

HİBRİD TAŞIT TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Ahmet KESKİN*
Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
Bolu MYO, Teknik Programlar
Bölümü, BOLU
keskin_a@ibu.edu.tr,
ahmkeskin@mynet.com

ÖZET

Motorlu taşıtlar günümüzde yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Ancak motorlu taşıtlar fosil yakıtları kullanmakta ve çevre kirliliğinin başlıca kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Otomotiv endüstrisi yakıt ekonomisindeki ve emisyon düzenlemelerindeki artışları karşılayabilmek için, motor ve taşıt tasarımında zorlayıcı değişiklikler yapma ihtiyacı duymaktadır. Günümüzde bilinen taşıtların aksine hibrid elektrikli taşıtlar daha küçük bir motor ve yerleşik bir enerji depolama sistemi ile birlikte dizayn edilmektedir. Daha küçük motor kullanımı ise taşıtın daha iyi yakıt ekonomisi ve daha az emisyon sağlamasına imkan vermektedir. Bu çalışmada hibrid taşıtların sınıflandırılması ve kısımları, hibrid taşıtlarda kullanılan teknolojiler ve otomobil firmalarının günümüzde hibrid taşıtlarla ilgili uygulamaları incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Hibrid elektrikli taşıtlar, alternatif enerji kaynakları, otomotivde yeni teknolojiler

Hybrid Vehicle Technologies and Their Applications

ABSTRACT

Automobiles are the integral part of daily life. However, they consume nonrenewable resources of our planet and are one of the major sources for pollution of environment. To meet increasing fuel economy and emissions legislation, the automotive industry will need to undergo drastic changes in vehicle and engine designs. Unlike conventional vehicles on the road today, hybrid electric vehicles are designed with a smaller engine and an on-board energy storage system. The smaller engine allows the vehicle to achieve better fuel economy and fewer emissions. In this study, classification of hybrid electric vehicles, main parts of hybrid electric vehicles, hybrid electric vehicle technologies, and nowadays hybrid electric vehicle applications of automobile companies are investigated.

Keywords : Hybrid electric vehicles, alternative energy resources, new technologies in automotive

* İletişim yazarı
Geliş/Received : 31.07.2009
Kabul/Accepted : 05.10.2009

GİRİŞ

Motorlu taşıtlar fosil yakıtları kullanmakta ve çevre kirliliğinin başlıca kaynaklarından birini oluşturmaktadır (1). Günümüzdeki araçların %95'i petrol kökenlidir. Tahminen 50-55 sene sonra petrol rezervleri bitmeye başlayacaktır. Her geçen gün artan taşıt sayısına bağlı olarak atmosfere atılan zehirli egzoz emisyonlarında da artış gözlenmektedir. Atmosfere atılan kirleticilerin tümü içinde; karbonmonoksitin % 65'i, azot oksitlerin % 55'i, hidrokarbonların ise % 45'i benzin ve dizel yakıtı kullanan taşıtların egzoz emisyonlarından kaynaklanmaktadır (2). Yakın geleceğin ulaşım aracı olan elektrik tahrikli taşıtlar, bu problemler için yegane alternatiftir. Bu alanda 1970'li yıllarda hız kazanmaya başlayan çalışmalar günümüzde yoğun bir şekilde devam etmektedir (3). Batarya ile çalışan ilk araç (buna üç tekerlekli bisiklet de denilebilir) 1834 yılında Thomas Davenport tarafından yapılmıştır. 100 km/h sınırını geçen ilk elektrikli araç ise 1899 yılında Camille Jenatzy tarafından kullanılmıştır. İçten yanmalı motorlardaki artan gelişmeyle birlikte elektrikli araçlar 1930'larda hemen hemen ortadan kaybolmuştur. 1970'lerde patlak veren enerji krizi ve petrol sıkıntısı ile elektrikli araçlara olan ilgi yeniden artmıştır. 1990'lı yıllarda tüm dünyada enerjinin tasarrufuna ve çevre korumasına artan ilgi ise elektrikli araçlara olan rağbeti daha da artırmıştır. Elektrikli araçlar yüksek enerji verimi ve sıfır egzoz emisyonu sağlamakta ve sessiz çalışmaktadır. Bununla birlikte elektrikli araçların ticari olarak kullanımında iki büyük engel vardır. Bunlar kısa sürüş mesafesi ve yüksek üretim maliyetleridir. Bu engeller yakın gelecekte mevcut elektrikli araç enerji kaynağı teknolojisiyle kolayca çözülemeyecek gibi gözükmemektedir (4). Bu sebepler araştırmacıları yeni arayışlara itmiş ve bu arayışlar sonucunda hibrid araçlar üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. 1990'lardan sonra hibrid araçlarla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır (5-9). Sonuç olarak mevcut imkanlar kullanılarak çoğunlukla bir içten yanmalı motorun bir elektrik motoru ile kombinasyonu sonucu hibrid elektrikli araçlar ortaya çıkmıştır (10).

Hibrid elektrikli araç teknolojisi yakıt tüketimini önemli ölçüde düşürürken emisyonları da azaltmaktadır. Hibrid tasarım elektrikli aracın enerji depolama avantajıyla, kullanım sırasında yakıt tüketen klasik bir aracın yüksek menziline birleştirmektedir. Rejeneratif frenleme klasik sürütmeli frenlemenin aksine aracın kinetik enerjisinin önemli bir kısmını geri kazanarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Genellikle ultra kapasitör veya gelişmiş bataryalardan oluşan enerji depolama ünitesi sayesinde yakıt kullanımı da azalmaktadır. Motor dizayn şartlarına daha yakın çalışabildiği için daha verimlidir. Ayrıca hibrid elektrikli araç maksimum

yükten ziyade orta yükte çalışmasını sağlayacak şekilde motorun boyutlandırılmasına izin vererek motorun ağırlığını ve maliyetini düşürmektedir (11).

Bu çalışmada hibrid taşıtların sınıflandırılması, hibrid taşıtların avantaj ve dezavantajları, hibrid taşıtların kısımları, hibrid taşıtlarda kullanılan teknolojiler ve otomobil firmalarının günümüzde hibrid taşıtlarla ilgili uygulamaları incelenecektir.

