**International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies**
**Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi**

**ISBN: 978-605-06728-8-6**

# Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Elektrik Motoru Türleri: Avantajları ve Dezavantajları

***Electric Motor Types for Electric Vehicles: Advantages and Disadvantages***

***Can Berk Aykaç*[1]**
***Kenan Yiğit*[2]**
***Bora Acarkan*[3]**

**Abstract**

Nowadays, electric motors are widely used in the automotive industry as well as in all areas of life. In conventional vehicles, it is used as a starter motor that provides the initial starting of internal combustion engines or as an alternator to charge the battery while the vehicle is running. In addition, it can be used for side functions such as power window regulator or wiper motor. Especially with the entry of electric vehicles into the market, electric motors have become an important part of vehicle drive systems.

In electric vehicles, electric motors provide movement energy by using the energy that taken from battery group. Movement energy is changed according to many different factors such as the state of the road, driving

**Özet**

Günümüzde elektrik motorları, hayatın her alanında olduğu gibi otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Konvansiyonel taşıtlarda, içten yanmalı motorların ilk hareketini sağlayan marş motoru olarak veya araç çalışırken akünün şarj olması amacıyla alternatör olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra cam kaldırma motoru veya silecek motoru gibi yan işlevlerde de kullanılabilmektedir. Özellikle elektrikli taşıtların piyasa girişiyle beraber elektrik motorları, taşıt tahrik sistemlerinin de önemli bir parçası haline gelmiştir.

Elektrikli taşıtlarda elektrik motorları batarya grubu üzerinden aldığı enerji ile hareket enerjisi sağlamaktadır. Hareket enerjisi yolun durumu,

[1] Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Yüksek Lisans Programı, e-posta: f4917024@std.yildiz.edu.tr; canberkaykac@gmail.com
[2] Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, e-posta: kyigit@yildiz.edu.tr
[3] Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, e-posta: acarkan@yildiz.edu.tr

characteristics of the driver, starting and braking situations. It is seen that the use of different types of electric motors in electric vehicles comes to the fore in order to minimize the negative effects of such parameters and to achieve the desired performance.

In this study, the subject of electric motor types used in electric vehicles, which is one of the current research topics, is discussed. Electric motors have been examined from different perspectives such as power density, efficiency, controllability and price, and comparison analyzes have been made.

As a result, it was concluded that permanent magnet synchronous motors in terms of power density and efficiency, DC motors in terms of controllability and induction motors in terms of cost provide more advantages for electric vehicles.

**Keywords**: Electric Vehicles, Electric Motor Types for Electric Vehicles, DC Motor, Permanent Magnet Synchronous Motor, Switched Reluctance Motor, Induction Motor

sürücünün sürüş karakteristiği, kalkış ve frenleme durumları gibi pek çok farklı etkene göre şekillenmektedir. Bu tür parametrelerin olumsuz etkilerini en aza indirmek ve istenilen performansı elde etmek için elektrikli taşıtlarda farklı elektrik motoru türlerinin kullanımının ön plana çıktığı görülmektedir.

Bu çalışmada, güncel araştırma konularından biri olan elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türleri konusu ele alınmıştır. Elektrik motorları güç yoğunluğu, verim, kontrol edilebilirlik ve fiyat gibi farklı açılardan incelenmiş ve karşılaştırma analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, güç yoğunluğu ve verim açısından daimi mıknatıslı senkron motorların, kontrol edilebilirlik açısından DC motorların, maliyet açısından ise asenkron (endüksiyon) motorların elektrikli taşıtlar için daha fazla avantaj sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli Taşıtlar, Elektrikli Taşıt Motor Türleri, DC Motor, Daimi Mıknatıslı Senkron Motor, Anahtarlamalı Relüktans Motor, Asenkron Motor

## Giriş

Tarih boyunca insanlığın ulaşım ve taşımacılık ihtiyaçlarına cevap veren taşıtlar günümüzde de önemini korumaktadır. Son yıllarda artan petrol fiyatları, gelişen teknoloji ve çevresel duyarlılık gibi pek çok sebeple içten yanmalı motor teknolojisi yerini elektrik motorlarına bırakmaya başlamıştır. Elektrikli taşıtlardaki gelişmelerle beraber elektrik motorları otomotiv sektöründeki önemini hızla pekiştirmiştir.

