

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ MEVZUATININ
TÜRKİYE PAZARINA ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar BÜYÜK

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim

Programı : Herhangi Program

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ MEVZUATININ
TÜRKİYE PAZARINA ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar BÜYÜK

301091085

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı Prof. Dr. Önder GÜLER

Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim

Programı : Herhangi Program

HAZİRAN 2018

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301091085 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Serdar BÜYÜK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİK MOTORLARINDA VERİMLİLİK MEVZUATININ TÜRKİYE PAZARINA ETKİSİNİN ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Güven KÖMÜRGÖZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep Yumurtacı
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **11 Mayıs 2018**
Savunma Tarihi : **5 Haziran 2018**

ÖNSÖZ

Tüm öğrenim ve çalışma hayatım boyunca bana destek olan babam, annem, ablam ve tüm aileme, eğitim-öğrenim hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyen tüm öğretmenlerime, tez çalışmam süresince bana değerli destekleri ve yönlendirmeleriyle yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Önder GÜLER'e, değerli fikirleri ve desteklerinden yararlandığım sevgili arkadaşım ve amirim Güvenir Kaan ESEN'e, teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında sabrı ve hoşgörüsüyle bana destek olan sevgili eşime ve ailesine, mesai arkadaşlarıma, kardeşlerime ve her alanda yol göstericiliği ile örnek olan Sayın Sami TOKGÖZ beyefendiye teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Serdar BÜYÜK
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Tüketimi.....	1
1.2 CO ₂ Salınımı.....	2
1.3 Enerji Verimliliği	3
1.4 Dünyada Sincap Kafesli Asenkron Motorların Sanayide Kullanım Durumu	5
1.5 Türkiye’de Sincap Kafesli Asenkron Motorların Sanayide Kullanım Durumu .	6
2. ELEKTRİK MOTORLARI.....	7
2.1 Elektrik Motorları Çeşitleri	7
2.2 Elektrik Motoru Tarihi	8
2.3 Sincap Kafesli Asenkron Motor	8
2.4 Elektrik Motorlarında Kayıplar	15
2.5 Elektrik Motorlarında Verim	17
2.6 Elektrik Motorlarında Verim Tespit Yöntemleri.....	18
3. ELEKTRİK MOTORLARININ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE YASAL DÜZENLEMELER.....	23
3.1 Dünyada Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemeleri.....	23
3.2 Avrupa’da Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemeleri ..	25
3.2.1 640/2009/EC Regülasyonu	26
3.2.2 Türkiye’de Elektrik Motorları Verimlilik Mevzuatı (SGM-2012/2).....	28
3.3 Dünyada Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemelerinin Pazara Etkileri.....	29
3.4 Türkiye’de Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemelerinin Uygulama Örnekleri	30
3.4.1. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı imalat sanayisinde kullanılan elektrik motorları envanteri analiz raporu	30
3.4.2. Sanayide düşük verimli elektrik motorlarının dönüşümü programı.....	33
3.4.3. Piyasa gözetimi ve denetimi uygulaması	35
4. PİYASA GÖZETİMİ ve DENETİMİ FAALİYETİ DENEYLERİ	37
4.1 TSE Elektrik Motorları Deney Laboratuvarı.....	37
4.2 Verim Tespiti Deneyi	39
4.2.1 Anma yükünde deney	41
4.2.2 Yükte kayıplar.....	42

4.2.2.1 Stator sargı kayıpları ve sıcaklık düzeltmesi	42
4.2.2.2 Rotor sargı kayıpları ve sıcaklık düzeltmesi	43
4.2.3 Yük eğrisi deneyi (Değişken yükte deney)	44
4.2.4 Boşta deney	45
4.2.5 Sabit kayıplar	45
4.2.6 Sürtünme vantilasyon kayıpları	46
4.2.7 Demir kayıpları	46
4.2.8 Ek yük kayıpları	47
4.2.9 Verim hesabı	48
4.3 Örnek Verim Hesabı	49
4.4 PGD Deneyleri Sonuçları	58
5. ELEKTRİK MOTORLARI VERİMLİLİĞİ MEVZUATININ	
DEĞERLENDİRİLMESİ	59
5.1 Mevcut Durum	59
5.2 Motorların Değiştirilmesi	61
5.3 Türkiye Geneli Değerlendirme	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ	88

KISALTMALAR

a.a	: alternatif akım
AŞ	: Anonim Şirket
AB	: Avrupa Birliği
BSTB	: Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
CENELEC	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
CEMEP	: Avrupa elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği İmalatçıları birliği
d.a	: doğru akım
DoE	: ABD Enerji Bakanlığı
EFF	: Efficiency
EISA	: Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası
EMOSAD	: Elektrik Motoru Sanayicileri Derneği
Gton	: Gigaton
GWh	: Gigavat-saat
hp	: beygir gücü
IE	: Internaitonal Efficiency
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
IP	: Korunma kodu
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
kVAr	: kilovoltamper reaktif
kW	: kilovat
MEPS	: Minimum Enerji Performansı Standardı
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	: Megavat
TWh	: Teravat-saat
MWh	: Megavat-saat
NEMA	: Ulusal Elektrik Cihazları Üreticileri Birliği
PGD	: Piyasa Gözetimi ve Denetimi
SASO	: Suudi Arabistan Standardizasyon Organizasyonu
S-EMOP	: Elektrik Motorları Projesi
TEFC	: Tamamen kapalı fan soğutmalı
TL	: Türk lirası
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu

SEMBOLLER

CO₂	: karbondioksit
a	: yüklenme oranı
B	: Manyetik Akı yoğunluğu
B_{NET}	: bileşke manyetik akı yoğunluğu
B_R	: rotor manyetik akı yoğunluğu
B_S	: stator manyetik akı yoğunluğu
c	: elektrik enerjisi birim fiyatı
°C	: celsius santigrat
cos φ	: güç faktörü
E	: yıllık tüketilen enerji
E_{ind}	: endüklenen gerilim
f	: frekans
F	: kuvvet
F_{top}	: toplam kuvvet
γ	: korelasyon katsayısı
GDS	: yatırımın geri dönüş süresi
h	: saat
i	: yük noktaları sayısı
I	: akım
I₀	: her bir gerilim seviyesinde akım değeri
k	: manyetik geçirgenliğe bağlı katsayı
K	: yıllık tasarruf miktarı
k_θ	: sıcaklık düzeltme faktörü
L	: uzunluk
LR	: yüklenme oranı
μ	: mevcut motor verimi
μ_{eff}	: değiştirilecek motor verimi
η	: verim
n	: rotor devir hızı
n_{sync}	: senkron devir
p	: kutup sayısı
P_c	: sabit kayıplar
P_{fe}	: demir kaybı
P_{fw}	: sürtünme vantilasyon kaybı
P_{LL}	: Ek yük kayıpları
P_{Lr}	: artık kayıp
P_n	: anma gücü
P_r	: rotor kaybı
P_{r,θ}	: düzeltilmiş rotor kaybı
P_s	: anma yük deneyinde stator kaybı
P_{s,θ}	: referans soğutucuya göre düzeltilmiş stator kaybı
P₀	: boşta giriş gücü

P₁	: giriş gücü
P_{1, ̸}	: düzeltilmiş motor giriş gücü
P₂	: çıkış gücü
q	: elektrik yükü
R_{ilk}	: ilk direnç
R₀	: Her bir gerilim seviyesinde direnç değeri
R_{son}	: son direnç
P_{s,0}	: boşta deney sargı kaybı
P_T	: Toplam kayıplar
Ω	: ohm
s	: kayma
s̸	: düzeltilmiş kayma
SM_d	: yeni alınacak motorların satın alma maliyeti
T	: moment
Θ_c	: deney süresince soğutucu giriş sıcaklığı
t_{ilk}	: ilk sıcaklık
t_{son}	: son sıcaklık
Θ_w	: sargı sıcaklığı
U	: gerilim
v	: parçacığın manyetik alana göre hızı
YM_d	: yeni alınacak motorların yıllık elektrik enerjisi maliyeti
YM_m	: mevcut motorların yıllık elektrik enerjisi maliyeti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Elektrik motorları güç kademeleri.....	13
Çizelge 3.1: Ülkelerin yasal düzenlemelerinin arasındaki zamansal fark	23
Çizelge 3.2: Ortalama motor fiyatları	31
Çizelge 3.3: Üç farklı senaryoya göre elektrik motoru dönüşümü.....	32
Çizelge 4.1: Ölçülen dirençler	49
Çizelge 4.2: Isıl rejim sonrası ölçümler	49
Çizelge 4.3: Isıl rejim sonrası sargı dirençleri	49
Çizelge 4.4: Değişken yük deneyi öncesinde ve sonrasında ölçülen dirençler	50
Çizelge 4.5: Değişken yük deneyinde tespit edilen dirençler.....	51
Çizelge 4.6: Değişken yük deneyinde ölçülen değerler.....	51
Çizelge 4.7: 6 adet yük noktası için dirençler ve stator kayıpları.....	52
Çizelge 4.8: Boşta deney öncesi ve sonrası dirençler.....	52
Çizelge 4.9: Boşta çalışma deneyi ölçümleri.....	52
Çizelge 4.10: Her bir gerilim noktasındaki direnç değerleri	53
Çizelge 4.11: Stator kaybı ve sabit kayıplar	53
Çizelge 4.12: Demir kayıpları.....	55
Çizelge 4.13: Rotor kayıpları ve rotor gücü	56
Çizelge 4.14: Sürtünme vantilasyon kaybı, artık kayıp ve mekanik güç.....	56
Çizelge 4.15: Yük kayıpları	57
Çizelge 4.16: Toplam kayıplar	57
Çizelge 4.17: Hesaplanan güç bileşenleri.....	57
Çizelge 4.18: Yük noktalarında verim değerleri.....	58
Çizelge 5.1: Cam üretim işletmesine ait 5 adet motorun ölçülen verimleri	60
Çizelge 5.2: Cam üretim işletmesi için 4 farklı seviye motor seçimine göre hesaplanan değerler.....	63
Çizelge 5.3: Türkiye için 4 farklı seviyede motor seçimine göre tüketim ve tasarruf miktarları.....	66
Çizelge A.1: Bazı ülkelerde verim seviyeleri	79
Çizelge A.2: EISA ile zorunlu tutulan NEMA Premium verim değerleri	80
Çizelge A.3: IEC 60034-30-1'e göre IE1 (50 Hz) verim seviyeleri.....	81
Çizelge A.4: IEC 60034-30-1'e göre IE2 (50 Hz) verim seviyeleri.....	82
Çizelge A.5: IEC 60034-30-1'e göre IE3 (50 Hz) verim seviyeleri.....	83
Çizelge A.6: IEC 60034-30-1'e göre IE4 (50 Hz) verim seviyeleri.....	84
Çizelge A.7: PGD deneyleri sonuçları.....	85
Çizelge A.8: IE2 için IEC 60034-30-1 ve SGM-2012/2 verim seviyeleri	86
Çizelge A.9: IE3 için IEC 60034-30-1 ve SGM-2012/2 verim seviyeleri	87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 1973 ve 2015 yıllarında dünya elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımı.....	2
Şekil 2.1: Elektrik motorları türleri	7
Şekil 2.2: Tesla'nın patentindeki elektrik motoru	8
Şekil 2.3: Sağ el kuralı ile Lorentz kuvvetinin yönünün tespiti	9
Şekil 2.4: 3 fazlı statorun sargılarıyla birlikte kesiti.....	9
Şekil 2.5: Sac paketlerinin statorda yerleşimi	10
Şekil 2.6: Rotor yapısı	11
Şekil 2.7: Rotorda meydana manyetik alan	11
Şekil 2.8: Rotorda meydana gelen manyetik kutuplar ve kuvvet	12
Şekil 2.9: Stator ve rotoun ayrılmış hali	12
Şekil 2.10: Elektrik motoru etiketi.....	14
Şekil 2.11: Manyetik bölgelerin rastgele ve düzenli sırlanışı.....	16
Şekil 2.12: Yekpare malzemede ve katmanlı malzemede oluşan girdap akımları	16
Şekil 2.13: Motorda güç akış diyagramı.....	17
Şekil 3.1: Türkiye'de elektrik motoru envanteri.....	31
Şekil 3.2: Güç Aralıkları ve Verim Sınıflarına Göre AC Motor Sayıları.....	32
Şekil 3.3: Motorların Verim Durumu	35
Şekil 4.1: Deney sistemi tezgahları	38
Şekil 4.2: M3 tezgahı.....	39
Şekil 4.3: Motor bağlı halde M3 tezgahı	39
Şekil 4.4: Deney kontrol sistemi.....	40
Şekil 4.5: Deney sistemi direnç ölçeri	42
Şekil 4.6: Deney sistemi şeması	42
Şekil 4.7: Korelasyon eğrisi.....	48
Şekil 4.8: 5.3 yük eğrisi deneyine (değişken yükte deney) göre 6 adet yük noktasındaki dirençlerin tespiti için uydurulan eğri	50
Şekil 4.9: Boşta çalışmada direnç-güç interpolasyonu	53
Şekil 4.10: Sabit kayıp – gerilim ilişkisi.....	54
Şekil 4.11: Demir kayıpları – gerilim grafiği	55
Şekil 4.12: Artık kayıplar ve yük kayıpları	56
Şekil 5.1: Cam üretim işletmesi için elektrik motorları enerji tüketimi senaryosu ...	62
Şekil 5.2: 2 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği	64
Şekil 5.3: 4 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği	65
Şekil 5.4: 6 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği	66
Şekil 5.5: Türkiye geneli elektrik motorları enerji tüketimi senaryoları	67
Şekil 5.6: Türkiye geneli elektrik motorları enerji tasarrufu senaryoları	67

ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ MEVZUATININ TÜRKİYE PAZARINA ETKİSİNİN ANALİZİ

ÖZET

Sanayi devriminden bu yana dünyanın seyrine büyük oranda yön veren enerji konusunun önemi her geçen yıl daha da artmaktadır. Dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomileri enerji arzının ve tedarikinin güvenliği, sürdürülebilirliği ve etkinliği üzerinde büyük ölçekli planlamalar ve yatırımlar yapmaktadır. Bu durum, enerjinin üretiminden iletimine ve tüketilmesine kadar önemli başlıklarda faaliyetleri de beraberinde getirmektedir. Bu faaliyetlerden biri elektrik enerjisinde verimli ürünler veya sistemler kullanarak, mevcut konforda azaltmaya gitmeden daha az elektrik enerjisi kullanmaktır. Böylece elektrik enerjisi talebinin ve dolayısıyla arzının artışını yavaşlatmak mümkün olabilecektir. Ayrıca, dünya elektrik enerjisi üretimi hala büyük ölçüde fosil yakıtlara bağlı olduğundan sera gazı salınımının azaltılmasına imkân doğacaktır. Özellikle sanayi sektöründe kullanılan elektrik motorlarının tüm dünyada tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık üçte birini tükettiği göz önüne alınırsa, bu ürünlerin verimliliği konusunda yapılacak çalışmalarla çok büyük tasarrufların elde edilebileceği ortadadır. Bu nedenle birçok ülke ve uluslararası kuruluş elektrik motorlarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teşvikler üzerine çalışmakta ve verimli elektrik motorlarının kullanılması için yasal düzenlemelerle önlem almaktadır.

Elektrik motorlarının birden fazla türü olmakla birlikte sanayi sektöründe en çok kullanılan tipi “sincap kafesli asenkron motor” veya çeşitli kaynaklarda “indüksiyon motoru” olarak da adlandırılan motordur. Üç fazlı ve tek fazlı olarak üretilen bu motorlar çok uzun süre bakım gerektirmeden ve sürekli olarak çalıştıklarından dolayı, sanayide daha çok üretim tesislerinde kullanılmaktadırlar. Bu motorlar ihtiyaca göre 0,12 kW gücünden MW’lar mertebesine kadar sanayide kullanılabilmektedir. 2011 verilerine göre dünya üzerinde 2,23 milyar adet üç fazlı indüksiyon motoru hizmettedir. 1900’lü yılların başından bu yana kullanılan elektrik motorlarının ilk dönemlerde verimlilikleri fazla ön planda olmasa da, verim ölçümüne dair yöntemler bulunmaktaydı. Ancak son yıllarda verimliliğin önemli bir etken olmasıyla birlikte, ilerleyen üretim ve malzeme teknolojileri sayesinde bu motorların verimlerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Artan verimlilik talepleri ile birlikte elektrik motorlarının enerji verimliliği üzerinde çeşitli ulusal ve uluslararası standard kuruluşları daha önce de var olan elektrik motorlarında verim ve kayıp tespiti için standard deney yöntemleri ve verim sınıfları belirlemişlerdir. Genel olarak verim tespiti için Kuzey Amerika’da IEEE-112 Method B kullanılırken, dünyanın geri kalanında IEC 60034-2-1 Method 2-1-1B standardı kullanılmaktadır. Elektrik motorlarının verimliliğinin standardizasyonu bakımından Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinin dünyanın geri kalanına göre başı çektiği görülmektedir. Ancak Kuzey Amerika ülkeleri, belirledikleri standartları verimlilikle ilgili yasal düzenlemelere hızlıca adapte ederken, Avrupa ülkelerinde aynı uygulamanın 10 yıl gecikmeyle yürütülmesi dikkat çekicidir. Kuzey Amerika ülkelerinde ABD standardı olan NEMA MG-1’e göre NEMA Efficiency, NEMA High Efficiency, NEMA Premium Efficiency ve NEMA Super Premium Efficiency olarak

verim seviyeleri tanımlanmıştır. Avrupa’da önce EFF1, EFF2, EFF3 olarak tanımlanan veri seviyeleri daha sonra IE1, IE2, IE3 ve IE4 olarak tekrar düzenlenmiştir.

2000’lerin başından itibaren Kuzey Amerika’da verimli motorların kullanımıyla ilgili yasal düzenlemeler uygulanmaya başlamışken, Çin, Güney Kore, Japonya, Brezilya ve Avrupa ülkeleri de daha sonra verimli elektrik motorlarının kullanılmasına yönelik yasal düzenlemeleri hayat geçirmiştir. Uygulama genel olarak sektörde ve literatürde minimum enerji performansı standardı (MEPS) olarak adlandırılmaktadır.

Türkiye de Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde Avrupa ülkeleriyle eş zamanlı olarak MEPS uygulamasına (SGM 2012/2 mevzuatı) başlamıştır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın sorumluluğunda yürütülen uygulamaya göre Türkiye’de Ocak 2017’den itibaren IE3 motorlar veya bir değişken hız sürücüsü ile teçhiz edilmiş IE2 motorlar satılabilmektedir. Bakanlık bu uygulamada gerekli gördüğünde piyasadan satın aldığı motorları TSE deney laboratuvarlarına gönderip test ettirerek ürünlerin verimliliğini denetim altında tutmaktadır.

SGM 2012/2 mevzuatı ve Avrupa’daki karşılığı olan 640/2009/EC, tüm dünyada tanımlanmış olan IE2 ve IE3 verim seviyelerine belirli bir oranda tolerans getirerek uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de halen yürürlükte olan SGM2012/2 mevzuatının Türkiye pazarına etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Verim seviyelerine getirilen söz konusu tolerans nedeniyle, mevzuatın mevcut halinin Türkiye elektrik enerjisi sektörüne etkisinin kısıtlı olacağı değerlendirilmekte; bunun yerine ABD, Güney Kore, Çin, Japonya örneklerinde de olduğu gibi, standartlarla belirlenen IE3 seviyesinin zorunlu tutulması tavsiye edilmektedir. Üstelik IE3 seviyesinin zorunlu tutulması son yıllarda Avrupa’da da tartışılmaktadır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında Türkiye’nin en büyük cam üretim işletmelerinden birinin 236 adet motorundan, daha önce test edilen 5 adet örneğin IEC 60034-2-1 metoduna göre TSE’de verim deneyleri yapılmış verileri kullanılarak, firmanın yaklaşık motor verim envanteri hesaplanmıştır. Motorların değiştirilmesi durumunda hangi verim sınıfında motorların satın alınması halinde ne kadar tasarruf edileceği ve yatırımın geri dönüşü süresi hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkarak Türkiye geneli için yaklaşık tasarruf ve yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ENERGY EFFICIENCY LEGISLATION ON ELECTRIC MOTORS ON TURKISH MARKET

SUMMARY

After industrial revolution, energy which is a leading sector all over the world gains more and more importance every year. Developed and developing economies of the world are planning and making high scale investments in energy supply and demand security, sustainability and efficiency. This requires significant actions on distribution, production and consumption of electric energy. One these actions is utilizing less energy consuming products or systems, regarding the comfort level continuity. Literally, this is the definition of energy efficiency. As some has misinterpreted, energy efficiency does not require to compromise on life standards. As energy-efficient products/systems are used, it will be possible to reduce the electric energy demand and consequently the supply. Additionally, production of electric energy still highly depends on fossil fuels. This causes huge amount of greenhouse gases emission which is recognized as the primary responsible of global warming. Especially regarding electric motors utilized in industry consumes one-third of electric energy of total consumption in the world, studies and regulations on efficiency of these products will bring significant savings. So, many countries and international foundations study on increasing efficiency of electric motors and encourage these kind of studies and also take precautions for use of energy-efficient electric motors.

Electric motors are workhorses of almost all industries, particularly in production industry. Although there are several types of electric motors, one governing type named “squirrel caged asynchronous motor” or “induction motor” is mostly utilized in industry. This motor type can work for a long time without maintenance and continuously. One or three-phased options are available, but mostly three-phase versions are used because of high power needs. Induction motors are generally utilized in pumps, fans, compressors in industry and their range are available from a few kW to some MWs.

Working principle of induction motor is based on electromagnetism. Motor consists of two main parts: stator and rotor. Stator is the stationary part and its shape is a hollow cylinder. Rotor makes the rotational move around an axis. Supply voltage is applied to the windings of the stator and a rotational magnetic field occurs in the machine. This field reacts with the current induced in rotor bars and produces a force on the rotor bars, resulting a rotational movement of the rotor around an axis.

This operation causes some energy losses on different ways, mostly occurs as heat. Because of the nature of current, some of energy transforms into heat while flowing through in a conductive medium. Current flowing in the windings and in the iron chassis of the motor cause heat. Also induction motors are equipped generally with an internal fan to cool itself. Because of friction and the wind of the fan, some power losses occur. All these components cause power loss in the machine, so induction motor efficiency depends on these losses. Decreasing these losses, in the other words,

increasing the efficiency of induction motors will lead to significant energy savings all over the world.

To determine the efficiency of induction motors, there are some internationally recognized standard test methods. Mostly preferred test method is IEEE – 112 Method B and IEC 60034-2-1 Method 2-1-1 B. These two methods are very similar, IEEE-112 Method B is mostly preferred in North America and the other is preferred generally in the rest of the world. Both methods require full load, cyclic load and no-load tests to determine the losses separately. Doing so provides low uncertainty for efficiency determination.

Also some national and international organizations have specified minimum energy performance standards (MEPS) for electric motors. These standards set forth several energy efficiency levels regarding power, speed and type of motors. North America countries use NEMA MG-1 standard as MEPS. These are NEMA Efficiency, NEMA High Efficiency, NEMA Premium Efficiency and NEMA Super Premium Efficiency from low efficiency to high, respectively. European Union and many other countries use IE codes IE1, IE2, IE3 and IE4 from low efficiency to high, respectively which are set forth by IEC. The past versions of IE code was EFF, which are EFF3, EFF2 and EFF1 from low efficiency to high, respectively and they are determined by European Manufacturers of Electric Machines and Power Electronics (CEMEP).

Like many other energy consuming products, electric motors are subject to legal regulations as a result of increasing efficiency demands. According to Act of Energy Policy in the United States, motors to be sold shall meet the NEMA Premium Efficiency level except some like brake motors or integrated in and cannot be dismantled from a pump, fan etc. US regulations are almost valid in Canada and Mexico. These countries have been regulating the market since the early 2000s. However, although efficiency levels are set by CEMEP in the early 2000s in Europe, these levels were applied on voluntary basis, until European Union began to regulate the market almost ten years later from the United States, in 2011. Today, MEPS regulations are in force in many countries like China, Brazil, South Korea, Japan, Australia.

Following the European countries, Turkey set MEPS regulations namely, SGM 2012/2, in 2012. This regulation is the same as content and entry into force. As of January 1, 2017, 0,75 kW to 375 kW motors rating up to 1000V except for brake motors and some motors working under some special conditions are subject to regulations. These motors shall meet IE3 requirement or shall meet IE2 requirement and equipped with a variable speed drive. Turkish Ministry of Science, Industry and Technology is responsible of the execution of the regulation.

One of the missions of the ministry is surveillance of electric motor market according to the regulation. For this purpose, randomly selected motors from the market are sent to Turkish Standards Institution (TSE) Electric Motors Laboratory located in Gebze, Kocaeli province, in order to be tested according to SGM 2012/2. From 2015 to 2017, 47 model motors were tested in laboratory and test results show that almost quarter of tested 47 motors were failed.

TSE electric motor laboratory is accredited to international standards IEC, UL and CSA. The laboratory is able to test electric motors from 0,18 kW to 90 kW with a low uncertainty and high sensitivity. It was established in 2015 and it is planned to be upgraded to 375 kW.

SGM 2012/2 and the equivalent European version 640/2009/EC both bring some tolerance to worldwide recognized IE2 and IE3 efficiency levels. Also both regulations permit IE2 motors equipped with variable speed drive. Additionally, there is no such a program on the surveillance of IE2 motors are to be equipped after sold. The only obligation about the IE2 motors is that the sentence “must be equipped with a variable speed drive” to be placed on the motor. Moreover, the tolerance in the regulations cause an efficiency decrease so that the IE2 nearly has the same efficiency values with IE1, also the IE3 decreases so nearly to the IE2. If the regulations continue bring tolerance, the expected transformation of the market may not be achieved. Regarding the long life cycles of electric motors, the effect will continue for years. On the other hand, U.S., South Korea, Japan, and China set IE3 or equivalent efficiency levels, Brazil and European Union is discussing the transition to IE3 level. Under these circumstances, Tukey should quickly set to IE3 levels.

Also in this study, data of previously tested 5 motors of 236 motors of a company which is the greatest glass and glass products manufacturer of Turkey, were used and an efficiency inventory has been estimated. Regarding four different scenarios, amount of energy and money savings are calculated, depending on the selection of different efficiency classes in possible investments. Also investment’s return ratio has is calculated for the company. In first scenario, all motors are to be replaced with regulation defined IE2; in the second, replaced with standard defined IE2; in the third, regulation defined IE3 and in the fourth, standard defined IE3. According to the calculations, regulation defined or standard defined IE3 motors are acceptable.

Finally, the same calculations are implemented for Tukey in general, and it is suggested to decision makers to set standard defined IE3 level as mandatory.

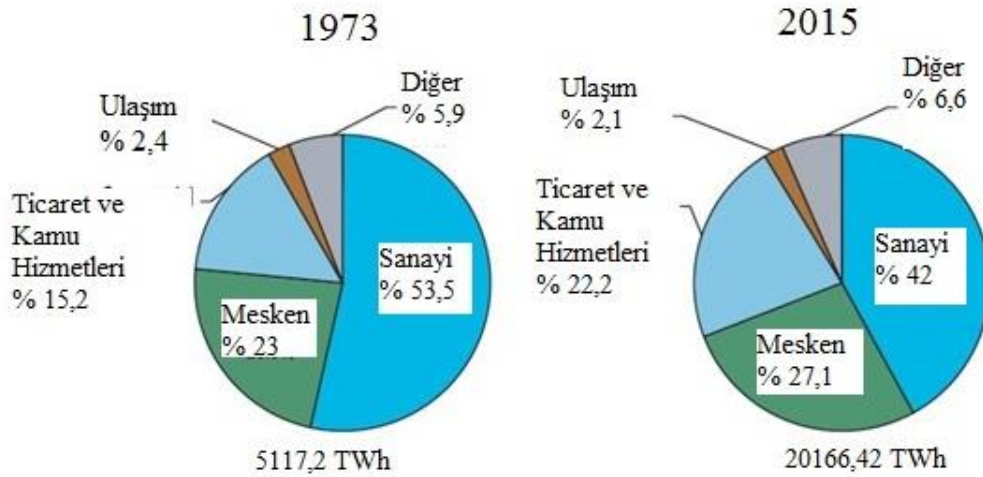
1. GİRİŞ

Sanayi devriminden günümüze enerji, sanayinin ve dolayısıyla kalkınmanın en önemli hammaddelelerinden biri olagelmıştır. Bu nedenle enerji üretimi için gerekli hammaddeleler de stratejik öneme sahip kaynaklar olarak göze çarpmaktadır. Son iki asırdır dünyadaki önemli siyasi olaylar enerjinin üretimi veya iletimiyle yakından ilgili bölgelerde ve enerjiye bağlı politikalar etrafında şekillenmektedir. Bu nedenle enerji ile ilgili her veri büyük önem arz etmektedir. Enerjinin öneminin giderek arttığı gerçeği göz önüne alındığında, enerji tedariki için de yeni kaynak arayışları giderek önem kazanmaktadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nin petrol üretiminde 2019'da Suudi Arabistan'ı geçip Rusya ile başı çekeceği öngörülmekte [1], Akdeniz'de yaklaşık son on yıldır doğalgaz ve petrol rezervleri aranmakta [2,3], dünyadaki enerji talebi artışında da yükselişin devam edeceği öngörülmektedir. BP raporuna göre ise enerji arzında petrol, doğalgaz ve kömür 2035'e kadar başı çekmeye devam edecektir [4]. Fosil yakıtların uzun yıllar daha yoğun kullanılacağı gerçeği düşünülürse, hem enerji maliyetlerini düşürmek hem de karbon salınımını azaltmak açısından enerjinin verimli kullanılması daha da önem kazanacaktır.