HİBRİD TAŞIT DÜZENLEMELERİ

Hibrid elektrikli araç (HEA) daha çok hem içten yanmalı motorun (İYM) hem de elektrikli motorun kullanıldığı araç olarak kabul edilmektedir (12). Geleneksel olarak hibrid araçlar seri ve paralel olmak üzere iki ana gruba ayrılmakla birlikte, son zamanlardaki uygulamalar da dikkate alındığında hibrid araçlar dörde ayrılmaktadır. Bunlar; seri hibrid, paralel hibrid, seri-paralel hibrid ve kompleks (karışık) hibrittir (4).

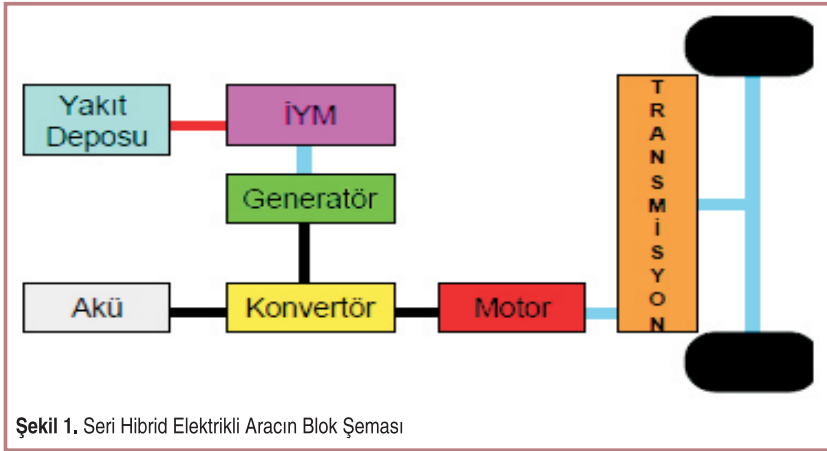
Hibrid araçlar arasındaki bir diğer fark ise, taşıtın hareketi için gerekli gücün ne kadarının elektrik motoru tarafından karşılandığı ile ilgilidir. Bu açıdan incelendiğinde hibrid araçlar tam (full) hibrid, orta (mild) hibrid ve hafif (weak) hibrid olmak üzere gruplandırılabilir. Tam hibrid araçlarda elektrik motoru bazı zaman periyotlarında taşıt için gerekli gücü karşılaya yeteneğine sahip olup, bu elektrik gücünün toplam araç gücüne oranı % 30 veya daha fazladır. Orta hibritte elektrik gücü tek başına taşıt için gerekli gücü karşılayamaz ve elektrik gücünün toplam araç gücüne oranı % 10 ve %30 arasındadır. Yardımcı (assist) hibrid olarak da adlandırılan orta hibrid ilk olarak İYM'la çalışır, elektrik motoruyla sadece ek güç sağlar. İYM araç boşta iken durmakta ve frenleme enerjisi geri kazanılmaktadır. Çoğunlukla pick-up türü araçlarda kullanılan hafif hibritte de araç boşta iken motorun durması ve frenleme enerjisi geri kazanım özellikleri vardır. Bununla birlikte tahrik için elektrik gücü kullanmak için tasarlanmadıklarından elektrik gücünün toplam güce oranı diğerlerinden çok daha düşüktür.

Son zamanlarda üzerinde çalışılan bir hibrid araç türü ise fişli (plug-in) hibrid araçlardır. Fişli hibrid araçlar diğer hibrid araçlar gibi hem sıvı yakıtlı (benzin veya dizel) motordan hem de bataryadan güç almaktadır. Fişli hibrid araçlar benzinli motor ve frenleme enerjisiyle şarja ek olarak, televizyon ve bilgisayar için kullandığımız elektrik şebekesinden de doğrudan fişe takılarak şarj edilebilmektedir (13).

Seri Hibrid Elektrikli Araç

Seri hibridin yapısı, elektrikli araç (EA) yapısına en yakın durumdur (Şekil 1). Akü + DC/DC çevirici + evirici/doğrultucu ve elektrik makinası olarak tümüyle EA yapısı ile örtüşmektedir. Tek farklılık elektrik enerjisinin İYM tarafından döndürülen bir jeneratör tarafından araç üzerinde üretiliyor

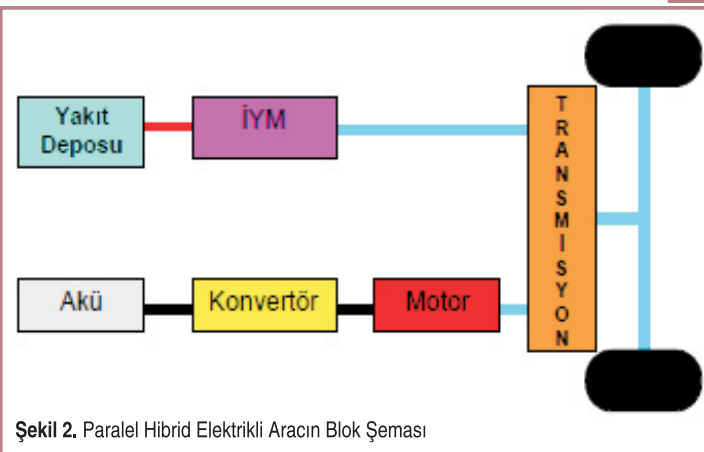
olmasıdır. Araç hızlanırken veya düz yolda giderken elektrik makinası motor olarak tekerlekleri çevirmekte, akü dolu ise enerjisini aküden almakta, eğer akü boş ise içten yanmalı motor çalışarak jeneratör üzerinden aküyü doldurmaktadır. Böylece, akünün dışarıdan doldurulma ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Aracın frenlenmesi tıpkı EA türünde olduğu gibi enerji geri kazanımlı frenleme yoluyla yapılmakta, böylece önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu yapının bir diğer avantajı içten yanmalı motorun sürekli olarak en verimli olduğu hızda çalıştırılmasıdır. Seri hibrid elektrikli araç uygulamasına Türkiye'den bir örnek de, TOFAŞ için TÜBİTAK MAM tarafından yapılan Doblo ELİT-1 projesidir.



