

ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ SINIFLARI ARASI TÜKETİM FARKLILIKLARI VE VERİMLİLİK ARTIRICI METOTLAR

Alper KELEŞOĞLU¹, Süleyman KOCAOĞLU², Mert YÖNTEM², Selen ÇAĞLAR², İrem Nur AYDIN², Esra BAYIR¹, Elif Yenilmez DEMİREL¹, Cansu YILMAZ², Ümit ÜNVER³

Accepted: 2023-06-07
DOI: 10.47118/somatbd.1238976

ÖZET

Elektrik enerjisi insanoğlunun hayatının her evresinde yer almaktadır. Söz konusu elektrik enerjisi olduğunda, bu enerjinin en çok sanayide kullanıldığı bilinmektedir. Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin tüketimi ise daha çok elektrik motorları tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada, özel sektörde çok kullanılan farklı enerji sınıflarına sahip motorların aralarındaki tüketim farklılığı araştırılmıştır. Böylelikle çalışmada motorlarda kullanılan elektrik enerjisi tüketiminde verimli kullanım ile beraber enerji tasarrufuna gidilmesinde yardımcı olunması ayrıca bu konuda katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Elektrik Motorları, Verimlilik, Enerji Sınıflandırılması

CONSUMPTION DIFFERENCES BETWEEN ENERGY CLASSES IN ELECTRIC MOTORS AND EFFICIENCY IMPROVEMENT METHODS

ABSTRACT

Electrical energy exists in every phase of human life. When it comes to electrical energy, it is known that it is mostly used in industry. It is known that the consumption of electrical energy used in industry is mostly used by electric motors. In this study, the difference in consumption between energy classes of motors that are widely used in the private sector is investigated. In addition, the differences in the efficiency of motor and motor classification in industrial areas are explained. In this way, it is aimed to contribute to the efficient use of electrical energy consumption in motors and to contribute to savings.

Keywords: Electric Motors, Efficiency, Energy Classification

1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun hayatını idame ettirebilmesi adına önemli bir kaynaktır. Günümüzde enerji ihtiyacı ile enerji kaynaklarının önemi artmakla birlikte yeni kaynak arayışları ve mevcut kaynakların verimli kullanılması ön plana çıkmaktadır [1]. Bu nedenle devletler enerji

¹ Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş. Ar-Ge Merkezi, 41420, Kocaeli, Türkiye

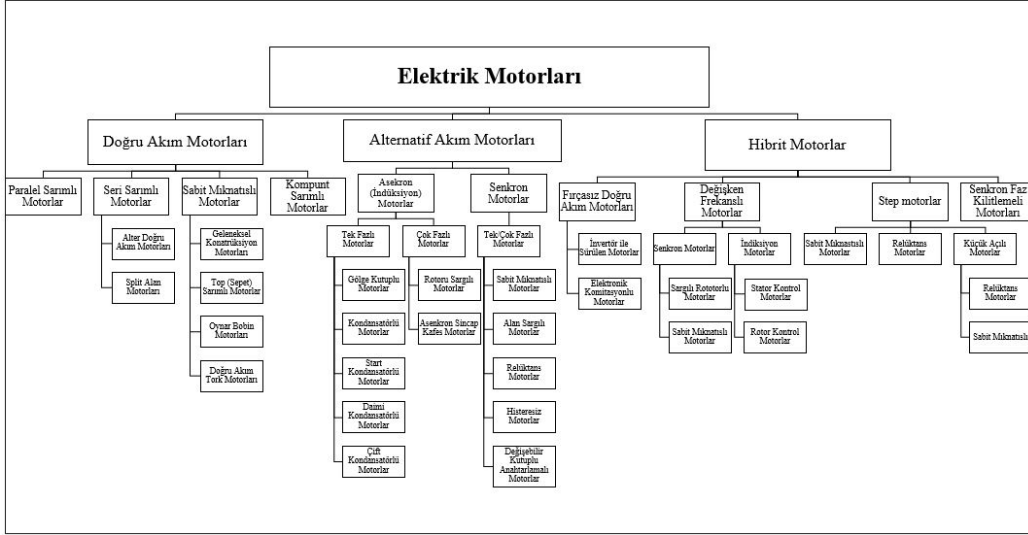
² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 77200, Yalova, Türkiye

³ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 77200, Yalova, Türkiye

maliyetlerini düşürmeyi ve bununla birlikte çevreye verilen zararların da azaltılmasını hedeflemektedir. Bu hedefler doğrultusunda enerji verimliliği üzerine dünya çapında çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar enerji üretiminde kullanılan kaynakların verimli kullanılmasını için gerekli önlemler alınsa da fosil kaynaklı rezervlerin yine de tükeneyeceğini göstermektedir [2]. Dünyada enerji ihtiyacı kaynağı olarak fosil yakıtların kullanımı oldukça yüksektir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımını ile ilgili yapılan hesaplamalar ise fosil kökenli yakıtların sonuna gelindiğini göstermektedir [2]. Bu ve bunun dışındaki kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketimiye ağırlıklı olarak özel sektör tarafından kullanılmaktadır [3, 4]. Özel sektörün kullanması için gereken enerji ihtiyacının, üretilen enerjinin üçte birine karşılık geldiği bilinmektedir ve dolayısıyla özel sektördeki üretim tesislerinde kullanılan elektrik enerjisinin verimli kullanılması günümüzde büyük bir önem arz etmektedir [5-8]. Özel sektörde en çok elektrik harcayan donanımlar elektrik motorlarıdır ve üretim tesislerinde kullanılan elektrikli motorlarında ise en çok kullanılan tip “sincap kafesli asenkron motor” olarak bilinmektedir [9-11]. Dünya genelinde yapılan araştırmalarda 2011 yılında havaya salınan karbondioksit miktarının 6040 milyon ton ile elektrik motorlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir [12]. Bu salınımın fazla olmasından dolayı dünya genelinde gerekli yasal düzenlemeler yapılmaktadır ve oluşturulan bu yasal düzenlemelerle 16 ile 29 Gton arası karbondioksit salınımının önüne geçileceği beklenmektedir [13]. Japonya’da yapılan bir çalışmada ise, elektrik motorlarına uygulanacak verimlilik çalışmaları sonucunda 2043 yılına kadar karbondioksit salınım miktarının 149 Mton civarında azaltılabileceği saptanmıştır [14]. Motor kullanımı söz konusu olduğunda karbondioksit salınımları görmezden gelinemeyeceği için verimli motorların kullanımına yönelmek, büyük oranda karbondioksit salınımının azalacağı ve enerji tasarrufu sağlanacağı kanısını ortaya koymaktadır. Standart motorlardan %2 ila 8 daha verimli çalışan yüksek verimli motorların ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa bile geri ödeme sürelerinin düşük olmasından kaynaklı tercih sebebi haline gelmiştir. Türkiye dâhilinde kullanılan motor çeşitleri, genellikle orta güçlü motor sınıfına tabi olan kompresör, fan, pompa gibi ekipmanlarda kullanılmaktadır [15]. Elektrik motorlarında giren elektrik gücüne karşılık çıkışta mekanik güç elde edilmektedir. Fakat bu güç elde edilirken stator bakır kaybı, rotor bakır kaybı, demir kaybı, sürtünme kayıpları ve ek kayıplar meydana gelmektedir. Söz konusu kayıplar giriş gücünden çıkarıldığında net çıkış gücü ve bu değerlerin giriş gücüne oranlanması ile motora ait verim elde edilmektedir [16, 17]. Verimin yüksek olması istenildiğinde, giriş gücündeki kayıpların azaltılarak çıkış gücünün yüksek olması gerekmektedir.

