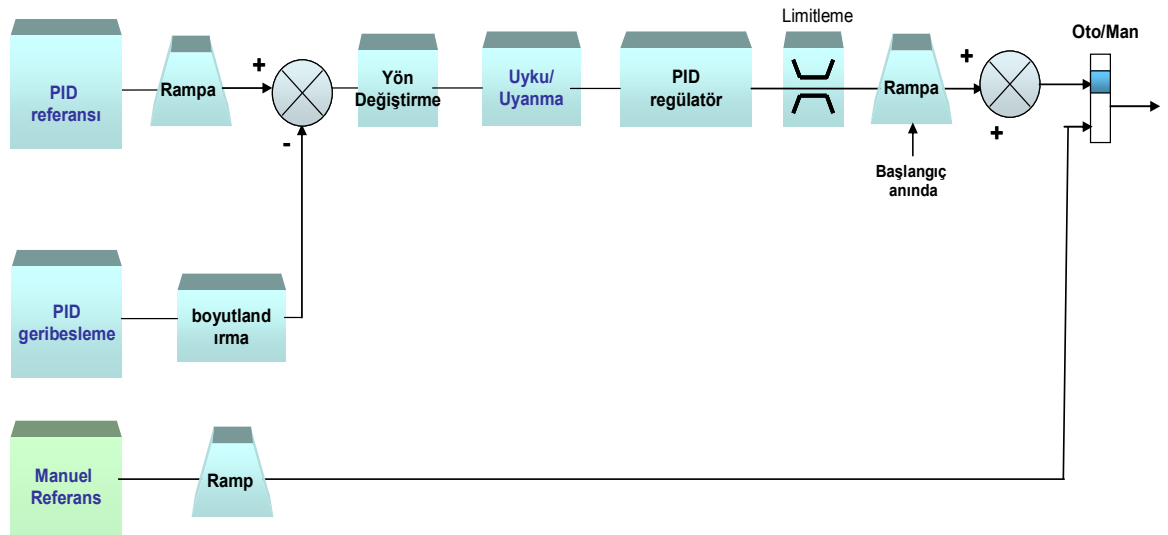


Şekil 13.6 : Soğutma Kulesi

Soğutma kulelerinde hız kontrol uygulamaları ile kullanılan aksiyal fanların hızları değiştirilerek enerji tasarrufu yapılabilir. Bunun için istenen soğutma sıcaklığının ve proses veya binalardaki talebin iyi incelenmesi buna göre fanların gerek olmadığı zamanlarda kapatılması veya ihtiyaca göre kısılması gerekmektedir.

Korteks tesisinde soğutma kuleleri, soğutma ve kompresör tesislerinde bulunmaktadır. Klasik sistemle kontrol edilen kule fanları hız kontrol ile revizyona girmeden önce güçlerine göre direk veya yıldız-üçgen sistemle yol verilmekteydi ve kontrol üst ve alt sıcaklık değerine göre yapılmaktaydı. Bu şekilde su sıcaklığı 26°C'ye ulaştığında fan motorları çalışıyor, 22°C'ye geldiğinde ise kapanıyordu. Yani sistem On/Off olarak çalışıyordu. Hız kontrol cihazı uygulamasında sıcaklık set değeri 24°C olarak ayarlandı ve 4-20mA geri besleme sinyali kullanılarak küçük bir otomasyon sistemi yapıldı. Bu şekilde suyun sıcaklığı hiçbir zaman 26°C'ye ulaşmayacak ve ihtiyacı karşılayan 24°C'nin altına inmeyecek, bu şekilde 22°C gibi alt değerlere inmeye gerek kalmadan enerji tasarrufu yapılabilecektir.

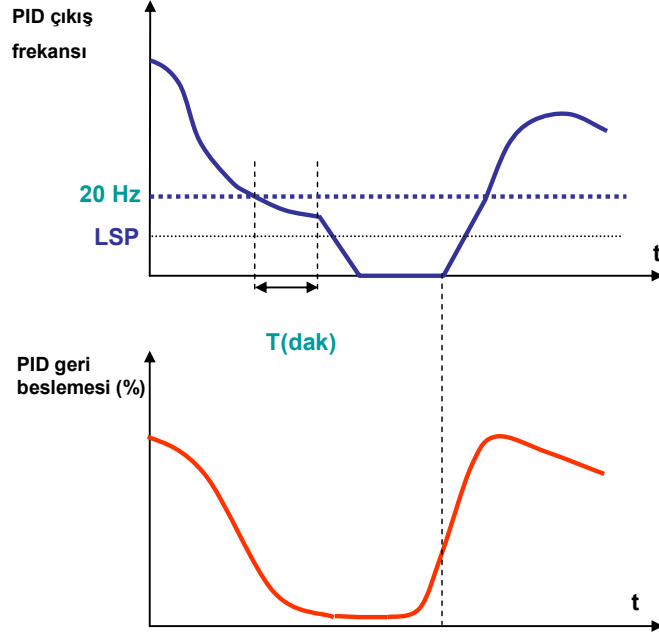
Şekil 13.7'de PID (oransal, entegral ve türev) kontrol sisteminin bazı adımları gösterilmektedir. Buna göre sistemin çalıştırılması için bir geri besleme sinyaline ihtiyaç vardır. Geri besleme sinyali 0-10V veya 4-20mA olabilir. Akım geri beslemeleri genellikle dış kaynaklı gürültülere daha dayanıklı olduğundan tercih edilmelidir. Oto/El (otomatik-elle) özelliği sayesinde hız kontrol cihazları istenen zaman süresince PID ile otomatik kontrol modunda, ancak istenirse elle sahada panodan bakım amaçlı kontrol edilebilir.



Şekil 13.7 : PID Kontrol Fonksiyonunun Değişkenleri

Bir diğer önemli konu uyku-uyanma fonksiyonudur. Bu fonksiyonun iyi kullanılmasıyla enerji tasarrufuna katkıda bulunulabilir. Örnek olarak Korteks soğutma kulelerindeki fanlar 24°C set değeri ile çalışmaktadırlar, sıcaklık sensörü istenen set değerine yaklaştığında hız kontrol cihazı PID kontrol gereği olarak motor

hızını düşürecek ve daha önceden ayarlanmış bir düşük hız değerine gelecektir. Eğer uyku/uyanma fonksiyonu çalıştırılırsa, ayarlanabilir bir süre sonunda motor ihtiyaç olmadığına durdurulabilir. Şekil 13.8’de görüldüğü gibi 20Hz değerinin altında ayarlanabilir sürede (5 dakika) çalıştığına artık kule fanlarının çalışmasına gerek olmadığından motor durdurulur. LSP(düşük hız) parametresi ise hız kontrol cihazı içinde ayarlanabilen düşük hız değerini göstermektedir.



Şekil 13.8 : Uyku – Uyanma Fonksiyonu

Korteks fabrikasında kule fanlarına yapılan revizyonu daha iyi göstermek için buradaki soğutma kule fanlarından bazı motorlar seçilmiştir. Bu motorların plaka değerleri, çalışma eğrileri ve enerji tasarruf potansiyelleri detaylı olarak verilecektir. Tablo 13.1’de görüldüğü gibi soğutma kule fan motoru 1, 2, 5, 6 ve kompresör kule fan motoru 1, 2 ve 3 sırasıyla 75kW ve 30kW gücünde üç fazlı asenkron motorlardır. Bu motorlar yıldız-üçgen olarak yol almakta olup, hız kontrol cihazı ile kontrole geçildiğinde sıcaklık sensörü (PT100, 4-20mA) entegrasyonu yapılmaktadır.

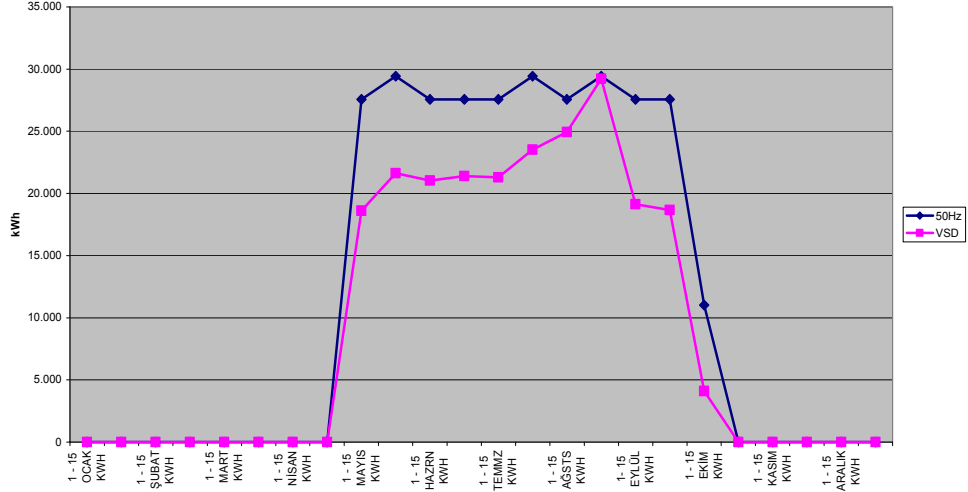
Tablo 13.1 : Soğutma Kuleleri Motor Plaka Değerleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Kontrol Yöntemi | Inverter Maaliyeti (€) | Çalışma Modu | Hz |
|--------------------------------|-----------|-----------------|------------------------|--------------------|---------------|
| 1.İŞLETME | kW | | | | |
| Soğutma kule fan motoru 1 | 75,0 | Sıcaklık | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Soğutma kule fan motoru 2 | 75,0 | Sıcaklık | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Soğutma kule fan motoru 5 | 75,0 | Sıcaklık | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Soğutma kule fan motoru 6 | 75,0 | Sıcaklık | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Kompresör kule fan 1 | 30,0 | Sıcaklık | 1.496 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Kompresör kule fan 2 | 30,0 | Sıcaklık | 1.496 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| Emergency kule fan 3 | 30,0 | Sıcaklık | 1.496 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |

Tablo 13.2 : Soğutma Kuleleri Enerji Tasarruf Değerleri

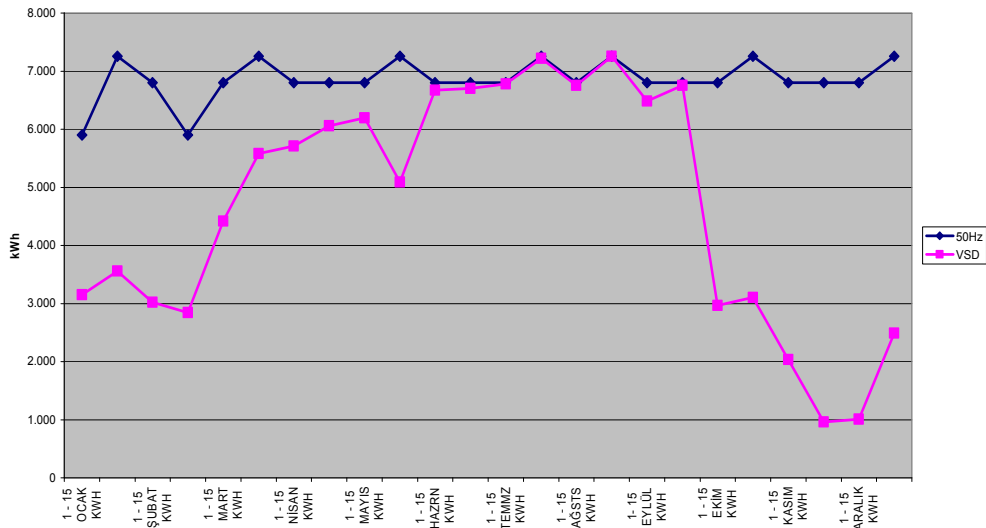
| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Aktif Güç 2007 (kW) | Tasarruf 2007 (%) | Debi (%) | OTO (Hz) |
|--------------------------------|-----------|---------------------|-------------------|----------|----------|
| 1.İŞLETME | kW | | | | |
| Soğutma kule fan motoru 1 | 75,0 | 76,60 58,57 | % 24 | % 92 | 45,8 |
| Soğutma kule fan motoru 2 | 75,0 | 76,60 54,68 | % 29 | % 89 | 44,7 |
| Soğutma kule fan motoru 5 | 75,0 | 76,60 55,12 | % 28 | % 90 | 44,9 |
| Soğutma kule fan motoru 6 | 75,0 | 76,60 52,48 | % 31 | % 88 | 44,1 |
| Kompresör kule fan 1 | 30,0 | 18,90 12,95 | % 31 | % 88 | 44,1 |
| Kompresör kule fan 2 | 30,0 | 18,90 14,36 | % 24 | % 91 | 45,7 |
| Emergency kule fan 3 | 30,0 | 28,60 24,42 | % 15 | % 95 | 47,5 |

Tablo 13.2’den görüldüğü gibi, 2007 yılı boyunca kule fan motorlarında yapılan enerji tasarrufu %20 ile %30 arasında değişmektedir. Tüm yıl boyunca okunan enerji değerlerine göre soğutma kule fan motoru-1 toplamda %24 enerji tasarrufu sağlamış, ortalama 58,57kW elektrik enerjisi tüketmiştir. Bu da yaklaşık olarak 45,8Hz ile çalışma anlamına gelmektedir. Soğutma kule fan motoru-1, Mayıs ile Ekim ayları arasında çalıştırılmıştır. Şekil 13.9’da bu motorun çalışma eğrisi görülmektedir. Mayıs başından itibaren enerji tüketmeye başlayan fan motoru, Ekim ayının ortasından sonra kullanılmamıştır. İki eğri arasındaki fark yapılan enerji tasarrufudur ve yaklaşık 68,790 kWh olarak ölçülmüştür, bu da yaklaşık 8.300 YTL (kWh birim fiyatı 2007 yılı için 0.12 YTL/kWh alınmıştır) yıllık kazanç anlamına gelmektedir. Bu motorda hız kontrol cihazı uygulamasının geri dönüşüm süresi 11,2 ay olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 13.9 : Soğutma Kule Fan Motoru1 2007 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

Kompresör kule fanları için, 1 numaralı kule fan motoru 30 kW plaka değerine sahiptir ve diğer motorun aksine tüm sene boyunca çalıştırılmaktadır. Kompresör kule fan-1 motorunda yaklaşık %31 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Şekil 13.10'da gösterilen çalışma eğrisine bakıldığında, özellikle yaz aylarında enerji tasarrufu yapılmadığı ancak kış aylarında çok yüksek bir enerji tasarruf potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır. Bu motorda yıllık enerji tasarrufu 51,384kWh; dolayısıyla 6,200 YTL olmuştur. Geri dönüşüm süresi ise tam 5 aydır.



Şekil 13.10 : Kompresör Kule Fan1 2007 Yılı Tüketim Değerleri

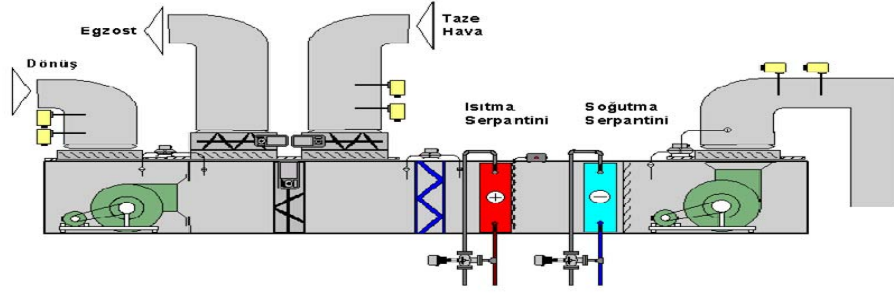
13.3.2 Tekstüre Klima Santral Fanları

Tekstüre sentetik yapılı ipliklere, doğal liflerden yapılmış olanların kıvrılma, bükülme gibi fiziksel özelliklerini kazandırmak için yapılan işleme verilen isimdir. Tekstüre işleminde birçok klima santrali kullanılır. Bunlara tekstil tesislerinde tekstüre ve büküm klima santralleri isimleri verilmektedir. Bu klima santrallerinde birçok fan bulunur ve enerji tasarruf potansiyeli oldukça yüksektir. Bu işlem sırasında $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%65\pm 5\text{Rh}$ değerlerinin tutturulması proses için önemlidir. Dolayısıyla bu koşulları tutturmak için çalışan fanların sahadan gelen sıcaklık ve nem algılayıcılarına hızlı tepki vermeleri ve enerji verimliliği içinde gerekmediği zaman hızlarının düşürülmeleri önemlidir.

Klima santrallerinin yapısı aslında binalarda kullanılan santraller ile aynı elektriksel yapıdadır. Havanın ortama basılması için bir adet üfleme (basma) fan motoru (90kW) ve havanın mahalden emilmesini sağlayan (110kW) fan motoru bulunmaktadır. Ayrıca proses tarafından talep edilen nem değerinin ayarlanması için her klima santralinde iki adet 22kW gücünde nemlendirme mevcuttur.

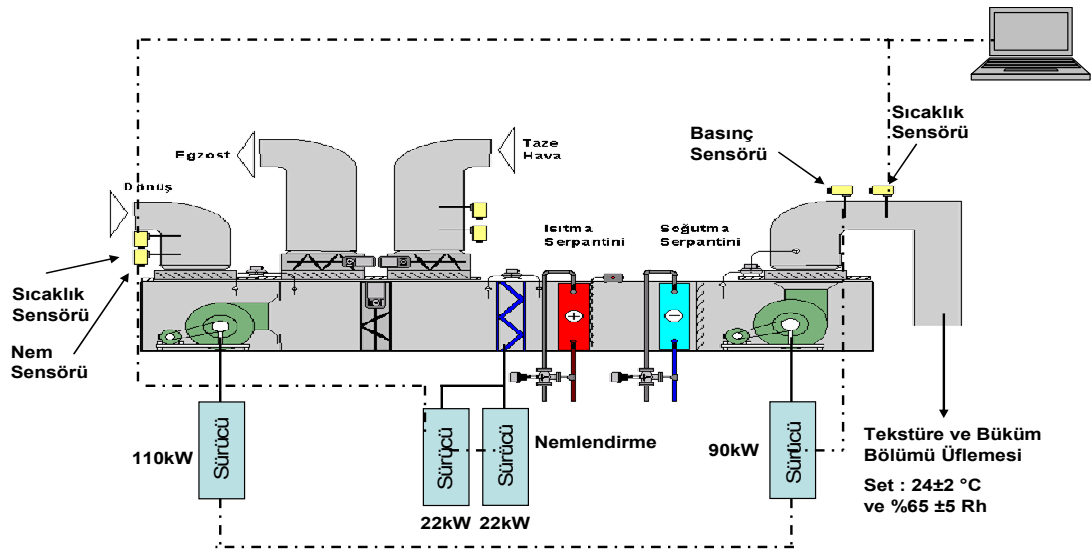
Diğer kule fanlarında olduğu gibi tüm klima santrallerindeki fan motorlarına ve nemlendirme pompalarına yıldız-üçgen yol verilmekte idi. Bu durum hem enerji tasarrufu açısından sakıncalı olmakta, hem de yaklaşık sayısı 15 adeti ve her birinin ayrı ayrı toplam güçleri yaklaşık 200kW'ı bulan santrallerin aynı anda çalıştırıldığına transformatörde ve genel elektriksel sisteminde ciddi bir yüklenme yapmakta idi. Dolayısıyla bu tip fan sistemlerinde hız kontrol cihazlarının kullanımı hem enerji tüketimi açısından önemli, hem de tesis işletimi yönünden ses, mekanik zorlanma ve transformatör ve kabloların ısınması anlamında faydalıdır.

