

# Otomobillerin Gecikmiş Metamorfozu Elektrikli Otomobiller

Çevreye zarar verdiği ve petrole olan bağımlılığı artırdığı için taşıtlarda fosil yakıt kullanımı 1960'lardan beri sorgulanıyor. Yakıt tüketimini azaltmak için içten yanmalı motorlar geliştirilirken etanol, methanol, hidrojen, biyokütle gibi alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar da devam ediyor. Taşıtlarda enerji kaynağı olarak elektriğin kullanımı ise çok daha eski. İleri 1837'de yapılan elektrikli otomobil benzinli otomobile yarışmamış ve yolları terk etmek zorunda kalmış. Seneler sonra bazı otomotiv şirketlerinin yatırım ve Ar-Ge çalışmaları, hükümetlerin teşvikiyle tekrar gündeme gelen elektrikli otomobiller yavaş yavaş Türkiye pazarına da giriyor. Ancak çevresel sorunların çözümüne katkı sağlayacağı ümit edilen elektrikli otomobillerin tercih edilir duruma gelmesi için bazı teknolojik ve ekonomik dar boğazlardan geçilmesi şart.

İlk elektrikli otomobilin posta pulu kadar eski olduğunu öğrenmek beni şaşırttı. İşin başından beri yolların hâkimiyetinin içten yanmalı motorlara ait olduğunu sanırdım. Ancak öyle değilmiş. İlk elektrikli otomobil İskoçyalı mucit Robert Davidson tarafından 1837 yılında yapılmış. 1890'larda Avrupada ve ABD'de elektrikli otomobiller üretilip satılıyormuş. Hatta 1905'e gelindiğinde ABD sokaklarında benzinli otomobilden çok elektrikli otomobil varmış. Elektrikli otomobillerin bu başarısı 1920'lere kadar devam etmiş. Bir yandan da 1800'ler hem içten yanmalı motor teknolojisinin iyileştirildiği hem de ısı makinalarının termo-

dinamik kuramının geliştirildiği yıllar olmuş. İçten yanmalı benzin motorlarının çalışma prensibi olan, bir piston ile sıkıştırılan gaz karışımının genişmesi yoluyla hareket enerjisi elde etme çalışmaları ise 1700'lü yıllara kadar uzanıyor. Elektrikli otomobiller otomotiv yarışında öndeyken 1920'ler gelmiş ve devran dönmüş. Hızla ilerleyen içten yanmalı motor teknolojisi sayesinde maliyetleri düşünce benzinli otomobillere talep artmış. 1935'e gelindiğinde yollar tamamen benzinli motorlara teslim olmuş. Bu süreçte benzinli motorlardan yana iki büyük gelişme yaşanmış: Marş motorunun icadı ve benzinli otomobillerin seri üretimi.



İlk otomobillerde benzin motorunun pistonuna ilk hareketi veren ateşlemeyi gerçekleştirmek için otomobilin dışındaki krankı el ile döndürmek hayli zahmetli olacak ki, 1912 yılında Charles Kettering'in otomatik marşı icat etmesi büyük bir heyecanla karşılanmış. Buna ilaveten, Avrupa'da ve ABD'de birkaç otomotiv şirketinin seri üretime geçmesiyle benzinli otomobillerin maliyetinin düşmesi, elektrikli otomobillerle aradaki fiyat uçurumunu gittikçe artırmış. Her yere kurulan benzin istasyonları ile benzinin bulunabilirliği artınca benzinli otomobillerle uzun yolculuklara da çıkılabilirken, elektrikli otomobiller düşük

beygir gücüyle çalışan kısa mesafe araçları olarak kalmış. Tartışmasız benzinli otomobillerin liderliğinde geçen bir 30 yılın ardından, 1960'lar gelişmiş ülkelerin bir yandan ham petrol bağımlılığını azaltmak bir yandan da egzoz emisyonlarından kaynaklı çevre sorunlarının önüne geçmek için alternatif yakıt kaynaklarını tartışmaya başladığı yıllar olmuş. Ne gariptir ki somut adımların atılması için bir 30 yıl daha geçmesi gerekmiş. Böylece bir zamanlar bayrak yarışında önde olan elektrikli otomobiller yeniden ön saflara çıkma fırsatı yakalamış.

Baker otomobil şirketinin 1912 model elektrikli otomobili. Batarya teknolojisi ilkel, menzili çok düşük olsa da bir elektrikli otomobilde olması gereken tüm özelliklere sahip.

