

**Makale / Research Paper**

**Elektrikli ve Hibrit Araçlardaki Elektrik Motorlarının İncelenmesi ve CO<sub>2</sub> Emisyonunda Meydana Getireceği Değişimin Tahmini: Türkiye Örnekleme**

**Murat TÖREN<sup>1a\*</sup>, Hakkı MOLLAHASANOĞLU<sup>1b</sup>**

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Rize/TÜRKİYE  
murat.toren@erdogan.edu.tr

**Received/Geliş:** 22.04.2022

**Accepted/Kabul:** 23.08.2022

**Öz:** Günümüzde, artan hava kirliliği sorunu, iklim değişikliği, petrol rezervlerinin hızlı tükenmesi ve pahalı olması, ulaşım sektöründe çevre dostu, verimli ve sürdürülebilir çalışmaların artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, ulaşım sektöründe, elektrikli ve hibrit araçların kullanımının yaygınlaşması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, elektrikli ve hibrit araçların tarihi gelişimi, yapısı, çalışma prensibinin yanı sıra ülkemizde satışı yapılan elektrikli ve hibrit araçlar incelenerek, kullanılan elektrik motor tiplerinin diğer araç motorlarına göre sağlayacakları verimlilik ve CO<sub>2</sub> emisyonu etkisi ile önümüzdeki dönemler için tahmini yapılmaktadır. Elektrikli ve hibrit araçlarda tercih edilen motorlar; verimlilik, maliyet, güç yoğunluğu ve güvenilirlik kriterleri açısından karşılaştırılmaktadır. Fırçasız DA motorlarının, verimlilik ve performans açısından daha iyi olduğu ancak daha maliyetli olduğu belirlenmektedir. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlara sahip elektrikli araçların, verimlilik ve maliyet açısından optimum olduğu değerlendirilmektedir. İçten yanmalı motor kullanan araçlar elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan motor tiplerinin CO<sub>2</sub> emisyon değerleri, temel istatistik tahmin yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda, gelecekte CO<sub>2</sub> emisyon oranının % 2 ve üzerinde azalması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Verimlilik, CO<sub>2</sub> emisyonu, Elektrikli araçlar, Hibrit araçlar, Elektrik motorları

**Investigation of Electric Motors in Electric and Hybrid Vehicles and Estimation of Changes in CO<sub>2</sub> Emissions: A Sample of Türkiye**

**Abstract:** Today, increasing air pollution problem, climate change, rapid depletion of oil reserves and their being expensive cause an increase in environmentally friendly, efficient and sustainable work in the transportation sector. For this reason, efforts are being made to expand the use of electric and hybrid vehicles in the transportation sector. In this study, the efficiency and CO<sub>2</sub> emission effects provided by the electric motor types used compared to other vehicle engines are estimated by examining the electric and hybrid vehicles sold in our country as well as the historical development, structure and working principle of electric and hybrid vehicles. Preferred engines in electric and hybrid vehicles are compared in terms of efficiency, cost, power density and reliability. Brushless DC motors are determined to be better in terms of efficiency and performance, but costlier. Electric vehicles with permanent magnet synchronous motors are considered to be optimum in terms of efficiency and cost. CO<sub>2</sub> emission values of engine types used in vehicles using internal combustion engines electric and hybrid vehicles are compared using basic statistical estimation methods. As a result of the comparison, it is expected that the CO<sub>2</sub> emission rate will decrease by 2% or more in the future.

**Keywords:** Efficiency, CO<sub>2</sub> emission, electric vehicles, hybrid vehicles, electric motors

*Bu makaleye atf yapmak için*

Tören M., Mollahasanoğlu H., "Elektrikli ve Hibrit Araçlardaki Elektrik Motorlarının İçten Yanmalı Motorlarda Oluşan CO<sub>2</sub> Emisyonunda Meydana Getireceği Değişimin Tahmini ve Verimliliğe Etkisi: Türkiye Örnekleme", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 2022, 9 (3); 1082-1097.

*How to cite this article*

Tören M., Mollahasanoğlu H., "Estimate of Change in CO<sub>2</sub> Emission Occurring in Internal Combustion Engines Generated By Electric Motors in Electric and Hybrid Vehicles in Transportation and Its Effect on Productivity: A Sample of Türkiye", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (3); 1082-1097.  
ORCID: \*0000-0002-7012-7088; \*0000-0001-6233-9198

## 1. Giriş

Günümüzde, artan hava kirliliği sorunu, petrol rezervlerinin hızlı tükenmesi, ulaşım sektöründe temiz ve verimli yakıta dayalı araştırmaları beraberinde getirdiği için elektrikli araçlara olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Elektrikli araçların, geleneksel araçlara kıyasla daha yüksek verimliliğe sahip olmasının yanı sıra daha düşük egzoz gazı emisyonları ve gürültü, daha fazla sürüş konforu başlıca pozitif özellikleridir.

Otomotiv sektöründe elektrik araçlar; sadece elektrikli motoru olan araçlar ve hibrit (hem elektrikli motoru hem de içten yanmalı motoru olan) araçlar olmak üzere iki sınıfta değerlendirilebilir. Buna göre elektrikli ve hibrit araç tasarımlarında en önemli parametrelerden birinin kullanılan motorların seçimi olduğu görülmektedir. Çünkü elektrikli ve hibrit araçlarda, motor seçimi; verimlilik,  $CO_2$  emisyonu, maliyet, hava kirliliği ve yakıt tüketimi açısından oldukça önem arz etmektedir.

İçten yanmalı motorlarda, kompleks bir yapı olduğu için, enerji dönüşümü esnasında daha fazla kayıp meydana gelir, bu kayıplar motor verimini düşürmektedir. İçten yanmalı motorda verimli çalışma esnasında yakıt enerjisinin yaklaşık olarak üçte biri hareket enerjisine dönüştürülmektedir. Bu durumda motor dönmediği için de tork üretilmemektedir. Buna karşın elektrik motorları ise çok daha basit yapıya sahiptir. Motor, elektrik enerjisini mekanik güce çevirirken, aynı zamanda bir jeneratör olarak da mekanik gücü elektrik enerjisine dönüştürebilir. Ayrıca İçten yanmalı motorlarda olduğu gibi çok fazla parçaya sahip değildir, hareketli parça olarak sadece rotora sahiptir. Doğrusal hareketi dairesel harekete dönüştürmeye gerek yoktur ve mekanik zamanlamaya da ihtiyaç duymazlar. İçten yanmalı motorlarda enerji dönüşümü verimi % 30-40 seviyelerinde iken, elektrikli ve hibrit araçlarda bu değer % 100'e yakındır [1]. Sonuç olarak, elektrik motorlarından elde edilen verimlilik, içten yanmalı motorlara göre çok daha yüksektir.

Elektrikli araçların geleneksel araçlara göre diğer bir önemli avantajı, daha düşük  $CO_2$  emisyonu sağlamasıdır. Ulusal ve uluslararası ölçekte, ulaşımdaki araç sayısının çok fazla olması, azami miktarda  $CO_2$  yayılmasına neden olmaktadır. Şöyle ki,  $CO_2$  emisyonların % 90'ı ulaşımdaki araçlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, küresel iklim değişikliği sorunları incelendiğinde, hava kirliliğine yaklaşık % 20 oranında, ulaşım sektöründen yayılan  $CO_2$  emisyonunun da içerisinde yer aldığı sera gazı emisyon değerleri sebep olmaktadır. Günümüzde, ulaşımdaki araç sayısının azalma ihtimalinin mümkün olmadığı düşünülürse, elektrikli ve hibrit araçlar kullanılarak  $CO_2$  emisyon değerini azaltmak mümkün olan en önemli alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorlarının, verimlilik ve  $CO_2$  emisyonu üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu amaçla, elektrikli ve hibrit araçların tarihi gelişimi, yapısı, çalışma prensibinin yanı sıra kullanılan elektrik motorları araştırılarak, ülkemizde ve dünyada meydana getirdiği etkileri, çeşitli veriler ile tartışılmaktadır. Ayrıca elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları tartışılarak tüm sistemin geleceği ile ilgili beklenti ve öngörülere yer verilmektedir. Bu bölümü takip eden ikinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmektedir. Üçüncü bölümde elektrikli ve hibrit araçların tarihi gelişimi, yapısı, çalışma şekli, kullanılan motor tiplerine yer verilmektedir. Dördüncü bölümde ise ilgili veriler sunulmaktadır. Son bölümde de paylaşılan veriler ışığında değerlendirmeler yapılarak gelecek ile ilgili beklenti ve öngörülere yer verilmektedir.