Şekil 13.11'de örnek bir klima santralinin yapısı görülmektedir. Korteks tekstüre ve büküm klimaları da aynı yapıda olup, bu sisteme ilave olarak her santralde 2 adet nemlendirme pompası bulunmaktadır. Yine her santralde tesis ısıtma sisteminden gelen ısıtma serpantini ve çiller sisteminden gelen soğutma serpantini santraller arasında proses soğutma suyunu dolaştırmaktadır.



Şekil 13.11 : Tekstüre Klima Santrali Yapısı

Şekil 13.12’de tekstüre klima santrallerine uygulanan hız kontrol cihazları ve otomasyon sistemi bağlantıları gösterilmiştir. Buna göre üfleme tarafındaki set değerlerinin tutturulması için dönüş havasındaki sıcaklık algılayıcısı 28.5°C ’ye ayarlanmıştır, bu değere göre üfleme havasının basıncını ayarlayan otomasyon üfleme hız kontrol cihazına hız referansı yollamaktadır. Bu hız değeri daha sonra dönüş havası hız kontrol cihazı ile paralel olarak paylaşılmıştır. Dolayısıyla 2 adet hız kontrol cihazı her zaman aynı hız referansında çalışacaklardır. Aynı şekilde nem algılayıcısı nem pompalarını kontrol eden hız kontrol cihazlarında gerekli PID döngüsünü ayarlanmaktadır ve hız referansı diğer nem pompası sürücüsü ile paylaşılmaktadır.



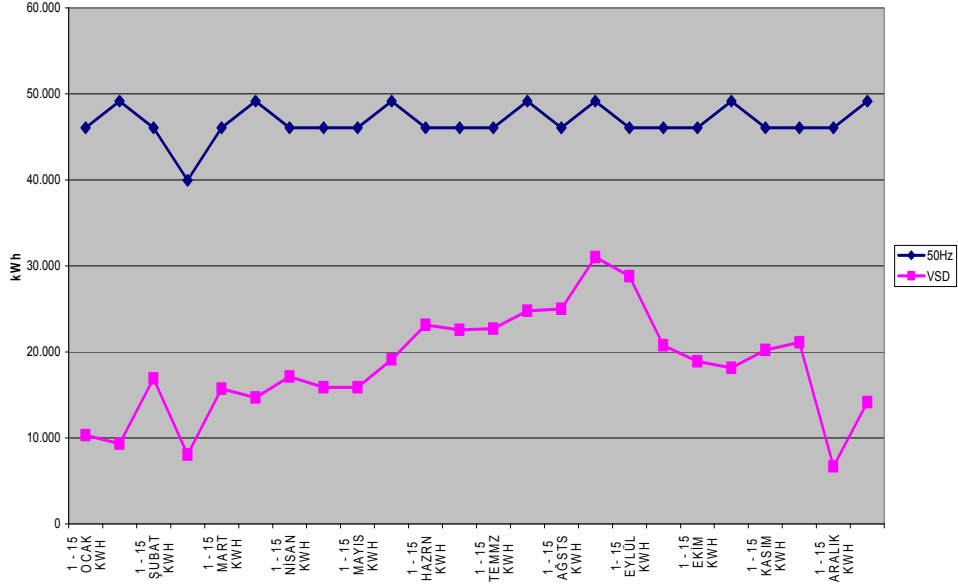
Şekil 13.12 : Tekstüre Klima Santrali Otomasyonu

Korteks iplik üretim tesisindeki klima santrallerinin elektriksel bilgileri incelendiğinde, bunların hepsinin eşit güçlerde olduğu görülmektedir. Tablo 13.3’de verildiği gibi tekstüre klimaları için plaka değeri 200kW, büküm klimaları için ise 220kW’dır.

Tablo 13.3 : Tekstüre ve Büküm Klima Santral Enerji Tasarruf Değerleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Aktif Güç 2007 (kW) | Tasarruf 2007 (%) | Debi (%) | OTO (Hz) |
|--------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1.İŞLETME | kW | | | | |
| Tekstüre Klima 1 | 200,0 | 192,00 155,04 | % 19 | % 93 | 46,6 |
| Tekstüre Klima 2 | 200,0 | 192,00 130,97 | % 32 | % 88 | 44,1 |
| Tekstüre Klima 3 | 200,0 | 192,00 167,24 | % 13 | % 96 | 47,8 |
| Tekstüre Klima 4 | 200,0 | 192,00 177,71 | % 7 | % 97 | 48,7 |
| Tekstüre Klima 5 | 200,0 | 192,00 144,65 | % 25 | % 91 | 45,5 |
| Tekstüre Klima 6 | 200,0 | 192,00 111,13 | % 42 | % 83 | 41,7 |
| Tekstüre Klima 7 | 200,0 | 192,00 69,12 | % 64 | % 71 | 35,7 |
| Tekstüre Klima 9 | 200,0 | 192,00 75,53 | % 61 | % 73 | 36,7 |
| Tekstüre Klima 10 | 200,0 | 192,00 71,39 | % 63 | % 72 | 36,1 |
| Tekstüre Klima 11 | 200,0 | 192,00 73,55 | % 62 | % 73 | 36,4 |
| Büküm Klima 2 | 220,0 | 210,00 91,86 | % 56 | % 76 | 38,1 |
| Büküm Klima 3 | 220,0 | 210,00 129,99 | % 38 | % 85 | 42,7 |
| Büküm Klima 4 | 220,0 | 210,00 165,46 | % 21 | % 92 | 46,2 |
| Büküm Klima 5 | 220,0 | 210,00 157,58 | % 25 | % 91 | 45,5 |

2007 yılı boyunca elektrik enerjisi tasarrufu bazı klimalarda %20 civarında iken, kullanıma göre bazılarında %60 seviyelerinde olabilmektedir. Tekstüre ve büküm işlemi dış koşullardan bağımsız olarak gerekli koşulların sağlanmasını gerektirdiği için tüm fan motorları bütün sene boyunca çalışmaktadır. Örnek olarak tekstüre kliması–9 incelenecek olursa, toplam enerji tasarrufu %61 olmaktadır. Şekil 13.13’deki 2007 yılına ait tüketim eğrilerine bakılırsa kış aylarında tasarruf daha yüksek iken, özellikle Haziran ayından sonra tüketim değerleri de yükselmiştir. Bu klima santrali için yıllık 680,213 kWh enerji tasarrufu, yaklaşık 82,551 YTL maliyet tasarrufu gerçekleşmiştir. Böyle bir sistemin geri dönüşüm süresi 3.2 ay olarak hesaplanmıştır. Ayrıca diğer santrallerin eğrileri de incelendiğinde geri dönüşüm süreleri 17 ayı geçmemektedir. Buradan anlaşılacağı gibi, fan motorlarında ciddi bir enerji verimliliği potansiyeli mevcuttur, bundan sonra yapılması gereken çalışma eğrilerinin dikkatle incelenerek tasarruf değerlerinin artırılmasını sağlamaktır.



Şekil 13.13 : Tekstüre Klima Santrali No:9 2007 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

13.3.3 Tekstüre Duman Emici Fanlar

Daha önceki bölümde bahsedildiği gibi tekstüre işlemindeki klima santral fanlarında yüksek bir enerji tasarruf potansiyeli görülmüştür. Tekstüre duman emici fanlar ise santral şeklinde olmayıp, tekstüre işlemindeki dumanı ortamdaki dumanı uzaklaştırmak için kullanılan tek fan sistemleridir. Korteks iplik fabrikasında sadece tekstüre bölümünde bu amaca hizmet eden 175 adet fan bulunmaktadır. Bunlardan 120 adeti 3kW, 55 adeti ise 5.5kW plaka değerine sahiptir. Endüstride genellikle 5.5kW altındaki motorlara yıldız-üçgen değil, direk yol verilmektedir. Bu yüzden hız kontrol cihazlarının kullanımı aynı zamanda kalkış akımını da ciddi oranlarda azaltmaktadır. Özellikle 175 adet motorun ilk anda başlatılırken oluşturacağı sorunlar aşılmış olacaktır.

Korteks tesisindeki 175 adet motor 24 saat, hafta sonu dahil çalıştırılmaktadır. Çalışma saatlerinin fazlalığı nedeniyle yapılacak en küçük tasarruf bile kendini çok kısa sürede geri ödeyebilecektir. Tablo 13.4'de duman emici fanlara ait bilgiler görülmektedir. Buna göre, tekstüre AFK duman emici fanlardan 120 adet, Muratec duman emici fanlardan 36 adet ve 1.İşletme duman emici fanlardan ise 19 adet bulunmaktadır.

Tablo 13.4 : Tekstüre Duman Emici Fanların Motor Plaka Değerleri

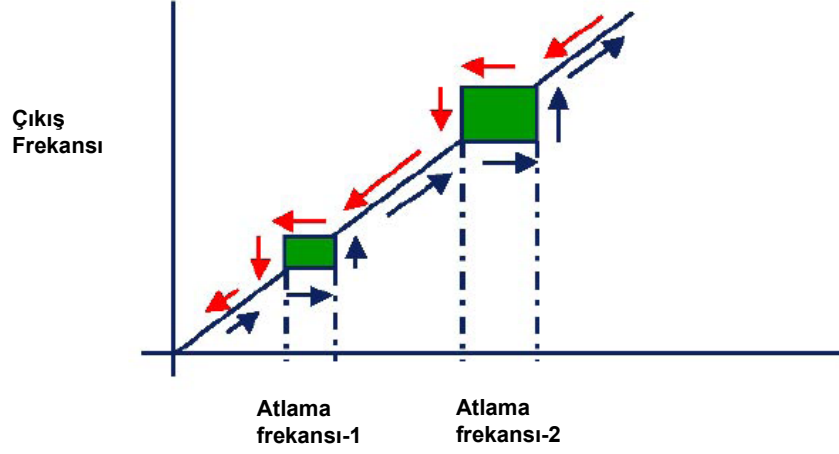
| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Kontrol Yöntemi | Inverter Maaliyeti (€) | Çalışma Modu | Hz |
|--------------------------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1.İŞLETME | kW | | | | |
| Tekstüre AFK. Duman Emici | 3,0 | 35Hz set | 57.360 € | ŞEBEKE INVERTER | 50,00 OTO. |
| Tekstüre Muratec Duman Emici | 5,5 | 35Hz set | 20.916 € | ŞEBEKE INVERTER | 50,00 OTO. |
| 1.İşletme AFK.Duman Emici | 5,5 | 35Hz set | 13.944 € | ŞEBEKE INVERTER | 50,00 OTO. |

13.3.4 Fan Sistemlerinde Enerji Verimliliği Dışında Sağlanan Faydalar

Buraya kadar fan sistemlerinde hız kontrol cihazları ile potansiyel enerji verimliliğinden bahsedilmiştir. Duman emici fanlardaki enerji verimliliğinin incelenmesinden önce bu bölümde hız kontrol cihazlarının fanlar için diğer faydalarından bahsedilecektir.