Şekil 1. Seri Hibrid Elektrikli Aracın Blok Şeması

Paralel Hibrid Elektrikli Araç

Bu tür araçlarda elektrik motoru ve içten yanmalı motor bir debriyaj üzerinden diferansiyeli ortak olarak beslerler. İstendiğinde yalnızca elektrik motoru, istendiğinde yalnızca benzin veya dizel motor çalıştırılıp mekanik enerji tekerlekleri çevirebilir. Şehir içinde sık sık dur-kalk yapılan yerlerde yalnızca elektrik motoru kullanılarak gürültü ve egzoz yayılımı yok edilir. Hızlı sürüş yapılan kırsal alanlarda veya yokuş yukarı giderken ya da ani ivmelenme gereken durumlarda her iki motor birlikte aracı tahrik eder. Böylece

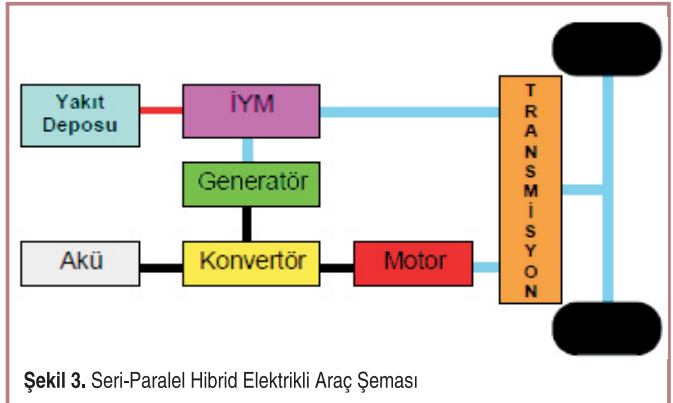


Şekil 2. Paralel Hibrid Elektrikli Aracın Blok Şeması

birbirini yedekleyen ve destekleyen iki güç kaynağı elde edilmiş olur (Şekil 2). Paralel hibrid elektrikli araç, enerji geri kazanımlı frenleme özelliğine sahiptir. Buna rağmen olumsuz sürüş koşullarının devam etmesi halinde akünün dışarıdan şarj edilmesi gerekmektedir. Bu olumsuz özelliği gideren topoloji seri-paralel tahrik sistemidir.

Seri-Paralel Hibrid Elektrikli Araç

Bu tür araçlarda içten yanmalı benzin veya dizel motoru mekanik bir mil üzerinden hem diferansiyeli, hem de elektrik jeneratörünü tahrik etmektedir. Jeneratör tarafından üretilen elektrik enerjisi, aynen seri hibrid sistemde olduğu gibi bir aküde depo edilmekte ve daha sonra bir çevirici (konvertör) üzerinden bir elektrik makinasını beslemektedir. Bu makina, aynen paralel hibrid sistemde olduğu gibi, içten yanmalı motorla aynı mekanik mili paylaşmaktadır. Bu sistem hem seri hem de paralel tahrik sistemlerinin olumlu özelliklerini taşımaktadır. İçten yanmalı motor normal şartlarda en verimli noktada çalışarak, jeneratör üzerinden aküyü ve elektrik motorunu beslemekte, ilave bir moment gerektiği zaman ise mil üzerinden elektrik motoruna destek olmaktadır. Bu

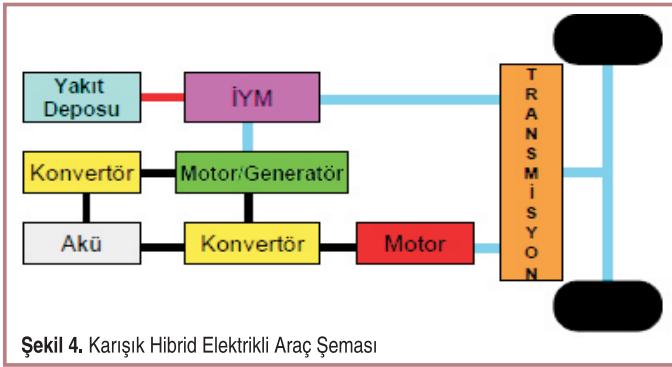


Şekil 3. Seri-Paralel Hibrid Elektrikli Araç Şeması

anlamda, akünün elektrikselsel olarak üstlendiği fazlalık gücü karşılama görevine mekanik olarak ortak olmaktadır. Enerji geri kazanımlı frenleme yapıldığında elektrik makinesi motor konumundan jeneratör konumuna geçirilmekte ve sisteme depo edilen mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülüp aküde depo edilmektedir (Şekil 3). Araçta ani olarak hızlanmayı sağlayacak veya başka nedenlerle, ek bir enerji ihtiyacı olabilir. Özellikle askeri araçlarda bu gereklilik ortaya çıkar. Bu takdirde sisteme bir süper kapasitör eklenmesi önerilmektedir. Birkaç deney aracında böyle bir süper kondansatör kullanılmıştır.

Kompleks (Karışık) Hibrid Elektrikli Araç

Bu sisteme karışık hibrid denmesinin nedeni seri paralel sistemde kullanılan jeneratörün yerine gerektiğinde motor gerektiğinde jeneratör olarak çalışan bir elektrik makinesiyle değiştirilmiş olmasıdır. Şekil 4'te gösterilen bu sistem, seri-paralel hibrid sistemin tüm avantajlarını bünyesinde bulundurmaktadır. Yani büyük güç gerektiğinde elektrik motoru ve İYM birlikte tekerlekleri döndürmekte, sessiz ve temiz çalışma gerektiğinde yalnızca elektrik motoru ile sürüş sağlanmakta, akü devamlı olarak içten yanmalı motor desteği ile üretilen elektrik enerjisi ile doldurulabilmektedir. Bunlara ek olarak, iki sistem arasında bulunan elektrik makinesi motor olarak çalıştırılıp İYM için marş görevi de görebilmektedir. Bugün piyasada satılmakta olan hibrid elektrikli araçların başlıcaları olan Toyota Prius ve Honda Civic bu tür karışık hibrid elektrikli araçlardır (14).