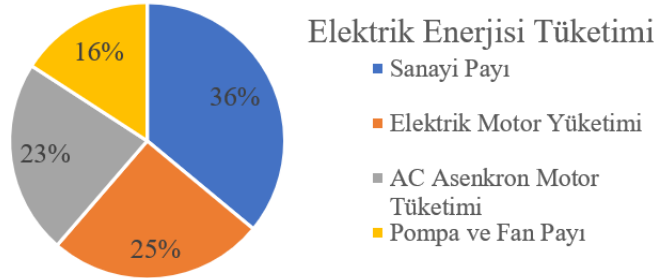
1.1. Elektrik Motorları ve Çeşitleri

Motor türleri, ısı motorları (pistonlu, türbinli, tepkili), hidrolik-pnömatik (pistonlu ve türbinli) ve elektrik motorları olmak üzere 3 ana başlık adı altında incelenmektedir [18]. Elektrik motorları, doğru akım (DC) motorları, alternatif akım (AC) motorları ve hibrit motorlar olarak 3 ana başlık altında detaylı olarak incelenmekte ve Şekil 1’de detaylı sınıflandırılma verilmektedir. Elektrik motorları içeriğinde sabit bölüm olarak adlandırılan stator ve kendi çevresinde dönen rotor olarak iki ferromanyetik ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar ise kendi içlerinde diğer farklı yan parçalara ayrılmaktadır [19]. Son dönemlerde doğru akım motorlarının kullanımı azalmıştır ancak uygulamalarda hala %80 asenkron motor kullanılmaya devam edilmektedir. Çalışmalarda alternatif akım motorlarının istenmemesinin sebebi, doğru akım motorlarına göre oluşan enerji dönüşümü esnasında meydana gelen kayıpların daha fazla olması ve düşük performans olarak bilinmektedir [20].



Şekil 1. Elektrik Motorları Sınıflandırılması

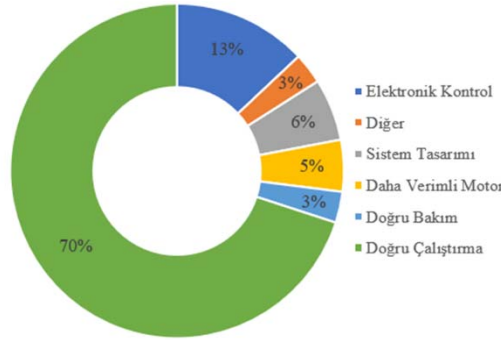
Türkiye’de özel sektörde kullanılan elektrik motorları; %22 havalandırma-fan motorları, %29 pompa motorları, %7 kompresör motorları ve %42 diğer motorlar olmak üzere dörde ayrılmaktadır [21].2006 yılında toplam elektrik enerjisi tüketimi 153.000.000 MWh olmuştur. Toplam tüketimindeki sanayi payı, elektrik motorlarında tüketilen elektrik enerjisi, AC asenkron elektrik motorlarının payı, pompa ve fan motorlarının payı olarak 4 alt başlığa ayrıldığında, sırasıyla enerji tüketimi; 68.000.000 MWh, 48.000.000 MWh, 43.000.000 MWh, 30.000.000 MWh şeklinde ortaya çıkmıştır. Tüketilen elektrik enerjisinin üretilen toplam elektrik enerjisine oranı Şekil 2’de gösterilmiştir [22-25].



Şekil 2. Elektrik Tüketim Enerjilerinin Üretim Enerjisine Oranları

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu motorların %80 asenkron motor olduğu ve hali hazırda kullanılan motorların verimlilik oranlarının, üst verimlilik sınıfında yer almadığı ortaya çıkmaktadır [20, 26]. Bu nedenle özel sektörde en çok kullanılan motor olan asenkron motor pazarının değişmesi enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir. Yüksek verimli motor kullanmak, daha az ısı ve titreşim oluşturacağından standart motorlara göre verimi daha yüksek olmaktadır. Ayrıca yüksek verimli motorların kullanımı zaman tasarrufu, işletme maliyetlerinde azalma ve dolaylı olarak daha düşük enerji tüketimine bağlı emisyon azaltma gibi birçok avantajı

