

# ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA TEKNOLOJİLERİ

Ümit Batmaz<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

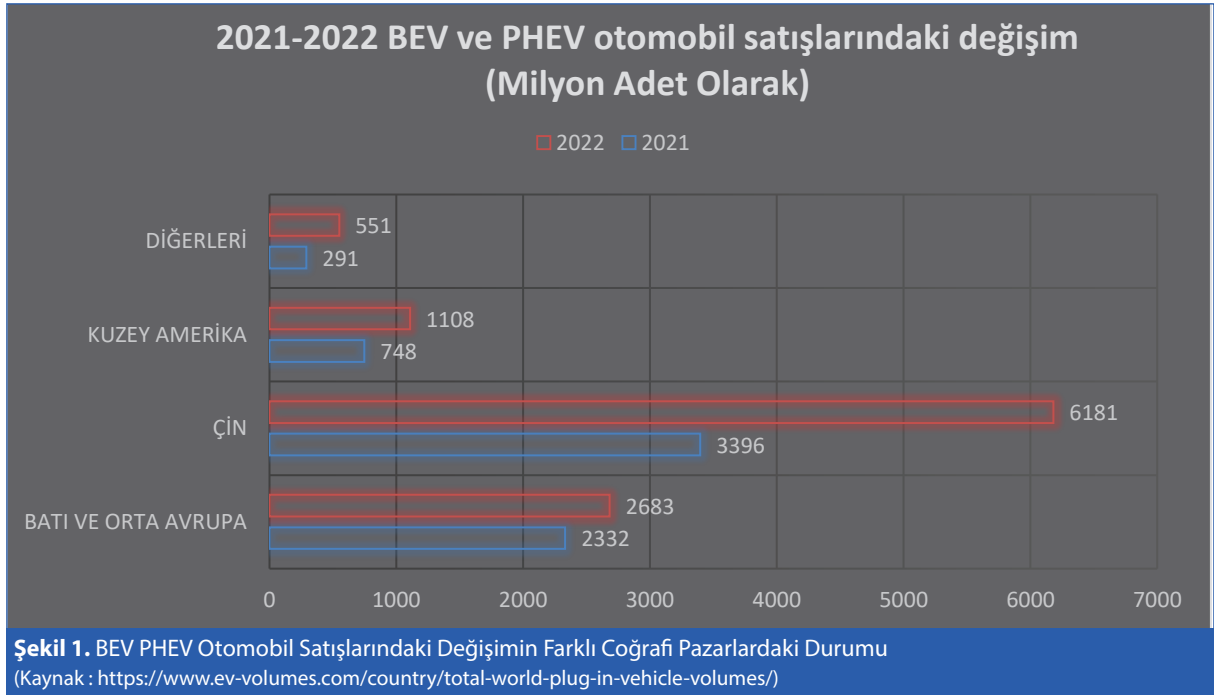
Yüzyılımızın insanlık adına en büyük sorunu olan iklim değişimi, birçok alanda seçim ve uygulamaları değiştirmeyi gerektirmektedir. Bu değişimlerin en önemlilerinden biri, karbon salınımlarını azaltmak için, ulaşım sektöründe ve elektrikli araçlarda kullanılan bataryalarda görülmektedir. Ulaşım sektörü olarak, ulaşım araçlarını üreten otomotiv sektörü öne çıkmaktadır. Otomotiv sektöründe Avrupa Birliği ve Çin, farklı gerekçelerle de olsa yeni yapılan araçları hızlı biçimde elektrikli araçlara döndürmeye kararlı gözükmektedir. Bu yüzden, öncelikle var olan teknolojik gelişmeler çerçevesinde, elektrikli araçların yapısı ve bataryaları bileşenleriyle birlikte ele alınacaktır.

## 2. ELEKTRİKLİ ARAÇ PAZARININ GELİŞİMİ

Elektrikli otomobiller, gerek Çin gerekse Avrupa pazarında 2020'deki COVID-19 pandemi krizinden sonra hızlı biçimde pazar paylarını artırmaktadır (Şekil 1). Sosyal hayatın ve ekonomik hareketliliğin önemli bileşenlerini etkileyen bu değişim, teknoloji, üretim ve hizmet alanlarında yeni ürünleri ortaya çıkarmaktadır.

Hidrojenli araç teknolojisine geçene kadar olacak ve iki ilâ beş kuşağı etkilemesi öngörülebilir bu sürede gerçekleşecek elektrikli araç pazarına dönüşüm eğilimi, her bir ülke, şirket ve bireyin kendi yetkinlik ve olanaklarını gözden geçirmesini gerektirmektedir [1].

<sup>1</sup> ODTÜ Makine Mühendisliği 1992 mezunu, Renault Grubu Avrasya Bölgesi Satış Sonrası Mühendislik Direktörü, Romanya - [umit.batmaz@renault.com](mailto:umit.batmaz@renault.com)



### 3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN FARKLI BATARYA VE MOTOR YAPILARI

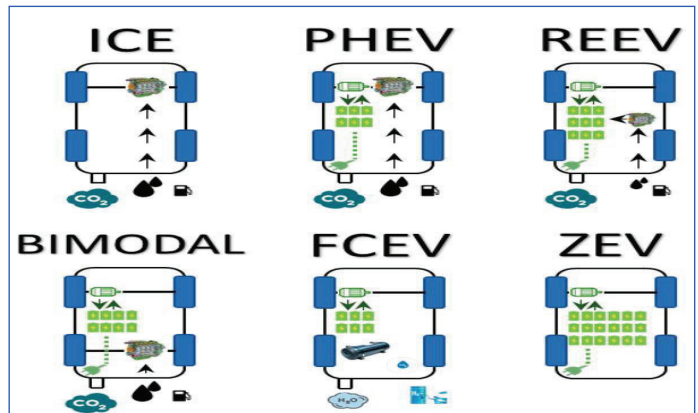
Günümüzde pazara sunulan elektrikli otomobillerin, farklı hareket mekanizmalarının şematik görüntüleri bulunmaktadır (Şekil 2). Bu şekilde, elektrikli otomobillerin işleyiş sistemleri beş farklı yapıda izlenebilmektedir [2]. Şekil 2'de verilen ilk resim, içten yanmalı motorların hareket eden araçtaki yerleşimini, diğer beş resim ise farklı elektrikli araç türlerinin araçtaki rollerini göstermektedir.