1.1 Enerji Tüketimi

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre 1973'te 440 MTEP (5117,2 TWh eşdeğeri) olan dünya elektrik enerjisi tüketimi 2015 yılında (20166,42 TWh eşdeğeri) 1737 MTEP olmuştur. 1973 yılında tüketimin sektörlere göre dağılımı sanayide %53,5, konut kullanımında %23,0, ticaret ve hizmet sektöründe %15,2, taşımacılıkta %2,4, diğer sektörlerde ise toplamda %5,9 olarak kaydedilmiştir. 2015 yılı verilerine göre tüketilen elektrik enerjisinin sektörlere göre dağılımı sanayide %42,0, konut kullanımında %27,1, ticaret ve hizmet sektöründe %22,2, taşımacılıkta %2,1, diğer sektörlerin toplamında ise %6,6 olarak kaydedilmiştir (Şekil 1.1). Buna göre günümüzde dünya genelinde sanayide tüketilen elektrik enerjisi yaklaşık 8469,9 TWh'tir [5]. Türkiye'de 2015 yılında tüketilen toplam elektrik enerjisi 217.312.250 MWh tir. Bu enerjinin %22'si meskenlerde, %26,2'si ticaret ve kamu sektöründe, %47,6'sı sanayide, %1,9'u tarımsal sulamada, %1,9'u aydınlatmada, %0,3'ü ise diğer

sektörlerde tüketilmiştir [6]. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2016 yılında 278,4 TWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketimi 2017 yılı Temmuz ay sonu itibariyle bir önceki yılın Temmuz ayı sonuna göre %4,7 artarak 167,1 TWh, elektrik üretimi ise bir önceki yılın Temmuz ayı sonuna göre %6,7 oranında artarak 167,3 TWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2023 yılında yıllık ortalama %4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir [7].



Şekil 1.1: 1973 ve 2015 yıllarında dünya elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımı. [5]

1.2 Karbondioksit Salınımı

Dünyada 2011'de havaya salınan karbondioksit (CO₂) salınımının 6040 milyon tonu elektrik motorlarından kaynaklanmaktadır. Eğer çeşitli ülkelerin verimli ürünlerle ilgili uygulamaları göz önüne alınmazsa 2030'da CO₂ salınımının 8750 milyon tona çıkacağı tahmin edilmektedir. 2030'a kadar dünyadaki tüm ülkelerin elektrik motorlarının verimliliği ile ilgili yasal düzenlemeler uygulamaları halinde 16 Gton – 29 Gton CO₂ salınımının önüne geçileceği tahmin edilmektedir [8]. Ayrıca 1990'dan 2100'e kadar ortalama sıcaklık artışının 1,4 °C ile 5,8 °C arasında olması öngörülmektedir [9]. Ni'nin çalışmasına göre elektrik motorunda uygulanacak verimlilik düzenlemeleriyle 2043'e kadar Japonya'nın CO₂ salınımı 149 Mt kadar azaltılabilir [10].

1.3 Enerji Verimliliği

Dünya genelinde enerji tedarikinin ve buna bağlı olarak enerji tüketiminin giderek daha da önemli hale gelmesi nedeniyle enerjinin daha verimli kullanılmasına ilişkin tedbirler alınmaya başlanmıştır. Bu tedbirler konut, sanayi, ulaşım gibi önemli enerji tüketim kalemlerinde uygulanmaktadır. Sanayinin tüketilen enerjideki önemli payı bu sektör için de bazı tedbirlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. E.A. Abdelaziz ve diğ. (2011) sanayi için tedbirleri üç ana başlıkta toplamaktadır:

- Yönetimsel tedbirler
- teknolojik tedbirler
- yasal düzenlemeler [9]

Yönetimsel tedbirler kapsamında kuruluşlar için enerji yönetim sistemleri oluşturma, kuruluşların bir enerji politikası geliştirmesi gibi uygulamalar sayılabilir. Örneğin Uluslararası Standard Organizasyonu (ISO)'nun yayımladığı ISO 50001: Enerji Yönetim Sistemi Standardı kuruluşların enerji yönetimini nasıl ele almaları gerektiğine dair önemli bir kılavuz dokümandır. Kuruluşların enerji yöneticileri istihdam etmeleri de bu konuya başka bir örnek olarak sunulabilir. Ayrıca kuruluşlar bünyesinde enerjinin verimli kullanılmasına dair eğitim ve çalıştayların düzenlenmesi de yönetimsel tedbirler sınıfına girmektedir.

Teknolojik tedbirler ise enerji tüketen tesis, sistem veya donanımların daha verimli hale getirilmesi ya da verimli olanlarla değiştirilmesi gibi önlemleri kapsamaktadır. Sanayi işletmelerinin daha verimli donanımları tercih etmesi, ev aletlerinin enerji sınıfının belirlenmesi ve verimli ev aletlerinin devletler tarafından teşvik edilmesi teknolojik tedbirler olarak sıralanabilir.

Yasal tedbirler bakımından dünyadaki birçok uygulama örnek verilebilir. Dünya genelinde yalnızca sınırlı enerji kaynaklarına sahip ülkeler değil, enerji kaynakları bakımından zengin ülkeler de yasal uygulamalarla verimli enerji kullanımını desteklemektedirler. Suudi Arabistan belirli bir verim değerinin altındaki elektrik motoru, buzdolabı, çamaşır makinesi gibi ürünlerin ithalatı ile ilgili düzenleme getirmiştir. Bunun için yetkili organ olarak Suudi Arabistan Standard Organizasyonu (SASO) kurumunu belirlemiştir. Sanayi, konut ve ulaşım gibi sektörlerde çeşitli

ürünler için minimum enerji kıstasları ortaya koyulmuş ve bu kıstaslara uygunluk yasal organlarca denetime tabi tutulmaktadır.

Türkiye’de de enerji verimli ürünlerin kullanımına dair çeşitli yasal şartlar mevcuttur. Bununla ilgili olarak 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu yürürlüktedir. Kanunun kapsamı şu şekildedir:

Bu Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esasları kapsar” [11].

Bu kanunun yürütülmesine ilişkin 27 Ekim 2011 tarih ve 28097 sayılı Resmi Gazete’de “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” yayımlamıştır. Bu yönetmeliğin kapsamı ise şu şekildedir:

Bu Yönetmelik enerji verimliliğine yönelik hizmetler ile çalışmaların yönlendirilmesi ve yaygınlaştırılmasında üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesine, enerji yönetimi uygulamalarına, enerji yöneticileri ile enerji yönetim birimlerinin görev ve sorumluluklarına, enerji verimliliği ile ilgili eğitim ve sertifikalandırma faaliyetlerine, etüt ve projelere, projelerin desteklenmesine ve gönüllü anlaşma uygulamalarına, talep tarafı yönetimine, elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde, dağıtımında ve tüketiminde enerji verimliliğinin artırılmasına, termik santrallerin atık ısılarından yararlanılmasına, açık alan aydınlatmalarına, biyoyakıt ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımının özendirilmesine ve idari yaptırımlara ilişkin usul ve esasları kapsar [12].

Bu hükümler çerçevesinde bazı ürünler için yönetmelikler ve tebliğler yayımlamıştır. Bu yönetmeliklerden bazıları şunlardır:

- Ev Tipi Klimaların Enerji Etiketlemesine İlişkin Yönetmelik
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

- Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik
- Sıvı ve Gaz Yakıtlı Yeni Sıcak Su Kazanlarının Verimlilik Gereklerine Dair Yönetmelik
- Elektrik Lambaları ve Aydınlatma Armatürlerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ
- Ev Tipi Çamaşır Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ
- Televizyonların Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ [13]
- Elektrik Motorları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (SGM-2012/2) [14]

SGM-2012/2 02.04.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir ve Türkiye’de bu tebliğden önce elektrik motorlarının verimliliği konusunda bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından 1978 yılında Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 60034-2:1972 standardından çeviri ile 1978 yılında TS 3206 Döner Elektrik Makinalarında Kayıpların ve Verimin Deneylerle Belirlenmesi standardı yayımlanmıştır, ancak standartlar kendi başına yasal zorunluluk taşımadıkları için bu standard yasal bir düzenleme olarak uygulanmamıştır.

1.4 Dünyada Sincap Kafesli Asenkron Motorların Sanayide Kullanım Durumu

Dünya üzerindeki tüm elektrik motorlu sistemlerin tüm elektrik enerjisinin %43-46 kadarını tükettiği tahmin edilmektedir. Sincap kafesli asenkron motorlar ise dünyada en yaygın kullanılan ve bu nedenle toplamda elektrik enerjisini en çok tüketen motorlardır. IEA’nın çalışmasına göre 2011’de dünyada kullanımda olan elektrik motoru sayısı tahminen 2,23 milyar adettir ve tüm elektrik motorlarının tükettiği enerji yaklaşık 15660 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Küçük güçlü olarak da adlandırılan 0,75 kW altındaki motorların bu sayının 2 milyar adedini oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ancak bunlar enerji tüketimi bakımından toplam tüketimin %9’una karşılık gelmektedir. Toplam adedin yaklaşık %11’i ise orta güçlü olarak adlandırılan 0,75-375 kW aralığındadır ve bunlar enerji tüketiminin %68’ini oluşturmaktadır. Yüksek güçlü olarak sınıflandırılan 375 kW ve üzeri motorlar ise sayıca %1’den az olmalarına karşın tüketimde %23’lük paya sahiptir [8]. 2025’te ise

dünyada beklenen alternatif akım (a.a) elektrik motoru pazarı 70 milyar ABD doları civarındadır. Pazarın yılda % 4,6 hızla büyümesi öngörülmektedir [15]. Avrupa Birliği ülkelerinde yılda satılan orta güçte motor sayısı 8,1 milyon adet ve motor pazarı 2,7 milyon Avro civarındadır [16].

1.5 Türkiye’de Sincap Kafesli Asenkron Motorların Sanayide Kullanım

Durumu

Ülkemizde de en çok enerji tüketimi orta güçlü motorlarda olmaktadır. Bu motorlar daha çok kompresör, pompa, fan ve makine uygulamalarında kullanılmaktadır. 4.306.622 adet 7.5 kW ve üzeri güçte a.a. motorun imalat sanayisinde kullanılmakta olduğu tahmin edilmektedir. Bu motorların ortalama gücü 42,5 kW, ortalama yaşları 12 yıl ve yıllık çalışma sürelerinin 5456 saat olduğu tespit edilmiştir. [17]

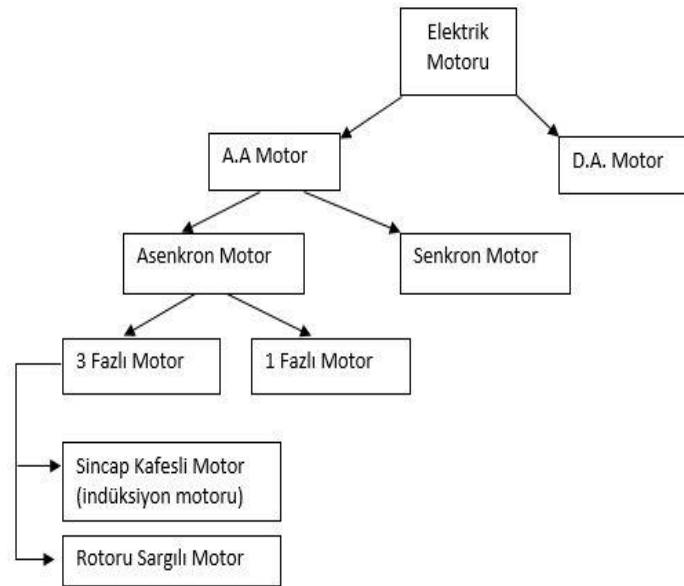
Ülkemizdeki net elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %36’sı üç fazlı asenkron elektrik motorlarından kaynaklanmaktadır [18]. Buna göre 2015 yılında bu motorlar tarafından tüketilen enerji 78,23 TWh olmuştur. Türkiye’nin üç büyük enerji santrali olan Atatürk, Keban ve Karakaya barajlarının 2015 yılı toplam üretiminin ortalama yaklaşık 15 TWh olduğu göz önüne alınırsa [18], tüketilen enerji miktarının sadece bir yılda bu üç santralin üretiminin 5 katından fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

2. ELEKTRİK MOTORLARI

Elektrik makineleri elektrik enerjisini mekanik enerjiye ve/veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Ayrıca transformatörler de belli bir gerilim ve akıma sahip elektrik enerjisini belirli bir oranda değiştirerek başka bir gerilim veya akım değerine sahip elektrik enerjisine dönüştüren elektrik makineleridir. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelere kısaca motor, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelere kısaca generatör adı verilir. Elektrik motorları ise yapılarına bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılır.

2.1 Elektrik Motorları Çeşitleri

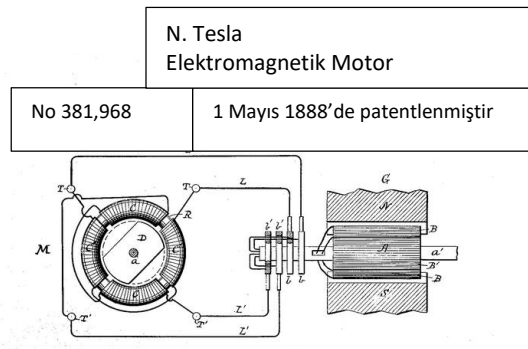
Alternatif akımla beslenen motorlar alternatif akım (a.a) motorları, doğru akımla beslenen motorlar ise doğru akım (d.a) motorları olarak adlandırılırlar. Elektrik motorlarının başlıca çeşitleri Şekil 2.1’de verilmiştir. Sincap kafesli asenkron motorlar diğer bir deyişle kafesli indüksiyon motoru veya indüksiyon motoru) sanayide en çok kullanılan motorlardır. [19]



Şekil 2.1: Elektrik motorları türleri.

2.2 Elektrik Motoru Tarihi

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren, bugünkü anlamda ilk döner elektrik makinesini Prusyalı bilim insanı Moritz Hermann von Jacobi 1834 yılında icat etmiştir. Bu yıllarda elektromanyetik etkileşim ile elektrik enerjisinden mekanik enerji elde etmek yaygın bir bilim problemiydi. Bu süreçte 1887'de Sırp bilim insanı ve elektrik mühendisi Nikola Tesla iki fazlı asenkron motorun da dâhil olduğu bir elektrik üretim dağıtım sisteminin patentini almıştır. Tesla'nın patentindeki motor şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2: Tesla'nın patentindeki elektrik motoru [20].

Bu sistemde yer alan elektrik motoru bugünkü asenkron motor yapısına temel oluşturmuştur. Aynı dönemde İtalyan bilim insanı Ferraris de iki fazlı bir asenkron motor icat etmiştir ancak iki araştırmacı da bunları birbirlerinin çalışmalarından haberleri olmadan geliştirmişlerdir [21].

2.3 Sincap Kafesli Asenkron Motor

Üzerinden elektrik akımı geçen bir iletken bir manyetik alana maruz kaldığında, bu iletken üzerinde bir kuvvet oluşur. Lorentz Kuvvet Kanunu'na göre bir q elektrik yüküne etkiyen F kuvveti (2.1) eşitliğiyle verilir.

F : kuvvet (Newton)

q : elektrik yükü (coulomb)

B : Manyetik Akı Yoğunluğu (Tesla)

v : parçacığın manyetik alana göre hızı (m/s)

$$F = q(v \times B) \quad (2.1)$$

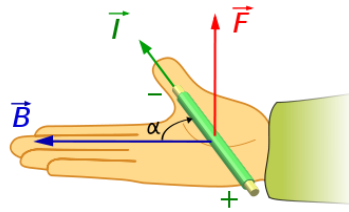
Buna göre elektrik akımı taşıyan L uzunluğundaki bir iletkende q yükü taşıyan parçacıklara etkiyecek olan toplam kuvvet F_{top} denklem (2.2) deki gibi olacaktır.

F_{top} : Toplam kuvvet (Newton)

I : Akım (Amper)

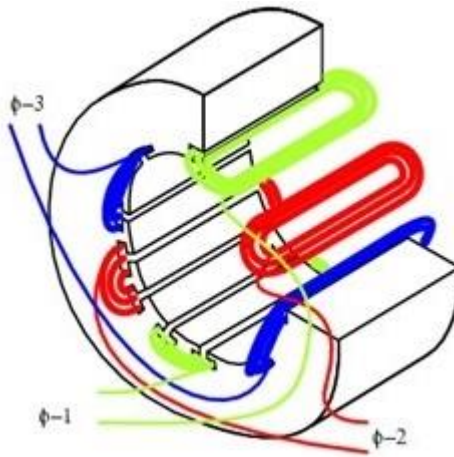
$$F_{top} = I \times B \quad (2.2)$$

Elektrik motorunun hareket ilkesi bu kanuna dayanmaktadır. Şekil 2.3'te Lorentz kuvvetinin sağ el kuralı ile yönünün tespit edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Sağ el kuralı ile Lorentz kuvvetinin yönünün tespiti [22].

Elektrik motorunun gerilimle beslendiği ve sabit olan kısmına stator denir. Üzerinde kuvvetin oluştuğu ve kuvvetin etkisiyle bir mil ekseninde dönen kısma ise rotor denir. Bu çalışmanın konusu olan 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorlarda, bakır sargılardan ve demir çekirdekten oluşan stator döner manyetik alanı oluşturur. 3 fazlı beslemeyle çalışan bu motorların stator sargılarına 3 fazlı sinüzoidal gerilim uygulandığında statorda 3 fazlı akım oluşur. Bu 3 fazlı akım ise saat yönünün aksi yönde dönen bir manyetik alan oluşturur. Şekil 2.4'te 3 fazlı statorun sargılarıyla birlikte bir kesiti verilmektedir.



Şekil 2.4: 3 fazlı statorun sargılarıyla birlikte kesiti [23].

Statorun sargılarını tutan kısım genelde çekirdek olarak tabir edilir ve silisli sac paketlerinden oluşur. Bu sac paketleri Eddy (Foucault) akımlarını engellemek amacıyla yalıtım malzemesi ile kaplanır ve tabakalar halinde yapıştırılır. Aksi takdirde Eddy akımları stator çekirdeğinde dolaşarak malzemenin ısınmasına, böylece ısınmaya bağlı kayıpların artmasına sebep olur. Şekil 2.5'te statorun sac paketleri ve statorda yerleşimi verilmiştir.



Şekil 2.5: Sac paketlerinin statorda yerleşimi [24].

Rotor, uçları kısa devre edilmiş metal çubuklardan oluşur. Bu döner manyetik alan rotor çubuklarını, rotor çubuklarında Faraday Kanunu'na göre E_{ind} gerilimini oluşturur. Oluşan gerilimin ifadesi denklem (2.4)'te verilmiştir.

E_{ind} : Rotor çubuğunda indüklenen gerilim (V)

v : Çubuğun manyetik alana göre hızı (m/s)

B : Manyetik akı yoğunluğu vektörü (Tesla)

L : manyetik alan içindeki iletken uzunluğu (m)

$$E_{ind} = (v \times B)L \quad (2.4)$$

Rotor çubukları uçlarından kısa devre edilmiş olduğundan, indüklenen E_{ind} gerilimi nedeniyle rotor çubuklarında akım akmaya başlar. Rotor çubukları da statorda olduğu gibi sac paketlerinin içine yerleştirilir. Böylece rotorda oluşacak Eddy akımları da mümkün olduğunca aza indirilir. Rotorun yapısı şekil 2.6'da görülmektedir. Rotor çubukları uçlarından birbirlerine kısa devre edildiğinden çubuklarda bir akım akar. Bu akım rotorun endüktansı nedeniyle gerilime göre belli bir gecikmeyle akar.



Şekil 2.6: Rotor yapısı [24].

Böylece rotor akımı kendisine göre 90° gecikmeli olan B_R manyetik alanını oluşturur. Statorun oluşturduğu döner manyetik alan B_S olarak tanımlanırsa, rotorda meydana gelen momentin gösterimi şekil 2.7'deki gibi gösterilebilir. B_R ve B_S alanlarının bileşkesi olan B_{NET} manyetik alanı rotorda moment meydana getirirler. Bu etkileşimin ifadesi (2.5) eşitliğiyle verilmektedir.

T_{ind} : moment (Nm)

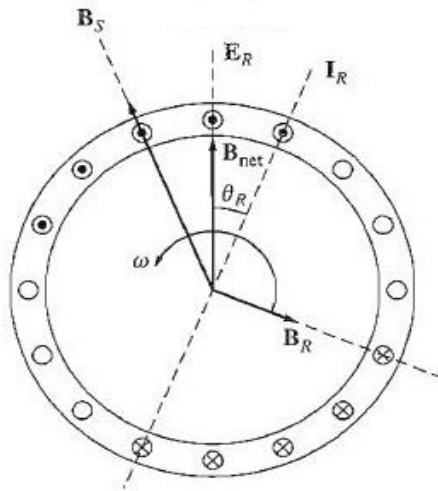
B_R : Rotor manyetik akı yoğunluğu (Tesla)

B_S : Stator manyetik akı yoğunluğu (Tesla)

B_{NET} : Bileşke manyetik akı yoğunluğu (Tesla)

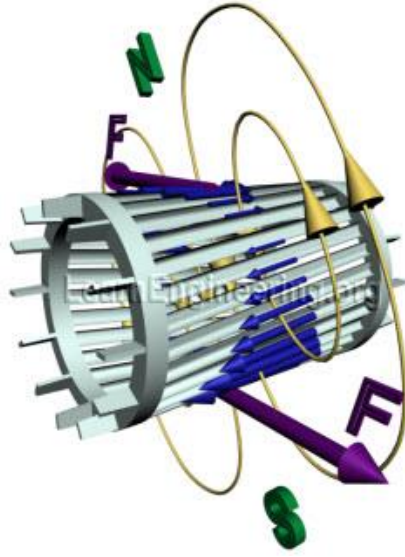
k : Motorun malzemesinin manyetik geçirgenliğine bağlı katsayı

$$T_{ind} = kB_R \times B_S \quad (2.5)$$



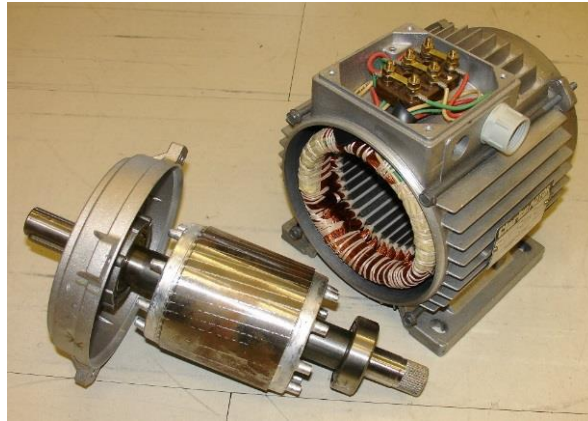
Şekil 2.7: Rotorda meydana manyetik alan [19].

Rotorda meydana gelen manyetik kutuplar ve kuvvetin gösterimi şekil 2.8 de verilmektedir.



Şekil 2.8: Rotorda meydana gelen manyetik kutuplar ve kuvvet [24].

Tipik bir sincap kafesli asenkron motorun stator ve rotorunun birbirinden ayrılmış hali şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2.9: Stator ve rotoun ayrılmış hali [24].

Bu motorlar ısınmanın en aza indirilmesi ve hem kayıpların azalması hem de motorun yapısal özelliklerinin uzun süre bozulmadan devam edebilmesi için genellikle bir fan ile donatılırlar. Bu fan motoru soğutarak daha kararlı bir çalışma sağlar. Fanlar yaygın olarak motorun mil çıkıntısı olmayan tarafında bulunur. Rotor dönüş hızı için bir üst sınır vardır. Bu üst sınır aynı zamanda senkron devir veya senkron hız olarak da tanımlanan stator döner manyetik alanının dönüş hızıdır. Rotor bu hıza asla erişemez, çünkü rotor ile stator döner manyetik alanı aynı hızda dönerse manyetik alan değişimi

sıfır olacağından rotor üzerinde bir gerilim indüklenmez. Statorun oluşturduğu manyetik alanın değişiminin rotor çubuklarında kuvvet oluşturması rotorun bu sürekli manyetik alan değişimi nedeniyle hareketlenmesini sağlar. Rotordaki hareketi ancak rotora göre bir manyetik alan değişimi sağladığından, rotor ile döner manyetik alan arasında sürekli bir hız farkı olur. Döner manyetik alan senkron hızda dönerken rotor ise senkron hıza yakın ama senkron hızdan daha az bir hızla döndüğü için bu tip motorlar asenkron motor olarak adlandırılır. Senkron hızın ifadesi (2.3) eşitliğinde verilmektedir. Kayma hızı terimi bu iki hız arasındaki farkın ifadesidir ve genelde senkron hıza göre bağlı bir ifadeyle verilir. Bu ifade (2.4) eşitliğiyle tanımlanır [19].

n_{sync} : döner manyetik alanın dönüş hızı (devir/dakika ya da rpm)

f : Statora uygulanan gerilimin frekansı (Hz)

p : Makinedeki kutup sayısı

s : kayma (%)

n : rotor devir hızı (devir/dakika)

$$n_{sync} = \frac{120f}{p} \quad (2.3)$$

$$s = \frac{n_{sync} - n}{n_{sync}} 100 \quad (2.4)$$

Sincap kafesli asenkron motorlar özel tasarım talepleri haricinde genelde belirli güç kademelerinde üretilirler. Böylece üretim maliyetleri ve pazarda standard ürünler bulmak daha kolaydır. Kuzey Amerika ülkelerinde güç kademeleri beygir (hp) birimi olarak verilirken dünyanın geri kalanında genelde kilovat (kW) biriminde verilir. Çizelge 2.1’de bu güç değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. 1 hp SI birim sisteminde yaklaşık 0,745 kW’a karşılık gelmektedir.

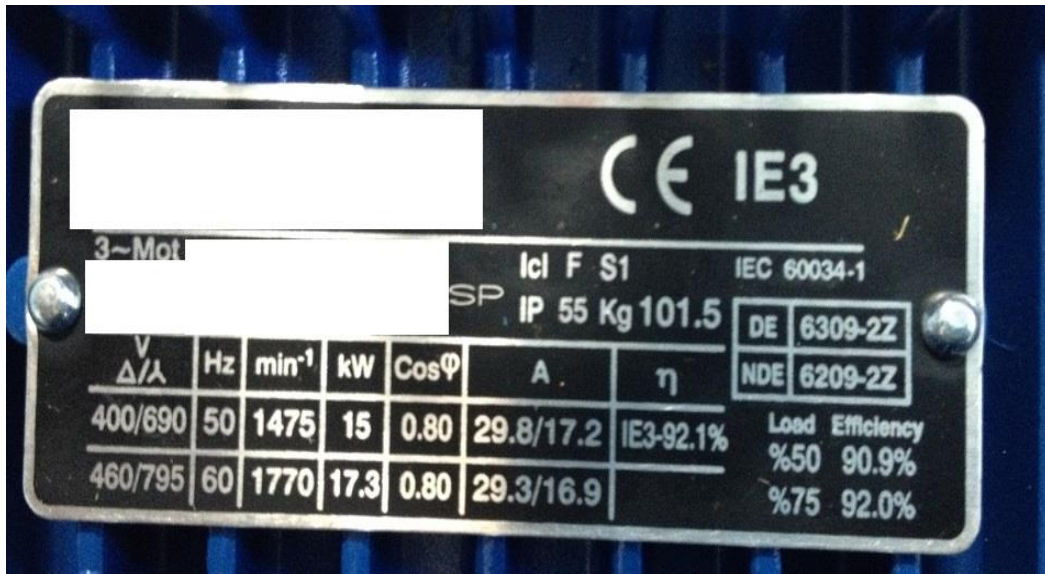
Çizelge 2.1: Elektrik motorları güç kademeleri.

Kuzey Amerika güç kademeleri (hp)	Diğer ülkeler (kW)
1	0,75
1,5	1,1
2	1,5
3	2,2
5	3

Çizelge 2.1 (devam): Elektrik motorları güç kademeleri.

