



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ AKTARMA ORGANLARININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN YETİK

DANIŞMAN: DOÇ. DR. HALİL ATALAY

**YALOVA
MART 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ AKTARMA ORGANLARININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN YETİK
218113034

DANIŞMAN: DOÇ.DR. HALİL ATALAY

YALOVA
MART 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ AKTARMA ORGANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İNCELENMESİ**” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum bilgileri ,verileri ve dokümanları etik ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm belge, bilgi, değerlendirme ve sonuçları ahlak ve bilimsel etik kurallara uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım kaynakların tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Hüseyin YETİK



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince, akademik anlamda değerli katkılarıyla ılık tutan, bilgi birikimini ve deneyimini cömertçe paylaşan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Halil ATALAY'A içten şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu süreç boyunca sabırları, sınırsız motivasyonları ve kararlı destekleriyle her adımda yanımda olan eşim Seda YETİK'e ve varlığından bile güç duyduğum canım babam sayın Ergün YETİK'e en derin minnettarlığımı ifade ederim.

Mart– 2025

Hüseyin YETİK



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇ AKTARMA ORGANLARI YAPISI.....	4
3. ELEKTRİK ALT SİSTEMİ.....	5
3.1. Elektrik Motoru (EM)	5
3.1.1. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar (PMSM).....	6
3.1.2. Asenkron motorlar (IM)	7
3.1.3. Anahtarlamalı relüktans motoru (SRM)	8
3.1.4. Elektrik motorlarının karşılaştırılması.....	9
3.2. Batarya	10
3.2.1. Lityum-iyon piller.....	12
3.2.2. Kurşun asit piller	14
3.2.3. Nikel piller	15
3.2.4. Zebra pil (Na-NiCl).....	15
3.2.5. Lityum-hava piller (Li-Air)	16
3.2.6. Pil Teknolojilerin karşılaştırılması	16
4. MEKANİK ALT SİSTEM.....	18
4.1. Şanzıman	18
4.2. Elektrikli Araç Güç Aktarım Yapılarına Göre Türleri.....	18
4.2.1. Şanzıman ve debriyajlı tip	19
4.2.2. Debriyajsız tek vitesli tip arka motor-ön tekerlek	20
4.2.3. Tahrik miline entegre tip ön motor-ön tekerlek.....	20
4.2.4. Tahrik tekerleri üzerinde dişli kutusu ve elektrik motorlu tip	20
4.2.5. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip	21
4.2.6. Sabit dişli olmayan tekerlek tip	21
4.2.7. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip (Protean Drive).....	22
4.2.8. Eaxle (E-aks)	23

4.2.9. Elektrikli araç güç aktarım yapılarına göre türlerin karşılaştırılması	24
5. ŞANZIMAN TİPLERİ.....	26
5.1. Sabit Oranlı Tek Redüksiyonlu Şanzıman	26
5.2. İki Vitesli Planet Dişli Şanzıman	28
5.3. İki Vitesli Çift Kavramalı DCT (Dual Clutch Transmission) Şanzıman	29
5.4. İki, Üç ve Dört Vitesli Elektrikli Araç Konfigürasyonu	33
5.5. Sürekli Değişken Şanzıman (CVT).....	35
5.6. Manuel Şanzıman (MT)	38
5.7. Otomatik Manuel Şanzıman (AMT)	38
5.8. Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman (I-AMT)	39
5.9. Sonsuz Değişken Şanzıman (IVT)	40
5.10. Manyetik Dişli Şanzımanı (MGT)	41
5.11. Elektronik Değişken Şanzıman (EVT)	42
6. SERİ ÜRETİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE GÜÇ AKTARIM ORGANLARI	43
6.1. Tesla Model 3 ve Model S	44
6.2. Volkswagen E-Golf.....	45
6.3. Türkiye Otomobili Girişim Gurubu TOGG T10X Serisi.....	46
6.4. Porsche Taycan	46
6.5. Formula E.....	47
6.6. Elektrikli Otobüsler	48
7. REJENERATİF FRENLEME- GERİ KAZANIM	49
8. BULGULAR.....	52
8.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Farklı Şanzımanlara İlişkin Korelasyonların Geliştirilmesi	55
8.1.1. Enerji verimliliği ve performans:	59
8.1.2. Enerji verimliliği ve Şanzıman Ağırlığı	61
8.1.3. Performans ve Şanzıman Ağırlığı:	62
8.1.4. Elde edilen bulgulara ilişkin genel değerlendirmeler ve öneriler	64
8.2. Elektrikli Araçlarda Güç Aktarma Organlarının Enerji Verimliliği: Literatür Analizi ve Sürdürülebilir Çözümler.....	65
9. TARTIŞMA	68
9.1. Çok Hızlı Vites Kutularının Enerji Verimliliği Avantajları.....	69
9.2. Ticari Olarak Geliştirilen Çok Vitesli Şanzıman Tiplerine İlişkin Sonuçlar	69
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	85



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

P	: Güç (W)
μk	: Tork (Nm)
n	: Motor Devri (min^{-1})
ω	: Açısal Hız
Mg	: Brüt Ağırlık (Kg)
C_R	: Yuvarlanma Katsayısı
C_D	: Sürüklenme Katsayısı
ρ	: Hava Yoğunluğu (kg/m^3)
A_v	: Araç Ön Alanı (m^2)
f	: Frekans (Herz)
N_s	: Senkron hız (devir/dk)
P	: Kutup sayısı
r	: Pearson korelasyon katsayısını
a	: Sabit terim
e	: Regresyon katsayısı
b	: Hata terimi

KISALTMALAR

AMT	: Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman
AC	: Alternatif Akım
AT	: Tam Otomatik Şanzımanlar
CVT	: Sürekli Değişken Şanzıman
DC	: Doğru Akım
DSG/DCT	: Çift Kavramalı Şanzıman
EV	: Elektrikli Araç
EM	: Elektrikli Motor
EC	: Enerji Tüketimi
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
ECE	: Kentsel Sürüş Çevrimi
FTP-75	: Şehir Sürüşü
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araç
FD	: Nihai Tahrik
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
HWFET	: Otoban Sürüşü
IVT	: Sonsuz Değişken Şanzıman
I-AMT	: Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman
IM	: Asenkron Motor

İYM	: İçten Yanmalı Motor
LA-92	: Standart Sürüş Çevrimi
Li-S	: Lityum Sülfür
Li-AİR	: Lityum Hava
Li-İON	: Lityum İyon
MGT	: Manyetik Dişli Şanzıman
MQB	: Modularer Querbaukasten
MT	: Manuel Şanzıman
NEDC	: Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü
Nİ-MH	: Nikel Metal Hidrit
Nİ-CD	: Nikel Kadmiyum
Nİ-ZN	: Nikel Çinko
NA-NİCL	: Zebra Pili
PHEV	: Fişe Takılabilir Hibrit Araç
PMSM	: Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor
RMSE	: Ortalama Küresel Hata
SC	: Sistem Maliyeti
SUV	: Sportif Kullanımlı Araç
SR	: Sabit Oranlı Şanzıman
SRM	: Anahtarlama Relüktans Motor
TCO	: Sahip olma maliyeti
TOGG	: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
TCU	: Şanzıman Kontrol Ünitesi
UDDS	: Kentsel Dinamometre Sürüş Programı
ZN-AİR	: Çinko Hava
WLTC	: Dünya çapında uyumlu Hafif Hizmet Araçları Test Döngüleri

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. Çok vitesli çift kavramalı şanzıman verimliliği.....	34
Tablo 6.1. Elektrikli araçlara ait motor güçleri ve şanzıman tipleri.....	43
Tablo 8.1. Elektrikli araçlarda güç aktarma organlarının enerji verimliliği değerlendirmesine ilişkin analiz bulguları	52
Tablo 8.2. Farklı şanzımanlar arasındaki puanlama sistemi	56
Tablo 8.3. Performans (ivmelenme yeteneği) puan aralığı	56
Tablo 8.4. Elektrikli araçlarda şanzıman tipi, şanzıman ağırlık ve performans tablosu	57
Tablo 8.5. Şanzıman ağırlığına ilişkin puanlama aralıkları	57
Tablo 8.6. Korelasyon katsayıları arasındaki ilişki	58
Tablo 8.7. Enerji Verimliliği (x) ve Performans (y) puanlama değerleri ve toplamaları	59
Tablo 8.8. Enerji Verimliliği (x) ve Performans (y) değerlerinin hata karelerine ilişkin veriler.....	59
Tablo 8.9. Enerji Verimliliği (x) ve Şanzıman ağırlığı (z) puanlama değerleri	61
Tablo 8.10. Enerji Verimliliği (x) ve Şanzıman ağırlığı (z) hata karelerine ilişkin veriler.....	61
Tablo 8.11. Performans (y) ve Şanzıman ağırlığı (z) puanlama değerlerinin regrasyon analizi dağılımları.....	63
Tablo 8.12. Performans (y) ve Şanzıman ağırlığı (z) hata karelerine ilişkin veriler.....	63
Tablo 9.1. Elektrikli araçlar için geliştirilen çok vitesli şanzıman türleri	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektrikli araç yapısı (Birer.G.C., Nisan 2020).....	4
Şekil 3.1. En çok kullanılan elektrik motorları (Felden ve diğ. 2010).....	5
Şekil 3.2. Bir senkron elektrik motorunun verimlilik haritası (Zhang ve diğ. 2019).....	6
Şekil 3.3. Sabit mıknatıslı senkron motor (Recurdyn 2010).	7
Şekil 3.4. Audi üç fazlı asenkron motor (Sornioti ve diğ. 2011)	8
Şekil 3.5. Anahtarlama relüktans motor (Pazdera,J. 2011).....	9
Şekil 3.6. Elektrikli bir otomobildeki batarya yapısı (Shard.L. 2023)	11
Şekil 3.7. Lityum iyon batarya yapısı (Tichý.J. 2019).....	12
Şekil 3.8. Tesla model S pilinin konumu (Tesla t.y-a).....	14
Şekil 4.1. Altı tür EV konfigürasyonu (Park,G ve diğ. 2014).....	19
Şekil 4.2. Şanzıman ve debriyajlı tip (Chan, C.C. 2002)	19
Şekil 4.3. Debriyajsız tek vitesli tip (Chan, C.C. 2002).....	20
Şekil 4.4. Tahrik miline entegre tip (Chan, C.C. 2002)	20
Şekil 4.5. Tahrik tekerleri üzerinde dişli kutusu ve elektrik motorlu tip (Chan, C.C. 2002).....	21
Şekil 4.6. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip (Chan, C.C. 2002)	21
Şekil 4.7. Sabit dişli olmayan tekerlek tip (Chan, C.C. 2002)	22
Şekil 4.8. Protean drive sisteminin münferit parçaları (Protean 2024)	23
Şekil 4.9. E-aks (Al Think 2023)	24
Şekil 5.1. EV'da tek hızlı şanzıman (Ruan ve diğ. 2016b).....	26
Şekil 5.2. Sabit oranlı aktarım görseli (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a).....	27
Şekil 5.3. EV' de tek hızlı aktarımın torku ve hızı (Joshi ve Ugale, 2020)	28
Şekil 5.4. İki planet dişli şanzıman. (Joshi ve Ugale, 2020)	28
Şekil 5.6. EV'de iki hızlı şanzımanın tork ve hızı (Joshi ve Ugale, 2020).....	29
Şekil 5.7. İki vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a).....	30
Şekil 5.8. İki vitesli şanzıman verimlilik grafiği (Kwon ve diğ. 2021).....	31
Şekil 5.9. Üç vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a).....	32
Şekil 5.10. Dört vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a).....	32
Şekil 5.11. Islak kavrama sisteminde plaka aralanması (Rodrigues.C.D.P 2018)	35
Şekil 5.12. Sürekli değişken şanzıman şematik gösterimi (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)	35
Şekil 5.13. Toroidal CVT türleri (Yıldız, A. ve Kopmaz, O. 2014)	37

Şekil 5.14. Manuel şanzıman (MT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)	38
Şekil 5.15. Debriyajsız otomatikleştirilmiş şanzıman (AMT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021).....	39
Şekil 5.16. İki vitesli ters otomatikleştirilmiş manuel şanzıman (I-AMT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021).....	40
Şekil 5.17. Seri sonsuz değişken şanzıman (IVT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)	40
Şekil 5.18. Paralel sonsuz değişken şanzıman (IVT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)	41
Şekil 5.19. Koaksiyel manyetik dişli (Machado,F,A, ve diğ. 2021)	41
Şekil 5.20. Planet manyetik dişli (Machado,F,A, ve diğ. 2021)	42
Şekil 6.1. Tesla model S çift motor (Tesla t.y)	45
Şekil 6.2. Volkswagen E Golf (Electric Vehicle Database 2017).....	45
Şekil 6.3. Togg suv batarya yerleşimi görünümü (Togg 2019)	46
Şekil 6.4. Porsche taycan şasisi (Porsche t.y)	47
Şekil 6.5. Formula E (Carmagazine 2020).....	48
Şekil 7.1. Araç tipine bağlı olarak rejeneratif frenleme kullanılarak tasarruf edilen enerji yüzdesi araç (Woodford.C. 2022)	50
Şekil 7.2. Rejeneratif frenleme süreci (Tire Plus 2022).....	50
Şekil 8.1. Performans ve Enerji verimliliği arasındaki doğrusal regresyon analizi dağılımına ilişkin sonuçlar	60
Şekil 8.2. Enerji verimliliği ve şanzıman ağırlığı doğrusal regresyon analizi dağılımına ilişkin sonuçlar	62
Şekil 8.3. Performans ve Şanzıman ağırlığı arasındaki doğrusal regresyon dağılımına ilişkin sonuçlar	64
Şekil 8.4. Elektrikli araçlarda şanzıman özelliklerinin performans ve enerji tüketimine göre dağılımı.....	66
Şekil 8.5. Elektrikli araçlarda güç aktarma organları literatür araştırmalarının yıllara göre dağılımı.....	66

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ AKTARMA ORGANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İNCELENMESİ

ÖZET

Elektrikli araçların toplam binek araç satışları içindeki payının büyümesi gün geçtikçe artmaktadır ve 2030'a kadar çok büyük bir pazar segmenti olması beklenmektedir. Bununla birlikte daha yüksek aktarma organı maliyetleri sınırlı sürüş menzili, konfor, yüksek hız gibi bazı mevcut sınırlamalar elektrikli araç popülaritesini azaltmaktadır.

Bu çalışma içerisinde elektrikli araçların güç aktarma organındaki enerji verimliliğinin ne derece gerekli olduğu, elektrikli araçlarda kullanılan şanzıman çeşitleri ve çalışma prensipleri incelenmiştir. Aktarma organlarındaki enerji verimliliğinin daha iyi anlaşılması için, elektrik motorları ve bataryalar ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Enerji tüketimleri kapsamlı bir şekilde literatür değerlendirmesi ile kıyaslanarak, gelecekte üretilecek yeni tip elektrikli araçların bataryadan tekerleğe kadar olan bütün ekipmanlarında enerji tüketimini iyileştirmeyi hedeflemektedir.

Günümüzde elektrikli araçlarda yaygın olarak tercih edilen sabit dişli oranlı şanzıman sistemlerine alternatif çözümler üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. İncelenen literatür araştırmaları sonucunda elektrikli araçlarda şanzıman kullanımının enerji verimliliği açısından mutlak bir gereklilik taşımadığını, ancak optimize edilmiş vites sistemlerinin performans ve enerji kullanımında belirgin iyileşmeler sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle elektrik motorlarının karakteristik özelliklerine uyumlu olarak tasarlanacak yenilikçi şanzıman teknolojilerinin, menzil ve sürüş dinamiklerini artırarak enerji tasarrufunu kritik seviyelere getireceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, Enerji Tüketimi, Şanzıman

ENERGY EFFICIENCY INVESTIGATION OF POWER TRAINS OF ELECTRIC VEHICLES

ABSTRACT

The growth of the share of electric vehicles in total passenger vehicle sales is increasing day by day and is expected to become a very large segment by 2030. However, higher powertrain costs, limited driving range, comfort, high speed, such as some existing limitations reduce the popularity of electric vehicles.

In this study, the degree to which the energy efficiency of electric vehicles in the powertrain is necessary, the types of transmissions used in electric vehicles and their working principles were examined, and electric motors and batteries were discussed in detail in order to better understand the energy efficiency in the powertrain. By comparing the energy consumption with the literature evaluation in a comprehensive manner, it aims to improve the energy consumption in all the equipment from the battery to the wheel of the new types of electric vehicles to be produced in the future.

Today, studies on alternative solutions to fixed gear ratio transmission systems, which are widely preferred in electric vehicles, have attracted attention. As a result of the literature reviewed, it has been revealed that the use of gearboxes in electric vehicles is not an absolute necessity in terms of energy efficiency, but optimized transmission systems can provide significant improvements in performance and energy use. It is predicted that innovative transmission technologies, which will be designed especially in accordance with the characteristics of electric motors, will bring energy savings to critical levels by increasing range and driving dynamics.

Keywords: Electric Vehicle, Energy Consumption, Transmission

1. GİRİŞ

Sera gazlarının azaltılmasına ilişkin mevzuatın arttırılması gazlar ve daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş, elektrikli araçlar (EV' lar) için umut verici çözümler olarak görülmekte ve bu nedenle pazara daha hızlı bir şekilde tanıtılmaktadır. EV'ların popülaritesinin artması sonucu hava ve gürültü kirliliği azalacağı öngörülmektedir (Mosleuzzaman ve diğ., 2024). Günümüzde EV'ların sınırlayıcı özelliği ve pil teknolojisi sınırlamaları nedeniyle içten yanmalı motorlara (İYM'lara) göre menzilleri kısadır. EV'ların müşterilere ve çevreye uzun vadeli faydalarına rağmen, başlangıç maliyeti ve şarj başına yetersiz sürüş menzili, büyük ölçekli ticarileştirmenin önünde önemli engel teşkil etmektedir (Khaleel ve diğ., 2024). EV'ların geliştirilmesi için, güç aktarma organlarının rolü performans, genel sistem verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi temel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. EV'ların güç aktarma organının birincil işlevi, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektir. EV'ların büyük çoğunluğunda değiştirilebilir çok vitesli bir şanzımanla donatılmamıştır (Rodrigues, 2018). Mevcut araçların büyük kısmında ağırlıklı olarak tek vitesli redüktörler kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorların aksine, elektrik motorları (EM'ları) sıfır devirden itibaren maksimum torka sahiptir, bu da tahrik sistemini sıfır devirden itibaren maksimum çekme gücüne ulaştırdığı için kalkışta maksimum hızlanmaya izin vermektedir. Tersine, maksimum hız aralığında, elektrik motorları genellikle maksimum güce sahiptir ve teorik olarak yüksek hızlara olanak tanımaktadır. EM'ları belirli bir hızda farklı yüklerde farklı verimliliklere sahiptir. Bu nedenle, motoru optimum hız aralığında tutarak daha yüksek verimlilik ve aracın ilgili menzilini garanti etmek için bir dişli kutusu kullanılabilir (Ruan ve diğ., 2016b).

EV'larda şanzıman kullanarak aracın kullanılışını iyileştirmek de mümkündür. Günümüzdeki EV'ların çoğunluğunda motor devri tekerleklerle sadece sabit bir vitesle iletilirken, çok hızlı şanzıman kullanıldığında, kalkış sırasında tekerleklerde daha yüksek bir tork ve dolayısıyla daha yüksek hızlanma sağlamaktadır. Elektrikli araçlarda şanzıman kullanılmadığına dair yaygın bir genel kanı olmasına karşın, gerçekte çoğu modelde motor çıkışını tekerleklerle ileten en az bir temel aktarım mekanizması bulunmaktadır (Rodrigues, 2018). EV'lardaki şanzımanın sayısı, motor yerleşim planına göre değişmekte olup her tekerlek için bağımsız yerleşim planı uygulandığı zaman şanzıman sayısı dörde kadar arttırılabilmektedir. EV'larda şanzıman gerekliliği sebebi incelendiğinde, elektrik motorlarının performans optimizasyonunda tork karakteristikleri ve verim haritalarına dikkate edilmesi gerektiği görülmektedir. Elektrik motorlarının da İYM'lar gibi verim bölgeleri vardır ve motorun çalışma noktası yüksek verimli bölgelerde tutulduğunda enerji tüketim verimliliği artmakta ve bataryadan çekilen enerji

miktarı azalmaktadır. Özellikle elektrokimyasal pillerin enerji yoğunluğu bakımından fosil yakıtlarla kıyaslanabilir olmadığı durumlarda, güç aktarım mekanizması verimliliğini artırmak için mümkün olan her yolu takip etmek gerekir (Ruan ve diğ., 2016a). Yüksek kapasiteli elektrikli araçlarda batarya sistemleri, hem üretim maliyetlerinin yaklaşık %40-50'sini kapsaması hem de toplam kütlenin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Elektrikli araçlarda şanzıman kullanımı enerji verimliliğini arttırdığı için daha küçük batarya kullanılmasına neden olur ve bu durum üretim maliyetlerinde düşüş sağlayarak ekonomik avantaj yaratmakta hem de araç kütlesinin azaltılmasına neden olmaktadır. (Yang ve diğ., 2020). Elektrikli araçlarda çok hızlı şanzımanların kullanılması, motorun çalışma verimliliğini artırmayı ve sürüş performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Nicola ve diğ., 2016). Farklı şanzıman modellerinin ekonomik performansları, tasarım özellikleri ve uygulama alanlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, tüm şanzıman sistemlerinin aynı düzeyde ekonomik avantaj sağlamasının mümkün olmadığı da unutulmamalıdır.

EV' ların enerji tüketimini azaltmak için Bottiglione ve diğ. (2014), tarafından sonsuz değişken bir (IVT) şanzıman önerilmiştir. Morozov ve diğ. (2014), tarafından dinamik ve ekonomik performansı artırmak için optimize edilmiş iki vitesli otomatik şanzıman, elektrikli ticari minibüse entegre edilmiştir. Spanoudakis ve diğ. (2019), özel yapım iki vitesli şanzıman ile tek kademeli şanzımanın prototip bir araç üzerinde deneysel olarak karşılaştırmasını yapmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar neticesinde tek kademeli şanzımana oranla iki vitesli şanzımanın performansı farklı hız ve vites değişimi etkisinde %3,8'e kadar daha az düşük enerji tüketimi sağladığı görülmüştür. Ruan ve diğ. (2016b), tarafından 2, 3, 4 vitesli ve sürekli değişken (CVT) şanzımanların genel enerji tüketimini, sürüş çevrimlerine bağlı olarak %5-12 oranında enerji verimliliği sağladığı, simülasyon modeline dayalı bir sonuç olarak sunulmuştur. Hinov ve diğ. (2021), tarafından EV' larda şanzıman yapılandırmasının dişli oranı ve dişli sayıları açısından sürüş enerjisi tüketimi üzerindeki etkisi incelenmesi neticesinde, tek ve çift vitesli şanzımanla ilgili simülasyon sonuçlarına göre, çift vitesli bir şanzımanın %2,3 ile %2,9 aralığında enerji verimliliği sağladığı sonucuna varılmıştır. He ve diğ. (2023), tarafından iki vitesli DCT ile tek vitesli elektrikli araçların performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, iki vitesli şanzıman ile donatılmış araçta, motorun dönüş hızı vites değiştirerek ayarlanabilir olduğundan, bu da motorun sürüş modunda daha aktif çalışmasını sağlamıştır; böylece EV' ta daha iyi ekonomik performans elde edildiği gösterilmiştir.

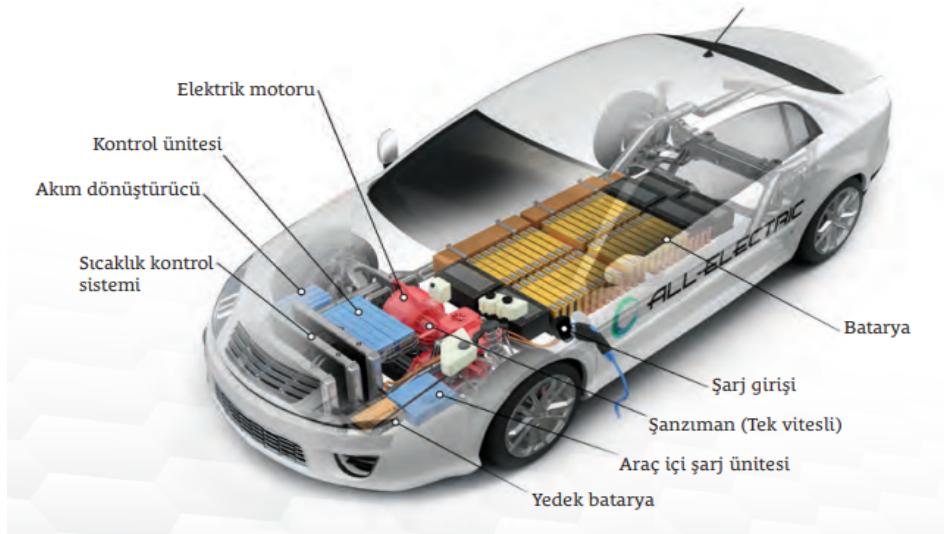
Bunlar, EV' da çok hızlı şanzıman eklemenin geliştirilmiş ekonomisini değerlendiren mevcut literatürün bir kısmını oluşturmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan şanzıman sistemlerinin

ekonomik avantajları, tasarım parametreleri, tüm modellerinde benzer maliyet optimizasyonu sağlaması teknik olarak mümkün değildir. Bu çalışmada, elektrikli araçların motor verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için EV modellerinde yaygınlaşması mümkün olan şanzıman tiplerinin incelenmesi amaçlanmıştır. EV’larda alternatif şanzıman kullanımına ilişkin mevcut son teknoloji olarak iki vitesli DCT, tek vitesli sabit oranlı (SR) ve CVT şanzıman kullanarak yapılan araştırmaların literatür taramasını içermektedir. Farklı EV aktarma organları konfigürasyonları, çok hızlı bir şanzıman kullanmanın sonuçları, enerji tüketimi ve farklı vites değiştirme hızının akü enerjisi üzerindeki etkisini, araç yol testine tutularak çıkan simülasyon sonuçları incelenerek sunulmaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, elektrikli araç tahrik sistemlerinde mevcut ve gelecek vaat eden aktarma organlarının enerji verimliliği ve performans parametreleri üzerinden kıyaslanmasıdır. Bu çalışma içerisinde, elektrikli araçlarda kullanılan ve yaygınlaşması mümkün olan güç aktarma organlarının incelenmesi ve birbirleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. EV teknolojisinde kullanılan mevcut güç aktarma sistemlerinin ve önemli ilerlemelerin kaydedildiği yeni güç aktarma sistemlerinin sağladığı avantajlar vurgulanmaktadır. Elektrikli araçlarda güç aktarma organı kullanım zorunluluğuna bakıldığında, elektrik motorların tork bölgelerine ve verimlilik alanlarına göre değerlendirilmesi gerektirdiği görülmektedir. Başlıca amaç, mevcut EV güç aktarma organları teknolojisine genel bir bakış sağlamak ve bu sektörde gelecekte yapılacak araştırmalara yardımcı olmaktır. Yapılan bu araştırmalar, yeni üretilecek EV’ların güç aktarma organlarında enerji verimliliği sağlanması neticesinde daha uzun menzil ve sürüş konforu ile daha ekonomik bir duruma getireceği düşünülmektedir.

2. GÜÇ AKTARMA ORGANLARI YAPISI

Modern EV'ların güç aktarma organları, geleneksel İYM'ların güç aktarma organlarının yalnızca özelleştirilmiş bir versiyonudur. İçten yanmalı motor ve yakıt tankı bir elektrikli tahrik ünitesi ve batarya ile değiştirilirken, elektrikli bir otomobil için tamamen uygun olan diğer tüm sistemler orijinal mimarileri korunarak kullanıma devam etmektedir. (Ehsani ve diğ., 2018). EV'ların güç aktarma organları İYM'lar ile geleneksel otomobillerle karşılaştırıldığında, Şekil 2.1 de gösterildiği gibi ünitelerin yerleşimleri açısından daha esneklerdir. Bu esneklik, EV'lara özgü çeşitli faktörler sayesinde mümkündür. Enerjinin tamamı geleneksel arabaların mekanik parçalarından farklı olarak düzenlemeleri sınırlı olmayan konfigürasyonlara kolayca uyarlanabilen kablolar aracılığıyla aktarılır. Diğer bir fark, enerji kaynağının bataryada depolanabilir olmasıdır. Enerji kaynağı olarak günümüzdeki içten yanmalı motorların aksine, klasik kurşun-asit akülerden, şu anda en yaygın olarak kullanılan lityum-iyon akülere kadar geniş bir yelpazede akülerin kullanılabilmesi mümkündür (Chan, 2002). EV'ların güç aktarım sistemi, elektrik ve mekanik alt sistemin birleşiminden oluşmaktadır. Elektrik sistemi, bir veya daha fazla elektrik motoruna güç sağlamak için pillerden gelen enerjiyi kullanır. Şanzıman araçlarda önemli bir bileşendir, ana işlevi gücü motordan tekerleklere iletmektir, motor devrini torka dönüştürerek aracın performans gerekliliklerinin karşılanmasını sağlar. Çok çeşitli şanzıman konfigürasyonları vardır, bunlar manuel, otomatik, sürekli değişken şanzıman daha da alt bölümlere ayrılabilir. Şanzımanda yaygın olarak bulunan başlıca bileşenleri debriyaj, şanzıman, diferansiyel ve tahrik mili olarak belirtmek mümkündür (Frivaldský ve diğ., 2019).

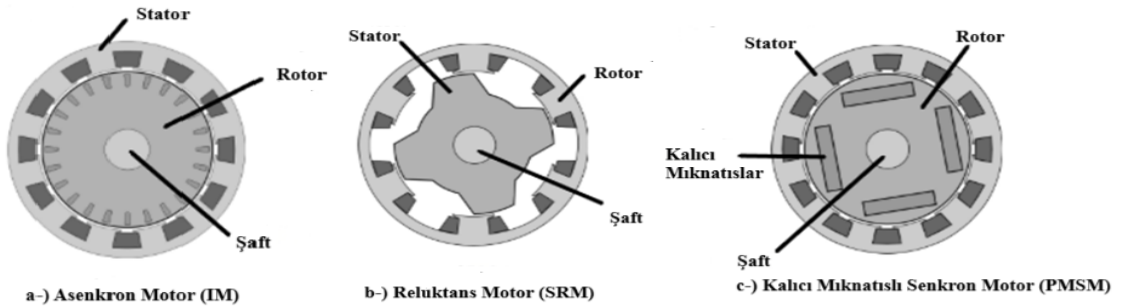


Şekil 2.1. Elektrikli araç yapısı (Birer.G.C., Nisan 2020)

3. ELEKTRİK ALT SİSTEMİ

3.1. Elektrik Motoru (EM)

Tamamen EV'ların ve hatta hibrit elektrikli araçların (HEV'ların) birçok farklı çeşidi olmasına rağmen, her birindeki temel bileşen elektrik motorudur. Bataryadan çıkan elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürüldüğü bileşendir. EM'ları tork ve güç özellikleri bakımından İYM'lerden farklıdır, temel fark elektrik motorunun sıfır hızdan itibaren maksimum tork sağlayabilmesidir. EM'ları geleneksel yanmalı motorlardan farklı olarak, mekanik hareket oluşturmak için elektromanyetik olayları kullanan elektrikli bir cihazdır. EM'nun en büyük avantajı, yalnızca birbiriyle etkileşen iki elemandan oluşan çok basit bir cihaz olmasıdır. Kullanılan elemanlar stator ve rotordur. EV'larda motor araç yavaşlarken jeneratör gibi görev yapar ve aracın kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanır. Araç frenlenirken ve yavaşlarken geri kazanım prensibi olarak rejeneratif frenleme uygulanır ve bu durumda enerji aküye geri döndürülerek yeniden şarj edilmesine olanak tanır. Elektrikli araçlarda kullanılan EM' lar ise yüksek bir hız aralığı sunar ve bu nedenle başlangıçtan maksimum hıza kadar tekerleklere hareket iletiminde tek bir dişli (redüksiyon dişlisi) yeterli olmaktadır(Hughes ve Drury, 2019). EM'ları sağlanan akımın türüne göre doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olarak birkaç kategoriye ayrılabilir. AC motorlar ayrıca senkron ve asenkron (İndüksiyon) olarak ikiye ayrılır (Doležel,R., 2016).