Otomotiv tedarikçilerini elektrikli ve hibrit (hem elektrikle hem fosil yakıtla çalışan) araçlar üretmeye teşvik eden en büyük gelişme 1990 yılında ABD'nin Kaliforniya eyaletinden çıkan sıfır emisyonlu araç talimatı olur. Kaliforniya'daki hava kalitesini yükseltmek için eyaletin Hava Kaynakları Kurulu tarafından hazırlanan talimata göre, otomotiv tedarikçilerine benzinli otomobil satışına devam edebilmeleri için elektrikli otomobil geliştirme zorunluluğu getirilir. Ancak egzoz gazı emisyonlarını üç yıla kadar % 2, 2003 yılına kadar ise % 10 düşürmeyi hedefleyen bu yasa her yıl değişikliğe tabi tutula tutula yumuşatılır. Alternatif yakıtları ele aldığı kitabıyla ve The Economist dergisindeki yazılarıyla bilinen iktisatçı Vijay Vaitheeswaran 1990'lardaki durumu şöyle özetliyor: "Amerika'daki otomotiv endüstrisi iki şart koştu. Biri Japon şirketleriyle işbirliği yapılmaması, ikincisi ise Ar-Ge için gerekli paranın kendileri değil devlet tarafından karşılanmasıydı. Halktan toplanan 1,5 milyar dolarlık vergi bu işe yatırıldı, ama somut bir ürün çıkmadı."

Bu işten kazançlı çıkan Kaliforniya'daki gelişmeleri uzaktan takip eden Japon şirketleri olur. Toyota ve Honda en iyi mühendislerini toplar ve onlardan egzoz emisyonu düşük, yakıt verimliliği yüksek otomobil üretmelerini ister.

Her ne kadar insanoğlunun sadece elektrikle çalışan otomobil üretme tecrübesi olsa da Japonlar benzinden elektrığe geçişi kademeli gerçekleştirmeyi tercih eder ve hibrit teknolojisi üzerinde çalışılır. Daha küçük içten yanmalı bir motor, elektrik motoru ve elektrik motorunu besleyen bataryalar içeren hibrit otomobillerin ilki, Toyota'nın ürettiği Prius, 1995'te tanıtılır. Seri üretimi iki yıl sonra başlayan Prius'tan o sene içinde 18.000 tane satılır. Gelecek 5 yıl içerisinde çeşitli şirketler sadece elektrikle çalışan otomobillerini piyasaya sürer: Hondadan EV (Electrical Vehicle) Plus, Toyotadan RAV4 EV, Ford'dan Ranger ve General Motor'dan EV1. Ancak sonradan birçok

şirkette elektrikli araç üretimi yavaşlar. Hatta bazı şirketler projelerini sonlandırır. Örneğin EV projesine 1993'e kadar devam eden General Motors, otomotivde elektrikli otomobile geçişin çok radikal bir değişim olacağı gerekçesiyle ve diğer şirketlerin de aynı şeyi yapacağı ümidiyle programa son verir ve projede çalışan tüm mühendislerini işten çıkarır. Aslında General Motors bu kararıyla otomotiv şirketleri arasındaki bir yarıştan çekilmiş değil. Otomotiv şirketleri kendilerini büyük bir yarış içinde hissetmiyor, çünkü imza attıkları ortak anlaşmalar nedeniyle bu şirketlere rakipten ziyade ortak gözüyle bakılıyor. Yenilikçi projeler üretmek çok pahalı olduğu için oto-



## En iyi yakıt hangisi?

Bir yakıtın verimliliği birçok etmene bağlı. Belli bir yakıttan o yakıtla göre tasarlanmış bir teknolojiyle büyük verim alınabilir. Ancak genel bir kural olarak enerji yoğunluğu en fazla olan yakıt en iyi yakıttır dersek, benzinin litre başına 32 MegaJoule'lük (MJ) hacimsel enerji yoğunluğu ile iyi bir yakıt olduğunu hemen söyleyebiliriz. Enerji yoğunluğu 25 MJ/lt olan doğal gazı etanol ve metanol takip ediyor. Su ise düşük enerji yoğunluğu nedeniyle yakıt olarak kullanılmıyor. Dizelin hacimsel enerji yoğunluğu benzinden biraz daha yüksek.

(Ancak dizelin yanması için benzine kıyasla daha çok sıkıştırılması gerektiğinden dizel motorunun daha farklı ve pahalı bir yakıt enjeksiyon sistemine sahip olması gerekiyor.)