Kuzey Amerika güç kademeleri (hp)	Diğer ülkeler (kW)
7,5	4
10	5,5
15	7,5
20	11
26	15
30	18,5
40	22
50	30
60	37
75	45
100	55
125	75
150	90
200	110
250	132
300	160
350	200
400	250
450	315
500	355

Avrupa’da ve Türkiye’de elektrik motorlarının standardı olan IEC 60034-1’e göre elektrik motorlarının etiketinde motor hakkında detaylı bilgi bulunmalıdır. Motorların etiketlerinde çıkış gücü kW veya hp cinsinden verilir. Sektörde “motorun plakası” olarak adlandırılan etiketin bir örneği şekil 2.10’da verilmektedir.



Şekil 2.10: Elektrik motoru etiketi.

Etikette motorun yıldız ve üçgen bağlanma şekillerine ve frekansa göre anma gerilimleri, besleme frekansı, çıkış gücü, güç faktörü, anma akımı ve %50, %75 ve %100 yükteki verim değerleri görülmektedir. Ayrıca motorun sargılarının ısı yalıtımının sınıfı, su ve toza karşı dayanıklılık sınıfı olan korunma kodu (IP) ve IEC'ye göre verim sınıfı verilmektedir [25].

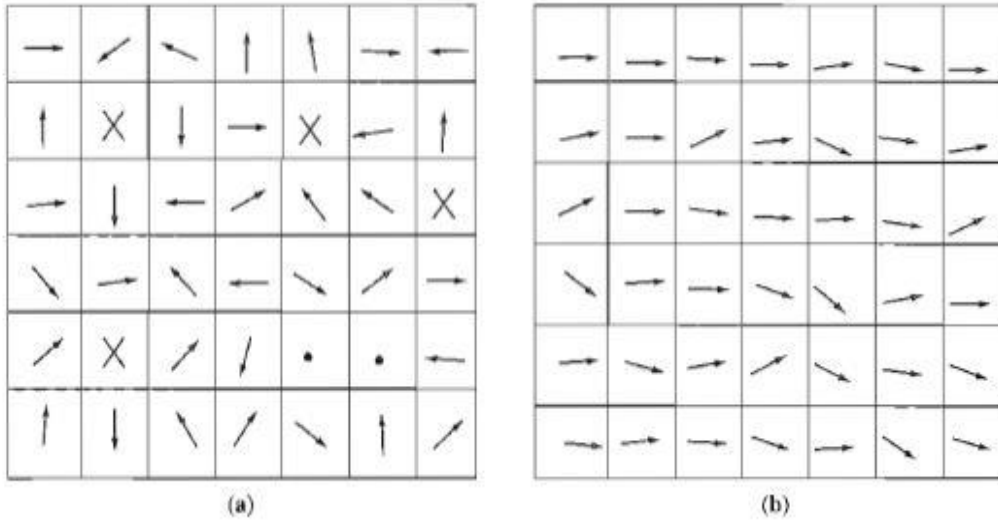
2.4 Elektrik Motorlarında Kayıplar

Her enerji dönüştürme sistemi dönüşüm sürecinde bir miktar enerjiyi kullanılamaz forma dönüştürür. Bu kullanılamaz enerji genelde kayıp olarak nitelenir. Hareketli elektrik makineleri olan motor ile generatörlerde elektriksel ve mekanik kayıplar söz konusuysa hareketsiz elektrik makineleri olan transformatörlerde yalnızca elektriksel kayıplar oluşur. Asenkron elektrik motorlarında kayıp genelde dört başlık altında toplanır.

- Sargılarda oluşan kayıp (bakır kaybı)
- stator ve rotor çekirdeğinde histerezis ve Eddy (Foucault) akımı kayıpları (demir kaybı)
- sürtünme ve vantilasyon kayıpları
- ek (çeşitli) kayıplar

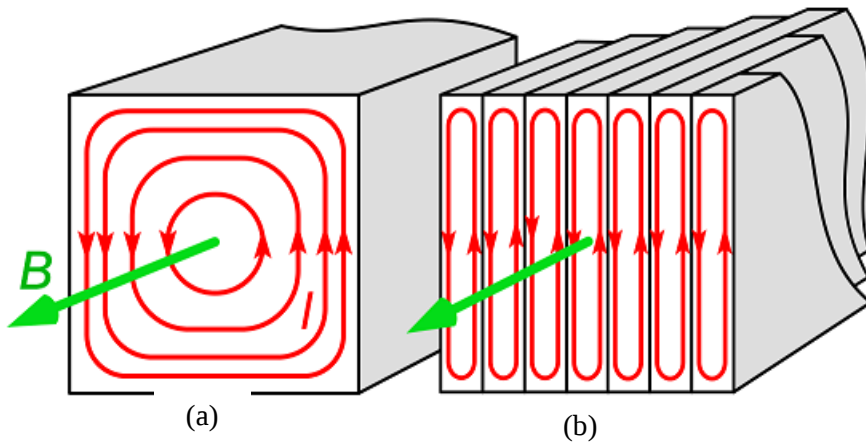
Bir sincap kafesli asenkron motorun kayıpları stator sargılarına 3 fazlı gerilimin uygulanmasıyla başlar. Bu sargılarda akan akım nedeniyle oluşan ısıya bağlı bir miktar güç kaybı oluşur. Statorda gücün bir kısmı ise histerezis kaybı ve girdap (eddy veya Foucault) akımları nedeniyle kaybolur. Histerezis kaybı motorun demir çekirdeğinde alternatif manyetik akının ilerlemesi nedeniyle oluşur ve malzemeye bağlıdır. Manyetik akı sürekli değiştiğinden malzemedeki manyetik bölgelerin mıknatıslanma yönleri yeniden düzenlenir. Bu yeniden düzenlenme sırasında bir miktar enerji ısıya dönüşerek motorda güç kaybına neden olur. Şekil 2.11'de malzemedeki manyetik bölgelerin rasgele ve düzenli olarak sıralanmış halleri görülmektedir. Normalde rasgele yönlenmeye sahip manyetik bölgeler manyetik alana maruz kaldıklarında bu alan doğrultusunda mıknatıslanırlar. Histerezis kaybını azaltmak yüksek manyetik saturasyona sahip malzeme kullanımı ile mümkündür.

Zamanla değişen manyetik akı, ferromanyetik çekirdekte küçük ölçekte akım girdapları oluşmasına neden olur. Bu girdap akımları ise malzemede akıma bağlı ısınma kayıplarına neden olur. Bunun önüne geçmek amacıyla motorun stator ve rotoru yekpare malzemeden değil, birbirine yapıştırılmış sac paketlerinden imal edilir. Bu sac paketlerinin arasına yalıtım malzemesi de eklenerek girdap akımlarının dolaşacağı alan azaltılmış olur. Şekil 2.12’de sac paketleri ile oluşturulan katmanlı malzemede ve yekpare malzemede oluşan girdap akımları görülmektedir.



Şekil 2.11: Manyetik bölgelerin rastgele (a) ve düzenli sırlanışı (b) [19].

Rotorda akan akım da ısınmaya bağlı kayıplara neden olur. Sincap kafesli asenkron motorun rotorundaki bakır kaybı rotordaki iletken çubuklarda oluşan ısınmaya bağlı kayıptır. Rotoru sargılı asenkron motorlarda ise bakır kaybı sargı kayıplarıdır.



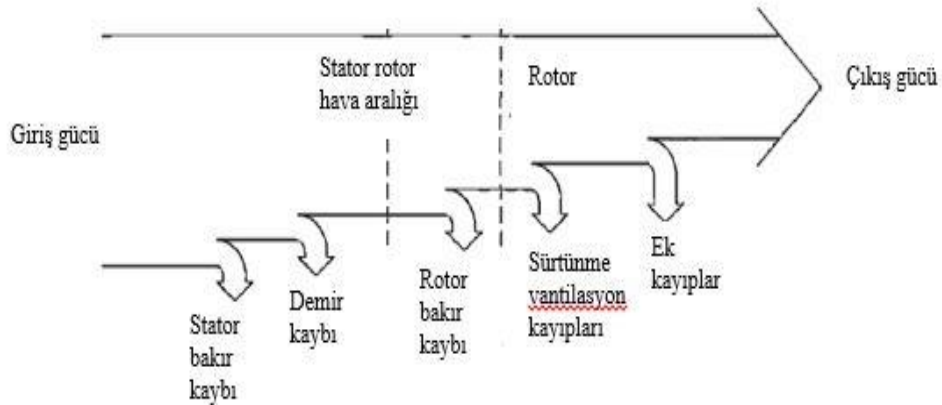
Şekil 2.12: Yekpare malzemede (a) ve katmanlı malzemede (b) oluşan girdap akımları [26].

Ek olarak elektrik motorlarında mil ve rulmanlar gibi dönen parçalar olduğu için sürtünme kaynaklı kayıplar da kaçınılmazdır. Ayrıca rotor bir hava boşluğunun içinde döndüğü için ve fan da bir hava hareketine neden olduğu için rotor-hava etkileşimi nedeniyle vantilasyon kayıpları da oluşmaktadır.

Bunlardan başka ek kayıplar veya yük kayıpları olarak adlandırılan ve yukarıda saydığımız kayıp türlerinin hiçbirine girmeyen bir kayıp türü daha vardır. Yalnız bu kaybı doğrudan tespit etmenin bir yolu yoktur. Bu kayıp ancak deney yoluyla elde edilen verilerden hesaplanarak bulunabilir. Bu kaybı hesaplamak için çeşitli yöntemler çeşitli uluslararası kabul görmüş metotlarla belirlenmiştir. Bu yöntemlerle ilgili ayrıntılı bilgiler Elektrik Motorlarında Verim Tespit Yöntemleri başlığı altında verilecektir.

Tüm bu kayıpların giriş gücünden çıkarılması sonucu motorun çıkış gücü ve dolayısıyla verimi bulunur. Şekil 2.13'te 3 fazlı asenkron motorda güç akış diyagramını göstermektedir.

Bu şemada demir kayıplarının yeri sabit değildir. Demir kayıpları hem statorda hem de rotorda meydana gelir ancak rotor demir kayıpları stator demir kayıplarına göre çok daha az olduğundan bu kayıplar birlikte gruplanarak demir kaybı olarak verilmiştir.



Şekil 2.13: Motorda güç akış diyagramı.

2.5 Elektrik Motorlarında Verim

Kayıplar başlığı altında bir sincap kafesli asenkron motorda oluşan kayıplar verilmişti. Bu kayıpların bir sonucu olarak motorun girişindeki elektriksel gücün tamamı çıkışta mekanik güce dönüştürülemez. Temel olarak elektrik makinelerinde verim, denklem

(2.5)'te verildiği gibi aynı birim cinsinden çıkış gücünün giriş gücüne oranı olarak tanımlanır. Bu nedenle verim birimsizdir ve genelde % (yüzde) ifadesiyle verilir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Giriş Gücü}} \quad (2.5)$$

Elektrik motorlarında giren elektrik enerjisi, çıkan ise mekanik enerji olduğu için çıkış gücünün elektrik gücü cinsinden eşdeğeri dikkate alınır.

2.6 Elektrik Motorlarında Verim Tespit Yöntemleri

Verim ifadesi çıkış gücünün giriş gücüne oranı olarak tanımlıdır. Ancak uygulamada tek bir verim tespiti yöntemi yoktur. Çünkü uygulamada verim tespiti belirli varsayımlar ve şartlar altında (ortam sıcaklığı ve basıncı, gerilim ve frekans toleransı, vb.) yapıldığından ve makinenin özelliklerine (makinenin gücü, faz sayısı, besleme gerilimi, frekansı, vb.) göre aranan verim değeri değişebileceğinden mutlak bir verim tespiti yönteminden bahsetmek güçtür. [27] Verim değerini tespit etmek için çeşitli ulusal ve uluslararası standard deney metotları yayımlanmış, bu standartlardaki yöntemlerin bazıları sektörde genel kabul görmüştür. Bu metotlar genelde denklem (2.6)'da verildiği üzere; toplam kaybın giriş gücünden çıkarılması ile elde edilen gücün, giriş gücüne oranlanması yöntemine başvurur. [28-30].

$$\text{Verim} = \frac{\text{Toplam Elektrik Giriş Gücü} - \text{Toplam kayıp}}{\text{Toplam Elektrik Giriş Gücü}} \quad (2.6)$$

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) elektrik motorlarında verim tespit etmekte ortaya çıkan farklılıkların giderilmesi amacıyla ilk olarak 1955 yılında IEC 60034-2 (Döner elektrik makinelerinin veriminin belirlenmesi için tavsiyeler-çer motorları hariç) standardını yayımlamıştır [31]. Standard zaman içinde birkaç defa değişime uğramış; sırasıyla IEC 60034-2:1972, IEC 60034-2-1:2007 ve son olarak IEC:60034-2-1 olarak güncellenmiştir. Bu standard döner elektrik makinalarının verim tespiti için metotları tarif etmektedir. Son güncellemesi 2014 yılında yapılan standard “IEC 60034-2-1:2014 Döner elektrik makineleri - Bölüm 2-1: Kayıplar ve verimin deneylerle belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler (çer taşıtları için kullanılan makineler hariç)” adıyla son halini almıştır [27]. IEC 60034-2-1:2014 standardı Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) tarafından

Avrupa Birliği standardı olarak kabul edilmiştir. Üyeleri ulusal standard kuruluşları olan CENELEC, Avrupa Birliği'nin elektroteknik sektöru ile ilgili standartları hazırlama yetkisi verdiği ve kâr amacı gütmeyen, uluslararası bir kuruluştur [32]. Bu kuruluşta kabul edilen ve yayımlanan standartlar birçok ölkede aynı içerikle uyumlaştırılarak kabul edilmektedir. IEC 60034-2-1:2014, Avrupa'da EN 60034-2-1:2014 olarak aynen kabul edilmiştir. IEC 60034-2-1:2007 ise Japonya'da JIS C4034-2-1:2011, Çin'de GB/T 1032-2012, Hindistan'da IS 15999 (Part 2/Sec 1): 2011, Suudi Arabistan'da SASO IEC 60034-2-1 olarak aynı şekliyle adapte edilmiştir. Merkezi Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) ise ilk olarak 1984'te IEEE-112: Çok Fazlı Sincap Kafesli ve Bilezikli Asenkron Motorlar ve Generatörler için Standard Deney Prosedürü" standardını yayımlamıştır. IEEE 112 standardı IEC 60034-2-1'den farklı olarak yalnızca sincap kafesli ve bilezikli asenkron makinelere uygulanmaktadır. Bu standard 1991'de, 1996'da ve son olarak 2004'te güncellenerek son halini almıştır. IEEE 112:2004, Kanada'da CSA-C390, Avusturalya ve Yeni Zelanda'da AS/NZS 1359.102.3:2000 (1996 sürümünden yararlanılarak), Brezilya'da NBR 5383-1:2002 (1996 sürümünden yararlanılarak) olarak kullanılmaktadır [33]. IEEE 112 için yeni bir güncellenme ise hâlihazırda IEEE tarafından planlanmaktadır [34]. Rusya'da ise GOST 25941-89:2014 standardı yürürlüktedir. Rusya'da kullanılan standardın yukarıda sözü edilen standartlardan temel farkı, ek yük kayıplarını analitik yöntemle hesaplamak yerine bu kaybı doğrudan makinenin anma gücünün % 0,5'i olarak kabul etmesidir [35]. Cao'nun çalışmasına göre IEEE 112:2004 standardında tarif edilen Metot B ile IEC 60034-2-1:2007 standardında sincap kafesli ve bilezikli asenkron makineler için tarif edilen deney metodu arasındaki temel farklar ölçüm cihazlarının hassasiyeti, deney motorunun yüklenme oranları gibi sonuca fazla etkisi olmayan uygulamalardan kaynaklanmaktadır. IEC 60034-2-1 standardında belirtilen 2-1-1B yöntemi ve IEEE-112 standardında belirtilen Metot B, kayıpların ayrı ayrı deneylerle elde edilerek toplanması ve ölçülen giriş gücünden çıkarılması esasına dayanır [36]. Ancak IEC 60034-2-1'in 2007 sürümü ile 2014 sürümü arasında deney yöntemi açısından fark bulunmamaktadır. Yeni sürümde ölçüm cihazlarının hassasiyeti daha da yükseltilmiş ve farklı laboratuvarlardaki ölçümlerin karşılaştırılabilmesi için deney sırası belirlenmiştir [37]. Dolayısıyla karşılaştırma sonuçları geçerliliğini korumaktadır.

Verim değerlerinin tespitinde kullanılacak yöntem ABD’de IEEE-112:2004 Method B, Kanada’da CSA-C390 Metot I, Avusturalya ve Yeni Zelanda’da AS/NZS 1359.102.3:2000 Metot 1, Brezilya’da NBR 5383-1:2002 Metot 2 ve Meksika’da IEEE-112 Metot B olarak kabul edilmiştir. Bu standartlar verim tespitinde birbirine benzer, belirsizliği küçük bir yöntem kullanmaktadır [28, 33, 38].

Elektrik makinelerinde verim tespiti için standard deney metodu, Türkiye’de ilk olarak Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından 1978 yılında IEC 60034-2:1972 (Döner elektrik makinelerinin veriminin belirlenmesi için tavsiyeler-cer motorları hariç) standardının tercüme edilmesiyle TS 3206 olarak yürürlüğe girmiştir. 2007 yılında ise IEC 60034-2-1:2007 standardı yayımlanmış, bunun üzerine Türkiye’de de Avrupa Birliği standartlarıyla uyum politikası çerçevesinde söz konusu standard “TS EN 60034-2-1:2008 Döner elektrik makineleri - Bölüm 2-1: Kayıplar ve verimin deneylerle belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler (cer taşıtları için kullanılan makineler hariç)” olarak yürürlüğe girmiştir. Son olarak IEC tarafından 2014 sürümü yayımlanan standard Avrupa Birliği ve Türkiye tarafından da aynı içerikle uyumlaştırılarak kabul edilmiştir. Standard, TSE tarafından yayımlanarak TS EN 60034-2-1:2014 olarak ve adı bir önceki sürümüyle aynı olarak Türkiye’de yürürlüğe girmiştir. Bu standardda verim tespiti için deney yöntemleri 3 ana başlık altında toplanmıştır:

- Tek bir makinede giriş-çıkış güç ölçümü. Bu, makineye giren elektriksel veya mekanik gücün ve makineden alınan elektriksel veya mekanik gücün doğrudan ölçülmesini içerir.
- Mekanik olarak bağlanmış iki özdeş makinede elektriksel giriş ve çıkış ölçümü. Bu yöntemde biri motor diğeri generatör olarak çalışan iki makine birbirine milleri vasıtasıyla bağlanır. Giriş elektrik gücünün ve çıkış elektrik gücünün ölçülüp iki güç arasındaki farkın ikiye bölünmesiyle kayıp ve dolayısıyla verim bulunur. Bu, mekanik gücün ölçümünden kaçınmaya olanak sağlar.
- Belirli şartlar altında makinenin kayıplarının ölçümü. Bu, toplam kaybı vermez ancak başlıca kayıp bileşenlerinin tespitini sağlar. [27]

TS EN 60034-2-1:2014 Madde 6’da sincap kafesli ve bilezikli asenkron makinelerin verim tespiti için deney metotları tanımlanmıştır. Buna göre;

- Tek fazlı indüksiyon makineleri için Metot 2-1-1A-Giriş ve çıkışın doğrudan ölçümü,
- Çıkış gücü 2MW'a kadar üç fazlı indüksiyon makineleri için Metot 2-1-1B-Kayıpların toplamı, artık kayıplar yöntemine göre ek yük kayıpları,
- Çıkış gücü 2MW'tan fazla üç fazlı indüksiyon makineleri için Metot 2-1-1C-Kayıpların toplamı, atanmış değerden ek yük kayıpları [27].

metotlarından biriyle verim tespiti yapılır.

3. ELEKTRİK MOTORLARININ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE YASAL DÜZENLEMELER

Elektrik motorlarının dünya üzerindeki elektrik tüketimindeki önemli payı, birçok ülkenin bu ürünlerin verimliliği üzerine yasal düzenlemeleri uygulamaya koymasına neden olmuştur. Dünya genelinde motorların enerji verimliliği konusunda yetkilendirilmiş kuruluşlar genelde bakanlıklar, ulusal metroloji enstitüleri veya laboratuvarlar gibi konu üzerinde tecrübeli teknik kuruluşlar olarak göze çarpmaktadır. Birçok gelişmiş veya gelişmekte olan ülke elektrik motorlarının verimliliği hakkında bir politikaya sahiptir ve bunu yasa, yönetmelik, standartlar gibi kurallar vasıtasıyla uygulamaya koymaktadırlar. Literatürde bu uygulamalar genel olarak Minimum Enerji Performans Standardı (MEPS) olarak adlandırılmaktadır. Özellikle Kuzey Amerika ülkeleri minimum enerji performans standartları konusunda dünya ülkelerinden daha önce harekete geçmişlerdir. Çizelge 3.1’de uygulamaya geçişler ile ilgili bilgi verilmektedir [8]. Genel olarak kapsamdaki motorlar fan soğutmalı, alçak gerilimle ve 50 ve/veya 60 Hz ile çalışan, sincap kafesli ve bilezikli asenkron motorlardır. Hemen hemen uygulamaların tamamında suya daldırılan ve su soğutmalı çalışan, süresiz çalışan ve patlayıcı ortamlar gibi yerlerde çalışan motorlar ve fren motorları hariç tutulmuştur [39]. Ek A’da Çizelge A.1’de büyük miktarda enerji tüketen bazı ülkelerde uygulanan MEPS seviyeleri verilmektedir.

Ülkelerin yasal düzenlemelerinin arasındaki zaman farkı [8].

Ülke veya ülke grupları	Referans ülkeye göre gecikme
Kanada ve ABD	0 ila -2 yıl
Meksika	2 yıl
Avustralya	3 ila 4 yıl
Çin ve Güney Kore	5 ila 6 yıl
Tayvan ve Brezilya	7 ila 8 yıl
Avrupa Birliği	8 ila 10 yıl

3.1 Dünyada Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemeleri

ABD’de sincap kafesli ve bilezikli asenkron motorların verim sınıfları ile ilgili çalışma 1992’de Enerji Politikası Yasası (EPAAct) kapsamında ABD’nin enerji politikasına

girmiştir. Buna göre EPAAct 0,75 kW -150 kW arasında çıkış gücündeki sincap kafesli ve bilezikli asenkron motorların verim değerleri ile ilgili olarak Ekim 1997'den itibaren uygulanmak üzere alt sınırlar koymuştur. 2007 yılında duyurulan Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası (EISA) ile 2010 yılından itibaren ABD'de uygulanacak minimum enerji performans seviyeleri yenilenmiştir. Ulusal Elektrik Cihazları Üreticileri Birliği (NEMA) elektrik motorları ile ilgili enerji sınıflarını ortaya koyan NEMA MG 1 standardını yayımlamıştır ve yürürlükteki yasa verim seviyelerinin belirlenmesinde bu standardı işaret etmektedir. Aynı yasaya göre verim tespitinde kullanılacak deney metodu olarak IEEE-112:2004 (Metot B) işaret edilmektedir. Bu standardda NEMA Efficiency, NEMA High Efficiency ve NEMA Premium seviyeleri tanımlanmıştır. Bu seviyeler IEC tarafından 60 Hz¹ için belirlenen IE1, IE2 ve IE3 seviyeleri ile hemen hemen aynı değerlere sahiptir [40]. Yasa kapsamındaki NEMA design C² motorlardan 0,75 kW – 150 kW arasındaki 4 ila 8 kutuplu olanlar ile NEMA design A² ve B² motorlardan 0,75 kW – 375 kW arasındaki 2 ila 8 kutuplu olanlar NEMA Premium seviyesinde olmalıdır. Yangın pompalarından 0,75 kW – 375 kW arasındaki 2 ila 8 kutuplu olanlar ise NEMA Efficiency seviyesinde olmalıdır. Yasa 01.06.2016'dan itibaren geçerlidir ve NEMA enerji sınıflarının ayrıntıları Ek A'da Çizelge A.2'de verilmiştir. İlgili yasanın yürütülmesinden ABD Enerji Bakanlığı (DoE) sorumludur. ABD bunlara ek olarak, 0,18 kW – 2,2 kW aralığında olan tek veya üç fazlı elektrik motorları için enerji verimliliği düzenlemesini 2015'ten itibaren uygulamaya koymuştur [30].

Brezilya'da, ulusal standard olan NBR 17094-2008'deki IR2 verim değerlerini temel alan 8.12.2005/553 tarih/sayılı yönetmelik ile minimum enerji performans uygulaması yürürlükte. NBR 17094-2008 standardında tanımlanmış olan IR2 seviyesi NEMA MG 1 standardında tanımlı “High efficiency” seviyesine çok yakın değerler içermektedir. NBR 17094-2008 standardı NBR 17094-1:2013 olarak güncellenmiştir ve NEMA PREMIUM seviyesine çok yakın değerler içeren IR3 seviyesi tanımlanmıştır. Brezilya'da IR3 seviyesinin zorunlu olacağı beklenmektedir [41].

Çin 2012'den beri uygulamakta olduğu IE2 minimum verim seviyesini kademeli olarak yükseltmiş 01.09.2017'den itibaren IE3 seviyesini zorunlu tutmuştur [42].

¹ ABD'de elektrik dağıtım şebekesi 60 Hz frekansındadır. NEMA MG 1 sadece 60 Hz için verim seviyeleri tanımlamış, IEC ise 50 ve 60 Hz için ayrı verim seviyeleri belirlemiştir.

² NEMA MG 1 standardında motorların yapısıyla ilgili sınıflandırmalar mevcuttur. A,B ve C sınıf motorlar IEC standartlarının kapsamındaki motor tasarımına benzerlik göstermektedir.

Çin’de motorlar için doğrudan GB18613:2012 standardına uygunluk aranmaktadır. Uygulamanın kapsamı 0,75 kW – 375 kW arası güçteki ve 2,4 ve 6 kutuplu motorlardır. Standardda tanımlanmış olan Grade 1,2 ve 3 seviyeleri sırasıyla IE4, IE3 ve IE2’ye karşılık gelmektedir [10].

Japonya’da ise Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı’na bağlı Enerji ve Doğal Kaynaklar Ajansı tarafından yürütülen “Top Runner” programı çerçevesinde Nisan 2015’ten itibaren IE3 verim seviyesi zorunludur [43].

Güney Kore’de 2010 yılında yürürlüğe giren yasayla başlayan MEPS uygulaması kademeli olarak IE2 seviyesinden IE3 seviyesine evrilmiştir. 2015 yılında yasa revize edilerek 01.10.2018’den itibaren 2,4,6 ve 8 kutuplu, 0,75 kW – 200 kW arası açık ve kapalı tip olarak adlandırılan motorlar için en az IE3 seviyesi zorunlu kılınmıştır [44].

NEMA standardındaki motorlar açık- kapalı, fan soğutmalı-su soğutmalı gibi sınıflara da ayırmaktadır. Ancak IEC ve NEMA’nın kesişen kapsam kümesinde bulunan motorlar NEMA’ya göre, tamamen kapalı fan soğutmalı motorlar (Totally Enclosed Fan Cooled-TEFC) olarak adlandırılmaktadır. Bu tür motorlar için IEC normları olan 60 Hz IE1,IE2 ve IE3 seviyeleri, küçük farklarla sırasıyla NEMA Efficient, NEMA High Efficient ve NEMA Premium seviyeleriyle aynıdır [27,45]. Literatürde de bu seviyeler birbirine eş olarak kabul edilmektedir [8,10,28,46].

3.2 Avrupa’da Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemeleri

Avrupa’da elektrik motorlarında enerji verimliliği hareketi 1999’da CEMEP (Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi) ile Avrupa Komisyonu arasındaki anlaşmayla başlamıştır [47]. Yasal olarak yaptırımı bulunmayan ve gönüllülük esasına dayanan bu uygulamanın kapsamı 1,1 kW ile 90 kW güç aralığında, 2 veya 4 kutuplu, sincap kafesli, üç fazlı asenkron motorlardır ve bu motorlar verim bakımından üç sınıfa ayrılmıştır. Buna göre en düşükten en yükseğe verim sınıfları EFF3, EFF2 ve EFF1 olarak sıralanmıştır. [48] IEC 2008 yılında IEC 60034-30:2008- Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE code)” standardını yayınlamış ve bu standardda sincap kafesli, üç fazlı, tek hızlı asenkron motorların verim sınıfları IE1, IE2 ve IE3 olarak belirlenmiştir [49]. AB ile CEMEP arasındaki antlaşmaya göre belirlenen EFF3, EFF2, EFF1 sınıflarının yerini IE1, IE2 ve IE3 almıştır. EFF3 karşılığı kalmamış, EFF2 IE1’e karşılık ve EFF3 IE2’ye karşılık

gelmiştir. 2014'te IEC 60034-30:2008 standardı, IEC 60034-30-1:2014 olarak değişmiş ve kapsam “şebeke tarafından beslenen alternatif akım motorları için verimlilik sınıfları” olarak yeniden düzenlenmiştir. Standartdaki mevcut verim seviyeleri (IE1,IE2,IE3) aynen kalmış ve verim sınıflarına IE4 verim seviyesi eklenmiştir. Diğer yandan, sürücü üzerinden beslenen motorlar için verim sınıfları ise gelecekte hazırlanması planlanan IEC 60034-30-2 standardının kapsamına alınmıştır. Ayrıca IEC 60034-30:2008 standardında 0,75 kW ila 375 kW arası motorlar olarak belirlenen kapsam, IEC 60034-30-1:2014 standardının yayımlanmasıyla, 0,12 kW-1000kW arası motorlarda geçerli olmak üzere değiştirilmiştir. Bu kapsama giren IE2 ve IE3 seviyeleri için de verim değerleri standarda eklenmiştir. IEC standardının belirlediği verim sınıfları Ek A'da çizelge A.3 ila çizelge A.6'da verilmiştir.