#### 3.1 Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV'ler)

Bu tür araçlar çift motoru olan hibrit araçlardır. Hareket için bir elektrikli ve bir içten yanmalı motorları bulunmaktadır. Bataryaları kısa uzaklıklar veya dur-kalk sırasındaki güç gereksinimine yanıt vermek için tasarlanmış küçük bataryalardır. Elektrik prizine bağlanarak şarj edilebilirler [3]. Batarya içinde elektrik enerjisi tükendiğinde veya daha önceden belirlenen bir sınıra düştüğünde, aracın hareket sistemi otomatik olarak içten yanmalı motora dönmektedir. O şekilde çalışanlar araçlar, en az 30 ila 50 kilometrelik bir yol yapabilmektedir. Şehir içi kullanımlarda karbon emisyonlarının düşürülmesinde etkisi bilinen bir çözümdür.

#### 3.2 Menzili Uzatılmış Elektrikli Araçlar (REEV'ler)

Bu tür araçlarda da yine bir elektrikli motor, bir de içten yanmalı motor vardır. Hibrit araçtan farkı, içten yanmalı motorun tekerleklere hareket gönderememesidir. İçten yanmalı motor yalnızca bataryanın şarj edilmesi için bir elektrik jeneratörüne bağlıdır. Böylelikle yaklaşık 100 km bir uzaklığa ulaşım için boyutlandırılmış olan batarya, hem elektrik prizinden hem de jeneratör üzerinden şarj edilebilmektedir. İçten yanmalı motor daha verimli çalıştığından, hem verimlilik hem de karbon emisyonu anlamında, doğrudan içten yanmalı motorlu araçlara göre üstünlüğü vardır [4].



**Şekil 2.** Otomobillerde Kullanılan Enerji Kaynağı ve Tekerleklere Aktarılan Gücün Bağlantı Şemaları

### 3.3 Bimodal Araçlar

Bu tür araçlarda hem elektrikli bir motor ve onu besleyen bataryası, hem de içten yanmalı motor bulunur. Her iki sistem bağlı oldukları akslara, birbirlerinden bağımsız olarak kuvvet aktarabilirler. Hareket birimlerinin bağlı olduğu akslara bağlı olarak hem önden çekişli, hem de arkadan itişli olarak kullanılabilirler.

### 3.4 Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (FCEV'ler)

Hidrojen temelli yakıt hücreli araçlar aslında yine bir elektrik motoru aracılığıyla hareket ettirilir. Elektrikli araçlardan farkı, enerjinin batarya yerine hidrojen yakıt hücresinde depolanıyor olmasıdır. Yakıt hücresinin içindeki anotta hidrojen beslenir ve katotta ise hava beslenmesi bulunmaktadır. Bir hidrojen yakıt hücresinde, anot-taki bir katalizör, hidrojen moleküllerini protonlara ve elektronlara ayırır. Elektronlar dış bir devreden geçerek bir elektrik akımı oluşturur. Bir yakıt hücresinde oluşan kimyasal tepkimenin ürünleri, büyük ölçüde ısı ve sudur. Özellikle, su egzoz yoluyla dışarı atılır. Bataryalı araçlardan farklı olarak, yakıt hücresi ile donatılmış araçlar, geleneksel araçlarla aynı şekilde uygun yakıt istasyonlarında şarj edilebilir. Yükleme süreleri üç ile altı dakika arasındadır. Ortalama olarak, yakıt hücreli araçlar, 500 km'lik bir uzaklığa ulaşırlar.

### 3.5 Sıfır Emisyonlu Araçlar (ZEV'ler)

Bataryalı elektrikli araçlar (BEV) olarak adlandırılan ve yal-

nızca elektrikli beslenme ile hareket eden araçlar, elektrik şebekesinden şarj edilebilen bir bataryayla çalışan bir elektrik motoruyla hareket ettirilir. Bu tür araçlarda içten yanmalı motor bulunmaz. Dışarıya atılacak herhangi bir yanma ürünü olmadığı için egzoz çıkışı da bulunmaz.

## 4. GELİŞME

### 4.1 Elektrikli Otomobil Hareket Sisteminin Parçaları

Elektrikli otomobillerde tahrik sisteminin ana bileşenlerini resimde verilmiştir. (Şekil 3). Sistem, aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır.

- **Enerji depolama ünitesi:** Mekanik enerjiye dönüştürülecek elektrik enerjisinin depolandığı birim burasıdır ve elektrikli otomobillerde genellikle batarya olarak adlandırılır. Bataryanın boyutu ve şekli, elektrikli aracın gücüne ve gidebileceği uzaklığa bağlı, önemli ölçütlerdir.
- **DC / AC çevirici :** Batarya ve elektrik motoru arasındaki güç arabirimidir. Güç kaynağını uyarlamamanın yanı sıra önemli denetim işlevlerini de yerine getirmektedir. Burada elektrikli otomobil teknolojisinde güç elektroniğinin önemli bir yeri olduğunu belirtelim. DC kaynağından gelen gerilimi yükselten, sabit ya da değişken AC gerilimine dönüştüren bir elektronik devrelerdir.
- **Elektrik motoru:** Bataryada depolanmış olan elekt-



Şekil 3. Elektrikli Otomobillerde Hareket Sisteminin Ana Parçaları

rik enerjisini, mekanik enerjiye çevirerek tekerleklerin dönmesini sağlayan birimdir. Elektrik motorunun tanımının gereği iki yönde de dönebildiği için tazeleyici (rejeneratif) frenleme sırasında jeneratör görevi de görebilmektedir.

- **Yönetim üniteleri:** Aracın çeşitli noktalardaki algılayıcılarından gelen bilgileri derleyerek enerji yönetim sistemiyle bağlantıyı sağlayan birimlerdir. Bu algılayıcılardan gelen ve aracın kullanımı sırasında oluşan çeşitli bilgileri içeren verilerini işleyerek derler ve güç yönetim sisteminin anlayacağı şekilde iletirler.
- **Ek tüketim birimleri:** Araç kullanıcılarının konforu için gerekli olacak ek işlevlere yönelik enerji tüketiminin yönetimini kapsar. Örneğin kabinin ısıtma, soğutma, havalandırmasının yanı sıra, ekranların elektrik beslemesi gibi unsurların yönetimi burada yer alır.
- **Mekanik hareket birimi:** Alışılğalinen otomobil mekanik hareket sistemini tanımlar. Yani elektrikli motorun şaftındaki kinetik enerjinin tekerleklere aktarılmasını sağlayan mekanizmadır.
- **Elektrik şarj arayüzü:** Elektrikli aracın bataryasının, şehir elektrik şebekesine bir priz aracılığıyla bağlanması için gerekli olan düzenektir. Sadece fiş ve priz düzeneği içerebileceği gibi AC/DC dönüştürücü gibi unsurları da içerebilir. Böylece şehir elektrik şebekesinden doğrudan enerji çekerek, yavaş şarj veya yüksek akımla hızlı şarj gibi seçenekleri kapsayabilir.