Şekil 4. Karışık Hibrid Elektrikli Araç Şeması

Hibrid Taşıtların Avantaj ve Dezavantajları

HEA'ların konvansiyonel araçlara göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar:

- Rejeneratif frenleme yeteneği enerji kaybını en aza indirir ve taşıt durduğunda ya da yavaşladığında kullanılan enerjisi geri kazandırarak bataryaları besler.
- İYM'lar pik yükü değil ortalama yükü karşılayacak şekilde boyutlandırıldığından motorun ağırlığı azalmaktadır.
- Yakıt verimi büyük ölçüde artmaktadır.
- Emisyonlar önemli oranda azalmaktadır.
- HEA'lar alternatif yakıtlarla da çalıştığı için fosil yakıtlara çok fazla bağımlı değildir.

HEA'ların yukarıdaki avantajlara ek olarak bazı ek avantajları daha vardır. Araç durduğunda İYM çalışmaz ve titreşim veya motor gürültüsü oluşmaz. HEA'ların boşta çalışma kayıpları yok denecek kadar düşüktür.

Hibrid Elektrikli Araçların dezavantajları ise seri ve paralel sistemler olarak ayrı ayrı ele alınırsa şu şekilde sıralanabilir:

Seri sistemin dezavantajları :

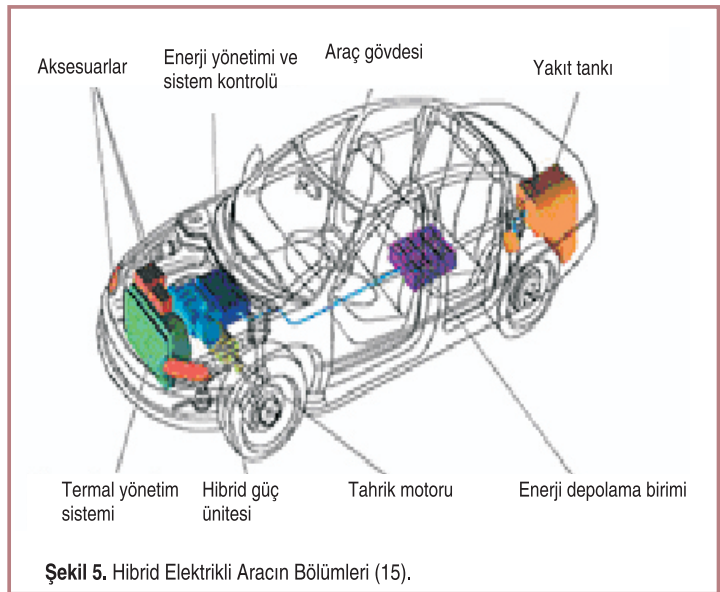
- Bu sistemde İYM, jeneratör ve elektrik motoru olmak üzere üç tahrik ekipmanına ihtiyaç duyulur.
- Elektrik motoru gerekli olan azami gücü karşılayacak şekilde, özellikle yüksek eğimler için tasarlanır. Fakat araç çoğunlukla azami gücün altında çalışmaktadır.
- Tahrik ekipmanları, batarya kapasitesinin birinci seviyede dikkate alınarak menzil ve performans için azami gücü karşılayacak şekilde boyutlandırılır.
- Güç sistemi ağır ve maliyeti daha yüksektir.

Paralel hibrid sistemin dezavantajları :

- Gerekli olan güç iki farklı kaynaktan sağlandığı için burada enerji yönetimi önem arz eder.
- İYM ve motordan gelen gücün tahrik tekerlerine düzgün olarak iletilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulur.
- Sessiz çalışma modu sağlamamaktadır.

HİBRİD TAŞITLARIN BİLEŞENLERİ

Bir hibrid elektrikli araç enerji dönüşüm sistemi, enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıtı itici sistemden oluşmaktadır. Enerji depolama için başlıca seçenekler bataryalar, süper kapasitörler ve volanlardır. Bataryalar kullanılan en yaygın enerji depolama sistemi olmasına rağmen, diğer enerji depolama alanlarında da araştırmalar devam etmektedir. Hibrid güç ünitesi olarak da otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri ve yakıt pilleri kullanılmaktadır. İtici kuvvet ise seri hibrid sisteminde olduğu gibi elektrik motorundan, ya da paralel hibritte olduğu gibi elektrik motoruna ek olarak İYM'dan sağlanabilmektedir. Çünkü paralel hibrid sistemde İYM, itici gücü mekaniksel olarak tekerlere



Şekil 5. Hibrid Elektrikli Aracın Bölümleri (15).

vermektedir. Hibrid elektrikli aracın alt elemanları; İYM, transmisyon, elektrik motoru, güç elektroniği, yakıt tankı ve bataryalar şeklinde belirtilebilir (12). Hibrid elektrikli aracın bölümleri Şekil 5'te verilmiştir.

Güç Üretim Sistemi

Hibrid elektrikli bir araçta elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülecektir. Bu açıdan incelendiğinde, elektrikli tahrik motoru ve söz konusu motoru besleyecek elektrik şebekesi güç üretim modülüne doğrudan bağlı sistemlerdir. Elektrikli araç teknolojisinde güç üretim modülü ana hareketlendirici ve jeneratör ile birleşik bir modül olarak düşünülmelidir. Güç üretim modülü aracın elektrik şebekesine AC ya da DC elektrik enerjisi sağlamaktadır. Bu yaklaşımla güç üretim sisteminde kullanılan alt sistemler, sabit olan bara gerilimini sağlayacak şekilde farklılıklar gösterebilir. Güç üretim modülü, kullanılan enerji kaynakları açısından da serbestliğe sahiptir. Bir başka deyişle elektrik enerjisi direkt ya da dolaylı enerji kaynaklarından üretilebilir. Doğrudan enerji kaynakları arasında bataryalar ve hidrojen enerjisi ile çalışan yakıt pilleri yer almaktadır.