3.2.1 640/2009/EC Regülasyonu

Avrupa Birliği ülkelerinde sincap kafesli asenkron motorların verim sınıflarıyla ilgili yasal düzenleme 2009'da yayımlanan 640/2009/EC Regülasyonu ile yapılmıştır. Bu regülasyona ek 4/2014/EC Regülasyonu yayımlanmıştır. Regülasyona göre 2011'den itibaren Avrupa Birliği ülkelerinde IE2 sınıfının altındaki motorların piyasaya girmesi yasaklanmıştır. Bu regülasyon kapsamındaki motorlar 2,4,6 kutuplu, tek hızlı, anma gerilimi 1000 V'a kadar, sürekli çalışmaya göre tasarlanmış 3 fazlı indüksiyon motorlarıdır. Ayrıca kapsamı dışında tutulan motorlar şunlardır:

- Bir sıvı içine tamamen daldırılmış halde çalışacak şekilde tasarlanmış motorlar,
- Dişli, pompa, fan veya kompresör gibi bir ürüne tam olarak bütünleşmiş olan ve enerji performansı üründen bağımsız olarak deneyi yapılamayan motorlar,
- Deniz seviyesinden 4000 metre üzerindeki yüksekliklerde, ortam sıcaklığının 60°C'nin üzerinde olduğu yerlerde, 400°C'nin üzerinde maksimum çalışma sıcaklığında, ortam sıcaklığının herhangi bir motor için -30°C'nin altında, su soğutmalı bir motor için ise 0°C'nin altında olduğu yerlerde, ürüne giren soğutma suyu sıcaklığının 0°C'den düşük, 32°C'den yüksek olduğu yerlerde ve 94/9/EC regülasyonu ile tanımlanan muhtemel patlayıcı ortamlarda çalışacak şekilde özel olarak tasarlanmış motorlar,
- Fren motorları

Regölasyona göre Avrupa Birliği ölkelerinde 1.1.2015 tarihinden itibaren, anma çıkış gücü 7,5 kW ile 375 kW arasında olan motorlar, IE3 verim seviyesinden düşük olmamalı veya IE2 verim seviyesini karşılamalı ve değişken hız sürücüsü ile donatılmalıdır.

1.1.2017 tarihinden itibaren, anma çıkış gücü 0,75 kW ile 375 kW arasında olan motorlar, IE3 verim seviyesinden düşük olmamalı veya IE2 verim seviyesini karşılamalı ve değişken hız sürücüsü ile donatılmalıdır.

Regölasyon verim tespiti için doğrudan bir standard metoda atıf yapmasa da, regölasyonun Ölçümler ve Hesaplamalar (Annex II Measurements and Calculations) başlıklı maddesinde verim tespiti için “genel kabul görmüş en son yöntemleri dikkate alan, sonuçları düşük belirsizlikte olduğu kabul edilen, güvenilir, hassas ve yinelenebilir bir yöntem” kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca motor veriminin, toplam kaybın ölçümü veya kayıpların ayrı ayrı toplanması yoluyla hesaplanacağı da belirtilmiştir ki, bu yöntem IEC 60034-2-1 standardında bahsedilen verim tespiti yöntemiyle uyushmaktadır. Ayrıca regölasyonun tanımladığı IE verim seviyeleri IEC 60034-30:2008 standardında belirtilen verim seviyeleri ile birebir aynıdır. 640/2009/EC Regölasyonu standardın 2014 sürümünden etkilenmemiştir. Standarddaki IE1, IE2 ve IE3 seviyeleri ile regölasyondaki seviyeler aynı kalmış, IE4 verim seviyesi standarda girdiği halde regölasyona girmemiştir. Özetle, regölasyonun ve IEC 60034-30-1:2014 standardının ortak kapsamı aynı kalmıştır.

640/2009/EC Regölasyonunun uygulanması konusunda IEC 60034-30-1:2014 standardından farklı olarak verim sınıflarında bir miktar genişletme söz konusudur. Regölasyonun “doğrulama prosedürü” maddesine göre, bir ürün modelinin regölasyona uygun olup olmadığının tespiti amacıyla aşağıdaki yol izlenir:

1. Tek bir ünite deneyden geçirilir.
2. Nominal motor veriminde (η), kayıplar ($1-\eta$), Ek-I’de (Annex-I) belirtilen değerlerden, 0,75 – 150 kW güç aralığında %15’den, 150 – 375 kW güç aralığında ise %10’dan daha farklı değil ise model, regölasyonun hükümlerine uygun kabul edilir.
3. 2 nci maddede belirtilen sonuç elde edilmezse, yılda beş adetten az sayıda üretilen motorlar hariç, ilave üç ünite daha deneye tabi tutulur.

4. Nominal verimi (η) ortalamasında, 3 üncü maddede belirtilen üç ünitenin kayıpları ($1-\eta$) Ek-I’de (Annex-I) belirtilen değerlerden 0,75 – 150 kW güç aralığında %15’den, 150 – 375 kW güç aralığında ise %10’dan daha farklı değil ise aynı model, regülasyonun hükümlerine uygun kabul edilir.
5. 4 üncü maddede belirtilen sonuçlar elde edilmezse, modelin regülasyona uygun olmadığı kabul edilir. [14]

Doğrulama prosedürü dikkate alındığında, tebliğin IEC 60034-30-1 standardında tanımlanan verim değerlerine bir tolerans uyguladığı görülmektedir.

3.2.2 Türkiye’de Elektrik Motorları Verimlilik Mevzuatı (SGM-2012/2)

Enerji verimli ürünlerin kullanılmasının teşvikine dair ortaya koyulan uygulamalardan Türkiye’de etkilenmiş ve Türkiye’de 23/6/2010 tarihli ve 2010/643 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe konulan Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik yayımlanmıştır [50]. Bu yönetmeliğin elektrik motorlarında uygulaması amacıyla Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nca 7/2/2012 tarih ve 28197 sayılı Resmî Gazete’de SGM-2012/2 tebliği yayımlanmıştır. Tebliğin yürürlüğe giriş tarihi 2/4/2012 olarak verilmiştir [14]. Bu tebliğ, Gümrük Birliği Anlaşması’ndan kaynaklı AB Teknik Mevzuatına uyum yükümlülükleri nedeniyle, 23 Temmuz 2009 tarihli AB Resmi Gazetesi’nde yayımlanan Elektrik Motorları ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (Ecodesign Regulation for Electric Motors – 640/2009/EC) regülasyonunun Türkçe’ye tercüme edilmesiyle oluşturulmuştur [51]. Dolayısıyla uygulama ve kapsam, teknik ve uygulama ayrıntıları itibarıyla Avrupa Birliği ile birebir aynıdır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın SGM 2012/2 sayılı tebliği Ek – II’de şu ifade yer almaktadır:

Bu tebliğin şartlarına uygunluk ve uygunluğun doğrulanması amacıyla ölçüm ve hesaplamalar, referans numaraları bilgi için Resmi Gazete’de yayımlanan dokümanlarda belirtilen yöntemler dâhil olmak üzere, genel kabul görmüş en son yöntemleri dikkate alan ve sonuçları düşük belirsizlikte olduğu kabul edilen, güvenilir, hassas ve yinelenebilir bir yöntem kullanılarak yapılacaktır [14].

TS EN 60034-2-1 Madde 6’da endüksiyon makinelerinin verim tespiti için deney metotları verilmiştir. Bu maddede çıkış gücü 2 MW’a kadar olan üç fazlı makineler için düşük ölçüm belirsizliğine sahip tercih edilen yöntem olarak Metot 2-1-1B

verilmektedir. Bu yöntem kayıpların ayrı ayrı tespit edilerek toplanması temeline dayanmaktadır. Bu ifadelerden yola çıkılarak verim tespit yöntemi olarak TS EN 60034-2-1 Metot 2-1-1B yöntemi tercih edilmektedir. IEC ile işbirliği içinde olan Avrupa Birliği ülkeleri ve daha birçok dünya ülkesi yasal denetim amaçlı verim tespitinde bu yöntemi tercih etmektedir [10, 39].

3.3 Dünyada Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı

Düzenlemelerinin Pazara Etkileri

A.T. de Almeida ve diğ. Avrupa Birliği için yeni bir Ekotasarım direktifi belirleme çalışmaları kapsamında çeşitli seçenekler sunmuşlardır. Bu çalışmaya göre birinci seçenek; küçük güçlü (0.75 kW altı) tek fazlı ve üç fazlı motorlar için IE2 seviyesini ve büyük güçlü motorlar içinse IE3 seviyesini zorunlu kılmaktadır. Bu düzenleme uygulanırsa 18.8 TWh/yıl enerji tasarrufu öngörülmektedir. İkinci seçenekte mevcut IE2 + değişken hız sürücüsü kuralının yerine IE3 seviyesi zorunlu tutulmaktadır. Bu seçenekte 2.4 TWh/yıl tasarruf hesaplanmaktadır. Üçüncü seçenek, ex-proof motorların ve fren motorlarının da kapsama dâhil edilmesini önermektedir ve 0,26 TWh/yıl tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca gelecek gözden geçirmelerde göz önüne alınmak üzere orta güçte motorlarda IE4 seviyesini zorunlu kılmayı önermektedir. Bu durumda tasarruf miktarı 9,4 TWh/yıl olacaktır. Toplamda tahmin edilen tasarruf miktarı 31 TWh/yıl dır [52].

I. L. Sauer ve diğ. (2015) 2000 – 2012 yılları arasında Brezilya’da kullanılmakta olan çeşitli güçlerde motorlardan 276 adedinin deney sonuçlarını 2002’de yürürlüğe giren 4508/2002 nolu enerji performansı düzenlemesine göre değerlendirmişlerdir. Düzenleme IE1 ve IE2 seviyelerini içermektedir. Ölçüm sonuçlarına göre bu motorların büyük çoğunluğu düzenlemenin şart koştuğu verim değerlerini sağlamamaktadır [28]. Rogério Diogne de Souza e Silva ve Maria Emília de Lima Tostes 8.12.2005/553 tarih/sayılı yönetmelikle Brezilya’da üretilen ve satılan tüm motorların 2010’dan itibaren en az High Efficiency seviyesinde olması zorunluluğunun getirildiğini belirtmişlerdir. 2009 itibarıyla Brezilya’da mevcut motor adedi 12,9 milyon, bu motorların enerji tüketimi ise 120 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Tüm motorların IE2 seviyesindekilerle değiştirilmesi halinde 428 GWh/yıl enerji tasarrufu edileceği hesaplanmıştır [53]. R. Saidur ve T.M.I.Mahlia 2010 itibarıyla Malezya’da mevcut motorların IE2 motorlarla değiştirilmesi

durumunda 20 kW motorlar için 1940 GWh/yıl, 120 kW motorlar için 892 GWh/yıl enerji tasarrufu edileceğini ortaya koymuşlardır. Bu değişimlerden 10 yıl içinde 160 milyon ABD doları tasarruf edileceğini ve 1,789 milyon ton CO₂ salınımının bertaraf edileceğini, ayrıca yatırımın geri dönüş süresinin bir yıldan az olacağını sunmuşlardır [54]. Zabardast A ve Mokhtari H. İran'daki bir lastik-kauçuk fabrikası üzerinde yaptıkları çalışmada mevcut motorların IE2 seviyesindeki motorlarla değiştirilmesi halinde 628.764 kWh/yıl enerji tasarrufu oluşacağını ve mevcut enerji talebinin 48,5 kW kadar azalacağını ortaya koymuşlardır. Çalışmaya göre bu kazanımlardan yıllık 13.785 ABD doları tasarruf edilecektir [55]. Navjot Kaur Gill ve Amrinder Kaur Hindistan'da faaliyette olan 12 adet pirinç değirmeninde çalışan ve güçleri 3.75 – 75 kW arasında olan 44 adet motorun IE2 motorlar ile değiştirilmesi sonucunda toplam 59.104 kVAr/yıl enerji tasarrufu elde edileceği ve yatırımın geri dönüş süresinin 4 ay olduğunu ortaya koymuşlardır [56].

3.4 Türkiye’de Elektrik Motorları Minimum Enerji Performansı Düzenlemelerinin Uygulama Örnekleri

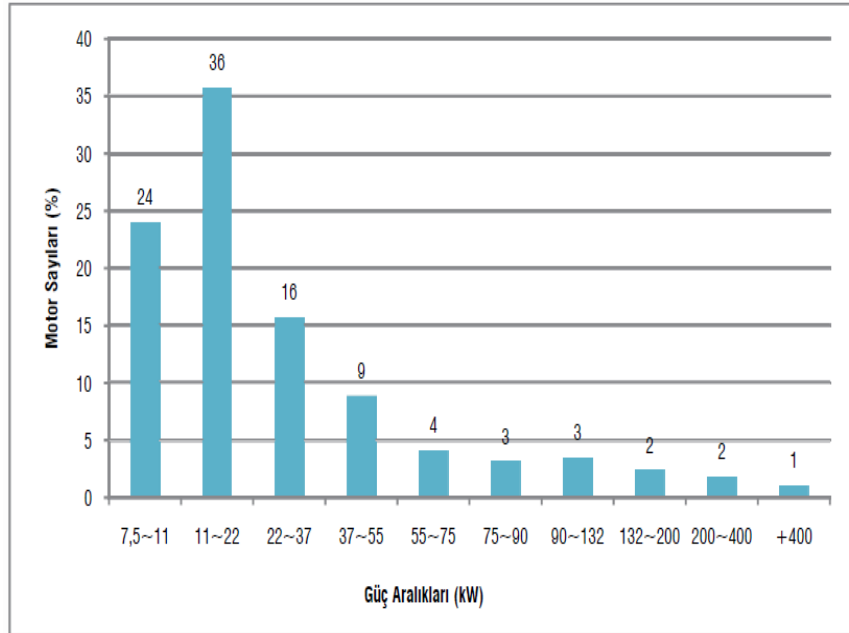
Türkiye’de elektrik motorlarının minimum enerji performansı ile ilgili olarak üç ana çalışma söz konusudur. Bu çalışmalar; Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu, Sanayide Düşük Verimli Elektrik Motorlarının Dönüşümü Programı ile Piyasa Gözetimi ve Denetimi Uygulamasıdır.

3.4.1. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı imalat sanayisinde kullanılan elektrik motorları envanteri analiz raporu

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporunda örnekleme yöntemiyle seçilmiş Türkiye’deki 887 işletmeden toplam 92.891 adet AC motor verileri elde edilmiştir. Bu verilere göre 7,5 kW – 37 kW aralığındaki motorların daha yaygın olduğu görülmüştür. Türkiye’deki üç fazlı asenkron motorların güç aralıklarına göre dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir. Envanter çalışmasında 53.496 adet motorun verim sınıfına ilişkin bilgi elde edilmiş, 1809 motorda yalnızca verim değeri % cinsinden elde edilmiş, 37.834 motorda ise verim ile ilgili bir veriye rastlanmamıştır. Motorların güçlerine göre verim dağılımları Şekil 3.2’de verilmiştir. Bakanlık raporuna göre Türkiye’de sanayide 7,5

kW üzeri toplam AC motor sayısı 4.306.622 olarak tahmin edilmektedir. Bu motorların 3.783.694 adedi IE0, IE1 ve hız sürücüsü ile donatılmamış IE2 motorlardır. Raporda, söz konusu motorların tamamının IE3 seviyesindeki motorlarla değiştirilmesi ve IE2 motorların 10 yaştan altında olanlarının değişken hız sürücüsü ile donatılması halinde elde edilecek enerji ve maliyet tasarrufu hesaplanmıştır. Değişken hız sürücüsü eklenmesi gereken motor sayısı 166.789 olarak tahmin edilmiştir. Hesaplama için denklem (3.1) kullanılmıştır [18].

$$K = hP_nac\left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_{eff}}\right) \quad (3.1)$$



Şekil 3.1: Türkiye’de elektrik motoru envanteri

K: Yıllık Toplam Tasarruf Miktarı (TL/yıl)

h: Yıllık Çalışma Saati (saat/yıl)

P_n: Motorun Anma (Nominal) Gücü (kW)

a: Yüklenme Oranı (%80 ise x = 0,8 alınır)

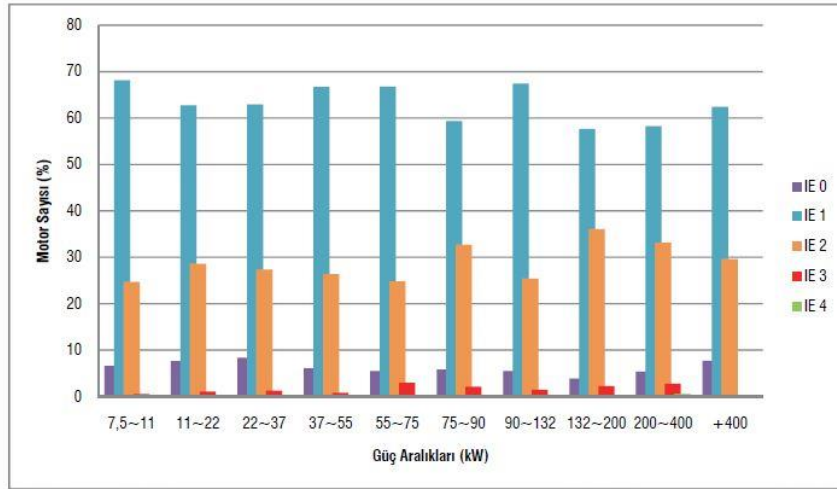
c: Elektrik Enerjisi Birim Fiyatı (TL/kWh) (0,25 ve 0,22 TL/kWh alınmıştır)

μ: Mevcut Motorun Verim Değeri (% 80 ise μ = 0,8 alınır)

μ_{eff}: Yüksek Verimli Motorun Verim Değeri (% 85 ise μ_{eff} = 0,85 alınır)

Dönüşümü yapılacak motorların dönüşüm maliyetinin hesaplanması için belirli güç aralığındaki motorların ortalama fiyatları çeşitli üreticilerle yapılan görüşmeler sonucunda tespit edilmiş ve değiştirilecek motor sayısı ile çarpılmıştır [18]. Tespit edilen fiyatlar çizelge 3.2’de verilmektedir.

Envanter raporunda üç farklı senaryo durumunda dönüşüm maliyeti, yatırımın geri dönüş süresi, elde edilecek yıllık elektrik tasarrufu ve elde edilecek yıllık tasarruf hesaplanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar çizelge 3.3’te verilmektedir.



Şekil 3.2: Güç Aralıkları ve Verim Sınıflarına Göre AC Motor Sayıları [17].

Ortalama Motor Fiyatları [17].

Motor Güç Aralığı (kW)	Ortalama Fiyat (TL)
7,5 – 11	1.106
11 – 22	1633
22 – 37	2698
37 – 55	4048
55 – 75	6273
75 – 90	8734
90 – 132	10230
132 – 200	15163
200 -400	22752
400 ve üzeri	47313

Üç farklı senaryoya göre elektrik motoru dönüşümü [17].

SENARYOLAR		ELEKTRİK FİYAT TARİFELERİ	
		Birim Fiyat 0,22 TL/kWh	Birim Fiyat 0,25 TL/kWh
VERİMSİZ MOTORLARIN VERİMLİ OLANLARIYLA DEĞİŞTİRİLMESİ	Dönüşüm Maliyeti (TL)	14.575.729.477	14.575.729.477
	Yatırımın Geri Dönüş Süresi (ay)	24	21
	Dönüşümü Yapılacak Motor Sayısı	3.783.695	3.783.695
	Elde Edilecek Yıllık Elektrik Tasarrufu (kWh/yıl)	33.770.491.922	33.770.491.922
	Elde Edilecek Yıllık Tasarruf (TL/yıl)	7.429.508.223	8.442.622.980
	Dönüşüm Maliyeti (TL)	14.496.618.013	14.496.618.013
VERİMSİZ MOTORLARIN VERİMLİ OLANLARIYLA DEĞİŞTİRİLMESİ + GEREKLİ MOTURLARA HIZ SÜRÜCÜSÜ İLAVESİ	Yatırımın Geri Dönüş Süresi (ay)	20	18
	Dönüşümü Yapılacak Motor Sayısı	3.783.695	3.783.695
	Elde Edilecek Yıllık Elektrik Tasarrufu (kWh/yıl)	38.721.419.911	38.721.419.911
	Elde Edilecek Yıllık Tasarruf (TL/yıl)	8.518.712.380	9.680.354.977
	Dönüşüm Maliyeti (TL)	563.400.142	563.400.142
	Yatırımın Geri Dönüş Süresi (ay)	5	4
GEREKLİ MOTURLARA HIZ SÜRÜCÜSÜ İLAVESİ	Dönüşümü Yapılacak Motor Sayısı	166.789	166.789
	Elde Edilecek Yıllık Elektrik Tasarrufu (kWh/yıl)	6.614.889.775	6.614.889.775
	Elde Edilecek Yıllık Tasarruf (TL/yıl)	1.455.275.750	1.653.722.443

3.4.2. Sanayide düşük verimli elektrik motorlarının dönüşümü programı

Türkiye'nin Onuncu Kalkınma Planı'nda yer alan öncelikli dönüşüm programlarından biri de Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı'dır. Bu program kapsamı “düşük

verimli AC elektrik motorlarının daha yüksek verimli olanlarıyla değiştirilmesi” olarak tanımlanmıştır [57]. Bu faaliyetin Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından uygulanması kararlaştırılmış ve Sanayide Düşük Verimli Elektrik Motorlarının Dönüşümü Programı adı ile yürütülmeye başlanmıştır. Programın amacı “Türk sanayisinin enerji verimli üretim yapmasına ve karbon salınımının azaltılmasına katkı sağlamak üzere üretimde kullanılan bağımsız ve akuple 7,5 kW üzeri elektrik motorlarının verimli motorlarla değiştirilmesi ve gerek elektrik motoru üreticileri ve gerekse nihai kullanıcıların teknolojik gelişiminin desteklenmesi” olarak tanımlanmıştır. Programda 5 ana bileşen belirlenmiştir.

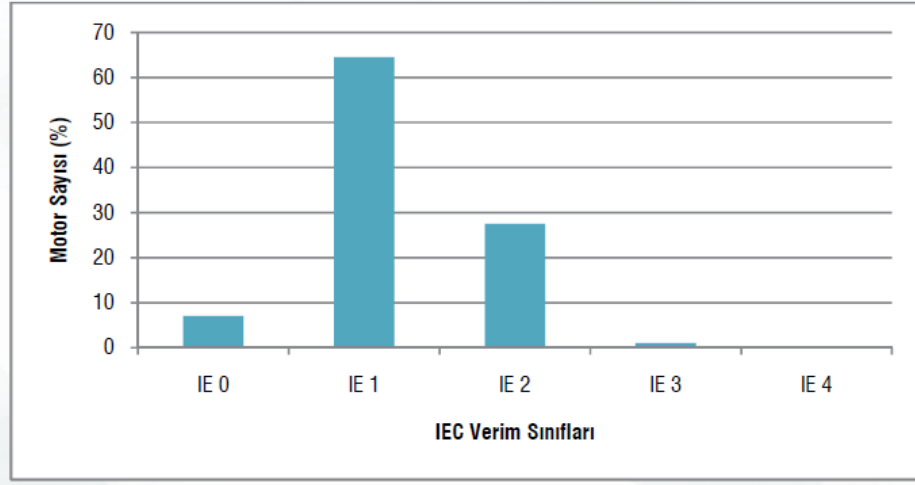
- 1- Sanayide kullanılan 7,5 kW ve üzeri AC motorlara ilişkin envanterin çıkarılması
- 2- Enerji verimli elektrik motorlarına ilişkin mevzuat ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi
- 3- Sanayideki elektrik motorlarının dönüşümünün hızlandırılması için finansal destek modellerinin geliştirilmesi
- 4- Elektrik motoru üreticilerinin teknoloji düzeylerinin ve üretim kapasitesinin geliştirilmesi
- 5- İşletmelerde enerji verimli motorlara ilişkin farkındalığın artırılması [17].

Program kapsamında 62 ilde yer alan, yıllık elektrik enerjisi tüketimi 50 ton eşdeğer petrol (TEP) olan 887 işletmede yaklaşık 95.000 adet motor analiz edilmiştir [17].

Envanter çalışmasına göre Türkiye’de hâlihazırda kullanılmakta olan AC motorların % 7’si IE1’in altında, %65’i IE1, % 27’si IE2, yalnızca %1’i ise IE3 verim seviyesindedir. Başka bir deyişle mevcut elektrik motorlarının % 72’si bakanlık tebliğinin kabul etmediği verim seviyesindedir (Şekil 2.16). Değerlendirme SGM 2012/2 tebliğine göre yapılmıştır [17].

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü Sanayide Düşük Verimli Elektrik Motorlarının Dönüşümü çalışması kapsamında önce 2016 yılında Kayseri’de bir pilot çalışma yapmış ancak ilgi ve katılımın yetersizliği nedeniyle 2017 yılında yeni bir çalışmayı Bursa’da yapmayı planlamaktadır. Ayrıca Elektrik Motoru Sanayicileri Derneği (EMOSAD)’nin kurulması teşvik edilerek örgütlenmeleri sağlanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak Türkiye’de 2017 yılı başı itibarıyla üreticisi bulunmayan değişken hız sürücüsü ve benzeri verim artırıcı donanımların

üretilebilmesi için çalışmalara başlanmıştır [17]. Mevcut motorların verimlerine göre dağılımı şekil 3.3’te görülmektedir.



Şekil 3.3: Motorların Verim Durumu [17].

Bakanlık aynı zamanda konu hakkında bilincin artırılması ve birikimin elde edilebilmesi için çeşitli eğitim, konferans ve işbirliği faaliyetleri yanında dönüşüm programının finansal yönünü desteklemek amacıyla Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB), Kalkınma Bankası gibi kurumları da sürece dâhil etmiştir [17].

Dönüşüm kapsamındaki motorların verimlerinin doğrulanması amacıyla Türk Standardları Enstitüsü Elektroteknik Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü bünyesinde Mart 2015 itibarıyla Elektrik Motorları Laboratuvarı kurulmuştur. Laboratuvar Ağustos 2015 itibarıyla Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK)’ndan akredite olarak hizmete başlamıştır.

3.4.3. Piyasa gözetimi ve denetimi uygulaması

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Piyasa Gözetimi Denetimi (PGD) faaliyetleri kapsamında elektrik motorlarının verimlilik denetlemelerini gerçekleştirmekte ve tebliğe uymayan motorlar ve tedarikçileri hakkında cezai işlem uygulamaktadır. Aynı zamanda yurtdışından ithal edilen motorların tebliğe uygunluğu ise Ekonomi Bakanlığı’nın görevlendirmesi üzerine TSE tarafından denetlenmekte ve Ekonomi Bakanlığı’na rapor edilmektedir. Sanayide halihazırda kullanımda olan motorların dönüşümü çalışmasının yanında 2012/2 tebliğinin uygulamasını gerçekleştirmek üzere Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na bağlı Sanayi Ürünleri Güvenliği ve Denetimi

Genel Müdürlüğü sanayide elektrik motorlarının dönüşümünü amaçlayan Elektrik Motorları Projesi (S-EMOP)'ni 16/2/2016 tarihinde balatmıtır. Bu alıma kapsamında denetim ekipleri kurulmuş, çeşitli üreticiler ziyaret edilmiş ve ilk aşamada Ankara'da pilot denetim gerçekleştirilerek 7 markadan 12 adet farklı modelde motor TSE Elektrik Motorları Laboratuvarı'na gönderilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise Kocaeli ve İstanbul'dan alınan 11 markadan 15 örnek deney için laboratuvara gönderilmiştir. nc denetim yılı olan 2017'de ise İzmir, Ankara ve İstanbul'dan 5 markadan 20 örnek laboratuvara gönderilmiştir.

Bu faaliyetlerle birlikte Ekonomi Bakanlığı da ithalat denetimlerinde SGM 2012/2 (EC/640/2009) tebliğine uygunluğu kriter olarak kabul etmiştir. Bu faaliyet kapsamında ise 400 adetten fazla IE1 seviyesinde motor tespit edilmiş ve ithalatı yasaklanmıştır. İthalat denetimlerinin tip tabanlı olduğu düşünüldüğünde 400'den fazla model düşük verimli motor adet olarak çok yüksek miktarlarda motora karşılık gelecektir [58].

4. PİYASA GÖZETİMİ ve DENETİMİ FAALİYETİ DENEYLERİ

Piyasa Gözetimi ve Denetimi Faaliyetlerinin deney ayağında TSE Deney Laboratuvarları Merkezi Başkanlığı önemli görevleri üstlenmektedir. Bunlardan biri de Elektrik Motorları Deney Laboratuvarıdır.