Şekil 3.1. En çok kullanılan elektrik motorları (Felden ve diğ. 2010)

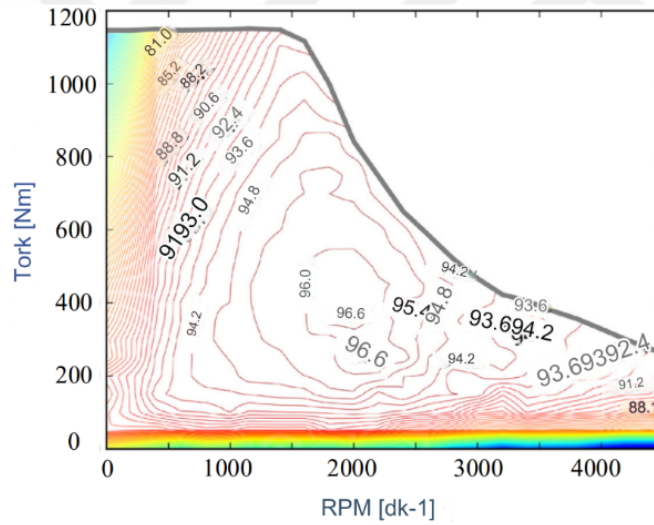
(a) asenkron motor (b) relüktans motor (c) kalıcı mıknatıslı senkron motor

Elektrikli otomobillerde çoğunlukla Şekil 3.1'de gösterilen motorlar kullanılmaktadır. Bu tip motorlarla ilgili sorun, kalıcı mıknatısların sınırlı sayıda olmasıdır. Kalıcı mıknatıs içermeyen ve şu anda en gelişmiş olan asenkron ve relüktans motorlar çözüm olarak düşünülmektedir (Nikowitz, 2016).

Bir EM'nun ortalama verimliliği, genellikle %75-90'dır. Elektrik motorunun türüne bağlı olarak, asenkron motorlara göre senkron motorlar tarafından daha yüksek değerler elde edilir (Renault Group, 2021). EM'ları sağlayan elektrik enerjisini kullanarak hareketli rotor üzerinde bir kuvvet oluşturur. Manyetik alan vasıtasıyla hareket eden ve etmeyen parçalar arasındaki güç ve tork ilişkisi Denklem (3.1) ile açıklanmaktadır.

$$P = \mu k \omega = \mu k 2\pi \frac{n}{60} \quad (3.1)$$

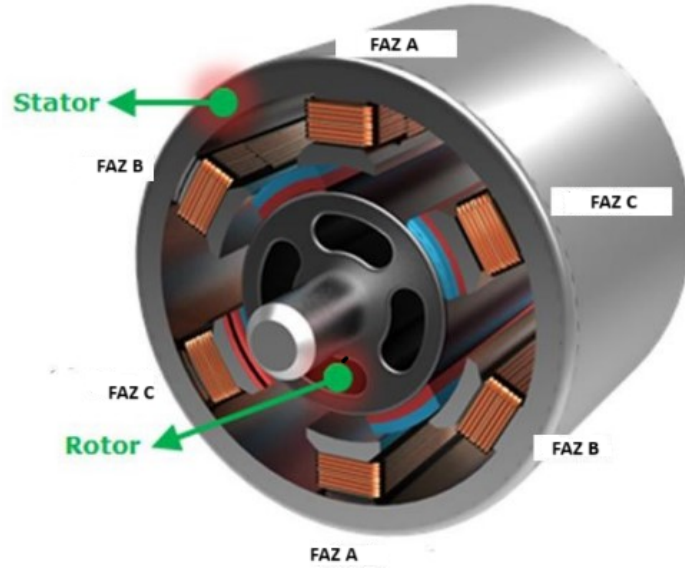
Bu denklemde P güç [W], μk Tork [Nm] ve n Elektrik motorunun hızıdır [dakika^{-1}]. Elektrik motorlarında hıza ve torka bağlı olarak farklı verimlilik değerlerine ulaşılabilir. Elektrik enerjisinin verimli kullanımı açısından, elektrik motorunun daha yüksek verimliliğe sahip alanlarda ideal şekilde çalıştırılması avantajlıdır. Zhang ve diğ. (2019), tarafından senkron motorla yapılan deney sonucunda motorun verimlilik değerleri Şekil 3.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Deneysel olarak ölçüm sonuçlarına göre senkron motorun 2000 min^{-1} devirde ve yaklaşık 360 Nm torkta %96,6'lık pik verimliliği elde edilmektedir.



Şekil 3.2. Bir senkron elektrik motorunun verimlilik haritası (Zhang ve diğ. 2019)

3.1.1. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar (PMSM)

Günümüzde EV sürücülerinde kullanılan kalıcı mıknatıslı senkron motorlar (PMSM) en yaygın elektrik motoru türleri arasındadır. Senkron motorlar çoğunlukla rotorun yüzeyine veya içine yerleştirilen kalıcı mıknatıslarla birlikte kullanılmaktadır (Chan, 2002). Bu motorlar adından da anlaşılacağı gibi rotor ve statorun senkron hareketi ile karakterize edilir. Manyetik alan oluşturmak için sabit bir akım kaynağı gerektiren alan sargısı ve rotor içerir. Stator ise alternatif voltaj altında bir manyetik alan üreten, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi üç fazlı bir sargının yerleştirildiği tabakalardan oluşmaktadır (Ehsani ve diğ., 2018).



Şekil 3.3. Sabit mıknatıslı senkron motor (Recurdyn 2010).

Senkron motorun manyetik alan hızı Denklem (3.2) ile açıklanmaktadır. Bu denklemde N_s , Manyetik alan hızı [devir/dakika] P , Kutup sayısı, f , frekans [Hertz]'dir.

$$N_s = \frac{120.f}{P} \quad (3.2)$$

Senkron motor, rotoru manyetik alanla aynı hızda dönen bir AC motor türüdür. Statorun manyetik alanı, senkron hızı olarak bilinen besleme frekansına bağlı bir hızda döner. Bu nedenle senkron motor adı verilmiştir. Senkron motorun rotoru, sağlanan akımın frekansı ile senkronize edilir. Senkron motorun çalışma prensibi; Alternatif üç fazlı akımın yardımıyla statorda dönen bir manyetik alan oluşturulur. Kalıcı mıknatısların neden olduğu rotorun sabit manyetik alanı, statorun indüklenen alanıyla etkileşime girer ve böylece motor döner. Bu tip bir motoru çalıştırmak için genellikle endüksiyon motorlarının ana parçası olan başlatma kafesi adı verilen bir kafes kullanılır (Emadi , 2017).

3.1.2. Asenkron motorlar (IM)

Asenkron motor (IM) 1882 yılında Nicola Tesla tarafından icat edilmiştir. Asenkron motorlar, yaygın olarak endüksiyon motorları olarak bilinir, çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir elektrik motoru türüdür. Elektromanyetik endüksiyon prensibiyle çalışırlar. Bu motorlarda, invertör olmadan alternatif akım beslemenin ve sabit devir sağlamanın mümkün olması nedeniyle endüstrinin tüm alanlarında popülaritesine katkıda bulunmaktadır. Elektrikli otomobillerde dönüş hızını değiştirmek için bir invertör kullanılır.

Asenkron motor Şekil 3.4'te görüldüğü gibi üç fazlı bir statordan oluşmaktadır (Doležel,R., 2016).

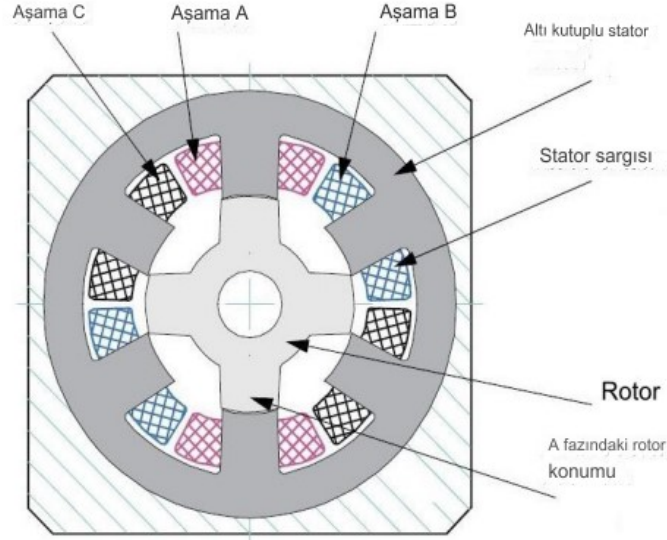


Şekil 3.4. Audi üç fazlı asenkron motor (Sornioti ve diğ. 2011)

Asenkron motorların çalışma prensibi, üç fazlı alternatif akımın stator sargılarına uygulanmasıyla başlar. Stator sargıları, birbirinden 120° faz farklı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu sargılara alternatif gerilim uygulandığında, stator etrafında döner manyetik alan oluşur. Bu döner alan, rotor iletkenlerinde (kafes tipi veya sargılı rotor) Faraday indüksiyon prensibi ile alternatif gerilim indükler. Rotor iletkenleri kısa devre olduğundan, indüklenen gerilim rotor üzerinde akım oluşturur. Bu akımların ürettiği rotor manyetik alanı, statorun döner alanı ile etkileşerek elektromanyetik tork meydana getirir. Oluşan tork, rotorun senkron hızdan daha düşük bir hızda (bu nedenle 'asenكرون' terimi kullanılır) dönmesini sağlar (Ehsani ve diğ., 2018).

3.1.3. Anahtarlamalı relüktans motoru (SRM)

Elektrikli otomobillerde kullanım için umut vaat eden bir diğer aday da relüktans motorudur (SRM'dur). Adından da anlaşılacağı gibi çalışma prensibi olarak manyetik direnci, yani isteksizliği kullanır (Suppharangsarn ve Wang. 2012). Relüktans motorun temel avantajları arasında basit bir tasarım, düşük üretim maliyetleri, geniş hız aralığı ve mükemmel performans sayılabilir. Relüktans motorunu elektrikli araçlarda kullanım için uygun bir aday yapan da bu özelliklerdir. Fakat dezavantajları arasında daha yüksek gürültü ve stator üzerindeki sargıların doğru şekilde beslenmesi için bir invertörün kullanılması yer almaktadır (Hashemnia ve Asaei, 2008).



Şekil 3.5. Anahtarlamalı relüktans motor (Pazdera, J. 2011)

Şekil 3.5’ te de görüldüğü gibi diğer motor türlerinden oldukça farklıdır, çünkü rotor herhangi bir uyarma sargıları veya kalıcı mıknatıslar ile uygun şekilde şekillendirilmemiştir. Akım stator üzerindeki üç fazlı bir sargıdan akar ve bu sargı manyetik akı stator kutbunda ve bitişik rotor kutbunda indüklenir (Patil ve Dhamal, 2019).

Relüktans motorun çalışma prensibi; Anahtarlamalı relüktans motor, geleneksel senkron motor versiyonundan farklı olarak hem rotor hem de stator üzerinde belirgin kutuplara sahiptir. Statorun her kutbunda bir sargı bulunurken, rotorda herhangi bir sargı veya kalıcı mıknatıs yoktur. Statorun karşılık gelen kutuplarına bir akım verildiğinde rotor üzerinde bir manyetik alan oluşur. Daha sonra rotor mümkün olan en az manyetik direncin olduğu yere ulaşmaya çalışır ve böylece döner. Daha sonra stator üzerindeki diğer kutuplara akım gönderilir ve bu işlem tekrarlanır (Hashemnia ve Asaei, 2008 ; Zhu ve Howe, 2008).

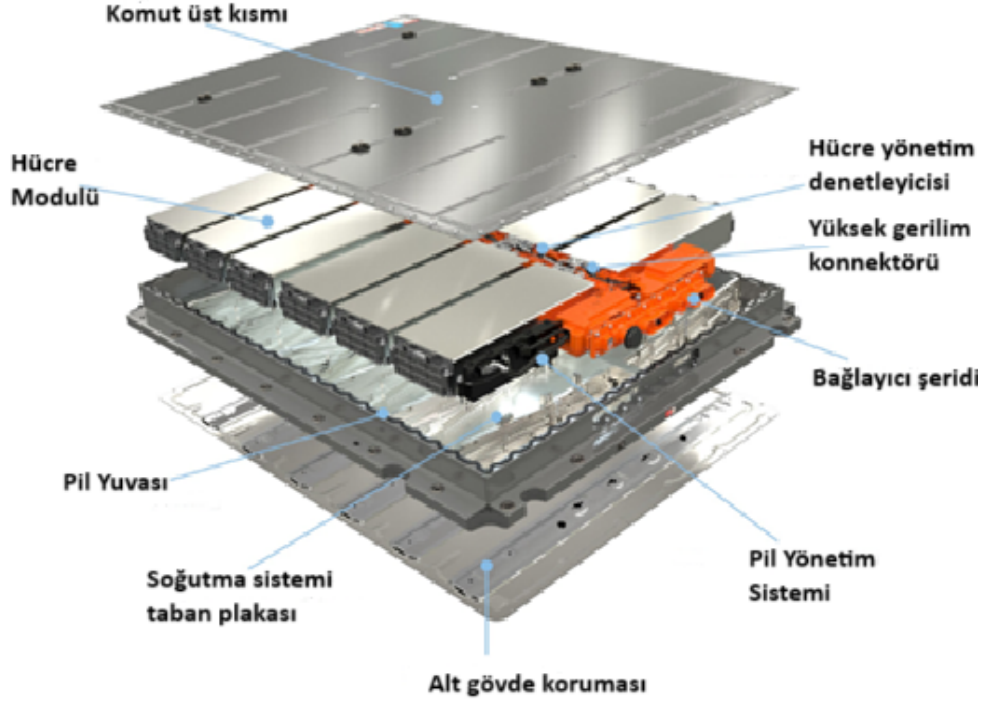
3.1.4. Elektrik motorlarının karşılaştırılması

Elektrik motorları elektrikli bir otomobilin en önemli bir parçasıdır; diğer yandan, basit tasarımları sayesinde pillerin aksine muhtemelen büyük bir gelişme görmeyeceği düşünülmektedir. Elektrikli otomobillerde çoğunlukla, iletilen tork ile verimlilik arasında ideal bir oran sunan, kalıcı mıknatıslı senkron motorları kullanılmaktadır. Bu motorlardaki temel sorun ve başka çözüm aramaların nedeni pahalı kalıcı mıknatısların kullanılması gereğidir. Şu anda mümkün olan tek alternatif asenkron motorlardır. Diğer bir seçenek olarak özellikleri ve kullanım alanı sayesinde, elektrik motorlarının yerini alma potansiyeline sahip olan relüktans motorlarının kullanılması mümkün olabilir.

3.2. Batarya

Elektrikle çalışan otomobillere yönelik pil teknolojisi son yıllarda hızla gelişmektedir. Batarya teknolojisi, EV'ların performansında ve uygulanabilirliğinde çok önemli bir rol oynamaktadır. EV'ların menzili, şarj hızı ve genel verimliliği büyük ölçüde kullandıkları batarya sistemlerinin özelliklerine bağlıdır. Elektrikle çalışan araçlara olan talebin artmasıyla birlikte, enerji gereksinimlerini karşılamak için yeni pil teknolojilerine yönelik çalışmalar artmaktadır. Bunlar Nikel metal hidrit (Ni-Mh), Nikel kadmiyum (Ni-Cd), Lityum iyon, ve lityum kükürt (Li-S) pilleri içerir. Bu teknolojilerin her birinin kendi engellerinin yanı sıra avantajları ve dezavantajları da vardır. Lityum-iyon piller, yüksek güç yoğunluğu, uzun çevrim ömrü ve geniş bir sıcaklık aralığında tam genel performans sağlar. Ayrıca hızlı şarj ve deşarj olma özelliğine sahiptirler. Fakat fiyatları yüksektir ve farklı akü teknolojilerine göre daha yüksek oran kapasiteye gereksinim duymaktadır. Üstelik lityum iyon piller zamanla bozulmaya eğilimlidir, bu da onları yüksek çevrim ömrü gerektiren paketler için uygunsuz hale getirmektedir. Nikel metal hidrit piller, lityum iyon pillere göre daha düşük güç yoğunluğuna sahip olsa da bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Ni-Mh piller ayrıca hızlı şarj ve deşarj olma özelliğine de sahiptirler ve güç yoğunluğu lityum iyon pillere göre çok daha düşüktür. Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğuna ulaşmaları, dolayısıyla daha fazla enerji depolayabilmeleri ve böylece daha uzun bir menzil sağlayabilmeleri nedeniyle elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan batarya türüdür. Ayrıca diğer birçok aküye göre daha ekonomiktir. Günümüzde pillerin tüm eksikliklere rağmen elektrikli otomobiller için ana enerji kaynağı olacağı varsayılmaktadır. Piller pek çok farklı malzemeden üretilmektedir ve bunların geliştirilmesi, tüm elektrikli otomobil konseptinin geleceği açısından önemli bir noktadadır (Chan, 2002).

Bataryalar Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bir dizi modülden oluşur ve bunlar da hücrelerden meydana gelir. Tüm batarya sisteminde, batarya hücresi en küçük birimdir. Modern aküler telefonlardaki bataryalara benzeyen cep modüllerinden oluşmaktadır. Modüllerin avantajı daha kolay kurulum ve arıza durumunda yalnızca bir hasarlı modülün değiştirilmesidir. Her bir elektrikli otomobilin aküsünün kimyasal yapısı sıkı bir şekilde korunan bir sırdır, ancak bugün üretilen elektrikli araç akülerinin çoğu lityum iyon ve lityum polimer bazlıdır. Ana bileşenleri çelik, alüminyum, lityum, manganez, kobalt, nikel ve grafitir (Subscribe to Times, 2024).



Şekil 3.6. Elektrikli bir otomobildeki batarya yapısı (Shard.L. 2023)

Pillerin geliştirilmesinde pilin mümkün olan en uzun süre dayanması, kısa sürede şarj olması ve en yüksek enerji yoğunluğunu elde etme çabası vardır. Bahsi geçen enerji yoğunluğu, mevcut pillerin en büyük sorunu olmaya devam etmektedir, bu nedenle elektrikli otomobiller çok ağır ve büyük piller taşımak zorunda kalmaktadır (Nikowitz, 2016).

Piller aynı zamanda aracın nihai sürüş özellikleri üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir, çünkü elektrikli araçların çok ağır bir bileşenidir. Örnek verecek olursak yaklaşık 400 veya 500 km menzile sahip bir Tesla Model 3 yaklaşık 500 kilogram ağırlığında bir bataryaya sahiptir, bu yüksek ağırlık sürüş özelliklerini olumsuz etkiler, bu etki akünün araç içinde mümkün olduğunca alçak bir yere yerleştirilmesiyle bir dereceye kadar azaltılabilir, böylece ağırlık merkezini azaltır. Aracın düşük ağırlık merkezi, daha iyi viraj alma davranışı ile sonuçlanır. Elektrikli araçların toplam gövde ağırlığı, alüminyum ve kompozit malzemeler veya yüksek mukavemetli çelikler kullanılarak azaltılmaya çalışılmaktadır (Devinn, 2019).

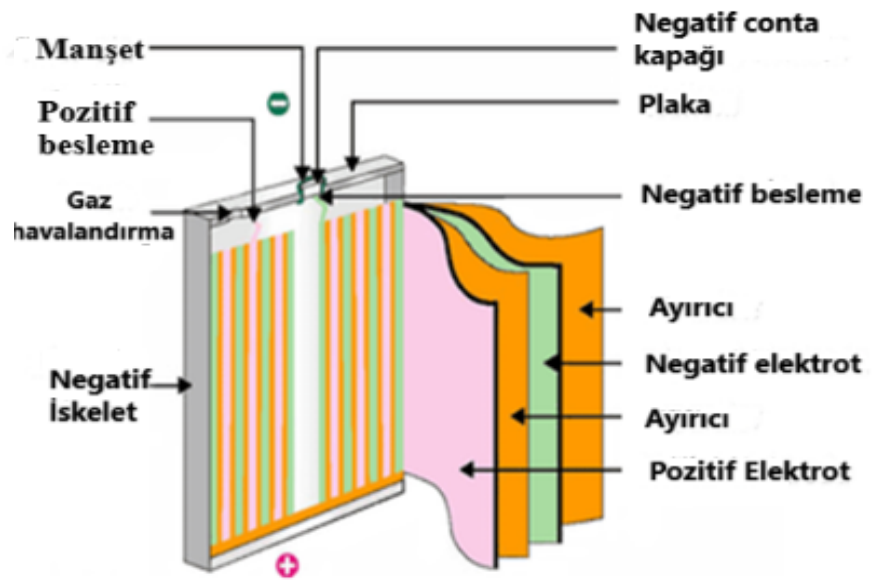
Literatürdeki güncel çalışmalar, yüksek enerji yoğunluğu ve performans potansiyeli nedeniyle araştırma-geliştirme aşamasında olan bazı pil teknolojilerini öne çıkarmaktadır. Gelişmekte olan batarya teknolojileri arasında Lityum-Sülfür (Li-S), Çinko-Hava (Zn-air) ve Lityum-Hava (Li-air) gibi alternatif enerji depolama sistemleri öne çıkmaktadır. Özellikle Li-S pilleri, lityumun elektrokimyasal özellikleri ile kükürtün yüksek kullanılabilirlik ve düşük maliyet avantajını birleştirerek, 400-600 Wh/kg aralığındaki spesifik enerji değerleriyle mevcut lityum-

iyon bataryaların enerji kapasitesini belirgin şekilde aşmaktadır. Ancak söz konusu batarya teknolojisinde yaygın kullanımı, hızlı kapasite kaybı ve sınırlı döngü ömrü gibi teknik sorunlarıyla karşı karşıyadır. (Kolosnitsyn ve Karaseva, 2008).

Elektrikli araçlarda yeni nesil enerji depolama çözümleri arasında Çinko-Hava (Zn-air) bataryalar, lityum-iyon sistemlere kıyasla teorik olarak 5-10 kat daha yüksek spesifik enerji kapasitesi (1000-1086 Wh/kg) sunarak öne çıkmaktadır. Mevcut Çinko-Hava akünün en büyük dezavantajları düşük güç yoğunluğu ve kısa ömürlü olmasıdır. Lityum-Hava pilleri günümüzde geliştirilme aşamasındadır ve henüz ticarileştirilmemiştir (Christensen ve diğ., 2012 Elektrikli araçların menzile performansını artırma hedefiyle, Lityum-Hava (Li-air) batarya sistemleri üzerine yoğunlaşan araştırmalar öne çıkmaktadır. (Yong ve diğ., 2015). Yukarıda bahsedilen pil çeşitlerinin detaylı olarak incelenmesi aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Lityum-iyon piller

Lityum pil, birçok şarj edilebilir pil türünden biridir. Bu tip piller, deşarj sırasında lityum iyonlarının anottan katoda ve şarj sırasında da tam tersi şekilde katottan anota taşınması prensibiyle çalışır. Lityum iyon pilin elemanları Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Lityum iyon batarya yapısı (Tichý.J. 2019)

Benzersiz özellikleri nedeniyle lityum piller, tüm taşınabilir elektronik cihazlarda özel enerji kaynağı olarak kullanılır. Temel özellikleri ve ana avantajları şunlardır: düşük çevresel etki, geri dönüşüm olasılığı, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek nominal voltaj ve son olarak düşük maliyete sahip olmasıdır. Diğer bir avantaj ise diğer akümülatör türlerine göre kendi kendine

deşarjın daha düşük olması ve düşük hafıza etkisi sayesinde pilin her durumunda yeniden şarj edebilme yeteneğidir. Tüm bu özellikler, lityum teknolojisinin elektrikli otomobil için en yaygın ve en uygun teknoloji olmasına katkıda bulunmaktadır (Hannan ve diğ., 2018).

Devam eden tüm araştırma ve geliştirmelere rağmen lityum teknolojisi henüz çözülmemiş çeşitli sorunlarla karşı karşıyadır. Elektrikli otomobillerde kullanılan büyük bataryaların temel sorunları arasında güvenlik, servis ömrü ve uygun çalışma sıcaklığının korunması gibi sebepler vardır. Lityum-İyon pillerin performansı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bu tür piller, uygun olmayan sıcaklıklara maruz kaldığında kalıcı olarak hasarlar görülebilir ve bu nedenle uygun şekilde kullanılması gerekir (Ranawat ve Prasad, 2018). EV’larda kullanılan akü kontrol ünitesi (ECU) ve soğutma sistemi, batarya sıcaklığının doğru kullanılmasını sağlar. Lityum-iyon piller 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ve 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda şarj edilemez, hızlı ve kalıcı hasarlar oluşur. Lityum iyon bataryaların sıcaklığını istenilen seviyede tutmak için birçok araştırmacı yeni metotlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Lityum-iyon bataryaların performans, güvenlik ve ömür parametrelerini optimize etmek için termal yönetim sistemleri kritik önem taşır. Bu kapsamda, bataryaların ideal termal çalışma aralığında ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) kalmasını sağlamak üzere, Hava akışıyla aktif soğutma/ısıtma döngüleri, soğutucu sıvı kanalları (glikol/refrijeran) ile ısı transferi, Termodinamik Isı Pompaları, Evaporatif faz Değişimli Soğutma sistemleri olmak üzere dört temel sistem endüstride yaygınlık kazanmıştır. Elektrikli araçlarda bu sistemler, pil ömrünü uzatmanın yanı sıra güvenlik, anlık güç çıkışı ve hızlı şarj performansı üzerinde de kritik rol oynar (Gerlitz. ve diğ., 2021).

Pilin yeri, boyutu ve ağırlığı nedeniyle doğru yerleştirilmeside çok önemlidir. Potansiyel risk nedeniyle pil yolcuların hemen yakınında olmamalıdır. Diğer bir kriter ise ağır akünün aracın sürüş özellikleri üzerindeki etkisidir ve bu nedenle ağırlık merkezinin mümkün olduğu kadar aşağıda kalması için aküyü mümkün olduğu kadar aşağıya yerleştirmek en uygunudur (Ranawat ve Prasad, 2018). Şekil 3.8’de gösterildiği gibi şaside saklamanın en uygun yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Bu yerleşim, pilin değiştirilmesi durumunda kullanılabilir olması ve soğutma için uygun hava sirkülasyonunun gerekli olması gibi ek avantajlara sahiptir. Güvenlik açısından bakıldığında, batarya olası bir kazanın tehlikeli bölgelerinde bulunmadığından, şaside saklamanın en uygun olduğu görülmektedir. Diğer pil yerleştirme seçenekleri arabanın önünde veya arkasında ya da orta kısmındadır (Arora ve diğ., 2016).



Şekil 3.8. Tesla model S pilinin konumu (Tesla t.y-a)

Lityum iyon piller kullanım ömürleri ve şarj oranları, menzilleri ve güvenilirlikleri gibi nedenlerden dolayı geliştirilmesi gerekmektedir (Sun ve diğ., 2020). Lityum-iyon bataryaların güvenlik risk profili incelendiğinde, başlıca arıza modları elektriksel aşırı yüklenme, elektrolit bozunumuna bağlı kimyasal reaktivite ve termal kaçak sonucu tetiklenen zincirleme eksotermik reaksiyonlar olarak sınıflandırılabilir. Bu tehlikelerden dolayı, Lityum-iyon bataryaların güvenlik riskleri bağlamında, elektrolit stabilizasyonu ve katot/anot ara yüzey gibi malzeme bilimi odaklı çalışmalar yoğunlaşmakta olup, bu sistemlerin endüstriyel ölçekte ticarileştirilebilmesi için optimizasyon kritik önem taşımaktadır. (Grey ve Tarascon, 2016 ; Gerlitz. ve diğ., 2021).

3.2.2. Kurşun asit piller

Kurşun-asit aküler, yüzyılı aşkın süredir büyük bir popülerliğe sahiptir ancak birçok yönden güç kaybetmektedir. Lityum ve Nikel pillerle karşılaştırıldığında, birincil elektrik kaynağı olarak kullanılmazlar. Bu piller kurşun bazlı elektrotlardan oluşur ve elektrolit olarak seyreltik sülfürik asitten yararlanılır. Başlıca avantajları ileri teknoloji, nispeten yüksek performans ve düşük fiyattır. Hibrit ve konvansiyonel otomobillerde kullanımı cazip kılan, yüksek güç sağlama yeteneğidir, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Frivaldský ve diğ., 2019). Öte yandan, dezavantajları ise zehirli kurşun, pozitif aksamın korozyona uğraması, koroziyon asit, düşük enerji yoğunluğu ve bu nedenle boyutları büyük ve ağırlıkları fazladır. Kurşun-asit batarya sistemleri, düşük hız ve sınırlı menzil gereksinimlerinin kritik olmadığı uygulama alanlarında (golf arabaları, elektrikli tekerlekli sandalyeler, depo içi forklift araçları) halen yaygın kullanımını sürdürmektedir. Ancak bu teknolojinin düşük spesifik enerji yoğunluğu (30-50 Wh/kg), yüksek kütle/enerji oranı ve dar termal çalışma aralığı (-20°C ile +50°C), modern elektrikli araçlarda yüksek güç yoğunluğu, hızlı şarj/deşarj kapasitesi ve termal stabilite gibi uyumsuzluk göstermesinden dolayı EV’larda kullanılması uygun değildir (Mohammadı ve Mehrdad, 2023).

3.2.3. Nikel piller

Nikel piller kurşuna göre daha hafif bir malzeme olup elektro kimyasal özellikleri nedeniyle enerji depolama alanında kullanıma uygundur. Nikel temelli elektrokimyasal enerji depolama sistemleri, başlıca üç kategoride incelenebilir: Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar, yüksek döngü ömrü ve düşük iç direnç avantajıyla endüstriyel uygulamalarda; Nikel-Metal Hidrit (Ni-MH) sistemleri, daha yüksek enerji yoğunluğu (60-120 Wh/kg) ve kadmiyumsuz ekolojik yapısıyla hibrit araçlarda; Nikel-Çinko (Ni-Zn) teknolojisi ise teorik olarak 100 Wh/kg'ı aşan spesifik kapasitesiyle deneysel enerji depolama çözümlerinde kullanım alanı bulmaktadır.. Nikel-Metal hidrit piller 1992 yılından bu yana piyasada olup, özellikleriyle nikel bazlı pilin ana bileşeni nikeldir. Ni-Mh ve diğer nikel piller arasındaki temel fark, katot malzemesi tarafından emilen hidrojenin kullanılmasıdır. Hidrojen kullanımı nedeniyle diğer nikel pillerden farklı olarak daha güçlüdür ve aynı zamanda insan sağlığına zarar vermez, bu nedenle nikel pil konfigürasyonu birçok endüstride popülerdir (Ehsani ve diğ., 2018). Avantajları Ni-Mh piller yüksek enerji yoğunluğu, yüksek özgül güç, çevre dostu, hızlı şarj ve deşarj sırasında sabit voltajın korunmasıdır. Ni-Mh' nin dezavantajları ise yüksek fiyat, kendi kendine deşarj ve servis ömrünün az olmasıdır. Nikel bazlı batarya sistemleri, elektrikli araçlarda yüksek enerji yoğunluğu ve termal stabilite gereksinimlerini karşılamadığından sınırlı kullanım alanı bulmuştur. Nikel-Çinko (Ni-Zn) bataryalar, katotta dendritik çinko oluşumu ve elektrolit ayrışması gibi elektrokimyasal kararsızlıklar nedeniyle düşük şarj-deşarj döngüsüne (200-300 döngü) sahiptir. Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar ise 19. yüzyıl sonlarında Waldemar Jungner tarafından geliştirilmiş olup, dönemi için yenilikçi bir enerji depolama çözümü sunsa da günümüzde ağırlıklı olarak yüksek şok direnci gerektiren endüstriyel uygulamalarda (profesyonel ses ekipmanları, tıbbi cihazlar, endüstriyel el aletleri) ve acil enerji yedekleme sistemlerinde tercih edilmektedir. Bu sistemlerin elektrikli araçlarda kullanımının önündeki temel engeller arasında düşük spesifik enerji (40-60 Wh/kg), toksik kadmiyum içeriği ve lityum-iyon teknolojisine kıyasla geri dönüşüm zorlukları yer almaktadır. (Mohammadı ve Mehrdad,2023).