Bilindiği gibi bir asenkron motorun çektiği güç motorun hızının küpü ile çıkardığı ses de hızın beşinci katı ile orantılıdır. Dolayısıyla bir motorun hızının azaltılması bu tip tesislerde gürültü kirliliği ve işçi sağlığı açısından önemlidir. Bunun dışında hız kontrol cihazlarında sesin azaltılması için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar anahtarlama frekansının otomatik olarak modülasyonu (maksimum 16kHz) ve fanlardaki rezonansın önlenmesi için atlama frekanslarıdır.

Anahtarlama frekansı yükseldiğinde sistemin çıkardığı ses azalırken, cihazın ısınması artmaktadır. Bu yüzden hız kontrol cihazları bu ayarı otomatik olarak yapabilmekte ve prosesi durdurmadan mümkün olan maksimum ses konforunu yakalamaktadırlar. Atlama frekansları ise, her fan sisteminde olan rezonans sorununu engellemek için kullanılır. Böylece önceden tanımlanan bazı frekanslar atlanarak gürültü engellenmiş olur. Şekil 13.14'de görüldüğü gibi atlama frekansı 1 ve 2'de sistem rezonansa geleceği için önceden hız kontrol cihazına tanımlandığından hızlanırken veya yavaşlarken bu hızlar atlanır.



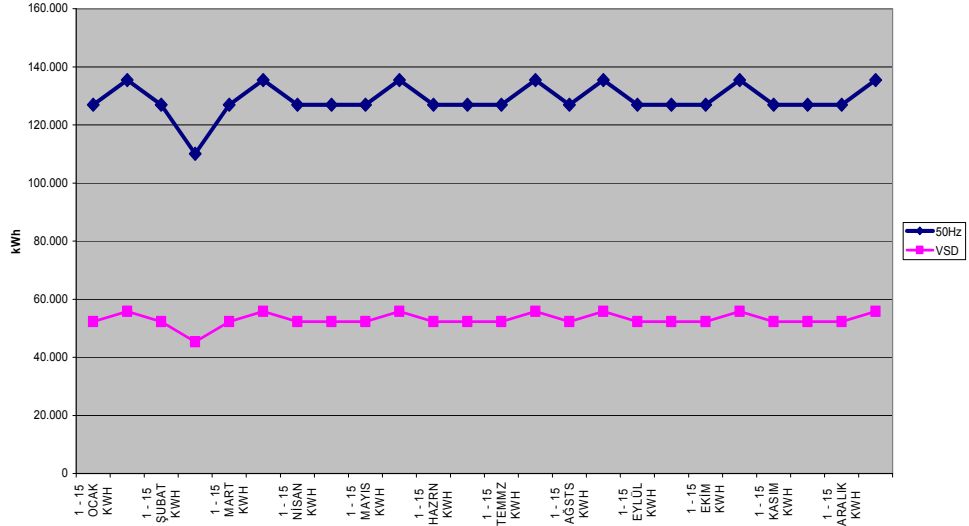
Şekil 13.14 : Atlama Frekansı Fonksiyonu

13.3.5 Duman Emici Fanlarda Enerji Verimliliği

Korteks'deki duman emici fanların hız referansı otomasyona gerek kalmadan elle cihaz üzerinden belirlenmiştir. Önemli olan tekstüre bölümünde gözle görülür dumani engellemek olduğundan yapılan çalışmalar sonucunda 35 Hz frekans elle ayarlanmıştır. Tablo 13.5'de görüldüğü gibi duman emici fanlarda ortalama %60'dan fazla elektrik enerjisi tasarrufu yapılmış olup, hesaplamalar sonucunda çıkan ortalama hız da 35Hz'e yakın olmaktadır.

Tablo 13.5 : Tekstüre Duman Emici Fanlarda Enerji Tasarruf Değerleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Aktif Güç 2007 (kW) | Tasarruf 2007 (%) | Debi (%) | OTO (Hz) |
|--------------------------------|-----------|---------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1.İŞLETME | kW | | | | |
| Tekstüre AFK. Duman Emici | 3,0 | 2,94 1,21 | % 59 | % 75 | 37,3 |
| Tekstüre Muratec Duman Emici | 5,5 | 4,48 1,38 | % 69 | % 68 | 33,9 |
| 1.İşletme AFK.Duman Emici | 5,5 | 4,24 1,50 | % 65 | % 71 | 35,5 |



Şekil 13.15 : Duman Emici Fanlarda Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

Sistemdeki tüm fanlar 35 Hz'e ayarlandığından hız kontrol cihazı ile tüketim düz bir çizgiye yakın olarak ölçülmüştür, bu durum Şekil 13.15'de görülmektedir. Bu şekilde tekstüre duman emici fanlar 2007 yılı içinde 1,818,576 kWh tasarruf, Muratec duman emici fanlar 977,616 kWh ve 1.İşletme duman emici fanlar ise 304,403 kWh tasarruf sağlamışlardır. Tüm duman emici fanların 2007 yılı içinde sağladığı tasarrufun parasal karşılığı ise 376,291 YTL olmuştur. Böylece sırasıyla üç fan gurubunda yapılan yatırımların geri dönüşüm süreleri 5.5 ay, 3.7 ay ve 7.9 ay olmuştur. Tablo 13.6'da duman emici fanlar ile ilgili yıllık kazanç bilgileri görülmektedir.

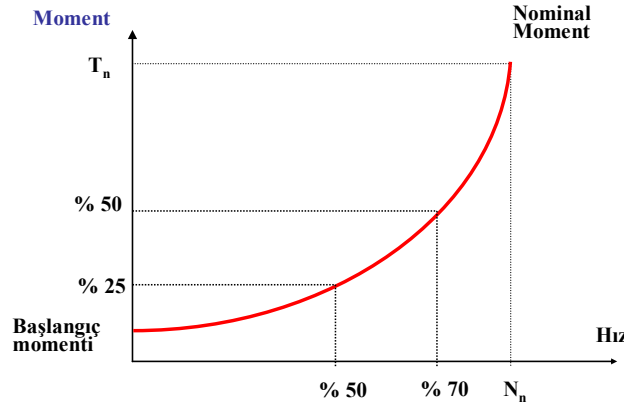
Tablo 13.6 : Tekstüre Duman Emici Fanlarda Geri Ödeme Süreleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Yıllık Kazanç (kWh) | Yıllık Kazanç (YTL) | Yıllık Kazanç (€) | Basit Geri Dönüşüm Süresi (Ay) |
|--------------------------------|-----|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|
| Tekstüre AFK. Duman Emici | 3,0 | 1.818.576 | 220.704 YTL | 126.117 € | 5,5 |
| Tekstüre Muratec Duman Emici | 5,5 | 977.616 | 118.644 YTL | 67.797 € | 3,7 |
| 1.İşletme AFK.Duman Emici | 5,5 | 304.403 | 36.943 YTL | 21.110 € | 7,9 |

13.3.6 Pompalarda Hız Kontrol Cihazlarının Kullanımı

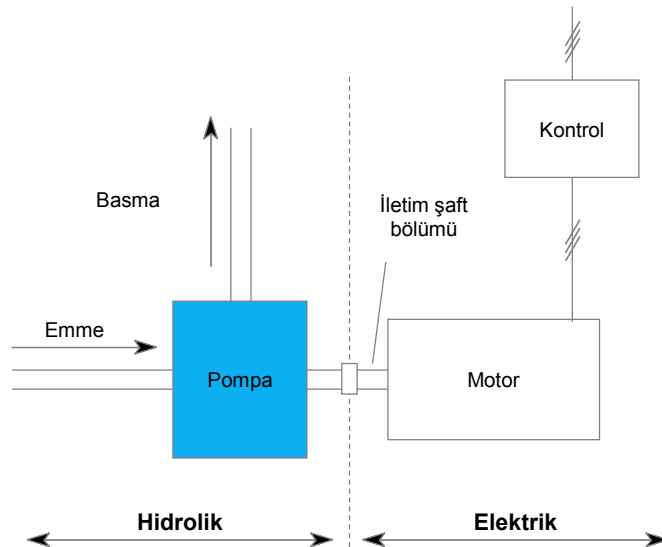
Pompalarda hız kontrol cihazları ile enerji verimliliği, temelinde fan sistemlerinde yapılan enerji verimliliği ile paralellik gösterir. Bu bölüme kadar soğutma kule fanlarında, tekstüre ve büküm klima santral fanlarında ve duman emici fanlarda enerji verimliliği konuları incelenmiştir. Şimdi ise pompalarda hız kontrol cihazlarının kullanımı ve enerji verimliliğine olan etkileri incelenecektir.

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 ($T=k.n^2$). Şekil 13.16'da görüldüğü gibi 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.