4.1 TSE Elektrik Motorları Deney Laboratuvarı

Türk Standardları Enstitüsü 18.11.1960 tarih ve 132 sayılı kanunla kurulmuş tüzel kişiliğe sahip bir kamu kurumudur. Kısa adı ve markası TSE olarak belirlenen kurum, Türkiye’de her türlü madde ve mamulleri ile usul ve hizmet standartlarını yapma yetkisi ve sorumluluğuna sahip tek yetkili organdır. TSE genel kurulu üyeleri çeşitli bakanlıkların, sivil toplum kuruluşlarının, üniversitelerin ve bazı kamu kurumlarının seçtikleri üyelerden oluşur. TSE yurtiçi ve yurtdışı olmak üzere birçok merkezde ve birçok konuda faaliyet göstermektedir. Başlıca görevi olan standardizasyon ile birlikte, Türk standartlarına uygunluk belgesi vermek (TSE markası), çeşitli ülkelere gözetim ve muayene hizmeti vermek, bünyesindeki 118 ihtisas laboratuvarı ile kamu ve özel sektöre deney ve kalibrasyon hizmeti vermek, hazırladığı standartlar konusunda eğitim hizmeti vermek gibi görevleri yerine getirmektedir [59].

Kurulum çalışmaları 2012’de TSE Deney ve Kalibrasyon Merkez Başkanlığı, Elektroteknik Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü bünyesinde başlayan Elektrik Motorları Laboratuvarı Nisan 2015’te faal duruma geçmiş, Ağustos 2015’te ise akreditasyonunu tamamlayarak hizmete başlamıştır. Laboratuvar Türkiye’deki tek tarafsız laboratuvar olarak hizmet vermektedir.

Deney sistemi bir adet direnç ölçme cihazı, bir adet çok kanallı enerji analizörü, bir adet endüstriyel bilgisayar, 7 adet farklı ölçeklerde moment sensörü ve deneyden geçirilen motorun miline kaplinler vasıtasıyla bağlanan 3 adet farklı büyüklüklerde doğru akım motorundan oluşmaktadır. Deney yazılımı ile değişkenleri kontrol edilebilen bu motorlar deneyi yapılan motorlara yük teşkil ederler ve bu sayede çeşitli oranlarda yükleme gerçekleştirilmiş olur. Moment sensörleri % 0,05 hassasiyette temin edilmiş, güç ölçümleri için ise %0,3 hassasiyet belirlenmiştir. Böylece 0,18 kW ile 90

kW aralığında olan kapsam için yüksek hassasiyet ve düşük ölçüm belirsizliği sağlanmıştır. Laboratuvarından elde edilen ölçüm sonuçlarının bakanlık tarafından yaptırım uygulama kararı alınmasına esas teşkil edecek olması nedeniyle, ölçümlerin yüksek hassasiyet ve düşük ölçüm belirsizliği ile yapılması yüksek önem taşımaktadır. Bu nedenle 0,18 kW ile 90 kW güç aralığı birbirinden mekanik olarak bağımsız 3 adet deney düzeneğine ayrılmıştır. Böylelikle deneyi yapılacak motorun gücüne göre en uygun deney düzeneğinin seçilmesi mümkün olmuştur. Deney sisteminin fotoğrafları şekil 4.1 ila şekil 4.4'te görülmektedir. Şekil 4.1'de üç deney tezgâhının tamamı görülmektedir. 0,18 kW – 90 kW aralığındaki motorların ölçümlerinin yüksek hassasiyetle yapılabilmesi için kapsam üç ayrı tezgâha bölünmüştür. 0,18 kW – 5,5 kW M3 (resimde solda), 5,5 kW – 18,5 kW aralığı M2 (resimde ortada), 22,5 kW – 90 kW aralığı ise M1 (resimde sağda) tezgâhında yapılabilmektedir.³ Örnek amacıyla M3 tezgâhının genel görünüşü şekil 4.2'de verilmektedir. Şekil 4.3'te ise deney sistemine bağlı bir motor varken tezgahın görünümü yer almaktadır. Şekil 4.3'te; solda deneyden geçirilen motor, ortada moment sensörü ve sağda farklı yüklenmeleri sağlamak için kullanılan yük motoru görülmektedir. Şekil 4.4'te deney sisteminin direnç ölçer, enerji analizörü ve endüstriyel bilgisayarını içeren kabin görülmektedir.

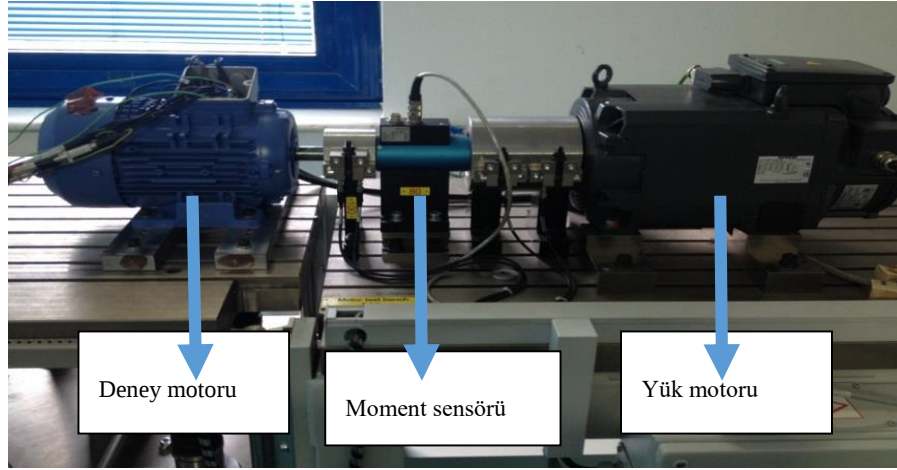


Şekil 4.1: Deney sistemi tezgahları.

³ Sınır güç değerleri kesin olmayıp, farklı kutup sayılarına göre değişmektedir.



Şekil 4.2: M3 tezgâhı.

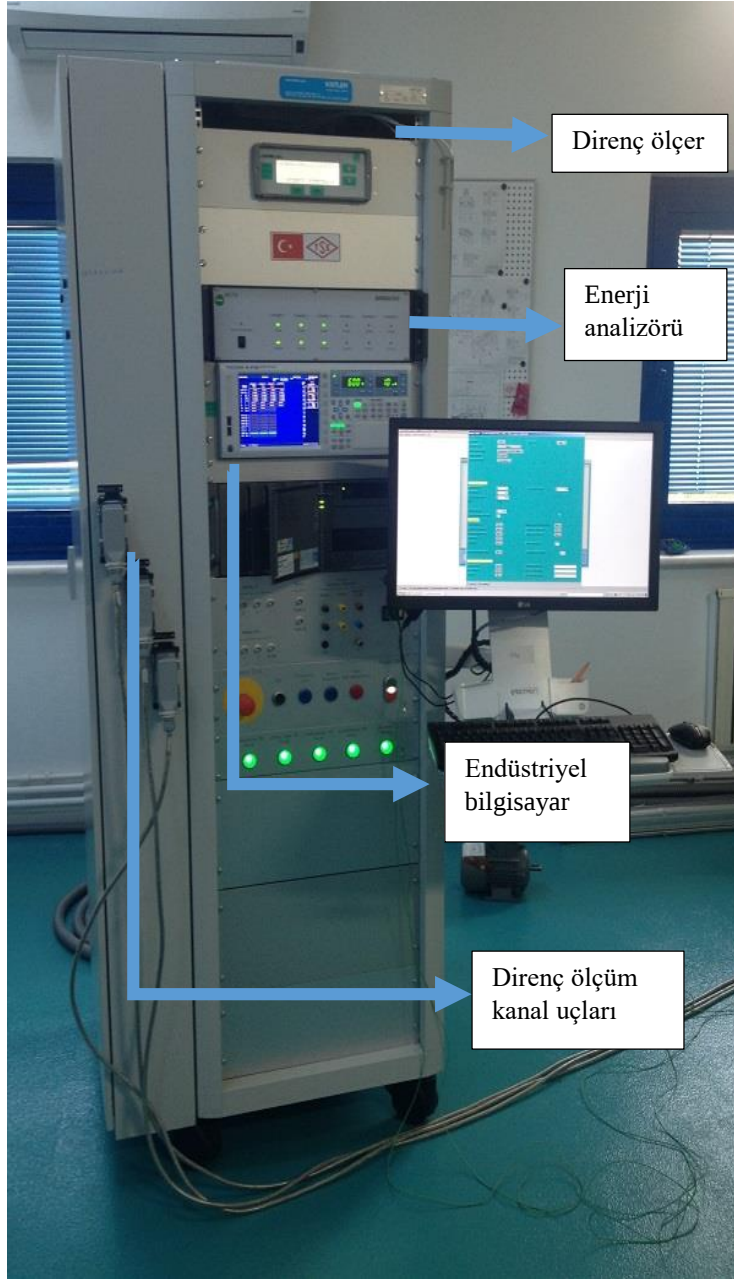


Şekil 4.3: Motor bağlı halde M3 tezgâhı.

4.2 Verim Tespiti Deneyi

TS EN 60034-2-1’de tercih edilen yöntem olarak ya bir dinamometrenin kullanılması veya bir moment ölçüm cihazı ile birlikte bir yük motorunun kullanılması öngörülmektedir. Yük motoru olarak ise deneyi yapılacak motorun anma gücünün %125 ini sağlayabilecek güçte bir motor tarif edilmektedir. TSE laboratuvarında deneyler bir yük motoru ve bir moment sensörü ile yapılmaktadır. Moment ölçümü ise motor miline doğrudan bağlı, bir moment sensörü vasıtasıyla yapılır. Deney düzeneğinin şeması şekil 4.6’da verildiği gibidir. TS EN 60034-2-1 Metot 2-1-1B’de

ayrı ayrı tespit edilen kayıplar şunlardır: demir kaybı, sürtünme vantilasyon kaybı, stator ve rotor bakır kaybı, ek yük kayıpları.



Şekil 4.4: Deney kontrol sistemi.

Bu deney yönteminde motor 3 temel deneye tabi tutulur.

- Anma yükünde deney (Isınma Deneyi)
- Yük Eğrisi Deneyi (Değişken Yükte deney)
- Boşta deney

4.2.1 Anma yükünde deney

Moment sensörü henüz deney başlamadan durgunken doğrulamaya tabi tutulur. Sensör önce %0, sonra %100 yüklenir ve sonra tekrar %0 yükte yüklenerek deney sistemi yazılımında sensör cevabı okunur. Değerlerde sensörün nominal değerinden %0,2 ‘den daha fazla sapma varsa deney bu haliyle yapılamaz. Standardda sensörün izin verilen en yüksek sapma değeri ile ilgili bilgi verilmemiştir. Bu değer laboratuvar kapsamındaki sensörlerin üreticisi tarafından sağlanmıştır. Sensörün deney öncesi doğrulanmasının ardından, anma yükünde deneyden önce, motor ortam ile ısı dengedeysen motorun sıcaklığı ve sargı dirençleri ölçülür. Motor ile ortam aynı sıcaklıkta olduğu için motor sıcaklığı ortamda ölçülen sıcaklığın aynısıdır. Sargı dirençleri deney sisteminin direnç ölçme aleti (resistomat 2316) ile ölçülür. (Şekil 4.5) Ayrıca ölçümün teyidi için dirençler el ölçü aleti (miliohmmetre) ile tekrar ölçülür. Standard, motorun ısı olarak dengeye gelene kadar uygun bir yüklenme yöntemiyle anma gücünde çalıştırılmasını gerektirmektedir. Bu amaçla motor anma gerilimi ve anma gücünde çalıştırılır. Motor sıcaklığı yarım saat içinde 1 Kelvin veya daha az miktarda değişmeyecek duruma geldiğinde motor ısı dengeye gelmiş kabul edilir. Motorun ısı dengeye ulaşıp ulaşmadığının takibi motorun içine, mümkün olduğunca stator sargılarının yakınına daldırılan ısı çiftler vasıtasıyla yapılır. Ancak sargı sıcaklık ölçümü için bu şart değildir. Önemli olan motorun ısı kararlılığına ulaştığından emin olmaktır; bu nedenle sıcaklık ölçümü motorun muhafazasının üzerinden de yapılabilir ancak daha sağlıklı bir ölçüm için stator sargılarına temas eden ısı çift tercih edilir. Isınma deneyi sırasında motorun giriş gücü, moment, ortalama hat akımı, ortalama uç gerilimi, devir sayısı (hız), frekansı, soğutucu giriş sıcaklığı, anma yükünde sargı direnci ve sargı sıcaklığı ölçülür, kaydedilir. Motorun moment ve devir sayısı moment sensörü ile; giriş gücü, akım, gerilim, frekans gibi elektriksel büyüklükler enerji analizörü ile; sargı dirençleri her bir fazın sargısı için direnç ölçüm cihazıyla ölçülmektedir. Sargı sıcaklığı ise direnç değişimi metoduyla ölçülür. Direnç değişimi metodu direncin sıcaklıkla değişimi ilkesine dayanır. Bir t_{ilk} ilk sıcaklığındaki iletkenin ilk direnci R_{ilk} ise, sıcaklığa bağlı olarak direnci değişir. İletkenin t_{son} sıcaklığındaki son direnci R_{son} olduğunda, iletkenin sıcaklığı (4.1) eşitliğiyle bulunabilir.

t_{ilk} : İletkenin ilk sıcaklığı (°C)

R_{ilk} : İletkenin ilk direnci (ohm)

R_{son} : İletkenin son direnci ($^{\circ}\text{C}$)

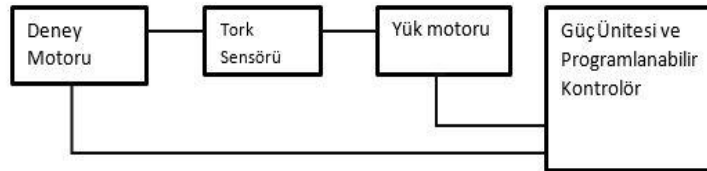
t_{son} : İletkenin son sıcaklığı (ohm)

235: Bakır için sıcaklık katsayısı

$$t_{son} = \frac{R_{son}}{R_{ilk}}(235 + t_{ilk}) - 235 \quad (4.1)$$



Şekil 4.5: Deney sistemi direnç ölçeri.



Şekil 4.6: Deney sistemi şeması.

Deney yazılımı ile kontrol edilen deney cihazlarından alınan ölçümler endüstriyel bilgisayara kaydedilmektedir.

4.2.2 Yükte kayıplar

Yük kayıpları, stator ve rotor sargı kayıpları ile bunların referans soğutucu sıcaklığına göre düzeltilmiş değerlerinden oluşur.

4.2.2.1 Stator sargı kayıpları ve sıcaklık düzeltmesi

Anma yükünde düzeltilmemiş stator sargı kayıpları P_s (4.2) eşitliğiyle hesaplanır.

P_s : Anma yük deneyinde stator kaybı (Watt)

I : Ortalama hat akımı (A)

R : Sargı direnci (ohm)

$$P_s = 1,5 I^2 R \quad (4.2)$$

Ancak bu değer referans soğutucu sıcaklığı olan 25 °C sıcaklığına göre düzeltilmelidir. Bu düzeltme (4.3) eşitliği ile yapılır. Düzeltme için gerekli k_{θ} katsayısı (4.4) eşitliğiyle bulunur.

$P_{s,\theta}$: Referans soğutucuya göre düzeltilmiş stator kaybı (Watt)

k_{θ} : Stator sargısı için sıcaklık düzeltme faktörü

θ_w : Sargı sıcaklığı (°C)

θ_c : Deney süresince soğutucu giriş sıcaklığı (°C)

$$P_{s,\theta} = P_s k_{\theta} \quad (4.3)$$

$$k_{\theta} = \frac{235 + \theta_w + 25 - \theta_c}{235 + \theta_w} \quad (4.4)$$

235 değeri bakır için katsayı olup, farklı malzemelerde bu değer değişmektedir. Örneğin alüminyum için 225'tir.

4.2.2.2 Rotor sargı kayıpları ve sıcaklık düzeltmesi

Rotorda oluşan kayıplar (4.5) eşitliğiyle elde edilir. Kayma ise (4.6) eşitliğiyle bulunur.

P_r : Rotor kaybı (Watt)

P_1 : Motorun giriş gücü (Watt)

P_s : Anma yük deneyinde stator kaybı (Watt)

P_{fe} : Demir kaybı (Watt)

s : Kayma

n : Motor devir sayısı (devir/dakika)

n_{sync} : Senkron devir

p : Motor kutup sayısı

f : Motorun çalışma frekansı (Hz)

$$P_r = (P_1 - P_s - P_{fe})s \quad (4.5)$$

$$s = \frac{n_{sync} - n}{n_{sync}} - 1 \quad (4.6)$$

Düzeltilmiş rotor kayıpları, düzeltilmiş stator kaybı değerleri kullanılarak (4.7) eşitliğiyle hesaplanır.

$P_{r,\theta}$: Düzeltilmiş rotor kaybı (Watt)

P_{fe} : Demir kaybı (Watt)

s_θ : 25 °C de referans soğutucu sıcaklığına göre düzeltilmiş kayma

k_θ : Sıcaklık düzeltme faktörü

$$P_{r,\theta} = (P_1 - P_{s,\theta} - P_{fe})s \quad (4.7)$$

Motorun giriş gücünün sıcaklığa göre düzeltilmesi için (4.8) eşitliği kullanılır.

$P_{1,\theta}$: Referans soğutucu sıcaklığına göre düzeltilmiş motor giriş gücü (Watt)

$$P_{1,\theta} = P_1 - (P_s - P_{s,\theta} + P_r - P_{r,\theta}) \quad (4.8)$$

4.2.3 Yük eğrisi deneyi (Değişken yükte deney)

Bu deney, motor normal çalışma sıcaklığındayken anma yükünde deneyden hemen sonra yapılır. Motor sırasıyla %125, %115, %100 %75, % 50 ve %25 yüklerde yüklenir. Motordaki sıcaklık değişimleri direncin değişmesine neden olduğu için bu yüklemeler mümkün olduğunca çabuk yapılmalıdır. Tüm yük noktalarında besleme frekansındaki değişme %0,1'den daha az olmalıdır. Bu deneyde, motor en yüksek değerde yüklenmeden önce ve en düşük değerde yüklendikten sonra sargı direnci R ölçülür. Deneyden önceki direnç değeri, %100 yükte ve daha üstündeki yüklerdeki direnç değeri olarak kaydedilir. %100 yükten daha az yüklerdeki direnç değerleri ise yük ile doğrusal olarak azalacak şekilde, %25 yükteki deney sonrasındaki direnç ile %125 yükteki deney öncesindeki direnç arasında belirlenir. Her bir yük noktasındaki gerilim U , akım I , giriş gücü P_1 , devir sayısı n , frekans f ve moment T , deney yazılımı vasıtasıyla kaydedilir.

Her bir yük noktasındaki stator sargı kaybı (4.2) eşitliği ile belirlenir. Ancak bu hesaplamada kullanılacak olan I ve R değerleri her bir yük noktasındaki akım ve direnç değerleridir. Böylece 6 noktada P_s değeri elde edilir.

Rotor kaybı ise 6 noktadaki P_r değerinin (4.5) eşitliğine göre hesaplanmasıyla elde edilir. Bu hesaplama için kullanılacak olan P_1 , n ve f anma yük deneyinden; P_s değişken yük deneyinden; P_{fe} ise boşta deneyden elde edilen değerlerdir.

4.2.4 Boşta deney

Boşta deney, yük eğrisi deneyinden hemen sonra motor sıcaklığı mümkün olduğunca değişmeden yapılır. Bu deneyde 8 adet gerilim değerinde ölçümler yapılarak kaydedilir. Demir kaybını tespit etmek için %110, %100, %95 ve %90 gerilim seviyeleri kullanılır. Sürtünme vantilasyon kayıpları için ise %60, %50, %40 ve %30 gerilim seviyeleri kullanılır. Ölçümler yüksek değerden düşük değere doğru azaltılarak yapılır. Her bir gerilim seviyesinde gerilim U_0 , akım I_0 ve motor giriş gücü P_0 ölçülür. Bunlara ek olarak boşta deney öncesinde ve sonrasında direnç değeri R_0 ölçülerek kaydedilir. Her bir gerilim noktasındaki direnç değeri R_0 , deney öncesinde ve deney sonrasında ölçülen direnç değerleri arasında P_0 ' a göre doğrusal interpolasyon yapılarak tespit edilir.

4.2.5 Sabit kayıplar

Sabit kayıplar motorda sürtünme vantilasyon ve demir kayıplarının toplamıdır. Boşta deney giriş gücünden boşta deney sargı kayıplarının çıkarılmasıyla (4.9) eşitliği üzerinden elde edilir. Bu hesaplama her bir gerilim noktası için tekrarlanır.

P_c : Sabit kayıplar (Watt)

P_0 : Boşta giriş gücü (Watt)

P_{fw} : Sürtünme vantilasyon kaybı (Watt)

$P_{s,0}$: Boşta deney sargı kaybı (Watt)

$$P_c = P_0 - P_{s,0} = P_{fw} + P_{fe} \quad (4.9)$$

$P_{s,0}$ değeri ise (4.10) eşitliğiyle bulunur.

R_0 : Her bir gerilim seviyesindeki direnç değeri (ohm)

I_0 : Her bir gerilim seviyesindeki boşta akım (A)

$$P_{s,0} = 1,5I_0^2 R_0 \quad (4.10)$$

4.2.6 Sürtünme vantilasyon kayıpları

Sürtünme vantilasyon kaybını bulmak için, boşta deney gerilim seviyelerinden %60 ve %30 seviyeleri ve bunlar arasındaki gerilimlere karşılık gelen sabit kayıplar, o gerilim değerinin karesi ile ilişkilendirilir. %60, %50, %40 ve %30 gerilim seviyelerinden faydalanarak bir ekstrapolasyon yapılır. Birinci mertebeden uydurulan eğrinin gerilim ekseninde sıfır değeri kestiği nokta sürtünme ve vantilasyon kaybının yaklaşık olarak senkron devirdeki değeridir.

4.2.7 Demir kayıpları

%90, %100 ve %110 gerilim seviyelerinden yararlanarak U_0 'a bağlı P_{fe} grafiği çizdirilir. Her bir gerilim noktasındaki demir kaybı (4.11) eşitliğiyle elde edilir.

$$P_{fe} = P_c - P_{fw} \quad (4.11)$$

Anma yükündeki demir kaybını bulmak için, stator sargısındaki rezistif gerilim düşümünü hesaba katmak gerekir. Bunun için U_i iç gerilimi hesaplanmalıdır. U_i (4.12) eşitliğiyle bulunur. $\cos \varphi$ ve $\sin \varphi$ sırasıyla (4.13) ve (4.14) ile hesaplanır.

U : Yük eğrisi deneyinde ölçülen gerilimler (V)

P_1 : Yük eğrisi deneyinde ölçülen giriş gücü (Watt)

I : Yük eğrisi deneyinde ölçülen akım (A)

R : Yük eğrisi deneyinde hesaplanan direnç (ohm)

$$U_i = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2} IR \cos \varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} IR \sin \varphi\right)^2} \quad (4.12)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} UI} \quad (4.13)$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (4.14)$$

Anma yükündeki demir kaybı, interpolasyonla U_0 'a bağlı P_{fe} grafiğindeki U_i noktasına denk gelen P_{fe} değeridir.

4.2.8 Ek yük kayıpları

Artık yük kayıpları giriş gücünden şu değerlerin çıkarılmasıyla bulunur: çıkış gücü, düzeltilmemiş stator sargı kaybı, demir kaybı, sürtünme ve vantilasyon kaybı, kaymaya karşılık gelen düzeltilmemiş rotor kaybı. Bu hesaplama (4.15) eşitliğiyle yapılır. P_2 (4.16), P_{fw} (4.17) eşitlikleriyle elde edilir.

P_{Lr} : Artık kayıp (Watt)

P_2 : Çıkış gücü (Watt)

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw} \quad (4.15)$$

T : Moment (Nm)

$$P_2 = 2\pi Tn \quad (4.16)$$

$$P_{fw} = P_{fw0}(1 - s)^{2,5} \quad (4.17)$$

Artık kayıp verilerine doğrusal regresyon analizi ile bir eğri uydurulmalıdır. Kayıp, yük momentinin karesinin bir fonksiyonu olacak şekilde bir eğri uydurulur. Bu eğrinin formu (4.18) eşitliğine uymalıdır.

$$P_{Lr} = AT^2 + B \quad (4.18)$$

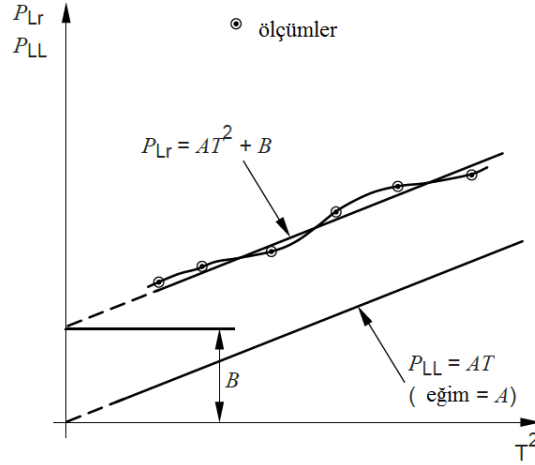
A eğim ve B kesim noktası olmak üzere (4.19) ve (4.20) eşitliklerine göre bulunurlar.

i : Toplanan yük noktalarının sayısı

$$A = \frac{i \sum (P_{Lr} T^2) - \sum P_{Lr} \sum T^2}{i \sum (T^2)^2 - \sum (T^2)^2} \quad (4.19)$$

$$B = \frac{\sum P_{Lr}}{i} - A \frac{\sum T^2}{i} \quad (4.20)$$

Kesim değeri B , anma momentinde ek yük kayıplarının yarısından daha az olmalıdır. (Şekil 4.7) Aksi takdirde ölçüm hatalı olmuş demektir ve deney tekrar edilir. Bu eğri için korelasyon katsayısı ise (4.21) eşitliğiyle elde edilir.



Şekil 4.7: Korelasyon eğrisi [28]

γ : Korelasyon katsayısı

$$\gamma = \frac{i \sum (P_{Lr} T^2) - (\sum P_{Lr})(\sum T^2)}{\sqrt{\{i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2\} \{i \sum P_{Lr}^2 - (\sum P_{Lr})^2\}}} \quad (4.21)$$

Korelasyon katsayısı γ , 0,95'ten daha küçük ise en kötü nokta silinir ve regresyon tekrar edilir. Eğer γ 0,95'ten daha büyük olursa bu ikinci regresyon kullanılabilir. Ancak γ yine de 0,95'ten daha küçük olursa deneyde nerede hata olduğu araştırılmalı ve deney tekrar edilmelidir. 0,98 veya daha yüksek korelasyon katsayısı kabul edilebilir. Eğim sabiti A hesaplandıktan sonra, ek yük kayıplarının her bir yük noktasındaki değeri (4.22) eşitliğiyle hesaplanır.

P_{LL} : Ek yük kayıpları

$$P_{LL} = AT^2 \quad (4.22)$$

4.2.9 Verim hesabı

Toplam kayıplar düzeltilmiş demir kaybı, düzeltilmiş sürtünme ve vantilasyon kaybı, yükte kayıplar ve ek yük kayıplarının toplamı olarak belirlenir. (denklem 4.23)

P_T : Toplam kayıplar

$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_{s\theta} + P_{r\theta} + P_{LL} \quad (4.23)$$

Son olarak verim değeri (4.24) eşitliğiyle ifade edilir.

η : verim

$$\eta = \frac{P_{1,\theta} - P_T}{P_{1,\theta}} \quad (4.24)$$

4.3 Örnek Verim Hesabı

Bu bölümde örnek olarak 7,5 kW 2 kutuplu 50 Hz yıldız bağlı bir elektrik motoru ele alınarak TS EN 60034-2-1 standardı metot 2-1-1B'ye göre motorun verimi hesaplanacaktır.

Motor test sistemine bağlandıktan ve ölçme ve besleme bağlantıları yapıldıktan sonra çalıştırılmadan önce sargılar arasındaki direnç ve sargı sıcaklığı ölçülür. Motor ortamla ısı dengede olduğu için sargı sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı alınır. Hesaplamalarda ortalama direnç (R_{ort}) kullanılır. Ölçüm değerleri çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1: Ölçülen dirençler.

R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R _{ort} (Ω)	(Ortam Sıcaklığı °C)
0,6991	0,7111	0,7074	0,70587	21,2

Motor anma yükünde ısıl rejime girene kadar çalıştırılır. Çizelge 4.2'deki ölçümler alınır.

Çizelge 4.2: Isıl rejim sonrası ölçümler.

U (V)	I (A)	P ₁ (kW)	N (rpm)	T (Nm)	P ₂ (kW)	f (Hz)
379,8	13,85	8,333	2929	24,444	7,497	50,0

Isıl rejime girdikten sonra ölçülen sargı dirençleri çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3: Isıl rejim sonrası sargı dirençleri.