3.2.4. Zebra pil (Na-NiCl)

Zebra, Güney Afrika'da geliştirilen ve yavaş yavaş otomotiv endüstrisinde kendine yer bulmaya başlayan alternatif bir pil türüdür (Emadı, 2017). Önemli ölçüde kendi kendine deşarj olur. Akünün servis dışında bile yüksek sıcaklıkta kalması nedeniyle, iyi bir performans sağlar,

nispeten yüksek enerji yoğunluğu düşük maliyet ve bakım gerektirmezler, %100 geri dönüştürülebilirler (Dixon, 2010).

Bu sistemlerin temel karakteristiği, elektrolit olarak molten sodyum kloroalüminat (NaAlCl_4) kullanımı nedeniyle 270-350°C termal çalışma aralığında stabil işlev göstermesidir. Ancak bu yüksek sıcaklık rejimi, elektrolitin sıvı fazda tutulması için sürekli ısıtma ve termal kayıpları minimize edecek kompozit yalıtım malzemeleriyle özel termo-mekanik ambalaj tasarımını zorunlu kılar. Çalışma sıcaklıklarının zor muhafaza edilmesi, bu pilin pratikte kullanılmamasının ana nedenidir (Venerı ve diğ., 2017).

3.2.5. Lityum-hava piller (Li-Air)

Lityum-hava (Li-air) batarya teknolojisi, elektrikli araçlarda devrim yaratma potansiyeli taşıyan ve halen aktif Ar-Ge sürecinde olan bir enerji depolama sistemidir. Bu sistemler, teorik enerji yoğunluğunun 3500 Wh/kg'ı aşması ve fosil yakıtların enerji yoğunluğu seviyelerine yaklaşabilmesi nedeniyle, uzun menzilli elektrikli araçlar için ekonomik ve sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Christensen ve diğ., 2012). Çalışma prensibi, açık katot yapısı sayesinde atmosferik oksijenin elektrokimyasal reaksiyonlarda kullanılmasına dayanır: Metaller arası lityum anot ile karbon bazlı katot arasındaki elektrokimyasal potansiyel gradyanı, enerji depolama kapasitesini maksimize eder. Ancak, bu yüksek kapasiteye rağmen, sistemin pratik uygulanabilirliği; lityum peroksit (Li_2O_2) birikimi, katot tıkanması ve elektrolit bozunumu gibi kararsız reaksiyon kinetikleriyle sınırlanmaktadır. Li-air bataryaların tek şarjla 640 km'ye varan menzil potansiyeli ortaya korsa da, bu performansın laboratuvar koşullarında yüksek saflıkta oksijen ve optimize edilmiş katalizörlerle sağlandığı vurgulanmıştır. Bu teknolojinin ticarileşebilmesi için enerji yoğunluğu ve maliyet denkleminin istenilen seviyelerine ulaşması gerekmektedir ancak bu hedeflere ulaşıldığında, elektrikli araçların kitlesel pazarına ulaşabilir (Stan ve diğ., 2014).

3.2.6. Pil Teknolojilerin karşılaştırılması

Bataryalar elektrikli otomobillerin muhtemelen en önemli parçasıdır. Bataryaların geliştirilmesinin elektrikli araçların geleceği açısından hayati önem taşımasının nedeni tam olarak budur. Elektrikli araçların performansı ve piyasa rekabeti, mevcut batarya sistemlerinin enerji kapasitesi, şarj, deşarj verimliliği ve maliyet optimizasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Enerji depolama teknolojilerinde enerji yoğunluğu (Wh/kg) ve güç yoğunluğu (W/kg) parametrelerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da bu sistemlerin hiçbiri hızlı şarj kabiliyeti, yüksek güç çıkışı, düşük üretim maliyeti ve uzun döngü ömrünü aynı anda

sağlayamamaktadır. Bu kriterlerin tümünü karşılayan entegre bir batarya mimarisi henüz geliştirilememiştir

Kurşun asit bataryalar otomotiv endüstrisinde 20. yüzyıl başlarında kullanılan ilk enerji depolama çözümüdür. Düşük enerji yoğunluğu (30-50 Wh/kg) ve yüksek kütle/enerji oranı nedeniyle günümüzde yalnızca düşük güç gereksinimli uygulamalarda (forklift, golf arabası) tercih edilmektedir. Nikel kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar kurşun-asit sistemlere kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğu (40-60 Wh/kg) sunmalarına rağmen, kadmiyumun toksik etkisi, yüksek kendi kendine deşarj oranı ve hafıza etkisi gibi, dezavantajlar, elektrikli araçlarda kullanımını sınırlandırmıştır. Nikel-Metal Hidrit (Ni-MH) baaryalar, Ni-Cd ve kurşun-asit sistemlerden daha yüksek enerji yoğunluğuna (60-120 Wh/kg) sahip olan bu teknoloji, 2000'li yıllarda hibrit araçlarda (Toyota Prius, Honda Insight) yaygınlaşmıştır. Ancak tam elektrikli araçlarda yetersiz enerji kapasitesi ve yüksek maliyet nedeniyle kullanım dışı kalmıştır. Zebra (Na-NiCl₂) bataryalar, 100-120 Wh/kg enerji yoğunluğu ve yüksek termal stabilite avantajlarına rağmen, 270-350°C çalışma sıcaklığı gereksinimi, kompleks termal yönetim sistemleri ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle ticari elektrikli araçlarda sınırlı kalmıştır. Lityum-İyon (Li-ion) bataryalar, Günümüzde en yaygın kullanılan teknoloji olarak, 150-250 Wh/kg enerji yoğunluğu, hızlı şarj kabiliyeti (30 dakikada %80) ve uzun döngü ömrü ile öne çıkar. Ancak termal kaçak riski ve kobalt bağımlılığı gibi sınırlamalar, Ar-Ge çalışmalarını katı hal bataryalar gibi alternatiflere yönlendirmektedir. Lityum-Hava (Li-air) bataryalar, teorik enerji yoğunluğu (3500 Wh/kg) fosil yakıtlara yakın olsa da, katot tıkanması, elektrolit bozunumu ve düşük şarj verimliliği (%60-70) gibi sorunlar nedeniyle henüz prototip aşamasındadır. Pratik uygulamalar için enerji yoğunluğunun 500 Wh/kg'ın üzerine çıkarılması ve maliyetlerin kWh başına 100\$'ın altına düşürülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak mevcut batarya teknolojileri, elektrikli araçlar için kademeli iyileştirmeler sunsa da özellikle enerji yoğunluğu ve maliyet denklemini çözecek köklü bir teknolojik sıçrama beklenmektedir. Günümüzün modern arabaların, enerji kaynağı olarak çoğunlukla lityum teknolojisine dayalı piller kullanılmakta ve bu teknoloji büyük olasılıkla pillerin geleceğidir.

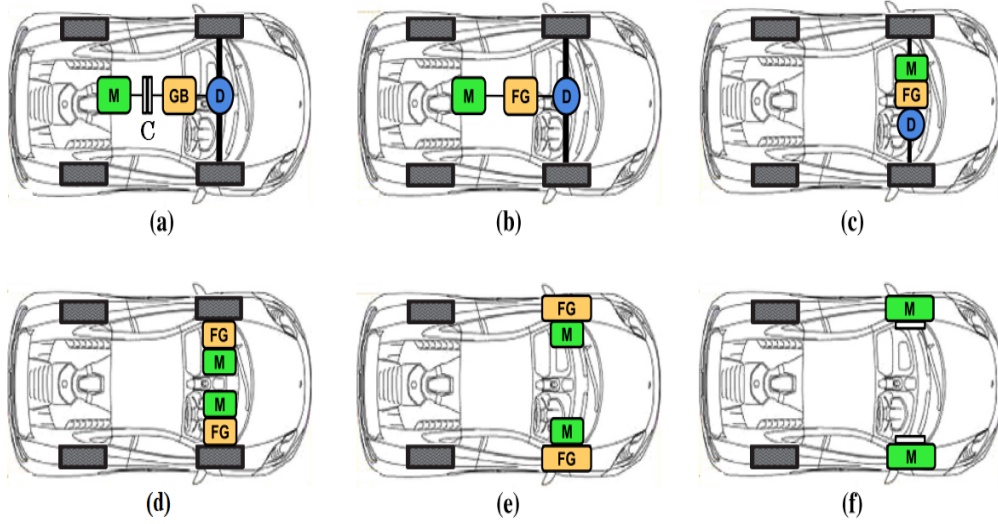
4. MEKANİK ALT SİSTEM

4.1. Şanzıman

Şanzıman, tüm otomobiller için kritik bir bileşendir. Temel işlevi, motorun ürettiği hız (devir) ve torku, tekerleklerle aktarırken sürüş koşullarına (hız, yük, yol eğimi vb.) uygun bir kuvvet akışı sağlamaktır. Geleneksel içten yanmalı motorlu (İYM) araçlarda kullanılan şanzımanlar genellikle bir kavrama, bir diferansiyel, tahrik edilen bir mil ve en önemlisi, vites geçişlerini sağlayan birkaç dişliden oluşmaktadır. Bu geleneksel şanzımanlar, manuel (sürücü kontrollü) veya otomatik (hidrolik/elektronik kontrollü) olarak ikiye ayrılır. Çok vitesli yapıları sayesinde, İYM'ların düşük devir bandında maksimum verim elde etmesini sağlarlar. Elektrikli otomobiller, geniş bir çalışma hızı aralığı ve torktaki ani artışı nedeniyle İYM'ların aksine, çok vitesli şanzımanla yerine genellikle bir veya daha az sıklıkla sabit oranlı tek redüksiyonlu veya iki vitesli şanzımanlara ihtiyaç duymaktadır. (Ruan ve diğ., 2018a).

4.2. Elektrikli Araç Güç Aktarım Yapılarına Göre Türleri

EV' ların güç aktarma organları yapıları her bir parçanın düzenini tanımlayan karmaşık bir sistemdir. Güç aktarım bileşenlerinin yerleşimini Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Birlikte çalışan tüm sistemlerin elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesini, iletilmesini ve ardından aracın hareket etmesini sağlar. EV'ların güç aktarım organları geleneksel güç aktarma organlarıyla karşılaştırıldığında, elektrikli araçlar daha az yer kaplaması avantajına sahiptir. Güç kablolar aracılığıyla iletildiğinden daha fazla esneklik sağlar. Bileşenlerin yerleştirilmesinde üreticiye, modele, amacına ve elbette teknolojik yeniliklere bağlı olarak değişmektedir. Sürücü konseptleri menzil, konfor ve güvenilirliği artırmak amacıyla sürekli olarak gelişmekte ve yenilikler yapılmaktadır. EV'ların geliştirme sürecinde teknolojik yeniliklerin yanı sıra temel çevresel ve ekonomik hususlar da pazara daha sürdürülebilir bir ürünle çıkmak için temel faktörler olarak dikkate alınmaktadır. Elektrikli araç konseptlerinin kullanımına yönelik yaklaşımlar otomobil şirketleri arasında farklılık göstermektedir (Frivaldský ve diğ., 2019).

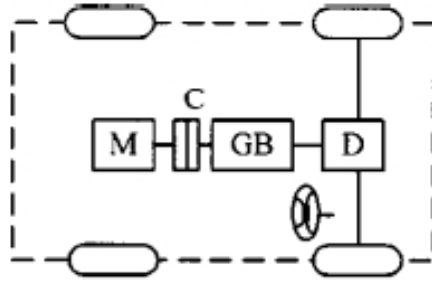


Şekil 4.1. Altı tür EV konfigürasyonu (Park,G ve diğ. 2014)

M: Elektrik Motoru D: Diferansiyel GB: Vites Kutusu FG: Sabit Dişli C: Debriyaj

4.2.1. Şanzıman ve debriyajlı tip

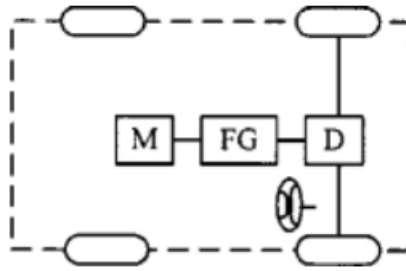
Bu EV tahrik sistemi bir diferansiyel (D), bir vites kutusu (GB), bir debriyaj (C) ve bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Bu konfigürasyon bir İYM' nin karşılığı olarak düşünülebilir. Bu düzenleme Şekil 4.2' de gösterildiği gibi elektrik motoru doğrudan içten yanmalı motorun yerini almakta ve yakıt deposu yerine batarya ve diğer bileşenler değişmeden kalmaktadır. Debriyajlı vites kutusu prensipte otomatik bir şanzımanla değiştirilebilir. Debriyaj, güç aktarımını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Şanzıman motor devrini kontrol etmede kullanılır, bu özellik daha çok sportif sürüşler için yarar sağlamaktadır. Bu tür yerleşim alanına sahip elektrikli araca nadiren rastlanmaktadır. Audi E-Tron, Porsche Taycan gibi sportif elektrikli otomobillerde kullanılır (Park ve diğ., 2014 ; Rodrigues, 2018).



Şekil 4.2. Şanzıman ve debriyajlı tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.2. Debriyajsız tek vitesli tip arka motor-ön tekerlek

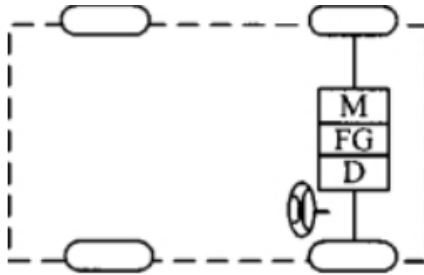
Debriyaj ve vites kutusu yerine sabit dişlinin (FG) kullanıldığı bu konfigürasyon oldukça şanzıman ve debriyajlı tip olana benzemektedir. Şekil 4.3’de de gösterildiği gibi temel fark sabit güce ve geniş bir hız aralığına sahip bir elektrik motorunun kullanılmasıdır. Bu elektrik motoruyla birlikte sabit dişli oranına sahip bir redüksiyon dişli kutusu kullanılır, bu nedenle debriyaja gerek yoktur. Debriyajın olmaması günlük kullanım için yumuşak ideal bir sürüş sağlar (Frivaldský ve diğ., 2019 ; Rodrigues, 2018).



Şekil 4.3. Debriyajsız tek vitesli tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.3. Tahrik miline entegre tip ön motor-ön tekerlek

Elektrik motoru, sabit dişli sistemi ve diferansiyel, Şekil 4.4’de gösterildiği gibi ön tarafa yerleştirilmiştir. Bu tip çoğu otomobil şirketi tarafından elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Tasarım açısından daha basit bir tiptir. Aslından tüm güç aktarma organları, yani elektrik motoru, şanzıman ve diferansiyel tek bir yapısal bloğa entegre edilmiştir. Bir diğer avantajı ise bu tasarım bloğunun arka veya ön aksta ya da her ikisinde de kullanabilmesidir (Frivaldský ve diğ., 2019 ; Rodrigues, 2018).



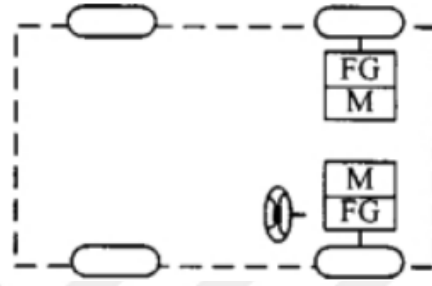
Şekil 4.4. Tahrik miline entegre tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.4. Tahrik tekerleri üzerinde dişli kutusu ve elektrik motorlu tip

Diferansiyeli ortadan kaldırmak amacıyla Şekil 4.5’de gösterildiği gibi ön tekerlekte iki elektrik motoru kullanılmıştır. İki motor, mekanik sabit dişlilerle ön tekerleklere bağlanmıştır. Bu

durumda esas olarak mekanik diferansiyelin değiştirilmesiyle basitleştirilmiş bir tasarım konsepti söz konusudur.

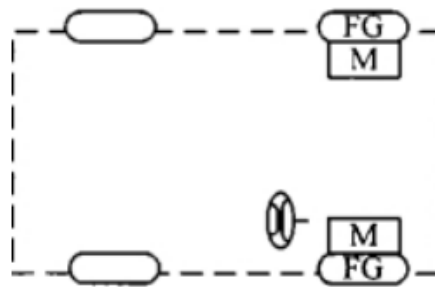
Tahrik aksı üzerinde iki çekiş motorunun uygulanması her biri diğerinden bağımsız olarak tahrik aksının bir tarafındaki tekerleği, tahrik eder. Elektrik motorları yine geniş bir hız aralığına sahiptir ve tekerleğe giden güç tek hızlı bir redüksiyon dişli aracılığıyla iletilir. Motorlar aracın üzerinde hareket ettiği yolun eğrilğine göre farklı hızlarda çalışır (Frivaldský ve diğ., 2019 ; Rodrigues, 2018).



Şekil 4.5. Tahrik tekerleri üzerinde dişli kutusu ve elektrik motorlu tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.5. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip

Bu tip, Şekil 4.6’da gösterildiği gibi elektrik motorlarının bağlı olduğu redüksiyon dişlilerinin doğrudan tekerleklere takılmasıyla elde edilmiştir. Bu tipi mümkün kılan ana bileşen planet dişli kutusudur. Bunun yüksek verimlilik çok çeşitli dişli oranları ve tahrik edilen tekerleklere kolayca entegre edilebilen tasarım gibi avantajları vardır (Frivaldský ve diğ., 2019 ; Rodrigues, 2018).

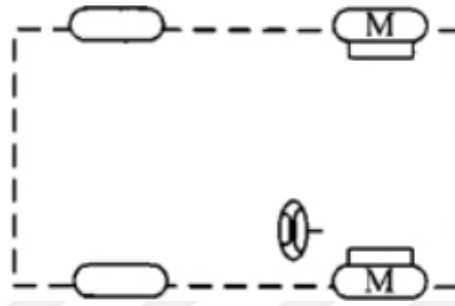


Şekil 4.6. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.6. Sabit dişli olmayan tekerlek tip

Sabit dişli olmayan tekerlek tip Şekil 4.7’ de de gösterildiği gibi mekanik dişliler tamamen kaldırılmıştır. Bu da enerjinin motordan tekerlekler aracılığıyla münferit bileşenlere aktarılması yoluyla kayıpların azaltılması anlamına gelmektedir. Elektrik motoru metal çekirdekli rotoru aynı zamanda tahrik edilen tekerleğin bir parçası olacak şekilde tasarlanmıştır ve statoru sabit

mıknatıslar içerir. Motorlar ön tekerleri, arka tekerleri veya dört tekerleğinde aynı anda tahrik edecek şekilde tasarlanabilir. Tork esas olarak bileşenlerin boyutlarından etkilenir. Örneğin statorun çapı ne kadar büyükse tork da büyüklüğü benzer oranda artar. Aracın hızı motorun dönme hızıyla aynıdır ve bu nedenle artan güç aktarım verimliliği gibi bazı avantajları da beraberinde getirmektedir. Bu teknolojinin hala kitlesel olmamasının en büyük sorunu kullanılan tekerlekler üzerindeki büyük yük, başka bir deyişle yaysız küttedir. Bu durum süspansiyon sistemi üzerindeki karmaşık kontrol sistemlerini meydana getirdiği için sürüş özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Frivaldský ve diğ., 2019 ; Rodrigues, 2018).



Şekil 4.7. Sabit dişli olmayan tekerlek tip (Chan, C.C. 2002)

4.2.7. Tekerlek göbeğine entegre edilmiş dişli kutulu tip (Protean Drive)

Tekerlek içi motorlar Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 20. yüzyılın başında, Ferdinand Porsche’nin ilk hibrit aracında her tekerlekte poyraya monteli elektrik motorları için kullanılmıştır. Bu ürünü orijinal otomobil tekerleğinin protean drive tekerleği ile değiştirilmesi suretiyle halihazırda geliştirilmiş ve üretilmiş otomobillere uygulanabilen bir elektrikli tekerlek olarak belirtmek mümkündür. Böylece sadece elektrikli otomobiller arasında kullanılmakla kalmaz aynı zamanda tekerlekleri değiştirerek geleneksel bir otomobili bir hibrite dönüştürmek ve böylece iki tekerlekten çekişli bir aracı ise 4x4’e dönüştürmek için de yararlanılır. Bu motorlar tekerleğe doğrudan güç sağlar. Şanzıman veya tahrik miline gerek yoktur.

Bir redüksiyon dişli kutusu kullanıldığında, hız düşürülür ve tork artırılır. Tekerlek hızı, motor hızına eşittir, dolayısıyla gerekli tork ve gücün doğrudan tahrik modunda iletilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bunun etkisi motor torku, doğrudan motor boyutuyla ilgili olduğundan ve tork çoğaltma olmadığından (dişli kutusu olmadığı için), gerekli performansa ulaşmak için motorun boyutunun daha büyük olması gerekir (Andrejčák, 2018).

Bunun ayrıca maliyet üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çünkü tork üretim seviyesi doğrudan ihtiyaç duyulan kalıcı mıknatıs malzemesi miktarına bağlıdır. Dezavantajları yoldan gelen

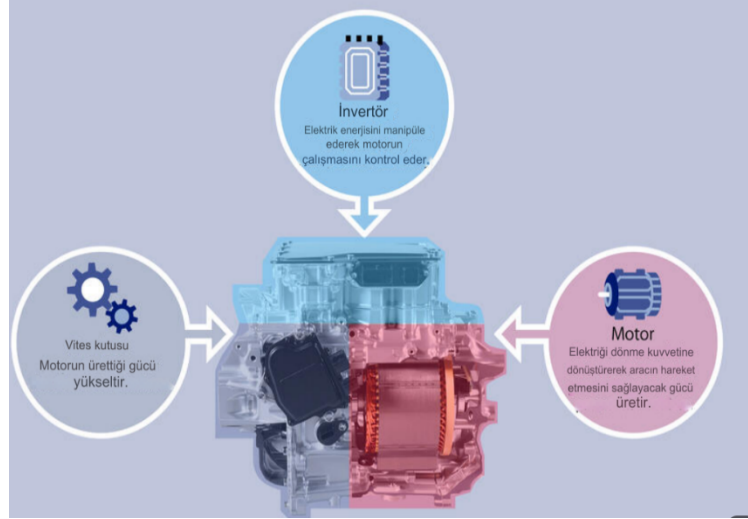
şoklar ve titreşimler, aynı zamanda hava koşullarıyla sürekli olarak zorlandıkları için elektrik motorlarının dayanıklılığı ve maliyetin çok yüksek olmasıdır (Protean, 2024).



Şekil 4.8. Protean drive sisteminin münferit parçaları (Protean 2024)

4.2.8. Eaxle (E-aks)

E-aks, bir elektrik motorunu ana güç kaynağı olarak kullanan bir aracı ilerletmek için gerekli ana bileşenleri bir aks yapısına entegre eden bir tahrik ünitesidir. Elektrikli tahrik sistemleri (e-aks), akülü elektrikli araçlar (BEV'ler), yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV'ler), hibrit elektrikli araçlar (HEV'ler) ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar (PHEV'ler) gibi çeşitli elektrikli araç tiplerinde kullanılabilir. Bu çok yönlülük hem önden hem de arkadan çekişli konfigürasyonlara kuruluma olanak tanır ve ayrıca dört tekerlekten çekiş kurulumlarına olanak tanımaktadır (Donaldson,2018). E-aks esas olarak Şekil 4.9’da gösterildiği gibi şanzıman, motor ve invertörden oluşur. Ana bileşenlerin tek bir yapıda birleştirilmesi, tüm ünitenin daha küçük ve daha hafif olmasını sağlayarak, yerden tasarruf, daha düşük güç tüketimi gibi avantajlar sağlar (Al Think, 2023).



Şekil 4.9. E-aks (AI Think 2023)

Yüksek tork aktarımını gerçekleştirirken aynı zamanda büyük miktarlarda batarya jenerasyonunu ve şarjını da idare edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu akslar genellikle sadece bir elektrik motoru kullanır, ancak daha büyük akslar için iki tane motor takılabilmektedir. Bu yenilikçi özellik büyük bir kolaylık, ilgili maliyetlerle birlikte çok fazla alan ve ağırlık tasarrufu sağlar. Ayrıca güç aktarma kayıplarının azalması nedeniyle daha yüksek verimlilik potansiyeline sahiptir. Bu aks, farklı araç tipleri ve kullanımları için geniş bir uygulama yelpazesini garanti eden 50 ila 300 kW çıkışlarda kullanılabilmektedir. Ayrıca Silisyum karbür yarı iletkenler sayesinde 400 V ve 800 V olmak üzere iki güç seviyesi sunmaktadır. 150 kW güçte yaklaşık 85 kilogram seviyesinde ve 1000-5500 Nm arasında ölçeklenebilir bir tork elde etmek mümkündür (The Lee Company, 2024).

Elektrikli araçların önemli bir bileşeni olarak dikkat çeken, E-aks dünya çapında gelecekte daha da fazla talep görmesi beklenilmektedir. Ancak, EV'ların tam olarak teşvik edilmesi, şarj altyapısının geliştirilmesi ve araç fiyatlarının düşürülmesi gibi, nedenlerden dolayı EV'lerde sık olarak kullanılmamaktadır. AISIN firmasının ürettiği E-Aks araçların menzilini uzatmayı ve daha az elektrikle daha uzun süre araç kullanımını sağlayan ultra kompakt E-Aksler geliştirilmesini amaçlamaktadır (AI Think, 2023).

4.2.9. Elektrikli araç güç aktarım yapılarına göre türlerin karşılaştırılması

Farklı elektrikli araç tahrik türlerinin analizi, farklı sistemlerin düzeni ve performansında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Her konsept aracın sürdürülebilirliğini ve verimliliğini pratik kullanımını etkileyen belirli avantajlar ve dezavantajlar sunar. Günümüzde en çok kullanılan tür Debriyajsız Tek vitesli tip Arka motor-Ön tekerlek ve Tahrik miline

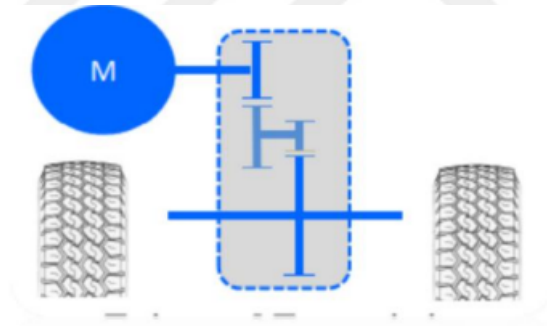
entegre tip Ön motor-Ön tekerlek türüdür, çünkü bunların tasarımı basit olması verimlilikleri, ekonomiklikleri nedeniyle elektrikli araçlar için en uygun olanlarıdır. Yeterli torka, makul derecede iyi bir menzile ve sorunsuz çalışan bir motora sahip EV günlük kullanım için idealdir. Şanzımanlı ve debriyajlı tip esas olarak spor elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Sabit dişli olmayan tekerlek tipi ile tekerlek göbeğine yerleştirilmiş dişli tip şu anda Çin pazarında elektrikli araçlarda denenmektedir, ancak bir avantaj ve komplikasyonu beraberinde getirdikleri için hala gelişme aşamasındadır. Elektrik motorlarının sayısı esas olarak performans verimlilik, menzil ve maliyet tüketici tercihlerine bağlı olarak otomobilden otomobile değişmektedir. En yaygın olarak kullanılan bir veya iki motorlu olanıdır. Daha seyrek olarak üç veya dört tane motor olanlarda kullanılmaktadır. Tek elektrik motorlu otomobil üreticisi genellikle daha ucuz, basit ve ekonomik olanıdır. E-Akslar ise geliştirme aşamasında olup elektrikli araçlar için gelecekte umut vaat edici durumdadır.

5. ŞANZİMAN TİPLERİ

5.1. Sabit Oranlı Tek Redüksiyonlu Şanzıman

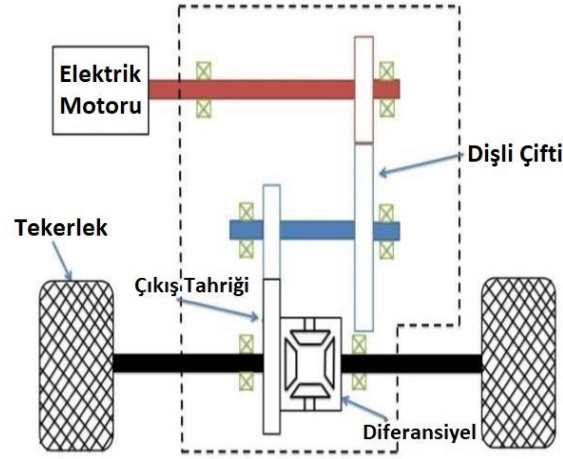
Günümüzde çoğu EV’larda Şekil 5.1’de gösterildiği gibi sadece sabit hızlı tek vitesli redüktörler kullanılmaktadır. Yeni nesil modern EV’lar, elektrikli motorun içten yanmalı motora göre geliştirilmiş yeteneklerinin bir sonucu olarak sabit oranlı şanzımanla donatılmıştır (Ruan ve diğ., 2016b). Sabit aktarım oranlı şanzıman sistemleri, araç hızı ile motor devri arasında tek bir dişli oranı sunan ve sürücüye vites değişim seçeneği sağlamayan mekanik düzeneklerdir. Bu sistemler genellikle "dişli redüktör sistemleri" olarak sınıflandırılır ve düşük bileşen sayısı, basit mekanik yapı ve minimum bakım gereksinimleri nedeniyle ekonomik bir çözüm olarak öne çıkar. Temel çalışma prensibi, tek bir dişli çifti üzerinden tork aktarımını optimize ederek enerji kayıplarını minimize etmeye dayanır (Joshi ve Ugale, 2020).

Elektrik motorlarının olağanüstü dinamik performansı ve maliyet kontrolü nedeniyle sabit oranlı tek redüksiyon (SR) şanzımanlar elektrikli araçlar için gereklidir. Çoğu EV’de çok vitesli şanzıman yerine uygulanır; örn. Chevrolet Bolt, Volkswagen, E-Golf, Nissan Leaf, BYD E6 ve hatta Tesla Model S. (Ruan ve diğ., 2016b).



Şekil 5.1. EV’da tek hızlı şanzıman (Ruan ve diğ. 2016b)

Şekil 5.2’de sabit bir nihai tahrik oranı içeren tipik tek hızlı aktarma organını göstermektedir. Ek olarak, motor ters dönüş yeteneğine sahip olduğundan, tüm EV’larda ters şaft ortadan kaldırılmıştır. Avantajları doğrudan tahriklidir ve çalışması çok düzgündür, ayrıca motorla birleştirildiğinde anlık tork üretir, karmaşık dişli sistemine gerek yoktur ve daha az yer kaplamaktadır (Joshi ve Ugale, 2020).