Konvansiyonel taşıtlarda elektrik motorları marş motoru, alternatör, silecek motoru, cam kaldırma motoru ve pompa motoru gibi farklı ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Elektrikli taşıtlarda ise elektrik motoru tahrik sisteminin bir parçası olarak taşıtın hareketi için ihtiyacı olan temel gücü üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

Literatür incelendiğinde, elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motorlarının çeşitli açılardan incelendiği görülmektedir. Kumar ve Ravenkar, sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorlarının elektrikli taşıtlardaki uygulamaları üzerine çalışmışlardır [1]. Wei vd., hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan daimi

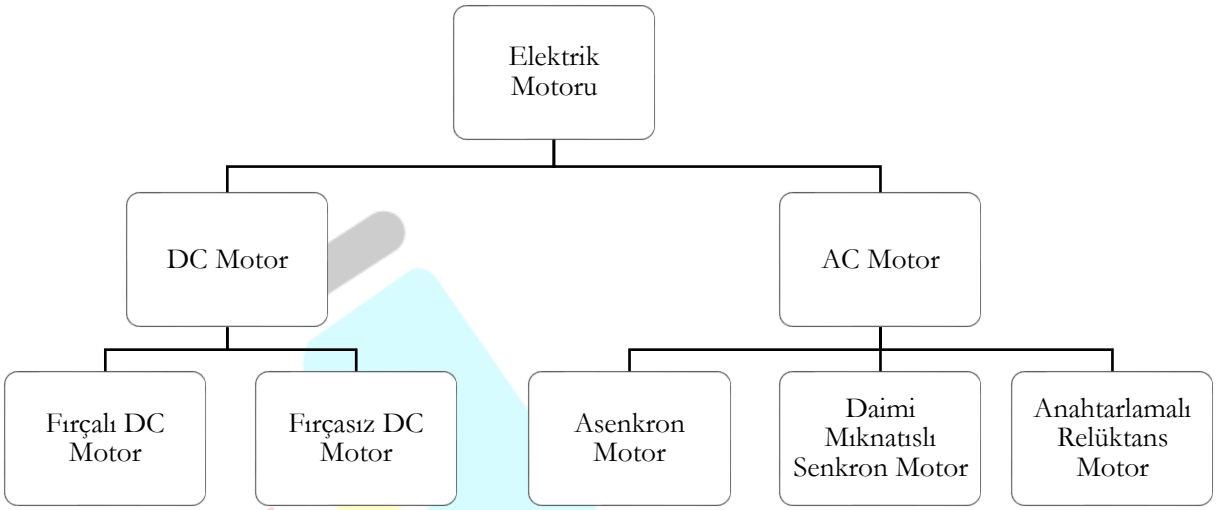
mıknatıslı senkron motor için yeni bir optimum tasarım yaklaşımı sunmuşlardır [2]. Demir ve Aküner, elektrikli taşıtlar için asenkron motor performans karakteristiğini ve tasarım parametrelerini incelemişleridir [3]. Savitski vd., teker içi motorlu tam elektrikli taşıtlarda sürekli teker kayma kontrolü sistemi üzerine çalışmışlar ve dört farklı kontrolcü tasarımı öne sürmüşlerdir [4]. Aktaş vd., elektrikli taşıtlarda kullanılan asenkron (endüksiyon) motorları için doğrudan tork kontrolü ve dolaylı alan temelli kontrol arasında bir karşılaştırma çalışması sunmuşlardır [5]. Rind vd., elektrikli taşıtlarda kullanılan çekiş motorlarının konfigürasyonu ve kontrolü açısından karşılaştırmalı bir çalışma ortaya koymuşlardır [6]. Bhatt vd., gelişen teknolojiye uygun olarak elektrikli taşıtlarda kullanılan farklı motor türlerini verim, güç yoğunluğu, dayanıklılık ve boyut bakımından karşılaştırmışlardır [7]. Zarma vd., elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türlerini tasarım kolaylığı, fiyat ve sağlamlık yönünden incelemişlerdir [8]. Demir ve Kaymaz is elektrikli taşıtlarda elektrik motor tipi seçilirken dikkat edilmesi gereken parametreler üzerine çalışmışlardır [9].