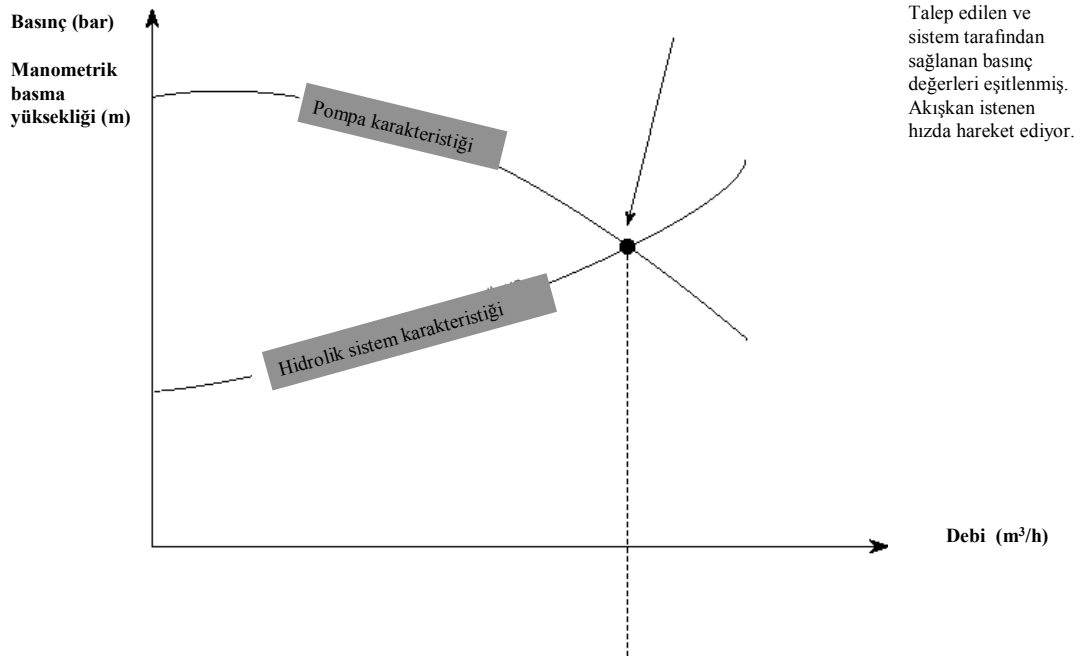
Şekil 13.16 : Pompalarda Hız, Tork Grafiği

Pompaların çalışma prensipleri incelendiğinde iki ana bölüm olduğu görülmektedir. Şekil 13.17'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 13.17 : Pompa Sistemlerinin Yapısı

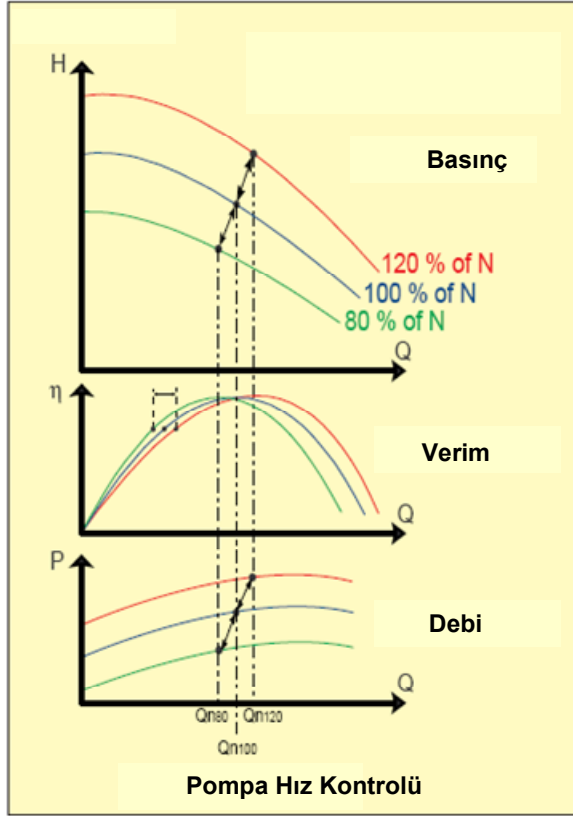
Hız kontrol cihazları kullanıldığında, pompaların çalışma eğrisi bilinmesi gereken diğer önemli noktalardan biridir. Her pompanın bir çalışma karakteristiği bulunur. Bu karakteristikte bir eksen akışı, debi olarak ifade ederken; diğer eksen manometrik basma yüksekliği veya basınç değerini vermektedir. Bu karakteristik eğride debi (Q) m³/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 13.18’de bir pompaya ait çalışma eğrisi örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 13.18 : Pompalarda Çalışma Noktasının Belirlenmesi

Yukarıda bahsedildiği gibi, 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 13.19’da 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.



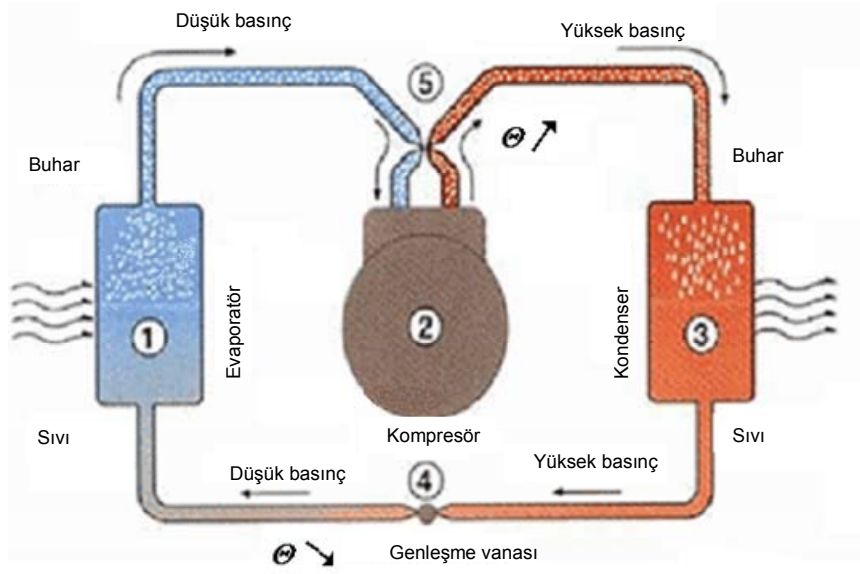
Şekil 13.19 : Pompalarda Basınç, Verim ve Debi Eğrileri

13.3.7 Kondenser ve Evaporatör Sirkülasyon Pompaları

Bir önceki bölümde pompalarda hız kontrol cihazlarının kullanımından bahsedildikten sonra, bu bölümde Korteks tesisindeki kondenser ve evaporatör sirkülasyon pompalarındaki hız kontrol cihazları ile yapılan uygulamalar detaylandırılacaktır. Kondenser ve evaporatör pompaları soğutma devrelerindeki soğuk suyu üreten cihazların bir parçasıdır. Soğuk su üreten sistemler temel olarak hava soğutmalı ve su soğutmalı sistemler olarak iki tiptir; Su soğutmalı sistemler bir soğutma kulesine ihtiyaç duyarlar, fakat daha yüksek enerji verimlidirler. Böyle bir sistemin yapısı incelendiğinde farklı bölümlerden oluştuğu görülür. Bunlar hız kontrol cihazları ile yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip uygulamalardır.

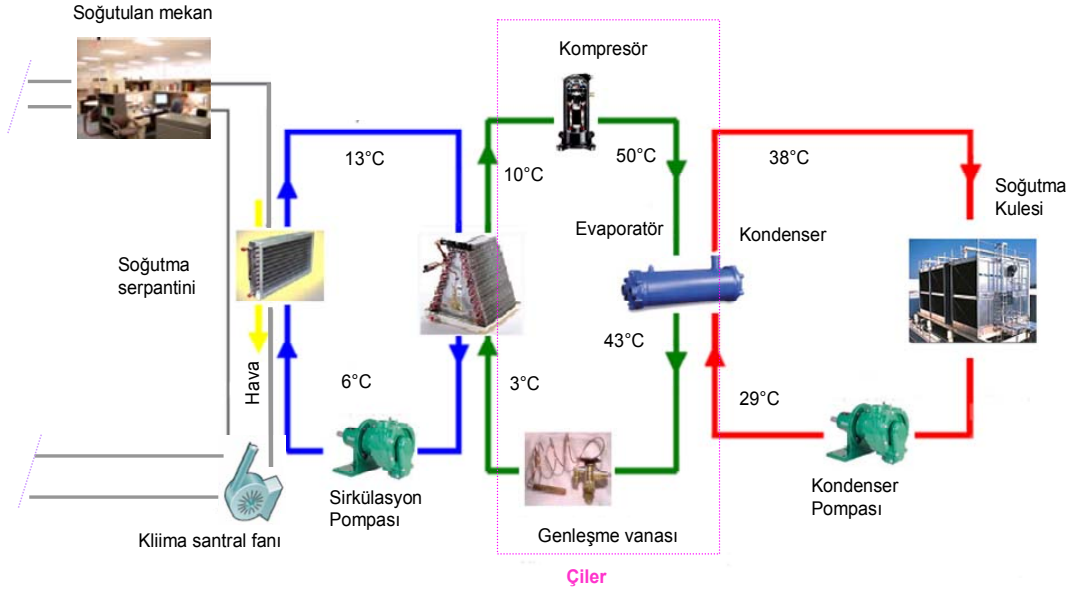
Soğutma çevrimi kısaca hatırlanacak olursa, Şekil 13.20'de görüldüğü gibi, sistemden alınan ısı enerjisi evaporatörde sıvıyı buhara haline dönüştürür, ısı artınca evaporatördeki buharın basıncı düşer ve kompresörde basıncı yükseltilecek

kondenser ünitesinde ısı enerjisi dışarı verilir. Dışarı verilen bu enerji daha sonra su soğutmalı sistemlerde soğutma kulelerinde atmosfere atılır.