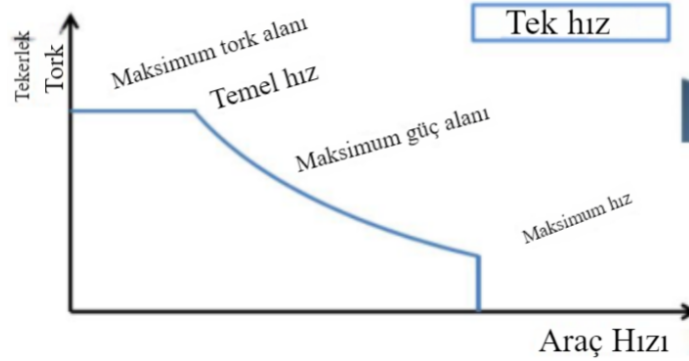


Şekil 5.2. Sabit oranlı aktarım görseli (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)

Çok vitesli şanzımanlar, tek vitesli şanzımanlarla karşılaştırıldığında, vites değiştirme mekanizması için debriyaj, dişliler ve yataklar gibi ek bileşenler bulunur. Sonuç olarak, bunların iletim verimliliği kaçınılmaz olarak tek hızlı şanzımanlardan daha düşüktür. Çok vitesli şanzımanlar araçların enerji verimliliğini ve dinamik performansını artırmada etkili olabilse de düşük şanzıman verimliliği bu iki faktörü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, iletim verimliliği analizinin hem tek hem de çok hızlı iletimler için doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir (Kwon ve diğ., 2021 ; Karpat ve Savran, 2022). Ancak tek hızlı şanzımanların ekonomik ve dinamik performans açısından çeşitli dezavantajları vardır. Ekonomik performans için, motor tahrik edilse bile belirli bir araç sürüş koşulu altında düşük aktarma organı verimliliği bölgesinde, tek vitesli bir şanzıman motorun çalışmasını kontrol edemez, çünkü motor torku ve hızı sabit bir aktarım dişlisi oranıyla belirlenir ve talep edilen araç hızı ve kuvveti elde edilemez (Wu ve diğ., 2022 ; Liu ve diğ., 2020). Bu nedenle çok hızlı bir şanzıman, motorun uygun hızlarda yüksek verimli bir bölgede çalışmasına olanak tanır (Liu, ve diğ., 2021). Araç performans özelliklerini karşılamak için motor genellikle büyük boyutludur ve sonuçta ortaya çıkan güç aktarma organları nadiren optimum verimlilik bölgesinde çalışır. Bu durum özellikle ağır araçlar için sorun teşkil etmektedir. SR'lar düşük maliyetli olmasından dolayı hem üreticinin hemde tüketicinin tercih sebebi olmasının yanı sıra aktarımda sürüş modu (ekonomik-sport-performans) seçimi yapılamamaktadır (Beaudoin ve Boulet, 2021).

Bu şanzımanlarda seçilen dişli oranı motorun belirli bir devir sayısının üzerine çıktığında Şekil 5.3'de görüldüğü gibi yüksek hızda, düşük tork ve düşük hızda-yüksek tork alanlarında çalışır,

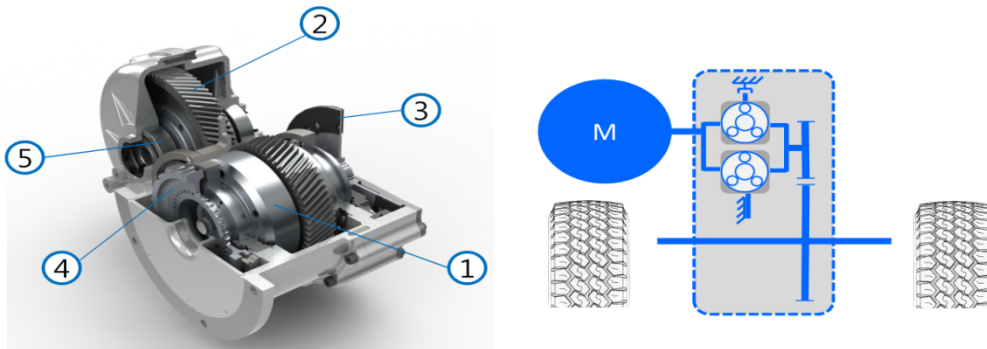
bu da genellikle daha düşük verimliliğe yol açar (Ruan ve diğ., 2016b). Genel olarak, Şanzıman ne kadar hızlı olursa, sürüş o kadar iyi olur ve motor verimliliği elde edilir.



Şekil 5.3. EV' de tek hızlı aktarımın torku ve hızı (Joshi ve Ugale, 2020)

5.2. İki Vitesli Planet Dişli Şanzıman

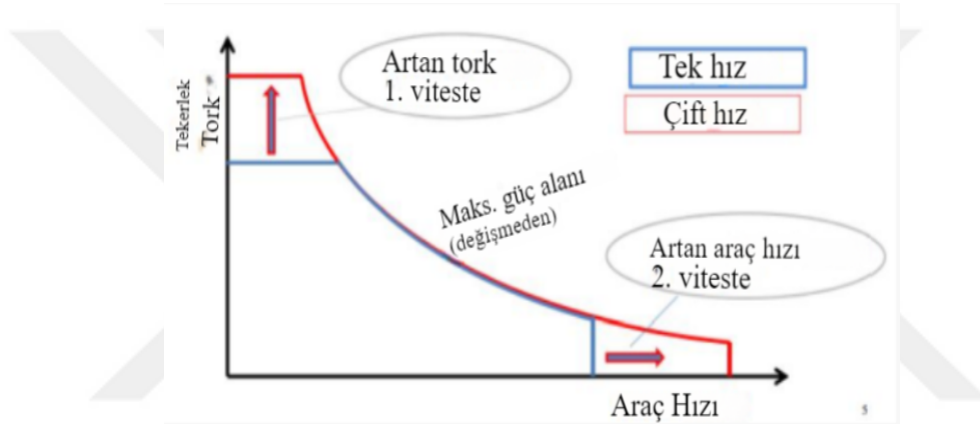
İki vitesli planet dişli şanzıman EV'ta kullanılan çok hızlı iletim sistemidir. Şanzıman bileşik planet dişlilerden oluşur. Bu şanzımanda bileşik planet dişlinin iki serbestlik derecesini ve sistemde iki farklı dişli oranını elde edebilmektedir (Ahssan ve diğ., 2018). Bu kapsamda, çift pinyonlu gezegen dişli grubu, tek pinyonlu gezegen dişli grubu ve diferansiyel dişli mekanizması bir arada kullanılabilen bileşenlerdir. Şekil 5.4'te, birinci ve ikinci gezegen dişli setlerinin yapısal detayları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Her iki setin dış çap ölçüleri aynı tutulmuş olmasına rağmen, ikinci setteki aktarım oranını düşürmek amacıyla halka dişlisinin yüzey genişliği artırılarak dişli temas alanı optimize edilmiştir. Bu tasarım, ikinci sistemde tork dağılımının daha dengeli olmasını ve mekanik verimliliğin korunmasını sağlamaktadır. Avantaj olarak aracın torku artırılabilir ve verimlilik optimize edilebilir, aracın en yüksek hızına ulaşılabilir. Dezavantajı ise bu şanzımanlar çok ağır ve büyüktür, maliyeti çok yüksektir (Tian ve diğ., 2018 ; Nur ve diğ., 2017).



Şekil 5.4. İki planet dişli şanzıman. (Joshi ve Ugale, 2020)

1 – İki entegre planet dişli setleri, 2- Tek kademeli nihai tahrik, 3- Kontrollü kuru sürtünme freni, 4- Seçilebilir tırnaklı kavrama, 5- Diferansiyel dişlisi

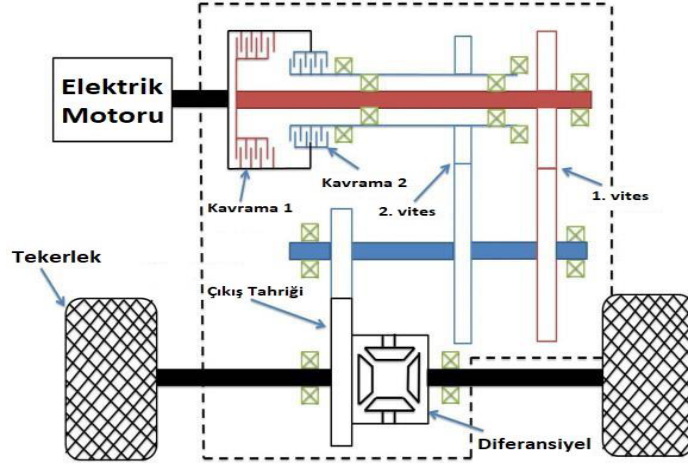
Yüksek hızlı araçların çoğunluğunda yalnızca iki hızlı şanzımanlar kullanılır. Şekil 5.6’da görüldüğü gibi ikinci viteste daha fazla hızlanma ve tork meydana gelir. Bu şanzıman birinci viteste geçişte tekerleklerle, ikinci vitese göre daha fazla tork gönderdiği için otomobilin yüksek hızlanma rakamlarında ulaşmasını sağlar, bundan dolayı daha dengeli sürüş veya daha yüksek hızlarda sürüş içindir ve otomobilin kullanımını ekonomik hale getirir. Örnek olarak Porsche Taycan’ın arka aksında iki vitesli bir şanzıman bulunmaktadır. Vites değişimi yaklaşık 70 km/saat hızda gerçekleşir, ancak bu değeri değişkendir ve belirli üreticiler tarafından ayarlanabilir (Nur ve diğ., 2017 ; Joshi ve Ugale, 2020).



Şekil 5.6. EV’de iki hızlı şanzımanın tork ve hızı (Joshi ve Ugale, 2020)

5.3. İki Vitesli Çift Kavramalı DCT (Dual Clutch Transmission) Şanzıman

Motor ile şanzıman arasına monte edilmiş ortak bir tambur sistemine sahip iki kavrama kullanan çift kavramalı şanzımanlar (DCT), tek kavramalı versiyonun eksikliklerini gidermektedir. Motorun giriş miline takılan ortak bir tambur ile iki kavramanın sürtünme plakaları doğrudan birinci ve ikinci dişlilere bağımsız olarak bağlanmıştır. Bu iki hızlı DCT aktarma organının benzersizliği, debriyajın vites değiştirmesi için kesintisiz debriyajın avantajından faydalanmaktadır ve sadece iki hız eklenmesiyle senkronizörün karmaşıklığı ve kontrolü ortadan kalkmıştır. Bu nedenle vites değişimi yalnızca çift kavramalı kontrolü ile gerçekleştirilir. Sonuç olarak, vites değiştirme kalitesi ve sürüş konforu tek redüksiyonuyla kıyasla önemli ölçüde iyileştirilmiştir, böylece DCT’ ler EV’ ların güç aktarma organlarındaki uygulamalara çok uygun hale gelmiştir (Ruan ve diğ., 2018b ; Karpas ve Savran 2022).



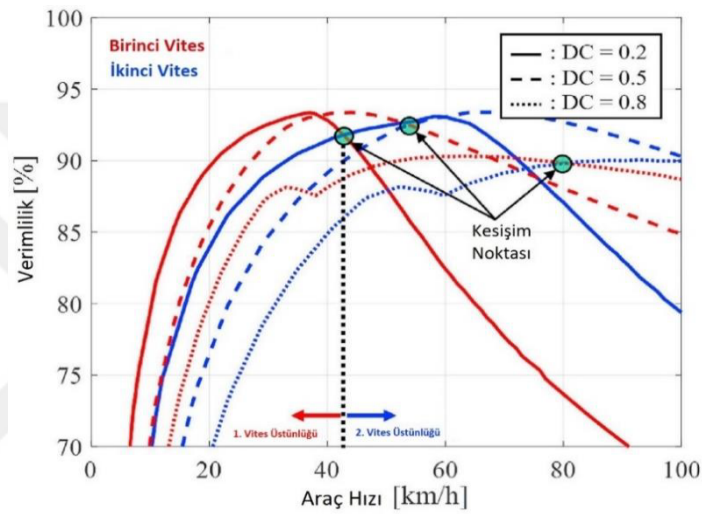
Şekil 5.7. İki vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)

Şekil 5.7’de EV’lar için önden çekişli iki hızlı DCT tabanlı güç aktarma organının yapısını göstermektedir. Motor, kavramalar, transmisyon dişli takımı, diferansiyel ve tekerleklerle giden çıkış milinden oluşur. İki vitesli şanzımanda yalnızca iki dişli çifti ve bir nihai tahrik dişlisi bulunan bu şanzıman, nispeten basit bir şanzımandır ve senkromeç mekanizmalarını kullanarak alternatif vitesleri devreye sokmaya gerek yoktur. Sadece iki vites oranı için vites değiştirme işlemi yalnızca çift kavrama kontrolüyle gerçekleştirilir. Ayrıca motorun ters dönebilme özelliği sayesinde ters mil ortadan kaldırılabilir. Kısacası, iki vitesli çift kavramalı şanzımanla donatılmış EV aktarma organları nispeten basittir (Ruan ve diğ., 2018b ; Wu ve diğ., 2013).

DCT çift kavramalı şanzıman, kavramaların kaymasının kontrol edilmesi sayesinde çekişi çok az kesintiye uğratarak torku bir kavramadan diğerine aktarma yeteneğine sahiptir (Ruan ve diğ., 2016b). İki kavrama alternatif olarak ve vites değiştirme sırasında tork kesintisini ortadan kaldırmak için biri diğeri ayrılmadan önce ön devreye girer (Zhu ve diğ., 2015). İki hızlı DCT şanzımanın en önemli avantajı, iki kavramanın giriş miline bağlı ortak bir tambura sahip olması ve motor ve sürtünme plakaları bağımsız olarak sırasıyla 1. ve 2. dişliye bağlanmasıdır. (Walker ve diğ., 2015 ; Zhu ve diğ., 2015).

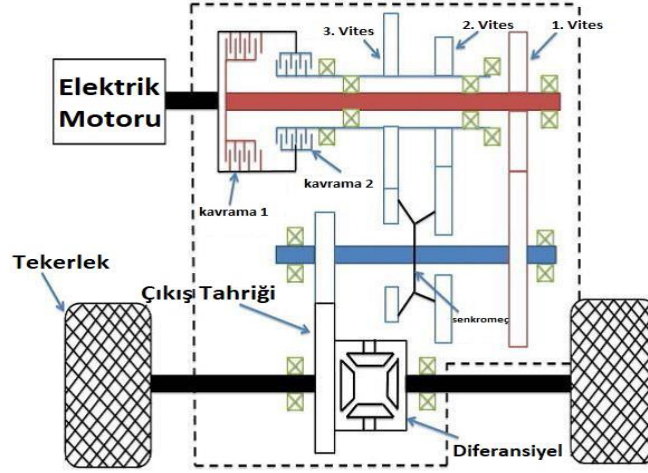
İki kavramanın kullanılması tork kesintisinin üstesinden gelerek tork aktarımını kolaylaştırır. İki vitesli şanzıman, düşük devirde daha yüksek tekerlek torku sağlar, dolayısıyla elektrik motorunun durma torku daha düşük olur ve bu da motorun daha küçük olmasına neden olmaktadır (Rodrigues, 2018). Ayrıca hızlanma ve tırmanma kabiliyeti da artırır ve son olarak, ikinci bir vitesin varlığı hız olarak üstün bir araç olmasına olanak tanır (Walker ve diğ., 2015). DCT şanzıman sistemlerinde, her bir kavramanın belirli bir vites oranına doğrudan bağlanması

nedeniyle senkronizasyon mekanizmasına ihtiyaç duyulmaz. Bu tasarım, iki ayrı aktarım kademesi arasında geçişi senkronizatörsüz gerçekleştirerek mekanik karmaşıklığı azaltır. Ancak, ek dişli grupları ve kavrama sistemlerinin eklenmesi, sistemdeki sürtünme kayıplarını artırarak termal verimliliği düşürür ve toplam kütleyi olumsuz etkiler (Ruan ve diğ., 2016b). DCT'nin performans avantajı, birinci vitesin verimlilik eğrisinin düşmeye başladığı kritik devir noktasında, ikinci vitesin devreye girmesiyle yüksek verimlilik bölgesinin korunmasından kaynaklanır. Bu sayede, tork aktarımındaki kesintisiz geçiş, yakıt ekonomisi ve dinamik sürüş performansını optimize eder. Şekil 5.8'de, birinci ve ikinci vites verimlilik eğrilerinin kesişim noktasında DCT'nin avantajını gösteren karşılaştırmalı bir grafik sunulmaktadır..



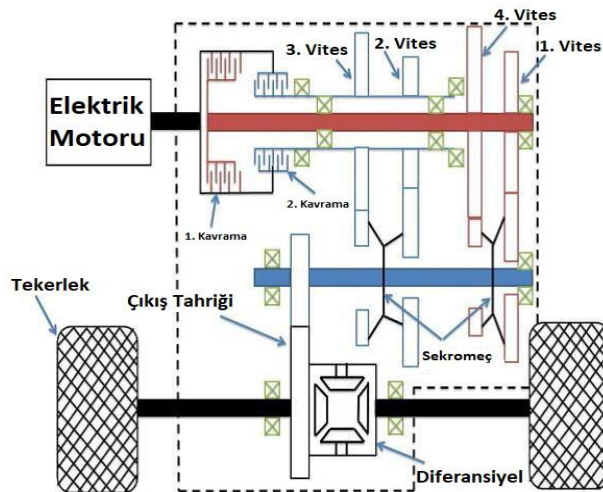
Şekil 5.8. İki vitesli şanzıman verimlilik grafiği (Kwon ve diğ. 2021)

Şekil 5.9'da sunulan üç vitesli çift kavramalı şanzıman (DCT), optimize edilmiş dişli oranları ile motorun ortalama çalışma verimliliğinde kısmi bir iyileşme sağlamaktadır. Ancak, aktarım sürecinde artan sürtünme kayıpları ve termal dağılımdaki verimsizlikler nedeniyle, iki vitesli sistemlere kıyasla enerji tasarrufu açısından daha düşük performans sergilemektedir (Ruan ve diğ., 2017).



Şekil 5.9. Üç vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)

Şekil 5.10'da, dört kademeli çift kavramalı şanzımanın (DCT) mekanik konfigürasyonu ve dişli düzeni gösterilmektedir. Vites kademelerinin artırılması, optimizasyon için daha fazla dişli oranı seçeneği sağlar, bu da motorun çalışma devir aralığı daraltılarak verimlilik bölgesinde kalma süresini uzatır. Ancak, motor verimliliğindeki iyileşmelerden kaynaklanan enerji kazancı, aktarım sistemindeki sürtünme kayıpları nedeniyle tamamiyle kaybedilmektedir. Maliyet analizleri, üç veya dört kademeli DCT sistemlerinin ek dişli grupları, kavrama modülleri ve kontrol algoritmaları gerektirmesi sebebiyle iki kademeli sistemlere kıyasla %25-40 daha yüksek üretim maliyetine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin üretim toleransları ve gerçek zamanlı kontrol karmaşıklığı, iki vitesli çift kavramalı şanzımandan çok daha fazladır. (Ruan ve diğ., 2017 ; Karpat ve Savran, 2022).



Şekil 5.10. Dört vitesli çift kavramalı şanzıman (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)

5.4. İki, Üç ve Dört Vitesli Elektrikli Araç Konfigürasyonu

Çok vitesli şanzımanlar, aracın kalkış, azami hız ve ekonomik sürüş gereksinimlerini, birden fazla mevcut dişli oranının uygulanması yoluyla motor hızı ve tork aralığından ayırma yeteneğine sahiptir; bu da aracın genel çalışma performansını ve motor verimliliğini iyileştirme olasılığı yükseltir. Ancak, kaçınılmaz olarak ekstra bileşenlerden kaynaklanan brüt ağırlığı artırır, şanzıman verimliliğini düşürür ve üretim maliyetini yükseltir. Genel olarak şanzıman ne kadar fazla hıza sahipse, o kadar iyi sürüş deneyimi ve motor verimliliği elde edilebilir. Bu arada, debriyajlar, senkronizatörler, dişli bağlantıları vb. yoluyla karmaşık mekanizmalarda daha fazla verimlilik kaybı ortaya çıkar. Verimliliğin etkisi farklı bileşenler açısından görülebilir aktarma organları için, iletim kaybındaki değişimin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için yaklaşık olarak tahmin edilebilecek birkaç bileşen kaybı vardır, bu kayıplar yaklaşık olarak aşağıda belirtilmiştir (Ruan ve diğ., 2017).

- Diferansiyel $\sim$ %5;
- Tek dişli oranı sürtünme kaybı %1 (sadece yük altındaki dişli çifti);
- Tek dişli oranı viskoz kaybı %1 (her dişli çifti yağlayıcı içinde dönüyor);
- Islak kavrama kayıpları %2 $\sim$ %3;
- Senkronizatör mekanizması %1 $\sim$ %2.

Tek vitesli sabit oranlı EV'da, IYM'lara göre önemli bir avantaj olan düzgün sürüş özelliklerini korumak için; Ruan ve diğ. (2018a), tarafından çok vitesli kademeli DCT şanzıman üzerinde simülasyon çalışmaları uygulanmıştır. DCT şanzıman elektrik motoruna ortak bir kavrama ve iki set paralel şaft ile bağlanmıştır. Paralel şaftların her biri tek veya çift dişlilere bağlıdır. Sonuç olarak, "bir sonraki" kavrama dişlisi, "mevcut" kavrama dişlisi hala motora bağlıyken kavramaya hazırdır. Vites değiştirme, geleneksel otomotiv şanzımanlarında kullanılan senkromeç yerine debriyajla gerçekleştirilmiştir. Örneğin, üç vitesli bir DCT için, birinci ve üçüncü vites bir şaftta, ikinci vites diğerindedir; dört vitesli bir DCT için, birinci ve üçüncü vites bir şaftta, ikinci ve dördüncü vites ise diğerindedir. İki vitesli DCT'nin özel üstünlüğü, senkronizatör kullanılmaması ve vites değiştirmenin sabit oranlı kavramalar arasında gerçekleştirilmesidir. Üç veya daha fazla vitesli şanzımanlar için, aynı aksı paylaşan dişlilerin alternatif oranları seçmesi için bir senkronizatör çifti gereklidir. Sürtünme, viskoz ve kavrama kayıpları nedeniyle tek vitesten, iki veya daha fazla vitese geçiş denemelerinde %4 ile %5 verimlilik kaybı kaçınılmazdır. Ancak, iki vitesin üzerindeki hızlarda vites başına yalnızca %2

ile %3 ekstra kayıp uygulanacaktır. Çok vitesli dişli kutularının genel mekanik verimlilikleri Tablo 5.1 de gösterilmiştir .

Tablo 5.1. Çok vitesli çift kavramalı şanzıman verimliliği

Şanzıman Tipi	Tek Vites	İki Vites	Üç Vites	Dört Vites	Basitleştirilmiş CVT
Genel Verimlilik	0,93	0,86	0,83	0,80	0,78-0,89

Özetle, iki veya daha fazla vites kullanmanın faydaları, motor ortalama verimliliğinin ve araç sürüş kabiliyetlerinin iyileştirilmesidir, ancak aynı zamanda aracın ağırlığını ve maliyetini artırır ve şanzıman verimliliğini azaltır.

EV için şanzıman tasarımının hala mekanizmadaki temel kurallara uyması gerekmesine rağmen, EM'un özelliklerini, EV şanzımanın dişli oran aralığını belirlemektedir. Çok yüksek çekiş gereksiniminin, çok yüksek tork çarpımına sahip dişli oranını belirlemek gereklidir. (Walker ve diğ., 2015). Güç aktarma sistemi için gereken en büyük toplam dişli oranı, istenen araç özelliklerine yönelik bu ihtiyaca göre ayarlanır; Denklem (5.1)'de belirli bir eğim için yuvarlanma direnci ve eğim yükü oranını, verilen maksimum motor torku ve genel güç aktarma organının verimliliğine çarpımına bölünmesiyle bulunur (Ruan ve diğ., 2017).

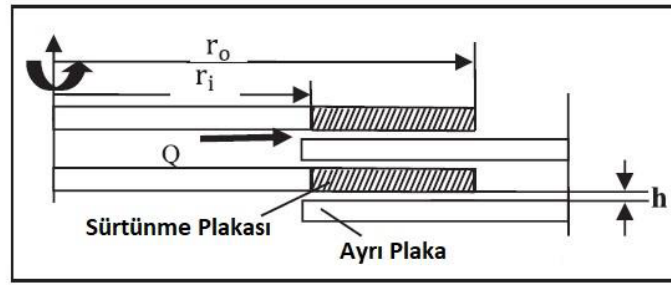
$$\gamma_{max} = \frac{r_t(MgC_R\cos\varphi + Mg\sin\varphi + \frac{\rho C_D A v^2}{2})}{T_{EM}\eta_{PT}} \quad (5.1)$$

Bu denklemde; (γ_{max}) Maksimum eğim, (r_t) Tekerlek yarıçapı (m), (T_{EM}) Elektrik motorunun sağladığı tork, (C_R) Yuvarlanma direnci katsayısı, (ρ) Hava yoğunluğu (kg/m³), (M) Kütle (kg) (C_D) Aerodinamik sürüklenme katsayısı, (η_{PT}) Aktarma organı verimliliğidir.

Daha güçlü bir motor kullanılarak hem hız hem de eğim gereksinimlerinin karşılanabileceğine şüphe yoktur. Ancak aktarma organlarının maliyetini önemli ölçüde artmasına neden olacaktır. Bu nedenle, tek hızlı şanzımanın oranları dünyadaki ülkelerin çoğunun hız sınırını kapsayacak şekilde ayarlanmıştır ve mümkün olduğu kadar tork da sağlanmaktadır (Nur ve diğ., 2017).

Çift kavramalı şanzımanlar, hidrolik olarak soğutulan çok plakalı kavrama sistemlerinden oluşur. Bu sistemde, iç kavrama grubu doğrudan vites dişlileriyle mekanik bağlantıya sahipken, dış kavrama grubu ortak bir muhafaza modülüne entegre edilmiştir. Şekil 5.11'de görüldüğü üzere, kavrama paketi sürtünme plakaları ve basınç plakalarının alternatif diziliminden oluşur.

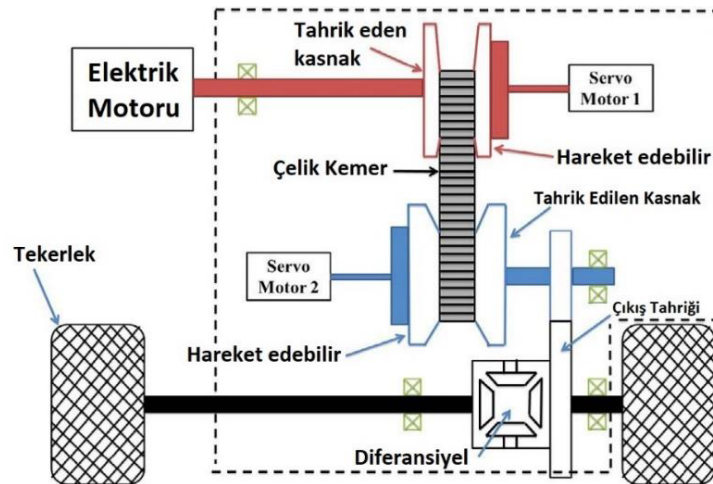
Bu konfigürasyonda, plaka kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve yağlama kanalı tasarımı, termal dayanım ve tork aktarım verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Kavrama boyutlandırmasının yetersiz kalması durumunda, plakalar arası kayma (slip) artarak lokal aşırı ısınma (hotspot formation), hidrolik yağ viskozite kaybı ve erken kavrama aşınması gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Optimize edilmemiş kavrama geometrileri, aynı zamanda tork dalgalanmalarına ve enerji dissipasyonuna yol açarak sistem verimliliğini %15-20 oranında düşürebilir. (Tian ve diğ., 2018 ; Karpat ve Savran, 2022).



Şekil 5.11. Islak kavrama sisteminde plaka ardalanması (Rodrigues.C.D.P 2018)

5.5. Sürekli Değişken Şanzıman (CVT)

Bir CVT şanzımanın temel konfigürasyonu, Şekil 5.12'de gösterildiği gibi dişli oranının minimum seviyeden maksimum seviyeye kadar sürekli olarak değişmesini sağlamak için bir kayış veya zincir kullanmaktadır. Genellikle bir CVT, iki değişken çaplı kasnağı birbirine bağlayan çelik bir kayışa sahiptir. Aktarım oranı kasnak çapındaki ayarlamayla birlikte değişir ve mümkün olan en iyi hızın elde edilmesini ve daha yüksek motor verimliliği sağlamaktadır (Srivastava ve Haque, 2009a ; Ruan ve diğ. 2016a).



Şekil 5.12. Sürekli değişken şanzıman şematik gösterimi (Rodrigues, C.D.P. 2018, Ruan ve diğ. 2018a)

CVT' nin V-kayışı tipinde dişliler yerine giriş ve çıkış millerinde sürtünme konisi yüzeyleri kullanılmaktadır. Elektrikli araçlara yönelik CVT' ler, İYM' lara yönelik geleneksel CVT' lerden önemli ölçüde farklı değildir. Temel fark, çok fazla torka sahip olmayan ancak yüksek hızlara ulaşan daha küçük motorların kullanılmasına izin vermek için önemli ölçüde daha yüksek hızlar için üretilmesi gerektiğidir. Bir başka seçenek de vites öncesi redüksiyon dişlisi kullanmaktır. Bu durumda İYM' lar ile aynı varyatör kullanılabilir, ancak kavramada ve varyatörde hem de dişlide iki kat verimlilik kaybı olmaktadır (Srivastava ve Haque, 2009b ; Nigudkar ve Shah 2017).

Maksimum güç ve hız açısından CVT, şanzımsız veya iki vitesli şanzımanlı elektrikli araçlara kıyasla yüksek değerlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Bir diğer avantajı da kontrolör neredeyse her vites oranı elde edebildiğinden, motoru her zaman en yüksek verimlilik bandında kullanma yeteneğidir. Ancak, verimlilik açısından şanzımanın olumsuz yönleri de vardır. Temelde sürtünmeli bir güç aktarımı olduğundan, kayma meydana gelebilir ve bu da güç kaybına, aşırı ısınmaya ve hasara neden olabilir. Aynı zamanda dişli oranını ayarlamak için birlikte veya ayrı hareket eden konik diskler ile kayış veya zincir arasındaki sürtünme nedeniyle CVT' lerde önemli güç kaybı vardır. CVT' lerin üretimi nispeten karmaşık ve pahalıdır. (Nigudkar ve Shah, 2017 ; Smolenaers ve Ektesabi, 2012).

Bu tür bir şanzımana örnek olarak Bosch'un CVT4EV'si verilebilir, Bosch, şanzımanın otomobillerin arazide hızlı sürüşüne ve hatta bir arabayı veya diğer otomobilleri çekme kabiliyetine izin vereceğini belirtmektedir (Bosch, 2024).

CVT şanzıman, sabit oranlı tipik bir dişli kutusuyla karşılaştırıldığında, motorun çok daha uzun bir süre boyunca en yüksek verimlilik noktalarında çalışmasını sağlayabilir (Hofman ve Tai, 2010). Konik diskleri yerinde tutmak ve onlara baskı uygulamak için de güç gerekir, zincir veya kayış, için içten yanmalı motorlu araçlarda bazı durumlarda kayarak daha fazla kayba neden olabilir. Düzgün çalışması, tork kesintisinin olmaması ve elektrik motorunun geniş bir hız aralığında çalıştırabilme yeteneği, birçok araştırmacının EV uygulamaları için CVT' lerin araştırması için yeterli motivasyon olmuştur (Sorniotti ve diğ., 2011 ; Han ve diğ., 2019).