da beraberinde getirmektedir [27]. Konutlarda kullanılan beyaz eşya gibi makinelerde bulunan elektrik motorlarının ve özel sektördeki üretimde veya üretimin yapıldığı makinelerde kullanılan elektrik motorlarının veriminin artırılması gerekmektedir. Söz konusu verimin artırılmasında, verimsiz motorların verimli motorlar ile değişimine gerek kalmadan, ilgili ekipman için doğru motor seçimi, değişken hız sürücüsü ile tahrik etme, uygun sistem tasarımı, doğru çalıştırma ve doğru bakım yapılması gibi önlemler alındığında, dünya çapında %10'luk bir enerji tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmektedir [28]. Bu payın içerisinde doğru çalışma ile %70 oranında bir tasarrufun elde edilebileceği ve diğer düzeltici etmenlerin ortaya çıkan verimliliği hangi oranda etkileyeceği Şekil 3'te verilmiştir [29]. Verimlilik konusunda var olan standartları bilmek ve bu standartlardaki şartlara göre en verimli motorları üretmek verimlilik açısından önem arz etmektedir. Elektrikli motor üretiminde; tüm dünya ülkelerinde kullanılması yasal zorunluluk teşkil eden, Avrupa Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği Üreticileri Komitesi (CEMEP) tarafından yürürlüğe konulmuş IE Uluslararası Motor Verimlilik Standartları kullanılmaktadır [30, 31]. Verimlilik sınıflandırılmasında, motorların hangi durumlarda kullanılması gerektiğine göre, motor seçimindeki kriterler belirlenmektedir. 1992 yılında ABD' de yürürlüğe giren Enerji Politikası Yasası (EPAct) ile elektrikli motorlardaki verimliliğin düşük mertebelerde kalmaması için çeşitli sınırlamalar getirilmiştir [32]. Bu kriterler uluslararası standartlaşma çalışmaları adı altında dünyadaki büyük bir üretici çoğunluğu tarafından kullanılmaktadır [33]. CEMEP tarafından belirlenen elektrik motorları verimlilik standartlarına göre verimlilik, 2000 yılında EFF1, EFF2 ve EFF3 verimlilik değeri şeklinde 3 sınıfa ayrılmış olup, 2004 yılında Avrupa'da EFF3 verimlilik değerlerine ait olan elektrik motorlarının kullanımı kaldırılmıştır. 2008 yılında ise IEC (International Electrotechnical Commission) tarafından 4 adet yeni sınıflandırma tanımı oluşturulmuştur [34-36]. Buna ek olarak son zamanlarda 5. verimlilik sınıflandırması olarak IE5-Ultra Süper Premium adlandırılması şeklinde de çalışmalar yürütülmektedir [37, 38].



Şekil 3. Elektrik Motorlarında Verimlilik Çalışma Alanları

Elektrik motorlarında hem üretici hem de tüketici için standartlaşmaya gidilmiş olup motor performansı, gövde boyutlandırması, işletme şartları gibi konulara alt ve üst sınırlamalar koyulmuştur [39]. CEMEP ile gönüllü anlaşma yapan ya da yapmayan AB ülkelerinde ve Türk Sanayisinde, verim sınıfına göre motor kullanımları Tablo 1.'de verilmiştir. Tablo 1'e göre Türkiye'de en düşük verim sınıfına dâhil olan EFF3, en çok kullanılan elektrikli motor çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. En yüksek verimli motor sınıfı olan EFF1 elektrikli motor sınıfı ise %7 oranında bir kullanım alanına sahiptir. Genel ve özel amaçlı kullanılan elektrik motorlarının tümünü kapsayan verimlilik çalışmalarında, genel hüküm oluşturulmasında 2007 yılında çıkarılan Enerji İstikrarı ve Güvenliği Yasası (EISA) ile Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) daha çevreci elektrik motorları için yasal düzenlemelerde bulunmuşlardır. Yapılan bu

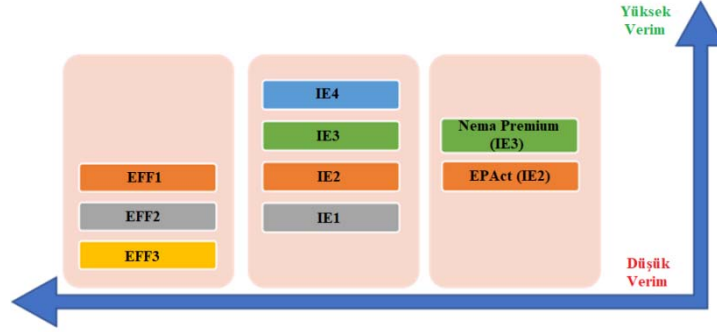
yasal düzenlemeden elektrik motorlarının verimlilik sınıflandırılması standart verimli, enerji verimli ve premium verimli olarak belirlenmiştir [36, 40]. Elektrik motorlarının standartlarının belirleyen temel iki kurum Avrupa tabanlı IEC ve Amerika tabanlı NEMA'dır [41, 42]. Ülkemizde elektrik motorları üretiminde kullanılan Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından oluşturulan standartlar, IEC'yi dayanak alarak oluşturulmuştur [43]. CEMEP'e göre, Tablo 1.'de verilen motor verimlilik sınıflandırmalarında EFF1 sınıfı en verimli sınıf, EFF2 sınıfı orta verimli sınıf ve EFF3 sınıfı en verimsiz sınıf olarak ifade edilmiştir.

Tablo 1. CEMEP Verim Sınıflarına göre Motor Kullanım Oranları [3, 6]

	CEMEP	CEMEP Dışı	Türkiye
EFF1	%7	%6	%7
EFF2	%85	%66	%28
EFF3	%8	%28	%65

2009 yılından itibaren kullanılan elektrikli motorların verimlilik sınıflandırması IE1 sınıfı standart verimlilik, IE2 sınıfı yüksek verimlilik, IE3 sınıfı premium verimlilik şeklinde ifade edilirken 2014 yılında IE4 sınıfı olan süper premium da sınıflandırılmaya dâhil edilmiştir [42]. CEMEP'e göre elektrik motorlarının verimlilikleri açısından yapılan sınıflandırmada, EFF1 verimlilik sınıfına fan, pompa gibi sürekli çalışan motorlar, EFF2 verimlilik sınıfına makine ekipman uygulamalarında kullanılan sık kullanımlı motorlar ve EFF3 verimlilik sınıfına ihtiyaç doğrultusunda veya seyrek kullanılan motor çeşitleri dahil edilmiştir [44].