Literatürden görüleceği üzere, elektrikli taşıtlar için kullanılan elektrik motorları başta tasarım ve performans olmak üzere birçok açıdan incelenmiştir. Bu durum, elektrik motorlarının elektrikli taşıtlarda kullanımı sonucu ortaya yeni fikirlerin ve çalışma alanlarının çıkacağını göstermektedir. Bu çalışmada da bu tür gelişmelere katkı sunmak amacıyla, elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türleri güç yoğunluğu, verim, kontrol edilebilirlik ve maliyet yönünden incelenmiş ve karşılaştırma analizleri yapılmıştır.

## Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Elektrik Motoru Türleri

Günümüzde içten yanmalı motorların ve konvansiyonel taşıtların yerini elektrik motorlarına ve elektrikli taşıtlara bırakması ile yeni bir çağ başlamaktadır. Hayatın pek çok farklı alanında kullanılan elektrik motorları bu yeniçağ ile beraber otomotiv sektöründe de ana tahrik sistemi olarak kullanılmaktadır. Elektrikli taşıt mimarileri tam elektrikli, hibrit veya yakıt hücreli olarak birbirinden ayrılsa da kullanılan elektrik motorları bu konuda benzerlik göstermektedir. Ancak yine de taşıtın yapısına göre elektrik motorları arasında da bir çeşitlilik söz konusudur.

Temel olarak elektrik motorları statorda meydana gelen elektrik alanın rotor üzerinde bir dönel kuvvet oluşturması prensibine bağlı olarak çalışan elektromanyetik cihazlardır. Bu bakımdan elektrik motorları birbirine benzese de çalışma metodları ve yapısal farklılıkları sebebi ile farklı türlere ayrılmaktadır. Elektrikli taşıtlarda da bu türlerin bazıları kullanılmaktadır. Bunlar; DC motor, asenkron motor, daimi mıknatıslı senkron motor ve anahtarlamalı relüktans motordur. Şekil 1'de elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türleri gösterilmiştir.




**Şekil 1. Elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türleri.**

Elektrik motorları elektrikli taşıtlarda kalkış torku, frenleme, hız ve ivme gibi pek çok konuya doğrudan etki etmektedir. Ayrıca elektrik motorunun türüne göre fiyat, performans, enerji tüketimi, menzil ve denge gibi pek çok karakteristik özellikte değişkenlik göstermektedir.

## DC Motor

DC motorlar, statorlarında manyetik alan oluşturmak için dışarından doğru akım ile uyarılan kutuplara ve rotorlarında lamine edilmiş, oluklu, dairesel, demir bir nüveye sahiptir [10]. Bu çalışmada doğru akım motorları fırçalı ve fırçasız olarak iki kısımda incelenmiştir. Şekil 2'de elektrikli taşıtlarda kullanılan bir DC motor örneği verilmiştir [11].



**Şekil 2. Elektrikli taşıtlarda kullanılan doğru akım motoru.**

Fırçalı DC motorların düşük hızlarda yüksek tork üretebilme yeteneği elektrikli taşıtlarda çekiş motoru olarak kullanılmaları için uygun bir özelliktir [7]. Hız kontrolü konusunda AC motorlara göre avantajları olması ve elektrikli taşıtlarda basit gerilim bölücü devreler ile kontrol edilebilmesi yönünden kullanım kolaylığına sahiptirler. Buna karşın fırçalı DC motorlar ağırlık açısından dezavantaja sahiptirler. Bu sebeple güç yoğunlukları düşüktür. Bu durum elektrikli taşıtlarda menzil ve performans açısından bir dezavantaj oluşturur. Buna ek olarak motorun içerisindeki kollektörlerin yüksek hızlarda çabuk aşınması ve motorun düzenli olarak bakıma ihtiyaç duyması bir başka olumsuz yönü teşkil etmektedir. Ayrıca kolektörler çalışma sırasında ısı enerjisi de ürettikleri için soğutma konusu da fırçalı DC motorlar için sorun teşkil etmektedir. Özetle, fırçalı DC motorlar basit yapıları ve kolayca kontrol edilebilmeleri sebebi ile fiyat yönünden elektrikli taşıt uygulamaları için tercih edilebilir durumdadır. Basit ve yüksek verimin temel olmadığı uygulamalar için uygun bir motor türüdür [8].