Güç üretim modülünde doğrudan enerji kaynakları yanında ana hareketlendirici (İYM, Gaz türbinleri, vb.) tarafından sürülen jeneratörler kullanılmaktadır. Ana hareketlendirici ve jeneratörün birlikte kullanımı ile belli akım-gerilim karakteristiğine sahip elektrik enerjisi üretilmektedir. Ana hareketlendiriciler ve jeneratörler çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. EA'larda alternatif akım (AC) jeneratörler, ısı makineleri ile birlikte kullanılmaktadır (12). Hibrid elektrikli araçlarda ısı makinası olarak benzin veya farklı yakıtlarla [doğal gazlı (11), dizel (16), LPG'li (17) ve hidrojen yakıtlı (18)] çalışan motorlar ve gaz türbinleri kullanılabilir. Burada gelişmekte olan bir teknoloji olarak mikro türbinlere yer verilecektir.

Mikro Türbinler

Mikro türbinler tahrik ünitesi olarak bir gaz türbini ve yüksek hızlarda çalışan sürekli mıknatıslı jeneratörlerin birlikte çalıştığı bir güç üretim ünitesidir. 20-100 kW gibi küçük güç kapasitelerinde çalışan mikro türbinlerin devir hızları 100.000 d/d seviyelerine kadar çıkmaktadır. Türbin kuyruk miline bağlanan jeneratörlerden alternatif akım elde edilmektedir. Alternatif akım doğrultucular aracılığı ile doğru akıma dönüştürülmekte ve ana dağıtım barası beslenmektedir. Mikro türbinler henüz arzu edilen verim seviyesine ulaşmamakla birlikte ağırlık açısından son derece hafif olduğundan EA'lar için gelecek vaat etmektedir. Örnek olarak 200 kW bir panelvan araç için öngörülen ağırlık 200-250 kg seviyesindedir. Mevcut uygulama alanları arasında elektrikli otobüs ve kamyonlar vardır (12). Capstone firması 30 kW ve 60 kW'lık mikro türbin üretmiş durumdadır. Bu

üniteler ağır hizmet araçlarına kolaylıkla entegre edilebilmektedir (19).

Enerji Depolama Sistemleri

Bataryalar

Bataryalar kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Bir hücre, temel olarak pozitif ve negatif elektrotlardan, elektrolitten ve elektrotları birbirlerinden ayıran bir ayırıcıdan oluşmaktadır (20). Bataryalar çevrim ömrü, enerji ve güç yoğunluğu ve enerji verimiyle karakterize edilir. Çevrim ömrü faydalı şarj yeteneğini (genellikle başlangıç kapasitesinin %80 altına düştüğü zaman) kaybetmeden mümkün olan şarj ve deşarj çevrimi sayısını ifade eder. Çevrim ömrü genellikle deşarjın yoğunluğuna bağlıdır. Batarya şarj ve deşarj olduğunda enerjinin tamamı bataryada olabilecek kayıplardan dolayı bataryaya verilemez. Bu da batarya verimi olarak ifade edilir. Özgül güç ve özgül enerji sırasıyla batarya ağırlığının bir fonksiyonu olarak enerji içeriğini (aracın sınıfını belirleyen) ve maksimum gücü (aracın hızlanma performansını belirleyen) tanımlar. Bir batarya yüksek enerji içeriğine sahip olarak veya yüksek güç yeteneğine sahip olarak optimize edilebilir. Hibrid araçlar için başlıca yüksek güç yeteneğine sahip olarak optimize gereklidir. Hibrid araç kullanımında bir enerji-güç yeteneği karışımının düşünülmesine de yol açabilir.

İyi bir elektrikli araç tasarımı için özgül enerji en az 50 Wh/kg ve özgül güç 100 W/kg devamlı, 200 veya 300 W/kg'a kadar aralıklı puls gücü olmalıdır. Özellikle hibrid araçlar için, ideal olarak 150 Wh/kg ve/veya 500 W/kg'dan 1000 W/kg'a kadar (süper kapasitör olması durumunda) olması daha iyi olacaktır (21). Akünün birim maliyeti depolanan enerjinin maliyeti demektir. Bunlara ek olarak, Wh/hacim, sıcaklık ve titreşim gibi ortam koşullarına dayanıklılık, güvenilirlik ve patlama ve yanma risk ve mukavemeti gibi büyüklükler de akü teknolojilerinin karşılaştırılmasında göz önüne alınan parametreler arasındadır (15). Tablo 1'de elektrikli araçlar için kullanılacak bataryaların başlıca karakteristikleri verilmiştir.

Volanlar

Volan (flywheel) aslında bir eksen etrafında dönen bir kütle olup bir mekanik enerji depolama ünitesidir. Volanlar, kinetik enerji şeklindeki enerjiyi mekanik olarak depo etmektedir (19). Volanlar özellikle HEA'larda İYM ile birlikte yardımcı güç ünitesi olarak kullanılır. Alternatif olarak volanlar, EA'larda bataryaların yerine veya bataryalarla birlikte de kullanılabilir. Mevcut volanların, karmaşık, büyük ve ağır olmalarından dolayı özgül enerji yoğunlukları düşüktür. Ancak çevrim ömrü, güç yoğunluğu, enerji depolama verimi doldukça yüksektir. Volanlarda kullanılan malzeme hafif yoğunluklu ve yüksek mukavemetli olmalıdır. Bu nedenle modern volanlar enerji yoğunluğunun artması için karbon fiber gibi kompozit malzemelerden üretilmektedir. Volanların enerji kaynağı olarak

bataryalara göre çeşitli avantajları bulunmaktadır. Volan sistemlerinin en önemli avantajları yüksek çevrim ömrü, yüksek güç yoğunluğu, iyi depolama verimi ve tekrar şarj zamanının kısa olmasıdır. Teorik olarak volanların özgül gücü 5-10 kW/kg kadardır. Bir volanın enerji depolama verimi %90'ın üzerindedir. Volanlar saniyeler mertebesinde tam şarja ulaşırlar. Özellikle Almanya'da Magnet Motor ve Hollanda'da CCM HEA'larda kullanılmak üzere volan enerji depolama sistemini geliştirmiştir. Otobüs ve kamyon gibi araçlarda yüksek rejeneratif güçlerin depolanmasında ve bataryaların zayıf güç yoğunluğunu geliştirmek amacı ile kullanımı öngörülmektedir (12).