Şekil 13.20 : Soğutma Çevriminin Yapısı

Soğutma çevrimi incelendikten sonra su soğutmalı sistemlerdeki yapı kolayca anlaşılabilir. Soğuk su üreten sistemlerdeki bu yapı sayesinde Korteks tesisinde değişik işlemler boyunca talep edilen soğutma suyu sağlanır. Kondenser pompaları kuleye kadar ısıyı atmosfere atılacak sıvının taşınmasında kullanılır. Aynı şekilde evaporatör pompaları ise çiller (soğutma grubu) içindeki akışkanın transferinde kullanılır. Şekil 13.20’de bir mekanın soğutulması veya havanın koşullandırılması için kullanılan çevrim görülmektedir. Aynı çevrim tekstüre klima santrallerinde de kullanılmaktadır. Şekil 13.21’de görülen soğutma serpantinini tekstüre klima santralinin üfleme fanı olarak düşünürsek, ortamdan alınan ısı enerjisi ilk olarak sirkülasyon pompası ile çillere, daha sonra çillerden kondenser pompaları ile soğutma kulesine kadar taşınır.



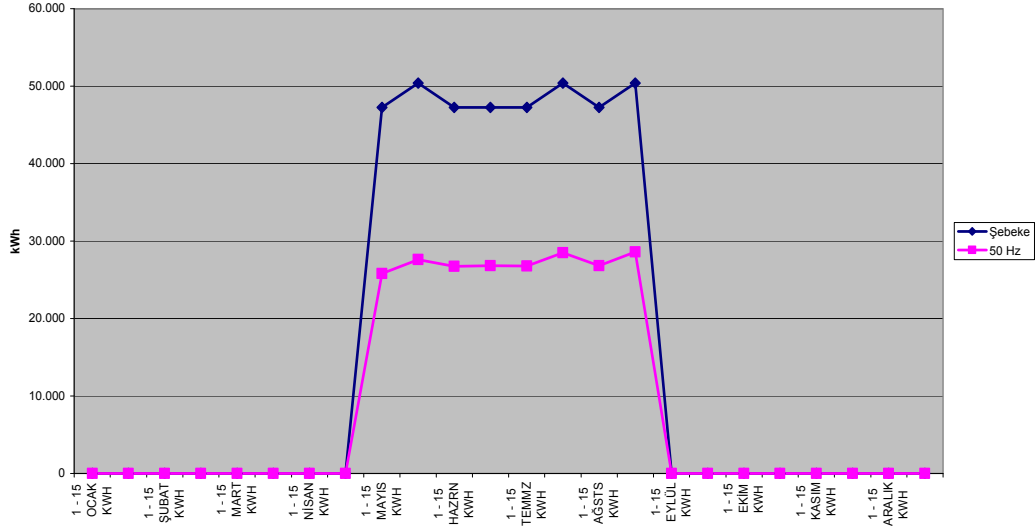
Şekil 13.21 : Tüm Soğutma Çevriminin Bileşenleri

Korteks yardımcı işletmelerdeki bu pompalara hız kontrol cihaz uygulaması yapılmıştır. Uygulama öncesinde sabit hızla çalışan bu pompalardan evaporatör pompaları sabit 6.5-6.6 bar basınç üretirken, kondenser pompaları ise sabit 3.5–2.6 bar referans değerinde çalışmaktaydı. Hız kontrol uygulaması yapılan pompalar; soğutma kondens-1, soğutma evaporatör-1, soğutma kondens-3 ve soğutma evaporatör-3 pompalarıdır. Tablo 13.7’de görüldüğü gibi bu pompalar yüksek güçlü ve yüksek enerji tasarruf potansiyellidir. Bu sistemdeki pompalarda yapılan PID kontrol yöntemi ile bir basınç algılayıcı kullanılarak hız kontrol cihazı içerisinde dahili olarak PID kontrolü yapılmıştır.

Tablo 13.7 : Yardımcı İşletmelerdeki Pompaların Motor Plaka Değerleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Kontrol Yöntemi | Inverter Maaliyeti (€) | Çalışma Modu | Hız |
|--------------------------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1.İŞLETME | | | | | |
| | kW | | | | |
| SOĞUTMA KONDENS1 | 75,0 | Basınç | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| SOĞUTMA EVAPARATOR1 | 132,0 | Basınç | 9.357 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| SOĞUTMA KONDENS 3 | 75,0 | Basınç | 4.467 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |
| SOĞUTMA EVAPARATOR3 | 132,0 | Basınç | 9.357 € | ŞEBEKE İNVERTER | 50,00 OTO. |

Örnek olarak soğutma evaporatör 3 nolu pompayı incelersek, diğer yardımcı işletmeler pompaları gibi tüm yıl çalıştırılmadıkları görülür. Özellikle Mayıs başından Eylül ayı sonuna kadar Korteks tesisinde soğutma ihtiyacı olmuştur. Şekil 13.22’de evaporatör 3 nolu pompaya için 2007 yılına ait elektrik enerjisi tüketimi görülmektedir.



Şekil 13.22 : Evaporatör 3 Nolu Pompa Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

Tablo 13.8’de yardımcı işletmelerdeki pompalardaki 2007 yılında yapılan enerji tasarrufu görülmektedir. Bu motorlardan soğutma kondens ve evaporatör 1 nolu pompa sadece 1 ay, 3 nolu pompalar ise şekilde görüldüğü gibi 5 ay çalıştırılmıştır. Buna göre pompaların geri ödeme süreleri sırasıyla 381 (sadece 1 ay çalışma süresi), 32, 14 ve 9 ay olmaktadır.

Tablo 13.8 : Yardımcı İşletmelerdeki Pompaların Enerji Tasarruf Değerleri

| Motor İsim ve Plaka Güç Değeri | | Aktif Güç 2007 (kW) | Tasarruf 2007 (%) | Debi (%) | OTO (Hz) |
|--------------------------------|-----------|------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1.İŞLETME | | | | | |
| | kW | | | | |
| SOĞUTMA KONDENS1 | 75,0 | 47,75 45,03 | % 6 | % 98 | 49,0 |
| SOĞUTMA EVAPARATOR1 | 132,0 | 119,30 51,91 | % 56 | % 76 | 38,0 |
| SOĞUTMA KONDENS 3 | 75,0 | 65,05 46,60 | % 28 | % 90 | 44,8 |
| SOĞUTMA EVAPARATOR3 | 132,0 | 131,30 73,73 | % 44 | % 83 | 41,3 |

13.3.8 Pompalarda Hız Kontrol Cihazlarının Diğer Faydaları

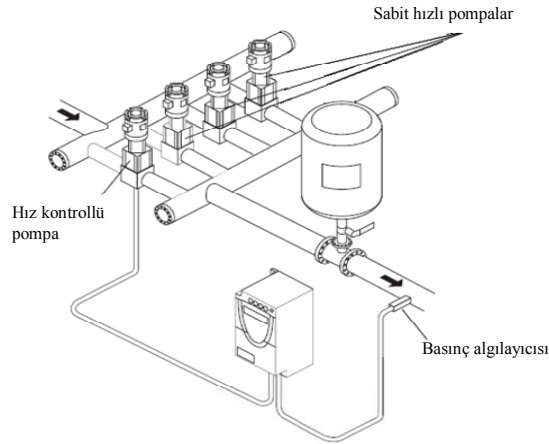
Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi pompa motorlarında da hız kontrol cihazları ile yüksek enerji verimlilik potansiyeli bulunmaktadır. Ancak bu cihazların kullanımı ile pompa sistemlerinde daha birçok fayda elde edilebilir:

- Paralel pompa uygulaması ile birden fazla pompanın tek bir hız kontrol cihazı ile kontrol edilmesi,
- Hız kontrol cihazı ile seviye kontrolünün yapılması,

- Tank duvarındaki sedimantasyonun önlenmesi,
- Borulama sistemlerindeki tıkanıklıkları engellenmesi,
- Eşit yaşlanma fonksiyonu,
- Uyku modu.

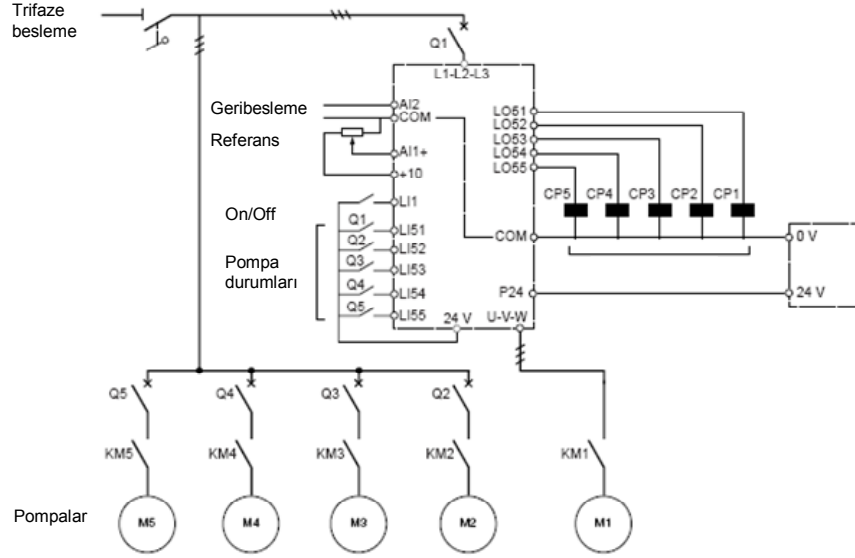
13.3.8.1 Paralel Pompa Uygulamaları

Birden fazla pompanın kontrolü gerektiğinde iki ana yöntem vardır. Birincisi her pompaya bir hız kontrol cihazı bağlamak, diğeri bir hız kontrol cihazı ile birden fazla pompanın kontrolünü sağlamak. Birinci yöntem daha avantajlı olmasına rağmen, özellikle hidrofor sistemlerinde veya ortak kollektöre akış yapan pompa sistemlerinde ikincisi daha ekonomik olabilmektedir. Şekil 13.23’de görüldüğü gibi, bir adet pompa hız kontrol cihazı ile kontrol edilmekte, diğer pompalar on/off, sabit hızla gerektiğinde hız kontrol cihazı tarafından anahtarlanmaktadır. Bu yapıda bir basınç algılayıcısından alınan bilgi birden fazla pompanın kontrolünde kullanılmaktadır.