DC motorların bir başka türü olan fırçasız DC motorlar ise günümüzde pek çok alanda kullanılan yaygın bir motor türüdür. Bu motorlar sabit mıknatıslı rotor yapısına ve sargılı stator kutuplarına sahiptir [8]. Fırçalı motorlardaki kolektör düzeni bu motor türünde yoktur. Dolayısıyla bakım ihtiyaçları daha azdır. Bunun yanı sıra tıpkı fırçalı DC motorlarda olduğu gibi basit, sağlam ve düşük fiyatlı yapıları sayesinde elektrikli taşıtlarda tercih edilebilirliği yüksektir. Fırçasız DC motorlar yapıları itibariyle doğrudan tekere bağlı olarak kullanılabilirler. Fırçasız doğru akım motorları yüksek kalkış torku sunmaları, çalışmaları sırasında düşük gürültü oluşturmaları ve elektromanyetik etkilere karşı dirençli olmaları sebebi ile otomotiv endüstrisinde elektrikli taşıtlar için tercih sebebi oluşturmaktadır.

**Asenkron Motor**

Asenkron motor yani diğer adı ile endüksiyon motoru, alternatif akımla çalışan bir elektrik motoru türüdür. Stator sargıları tarafından oluşturulan elektromanyetik alanın, rotor üzerindeki sargılarda bir elektrik akımı endüklemesi ile rotorun dönmesini sağlayan bir çalışma prensibine sahiptir. Asenkron motor dış uyartıma ihtiyaç duymadan kalkış gerçekleştirebilir. Fiziksel olarak güçlü ve sağlam bir yapıya sahiptirler. Hemen hemen her alanda kullanılmaktadırlar. Elektrikli taşıtlarda ana tahrik motoru olarak kullanılabilirler. Çalışma sırasında hem rotor hem de stator kısımları ayrı ayrı ısındığı için soğutmaya ihtiyaç duymaktadırlar [12]. Şekil 3'te genelde hafif hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan 48 V asenkron motor örneği verilmiştir [13].



**Şekil 3. Hafif hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan asenkron motor.**

Asenkron motorlar tek veya çok fazlı olarak üretilebilirler. Elektrikli taşıtlarda çok fazlı versiyonları tercih edilmektedir. Duruma göre 3, 9 veya 12 faz olan türleri de tercih edilebilir. Bu duruma taşıtın ağırlığının ve ihtiyaç duyulan kalkış torkunun büyüklüğünün ciddi etkisi vardır. Çok fazlı motorlarda DC/AC dönüştürücülerdeki karmaşık yapı kontrol edilebilirliğini olumsuz yönde etkilese de asenkron motorlar piyasada bulunan en ucuz motorlar arasında yer almaktadır. Asenkron motorlarının çalışmaları sırasında elektrik arkı meydana gelmez, ayrıca maliyet yönüyle ve bakım ihtiyacının az olması nedeniyle diğer elektrik motorlarına göre de avantaj gösterirler [14].

Asenkron motorların bir alt türü olan kafesli asenkron motorlarda elektrikli taşıt uygulamalarında tercih edilen bir diğer motor türüdür. Bu motorlar da ucuz ve sağlam yapıları ile ön plana çıkmaktadır. Rotorlarında sargı yerine döküm kafes bulunmaktadır. Bakım maliyeti düşüktür. Elektrikli taşıtlarda olduğu gibi hız değişkenliğinin ön plana çıktığı uygulamalarda karmaşık kontrol devrelerine ihtiyaç duyarlar. Bu durum maliyet ve kontrol yönünden bir dezavantaj teşkil etmektedir.

Son dönemlerde özellikle Tesla Motor firmasının çalışmaları ile tamamen döküm bakır rotorlu asenkron motorlara ciddi bir ilgi artışı yaşanmıştır. Rotorun tamamı döküm bakır ile imal edildiği zaman benzer güçteki motorlarla karşılaştırıldığında rotor, çekirdek ve yüzey kayıpları ciddi oranda azalmaktadır [15]. Bu kayıpların azalması da motorun performansını olumlu yönde etkilemekte ve özellikle tork değerlerinde artış gözlemlenmektedir.