15 Wh/kg civarında kapasiteye sahip kapasitörlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Süper kapasitörlerin primer enerji kaynağı olarak HEA'larda kullanılması için enerji yoğunluklarının artırılması gereklidir. Süper kapasitörler halihazırda ivmelenme ve yokuş çıkma gibi ani güç gereksinimlerinde bataryalara yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Güç Kontrol Sistemleri

Elektrikli araç teknolojileri içerisinde güç elektroniği devreleri önemli bir yer tutmaktadır. MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor), IGBT (Insulated gate

Tablo 1. Elektrikli Araçlar İçin Kullanılabilecek Bataryaların Başlıca Karakteristikleri (22)

	Özgül Enerji (kW/kg)	Azami güç (W/kg)	Enerji verimi (%)	Çevrim ömrü	Maliyet (\$/kWh)
Asidik sulu çözelti Kurşun-asit	35-50	150-400	>80	500-1000	120-150
Alkalin sulu çözelti					
Nikel/kadmiyum	40-60	80-50	75	800	250-350
Nikel/demir	50-60	80-50	65	1500-2000	200-400
Nikel/çinko	55-75	170-260	70	300	100-300
Nikel-metal hibrid	70-90	200-300	70	750-1200+	200-350
Alüminyum/hava	200-300	90	<50	?	?
Demir/hava	80-120	90	60	500+	50
Çinko/hava	100-200	30-80	60	600+	90-120
Akıs					
Çinko/bromin	70-85	90-100	65-75	500-2000	200-250
Vanadyum redoks	20-30	110	75-85	-	400-450
Erimiş tuz					
Sodyum/sülfür	150-240	230	85	800+	250-450
Sodyum/nikel/ klorür	90-120	130-160	80	1200+	230-345
Li-iyon-sülfür (FeS)	100-130	150-250	80	1000+	110
Organik/lityum					
Li-iyon	80-130	200-300	>95	1000+	200
Li-iyon yüksek güç*	85-95	~4000	-	-	-
Li-iyon yüksek enerji*	135-150	~600	-	-	-

* SAFT tarafından rapor edilmiştir (23).

Süper Kapasitörler

Kapasitörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Süper kapasitörler konvansiyonel kapasitörlerin geliştirilmiş halidir. Süper kapasitörlerin güç ve enerji yoğunlukları sırayla yaklaşık olarak 10^6 W/m³ ve 10^4 Wh/m³ mertebesinde. Enerji yoğunlukları bataryalara göre daha azdır. Ancak deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü daha fazladır. Araştırmalar 4000 W/kg ve

bipolar transistor), IGCT (Insulated gate controlled thyristor) ve MCT (mos controlled thyristor) gibi yarı iletken anahtarların geliştirilmesi ile elektrik sistemlerinin kontrolünde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Tahrik sisteminin kontrolü, üretilen AC gerilimin DC'ye çevrilmesi, yakıt pili çıkış geriliminin düzenlenmesi, akü şarjının uygun yöntemlerle sağlanması vb. klasik güç elektroniği devrelerinin çeşitli kontrol yöntemleri kullanılarak kontrol edilmesiyle başarılmaktadır. Elektrikli

araçlarda kullanılan güç kontrol sistemleri, klasik güç elektroniği devreleri olan doğrultucular (AC/DC), çeviriciler (DC/DC) ve eviricilerden (DC/AC) oluşmaktadır.

Tahrik Sistemleri

Elektrikli araç tahrik sistemlerinde başlıca dört elektrik motoru kullanılmaktadır. Bunlar; DC motor, asenkron motor, sürekli mıknatıslı motor, anahtarlamalı relüktans motorudur. Geçmişte kontrolünün kolay olması nedeniyle tercih edilen DC motor türleri, günümüzde güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler sonucunda yerlerini AC motorlara bırakmaktadır. Fırça-kolektör bakım ihtiyacı DC motor kullanımının azalmasındaki en önemli faktördür. Güç elektroniği ve kontrol teknolojilerinde gelinen noktada, asenkron motor hız kontrolü problem olmaktan çıkmış ve endüstride oldukça yaygın olarak kullanılan bu motor EA'larda kullanım imkanına kavuşmuştur. Özellikle kısa devre kafesli asenkron motorlar, üretimin kolaylığı, maliyet avantajı ve sağlam yapısı nedenleri ile tercih edilmektedir.

Günümüzde hali hazırda üzerinde çalışılan EA'ların çoğunda vektör kontrollü asenkron motor kullanılmaktadır. Ancak, sürekli mıknatıslı elektrik motorları da gelecek vaat etmektedir (13). Elektrikli araçlarda motor seçiminde verim, hacim ve güç yoğunluğu, motor ve ilgili elektronik elemanların maliyeti ve bakım göz önünde bulundurulur (19). Motor tiplerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2'de verilmiştir.

araçlarla karşılaştırıldığında bazı durumlarda şu üç mekanizmayı kullanarak yakıt tüketimini azaltmaktadır. Araç boşta iken veya düşük güç ihtiyacı olduğunda İYM durdurularak enerji kaybı azaltılır. Rejeneratif frenleme ile enerji kazanılır. İYM'un gücü ve büyüklüğü düşürülür ve böylece küçük bir İYM'daki daha düşük güç çıkışından kaynaklanan kayıp elektrik motorundan ilave güç kullanılarak karşılanır.