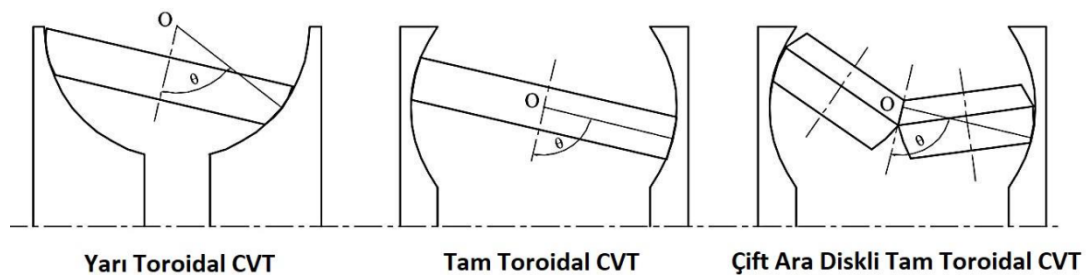
CVT' nin en büyük dezavantajı, geleneksel dişli şanzımana kıyasla düşük verimliliğidir. İYM' lu araçlarda kullanılan geleneksel CVT' nin verimliliği %85'tir ancak EV' lar ile daha basit bir yapı elde edilebilir, yani tork konvertörüne ihtiyaç duyulmaz, dolayısıyla %90'lık bir verimlilik elde edilebilir (Nigudka ve Shah, 2017). CVT' nin uygulanmasıyla elektrik motoru performansında ve enerji verimliliğinde elde edilen iyileşme, şanzımanın zayıf verimliliği

nedeniyle dengelenebilir. CVT şanzıman araçlarda, içten yanmalı motor veya elektrik motoru ideal çalışma noktasında çalışabilmektedir. Seri üretim araçlarında kullanılan CVT teknolojisi neredeyse her durumda ana bileşeni değiştirici olduğu kasnak aktarımıdır. Başka bir CVT konfigürasyonu toroidal değiştiricidir. Değişken dişli oranına sürtünme dişlilerinin döndürülmesiyle ulaşılır (Yıldız ve Kopmaz, 2014 ; Srivastava ve Haque, 2009b).

toroidal sürekli değişken şanzıman (CVT), birincil ve sekonder diskler arasında konumlandırılan güç silindirlerinin eksenel açısını dinamik olarak ayarlayarak sonsuz dişli oranı değişimini mümkün kılan bir aktarma organıdır. Sistemin temel tasarımı, Şekil 5.13'te görüldüğü üzere, üç farklı konfigürasyonda karşımıza çıkar:

1. **Tam Toroidal:** Giriş ve çıkış disklerinin tam bir küresel yüzey oluşturduğu simetrik geometri,
2. **Yarı Toroidal:** Disk temas yüzeyinin 180° 'den küçük açıyla kısmi küresel temas sağladığı asimetrik tasarım,
3. **Çift Ara Diskli:** İki ara silindirin kademeli tork dağılımı için optimize edildiği hibrit mimari.

Bu sistemler, konvansiyonel kayış/zincirli CV'lerden farklı olarak elasto hidrokinamik yağ filmi prensibiyle çalışır; temas bölgesindeki yüksek basınçlı yağ tabakası, sürtünmeyi minimize ederken tork aktarım verimliliğini artırır. Tribolojik ara yüzey mühendisliğindeki gelişmeler (DLC kaplamalar, iyonik sıvı bazlı yağlayıcılar) ve yüksek tokluklu seramik kompozit malzemelerin kullanımı, kontakt stres dağılımını optimize ederek sistem ömrünü 150.000 km'ye kadar uzatmıştır. Günümüzde özellikle yüksek performanslı hibrit araçlarda, tork kapasitesinin 500 Nm'yi aşması ve verimliliğin %92 seviyelerine ulaşması nedeniyle tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir. (Yıldız ve Kopmaz, 2014)



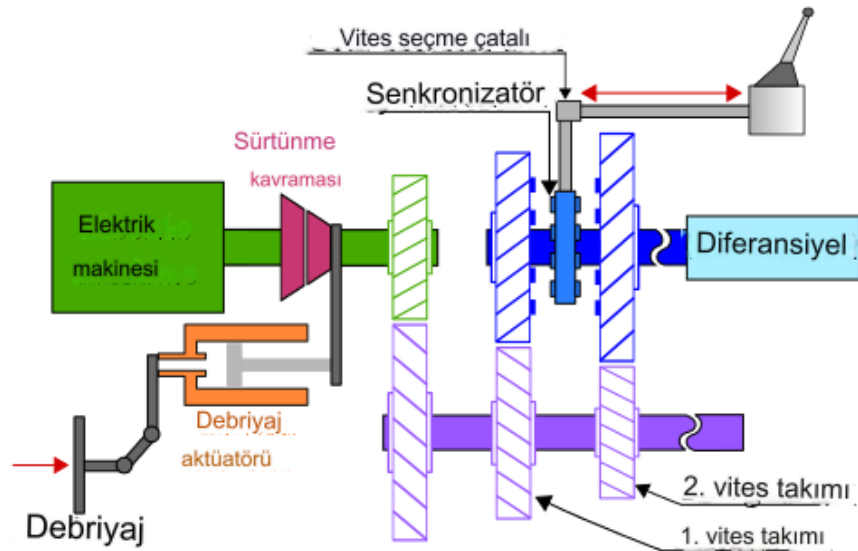
Şekil 5.13. Toroidal CVT türleri (Yıldız, A. ve Kopmaz, O. 2014)

Sürekli değişken şanzıman (CVT), kademesiz ve sessiz vites değişimleriyle enerji verimliliğini artıran, aynı zamanda mekanik kayıpları minimize eden bir aktarma sistemidir. Bu sistemin

temel avantajı, motorun maksimum tork gereksinimini azaltarak elektrik motorunun boyutlarının kompakt tasarımlara indirgenebilmesidir. Motor ve ilgili güç elektroniği bileşenlerinin hafiflemesi, araç toplam kütlesinde %10-15 seviyelerinde azalma sağlayarak enerji tüketimini düşürür. Yapılan bir simülasyon çalışmasında, yüksek performanslı bir elektrik motorunun CVT ile entegre edilmesi durumunda, tek vitesli sistemlere kıyasla aktarım verimliliğinin %88'den %94'e çıktığı ve enerji geri kazanım oranlarının iyileştiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan ekonomik bir motor ile basitleştirilmiş CVT kombinesinin ekonomik tasarruf sağladığı belirtilmektedir (Ruan ve diğ., 2016b ; Han ve diğ., 2019).

5.6. Manuel Şanzıman (MT)

Manuel şanzıman (MT) klasik dişli kutusu, Şekil 5.14'de gösterildiği gibidir. Sürücü tarafından ana debriyajın devreye girmesiyle motorun şanzımanla bağlantısı kesilir ve sürücü vitesleri bir kolla manuel olarak değiştirir, dişli kutusu vites geçtiğinde, senkronizatör mekanik olarak vitesi hizalamaktadır. Dönen diferansiyel ile dişlilerin hızı tekerleklere aktarılmaktadır. İYM'lar ile çalışan bazı araçlar, elektrikli araca dönüştürülen sistemlerde basitlik açısından kullanılır. MT'lar güvenilir, düşük maliyetli ve az bakım gerektirirken, EV' ların üretiminde nadiren kullanılırlar, çünkü sürüş kalitesi, sistem verimliliği ve debriyaj ömrü gibi nedenler sürücünün vites kutusunu nasıl kullandığından etkilenmektedir (Wager ve diğ., 2013).

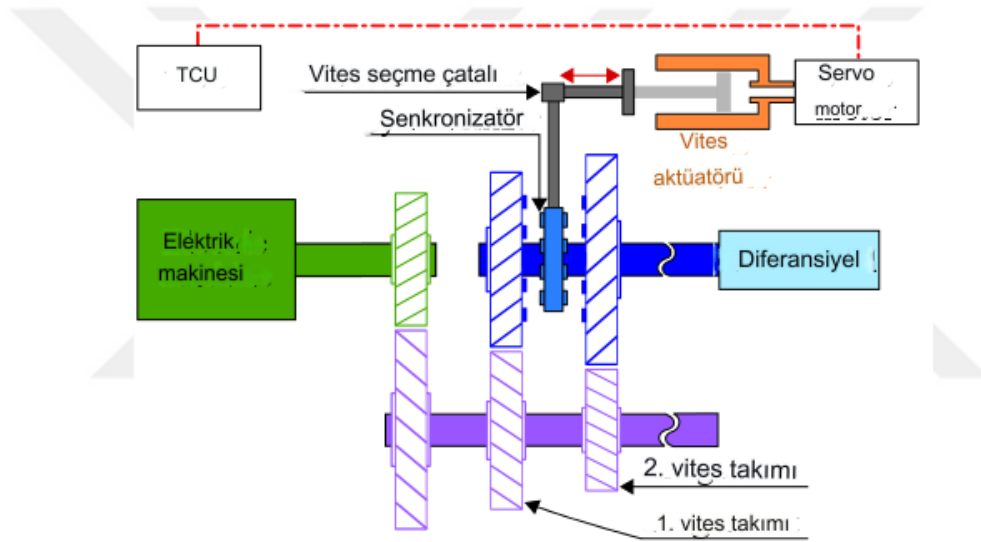


Şekil 5.14. Manuel şanzıman (MT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)

5.7. Otomatik Manuel Şanzıman (AMT)

Şekil 5.15'de gösterildiği gibi otomatik manuel şanzıman (AMT'lar), elektrohidrolik veya elektromekanik aktuatörlerin senkronizör kullanılarak vites değiştirdiği MT' nin bir çeşididir

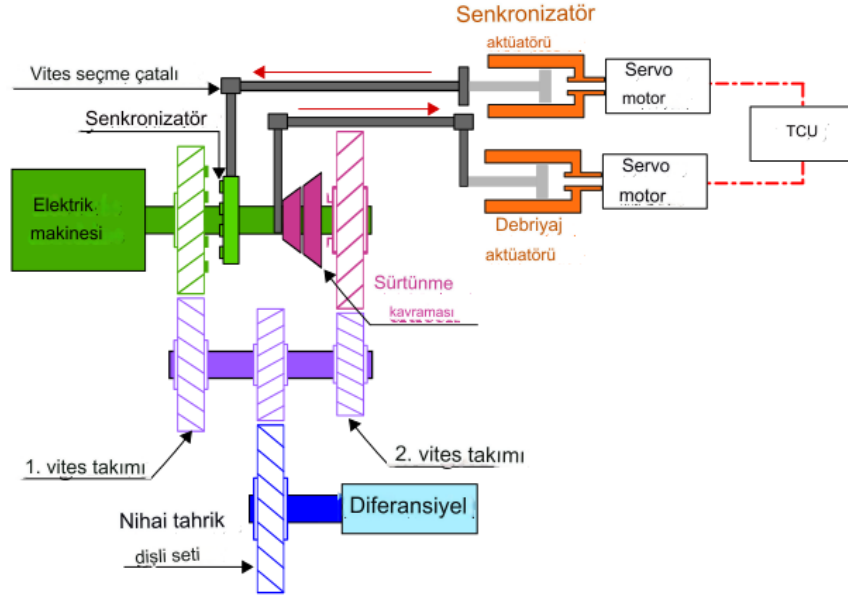
(Fischer ve diğ., 2015). İçten yanmalı araçlar için AMT şanzımanlarda debriyaj bulunmaktadır. Fakat motor hızı ve torku hassas bir şekilde kontrol edilebildiğinden EV' ler için gerekli değildir. Vites değiştirme, Şekil 5.15'de gösterildiği gibi bir şanzıman kontrol ünitesi (TCU) tarafından otomatik olarak kontrol edilir. Motor torku sıfıra ayarlanır, senkronizör devreden çıkarılır, motor hızı yeni vites göre ayarlanır ve senkronizör yeniden devreye alınır. Bu işlem sırasında tork kesintiye uğrar ve viteslerin tamamen yumuşak bir şekilde değişmesi sağlanır. Bir girdap akımı tork bypass kavraması uygulanarak, yumuşak vites değiştirme elde edilebilir, bu da AMT' yi elektrikli çekiş sistemleri için daha uygun hale getirir. Her ne kadar AMT içten yanmalı motorla çalışan araçlarda hiçbir zaman geniş bir kullanım alanı bulamamış olsa da düşük üretim ve bakım maliyeti, basitliği, uygulama kolaylığı ve verimliliği nedeniyle EV uygulamaları için umut verici bir adaydır (Naunheimer ve diğ., 2011).



Şekil 5.15. Debriyajsız otomatikleştirilmiş şanzıman (AMT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)

5.8. Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman (I-AMT)

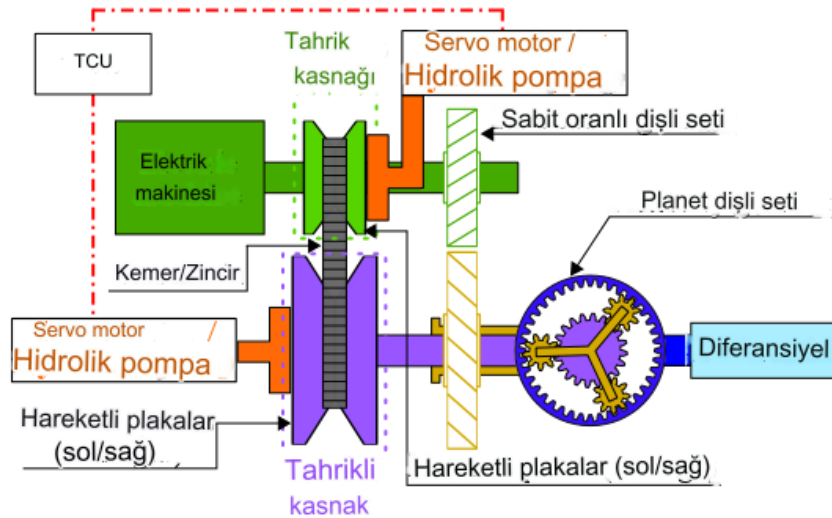
Ters otomatikleştirilmiş manuel şanzıman (I-AMT) Şekil 5.16'da gösterildiği gibi bir senkronizör yerine ikinci vitesi bağlamak için bir kavrama içermesi dışında AMT' ye çok benzemektedir. Birinci vites senkromeç tarafından devreye alınır veya devre dışı bırakılır ve güç, debriyaj kullanılarak tamamlanır. Otomatik manuel şanzımanlar EV' lar için önerildiği gibi, I-AMT' lar geleneksel AMT'lara kıyasla vites değiştirme sırasında tork kesintisini yaklaşık %50 oranında azaltır. (Gao ve diğ., 2015).



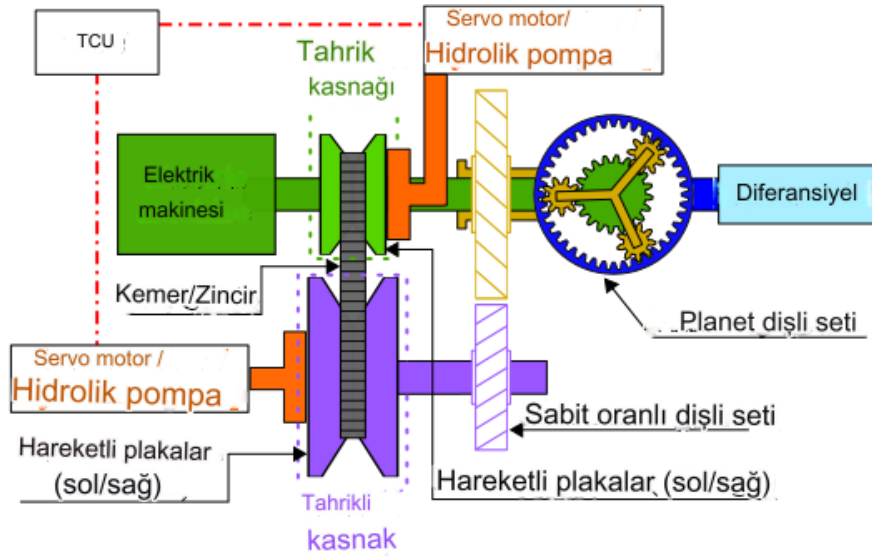
Şekil 5.16. İki vitesli ters otomatikleştirilmiş manuel şanzıman (I-AMT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)

5.9. Sonsuz Değişken Şanzıman (IVT)

Sonsuz değişken şanzımanlar (IVT'lar), hareketsiz bir çıkış mili ve sıfır hızı olmayan bir giriş mili ile sıfır iletim oranı sağlayarak sonsuz oran aralığı kapsamını garantileyen bir tür sürekli değişken şanzımandır. IVT'larda bulunan planet dişli takımı, seri konfigürasyon için doğrudan motor miline Şekil 5.17'deki gibi veya paralel konfigürasyon için sabit oranlı dişli takımının çıkışına Şekil 5.18'deki gibi bağlanabilir. IVT' nin ana çekiciliği, sabit dişli oranı olmasıdır, bu da bir IYM' un IVT için gerekli olduğu gibi debriyaj olmadan rölantide çalışmasına izin verir. Elektrikli motorlar sıfır hızda tam tork üretebildiğinden, EV uygulamaları için IVT' nin CVT' ye göre önemli bir faydası yoktur (Carbone ve diğ., 2001).



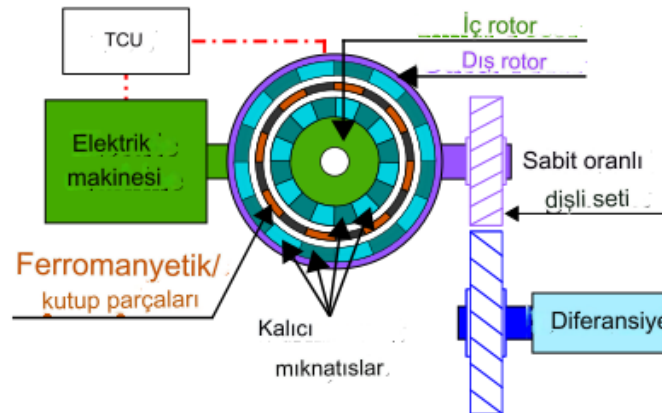
Şekil 5.17. Seri sonsuz değişken şanzıman (IVT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)



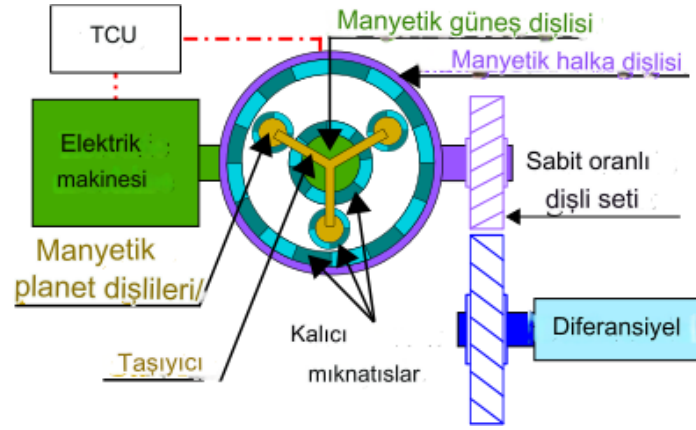
Şekil 5.18. Paralel sonsuz değişken şanzıman (IVT) (Machado,F,A, ve diğ. 2021)

5.10. Manyetik Dişli Şanzımanı (MGT)

Manyetik dişli şanzımanlarda kullanılan dişliler fiziksel yöntemle birbirine geçmesi yerine manyetik alan yoluyla iletilir. Dişlerin yerine kalıcı mıknatıslar kullanılır. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de gösterildiği gibi, iç ve dış rotorlar veya planeter tip dişliler üzerindeki manyetik kutup çiftlerinin oranı dişli oranını belirlemektedir. Manyetik dişliler temassız oldukları, yağlama gerektirmedikleri ve aşırı yük korumasına sahip oldukları için ilgi çekicidir. Manyetik dişliler büyük miktarda mıknatıs kullanır, ancak prototip EV tekerlek motoru başına 14,7 kg'dır, bu da maliyet açısından ekonomik değildir. Verimleri de düşüktür; 100 km/saat hızda tekerlek motoru başına yaklaşık 2,5 kW'lık kayıp vardır; bu, otoyolda sürüş için yalnızca yaklaşık %75 verimliliğe karşılık gelir ve manyetik dişli motorları EV'lar için çekici olmaktan çıkarır (Frandsen ve diğ., 2015).



Şekil 5.19. Koaksiyel manyetik dişli (Machado,F,A, ve diğ. 2021)



Şekil 5.20. Planet manyetik dişli (Machado,F,A, ve diğ. 2021)

5.11. Elektronik Değişken Şanzıman (EVT)

Elektronik Değişken Şanzımanlar (EVT'lar) istenen vites oranını elde etmek için planet dişliler aracılığıyla bağlanan ve birden fazla motor kullanan bir şanzımandır. Toyota Prius veya son zamanlarda John Deere traktörleri gibi hibrit araçlarda yaygın olarak kullanılan bir şanzımandır. EVT'lar, içten yanmalı motordan gelen mekanik gücü elektrik gücüne dönüştüren bir güç bölmeli şanzımandır. Bu güç iki elektrik portundan gönderilir, bir elektrik portu tekerleklerle güç gönderir ve diğer elektrik portu aküde depolanmak üzere güç gönderir. Araç sürücüsünün bakış açısından, EVT'lar hızlanma ve frenleme süreci otomatikleştirildiği için otomatik şanzıman işlevi görür. Ancak, EVT dahili olarak tamamen farklı bir konsepttir ve CVT şanzımanının bir çeşididir.

Sabit bir etkin hızda çalışabilir ve vites kutusundan çıkış hızı elektrik motorları kullanılarak ayarlanır. Bununla birlikte, bu vites kutusunu bir elektrikli araçta kullanmak da mümkündür. (Yuan ve diğ., 2012).

6. SERİ ÜRETİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE GÜÇ AKTARIM ORGANLARI

Bu bölümde bazı elektrikli araç modellerinin teknik özelliklerine ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır. Öncelikli olarak, Tablo 6. 1’ de seri üretim yapan elektrikli araç modellerinde kullanılan motor güçleri ve şanzıman tipleri gösterilmiştir. Tablo 6.1’ de de görüldüğü üzere geliştirilen araçlarda motor güç değerine bakılmaksızın üretim kolaylığı, maliyet ve ürün ağırlığı gibi temel faktörlere bağlı olarak tek vitesli şanzıman tipinin tercih edilmektedir.

Tablo 6.1. Elektrikli araçlara ait motor güçleri ve şanzıman tipleri

Marka Model	Motor Gücü	Batarya Tipi	Şanzıman Tipi	Kaynak
BMW i5 M60 xdrive	448 Kw (601 hp)	Lityum İyon	Otomatik, sabit oranlı tek vitesli şanzıman	(BMW, t.y).
Chevrolet Bolt	149 Kw (200 hp)	Lityum İyon	1 vitesli elektronik hassas şanzıman	(Woodhouse, t.y).
Hyundai Kona	190 Kw (255 hp)	Lityum İyon	Tek vitesli redüktör şanzıman	(Hyundai, t.y).
Jaguar I-PACE	298 Kw (400 hp)	Lityum İyon	Otomatik tek vites redüksiyon dişli şanzıman	(Jaguar, t.y).
Mercedes EQC	295 Kw (402 hp)	Lityum İyon	1 vitesli Otomatik şanzıman	(Mercedes Benz, t.y-b).
Nissan Leaf	112 Kw (150 hp)	Lityum İyon	1 ileri sabit oranlı şanzıman	(Carwow, t.y-a).
Porsche Taycan s turbo	559 Kw (750 hp)	Lityum İyon	2 – vitesli planet dişli setli şanzıman	(Caranddriver, t.y-b)
Renault Zoe	100 Kw (135 hp)	Lityum İyon	Otomatik tek vites redüksiyon dişli şanzıman	(Renault Group, Eylül 2023).
Smart EQ fortwo	61 Kw (82 hp)	Lityum iyon	1 vitesli Otomatik şanzıman	(Electric Vehicle Database, Januar 2020).
Tesla Model 3 Standard Range	242 Kw (325 hp)	Lityum iyon	1 vitesli sabit dişli oranlı şanzıman	(Tesla, t.y).
Volkswagen e-Golf	100 Kw (136 hp)	Lityum iyon	1 vitesli otomatik şanzıman	(Electric Vehicle Database, (May 2017).
Kia EV9 GT-Line	285 Kw (383 hp)	Lityum iyon	1 vitesli otomatik şanzıman	(Kia, t.y).
Opel Corsa-e	100 Kw (136 hp)	Lityum iyon	Tek Vitesli Redüktör Şanzıman	(Opel Corsa, t.y).

Tablo 6.1 (Devam)

Dacia Spring	48 Kw (65 hp)	Lityum iyon	1 ileri otomatik şanzıman	(Renault Group, t.y).
TOGG T10x	160 Kw (218 hp)	Lityum iyon	Otomatik tek vites redüksiyon dişlisi	(Wikipedia, t.y-a).
Renault Megane E-Tech	160 Kw (220 hp)	Lityum iyon	1 ileri otomatik şanzıman	(Wikipedia, t.y-b).
Skywell ET5	150 Kw (204 hp)	Lityum iyon	1 vitesli direkt tahrik şanzıman	(Skywell, t.y).
Volvo XC40 Recharge	308 Kw (408 hp)	Lityum iyon	1 vitesli otomatik şanzıman	(Cars data, t.y).
MG4 Electric	150 Kw (204 hp)	Lityum iyon	1 vitesli otomatik şanzıman	(Wikipedia, t.y-c).
Audi Q8 SUV 55 e-tron quattro	300 Kw (402 hp)	Lityum iyon	Otomatik tek vites redüksiyon dişlisi	(Audi, t.y).
Fiat 500e	83 Kw (113 hp)	Lityum iyon	Tek vitesli aktarım	(Carwow, t.y-b).
Formula E Gen3	350 Kw (476 hp)	Lityum iyon	1 vitesli otomatik şanzıman	(E- Formula, t.y).

6.1. Tesla Model 3 ve Model S

Tesla model 3'ün standart menzil, uzun menzil ve performans olmak üzere üç versiyonu vardır. Tesla tarafından model 3'te diferansiyelin tahrik miline entegre edildiği, verimliliği kompaktlığı ve basitliği nedeniyle şu anda elektrikli otomobiller arasından en çok kullanılan model olarak bilinmektedir. Tesla'da arka aksta sabit mıknatıslı bir senkron motor kullanılır, bu nedenler standart versiyonu arkadan çekişlidir. Uzun menzilde ön ve arka akslarda iki bağımsız elektrik motoru ile güçlendirilmektedir. İkincil elektrik motoru ve versiyonlarda dört tekerlekten çekişli bir elektrikli otomobil haline getirerek araca tekerleklere daha iyi güç dağılımı sağlar, yol tutuşunu ve genel araç dinamiklerini iyileştirir. Her iki motor da AC akım ile çalışır ve sıvı soğutulmalıdır. Şanzımanlı ve diferansiyelli elektrik motoru her zaman tahrik aksı üzerinde bulunan bir tahrik ünitesine yerleştirilmiştir. Tesla'nın tüm tiplerinde Lityum iyon batarya kullanılır ve bu batarya ön ve arka akslar arasında zeminde depolanır. Batarya su ve glikol karışımı ile soğutulmaktadır. Kullanılan vites kutusu piyasadaki çoğu elektrikli araçlarda olduğu gibi tek kademeli bir redüksiyon vites kutusudur.

Model S sadece çift motorlu ve ekose olmak üzere iki versiyonu vardır. Her iki konfigürasyon dört tekerlekten çekişe sahiptir. Çift motorlu versiyonda ön ve arka akslarda iki bağımsız AC

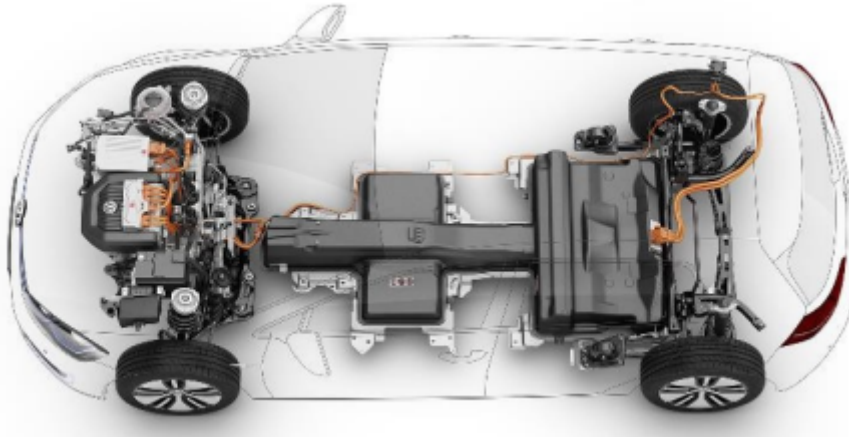
endüksiyon motoru kullanılır ve konfigürasyon Şekil 6.1’de gösterilmektedir. Her iki motor da gücü tek hızlı bir şanzıman ve tahrik aksına entegre edilmiş bir diferansiyel aracılığıyla ayrı bir aksta iletir. İkinci konfigürasyonunda ise ikisi arka aksta ve biri önde olmak üzere üç adede kadar endüksiyon motoru kullanılmaktadır. Bununla birlikte arka aks kavramsal olarak farklı bir şekilde düzenlenmiştir, çünkü her tekerlek doğrudan kendi dişli kutusuna sahip bir tahrik endüksiyon motoruna bağlıdır. Üç elektrik motoru sayesinde bu model 760 kW’ a kadar inanılmaz bir güç çıkışına ulaşmaktadır (Tesla, t.y).



Şekil 6.1. Tesla model S çift motor (Tesla t.y)

6.2. Volkswagen E-Golf

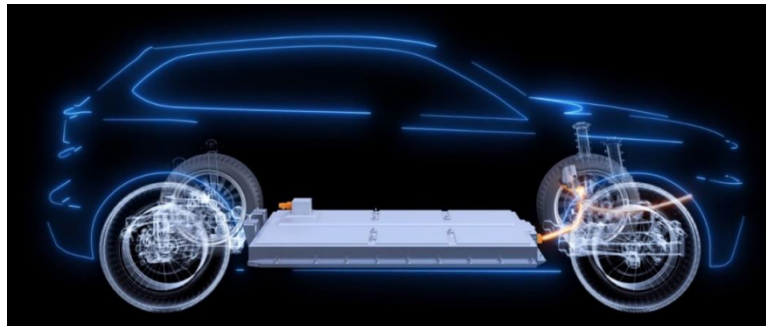
Volkswagen E- golf üretimi tasarımcılar tarafından geleneksel içten yanmalı otomobiller için MQB (Modularer Querbuakasten) platformunu kullanmış ve gerekli bileşenleri değiştirmiştir. Elektrik motoru Şekil 6.2’de gösterildiği gibi ön tarafa, içten yanmalı motor için ayrılan yere yerleştirilmiştir. Senkronize bir sabit mıknatıslı elektrik motoru güç üretir ve bu güç tek vitesli bir şanzıman aracılığıyla ön tahrik tekerlere aktarılır. Li-ion batarya ise yakıt deposu yerine zemine yerleştirilmiştir (Caricos t.y.).