**Daimi Mıknatıslı Senkron Motor**

Elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motorlarının bir diğer türü de daimi mıknatıslı senkron motorlardır. Bu motorlar çelik rotor kafeslerinin içerisinde bulunan sabit mıknatısların stator sargılarında oluşturulan döner elektrik alanı takip etmesi prensibine uygun olarak çalışırlar. Statorda bulunan sargılar tıpkı asenkron motorda olduğu gibi dönen bir manyetik alan üretirler. Motorların rotorlarında bulunan mıknatıslar çalışma sırasında statordaki manyetik alanı senkron bir hızla takip ederler. Şekil 4'te daimi mıknatıslı senkron motor görseli verilmiştir [16].



**Şekil 4. Daimi mıknatıslı senkron motor.**

Daimi mıknatıslı motorların elektrikli taşıtlarda kullanılmasının başlıca nedenlerinden biri de az yer kaplamaları ve hafif olmalarıdır. Bunun yanı sıra güç yoğunluklarının fazla olması, verimlerinin yüksek olması ve sağlam yapıları bu motorları ön plana çıkarmaktadır [17]. Bu motorlar çok fazlı olarak tercih edilirler. Bunun temelinde faz arızası durumunda daha az etkilenmeleri ve tork dalgalanmalarını minimuma indirmeleri bulunmaktadır [18].

Daimi mıknatıslı senkron motorların en büyük dezavantajı ise soğutma problemleridir. Bu tür motorlarda sıcaklıktan etkilenme durumu doğrudan içerisinde kullanılan mıknatısın karakteristiğine bağlıdır. Sıcaklık artışı bu motorların çalışma performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca rotorun manyetik çeliğindeki sıcaklık değerinin mıknatısın karakteristik limitini geçmesi sonucu kalıcı olarak demanyetizasyon ortaya çıkabilmektedir [19]. Bu tür dezavantajın ortadan kaldırılması için uygun bir soğutma sisteminin tasarlanması gerekmektedir. Bu durum ise maliyet artışına sebep olacaktır.

**Anahtarlamalı Relüktans Motor**

Anahtarlamalı relüktans motorları sadece statorlarında sargı bulunan ve rotorlarında herhangi bir mıknatıs veya sargı bulundurmayan özel bir motor türüdür. Bu tür motorların stator ve rotorlarındaki kutup sayıları birbirinden farklıdır. Bu sayede statordan bakıldığında her kutup için relüktans değeri farklılık göstermektedir. Ayrıca statordaki sargılarda faz belirli bir anahtarlama yöntemi ile sürekli değiştirilerek döner alan oluşturulur ve rotor da bu döner alanı takip eder. Şekil 5'te anahtarlamalı relüktans motoruna ait görsel verilmiştir [20].



**Şekil 5. Anahtarlamalı relüktans motoru.**

Sağlam yapısı, kolay imal edilebilir olması, yüksek hızlarda çalışabilme performansı ve yüksek verimi sayesinde anahtarlamalı relüktans motoru diğer motorlardan ayrışmakta ve öne çıkmaktadır [14]. Bunun yanı sıra soğutma konusunda önemli bir dezavantajı bulunmamaktadır. Kontrol devreleri sürekli anahtarlama işlemi yapabilecek yönde geliştirilmiş olduğundan karmaşık denebilecek bir yapıya sahiptir. Rotorunda herhangi bir sargı veya mıknatıs içermediği için bakım ihtiyacı oldukça düşüktür. Ayrıca rotor ve statorundaki çıkık kutuplu yapısı ile oldukça basit ve sağlam

bir yapıya sahiptir. Bu nedenle anahtarlamalı relüktans motorları elektrikli taşıtların yüksek hızlara çıkabilmesi talebini karşılayabilmesi açısından iyi bir seçenek sunmaktadır [21].