HEA'daki İYM'lar konvensiyonel araçtaki İYM'lardan daha küçük, daha hafif ve daha verimlidir. Çünkü İYM maksimum güç isteğinden ziyade ortalama güç isteğinin biraz üzerinde boyutlandırılabilir. Bir araçtaki tahrik sistemi kullanım sırasında belli bir güç ve hız aralığında olması gerekir. Fakat bir İYM'un en yüksek verimi konvensiyonel araçları kullanışsız yapan dar bir kullanım aralığındadır. Çoğu HEA tasarımında bunun tersine İYM daha sıklıkla en yüksek verim aralığına yakın bölgede kullanılmaktadır. Elektrik motorunun güç eğrisi hız değişimlerine daha iyi uymaktadır ve İYM'larla karşılaştırıldıklarında düşük hızlarda büyük ölçüde daha büyük tork sağlayabilmektedir. HEA'ların daha iyi yakıt ekonomisine sahip olması dünya genelinde azaltılmış petrol tüketimi ve taşıt kaynaklı kirletici emisyonlar anlamına gelmektedir.

Hibrid elektrikli araçlarda düşük hızlarda ve boşta çalışmada büyük ölçüde elektrik motorunun kullanımı konvensiyonel benzinli veya dizel motorlu araçlarla karşılaştırıldığında yol

Tablo 2. Motor Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları (24)

Motor tipi	Avantajları	Dezavantajları
DC Motor	Sadece 1 veya 2 DC/DC konvertörle kontrol	Bakım Düşük güç yoğunluğu (300 W/kg)
İndüksiyon motoru (Asenkron)	Yüksek kullanılabilirlik Yüksek güç yoğunluğu (750 W/kg) Kolay bakım Verim ~%90	Elektronik maliyeti Yüksek rotor sıcaklığı
Sargılı rotor senkron motor	~ 500 W/kg ve maliyet Elektronik olarak basitlik İyi verim haritası	Bakım Rotor sıcaklığı Fazla Bilinmeye teknoloji
Sürekli mıknatıslı senkron motor (PM motor)	Güç yoğunluğu (1Wh/kg) Tork yoğunluğu (5 Nm/kg) Yüksek verim >%90 Kolay dinamik frenleme	Maliyet (rotor+konvertör)
Relüktans motor	Tork yoğunluğu	Yüksek frekans-düşük verim Elektronik maliyeti

HİBRİD ARAÇLAR VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Hibrid araçlar şehir çevrimi sırasında yakıt tüketimini azaltmanın en iyi yollarından biridir. HEA'lar konvensiyonel

gürültüsünün azalmasına yol açmaktadır. Daha düşük yakıt tüketiminden dolayı azaltılmış kirletici emisyonlar solunum problemleri ve diğer hastalıklar bakımından insan sağlığının iyileşmesine yol açmaktadır. Boşta çalışma olmamasından

dolayı şehir bölgelerindeki kirliliğin azalması özellikle önemlidir. Gümünüzde HEA'da kullanılan nikel metal hibrid bataryalar çevre yönünden problem oluşturmamaktadır (25).

GÜNÜMÜZDEKİ HİBRİD ARAÇ UYGULAMALARI

Hibrid otomotiv teknolojisi 1990'larda Honda Insight ve Toyota Prius'un piyasaya sürülmesiyle başarılı olmaya başlamıştır. Bu firmalar hibrid araç modellerini günümüze kadar daha da geliştirmişlerdir. Bunun yanında başka otomobil firmaları da hibrid araç çalışmalarına katılmıştır. Bunların bazıları prototip bazıları da seri üretim aşamasındadır. Hibrid elektrikli araçlar otomobil olarak ürettiği gibi spor araç, minivan, kamyonet ve otobüs olarak da üretilmişlerdir. 2009 model hibrid araçlar; otomobil olarak Honda Civic Hybrid Sedan, Chevrolet Malibu Hybrid, Toyota Prius Hybrid, Toyota Camry Hybrid, Nissan Altima Hybrid, Lexus GS 450h, Lexus LS 600h, Saturn Aura Hybrid, kamyonet, SUV ve minivan olarak Ford Escape Hybrid, Mercury Mariner Hybrid, Saturn VUE Green Line, Toyota Highlander Hybrid, Chevrolet Silverado 1500 Hybrid, Cadillac Escalade Hybrid, GMC Yukon 1500 Hybrid, Mazda Tribute Hybrid, Dodge Durango Hybrid, Chevrolet Silverado 1500 Hybrid, Chevrolet Tahoe 1500 Hybrid olarak sıralanabilir (26). Hibrid otobüs olarak ise Hybrid Optare Solo ve Hybrid New Flyer örnek olarak verilebilir (27). Tablo 3'te bazı hibrid elektrikli araçların özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Bazı Hibrid Elektrikli Araçların Özellikleri (28,29).

	Honda Accord Hybrid	Honda Civic Hybrid	Chevrolet Malibu Hybrid	Toyota Prius	Nissan Altima Hybrid	Lexus RX 400h	Ford Escape Hybrid
Motor	3.0 l V6 motor ve sürekli mıknatıslı elektrik motoru	1.3 l 4 silindirli motor ve sürekli mıknatıslı elektrik motoru	2.4 l 4 silindirli motor ve elektrik motoru	1.5 l 4 silindirli VVT-i benzin motoru ve AC elektrik motoru	2.5 l 4 silindirli motor ve AC elektrik motoru	3.5 l V6 benzin motoru ve AC elektrik motoru	2.3 l 4 silindirli benzin motoru ve elektrik motoru
Transmisyon	otomatik	CVT	otomatik	CVT	CVT	CVT	CVT
Satış fiyatı (\$)	31,090	22,600	23,895	22,175	24,400	41,180	25,655
Net Güç (HP)	253	110	164	110	198	268	155
Yakıt Tük. (şehir-MPG)	28	49	24	60	42	32	36
Yakıt Tük. (otoyol-MPG)	35	51	32	51	36	27	31
Yakıt depo Kapasitesi (galon)	17.1	12.3	16.3	11.9	20.0	17.2	15.0
Batarya	Nikel metal hidrid 144Volt	Nikel metal hidrid 144 Volt	Nikel metal hidrid 36 Volt	Nikel metal hidrid 201.6 Volt	Nikel metal hidrid 244.8 Volt	Nikel metal hidrid 288 Volt	Nikel metal hidrid 330 Volt