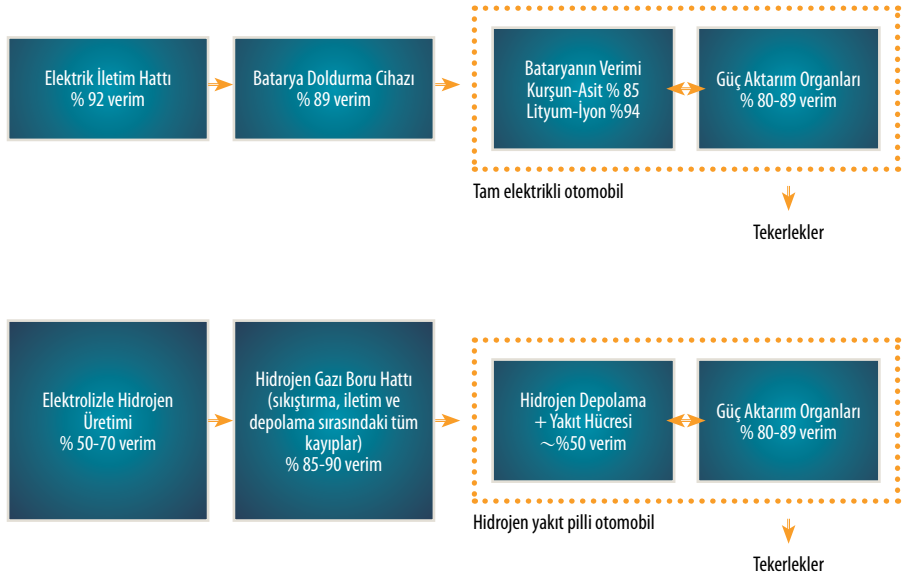
Hidrojenin hacimsel enerji yoğunluğu benzininkinin yaklaşık dörtte biri olsa da kütleli enerji yoğunluğu (aynı kütledeki hidrojen ve benzin karşılaştırıldığında) benzininkinin üç katı. Bu yüzden hidrojene geleceğin yakıtı gözüyle bakanlar var.

Elektrik motorunun bataryası ile içten yanmalı motorun benzinini karşılaştırmak, elma ar-

mut karşılaştırması gibi olsa da fikir vermesi açısından bir kıyaslama yapalım. Yaklaşık 4 litrelik bir benzinin sahip olduğu enerjiyi örneğin kurşun-asit pilde depolamak için 454 kg'lık pil gerekiyor. Bu benzinli otomobillerin çok daha verimli olduğunu göstermese de elektrikli otomobillerdeki en büyük sorunlardan birinin bataryanın kütlesi olduğunu ortaya koyuyor. Elektrikli otomobillerin geleceğini batarya teknolojisi belirleyecek. Malzemesi hafif, enerji yoğunluğu yüksek ve maliyeti düşük bataryalar üretilebilirse elektrikli otomobiller tercih edilir hale gelebilir.

Elektrik Üretim Verimliliği	%
Hidroelektrik	90
Kömür	50
Nükleer	40
Rüzgar	~ 35
Biyokütle	~ 35
Güneş	~ 20
Jeotermal	~ 20

Elektriğin ürettiği santralden otomobilin tekerleklerine ulaşana kadar geçirdiği aşamalarda veriminin ne kadar düştüğünü gösteren şema



mobillerde ufak değişiklikler yaparak kâr elde etme yolunu tercih eden otomotiv sektöründe köklü değişikliklerin meydana gelmesi için ya şirketler arası bir yarış ortamı ya da yaptırım olması gerektiği söyleniyor. Ne yazık ki yakıt verimliliği yüksek ya da elektrikle çalışan otomobil üretme konusundaki yaptırımlar çabuk sonuç vermiyor. Bunda tabii ki otomobil endüstrisi ile sıkı bağları olan petrol şirketlerinin rolü var. Bu birlikteliğe en büyük desteği veren ise petrolün kendisi. Enerji yoğunluğu hayli fazla olan petrol ile rekabet edebilecek kadar verimli yakıt bulmak ve bu yakıt için ucuz teknoloji geliştirmek kolay bir iş değil.

Avrupa Birliği Komisyonu yıllardır yakıt verimliliği yüksek, karbon emisyonu düşük araçlar üretilmesi için kanun çıkarmaya çalışıyor. Almanya'nın girişimiyle 1994 yılında yapılan düzenlemeyle yeni otomobillerin yakıt verimliliği için 100 km'de 5 litre yakıt sarfiyatı sınırı koyuluyor ki bu da yaklaşık kilometre başına 120 gram CO<sub>2</sub> salımına denk geliyor. 2012 yılında olmamıza rağmen fosil yakıtlarla çalışan otomobillerin birçoğu bu hedefe ulaşabilmiş ve düzenleme kanunlaşmış değil. Ancak Avrupa Birliği'nin İklim Aksiyonu sayfasına bakınca otomotiv şirketlerine getirilen yaptırımların yeni yeni uygulanmaya başladığı-

nı görüyorsunuz. Bazı ülkeler ise kendi önlemlerini alıyor. Örneğin İngiltere'de yakıt verimliliği düşük bir otomobiliniz var ise daha fazla vergi ödüyorsunuz.