**Elektrik Motoru Türlerinin Kıyaslaması**

Elektrikli taşıtlarda kullanılan motor türleri incelendiğinde her motor türünün olumlu ve olumsuz parametrelerinin farklı olduğu görülmektedir. Her yönden mükemmel bir elektrik motoru olmadığı için fizibilite çalışmalarında öncelikle motorun kullanım yeri ve kullanım karakteristiği ele alınarak seçim yapılmaktadır. Bu durumda motorların artı ve eksileri karar tablosunda değerlendirilir. Bu karar tablosunda elektrik motorlarının hangi yönlerden avantajlı hangi yönlerden dezavantajlı olacağını gösterilir. Elektrikli taşıtlar için seçilecek elektrik motorları belirlenen toleranslar içinde kalarak her türlü ihtiyacı optimum seviyede karşılayacak şekilde seçilmelidir. Tablo 1'de elektrikli otomobillerin bazılarında kullanılan elektrik motoru türleri verilmiştir [6].

**Tablo 1. Elektrikli otomobillerde kullanılan elektrik motoru türleri.**

| Marka | Model | Motor Türü |
|---|---|---|
| **Honda** | EV Plus | Fırçasız DC |
| **Volkswagen** | ID.4 | Fırçasız DC |
| **BMW** | X5 | Asenkron |
| **Ford** | Focus Electric, Transit Connect | Asenkron |
| **Mercedes** | EQC, EQS | Asenkron |
| **Porsche** | Taycan | Asenkron |
| **Renault** | Kangoo | Asenkron |
| **Tesla** | Model S, Roadster | Asenkron |
| **Audi** | e-Tron GT RS | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **BMW** | i3 | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Chevrolet** | Volt | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Fiat** | 500e | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Ford** | Fusion SE Hybrid, C-Max Hybrid SEL | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Honda** | Insight, Accord, Civic | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Hyundai** | Blueon | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Jaguar** | I-Pace | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Mercedes** | Smart EQ | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Nissan** | Leaf, Altra | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Polestar** | Polestar 2 | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Renault** | Zoe | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Toyota** | C-HR, Prius C, Prius V, RAV4 | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Volkswagen** | e-Golf 7 | Daimi Mıknatıslı Senkron |
| **Holden** | Ecommodore | Anahtarlamalı Relüktans |

Tablo 1'den görüleceği üzere, elektrikli taşıtlarda üreticiler daha çok daimi mıknatıslı senkron motorlara ve asenkron motorlara yönelmektedirler. Bunun en büyük sebebi bu iki motor türünün karakteristiklerindeki avantaj ve dezavantajlar bakımından dengeli olmalarıdır.

Elektrik motorlarının genel bir karşılaştırması yapıldığında, her bir motorun farklı karakteristik özelliklerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Tablo 2'de elektrik motoru türlerinin karakteristik özellikleri kıyaslanmıştır [6].

**Tablo 2. Elektrik motorlarının karakteristik özellikleri.**

| Motor Karakteristiği | DC | Asenkron | Daimi Mıknatıslı Senkron | Anahtarlamalı Relüktans |
|---|---|---|---|---|
| **Güç Yoğunluğu** | – | + | ++ | O |
| **Verim** | – – | O | ++ | + |
| **Kontrol Edilebilirlik** | ++ | ++ | + | O |
| **Sağlamlık** | O | ++ | + | ++ |
| **Hız Aralığı** | O | + | ++ | ++ |
| **Teknik Olgunluk** | ++ | + | O | – |
| **Boyut Avantajı** | O | + | ++ | + |
| **Maliyet Avantajı** | + | ++ | O | + |

Burada; – – çok düşük, – düşük, O ortada, + yüksek, ++ çok yüksek değeri ifade etmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde, daimi mıknatıslı senkron motorların elektrikli taşıtlarda en çok tercih edilen türlerden olduğu görülmektedir. Karakteristik özelliklerine bakıldığında güç yoğunluğu, verim, hız aralığı ve boyut yönüyle ön plana çıkmaktadırlar. Ancak yapısındaki mıknatısların pahalılığı sebebiyle maliyet yönünden dezavantajlı durumdadırlar. Kontrol edilebilirlik ve sağlamlık yönünden ise ortalama düzeydedir.