Dünya çapında bu sınıflandırmaların ülkeler arası standartlaşma çalışması ve verimlilik açısından ortak dilin kullanılması istemiyle başlatılmıştır. Bazı ülkelerde (özellikle AB ülkelerinde), ulusal olarak belirledikleri verimlilik sınıflandırmalarını, kendi ülkelerinde bağlayıcı olan diğer standartlarla birlikte kullandıklarında, belirli sınıflandırma altında kalan elektrikli motorların kullanılmaması ve kademeli olarak piyasadan çekilmesi hedeflenmiştir. Premium verimlilik ve bu verimliliğin üzerinde olan elektrikli motorların, yüksek verimlilikte olup elektrikli motorların verimliliğinin arttıran, elektronik, ayarlanabilir sürücülerle birlikte kullanılması uygun görülmüştür [36]. Ülkemizde ise bu hususta geçerliliği olan IEC 60034-30-1 standartlarının 2009 yılında oluşturulduğu ve standardın 2010 yılı itibari ile uygulamaya başlandığı bilinmektedir. 2012 ve 2014 yıllarında bu standartlara tekrar düzenlemeler yapılmış ve son durumu bugünkü haliyle netlik kazanmıştır [45-47]. Geçmişten günümüze kadar verimlilik sınıflandırmalarının karşılaştırılmasına ait görsel Şekil 4.'de gösterilmektedir. Sınıflandırılmada EFF1, EAct ve IE2 kendi aralarında bir grup olarak aynı sınıflandırmada yer alırken iken IE3 ve Nema Premium da yine kendi aralarında aynı sınıflandırma grubuna dâhildir. Avrupa ülkeleri CEMEP ait sınıflandırmayı kullanırken diğer bir yandan sistemlerinde IEC ait sınıflandırmayı da kullanmaktadır. Kuzey Amerika, ABD, Kanada ve Meksika gibi ülkeler ise NEMA ve EAct sınıflandırmasını kabul eden ülkeler arasında yer alırlar.



Şekil 4. Elektrik Motorlarına ait Verimlilik Standartlarının Sınıflandırılması

Tüm bu sınıflandırmalarda önemli faktörlerden biri motorların kullanım alanlarına göre seçilmiş olması gerektiğidir. Fazla güce sahip ve yüksek verimlilikte olan bir motor kullanmak, verimli bir kullanım sağlandığı anlamına gelmemektedir. Bu durum için örnek verilmek gerekirse; 1 kW güce sahip bir motor kullanıldığında, IE4 verimlilik sınıfı motor seçimi değerlendirmesine göre; enerjimizi işe dönüştürmüş olsa da enerji verimliliği sağlanmış anlamına gelmemektedir. Bu nedenle motorların verimlilik sınıflandırılmasında giriş ve çıkış gücü aralıklarının doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekliliği tespit edilmelidir. Türkiye’de zorunlu uygulamaya geçiş sürecinde, IE1 verimlilik sınıfı motorların 02.04.2012 tarihinden itibaren piyasaya çıkarılması yasaklanmış olup IE2 verimlilik sınıfına ait motorların da 01.01.2015 tarihine kadar kullanılabilceğini belirten madde 02.04.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Verimlilik sınıfı IE3 olan motorlarda ise ayarlanabilir sürücüler ile IE2 verim seviyesi 7.5-375 kW güce sahip motorların kullanılması da, 01.01.2015 ve 01.01.2017 tarihinde yürürlüğe giren maddeler arasındadır [48-50]. Bu tebliğler doğrultusunda sanayi içerisinde, yapılan çalışmalar kontrol edildikten sonra maddi olarak teşvikler, eğitimler, kapasite geliştirilmesi gibi programlarda ilerleme kaydedildiği görülmüştür [50]. Onuncu kalkınma planında, verimli elektrik motorlarına geçiş konusundaki politikalar belirlenirken [51], on birinci kalkınma planında özel sektörde kullanılan verimsiz motorların verimli olan motorlarla değiştirilmesi, enerji etiketlendirmesinin yapılması ve motorlarda kullanılan silisyumlu sacların ülkemizdeki ileri teknoloji üretimine Ar-Ge çalışmalarına yönelik destekleme çalışmalarına ait hedefler belirlenmiştir [52].

IEC’ye göre elektrik motorlarında verimlilik sınıfı 4 gruba ayrılmış, bu gruplar da kendi aralarında, kutup sayılarına göre sınıflandırılmıştır. 0,12 kW ile 1000 kW aralığında çıkış gücü olan, minimum 50 Hz değerine sahip motorlar için kutup sayıları 2, 4, 6 ve 8 şeklinde numaralandırılmış ve IEC/EN 60034-30-1:2014 standartlarına göre elde edilen verimlilik değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2 ayrıntılı olarak incelendiğinde, 200 kW çıkış gücüne karşılık gelen verim değerleri kutup sayısına göre değişim göstermemektedir. Fakat verimlilik sınıfına göre kutup sayısı arttıkça verimin düştüğü ve en optimum değer 4 kutuba ait olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğini sağlamak için verim sınıfı, kutup sayısı ve diğer parametreler göz önünde bulundurularak seçim yapılması en doğru elektrik motoruna ulaşımı sağlayacaktır.

Tablo 2. Minimum 50 Hz IEC/EN 60034-30-1:2014 Verimlilik Değerleri [53]

kW	IE1				IE2				IE3				IE4			
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
0,12	45,0	50,0	38,3	31,0	53,6	59,1	50,6	39,8	60,8	64,8	57,7	50,7	66,5	69,8	64,9	62,3
0,37	63,9	66,0	59,7	49,7	69,5	72,7	67,6	56,1	73,8	77,3	73,5	69,3	78,1	81,1	78,7	74,9
1,1	75,0	75,0	72,9	66,5	79,6	81,4	78,1	70,8	82,7	84,1	81,0	77,7	85,2	87,2	84,5	80,8
4	83,1	83,1	81,4	79,2	85,8	86,6	84,6	81,9	88,1	88,6	86,8	84,8	90,0	91,1	89,5	87,1
15	88,7	88,7	87,7	86,2	90,3	90,6	89,7	88,0	91,9	92,1	91,2	89,6	93,3	93,9	92,9	91,2
37	91,2	91,2	90,8	88,8	92,5	92,7	92,2	90,3	93,7	93,9	93,3	91,8	94,8	95,2	94,5	93,1
90	93,0	93,0	92,9	90,7	94,1	94,2	94,0	91,9	95,0	95,2	94,9	93,4	95,8	96,1	95,6	94,4
200	94,0	94,0	94,0	92,5	95,0	95,1	95,0	93,5	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,3	95,4
355	94,0	94,0	94,0	92,5	95,0	95,1	95,0	93,5	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,3	95,4
500	94,0	94,0	94,0	92,5	95,0	95,1	95,0	93,5	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,3	95,4
1000	94,0	94,0	94,0	92,5	95,0	95,1	95,0	93,5	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,3	95,4