Her ne kadar 76 milyonluk nüfusu göz önüne alındığında Türkiye Avrupadaki taşıt yoğunluğu en düşük ülke olsa da, gelişen ekonomisine paralel olarak taşıt sayısının gittikçe artacağı kesin. 2009 yılında katıldığımız Kyoto Protokolü'ne taraf olan tüm ülkeler, çevre sorunlarıyla birlikte mücadele etme yolunda adımlar atıyor. Türkiye'nin de 2012-2023 enerji verimliliği stratejilerinden biri motorlu taşıtların birim fosil yakıt tüketimini azaltmak.

Eğer elektrikli otomobillere talep olursa otomotiv tarihinde büyük bir devrim yaşanmış, caddelerdeki gürültü kirliliği, küresel ısınma problemi, petrol ve içten yanmalı motora olan bağımlılığımız büyük ölçüde azalmış olacak.

## Karbon salımları

İnsan kaynaklı küresel ısınmanın % 63'ünü karbon dioksit gazı oluşturuyor. Karbon monoksit ve hidrokarbonlar Güneş'ten yerküremize gelen ve uzaya geri yansıyacak olan ısının atmosferden uzaya kaçışını engelleyerek sera etkisi yapan diğer karbon bileşikler; nitekim günümüzde toplam karbon salımının % 25'inin taşıtlardan geldiği belirtiliyor. Fosil yakıtlar bir sera gazı olan nitrojen oksidin de kaynaklarından biri.

Günümüzde taşıtların % 96'sının yakıt olarak petrol ürünlerini kullanıyor olması ve 2050 yılında dünyadaki taşıt sayısının 2 milyar olacağı

öngörüsü, hibrit ve elektrikli araçları -daha genel olarak alternatif yakıt teknolojilerini- göz ardı edemeyeceğimizi gösteriyor. Bu araçlar çevre problemini kısa dönemde çözemesi de uzun vadede çözümün bir parçası olabilir.

Elektrikli bir aracın bataryasının, fosil yakıt kullanan bir elektrik santralinden gelen elektrikle doldurulması durumunda bile karbon salımının % 30 oranında düşeceği belirtiliyor. Kanada'nın Elektrikli Araçlar Derneği'nin bunun için verdiği oran ise çok daha iyimser ve % 50 civarında. Bataryanın şarjı için kullanılan elektrik

eğer güneş, rüzgâr, su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanırsa, elektrikli araçlar sıfır emisyonlu araç tanımlamasını hak edecek.





İlk elektrikli aracını 2006 yılında tamamlayan Tesla Motors sadece elektrikli otomobil üreten ve hedefi herkesin alabileceği ve verimi yüksek bir otomobil üretmek olan bir ABD şirketi. Hedefe üç aşamada ulaşmayı planlayan Tesla Motors yöneticileri, ilk aşamanın ürünü olan elektrikli spor otomobilden memnun olduklarını belirtiyor. İkinci aşamada bu tecrübeyi üretim hacmi büyük, maliyeti düşük dört kapılı binek otomobil üretmek için kullandıklarını, bir sonraki aşamanın ise bataryaları daha çabuk şarj olan, daha çabuk hızlanan ve maliyeti düşük bir elektrikli otomobil üretmek olduğunu belirtiyorlar. 2012 yılı itibarıyla Roadster'in menzili 390 km, maksimum hızı ise bir elektrikli otomobil için oldukça yüksek, saatte 200 km.

## Tam Elektrikli Otomobiller

Intel, Apple gibi bilgisayar şirketleri geleceğin elektrikli otomobil üreticileri olmaya aday. Çünkü bir elektrikli otomobilde mekanik aksamdan çok yazılım var. Bataryanın ne kadarlık sürede ne kadar akım sağlayacağı, şarjının ne kadar azaldığı gibi bilgiler yazılım algoritmalarıyla hesaplanıyor ve batarya yazılım teknolojisi şimdilik pahalı bir teknoloji. Bunun yanında bataryalar hem ağır hem de çok yer kaplıyor. Üstelik bu otomobillerde hız sınırının düşük olması yine bataryanın yeterli gücü sağlayamamasından kaynaklanıyor.