SONUÇ

Gelecek yirmi yıl içerisinde dünyadaki petrol rezervlerinin büyük oranda azalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle ulaşımda kullanılan araçlar için yeni enerji kaynakları bulunması gerektiği açıktır. Elektrik enerjisinin taşıt tahrik sistemlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar bu nedenle artarak sürmektedir. Ancak elektrikli taşıtların uzun bir seyahat imkanı sağlamaması, bataryaların ağır ve verimlerinin düşük olması gibi nedenlerle yeni arayışlar içerisine girilmiştir. Bu arayışlar sonucunda hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru kullanan hibrid taşıtlar üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Böylece CO, CO₂, HC ve NO_x gibi çevreye zararlı emisyon miktarlarında azalma sağlanabilmiştir. Ayrıca hibrid elektrikli taşıtlarda daha küçük motor kullanımı daha iyi yakıt ekonomisi de sağlamaktadır. Hibrid elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar, tahrik sisteminde kullanılan elektrik motorları, güç elektroniği, kontrol devreleri ve yöntemleri ile diğer bileşenlerle ilgili çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde dünyada seri olarak üretimi yapılan değişik markalarda hibrid elektrikli taşıtlar vardır. Ülkemizde de hibrid elektrikli araç satışa sunulmuştur. Önümüzdeki yıllarda hibrid elektrikli araç markalarının ve satışlarının artması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Özen, E. 2005. "Design of Smart Controllers for Hybrid Electric Vehicles", MSc. Thesis, Middle East Technical University, August.

2. http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/hibrit_otomobiller/hev2.htm
3. **Çınar, M.A., Gündoğan, Ç. ve Erfan Kuyumcu, F.** 2004. "Elektrik Tahrikli Taşıtlar İçin Çekiş Kontrol Sistemi Simülasyonu", ELECO'2004 Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 8-12 Aralık.
4. **Chau, K.T. ve Wong, Y.S.** 2002. "Overview of Power Management in Hybrid Electric Vehicles", Energy Conversion and Management, cilt 43, 1953-1968.
5. **Fontaras, G., Pistikopoulos, P. ve Samaras, Z.** 2008. "Experimental Evaluation of Hybrid Vehicle Fuel Economy and Pollutant Emissions over Real-World Simulation Driving Cycles", Atmospheric Environment, Cilt 42, 4023-4035.
6. **Hicks, J.A., Gruich, R., Oldja, A., Myers, D., Hartley, T.T., Veillette, R. ve Husain, I.** 2007. "Ultracapacitor Energy Management and Controller Developments for A Series-Parallel 2-By-2 Hybrid Electric Vehicle", IEEE Vehicular Propulsion and Power Conference, Arlington, TX, Sept.
7. **Fredriksson, J.** 2006. "Improved Driveability of a Hybrid Electric Vehicle Using Powertrain Control", Int. J. Alternative Propulsion, Cilt 1, No 1, 97-111.
8. **Capata, R., ve Sciubba, E.** 2006. "The Concept of The Gas Turbine-Based Hybrid Vehicle: System, Design and Configuration Issues", Int. J. Energy Res., Cilt 30, 671-684.
9. **Lipman, T.E. ve Delucchi, M.A.** 2006. "A Retail And Lifecycle Cost Analysis of Hybrid Electric Vehicles", Transportation Research Part D, Cilt 11, 115-132.
10. **Huang, K. D., ve Tzeng, S.-C.** 2004. "A New Parallel-Type Hybrid Electric-Vehicle", Applied Energy, Cilt 79, 51-64.
11. **Wright, S. ve Pinkelman, A.** 2008. "Natural Gas Internal Combustion Engine Hybrid Passenger Vehicle", Int. J. Energy Res., Cilt 32, 612-622.
12. **Ünlü, N. vd.,** 2003. Elektrikli Araçlar, TÜBİTAK MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
13. <http://www.calcars.org/alliance-bernstein-hybrids-june06.pdf>
14. **Tunçay, N. ve Üstün, Ö.** 2004. Otomotiv Elektronikindeki Gelişmeler, ELECO'2004 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 08-12 Aralık
15. www.transportation.anl.gov/pdfs/HV/522.pdf
16. **Young, M., Molen, G.M., Oglesby, D., Crawford, K., Walp, K., Lewis, R., Whitt, C. ve Phillips, S.** 2007. "The Design and Development of a Through-the-road Parallel Diesel Electric Hybrid", Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2007), IEEE, Publication Date: 9-12 Sept.
17. www.otogazbilgi.com/pdf/sayi20.pdf
18. **Xiaolai He, X., Maxwell T. ve Parten, M.E.** 2006. "Development of a Hybrid Electric Vehicle with a Hydrogen-fueled IC Engine", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Cilt 55, No. 6, 1693-1703.
19. "Hybrids for Road Transport", European Commission, Directorate-General Joint Research Center, Technical Report EUR 21743 EN, February 2005.
20. **Kınav, E.** 2007. "Hidrojenin Ulaşımında Yakıt Olarak Kullanılması: Hibrit Elektrikli Şehir İçi Kişisel Ulaşım Aracı Konsepti", YL tezi, YTÜFBE.
21. **Mierlo, J.V., Van den Bossche, P. ve Maggetto, G.** 2004. "Models of Energy Sources for EV and HEV: Fuel Cells, Batteries, Ultracapacitors, Flywheels and Engine-Generators", Journal of Power Sources, No. 128, 7689.
22. **Ehsani, M., Gao, Y. ve Miller, J.M.** 2007. "Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives", Proceedings of the IEEE, Cilt 95, No. 4, 719-728.
23. www.saftbatteries.com/automotive/uk/f/f.htm
24. **Selwood, P.G.** 2001. "Evaluation of The Feasibility of Using Fuel Cells in Passenger Cars", Report ETSU F/02/00158/REP, Daewoo Motor Company Limited.
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle
26. http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/light?fuel_type_code=HYBR
27. http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle
28. http://wikicars.org/en/Hybrid_sedan_comparison
29. http://wikicars.org/ja/Hybrid_suv_comparison