R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)	R _{ort} (Ω)
0,84451	0,83903	0,83274	0,83876

Denklem (4.25)'e göre θ_w hesaplanır.

$$\theta_w = \frac{0,83876}{0,70587} (235 + 21,2) - 235 = 69,43^\circ\text{C} \quad (4.25)$$

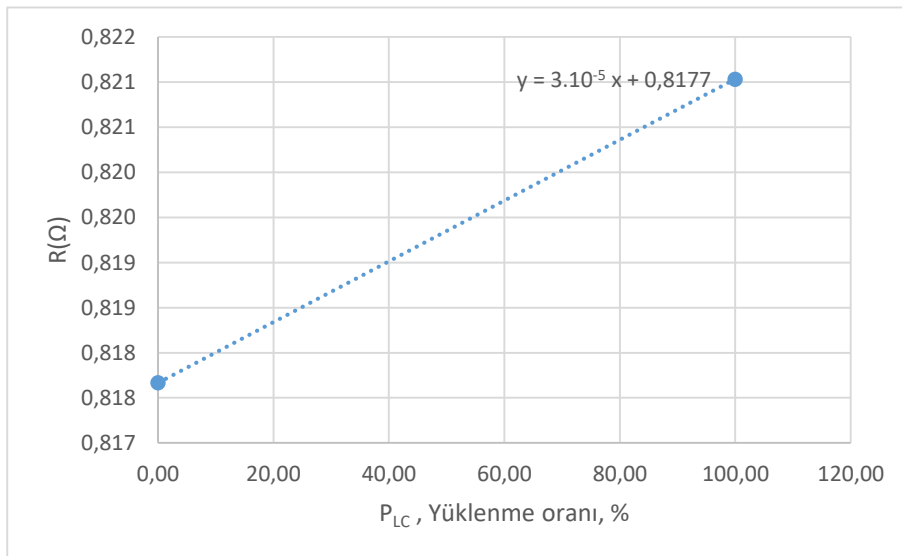
Düzeltilme faktörü k_θ , (4.26) eşitliğine göre hesaplanır.

$$k_\theta = \frac{235 + 69,43 + 25 - 21,2}{235 + 69,43} = 0,99442 \quad (4.26)$$

Değişken yük deneyi öncesinde ve sonrasında dirençler ölçülür (çizelge 4.4); şekil 4.8'de direnç değerleri ve yüklenme oranına göre yapılan interpolasyon görülmektedir.

Çizelge 4.4: Değişken yük deneyi öncesinde ve sonrasında ölçülen dirençler.

Direnç	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)	R _{ort} (Ω)
Değişken yük deneyi öncesi	0,81270	0,82860	0,82180	0,82103
Değişken yük deneyi sonrası	0,81400	0,82400	0,81500	0,81767



Şekil 4.8: 5.3 yük eğrisi deneyine (değişken yükte deney) göre 6 adet yük noktasındaki dirençlerin tespiti için uydurulan eğri.

Direnç değerleri için oluşturulan birinci dereceden eğrinin ifadesi denklem (4.27)'de verilmektedir.

$$R = 3.10^{-5}P_{LC} + 0,8177 \quad (4.27)$$

Buna göre değişken yükte hesaplanan direnç değerleri çizelge 4.5'te, ölçülen diğer büyüklükler çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.5: Değişken yük deneyinde tespit edilen dirençler.

Yüklenme Oranı, %	125	115	100	75	50	25
R (Ω)	0,821	0,821	0,821	0,820	0,819	0,819

Çizelge 4.6: Değişken yük deneyinde ölçülen değerler.

Yüklenme Oranı, %	125	115	100	75	50	25
P ₂ (kW)	9,317	8,582	7,497	5,655	3,755	1,874
U (V)	380,2	380,0	380,3	380,0	380,3	380,3
I (A)	17,11	15,79	13,85	10,74	7,81	5,29
n (rpm)	2910	2918	2929	2948	2966	2983
f (Hz)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
T (Nm)	30,577	28,087	24,440	18,317	12,089	5,997
P ₁ (kW)	10,428	9,583	8,335	6,283	4,246	2,267

Anma yükte stator kaybı (4.28)'e göre hesaplanır.

$$P_s = 1,5 (13,83)^2 0,82103 = 236,196 \text{ W} \quad (4.28)$$

4.2'ye göre stator kayıpları ve 4.3'e göre 6 adet yük noktasında düzeltilmiş stator kayıpları bulunur. (Çizelge 4.7)

Çizelge 4.7: 6 adet yük noktası için dirençler ve stator kayıpları.

Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
R (Ω)	0,821	0,821	0,821	0,820	0,819	0,819
P _s (W)	360,486	307,001	236,196	141,995	74,888	34,366
P _{s0} (W)	358,473	305,287	234,877	141,202	74,470	34,174

Denklem (4.5)'e göre rotor kayıplarının bulunması için demir kaybının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle önce demir kaybı hesaplanması, dolayısıyla sabit kayıpların belirlenmesi gereklidir.

Sabit kayıplar boşta deney verilerinden elde edilir. Boşta deney öncesi ve sonrası direnç ölçümleri alınır (Çizelge 4.8);

Çizelge 4.8: Boşta deney öncesi ve sonrası dirençler.

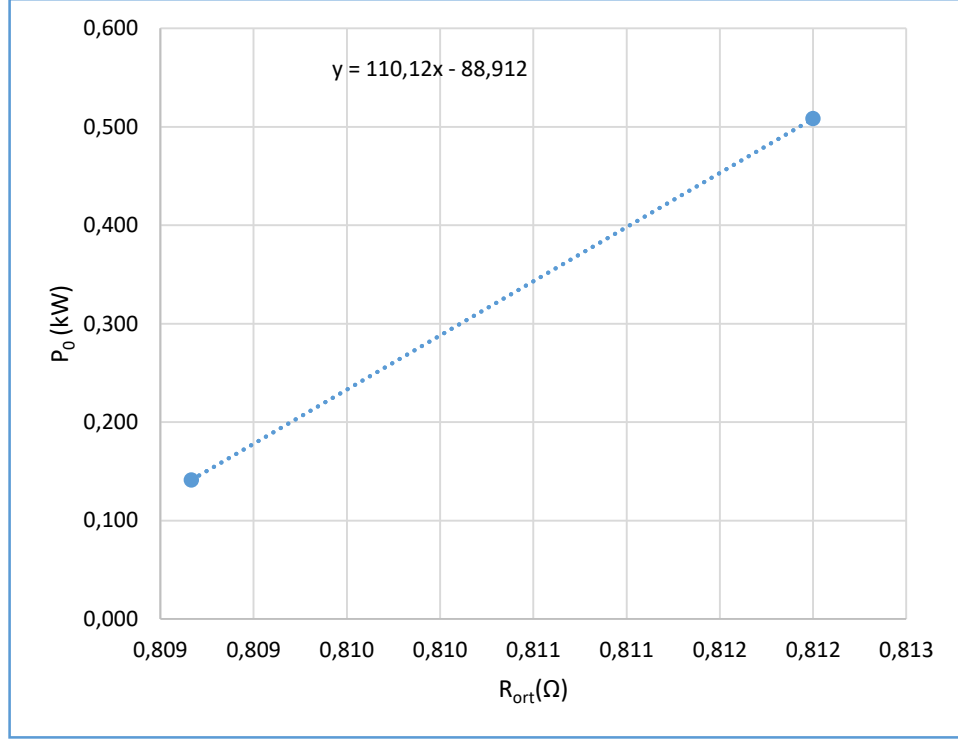
Direnç	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)	R _{ort} (Ω)
Boşta çalışma öncesi	0,80700	0,81700	0,81200	0,81200
Boşta çalışma sonrası	0,80500	0,81400	0,80700	0,80867

Boşta çalışma deneyi sırasındaki gerilim, akım ve güç değerleri kaydedilir. Kaydedilen ölçümler Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.9: Boşta çalışma deneyi ölçümleri.

Boşta Çalışma	110%	100%	95%	90%	60%	50%	40%	30%
U (V)	475,3	418,4	380,3	342,2	228,2	190,3	152,3	84,6
I (A)	6,56	4,60	3,95	3,42	2,14	1,81	1,51	1,29
f (Hz)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
P ₀ (kW)	0,508	0,396	0,346	0,305	0,213	0,188	0,168	0,141

Boşta deney öncesi direnç ve boşta deney sonrası dirençler ile % 110 gerilim noktası ve % 30 gerilim noktasındaki P₀ değerleri arasında doğrusal bir interpolasyon yapılır. (Şekil 4.9, denklem 4.29)



Şekil 4.9: Boşta çalışmada direnç-güç interpolasyonu.

$$P_0 = 110,12 R - 88,912 \quad (4.29)$$

(4.29) denkleminle hesaplanan direnç değerleri çizelge 4.10’da verilmektedir.

Çizelge 4.10: Her bir gerilim noktasındaki direnç değerleri.

Gerilim seviyesi	110%	100%	95%	90%	60%	50%	40%	30%
R (Ω)	0,8120	0,8110	0,8105	0,8102	0,8093	0,8091	0,8089	0,8087

(4.10) denkleminine göre boşta stator kaybı $P_{s,0}$ ve (4.9) denkleminine göre sabit kayıplar P_c bulunur. (Çizelge 4.11)

Çizelge 4.11: Stator kaybı ve sabit kayıplar.

Gerilim seviyeleri	110%	100%	95%	90%	60%	50%	40%	30%
$P_{s,0}$ (W)	52,473	25,744	18,929	14,236	5,559	3,982	2,783	2,024
P_c (W)	455,809	369,819	326,633	290,737	207,378	184,491	165,271	139,177

Anma yükteki demir kaybını bulabilmek için bu yük değerine karşılık gelen statordaki rezistif gerilim düşümü sonrası gerilim U_i , (4.32) denkleminde göre hesaplanır. Bunun için öncelikle (4.30) ve (4.31) denklemlerine göre $\cos \varphi$ ve $\sin \varphi$ değerleri bulunur.

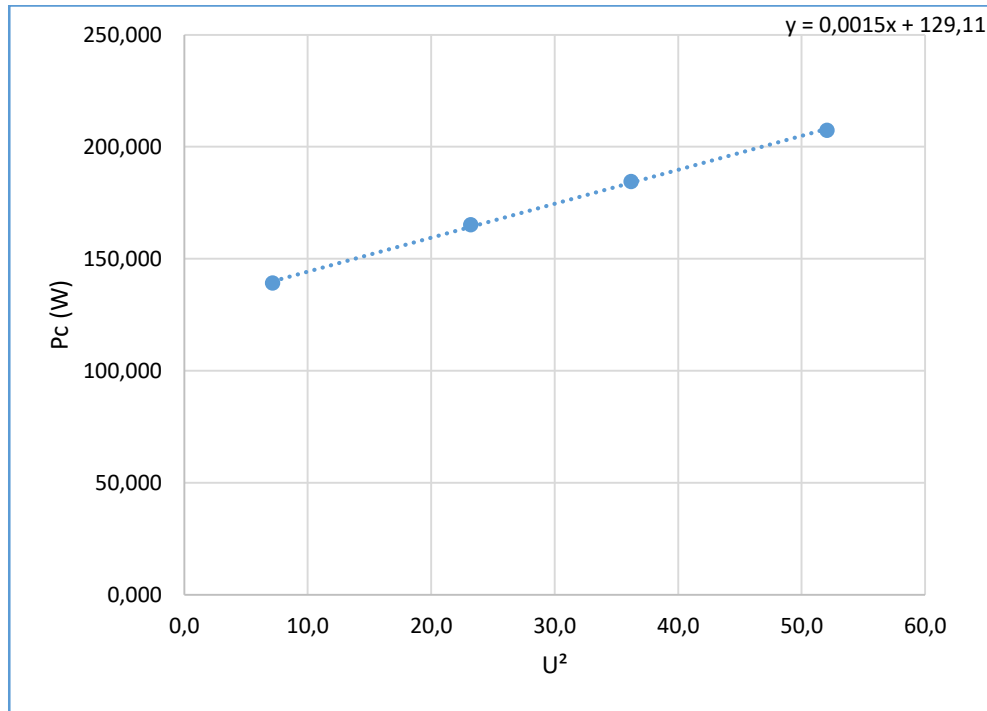
$$\cos \varphi = \frac{8333}{\sqrt{3} \cdot 379,8 \cdot 13,85} = 0,914 \quad (4.30)$$

$$\sin \varphi = 1 - 0,914^2 = 0,405 \quad (4.31)$$

$$U_i = \sqrt{(379,8 - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,85 \cdot 0,839)^2 + (\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,85 \cdot 0,405)^2} = 370,627 \text{ V} \quad (4.32)$$

Sürtünme vantilasyon kaybı P_{fw} 'yi bulmak için %60, %50, %40 ve %30 gerilim seviyelerindeki U_0 'ın karelerine karşılık gelen P_c 'lere göre ekstrapolasyon yapılır.

Birinci mertebeden uydurulan eğrinin gerilim ekseninde sıfır değeri kestiği nokta sürtünme ve vantilasyon kaybının yaklaşık olarak senkron devirdeki değeridir.



Şekil 4.10: Sabit kayıp – gerilim ilişkisi.

Sabit kayıp (4.33) denkleminde göre hesaplanır. Sürtünme vantilasyon kaybı P_{fw0} , denklemindeki sabit 129,11 W değeridir.

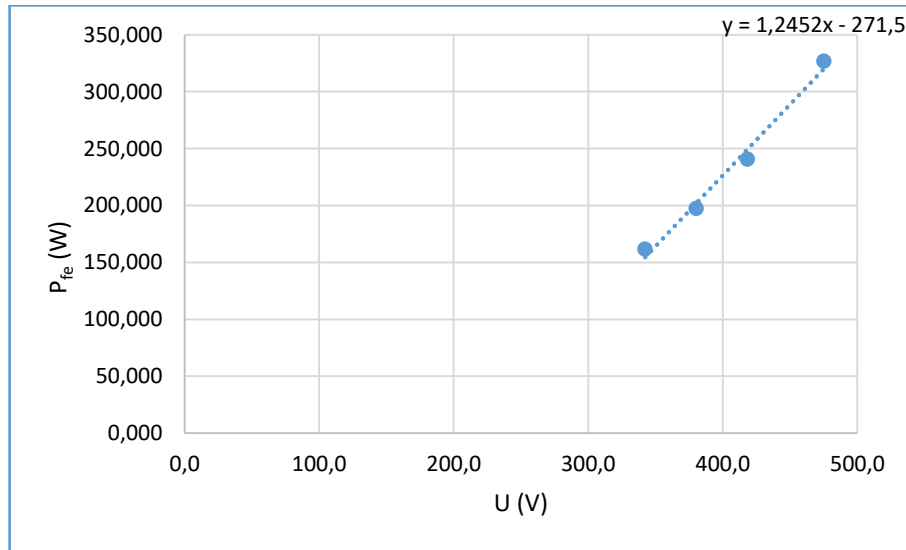
$$P_c = 0,0015 U^2 + 129,11 \quad (4.33)$$

(4.11) denklemine göre, her bir gerilim seviyesindeki demir kaybı hesaplanır. (Çizelge 4.12)

Çizelge 4.12: Demir kayıpları.

Boşta Çalışma	110%	100%	95%	90%	60%	50%	40%	30%
U (V)	475,3	418,4	380,3	342,2	228,2	190,3	152,3	84,6
(U) ²	225923,6	175091,2	144600,4	117125,4	52054,5	36208,9	23201,5	7165,2
P _c (W)	455,8	369,8	326,6	290,7	207,4	184,5	165,3	139,2
P _{fe} (W)	326,7	240,7	197,5	161,6	78,3	55,4	36,2	10,1

Buna göre U değerlerine karşılık gelen P_{fe} değerlerine göre birinci dereceden eğri uydurulur.



Şekil 4.11: Demir kayıpları – gerilim grafiği.

U_i değerine karşılık gelen P_{fe} değeri denklem (4.34) 'de hesaplanmaktadır.

$$P_{fe} = 370,627 \cdot 1,2452 - 271,5 = 190,003 \text{ W} \quad (4.34)$$

Rotorda meydana gelen her bir yük noktasındaki sargı kayıpları P_r, (4.5) denklemine göre; kayma s, (4.6) denklemine göre; düzeltilmiş rotor kaybı P_{r,θ}, (4.7) denklemine

göre ve referans soğutucu sıcaklığına göre düzeltilmiş rotor gücü $P_{1,\theta}$, (4.8) denkleminde göre hesaplanır. (Çizelge 4.13)

Çizelge 4.13: Rotor kayıpları ve rotor gücü.

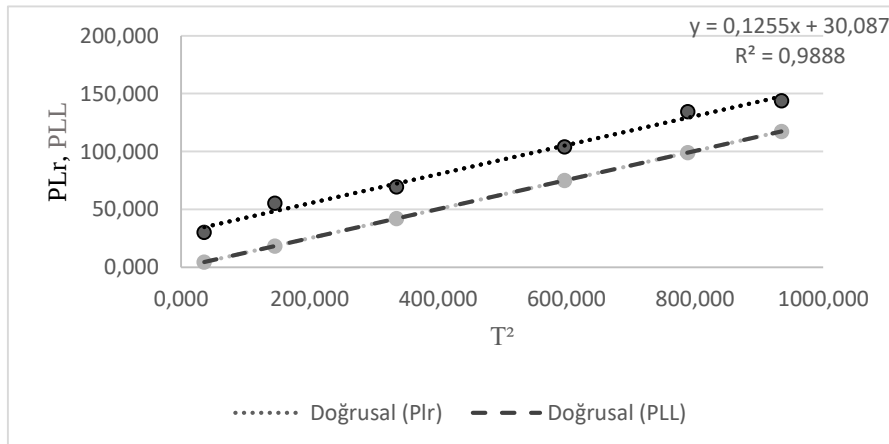
Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
s (kayma)	0,030	0,027	0,024	0,017	0,011	0,006
P_r (W)	297,312	248,949	186,656	102,753	44,850	11,370
$P_{r\theta}$ (W)	295,712	247,606	185,645	102,193	44,604	11,308
$P_{1\theta}$ (kW)	10,424	9,580	8,333	6,282	4,245	2,267

P_{fw} denklem (4.17) ye göre, artık kayıplar P_{Lr} denklem (4.15)'e göre ve mekanik güç P_2 denklem (4.16)'ya göre hesaplanır. (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14: Sürtünme vantilasyon kaybı, artık kayıp ve mekanik güç

Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
P_{fw} (W)	119,615	120,449	121,629	123,611	125,506	127,323
P_2 (W)	9317	8582	7497	5655	3755	1874
P_{Lr} (W)	143,783	134,301	104,076	69,473	55,189	30,018

(4.18) denkleminde göre artık kayıp verileri ile momenti ilişkilendiren bir eğri uydurulur;



Şekil 4.12: Artık kayıplar ve yük kayıpları.

(4.19) ve (4.20) denklemleri kullanılarak, $A = 0,126$ ve $B = 30,087$ olarak bulunur. Uydurulan eğrinin doğruluk değerlendirmesi için (4.21) denklemine göre regresyon analizi yapılarak $\gamma = 0,994$ olarak hesaplanır.

γ değerinin 0,98'den büyük olduğu görülmektedir. Buna göre, deney verileri sağlıklıdır.

Yük kayıpları P_{LL} (4.22) denklemine göre hesaplanır, sonuçlar çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15: Yük kayıpları.

Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
P_{LL} (W)	117,352	99,020	74,974	42,114	18,345	4,516

Toplam kayıplar P_T (4.23) denklemine göre hesaplanır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16: Toplam kayıplar.

Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
P_T (W)	1081,207	962,412	807,168	599,153	452,948	367,333

Tüm güç bileşenlerini bir tablo halinde yazarsak (Çizelge 4.17);

Çizelge 4.17: Hesaplanan güç bileşenleri.

Yüklenme Oranı	125%	115%	100%	75%	50%	25%
P_2 (kW)	9,317	8,582	7,497	5,655	3,755	1,874
P_1 (kW)	10,428	9,583	8,335	6,283	4,246	2,267
P_{10} (kW)	10,424	9,580	8,333	6,282	4,245	2,267
P_{s0} (W)	358,473	305,287	234,877	141,202	74,470	34,174
P_{r0} (W)	295,712	247,606	185,645	102,193	44,604	11,308
P_{LL} (W)	117,352	99,020	74,974	42,114	18,345	4,516
P_{fe} (W)	190,003	190,003	190,003	190,003	190,003	190,003
P_{fw} (W)	119,667	120,496	121,670	123,641	125,526	127,333
P_T (W)	1081,207	962,412	807,168	599,153	452,948	367,333

Verim değeri η , (4.24) denklemine göre hesaplanır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18: Yük noktalarında verim değerleri.

Yüklenme Oranı	%125	%115	%100	%75	%50	%25
VERİM	% 89,6	% 90,0	% 90,3	% 90,5	% 89,3	% 83,8

Hesaplama sonucu:

7,5 kW 2 kutuplu 400 V besleme gerilimi ve 50 Hz frekansta çalışan motorun verimi % 100 yükte 90,3 olarak tespit edilmiştir. Motor IEC 60034-30-1 standardına göre IE3 verim seviyesindedir.

4.4 PGD Deneyleri Sonuçları

TSE laboratuvarında ilk PGD deneyleri Temmuz 2015'te başlamış ve Nisan 2018 itibarıyla 47 adet PGD deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar Ek A'da çizelge A.7'de verilmektedir. Çizelge A.7'da da görüldüğü üzere 60034-30-1:2014 standardındaki seviyeler dikkate alındığında, 33 model ürün IE1, 9 model ürün IE2 ve 5 model ürün IE3 seviyesindedir. Ancak SGM 2012/2 tebliğine göre bu ürünlerden 12 adedi IE1, 25 adedi IE2 ve 10 adedi IE3 olarak değerlendirilmektedir. 21 adet model standarda göre IE1 seviyesinde iken, tebliğe göre IE2 olarak değerlendirilmekte ve değişken hız sürücüsü ile teçhiz edilmek koşuluyla piyasaya sürülmesine izin verilmektedir. 5 adet model ise standarda göre IE2 seviyesinde olmasına rağmen tebliğe göre IE3 seviyesinde kabul edilerek değişken hız sürücüsü olmaksızın piyasaya sürülebilmektedir. 5 adet model ise standardın IE3 seviyesini sağlamaktadır.

5. ELEKTRİK MOTORLARI VERİMLİLİĞİ MEVZUATININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde Türkiye'nin en büyük cam ve cam ürünleri üretici firmalarından birinin motorlarının TSE Elektrik Motorları Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneylerinden elde edilen verilerden yararlanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Deneyi yapılan motorların verim değerleri bakanlık tebliğindeki ve standarddaki verim değerlerine göre karşılaştırılarak motor değişimleri söz konusu olduğunda, hangi durumda ne kadar tasarruf edileceği ve söz konusu motorların IE2 veya IE3 motorlarla değiştirildiğinde yatırımın geri dönüş süresi hesaplanarak ortaya koyulmaktadır. Bu hesaplamalardan yola çıkılarak ve bakanlık envanter raporu da göz önüne alınarak Türkiye geneli için yaklaşık bir durum değerlendirmesi yapılmaktadır.

5.1 Mevcut Durum

Bu bölümde Türkiye'nin en büyük cam ve cam ürünleri üretici firmalarından birinin çeşitli işletmelerinde çalışmakta olan IE1 sınıfında veya daha az verimli olduğu varsayılan 236 adet a.a. motorun enerji tüketimi ve maliyeti analizi yapılmakta, mevcut motorların yeni IE2 veya IE3 motorlarla değiştirilmesi durumunda elde edilecek enerji tasarrufu ve ortaya çıkacak olan maliyet hesaplanmaktadır. Ayrıca farklı IE2 veya IE3 seçeneklerine göre yatırımın geri dönüş süresi de hesaplanmaktadır.

Bir motorun yıllık enerji tüketimi (5.1) eşitliğiyle hesaplanabilir.

E: Tüketilen yıllık enerji (kWh)

P: Motorun gücü (kW)

η : verim (%)

h: yıllık çalışma saati

LR: yüklenme oranı

$$E = PhLR \frac{100}{\eta} \quad (5.1)$$

İşletmedeki 236 adet motorun enerji tüketiminin doğru hesaplanabilmesi için bu motorların verim değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak motorların tamamının verim değerlerinin tam olarak bilinmemesi nedeniyle, bu motorlar için verim değerinin kestirilmesi gerekir. Bunun için, firmanın TSE Elektrik Motorları Laboratuvarı'na 2 km mesafede olan bir cam elyaf fabrikasından alınan 5 adet motorun verimleri TSE Elektrik Motorları Laboratuvarı'nda deney yapılarak tespit edilmiştir. İşletmeden, birer defa yeniden sarım işlemi görmüş 11 kW, 18,5 kW ve 30 kW gücünde üç adet motor deneye alınmış ve ikişer defa sarım yapılmış olanlardan ise 15 kW ve 30 kW gücünde iki adet motor deneye alınmıştır. Yeniden sarım işlemi motorların hasar görmesi sonucu stator sargılarının tekrar yapılması işlemidir. Bakanlık envanter raporuna göre Türkiye'de yeniden sarım işlemi oldukça yaygındır. Ancak bu işlem kaliteli yapılmazsa motorun verimini düşürmektedir. Türkiye'de 90 kW gücün altındaki motorların % 30'undan fazlası yeniden sarılmış ve yeniden sarıldığı bilgisi elde edilen 65226 adet motor ortalama 2-3 kez yeniden sarılmıştır. Yine rapora göre 90 kW altındaki motorlarda birinci sarım işlemi %2 düşerken birden fazla sarımlarda verim %3 azalmaktadır [17]. Bu nedenle verimi etkileyen bu unsur hesaplamalarda dikkate alınacaktır. Kocaeli'de bulunan cam elyaf işletmesindeki 5 adet yeniden sarılmış motorun deneylerle tespit edilen verim değerleri Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1: Cam üretim işletmesine ait 5 adet motorun ölçülen verimleri.

Güç (kW)	2.sarımda verim %	1.sarımda verim %	IE1 4 kutup (Standarddaki değer)	IE2 4 kutup (Standarddaki değer)	IE3 4 kutup (Standarddaki değer)
11	-	87	87,6	89,8	91,4
15	85,4	-	88,7	90,6	92,1
18,5	-	87	89,3	91,2	92,6
30	88,4	-	90,7	92,3	93,6
30	-	89,8	90,7	92,3	93,6

Deney sonuçlarında, 1. sarım sonrasında verimin %0,6 ila %2,3; 2. sarım sonrasında ise verimin %2,3 ila %3,3 aralığında azaldığı görülmektedir. İşletmede mevcut motorların büyük kısmı 10 yıldan eski olduğu için bu motorların verimleri hakkında net bilgi bulunmamaktadır. Bu durumda motorların IE1 olduğu varsayılmakta ve motorların en az bir defa yeniden sarım işlemi gördükleri varsayılmaktadır. Bakanlık envanter raporu ve TSE'deki deneyler dikkate alınır, bu çalışmada yeniden sarım

işleminin motorun verimini yaklaşık olarak %1,5 daha aşağıya düşürdüğü varsayılmaktadır.

Buna göre, mevcut motorların veriminin IE1 seviyesinden %1,5 daha az olduğu kabul edilmiştir.

Bakanlık envanter raporuna göre Türkiye’deki elektrik motorlarının ortalama çalışma süresi 5456 saat ve 90 kW altı motorların yüklenme oranları %76-77 civarında olmaktadır. Cam üreticisi firmadan alınan verilere göre motorlar genel olarak 6000 saatin üstünde ve ortalama %75 yükte çalışmaktadır. Bu durumda firma için yapılan hesaplamada yıllık çalışma saati 6000, yüklenme oranı ise %75 olarak alınacaktır. Elektrik motorlarında %75 yüklenmedeki verim ile %100 yüklenmedeki verim hemen hemen aynı olduğu için hesaplama yapılırken %100 yüklenmedeki verim kullanılabilir.

5.2 Motorların Değiştirilmesi

Mevcut 236 adet motorun hâlihazırdaki yıllık enerji tüketimi ve maliyeti ile bu motorların değiştirilmesi halinde yıllık enerji tüketimi, maliyeti ve yatırımın geri dönüşü süreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Enerji maliyeti hesaplamasında elektrik birim fiyatı 0,389 TL/kWh olarak alınmıştır [60]. Yeni alınacak motorların maliyetleri üreticilerin fiyat kataloglarından yararlanılarak oluşturulmuş ve satın alma fiyatları ortalama alınarak belirlenmiştir. Yatırımın geri dönüş süresi denklem (5.2)’ye göre hesaplanmaktadır.