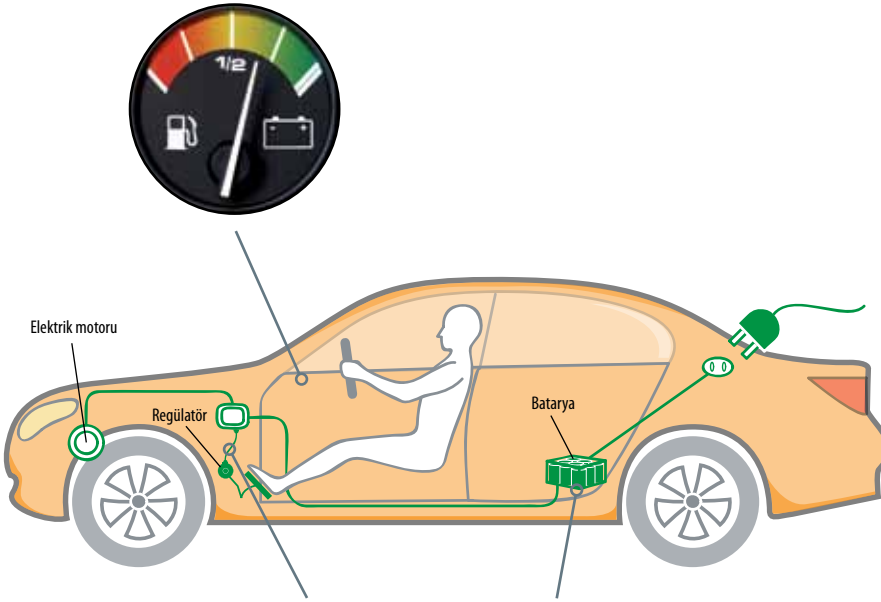
Doldurulabilir kurşun-asit pillerden oluşan batarya 500 kg civarında. Yaklaşık 200 defa şarj edilebilen bu piller 3-4 yılda ömürlerini tamamlıyor. Elektrikli bir araç kullanım sırasında daha az mas-

raf çıkarsa da bataryanın ömrü bitince haliyle yenisiyle değiştirmek gerekiyor ki kurşun-asit bataryanın ABD'deki maliyeti 2000 dolar. Bir elektrikli otomobilde kurşun-asit batarya yerine Ni-MH (Nikel Metal Hibrit) batarya kullanılırsa batarya ömrü 10 yıla çıkıyor, ancak bu sefer de bataryaya ödeyeceğiniz miktar 20.000 dolar gibi yüksek bir meblağa ulaşıyor. Dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonlarında kullanılan lityum-iyon bataryalarla çalışan elektrikli otomobiller de var. Bu piller aynı büyüklükteki Ni-MH pillerden hem daha hafif hem de dört kat daha güçlü, ancak ne yazık ki daha da pahalı. Haliyle elektrikli otomobillerin kaderi batarya maliyetinin aşağıya çekilip çekilmemesine bağlı. Tabii ki batarya teknolojisindeki yeniliklerle maliyetin düşeceği ümit ediliyor. Daha ucuz malzeme ile enerji yoğunlu-

ğu daha yüksek bataryalar yapılabilirse maliyet doğal olarak düşecek. Nanoyapılı silikon elektrotların kullanıldığı batarya prototipinde depolanan enerji, lityum-iyon bataryalarda depolanan enerjinin iki katı. Üzerinde çalışılan elektrokimya araştırmalarından bir diğeri ise sıvı elektrot yerine daha küçük hacimli ve daha az yanıcı olan katı elektrotların kullanıldığı bataryalar yapmak. Bu tür Ar-Ge çalışmalarının yanı sıra bataryaların seri üretimi de maliyeti önemli oranda düşürebilir. Şimdilik otomobil şirketleri her bir otomobilin bataryasını özel olarak imal ediyor.