Asenkron motorlar, elektrikli taşıtların kullanımında en çok tercih edilen bir diğer motor türüdür. Bu motorların en büyük avantajları kolay uygulanabilir kontrol donanımları, sağlamlıkları ve ucuz maliyetleri olarak sıralanabilir. Güç yoğunluğu bakımından ortalamanın üstünde, verim bakımından ise ortalama seviyededir. Asenkron motorlar teknik olgunluk bakımından DC motorlara en çok yaklaşan motor türüdür. Hız aralıklarının ortalama seviyede olması daimi mıknatıslı senkron motorlara ve anahtarlamalı relüktans motorlara göre bir miktar geride kalmasına yol açmaktadır. Fakat fiyat-performans oranı bakımından tercih edilebilirliklerini artırmaktadırlar.

DC motorlar, teknik olgunluk bakımından en öne çıkan motorlardır. Kontrol edilebilirlikleri kolaydır, fiyat açısından ise ortalama seviyededir. Güç yoğunluğu, verim, hız aralığı, sağlamlık ve bakım ihtiyacı yönünden ise diğer motor türlerinden geride kalmaktadır.

Anahtarlamalı relüktans motorlar ise teknik olgunluk bakımından diğer motor türlerine göre en geride olan motor türüdür. Demir rotor çekirdeği nedeniyle ağırlığı artan bu motor türü, güç yoğunluğu ve maliyet bakımından ortalama düzeydedir. Hız aralığı ve sağlamlıkları bakımından ise ön plana çıkmaktadır.

## Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motoru türleri incelenmiştir. Elektrikli taşıtlarda kullanım alanı bulan DC motorlar, asenkron motorlar, daimi mıknatıslı senkron motorlar ve

anahtarlamalı relüktans motorlar hakkında bilgiler verilmiştir. Sonrasında elektrik motorlarının güç yoğunluğu, verim, sağlamlık, kontrol edilebilirlik, hız aralığı, teknik olgunluk, boyut ve maliyetler açısından karşılaştırma analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, güç yoğunluğu ve verim açısından daimi mıknatıslı senkron motorlar; kontrol devrelerinin basitliği açısından DC ve asenkron motorlar; sağlamlık açısından asenkron ve anahtarlamalı relüktans motorlar; hız aralıklarının genişliği açısından daimi mıknatıslı senkron motor ve anahtarlamalı relüktans motorlar; boyut açısından daimi mıknatıslı senkron motorlar; maliyet açısından ise asenkron motorlar elektrikli taşıtlarda kullanım için öne çıkmakta ve tercih edilmektedir.

Endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılan elektrik motorlarının elektrikli taşıtlarda kullanılması ile yeni bir çalışma alanı ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda, elektrik motorlarının elektrikli taşıtlarda kullanılmasına yönelik birçok Ar-Ge faaliyeti yürütülmüş, akademik ve endüstriyel çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, özellikle verim, hız aralığı ve sağlamlık gibi konularda daha da fazla çalışma yapılması ve bu parametrelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Elektrikli taşıtlarda menzil ve enerji tüketimi konuları da geliştirilmesi gereken parametrelerden biridir. Elektrik motorları üzerinde yapılacak iyileştirmelerle bu konulara ayrı bir bakış açısı getirilebilir. Güç yoğunluğu bu konudaki kritik karakteristiklerden biri olduğu için motorların çıkış güçleri değişmese bile daha hafif malzemeler ile üretilmesi elektrik motorlarının daha yüksek performans sunmasını sağlayacaktır.

Otomotiv endüstrisinde içten yanmalı motor teknolojisinin yerini almaya başlayan elektrik motorlarının bir diğer önemli karakteristiği ise kontrol edilebilir olmasıdır. Günümüzde üretilen içten yanmalı motorlar, bir motor kontrol ünitesi aracılığıyla sürekli kontrol edilmektedir. Sensörler kullanılarak devir sayısı, yanma sıcaklıkları ve aşınma oranları izlenmektedir. Bu sayede ortaya çıkan bakım ve onarım ihtiyaçları kullanıcıya bildirilmektedir. Benzer işlemler elektrikli taşıtlarda karmaşık kontrol devreleri ile gerçekleştirilmektedir. Kontrol devrelerinin daha basit ve düşük maliyetli yapılara dönüştürülmesi gerekmektedir.