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Elektrik Motorlarındaki Kayıplar ve Verim Arttırma Yöntemleri

Elektrik motorlarına ait toplam enerji tüketiminin özel sektör içindeki payı %37 olarak belirtilirken bu enerji tüketimine karşılık gelen karbondioksit emisyonu %36 olarak tespit edilmiştir [54]. Enerji verimliliğinden harcanan enerjinin beklenen işe karşılık gelmesi ve var olan kayıpların en aza indirilmesi olarak bahsedilebilir. Çevreye duyarlı ve verimli sistemlerde enerji verimliliği elde edilmek istenirse ilk önce sistemdeki kayıpların en aza indirilmesi ve bu kayıpların olmaması için sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir [55]. Elektrik motorlarında verim ise aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır;

$$\text{Elektrik Motorunda Verim } (\eta) = \frac{\text{Motor Mil Gücü}}{\text{Motor Mil Gücü} + \text{Kayıplar}} \quad (1)$$

Söz konusu verimi elde ederken kayıpların düşük olmasının, verimi arttıracakları açıkça görülmektedir. Burada ki kayıplar elektrik motorunda stator ve rotor bakır kaybı, sürtünme kayıpları ve ek kayıplar olarak bilinmektedir [16, 17]. Bu kayıplar mekanik kayıp ve ısı kaybı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 5'te standart bir elektrik motorunda bulunan kayıplar incelenmiş olup söz konusu kayıpları önlemek amaçlı çözüm önerileri araştırılmış ve devamında çözüm önerileri sunulmuştur.



Şekil 5. Elektrik Motorlarındaki Kayıplar

Stator kayıpları; stator sargıları, oluk doluluk oranı, iletken yalıtımı ve sargı başlarının uzunluğu şeklinde, rotor kayıpları ise rotor çubuk malzemesi kayıpları olarak ele alınmaktadır. Motor çekirdeği kayıpları, laminasyon malzemesi, dış çap büyüklüğü, çekirdek paket boyutu, amorf malzeme kullanımı, iletken çekirdek arasındaki yalıtım ve ısı şoklama uygulaması olarak belirlenirken mekanik kayıplar da ayrıca incelenmiştir [56-59]. Elektrik motorlarında bulunan kayıpların azaltılması veya verimin artırılması için geliştirilen bazı yöntemler kısaca aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Motorlarda enerji sınıfları arası tüketim farklılıklarının olması sebebiyle özel sektör firmalarının kendi bünyelerinde enerji yönetim stratejisinin olması önemli bir rol oynamaktadır. Enerji yönetim stratejisine göre belirlenen hedef doğrultusunda çalışma ve yatırımlarda bulunularak verimlilik sağlanabilir [60].
- Elektrik motorlarında doğru, düzenli ve zamanında yapılan bakımlar %2-30 arasında enerji tasarrufu sağlayıp motor ömrünün artırır aynı zamanda arızaların öngörülebilmesini sağlamaktadır [61, 62].
- Elektrik motorlarının, enerji verimli motorlar sistemine göre seçilmesi gerekmektedir. Bu şekilde oluşacak ısı kayıplarının önüne geçilebilir ayrıca uygun motor tasarımı, uygun malzeme, uygun toleransların uygulanması sonucunda da sadece ısı kayıpları değil buna bağlı diğer mekanik kayıplar da azaltılabilir [62].
- Kaliteli motor geri sarma uygulamalarında en çok %1 oranında verimlilik kaybı olmaktadır. Motor geri sarımı konusunda Elektrikli Cihaz Servis Birliği (EASA) tarafından bir standart sunulmuştur. Standartta göre geri sarma maliyeti yeni yatırım maliyetinin %60'ını aştığında, yeni motor satın alınmalıdır. Optimum sarma uygulaması için MotorMaster+ gibi programlar kullanılarak verimlilik artırıcı yöntemler belirlenebilir [62].
- Elektrik motorlarında uygun boyutlandırma işlemi de önem arz etmektedir. Tam yükün %75'i şeklinde boyutlandırma hem standartlar hem de verimlilik açısından göz önünde bulundurulması gereken bir etmendir. Motor boyutlarının değişmesinden ötürü verimlilik de değişeceği için bu konuda motora ait boyutlandırmaya hassasiyetle dikkat edilmeli ve nominal yükün %50'nin altında olması durumunda motorda değişim yapılması değil uygun boyut ve nominal yüke göre yapılabilecek işlemlerin araştırılması önerilmektedir [62, 63].
- Ayarlanabilir hız sürücüsü kontrolü motorlarla enerji tasarrufu sağlanacağı gibi hız kontrolünü de sağlayarak gerekli önlemler alınabilir [60]. Buna ek olarak motor seçimi, ayarlanabilir hız sürücüsü ile sistemin tahrikini sağlama, zamanında bakım yapılması gibi önlemler alındığında Dünya'da %10'a yakın bir tasarruf potansiyelinin oluşabileceği öngörülmektedir [40].
- Şebekede bulunan reaktif güçler, verimi düşürdüğü için istenilmemektedir. Güç faktörü 0 ile 1 arasında olup 1 olması sadece aktif olmasını, 0 olması ise sadece reaktif gücün sistemde var olduğunu belirtmektedir ve güç katsayısının elektrik motorları üzerindeki rölantisini düşürmek için şebekede bulunan AC devre sisteme bir kondansatör eklenmelidir [54, 60].
- Şebeke elektriğinin dengesizliklerine göre titreşimler, ısınmalar ve kayıplar artabilmektedir. Böylelikle elektrik motorunun ömrü azalmakta olup motorun performansını düşürmektedir. Bu sebepten gerilim dengesizliklerinin minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir [64].
- Uygun motor seçimi yapılırken motor hızı, frekans, gerilim, akım, sıcaklık gibi etkenlere dikkat edilerek uygun boyutlandırma ile motor seçimi yapılmalıdır.
- Enerji verimliliğini %10 artırmak için yüksek verimli motor kullanımının yanında, %75-80 nominal yükte verime sahip motor kullanımı da verimi en yüksek seviyelere ulaştırmaktadır. 11 kW yük ve altında senkron motor kullanımı %30 tasarruf sağlarken, düşük güçte çalışması da aşırı ısınmaya sebep olup ömrünü kısaltabilmektedir. Bir yılda kullanım süresi 800 saatten az olan motorların değişimi, verimlilikte etkili olmamaktadır [65].