#### 4.2 Batarya Teknolojisinin Temelleri [5]

Bir otomobil bataryası, herhangi bir elektrik enerjisi depolama ünitesinin yüklendiğinden çok daha farklı yüklerle karşılaşır. Bir cep telefonunda veya taşınabilir bilgisayardaki enerji tüketimine göre otomobil kullanıcısının etkisi ve doğal olarak kullanım koşullarının etkisi, bataryanın yükünü sert biçimde azaltıp artırabilmektedir. Büyük miktarda enerjiyi sağlamak için, otomotiv bataryaları, birbirine bağlı birden fazla hücreden oluşmaktadır. Hücre olarak adlandırılan ünite, bir kalem pil veya bir prizmatik dokuz voltluk pil gibi düşünmek gerekir. Bu hücrelerin birbirine bağlanmasıyla batarya modülleri oluşur.

Her hücre dört ana öğeden oluşur:

- Katot
- Anot

- Elektrolit
- Ayırıcı

Lityum, yüksek potansiyel elektriği sayesinde en iyi enerji yoğunluğunu (enerji kapasitesi ve kütle arasındaki ilişki) sunduğu için otomotiv batarya teknolojisinde yeğlenir. Farklı elektrokimyasal enerji depolama teknolojilerinin karşılaştırması Tablo 1'de görülmektedir. Bu tabloda otomotivde yoğun biçimde kullanılan kurşun asit akülerin enerji yoğunluğu 35-40 Wh/kg, güç yoğunluğu ise 250 W/kg civarındadır. Lityum iyon bataryalarda bu değerler 190 Wh/kg ve 500 W/kg düzeylerine çıkmaktadır. Enerji yoğunluğunda beş kat, güç yoğunluğunda ise iki kat daha fazla başarılı olan lityum bataryalar, ücretlerinin kurşun asit düzeylerine yaklaşmasıyla, otomotiv sektöründe son yıllarda kullanım alanı bulabilmişlerdir. Lityum-iyon pil teknolojisindeki gelişmeler, otomotivdeki uygulamanın önünü açmış bulunmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılın başında yapılan elektrikli arabaların kullandığı kurşun asit veya nikel metal hibrit akülerin yeteneklerinin lityum-iyondan uzak olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bu da bize geçtiğimiz yüzyılda elektrikli otomobillerin neden yaygınlaşmadığı hakkında önemli bir bilgi vermektedir. Bunlara ek olarak, lityum-iyon temelli bataryaların, diğer rakiplerine göre hafif olması, otomotiv açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

#### 4.3 Çalışma İlkeleri

Li-Ion pilin temel hücresi farklı bileşenlerden oluşmaktadır [6] :

- Ayrı bölmelere yerleştirilmiş ve dış bir devreye bağlanmış, potansiyel farkı olan iki elektrot (negatif ve pozitif),
- Alüminyum (pozitif için), bakır (negatif için) metal levhalar şeklinde elektrotları destekleyen akım kollektörleri, bu kollektörler terminallere bağlanarak toplanan akımı iletirler.
- Bir iyonik iletken elektrolit: Li<sup>+</sup> iyonlarının yer değiştirmesine izin veren bir organik çözücü (susuz) içindeki lityum tuzu,
- İyonların geçişine izin veren ancak elektrotların birbirine dokunmasını engelleyen gözenekli bir ayırıcı,
- Sistemi tutmak için sert veya yumuşak bir kılıf.

Negatif elektrottaki lityum iyon, yerleştirme bileşiğinin

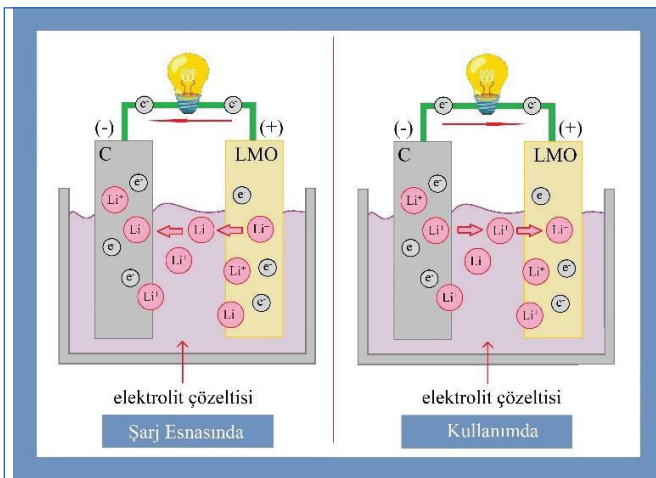
**Tablo 1.** Elektrokimyasal Enerji Depolama Türlerinin Temel Verilerinin Karşılaştırması