Şekil 13.23 : Çoklu Pompa Uygulaması

Şekil 13.24’de paralel pompa sistemlerinde klasik elektriksel bağlantı şeması görülmektedir. Buna göre M1 pompası hız kontrol cihazı tarafından kontrol edilmektedir. Diğer M2, M3, M4 ve M5 pompaları ise geri besleme sinyali ve referans arasındaki farka göre otomatik olarak devreye alınmaktadırlar.



Şekil 13.24 : Çoklu Pompa Elektriksel Şeması

13.3.8.2 Seviye Kontrolü

Birçok pompa uygulamasında, su seviyesi kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Tipik bir seviye kontrol döngüsünde tankın seviyesi, pompa boşaltma vanasının kontrolü ile sağlanır. Pompa tarafından sağlanan akış, kapasitenin %25 ile %75'i arasında olacaktır. Pompa tarafından üretilen hidrolik enerjinin önemli bir kısmı, seviye tankını ayarlamak için kontrol edilen vanada boşuna harcanır.

Ayrıca pompanın boyutlandırılması, vananın maksimum akış pozisyonundaki basınç düşümünü karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Sürücü, bu döngü içinde pompayı sadece istenen miktar kadar sıvının deşarj edilmesi için gereken hidrolik enerjiyi üretmek üzere kontrol eder. Bu yaklaşım pompa bakım gereksinimlerini azaltırken, enerji maliyetlerini düşürür. Kontrol vanasının ve by-pass hattının sistemden çıkması, bunlara bağlı olarak enerji kayıplarının ortadan kalkmasıyla işletme ve bakım maliyetlerinin azalması sistemdeki net sonucu oluşturur.

13.3.8.3 Tank Duvarındaki Sedimentasyonun Önlenmesi

Birçok pompa uygulamasında sıvının depolanması için bir tank mevcuttur. Partiküller içeren sıvılarda tankın boşaltılması için sabit seviyeler kullanıldığında, duvarda sedimentasyon oluşumu genel bir problemdir. Hız kontrol cihazları özel yazılımlarla belirli sınırlar arasında yüzey seviyesini rasgele değiştirerek, duvardaki sedimentasyon oluşumunu engeller. Bu sayede tanklar, elle temizlenmeye daha uzun

zaman aralıklarında ihtiyaç duyabilirler. Temizlik için gereksiz duruşların ortadan kaldırılması çalışma zamanının maksimum seviyede kullanılmasını sağlar.

13.3.8.4 Borulama Sistemlerindeki Tıkanıklıkları Engelleme

Akışkan sıvılar katı parçacıklar içerdiğinde, yukarıda belirtildiği gibi tankı etkiler. Parçacıklar aynı zamanda boru hatlarında tıkanıklığa sebep olarak, kapasite problemlerine ve plansız bakım duruşlarına neden olur. Bu problemler sıvı ve parçacıkların hızlıca ayrıştırılması ile giderilebilir. Pompa üreticileri, özellikle düşük akış hızları ve pompayı kapatırken çok ağır kontrol yöntemlerinden kaçınmayı önerirler. Hız kontrol cihazları ile yapılan uygulamalar sayesinde bütün pompa hızları uygulanabilir, bu durumlarda hızdaki değişimler düzgündür. Bu katmanlar arasındaki ve başlangıçtaki ani değişimler, borularda ve pompanın kendisinde güçlü bir sıkışmaya sebep olarak pompa ve boruların temiz kalmasını sağlar.

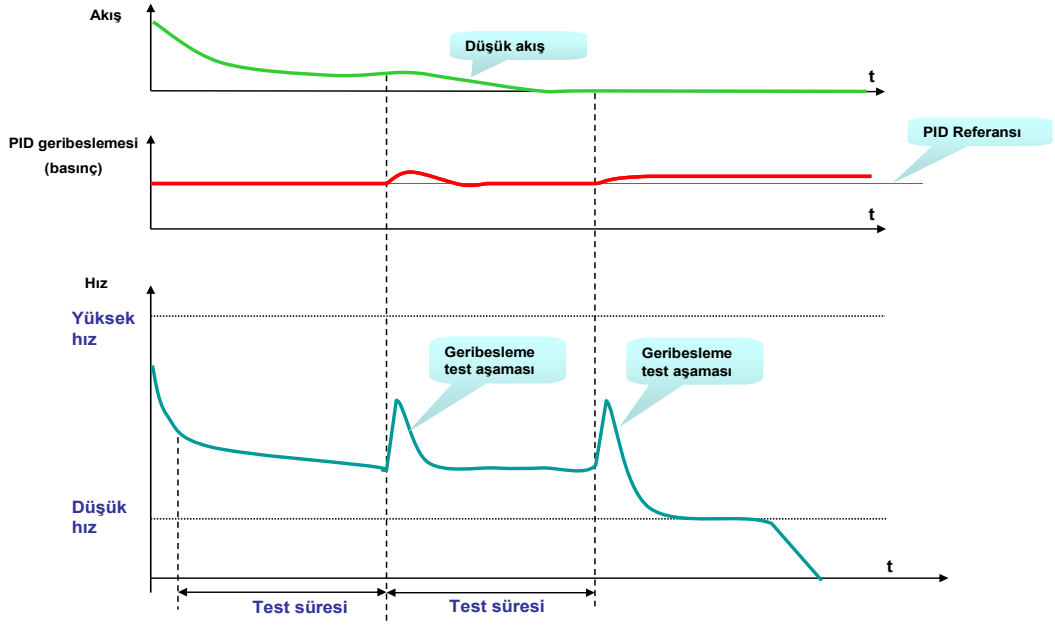
13.3.8.5 Eşit Yaşlanma Fonksiyonu

Pompa sistemlerinde birden fazla pompanın kontrolü yapıldığında her pompanın ihtiyaç olduğunda çalışabilmesi istenir. Diğer bir deyişle sistemde az çalışan motorlar ihtiyaç olduğunda çalışmayabilir. Bu yüzden özellikle hayati önem taşıyan pompalarda tüm motorların aynı çalışma saatinde olması istenir. Hız kontrol cihazları bu değerleri hesaplayarak tüm pompaların aynı çalışma saatinde çalışmasını sağlayarak, eşit yaşlanma gerçekleştirebilirler.

13.3.8.6 Uyku Modu

Uyku modu özellikle pompalar belirli bir hızın altında çalıştırıldığında kullanılır. Mekanik sistemlerin gereği olan pompalar belirli hızların altında akış üretemezler ve kendi soğutma sistemleri de içlerinden geçen akışkanla yapıldığından pompanın fazla ısınması gibi sorunlar meydana gelebilir. Uyku modu sayesinde hız kontrol cihazları akış azaldığı, motor hızının ayarlanabilir bir seviyenin altına indiği zamanlarda geri besleme sinyalini kontrol eder. Hızın artırılması geri besleme sinyalinde değişiklik yaratıyorsa, sistemde akış vardır. Tersine motor hızı arttırıldığında geri besleme sinyali değişmiyorsa, sistemde akış olmamaktadır. Böyle durumlarda motorun hemen durdurulması gerekir, buna uyku modu denir. Şekil 13.25'de görüldüğü gibi akış azaldığında motor hızı da azalmaktadır. Bu durumda hız kontrol cihazı belirli bir

hızın altına inildiğinde yukarıda bahsedildiği gibi, motor hızını artırıp veya azaltarak geri besleme sinyalini test eder.



Şekil 13.25 : Uyku – Uyanma Modu Uygulaması

14. SONUÇ

Stratejik bir alan olan enerji sektöründe konulara stratejik bir bakış açısıyla yaklaşılması zorunludur. Enerji sektöründe sadece tahmini talebi karşılamaya yönelik biçimde oluşturulacak enerji stratejilerinin hem yetersiz kalacağı, hem de dünyadaki yaygın eğilimlerle uyumlu olmayacağı bilinmektedir. Bundan dolayı tüketime arz edilen enerjinin verimli kullanılması ve genel enerji tüketiminin konforu ve üretimde kaliteyi etkilemeden düşürülmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'nin birincil enerji kaynakları açısından büyük oranda dışa bağımlı olduğu, bunun ilerleyen yıllar içinde artacağına öngörüldüğü de düşünülürse, hem sanayi üretiminin kullandığı, hem de konutlarda ve ticari binalarda tüketilen enerjinin verimli kullanılma ihtiyacı daha da önemli hale gelmektedir.

Enerjinin verimli kullanımının çok konuşulduğu ve öneminin gittikçe arttığı günümüzde, Türkiye'de enerjinin verimli kullanımıyla ilgili göstergelere bakıldığında, ülkemizin dünya ortalamasından bile geride ve enerji yoğunluğunun çok yüksek değerlerde olduğu göze çarpmaktadır. Kısacası ülkemizin bir birim katma değer üretmek için dünyadaki pek çok ülkeye göre yüksek düzeyde enerji harcadığı bilinmektedir. Uluslararası pazarda rekabet etme kaygısı içinde olan Türkiye'deki sanayi sektörünün de enerjiyi yeterince verimli kullanmadığı istatistik verilerden anlaşılmaktadır.