## 2. Literatür Araştırması

Son yıllarda, ulaşımda kullanılan araç sayısı, gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlara bağlı olarak hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durumun temel sonuçları, enerji verimliliği ve çevre kirliliğidir. Tüm dünyada enerji krizinin yaşandığı bu zaman diliminde, petrol fiyatlarının artması ile birlikte çevresel sorunların ve hava kirliliğinin artması, elektrikli ve hibrit araçları otomotiv sektörünün odak noktası

haline getirmektedir. Bu araçlar, her geçen gün, yüksek verimlilik ve düşük  $CO_2$  emisyonları gibi avantajları sayesinde, sayıları önemli oranda artarak geliştirilmektedir. Bu artış, birçok çalışmanın da yapılmasına kaynaklık etmektedir.

Elektrikli ve hibrit araçlarda yapılan çalışmalar, araçların; mekanik, elektrik ve elektronik teknolojisi üzerine yoğunlaşmaktadır. Çalışma yapılan alanlardan biri, batarya ve şarj sistemleridir. Yapılan birçok çalışmada şarj yöntemleri incelenmekte ve geliştirilmektedir [2-3]. Ayrıca elektrikli araçlarda en önemli sorun olan hızlı şarj için de çalışmalar yapılmaktadır [4]. Yapılan çalışmada, elektrikli ve hibrit araçların hızlı alt yapısı ile ilgilenen araştırmacılar için ayrıntılı bir araştırma yapıp, pratik inceleme imkânı sunulmaktadır [5]. Elektrikli araçların araştırılması ve geliştirme çalışmaları içerisindeki konulardan biri de kullanılan elektrik motor tipleridir.

Elektrikli-hibrit araçlarda kullanılan elektrik motoru tipleri, yüksek yakıt verimliliği ve hava kirliliğine karşı çevre dostu olması açısından oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, asenkron motorlar, doğru akım (DA) motorlar, fırçasız DA motorları, kalıcı mıknatıslı senkron motorlar ve anahtarlamalı relüktans motorların elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılmasıyla ilgili çalışmalar görülmektedir [6]. Referans verilen çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan motor tipleri kendi aralarında; güç yoğunluğu, verim, güvenilirlik ve göreceli maliyet açısından da karşılaştırılmaktadır. Başka bir çalışmada, 1-5 arası puan verilerek yapılan değerlendirmede, 5 puan; en yüksek verimlilik, en düşük ağırlık ve düşük maliyet olarak temsil edilerek, yapılan analizde, DA motorlarının en düşük maliyete sahip olduğu, verimlilik açısından kalıcı mıknatıslı senkron motorların en iyi seçim olduğu belirtilmektedir. Anahtarlamalı relüktans motorları ise en düşük ağırlığa sahip olmakla beraber, üç faktör birlikte değerlendirildiğinde, elektrikli ve hibrit araçlar için en iyi seçim olduğu görülmektedir [7]. Elektrikli araç güç performansına dayalı fırçasız DA motoru modellenerek, parametre belirleme yöntemi geliştirilmiştir [8]. Asenkron motorların kullanıldığı başka bir çalışmada, dolaylı alan yönlendirmeli kontrol ve doğrudan moment kontrol yöntemi olmak üzere iki kontrol yöntemi uygulanarak performans ve enerji verimliliği karşılaştırılmıştır [9]. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan küçük, orta ve büyük güç değerlerine sahip elektrik motorlarının yapısı, çeşitleri, çalışma özellikleri verilmektedir [10]. Ancak verilen tüm bu çalışmalarda, araç  $CO_2$  emisyonundan bahsedilmemektedir.

$CO_2$  emisyonu, küresel ısınma ve hava kirliliğine sebep olmaktadır.  $CO_2$  emisyonunun da en önemli sebeplerinden biri fosil yakıtların kullanılmasıdır. 2020'de, hava kirliliği içerisindeki  $CO_2$  emisyonlarının % 25'inin ulaştırma sektöründen kaynaklı olduğu belirtilmektedir [11]. 2050 yılında, hafif ticari araç sayısı, mevcut durumun %100'ünden fazla olması, yani, ortalama olarak 2 milyarın üzerine çıkması tahmin edilmektedir. Dolayısıyla, araç üretimi ve araç yakıt tüketimi oranlarında değişim olmaması durumunda, gelecek yıllarda çevresel ve hava kirliliği etkenlerinden sera gazı azalımı mümkün değildir [12]. Bu durumda küresel ölçekte  $CO_2$  emisyonlarını azaltmanın en etkili yöntemi, ulaşımda ki fosil yakıtların kullanımının azaltılmasıdır. Bunun için elektrikli araç sayısında artışın olması, sürdürülebilirlik ve çevresel kirliliğinin azalması açısından en olası çözümlerden birisidir. Son zamanlardaki çokça çalışmada elektrikli araçlar ile  $CO_2$  emisyonları arasındaki ilişki araştırılmaktadır [13-14].  $CO_2$  emisyonunu azaltmak için, araç içinde yer alan aktarma organları ve bileşenlerinde iyileştirmeler yapılabilmektedir [15].  $CO_2$  emisyonu belirli miktarda azalsa da önümüzdeki yıllar için belirlenen emisyon oranlarındaki azalma hedefleri için yeterli değildir. Elektrikli ve hibrit araçlardaki heterojen yapı için güç aktarım sisteminde optimizasyon metodları uygulanarak  $CO_2$  emisyon miktarında azalma sağlanmaktadır [16].

### 3. Elektrikli ve Hibrit Araçlar

#### 3.1. Elektrikli ve Hibrit Araçların Tarihi Gelişimi

Macar mucit Anyos Jedlik'in 1828 yılında icat ettiği elektrik motorlu model araç, ilk elektrikli araç olarak kabul edilse de, 1835 yılında Stratingh ve Thomas Davenport'un yeni modeller geliştirdiği

bilinmektedir. Fakat 1838 yılında Robert Davidson'nun yaptığı ve saatte 6,4 kilometre hıza ulaşabilen elektrikli lokomotif, gerçek anlamda ilk başarılı elektrikli araç olmuştur [17]. Ancak bu araç şarj edilme özelliğine sahip değildi.

1842 yılında Thomas Davenport ve Robert Davidson'un Kurşun-Asit bataryaları bulması ile elektrikli araçlar 1900'lü yılların başında altın çağını yaşadı. Şöyle ki, o dönemde Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen otomobillerin % 28'i elektrikle çalışıyordu. Buna karşın, Henry Ford, 1908 yılında, seri üretime başladığı içten yanmalı motorlu araçları ile elektrikli araçlara önemli bir darbe vurmuş oldu. Bu durumun başlıca nedenleri ise elektrikli araçların maliyetinin içten yanmalı motorlu araçlara göre yaklaşık üç kat pahalı olmasının yanı sıra, uzun mesafe gidebilme isteği, beygir gücünün eksikliği ve benzine ulaşımın daha kolay olmasıdır. Tüm bu nedenler, 1960'lı yıllara kadar elektrikli araçlar ile ilgili geliştirme çalışmalarının ertelenmesine sebep olmuştur.

Ulaşımda kullanılan otomobillerin sayısının artması ve içten yanmalı motorların sebep olduğu hava kirliliği üzerine bir de, 1973 yılında yaşanan petrol krizi eklenince, elektrikli araçlar konusundaki çalışmalar yeniden hız kazandı. 1974 yılında Vanguard-Sebring firmasının ürettiği CitiCar, Washington'da Elektrikli Araç Sempozyumunda tanıtıldı. Sonrasında Amerika Birleşik Devleti, hibrit ve elektrikli araçlar konusunda yapılan çalışmalara teşvik verilmesi konusunda kararlar alındı. 1990'larda Temiz Hava Yasası Değişikliği ve Enerji Politikası Kanunu yürürlüğe girerek, bu alanda yapılan yatırımlara destek verileceği kararlaştırıldı. Bu kararlar ışığında, 1996-2000 yılları arasında, General Motors, Toyota, Honda, Ford, Nissan ve Chevy gibi büyük firmalar tarafından elektrikli araçlar üretildi. Üretilen bu araçlar, genellikle kiralama amaçlı kullanılsa da menzil ve şarj sorunları nedeniyle uzun ömürlü olamadı.