ELEKTROKİMYASAL ENERJİ DEPOLAMA TÜRÜ	Tanım	Anot	Katot	Elektrolit	Enerji yoğunluğu	Güç yoğunluğu	Maliyet	Avantajlar	Dezavantajlar
1 Kurşun Asit Aküler	Sülfürik asit elektrolitine batırılmış kurşun metal ve kurşun dioksit elektrotları (yükli durumda)	kurşun dioksit	Kurşun metal	Sülfürik asit	35–40 Wh/kg	250 W/kg	150–200 \$/kWh	Mevcut kanıtlanmış teknoloji En ucuz ürün	Çevreye negatif etkileri yüksektir. Düşük enerji depolama kapasitesi mevcuttur.
2 Nikel Metal Hidrid Aküler	Nikel metal hidrit (NiMH) pillerin pozitif elektrodu (katot), nikel hidroksitten (Ni(OH) <sub>2</sub> ) yapılır. Anot, hidrojeni, katı bir azaltılmış hidrojen kaynağı olarak çalışan tipik olarak lantan ve nadir toprak alaşımlarından oluşan emici negatif elektrot olarak kullanılır.	Lantan ve nadir toprak alaşımları	Nikel hidroksit (Ni(OH) <sub>2</sub> )	Alkalinler <sup>2</sup> (örneğin, potasyum hidroksit)	70–80 Wh/kg	150–200 W/kg	400–450 \$/kWh	Yenileme imkanı olması (renovasyon) dezavantajların üstesinden gelmesini sağlar.	Yüksek kendi kendine deşarj oranları ve nispeten düşük çevrim kapasitesi vardır. Uzun süreli depolama sırasında bozulabilir.
3 Sodyum/metal klorür piller: sıfır emisyonlu pil araştırma faaliyetleri (ZEBRA) pilli olarak bilinir	Negatif elektrot erimiş sodyumdan oluşurken, pozitif elektrot boşalmış durumda nikel ve yükli durumda nikel klorürdür.	Nikel	Sodyum	Sodyum tuzu	100–120 Wh/kg	150 W/kg.	600–700 \$/kWh	yüksek sıcaklıkta çalışır, yaklaşık 300 °C daha iyi kendi kendine deşarj oranı ve döngü yetenekleri	Sınırlı çevrim ömrü
4 Metal hava pilleri	Reaktanlardan birinin (hava) pilde depolanması gerekmez.	A Geçiş metali interkalasyon oksit	Lityum metal	Hava	Gerçek : 350 Wh/kg [22] laboratuvar testinde <sup>2</sup> Hesaplanan : 3000 Wh/kg	6000 - 8000 Wh/kg (Alüminyum - hava, teorik hesap değeridir)	130–160 \$/kWh	Lityum-iyon pillerden çok daha yüksek bir varsayımsal enerji yoğunluğu vardır.	Gelişen teknoloji henüz mevcut değil. Verilen değerler teoriktir.
5 Lityum polimer	Lityum polimer yaklaşımları çoğu lityum iyon pil teknolojisine birlikte kullanılabilir: Lityum kobalt, lityum fosfat, lityum mangan vb. iyon pilleri zaten mevcut. Bu pillerde aynı anot ve katot malzemeleri kullanılır, tek fark elektrolit ve ayırıcıdır, ancak normalde aynı miktarda elektrolit kullanılır.	Üzeri bakır folyo ile kaplanmış grafit	Lityum oksit	Jel halinde polimer elektrolitler	155 Wh/kg	315 W/kg.	200 \$/kWh, 2025'te 100 \$/kWh'ye düşüş bekleniyor	Çok düşük kendi kendine deşarj çeşitli boyut ve şekiller Katı elektrolitli lityumun azaltılmış aktivitesi sayesinde güvenli çalışma	Düşük sıcaklıkta düşük performans Yaklaşık 300 ila 400 çevrim olan daha az şarj ömrü vardır. LiPo pilli delindiğinde kimyası yangına neden olur.
6 Lityum iyon piller	Bir lityum-iyon veya Li-iyon pil, enerjiyi depolamak için lityum iyonlarının geri dönüşümlü olarak indirgenmesini kullanan bir tür şarj edilebilir pildir.	Katmanlı yapıya sahip grafit karbon	Lityum metal oksit	Lityum Tuzları (lityum kobalt, lityum mangan, lityum nikel mangan, kobalt ve lityum demir fosfat)	150–190 Wh/kg	500 W/kg	150–200 \$/kWh	Yüksek enerji yoğunluğu, yüksek verimlilik ve hafiflik.	Yüksek sıcaklıklara karşı hassastır. Pili tamamen boşalır, tekrar şarj edilemez. "Ayrıcı" hasar görürse alev alabilir.

Veriler : <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/>  
<https://hyundai.motorstudio.co.id/senayan-park/newsrooms/electric-car-battery>

kimyasal potansiyeli, pozitif elektrottaki lityum iyon yerleştirme bileşiğinkinden daha düşüktür. Li-iyon hücrenin terminallerindeki teorik voltaj, denge pozisyonundaki pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki potansiyel farka karşılık gelir.

Şimdi işleyiş şemasını açıklayalım (Şekil 4). Örneğimizde



**Şekil 4.** Lityum İyon Pillerde Şarj ve Deşarj Durumunda İyon Hareketliliğinin Şematize Edilmiş Görüntüsü

grafitten bir negatif elektrot ve mangan oksitten bir pozitif elektrot varsayılacaktır [7].

Şarj sırasında, dışarıdan şarj için verilen akımın etkisi şu şekilde tepkime yaratır:

- Negatif tarafta, elektrolitten gelen elektronlar, lityum iyonlarının indirgenmesine ve grafitte sokulmasına izin verir (LiC<sub>6</sub> stokiyometrisine göre tam şarjlı lityum). Negatif kutup, bu aşamada katot rolünü oynar.
- Pozitif kutup yönündeyse, lityumlu mangan oksit oksijen ile birleşerek elektrolit içerisine Li<sup>+</sup> iyonları gönderir. Bu sayede elektrik devresinde elektronlar açığa çıkar. Pozitif kutup, bu aşamada anot rolünü oynar.

Deşarj sırasındaysa, elektrokimyasal reaksiyonlar tersine çevrilir. Anotta grafit içinde tutulan lityum iyonları katoda geri dönerek mangan oksitle birleşirler.

- Negatif kutuptaki oksidasyon sayesinde, lityum iyonları elektrolit içerisine bırakılır. Elektrotlar elektrik devresine aktarılır. Negatif kutup bu aşamada anot rolünü oynar;

- Pozitif kutuptaysa, elektrolit yoluyla gelen lityum iyonları ve elektrik devresi yoluyla gelen elektronları kullanarak oluşan tepkime sonucunda manganez oksidin  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  formuna indirgenmesi gerçekleşir. Pozitif kutup bu aşamada katot rolünü oynar.

Bir lityum iyon pilin nominal voltajı 3,6 V ile 3,7 V aralığındadır. Ortam sıcaklığı tepkimelerin verimi üzerinde etkilidir. Lityum iyon piller  $-20^\circ\text{C}$  ile  $55^\circ\text{C}$  arasında uygun çalışabilirler. Bu aralığın dışında da elektrik sağlamak mümkündür, ancak  $-20^\circ\text{C}$ 'nin altında üretilen güç hissedilir düzeyde düşer. Çalışma sıcaklığı  $55^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeyse ise, bataryanın kullanılabilirlik ömrü büyük ölçüde azalmaya başlar. Yukarıdaki paragraflarda belirtildiği gibi, şarj ve deşarj işlemleri tersine işlemlerdir ve bataryanın katodunda %100 verimi pratikte elde etmek olanaksızdır. Bu nedenle bataryanın belirli bir noktaya kadar tekrar şarj edilebilmesi söz konusudur. Bu noktanın üzerine geçtiğimizde bataryanın verimi düşer ve ürünün aynı düzeyde çalışmayı sürdürebilmesi için bataryanın yenilenmesi gerekir.

#### v. Elektrot seçimi

Yaygın olarak katot (deşarj pozisyonunda) olarak adlandırılan pozitif elektrot, maliyet hesaplarında özel bir yer tutar. Otomotiv için yaygın ve yüksek oranda kullanımı düşünüldüğünde satınalma zincirinin sürekliliği ve güvenilirliği ön plana çıkar. Bugüne kadar elektrikli araçlarda yeğlenen malzemeler Manganez, Nikel, Kobalt ve hatta Alüminyum karışımlarının oksitleridir.