Elektrik motorlarının temel maliyetlerinin içten yanmalı motorlara göre daha düşük olması önemli bir avantajdır. Bu avantajı sürekli kılabilmek adına bakım ve motor ömrü konuları da çalışmaya açık alanlardır. Bunun yanı sıra malzeme bilimi ve iletkenlerin yapısı hakkında yapılacak çalışmalar da birim maliyeti azaltacak yönde etkili olacaktır. Özellikle tamamen döküm bakır rotorlu motorlarda olduğu gibi malzemenin alternatif kullanımının da sağlanması endüstriyel uygulamalar için avantajlı bir durum ortaya çıkaracaktır.

Ayrıca elektrik motorlarında soğutma ve vuruntu problemlerinin çözümü ve iyileştirilmesi konuları da elektrikli taşıtlar için önem arz etmektedir.

Elektrikli taşıtlarda kullanılacak elektrik motorlarının iyileştirilmesine yönelik belirtilen konuların her biri elektrikli taşıtların günden güne kullanılması artıracak önemli parametrelerdir. Özellikle bu alanlarda yapılacak Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi otomotiv sektörünün bu dönüşüm sürecini hızla tamamlamasına ve sürdürülebilir taşımacılığın yaygınlaşmasına pozitif katkı sunacaktır.

**Kaynaklar**


[1] Kumar, M. S., & Revankar, S. T. (2017). Development scheme and key technology of an electric vehicle: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 1266-1285.

[2] Wei, D., He, H., & Cao, J. (2020). Hybrid electric vehicle electric motors for optimum energy efficiency: A computationally efficient design. Energy, 203, 117779.

[3] Demir, U., & Aküner, M. C. (2018). Elektrikli bir araç için tekerlek içi asenkron motorun tasarım ve optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 1517-1530.

[4] Savitski, D., Ivanov, V., Augsburg, K., Emmei, T., Fuse, H., Fujimoto, H., & Fridman, L. M. (2019). Wheel slip control for the electric vehicle with in-wheel motors: Variable structure and sliding mode methods. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67(10), 8535-8544.

[5] Aktas, M., Awaili, K., Ehsani, M., & Arisoy, A. (2020). Direct torque control versus indirect field-oriented control of induction motors for electric vehicle applications. Engineering Science and Technology, an International Journal, 23(5), 1134-1143.

[6] Rind, S. J., Ren, Y., Hu, Y., Wang, J., & Jiang, L. (2017). Configurations and control of traction motors for electric vehicles: A review. Chinese Journal of Electrical Engineering, 3(3), 1-17.

[7] Bhatt, P., Mehar, H., & Sahajwani, M. (2019). Electrical Motors for Electric Vehicle–A Comparative Study. Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA).

[8] Zarma, T. A., Galadima, A. A., & Aminu, M. A. (2019). Review of Motors for Electric Vehicles. Journal of Scientific Research and Reports, 1-6.

[9] Kaymaz, H., & Demir, M. F. Elektrikli Otomobiller için Çekiş Motor Tip Seçimi. International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering, 2(1), 35-41.

[10] Pandey, N. D., & Tiwari, P. (2017). Comparison between speed control dc motor using genetic algorithm and pso-pid algorithm. International Journal of Electrical Engineering & Technology, 8(1), 17-25.

[11] Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan DC Motor Görseli: https://www.alibaba.com/product-detail/15kw-20kw-30kw-144v-50hp-high_60851528038.html [Erişim Tarihi: 10 Nisan 2021].

[12] Kıyak, İ., & Kaya, K. Y. (2020). Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan İndüksiyon/Sabit Mıknatıslı Motor Sürücülerinin Simülasyonu ve Motor Dinamiklerinin Analizi. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 32(2), 152-157.

[13] Hafif Hibrit Elektrikli Taşıtlar Kullanılan İndüksiyon Motoru Görseli: https://turkish.alibaba.com/product-detail/electric-vehicle-drive-48v-3-phase-ac-induction-asynchronous-motor-60805037436.html [Erişim Tarihi: 11 Nisan 2021].

[14] Karakaş, İ., Pekcan, M., (2014), Elektrikli Taşıt Tasarımı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara.

[15] Dyess, N. K., Agamloh, E., & Advanced Energy. (2007). Copper rotor motors: a step toward economical super-premium efficiency motors. In ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry (2), 65-74.