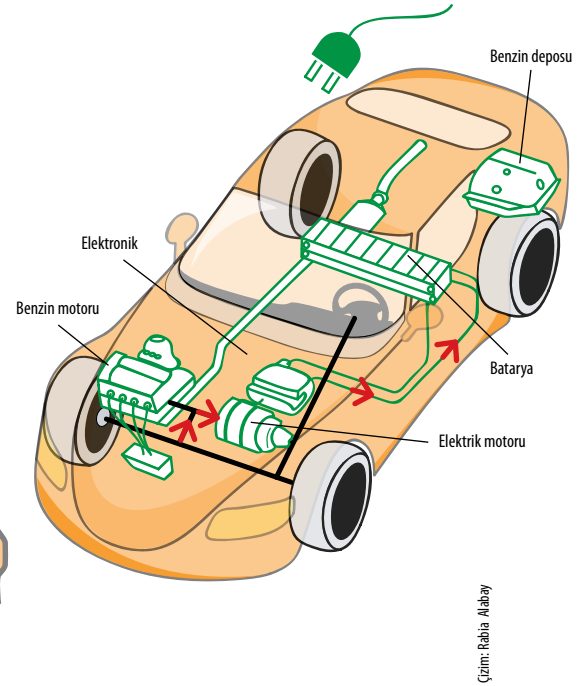
Potansiyel alıcı sayısını düşüren sorunlardan biri şarj istasyonlarını yaygınlaştırmak için gerekli alt yapının henüz dünyanın hiçbir yerinde kurulmamış olması. Dünya üzerinde elektrikli otomobilinizi şarj edebileceğiniz çok az şarj is-

Elektrikli otomobilde benzin deposu göstergesi, bataryanın uçları arasındaki gerilim farkını gösteren basit bir voltmetre olabileceği gibi bataryaya giden ya da bataryadan gelen akımın miktarını hesaplayan bir bilgisayar da olabilir.



Motorun sağladığı tork akım ile doğru orantılı, yani batarya motora ne kadar çok akım sağlıyorsa motorun dakikadaki dönüş sayısı o kadar fazla olur. Elektrik motoruna bataryadan ne kadar akım gönderileceğini sürücü ayağıyla ayarlar. Sürücü regülötöre bağlı olan gaz pedalına basınca regülötör motordaki gerilim farkını (voltajı) artırır ve akım geçmeye başlar. Bu voltaj, bataryanın voltajına ulaşır aradaki gerilim farkı sıfır olduğunda akım durur.

Bataryanın uçları arasındaki gerilim farkının istenilen akımı sağlayacak seviyede olması gerekir. Örneğin 12 Voltluk kurşun-asit pillerin 12 tanesini seri bağlarsak 144 Volt'luk bir bataryamız olur. Bu gerilim farkıyla elde edilebilecek maksimum akım bellidir. Akımın çok yüksek olması bataryanın çabuk boşalmasına yani ömrünün kılmasına neden olduğundan akım için bir üst sınır koyulur. Bu sınır, kullanılan elektrik motorunun AC (alternatif akım) motoru ya da DC (doğru akım) motoru olup olmadığına, kullanılan batarya tipine göre değişir. Örneğin kurşun-asit bataryalarda akımın bir bataryayı 20 dakika içerisinde % 80 boşaltacak kadar kuvvetli olması istenmez, bataryanın uzun ömürlü olması için maksimum akım bu sınırın altında olmalıdır.



Çizim: Rabia Alabay

Elektrikli otomobillerdeki biraz sofistike olan elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirken, yeri geldiğinde bir jeneratör gibi çalışıyor. Frene basıldığında sürtünmeden dolayı mekanik enerji azalır ve bu enerji farkı ısı olarak etrafa dağılır. Birçok elektrikli ve hibrit otomobilde ise frene basıldığında bu enerji farkı motor tarafından elektrik enerjisine dönüştürülüp daha sonra kullanılmak üzere bataryada depolanır. Yukarıdaki çizimdeki oklar, frene basıldığında zıyan olacak enerjinin elektrik motoru üzerinden elektrik enerjisine çevrilerek bataryaya iletimini gösteriyor.

tasyonu var. Diyelim ki elektrikli otomobil alacak kadar zenginsiniz. Otomobilinizin şarjı azaldı. Otomobilinizde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi alternatif bir enerji kaynağı varsa ne âlâ. Bataryanızı doldurabilirsiniz. Diyelim ki yok. Ama merak etmeyin, zengin olduğunuz kadar da şanslısınız. Navigasyon aletinize bir baktınız, birkaç kilometre ötede bir şarj istasyonu var. Bataryayı şarj edip yola hemen koyulurum, diye hayal kurmayın. Çünkü bataryanın dolması fosil yakıtlı araçlara benzin doldurmak gibi birkaç dakika değil saatler sürüyor. Kısacası mevcut koşullar ve teknolojiyle, elektrikli otomobillerin yakın vadede tercih edilen araç haline gelmesi mümkün görünmüyor. Lakin elektrikli otomobilinizin fişini takıp gece boyunca şarj edip gündüz şehir içinde kullanabilirsiniz.