#### vi. Katot

Elektrikli araçlar için genellikle üç tip katot kullanılır:

- Tesla hariç tüm üreticiler tarafından kullanılan NMC (nikel-manganez-kobalt),
- Model 3 Standart 2021 hariç tüm Tesla'da kullanılan NCA (nikel-kobalt-alüminyum) katotlar,
- Çin'de üretilen Tesla Model 3'te kullanılan LFP (lityum-demir-fosfat) katotlar.

NMC tipi katotları, çoğu araç üreticileri kullanmaktadır. Maliyet, enerji yoğunluğu ve güvenlik arasındaki en uygun denklemi NMC katot kompozisyonu sağlamaktadır. Otomotivciler bugünlerde batarya katot malzemesi olarak kobalt yoğunluğunu azaltmaya önem vermektedirler. Bu nedenle Tesla araçlarında kullanılan NCA katotları

daha az kobalt kullandıkları için daha ucuza mal edilmektedir. Buna ek olarak enerji yoğunluğu olarak üstünlükleri vardır. Ancak NCA katot uygulamasında bataryanın ısı yönetimi daha duyarlı duruma gelmektedir.

LFP tipi katotlardan kobalt varlığı kaldırılmış olur. Fakat LFP'nin bir kaç olumsuz yönü vardır: Düşük enerji yoğunluğu, kendi kendine deşarj hızı, daha sıklıkla %100'e kadar şarj etme gerekliliği bunlar arasındadır. Yine de LFP'nin fiyat üstünlüğü, kapasitesinin daha az bozulması, aşırı gerilim sorunlarına daha az duyarlı olması, otomotiv kullanımında önemlidir.

#### vii. Kobalt kullanımı

İlk lityum iyon batarya hücrelerinde, % 33 nikel, % 33 manganez ve % 33 kobalttan oluşan (her üç metalin oranını temsil eden bir ifadeyle) NMC 111 katotları kullanılmıştır. Bugünkü otomotiv standartlarında ise, NMC 622 katotlarına (% 60 nikel, % 20 manganez ve % 20 kobalt) ağırlık verilmektedir. Önümüzdeki dönemde katottaki kobalt içeriğinin NMC 111 aracılığıyla %10'a inmesi, hatta LFP katotlar sayesinde sıfırlanması beklenmektedir. Bunun nedeni ise bulunabilirlikle bağlantılı olduğu kadar, fiyat seviyelerindeki oynaklıklardır.

#### viii. Anot

Lityum iyonlarını barındıran anot tarafında, malzeme olarak genellikle grafit formunda karbon kullanılır. Elektrik devresi güç gerektirdiğinde, bir elektron, lityum iyonundan ayrılır. Anottan ayrılan lityum iyonu katoda yönelir. Otomotiv sanayi kendi bildiği şekilde fiyatları genel alıcı kitlesine yakınlaştırmak için, bu alanda da geliştirme çalışmaları yürütmektedir. Yakın gelecekte, otomotiv bataryalarının anotlarında silikon ve/veya grafit kullanılması olasılığı yüksektir. Söz konusu her iki malzeme de, batarya hücrelerinin enerji yoğunluğu konusunda daha iyidirler. Ayrıca silikonun hem bulunabilirliğinin çok yüksek olduğunu, hem de fiyatının uygun olduğunu hatırlamak gerekir. Ne var ki, silikon bir kez lityum yüklendiğinde, güçlü bir şekilde genişlemektedir ve bu durum hücre açısından taşınamaz düzeyde basınç uygulaması yaratmaktadır. Bu nedenle silikonun yaygın kullanımı henüz söz konusu olamamıştır. Şu anda, bazı anotlar silikon ile biraz zenginleştirilmiştir (Tesla Model 3). Ayrıca gerek Tesla, gerek Mercedes veya Porsche gibi otomobil üreticilerinin nanoteknoloji aracılığıyla, silikon

anot uygulamasına geçme çalışmalarının sürdüğünü, basına yapılan açıklamalardan biliyoruz [8].

#### ix. Elektrolit

Anot ve katot, iyonların bir elektrottan diğerine (yüksek iyon iletkenliği) taşınmasını kolaylaştıran bir sıvı (veya bir jel) olan elektrolit içinde bulunur. Elektrolit, lityum tuzları ve çözücülerden oluşan bir çözeltilidir. Çözelti içerisindeki tuz kristalleri aracılığıyla lityum iyonlarının anot ve katot arasında taşınması gerçekleştirilebilir. Çözücüler ise tuzun elektrolit içinde aynı bileşimde çözülmesini sağlarlar. İyonların iki kutup arasındaki yolculuğunun hızı, elektrolit bileşiminin niteliğine çok bağlıdır. Viskozite, hücrenin tüm çalışma sıcaklığı aralığında yeterince kararlı kalmalıdır ki, iyonların taşınma hızında oynaklık olmasın.

#### x. Ayırıcı

Ayırıcı, anot ve katot arasında fiziksel bir engeldir. Yalnızca iyonların geçmesine izin verir ve elektronları durdurur. Genellikle mikro delikleri olan ince bir plastik filmidir. Üzerindeki deliklerin çapı yaklaşık 0,1 mikron civarındadır.

#### 4.4 Farklı Hücre Tipleri

Bir önceki paragrafta tanımlanan hücrelerin fiziki yapılarına gelince, otomobil bataryalarında üç farklı hücre tipi kullanıldığını görürüz. Bu hücreler geometrik formlarına göre sınıflanırlar (Şekil 5).

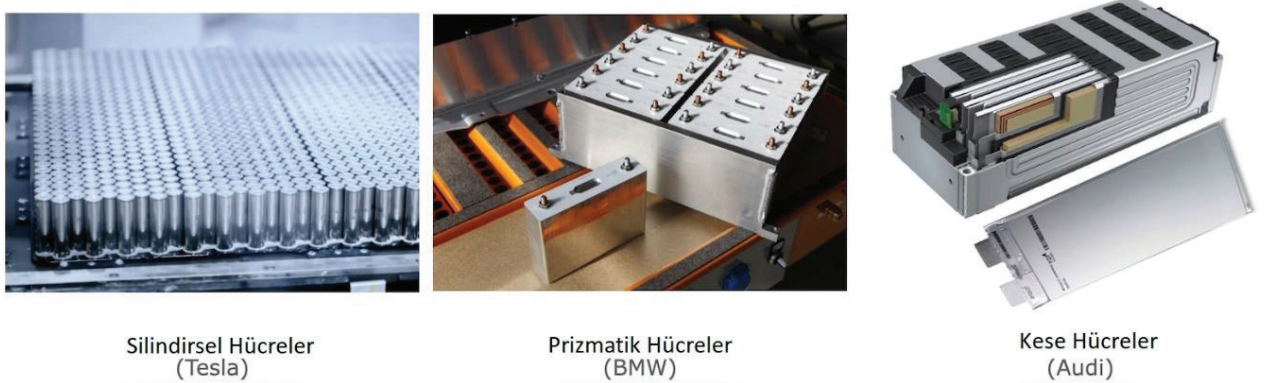
1. Geleneksel bir alkali kalem pile benzer şekilde silindirik hücreler,
2. Prizmatik hücreler,
3. Pouch hücreleri (veya Türkçe tanımıyla "kese" hücreleri).