Yapılan bir çalışmada yatırımın geri ödeme süresi elektriğin birim maliyeti 0,25 TL/kWh, motorların yıllık çalışma süresi 6000 saat ve yüklenme oranı %80 alınarak hesaplanmıştır. Araştırma sonucu 37 kW güce sahip bir motorun 14 ay sürede geri ödemesinin alınabildiği, yapılan tasarruflar ve motorun birim fiyatı üzerinden tespit edilmiştir. Araştırması yapılan motorlara ait katalog değerleri ve hesaplanan değerler Tablo 3'te örnek olarak verilmiştir. Bu araştırma sonucunda, motorlara ait harcanan enerji miktarı arttıkça motordaki kayıplar artmış olduğu, ancak motorların veriminin arttığı gözlemlenmiştir [65]. Ayrıca mevcut motorların verimli motorlar ile değiştirilmesi sonucu gelişen maliyet araştırması yapılmış ve bu kapsamda elektrik motorlarının yıllık çalışma süresi 8760 saat olarak tam yükte hesaplamaları yapılmıştır. 2022 yılında elektriğin sanayi için birim maliyeti 2,74 TL/kWh iken yıllık enerji tasarrufu ve maliyet tasarrufunun sağlandığı gözlemlenmiştir. Maliyet tasarrufu yapılırken harcanan iki güç arasındaki enerji farkının saatlik ücretinin yıllık sarfiyatı şeklinde hesaplanmıştır. Mevcut motorun harcanan gücünden verimli motorun harcanan gücü arasındaki fark, saatlik yapılan enerji tasarrufunu vermektedir. Yıllık enerji sarfiyatı ile sanayi elektriği için enerji maliyeti ele alınarak birim elektrik fiyatı ile çarpılmasıyla da yıllık yapılan mali tasarruf bulunmaktadır. Bu hesaplama ait sonuçlar Tablo 4'de gösterilmektedir. Çıkış gücünün aynı kalması ancak verim sınıfının artmasıyla, harcanan enerji miktarının azaldığı, bununla beraber tasarrufun arttığı gözlemlenmiştir. Verim sınıfı aynı olan fakat verimleri farklı olan motorlardaki değişim de genel anlamda verimi ve akabinde tasarrufu artırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 3 Motorlara ait Katalog Değerleri ve Hesaplanan Değerleri [65]

			1. Motor	2. Motor	3. Motor	4. Motor
KATALOG DEĞERİ	Gerilim	V	400	400	400	400
	Frekans	Hz	50	50	50	50
	Anma Akımı	A	9,7	324	1,85	4,9
	Çıkış Gücü	kW	5,5	200	0,75	2,2
	Güç Faktörü	cosφ	0,92	0,93	0,71	0,77
	Anma Hızı	rpm	2925	2985	1425	1420
	Verim	%	89	95,8	82,5	84,3
	Anma Momenti	N.m	18	639,9	5	14,6
Kutup Sayısı		2	2	4	4	
HESAPLANAN DEĞER	Güç	kW	6,182	208,760	0,910	2,614
	Kayıp	kW	0,682	8,760	0,160	0,414
	Verim	%	88,957	95,803	82,415	84,161
	Tork	N.m	17,957	639,866	5,026	14,795
	Sınıfı		IE3	IE3	IE3	IE2

Tablo 4 Motor Değişimi ile Yapılan Tasarruf Araştırması [65]

Motor Çıkış Gücü (kW)	Mevcut Motor			Verimli Motor			Yıllık Toplam Tasarruf (kWh)	Yıllık Toplam Tasarruf (TL)
	Verim Sınıfı	Harcanan Güç (kWh)	Motor Verimi	Verim Sınıfı	Güç (kWh)	Motor Verimi		
5,5	IE3	6,182729	88,9575	IE3	6,14	89,6	374,3025	1025,5889
5,5	IE3	6,182729	88,9575	IE4	5,98	91,9	1775,9025	4865,9729
5,5	IE3	6,182729	88,9575	IE4	6,05	90,9	1162,7025	3185,8049
200	IE3	208,7606	95,8035	IE3	208,55	95,9	1845,0312	5055,3855
200	IE3	208,7606	95,8035	IE4	206,83	96,7	16912,2312	46339,5135
200	IE3	208,7606	95,8035	IE4	207,25	96,5	13233,0312	36258,5055
0,75	IE3	0,91002	82,4158	IE3	0,93	80,7	-175,0292	-479,5800
0,75	IE3	0,91002	82,4158	IE4	0,9	83,5	87,7708	240,4920
0,75	IE3	0,91002	82,4158	IE4	0,88	85,7	262,9708	720,5400
2,2	IE2	2,614011	84,1618	IE3	2,54	86,7	648,3372	1776,4440
2,2	IE2	2,614011	84,1618	IE3	2,56	85,9	473,1372	1296,3960
2,2	IE2	2,614011	84,1618	IE4	2,46	89,5	1349,1372	3696,6360
2,2	IE2	2,614011	84,1618	IE4	2,5	88,0	998,7372	2736,5400
						TOPLAM	38948,263	106718,24

3. SONUÇLAR

Elektrik motorlarına genel anlamda uygulamalarda enerji verimliliğini sağlamak için yüksek verimli motor kullanmak, değişken hızlı AC motor sürücüleri kullanmak ve motoru besleyen elektrik enerji kalitesine önem vermek gerekir. Elektrik motorlarındaki güç aktarma organlarının doğru seçimi, uygunsuzlukların giderilmesi, titreşimlerin yok edilmesi gibi etkenler elektrik motorlarında enerji sınıflandırılmasını etkilediği gibi kullanıldığı sistemin verimliliğini de etkilemektedir. Ayrıca, elektrik motorlarının doğru çalıştırılması da performansa etki eden faktörlerdendir. Arızalanan motorların değişimi söz konusu olduğunda, değişim ya da arıza tamiri sonucunda ortaya çıkabilecek kayıp veya verimliliğin, verimlilik ve ekonomik fizibilite çalışmalarına göre değerlendirilip, tamirin mi yoksa değişimin mi yapılacağı hususunda karar verilmesi gerekmektedir.