Şekil 6.2. Volkswagen E Golf (Electric Vehicle Database 2017)

6.3. Türkiye Otomobili Girişim Gurubu TOGG T10X Serisi

TOGG elektrikli aracının T10X serinin standart menzil (V1 RWD), Uzun menzil (V1 RWD), uzun menzil (V2 RWD) olmak üzere üç versiyonu vardır. Elektrik motorlarının yerleşimine göre arkadan itişli (Rear Wheel Drive-RWD) ve 4  eker (All Wheel Drive-AWD) seçenekleri yer almaktadır. Merkezi g   aktarımında arka aks tahrikli elektrikli araçta tek redüksiyon şanzıman sistemi kullanılmaktadır. RWD modelinde tek motor AWD modelinde iki elektrik motoru tercih edilmiştir (Togg 2019). Hızlı şarj seçeneği ile ev, işyeri veya yol üzerindeki istasyonlarda 30 dakikadan daha kısa sürede %80 pil doluluk seviyesine ulaşmaktadır. TOGG elektrikli aracının T10X serisi, 28 dakika gibi çok kısa bir sürede %20-%80 doluluk oranına ulaşabilmekte standart menzilde 314 kilometre, uzun menzilde ise 523 kilometre yol kat edebilmektedir. 4 tekerlekten çekişli AWD modeli 320 kW çift motor gücüyle 4 tekerden çekiş ve 100 kilometreye 4,8 saniyede ulaşmakta, arkadan çekişli RWD modeli 160 kW tek motor gücüyle 100 kilometreye 7,4 saniyede ulaşmaktadır. Togg aracının g   üretim sistemi, yüksek enerjili lityum iyon pillerden oluşan batarya ile sağlanmaktadır. Elektrikli araçlarda bulunan rejeneratif fren sistemi, araç yavaşlarken elektrik motorunun jeneratör modunda çalışmasını sağlar. Bu sayede kinetik enerji elektriğe dönüştürülerek bataryayı şarj eder ve menzili %10-20 oranında artırabilir. Ayrıca, bataryanın aracın tabanına entegre edilmesi, ağırlık merkezini alçaltarak dengeli bir kütle dağılımı sağlar. (Togg T10X t.y). Bataryanın araç içindeki yerleşimi ve dağılımı şekil 6.3'de yer almaktadır.



şekil 6.3. Togg suv batarya yerleşimi görünümü (Togg 2019)

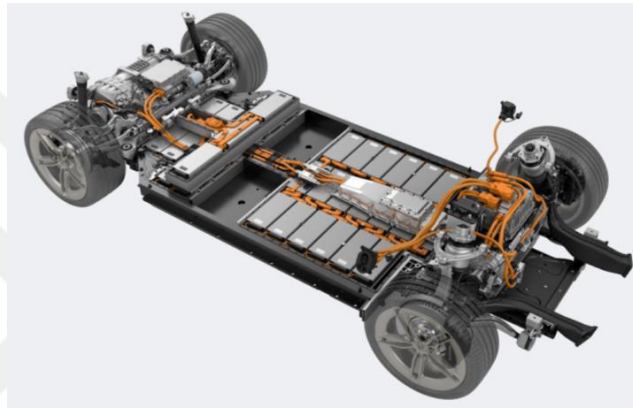
TOGG' un genişlemesiyle birlikte Türkiye'nin 2030 yılına kadar 5 farklı modelde 1 milyon araç üretmesi beklenilmektedir.

6.4. Porsche Taycan

Porsche Taycan 4S, Turbo, Turbo S, olmak üzere tam elektrikli olarak üç versiyonu vardır. Baz modeli olan elektrikli otomobilinde bir adet sabit mıknatıslı senkron elektrik motoru şanzıman

ve arka aksta bir diferansiyel bulunmaktadır. Ancak Taycan' ın diğer elektrikli araçlardan ayıran en önemli özelliği, iki vitesli şanzıman kullanan az sayıda elektrikli araçtan biri olması mümkün olduğunca yüksek hızlara ulaşması ve verimli olması nedeniyle diğer elektrikli araçlardan ayrılıyor. Diğerler versiyonlarında, elektrikli otomobil iki elektrik motoru, güç aktarma organına sahip bir arka aks değişmeden kalır, ancak ön aksa bir sabit mıknatıslı senkron motor eklenir (Porsche t.y.).

Depolanan Li-iyon pil zemindeki boşluk temel modelde diğerler elektrikli araçlara göre daha küçüktür. Konfigürasyon Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Ancak ekstra bir maliyetle Ek ücret karşılığında daha yüksek kapasiteli bir varyant seçilebilir (Caranddriver t.y-a).



Şekil 6.4. Porsche taycan şasisi (Porsche t.y)

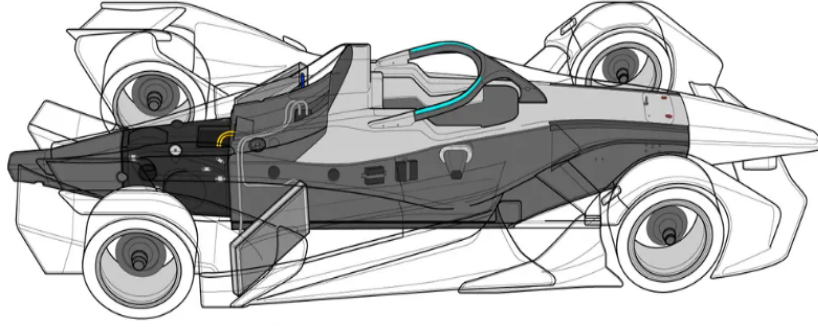
Porsche Taycan, iki vitesli değiştirilebilir şanzımana sahip az sayıdaki seri üretim elektrikli araçlardan biridir.

6.5. Formula E

Formula E tek bir gereklilikle geliştirilen özel bir elektrikli yarış arabası kategorisidir, mümkün olduğunca hızlı olmak zorundandır. Bu otomobiller fiyat veya menzile ilgilenebilir; bunun yerine, tasarımcılar batarya kapasitesini optimize etmeye çalışırlar, böylece elektrikli otomobilin menzili minimum marşla yarış için yeterli olmaktadır.

İlk sezonlarda (2014-2015) geliştirilen araçlarda beş vitesli bir şanzıman kullanılmıştır, ancak bu kademeli olarak kaldırılmıştır. O zamandan beri kademeli olarak önce dört vitesli ve üç vitesli şanzımanlara, ardından da günümüzde çoğu yarış otomobilinin kullandığı tek vitesli şanzımanlara geçilmiştir. Bunun nedeni, motorların tork ve performans özelliklerinin optimize edilmiş olması, dolayısıyla verimliliği artırmaya gerek kalmamasıdır. Formula E, tamamen elektrikli bir yarış aracıdır. Formula E yarış arabaları, diğer tek koltuklu yarış otomobillerine benzemesine rağmen %100 elektrikli olduğundan daha basit mekanik yapılarıyla motor, pil

takımı ve tek vitesli şanzıman gibi dikkat çekici bir yapıya sahiptir. Bunun yanı sıra, güvenlik nedeniyle hızları genellikle 280 km/s ile limitlemiştir. Formula E yarış arabasının tam merkezinde akü vardır, çünkü güç aktarma organının merkezindedir ve arabanın ortasına monte edilmiştir (Carmagazine 2020).



Şekil 6.5. Formula E (Carmagazine 2020).

6.6. Elektrikli Otobüsler

Elektrikli otobüslerin çoğu, tıpkı otomobiller gibi, dişliler olmadan sadece sabit vites kullanmaktadır. Ancak, ağırlıkları nedeniyle, büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabileceğinden bu bileşenin dahil edilmesi daha da önemlidir.

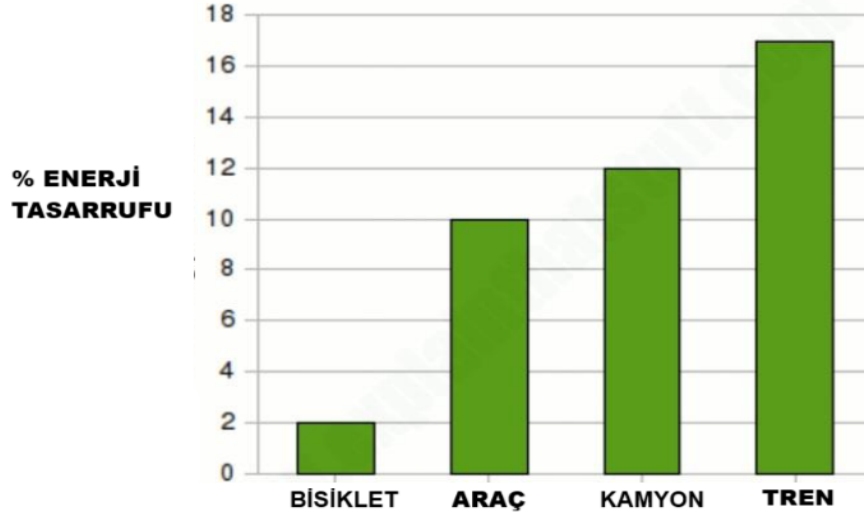
Örneğin, EATON halihazırda elektrikli otobüsler için dört vitesli bir şanzıman üretmektedir. Bu şanzımanı kullanarak %30'a kadar enerji tasarrufu yapmak mümkündür, ayrıca önemli ölçüde daha küçük motorların kullanılmasına izin verir ve ayrıca sürüş özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmektedir (Eaton 2022).

7. REJENERATİF FRENLEME- GERİ KAZANIM

Rejeneratif frenleme elektrikli trenler, arabalar ve diğer elektrikli araçlar, akülere bağlı elektrik motorları tarafından çalıştırılır. Araç kullanırken, akülerden motorlara enerji akışı olur, bu da tekerlekleri döndürür ve hareket etmek için ihtiyaç duyduğunuz kinetik enerjiyi sağlar. Frene bastığınızda veya ayağınızı gaz pedalından çektiğimizde tüm süreç tersine döner, elektronik devreler motorlara giden gücü keser. Kinetik enerji ve moment tekerleklerin motorları döndürmesini sağlar, böylece motorlar jeneratörler gibi çalışır ve elektrik tüketmek yerine üretmeye başlar. Buradaki güç, motor jeneratörlerinden akülere geri akar ve onları şarj eder. Bu nedenle, frenlemeyle kaybettiğiniz enerjinin büyük bir kısmı akülere geri döner ve tekrar yola çıktığınızda yeniden kullanılabilir (Woodford 2022).

Rejeneratif frenleme, yani geri kazanım, elektrikli araçların bataryalarını şarj etmenin tek yoludur. Tahrik tekerlekleri ile elektrik motoru arasında başka bir bağlantı olmadan, rejeneratif frenleme ile menzili artırma rolüne sahiptir, başka bir deyişle ek batarya olmadan kat edilen kilometre sayısı şarj etme, durumuna göre, rejeneratif frenleme ile araç menziline %10'luk bir artış sağlamaktadır. Rejeneratif frenleme sisteminde, araç yokuş aşağı hareket ederken aküleri şarj edebilmektedir. Aynı zamanda frenleme devrede olduğu zaman da yeniden şarj edebilme durumu söz konusudur. Aküleri yeniden şarj etmek için elektrik enerjisine dönüştürülen güç üretilmektedir. Rejeneratif frenleme, araç menziline, arazi, sıcaklık ve diğer değişkenlere bağlı olarak %30'a kadar arttırılabilmektedir (Loveday 2019).

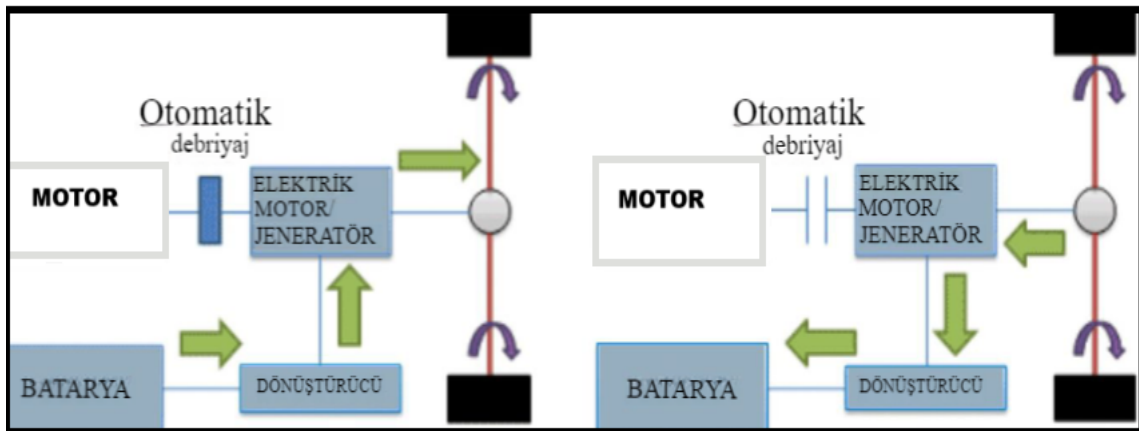
Araç tipi ve enerji söz konusu olduğunda Rejeneratif frenleme uygulanarak tasarruf edilen elektrik enerjisi yüzdesi Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Araç türüne göre değişkenlik göstermektedir. Daha ağır araçların daha yüksek bir yüzdeye sahip olduğu üretilen elektrik enerji yüzdesi daha fazladır (Woodford 2022).



Şekil 7.1. Araç tipine bağlı olarak rejeneratif frenleme kullanılarak tasarruf edilen enerji yüzdesi araç (Woodford.C. 2022)

Rejeneratif frenleme uygulaması otomatik olarak çalışır. Rejeneratif frenleme sisteminin uygulanmasının avantajları, elektrikli araçların menzilinın uzatılması, hibrit araçlarda yakıt tüketiminin azaltılması ve sürtülmeli frenlerin disk ve fren balatalarının hizmet ömrünün uzamasına fayda sağlamaktadır. Dezavantajı ise düşük hızlarda daha düşük etkinliktir (Tire Plus 2022).

Elektrikle çalışan tipik bir örnek araç Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Rejeneratif frenleme prensibi, Enerjinin korunumu yasasına dayanmaktadır. Enerjinin korunumu yasası, enerjinin ne yaratılabileceğini ne de yok edilebileceğini belirtir, yalnızca bir enerji biçiminden diğerine dönüştürülür. Bu dışarıdan eklenmediği sürece bir sistemin her zaman aynı miktarda enerjiye sahip olduğu anlamına gelir (Cvel t.y).



Şekil 7.2. Rejeneratif frenleme süreci (Tire Plus 2022)

Rejeneratif frenleme sisteminde çeşitli motorlar arasında mekanik bir bağlantı olduğundan elektrik motoruna bağlı elemanlar ve güç aktarımında belirli bir verimlilik derecesi vardır. Rejeneratif frenleme sisteminin şehir içi kullanımda, sık sık durup kalkmanın olduğu trafik koşullarında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Hibrit ve elektrikli araçların verimliliğine önemli ölçüde katkıda bulunarak, daha uzun menziller elde etmelerini sağlar. Bu sistem ayrıca mekanik fren sistemindeki aşınma ve yıpranmayı azaltma eğilimindedir ve bu da bakım maliyetlerini potansiyel olarak düşürür.

Benzer çalışma prensibi ve araç hızını azaltma stratejisi, araç üzerindeki retarderler, yani araç hızını düşürmek için kullanılan geciktiriciler, aynı zamanda sürtünmeli frenlerle bir kombinasyona izin vermektedir. Rejeneratif frenlemenin sürtünmeli frenlerle birleştirilmesi, frenin çalışması için yapılı, durma tamamen güvenlidir ve aracın dengesini etkilememektedir. Rejeneratif frenleme kontrolü, kilitlenmeyi önleyici frenleme gibi diğer tüm elektronik fren kontrol sistemleri ile entegre edilmelidir. Rejeneratif frenlemede iki tür vardır.

□ **Kategori A:** Servis frenleme sisteminin bir parçası olmayan rejeneratif frenleme sistemi, Gaz pedalı bırakıldığında rejeneratif frenleme etkinleştirilir.

□ **Kategori B:** Servis frenleme sisteminin bir parçası olan rejeneratif frenleme sisteme sahip araçlar söz konusu olduğunda, servis fren sistemi sadece bir kontrol cihazına sahip olabilir. Her iki rejeneratif frenleme kategorisi (A ve B) ile donatılmış araçlar servis freni komutunun etkisine neden olmamalı ve rejeneratif frenleme etkisini azaltmamalıdır. Rejeneratif güç kategorilerinin varlığını bilmek frenleme, yönetim stratejisi göz önünde bulundurulduğunda önemli bir gerçektir (Day ve Bryant, 2022).

8. BULGULAR

Elektrikli araçlarda genel verimliliği daha da artırmak için araştırmacılar, çok hızlı şanzımanların performans ve enerji verimliliğine yönelik deneysel çalışmalar yürütmektedir. Literatürde yer alan şanzıman sistemlerine ilişkin analiz bulguları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 8.1. Elektrikli araçlarda güç aktarma organlarının enerji verimliliği değerlendirmesine ilişkin analiz bulguları

REFERANS	ARAŞTIRMA	BULGULAR
Hinov vd, 2021	Tek ve çift hızlı şanzımanların enerji tüketimi, WLTC, NEDC ve FTP-75 test döngülerinde karşılaştırılmıştır. Hem simülasyon hem deneysel verilerle sürüş sırasındaki enerji tüketimi analiz edilmiştir.	Çift vitesli şanzıman, tek vitesli şanzımana kıyasla %2,3–%2,9 daha yüksek enerji verimliliği sağlamıştır.
Ritar vd, 2020	Şehir içi sürüş döngüsünde tek hızlı şanzıman, iki hızlı DCT ve CVT sistemlerinin deneysel performansı karşılaştırılmıştır. İki dişli oranı, optimizasyon algoritmasıyla belirlenmiştir	İki hızlı DCT, tek hızlı şanzıman göre %2–3,2 verimlilik artışı sağlamıştır.
Kwon, 2021	Optimize edilmiş iki hızlı DCT ile tek hızlı şanzıman, WLTP döngüsünde simüle edilerek karşılaştırılmıştır.	DCT, iletim verimliliğinde %10,7–12,1 iyileşme sağlamıştır.
Hofman ve Salazar, 2020	CVT kullanan bir EV modelinin verimliliği, iki hızlı AMT ve DCT ile karşılaştırılmıştır. Model, WLTP döngüsünde simüle edilmiştir.	CVT, diğer şanzımanlara kıyasla %3 daha yüksek verimlilik göstermiştir.
Sluis vd, 2019	Optimize edilmiş CVT, tek hızlı ve iki hızlı AMT ile WLTC döngüsünde karşılaştırılmıştır.	CVT, %12,7 enerji verimliliği artışı sağlamış ve 0-100 km/s hızlanmayı 7,4 saniye ile en iyi performansı göstermiştir.

Tablo 8.1. (Devam)

Wei vd, 2021.	CVT entegrasyonlu bir EV için programlama tabanlı ortak tasarım yöntemiyle toplam sahip olma maliyeti (TCO) optimize edilmiştir.	Optimize CVT, TCO'yu %5,9 azaltmış ve tek hızlı şanzımana göre %2 enerji tasarrufu sağlamıştır.
Ruan vd. (2016a)	Tek ve iki hızlı şanzımanların performansı ve menzil üzerindeki etkisi gerçekleştirilen simülasyonlarla incelenmiştir.	Çok vitesli sistemlerin, elektrikli araç menzilini arttığı ve performans kriterlerini karşıladığı tespit edilmiştir.
Joshi ve Ugale (2020),	Tek ve iki hızlı şanzımanların Matlab/Simulink platformunda karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.	İki hızlı şanzımanın, verimlilik ve performansı arttırdığı, fakat maliyeti yükselttiği görülmüştür.
Wang vd. (2017)	İki hızlı DCT'nin verimlilik kayıpları, elektrikli araç modeliyle entegre edilerek analiz edilmiştir.	Motor ve DCT verimliliği arasındaki fark %20'ye ulaşmış; dışı oran optimizasyonu kritik bulunmuştur.
Hofman ve Caarls (2021)	CVT entegrasyonlu düşük maliyetli bir EV tasarımı için programlama tabanlı ortak tasarım yöntemi kullanılmıştır.	EM-CVT entegrasyonu, gelecekteki EV 'ler için verimli ve maliyet etkin bir çözüm olarak önerilmiştir.
Ruan vd. (2016b),	İki hızlı DCT ve CVT'nin performansı, tek redüksiyonlu şanzımanla karşılaştırılmıştır.	CVT, %14 pil enerjisi tasarrufu sağlamış ve yüksek verimlilik alanında çalışmıştır.

Tablo 8.1. (Devam)

Ruan vd. (2018b)	CVT ve iki hızlı DCT'nin NEDC döngüsündeki batarya tüketimi simüle edilmiştir.	CVT, DCT' ye göre %85'ten yüksek verimlilik ile daha az enerji tüketmiştir.
Ruan vd. (2018a)	Farklı araç sınıflarında CVT ve DCT'nin performansı, şehir ve otoyol döngülerinde test edilmiştir.	CVT' nin tüm sürüş koşullarında en ideal alternatif olduğu belirlenmiştir.
Gawade vd. (2019)	Hindistan'da üç tekerlekli bir EV' de CVT' nin tek redüksiyonlu şanzımana göre performansı incelenmiştir.	CVT, dinamik performansı artırmış ve enerji tasarrufu sağlamıştır.
Spanoudakis vd. (2019)	Prototip bir araçta CVT ve tek kademeli şanzıman karşılaştırılmıştır.	CVT, %4,3 daha düşük enerji tüketimi sağlamıştır.
Lacock vd. (2023)	Manuel çok vitesli şanzımanın verimliliği, tek vitesli şanzıman ile karşılaştırılmıştır.	Optimum dişli oranları kullanıldığında verimliliğin %5 arttığı görülmüştür.
Wu vd. (2022)	Tek, iki ve üç vitesli şanzımanların performansı Matlab/Simulink ile simüle edilmiştir.	Üç vitesli sistem, enerji verimliliği sağlamış ancak sarsıntı nedeniyle optimizasyon gerektirmiştir.

Tablo 8.1. (Devam)

Machado vd. (2021)	Çok vitesli şanzımanların enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.	Çoklu dişli sistemlerinin enerji tüketimini %2–20 azaltabildiği sonucuna varılmıştır.
Jeong vd. (2024)	İki vitesli planet dişli şanzıman tasarlanmış ve verimlilik testleri yapılmıştır.	Şanzıman verimliliği %94,13–94,34 aralığında ölçülmüş ve enerji verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir.

8.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Farklı Şanzımanlara İlişkin Korelasyonların Geliştirilmesi

Bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılabilecek farklı güç aktarma organlarının (şanzıman sistemlerinin) hangilerinin en uygun sistemler olduğunu belirlemek ve araştırmanın odak noktasını netleştirmek için Tablo 8.2'de gösterilen şanzıman tipleri, enerji verimliliği, performans ve şanzıman ağırlığı kriterlerine göre puanlandırılarak kıyaslanmıştır. Puanlama sistemi şu şekilde geliştirilmiştir:

- Enerji verimliliği için 5 (en yüksek verimlilik) ile 1 (en düşük verimlilik) arasında puanlar, Tablo 8.1'deki literatür verilerine dayandırılarak gerçekleştirilmiştir.
- Performans (ivmelenme yeteneği) için 5 (en hızlı ivmelenme) ile 1 (en yavaş ivmelenme) arasında puanlar, Tablo 8.3'teki araştırma sonuçlarına göre belirlenmiş olup, bu değerlendirme günümüz elektrikli araçlarının ivmelenme hızlarının ortalaması dikkate alınarak yapılmıştır. Performans puanlamasında kullanılan aralıklar Tablo 8.4'te gösterilmiştir.
- Şanzıman ağırlığı için ise 5 (en hafif sistem) ile 1 (en ağır sistem) arasında yapılan puanlamalar, Tablo 8.3'teki araştırma sonuçlarına göre belirlenmiş olup, Şanzıman ağırlık puanlamasında kullanılan aralıklar Tablo 8.5'te gösterilmiştir.

Araştırmada araç ağırlığının bir puanlama kriteri olarak kullanılmamasının temel nedeni, elektrikli araçların enerji verimliliğini etkileyen faktörlerin karmaşıklığı, her elektrikli aracın pil sistemi, motor sayısı, şanzıman farklılıkları, şasi tasarımı, soğutma sistemleri malzemelerine göre araç ağırlığının diğer teknolojik parametrelerle doğrudan ilişkili

olmasıdır. Bu durumda, ağırlık tek başına enerji verimliliğini temsil edemeyebilir, çünkü farklı teknolojiler aynı ağırlıkta çok farklı verimlilik değerleri gösterebilmektedir.

Tablo 8.2. Farklı şanzımanlar arasındaki puanlama sistemi

Şanzıman tipi	Enerji verimliliği (x)	Performans (y)	Şanzıman ağırlığı (z)
Sabit Oranlı Aktarım Tek vitesli	1	1	5
İki Vitesli Çift Kavramalı (2 vitesli DCT)	5	5	2
Sürekli Değişken Kayışlı / Zincirli CVT	5	5	3
İki vitesli Planet Sistem	4	5	2
Otomatik Manuel AMT	3	4	1
Manuel Dişli MT	3	4	1

Tablo 8.3. Performans (ivmelenme yeteneği) puan aralığı

Performans (0-100 km/s)	Puan
2 – 3,5 Saniye	5
3,5 – 5 Saniye	4
5 – 6,5 Saniye	3
6,5– 8 Saniye	2
8 – 15 Saniye	1

Tablo 8.4. Elektrikli araçlarda şanzıman tipi, şanzıman ağırlık ve performans tablosu

Araç Modeli /Üretici	Şanzıman Tipi	Şanzıman ağırlığı (kg)	Performans (0-100 km/s)	Referans
Porsche Taycan Turbo S	İki Vitesli DCT	50-100	2,8 Saniye	Porsche (t.y). Porsche (t.y-a).
Nissan Leaf	Tek Vitesli (Sabit Oranlı)	20-40	10,9 Saniye	Wikipedia (t.y-c).
Audi e-tron GT	İki Vitesli DCT	50-100	3,3 Saniye	Audi E-Tron (t.y). Audi (t.y).
Rivian R1T	2 Vitesli Planet	60-110	3,0 Saniye	Wikipedia (t.y-f) Zf. (2024).
Eaton AMT	AMT	60-120	5,0 Saniye	Ultimatespecs. (t.y). Eaton (t.y-a)
Ford Mustang Lithium	6-vitesli manuel şanzıman	70-140	4,5 Saniye	Kane, O.S. (2019).
Bosch CVTE4	CVT	60-90	4,0 Saniye	Bosch (t.y.).

Tablo 8.5. Şanzıman ağırlığına ilişkin puanlama aralıkları

Araç Ağırlığı (kg)	Puan
20-40	5
40-60	4
60-90	3
90-110	2
110-130	1

Tablo 2'deki şanzıman tiplerinin enerji verimliliği, performans ve ağırlık arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak değerlendirmek için aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır:

1. **Pearson Korelasyon Katsayısı**, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

2. **Basit Doğrusal Regresyon Analizi**, bir değişkenin diğerini nasıl etkilediğini belirlemek için yararlanılmıştır.
3. **Ortalama Küresel Hata (RMSE)** modelin tahmin performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Bu analizlerden Pearson korelasyon katsayısının sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Pearson korelasyon katsayıları, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi nicelendirirken, regresyon analizi nedensel etkileri ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, gelecekteki araştırmalarda veriye dayalı karar süreçleri için kritik bir parametre olarak belirtilebilir. Pearson korelasyon katsayısı Denklem 8.1 ile hesaplanabilir:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (8.1)$$

Bu denklemde (r) Pearson korelasyon katsayısını, (x) ilk veri setindeki toplam değerleri, (y) ikinci veri setindeki toplam değerleri ve (n) toplam değer sayısını ifade etmektedir.

Basit doğrusal regresyon analizi Denklem 8.2 ile belirlenebilir:

$$\hat{x} = a + by + e \quad (8.2)$$

Bu denklemde (x) bağımlı değişkeni, (y) bağımsız değişkeni, (a) sabit terimi, (b) regresyon katsayısını ve (e) hata terimi göstermektedir.

(a) ve (b) katsayıları ise sırasıyla Denklem 8.3 ve Denklem 8.4 ile tespit edilebilir:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (8.3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Y_i - N \bar{X} \bar{Y}}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - N \bar{X}^2} \quad (8.4)$$

$\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ Ortalama değerleri ifade etmekte olup sırasıyla Denklem 8.5 ve Denklem 8.6 ile hesaplanabilir:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (8.5)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \quad (8.6)$$

Ortalama küresel hata(RMSE) değeri ise Denklem 8.7 ile bulunabilir:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (8.7)$$

Bu denklemde (y_i) gerçekteki değerleri, ($\hat{y}_i$) tahmin edilen değerleri ve N ise toplam değer sayısını belirtmektedir.

Tablo 8.6. Korelasyon katsayıları arasındaki ilişki

Korelasyon Değeri (r)	İlişki Yönü ve Şiddeti
$r = +1$	Mükemmel pozitif ilişki
$0.7 \leq r < +1$	Güçlü pozitif ilişki
$0.3 \leq r < 0.7$	Orta düzeyde pozitif ilişki
$-0.3 < r < +0.3$	Zayıf veya anlamlı olmayan ilişki
$-0.7 < r \leq -0.3$	Orta düzeyde negatif ilişki
$r \leq -0.7$	Güçlü negatif ilişki

8.1.1. Enerji verimliliği ve performans:

Elektrikli araçların enerji verimliliği ve performans özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla, her iki parametre de 1 ile 5 arasında bir puanlama skalası üzerinden değerlendirilmiştir. Doğrusal regrasyon analizine ilişkin hesaplanan katsayılar Tablo 8.7’de verilmiştir. RMSE değerlerine ilişkin veriler ise Tablo 8.8’de gösterilmiştir.

Tablo 8.7. Enerji Verimliliği (x) ve Performans (y) puanlama değerleri ve toplamaları

x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
1	1	1	1	1
5	5	25	25	25
5	5	25	25	25
4	5	16	25	20
3	4	9	16	12
3	4	9	16	12

$$\sum x_i = 21 \quad \sum y_i = 24 \quad \sum x_i^2 = 85 \quad \sum y_i^2 = 108 \quad \sum x_i y_i = 95$$

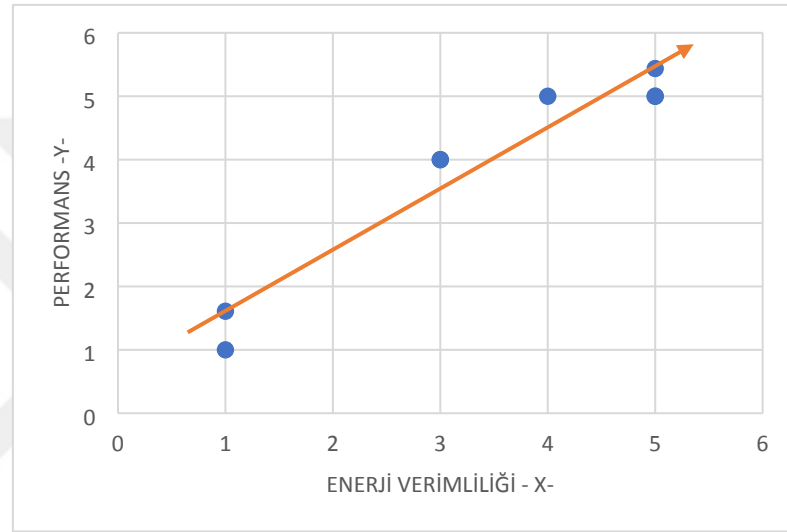
Enerji verimliliği (x) ve performans (y) değerleri arasındaki regrasyon dağılımı Denklem 8.8’de verilmiştir.

$$\hat{y} = 0.6505 + 0.9565 x \quad (8.8)$$

Tablo 8.8. Enerji Verimliliği (x) ve Performans (y) değerlerinin hata karelerine ilişkin veriler

x_i	y_i	$y_i - x_i$	$(y_i - x_i)^2$
1	1	0	0
5	5	0	0
5	5	0	0
4	5	1	1
3	4	1	1
3	4	1	1

Bu çalışmada, elektrikli araçların enerji verimliliği ile performans arasındaki ilişki, Pearson korelasyon katsayısı ve basit doğrusal regresyon analizleriyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.1’de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Performans ve Enerji verimliliği arasındaki doğrusal regresyon analizi dağılımına ilişkin sonuçlar

Bu analiz sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Enerji verimliliği ile performans arasında Pearson Korelasyon Katsayısı 0.936 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç, enerji verimliliği ile performans arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Enerji verimliliği yüksek şanzımanların genellikle daha iyi performansa sahip olma eğilimindedir. Bu durum, gelişmiş şanzıman tasarımlarının motorun verimli çalışma aralığını genişleterek hem tüketimi azalttığını hem de ivmelenme performansını iyileştirdiğini desteklemektedir. Bu, DCT ve CVT gibi gelişmiş şanzımanların motorun daha verimli çalışmasına izin vererek her iki parametreyi de iyileştirdiği fikriyle uyusmaktadır.
- Determinasyon katsayısı (R^2) ise performanstaki değişimin %87,7' sinin enerji verimliliği ile açıklanabileceğini ifade etmektedir.