YM_d : Yeni alınacak motorların yıllık elektrik enerjisi maliyeti (TL)

SM_d : Yeni alınacak motorların satın alma maliyeti (TL)

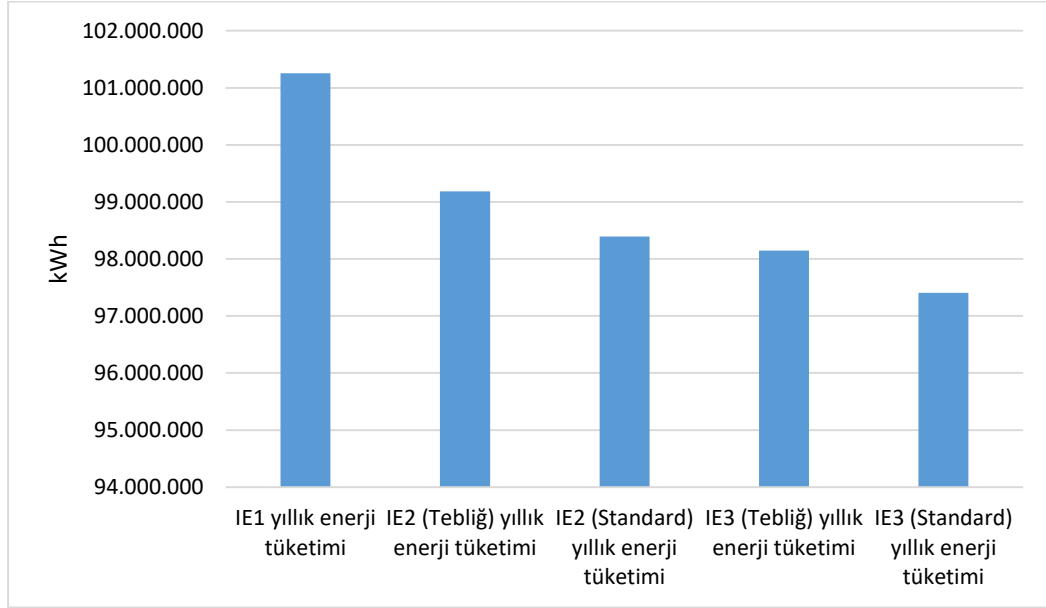
YM_m : Mevcut motorların yıllık elektrik enerjisi maliyeti (TL)

GDS : Yatırımın geri dönüş süresi (yıl)

$$GDS = \frac{SM_d}{YM_m - YM_d} \quad (5.2)$$

Karşılaştırma yapılırken 4 farklı senaryo göz önüne alınmıştır. Deneylerde elde edilen veriler çizelge 5.2’de verilmiştir. Enerji tüketim miktarındaki düşüşün daha iyi karşılaştırılabilmesi için şekil 5.1’de enerji tüketim karşılaştırması verilmektedir.

Birinci senaryoya göre işletmedeki motorların SGM-2012/2 tebliğinde izin verilen minimum IE2 değerlerini karşılayan motorlarla değiştirilmesi öngörülmektedir. Bu durumda yatırımın geri dönüş süresi 1 yıl olarak hesaplanmıştır. Bir motorun ömrünün yaklaşık 15 yıl olduğu kabul edilirse bu süredeki elektrik enerjisi maliyeti 590,8 milyon TL olacaktır. 15 yıllık tasarruf 11,24 milyon TL'dir.



Şekil 5.1: Cam üreticisi firma için elektrik motorları enerji tüketimi senaryosu.

İkinci senaryoda işletmedeki motorların SGM-2012/2 tebliğine göre değil, IEC 60034-30-1'de izin verilen minimum verimdeki motorlarla değiştirilmesi öngörülmektedir. Piyasada satılan motorlar SGM-2012/2 tebliğinde belirtilen minimum verimleri karşılayacak şekilde tasarlandığından, standarddaki minimum verim değerlerine göre tasarlanan motorlar yaygın değildir. Dolayısıyla bu motorlar için belirlenmiş fiyatlar bulunmamaktadır. Bu motorların fiyatları belirlemek için IE2 ve IE3 motorlar arasındaki fark hesaplanmıştır. Piyasada bulunan IE3 motorların IE2 motorlardan ortalama olarak %10 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda standarda göre minimum verim değerlerini karşılayan IE2 ve IE3 motor fiyatlarının, tebliğe göre minimum verim değerlerini karşılayan IE2 ve IE3 motor fiyatlarından en fazla % 8 daha fazla olacağı kestirilmektedir. Yatırımın geri dönüşü süresi ve satın alma maliyeti hesaplanırken bu esaslar göz önünde bulundurulmuştur. Yatırımın geri dönüş süresi 0,8 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 15 yıllık enerji maliyeti 579,6 milyon TL olacaktır. 15 yılda tasarruf edilen miktar 15,8 milyon TL'dir.

Üçüncü senaryoda tebliğin IE3 şartını sağlayan motorların devreye alınacağı varsayılmıştır. Buna göre yatırımın geri dönüş süresi 0,77 yıl, yani hemen hemen IE2 standardındaki motorların geri dönüş süresiyle aynı olmuştur. 15 yıllık maliyet 573,8 milyon TL, tasarruf miktarı 17 milyon TL'dir.

Dördüncü senaryoda standardın IE3 şartını sağlayan motorların devreye alınacağı varsayılmıştır. Buna göre yatırımın geri dönüş süresi 0,67 yıl, 15 yıllık maliyet 569,3 milyon TL, tasarruf miktarı 21,5 milyon TL'dir.

Çizelge 5.2: Cam üreticisi firma için 4 farklı seviye motor seçimine göre hesaplanan değerler.

Senaryo	Tüketilen Enerji (GWh)	Yıllık Enerji Maliyeti (TL)	Satın Alma Maliyeti (TL)	Yatırımın geri dönüş süresi (Yıl)	15 yılda tüketilen enerji (GWh)	15 yıllık maliyet (TL)
Mevcut Durum (IE1 - %1,5)	101,25	39.387.823	-	-	1518,81	590.817.354
1. Senaryo (IE2 – SGM-2012/2)	99,18	38.582.193	839.363	1,0	1487,74	579.572.267
2. Senaryo (IE2 Standard)	98,39	38.274.258	906.512	0,8	1475,87	575.020.384
3. Senaryo (IE3 – SGM-2012/2)	98,15	38.179.326	925.634	0,8	1472,21	573.615.529
4. Senaryo (IE3 Standard)	97,40	37.889.574	999.684	0,7	1461,04	569.343.308

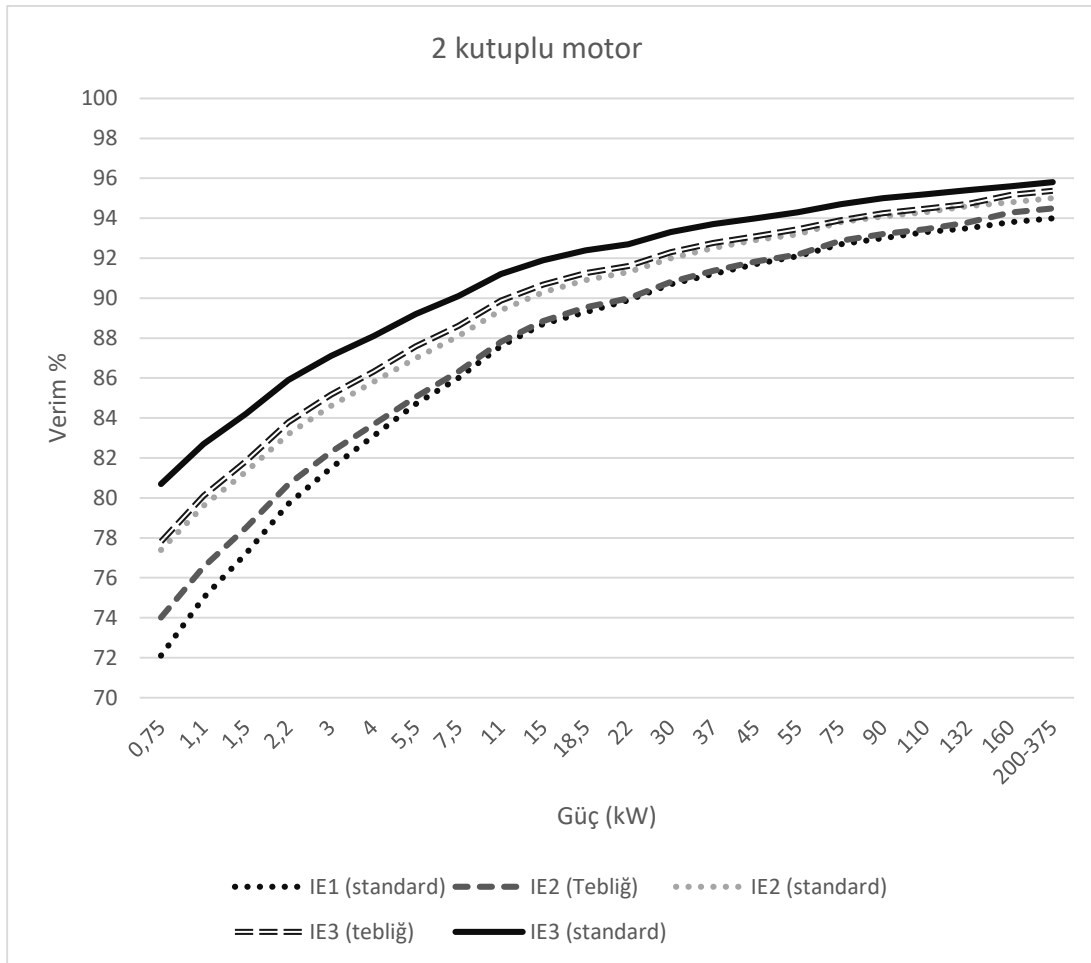
5.3 Türkiye Geneli Değerlendirme

SGM/2012-2 tebliğinin Doğrulama Prosedürü maddesinde getirdiği tolerans göz önüne alınarak hesaplanan IE2 ve IE3 verim değerleri sırasıyla Ek A'da Çizelge A.8'de ve Çizelge A.9'da verilmiştir.

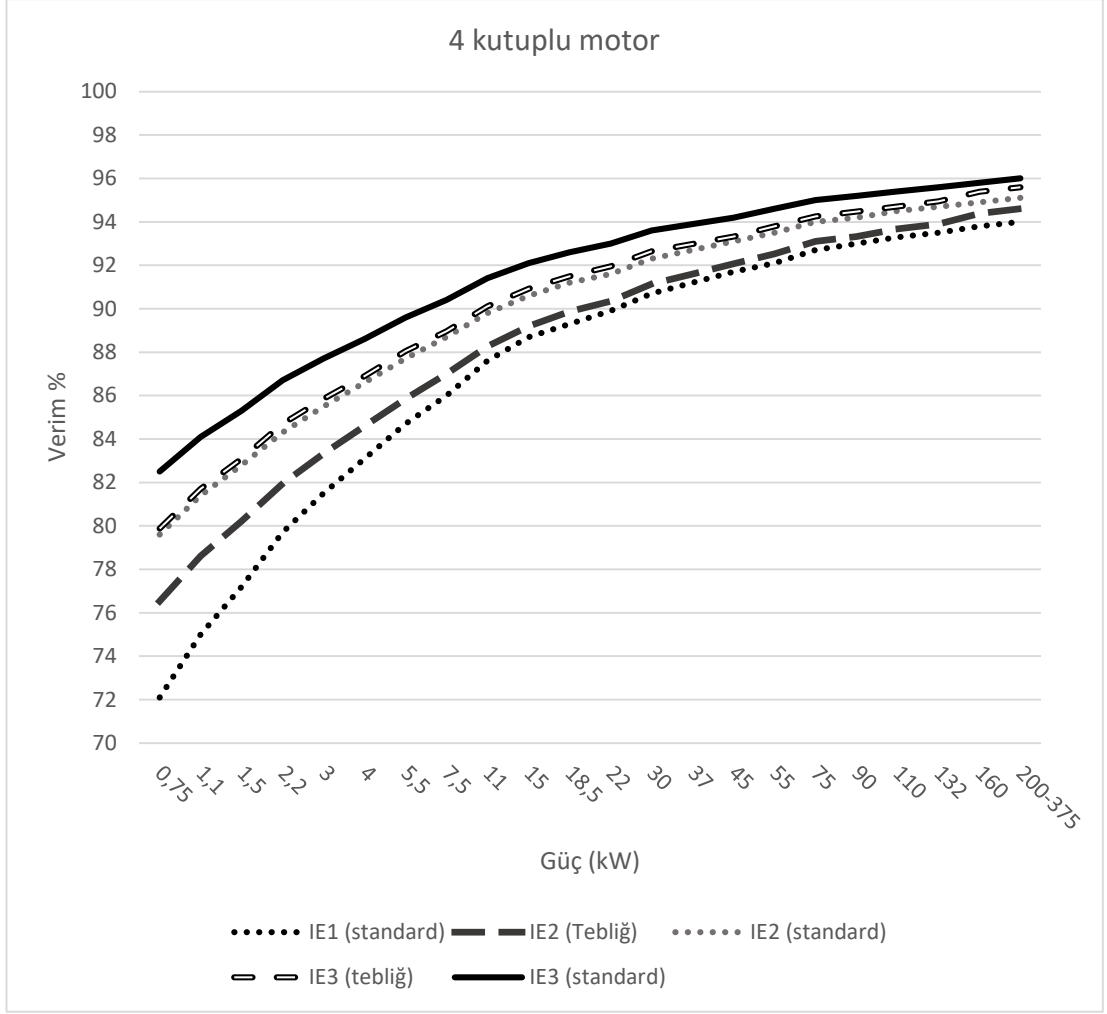
Tebliğin belirli bir toleransla kabul ettiği verim değerleriyle standardın tanımladığı verim değerleri arasındaki farkın görsel olarak daha net anlaşılabilmesi amacıyla verim değerleri grafiklerle gösterilmiştir. Grafikler motor kutup sayısı dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görüldüğü üzere, standarddaki IE2 ve IE3 verim değerlerinin, SGM 2012/2 tebliğinin Ek-II maddesinde tarif edilen toleransla esnetilmesi sonucunda, tebliğin IE2 verim değerleri yasaklanan IE1 verim değerlerine oldukça yaklaşmış olmaktadır. Tebliğin IE3 verim değerleri de standardın IE2 verim değerlerine oldukça yaklaşmaktadır. Üstelik bakanlık tebliğine göre IE2 motorlar

tamamen yasaklanmamakta, yalnızca değişken hız sürücüsü ile teçhiz edilmesi zorunlu hale getirilmektedir. Ancak motorun müşteriye satışı sonrasında, motorun değişken hız sürücüsü ile teçhiz edilmeye devam edip etmeyeceğinin takibine dair bakanlık tarafından herhangi bir planlama açıklanmamıştır. Bunun sonucu olarak, Türkiye’de hâlihazırda serviste bulunan motorların %72’sinin IE1 ve daha altı seviyede olduğu da göz önüne alınırsa, Piyasa Gözetimi ve Denetimi faaliyeti sonucunda verimi IE1 seviyesine çok yakın olduğu halde IE2 olarak kabul edilen motorlar pazarda yer bulmaya devam edecektir. Türkiye’de hâlihazırda hizmete alınmakta olan ve alınacak olan yeni motorlar standardın IE1 seviyesinde olmasına rağmen tebliğin IE2 seviyesine uygun olabilecek ve standardın IE2 seviyesinde olmasına rağmen tebliğin IE3 seviyesine uygun olabileceklerdir. Böylece SGM 2012/2 tebliğinin etkinliği azalacaktır. Bu durumu açıklamak için önemli bir cam üreticisi olan bir firmadaki verilerden yola çıkılarak Türkiye için genel bir değerlendirme yapılabilir.



Şekil 5.2: 2 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği.

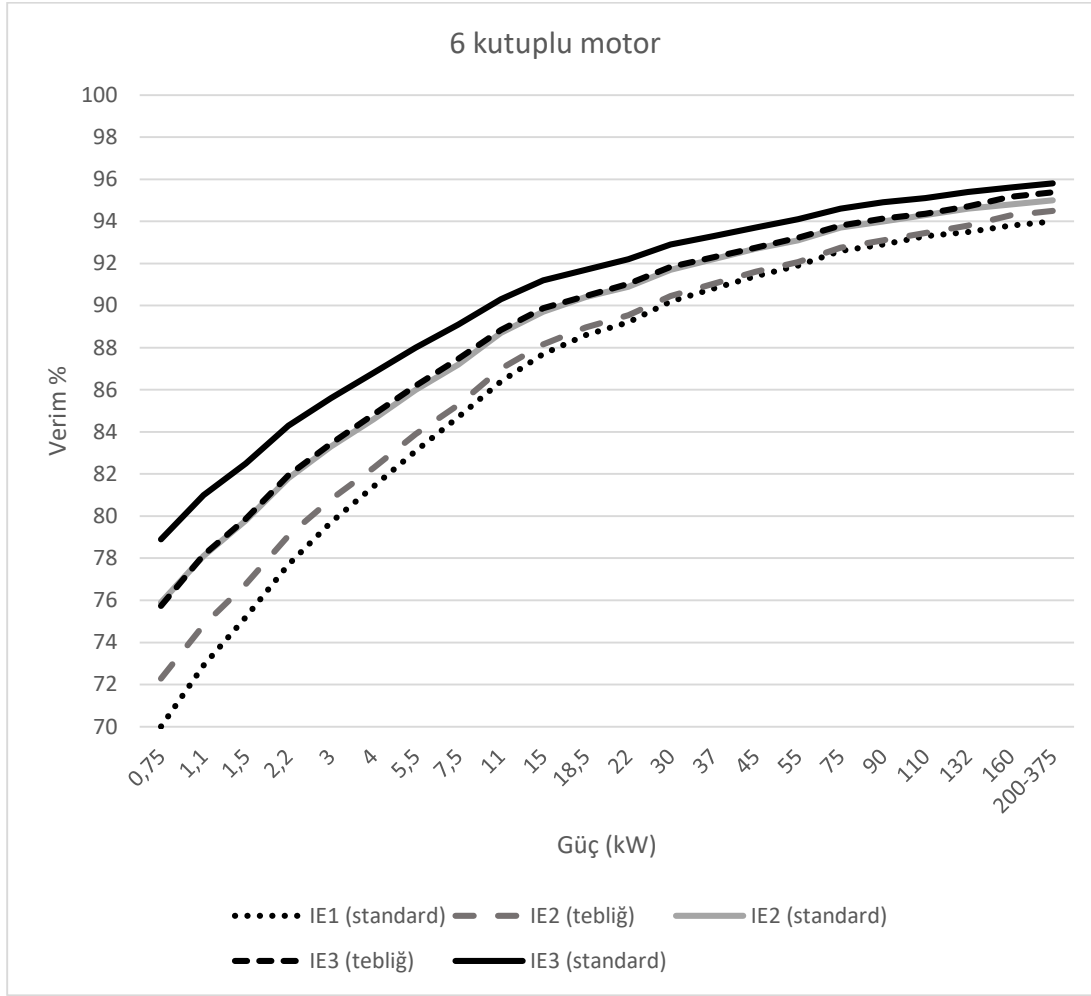


Şekil 5.3: 4 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği.

Söz konusu firmadaki motorların tükettiği enerji ile Türkiye sanayisindeki motorların tükettiği enerji arasında doğru orantılı bir ilişki kurulursa Türkiye’de gerçekleştirilecek bir motor dönüşümü ile oluşacak muhtemel enerji tüketimi ve tasarrufu hesaplanabilir. Ayrıca bu hesaplama, Türkiye pazarına sürülecek yeni motorların verim sınıflarının yüksek seçilmemesi kaçırılacak tasarruf fırsatını da ortaya koymaktadır.

Cam üreticisine ait motorların hâlihazırda tükettiği enerji yıllık 101,2 GWh ve bunun bedeli yaklaşık 39,39 milyon TL dir. Türkiye’nin 2015 elektrik tüketimi 229,2 TWh olduğuna göre Türkiye’de 2015’te tüketilen elektrik enerjisinin para karşılığı yaklaşık 90,28 milyar TL’dir. Türkiye’de tüketilen elektrik enerjisinin %36’sı sanayide kullanılan asenkron motorlarda tüketildiğine göre elektrik motorları 82,512 TWh enerji tüketmektedir. Buna göre Türkiye sanayisinde kullanılan motorların farklı verim seviyelerinde olması halinde elde edilecek tasarruf miktarı ve meydana gelecek tüketim değerleri çizelge 5.3’te verilmiştir. Şekil 5.5’te farklı verim seviyeleri için

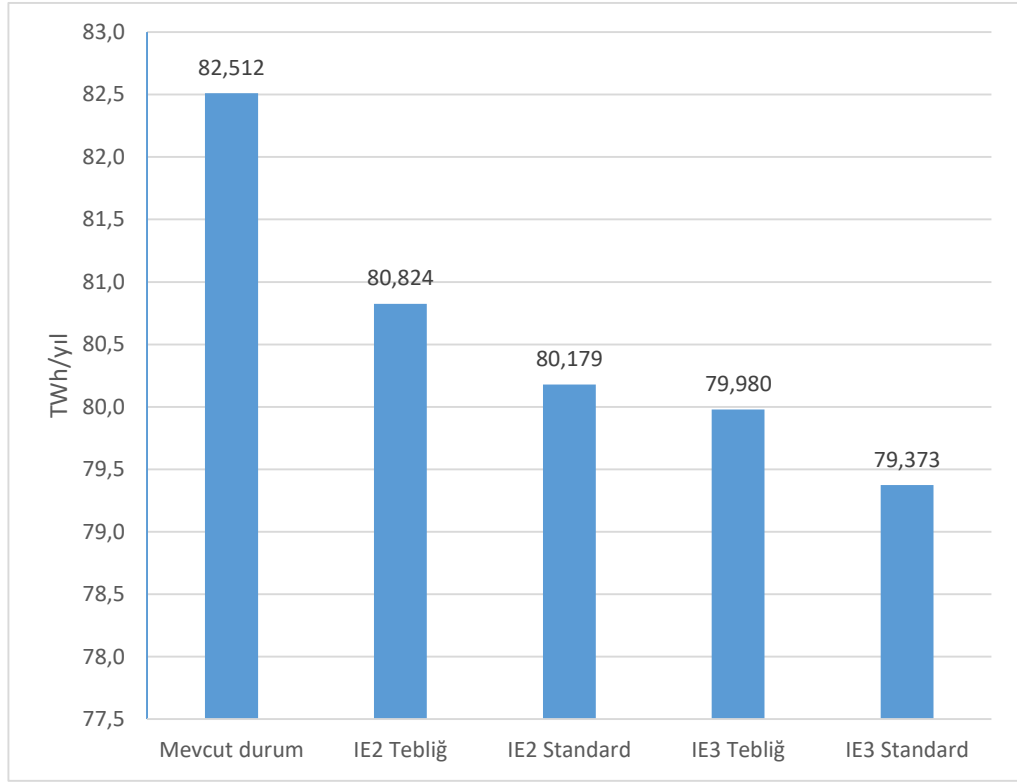
Türkiye geneli muhtemel enerji tüketimi, şekil 5.6’da ise tasarruf miktarları verilmektedir.



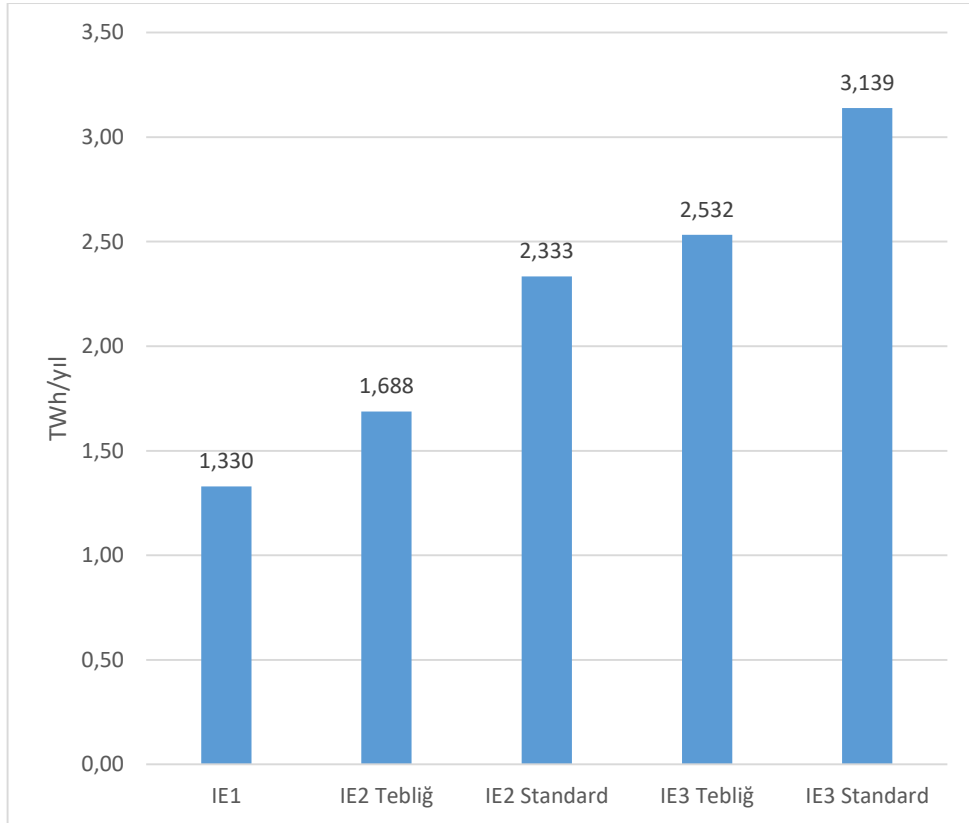
Şekil 5.4: 6 kutuplu motorlar için verim karşılaştırma grafiği.

Çizelge 5.3: Türkiye için 4 farklı seviyede motor seçimine göre tüketim ve tasarruf miktarları.

	Türkiye yıllık enerji tüketimi (TWh)	Türkiye yıllık para tasarrufu (TL)	Türkiye yıllık enerji tasarrufu (TWh)
IE1-1,5 (Mevcut durum)	82,512	-	-
1.Senaryo (IE2 – SGM-2012/2)	80,824	656.508.526	1,688
2. Senaryo (IE2 Standard)	80,179	907.445.396	2,333
3. Senaryo (IE3 – SGM-2012/2)	79,980	984.805.351	2,532
4. Senaryo (IE3 Standard)	79,373	1.220.924.066	3,139



Şekil 5.5: Türkiye geneli elektrik motorları enerji tüketimi senaryoları.



Şekil 5.6: Türkiye geneli elektrik motorları enerji tasarrufu senaryoları.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu ve bu çalışmada Türkiye'nin en büyük cam üretici firmalarından birinden alınan verilerde görüldüğü üzere, Türkiye sanayisinde hâlihazırda kullanılan elektrik motorlarının büyük çoğunluğu düşük verimle çalışmaktadır. Buna göre sanayide gerçekleştirilecek olan bir motor dönüşümünün ülke ekonomisi ve çevre etkisi açısından büyük faydalar getireceği ve piyasaya sunulacak olan motorların verimleri ile ilgili bir düzenleme yapılması gerektiği ortadadır. Bu nedenle ilgili bakanlık tarafından Avrupa Birliği ile eş zamanlı olarak ve Avrupa Birliği'ndeki muadili EC/640/2009 ile aynı içeriğe sahip olan SGM-2012/2 tebliği yayımlanmıştır. Tebliğin uygulama aşaması BSTB Sanayi Ürünleri Güvenliği ve Denetimi Genel Müdürlüğü tarafından yapılan denetimlerle sağlanmaktadır. Ayrıca bakanlık tarafından elektrik motorlarının dönüşümü için bir proje başlatılmış, pilot uygulama Kayseri'de başlatılmış ancak istenen dönüşüm elde edilememiştir. Cam üreticisi için oluşturulan dört farklı senaryoda eski motorların dönüşümü için yapılan yatırımın 1 yıla yakın, bakanlık envanter raporunda Türkiye geneli için oluşturulan iki farklı senaryoda ise yatırımın 2 yıla yakın bir sürede geri dönüşü söz konusu olmaktadır.