Otomotiv endüstrisinde, silindirik hücreler en çok Tesla tarafından kullanılmıştır. Prizmatik hücreler BMW tarafından kullanılırken, diğer otomobil üreticileri çoğunlukla kese hücreleri yeğlemişlerdir.

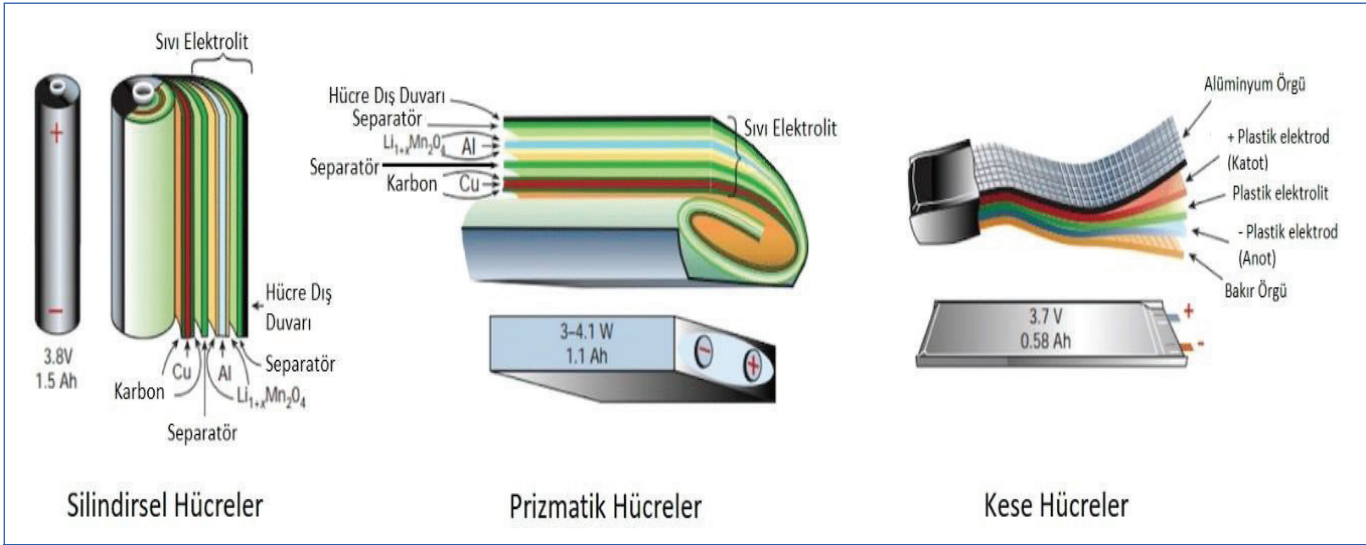
Silindirik hücreler, kurulu üretim kapasitesi en fazla olan tiptir. Bu nedenle uygulayıcıların ve kullanıcıların en çok bildiğidir. Silindirik hücrelerin olumsuzlukları arasında kapasitelerinin küçüklüğü ve formları nedeniyle yan yana dizildiklerinde aralarında kalan boşluklar nedeniyle fazla yer kaplamaları sayılabilir. Öte yandan, aralarındaki boşluklar yardımıyla diğer tiplere göre soğutma üstünlükleri vardır.

Kese hücreleri, dikdörtgen geometrik şekilleri ve esnek alüminyum ince duvarları ile daha iyi bir uzaysal yerleşim olanağı sunarlar. Bu tip hücre en çok elektrikli araç bataryası üretimi için kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanımları, aralarında oluşan uygun boşluk geometrileri yardımıyla olmaktadır. Bu tip hücreler boyutları nedeniyle; silindirik hücrelerden çok daha fazla enerji tutabilir. Bununla birlikte, hücreler arasında çok az boşluk olduğundan, ısınma sorunu ile karşılaşmaktadır. Tek tek her hücrenin sıcaklığını yönetmek, diğer tipe göre daha karmaşık bir durumdur. Kese hücrelerin tanımı gereği, hücre dış duvarları oldukça incedir. Bu onların şişkinlik yapma eğilimini de arttırır. Isı nedeniyle şişme olasılığına karşı, kese hücreleri yatay olarak dizilmek yerine, dikey olarak yan yana konulmaktadır.

Prizmatik hücreler ise, kese hücrelerine benzer bir geometridedirler. Prizmatik bir hücrede elektrotlar, bir biri üzerinden katlanarak paketlenirken, kese hücrede plaka şeklinde düz bir konumda paketlenirler (Şekil 6). Buna ek



Şekil 5. Elektrikli Otomobil Bataryalarında Kullanılan 3 Değişik Geometrideki Pil Hücreleri



Şekil 6. Silindirik, Prizmatik ve Kесе Tipi Hücrelerin Bileşenleri ve Kesit Şemaları

olarak, prizmatik hücrelerde bulunan sert dış duvarlar, hücre genişlemesini önlerler. Bu kalın duvarların getirdiği olumsuzluk ise kese tipi hücrelerden daha düşük bir enerji kapasitesidir.

#### 4.5 Hücrelerin Batarya İçerisindeki Dizilimi

Lityum iyon bataryalar uzunca bir süredir elektronik taşınabilir aygıtlarda kullanılmaktadır. 1990'larda başlayan ticari lityum iyon pil kullanımı, taşınabilir bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar elektrik tüketimine gereksinim duyan birçok üründe kendini kanıtlamış görünmektedir. Ancak otomotivde işin rengi ve beklentilerin çeşitliliği değişmektedir. Tek bir batarya hücresi bir otomobili harekete geçirmek için gerek duyulacak gerilim ve gücü sağlayamayacaktır. Otomobili hareket ettirmek ve tüm işlevlerini besleyebilmek için bir hücrenin verebileceğinden çok daha fazla elektrik gerekmektedir. Bu nedenle elektrikli otomobillerdeki bataryalarda batarya hücreleri, seri ve paralel olarak dizilerek kullanılırlar.