2008 yılında, Tesla firması tarafından, Lityum iyon pilli aracı tanıtıldı. Söz konusu aracın uzun menzile sahip olması ve kolay şarj edilebilme özelliği sayesinde, elektrikli araçlar için yeni bir dönem başlamış oldu. Firmanın ürettiği, Roadster modeli tahminlerin üzerinde bir satış yaparak, konvansiyonel araç üreticisi diğer firmaların da dikkatini bu alana yöneltmesine yol açmıştır. Günümüzde, çoğu araç üreticisinin mutlaka bir elektrikli araç modeli bulunmaktadır.

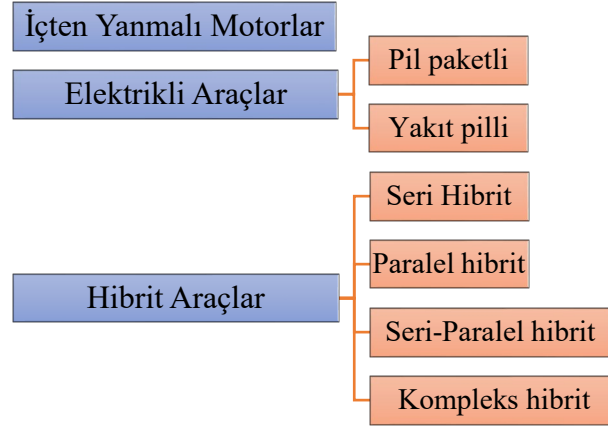
Türkiye'de ise, ilk elektrikli araç olan Renault markasının Fluence ZE modeli olup, 2009 yılında Bursa'da üretildi. Şarj olma süresi 10-12 saat süren bu model, 185 km menzile sahipti. 2019'un son günlerinde ise, Türkiye için tarihi bir adım atılarak, görkemli bir törenle, yerli ve milli olarak üretimi yapılacak olan elektrikli aracı, TOGG adıyla, dünya kamuoyuna tanıtıldı. 2022 yılının sonunda seri üretime geçeceği açıklanan TOGG, 30 dakikadan kısa sürede şarj olma, holografik asistan ve 5G ile mobilite ekosistem deneyimi sunması hedeflenmektedir.

### 3.2. Elektrikli ve Hibrit Araçların Çalışma Prensibi

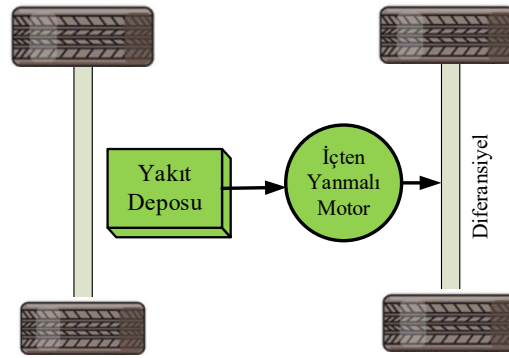
Günümüzde, kara taşıtları olarak kullanılan araç teknolojileri incelendiğinde, motor tahrik metodu ve kullanılan enerji kaynağına göre üç farklı araç teknolojisinin kullanıldığı görülmektedir. Şekil 1'de bu sınıflandırma görülmektedir.

İçten yanmalı motorlu araçlar, enerjilerini karbon bazlı fosil yakıtlardan alır. Böylece motor tahriki yakıt deposundan elde edilen yakıt enerjisi (benzin, dizel vb.) ile sağlanır. Şekil 2'de, içten yanmalı motorların kullanıldığı araçlardaki güç aktarma şeması verilmektedir.

Elektrikli araçlarda, bataryanın sağladığı elektrik enerjisi, mekanik enerjiye dönüştürülerek tekerlere aktarılır ve hareket sağlanır. Elektrikli araçlarda, içten yanmalı motorlar olmayıp, enerji depolamak için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim ve güç kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Elektrikli araçları; pil paketli ve yakıt pilli olmak üzere iki başlık altında sınıflandırabiliriz.

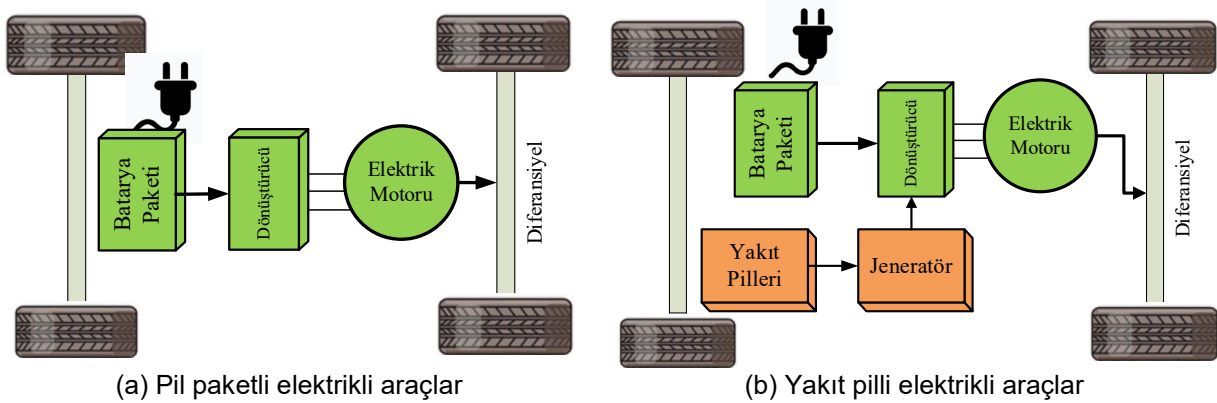


Şekil 1. Araç Teknolojilerinin sınıflandırılması



Şekil 2. İçten yanmalı motorlu araçların güç aktarma şeması

Pil paketli elektrik araçlarda, motor tahriki için gerekli enerji sadece pil paketlerinden sağlanmaktadır. Yakıt pilli elektrikli araçlarda ise, elektrik motorunun tahriki için, yakıt pillerinin kimyasal enerjisi elektroliz metodu ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [18]. Şekil 3'te elektrikli araçların çalışma prensibi, güç aktarma sistemleri gösterilmektedir.