- Enerji verimliliğini her 1 birimlik artış, performanstaki ortalama 0.9565 birim artırmaktadır.
- Regresyon analizi, bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamaktadır.
- Tahmin hatalarının ortalaması $RMSE \approx 0,707$ olarak hesaplanmıştır. Enerji verimliliği puanlaması 1-5 arasında olduğu düşünüldüğünde çok düşük bir hata olarak kabul edilir.

8.1.2. Enerji verimliliği ve Şanzıman Ağırlığı

Elektrikli araçların enerji verimliliği ve şanzıman ağırlığı özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla, her iki parametre de 1 ile 5 arasında bir puanlama skalası üzerinden değerlendirilmiştir. Doğrusal regresyon analizine ilişkin hesaplanan katsayılar Tablo 8.9’da verilmiştir. RMSE değerlerine ilişkin veriler ise Tablo 8.10’da gösterilmiştir.

Tablo 8.9. Enerji Verimliliği (x) ve Şanzıman ağırlığı (z) puanlama değerleri

x_i	z_i	x_i^2	z_i^2	$x_i z_i$
1	5	1	25	5
5	2	25	4	10
5	3	25	9	15
4	2	16	4	8
3	1	9	1	3
3	1	9	1	3
$\sum x_i = 21$	$\sum y_i = 14$	$\sum x_i^2 = 85$	$\sum y_i^2 = 44$	$\sum x_i y_i = 44$

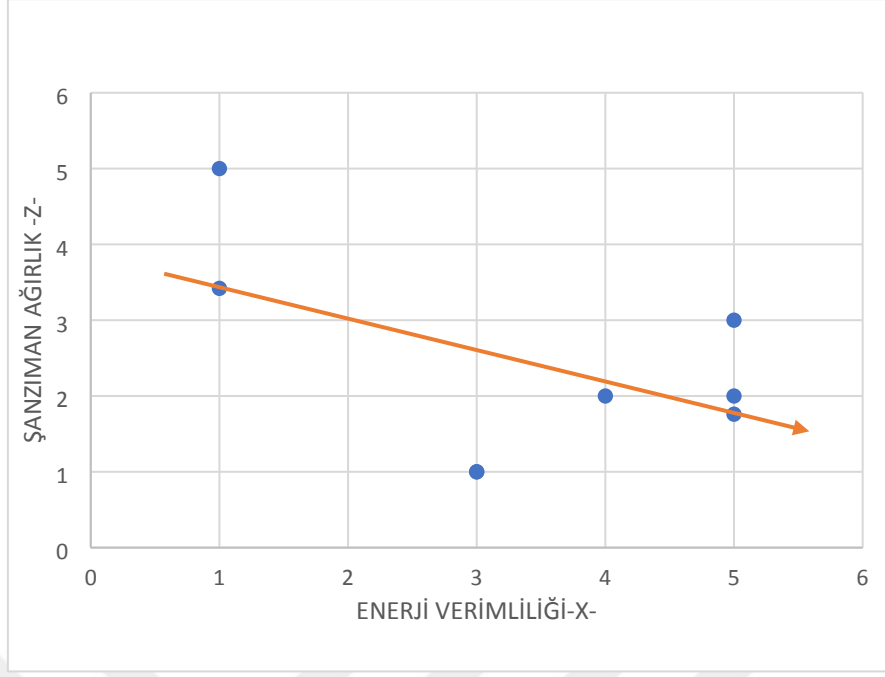
Enerji verimliliği (x) ile şanzıman ağırlığı (z) arasındaki regresyon dağılımı Denklem 8.9 ile ifade edilmiştir:

$$\hat{z} = 3,855 - 0,435x \quad (8.9)$$

Tablo 8.10. Enerji Verimliliği (x) ve Şanzıman ağırlığı (z) hata karelerine ilişkin veriler

x_i	z_i	$z_i - x_i$	$(z_i - x_i)^2$
1	5	4	16
5	2	-3	9
5	3	-2	4
4	2	-2	4
3	1	-2	4
3	1	-2	4

Bu çalışmada, elektrikli araçların enerji verimliliği ile performans arasındaki ilişki, Pearson korelasyon katsayısı ve basit doğrusal regresyon analizleriyle incelenmiş ve elde edilen verilere ilişkin dağılım sonuçları Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Enerji verimliliği ve şanzıman ağırlığı doğrusal regresyon analizi dağılımına ilişkin sonuçlar

Buna göre enerji verimliliği ve şanzıman ağırlığı arasında yapılan regresyon analizi sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Enerji verimliliği ile şanzıman ağırlığı arasında Pearson Korelasyon Katsayısı-0.437 olarak hesaplanmıştır. Bu durum enerji verimliliği ile şanzıman ağırlığı arasında orta düzey negatif bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, şanzıman ağırlığı arttıkça, enerji verimliliği azalma eğilimindedir.
- Şanzıman ağırlığındaki değişimin $\approx \%18,9$ 'unun enerji verimliliğindeki değişimle açıklamaktadır.
- Enerji verimliliğindeki her 1 birim artış, şanzıman ağırlığını 0.435 birim azaltmaktadır.
- Regresyon analizi, bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamaktadır.
- RMSE değeri ≈ 2.61 olarak hesaplanmıştır. Şanzıman ağırlığı (z) 1 ile 5 arasında değiştiğinden, 2.61'lik bir hata orta düzeyde hata olarak kabul edilir.

8.1.3. Performans ve Şanzıman Ağırlığı:

Elektrikli araçların Performans ve şanzıman ağırlığı özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla, her iki parametre de 1 ile 5 arasında bir puanlama skalası üzerinden

değerlendirilmiştir. Doğrusal regresyon analizine ilişkin hesaplanan katsayılar Tablo 8.11’de verilmiştir. RMSE değerlerine ilişkin veriler ise Tablo 8.12’de gösterilmiştir.

Tablo 8.11. Performans (y) ve Şanzıman ağırlığı (z) puanlama değerlerinin regrasyon analizi dağılımları

y_i	z_i	y_i^2	z_i^2	$y_i z_i$
1	5	1	25	5
5	2	25	4	10
5	3	25	9	15
5	2	25	4	10
4	1	16	1	4
4	1	16	1	4

$$\sum y_i = 24 \quad \sum z_i = 14 \quad \sum y_i^2 = 108 \quad \sum z_i^2 = 44 \quad \sum y_i z_i = 48$$

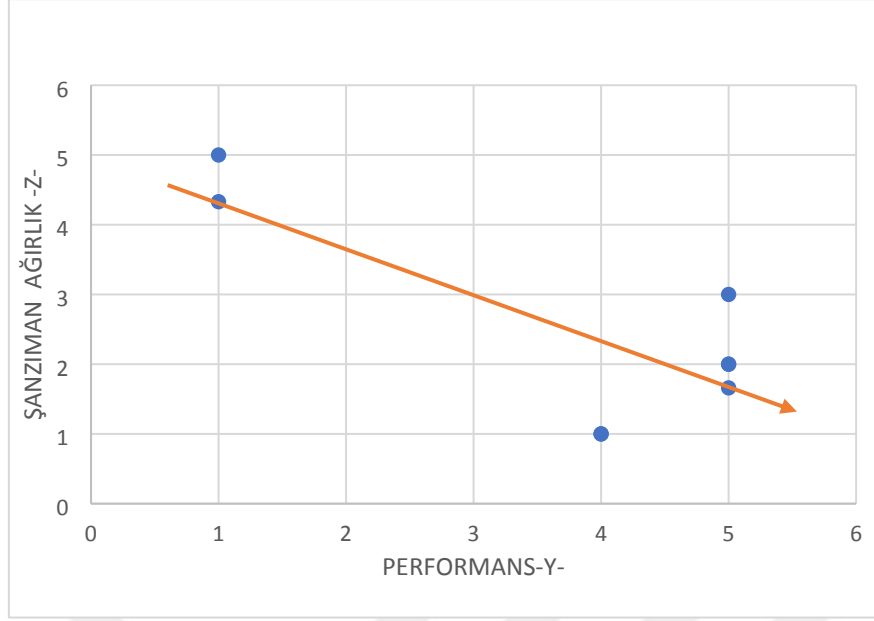
Performans ve şanzıman ağırlığı arasındaki regrasyon dağılımı Denklem 8.10 ile belirtilmiştir:

$$\hat{z} = 5 - 0,667y \quad (8.10)$$

Tablo 8.12. Performans (y) ve Şanzıman ağırlığı (z) hata karelerine ilişkin veriler

y_i	z_i	$z_i - y_i$	$(z_i - y_i)^2$
1	5	4	16
5	2	-3	9
5	3	-2	4
5	2	-3	9
4	1	-3	9
4	1	-3	9

Bu çalışmada, elektrikli araçların performans ile şanzıman ağırlığı arasındaki ilişki, Pearson korelasyon katsayısı ve basit doğrusal regresyon analizleriyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.3’te gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Performans ve Şanzıman ağırlığı arasındaki doğrusal regresyon dağılımına ilişkin sonuçlar

Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Pearson doğrusal katsayısı orta düzeyde negatif korelasyon katsayısını göstermektedir. Yüksek performanslı şanzımanlar genellikle daha hafiftir.
- Performans ile şanzıman ağırlığı arasında Pearson Korelasyon Katsayısı -0.685 olarak belirlenmiştir. Bu durum performans ile şanzıman ağırlığı arasında orta düzey negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir.
- Şanzıman ağırlığındaki değişim (R^2) varyansın yaklaşık %46,9'ünü Performanstaki değişimle açıklanmaktadır. Bu, modelin orta düzeyde açıklayıcı güce sahip olduğunu gösterir.
- Performanstaki 1 birimlik artış, şanzıman ağırlığını ortalama 0.667 birim azaltmaktadır.
- Regresyon analizi, bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamaktadır.
- RMSE değeri $\approx 3,05$ olarak hesaplanmıştır. Performans 1 ile 5 arasında değiştiğinden, 3,05'lik bir hata modelin tahminlerinde orta düzeyde hata olarak kabul edilir.

8.1.4. Elde edilen bulgulara ilişkin genel değerlendirmeler ve öneriler

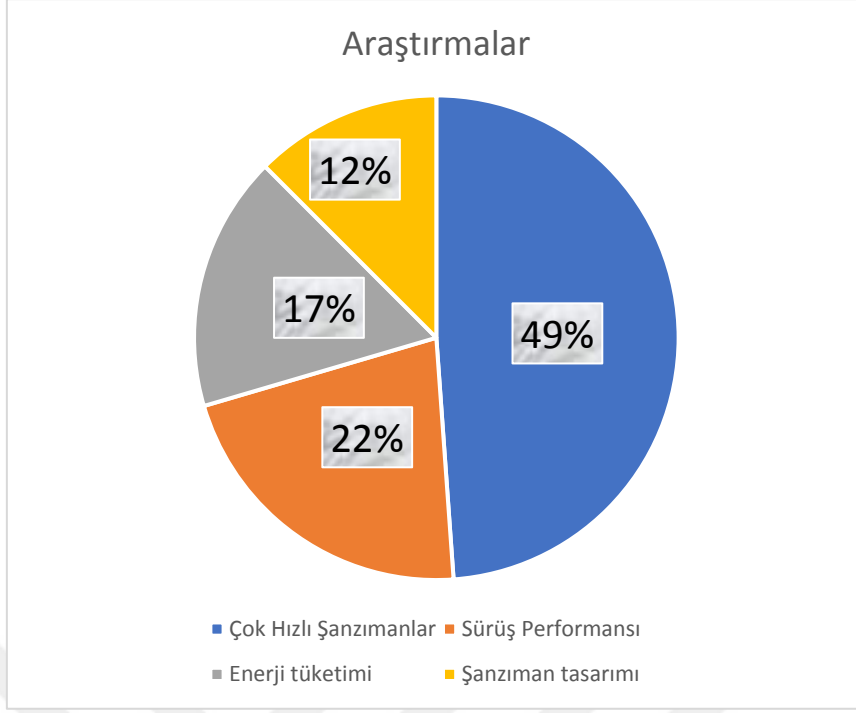
Elektrikli araçlarda kullanılan şanzıman tiplerinin enerji verimliliği, performans ve ağırlık parametreleri arasındaki ilişkilerin incelendiği bu çalışmada, aşağıdaki temel bulgulara ulaşılmıştır:

- DCT (İki Vitesli Çift Kavramalı) ve CVT (Sürekli Değişken Şanzıman) gibi teknolojiler hem enerji verimliliği hem de performans açısından öne çıkmaktadır. Bu şanzımanların elektrikli araçlarda tercih edilmesi, sürdürülebilir ve yüksek performanslı çözümler sunabilir.
- Hafif şanzımanların enerji verimliliğini artırması, tasarımda malzeme optimizasyonunun önemini vurgulamaktadır.
- Hafif malzeme kullanımı, enerji verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

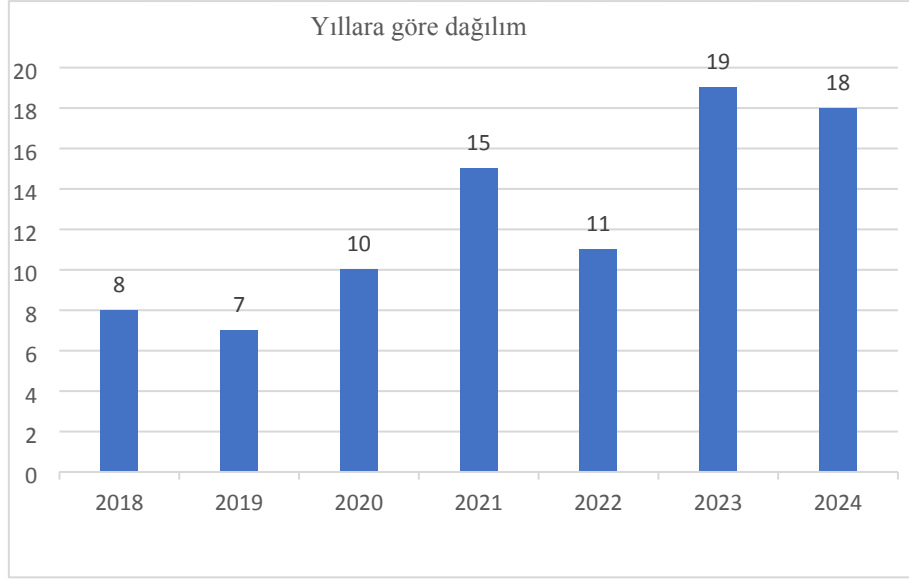
Bu bulgular, elektrikli araç üreticilerinin şanzıman seçiminde enerji verimliliği, performans ve ağırlık parametrelerini dengeli bir şekilde optimize etmelerine rehberlik edecek niteliktedir. Elektrikli araçlarda şanzıman seçimi, enerji verimliliği, performans ve ağırlık parametrelerinin dengeli bir şekilde optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu çalışma, DCT ve CVT gibi teknolojilerin bu dengeyi sağlamadaki üstünlüğünü ortaya koymuştur. Üreticilerin, sürdürülebilir mobilite hedeflerine ulaşmak için bu bulguları temel alarak yenilikçi şanzıman çözümlerine yatırım yapmaları kritik önem taşımaktadır. Gelecek çalışmalar, farklı sürüş senaryoları ve pil teknolojileri ile şanzıman etkileşimlerini inceleyerek bu alandaki bilgi birikimini genişletebilir.

8.2. Elektrikli Araçlarda Güç Aktarma Organlarının Enerji Verimliliği: Literatür Analizi ve Sürdürülebilir Çözümler

Bu çalışma içerisinde özellikle 2018'den 2024'e kadar yapılan elektrikli araçların güç aktarma organlarının enerji verimliliği ile ilgili araştırma çalışmalarını incelemeye odaklanmaktadır. Araştırmaların %49'u elektrikli araçlarda kullanılan çok hızlı şanzımanlarla ilgili çalışmaları, %22'si elektrikli araç güç aktarma organlarında güç akışını optimize etme yöntemlerinin ve sürüş performansının incelenmesini, %17'lik kısmını ise elektrikli araç güç aktarma organı enerji tüketimine yönelik çalışmaları ve %12'si ise elektrikli araçlarda çok hızlı şanzıman tasarımı ile ilgili bulguları ortaya koymaktadır. Bu araştırmalara ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'te gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Elektrikli araçlarda şanzıman özelliklerinin performans ve enerji tüketimine göre dağılımı



Şekil 8.5. Elektrikli araçlarda güç aktarma organları literatür araştırmalarının yıllara göre dağılımı

Son yıllarda yapılan araştırmaların büyük bir kısmı, elektrikli araçların farklı sürüş profilleri altında enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik deneysel ve teorik çalışmalardan oluşmaktadır. Elektrikli araç güç aktarma organlarının daha sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir EV için verimliliğini ve performansını artırmak büyük önem arz etmektedir.

Elektrikli araçların yaygınlaşması için güç aktarma organlarının enerji verimliliği kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, mevcut literatürdeki boşluklar vurgulanmaya çalışılmıştır. Bu sayede, üreticilere sürdürülebilir, yüksek performanslı ve uygun maliyetli şanzıman sistemleri geliştirmeleri için dikkat edilmesi gereken hususları belirten bir yol haritasının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Özellikle CVT ve DCT teknolojilerinin geliştirilmesi, elektrikli araçların hem çevresel hem de ekonomik açıdan daha erişilebilir olmasını sağlayacaktır.



9. TARTIŞMA

Yapılan araştırmalar, elektrikli araçların güç aktarma organları konusunda çeşitli çalışmaların mevcut olduğunu göstermektedir. Birçok bilimsel araştırma, yüksek verimlilik sağlayan iletim sistemlerinin geliştirilmesi, maliyetin düşürülmesi ve enerji kayıplarının minimize edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, bu çalışmalar genellikle dar kapsamlı olup, güç aktarma organlarında enerji verimliliğini artıracak tüm potansiyel stratejileri kapsamamaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma, mevcut çalışmalardan elde edilen bilgileri derinlemesine irdeleyerek, enerji verimliliğini artıracak yeni güç aktarma organları üretilmesinde üreticiye yenilikçi yaklaşımlar ve tasarım stratejileri geliştirmede önemli katkı sağlayacaktır. Elektrikli Araçların enerji verimliliğini, sürüş performansını, konforunu artırmak ve maliyetini azaltmak için çok vitesli şanzımanlara önemle yer verilmesi gerekmektedir. Özellikler CVT şanzıman verimliliğinin EV'lerin enerji tüketimi üzerindeki etkisi göz ardı edilemez ve bununla, ilgili araştırmaların yapılması için gereklidir. Bosch, elektrikli araçlar için itme kayışlı sürekli değişken şanzıman (CVT4EV) ile daha geniş bir kitle için performans gereksinimlerini karşılamaya yardımcı olabilecek elektrikli araçlardaki uygulamalar için tasarlanmış kompakt çok hızlı şanzıman konseptini tanıtmıştır. Elektrikli güç aktarma organlarında ekonomi ve performans avantajları sağlarken, pürüzsüz sürüş davranışı da korunmaktadır ve %4 verimlilik artışı sağlanmaktadır. CVT4EV, orta boy bir otomobil, spor otomobil veya hafif ticari araç olsun, çok çeşitli uygulamalar için uygun tek bir güç aktarma organı yapmaktadır. Bu, uygulamalar ve araçlar için geliştirme, üretim ve satış sonrası hizmetlerde maliyetlerin ve karmaşıklığın azaltılmasıyla sonuçlanarak otomobil üreticilerine büyük avantajlar sağlayacağı söylenmektedir (Bosch 2024). Elektrikli araçların kullanım alanları ve çalışma koşulları olarak değerlendirildiğinde bazı zorluklarla karşı karşıya olduğu görülmektedir. Bu zorlukların başında tırmanma eğimi yüksek olan yollarda hafif hizmet araçları, yüksek azami hız talep eden spor arabalar veya bir römork ya da karavan çekmek için kullanılan araçlar gelmektedir. Burada, sürekli değişken şanzıman (CVT) çözüm sağlayabilir. Gelecekte çok vitesli şanzımanlar, batarya paketinden mümkün olduğunca fazla menzile elde etmeyi amaçlayan ve daha yüksek hacimli, daha düşük maliyetli elektrikli araçlarda da yer bulabilir. Çok vitesli dişli kutuları, elektrikli araçların verimliliğini ve performansını artırmak için önemli bir potansiyele sahiptir. Birden fazla vitesli sahip olmak, elektrik motorunun ve invertörün daha verimli bir bölgede çalışmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak bilim adamları ve üreticilerin yaptığı araştırmalara göre, farklı sürüş çevrimlerinde %4,5 ile %11 arasında değişen enerji tüketimi kazanımlarıyla çok vitesli

şanzımanların, tek vitesli aktarma organlarına göre belirgin bir iyileşme olduğunu göstermektedir. CVT' nin benimsenmesiyle daha fazla kazanç elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

9.1. Çok Hızlı Vites Kutularının Enerji Verimliliği Avantajları

Çok vitesli dişli kutuları akademik literatürde kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve Tablo 9.1'de ticari olarak üretilen çok vitesli şanzımanlar gösterilmiştir. Üreticiler ve araştırmacılar genellikle çok vitesli dişli kutularının aktarma organlarının enerji tüketimini azaltacağını ve performansı artıracığını iddia etmektedir. Debriyajsız AMT' ler ve DCT' ler en umut verici ve yaygın olarak kullanılan teknolojilerdir. Fakat EV' ler için CVT' ler de henüz geliştirme aşamasındadır. I-AMT' ler, IVT' ler ve MGT' ler ile ilgili araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, muhtemelen artan karmaşıklıkları ve potansiyel olarak daha düşük verimlilikleri nedeniyle henüz herhangi bir endüstriyel uygulamada henüz yer bulamamıştır. Çeşitli ticari çok vitesli şanzımanların araştırma aşamasındaki enerji verimliliği ve çekiş sistemleri için iddia edilen faydaları tablo 9.1'de özetlenmiştir.

9.2. Ticari Olarak Geliştirilen Çok Vitesli Şanzıman Tiplerine İlişkin Sonuçlar

Aşağıdaki Tablo 9.1'de özetlendiği gibi birçok farklı Ekipman ve otomobil üreticisi çok vitesli dişli kutuları geliştirmiştir. Altı hıza kadar dişli kutuları geliştirilmiş ve hatta Bosch yakın zamanda EV' ler için bir CVT ürünü geliştirmeye çalışmıştır. Tabloda listelenen vites kutularının yaklaşık yarısı binek araçlara yöneliktir. Gkn / Bmw I8, /Schaeffler Ag/ Audi E-Tron ve Porsche Taycan Bu araçlar hali hazırda üretimde olan vites kutularıdır, performans odaklı elektrikli araçların hızlanmasını ve en yüksek hızını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Formula E yarış serisi araçlarda ayrıca serinin 2014 yılındaki başlangıcından bu yana hızlanmayı, azami hızı ve verimliliği artırmak için 2 ile 5 vites arasında vites kutuları kullanılmıştır. Listelenen diğer binek araç vites kutularında %5-11 arasında bir verimlilik artışı hedeflenmektedir.

Tablo 9.1. Elektrikli araçlar için geliştirilen çok vitesli şanzıman türleri

ÜRETİCİ /KULLANICI FİRMA	ŞANZIMAN TİPİ	ARAÇ SEGMENTİ	ŞANZIMAN FAYDALARI	REFERANS
GKN/BMW İ8	2 Vitesli	Binek Spor Araç	Geliştirilmiş Hızlanma Ve Azami Hız	(Gkn Automotive t.y.). (Green Car Congress 2014).
PORCHE TAYCAN	2 Vitesli Dct	Makam Ve Spor Araç	Geliştirilmiş Hızlanma Ve Azami Hız	(Tracy 2022). (Porsche t.y-a).
BOSCH	CVT4EV	Orta-Büyük Ticari Ve Spor Araba	Geliştirilmiş Dinamik Performans Ve Enerji Verimliliği %4	(Green Car Congress t.y.). (Bosch 2024).
HEWLAND/FORMU LA E (FIA)	2 İle 5 Vites	Yarış Aracı	Geliştirilmiş Dinamik Performans Enerji Verimliliği %15-%40 Verimlilik Kazancı	(Hewland. t.y.). (Abb Fia 2024).
MERCEDES BENZ	2 Vites Otomatik	Hafifi İle Orta Hizmet Ticari Kamyon	Geliştirilmiş Dinamik Performans Ve Enerji Verimliliği	(Mercedes Benz. t.y-a).
TAHRİK SİSTEMİ TASARIMI / MSYS	3 Vitesli	Binek Araç	Enerji Verimliliği %10- %15	(Green Motion t.y.). (Green Car Congress. 2014).
EATON	2, 4, 6 Vitesli Amt	Ticari Kamyon Otobüs	Geliştirilmiş Azami Hız, Tırmanma Kabiliyeti Ve Enerji Verimliliği	(Eaton t.y).
ZF	2 Vitesli	Binek Araç	Enerji Verimliliği %5	(D.Tracy., 2019).
BORGWARNER / EGEARDRİVE	3 Vitesli Dct	Orta Hizmet Ticari Filo Kamyonu/ Minibüsü	Geliştirilmiş Dinamik Performans Ve Enerji Verimliliği	(Borgwarner t.y).
AUDİ E-TRON / SCHAEFFLER	2 Vitesli Dct	Makam Ve Spor Araç	Geliştirilmiş Hızlanma Ve Azami Hız	(Schaeffler t.y). (Audi E-Tron t.y).

Aralarında Mercedes-Benz, Eaton, BorgWarner' de bulunduğu üreticiler, kamyonetler, kamyonlar ve otobüsler gibi orta ve ağır hizmet tipi elektrikli araçlar için vites kutuları geliştirmiştir.

Bu çok ağır araçlar için çok vitesli dişli kutuları, hızlanmak için gereken yüksek torku sağlayabilir ve aynı zamanda %15'e kadar verimlilik artışı da sağlayabilir. MSYS ve Hewland Engineering Ltd, OC Oerlikon Corp. Gkn, Zf, Schaeffler AG ve Bosch dahil olmak üzere diğer üreticiler de elektrikli araçlar için çok vitesli dişli kutuları araştırma ve geliştirmeleri devam etmektedir.



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen çalışma içerisinde elektrikli araçların güç aktarma organındaki enerji verimliliğinin ne derece gerekli olduğu ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları, batarya çeşitleri ve şanzıman tiplerinin çalışma prensipleri anlatılıp, enerji tüketimleri kapsamlı bir şekilde literatür değerlendirmesi ile kıyaslanmaya çalışılmıştır.

Elektrikli araçlar, enerji kaynağı olarak bataryalarda depolanan elektrik enerjisini kullanır ve motor tahrik sistemleri, bataryanın çıkış gücünü tekerlekler için dönme enerjisine dönüştürerek elektrikli aracın çalışmasını sağlar. Bu nedenle otomotiv endüstrisi yoğun bir şekilde batarya teknolojisini güvence altına almaya odaklanmakta ve bu da elektrikli araç şanzımanlarının araştırma ve geliştirme hızını yavaşlatmaktadır. Güncel otomotiv pazarında öne çıkan araç modelleri incelendiğinde, üreticilerin tasarım ve üretim stratejilerini büyük ölçüde üretim kolaylığı ve maliyetten yana olduğu görülmektedir.

Elektrikli araçlarda batarya kapasitesinin artırılmasıyla menzil artışı sağlanabilmektedir. Ancak boyut, ağırlık ve maliyet bunun sınırlarını belirlemektedir. Elektrikli araç performansını artırmanın bir başka yolu da aracın enerji verimliliğini artırmak olacaktır. Elektrikli araçların temel bileşeni çekiş motorudur ve onun mümkün olan en iyi verimlilikte çalışmasına izin vermek, elektrikli araçların enerji verimliliğini artırmanın bir yolu olacaktır. Bir aracın genel çalışma verimliliği, aktarma organlarının verimliliğine ve alt bileşenlerine bağlıdır. Ancak bu verimlilikler aynı zamanda aracın sürüş çevrimlerini gerçekleştirirken aracın normal çalışması sırasında güç aktarım sisteminin çalıştırıldığı durumlara da bağlıdır.

İçten yanmalı motorlar birden fazla vitesle sahiptir ve doğru hızda doğru miktarda güç sağlamak için çok hızlı şanzımanlar gerektirir; çünkü maksimum tork yalnızca motor belirli bir devir sayısına ulaştığında motorun durması önlenmektedir. Buna karşılık elektrikli araçlar, elektrik motorlarının özellikleri nedeniyle çalışma anında maksimum tork uygulayabilir ve içten yanmalı motorlara kıyasla 2-3 kat daha yüksek dönüş aralığında çalışabilmektedir. Elektrikli araçların, eşdeğer içten yanmalı motorlu araçlara göre daha hızlı hızlanma sağlayabilmesinin nedeni, tahrik motoruna elektrik enerjisi sağlandığı anda maksimum tork üretmesi ve vites değiştirme süresine gerek olmamasıdır. Günümüzdeki elektrikli araçlarda kullanılan şanzımanlar arasında tek vitesli şanzımanlar, çok vitesli dişli şanzımanlar (DCT), sürekli değişken şanzımanlar (CVT), ve planet dişli şanzımanlar literatürde geniş yer tutmaktadır.

Bununla birlikte, birçok elektrikli araç, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla genellikle daha düşük bir azami hıza ve yüksek hızlarda daha düşük verimliliğe sahip sabit dişli oranlı tek vitesli şanzımanlar kullanmakta olup bu şehir içi sürüşe kıyasla avantaj, yüksek hızlı sürüş için bir dezavantajdır. Bu nedenle elektrikli araçların verimliliğinin artırılması için elektrikli araçlara yönelik şanzımanların gerekli olduğu savunulmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlarda olduğu gibi, yüksek hızlı sürüş sırasında verimliliği artırmak için elektrik motorunun dönüş hızını azaltmak gerekir. Ancak çok vitesli şanzımanla donatılmış seri üretimde olan elektrikli araç modellerini bulmak günümüzde zor ve kurulumu planlı modeller henüz yaygınlaşmamıştır. Ayrıca elektrikli araçlar için aktif olarak şanzıman geliştiren üretici firmaları da bulmak kolay değildir.

Üreticilerden birkaçı çok vitesli şanzıman ürününü duyurmuş olsa da şu anda BMW i8, Audi E-Tron ve Porsche Taycan. vb. firmalar birden fazla dişli oranına sahip araç üretmektedir. Bu firmaların asıl amacı enerji verimliliğinden ziyade hızlanmayı iyileştirmek amacıyla çok vitesli şanzıman kullanmaktadır. Mevcut araştırmaların büyük bir kısmı çok vitesli şanzıman sistemlerin nasıl tasarlanacağı, modelleneyeceği ve kontrol edileceği konusunda fikir verirken, çok vitesli şanzıman sistemleri ile tek hızlı şanzıman sistemlerini karşılaştıran daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca elektrik motoru, invertör ve dişli kutusu tasarımlarını birlikte optimize eden çalışmalar çok daha iyi bir sonuç sağlayacaktır. İnceleme sonucunda en son literatür çoğunlukla motorun verimliliğini ve sürüş koşullarını (DCT ve CVT için) dikkate alarak dişli oranlarının optimize edilmesine, çeşitli sürüş çevrimleri için vites değiştirme stratejisinin optimize edilmesine odaklanmaktadır. Yapılan araştırmanın sadece enerji verimliliği açısından yapılması yetersiz olduğundan dolayı üretim kolaylığı, ağırlık, maliyet ve güvenilirlik açısından sürdürülebilirliklerinde incelenmesi gerekmektedir. Literatürde araştırılan şanzımanlar hem günümüzde hem de gelecekte üretilecek elektrikli araçlarda ekonomik, dinamik performans ve enerji verimliliği açısından umut vadetmektedir.