#### Örnek: Tesla Model 3

Tesla Model 3'ün bataryası, toplam 4.416 tane 2.170 tip hücreden oluşur. 2.170 hücre, 21 mm çapında ve 70 mm yükseklikte silindirik hücrelerdir. Her hücrenin kullanılabilir 4.65 AH kapasitesi ve normal 3,65 V gerilim değeri vardır. Toplamda, seri (2x25 + 2x23) olarak bağlanmış 96 hücre grubu bulunmakta, bu da 350 V gerilim değeri elde etmeyi sağlamaktadır. Pil kapasitesi 74,9 kWh'dir.

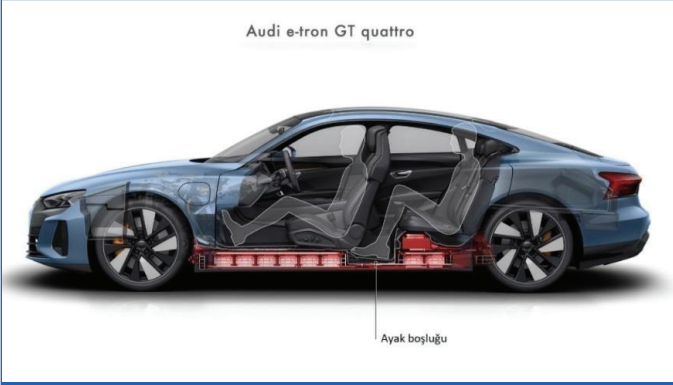
#### 4.6 Bataryanın Ağırlık Sorunu ve Araç İçinde Konumlanması

Bir otomobilde harekete geçirilecek kütlelin büyüklüğü, hareket için gerekli olacak gücün boyutunda belirleyici etkenlerdendir. Ortalama bir elektrikli otomobilde bulunacak 50 kWh'lık bir batarya, ağırlığıyla önem kazanır. Bu bataryanın içerisinde bulunanlar aşağıda verilmiştir (Tablo 2). Elektrikli araç bataryaları çok ağır bir otomobil parça-

Tablo 2. 50 kWh Bataryanın Toplam Ağırlığı ve İçindekiler (Pil Yönetim Sistemleri ve Çarpma Koruma Düzeneği Dışında)

50 kWh bir bataryanın toplam ağırlığı ve içindekiler				
Toplam hücre kütlesi	Lityum	Nikel	Manganez	Kobalt
230 kg	8 kg	18 kg	6 kg	6 kg

sıdır. Araç üzerindeki konumu yalnız yerleşimi etkilemez. Aynı zamanda yol tutuşundan, aracın dinamik özelliklerine kadar birçok unsura etkide bulunur. Yerleşim olarak otomobilin olabildiğince en orta noktasına ve zemine en yakın noktaya yerleştirmeye çalışılır. Dolayısıyla mantığımız, doğrudan yolcuların oturduğu kabinin alt tarafına yönlendirmektedir. Onu, araçtaki en düşük düzeye ve olabildiğince merkezde konumlandırmak önemlidir. Bu nedenle mantıksal olarak en uygun yer, yolcuların altındaki bölüm, aracın dört tekerleği arasındadır. Bununla birlikte, bataryanın kapasitesi ve araç içerisindeki boş alan arasındaki en uygun noktayı bulmak için araç



Şekil 7. Audi'nin e-tron GT Quattro Modelinde Bataryanın Konumu

şasisinin en baştan ve elektrikli araç gerçeklerine uygun olarak tasarımı yapılır. Audi'nin e-tron GT quattro aracında bataryanın yolcu kabini altına nasıl en uygun şekilde yerleştirildiği görülmektedir (Şekil 7).

İlk nesil elektrikli araçlar (Volkswagen E-Golf gibi) içten yanmalı motorlar için tasarlanmış şasisinin üzerine oturtulmuştur. Bu nedenle doksanlardan sonraki ilk nesil elektrikli araçlarda bataryalar şanzıman tüneli ve bagaj çevresinde konumlanmıştır. Böyle bir seçimin sonucunda araç şasisinin getirdiği geometrik sınırlar bataryaların gücünü sınırlamış ve ayrıca bataryanın aracın gövdesine uymak üzere aldığı karmaşık şekil, bataryanın soğutulması konusunda da önemli sorunları beraberinde getirmiştir. Artık yeni nesil elektrikli otomobillerde, kasanın

tasarımı elektrikli motor sisteminin verileriyle uyumlu şekilde yapıldığından, bataryaların tasarımı çok daha ileri taşınmıştır (Şekil 8).

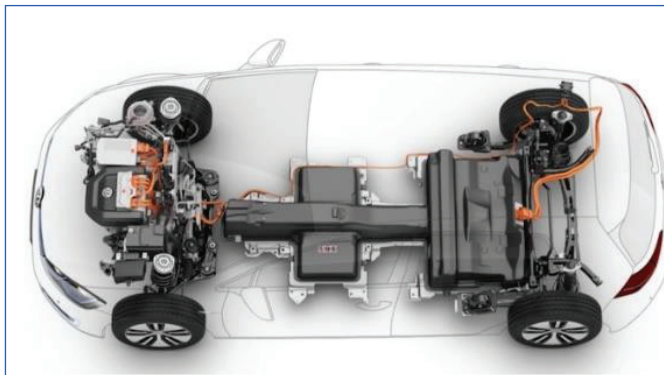
#### 4.7 Batarya Hücrelerinin Kendi Aralarında Dengelenmesi Sorunu

Bataryalardaki hücrelerin özellikleri (özellikle öz direnç (empedans) ve yük düzeyi) hücreden hücreye değişiklik gösterebilir. Çünkü bir grup hücre en yüksek yük düzeyine zaten ulaşmışken, diğer bazı hücre grupları tümüyle şarj edilmemiştir. Bu dengesizlikten kaçınmak için pil yönetim sistemi, daha düşük bir yük düzeyine sahip hücrelerde akım dolaşımını hızlandırmak için tümüyle şarj edilmiş hücrelerin direncini artırarak hücre dengesizliğini başlatır. Bu dengeleme, yük düzeyi % 95 yakınında olduğunda ve tüm elektrik tüketiciler kapatıldığında tetiklenir (örneğin, multimedia sistemi ve klima kapatılır).