## Hibrit Otomobiller

Tüm güzelliklerine rağmen henüz halledilmemiş sorunlarını göz önüne aldığımızda elektrikli otomobillerin şehirler arasında ziyade şehir içi kullanıma uygun olduğu açık. Bu noktada şehir içinde elektrikle giden, şehirler arası ulaşımda ise deposundaki benzini kullanan hibrit otomobiller iyi bir alternatif gibi görünüyor. Aracın itme gücünü iki farklı güç kaynağı kullanarak sağlayan araçlara hibrit araç deniyor. Bunlardan en yaygın olanlar benzinli-elektrikli araçlar. Dünyanın birçok yerinde üzerlerindeki elektrik tellerinden aldıkları güç ile çalışan, tellerden uzak oldukları noktalarda ise fosil yakıtla yoluna devam eden otobüsler, trenler var. Denizaltılar nükleer-elektrikli ya da dizel-elektrikli olabiliyor. Hibrit ve tam elektrikli otobüs-

ler özellikle büyük şehirlerdeki hava ve gürültü kirliliğinin çözümü olarak sunuluyor. Türkiye'nin ilk hibrit aracı ELİT-1, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü'nde yapılmıştı. Geçtiğimiz aylarda ise Sakarya Üniversitesi ve Temsa Ar-Ge işbirliği ile geliştirilen TEMSA Avenue Hibrit Otobüs'ün prototipi tamamlandı.

İçten yanmalı motorları ve yakıt depoları daha küçük olduğundan, hibritler havayı daha az kirletiyor. Ancak beygir gücü düşük olan motor düz yolda ilerlemek için yeterli itiş sağlarken yokuş çıkma, ivmelenme gibi daha fazla güç gerektiren durumlarda ek güç elektrik motorundan sağlanıyor. Otomobilin itme gücünü benzin ve elektrik motorunun birlikte sağladığı, diğer bir deyişle iki motorun birbirine paralel çalıştığı bu tür birinci nesil hibrit araçlara paralel



hibrit deniyor. İkinci nesil hibrit araçlarda ise iki motor paralel değil seri çalışıyor. Bataryalar boşaldığında ve frene basıldığında ise benzin motoru bir jeneratör gibi çalışarak ürettiği elektriği bataryada depolayabiliyor ve otomobil elektrik gücüyle yol almaya devam ediyor.

## Hidrojen Yakıt Hücreli Otomobiller

Batarya teknolojisi ile ilgili problemler bazı sanayicileri ve araştırmacıları yakıt hücresi teknolojisine yönlendiriyor. Bataryalara kıyasla daha küçük ve hafif olan yakıt hücresinin en gözde yakıt

ise hidrojen. Hidrojen aslında bir yakıt olarak değil, yakıt depolama sistemi olarak tanımlanıyor. Hidrojen yakıt hücresine geleceğin yakıt sistemi gözüyle bakanlar için geleceğin otomobilleri de elektriği bu sistemle üreten elektrikli otomobiller olacak.

Gaz halindeki hidrojen molekülü ( $H_2$ ) çok hafif olduğundan yerçekiminin etkisinden kurtulup uzay boşluğuna kaçıyor ve bu yüzden yeryüzünde hidrojen gaz olarak bulunmuyor. Ancak hidrojen atomunun iki tanesi bir oksijen atomuyla birleşerek suyu ( $H_2O$ ), dört tanesi ise karbon atomuyla birleşerek doğal gaz olarak bilinen metanı ( $CH_4$ ) oluşturu-

yor. Kömür, petrol, organizmalardan elde edilen biyokütle de yine hidrojenin karbon ile yaptığı bileşiklerden meydana geliyor.

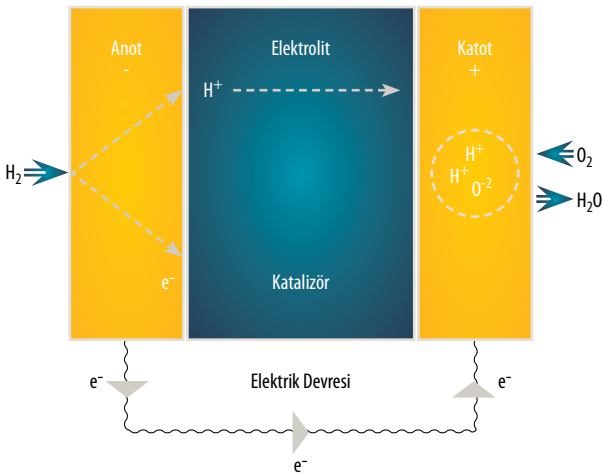
Hidrojen atomunu elde etmek için buhar iyileştirme, elektroliz, fotosüreçler, radyoliz gibi birçok hidrojen üretim teknolojisi var. Bunlardan en yaygın olanlar ilk ikisi. Buhar iyileştirmede metandaki hidrojen atomları karbon atomlarından ayrılıyor. Ucuz bir yöntem olsa da yan ürün olarak sera gazları çıktığı için yakıt teknolojisi olarak tercih edilmiyor. Elektrolizde ise hidrojen sudan elde ediliyor. Elektroliz sonucu elde edilen hidrojen atomlarından kopan elektron-