Sanayinin ülkemizde milli gelire katkısının %20 civarında olduğu ve elektrik tüketimimizin yaklaşık %40'ının sanayi sektörü tarafından harcandığı dikkate alındığında, sanayi sektörü enerjinin verimli kullanımı adına kesinlikle projeler geliştirilmesi ve insanların bilinçlendirilmesi gereken bir kullanıcı grubudur. Bu çalışma kapsamında öne çıkarılan tekstil sektöründe olduğu gibi, diğer tüm sanayi dallarında da elektrik enerjisinin tüketimi, maliyeti, spesifik enerji tüketimi ve sanayi üretimi arasındaki ilişkiler önemli olup, bunların iyi anlaşılması endüstriyel

tesislerimizin hatta tüm Türkiye'nin genel enerji verimliliği için hayati önem taşımaktadır.

Tekstil sektöründe enerjinin verimli kullanımı amaçlı birçok potansiyel verimlilik çalışması bulunmaktadır. Bunlar arasında atık ısının ve atık suyun enerjisinin geri kazanılması, kaçaklar ve yetersiz bakım yüzünden kaynaklanan enerji kayıplarının önlenmesi, makinelerde ve iletim sistemlerindeki yalıtım sorunlarının çözülmesi, kazan yalıtımı ve yakma karışımının en verimli şekilde yapılması sayılabilir.

Tüm bu önlemlerin dışında elektrik enerjisinin verimli kullanımı için, özellikle elektrik enerjisinin %75'inden fazlasını tüketen elektrik motor sistemlerinin verimli çalıştırılması çok önemlidir. Bakım sorunları, büyük boyutlandırma, yanlış kontrol yöntemleri, gereksiz yere çalıştırma gibi sıkıntılar yüzünden elektrik motorları çoğu zaman %50 verimin altında çalışmak zorunda kalmaktadır ve bu yüzden gereksiz yere enerji tüketimleri söz konusudur. Yine bu çalışma kapsamında motor sistemlerinin verimli hale getirilmesi için birçok potansiyel yöntem açıklanmıştır. Bu yöntemler arasında yüksek verimli motorlar detaylı olarak açıklanmış ve enerji verimliliğine etkisi belirtilmiştir. EU-15 ülkelerinde yüksek verimli motorlar ile toplam tasarruf potansiyeli 24 milyar kWh/yıl değerlerine ulaşabilmektedir. Bunun dışında projelendirme veya kullanım sırasında oluşabilecek yüksek motor boyutlandırma sorunu endüstride sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu gibi durumlarda motorun daha düşük güçlü ile değiştirilmesi her zaman göz önünde bulundurulması gereken bir tasarruf potansiyelidir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile elektrik motorlarında elektronik yol verme sistemlerinin gelişmesi ve üretim işlemlerinde motorların her zaman maksimum yükte çalışması gerekmediğinden hız kontrol cihazları ile sağlanabilecek enerji verimliliği önemli bir verimlilik olasılığı olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışma kapsamında da görüldüğü gibi, hız kontrol cihazları ile yapılabilecek tasarrufun boyutu çok yüksektir ve genellikle 3 – 12 ay arasındadır. Bu kısa geri ödeme süreleri özellikle değişken torklu yüklerde (pompa ve fan sistemleri) elde edilmektedir. Temel olarak hız kontrol cihazları ile bir motorun çalışma hızı %10 azaltılırsa, elde edilen tasarrufun boyutu yaklaşık %30 mertebelerinde olmaktadır. EU-15 ülkelerinde hız kontrol cihazları ile tahmini tasarrufun boyutu yıllık 45 milyar

kWh/yıl olmaktadır. Ülkemizde kullanılan motorların sadece %10'unda hız kontrol cihazları kullanılmaktadır, ancak bu değer enerji yoğunluğu en düşük olan Japonya'da %90 seviyelerindedir.

Sonuç olarak, ülkemizde öncelikli olarak sanayide, ama beraberinde konutlarda ve ticari binalarda da enerji verimliliğinden bahsedildiğinde herkese görev düşmektedir. Alınması önerilen önlemler doğrultusunda diğer alanlarda da benzer tasarrufların yapılmasıyla, Türkiye'nin her yıl hızla artan, yaklaşık %6.5 elektrik enerjisi talebinin kısmen de olsa yavaşlatılması ve hem elektrik, hem de diğer enerji kaynakları için yurtdışına aktarılan dövizin azaltılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **TC Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı**, 2007. Ekonomik göstergeler, <http://www.hazine.gov.tr/stat/e-gosterge.htm>
- [2] **İhracat Genel Müdürlüğü**, 2006. 2006 yılı Ocak-Aralık dönemi ihracatının genel ve sektörel değerlendirilmesi.
- [3] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2007. Enerji tüketim ve üretim değerleri, <http://www.enerji.gov.tr>
- [4] **World Energy Council**, 2007. Survey of energy resources 2007, http://www.governo.it/governoinforma/dossier/energia_congresso_mondiale/ser2007.pdf
- [5] **İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü**, Nisan 2007. Türkiye’de enerji ve geleceği, İTÜ Görüşü, <http://www.energy.itu.edu.tr/iTUOnerileri.pdf>
- [6] **International Energy Agency (IEA)**, 2006. IEA 2005–2006 Forecasts, <http://www.iea.org>
- [7] **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Federal Institute for Geosciences and Natural Resources**, 2006. World Natural Resources Survey, 2006.
- [8] **BP**, 2007. BP Statistical Review of World Energy June 2007, http://www.agric.wa.gov.au/pls/portal30/docs/FOLDER/IKMP/SUST/BIOFUEL/190707_STATSREVIEW07PERTH.PDF
- [9] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)**, 2007. Hidroelektrik Santral Projeleri (HES), Şubat 2007, http://www.eie.gov.tr/turkce/HESproje/HES_index.html
- [10] **Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)**, 2005. Dünyada ve Türkiye’de enerji verimliliği ve Türk sanayinde enerji verimliliğinin incelenmesi.
- [11] **International Energy Agency (IEA)**, 2007. Key world energy statistics, 2007, http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf
- [12] **International Energy Agency (IEA)**, 2005. Energy Policy of IEA countries, Turkey 2005 Review, <http://www.invest.gov.tr/documents/publications/turkey2005.pdf>
- [13] **Türkiye Elektrik İletim AŞ Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı**, 2007. Türkiye elektrik enerjisi 10 yıllık üretim kapasite projeksiyonu (2007–2016), <http://www.riskcenter.com.tr/enerjirisk/enerjifiles/kapasite.pdf>

- [14] **Devlet İstatistik Kurumu (TUIK)**, 2007. 2006 yılı kullanım alanlarına göre elektrik istatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr>
- [15] **Tesisat Dergisi**, 2008. Çeşitli yakıtların maliyet karşılaştırma tablosu, <http://www.tesisat.com.tr>
- [16] **Tübitak**, Tekstil Paneli, <http://www.tekstilbilgi.com>
- [17] **Tekstil Bilgi**, 2001. Tekstil sektörüne genel bakış fırsatlar ve tehditler.
- [18] **Maliye Bakanlığı**, 2005. Yıllık ekonomik rapor, Ekim 2005.
- [19] **Rieter**, Textile systems web site, <http://www.rieter.com/main/textile>
- [20] **Mensa Tekstil**, 2001. Staj raporu, <http://www.iyidev.com/Odevincele.Asp?ID=14456>
- [21] **E-Textile Toolbox**, European Commissions Europe Aid ASI@ITC programı.
- [22] **L. Capehart, C. Turner, Wayne**, 2004, Guide to energy management, fourth edition, The Fairmont Press, Inc.
- [23] **Öztürk, Harun Kemal**, 2005, Energy usage and cost in textile, Energy 30 (2005), sayfa: 2424–2446, Elsevier
- [24] **Energy efficient motor systems**, 2001. Natural Resources Canada, CIPEC, http://www.oeo.nrcan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/motor_system
- [25] **Intelligent Energy Europe**, 2006. EMS textile energy management manual, Mayıs 2006, <http://www.ems-textile.net>
- [26] **Electa**, Katholieke Universiteit Leuven. Dept. Electrical Engineering (ESAT), Div. ELECTA, <http://www.esat.kuleuven.ac.be/electa>
- [27] **B. Slaets, P. Van Roy, R. Belmans, K. Hameyer**, Energy Efficiency of Induction Machines, <http://www.esat.kuleuven.ac.be/elen/elen.html>
- [28] **Leonardo Energy**, Global Community for Sustainable Energy Professionals, Energy Efficient Motor Driven Systems, <http://www.leonardo-energy.org>
- [29] **Dr. -Ing. Martin Doppelbauer**, Saving Energy and costs in electrical drive systems, SEW Eurodrive.
- [30] **Energy Efficiency Planning and Management**, 2002. Natural Resources Canada, CIPEC (Canadian Industry Program for Energy Conversion)
- [31] **IEC/EN 61000-6-1**, Elektromagnetik uyumluluk (Electromagnetic compatability, EMC) Standartları.
- [32] **Institute of Systems and Robotics**, University of Coimbra, Portugal. EcoDesign of Electrical Motors. China, Beijing, 10-13 June 2007

ÖZGEÇMİŞ

Evren Önöz, 20 Eylül 1980 tarihinde doğmuştur. İlköğretimini Şişli Terakki İlkokulunda tamamladıktan sonra, 1991 yılında Moda'da Saint-Joseph Fransız Lisesinde öğrenimine devam etmiştir. 2 sene hazırlık ve 6 sene lise eğitimi sonunda, 1999 yılında başarılı bir şekilde mezun olarak, İTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliğini kazanmıştır. Birinci sene sonunda İTÜ Elektrik Mühendisliğine geçiş yapıp, öğrenimine burada devam etmiştir. 2003 yılında elektrik mühendisi olarak mezun olup, mesleki hayata atılmıştır. Mesleki hayatına devam ederken aynı zamanda, önce Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi yüksek lisans programını tamamlayıp yüksek mühendis olmaya hak kazanmıştır, sonra da İTÜ Enerji Enstitüsünde yüksek lisans programına dahil olmuştur. Evren Önöz halen Schneider-Electric firmasında hız kontrol ve hareket kontrol ürün müdürlüğü yapmaktadır.