#### 4.8 Batarya Yönetim Sistemi

BMS (Battery Management System - Batarya Yönetim Sistemi), hücrelerin erken yıpranmasını ve bataryalardan kaynaklanan yangın riskini önlemek için devreye girer. Bunları gerçekleştirebilmek için, batarya yönetim sistemi aşağıdakiler gibi birçok sayıda parametreyi dikkate alır:

- Alınan enerji,
- Dağıtılan enerji,
- Hücrelerin / grupların / modüllerin sıcaklığı,



Volkswagen e-Golf Bataryasının Konumu

Batarya transmisyon tüneli, arka koltuk altı ve bagaja yerleştirilmiş



Volkswagen ID.3 Bataryasının Konumu

Batarya iki dingil arasındaki mesafe üzerine aracın tüm uzunluğunu ve genişliğini kullanarak yerleştirilmiş

Şekil 8. Elektrikli Motora Göre Tasarlanmış Otomobil İle İçten Yanmalı Kasaya Göre Yapılan Bataryaların Farkı

- Dış sıcaklık,
- Soğutucunun sıcaklığı (varsa),
- Hücre Gerilimi / Grupları / Modüller.

## 5. SONUÇ

Önümüzdeki yıllarda elektrikli araç pazarının hızlı biçimde gelişmesiyle otomobil bataryalarında kullanılan lityum iyon teknolojisinin ve katı hal bataryalarının bedellerinin de hızla düşmesi beklenmektedir. Otomobil ve batarya üreticilerinin araştırma ve çalışmaları sonucunda bataryaların çevrimsel ekonomiye kazandırılması sağlanarak batarya bedellerinde ve bataryaların güç ve yeteneklerinde çok büyük iyileştirmeler yapılması olası görünmektedir. Dolayısıyla, önümüzdeki yıllarda yeni batarya teknolojileri gelişecek ve otomotiv pazarında farklı batarya teknolojileri kendine yer bulabilecektir. Batarya hücresi, batarya modülü veya batarya paketinin üretim tekniği kadar, bataryaların teknik özelliklerinin geliştirilmesi, özellikle yazılım alanında yatırım yapılması, gelecekteki otomobil pazarında söz sahibi olabilmek için önemli adımlardır.

Buna ek olarak; otomobilin yanı sıra ağır vasıta araçlarda farklı eğilimlerin söz konusu olduğunu görmek gerekiyor. Yük taşıyan ve güce ihtiyaç duyan araçlarda elektriğin yanı sıra CNG uygulamaları da önem kazanıyor ve öne çıkıyor. Bugün için CNG fiyat olarak rekabetçi bir noktada olmadığından kamyonlarda ki uygulamalar yavaşlamış durumda ancak birçok firma elektrikli kamyonlarını piyasaya sunmaktadır. İçten yanmalı motorların kullanıldığı her alanda bu enerji dönüşümünün önemli bir virajda olduğu görülüyor. Örneğin uçaklarda hidrolik sistemlerin yerine elektrikli sistemlere geçiş çalışmaları sürüyor. Ancak itiş için öncelikli olarak hidrojen veya sentetik daha az karbon emisyonuna sebebiyet veren yakıtlara bir yönelim var. Lokomotif veya büyük şilep ve tankerlerde ise yine hidrojene yönelik çalışmalar hız kazanmış durumda. Sonuçta bu değişen enerji ve motor pazarında Türk mühendis ve imalatçılara önemli fırsatlar sunuluyor. Değişimin herhangi bir noktasından teknoloji geliştirerek girebilenler mutlaka ki daha önde olacaktır.

## KAYNAKÇA

1. A national vision of America's transition to a hydrogen economy – to 2030 and beyond. Based on the results of the National Hydrogen Vision Meeting Washington, DC November 15-16, 2001. Published in February 2022 by United States Energy Department : Bu rapor 11 Eylül 2001 saldırılarının hemen ardından petrole bağımlılığı sebebiyle kendisini zayıf hissedilen Amerika Birleşik Devletleri'nde hidrokarbon uygarlığından uzaklaşmak gerektiğini ifade eden bir komisyonun eseridir. Komisyonun çalışmasına göre 2002 yılından bakıldığında 2040'tan önce hidrojen ekonomisine geçme imkanı görülmektedir. Hidrojen ekonomisine geçişle ilgili önemli zorlukların ifade edildiği raporda ayrıca hükümetlerin ve diğer paydaşların ortak bir stratejide tüketicileri yönlendirmelerinin önemli bir gereklilik olduğunun altı çizilmektedir.
2. <https://www.intechopen.com/chapters/65271>
3. **Millner A, Judson N, Ren B, Johnson E, Ross W.** Enhanced plug-in hybrid electric vehicles. In: 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, Waltham, MA. 2010. pp. 333-340
4. **Liu D, Wang Y, Zhou X, Lv Z.** Extended range electric vehicle control strategy design and multi-objective optimization by genetic algorithm. In: 2013 Chinese Automation Congress, Changsha. 2013. pp. 11-16
5. <https://www.guillaumedarding.fr/les-differents-types-de-vehicules-hybrides-9155146.html>
6. «Systèmes embarqués de l'énergie », Valérie Sauvant-Moynot, chap. 4 de l'ouvrage « Les Véhicules Hybrides. Des composants au système », p187-272. Edité par François Badin en 2013 aux Editions Technip.
7. X-Ray Absorption Spectroscopy Study of Battery Materials - Chapter · March 2017 Marco Giorgetti University of Bologna Lorenzo Stievano Université de Montpellier Published by IntechOpen ( [https://www.researchgate.net/publication/315861812\\_X-Ray\\_Absorption\\_Spectroscopy\\_Study\\_of\\_Battery\\_Materials/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/315861812_X-Ray_Absorption_Spectroscopy_Study_of_Battery_Materials/figures?lo=1))
8. <https://stockhead.com.au/tech/has-the-time-come-for-silicon-anode-batteries/> : Konsültasyon tarihi : 15/03/2023 : « Silikon çözümlerinin uygulanması, 2020'de ABD'li elektrikli araç ve enerji depolama devi Tesla'nın ev sahipliği yaptığı Batarya Gününde sıcak bir konuydu. Lityum-iyon bataryalarını dahili olarak üretme hedefinin bir parçası olarak silikon anot teknolojisini öne çıkardıklarını açıkladılar. O zamandan beri General Motors, Ultium pil hücrelerinde silikon nanoteknolojinin potansiyel kullanımını incelemek için ortak bir araştırma ve geliştirme anlaşması duyurdu, Porsche gelecekteki EV pillerinde silikon kullanımını araştırıyor ve Mercedes-Benz, bir sonraki elektrikli G-Serisi SUV'sinde silikon anotlar kullanacağını açıklıyor. »