Elektrik motorlarının verimli olanlarıyla değiştirilmesi ve piyasaya sunulan motorlar için minimum enerji verimliliği gereklerinin ortaya koyulması ülke ekonomisine ve sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik büyük faydalar sağlayacaktır, ancak yürürlükte olan tebliğin zorunlu kıldığı minimum verim seviyeleri ile IEC 60034-30-1 standardında belirlenen verim seviyeleri birbirinden farklıdır. Tebliğin uygun gördüğü verim seviyeleri, IEC standardında tanımlı verim seviyelerine tolerans getirmektedir. Bu durum düşük maliyetle elde edilebilecek büyük bir tasarrufun miktarını düşürmektedir. Cam üreticisi firmanın 236 adet motorunun tebliğde tanımlanan IE2 seviyesine göre uygun motorlarla değiştirilmesi halinde elde edilecek olan yıllık tasarruf 805.630 TL ve 2,07 GWh enerji iken, standardda tanımlanan IE2 seviyesine göre motor değişimi yapılması halinde yıllık tasarruf 1,11 milyon TL ve 2,86 GWh olacaktır. Üstelik IE2 motorların değişken hız sürücüsü ile tahrik edilmesi

zorunluluğu nedeniyle sürücü donanımı da ek masraflara yol açacaktır. Firmadaki motorların, tebliğde tanımlanan IE3 seviyesi gereklerini karşılayan motorlarla değiştirilmesi halinde yıllık 1,19 milyon TL ve 3,07 GWh enerji tasarruf edilecekken, standardda tanımlanan IE3 seviyesindeki motorlarla değiştirilmesi durumunda yıllık 1,5 milyon TL ve 3,85 GWh enerji tasarruf edilecektir. Üstelik tebliğ göre sürücü donanımı zorunluluğu olmayacaktır. Bu çalışmanın bir benzeri söz konusu firma tarafından 2016 yılında yapılmış ve mevcut motorların standardda tanımlanmış olan IE3 seviyesi motorlarla değiştirilmesine karar verilmiştir. [61]

Bu firmanın verileriyle Türkiye geneli arasında doğru orantı kurularak Türkiye geneline yönelik bir değerlendirme yapıldığında; standardda tanımlı IE2 seviyesindeki motorların yerine tebliğde tanımlı IE2 seviyesindeki motorların tercih edilmesi halinde, yıllık 2,33 TWh enerji ve 907.445.396 TL para tasarrufu yerine; yıllık 1,69 TWh enerji ve 656.508.526 TL para tasarrufu söz konusu olmaktadır. Standardda tanımlı IE3 seviyesindeki motorların yerine tebliğde tanımlı IE2 seviyesindeki motorların tercih edilmesi halinde ise yıllık 3,14 TWh enerji ve 1.220.924.066 TL para tasarrufu yerine yıllık 2,50 TWh enerji ve 973.166.631 TL para tasarrufu söz konusu olmaktadır. Verilerden görüldüğü üzere standardda tanımlı verim değerleri yerine tebliğde tanımlı verim değerleri esas alındığında tasarruf miktarlarında düşüş görülmektedir. Elektrik motorlarının ortalama ömürlerinin 15 yıl olduğu göz önüne alındığında, mevcut uygulamanın etkisinin uzun süreceği ortadadır.

ABD, Kanada, Güney Kore, Japonya, Çin gibi ülkelerde standartlarda tanımlanan IE3 seviyesi minimum seviye olarak zorunlu tutulmakta, Avrupa Birliği de IE2'den IE3 seviyesine geçişi tartışmaktadır. Türkiye'de satış yapan yabancı firmalardan ve Türkiye'deki belli başlı üreticilerden standardda tanımlı olan IE3 seviyesinde motor üretimi yapabilenler mevcuttur [62, 63, 64, 65]. Bu bilgiler göz önüne alındığında, kademeli olarak önce SGM2012/2'de tanımlı IE3 seviyesinin, ardından TS EN 60034-30-1'de tanımlı IE3 seviyesinin minimum enerji performansı seviyesi olarak zorunlu tutulmasının Türkiye ekonomisine büyük faydalar sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic/currentreport/>> erişim tarihi 06 Mart 2018.
- [2] **Url-2** <<https://www.ntv.com.tr/ekonomi/misirda-dev-dogalgaz-rezervi-bulundu,y0imTtdY5r32cQ>>, erişim tarihi 07 Mart 2018.
- [3] **İsrail Akdeniz'de yeni doğalgaz alanı buldu.** (17.01.2016) *Milliyet Gazetesi*. Erişim adresi <http://www.milliyet.com.tr/israil-akdeniz-de-yeni-dogalgaz/dunya/detay/2180236/default.htm>.
- [4] **British Petroleum PLC** (2017). *Energy Outlook 2017 Edition*. Londra: British Petroleum PLC. Alındığı tarih 07 Mart 2018, adres <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2017.pdf>
- [5] **Uluslararası Enerji Ajansı** (2017). *Key World Energy Statistics*. Paris: Uluslararası Enerji Ajansı. Alındığı tarih 07 Mart 2018, adres <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>
- [6] **Url-3** <<https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri/2015>>, erişim tarihi 11 Mart 2018.
- [7] **Url-4** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>> erişim tarihi 11 Mart 2018.
- [8] **Falkner, H. ve Holt, S.** (2011). Walking the torque, Proposed work plan for energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. *OECDiLibrary*. Alındığı tarih 05 Şubat 2018, adres https://www.oecd-ilibrary.org/energy/walking-the-torque-proposed-work-plan-for-energy-efficiency-policy-opportunities-for-electric-motor-driven-systems_5kkg52g5bzm-x-en
- [9] **Abdelaziz, E.A., Saidur, R., Mekhilef, S.** (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 150–168. doi:10.1016/j.rser.2010.09.003.
- [10] **Ni, C.C.** (2013). Potential energy savings and reduction of CO2 emissions through higher efficiency standards for polyphase electric motors in Japan. *Energy Policy*, 52, 737-747. doi:10.1016/j.enpol.2012.10.035.
- [11] **5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu.** (2007). *T. C. Resmî Gazete*, 26510, 2 Mayıs 2007.
- [12] **Enerji Kaynaklarının Ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik.** (2011). *T. C. Resmî Gazete*, 28097, 27 Ekim 2011.
- [13] **Url-5** <http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx>, erişim tarihi 18 Kasım 2017.

- [14] **Elektrik Motorları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ.** (2012). *T. C. Resmî Gazete*, 28197, 07 Şubat 2012.
- [15] **Url-6** <<http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-electric-motor-market>>, erişim tarihi 15.11.2017.
- [16] **De Almeida, A., Falkner, H., Fong, J., Jugdoyal, K.** (2014). EuP Lot 30: Electric Motors and Drives Task 2: Economic and Market Analysis. (2014). *EuP-Network*. Alındığı tarih 01.02.2018, adres http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/EuP-LOT-30-Task-2-April-2014.pdf
- [17] **Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü.** (2016). *İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu*. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü.
- [18] **Url-7** <<https://aa.com.tr/tr/turkiye/keban-karakaya-ve-ataturk-barajlarinda-elektrik-uretimi-artti/749899>>, erişim tarihi 06 Mart 2018.
- [19] **Chapman, S. J.,** (2012). *Electric Machinery Fundamentals, 5th edition*. New York, NY.: McGraw Hill.
- [20] **Url-8** <<https://patentimages.storage.googleapis.com/pages/US381968-1.png>>, erişim tarihi 06 Ocak 2017.
- [21] **Url-9** <<http://www.eti.kit.edu/english/1390.php>>, erişim tarihi 05 Şubat 2017.
- [22] **Lorentz Force (t.y.).** *Wikipedia*. Erişim tarihi 05 Şubat 2017.
- [23] **Url-10** <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electriccircuits/ac/ac_13.html>, erişim tarihi 12 Nisan 2017.
- [24] **Url-11** <<http://www.learnengineering.org/2013/08/three-phase-induction-motor-working-squirrel-cage.html>>, erişim tarihi 12 Nisan 2017
- [25] **International Electrotechnical Commission,** (2010). *Rotating electrical machines -- Part 1: Rating and performance*, (IEC 60034-1:2010). <https://webstore.iec.ch/publication/99>
- [26] **Eddy Current (t.y.).** *Wikipedia*. Erişim tarihi 12 Nisan 2017
- [27] **Türk Standardları Enstitüsü,** (2014). *Döner elektrik makineleri - Bölüm 2-1: Kayıplar ve verimin deneylerle belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler* (TS EN 60034-2-1:2014).
- [28] **Sauer, I., L., Tatizawa, H., Salotti, A., M., Mercedes, S., S.** (2015). A comparative assessment of Brazilian electric motors performance with minimum efficiency standards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 308-318. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.053.
- [29] **Malinowski, J., Hoyt, W., Zwanziger, P., Finley, B.** (2016) Review of regulations in The United States and Europe. *IEEE Industrial Applications Magazine*, January/February 2017, 34-41.
- [30] **10 CFR Part 431 Sayılı Yönetmelik,** (2013). *Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı*, 01 Ocak 2013.
- [31] **Url-12** <<https://webstore.iec.ch/publication/12328>>, erişim tarihi 06 Nisan 2017.

- [32] **Url-13** <<https://www.cencenelec.eu/standards/DefEN/Pages/default.aspx>>, erişim tarihi 06 Nisan 2017.
- [33] **ABB.** (2015). *Global MEPS Energy efficiency regulations for low voltage motors around the World*. Zürih, İsviçre
- [34] **Url-14** <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1353938/versions>>, erişim tarihi 11 Eylül 2017
- [35] **Tsybikov, B., Beyerleyn, E., Tyuteva, P.** (2017). Comparison Of Energy Efficiency Determination Methods For The Induction Motors. *MATEC Web of Conferences 91, 01034*. doi: 10.1051/mateconf/20179101034
- [36] **Cao, W.** (2009). Comparison of IEEE 112 and New IEC Standard 60034-2-1. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 24, (3). doi: 10.1109/TEC.2009.2025321
- [37] **ABB.** (2009). *Technical note IEC 60034-2-1 standard on efficiency measurement methods for low voltage AC motors*. Zürih: ABB. Alındığı adres https://library.e.abb.com/public/c7042f7217248d6ec1257ddc00349361/TMO18%20Rev%20B%202009_230309.pdf
- [38] **Rasinski, T.** (2013). *NISTHB 150-10 NVLAP Efficiency of Electric Motors*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. doi: 10.6028/NIST.HB.150-10
- [39] **Siemens AG.** (2016). *Minimum Energy Performance Standards MEPS regulations worldwide*. Münih: Siemens AG. Alındığı adres <https://w3.siemens.com/drives/global/en/motor/low-voltage-motor/efficiency-standards/Documents/meps-regulations-en.pdf>
- [40] **Lu, S-M.** (2016). A review of high-efficiency motors: Specification, policy, and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1-12. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.360
- [41] **Andrade, C. T. d. C. ve Pontes, R. S.** (2017). Economic analysis of Brazilian policies for energy efficient electric motors. *Energy Policy*, 106, 315-325. doi: 10.1016/j.enpol.2017.03.029
- [42] **Obata, T.** (2014). *Japan starts with mandatory motor requirements* [Power Point slaytları]. Alındığı adres www.motorsummit.ch/de/node/41
- [43] **Url-15** <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/data/toprunner2015e.pdf> 15.04.2018, erişim tarihi 15 Nisan 2018.
- [44] **Url-16** <[http://eep.energy.or.kr/download/Korean%20Energy%20Efficiency%20Policies%20\(2015\).pdf](http://eep.energy.or.kr/download/Korean%20Energy%20Efficiency%20Policies%20(2015).pdf)>, erişim tarihi 15 Nisan 2018
- [45] **NEMA,** (2014). *Motors and Generators*, NEMA MG 1
- [46] **Url-17** <www.jema-net.or.jp/Japanese/pis/pdf/imotor1.pdf>, erişim tarihi 21 Ekim 2017
- [47] **Url-18** <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20141211_GuidelinesElectricMotors%20cover.pdf>, erişim tarihi 25 Ekim 2017

- [49] **International Electrotechnical Commission**, (2008). *Rotating electrical machines — Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)*. (IEC 60034-30:2008)
- [50] **Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik**. (2010). *T. C. Resmî Gazete*, 27222. 7 Ekim 2010.
- [51] **640/2009 Sayılı Komisyon Regülasyonu**. (2009). *Avrupa Birliği Resmî Gazetesi*. 23 Temmuz 2009.
- [52] **De Almeida, A. T., Fong, J., Falkner, H., Bertoldi, P.** (2017). Policy options to promote energy efficient electric motors and drives in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1275-1286. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.112
- [53] **Silva, R. D. d. S. ve Tostes, M. E. d. L.** (2014). Ten Years of Minimum Efficiency Standards for Induction Motors in Brazil: From Standards Class until Super Premium Motors. *Journal of Energy and Power Engineering*, 8, 1620-1632
- [54] **Saidur, R. ve Mahlia, T. M. I.** (2010). Energy, economic and environmental benefits of using high-efficiency motors to replace standard motors for the Malaysian industries. *Energy Policy*, 38, 4617-4625. doi: 10.1016/j.enpol.2010.04.017
- [55] **Ahonen, T., Orozco, S. M., Ahola, J., Tolvanen, J.** (2016). Effect of electric motor efficiency and sizing on the energy efficiency in pumping systems 18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe), Karlsruhe, Almanya: 5-9 Eylül. doi: 10.1109/EPE.2016.7695671
- [56] **Gill, N. K. ve Kaur, A.** (2015). Article: Energy and Cost Saving by Replacing Standard Induction Motors with Energy Efficient Motors (A Case Study). *IJCA Proceedings on National Conference on Advancements in Alternate Energy Resources for Rural Applications AERA 2015* (2), 4-7 Aralık.
- [57] **Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı**. (2013). *Onuncu Kalkınma Planı*. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı
- [58] **Altıparmak, M.** (2018). *Kişisel görüşme, Türk Standardları Enstitüsü, İthalat Grup Başkanlığı* 4 Nisan, İstanbul.
- [59] **Url-19** <<https://www.tse.org.tr/Hakkimizda>>, erişim tarihi 22 Ocak 2018
- [60] **Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu**. (2018). *1/1/2018 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler*. Alındığı adres <https://www.epdk.org.tr/Detay/Download/22043>
- [61] **Dr. Kılıç, L.** (2017). *Kişisel görüşme*. 25 Aralık, Kocaeli.
- [62] **Url-20** <http://www.wat.com.tr/urun_liste.aspx?kat=8615&lang=tr-TR>, erişim tarihi 13 Nisan 2018
- [63] **Url-21** <http://www.voltmotor.com.tr/downloads/pdf/tr/catalogue_tr.pdf>, erişim tarihi 13 Nisan 2018

- [64] **Url-22** <<http://gamak.com.tr-TR/content/page/urunler/alcak-gerilim-motorlari/standart-motorlar/3-fazli-motorlar/tek-hizli-motorlar/ie3>>, erişim tarihi 13.04.2018
- [65] **Url-23** <<http://www.aemot.com.tr/urunler/teknik-katalog.html>>, erişim tarihi 13 Nisan 2018

EKLER

EK A: Çizelgeler

Çizelge A.1: Bazı ülkelerde minimum verim seviyeleri

Motor verim sınıfları	IEC Uluslararası	ABD	AB (eski sistem)	AB (yeni sistem)	Çin	Avustralya	Brezilya	Japonya	Güney Kore
Super Premium	IE4	NEMA Super Premium			Grade 1			IE4	IE4
Premium	IE3	NEMA Premium		IE3	Grade 2		IR3	IE3	IE3
Yüksek	IE2	NEMA High	EFF1	IE2	Grade 3	AU2006MEPS	IR2	IE2	IE2
Standard	IE1	NEMA Efficient	EFF2	IE1	Grade3	AU2002MEPS	IR1	IE1	IE1

Çizelge A.2: EISA ile zorunlu tutulan NEMA Premium verim değerleri [46].

Güç (Hp)	Anma gerilimi 600V'a kadar olan NEMA Efficiency kapalı elektrik motorları (60 Hz)			Anma gerilimi 600V'a kadar olan NEMA Premium kapalı elektrik motorları (60 Hz)		
	2 kutup	4 kutup	6 kutup	2 kutup	4 kutup	6 kutup
1	75,5	82,5	80	77	85,5	82,5
1.5	82,5	84	85,5	84	86,5	87,5
2	84	84	86,5	85,5	86,5	88,5
3	85,5	87,5	87,5	86,5	89,5	89,5
5	87,5	87,5	87,5	88,5	89,5	89,5
7.5	88,5	89,5	89,5	89,5	91,7	91
10	89,5	89,5	89,5	90,2	91,7	91
15	90,2	91	90,2	91	92,4	91,7
20	90,2	91	90,2	91	93	91,7
25	91	92,4	91,7	91,7	93,6	93
30	91	92,4	91,7	91,7	93,6	93
40	91,7	93	93	92,4	94,1	94,1
50	92,4	93	93	93	94,5	94,1
60	93	93,6	93,6	93,6	95	94,5
75	93	94,1	93,6	93,6	95,4	94,5
100	93,6	94,5	94,1	94,1	95,4	95
125	94,5	94,5	94,1	95	95,4	95
150	94,5	95	95	95	95,8	95,8
200	95	95	95	95,4	96,2	95,8

Çizelge A.3: IEC 60034-30-1'e göre IE1 (50 Hz) verim seviyeleri.

IE1 50 Hz				
a.Güç (kW)	Kutup sayısı/senkron hız (rpm)			
	2/3000	4/1500	6/1000	8/750
0,12	45,0	50,0	38,3	31,0
0,18	52,8	57,0	45,5	38,0
0,20	54,6	58,5	47,6	39,7
0,25	58,2	61,5	52,1	43,4
0,37	63,9	66,0	59,7	49,7
0,4	64,9	66,8	61,1	50,9
0,55	69,0	70,0	65,8	56,1
0,75	72,1	72,1	70	61,2
1,1	75	75	72,9	66,5
1,5	77,2	77,2	75,2	70,2
2,2	79,7	79,7	77,7	74,2
3	81,5	81,5	79,7	77,0
4	83,1	83,1	81,4	79,2
5,5	84,7	84,7	83,1	81,4
7,5	86	86	84,7	83,1
11	87,6	87,6	86,4	85,0
15	88,7	88,7	87,7	86,2
18,5	89,3	89,3	88,6	86,9
22	89,9	89,9	89,2	87,4
30	90,7	90,7	90,2	88,3
37	91,2	91,2	90,8	88,8
45	91,7	91,7	91,4	89,2
55	92,1	92,1	91,9	89,7
75	92,7	92,7	92,6	90,3
90	93	93	92,9	90,7
110	93,3	93,3	93,3	91,1
132	93,5	93,5	93,5	91,5
160	93,8	93,8	93,8	91,9
200- 1000	94	94	94	92,5

Çizelge A.4: IEC 60034-30-1'e göre IE2 (50 Hz) verim seviyeleri.

IE2 50 Hz				
Güç (kW)	Kutup sayısı/senkron hız (rpm)			
	2/3000	4/1500	6/1000	8/750
0,12	53,6	59,1	50,6	39,8
0,18	60,4	64,7	56,6	45,9
0,20	61,9	65,9	58,2	47,4
0,25	64,8	68,5	61,6	50,6
0,37	69,5	72,7	67,6	56,1
0,4	70,4	73,5	68,8	57,2
0,55	74,1	77,1	73,1	61,7
0,75	77,4	79,6	75,9	66,2
1,1	79,6	81,4	78,1	70,8
1,5	81,3	82,8	79,8	74,1
2,2	83,2	84,3	81,8	77,6
3	84,6	85,5	83,3	80,0
4	85,8	86,6	84,6	81,9
5,5	87	87,7	86	83,8
7,5	88,1	88,7	87,2	85,3
11	89,4	89,8	88,7	86,9
15	90,3	90,6	89,7	88,0
18,5	90,9	91,2	90,4	88,6
22	91,3	91,6	90,9	89,1
30	92	92,3	91,7	89,8
37	92,5	92,7	92,2	90,3
45	92,9	93,1	92,7	90,7
55	93,2	93,5	93,1	91,0
75	93,8	94	93,7	91,6
90	94,1	94,2	94	91,9
110	94,3	94,5	94,3	92,3
132	94,6	94,7	94,6	92,6
160	94,8	94,9	94,8	93,0
200-1000	95	95,1	95	93,5

Çizelge A.5: IEC 60034-30-1'e göre IE3 (50 Hz) verim seviyeleri.

IE3 50 Hz				
Güç (kW)	Kutup sayısı/senkron hız (rpm)			
	2/3000	4/1500	6/1000	8/750
0,12	60,8	64,8	57,7	50,7
0,18	65,9	69,9	63,9	58,7
0,20	67,2	71,1	65,4	60,6
0,25	69,7	73,5	68,6	64,1
0,37	73,8	77,3	73,5	69,3
0,4	74,6	78,0	74,4	70,1
0,55	77,8	80,8	77,2	73,0
0,75	80,7	82,5	78,9	75,0
1,1	82,7	84,1	81	77,7
1,5	84,2	85,3	82,5	79,7
2,2	85,9	86,7	84,3	81,9
3	87,1	87,7	85,6	83,5
4	88,1	88,6	86,8	84,8
5,5	89,2	89,6	88	86,2
7,5	90,1	90,4	89,1	87,3
11	91,2	91,4	90,3	88,6
15	91,9	92,1	91,2	89,6
18,5	92,4	92,6	91,7	90,1
22	92,7	93	92,2	90,6
30	93,3	93,6	92,9	91,3
37	93,7	93,9	93,3	91,8
45	94	94,2	93,7	92,2
55	94,3	94,6	94,1	92,5
75	94,7	95	94,6	93,1
90	95	95,2	94,9	93,4
110	95,2	95,4	95,1	93,7
132	95,4	95,6	95,4	94,0
160	95,6	95,8	95,6	94,3
200-1000	95,8	96	95,8	94,6

Çizelge A.6: IEC 60034-30-1'e göre IE4 (50 Hz) verim seviyeleri.

IE4 50 Hz				
Güç (kW)	Kutup sayısı/senkron hız (rpm)			
	2/3000	4/1500	6/1000	8/750
0,12	66,5	69,8	64,9	62,3
0,18	70,8	74,7	70,1	67,2
0,20	71,9	75,8	71,4	68,4
0,25	74,3	77,9	74,1	70,8
0,37	78,1	81,1	78	74,3
0,4	78,9	81,7	78,7	74,9
0,55	81,5	83,9	80,9	77
0,75	83,5	85,7	82,7	78,4
1,1	85,2	87,2	84,5	80,8
1,5	86,5	88,2	85,9	82,6
2,2	88	89,5	87,4	84,5
3	89,1	90,4	88,6	85,9
4	90	91,1	89,5	87,1
5,5	90,9	91,9	90,5	88,3
7,5	91,7	92,6	91,3	89,3
11	92,6	93,3	92,3	90,4
15	93,3	93,9	92,9	91,2
18,5	93,7	94,2	93,4	91,7
22	94	94,5	93,7	92,1
30	94,5	94,9	94,2	92,7
37	94,8	95,2	94,5	93,1
45	95	95,4	94,8	93,4
55	95,3	95,7	95,1	93,7
75	95,6	96	95,4	94,2
90	95,8	96,1	95,6	94,4
110	96	96,3	95,1	94,7
132	96,2	96,4	96	94,9
160	96,3	96,6	96,2	95,1
200	96,5	96,7	96,3	95,4
250	96,5	96,7	96,5	95,5
315- 1000	96,5	96,7	96,6	95,6

Çizelge A.7: PGD deneyleri sonuçları.

Güç	Kutup	Beyan edilen verim	Ölçülen verim	Ölçülen sınıf (IEC 60034-30-1)	Ölçülen sınıf (SGM 2012/2)
0,75	2	-	73	IE1	IE1
1,1	2	79,7	77,45	IE1	IE2
1,1	2	-	82,8	IE3	IE3
1,5	2	-	86,7	IE3	IE3
1,5	6	79,8	79,4	IE1	IE2
2,2	2	83,2	82,9	IE1	IE2
2,2	2	83,2	82,22	IE1	IE2
2,2	4	-	82,3	IE1	IE2
3	4	85,5	83,3	IE1	IE2
3	4	85,5	83,2	IE1	IE1
3	4	85,5	84,4	IE1	IE2
3	4	85,6	84,9	IE1	IE2
3	4	-	85,3	IE1	IE2
5,5	4	86,2	87,1	IE1	IE2
5,5	4	87,7	88,1	IE2	IE2
5,5	4	88,4	88,7	IE2	IE3
5,5	4	88,7	88,7	IE2	IE3
7,5	2	88,1	88	IE1	IE2
7,5	4	88,7	89,3	IE2	IE3
7,5	4	89,1	89,8	IE2	IE3
11	2	89,4	89	IE1	IE2
11	4	91,4	91,4	IE3	IE3
11	4	-	88,3	IE2	IE2
11	4	-	88,3	IE1	IE2
11	4	-	88,3	IE1	IE2
11	4	-	88,6	IE1	IE2
15	2	90,3	89,7	IE1	IE2
15	4	90,6	90,6	IE2	IE2
15	4	90,6	89	IE1	IE1
15	4	90,6	91	IE2	IE3
15	4	90,6	88,8	IE1	IE1
15	4	90,6	88,9	IE1	IE1
15	4	90,6	88,9	IE1	IE1
15	4	90,6	89	IE1	IE1
15	4	92,1	92,1	IE3	IE3
18,5	4	91,2	90,3	IE1	IE2
18,5	4	91,2	90,2	IE1	IE2
18,5	4	92,6	93,1	IE3	IE3
22	4	-	89,2	IE1	IE1
22	4	-	89,6	IE1	IE1
22	4	-	89,8	IE1	IE1
22	4	-	89,6	IE1	IE1
37	2	93,7	92,7	IE2	IE2
37	2	93,7	92,1	IE1	IE2
37	2	93,7	92,2	IE1	IE2
37	2	-	90	IE1	IE1
90	4	94,2	94	IE1	IE2

Çizelge A.8: IE2 için IEC 60034-30-1 ve SGM-2012/2 verim seviyeleri.

Anma çıkış gücü (kW)	IE2 Verim					
	2 kutup		4 kutup		6 kutup	
	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)
0,75	74,01	77,4	76,54	79,6	72,29	75,9
1,1	76,54	79,6	78,61	81,4	74,82	78,1
1,5	78,50	81,3	80,22	82,8	76,77	79,8
2,2	80,68	83,2	81,95	84,3	79,07	81,8
3	82,29	84,6	83,33	85,5	80,80	83,3
4	83,67	85,8	84,59	86,6	82,29	84,6
5,5	85,05	87	85,86	87,7	83,90	86
7,5	86,32	88,1	87,01	88,7	85,28	87,2
11	87,81	89,4	88,27	89,8	87,01	88,7
15	88,85	90,3	89,19	90,6	88,16	89,7
18,5	89,54	90,9	89,88	91,2	88,96	90,4
22	90,00	91,3	90,34	91,6	89,54	90,9
30	90,80	92	91,15	92,3	90,46	91,7
37	91,38	92,5	91,61	92,7	91,03	92,2
45	91,84	92,9	92,07	93,1	91,61	92,7
55	92,18	93,2	92,53	93,5	92,07	93,1
75	92,87	93,8	93,10	94	92,76	93,7
90	93,22	94,1	93,33	94,2	93,10	94
110	93,45	94,3	93,68	94,5	93,45	94,3
132	93,79	94,6	93,91	94,7	93,79	94,6
160	94,28	94,8	94,39	94,9	94,28	94,8
200'den 375'e kadar	94,50	95	94,61	95,1	94,50	95

Çizelge A.9: IE3 için IEC 60034-30-1 ve SGM-2012/2 verim seviyeleri.

Anma çıkış gücü (kW)	IE3 Verim					
	2 kutup		4 kutup		6 kutup	
	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)	Tebliğ (SGM 2012/2)	Standard (IEC 60034- 30-1)
0,75	77,81	80,70	79,88	82,5	75,74	78,9
1,1	80,11	82,70	81,72	84,1	78,15	81
1,5	81,83	84,20	83,10	85,3	79,88	82,5
2,2	83,79	85,90	84,71	86,7	81,95	84,3
3	85,17	87,10	85,86	87,7	83,44	85,6
4	86,32	88,10	86,89	88,6	84,82	86,8
5,5	87,58	89,20	88,04	89,6	86,20	88
7,5	88,62	90,10	88,96	90,4	87,47	89,1
11	89,88	91,20	90,11	91,4	88,85	90,3
15	90,69	91,90	90,92	92,1	89,88	91,2
18,5	91,26	92,40	91,49	92,6	90,46	91,7
22	91,61	92,70	91,95	93	91,03	92,2
30	92,30	93,30	92,64	93,6	91,84	92,9
37	92,76	93,70	92,99	93,9	92,30	93,3
45	93,10	94,00	93,33	94,2	92,76	93,7
55	93,45	94,30	93,79	94,6	93,22	94,1
75	93,91	94,70	94,25	95	93,79	94,6
90	94,25	95,00	94,48	95,2	94,14	94,9
110	94,48	95,20	94,71	95,4	94,37	95,1
132	94,71	95,40	94,94	95,6	94,71	95,4
160	94,94	95,60	95,17	95,8	94,94	95,6
200'den 375'e kadar	95,17	95,80	95,40	96	95,17	95,8

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serdar BÜYÜK
Doğum Tarihi ve Yeri : 16 Şubat 1984 SAMSUN
E-posta : serdarbuyuk@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2011 yılları arasında ASP Otomasyon Ltd Şti’de otomasyon ve proje mühendisi görevinde bulundu.
- 2011 Aralık’tan beri Türk Standardları Enstitüsü Elektroteknik Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü’nde mühendis olarak görev yapmaktadır.

BİLDİRİLER:

- Büyük, S., Çavdar, Ş., Ahmetolan, S. (2010). Solution of Fixed Source Neutron Diffusion Equation Via Homotopy Perturbation Method., *International Student Conference of Advanced Science and Technology, ICAST*, Türkiye. 25-26 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- Büyük, S. ve Gök, S. (2011). Proses Otomasyonunda OPC Teknolojisi. *Endüstriyel Otomasyon Sempozyumu*, 21-22 Ekim, İstanbul, Türkiye.