lar aracın elektrik devresindeki akımı meydana getirirken oluşan hidrojen iyonlarından her biri havadaki oksijen ile birleşiyor ve yan ürün olarak su buharı çıkıyor. Elektroliz sonucunda karbon bileşikler oluşmadığı için tercih edilebilir olsa da ironik bir biçimde yan ürün olarak çıkan su buharı da sera etkisi yapan gazlar arasında yer alıyor. Elektrolizle çalışan yakıt hücresi kullanımının önündeki en büyük engel bu yöntemin pahalı olması. Araştırmacılar çıkan hidrojenin nasıl depolanacağı konusunda ayrıca bir yöntem geliştirmek durumunda. Yoğunluğu çok düşük olan hidrojeni gaz olarak depolamak için yüksek basınç uygulamak, sıvı olarak depolamak için ise  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi çok düşük sıcaklıklara ulaşabilen kriyojenik teknikler gerekiyor. Gaz olarak depolamak hem büyük depo hacmi hem de  $35.000$  ile  $70.000\text{ N/m}^2$  (Newton/metrekare) arasında değişen yüksek basınç gerektiriyor.

jen ne sudan ne de metandan elde ediliyor, bunların yerine sodyum bor hidrür ( $\text{NaBH}_4$ ) kullanılıyor. Bu bileşikte B sembolüyle gösterilen bor elementinin Dünya'daki rezervinin % 70'i ülkemizde bulunuyor. Sodyum bor hidrür bileşiğinin ağırlığının % 10,6'sı ise hidrojen. Bu yakıt pili projesinde  $\text{NaBH}_4$  sodyum bor hidrür, hidrojen depolama ortamı olarak kullanılıyor. Hidrojeni elde etmek için  $\text{NaBH}_4$  çözeltisi, geliştirilen bir hidrojen üretim biriminden geçiriliyor.

Elektriği hidrojen kullanarak elde eden taşıtların bazı sorunları şarjlı elektrikli taşıtlarda da olan sorunlar. Örneğin bataryaların şarjı için kullanılan elektriğin elde edilmesinde fosil yakıtlar kullanıldığı gibi, yakıt hücrelerinde kullanılan hidrojen de fosil yakıtlardan elde edilirse bu araçların "çevre dostu" tanımına gölge düşebilir. Bataryalı elektrikli otomobil değil de hidrojen yakıtlı otomobiliniz varsa bataryayı şarj etme derdinden kurtulabilirsiniz. Ancak bu sefer de aracınıza belli aralıklarla hidrojen doldurmanız gerekir ki yine altyapı sorunu yani hidrojen istasyonları kurma gerekliliği ortaya çıkıyor.



Hem depo hacmi hem güvenli depolama sorununu aşan, hem Türkiye'nin zengin bor kaynağını değerlendiren yakıt pili projesi, TÜBİTAK ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) tarafından yürütülüyor. TÜBİTAK MAM'daki yakıt pili laboratuvarında üretilen hibrit araç için gerekli hidro-

**Kaynaklar**  
Ünlü, N. ve ark., "Elektrikli Araçlar", Enerji Enstitüsü, MAM (Marmara Araştırma Merkezi), TÜBİTAK, 2003. <http://www.osd.org.tr/elektrikliarac.pdf>  
Fairley, P., "Will electric vehicles finally succeed?", *Technology Review*, MIT, Cilt 114, Ocak-Şubat 2011.  
*The Race for the Future Car*, Hollanda Kamu Yayıncılığı Organizasyonu (VPRO- Vrijzinnig Protestantse Radio Omroep), belgesel, 2008.

*Who killed the electric car*, Sony Pictures Classics, belgesel, 2006. [http://ec.europa.eu/clima/news/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/news/index_en.htm)  
Thomas, C. E. S., "Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared", *International Journal of Hydrogen Energy*, Cilt 34, s. 6005-6020, 2009. <http://auto.howstuffworks.com/electric-car2.htm>  
<http://auto.howstuffworks.com/hybrid-car2.htm>