4. KAYNAKLAR

- [1] Pamir, A.N., 2003. Dünya’da ve Türkiye’de Doğal Kaynaklar ve Enerji Politikaları, DESEM, İzmir.
- [2] C. Haydaroglu, 2006. Türk İmalat Enerji Verimliliği ve Yoğunluğunun Analizi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 0(24), 155-164. 2006.
- [3] IEA-International Energy Agency, 2022. Renewables. Erişim Tarihi: 31 Mayıs 2022. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>
- [4] Meral, M. E., Teke, A. Ve Tümay, M., 2009. Elektrik Tesislerinde Enerji Verimliliği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14(1), 31-37.
- [5] Türkiye Elektrik İletim AŞ., TEİAŞ, 2022. Elektrik Üretim İletim İstatistikleri. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletimistatistikleri/2015>
- [6] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022. Elektrik. Erişim Tarihi: Mayıs 2022 <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>>.
- [7] Kaymakçioğlu, F., 1996. Elektrik Enerjisinin Sanayide Verimli Kullanılması. TMMOB Türkiye I. Enerji Sempozyumu: Bildiriler Kitabı-1, Ankara 75-82.
- [8] International Energy Agency, 2017. Key World Energy Statistics. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWor>.
- [9] Çetin, A., Demir, Z. ve Çolak, N., 2016. Elektrik Motorları Verimlilik Analizi ve Porsuk MYO Örneği, Elektronik Mesleki Gelişim Ve Araştırmalar Dergisi, 4(1), 15-23.
- [10] Ruşen, S. E., Topçu, M., Çeltek, S.A., Karanfil, G., ve R. A., Investigation Of Energy Saving Potentials Of A Food Factory By Energy Audit. Journal of Engineering Research and Applied Science, 7(1), 848-860.
- [11] Çetin, A., Demir, Z., ve Çolak, N., 2016. Energy Efficiency Analysis for Asynchronous Motors And Porsuk Vocational School Energy Efficiency Survey. Elekteonik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi, 2016(1), 15-23.
- [12] Falkner, H. ve Holt, S., 2011. Walking The Torque, Proposed Work Plan For Energy-Efficiency Policy Opportunities For Electric Motor-Driven Systems. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. 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.
- [13] Abdelaziz, E., Saidur R., ve Mekhilef, S. 2011. A Review On Energy Saving Strategies In Industrial Sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 150-168, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>

- [14] Ni, C., C., 2013. Potential Energy Savings And Reduction Of CO2 Emissions Through Higher Efficiency Standards For Polyphase Electric Motors in Japan. *Energy Policy*, 2013(52), 737-747. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.035>
- [15] Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, 2016. İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu.
- [16] Sauer, I., L., Tatizawa, H., Salotti, A., M. ve Mercedes, S., S., 2015. A comparative Assessment of Brazilian Electric Motors Performance with Minimum Efficiency Standards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(41), 308-318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.053>
- [17] Malinowski, J., Hoyt, W., Zwanziger, P. ve Finley, B., 2017. Review of Regulations in The United States and Europe. *IEEE Industrial Applications Magazine*, 2017(January/February), 34-41.
- [18] Atatürk Üniversitesi , İş Sağlığı ve Güvenliği, Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://k.ogrensen.com/araba/1090/index.html>
- [19] Atiemo-Obeng, V., A., Paul, E., L., ve Kresta, S., M.. 2004. Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, The North American Mixing Forum.
- [20] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, 2015. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği. Ankara, Kasım 2015.
- [21] Akgün, E. , 2018. Motor Kullanılan Sistemlerde Enerji Verimliliği, 9. Enerji Verimliliği Forum ve Fuarı, 29-30 Mart 2018.
- [22] Türkiye İstatistik Kurumu, 2022. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://www.tuik.gov.tr/>
- [23] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://enerji.gov.tr/eigm>
- [24] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, 2020. 2020 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu. Erişim Tarihi: Haziran 2022. https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/Stratejikplan/2020_Yili_Turkiye_Elektrik_Dagitimi_Sektor_Raporu.pdf
- [25] Türkiye İstatistik Kurumu, Net Elektrik Tüketiminin Sektörel Dağılımı. Erişim Tarihi: Haziran 2022. <https://www.resmiistatistik.gov.tr/detail/subject/enerji-istatistikleri/>
- [26] Hassanpour, I., A. ve Vaez-Zadeh, S. 2009. Line Start Permanentmagnet Synchronous Motors: Challenges And Opportunities. *Energy*, 34(11), 1755-1763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.022>
- [27] Mokhtari, H., Zabardast, A., 2008. Effect Of High-Efficient Electric Motors On Efficiency Improvement And Electric Energy Saving. *IEEE, Third International Conference on Electric*

Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, Nanjing, China, 533-538, doi: <https://doi.org/10.1109/DRPT.2008.4523464>

[28] Paul, W., ve Conrad, U., B., 2011. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. International Energy Agency, Energy Efficiency Series.

[29] Türk Standardları Enstitüsü, 2014. TS EN 60034-2-1, Döner Elektrik Makineleri - Bölüm 2-1: Kayıplar Ve Verimin Deneylerle Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler (Cer Taşıtları İçin Kullanılan Makineler Hariç).

[30] European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics, CEMEP, 2021. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <https://cemep.eu/>

[31] European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics, CEMEP, 2011. Electric Motors and Variable Speed Drives: Standards and legal requirements for the energy efficiency of low-voltage three-phase motors. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. <http://www.cemep.org/>

[32] WayBackMachine, U.S., Motor Provisions in the Energy Policy.

[33] Brunner, C. ve Werle, R., 2019. Examples by Industry Sector: Electric Motors-Measuring Efficiency. IEC - Governments & International Organizations.

[34] IEC BSI Stand., Rotating electrical machines Part 30: Efficiency Classes of Single-Speed, Three-Phase, Cage-Induction Motors (IE code), 2014

[35] Almeida, A., D., Fong, J., Brunner, C., U., Werle, R., ve Werkhoven, M., V., 2019. New Technology Trends And Policy Needs In Energy Efficient Motor Systems - A Major Opportunity For Energy And Carbon Savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115, 109384. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109384>

[36] Zöhra, B., ve Akar, M., 2019. Türkiye’de Verimli Elektrik Motorlarına Geçiş Süreci Ve Şebeke Kalkışlı. International Journal of, 3(2), 236-242, 2019.