Elektrikli araçlarda şanzıman entegrasyonuna yönelik gelecek nesil araştırmalarında, maliyet hesabı yapılması ve enerji tüketiminin değerlendirmesi, gerekmektedir. Bu sayede gelecekte geliştirilecek şanzıman çeşitleri elektrikli araçların enerji tüketimi ve performanslarını çok daha iyi bir seviyeye getireceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arora,S., Shen,W., Kapoor,A. (2016). Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, 60, 1319-1331.
- Ahssan,M,R., Ektesabi,M,M., Gorji,S,A. (2018). Electric Vehicle with Multi-Speed Transmission: A Review on Performances and Complexities”, *SAE International Journal of Alternative Powertrains* Vol. 7, No. 2 (2018), pp. 169-182 (14 pages), DOI:10.4271/08-07-02-0011.
- Abb Fia (24 January 2024). *Formula E's cutting edge electric race car, gen3*. <https://www.fiaformulae.com/en/news/487147>.
- Andrejčák,T. (9 October 2018). *Protean Elektrické kolesá idú do výroby. Majú šancu?* <https://auto.pravda.sk/novinky/clanok/453501-protean-kolesa-s-elektromotormi-idu-do-vyroby-maju-sancu>
- Al Think (20 January 2023). *The eAxe, a core component of electric vehicles*. <https://www.aisin.com/en/aithink/innovation/blog/005822.html>
- Audi E-Tron (t.y). *Learn about Audi e-tron battery, performance, and technology*. <https://www.audiusa.com/en/ev-hub/e-tron-technology/>
- Audi (t.y). *Q8 e-tron -Technische Daten* <https://www.audi-mediacycenter.com/de/q8-suv-e-tron-58/technische-daten>
- Bottiglione, F., Pinto, S., Mantriota, G., Sornioti, A. (2014). Energy consumption of a battery electric vehicle with infinitely variable transmission. *Energies*, 7(12), 8317–8337. doi:10.3390/en7128317
- Birer.G.C., (Nisan 2020). Elektrikli araçlar bilim ve teknik Tübitak https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/28_elektrikli.pdf
- Bosch (18 October 2024). *Eaxle the modular axle drive system*. <https://www.Bosch-mobility.com/en/solutions/electric-motors/eaxle/>
- Beaudoin,M,A., Boulet,B. (2021). Fundamental limitations to no-jerk gearshifts of multi-speed transmission architectures in electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory* 160(2) : 104290 DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2021.104290.
- Bosch (14 April 2024). *Continuously variable transmission with pushbelt for electric vehicles (CVT4EV)* <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/transmission technology /transmission-cvt4ev/>
- Borgwarner (t.y). *Ev transmissions high ratio chain drive Inc*. <https://www.borgwarner.com/technologies/ev-transmissions>.
- Bmw (t.y). *i5 touring %100 elektrisch* <https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i5/bmw-i5-touring.html/bmw-i5-m60-xdrive-touring.bmw>

- Bmw (t.y-a). *I4 Edrive40 gran coupe %100 elektirikli* <https://www.bmw.com.tr/tr/all-models/i-series/i4/i4-gran-coupe-2024-g26bev.html>
- Bosch (t.y.). *Continuously variable transmission with pushbelt for electric vehicles (CVT4EV)*, <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/transmission-technology/transmission-cvt4ev/>
- Carbone,G., Mangialardi,L., Mantriota,G. (2001). Fuel Consumption of a Mid Class Vehicle with Infinitely Variable Transmission,” *SAE International Journal of Engines* 110(3):2474-2483, doi: 10.4271/2001-01- 3692.
- Cari(t.y). *Volkswagene-Golf2017MY* https://www.caricos.com/cars/v/vw/2017_volkswagen_e-golf/
- Chan,C.C. (2002). The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proceedings of the IEEE*. Volume: 90, Issue: 2 doi: 10.1109/JPROC.2002.989872
- Christensen,J., Albertus,P., Carrera,R,S., Lohmann,T., Kozinsky,B., Liedtke,R., Ahmed,C., Kojic,A. (2012). A critical review of li/air batteries. *Materials Science, Engineering, Chemistry Journal of The Electrochemical Society*, 159(2), R1-R30. doi:10.1149/2.086202jes.
- Caranddriver (t.y-a). *Research cars porsche*. <https://www.caranddriver.com/porsche>
- Caranddriver (t.y-b) *Why the Porsche Taycan EV's Two-Speed Transmissi* <https://www.caranddriver.com/news/a28903274/porsche-taycan-transmission>
- Carwow (t.y-a). *Technische Daten, Maße und Ausstattung des Nissan Leaf Modells* <https://www.carwow.de/nissan/leaf/technische-daten#getriebe-und-kraftstoff>
- Carwow (t.y-b). *Technische Daten, Maße und Ausstattung des Fiat 500 Elektro Modells* <https://www.carwow.de/fiat/500-elektro/technische-daten#gref>
- Carmagazine (31 July 2020). *The formula E powertrain explained* <https://www.carmagazine.com/electric/formula-e-powertrain/>
- Cars data (t.y). *Volvo XC40 Recharge Transmission* <https://www.cars-data.com/en/volvo-xc40-recharge/transmission>
- D.Tracy. (16 July 2019). *Here's zf's new two-speed transmission for electric cars*. <https://jalopnik.com/heres-zfs-new-two-speed-transmission-for-electric-cars-1836428183>.
- Dixon,J. (2010). Energy storage for electric vehicles. *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology, Chile*. DOI:10.1109/ICIT.2010.5472647.
- Day,A,J., Bryant,D. (2022). *Electronic Braking Systems Braking of Road Vehicles Oxford, Cambridge: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier pp 385-425*.
- Doležel,R. (2016). *Počátky A Vývoj Elektromobilů* Vysoké Učení Technické V Brně Ústav Automobilního A Dopravního Inženýrství Česku a na Slovensku

- Devinn (12 November 2019). *Electric car design* <https://en.devinn.cz/blog/konstrukce-ele>
- Donaldson,P. (2018). *Canvasses some tier 1 suppliers' views on contemporary eaxle technology and the likely future trends in their design.* <https://www.emobility-engineering.com/eaxle-transmission>
- Ehsani,M., Gao,Y., Longo,S., Ebrahimi,K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition.* ABD, Boca Raton: CRC Press
- Emadi,A. (2017). *Advanced Electric Drive Vehicles Energy, Power Electronics, and Machines:* CRC Press, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada
- Eaton (05 May 2022). *Eaton to supply medium-duty transmissions to Proterra for electric transit vehicles.* <https://www.eaton.com/us/en-us/company/news-insights/news-releases/2022/eaton-to-supply-medium-duty-transmissions-to-Proterra.html>
- Eaton (t.y). *Medium duty 6-speed EV transmission.* <https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/emobility/6-speed-ev.html#tab-1>
- Eaton (t.y-a) EV Transmission <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/emobility/power-systems/eaton-ev-transmissions-brochure-emob0003-en.pdf>
- Electric Vehicle Database (Januar 2020). *Smart EQ fortwo* https://ev-database.org/de/pkw/1230/Smart-EQ-fortwo#google_vignette
- Electric Vehicle Database (May 2017). *Volkswagen e-Golf* https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf#google_vignette
- E- Formula (t.y). *Technology in* <https://e-formula.news/wiki/technology>
- Felden.M., Butterling.P., Jeck.p., Eckstein.l., (2010). Electric vehicle drive trains: From the specification sheet to the drive-train concept *IEEE Xplore Digital Library* . 2020, October, 2010, , 3-9 DOI: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606531.
- Frivaldský,M., Praženica,M., Koňarik,R., Špánik,P., Čuboň,F., Radvan,R., Ráček,V. (2019). *Elektromobilita.* Žilina: EDIS. 2019. 320 s. ISBN 978-80-554-1598-7.
- Francis.V,S., Tom.V,D., Gertjan,V.S. (Kasım 2012). Bosch technik fürs leben <https://www.yumpu.com/en/document/read/3612151/fuel-consumption-potential-of-the-pushbelt-cvt-bosch>
- Frandsen,T.V., Mathe,L., Berg,N.I., Holm,R.K., Matzen,T,N., Rasmussen,P,O. (2015). Motor Integrated Permanent Magnet Gear in a Battery Electrical Vehicle, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 2, pp. 1516–1525, 2015, doi: 10.1109/TIA.2014.2360016.
- Fischer,R., Küçükay,F., Jürgens,G., Najork,R., Pollak,B. (2015). The automotive transmission book, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London *Library of Congress Control Number: 2014953603*
- Gao,B., Liang,Q., Xiang,Y., Guo,L., Chen,H. (2015). Gear ratio optimization and shift control of 2-speed I-AMT in electric vehicle, *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 50–51, pp. 615–631, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.ymssp.2014.05.045.

- Gawade,S., Bari,C., Anagolkar,N., Ashok,D. (2019). To Optimise the Performance of Electric Powertrain by Tuning the CVT *1st International Conference on Mechanical Power Transmission* 11–13 July 2019, Chennai, India
- Grey,C,P., Tarascon,J,M. (2016). Sustainability and in situ monitoring in battery development. *Nature Materials*, 16(1), 45-56. doi:10.1038/nmat4777.
- Gerlitz,E., Greifenstein,M., Ruhland,J., Fleischer,J. (2021). Analysis of the Variety of Lithium-Ion Battery Modules and the Challenges for an Agile Automated Disassembly System *8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation* CIRP, 96, 175-180. doi:10.1016/j.procir.2021.01.071.
- Green Car Congress (10 November 2014). *Gkn Develops Two-Speed Eaxle; In Production On Bmw I8*. <https://www.greencarcongress.com/2014/11/20141110-gkn.html>
- Green Car Congress. (t.y). *Bosch introducing cvt for electric vehicles: cvt4ev*. <https://www.greencarcongress.com/2020/12/20201214-bosch.html>
- Gkn Automotive (t.y). *Modular edrive systems*. <https://www.Gknautomotive.Com/En /Systems-And-Solutions / Electric/Modular-Electric-Drive-Systems/>
- Green Motion (t.y.). *Electric vehicles (evs) archive* <https://greenmotion.com/se/news/electric-vehicles-evs>
- Green Car Congress. (19 February 2014). *New 3-speed EV powertrain to offer 10-15% improvement in EV range*. <https://www.greencarcongress.com/2014/02/20140219-dsd.html>
- He,B., Chen,Y., Wei,Q., Wang,C., Wei,C., Li,X. (2023). Performance Comparison of Pure Electric Vehicles with Two-Speed Transmission and Adaptive Gear Shifting. *Energies* 16(7):3007, DOI:10.3390/en16073007
- Hofman,T., Dai,C,H. (2010). Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle. *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010 IEEE*, doi: 10.1109/VPPC.2010.5729082, 2010.
- Hughes..A, Drury.B, (2019). *Electric Motors and Drive* Published by Newnes.
- Hannan,B., Hoque,B,M., Hussain,A., Yusof,Y., Ker,P,J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations: *IEEE Access*. 2018, 6, 19362-19378. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2817655. ISSN 2169-3536.
- Hashemnia,M,N., & Asaei,B. (2008). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *Electrical Machines, ICM 2008. 18th International Conference*
- Han,J,O., Shin,J,W., Kim,J,C., Oh,S,H. (2019). Design 2-speed transmission for compact electric vehicle using dual brake system. *Applied Sciences* 9(9):1793 DOI:10.3390/app9091793.

- Hinov,N., Punov,P., Gilev,B., Vacheva,G. (2021). Model-Based Estimation of Transmission Gear Ratio for Driving Energy Consumption of an EV. *Electronics* 2021, 10(13), 1530;<https://doi.org/10.3390/electronics10131530>.
- Hofman,T.,& Caarls,E,I. (2021). Co-Design of CVT-Based Electric Vehicles Caiyang , CVT-Based Electric Vehicles. *Energies* 2021, 14, 1825. <https://doi.org/10.3390/en14071825>
- Hewland. (t.y). *Reimagining the ev gearbox*. <https://powertrain.hewland.com/>
- Hyundai (t.y). *Teknik Donanım* <https://www.hyundai.com/tr/tr/arac-modelleri/kona-ev/teknik-ozellikler>
- Hyundai (t.y-a). *Elektrifikaasyon Teknolojisi* <https://www.hyundai.com/tr/tr/arac-modelleri/araba-modelleri>
- Joshi,P. & Ugale,A,S. (2020). Overview of transmission system for the electric vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology*, (June), 910–913.
- Jeong,W., Han,J., Kim,T., Lee,J., Oh,S. (2024). Two-Speed Transmission Structure and Optimization Design for Electric Vehicles *Mechanical Engineering Department, Machines* 2024, 12(1), 9;<https://doi.org/10.3390/machines12010009>.
- Jaguar (t.y). *Tamamen elektrikli jaguar i-pace teknik özellikler* <https://www.jaguar.com.tr/jaguar-range/i-pace/specifications>
- Kane, O.S. (5 Kasım 2019) *Ford made an electric Mustang with a manual transmission Sadly, it's a one-off* <https://www.theverge.com/2019/11/5/20950148/ford-electric-mustang-manual-prototype-stick-shift-lithium-sema-2019>
- Kwon,K., Jo,J., Min,S. (2021). Multi-objective gear ratio and shifting pattern optimization of multi-speed transmissions for electric vehicles considering variable transmission efficiency. *Energy*, 236, 121419. doi:10.1016/j.energy.2021.121419
- Khaleel,M., Nassar,Y., El-Khozondar,H,J., Elmnifi,M., Rajab,Z., Yaghoubi,E. (2024, March). Electric Vehicles in China, Europe, and the United States: *Current Trend and Market Comparison International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJES)* ISSN 2959-9229 Volume 2, Issue 1
- Kolosnitsyn,V. & Karaseva,E. (2008). Lithium-sulfur batteries: Problems and solutions. *Russian Journal of Electrochemistry*, 44(5), 506-509.
- Karpat,F., ve Savran,E. (2022). Batarya Elektrikli Araçlarda Şanzıman Tipleri Üzerine Derleme. *Uluslararası bilim ve teknoloji ve tasarım dergisi*, ISTD, Vol.3, No.1, 2022.
- Kia (t.y). *EV9 Overview* <https://www.kia.com/uk/new-cars/ev9/specification/>
- Lee,H. & Kim,H,S. (2002). Improvement of fuel economy by shift speed control for a metal belt continuously variable transmissio, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering* 216(9):741-749.

- Lacock,S., Plessis,A,A., Booysen,M,J. (2023). Electric Vehicle Drivetrain Efficiency and the Multi-Speed Transmission Question *World Electr. Veh. J.*2023,14(12), 342; <https://doi.org/10.3390/wevj14120342>.
- Liu,Y., Chen,Y., Li,Z., Zhao,K., Lin,Z. (2020). Multi-objective optimal gearshift control for multispeed transmission electric vehicles, *IEEE Access* DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3009481 129785–129798.
- Liu,Y., Xie,J., Qin,D., Zhang,Y., Chen,Z., Li,G., Zhang,Y. (2021). Design, Control and Validation of Two-Speed Clutch-less Automatic Transmission for Electric Vehicle, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* PP(99):1-1.
- Loveday,E. (24 January 2019). *What Is Regenerative Braking And Why Is It Useful For Electric Cars?* <https://insideevs.com/news/378161/regen-brake-electric-car/>
- Machado,F,A., Kollmeyer,P,J., Barroso,D,G., Emadi,A. (2021). Multi-speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles: Current Status and Future Trends , *IEEE Open Journal of Vehicular Technology* PP(99):1-1. DOI 10.1109/OJVT.2021.3124411.
- Mangialardi,L. & Mantriota,G. (1999). Power flows and efficiency in infinitely variable transmissions, *Mech. Mach. Theory*, vol. 34, no. 7, pp. 973–994.
- Mohammadi,F. & Mehrdad,S. (2023). A comprehensive overview of electric vehicle batteries market, *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* Volume 3, doi:/10.1016/j.prime.2023.100127.
- Mosleuzzaman,M., Hussain,B,D., Shamsuzzaman,H,M., Mia,A., Hossain,M,D. (2024, October). Electric Vehicle Powertrain Design: Innovations In Electrical Engineering, *Academic Journal on Innovation, Engineering & Emerging Technology*, Vol. 1, Page:1-18.
- Morozov,A., Humphries,K., Zou,T., Martins,S., Angeles,J. (2014). *Design and Optimization of a Drivetrain with Two-speed Transmission for Electric Delivery Step Van*. IEEE International Electric Vehicle Conference IEVC 2014 At: Florence, Italy.
- Mercedes Benz. (t.y-a). *EOE genel bakış* <https://www.mercedes-benz.com.tr/passengercars/models/saloon/eqe/overview.html>
- Mercedes Benz (t.y-b). *EQC teknik özellik* <https://pladmin.mercedesbenz.com.tr/cdn/files/eqc-brosur.pdf>
- Nikowitz,M. (2016). *Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration*. Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-1-4471-6781-5,2016.
- Nicola,F,D., Sornioti,A., Holdstock,T., Viotto,F., Bertolotto,S. (2012). Optimization of a multiple- mpeed transmission for downsizing the motor of a fully electric vehicle. *SAE International Journal of Alternative Powertrains* 1(1):134-143
- Nur,F,N., Padmanaban,S., Popa,L,M., Mollah,M,N., Hossain,E. (2017). A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development”, *Energies* 2017, DOI:10.3390/en10081217.

- Nigudkar,K. & Shah,P. (2017). Tuning CVT of an Electric Vehicle, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG - IJME)* – Volume 4 Issue 9.
- Naunheimer,H., Bertsche,B., Ryborz,J., Novak,W. (2011). *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*, ISBN: 978-3-642-16213-8 Springer Heidelberg Dordrecht London New York
- Opel Corsa (t.y). *Elektrik_TeknikFoy_MY24* [https://www.opel.com.tr/content/dam /opel/turkey/download/technical_pecifications_/2024/corsa/ Opel_Corsa_Elektrik_TeknikFoy_MY24 .pdf](https://www.opel.com.tr/content/dam/opel/turkey/download/technical_pecifications_/2024/corsa/ Opel_Corsa_Elektrik_TeknikFoy_MY24 .pdf)
- Patil,M,S. & Dhamal,S,S. (2019). A Detailed Motor Selection for Electric Vehicle Traction System *Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (SMAC)* DOI:10.1109/I-SMAC47947.2019.9032616.
- Park,G., Lee,S., Jin,S., Kwak,S. (2014). Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains. *Expert Systems with Applications*, Volume 41, Issue 5, April 2014, Pages 2595-2607. DOI:10.1016/j.eswa.2013.10.007.
- Pazdera,J., (2011). *Reluktanční motor znovu na scéně. In: OSEL* <https://www.osel.cz/5810-reluktancni-motor-znovu-na-scene.html>
- Protean (15 November 2024). *We offer direct drive in-wheel electric motors for passenger cars and light commercial vehicles based on our ProteanDrive technology.* <https://www.proteanelectric.com/technology/#overview>
- Porsche (t.y). *Tamamen elektrikli Porsche modelleri hakkında önemli bilgiler.* <https://www.porsche.com.tr/bev>
- Porsche (t.y-a). *Taycan teknik veriler.* <https://configurator.porsche.com/tr-TR/model-start/taycan/Y1AAI1/technical-data>
- Ruan,J., Walker,P.D., Wu,J., Zhang,N., Zhang,B. (2018a). Development of continuously variable transmission and multi-speed dual-clutch transmission for pure electric vehicle. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(2), 1–15. doi:10.1177/1687814018758223.
- Ruan,J., Zhang,N., Walker,P. (2018b). Comparing Of the Effects of CVT and DCT on the EVs Including Braking Energy Recovery *8th Australasian Congress on Applied Mechanics, ACAM 2014, as Part of Engineers Australia Convention 2014*, 2014, pp. 942 – 950.
- Ruan,J., Walker,P,D., Watterson,P,A., Zhang,N. (2016a). The dynamic performance and economic benefit of a blended braking system in a multi-speed battery electric vehicle. *Applied Energy*, Pages 1240-1258
- Ruan, J., Walker, P,D., Zhang, N. (2016b). A comprative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions. *Applied Energy*, 165, 119–134. doi:10.1016/j.apenergy.2015.12.081.
- Ruan,J., Walker,P,D., Zhang,N., Wu,J. (2017). An investigation of hybrid energy storage system in multi-speed electric vehicle. *Energy Volume 140, Part 1*, Pages 291-306

- Ren,Q. ,Crolla,D.A., Morris,A. (2009). Effect of transmission design on Electric Vehicle (EV) performance. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009.Dearborn, MI, USA. DOI:10.1109/VPPC.2009.5289707
- Ranawat,P. & Prasad,P. (2018). A Review on Electric Vehicles with perspective of Battery Management System.: *2018 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECOT)* 2018, s. 1539-1544. DOI: 10.1109/ICEECOT43722.2018.9001321.
- Renault Group (9 Mart 2021). *The energy efficiency of an electric car motor*. <https://www.renaultgroup.com/en/magazine/energy-and-motorization/the-energy-efficiency-of-an-electric-car-motor>
- Renault Group (Eylül 2023). *Brosur zoe* <https://cdn.group.renault.com/ren/tr/brochures/zoe-b10-ph2/Brosur-Zoe 092023.pdf>. Asset .pdf /6225689e50.pdf
- Renault Group (t.y). *spring-bbg-ph1-brosur-10012024* <https://cdn.group.renault.com/dac/tr/dacia-brochures/yeni-spring-bbg-ph1/SPRING-BBG-PH1-BROSUR-10012024.pdf.asset.pdf/7221e37f38.pdf>
- Recurdyn (2010). *PMSM (Permanent Magnet Synchronous Machine)*. In: <https://functionbay.com/documentation/onlinehelp/default.htm#!Documents/pmsmpermanentmagnetsynchronousmachine.htm>
- Rodrigues,C.D.P. (2018). *Design of a high-speed transmission for an electric vehicle*, Faculdade de Faculty of Engineering University of Porto 2018, 202113213.
- Sornioti,A., Subramanyan,S., Turner,A., Cavallino,C., Viotto,F., Bertolotto,S. (2011). Selection of the Optimal Gearbox Layout for an Electric Vehicle *SAE International Journal of Engines*, Vol.4(1), pp.1267.
- Srivastava,N. & Haque,I. (2009a). Nonlinear dynamics of a friction-limited drive: Application to a chain continuously variable transmission (CVT) system, *Journal of Sound and Vibration* Volume 321,Issues 1–2, 20, Pages 319-341.
- Srivastava,N. & Haque,I. (2009b). A review on belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control. *Mechanism and Machine Theory* Volume 44, Issue 1, January 2009, Pages 19-41.
- Smolenaers,S. & Ektesabi,M. (2012). Battery-to-Wheel Efficiency of an Induction Motor Battery Electric Vehicle with CVT and Adaptive Control, *Sustainable Automotive Technologies 4th International Conference on Sustainable Automotive Technologies, ICSAT2012*, 229–234. doi:10.1007/978-3-642-24145-1_30, 2012.
- Sun,X., Li,Z., Wang,X., Li,C. (2020). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 1-29. doi:10.3390/en13010090.
- Stan,A,R., Swierczynski,M., Stroe,D,I., Teodorescu,R., Andreasen,S,J. (2014). *Lithium ion battery chemistries from renewable energy storage to automotive and back-up power applications - An overview*. 2014 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2014, 713-720, 22-24.

- Suppharangsarn, W. & Wang, J. (2012). A New Switching Technique for Minimisation of DC-link Capacitance in Switched Reluctance Machine Drives *IET Electrical Systems in Transportation*, 5 (4). pp. 185-193. ISSN 2042-9738.
- Spanoudakis, P., Tsourveloudis, N. C., Doitsidis, L., Karapidakis, E. S. (2019). Experimental Research of Transmissions on Electric Vehicles' Energy Consumption *Energies* 2019, 12(3), 388; <https://doi.org/10.3390/en12030388>
- Schaeffler (t.y). *Vehicle lifetime solutions online katalog* [https:// www.schaeffler.com.tr/tr/products](https://www.schaeffler.com.tr/tr/products)
- Shard, L., (2023). *What are electric vehicle batteries made of, where do the materials come from and are they produced ethically*. <https://www.driving.co.uk/car-clinic/what-goes-into-an-electric-vehicle-battery-where-do-the-materials-come-from-and-are-they-produced-ethically/>
- Skywell (t.y). *T05-SkywellinfoboardguncelTR* <https://skywell.com.tr/wp-content/uploads/2023/12/t05-SkywellinfoboardguncelTR.pdf>
- Tie, S. F. & Tan, C. W. (2012). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 20, Pages 82-102. doi:10.1016/j.rser.2012.11.077.
- Tian, T., Ruan, J., Zhang, N., Wu, J. (2018). Modelling and control of a novel two-speed transmission for electric vehicles, *Mechanism and Machine Theory* Volume 127, Pages 13-32.
- Tracy, D. (2 January 2022). *An Extremely Detailed Look At The Porsche Taycan's Engineering Designed To Take On Tesla*. <https://jalopnik.com/an-extremely-detailed-look-at-the-porsche-taycans-engin-1837802533>.
- Tire Plus. (18 March 2022). *What is regenerative braking?* <https://www.tiresplus.com/blog/brakes/what-is-regenerative-braking-in-electricvehicles/>
- The Lee Company. (2024 March 7) *Insight what is an axle*. (t.y). <https://www.theleeco.com/insights/what-is-an-axle/>
- Tesla. (t.y-a). *Model 3 owner's manual* https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_cn/GUID-E414862C-CFA1-4A0B-9548-BE21C32CAA58.html
- Tesla (t.y-b). *Araç Güç Tüketimi* https://www.tesla.com/tr_tr/support/power-consumption
- Tesla (t.y-c). *Service Portal* <https://service.tesla.com/en-US/>
- Togg (27 Aralık 2019). *Türkiye'nin otomobili grubu ürün bülteni*. <https://md.teyit.org/file/togg-urun-bulteni.pdf>
- Togg T10X (t.y). *TG-24-T0065 - Togg Katalog* <https://trumore-cdn.togg.cloud/ToggT10XKatalog.pdf>

- Tire Plus. (18 March 2022). *What is regenerative braking?* <https://www.tiresplus.com/blog/brakes/what-is-regenerative-braking-in-electricvehicles/>
- Tichý,J., (15 July 2019). Tzbinfo, *Lithiové akumulátory Přehled základních typů a jejich vlastností*. <https://m.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- Ultimatespecs. (t.y). *Araba Teknik Özellikler Katoloğu BYD/E6* <https://www.ultimatespecs.com/tr/araba-teknik-ozellikler/BYD/M7174/E6>
- Veneri,O., Capasso,C., Patalao,S. (2017). Experimental study on the performance of a ZEBRA battery based propulsion system for urban commercial vehicles. *Applied Energy* Volume 185, Part 2, Pages 2005-2018.
- Yang, W., Ruan, J., Yang, J., Zhang, N. (2020). Investigation of integrated uninterrupted dual input transmission and hybrid energy storage system for electric vehicles. *Applied Energy*, 262, doi:10.1016/j.apenergy.2019.114446 .
- Yong,Y,J., Ramachandaramurthy,V,K., Tan,K,M., Mithulananthan,N. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 49, issue C, 365-385.
- Yuan,Y., Wu,G., He,X., Song,Y., Zhang,X. (2012). Electric Vehicle Drivetrain Development in China. *ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation*.. St. Louis, Missouri, USA. pp. 597-603.
- Yıldız,A. ve Kopmaz,O. (2014). Toroidal Sürekli Değişken Aktarma Sistemleri: Terminoloji Ve Mevcut Çalışmalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Bursa Cilt: 19 Sayı: 1*, 59 – 80.
- Zhang,Z., Huijuan,L., Song,T., Zhang,Q., Wenluan,H., Liu,W. (2019). Performance evaluation of a 60kW IPM motor for medium commercial EV traction application. *Ces Transactions On Electrical Machines And Systems*, Vol. 3, No. 2.
- Zhu,Z. & Howe,D. (2008). Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* Proceedings of the IEEE 95(4):746 – 765.
- Zhu,B., Zhang,N., Walker,P,D., Zhan,W., Zhou,X., Ruan,J. (2015). Two-Speed DCT Electric Powertrain Shifting Control and Rig Testing. *Advances in Mechanical Engineering*;2013:1–10. doi:10.1155/2013/323917.
- Zf. (2024) *Press center* https://press.zf.com/press/en/releases/release_81923.html
- Walker,P,D., Rahman,S,A., Zhu,B., Zhang,N. (2015). Modelling, simulations, and optimisation of electric vehicles for analysis of transmission ratio selection, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering* Volume 2013, Article ID 340435, 13 pages DOI:10.1155/2013/340435.
- Wu,J., Hong,X., Feng,G., Zhang,Y. (2022). Seamless mode shift control for a new simpson planetary gearset based dual motor powertrain in electric vehicles, *Mechanism and Machine Theory* 178 (2022) 105056. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.105056.

- Wu,G., Zhang,X., Dong,Z. (2013). Impacts of two-speed gearbox on electric vehicle's fuel economy and performance. *SAE Technical Papers 2*. doi:10.4271/2013-01-0349.
- Wager,G., McHenry,M., Whale,J., Bräunl,T. (2013). Testing energy efficiency and driving range of electric vehicles in relation to gear selection *Renew. Energy*, vol. 62, pp. 303–312.
- Wikipedia (t.y-a). *Togg T10X teknik özellik* https://tr.wikipedia.org/wiki/Togg_T10X
- Wikipedia (t.y-b). *Renault Megane E-Tech Elektrikli* https://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Megane_E-Tech_Electric
- Wikipedia (t.y-c). *MG4 Elektrikli Araç* https://en-m-wikipedia-org.translate.goog/wiki/MG4_EV?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc
- Wikipedia (t.y-d). *Nissan Leaf* https://tr.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf
- Wikipedia (t.y-f). *Rivian R1T* https://en.wikipedia.org/wiki/Rivian_R1T
- Woodford.C. (6 September 2022). *Regenerative brakes*. <https://www.explainthatstuff.com/how-regenerative-brakes-work.html>
- Woodhouse (t.y). *2023 Chevy Bolt EV Specs* <https://www.woodhousechevymv.com/2023-chevy-bolt-ev-specs/>
- Wang,Y., Lu,E., Lu,H., Zhang,N., Zhou,X. (2017). Comprehensive design and optimization of an electric vehicle powertrain equipped with a two-speed dual-clutch transmission *Advances in Mechanical Engineering* 2017, Vol. 9(1) 1–13 _ The Author(s) 2017 DOI: 10.1177/1687814016683144.
- Wu,P., Qiang,P., Pan,T., Zang,H. (2022). Multi-Objective Optimization of Gear Ratios of a Seamless Three-Speed Automated Manual Transmission for Electric Vehicles Considering Shift Performance *Energies* 2022, 15(11), 4149 ; <https://doi.org/10.3390/en15114149>.

ÖZGEÇMİŞ

Eğitim hayatıma Aksaray'da başlayarak ilk ve ortaöğrenimimi bu şehirde tamamladım. Lisans derecemi, 2020 yılında Amasya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden aldım. Halen 2022 yılı itibarıyla, Yalova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimime devam etmekteyim.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Atalay ve Yetik has participated and presented in the 7th International Azerbaijan Congress on Life, Engineering, Mathematical, and Applied Sciences on June 25-27, 2024 and orally & technical presented the paper entitled "INVESTIGATION OF ENERGY EFFICIENCY OF DRIVETRAIN OF ELECTRIC VEHICLES"

Atalay ve Yetik has participated in 3rd International Conference on Frontiers in Academic Research on 15-16 June in 2024 at Konya/Turkey. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AKTARMA ORGANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İNCELENMESİ