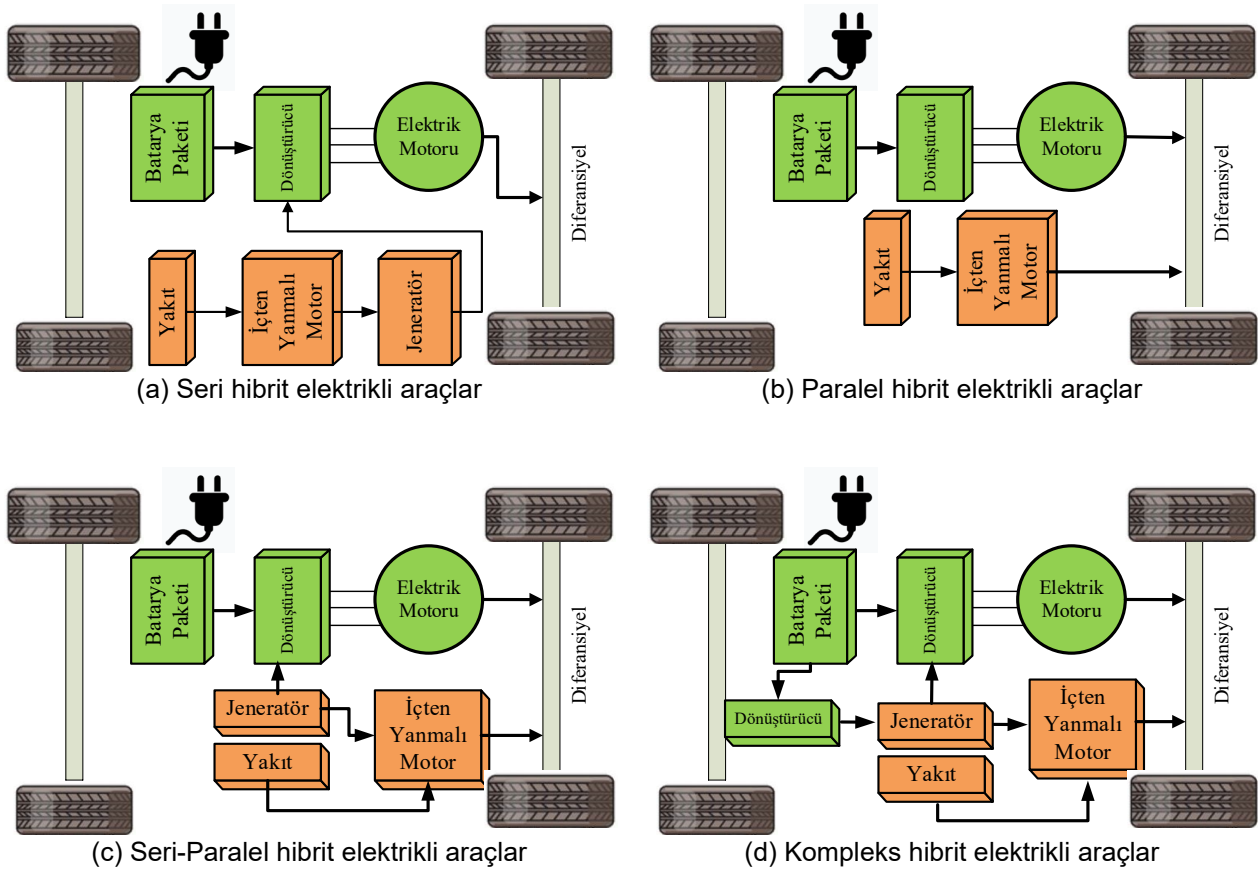


Şekil 3. Elektrikli araçların güç aktarma şeması

Hibrit elektrikli araçlar ise içten yanmalı motor ile birlikte birbirinden bağımsız çalışan elektrik motoru ile harici enerji kaynağından şarj olabilen batarya depolama sistemi içermektedir. Bu araçlar sürüş esnasında; enerji verimliliğini dikkate alarak sadece elektrikli motoru, sadece içten yanmalı motoru veya her ikisini birlikte kullanabilir. Böylece, yakıt tüketimi ve ekonomik olarak avantaj sağlanır. Hatta bazı araçlarda, rejeneratif fren aracılığıyla elektrik üretilerek batarya şarj

edilebilmektedir. Ayrıca, hibrit araçların, çok düşük sera gazı salınımı ve gürültü seviyesi sağlanması, diğer başlıca avantajları arasında gösterilebilir.

Hibrit araçlar güç aktarma prensipleri açısından; seri, paralel, seri-paralel ve kompleks olmak üzere dört başlık altından sınıflandırılabilir. Seri hibrit araçlarda, içten yanmalı motordan elde edilen enerji, jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek motor tahrik edilir. Paralel hibrit araçlarda, elektrik motoru ile içten yanmalı motor birlikte veya ayrı ayrı olmak üzere enerji aktarımı sağlar. Seri ve paralel güç aktarma prensiplerinden üretilen seri paralel ve karmaşık hibrit elektrikli araçlarda ise, güç performansı artırılarak, ekonomik yakıt tüketimi sağlanmaktadır. Söz konusu hibrit araçların, güç aktarma sistemleri Şekil 4'te gösterilmektedir.



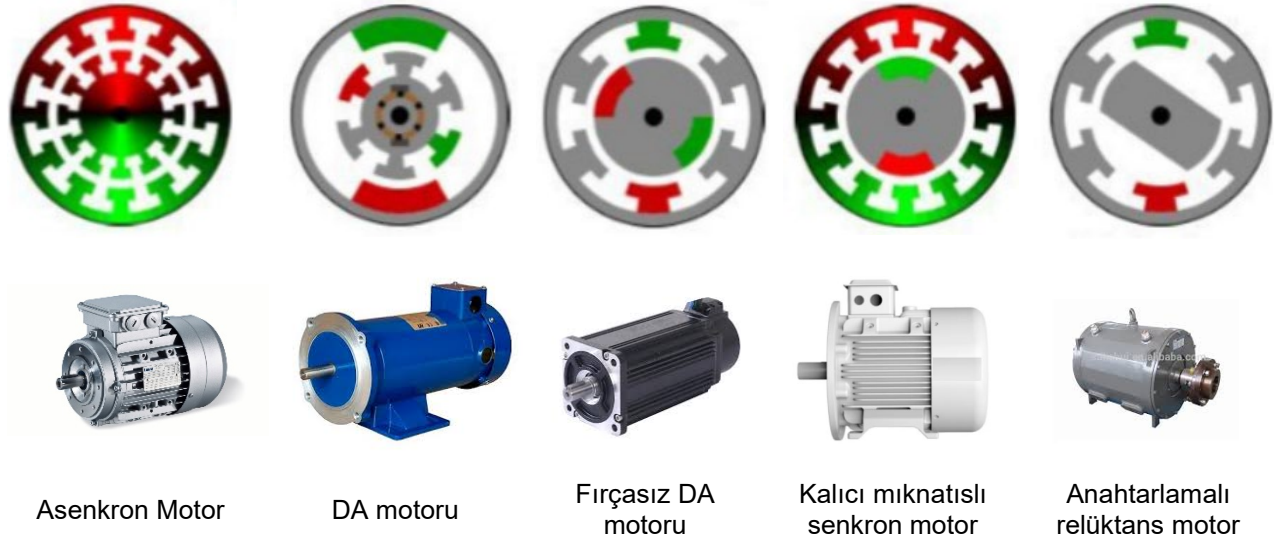
Şekil 4. Hibrit elektrikli araçların güç aktarma şeması

### 3.3. Elektrikli ve Hibrit Araçlarda Kullanılan Motor Türleri

Elektrikli ve hibrit araçlarda, kullanım şekline göre farklı tip ve türlerde elektrik motorları tercih edilmektedir. Hibrit özelliğin oluşmasında etken olan ve yakıt olarak fosil yakıtı barındıran içten yanmalı motor türünün yanında son yıllarda kullanım yoğunluğu artan elektrikli hibrit araçlarda, elektrik motoru olarak; asenkron motorlar, DA motorlar, fırçasız DA motorları, kalıcı mıknatıslı senkron motorlar ve anahtarlamalı relüktans motorlar tercih edilebilmektedir.

Asenkron motorlar, rotor için gerekli olan gücü, elektromanyetik indüksiyon yolu ile aktaran motor tipleridir. Basit yapıya sahip olmaları, daha az bakım gerektirmeleri, sağlam ve az maliyete sahip olmasıyla ön plana çıkan elektrik motorlarıdır. Başlıca dezavantajı ise, aktif hız kontrol sistemlerine sahip olması gerekmektedir.

DA motorları, basit yapıya sahip olmaları, kontrolünün basit olması nedeniyle eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Ancak fırça-kollektör yapılarından dolayı bakım gerektirmeleri ve özellikle asenkron motorların yaygınlaşmasından sonra, popülaritesini kaybetmiştir. Yine de düşük güç gerektiren uygulamalarda, sıklıkla tercih edilmektedir.



**Şekil 5.** Elektrikli araçlarda kullanılan motorların içyapıları ve genel görünüşleri

**Tablo 1.** Bazı araç modelleri ve bu modellerde kullanılan elektrik motorları

Araç Modeli	Araç Modeli	Motor Tipi	Güç (W)
NISSAN LEAF	2020	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	110/147
JAGUAR I-PACE	2020	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	298/400
TESLA MODEL S Performance SR	2020	Asenkron Motor	568/762
TESLA MODEL 3 RWD	2018	Asenkron Motor	204/274
PORSCHE Mission E (TAYCAN) 4S	2020	Asenkron Motor	320/429
CHEVROLET BOLT EV	2020	Fırçasız DA Motor	150/201
BMW i8	2018	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	170/228
BMW i3	2019	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	125/167
TOYOTA PRIUS	2020	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	53/71
MERCEDES-BENZ GENERATION EQ	2019	Asenkron Motor	300/402
AUDI E-TRON 55 QUATRO	2019	Asenkron Motor	265/356
VOLVO XC40 RECHARGE P8	2021	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	300/402
HOLDEN ECOMMODORE	2007	Anahtarlamalı Relüktans Motor	55/73.7
FIAT PANDA ELETTRA	-	DA motoru	-

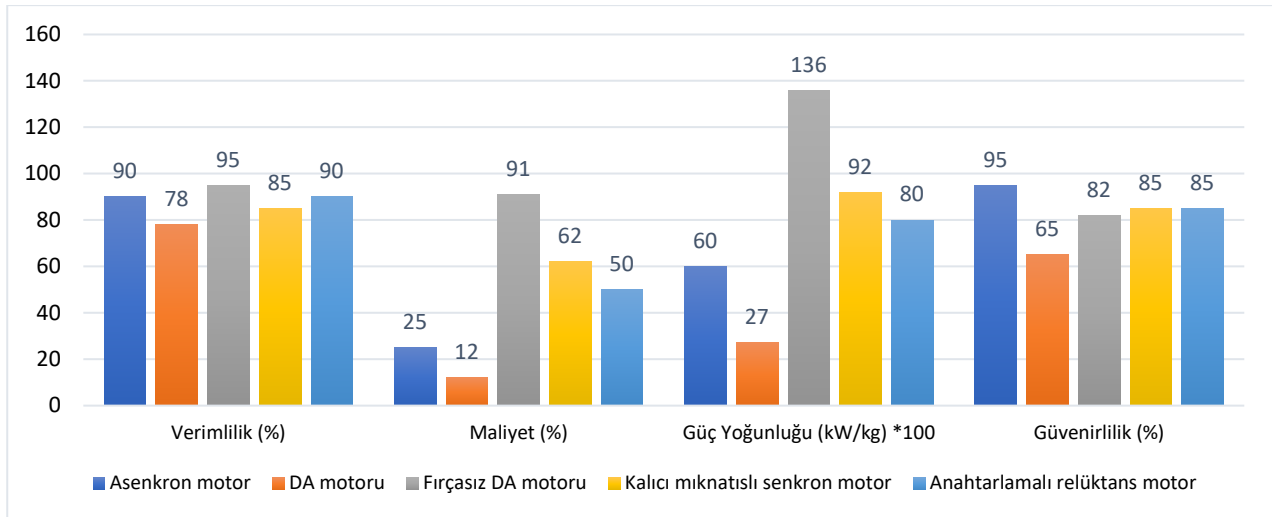
Fırçasız DA motorları, elektronik sürücüler ile tahrik edilen ve rotor ile statorun aynı hızda döndüğü sekron motor olarak tanımlanabilir. DA motorlarından farkı ise, rotordaki alan sargıları yerine, kalıcı mıknatıslar bulunmaktadır. Boyutlarının küçük olması, kayıpların az olması dolayısıyla verimin yüksek olması başlıca pozitif özellikleridir. Buna rağmen, mıknatıslardan dolayı daha maliyetli olmasının yanı sıra mıknatısın mekanik gücünün motorda yüksek moment oluşmasını zorlaştırmaktadır [6].

Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar, yüksek güç yoğunluğuna sahip olmasının yanı sıra verimlilikleri de yüksek elektrik motorlarıdır. Yüksek güç yoğunluğuna sahip olmalarının başlıca sebeplerinden biri, Neodyum-Demir-Bor gibi malzeme yapısına sahip kalıcı mıknatıslar üzerinde yüksek geçirgenlik sağlanabilmesidir. Bu motorların en önemli dezavantajı ise ısı nedeniyle manyetik özellikleri bozulabilmektedir.

Anahtarlamalı relüktans motorları ise, son zamanlarda, elektrikli araç teknolojisinde oldukça ilgi görmektedir. Elektrik tasarımı karmaşık yapıda olduğundan dolayı, gücü aktarmak için anahtarlama sistemlerine ihtiyaç duyulur. Basit ve sağlam yapıdadır. Rotorlarında sabit/kalıcı mıknatıs olmadığı için yüksek hızlara çıkabilirler. Ancak, yüksek gürültü ve yüksek tork dalgalanması başlıca dezavantajlarıdır.

Elektrikli motor olarak kullanılabilen elektrik motorlarının içyapıları ve genel görünüşleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Tablo 1'de ise, bu motorların kullanıldığı örnek araç modelleri verilmektedir [6].

Tablo 1 incelendiğinde, kalıcı mıknatıslı senkron motorlar % 40 oranında tercih edilmektedir. Bunun nedeni, performans parametrelerinin bu motor tipinde diğerlerine oranla optimum değerlerde olmasıdır. Asenkron motorlar ise, % 33,3 oranında tercih edilirken, % 11,1 oranla DA motorlar tercih edilmektedir. Tüm bu motor tiplerinin seçimini etkileyen diğer parametreler ve birbirleri ile kıyaslaması Şekil 6'da verilmektedir [19].



Şekil 6. Elektrikli araçlarda kullanılan motor tiplerinin karşılaştırılması

#### 4. Bulgular

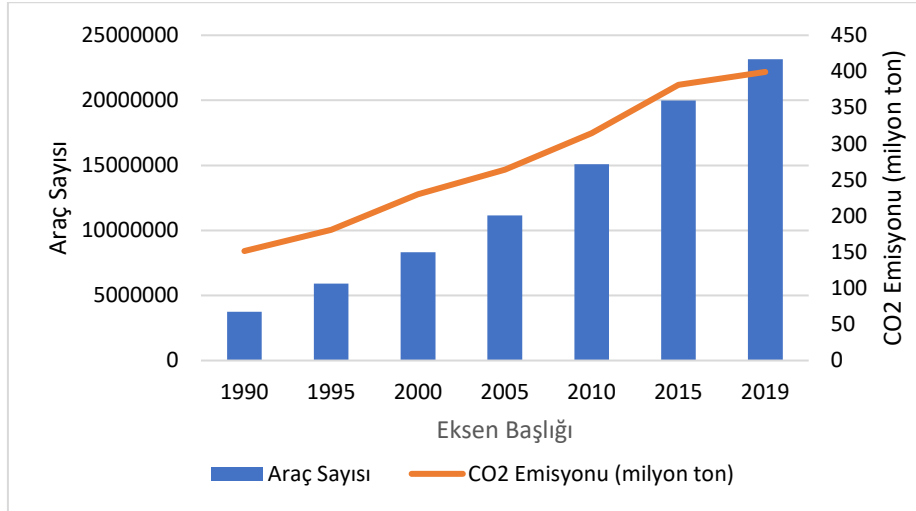
Küresel iklim değişikliği ve hava kirliliği sorunlarının temel nedenlerinden biri  $CO_2$  emisyon değerleridir. Çoğu uluslararası ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de küresel sera gazı emisyon değerlerinin yaklaşık % 20'si ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır.



Tablo 2’de, Türkiye’de 1990-2019 yılları arasındaki motorlu araç sayıları ve  $CO_2$  emisyon değerleri 5 ‘er yıllık periyotlar ile verilmektedir. Havanın kirlenmesine ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıt emisyonlarının en önemli oluşma nedeni, ulaşım sektöründe kullanılan motorlu kara araçlarının bu yakıtları kullanmasıdır. Bundan dolayı Tablo 2 ‘de yer alan sayısal veriler hem iklim değişikliği, küresel ısınma ve hava kirliliği için önemli hem de insan sağlığını da yakından ilgilendirmektedir. Ulaşımındaki araçların toplam sayıları ile bunlardan yayılan  $CO_2$  değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Ayrıca, Şekil 7’de değişim grafiği verilmektedir.

**Tablo 2.** Türkiye’de trafikte olan motorlu araç sayısı ve  $CO_2$  emisyonu, 1990-2019 [20]

Yıl	Motorlu Araç Sayısı	$CO_2$ Emisyonu (milyon ton)
1990	3750678	151,5
1995	5922859	180,9
2000	8320449	229,8
2005	11145826	264,2
2010	15095603	314,4
2015	19994472	381,3
2019	23156975	399,3



**Şekil 7.** Türkiye’de 1990-2019 yılları arasında trafikte olan motorlu araç sayısı ve  $CO_2$  emisyonu

Şekil 4 incelendiğinde, son yıllarda Türkiye’de artan araç sayısının, çevre ve hava kirliliği ile  $CO_2$  emisyon değerlerinin doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Ulaşımındaki araç sayısı arttıkça,  $CO_2$  emisyon değeri de artmaktadır. 2022 yılı ocak ayı itibariyle, Türkiye’de trafikte bulunan araç sayısı 25 milyonun üzerindedir. Bu nedenle, hava kirliliği ve iklim değişikliğiyle mücadelede ulaşımdan kaynaklanan zararlı gaz emisyonların düşürülmesi son derece önem arz etmektedir. 2021 yılı sonu itibariyle, Türkiye’de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3’te görüleceği üzere, çevre ve hava kirliliğine neden olan zararlı gazların azaltılması için uygulanabilir alternatif yöntemlerden birisi, elektrikli ve hibrit araçların kullanımının yaygınlaşmasıdır. Tablo 3’te, Türkiye’de son yıllarda elektrikli ve hibrit araçlara olan ilginin, günümüzde diğer ülkeler ile kıyaslandığında çok daha az olmasına rağmen, gözle görülür oranda arttığı belirlenmektedir. Bu artışa, özellikle, petrol fiyatlarının yükselmesi, çevre duyarlılığının artması neden olmaktadır. Bu sebeplere önümüzdeki dönemlerde, elektrikli ve hibrit araç sayısının daha da artacağı tahmin edilmektedir. Tablo 4 ‘te görüldüğü gibi elektrikli araçların günümüzde

yaygınlaşacağına en belirgin nedenleri arasında,  $CO_2$  emisyon değerinin sıfır oluşu ve buna bağlı olarak çevre dostu olmaları gelmektedir.

**Tablo 3.** Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı, 2004 - 2022 [21]

Yıl	Toplam	Benzin		Dizel		LPG		Elektrikli - Hibrit	
		Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)
2004	5400440	4062486	75,2	252629	4,7	793081	14,7	-	-
2005	5772745	3883101	67,3	394617	6,8	1259327	21,8	-	-
2006	6140992	3838598	62,5	583794	9,5	1522790	24,8	-	-
2007	6472156	3714973	57,4	763946	11,8	1826126	28,2	-	-
2008	6796629	3531763	52,0	947727	13,9	2214661	32,6	-	-
2009	7093964	3373875	47,6	1111822	15,7	2525449	35,6	-	-
2010	7544871	3191964	42,3	1381631	18,3	2900034	38,4	-	-
2011	8113111	3036129	37,4	1756034	21,6	3259288	40,2	47	0,0
2012	8648875	2929216	33,9	2101206	24,3	3569143	41,3	228	0,0
2013	9283923	2888610	31,1	2497209	26,9	3852336	41,5	436	0,0
2014	9857915	2855078	29,0	2882885	29,2	4076730	41,4	525	0,0
2015	10589337	2927720	27,6	3345951	31,6	4272044	40,3	889	0,0
2016	11317998	3031744	26,8	3803772	33,6	4439631	39,2	1160	0,0
2017	12035978	3120407	25,9	4256305	35,4	4616842	38,4	1685	0,0
2018	12398190	3089626	24,9	4568665	36,8	4695717	37,9	5367	0,0
2019	12503049	3020017	24,2	4769714	38,1	4661707	37,3	15053	0,1
2020	13099041	3201894	24,4	5014356	38,3	4810018	36,7	36487	0,3
2021	13706065	3495172	25,5	5158803	37,6	4923275	35,9	92949	0,7

Hibrit (içten yanmalı motor + elektrikli motor bulunduran) araçlar, ortalama 119,50 (g/km)  $CO_2$  emisyonu oluştururken, plug-in hibrit araç modellerinde  $CO_2$  emisyonu 71 (g/km) değerine kadar düşmektedir.

**Tablo 4.** Araç yakıt türlerinin ortalama  $CO_2$  emisyon değerleri

Yakıt Türü	$CO_2$ emisyon değeri (g/km)
Benzin	174,31
Dizel	168,43
LPG	198,28
Hibrit	119,52
Hibrit (Şarj edilebilir)	71,00
Elektrik	0
Bilinmeyen	171,48

Araç yakıt türlerine göre, Türkiye’de, 2021 yılında tercih edilen araç sayıları ve bir önceki yıla göre olan değişimleri Tablo 5’te verilmektedir.

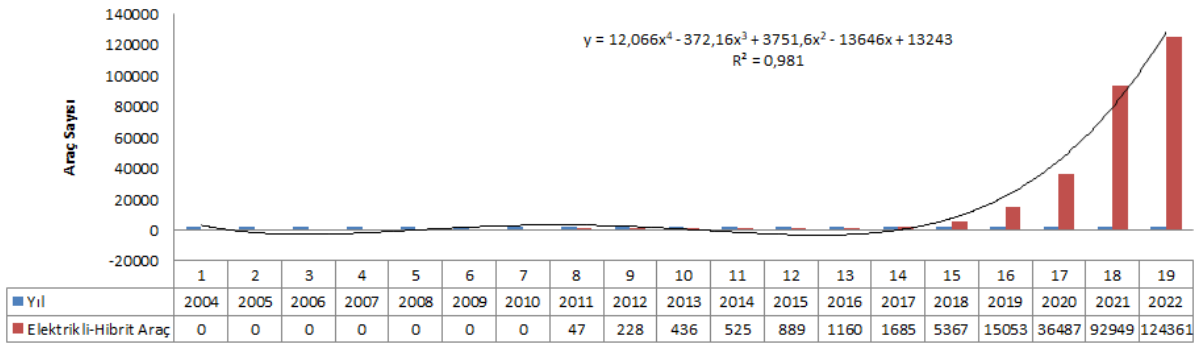
Tablo 5 incelendiğinde, hibrit teknolojisine sahip araçların bir önceki yıla göre %107,1 ve elektrikli araç sayısının ise %237,2 oranında arttığı görülmektedir. Ayrıca, ilgili tabloda belirtilen her bir yakıt türü için benzer kategoride araçların fiyatları da verilmektedir. Elektrikli ve hibrit araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre daha pahalı olmasına rağmen, tercih edilebilirliğinin çok hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.

**Tablo 5.** Araç yakıt türüne göre satış, değişimler ve fiyat tablosu [21]

Yakıt Türü	2020		2021		Değişim (%)	Ortalama Satış Fiyatı* (TL)
	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)		
Benzin	317630	52,1	373600	66,5	17,6	737.100
Dizel	240819	39,5	110523	19,7	-54,1	737.100
LPG	26685	4,4	25391	4,5	-4,8	737.100
Hibrit	24131	4,0	49493	8,8	105,1	798.300
Elektrik	844	0,1	2846	0,5	237,2	875.000
<b>Toplam</b>	<b>610109</b>	<b>100</b>	<b>561853</b>	<b>100</b>	<b>-7,9</b>	<b>-</b>

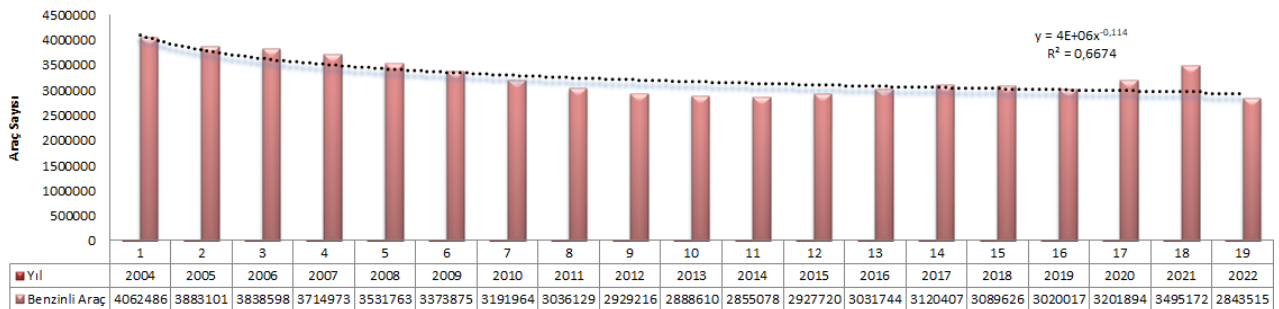
\* Her bir yakıt türüne göre muadil özelliklere sahip araçlar baz alınmaktadır.

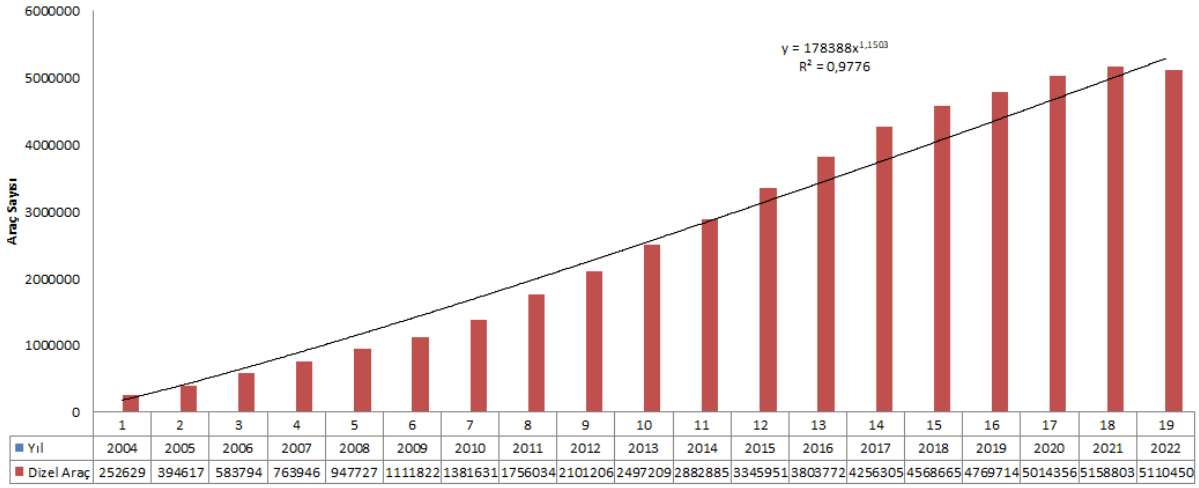
Tüm bu değerlendirmeler dikkate alınarak, araç yakıt türlerinin ortalama  $CO_2$  emisyon değerleri ve araç sayıları kullanılarak elektrikli ve hibrit araç sayısının 2022 yılı sonu itibariyle değişimi tahmin edilmiş olup, Şekil 8’de gösterilmektedir.

**Şekil 8.** Türkiye’deki elektrikli-hibrit araç sayısı değişimi

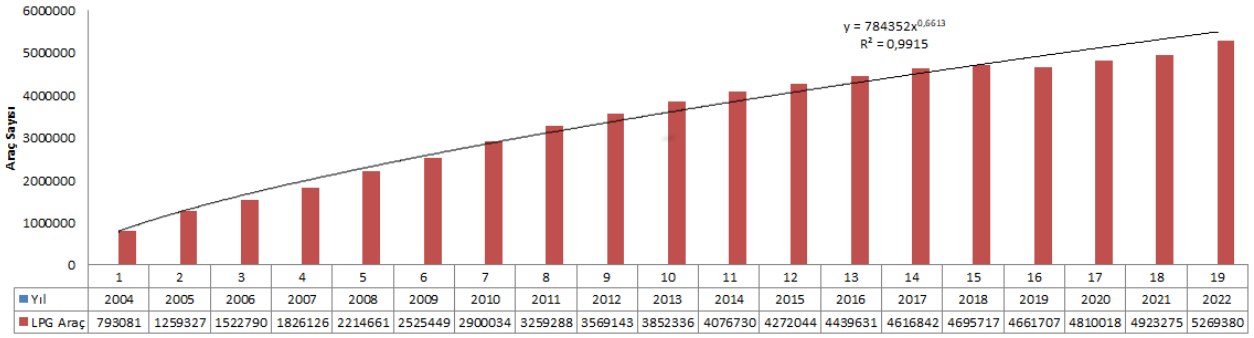
Şekil 8’de görüldüğü üzere elektrikli-hibrit araç sayısındaki artış, tahmini olarak, yaklaşık % 33 oranında olacağı değerlendirilmektedir. Bu değer istatistiksel tahmin yöntemlerinden, kantitatif yöntemler (sayısal tahmin yöntemleri) arasında yer alan basit doğrusal regresyon yöntemi ve korelasyon analizi ile elde edilmektedir.

Türkiye’deki elektrikli-hibrit araçlar dışındaki içten yanmalı motor kullanan araçlarda yaygın kullanım sahip; benzin, dizel ve LPG türü yakıt kullanan araçların sayısındaki değişim ise sırasıyla Şekil 9, 10 ve 11’de verilmektedir.

**Şekil 9.** Türkiye’deki benzinli araç sayısı değişimi

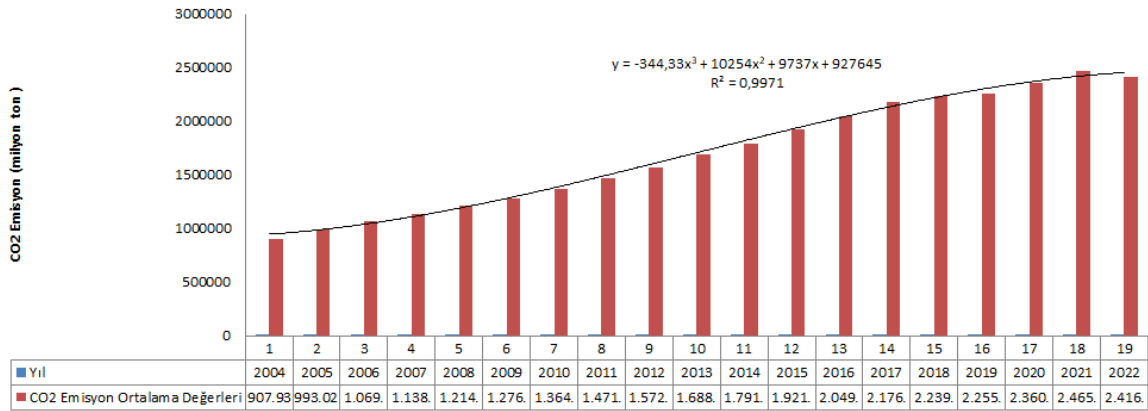


Şekil 10. Türkiye'deki dizel araç sayısı değişimi



Şekil 11. Türkiye'deki LPG'li araç sayısı değişimi

Tüm bu istatistiksel tahminler yapılırken, yakıt türü bilinmeyen araçların, zararlı gaz salınımı olmasına rağmen analize dâhil edilmemiştir. Bunun nedeni, diğer yaygın yakıt türüne sahip araç sayısının çok daha fazla olmasıdır. Şekil 8-11'de verilen yakıt türlerine göre araç sayısı değişim grafikleri ile Tablo 4'te verilen araç yakıt türlerinin ortalama  $CO_2$  emisyon değerleri kullanılarak, 2014 yılından itibaren her bir yıl için  $CO_2$  emisyon oran değişim tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Araç türlerine göre CO2 emisyonu değişim grafiği

Şekil 12 dikkate alındığında, elektrikli-hibrit araç sayısındaki tahmin edilen artış doğrultusunda, toplam  $CO_2$  emisyon değerlerinin, ortalama % 2 civarında bir azalma beklenmektedir. Böylece,

elektrikli ve hibrit araçların kullanımının yaygınlaşmasının çevre kirliliğini azaltacağı belirlenmektedir.

Bu çalışmada, elektrikli ve hibrit araçların  $CO_2$  emisyon değerlendirmesinin yanı sıra, yapılarında kullanılan elektrik motorları da incelenmektedir. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları; verimlilik, güç yoğunluğu, maliyet ve güvenilirlik parametrelerine göre tercih edilmektedir. Tablo 6 ve 7’de ise Türkiye’de satışı yapılan elektrikli ve hibrit araç sayılarını ve bu araçlarda tercih edilen elektrik motorları verilmektedir [22].

**Tablo 6.** Türkiye elektrikli otomobil satış sayıları ve bazı araçlarda kullanılan motor tipleri

Araç Modeli	Motor Tipi	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
BMW İ3	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	33	49	50	37	35	24	83
Hyundai KONA	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	64	-	-	-	-	-	-
Jaguar I-PACE	İki Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	31	178	119	38	-	-	-
Mercedes Benz EQC	-	331	42	-	-	-	-	-
Mercedes Benz EQS	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	4	-	-	-	-	-	-
MG ZS EV	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	318	-	-	-	-	-	-
Mini COOPER SE	-	41	103	-	-	-	-	-
Peugeot 2008e	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	2	-	-	-	-	-	-
Porsche TAYCAN	Firkete Sargılı Senkron Motorlar	353	303	-	-	-	-	-
Renault ZEO	Rotor Bobinli Senkron Motor	772	135	31	79	42	20	36
Smart EQ ForFour	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	9	44	22	1	-	-	-
XEV IEV7S	Kalıcı Mıknatıslı Motor	3	-	-	-	-	-	-
Volvo XC40	Kalıcı Mıknatıslı Motor	23	-	-	-	-	-	-
<b>Toplam satılan araç sayısı</b>		<b>2849</b>	<b>854</b>	<b>222</b>	<b>155</b>	<b>77</b>	<b>44</b>	<b>119</b>

Tablo 6 incelendiğinde, kalıcı mıknatıslı sen kron motorun yoğunlukla tercih edildiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, sabit yani kalıcı mıknatıslı senkron motorların çok yüksek verimliliğe sahip olmasıdır. Ayrıca % 52 oranında kalıcı mıknatıslı senkron motorların kullanıldığı belirlenmektedir.

Tablo 7’de, elektrikli – hibrit araç pazarında, % 40 oranında kalıcı mıknatıslı senkron motorların kullanıldığı belirlenmektedir. Elde edilen verilerden, elektrik ve elektrik-hibrit araçlarda verimlilik, güç yoğunluğu ve güvenilirlik parametreleri dikkate alındığında, kalıcı mıknatıslı senkron motorların yaklaşık % 40-52 seçilme oranına sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Türkiye hibrit otomobil satış sayıları ve bazı araçlarda kullanılan elektrik motoru tipleri

Araç Modeli	Motor Tipi	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
BMW	Hibrit Senkron Motor	-	6	10	15	16	51	106
Cupra	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	5	-	-	-	-	-	-
Hyundai	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	108	-	-	220	166	-	-
Toyota C-HR	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	2279	3593	2588	2576	3381	28	-
Toyota CAMRY	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	9	15	20	-	-	-	-
Toyota COROLLA	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	17053	12040	7605	-	-	-	-
Toyota PRIUS	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	-	-	-	2	4	-	-
Toyota RAV4	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	221	345	391	254	248	-	-
Toyota YARIS	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor	91	62	77	126	163	835	-
<b>Toplam satılan hibrit araç sayısı</b>		<b>20915</b>	<b>16941</b>	<b>10963</b>	<b>3457</b>	<b>4133</b>	<b>950</b>	<b>106</b>

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye'deki elektrikli ve hibrit araçların sayıları dikkate alınarak,  $CO_2$  emisyon salınımı etkisi ve araçlarda kullanılan elektrik motorlarının verimlilik, güç yoğunluğu ile güvenilirlik etkileri analiz edilmektedir. Bu amaçla, araç yakıt türlerinin ortalama  $CO_2$  emisyon değerleri ve araç sayıları kullanılarak elektrikli ve hibrit araç sayısı ile  $CO_2$  emisyon oranının, 2022 yılı sonu itibariyle değişimi, doğrusal regresyon yöntemi ve korelasyon analizi ile tahmin edilmektedir. Yapılan analiz sonucunda, 2022 yılı sonunda,  $CO_2$  emisyon oranının % 2 ve üzerinde azalması beklenmektedir. Ayrıca, kalıcı mıknatıslı senkron motorlara sahip elektrikli ve hibrit araçların, verimlilik, güç yoğunluğu ve güvenilirlik kıstasları açısından değerlendirildiğinde, optimum değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu araçlarda kullanılan kalıcı mıknatıslı senkron motorun verimlilik değerinin yüksek olması,  $CO_2$  emisyon salınımı değerlerine de etki etmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan motor türü ile  $CO_2$  emisyon değerlerinin birbiri ile ilişkili olduğu görülmektedir.

## Yazar(lar)ın Katkıları

MT çalışmanın fikrini geliştirdi, tahmin analizleri ve makalenin değerlendirmesini yaptı. HM makalenin yazımı ve düzeninde katkı sağladı. MT ayrıca çalışmanın başlıca yazarıdır.

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- [1]. Abo-Khalil, A. G., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., Radwan, A., Rezk, H., ve Olabi, A. G. "Electric Vehicle Impact on Energy Industry, Policy, Technical barriers, and Power Systems" *International Journal of Thermofluids*, 2022, 100134.
- [2]. Durmuş, F.S. ve Kaymaz, H., "Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri", *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2020, 3 (2): 123-139.
- [3]. Ban, M., Zhang, Z., Li, C., Li, Z., ve Liu, Y., "Optimal scheduling for electric vehicle battery swapping-charging system based on nanogrids", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021, 130: 106967.
- [4]. Kakillioglu, E.A., Aktaş, M.Y., ve Fescioglu-Unver, N., "Self-controlling resource management model for electric vehicle fast charging stations with priority service", *Energy*, 2022, 239, 122276.
- [5]. Mollahasanoğlu, M. ve Okumuş, H. "A Review of Three Phase AC-DC Power Factor Correction Converters for Electric Vehicle Fast Charging", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 32 (2021): 663-669.
- [6]. Kaymaz, H. ve Demir, M.F., "Elektrikli Otomobiller için Çekiş Motor Tip Seçimi", *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 2020, 2 (1): 35-41.
- [7]. Xue, X.D., Cheng, K.W.E., ve Cheung, N.C., "Selection of electric motor drives for electric vehicles", *Sydney, Australasian Universities power engineering conference*, 1-6, (2008).
- [8]. Huang, C., Lei, F., Han, X., ve Zhang, Z., "Determination of modeling parameters for a brushless DC motor that satisfies the power performance of an electric vehicle", *Measurement and Control*, 2019, 52(7-8): 765-774.
- [9]. Aktas, M., Awaili, K., Ehsani, M., ve Arisoy, A., "Direct torque control versus indirect field-oriented control of induction motors for electric vehicle applications", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2020, 23(5): 1134-1143.
- [10]. Gökkozan, H., "Traction Motors and Motor Drivers Used in Electric Vehicles", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2020, (19): 105-111.
- [11]. Statistics report, CO2 Emissions from Fuel Combustion, [https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/08/IEACO2\\_Emissions\\_from\\_Fuel\\_Combustion\\_Overview\\_2020\\_editon.pdf](https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/08/IEACO2_Emissions_from_Fuel_Combustion_Overview_2020_editon.pdf) (Erişim tarihi: 20.03.2022).
- [12]. Hubka, L., "Electric cars in the czech republic–the analysis of co2 emissions reduction", *20th International Carpathian Control Conference*, 2019, 1-6.
- [13]. Xu, B., Sharif, A., Shahbaz, M., ve Dong, K., "Have electric vehicles effectively addressed CO2 emissions? Analysis of eight leading countries using quantile-on-quantile regression approach", *Sustainable Production and Consumption*, 2021, 27: 1205-1214.
- [14]. Küfeoğlu, S., ve Hong, D.K.K., "Emissions performance of electric vehicles: A case study from the United Kingdom", *Applied Energy*, 2020, 260, 114241.
- [15]. Junak, J. "Development of vehicle drivetrain and its components-solutions for CO2 reduction", *Kuwait, International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART)*, 1-6, (2015).
- [16]. Karabasoglu, O., "Hibrit ve Elektrikli Araçlar için Güç Aktarım Sistemi Bağlantılı Yeşil Rotalama", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2021, 23(68): 421-433.
- [17]. Muratoğlu, Y., ve Alkaya, A., "Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme", *Elektrik Mühendisliği*, 2016, 458: 10-14.
- [18]. Chan, C.C., "The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: lessons learned" *Proceedings of the IEEE*, 2013, 101(1): 206 – 212.
- [19]. Bhatt, P., Mehar, H., ve Sahajwani, M., "Electrical motors for electric vehicle—a comparative study", *India, Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*, (2019).
- [20]. TÜİK, *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990 – 2019*, Yayımlanma Tarihi: 30 Mart 2021, Sayı: 37196.

- [21]. TÜİK, Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı, 2004 - 2021, Yayım Tarihi: 23 Şubat 2021, Sayı: 37411.
- [22]. TEHAD, Türkiye Elektrikli ve Hibrit otomobil satış sayıları, 2021, <https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/> (Erişim tarihi: 20.03.2022).