[37] Dmitrievskii, V., Prakht, V., Kazakbaev, V., Oshurbekov, S., ve Sokolov, I., 2016. Developing Ultra Premium Efficiency (IE5 Class) Magnet Free Synchronous Reluctance Motor. 6th International Electric Drives Production Conference (EDPC), 2-7. doi: <https://doi.org/10.1109/EDPC.2016.7851306>

[38] Enomoto, Y., Tokoi, H., Imagawa, T., Suzuki, T., Obata T. ve Souma, K., 2015. Amorphous Motor with IE5 Efficiency Class. Hitachi Review 64(8), 480-487.

[39] Brunne, C., U., Niederberger, A., A., Almeida A., T., ve Keulenaer H., 2007. Standards For Efficient Electric Motor Systems SEEEM-Building A Worldwide Community Of Practice. Conf. Proc. Energy-Efficiency Mot. Driven Syst, 1443-1455, 2007.

- [40] ESEN, G. K., 2015. Türkiye Ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi Ve İlgili Teknik Mevzuat. Gebze, Kocaeli: Türk Standartları Enstitüsü, Elektroteknik Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü.
- [41] National Electrical Manufacturers (NEMA) 2022. Erişim Tarihi: Haziran 2022. <https://www.nema.org/> .
- [42] International Electrotechnical Commission, (IEC) 2022. Erişim Tarihi: Haziran 2022 <https://iec.ch/homepage>.
- [43] Türk Standartları Enstitüsü, (TSE), 2022., Erişim Tarihi: Haziran 2022. <https://www.tse.org.tr/>.
- [44] Bodur, F., 2011.Erişim Tarihi: 01.06.2022 https://www.emo.org.tr/ekler/8064e39c9540f7e_ek.pdf
- [45] Türk Standartları Enstitüsü, (TSE), 2010. TS EN 60034-30, Döner Elektrik Makinaları - Bölüm 30: Tek Hız Kademeli, Üç Fazlı Kafesli Endüksiyon Motorlarının Verimlilik Sınıfları (IE Kodu).
- [46] Türk Standartları Enstitüsü, (TSE), 2012. TS EN 60034-30, Döner Elektrik Makinaları - Bölüm 30: Tek Hız Kademeli, Üç Fazlı Kafesli Endüksiyon Motorlarının Verimlilik Sınıfları (IE Kodu).
- [47] Türk Standartları Enstitüsü, (TSE), 2014. TS EN 60034-30-1, Döner Elektrik Makinaları - Bölüm 30-1: Şebeke Tarafından Beslenen A.A Motorlar İçin Verimlilik Sınıfları (IE Kodu).
- [48] Elektrik Motorları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ, 07 Şubat 2012. 28197 sayılı Resmi Gazete.
- [49] T.C. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Mevzuat Bilgi Sistemi Erişim Tarihi:Haziran 2022. <https://www.mevzuat.gov.tr/>
- [50] Mete, M., H., 2017. Sanayide Düşük Verimli Elektrik Motorlarının Dönüşümü Programı. Kalkınmada Anahtar Verimlilik, 29(337), 4-8.
- [51] Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Onuncu Kalkınma Planı, Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, 2014-2018.
- [52] Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On Birinci Kalkınma Planı, Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, 2019-2023.
- [53] ABB, 2018. IEC 60034-30-1 Standard On Efficiency Classes For Low Voltage AC Motors. Erişim Tarihi: Mart 2022. https://library.e.abb.com/public/db64d153e3c346938e18916e66fb1d0d/9AKK107319%20EN%2005-2018_20848_ABB_Technical_note_IEC_60034_30_1.pdf.

- [54] Rüşen, S., E., 2019. Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO₂ Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 564-569. Doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.622573>
- [55] Sayıç Motor. 2022. Enerji Verimliliği ve Yüksek Verimli Elektrik Motorları. Erişim Tarihi: Mayıs 2022. http://www.sayicreduktor.com/Uploads/Files/Enerji_VerimliliYi_ve_YukseK_Verimli_Elektrik_MotorlarY.pdf.
- [56] Çağlar, A., Soygenç, O., C., ve Ergene, L., T., 2018. Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Asenkron Motorlarda IE2 Verim Sınıfından IE4 Verim Sınıfına Geçiş Amaçlı Bir Çalışma. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(3), 59-65.
- [57] Aydın, A., B., 2014. Asenkron Motorlar ve Sürücüler. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Mühendisliği Projesi-I.
- [58] Soygenç, O., C., TAP, A., Ergene, L., T., Üç Fazlı Sincap Kafesli Asenkron Motorda Verim Analizi Efficiency Analysis in Three Phase Squirrel Cage Induction Motor. Erişim Tarihi: Haziran 2022. https://www.emo.org.tr/ekler/7ce4aadf5675ddf_ek.pdf.
- [59] Yılmaz, A., Polat, A., Ergene, L. T., 2018. Yüksek Hızlı Asenkron Motorların Farklı Rotor Yapıları İçin Analizi. EMO Bilimsel Dergi, 8(15), 13-18.
- [60] Csanyi, E., 2014. 8 Energy-Efficiency Improvement Opportunities In Electric Motors. Electrical Engineering Portal. Erişim Tarihi: Haziran 2022. <https://electrical-engineering-portal.com/8-energy-efficiency-improvement-opportunities-in-electric-motors>
- [61] Doğan, Z. (2012). Asenkron Motorlarda Akım Ve Titreşim Verisine Dayalı Kestirimci Bakım. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi. Proje No: 2011/04. <http://carsiv.gop.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12881/2325/P00240.pdf?sequence=1>
- [62] Elektrik Port, Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliğini Artırma Yolları. Erişim Tarihi: Haziran 2022. <https://www.elektrikport.com/universite/elektrik-motorlarında-enerji-verimliliğini-artırma-yolları/21686#ad-image-0>
- [63] Türkeş, E., Orak, S. Takım Tezgâhı Tasarımında Elektrik Motoru Seçimi. Journal Of Science And Technology Of Dumlupınar University, (017), 105-116.
- [64] Koca, Y., B., Ünsal, A., 2017. Asenkron Motor Arızalarının Değerlendirilmesi. Teknik Bilimler Dergisi, 7(2), 37-46.
- [65] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği, Ankara, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü.