



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ



ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Destekleyen Kuruluş:



OTOMOTİV SANAYİİ DERNEĞİ
AUTOMOTIVE MANUFACTURERS ASSOCIATION

Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü

GEBZE - 2003

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Namık ÜNLÜ
Şeyma KARAHAN
Okan TÜR
Hamdi UÇAROL
Eren ÖZSU
Azmi YAZAR
Dr. Levent TURHAN
Doç. Dr. Fehmi AKGÜN
Doç. Dr. Mustafa TIRIS

Destekleyen Kuruluş:



OTOMOTİV SANAYİİ DERNEĞİ
AUTOMOTIVE MANUFACTURERS ASSOCIATION

TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi
Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü

Gebze – Kocaeli
Eylül 2003

ÖNSÖZ

Mevcut teknolojimiz, günlük hayatın sürdürülebilmesi için gerekli ısıtma, üretim, taşımacılık ve diğer tüm aktivitelerde temel enerji kaynağı olarak fosil kökenli yakıtlara büyük oranda bağımlıdır. Fosil kökenli yakıtların kullanımı uzun dönemde insanlık için iki açıdan tehdit oluşturacağı öngörülmektedir. İlk tehdit, sınırlı rezervlere sahip özellikle petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak artan maliyetler ve buna bağlı olarak sosyal ve ekonomik etkilerinin büyüklüğüdür. İkinci tehdit ise fosil kökenli yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan zararlı emisyonlar ve sera gazlarının çevre üzerine etkileridir.

Son yıllarda elektrik makinaları, bataryalar ve güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelere paralel elektrikli araç teknolojisinde sağlanan ilerlemeler, bu tehditlere yakın dönemde önleyici ve uzun vadede ise tamamı ile ortadan kaldıracak çözümler vaat etmektedir.

Ülkemiz açısından bakıldığında uzun dönemde beklenen derin etkilerin yanında bilhassa petrol kaynaklarının tamamının dışa bağlı olduğu ve taşımacılığın büyük oranda karayolları tarafından sağlandığı görülmektedir. Bu nedenle taşımacılıkta şu an dahi sağlanacak en ufak verimlilik artışlarının getirisi oldukça yüksektir.

Dünyada elektrikli araç konseptinin hızla gelişmesi ve bu gelişmeleri anlatan Türkçe yayın ihtiyacı, elektrikli araç teknolojilerinin günümüze kadar gelişimini, halihazırda durumunu ve gelecekteki trendlerini içeren bu kitabın yazılması fikrini doğurmuştur.

Bu kitabın özellikle otomotiv sektörünün, otomotiv yan sanayiinin ve üniversite öğrencilerinin elektrikli araç teknolojileri ve bu araçlarda kullanılan alt sistemler hakkında daha detaylı bilgi edinmelerine yardımcı bir kaynak olması ümit edilmektedir.



Bu kitabın hazırlanması için çok değerli maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen başta Otomotiv Sanayii Derneği Genel Sekreteri Sayın Prof.Dr. Ercan TEZER'e ve Derneđin diğer tım çalışanlarına teőekkür ederim.

Kitabın yazımında, TUBITAK-MAM Enerji Sistemleri ve evre Araştırma Enstitüsü Müdür Yardımcısı Doç.Dr. Fehmi AKGÜN'e, araştırmacılarımızdan Sayın Namık ÜNLÜ'ye, Şeyma KARAHAN'a, Azmi YAZAR'a, Okan TÜR'e, Eren ÖZSU'ya, Dr. Levent TURHAN'a ve Hamdi UÇAROL'a katkılarından dolayı teőekkürlerimi bildiririm.

Doç. Dr. Mustafa Tırıs
Enerji Sistemleri ve evre
Araştırma Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu kitapta elektrikli ve hibrid elektrikli araçların geçmişten günümüze kadarki tarihçesi, bu araçların gelişimini etkileyen faktörler ve bu araçların gelecek yıllarda tahmin edilen gelişme trendi ve pazardaki yeri anlatılmaktadır. Kitapta ayrıca elektrikli araç teknolojileri, kullanılan alt sistemler ve elektrikli araçların gelişimi de detaylıca ifade edilmektedir. Bu kitabın yazılmasındaki temel neden, elektrikli araç teknolojilerinin şimdiki ve özellikle gelecek 20 yıl içerisindeki durumunun ve pazardaki yerinin değerlendirilmesidir.

Bu kitapta birinci bölümde elektrikli araç teknolojilerine giriş, ikinci bölümde elektrikli/hibrid elektrikli araçların gelişimini etkileyen faktörler anlatılmıştır. Özellikle bu araçların konvansiyonel araçlara göre avantajlarına değinilmiş ve bu araçların gelişmesini engelleyen faktörler de ifade edilmiştir.

Üçüncü bölümde ise elektrikli/hibrid elektrikli araçlarla ilgili teknolojide ve pazarda son yıllara ait gelişmeler anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde 1990'lı yıllardan sonra bazı otomotiv üreticileri tarafından prototip ve üretim amaçlı geliştirilmiş elektrikli araçların teknik özellikleri verilmiştir. Bunların yanında TÜBİTAK-MAM tarafından prototip olarak geliştirilmiş TOFAŞ-FIAT Doblo aracının hibrid elektrikli versiyonu (ELIT1) anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde elektrikli ve hibrid elektrikli araçlara ait teknolojiler değerlendirilmiş; bu sistemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları ifade edilmiştir. Özellikle tümü-elektrikli sistem, seri-hibrid sistem, paralel-hibrid sistem ve yakıt pilli sistem detaylı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise alt sistem teknolojilerine değinilmiştir. Özellikle enerji üretim sistemleri (yakıt pilleri, benzinli motorlar, dizel motorlar, generatörler, mikro türbinler, gaz türbinleri), enerji depolama sistemleri (bataryalar, volan, süperkapasitörler), güç kontrol sistemleri (doğrultucular, eviriciler, çeviriciler), tahrik sistemleri ve sürüş kontrol sistemleri anlatılmıştır.

Altıncı bölümde elektrikli/hibrid elektrikli araçların tasarımından sonra performanslarını gösteren ve otomotiv üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılan yazılım teknikleri ve bu araçlar için özel geliştirilmiş yazılım programları anlatılmıştır.

Yedinci bölümde elektrikli/hibrid elektrikli araçlar için günümüze kadar geliştirilmiş standartlar anlatılmıştır. Bu bölümde SAE (Society of Automotive Engineers) tarafından yayınlanmış önemli standartlar bulunmaktadır.

Sekizinci bölümde elektrikli araç teknolojilerinin askeri araçlarda sağlayacağı faydalar ve değişiklikler anlatılmıştır. Ayrıca bu konuda Marmara Araştırma Merkezi tarafından yürütülen projeler özetlenmiştir.

Son Bölümde ise önümüzdeki 10 yıl ve ötesinde elektrikli araç teknolojilerinin otomotiv sektörüne etkileri ve yeni oluşumlar anlatılmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Tümü-Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları	6
2.2.1 Tümü-Elektrikli Araçların Avantajları	6
2.2.2 Tümü-Elektrikli Araçların Dezavantajları	7
2.3. Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları	8
2.3.1 Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları	8
2.3.2 Hibrid Elektrikli Araçların Dezavantajları	10
2.4. Yakıt Pili ve Yakıt Pili Araçların Avantajları ve Dezavantajları	11
2.4.1 Yakıt Pili Araçların Avantajları	11
2.4.2 Yakıt Pili Araçların Dezavantajları	12
3. SON YILLARDA TEKNOLOJİDEKİ VE PAZARDAKİ GELİŞMELER	16
3.1. Üretim Hattındaki Tümü Elektrikli Araçlar	22
3.1.1 The General Motors EV1	22
3.1.2 Ford Think City	23
3.1.3 Nissan Hypermini	24
3.1.4 Toyota RAV 4 EV	24
3.2. Prototip ve Deneysel Tümü-Elektrikli Araçlar	25
3.3. Üretim Hattındaki Hibrid Elektrikli Araçlar.....	29
3.3.1 Honda Insight	30
3.3.2 Honda Civic.....	30
3.3.3 Toyota Prius.....	31
3.4. Prototip ve Deneysel Hibrid Elektrikli Araçlar	32
3.4.1 TOFAŞ-FIAT Doblo	32
3.5. Prototip Yakıt Pili Araçlar	37
3.6. Elektrikli Muharebe Araçları	37
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİ	42
4.1. Tümü-Elektrikli araçlar.....	42
4.2. Hibrid Elektrikli Araçlar	43
4.2.1 Seri Tahrik Sistemi (Seri Hibrid)	45
4.2.2 Paralel Tahrik Sistemi (Paralel Hibrid)	47

4.2.3	Seri / Paralel Tahrik Sistemi (Seri/Paralel Hibrid).....	49
4.3.	Yakıt Pili Elektrikli Araçlar	49
5.	ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN ALT SİSTEMLER.....	52
5.1.1	Güç Üretim Sistemi	52
5.1.2	Güç Üretim Sistemi ve Emisyonlar	71
5.2.	Enerji Depolama Sistemleri	72
5.2.1	Bataryalar	72
5.2.2	Volanlar	82
5.2.3	Süperkapasitörler	85
5.3.	Güç Kontrol Sistemleri.....	87
5.3.1	Doğrultucular.....	88
5.3.2	Çeviriciler	91
5.3.3	Eviriciler	97
5.4.	Tahrik Sistemleri.....	100
5.4.1	Doğru Akım Motorlar	101
5.4.2	Asenkron Motorlar	105
5.4.3	Sürekli Mıknatıslı Motorlar	107
5.4.4	Anahtarlama Relüktans Motoru	109
5.5.	Sürüş Kontrol ve Enerji Yönetimi Sistemleri	110
5.5.1	Sınıflandırma.....	110
5.5.2	Enerji Akışı Kontrolü.....	112
6.	ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMINDA KULLANILAN BAZI YAZILIMLAR	126
6.1.	Simplev	126
6.2.	CarSim	126
6.3.	Hvec	126
6.4.	CSM HEV	127
6.5.	V-Elph	127
6.6.	Advance	127
6.7.	VTB	128
6.8.	Advisor	129
7.	ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA İLGİLİ STANDARTLAR VE KODLAR	134
7.1.	Elektrikli Araç Performans Test Metotları	134
7.2.	Batarya Test Standartları	135
7.2.1	Batarya Performans Testi Yöntemleri	135
7.2.2	Batarya Güvenlik Testi Yöntemleri	136
7.3.	Hibrid Elektrikli Araç Performans Test Metotları	138
8.	GELECEKTE ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİNİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNE ETKİLERİ VE YENİ OLUŞUMLAR	141
8.1.	Tahrik Yöntemleri	142
8.2.	Enerji Sistemleri	143
8.2.1	Bataryalar	143
8.2.2	Volanlar	143
8.2.3	Süperkapasitörler	144
8.2.4	Yakıt Pilleri	144
8.3.	Geleceğin Elektrikli Araçları	144

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Morris ve Salomon'un Electrostats elektrikli aracı	17
Şekil 2. Londra elektrikli taksi aracı	17
Şekil 3. Ford Comuta elektrikli araç	19
Şekil 4. General Motors EV1 elektrikli araç.....	23
Şekil 5. Ford Think City elektrikli araç.....	23
Şekil 6. Nissan Hypermini elektrikli araç.....	24
Şekil 7. Toyota RAV4 elektrikli araç.....	25
Şekil 8. Honda Insight elektrikli araç.....	30
Şekil 9. Honda Civic hibrid araç.....	31
Şekil 10. Toyota Prius hibrid elektrikli araç	32
Şekil 11. Tofaş-Fiat Doblo Seri Hibrid Elektrikli Araç	33
Şekil 12. Seri hibrid Tofaş-Fiat Doblo aracı (ELIT-1 Projesi)	33
Şekil 13. WIESEL Hafif Zırhlı Elektrikli Paletli Araç	38
Şekil 14. SEP Lastik Paletli Hafifi Zırhlı Piyade Aracı	38
Şekil 15. FNSS Muharebe Aracı.....	39
Şekil 16. Tümü-elektrikli araç.....	43
Şekil 17. Hibrid sistem	44
Şekil 18. Hibrid elektrikli Araç	45
Şekil 19. Seri hibrid elektrikli araç.....	45
Şekil 20. Seri hibrid Sistem.....	47
Şekil 21. Bataryalı seri hibrid sistem.....	47
Şekil 22. Paralel hibrid elektrikli Araç.....	48
Şekil 23. Paralel hibrid sistemin yerleşimi.....	48
Şekil 24. Paralel hibrid sistem akış şeması.....	49
Şekil 25. Yakıt pilli araç	51
Şekil 26. Proton elektrolit membranlı yakıt pilinin şematik resmi	57
Şekil 27. Yakıt pili akım/gerilim karakteristiği	59
Şekil 28. 4 Zamanlı dizel çevrimi	62
Şekil 29. Dizel motorda enerji kayıpları	63
Şekil 30. Mikrotürbin şematik gösterimi	67
Şekil 31. İki kutuplu 3 fazlı senkron AC generatör	68
Şekil 32. Fırçalı AC generatör şematik gösterimi.....	68
Şekil 33. Fırçasız AC generatör şematik gösterimi	69
Şekil 34. Sabit yük ve uyarma akımında senkron AC generatörü çıkış geriliminin değişimi	70
Şekil 35. Göreceli emisyon karşılaştırması (Benzinli - Dizel içten yanmalı motorlu ve Hibrid EA'lar)	72
Şekil 36. Lityum-iyon hücrenin yapısı	81
Şekil 37. Volanın yapısı	85
Şekil 38. EMAFER adını verilen volan sistemi.....	85
Şekil 39. Seri hibrid güç sistemi.....	87
Şekil 40. Bir fazlı kontrolsüz doğrultucu.....	88
Şekil 41. Üç fazlı kontrolsüz doğrultucu.....	89

Şekil 42. Bir fazlı kontrollü doğrultucu.....	90
Şekil 43. Üç fazlı kontrollü doğrultucu.....	90
Şekil 44. Generatör DC bara bağlantısı	91
Şekil 45. Akü şarj sistemi.....	91
Şekil 46. Alçaltıcı DC-DC çevirici.....	92
Şekil 47. Yükseltici DC-DC Çevirici	93
Şekil 48. Alçaltıcı-yükseltici DC-DC çevirici	93
Şekil 49. Tam köprü DC-DC çevirici	94
Şekil 50. Farklı seviyedeki DC gerilimlerin paralel bağlanması.....	95
Şekil 51. İki bölge DC motor sürücüsü	97
Şekil 52. Dört bölge DC motor sürücüsü	97
Şekil 53. Bir fazlı evirici devresi	98
Şekil 54. Kare dalga evirici kontrol ve çıkış gerilimleri	98
Şekil 55. Evirici kontrol ve çıkış gerilimleri	99
Şekil 56. Üç fazlı evirici.....	99
Şekil 57. DC motor türleri.....	102
Şekil 58. Serbest uyarmalı DC motor kontrol sistemi.....	103
Şekil 59. DC Motor eşdeğer devresi	103
Şekil 60. DC motor çalışma bölgeleri.....	105
Şekil 61. Asenkron motor sürücü devresi	106
Şekil 62. SRM sürücü devresi.....	109
Şekil 63. Hibrid elektrikli araçların sınıflandırılması	111
Şekil 64. Seri hibrid elektrikli araç çalışma modları.....	113
Şekil 65. Paralel hibrid elektrikli araç çalışma modları	114
Şekil 66. Seri-paralel hibrid elektrikli araç(içten yanmalı motor ağırlıklı) çalışma modları	118
Şekil 67. Seri-paralel hibrid elektrikli araç(elektrik ağırlıklı) çalışma modları	119
Şekil 68. Kompleks hibrid (ön hibrid, arka elektrikli) elektrikli araç çalışma modları	122
Şekil 69. Kompleks hibrid (ön elektrikli, arka hibrid) elektrikli araç çalışma modları	124
Şekil 70. VTB bilgisayar programından görünüş (modelleme ve sonuç sayfaları) ..	128
Şekil 71. Araç parametreleri giriş ekranı	130
Şekil 72. Yazılım parametreleri giriş ekranı	131
Şekil 73. ADVISOR sonuç ekranı	132
Şekil 74. ADVISOR programının grafik arayüz, veri dosyaları ve modeller arasındaki bağlantısı	133

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Yakıt pilli araçların içten yanmalı motorlu araçlara göre karşılaştırılması ...	13
Tablo 2. Tümü-elektrikli/hibrid elektrikli ve yakıt pilli araç tipleri	14
Tablo 3. Üretim hattındaki tümü-elektrikli araçlar	26
Tablo 4. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş tümü-Elektrikli araçlar	27
Tablo 5. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş tümü-elektrikli araçlar (devam)	28
Tablo 6. Üretim hattındaki hibrid elektrikli araçlar	29
Tablo 7. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar	34
Tablo 8. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar (devam).....	35
Tablo 9. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar (devam).....	36
Tablo 10. Prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli elektrikli araçlar	40
Tablo 11. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli elektrikli araçlar (devam)	41
Tablo 12. Yakıt pili tipleri ve genel özellikleri	54
Tablo 13. Yakıt Pillerinde anottaki reaksiyonlar	55
Tablo 14. Yakıt Pillerinde katottaki reaksiyonlar	55
Tablo 15. Gaz türbini temel avantaj ve dezavantajları	65
Tablo 16. Elektrikli araç bataryaları özellikleri.....	74
Tablo 17. Elektrikli araç bataryaları (gerilim değerleri ve malzemeler)	75
Tablo 18. Volan enerji depolama sisteminin kurşun-asit bataryaya göre karşılaştırılması	84
Tablo 19. Kurşun-asit, volan ve süperkapasitörlerin değerlendirilmesi	86
Tablo 20. Elektriksel testler.....	137
Tablo 21. Mekanik testler.....	137
Tablo 22. Çevresel testler.....	138

KISALTMALAR LİSTESİ

AC:	Alternatif akım
AYP:	Alkali yakıt pili
AÖN:	Alt ölü nokta
BG:	Beygir Gücü
DC:	Doğru akım
EA :	Elektrikli araç
EKYP :	Ergimiş karbonat yakıt pili
FAYP:	Fosforik asit yakıt pili
GE:	General electric
HEA :	Hibrid elektrikli araç
İYM :	İçten yanmalı motor
KOYP :	Katı oksit yakıt pili
SM:	Sürekli mıknatıslı
Li-iyon:	Lityum-iyon
NiMH:	Nikel-metal hidrür
Pb-asit:	Kurşun asit
PEMYP:	Proton elektrolit membranlı yakıt pili
PWM:	Darbeleri genişlik modülasyonu
SRM:	Anahtarlamalı relüktans makinası
SOC:	Batarya şarj durumu
ÜÖN:	Üst ölü nokta
Tümü-EA:	Tümü Elektrikli Araç
VRLA:	Vana regüleli kurşun asit batarya

1. GİRİŞ

Elektrikli araç (EA) kavramı geçtiğimiz on yılda otomobil sektörünün ArGe bölümlerinden prototip atölyelerine doğru yolculuğunu bitirmiştir. Seri üretim hatlarına doğru olan yolculuğu ise kısmen tamamlanmıştır. Bilhassa hibrid (karma) elektrikli araçlar (HEA), önümüzdeki on yıl içerisinde tüm araç sınıflarında ağırlıklı tercih edilecektir. Başlangıçta konvansiyonel araçlarda bulunan birçok ekipmanı da bünyesinde bulunduran HEA'lar, bir çok kesimde tüketicilerin beğenisine sunulmaktadır. Bu arada uzun yıllardır özel kullanımlar için geliştirilmiş bataryalı araçlar, batarya ve güç elektroniği teknolojilerinin gelişimine paralel olarak, kullanıcılarına daha yüksek menzil ve kullanım rahatlığı sağlamaktadır. HEA'ların en önemli özellikleri, sabit şarj sistemlerinden bağımsız, konvansiyonel araçlara benzer şekilde menzile sahip olmalarıdır.

Elektrikli araçlar kavramı bu çalışmada üç farklı grup altında incelenmiştir. Bunlar sırası ile tümü-elektrikli araçlar, hibrid elektrikli araçlar ve yakıt pilli araçlardır.

EA'ların gelecekte kullanımının artmasına yol açacak etkenler özetle aşağıda verilmiştir:

- Ulaşım maliyetlerinin azaltılması,
- Fosil kökenli yakıtların kullanımının azaltılması,
- Özellikle kentlerde hava kirleticilerinin azaltılması,
- Global ölçekte sera gazı oluşumunun bertaraf edilmesidir.

EA'ların yollarda çoğunluk haline gelmesi ile otomotiv sektörünü bekleyen büyük değişimler çeşitli otoriteler tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmektedir:

- EA'lara ait bataryalar, elektrik motorları, güç elektroniği gibi parçalar üreten sanayilerin oluşması,
- Ana üretici firmaların üretim ve pazarlama teknikleri açısından değişime uğraması,

- Gerçekleşecek büyük değişim sırasında otomotiv sektöründe önde gelen ülkelere, elektro mekanik dalında yüksek kaliteli, düşük maliyetli ve yenilikçi ürünlere sahip ülkelerin rakip olması,

Yakıt dağıtım ve alt yapı değişiklikleri,

- Bakım tekniklerinin ve personelinin eğitiminde değişiklikler,
- Standartlar ve yönetmelikler,
- Kullanıcıların uyumu,
- Akıllı trafik sistemlerinin ortaya çıkışı,

Tümü-EA'ları 1900'lü yılların başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Tümü elektrikli araçların getireceği yenilikler kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- Tümü-elektrikli araç, modern elektrikli tahrik teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş elektrik motoru, güç konvertörü ve enerji kaynağını içermektedir.
- Tümü-EA'larda yakıt, elektrik enerjisi dönüşümü gerçekleşmemekte, elektrik enerjisi batarya, volan veya süperkapasitörler ile depolanmaktadır.
- Tümü-EA'lar yeni bir araç konseptinin ötesinde taşımacılık hizmetlerinin sıfır emisyon ve daha yüksek verim ile sağlanmasına yol açacak köklü bir değişimdir.
- Tümü-EA'lar modern taşımacılık ağları ile uyumlu olarak akıllı sistemleri oluşturmayı sağlayacaktır.
- İşletme koşulları ve çalışma döngüleri yeniden tanımlanacaktır.
- Son kullanıcı, her bakım-üretim seviyesi ve alakalı sektörlerde altyapı, eğitim ve standardizasyon ihtiyacı ortaya çıkacaktır.

HEA'ların seri üretimine ve pazara sunulmasına başta Japon şirketleri olmak üzere bir çok firma tarafından başlanılmıştır. Bir çok firma ve ArGe kuruluşu her geçen gün yeni modeller ve ürünler geliştirerek araç performanslarını arttırmaktadır. Bunun yanında kullanımdaki artıları ve tüketim açısından avantajları dahi, yüksek fiyatın yanında satın alma cazibesini tüm tüketici gruplarında sağlayamamaktadır. Bu nedenle birçok devlet tarafından çeşitli teşvikler oluşturularak satış rakamları yükseltilmektedir. HEA'ların avantajları aşağıda verilmiştir:

- Frenleme enerjisi geri kazanılmakta ve depolama sistemi sayesinde yeniden kullanılabilir, kullanılabilmektedir,

- Ana enerji kaynağı olan içten yanmalı motorun (İYM) boyutu küçülmektedir,
- Ana enerji kaynağı sabit yüklerde çalışmakta, bu sayede optimizasyon sağlanarak termal verim en üst seviyeye çıkmaktadır,
- İYM'lar belli şartlarda ve duruşlarda depolama ekipmanının şarj durumuna bağlı olarak kapatılabilmektedir,
- Diğer tip enerji kaynaklarında devreye girme ve çıkma esnasında oluşacak enerji ihtiyacı veya fazlası enerji depolama sistemi tarafından seviyelendirilmektedir.

Yakıt pili teknolojisinin araçlarda uygulanması, gelecekte birincil enerji kaynaklarının fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara doğru değişimi ile hızlanacaktır. Ancak mevcut altyapı ve alışkanlıklar çerçevesinde yakıt pili araçlara geçiş 2010'lu yıllara değin düşük bir ivme ile seyredecektir. Üreticilerin beklentileri üç nokta üzerinde birleşmektedir:

Yakıt:

- 2010'a kadar sıkıştırılmış hidrojen
- 2010 – 2020 Alternatif yakıtlar/Bor hidrürler
- 2020 ve sonrası depolanmış hidrojen

Yakıt Pili Tipi:

- 2020'ye kadar proton elektrolit membranlı yakıt pili (PEMYP)
- 2020 sonrası belki katı oksitli yakıt pili (KOYP)

Araç yapısı ve kullanıcılar:

- 2015'e değin yardımcı enerji kaynağında kullanılan yakıtı kolay ulaşılabilecek filolarda
- 2015 ve sonrası tüm sınıflarda birincil enerji kaynağı

Konvansiyonel araçlar ile elektrikli araç tipleri arasında, aynı şartlarda verim ve emisyonlar açısından farkları incelendiğinde özetle şu sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Benzinli konvansiyonel araç (100 km de 8.4 litre ortalama yakıt tüketimi):
 - Verim: %28
 - Sera gazı ve çeşitli kitleciler yüksek, menzil yakıt deposunun kapasitesine oranla değişmektedir.

- Tümü elektrikli araç:
 - Verim: %32
 - Sera gazları ve kirleticiler elektrik santralleri tarafından üretilmekte, menzil sınırlı/düşük ve şarj sistemlerine bağımlılığa sahiptir.
- Hibrid elektrikli araç:
 - Verim: % 41
 - Konvansiyonel araca göre sera gazları ve kirleticiler %55 ve yakıt tüketimi %30 oranında daha düşük ve menzil aynıdır.
- Yakıt pilli araç:
 - Verim: %43 (On yıl içerisinde %48)
 - Konvansiyonel araca göre sera gazları ve kirleticiler %90 ve yakıt tüketimi %40 oranında daha düşük ve menzil aynıdır.

Fosil kökenli yakıtların azalması ve çevresel beklentilerin artması ile önümüzdeki 10 yıl otomobil kavramında ve sanayisinde yeni tanımlar ile birlikte yeni oyuncular yerlerini alacaktır.

REFERANSLAR

1. Han D.C., 19-23 Ekim, 2002, "Electric Vehicle Symposium 19 proceedings", EVAAP, Busan, Korea.
2. Westbrook M.H., 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", SAE, London.
3. Husain I., 2003, " Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals", CRC Presss, New York.
4. Jefferson C.M., Barnard R.H., 2002, "Hybrid Vehicle Propulsion", WIT Press, Boston.
5. Chan C.C ve Chau K.T 2001, "Modern Electric Vehicle Technology", Oxford University Press, New York .
6. Chan C.C., 2002. "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles", *Proceedings of the IEEE*, 90, 247-275.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

2.1. Giriş

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki ulaşım yoğunluğunun artması nedeniyle çevre kirliliği ortaya çıkmıştır. İYM'lerden çıkan emisyonlar (azot oksitler-NO_x, karbon monoksit -CO, küçük partiküller, uçucu organik bileşikler vb.) bölgesel ve hatta global ölçülerde çevreye önemli zararlar vermektedir. Büyük şehirlerin bir çoğunda trafik emisyonlarından kaynaklanan azot oksit ve karbon monoksit oranları istenilen standartların üzerindedir. Almanya'da ve Amerika'da yapılmış olan araştırmalardan havadaki küçük partiküllerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu görülmüştür. İYM'lerin her türü (dizel, benzinli, LPG'li vb.) yüksek miktarda partikül açığa çıkarmaktadır. Özellikle dizel motorların benzinli ya da LPG'li motorlara göre daha fazla partikül açığa çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple şehirlerdeki bu küçük partiküllerin oluşmasının en önemli sebebinin trafik olduğu düşünülmektedir. Katalitik dönüştürücülerin kullanılması ile emisyonlar azalmakta, ancak trafiğin artması nedeniyle emisyon konsantrasyonlarının artmaya devam ettiği saptanmıştır.

Artan araç sayısına bağlı olarak, atmosferde kirletici emisyonların ve karbon dioksit gazı miktarının hızla artması, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişikliği sorunları alternatif yakıtların kullanılmasını gündeme getirmiştir. Avrupa'nın ve Dünyanın diğer ülkelerinde her geçen yıl ulaşım yoğunluğunun artması ve açığa çıkan emisyon miktarlarının da buna paralel olarak artması alternatif yakıtların kullanımının etkisini sınırlamaktadır. Ayrıca mevcut sistemler ve altyapı olanaklarının getirdiği kısıtlamalar nedeni ile fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçilmesi beklenen hızda gelişmemektedir. Bunlar üretim potansiyelleri, üretim teknikleri, dağıtım, pazarlama ve motor uyumudur. Örneğin çevre açısından kirletici emisyon açığa çıkarmayan hidrojenin istenen saflıkta eldesi ve depolama sistemleri zor ve pahalı teknikler gerektirmektedir Tüm bu problemleri gidermek için uygun alternatif yakıtlar ve/veya daha verimli alternatif araçların geliştirilmesi gündeme gelmiştir.

Bu sebepten elektrikli ve hibrid elektrikli araçlara ilgi tekrar artmaya başlamıştır. Esasında otomobillerin tahriki için kullanılan elektrik enerjisi ve elektrikli araç teknolojisi yaklaşık 1800'lü yıllardan ve otomobilin icadından beri mevcuttur. Fakat 1900'lerin başlarında içten yanmalı motorlar (İYM), ağırlık güç oranının düşük olması ve yakıt için kullanılan petrolün enerji yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle daha fazla ilgi görmekteydi. Elektrikli tahrik birçok açıdan üstün olmasına rağmen bataryaların enerji yoğunluğunun az olması nedeniyle 1970'lere değin geri planda kalmıştır. Ancak 1970'teki petrol krizi petrol fiyatının ve yakıt bağımlılığın artmasıyla birlikte yeni teknoloji arayışları ile elektrikli araçlar (EA) yeniden gündeme gelmiştir.

Bu amaçla 1997 yılında Japonya'da Toyota firmasının Prius modeli ile gerçek anlamda ilk kez modern hibrid elektrikli araç geliştirilerek pazara sunulmuştur. Bundan 2 yıl sonra Amerika'da Honda Insight üretilmiş ve bunu Honda Civic hibrid elektrikli aracı takip etmiştir. EA'larla ilgili üç değişik tahrik teknolojisi vardır. Bunlar bataryalı elektrikli araç (tümü-elektrikli), birden fazla tahrik gücüne sahip (örneğin elektrik motoru ve İYM) HEA'lar ve bataryalı ya da bataryasız yakıt pilli araçlardır.

2.2. Tümü-Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

2.2.1 Tümü-Elektrikli Araçların Avantajları

Tümü-elektrikli araçlarda (tümü-EA) tekerlek elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Elektrikli araçta yüksek miktarda itme kuvvetinin sağlanabilmesi için gerektiğinde birden fazla elektrik motoru kullanılabilirdiği çeşitli uygulamalardan görülmektedir. Elektrik motoruna sağlanan güç ise enerji depolama sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinden sağlanmaktadır. Burada gücün elde edilebilmesi için gerekli olan enerji yakıtın yanmasıyla değil enerji depolama sistemi olan bataryalardan elde edildiğinden tümü-EA'larda benzin, dizel ya da yanabilen diğer yakıtlar kullanılmamaktadır. Bu nedenle tümü-EA'larda hiç yakıt tüketilmediği için emisyon açığa çıkmaz ve bu araçlar "*sıfır emisyonlu araçlar*" olarak adlandırılmıştır. Taşıtta bulunan bataryaların şarj edilmesi için gerekli elektriğin üretilmesinde az miktarda emisyon açığa çıksa bile tümü-EA'larda tüm yakıt çevrimi boyunca konvansiyonel taşıtlara göre daha az seviyede toksik ve ozon tabakasına zarar verici emisyonların açığa çıktığı görülmektedir

Tümü-EA'larda İYM olmadığı ve elektrik motoru olduğu için bu araçlar sesiz çalışmaktadır. Rejeneratif frenleme sayesinde daha uzun fren ömrü vardır ve kinetik enerji geri kazanılarak elektrik motoru generatör gibi kullanılarak kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bataryaları besleyerek şarj etmektedir. Yakıt maliyeti de dahil olmak üzere bakım maliyeti konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Hareketli elemanlar fazla olmadığı için bunların ayarına ya da yağ değişikliğine gerek yoktur.

2.2.2 Tümü-Elektrikli Araçların Dezavantajları

Elektrikli Araç Maliyeti

Tümü-EA üretimindeki yüksek maliyet elektrikli araç pazarının gelişmesini sınırlamaktadır. Bu araçların pazarda geniş bir şekilde yayılmasını engelleyen en önemli etken satın alma maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Örneğin General Motors'un EV1 modeli 33.995 \$ iken benzinli Chevrolet Cavalier 13.670 \$'e satılmaktaydı. Fakat tümü EA'ların yakıt maliyeti konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Örnek olarak küçük bir konvansiyonel aracın yakıt maliyeti yıllık ortalama 690 \$ iken tümü-EA'ların çok daha düşük olup 390 \$ - 480 \$ arasındadır. Tümü-EA'ların yakıt maliyet düşük olduğundan petrol fiyatlarının artmasıyla bu araçların ön plana çıkması beklenmektedir. Ancak tümü-EA maliyetinin önemli bir kısmını oluşturan bataryalar gibi henüz geliştirilme aşamasında olan kritik parçaların mevcut durum da 3-5 yıl içerisinde yenilenmesi kullanım maliyetinin arttırmaktadır.

EA'ların yaygınlaşıp pazar potansiyelinin artması için elektrikli araç satış maliyetinin azaltılması gerekmektedir. ABD Enerji Bakanlığı (U.S Energy Department) Mayıs, 1995 ve ABD Genel Muhasebe Bürosu (U.S General Accounting Office) ise Aralık,1994'den itibaren tümü-EA'ların hem satış hem de yaşam-döngüsü maliyetlerinin azaltılması üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Otomobil üreticileri yeni tasarımlar yaparak araç maliyetini azaltmaya çalışmaktadırlar. Bununla birlikte elektrikli araç teknolojisi ile batarya teknolojisi gelişmekte ve bu nedenle taleplerin artmaya başlayacağı düşünülmektedir. Maliyeti azaltmanın bir diğer yolu ise hükümet ve endüstri destekli teşviklerin artırılması yönündedir. Böylelikle araç maliyetinin yanında kullanım maliyeti de azalacaktır. Elektrikli araç teknolojisi geliştikçe talebin

artacağı ve maliyetin düşeceği açıktır. Bu durum tümü-EA'ların tüketiciler tarafından kabulünü hızlandıracaktır.

Servis İstasyonları

EA'lar piyasada satışa sunulduğu zaman konvansiyonel araçlarda olduğu gibi bakım ve onarım için gerekli servis istasyonları olmalıdır. Önemli sayıda elektrikli araç pazarda olduğu zaman araç üreticileri tüketicinin isteklerine cevap verebilecek kadar eğitilmiş teknik personel bulundurmalı ve araçta herhangi bir problem olduğu zaman aracına gerekli bakımını ve onarımını yaptırabileceği servislere ihtiyaç duyulmaktadır.

Araç Menzili ve Batarya Teknolojisi

Tümü-EA'ların yayılmasını engelleyen bir diğer etken de araç performansıdır. Taşıtlara tahrik sağlayan bataryalar oldukça ağırdır ve taşıtın menzili sınırlıdır. Konvansiyonel yolcu aracı depoyu yakıtla doldurduktan sonra yaklaşık 500-600 kilometre yol alırken tümü-EA'lar şarj edildikten sonra çok daha az yol alabilmektedirler. Tüm dünyada ileri kurşun-asit bataryaların geliştirilmesi konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda temel amaç bataryaların enerji yoğunluğunu artırarak tümü-EA'ların menzilini arttırmaktır.

Elektrikli aracın gelişimine bir diğer engel olarak konvansiyonel bir aracın deposunun doldurulmasının birkaç dakika almasına karşın, bir tümü-EA'ı tamamen şarj etmenin yaklaşık 5-8 saatlik zaman gerektirmesidir. Bazı yüksek hızlı şarj cihazları, aracı 3-4 saatte şarj edebilmektedir. Fakat bu şarj cihazları bataryaların ömrünü kısaltmaktadır.

2.3. Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

2.3.1 Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları

Tümü-EA'ların bazı dezavantajlarını gidermek amacıyla hibrid elektrikli araçlar (HEA) geliştirilmiştir. Tümü-EA'lara İYM eklenerek aracın menzili ve gücünün artırılması için HEA'lar geliştirilmiştir. HEA'lar, konvansiyonel araca nazaran kirletici emisyonları azaltmakta ve yakıt verimini arttırmaktadır. HEA'lar birden fazla güç kaynağına sahip araçlar olarak da adlandırılır. HEA'lar iki ya da daha fazla enerji dönüşüm teknolojilerini (İYM, yakıt pilleri, generatörler ya da elektrik motorları) bir veya daha

fazla enerji depolama teknolojileri (batarya, süperkapasitörler ya da volan) ile birleştirmektedir

HEA'ların geliştirilmesinin temel nedenlerinden biri de tümü-EA'ların şarj problemi ve sınırlı menzile sahip oluşlarıdır. Çoğu HEA'lar enerji kaynağı olarak İYM (2 yada 4 zamanlı otto ya da dizel motorları) stirling motoru, gaz türbini ya da elektrokimyasal batarya kullanmaktadır. Güç üreten elemanlar elektrik enerjisini depolayan elemanlarla değişik şekillerde birleştirilmektedir. Bu şekilde birçok değişik hibrid elektrikli araç tasarımları geliştirilmektedir. HEA verimi ve emisyonu özellikle alt sistemlerin kombinasyonuna ve bu alt sistemlerin tüm sisteme nasıl entegre olduğuna bağlıdır.

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

- Rejeneratif frenleme yeteneği enerji kaybını en aza indirir ve taşıt durduğunda ya da yavaşladığında kullanılan enerjiyi 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 değildirler.

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.

Son 15 yıl içerisinde değişik tipte prototip olarak birçok HEA üretilmiştir. Bu araçlara ait bazı örnekler ileriki bölümlerde verilmiştir.

2.3.2 Hibrid Elektrikli Araçların Dezavantajları

HEA'lar genel olarak seri ve paralel olmak üzere iki konfigürasyona ayrılırlar.

Seri hibrid sistemde tekerlere tahrik gücünü sağlayan bir elektrik motoru vardır. İYM generatöre bağlıdır ve elektrik enerjisinin oluşturulmasını sağlayarak bataryalarda enerji depolanmasına katkıda bulunur. Bataryalarda depo edilen elektrik enerjisi ise elektrik motoruna verilir ve tahrik tekerlerine gerekli olan güç iletilir. İYM ve tekerlekler arasında mekanik bir güç iletimi mevcut değildir.

Paralel hibrid sistemde ise itki için gerekli olan güç, birden fazla enerji kaynağından sağlanır. İYM transmisyon aracılığı ile tekerlere doğrudan güç iletir. Bunun yanında bataryalarda depo edilen elektrik enerjisi ise elektrik motoru yolu ile tekerlere iletilir.

Seri sistemin dezavantajları :

- Bu sistemde İYM, generatör 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 iletilebilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulur.
- Sessiz çalışma modu sağlamamaktadır

2.4. Yakıt Pili ve Yakıt Pili Araçların Avantajları ve Dezavantajları

Yakıt pilleri yakıtın kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Konvansiyonel teknolojilere göre daha yüksek verim ve önemli miktarda düşük emisyonu üretirler. Ayrıca daha sessiz çalışırlar ve modüler bir yapıdadırlar. Son yıllarda çeşitli prototip uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Daha uzun dönemlerde yakıt pillerinin özellikle araç uygulamalarında daha da yaygın olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Bir yakıt pili bileşenleri ve karakteristikleri bataryaya benzese de bazı açılardan bataryadan farklıdır. Yakıt pili enerji dönüşüm cihazıdır ve bu enerji dönüştürme işlemi elektrotlara yakıt ve oksitleyici sağlandığı sürece devam edebilmektedir.

2.4.1 Yakıt Pili Araçların Avantajları

EA'larda enerji kaynağı olarak sadece bataryaların kullanılması durumunda araç menzili depolanmış enerji miktarı ile sınırlıdır. Yakıt pillerinin kullanımı, EA'ları menzil açısından konvansiyonel araçlar ile rekabet edebilir duruma getirecektir.

Yakıt pilli araçların menzili konvansiyonel araçlarda olduğu gibi, yakıt tankında depolanan yakıt miktarına bağlıdır. Güç/enerji üretim modülü olarak yakıt pilinin büyüklüğü araçta ihtiyaç duyulan güç kapasitesine bağlıdır ve aracın menzili ile ilişkili değildir.

Yakıtın elektrik enerjisine direkt olarak dönüştürüldüğü yakıt pillerinde, teorik verim karnot verimi ile sınırlı değildir. Yakıt işlemedeki ısı kayıpları göz önüne alındığında, yakıt pillerinin verimlerinin % 60-70 seviyesine ulaşmaktadır. Enerji üretiminde hiç bir döner parçanın kullanılmaması, tamamen sessiz bir çalışma sağlamaktadır.

EA'larda yakıt pillerinin kullanılmasının sağlayacağı temel avantajlar aşağıda listelenmiştir:

- Normal ve kısmi yüklerde yüksek çalışma verimi,
- Direkt enerji dönüşümü,
- Düşük emisyon değerleri (CO, SO₂, NO_x),

- Düşük bakım tutum maliyetleri,
- Düşük gürültü seviyesidir.

Yakıt pili teknolojisi sayesinde düşük emisyonlu araçların üretimi, çevre kirliliğine önemli bir çözüm sağlayacaktır. Dünyada olgunlaşmakta olan yakıt pili teknolojisi üzerine yapılan araştırmalar, hem askeri hemde sivil alanda yoğunluk kazanmıştır.

2.4.2 Yakıt Pili Araçların Dezavantajları

Özellikle sıfır emisyon ve yüksek verim gibi önemli avantajların yanında seri üretime geçme öncesinde bir takım teknik ve ekonomik sorunların aşılması gerekmektedir. Otomotiv ve enerji sektöründeki yatırımlar ile gelişimini sürdüren yakıt pili teknolojisinde, maliyet etkin çözümler henüz üretilmemiş durumdadır. Genel olarak, üretim, işletme ve altyapı maliyetlerinin düşürülmesi (özellikle katalizörler), elektriksel stabilite, yakıt sistemleri, güvenilirlik, bakım, hidrojen depolama sistemi ve güvenlik teknolojileri geliştirilmeye açık alanlar olarak tanımlanmaktadır.

Yakıt pili ve İYM araçların karşılaştırması Tablo 1'de verilmektedir. Tümü-elektrikli / hibrid elektrikli ve yakıt pili araç tiplerinin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Yakıt pilli araçların içten yanmalı motorlu araçlara göre karşılaştırılması

	İYM'lu ARAÇ	YAKIT PİLLİ ARAÇ	
Çevreye karşı Duyarlı	Hayır	Evet	Yakıt pilinde yakıt olarak hidrojen yakıldığından emisyon olarak sadece su açığa çıkar.
Yüksek Performans	Evet	Evet	Yakıt Pilleri Araçların performansları İYM'lu araçların performanslarına göre çok daha yüksektir. Örneğin İYM'lu Ford Focus'un gücü 110 BG iken, yakıt pilli Ford aracı 85 kW Ballard Mark 902 yakıt piline sahiptir ve bu aracın gücü 117 BG kadardır.
Düşük Bakım Maliyeti	Hayır	Evet	Yakıt pilli araçların çok az hareketli elemanı olduğundan konvansiyonel araçlar gibi yağ değiştirme ve bunun gibi diğer bakım gereksinimleri yoktur.
Düşük Gürültü	Hayır	Evet	Yakıt pilli araçların tüm gürültüsü hava kompresörü veya fanlardan kaynaklanmaktadır.
Yüksek Verim	Hayır	Evet	Yakıt pillerinin verimi karnot çevrimiyle sınırlandırılmamıştır. Yakıt pilli araçlarda mekanik sürtünmelerden dolayı oluşan kayıplar İYM'lar kadar fazla değildir.
Yüksek Ağırlık	Hayır	Evet	Mevcut teknoloji ile yakıt pili ve diğer donanımları araç ağırlığına olumsuz yönde etki edecek durumdadır.
Yüksek Maliyet	Hayır	Evet	Kullanılan pahalı katalizörler yakıt pili birim maliyetlerini oldukça yükseltmektedir.

Tablo 2. Tümü-elektrikli/hibrid elektrikli ve yakıt pilli araç tipleri

EA çeşitleri	Tümü EA'ları	Hibrid EA'ları	Yakıt pilli EA'lar
Tahrik	Elektrik motorlu tahrik	Elektrik motorlu İYM'lu tahrik	Elektrik motorlu tahrik
Enerji Sistemi	Batarya Süperkapasitör	Batarya Süperkapasitör İYM üretim birimi	Yakıt pilleri
Enerji Kaynağı ve Altyapı	Elektrik şarjı	Benzin Elektrik şarjı Alternatif Yakıtlar	Benzin Elektrik Şarjı Alternatif Yakıtlar
Karakteristikler	0 emisyon 100-200 km kısa menzil Pazarda mevcut	Çok düşük emisyon Normal menzil Pazarda sınırlı	Çok düşük emisyon H depolama
Ana sorunlar	Batarya teknolojisi Şarj özellikleri	Batarya teknolojisi Enerji yönetimi	Yakıt pili teknolojisi H Teknolojisi

REFERANSLAR

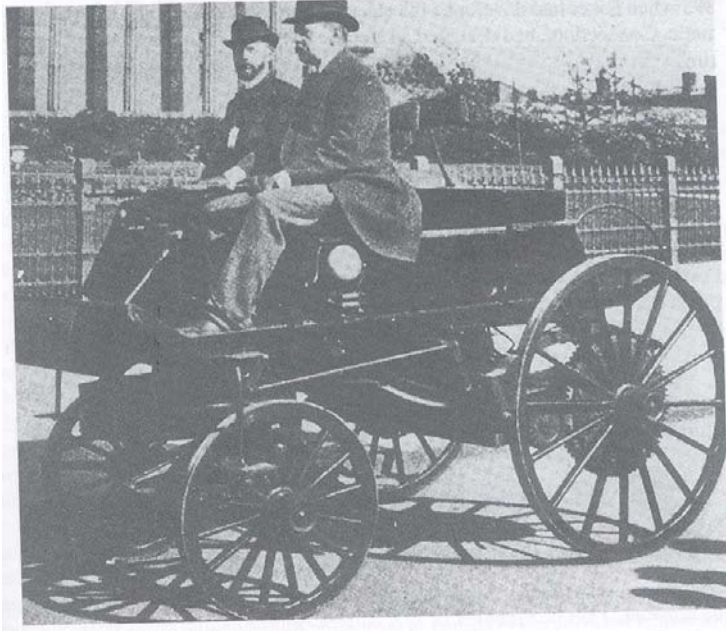
1. van der Klein, C.A.M. ve McKay, P.C., 2003, "Future electric road transport based on renewable electricity production", WEC, Utrecht.
2. Friedman D., 1997, "A New Road: The Technology and Potential of Hybrid Vehicles", Union of Concerned Scientists, Cambridge.
3. B.Yacobucci., 2000, "CRS Report for Congress", National Library for Environment, Washington.
4. Department of Energy-ETC/EVAA/DOT, 1995, " Electric Vehicle Community Market Launch Manual", Vol 1.
5. <http://www.ott.doe.gov/hEA/what.html>.
6. <http://www.fuelcells.org/fct/benefits.htm>.
7. Larminie J., Dicks A., 2000, "Fuel Cell Systems Explained", John Wiley&Sons Ltd, London.

3. SON YILLARDA TEKNOLOJİDEKİ VE PAZARDAKİ GELİŞMELER

İlk EA modeli 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından Hollanda'da yapılmıştır. 1834-1836 yılları arasında Thomas Davenport tarafından ABD'de elektrikli yol aracının geliştirildiği ve uygulamasının yapıldığı raporlanmıştır. Bu araç üç tekerlekli olmakla beraber şarj edilmeyen bataryalarla tahrik edilmiştir. 4 yıl sonra Robert Davidson şarj edilemeyen batarya ile tahrik edilen elektrikli lokomotifini geliştirmiştir. 1859 yılından sonra kurşun-asit bataryaları geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

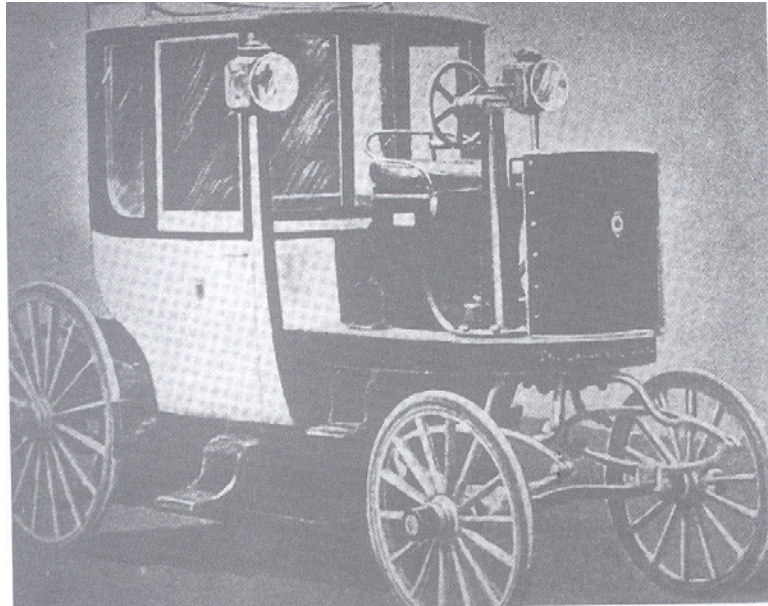
1882 yılında İngiltere'de Prof. William Ayton ve John Perry elektrik tahrikli 3 adet tekerlekli aracın uygulamasını yapmıştır. Bu araçların her birinde 10 tane kurşun-asit batarya kullanılmıştır. Aracın menzili araziye bağlı olarak 16-20 km arasında olup azami hızı ise 14 km/saattir. Bundan 3 yıl sonra Carl Benz İYM ile 3 tekerlekli aracı geliştirmiştir.

19. yüzyılın son dönemlerine doğru Amerika, İngiltere ve Fransa'da bir çok şirket elektrikli araç üretmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlisi Morris ve Salomon'un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir. Morris ve Salomon 1895 yılında 2 oturma koltuğu olan Electrobats isimli elektrikli aracı geliştirmişlerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Morris ve Salomon'un Electrobat's elektrikli aracı

EA'larla ilgili bu gelişmeler olurken, İYM'larda hızla gelişmeye başlamıştır. 1900 yılında Amerika'da üretilen araçların 1684 tanesi buhar tahrikli, 1575 tanesinin elektrik tahrikli ve 963 tanesinin de İYM'lu olduğu belirtilmektedir. Amerika'da bu gelişmeler devam ederken, 1897 yılında İngiltere'de "Londra Elektrikli Taksi Şirketi" (London Electrical Cab Company) tarafından 15 tane taksi kullanıma alınmıştır. (Şekil 2).



Şekil 2. Londra elektrikli taksi aracı

1900-1912 arası dönemde menzil ve performansı artırma düşüncesi oluşmaya başlamıştır. Bu amaçla 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları geliştirmiştir. Bu araçta elektrik motor, benzinli motor ile birlikte kullanılmış ve ilk defa hibrid konfigürasyonu denenmiştir.

Bu dönemlerde Ferdinand Porsche ilk deneysel hibrid elektrikli aracın tasarımını yapmıştır. Mixt Wagen olarak adlandırılan bu araçta yardımcı bir benzinli motor kullanılmıştır. İYM bataryaları şarj eden generatörü tahrik etmektedir ve daha sonra elektrik motorunu döndürmektedir.

1916 yılında Woods hibrid elektrikli araç üretilmiştir. Bu araçta 4 silindirli küçük benzinli motor direkt olarak elektrik motoru/generatör grubuna ve daha sonra konvansiyonel itici şaftıyla ön tahrik aksına bağlanmıştır. Bu düzenleme ile paralel hibrid elektrikli araç geliştirilmiştir.

1920'lerin başında ise hemen tüm elektrikli araç üreticileri İYM kullanarak üretimlerini sürdürmüşlerdir. 1920'lerin ortasından itibaren 1960 yıllara dek İYM'lu araçlar tüm dünyada tamamen üstünlük kurmuştur.

1960'lı yıllarda EA'lara duyulan ilgi yeniden artmaya başlamıştır. İYM'lardan kaynaklanan hava kirliliği bu araçların üretimine geçiş düşüncesini oluşturmuş ve bazı küçük üreticiler hava kirliliğine karşı EA'ların üretimine geçmiştir. Üretilen çoğu elektrikli araçlar, konvansiyonel araçların elektrikli hale dönüştürülmüş şeklidir. Örneğin 1960'da Illinois'deki Eureka Williams Şirketi 4 kapılı Renault Dauphine'i elektrikli versiyona dönüştürmüştür.

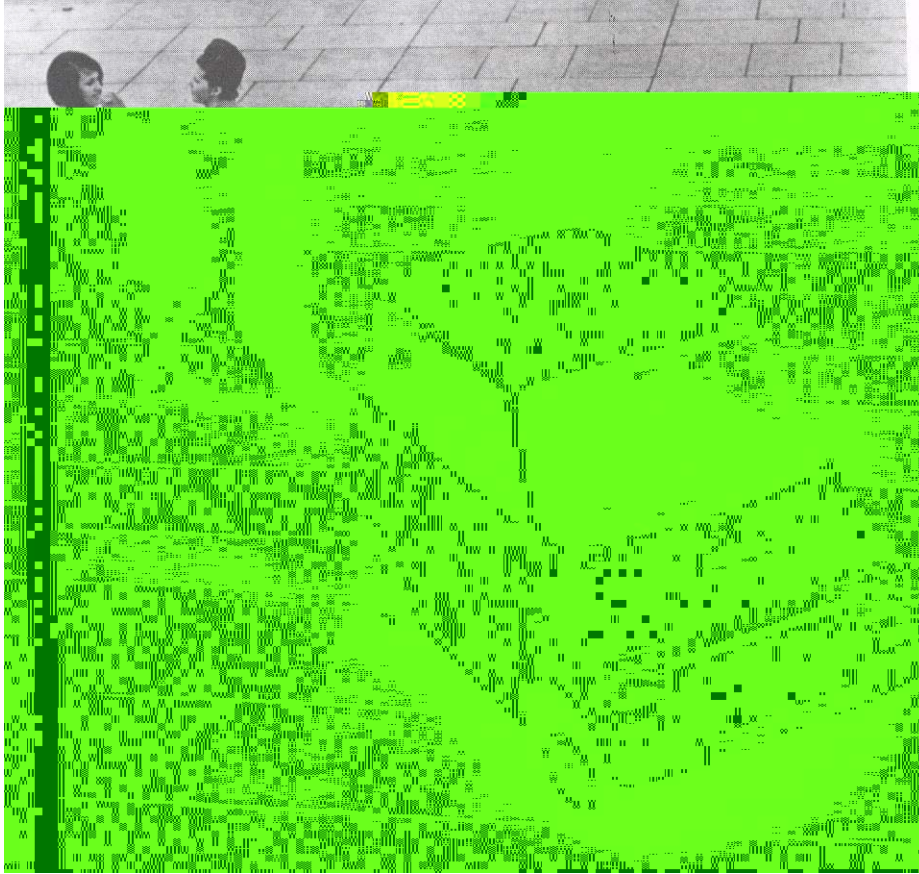
İYM'lu araçları elektrikli versiyona dönüştüren bazı önemli otomotiv firmaları, bu dönemlerde elektrikli aracı baştan sona tasarlamak üzere harekete geçmiştir. Buna bir örnek, İngiltere'deki Ford Motor firmasıdır. 1966 yılında bu firmadaşğıdaki gereksinimleri yerine getirebilecek bir elektrikli aracın tasarlanmak üzere işe koyulmuştur:

- En düşük kirlilik,
- Kolay Çalışma,
- Düşük ilk satın alma ve kullanım maliyeti,

- En düşük yol ve park alanı kaplayacak kadar küçük olmasıdır.

1967 yılında ilk prototip yapılmış ve Comuta adı verilmiştir. Bu araç şekil 3'de gösterilmiştir.

Comuta her biri ön tekeri tahrik eden 2 tane DC motoruna sahiptir. Her motor 18 kg ağırlığında ve 14 cm çapındadır. Motorun titreşimini kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir. Aracın gücü, toplam ağırlığı 170 kg olan 4 adet kurşun-asit bataryasından sağlanmaktadır. Araç 40 km/saat hız ile 64 km menzile sahip olup; azami hızı 64 km/saattir.



Şekil 3. Ford Comuta elektrikli araç

1968 yılında General Electric GE Delta aracının uygulamasını ortaya çıkartmıştır. Bu aracın menzili 64 km, azami hızı da 89 km/saattir. Bu araçta nikel-demir bataryaları kullanılmıştır. Aynı yıl Ford nikel-kadmiyum bataryaları kullanarak deneysel E-Car

aracının prototipini yapmıştır. Bu dönemde, AC tahrikindeki çok önemli gelişme olmadığı takdirde kabul edilebilir menzil ve performansa sahip EA'ların üretiminin zor olduğu görülmüştür.

1970'lerin ortalarına doğru petrol krizi ile birlikte başta Amerika, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya ve Japonya gibi bir çok ülke, elektrikli araç araştırmalarına tekrar hız vermişlerdir. Amerika'daki bazı küçük firmalar konvansiyonel araçları elektrikli hale dönüştürme çabalarına girmiştir. Avrupa'da 1970'li yıllar çok aktif bir dönemdir. 1973'de Electricite de France 80 tane konvansiyonel aracı elektrik tahrikli hale dönüştürmüştür. Almanya'da Daimler – Benz ve Volkswagen ise deneysel EA'lar yapmışlardır. 1975 yılında İtalya'da Fiat X1/23 B isimli deneysel bir prototip geliştirmiştir. Bu araç 2 kişilik olup kurşun-asit bataryaları içermekte ve DC elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Menzili 48 km ve azami hızı 64 km/saatin altındadır.

Japonya'da 1970'li yıllar boyunca Daihatsu, Toyota, Mazda ve Mitsubishi birlikte prototip EA'lar üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma için Japonya hükümeti 1971-1976 yılları arasında 20 milyon dolarlık destek sağlanmıştır. İlk araçlarda kurşun-asit bataryalarıyla birlikte DC tahriki kullanılmıştır ve 1980'lerden itibaren AC tahrikinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

1980'li yıllarda hükümetler EA'ların çevresel avantajları nedeniyle bu araçlara karşı ilgi duymaya ve elektrikli araç programları için resmi kaynaklardan parasal destek vermeye başlamışlardır. Böylece 1980 yılların ortalarında ABD Enerji bakanlığının sponsorluğu ile Ford/GE tarafından ETX-1 aracının geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu araçta ileri AC tahrik sistemi kullanılmıştır. 200 V'luk kurşun-asit bataryaları, 300A AC güç üreten Darlington transistör bazlı evirici ile birlikte 37 kW'lık 2 kutuplu indüksiyon motorunu tahrik etmek için kullanılmıştır.

1988 yılında Ford ve GE birlikte ETX-1 isimli aracın AC tahrikli sistemini geliştirmiş ve sodyum-sülfür bataryaları kullanmışlardır. Temel olarak Ford Araştırma Laboratuvarlarında geliştirilen evirici, senkron kalıcı manyetik motoru sürmektedir. Bu motor, 2 kademeli entegre dişli kutusu ile, taşıtın ön aksına monte edilmiştir. 160 km menzile sahip ve 96 km/saat hızı olan ve sodyum-sülfür bataryaları da içeren 2 tane

ETX-2 prototipi üretilmiştir. Bu 2 araç 1988 yılı Aralık ayında ABD Enerji bakanlığına teslim edilmiştir.

Fransa'da 1988 yılında 500 kadar elektrikli araç deneysel olarak kullanılmıştır. Bu araçların çoğu Peugeot 205 ya da Citroen C15 modellerinin dönüşümleridir. Almanya'da 1970'lerin sonlarındaki deneysel araçlar daha geliştirilmiştir ve 1988 yılında GES City Stromer isimli aracın dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Taşıt, o dönemin Avrupa Güvenlik Standartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Aynı dönemde İtalya'da Fiat Panda Elettra modelinin dönüşümü olan elektrikli aracı geliştirmiştir. 1988' de Japonya'da DC tahriki AC'nin yerini almış hem kurşun-asit hem de nikel-demir bataryaları ile senkron ve indüksiyon tahrik motorları kullanılmıştır.

EA'ların tarihçesindeki dönüm noktaları :

- | | |
|---------|--|
| 1800 | Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi. |
| 1821 | Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu. |
| 1834 | Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı. |
| 1859 | Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi. |
| 1869 | Gramme 1 BG' den daha fazla ilk DC elektrik motorunu yaptı. |
| 1881 | Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı. |
| 1885 | Benz ilk İYM'lu aracın uygulamasını gerçekleştirdi. |
| 1887-98 | Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirildi. |
| 1899 | Jenatzy 105.9 km/saat ile dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur. |
| 1900 | Eşit sayıdaki buharlı, elektrikli ve benzinli araçlar birbirleriyle yarıştı. |
| 1900-12 | EA'ların altın dönemi yaşandı. |
| 1921-60 | Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA'lar ise yok olmaya başladı. |
| 1960-90 | EA'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı. |
| 1990 | Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı. |

1990 yılından sonra birçok araç üreticisi elektrikli araç geliştirmeye başlamıştır. Hali hazırda bulunan bazı EA'lara örnek olarak GM EV1, Ford Think City, Toyota RAV4, Nissan Hipermini ve Peugeot 106 Electric gösterilebilir. Bunlarla birlikte prototip ve deneysel amaçlı üretilmiş birçok elektrikli araç daha bulunmaktadır. Bu araçların çoğu AC indüksiyon motor veya sürekli mıknatıslı (SM) senkron motor kullanmışlardır. 1990'larda büyük araç üreticileri EA'ların gelişmesi için batarya teknolojisinin de gelişmesi gerektiğini belirtmekte, bu amaçla da tümü-EA'ların batarya ve menzil kısıtlarını gidermek için hibrid elektrikli araç geliştirme çalışmaları başlatılmıştır. Özellikle Japon endüstrisi Toyota Prius, Honda Insight ve Nissan Tino modellerini geliştirmiştir.

3.1. Üretim Hattındaki Tümü Elektrikli Araçlar

3.1.1 The General Motors EV1

EV1 ilk olarak 1990 yılında Ocak ayında Los Angeles Auto Show Otomobil Fuarında sergilenmiştir ve ABD'de 1996 yılında pazara sunulmuştur. EV1, şehir içi kullanımı için tasarlanmıştır. İki kişilik bu araç, çift hava yastığı, CD çalar, anti-lock frenleme sistemine sahiptir (Şekil 4). GM EV1, 530 kg ağırlığında ve 16.2 kWh depolama özelliğine sahip VRLA (Valf regulated lead acid) bataryalar ile donatılmıştır. Bataryaların araca toplam 145 km menzil sağlayabildiği ve 450 derin deşarj çevrimine sahip olduğu ifade edilmektedir. 1998 yılında GM bir başka opsiyon olarak nikel-metal hidrür (NiMH) bataryaları kullanmıştır. Bu ileri batarya sisteminin aynı ağırlık ve boyuttaki VLRA bataryalarına kıyasla 2 kat daha fazla enerji depo ettiği belirtilmektedir. Geliştirme testleri ve deneyler boyunca EV1'in 600 km menzile kadar çıkabildiği ifade edilmektedir. NiMH bataryaları VLRA bataryalarından 4 kat daha pahalı olmasına rağmen, 4 kat daha uzun ömre sahiptirler. Tahrik sistemi için kullanılan üç fazlı AC asenkron motor, tekerleklerle 102 kW güç verebilmektedir. Elektrik motoru aynı zamanda frenleme esnasında bataryaların rejeneratif olarak şarjı için generatör gibi görev yapmaktadır. Batarya ve motor sistemi, aynı zamanda batarya şarjını kontrol eden elektronik modül ile kontrol edilebilmektedir. Bataryalar 312-V civarındadır. EV1 konvansiyonel araçlara göre üretim amaçlı geliştirilmiş ilk elektrikli araç olması yanında aynı zamanda EA'larında normal üretim yöntemlerine

göre üretildiğini göstermektedir. 2000 yılı Nisan ayında bu aracın üretimi durdurulmuştur.



Şekil 4. General Motors EV1 elektrikli araç

3.1.2 Ford Think City

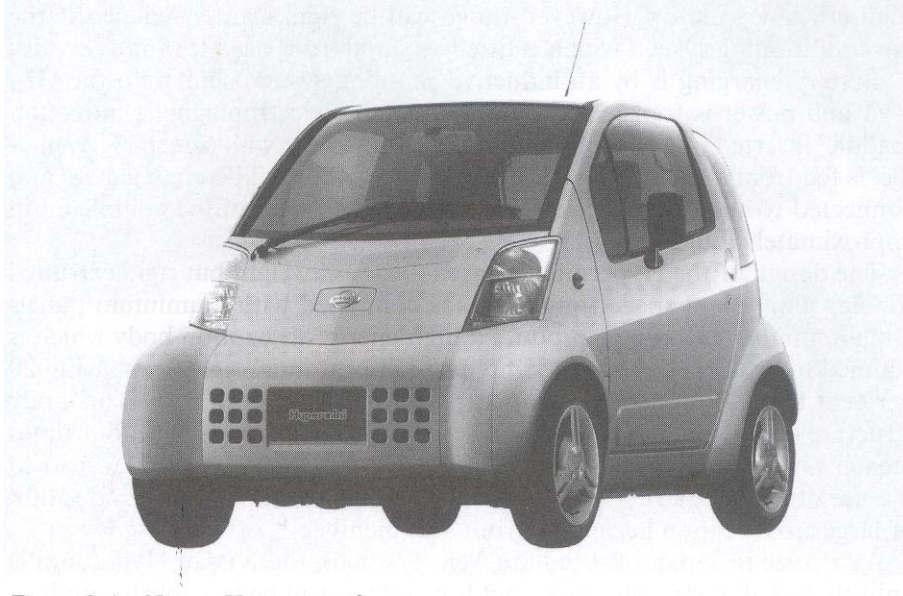
Ford Think City, Pivco Industries isimli bir Norveçli şirket tarafından geliştirilen ve şehir içinde kullanıma uygun 2 kişilik küçük bir elektrikli araçtır (Şekil 5). Bu firma 1998 yılında Ford Motor şirketinin yönetimine geçmiştir. Think City elektrikli aracı 1999 yılı Kasım ayından beri üretimdedir. 1999 yılı Aralık ayında da 120 araç siparişi olmuştur. Think City aracının ABD versiyonu hala geliştirilme aşamasındadır. Bu araçta 3 fazlı AC asenkron motor kullanılmıştır ve gücü 27 kW civarındadır. 0'dan 50 km/saate toplam 7 saniyede ulaşabilmektedir ve azami hızı 90 km/saattir. Güç nikel-kadmiyum bataryalardan elde edilmektedir .



Şekil 5. Ford Think City elektrikli araç

3.1.3 Nissan Hypermini

Nissan Hypermini birçok yönden Think City'ye benzemektedir (Şekil 6). Bu araç yine 2 kişilik kompakt bir şehir içi ulaşım aracıdır. Bu araçta 24 kW güç üreten azami torku 130 Nm ve azami hızı 6700 d/d olan SM senkron motor kullanılmaktadır. Motor arka tekerlekleri tahrik etmektedir. Aracın düşük titreşim ve gürültü ile iyi ivmelenme kabiliyetine sahip olduğu ifade edilmektedir. Motor, 90 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 15 kWh enerji depolama kapasitesine sahip lityum-iyon bataryalardan güç almaktadır. Bu batarya normal kurşun asit bataryalara göre enerji depolamada üç kat ve nikel-kadmiyum bataryalara göre de iki kat daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir.



Şekil 6. Nissan Hypermini elektrikli araç

3.1.4 Toyota RAV 4 EV

Toyota RAV 4 EV yukarıdaki araçlar arasında hem görüntü hem de konfor açısından konvansiyonel araçlara en yakın olan araçtır (Şekil 7). RAV 4 EV Japonya'da 1996 yılının Eylül ayında 45 000 ABD Doları civarında bir fiyatla otomotiv pazarında yerini almıştır. Bu araçta tahrik SM senkron motordan sağlanmaktadır ve 2 kademeli dişli kutusu bulunmaktadır. Bu motorun azami gücünün 50 kW, azami torkunun 190 Nm ve aracın azami hızının 125 km/saat olduğu ifade edilmektedir. Araçta, 450 kg ağırlığında ve 27 kWh enerji depolama kapasitesine sahip nikel-metal hidrür

bataryaları kullanılmıştır. Aracın ABD kombine test çevrimine göre şarj edildiği zaman 200 km menzile ulaştığı ifade edilmektedir.

Şekil 7. Toyota RAV4 elektrikli araç

3.2. Prototip ve Deneysel Tümü-Elektrikli Araçlar

Tablo 3’de üretilmiş bazı tümü-EA’lar ve Tablo 4 ve 5’de ise prototip amaçlı geliştirilmiş tümü-EA’lar listelenmiştir. Bu araçlarda birçok farklı batarya teknolojisi kullanılmıştır. Kurşun asit bataryaların maliyeti düşük olmasına rağmen sadece bir araçta yer aldığı görülmektedir. Diğer batarya tiplerinden nikel-kadmiyum tip bataryalar 5 araçta, NiMH bataryalar 3 araçta ve lityum-iyon bataryalar ise bir araçta yer aldığı görülmektedir. Beş araçta ise (GM, BMW ve DaimlerChrysler’in ürettiği) sodyum-nikel klorür teknolojisi kullanılmıştır.

Tablo 3. Üretim hattındaki tümü-elektrikli araçlar

Üretici	Citroen	Daihatsu	Ford	GM	GM	Honda	Nissan	Nissan	Peugeot	Renault
Model İsmi	AX/Saxo Electrique	Hijet EV	Think City	EV1	EV1	EV Plus	Hypermini	Altra EV	106 Electric	Clio Electric
Tahrik Tipi	DC motor	SM senkron	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	SM senkron	SM senkron	SM senkron	DC motor	AC indüksiyon
Batarya tipi	NiCd		NiCd	Pb-asit	NiMH	NiMH	Li-iyon	Li-iyon	NiCd	NiCd
Güç (kW)	20		27	102	102	49	24	62	20	22
Gerilim (V)	120		114	312	343	288		345	120	114
Batarya enerji Kapasitesi (kWh)	12		11.5	16.2	26.4		15	32	12	11.4
Şarj konektörü			iletken	endüktif	endüktif	iletken	iletken	iletken		iletken
Hız (km/h)	91	100	90	129	129	129	100	120	90	95
Menzil	80	100	85	95	130	190	115	190	150	80
Şarj süresi (saat)	7	7	5-8	6	6	6-8	4	5	7-8	
Satış fiyatı (\$)		23 990 \$					36 000 \$		27 000 \$	27 400 \$

Tablo 4. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş tümü-Elektrikli araçlar

Üretici	BMW	BMW	Daihatsu	Daimler Chrysler	Daimler Chrysler	Fiat	Ford
Model İsmi	E1	BMW Electric	Charade Social EV	Zytek Smart EV	A Class Electric	Seicento	e-Ka
Tahrik Tipi		SM Senkron		Fırçasız DC	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon
Batarya tipi	NaNiCl	NaNiCl	NiMH	NaNiCl	NaNiCl	Pb-asit	Li-iyon
Güç (kW)	32	45		30	50	30	65
Gerilim (V)					289	216	
Batarya enerji Kapasitesi (kWh)		29			1330	13	28
Şarj konektörü						iletken	
Hız (km/h)	130	130		97	130	100	130
Menzil	140	155	120	160	200	90	150
Şarj süresi (saat)		8			7	8	6
Üretim tarihi					2000		

Tablo 5. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş tümü-elektrikli araçlar (devam)

Üretici	Mazda	Mazda	GM	GM	Lada	Ford	Mitsubishi	Peugeot	Toyota
Model İsmi	Road-Ster-EV	Demio-EV	Impulse3	Impulse3	Rapan	Think Neighbour	Libero	Ion	E-com
Tahrik Tipi	AC	SM senkron	2x3 fazlı indüksiyon	2x3 Fazlı indüksiyon	DC	DC		DC	SM senkron
Batarya tipi	NiCd	NiMH+NiCd süperkapasitör	NiCd	NaNiCl	NiCd			NiCd	NiMH
Güç (kW)	30		45	42		5		20	19
Gerilim (V)	192		210	286		72			288
Batarya enerji Kapasitesi (kWh)			15	26					
Şarj konektörü			endüktif	endüktif					
Hız (km/h)	130		120	120	90	40	130		100
Menzil	180		80	150	100	48	250	150	100
Şarj süresi (saat)	8		6	6-8	8	4-8			
Üretim tarihi						2000	2000		

3.3. Üretim Hattındaki Hibrid Elektrikli Araçlar

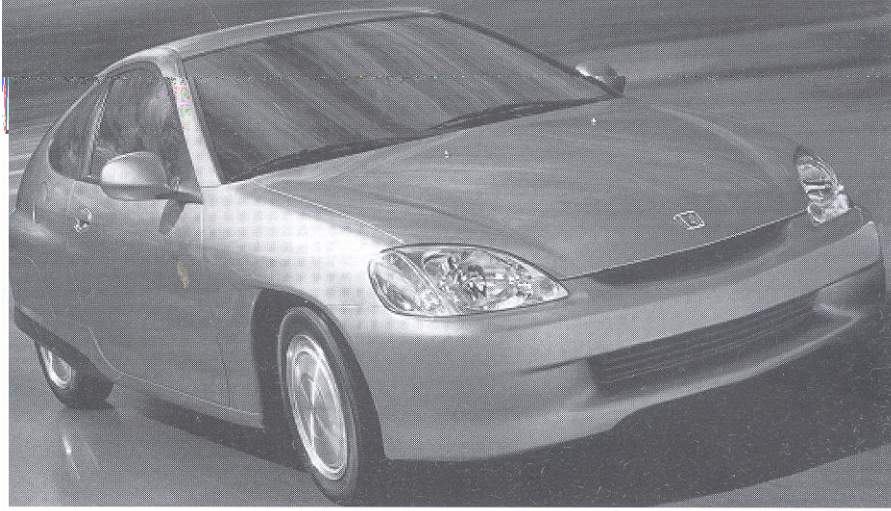
Tablo 6'da büyük üreticiler tarafından geliştirilmiş ve müşterilerden ilgi görmüş üç farklı hibrid elektrikli aracın teknik özellikleri verilmektedir.

Tablo 6. Üretim hattındaki hibrid elektrikli araçlar

Üretici	Honda	Toyota	Nissan
Model ismi	Insight	Prius	Tino
Hibrid tipi	Paralel	Paralel	
İYM	Benzinli	Benzinli	Benzinli
Motor Hacmi (cc)	995	1500	1800
Azami güç (kW) (İYM)	50	43	
Elektrikli Tahrik	SM fırçasız DC	SM senkron AC	SM senkron AC
Azami güç (kW) (elektrikli tahrik)	10	30	17
Batarya tipi	NiMH	NiMH	Li-Iyon
Sistem voltajı (V)	144	288	
Batarya enerji kapasitesi (kWh)	0.94	1.9	
Batarya şarj metodu	rejeneratif frenleme	rejeneratif frenleme ve İYM	
Hız (km/saat)	180	160	
Ort. yakıt tüketimi (litre/100km)	3.4	3.45	
Üretim maliyeti (\$)	28 000	35 000	31 000

3.3.1 Honda Insight

Şekil 8’de görülen Honda Insight 2 kişilik bir hibrid elektrikli araç olup; araçta yüksek verimli benzinli motor, elektrik motoru ve 5 kademeli dişli kutusu kullanılmıştır. Bu aracın 0’dan 100 km/saat hıza 12 saniyede ulaştığı, azami hızının 180 km/saat ve AB kombine test çevrimine göre yakıt tüketiminin 28 km/litre olduğu ifade edilmektedir. İYM hafif malzemedен yapılmıştır ve dünyanın en hafif motoru olduğu ifade edilmektedir. Elektrik motoru olarak ince (60 mm) DC fırçasız motor kullanılmıştır. Elektrik motoru direkt krank mili çıkışına bağlıdır ve gücünü 20 kg ağırlığında ve 0,94 kWh enerji yoğunluğuna sahip 144 V NiMH bataryalardan almaktadır. Bu batarya sadece rejeneratif frenleme ile şarj olmaktadır. Aracın toplam gücü, ivmelenme ve yokuş çıkma esnasında İYM’nin gücüne eklenen elektrik motorunun da desteği ile 50 kW’dan 56 kW’a ve torku ise 4800 d/d’da 91 Nm’den 113 Nm’ye çıkmaktadır.



Şekil 8. Honda Insight elektrikli araç

3.3.2 Honda Civic

Honda Civic Hibrid 2003 modelinde 4 silindirli 1339 ml benzinli İYM kullanılmıştır (Şekil 9). İYM’nin gücü 5700 d/d da 85 BG’dir. İYM çok noktadan enjeksiyon sistemine sahip olup 8 sübaplıdır. Yardımcı güç ünitesi olarak sürekli miktatsızlı elektrik motoru kullanılmaktadır. Bu motorun gücü 4000 d/d’da 13.4 BG’dir. Enerji depolama sistemi olarak 144 hücreden oluşan NiMH bataryalar kullanılmaktadır.

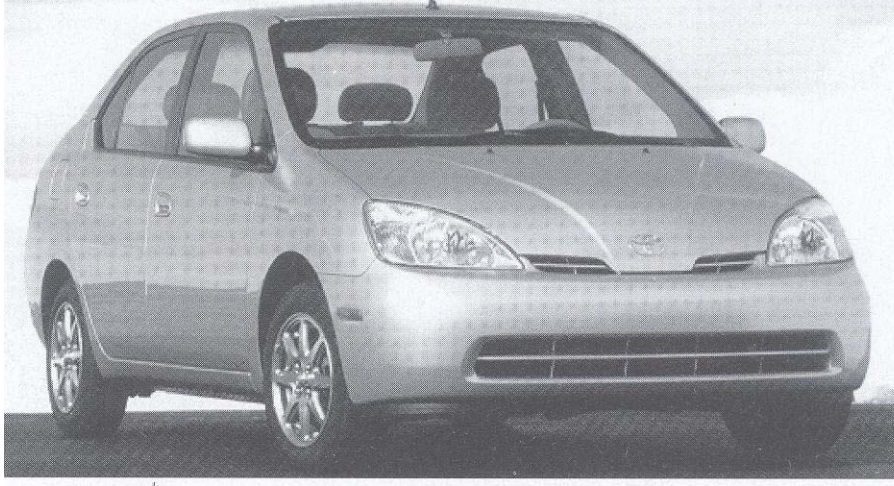


Şekil 9. Honda Civic hibrid araç

3.3.3 Toyota Prius

5 kişilik Toyota Prius hibrid elektrikli aracında benzinli motor ve elektrik motoru arasındaki güç paylaşımı Honda Insight'e göre daha eşit şekilde olmaktadır (Şekil 10). Bu paylaşım hibrid transmisyon sistemi ile sağlanabilmektedir. Planet dişli sistemi kullanılarak güç paylaşımı sağlayan bir sistem vardır. İYM mili planet dişli taşıyıcısına bağlıdır. Generatör tarafından üretilen elektrik enerjisi ya elektrik motoruna veya bataryanın şarj olabilmesi için DC akımın üretilmesi için eviriciye yönlendirilir.

Prius aracında 1.9 kWh kapasitede yüksek performanslı NiMH bataryaları kullanılmıştır. Toyota özel hibrid sistemde kullanılması amacıyla 1.5 litre benzinli motor geliştirmiştir. Bu motorda yüksek sıkıştırma oranının sağlanabilmesi ve bu sayede yüksek yanma veriminin sağlanabilmesi amacıyla çok küçük bir yanma odası kullanılmıştır. Bu motor düşük devirli olduğu için (azami 4000 d/d) hareketli parçalar daha hafif yapılabilmektedir.



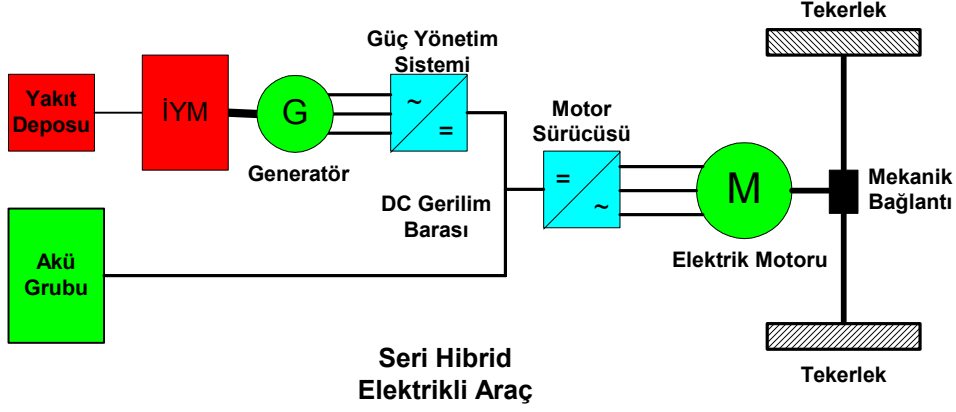
Şekil 10. Toyota Prius hibrid elektrikli araç

3.4. Prototip ve Deneysel Hibrid Elektrikli Araçlar

3.4.1 TOFAŞ-FIAT Doblo

TÜBİTAK-MAM ELİT-1 Elektrikli Taşıt projesinde, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası üretimi olan DOBLO marka taşıtı hibrid elektrikli taşıta dönüştürülerek Türkiye'nin ilk hibrid elektrikli taşıt prototipi geliştirilmiştir. Bu proje ile ilgili araç ve önemli oranda finansman desteği TOFAŞ A.Ş. tarafından sağlanmıştır.

ELİT-1 seri hibrid elektrikli taşıtta, bir elektrik motoru tekerleri tahrik etmektedir. (Şekil 11). Şehir içi sürüş modunda, elektrik motoru, sadece bataryalar tarafından sürülerek sessiz ve emisyonsuz bir sürüş imkanı yaratmaktadır. Aynı zamanda, günümüz araçlarında frenleme sırasında kaybolan enerji, ELİT-1 hibrid elektrikli taşıttaki elektrik motorunun rejeneratif frenleme yapması sayesinde geri kazanılarak akülerde depolanmaktadır. Bir başka önemli özelliği de şehir içindeki trafik sıkışıklıklarındaki bekleme anında, elektrik motorunun çalışmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikler, taşıtta enerji tasarrufu sağlamak ve taşıtın verimliliğini arttırmaktadır. Ayrıca prototipe hibrid özelliğini veren İYM ve generatör, prototipin şarj istasyonlarına bağımlılığını ortadan kaldırmakta ve prototipin sürekli kullanımına fırsat sunmaktadır.



Şekil 11. Tofaş-Fiat Doblo Seri Hibrid Elektrikli Araç

Teknik açıdan incelendiğinde ELİT-1 seri hibrid tahrik sistemi konfigürasyonunda bir elektrikli araçtır. İçten yanmalı benzinli bir motor ve generatör seti bataryalar ile birlikte elektrik motorunu çalıştırmaktadır. Tasarım hedeflerinde şehir içi kullanımı ön plana alınan ELIT-1, sessiz sürüş modunda kullanıldığında yalnızca bataryalar ile 120 km menzile sahiptir. Yapılan test sürüşlerinde hedeflenen tasarım hızı olan 96 km/saat azami hıza ulaşılmıştır. Şekil 12, ELIT 1 görülmektedir.



Şekil 12. Seri hibrid Tofaş-Fiat Doblo aracı (ELIT-1 Projesi)

Tablo 7,8 ve 9'da prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid Elektrikli araçların listesi verilmiştir.

Tablo 7. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar

Üretici	BMW	BMW	Citroen	Citroen	Daimler Chrysler	Daimler Chrysler	Fiat
Model İsmi	518 Hybrid	3 Series Hybrid	Xsara Dyn-active	SaxoDynavol	ESX 3	Dodge Durango	Multipla
Hibrid tipi	Paralel	Seri	Paralel	Paralel	Paralel	Paralel	Paralel
İYM	4 silindirli	4 silindirli	4 silindirli	2 silindirli	DI Dizel	V6	4 silindirli
Hacim (cc)		1600	1360	400	1500	3800	1600 (16V)
Güç(kW) (İYM)			55	6.5	54	52	76
Elektrik tahriki	3 fazlı indüksiyon	SM Senkron		DC	AC indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon
Güç (kW) (elektrik motoru)	26		25	20	15		30
Batarya tipi	NiMH		NiCd	NiCd	Li-iyon		NiMH
Sistem gerilimi(V)	200		168	120	300		216
Batarya enerji Kapasitesi (kWh)							19
Batarya şarj Metodu	İYM ve rejeneratif frenleme		İYM ve rejeneratif frenleme	İYM ve rejeneratif frenleme	rejeneratif frenleme	İYM	İYM ve rejeneratif frenleme
Transmisyon					Elektro-mekanik otomatik	Elektronik kontrollü manuel	4kademeli mekanik
Hız(km/h)			170	120			160
Ortalama yakıt Tük.(litre/100km)			5.2		3.3	12.6	6.8

Tablo 8. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar (devam)

Üretici	Ford	Ford	GM	GM	GM	Mitsubishi	Mitsubishi	Nissan
Model İsmi	P2000	Escape HEV	Precept	EV1 Hybrid	Silverado	HEV	ESR	Neo Hibrid
Hibrid tipi	Paralel	Paralel	Paralel				Seri	Paralel
İYM	DI Dizel	4 sil. benzinli	DI Dizel	Dizel	V6	CNG		
Hacim (cc)	1200	2000	1300		3600	1500		1800
Güç(kW) (İYM)	55		40		164	20		
Elektrik tahriki	3 fazlı indüksiyon	SM	2x3 fazlı indüksiyon		2x3 fazlı	2x3 fazlı indüksiyon		SM
Güç (kW) (elektrikli tahrik)	30	65	25 önden 10 arkadan		24	60		
Batarya tipi	NiMH	NiMH	Li-lyon ya da NiMH			Li-iyon		Li-iyon
Sistem gerilimi(V)		300	330			336		
Batarya şarj Metodu	İYM ve rejeneratif frenleme	rejeneratif frenleme	İYM ve rejeneratif frenleme			İYM ve rejeneratif frenleme		
Transmisyon	5 kademeli elektronik							
Hız(km/h)								
Ortalama yakıt (litre/100km)	(2.94)	(5.8)	(2.94)	(2.94)	(6.7)			
Üretim tarihi	2003	2003	2005+		2004	2001		

Tablo 9. Prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar (devam)

Üretici	Renault	Renault	Renault	Renault	Toyota	Volvo
Model İsmi	Next	Velt	Modus	Koleos	HV-M4	ECC
Hibrid tipi	Paralel	Çift motor	Çift motor	Paralel	Paralel	Seri
İYM		Dizel turbo alternatör	Turbo alternatör	Benzinli turbo	Benzinli	Dizel gaz türbini
Hacim (cc)	750			2000	2400	
Güç(kW) (İYM)	35	38	38	126		
Elektrik tahriki	Çift SM Tekerlek içi	Çift SM Senkron	Çift SM Senkron			
Güç (kW) (elektrik motoru)	14	90	90	30		
Batarya tipi	NiCd	NiCd	NiCd	Li-iyon		NiMH
Sistem gerilimi(V)			300			
Batarya enerji Kapasitesi (kWh)		6.6	5.5			
Batarya şarj Metodu						
Transmisyon					CVT	
Hız(km/h)	167	165				
Ortalama yakıt (litre/100km)	(3.4)					

3.5. Prototip Yakıt Pili Araçlar

Tüm büyük araç üreticileri yakıt pilli elektrikli araçlar üzerine çalışmaktadır. Tablo 10 ve 11’de prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli araçların bilgileri verilmiştir.

3.6. Elektrikli Muharebe Araçları

Dünyada gelişen çevresel duyarlılık ve fosil kökenli kaynakların azalmasının oluşturduğu talep doğrultusunda elektrikli araç teknolojisinde ve elektrikli sürüş tahrik sistemlerinde hızlı gelişmeler ortaya çıkmaktadır. Bu durum Sivil araç uygulamalarının yanında elektrikli muharebe araç konusunda yapılan çalışmaları hızlandırmıştır.

Elektrikli muharebe araçlarının askeri alanda kullanımı envanterinde buldukları ordulara büyük avantajlar sağlayacaktır. Askeri alanda kullanımın sivil uygulamalara nazaran avantajları aşağıda özetlenmiştir:

- Esneklik
- Düşük ağırlık/hacim
- Yüksek menzil
- Optimum dizel performansı
- Sessizlik
- Düşük iz
- Yüksek ivmelenme
- Frenlemede enerji kazanımı
- Düşük maliyet
- Düşük lojistik destek ihtiyacı
- Güç kaynağı modu

Avrupa Uzun Vadeli Savunma İşbirliği (EUCLID) programı çerçevesinde “Elektrik Mühendisliği” konulu çalışma alanında elektrikli taşıtların gelişmesinde büyük rol oynayacak “Enerji Depolama Sistemleri”, “Yakıt Pilleri” ve “Kara Taşıtları Entegrasyonu” projelerinde Türkiye adına Milli Savunma Bakanlığı AR-GE dairesi ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi görev almıştır.

Kara Taşıtları Entegrasyonu projesi, 24 ton ağırlığında konvansiyonel bir muharebe aracının savaş gücünün ve hareket kabiliyetinin artırılması amacıyla, elektrikli hale dönüştürülmesiyle ilgili yeni bir çalışmadır. Projede kullanılacak ana sistemler, ayrı projelerde tek tek ele alınmakla birlikte, araç tasarımında bir bütün olarak incelenmiştir. Muharebe aracı ve sivil araç uygulamasında kullanılacak teknolojilerin gelişmesine ışık tutmuş önemli bir projedir. Bu projeye 6 ülkeden (İsveç, Hollanda, İtalya, Finlandiya, Yunanistan ve Türkiye) 12 şirket ve araştırma kurumları katılmıştır.

Bu projelere katılan ülkeler, proje çalışmalarının paralelinde kendi milli araçlarını geliştirebilmek için ayrı projeler başlatmışlar ve önemli adımlar atarak ilk prototiplerini dünyaya sergilemişlerdir. (Şekil 72-73)



Şekil 13. WIESEL Hafif Zırhlı Elektrikli Paletli Araç



Şekil 14. SEP Lastik Paletli Hafifi Zırhlı Piyade Aracı

Türkiye'nin küresel rekabet gücünün artırılmasını misyon edinen TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, diğer ülkeler gibi çalıştığı projelerin paralelinde kendi ülkesinin ilk prototiplerini yapabilecek aşamaya gelmiştir.

Devamında, savunma sanayimizin önemli kuruluşu olan FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi birlikte elektrikli muharebe aracı çalışmalarına başlamıştır. Bu çalışmalarda, önümüzdeki yıllarda paletli ve lastik tekerlekli muharebe araçlarının ilk prototiplerinin üretimi hedeflenmektedir. (Şekil 75)



Şekil 15. FNSS Muharebe Aracı

Elektrikli araç konsepti, değerlendirildiğinde sivil ve askeri amaçlı teknolojilerin kullanıldığı farklı amaçlara sahip platformlara da zemin hazırladığı görülmektedir. Günümüzde insansız kara aracı olarak adlandırılan uygulamanın önemli bir yeri vardır. İnsansız araç uygulamasına en çarpıcı örnekler, emniyet birimlerinin kullandığı uzaktan kontrollü araçlardır. Bu araçların gelişmesi ve işlevlerinin artırılması elektrikli araçlarda kullanılan elektrik teknolojisinin gelişmesine bağlıdır.

Tablo 10. Prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli elektrikli araçlar

Üretici	Daimler Chrysler	Daimler Chrysler	Ford	Ford	GM	GM
Model İsmi	NECAR5	Commander	P2000	Think Focus	Opel Zafira	Opel Zafira
Tahrik Tipi	3 fazlı İndüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon		
Güç Kaynağı	Yakıt pili+Metanol yakıt dönüştürücü ve H ₂ depolama	Yakıt pili+ Metanol yakıt dönüştürücü +batarya	Yakıt pili+ H ₂ depolama	Yakıt pili+ H ₂ depolama	Yakıt pili+ Metanol yakıt dönüştürücü +H ₂ depolama	Yakıt pili+ H ₂ depolama
Güç (kW)	55	70	67	67	80	89
Gerilim (V)	330		255	315		
Hız (km/h)	145		128	128	120	145
Menzil	450		160	160	640	400
Üretim tarihi	2004	2004?	2004	2004	2004	

Tablo 11. Prototip ve deneysel amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli elektrikli araçlar (devam)

Üretici	Honda	Mazda	Mitsubishi	Nissan	Peugeot/Citroen	Renault/Volv	Toyota
Model İsmi	FCX-V3	Demio-FCEV	Fuel-Cell EV	FCV	Partner	Fever	FCEV
Tahrik Tipi	SM senkron	3 fazlı indüksiyon		SM senkron	senkron	SM senkron	
Güç Kaynağı	Yakıt Pili + H ₂ depolama+ Süperkapasitör	Yakıt Pili + H ₂ depolama + Süperkapasitör	Yakıt Pili + Yakıt dönüştürücü	Yakıt dönüştürücü	Yakıt Pili + Yakıt dönüştürücü ve H ₂ depolama	Yakıt Pili + H ₂ depolama+ NiMH batarya	Yakıt Pili + metanol yakıt dönüştürücü
Güç (kW)	60	65				30	50
Gerilim (V)						250	
Hız (km/h)	145	90				120	125
İddia edilen menzil	400	170				400	500
Üretim tarihi	2003		2005	2004/5	2003/4	2003+	

REFERANSLAR

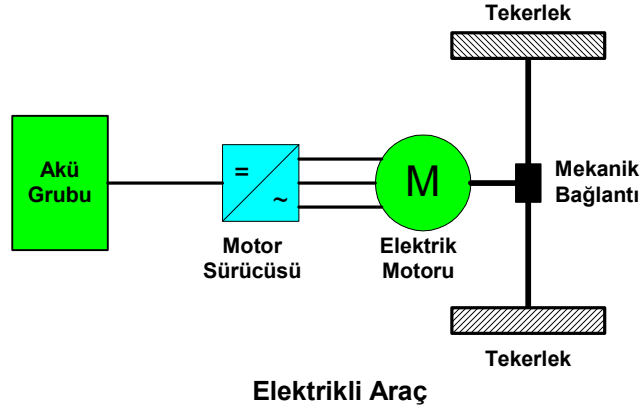
1. Westbrook M.H, 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", London, SAE.

4. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİ

Elektrikli araçlarda, araç içerisine yerleştirilmiş enerji üretim, dağıtım ve tahrik sistem elemanları birlikte çalışmaktadır. Sistem içerisindeki elemanların birbirlerine bağlanma şekilleri, enerji akışındaki tercihleri ve farklılıklarına göre tahrik sistem konfigürasyonları tanımlanmıştır. Elektrikli araç teknolojisinde kullanılan konfigürasyon ve temel bağlantı şekilleri hakkında bilgi aşağıda sunulmuştur.

4.1. Tümü-Elektrikli araçlar

Tümü-Elektrikli Araçlar (tümü-EA), depolanan ya da üretilen tüm itici gücü elektrik olarak kullanmaktadır. Bu tip araçlarda ana güç kaynağına ek olarak yardımcı güç kaynakları da bulunmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektriksel enerji bataryalardan elde edilmektedir. Bunun yanında tümü-EA'larda ana bataryaya ilave yardımcı güç kaynağı olarak ikinci bir batarya veya süperkapasitör kullanılabilir. Bu yardımcı güç kaynakları pik çalışma şartları altında örneğin bir yokuşu tırmanırken veya ivmelenirken kısa periyotlar için yüksek güç sağlayabilmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu uzun sürüş menzili, yüksek güç yoğunluğu ise ivmelenme ya da yokuş tırmanma ihtiyacını karşılayan dizayn parametreleridir. Bu durumun etkisi öncelikle yüksek enerji, düşük güç yoğunluğuna sahip batarya tipleri için önemlidir. Örneğin alüminyum-hava bataryalar 220 Wh/kg gibi yüksek enerji yoğunluğunun yanında, 30 W/kg gibi düşük güç yoğunluğuna sahiptirler. İyi bir ivmelenme veya tırmanma performansı için yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulması durumunda yüksek güç yoğunluğuna sahip yardımcı güç kaynağına gereksinim duyulmaktadır. Şekil 16'da tümü-EA akış şeması görülmektedir.



Şekil 16. Tümü-elektrikli araç

Yüksek bir ivmelenme için son yıllarda prototip tümü-EA'larda yardımcı güç kaynağı olarak süperkapasitörler de kullanılmaktadır. Mevcut süperkapasitörlerin enerji yoğunluğu yaklaşık 15 Wh/kg civarında olmasına rağmen güç yoğunluğu 1 kW/kg dır. Yürütülen çalışmalarda önümüzdeki yıllarda bu değerın 4 kW/kg değerine yükseltilmesi hedeflenmektedir.

Tümü-EA'ların şarj edilebilir bataryalarında depolanmış bulunan elektrik enerjisi motor kontrolörüne güç sağlamaktadır. Motor kontrolörü gaz pedalının pozisyonuna bağlı olarak elektrik motoruna gidecek gücün miktarını ayarlamaktadır.

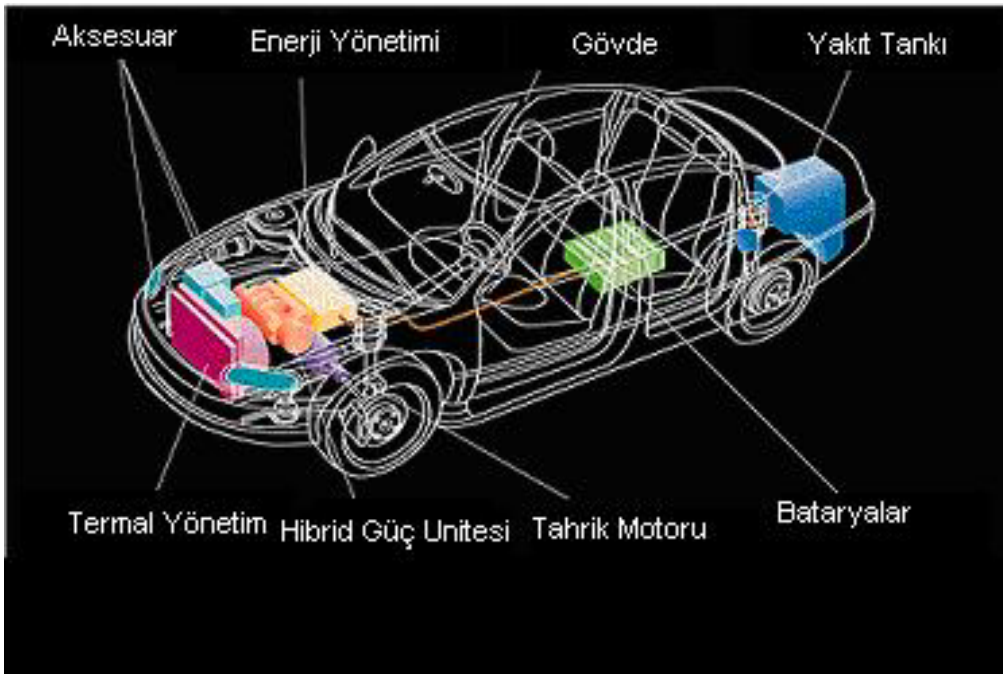
Tümü-EA'lar konvansiyonel araçlara göre daha verimlidir. Bir bataryalı elektrikli araç yaklaşık % 46 verimle çalışmasına karşın, konvansiyonel araçlar %18-25 arasında çalışmaktadırlar. Bir başka deyişle elektrikli araç bataryalarının şarjı için prizden çekilen enerjinin % 46'sı tekerleklerde kullanılabilir işe dönüştürülmektedir. Bunun tersi, konvansiyonel araçlarda yakıt tankında bulunan sıvı yakıtın % 18–25 kadarı tahrik tekerlerinde işe dönüştürülebilmektedir. Ancak bu durumda elektriğin santrallerde üretilmesi sırasında oluşan kayıpla dikkate alınmalıdır.

4.2. Hibrid Elektrikli Araçlar

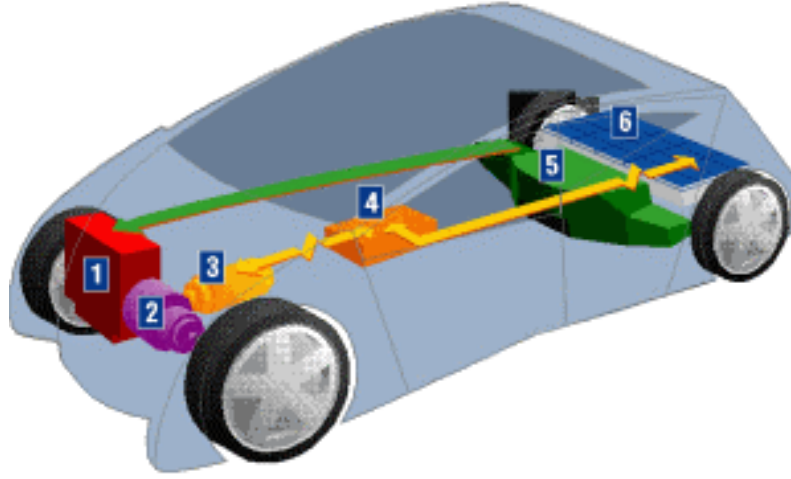
Daha önceden de bahsedildiği gibi HEA'lar birden fazla güç sistemine sahip araçlar olarak ifade edilebilmektedir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun Teknik Komitesi (Elektrikli yol araçları) tarafından verilen tanıma göre hibrid elektrikli araç, enerjinin iki ya da daha fazla enerji deposundan sağlandığı ve bu enerji depolarından

en az bir tanesinin elektrik enerjisi verdiği bir araç olarak ifade edilmiştir. Bu genel ifadeye bağlı olarak, batarya-yakıt pili, batarya-kapasitör ya da batarya - batarya gibi bir çok çeşit hibrid elektrikli araç versiyonları vardır. Bununla beraber yukarıdaki ifade geniş çevrelerce tam olarak kabul görmemiştir. Bir diğer tanımlamada ise hibrid elektrikli araç daha çok hem İYM'unun hem de elektrikli motorun kullanıldığı araç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle daha kolay anlaşılabilmesi açısından bu kitapta batarya+yakıt pilli EA'lar ayrı bir bölümde incelenmiştir.

Bir hibrid elektrikli araç enerji dönüşüm sistemi, enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıtı itici sistemden oluşmaktadır. Enerji depolama için başlıca seçenekler bataryalar, süperkapasitörler 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 hibrid de olduğu gibi elektrik motoruna ek olarak İYM'undan sağlanabilmektedir. Çünkü paralel hibrid sistemde İYM, itici gücü mekaniksel olarak tekerlere vermektedir. (Şekil 17 ve 18)



Şekil 17. Hibrid sistem



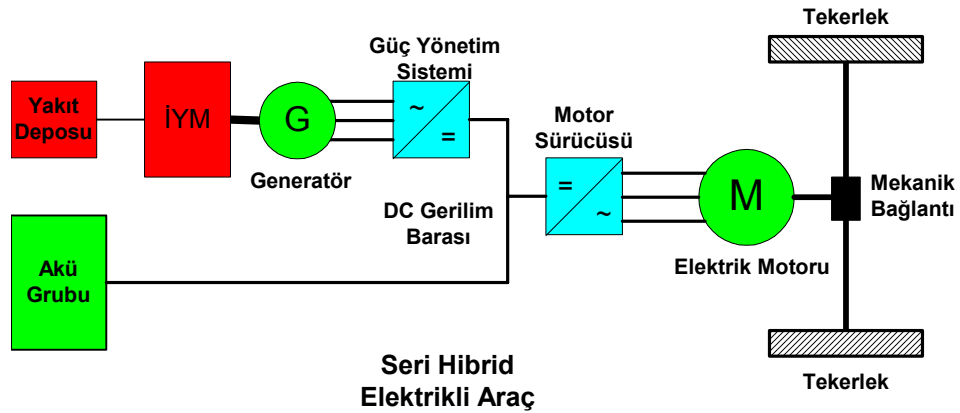
Şekil 18. Hibrid elektrikli Araç

Şekil 15’de hibrid elektrikli aracın alt elemanları aşağıda belirtilmiştir.

- İYM
- Transmisyon
- Elektrik motoru
- Güç elektroniği
- Yakıt tankı
- Bataryalar

4.2.1 Seri Tahrik Sistemi (Seri Hibrid)

Bir seri HEA’da tekerleklere iletilen tahrik gücü elektrik motorundan sağlanmaktadır. Burada elektrik motoru, tahrik amacıyla elektriksel gücü mekanik güce dönüştürmektedir. Motor için gerekli elektriksel, güç elektrik enerjisini depolama aygıtlarından ya da hibrid güç ünitesinden sağlanmaktadır. Hibrid güç ünitesi İYM ve generatörden oluşmaktadır (Şekil 19 ve 20).



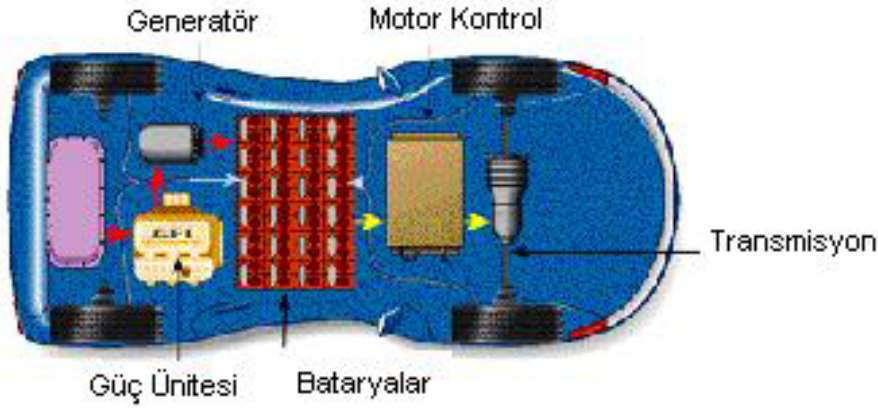
Şekil 19. Seri hibrid elektrikli araç

İYM+generatör grubu yakıtın kimyasal enerjisini önce mekanik sonrasında elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen elektrik gücü bataryadan gelen güçle beraber elektronik kontrolörde birleşir. Bu kontrolör daha sonra sürücünün komutlarını tekerlek hızı ve ana tahrik motorundan elde edilen tork ile karşılaştırır ve her enerji kaynağından ne kadar güç kullanacağını sürücünün isteğine göre belirler. Kontrolör aynı zamanda güç elektroniğini İYM-generatörü sürücü fren yapmak istediğinde rejeneratif mod için açar kapatır ve gücü bataryaları şarj edecek şekilde yönlendirir. Böylelikle generatörde üretilmiş olan elektrik enerjisi aynı zamanda bataryaları şarj etmek için de kullanılmış olur. Araç çalışırken bataryalar hem İYM-generatör grubu tarafından hem de rejeneratif frenleme ile şarj edilmektedir. Aynı zamanda şarj cihazları ile özellikle geceleri yaklaşık 5-8 saat içinde şarj edilir. Şekil 18'da bataryalı seri hibrid sistem görülmektedir.

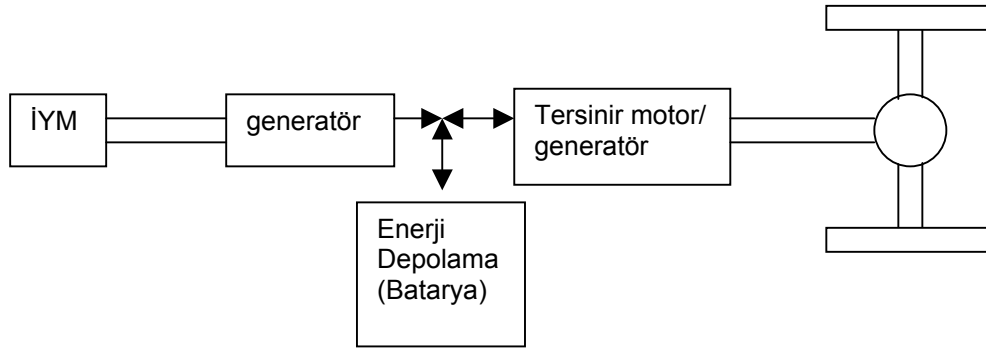
Kontrolör, İYM+generatör grubunu kullanarak bataryaları belirlenen döngülere göre belli limitler oranında şarjlı tutar. Batarya şarj oranı bu limitin altına düşerse, İYM çalışmaya başlar. Benzer şekilde batarya şarjı üst limiti aşarsa, İYM durur. Bununla birlikte bazı seri araçlarda, motora sağlanan elektriksel güç hem bataryalardan hem de İYM/generatör grubundan sağlanmaktadır. Tekerleklerle sadece elektrik motorları bağlı olduğu için, İYM yakıt tüketimini azaltacak şekilde optimum performansta çalışmaktadır.

Seri hibrid sistem, yakıt pilli araca en yakın elektrikli araç konfigürasyonudur. Araç bu sayede sadece bataryalarını kullanarak hareket edebilmektedir. Ayrıca elektrik motorunun kendisi tekerlekleri tahrik edebilmektedir. Burada kavrama ya da çok kademeli transmisyona gerek yoktur. Özellikle elektrik motorunun düşük devirlerde torku yüksek olduğu için düşük devirlerde vites redüksiyonuna gerek kalmamaktadır. Aynı zamanda İYM tekerleklerle bağlı olmadığı için optimum verimde çalışabilmektedir. Böylelikle konvansiyonel olmayan motor tipleri de kullanılabilir. Örneğin gaz türbinleri, Atkinson ya da Stirling motorları.

Seri tahrik sisteminin bir dezavantajı paralel tahrikte olmayan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan generatördür. Generatör taşıt ağırlığını arttırmakta ve sisteme ek maliyet getirmektedir. Ayrıca toplam sistem verimi enerji dönüşüm basamaklarının daha fazla olmasından dolayı paralel sisteme göre düşüktür.



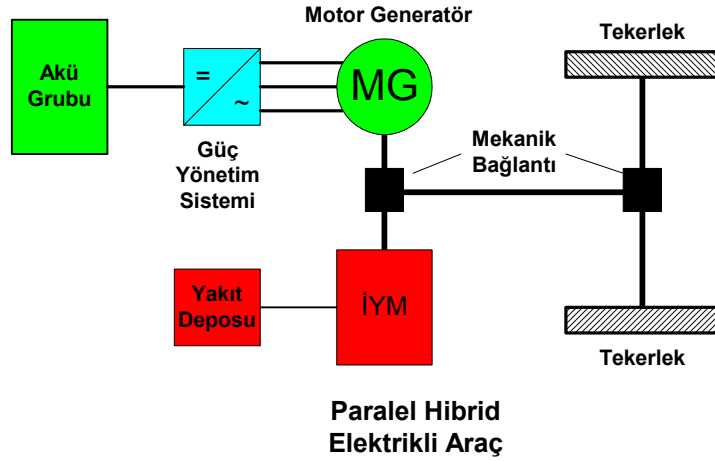
Şekil 20. Seri hibrid Sistem



Şekil 21. Bataryalı seri hibrid sistem

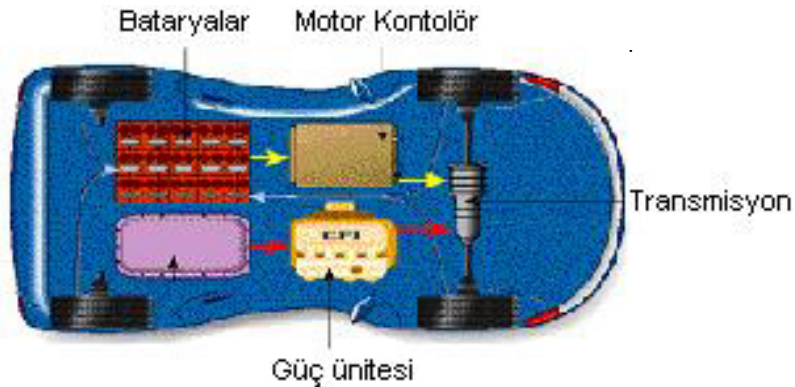
4.2.2 Paralel Tahrik Sistemi (Paralel Hibrid)

Paralel hibrid elektrikli araçta, İYM ve elektrik motorunun aynı mil üzerinde tekerleklere doğrudan mekanik bağlantı ile tahrik vermektedir (Şekil 22). Paralel hibrid araçlara örnek olarak, Honda Insight ve Honda Civic verilebilir. Paralel tahrik sistemleri mekanik olarak seri hibrid sistemlere göre daha karmaşıktır. Örneğin İYM'nin tekerleklere tahrik verebilmesi için bir transmisyonla ihtiyaç vardır. Tüm bu elemanların birlikte düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kontrolör seri hibride göre ilave özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Paralel tahrikli taşıtlarda konvansiyonel taşıtlara göre daha küçük İYM kullanılır. Toplam güç ihtiyacı, çalışma verimine bağlı olarak kontrolör hangi kaynaktan ne kadar güç çekeceğini belirler. Kontrolör; yakıt ekonomisi, performans, emisyon ve menzil için optimize edilmiştir. Şekil 23'de paralel hibrid elektrikli araca ait akış şeması görülmektedir.

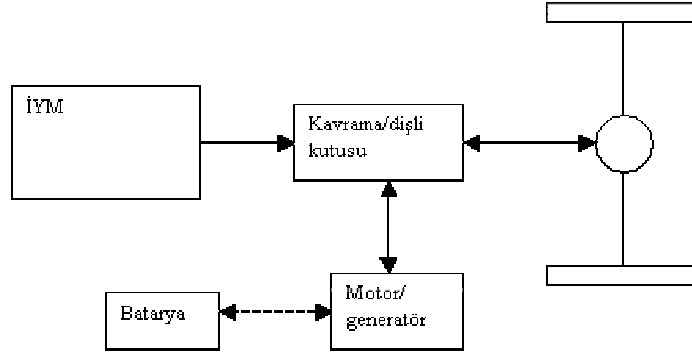


Şekil 22. Paralel hibrid elektrikli Araç

Seri hibrid sistemde olduğu gibi paralel hibrid sistemde de rejeneratif frenleme ile bataryalar şarj edilebilmektedir. Paralel hibrid sistem, seri sisteme göre daha küçük kapasiteli bataryalar kullanıldığı için şarj çoğunlukla rejeneratif frenleme sırasında yapılır. Buna ek olarak sürüş esnasında da elektrik motoru generatör gibi davranarak bataryaları şarj edebilmektedir. Daha küçük elektrik motoru ve bataryaların kullanılması paralel hibrid sistemin fiyatını seri hibrid sisteme göre daha düşük kılmaktadır. Burada içten yanmalı motor direkt olarak tekerleklere bağlı olduğu için seri hibrid sisteme göre toplam enerji dönüşüm verimi daha yüksektir. Ayrıca hem İYM hem de elektrik motoru aynı anda güç sağladığı için taşıtın gücü daha fazladır.



Şekil 23. Paralel hibrid sistemin yerleşimi



Şekil 24. Paralel hibrid sistem akış şeması

4.2.3 Seri / Paralel Tahrik Sistemi (Seri/Paralel Hibrid)

Bu seri/paralel tasarım paralel sisteme benzemektedir. Burada İYM direkt olarak tekerleklere bağlıdır. Tasarımın özelliği İYM'nin transmisyon ile bağlı olmayıp seri tahrik sisteminde olduğu gibi generatör ile bağlı olmasıdır. Sonuçta İYM optimum verimde çalışabilmektedir. Düşük hızlarda araç seri hibrid sistemde olduğu gibi çalışmaktadır. Yüksek hızlarda ise İYM devreye girerek tekerleklere güç verir ve seri tahrikteki gereksiz enerji dönüşümleri ile kaybedilen enerji en düşük seviyeye indirilir.

Toyota Prius'da bu sistem kullanılmıştır. Burada amaç hem paralel hem de seri sistemin avantajlarını kullanarak İYM'nin en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır. Bundan sonra Japonya'da kısa bir süredir satılan Nissan Tino Hibrid geliştirilmiştir.

4.3. Yakıt Pili Elektrikli Araçlar

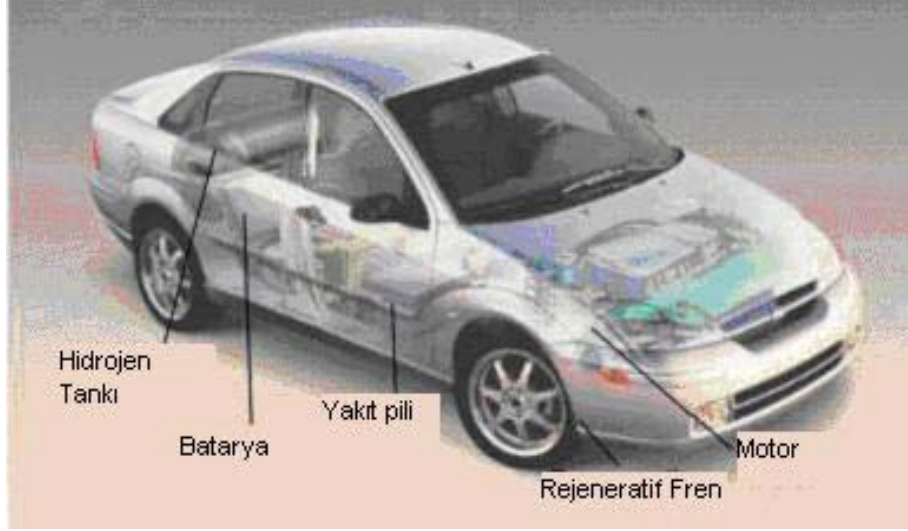
Bir yakıt pili EA; yakıt depolama sistemi, yakıt pili-kontrol ünitesi, güç işlemci ünitesi-kontrolü ve tahrik sisteminden (elektrik motorları, vb) oluşmaktadır. Yakıt depolama sisteminde depolanan hidrojen direkt olarak veya fosil kökenli yakıtların, yakıt işleme prosesine tabi tutulması ile elde edilen hidrojen yakıt piline beslenir. Bir yakıt pil biriminin çıkış gerilim değeri 0,7 Volt mertebesindedir. Bu nedenle birkaç yakıt pil birimi seri olarak bağlanarak çıkış gerilimi arttırılır. Yakıt pili ve elektrik motoru arasındaki güç elektroniği devresi, gerilim değerinin yükseltilmesi amacı ile için DC motorlarda DC/DC çeviricisine, AC

motoru için DC/AC evircisine, kontrol için mikroşlemci/dijital sinyal işlemcisin, aşırı yükleme şartları ve rejeneratif frenleme için batarya depolama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt pilli elektrikli bir araçta batarya yerine süperkapasitörler de kullanılmaktadır. Fakat mevcut teknoloji daha süperkapasitörlerin bataryaların yerini alabilmesi için maliyet ve güvenilirlik açısından geliştirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Yakıt pilinin performansı gerilim ve akım çıkış karakteristikleri nedeniyle yük değişimlerine karşı duyarlıdır. Yakıt pilinin kontrol ünitesi, gerilim ve akım bilgilerini düzenleyerek istenilen güce göre yakıt piline girecek hidrojenin miktarını ayarlar.

Proton elektrolit membranlı yakıt pilleri (PEMYP) uygulamalarında yakıt saf hidrojenidir. Bu durumda, hidrojen sıvı fazda basınçlandırılmış şekilde tankta veya metal hidrürlerle üzerine depo edilir. Hidrojeni depo etmenin en kolay ve en ucuz yolu sıkıştırılmış hidrojeni paslanmaz çelik veya alüminyum alaşımlı tanklarda depo etmektir. Yeterli miktarda hidrojeni depolayabilmek için gerekli 400 atm veya üstüne sıkıştırma işlemi sırasında yüksek miktarda enerjiye gerek duyulmaktadır. Hidrojeni bu basınçlara yükseltmek için, depolanmış hidrojenin yaklaşık %20'si harcanmaktadır. Bu yöntemle gerekli olan basınç tankı araçta fazla yer tutmaktadır. Hidrojenin depolandığı yakıt tankının hacmi aynı enerjiyi içeren benzin tankının hacminden yaklaşık 4 katı kadar daha fazladır.

Hidrojenin depolanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise hidrojenin metal hidrür yataklar içinde düşük sıcaklıklarda metalik bileşiklerle bağ yapmasıdır. Metal hidrür ile depolama tekniğinde, sıcaklık arttıkça hidrojen serbest kalmaktadır. Sıcaklık hidrojenin serbest kalma oranını belirlediği için patlama riski sınırlanmaktadır. Bununla birlikte taşıta istenilen menzili verebilecek hidrojenin depolanması için gerekli metal hidrür ağırlığı optimize edilmekten uzak görünmektedir. Hidrojenin depolanmasında alternatif çözümlerden biri, grafit nano-fiberin kullanımınıdır. Bu fiberler ile ilgili bir çok araştırma devam etmek ile birlikte ve yüksek miktarda hidrojen depolama imkanı sağlayabileceği öngörülmektedir.



Şekil 25. Yakıt pilli araç

REFERANSLAR

1. Westbrook M.H., 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", London, SAE.
2. http://www.etvi.org/just_the_Facts/New_EA101_facts_right.html.
3. <http://www.rqriley.com/EA-tech.html>.
4. <http://www.ott.doe.gov/hEA/what.html>.
5. Friedman D., 1997, "A New Road: The Technology and Potential of Hybrid Vehicles", Union of Concerned Scientists, Cambridge.

5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN ALT SİSTEMLER

Elektrikli araçlarda çeşitli alt sistemler kullanılmaktadır. Bunlar sırası ile güç üretim sistemleri, enerji depolama sistemleri, güç kontrol sistemleri, tahrik sistemleri ve enerji yönetim sistemleridir. Güç üretim sistemi olarak tanımlanan alt sistem elemanları, aracın elektrik dağıtım şebekesini tek başına veya farklı enerji üreticileri ile birlikte beslemektedir. Güç üretim sistemleri hakkında detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur.

5.1.1 Güç Üretim Sistemi

Sistem mimarisinde kullanılan topoloji ne olursa olsun (hibrid/doğrudan), neticede 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 generatör 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. Ana enerji kaynağından tekerleklere kadar enerji dönüşüm adımları toplam sistem verimliliği açısından önemlidir. Bu nedenle verimlilik ve güvenilirlik açısından paralel hibrid elektrikli araçlar ön plana çıkmaktadır.

5.1.1.1 Doğrudan Güç Üretim Sistemleri

Doğrudan enerji kaynakları arasında bataryalar ve hidrojen enerjisi ile çalışan yakıt pilleri yer almaktadır.

5.1.1.1.1 Bataryalar

Bataryalar, EA'ların gelişimi içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bataryalarda elektrokimyasal olarak depolanmış enerji kullanılmaktadır. Elektrokimyasal reaksiyon sonucunda ortaya çıkan doğru akım elektrik enerjisi ile sürüş sistemi doğrudan beslenmektedir. Enerji dönüşümü açısından bataryadaki kimyasal enerji direk olarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bataryalar konusu bölüm 5.2.1'de detaylı incelenmiştir.

5.1.1.1.2 Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri teknolojisinin kullanıldığı hibrid elektrikli araç prototipleri hakkında 3. bölümde çeşitli bilgiler verilmiştir. Güç/enerji üretimi hakkındaki bu bölümde EA'larda kullanılan yakıt pillerinin çalışma prensipleri ve elektrik enerjisinin elde edilmesi konusu incelenmiştir.

Yakıt pillerinde yakıt ve oksidant arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda direkt olarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yakıt pillerinden, İYM'lar gibi yakıt beslendiği sürece bataryalara benzer şekilde DC elektrik enerjisinin elde edilmektedir. Tüm yakıt pili çeşitlerinde, yanma prosesi olmaksızın hidrojen ve oksijen beslenmekte, böylelikle DC elektrik enerjisi üretilmektedir.

5.1.1.1.2.1 Yakıt Pili Tipleri

Yakıt pili tiplerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Proton Elektrolit Membranlı Yakıt Pili (Proton Exchange Membrane-PEMYP)
- Fosforik Asit Yakıt Pili (Phosphoric Acid-FAYP)
- Alkali Yakıt Pili (Alkaline-AYP)
- Ergimiş Karbonat Yakıt Pili (Molten Carbonate-EKYP)

- Katı Oksit Yakıt Pili (Solid Oxide-KOYP)

Yakıt pili tipleri ve genel çalışma prensipleri hakkındaki bilgi Tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12. Yakıt pili tipleri ve genel özellikleri

Yakıt Pili Tipi	Elektrolit Tipi	Yük Taşıyıcı Ajan	Güç Yoğunluğu [W/cm ²]	Çalışma Sıcaklığı [°C]
PEMYP	Membran SO ₃	H ⁺	0.35-0.60	90-120
FAYP	H ₃ PO ₄	H ⁺	0.2-0.25	150-250
AYP	KOH	OH ⁻	0.2-0.3	110-150
EKYP	CO ₃	CO ₃ ⁻	0.1-0.2	650-750
KOYP	ZnO ₂	O ⁻	0.24-0.3	700-1000

Yakıt pili tiplerinin EA'lara uygulanabilmesinde dikkat edilen ilk kriter çalışma sıcaklıklarıdır. Yüksek çalışma sıcaklıklarına sahip KOYP (700-1000 °C), ve EKYP'lerinin (650-750 °C), EA'larda uygulanması aracın çalışma ortamının getirdiği kısıtlamalar nedeni ile zor görünmektedir. Yakıt pilleri arasında diğerlerine nazaran daha düşük sıcaklıklarda çalışan FAYP (150-250 °C), AYP (110-150 °C), proton elektrolit membranlı (90-120 °C) yakıt pilleri EA'lar için daha uygun görülmektedir. FAYP maliyetinin ve nispeten çalışma sıcaklığının yüksekliği nedeni ile tercih edilmemektedir. AYP kullanılarak 1960'lardan itibaren uluslararası ölçekte çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Yakıt pilli araçlar hakkında Bölüm 2.3 ve Bölüm 4.3'de daha detaylı bilgiler verilmiştir.

Son yıllarda EA'lar için sürdürülen yakıt pili araştırmaları, PEM yakıt pilleri üzerinde yoğunlaşmıştır. PEM yakıt pillerinin, yüksek güç yoğunluğu, düşük çalışma sıcaklığı ve nispeten düşük maliyeti temel avantajlar arasındadır. PEM yakıt pilleri üzerine yürütülen araştırmalar sonucunda, yakıt olarak sıkıştırılmış hidrojenin kullanıldığında yardımcı ekipmanları dahil 500 Wh/kg özgül enerji seviyesine ulaşılmıştır. Söz konusu değer hiçbir batarya tipi için teknik açıdan mümkün değildir. Ancak 50-180

W/kg seviyelerinde olan özgül güç değeri, pik yüklerin karşılanmasında yetersizdir. Bu durum PEM yakıt pillerinin EA'larda tek başına bir güç kaynağı olarak kullanılmasını engellemektedir.

Güç yoğunluğu 0.35-0.6 W/cm² olan PEM yakıt pilleri, katı elektrolit kullanılması nedeni ile diğer yakıt pillerine göre daha avantajlıdır. Kısa ön ısınma süresi ve düşük korozyon riski, PEM yakıt pillerinin EA'larda kullanımını destekleyen önemli avantajlardandır.

5.1.1.1.2.2 Yakıt Pili Çalışma Prensibi

Yakıt pillerinde anotta oluşan reaksiyonlar Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Yakıt Pillerinde anottaki reaksiyonlar

$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	PEM ve Fosforik Asit Yakıt Pili
$H_2 + 2OH \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	Alkali Yakıt Pili
$H_2 + CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili

Reaksiyon sırasında ortaya çıkan elektronlar, yakıt pili devresinden elektrik akımı olarak akmakta ve elektrik şebekesini beslemektedir. Serbest elektronlar, katoda ulaştığında devre tamamlanmaktadır. Bu reaksiyonların oluşması için gerekli şartların oluşturulmasında katalizörlere ihtiyaç duyulmaktadır. PEMYP, FAYP ve AYP'de platinyum, ergimiş karbonatlı ve katı oksit yakıt pillerinde ise nikel bazlı katalizörler kullanılmaktadır. Katottaki reaksiyonlar Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Yakıt Pillerinde katottaki reaksiyonlar

$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- + 2OH^- \rightarrow 2OH^-$	Alkali Yakıt Pili
$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	PEMve Fosforik Asit Yakıt Pili
$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- + CO_2 \rightarrow CO_3^-$	Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili

Bütün yakıt pili çeşitlerinde hidrojene ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojence zengin metanol, doğal gaz, petrol türevleri yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojenin direkt olarak

kullanımı, yüksek depolama maliyeti ve güvenlik nedeni ile bir takım sakıncalar içermektedir.

5.1.1.1.2.3 Proton Elektrolit Membranlı Yakıt Pili Çalışma Prensibi

PEM yakıt pili içerisinde, pürüzlü bir yüzey yapısına sahip iki adet elektrot vardır. Elektrotlar arasında iyon iletimine müsaade eden ince katmanlı katı polimer elektrolit tabakası vardır. Elektrotlar hidrojen ve oksijen beslemesi için küçük kanalları olan plakalarla kaplanmıştır. Anot ve katot olarak anılan söz konusu plakalar üzerinden elektrik akışı gerçekleşmektedir. Reaksiyon neticesinde katot üzerinde su oluşmaktadır.

Elektrolit

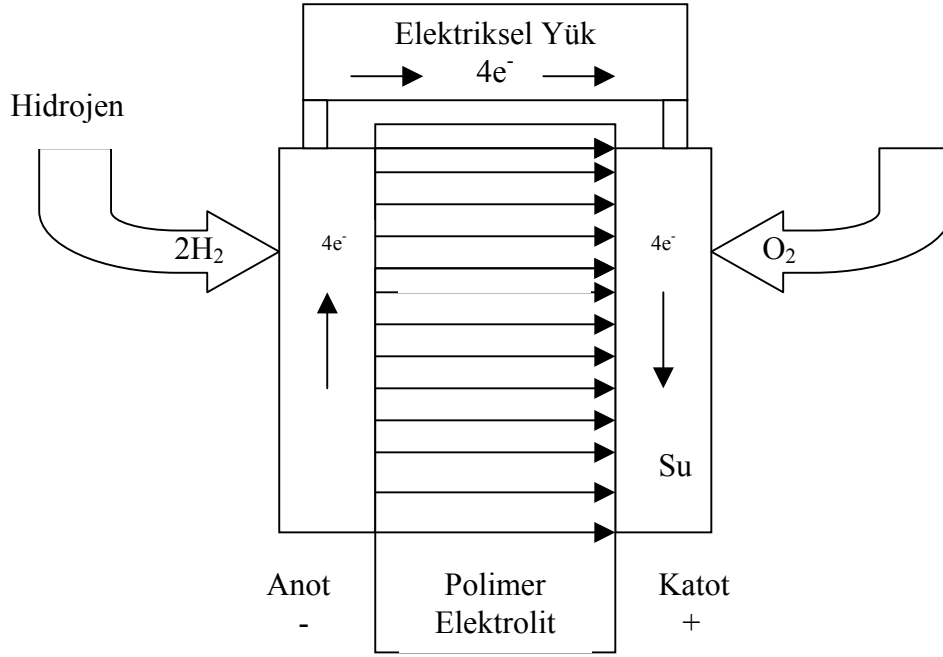
Polimer elektrolit plastiğe benzeyen perflorosülfonik asitlerden oluşan ve kalınlığı 50-200 (μm) arasında olan bir membrandır. Söz konusu ince zar şeklindeki polimer malzeme, elektriksel olarak yalıtıcıdır ve yalnızca hidrojen iyonlarının geçişine müsaade etmektedir. Polimer malzemeler üzerine yürütülen çalışmalar yüksek akım ve güç yoğunluğuna imkan veren, daha düşük dirence sahip farklı malzemelerin de kullanılabileceğini göstermektedir.

Elektrotlar

Pürüzlü geçirgen elektrotlar etkin gaz difüzyonuna izin vermektedir. Bunlar genelde katalizörlü aktif katman, difüzyon katmanı ve elektriksel iletim katmanı olmak üzere üç katmanlı bir yapıya sahiptir. PEM tipi yakıt pilinin yüksek maliyetli olmasının en önemli nedeni katalizör olarak kullanılan platinyumdur. Aynı performans seviyeleri için kullanılan katalizör miktarını azaltmaya yönelik araştırmalar hali hazırda sürdürülmektedir.

Anot üzerine gönderilen yakıt moleküllerinde hidrojen elektronları ayrılır ve elektriksel iletim katmanı üzerinden akarlar. Açığa çıkan pozitif yüklü hidrojen iyonları membran içerisinden katoda doğru akarlar ve eksi yüklü oksijen atomları ile katalitik olarak birleşerek su molekülünü oluştururlar. Burada katı polimer elektrolit, pozitif yüklü hidrojen iyonlarının anottan katoda geçişine imkan veren bir köprü görevini görür. Kimyasal enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm iki elektrot ve elektrolit üzerinde

gerçekleştirilmiş olur. Şekil 26'da proton elektrolit membranlı yakıt pilinin şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 26. Proton elektrolit membranlı yakıt pilinin şematik resmi

5.1.1.1.2.4 Yakıt Pili Teorisi

Klasik ısı makinalarında yakıtın kimyasal enerjisi yanma prosesi sonucu mekanik enerjiye dönüşmektedir. Isı makinalarında verim, sistemden elde edilen kullanılabilir işin, sisteme verilen ısı miktarına oranı ile tanımlanır. O halde verilen ısı ve sistemden kullanılmadan çıkan ısı miktarı arasındaki farkın verilen ısı miktarına oranı sistemde elde edilen verimdir.

$$\eta_{carnot} = \frac{W}{Q_{giriş}} = \frac{(Q_{giriş} - Q_{çıkan})}{Q_{giriş}}$$

Denklem sıcaklık cinsinden ifade edilecek olursa;

$$\eta_{carnot} = \frac{(T_{giriş} - T_{çıkış})}{T_{giriş}}$$

Isı makinalarında en yüksek proses sıcaklığı 1200–1500 °C, en düşük proses sıcaklığı 25 °C seviyesinde olacak ve teorik Carnot verimi azami %80-85 seviyesi ile sınırlanmış olacaktır. Gerçekte ısı makinalarının verimi daha düşüktür. Yakıt pillerinde kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi nedeni ile ısı makinalarındaki teorik limit ortadan kalkmış olmaktadır. Fosil kökenli sıvı yakıtların yanması sonucunda kilogram başına 40-43 (MJ) enerji (E_{kim}) açığa çıkmakta ve enerji alt ısı değer (h_{Alt}) ve kütleli yakıt debisinin (\dot{m}) çarpımı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$E_{kim} = h_{Alt} \times \dot{m}$$

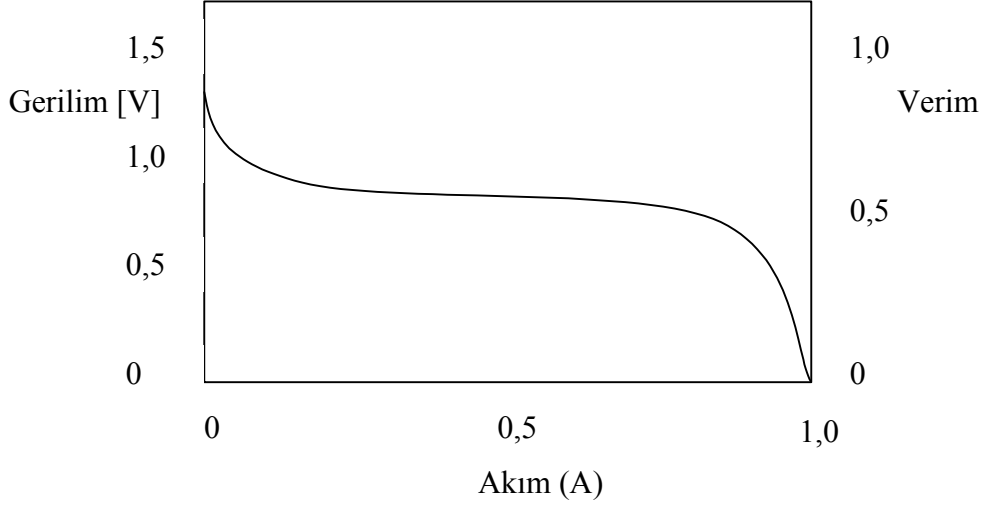
Yakıt pillerinde yapılan iş, sistemdeki entalpi değişimi ile ortamdaki ısı değişiminin farkına bağlıdır. Yakıt pilleri için kullanılabilir iş, sistemin Gibbs serbest (ΔG) enerjisindeki değişimdir.

$$W = -\Delta H + Q = -(\Delta H - T\Delta S) = -\Delta G$$

O halde yakıt pili için verim denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\eta_{kim} = \Delta G / \Delta H = 1 - \frac{T \times \Delta S}{\Delta H}$$

Ortam ile gerçekleşen ısı transferi, ısı makinalarınkinden daha düşük olacağı için yakıt pillerinin verimi daha yüksektir. Bunun yanı sıra yakıt işleme prosesi, yardımcı sistemler ve elektriksel dönüşüm (DC/AC) nedeni ile ilave kayıplar gündeme gelecektir. Gerçekte elektrikli araç üzerinde kullanılacak bir yakıt pili için işletme koşulları sistem verimi ile doğrudan ilişkilidir. Akım yoğunluğu ve reaksiyonlara ait termodinamik koşullar sistemin performansını etkileyecektir. Yakıt pili gerilimi, çekilen akım miktarına bağlı olarak değişmektedir. Akım ve gerilim arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik Şekil 27'de sunulmuştur.



Şekil 27. Yakıt pili akım/gerilim karakteristiği

5.1.1.1.2.5 Yakıt Dönüştürücüler

Araç üzerinde hidrojenin elde edilmesi için kullanılan yakıt dönüştürücüler uygun bir alternatif olarak görülmektedir. Bu işlem üç farklı şekilde uygulanmaktadır; buharla dönüştürme, kısmi oksidasyon veya ototermal dönüşüm. Buharla dönüştürmede buhar ile sıvı hidrokarbonlar endotermik reaksiyona uğrar ve hidrojen açığa çıkar. Buharla dönüştürme, çok yüksek hidrojen verimine sahiptir. Buharla dönüştürme metanolden hidrojen elde edilmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Buharla dönüştürme yönteminin bir dezavantajı bu sistemin devreye girmesi için ön ısınma zamanına ihtiyaç duymasındır.

Özellikle benzinden ve diğer fosil kökenli yakıtlardan hidrojen eldesi için kısmi oksidasyon yöntemi kullanılır.

Uzun dönem de BMW ve Delphi Otomotiv yüksek sıcaklıklı katı oksit yakıt pilinin (KOYP) araçlarda uygulanacağını düşünmektedir. KOYP, PEM yakıt piline göre daha az saflıkta hidrojen ile çalışabilmektedir. Bu durum hidrojen elde etmek için daha basit ve ucuz yakıt dönüştürücü kullanılmasının yolunu açmaktadır.

Yakıt pillerinde kullanılan yakıt dönüştürme sistemleri ön ısınma süresini uzatmaktadır. Bu konuda yürütülen araştırma çalışmalarında yakıt pillerinin ön ısınma süresini beş dakikadan daha az olması hedeflenmektedir.

5.1.1.2 Doğrudan Olmayan Enerji Üretimi

Güç üretim modülünde doğrudan enerji kaynakları yanında ana hareketlendirici (İYM, Gaz türbinleri, vb) tarafından sürülen generatörler kullanılmaktadır. Ana hareketlendirici ve generatörün birlikte kullanımı ile, belli akım-gerilim karakteristiğine sahip elektrik enerjisi üretilmektedir.

Ana hareketlendiriciler ve generatörler çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. EA'larda alternatif akım (AC) generatörler, Isı makinaları (İYM, Gaz türbini, vb) ile birlikte kullanılmaktadır. Gaz türbinleri başlığı altında ilaveten gelişmekte olan bir teknoloji olarak mikrotürbinlere de yer verilecektir.

Isı makinaları

Isı makinaları, katı ya da sıvı yakıtın yanması sonucunda oluşan genişleme ile kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüştürülmektedir.

Isı makinalarını ilk olarak içten yanmalı ve dıştan yanmalı motorlar olarak iki sınıfta incelemek mümkündür. İçten yanmalı motorlarda yanma iş yapan akışkanın içerisinde olmaktadır. İçten yanmalı motorlara verilebilecek örnekler benzinli motor, dizel motor ve gaz türbinidir. Dıştan yanmalı motorlarda yanma, iş yapan akışkandan ayrı bir yanma haznesinde gerçekleşmektedir. Bunlara örnek olarak buhar kazanları ve stirling motorları verilebilir.

Isı makinalarını ayrıca pistonlu ve döner makinalar olarak da ikiye ayırılır. Benzinli motor, dizel motor ve stirling motoru pistonlu makinalar olarak adlandırılmakta, bunun yanında gaz ve buhar türbinleri döner makinalar sınıfındadır.

5.1.1.2.1 Dizel Motorlar

Dizel motor, pistonlu ve içten yanmalı bir ısı makinasıdır. Dizel motorlarda iki aşamalı enerji dönüşümü söz konusudur. İlk aşamada yakıtın içerisinde bulunan kimyasal enerji yanma neticesinde ısı enerjisine dönüşmekte ve ikinci aşamada ise genişleme sonucunda mekanik dönme hareketine dönüşmektedir.

Bir dizel motorda sırasıyla emme, sıkıştırma, yanma ve genişleme ile egzost gazının atılması olmak üzere 4 temel aşama gerçekleşir. Basit bir dizel çevriminin anlaşılması için temel termodinamik bilgilere göz atılması faydalı olacaktır.

Sabit bir hacme sahip olan silindir içerisinde piston hareket etmektedir. Krank milinin her dönmesinde piston Alt Ölü Nokta (AÖN) ve Üst Ölü Nokta (ÜÖN) arasında hareket etmektedir. Bu hareket esnasında pistonun aldığı yol strok olarak isimlendirilir.

$$\lambda_{strok} = \frac{L_{strok}}{D_{sil}}$$

λ_{strok} : Strok silindir çapı oranı

L_{strok} : Strok boyu (m)

D_{sil} : Silindir çapı (m)

$$V_{sil} = A_{sil} \times L_{strok} = \frac{\pi}{4} \times D_{sil}^2 \times L_{strok}$$

V_{sil} : Silindir hacmi (m³) ;

A_{sil} : Silindir alanı (m²)

ε : Hacimsel sıkıştırma oranı;

$$\varepsilon = \frac{V_{AÖN}}{V_{ÜÖN}}$$

5.1.1.2.1.1 Dizel Motor Çalışma Prensibi

İki ve dört zamanlı dizel çevriminde gerçekleşen olaylar aynı olmakla birlikte silindirin aldığı yola bağlı olarak işlem adımları değişiklik göstermektedir. İki ve dört zamanlı dizel çevrimleri aşağıda anlatılmaktadır.

4 Zamanlı Dizel Çevrimi

4 zamanlı dizel çevrim Şekil 28'te gösterilmiştir.

Emme:

Emme sübabı açıktır ve silindir üst ölü noktadan (ÜÖN) alt ölü noktaya (AÖN) doğru hareket etmektedir.

Sıkıştırma:

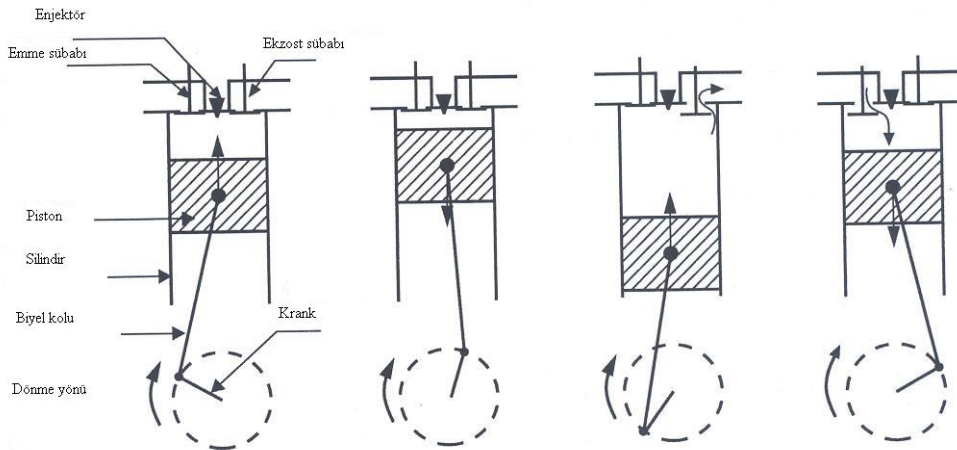
Her iki sübab kapalıdır ve silindir içerisinde hava sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan havanın sıcaklığı artacak ve silindir pistonu üst ölü noktaya yaklaşırken yakıt ile karışarak yanma başlayacaktır.

Genişleme:

Yanma başlamış ve yakıt/hava karışımı genişlemektedir. Silindir pistonu ÜÖN'dan AÖN'ya noktaya gelirken krank miline güç aktarmaktadır.

Egzost:

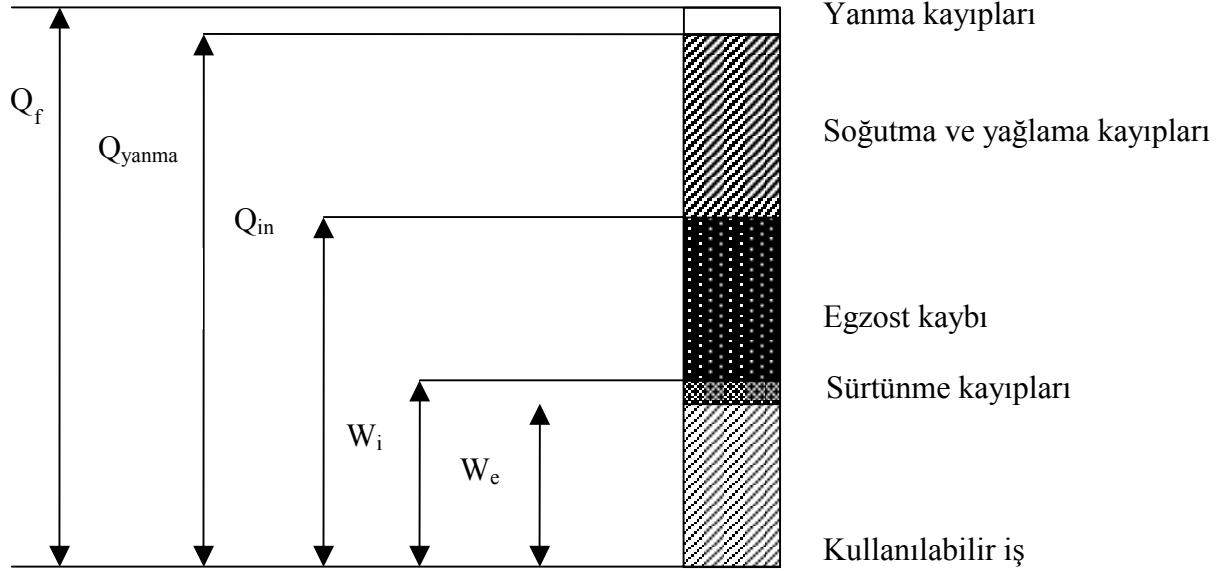
Yanma bitmiştir ve silindir pistonu AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareket ederken yanmış egzost gazlarını egzost sübabından atmaktadır. Tam bir çevrim 4 zamandan ya da iki krank çevriminden oluşmaktadır. Her çevrimde yalnızca bir güç zamanı vardır. Bir başka ifade ile iki krank dönüşünde bir kere güç zamanı (yanma sonucu genişleme) gerçekleşir.



Şekil 28. 4 Zamanlı dizel çevrimi

5.1.1.2.1.2 Dizel Motor Güç Hesabı

Dizel motorlarda güç hesabı için öncelikle silindir içerisinde gerçekleşen enerji akışının incelenmesi gerekmektedir. EA'larda generatörün tahrik edilmesi için kullanılan dizel motorların generatörün ihtiyacı olan güç ve tork değerlerini sağlaması gerekmektedir.



Şekil 29. Dizel motorda enerji kayıpları

Yakıt kaynaklı ısı girişi Q_f , silindir içerisine çevrim başına verilen yakıt kütlesi (m_f) ile yakıtın ısı değeri h_{Alt} olarak verilir.

$$Q_f \cong m_f \times h_{Alt}$$

Şekil 29'da gösterilen enerji kayıpları göz önünde bulundurularak ısı verim ifadesi yazılabilir. Bir dizel motorda efektif verim; mekanik, ısı, yanma ve termodinamik kısmi verim ifadelerinin çarpımı ile gösterilir.

$$\eta_e = \eta_{mek} \times \eta_i = \eta_{mek} \times \eta_{yanma} \times \eta_{ısı} \times \eta_{ter\ modinamik}$$

4 zamanlı bir dizel motor için silindir başına güç ve tork ifadeleri krank milinin her dönüşüne bağlı olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P_B = W_e \times \frac{n_e \times i}{2} = p_{me} \times V_{sil} \times \frac{n_e \times i}{2}$$

veya bir başka ifade ile;

$$P_B = M_B \times 2\pi \times n_e$$

P_B : Güç (W)

n_e : Krank mili devir sayısı [d/d]

p_{me} : Ortalama efektif basınç (Pa)

i : silindir sayısı

Dizel motorlarda silindir başına verilen ortalama efektif basınç değeri motorun özgül güç değeri olarak da ifade edilebilir. Pistonlu motorlarda bu değer çevrim sırasında taranan silindir hacmine (V_{sil}) bağlı hacimsel debi ile ilişkilidir. Pistonlu motorların tersine gaz türbinlerinde söz konusu özgül güç değeri kütleli debi ile ilişkilidir.

Dizel motorlarda toplam verim devir sayısı iki ve dört zamanlı çevrimler için farklılık göstermekle birlikte % 40 - % 45 seviyeleri arasında değişmektedir. Özellikle iki zamanlı ve düşük devirli dizel motorlarda toplam verim bir miktar daha artmaktadır. EA'larda güç üretim ünitesinde kullanılan dizel motorların güç seviyeleri, dünyada üretilen dizel motorların güç miktarları göz önüne alındığında son derece küçüktür. Orta ve yüksek devirlerde (1800–5000 d/d) çalışan dizel motorların kullanıldığı EA'larda güç seviyeleri genellikle 50-300 kW aralığında yoğunlaşmaktadır.

5.1.1.2.2 Benzinli Motorlar

EA'ların güç üretim ünitesinde generatörleri tahrik eden ısı makinaları arasında benzinli motorlar da yer almaktadır. Benzinli motorlar pistonlu içten yanmalı motorlardır. Dizel motorlarla benzinli motorlar arasındaki temel fark kullanılan yakıt ve yakıtın yakılmasıdır. Dizel motorlarda yakıt sıkıştırılmakta olan hava içerisine püskürtülmekte ve yanma sıkışma nedeni ile yükselen sıcaklıkla başlamaktadır. Benzinli motorlarda yakıt ve hava silindir dışında karıştırılır ve yanma silindir içerisine ateşleme yapılarak başlatılır.

5.1.1.2.3 Gaz Türbinleri

Gaz türbinleri dönen parçalardan oluşmaktadır. Bu sayede pistonlu motorlardan ayrılmaktadır. Gaz türbinlerinin en önemli özelliği dizel motorlara kıyasla yüksek olan güç yoğunluğu ve daha basit yapısıdır. Güç üretim alanında gaz türbinlerinin temel avantajları/dezavantajları Tablo 15'deki gibi listelenebilir.

Tablo 15. Gaz türbini temel avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Modüler yapı	Dizel motorlara göre düşük ısı verim
Kolay kontrol edilebilirlik	Yüksek kalitede yakıt ihtiyacı
Yüksek güç yoğunluğu	Kısmi yüklerde yüksek yakıt tüketimi
Yüksek güvenilirlik	Onarım zorluğu

5.1.1.2.3.1 Gaz Türbini Çalışma Prensibi

Dört ana kısımdan oluşan gaz türbini basit çevrim için havanın alınması, kompresörde sıkıştırma, yanma odasında yanmanın gerçekleştirilmesi, ve türbinde atmosferik basınçta genişleme ile egzost olarak özetlenebilir.

Havanın alınması

Atmosferik koşullarda alınan hava, filtrelerden geçirilmekte ve kompresöre gönderilmektedir.

Sıkıştırma

Filtrelerden geçirilen hava türbin tarafından tahrik edilen kompresörde 30-35 bar basınç seviyelerine kadar sıkıştırılır. Gelişmiş gaz türbini çevrimlerinde ön ısıtma, ara kızdırma ve iç soğutma gibi adımlar da yer almaktadır. Sıkıştırılan hava yanma odasına gönderilmektedir.

Yanma

Yanma odasında basınçlandırılmış havaya yakıt püskürtülür ve eşbasınç (isobarik) koşullarda yanma gerçekleşir. Yanma sıcaklığı ortalama 1200-1400 °C seviyelerindedir.

Atmosferik Genişleme ve Egzost

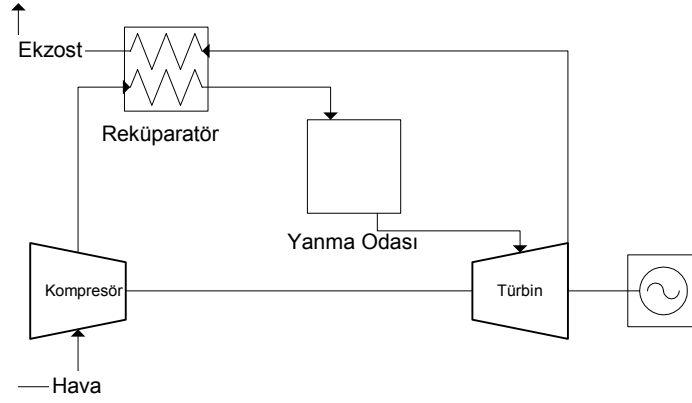
Yanmış gazlar türbin kanatçıkları ile tahrik şaftını hareket ettirmektedir. Basit bir çevrimde şaft devir hızı 3500-6500 (d/d) arasında değişmektedir. Yanma sonucu oluşan egzost gazları türbin dışına çıkmaktadır. Gelişmiş gaz türbin çevrimlerinde sıcak egzost sonucu atılan ısı ön ısıtma işleminde kullanılarak toplam çevrim verimi arttırılmaktadır.

Gaz türbin setlerinde yüksek devir hızları nedeni ile dişli kutuları kullanılmaktadır. Generatör setinin çalışma devrine göre birbirlerine direk bağlı turbogeneratörler de üretilmektedir.

5.1.1.2.4 Mikrotürbinler

Mikrotürbinler tahrik ünitesi olarak bir gaz türbini ve yüksek hızlarda çalışan sürekli mıknatıslı generatörlerin birlikte çalıştığı bir güç üretim ünitesidir. Şekil 30'de mikrotürbinin şematik gösterilmiştir. 20-100 kW gibi küçük güç kapasitelerinde çalışan mikrotürbinlerin devir hızları 100.000 d/d seviyelerine kadar çıkmaktadır. Türbin kuyruk miline bağlanan generatörlerden alternatif akım elde edilmektedir. Alternatif akım doğrultucular aracılığı ile doğru akıma dönüştürülmekte ve ana dağıtım barası beslenmektedir.

Mikrotürbinler 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.



Şekil 30. Mikrotürbin şematik gösterimi

5.1.1.2.5 Generatörler

Isı makinaları tarafından tahrik edilen generatörler mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Enerji dönüşümü, bir manyetik alan içerisinde yer alan iletken tel üzerinde, akı değişimi neticesinde bir endüksiyon geriliminin oluşması ile gerçekleşmektedir.

$$E = -B \times l \times v = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = K_G \times \Phi \times n$$

E : Endüksiyon Gerilimi (V) (Elektromotor Kuvveti)

B: Manyetik Akı Yoğunluğu (T)

l : İletken boyu (m)

v : Hareket hızı (m/s)

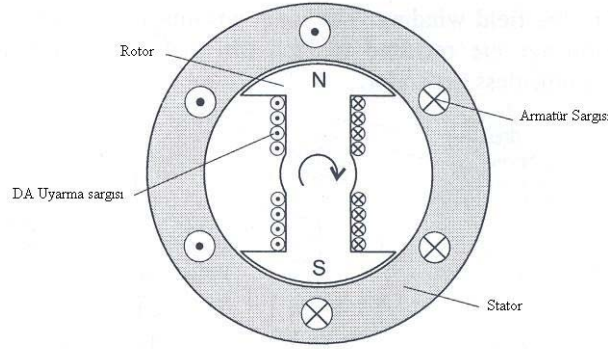
n : devir (1/s)

Φ : Manyetik akı (Wb)

K_G : Generatöre ait sabit

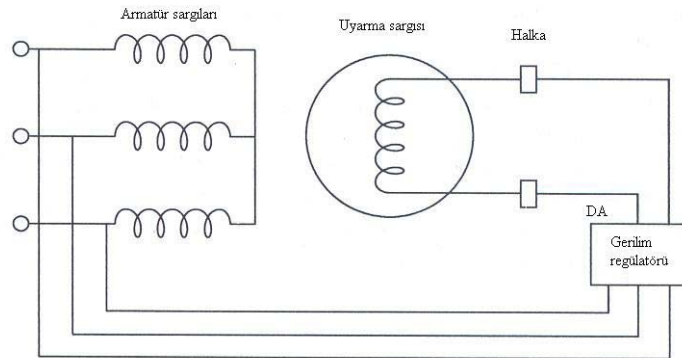
Bir generatörde iletken tellerden oluşan bobinler armatür üzerine sarılmıştır. Doğal mıknatıslar kullanılarak veya ayrı bir uyarma sargısı tarafından oluşturulan manyetik alan içerisinde sarılmış iletken bobinler hareket etmekte ve endüksiyon gerilimi oluşmaktadır. Benzer şekilde armatür üzerine sarılmış bobinler sabitken manyetik alan da döndürülebilmektedir. Her iki şekilde de rotor ve stator arasındaki hareket, sürekli manyetik akı değişimi yaratarak rotor ve stator arasında bir gerilim indüklenmesine neden olmaktadır. Alternatif akım generatörlerde genellikle armatür

sabittir ve manyetik alan dönmektedir. Şekil 31’de doğru akım uyarmalı iki kutuplu 3 fazlı bir AC generatörü şematik olarak gösterilmektedir.

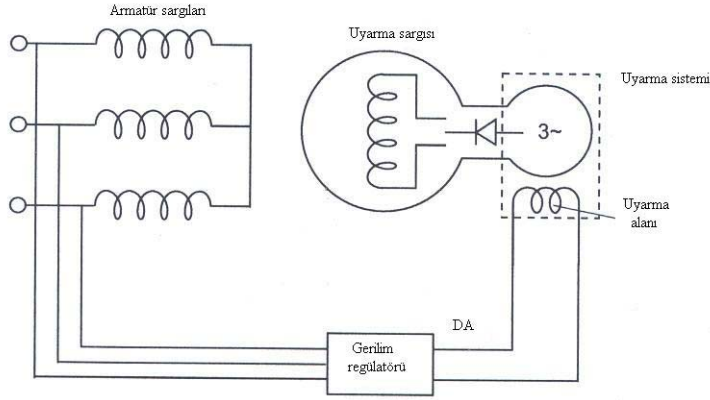


Şekil 31. İki kutuplu 3 fazlı senkron AC generatör

Generatörlerin armatür sargıları genellikle yıldız şeklinde bağlanmaktadır. Doğru akım ile yapılan uyarma işlemi iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Uyarma akımı uyarma sargısına karbon fırçalar üzerinden iletilmektedir. Bu tip generatörlere fırçalı AC generatörler adı verilir (Şekil 32). Bir şekilde uyarma sargısı rotor üzerinde dönerek, stator üzerinde de bulunan sargıları uyarmakta ve dönmekte olan doğru akım rotor üzerinde alternatif akım üretmektedir.. Rotor üzerinde oluşan alternatif akım doğru akıma dönüştürülerek alan sargıları ile bağlantısı sağlanır. Bu prensiple çalışan elektrik makinaları fırçasız alternatif akım generatörü olarak anılır (Şekil 33).



Şekil 32. Fırçalı AC generatör şematik gösterimi



Şekil 33. Fırçasız AC generatör şematik gösterimi

Bir manyetik alan içerisinde sabit hızla dönen rotor üzerinde oluşan gerilim sinüs dalgası şeklindedir. İndüklenen gerilimin frekansı rotorun dönme hızına bağlıdır ve hız ve frekans arasında senkron bir zaman ilişkisi vardır. O halde örnek olarak iki kutuplu bir generatörde 60 Hertz bir gerilim frekansı elde etmek için 3600 d/d hızında mekanik tahrik gerekmektedir. Devir ve frekans arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$f = \frac{p}{2} \times n$$

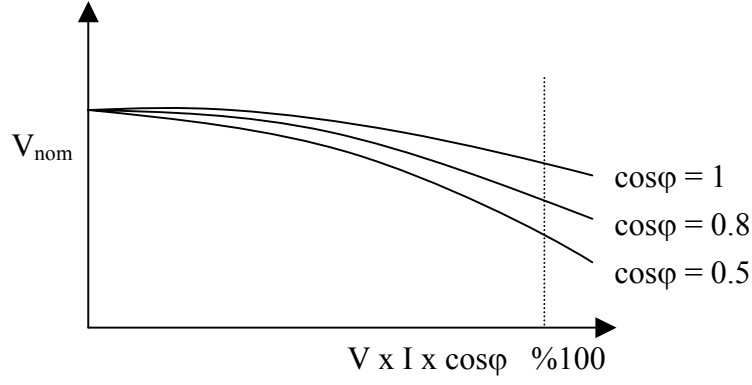
f : Frekans (Hertz)

p : Kutup Sayısı

n : Devir Sayısı (/s)

Gerilim Kontrolü

Sabit uyarma akımlı alternatif akım senkron generatörlerde gerilim yük artışına bağlı olarak azalmaktadır. Her yük seviyesinde gerilimi sabit tutabilmek için gerilim regülatörüne ihtiyaç duyulmaktadır. Gerilim regülatörü değişen yükler için gerilimi belirli sınırlar içinde tutacak ve istenilen anma gerilimini sabitleyecektir. Şekil 34'de sabit yük ve uyarma akımında senkron AC generatörü çıkış geriliminin değişimi görülmektedir.



Şekil 34. Sabit yük ve uyarma akımında senkron AC generatörü çıkış geriliminin değişimi

Gerilim regülatörünün içerisinde bulunan güç elektroniği devresi generatör sınırlarındaki akımı kontrol etmektedir.

Frekans Kontrolü

Bir senkron generatörün çıkış frekansı generatörün devir hızına, dolayısı ile ısı makinasının devir hızına bağlıdır. Devir regülatörü generatörün çıkış frekansı ve ana hareketlendiricinin yakıt besleme ünitesi arasında önceden atanmış nominal bir değer ile karşılaştırma yaparak generatör çıkış frekansını kontrol etmektedir. Genellikle EA'larda bir adet generatörün bulunduğu yardımcı güç ünite kullanılmaktadır. Bu nedenle generatör setlerinin paralel çalışması ile ilgili aktif/reaktif güç kontrolü ve yük paylaşımı gibi konulara değinilmemiştir.

Generatör çıkışında belirli bir frekansta salınan alternatif akım elde edilmektedir. EA'larda ana tahrik barası doğru akımdır. Generatörden elde edilen alternatif akım, doğrultucular kullanılarak doğru akıma dönüştürülür. Kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki çeşit doğrultucu mevcuttur. Doğrultucuların çalışma prensibi hakkında bilgiler bölüm 5.3.1'de detaylı olarak verilmiştir.

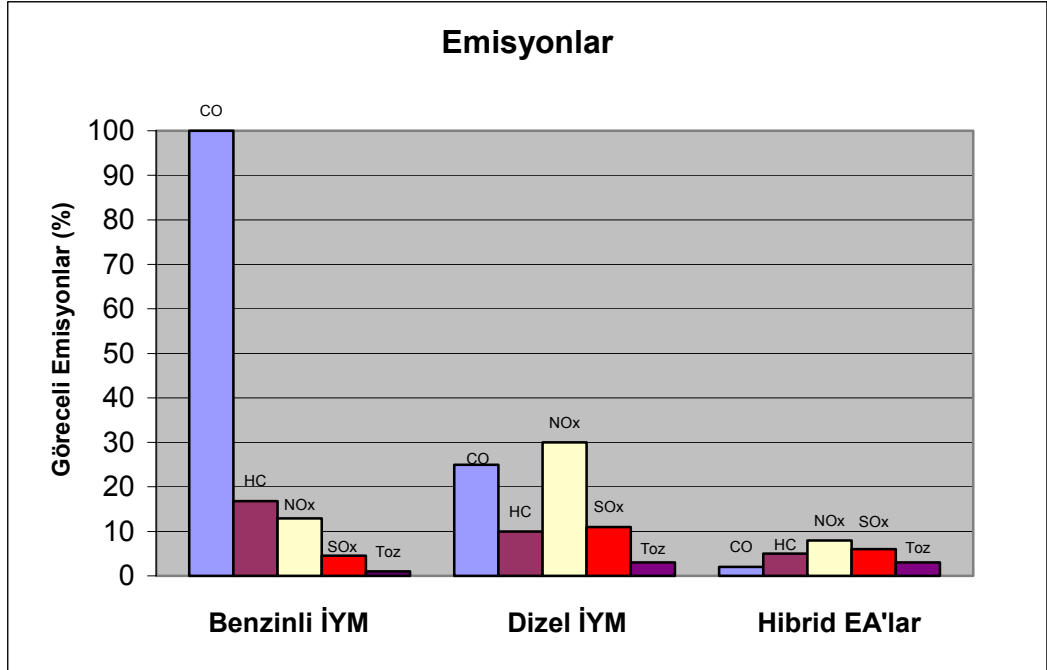
5.1.2 Güç Üretim Sistemi ve Emisyonlar

Büyük metropollerin en önemli sorunlarının başında gelen hava kirliliği üzerinde ulaşım sistemleri büyük rol oynamaktadır. İçten yanmalı motor kaynaklı emisyonlar her geçen gün sıkılaştırılan çevre standartlarının getirdiği önlemler ile azaltılmaya çalışılmaktadır. Konu hakkında önemli miktarlarda araştırma bütçeleri ayrılmaktadır. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1970 yılında yayınlanan Temiz Hava Akti'nde hava kirliliğine neden olan 189 hava kirletici listelenmiştir. Kirletici gazlar arasında karbon monoksit, azot oksitler, sülfür oksitler, uçucu organik ve kurşun temelli bileşikler yer almaktadır.

Fosil kökenli yakıtların, içten yanmalı motorlarda yanması neticesinde ortaya çıkan kirleticiler, atmosferde dağılmakta ve güneş ışığının etkisi ile reaksiyonlara girerek ozon ve sera gazlarının oluşumuna neden olmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan gazlar arasında başta karbondioksit olmak üzere metan ve kloroflorokarbon yer almaktadır. Diğer gazlara nazaran, kara taşımacılığı kaynaklı karbondioksit küresel ısınmada daha baskındır.

EA'ların batarya ve yakıt pilli uygulamaları, sıfır emisyonlu araçlar olarak anılmaktadır. Sıfır emisyonlu araçlar çevre duyarlılığı açısından büyük ilgi uyandıran son derece önemli bir slogandır. Konu bu yönü ile değerlendirildiğinde EA'ların gelecekte kullanımı ve yaygınlaşması adına önemli bir gösterge olarak kabul edilebilir.

İçten yanmalı motorlardan yayılan emisyonlar kullanılan yakıtı göre değişmektedir. Dizel ve benzinli motorlardan yayılan emisyonlar göreceli olarak karşılaştırıldığında özellikle benzinli motorlara ait karbon monoksit miktarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 35'de benzinli, dizel ve EA'lardan yayılan emisyonlar karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Emisyon değerleri, yanma performansı, motor çalışma şartları ve yakıt cinsine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 35. Göreceli emisyon karşılaştırması (Benzinli - Dizel içten yanmalı motorlu ve Hibrid EA'lar)

5.2. Enerji Depolama Sistemleri

5.2.1 Bataryalar

Elektrikli ve hibrid elektrikli araç uygulamalarında bataryaların yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun çevrim ömre sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir.

Tablo 16'da EA'larda kullanılan ve gelişme altındaki bataryaların listesi verilmektedir. azami enerji yoğunluğu; batarya ağırlığının her bir kilogramından, 3 saatlik deşarj döngüsü boyunca elde edilen enerji miktarını belirtmektedir. Bu gösterge batarya tamamen deşarj olmadan ne kadar kullanılabileceğini ifade etmektedir.

Azami güç yoğunluğu depolanan enerjinin bataryadan ne kadar hızla çekilebileceğini göstermektedir. Tablo 16'da ayrıca her bataryanın çalışma sıcaklıkları verilmiştir. Çalışma sıcaklığı hangi bataryanın kullanılacağına karar verilmesi aşamasında çok önemli bir faktördür. Sodyum-sülfür, sodyum nikel klorür, lityum –demir sülfür gibi daha yüksek sıcaklıklarda çalışan bataryalar için özel sistemlerin kurulmasına ihtiyaç duyulur.

Batarya ömrü de bir diğer önemli faktördür. Bir batarya için hedef 1000 çevrim ömre sahip olmasıdır. Bu yaklaşık olarak 3-4 yıllık bir kullanım ömrüne karşılık gelmektedir. Birçok batarya çeşidinde derin deşarj çevrimi bataryanın hem enerji hem de güç yoğunluğunu bir miktar azaltmaktadır. Bu nedenle bataryanın ömrü azalmaya yakın performansı da önemli ölçüde azalmaktadır.

Günümüzde EA'lar için maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında enerji depolama konusunda en uygun batarya teknolojisinin kurşun-asit olduğu ifade edilmektedir. Ancak kurşun-asit bataryaların aracın menziline doğrudan etkileyen enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. Gelişmekte olan batarya tiplerinden nikel kadmiyum, nikel metal hidrür, lityum iyon yüksek enerji yoğunluğu ile öne çıkmaktadır. Diğer yandan sodyum sülfür gibi yüksek sıcaklık bataryaları da elektrikli araç uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadırlar. Tablo 17'de kullanılan anot, katot ve elektrolit malzemeleri ile birlikte bataryanın hücre voltajları gösterilmektedir. Yüksek hücre voltajı ile istenilen gerilimdeki bataryayı sağlamak için daha az sayıda hücre gerekir. Böylelikle bataryanın karmaşıklığı azalır ve güvenilirliği artar.

Tablo 16. Elektrikli araç bataryaları özellikleri

Batarya Tipi	Azami Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Azami güç yoğunluğu (W/kg)	En hızlı %80 tekrar şarj zamanı (dakika)	Çalışma Sıcaklığı	Çevrim Sayısı (%80 Deşarj durumunda)	Maliyet (\$/kWh)
Kurşun-asit	35	150	Veri yok	Ortam	1000	60
Nikel-demir	50	100	Veri yok	Ortam	2000	150-200
Nikel-çinko	70	150	Veri yok	Ortam	300	150-20
Nikel-kadmiyum	50	200	15	Ortam	2000	300
Nikel-metal hidrür	70	200	35	Ortam	2000+	250
Sodyum-sülfür	110	150	Veri yok	350°C	1000	150
Sodyum-nikel klorür	100	150	Veri yok	300°C	700+	250
Lityum-demir sülfat	150	300	Veri yok	450°C	1000	200
Lityum-katı polimer	200	350	Veri yok	80-120°C	1000	150
Lityum-iyon	120-150	120-150	<60	Ortam	1000+	150
Alüminyum-hava	220	30	Veri yok	Ortam	Veri yok	Veri yok
Çinko-hava	200	80-140	Veri yok	Ortam	200	100

Tablo 17. Elektrikli araç bataryaları (gerilim değerleri ve malzemeler)

Batarya Tipi	Açık devre Hücre Gerilimi	Anot malzemesi	Katot malzemesi	Elektrolit kompozisyonu
Kurşun-asit	2.1	PbO ₂	Pb	H ₂ SO ₄
Nikel-demir	1.2	Ni	Fe	KOH
Nikel-çinko	1.7	Ni	ZnO ₂	KOH
Nikel-kadmiyum	1.2	Ni	Cd	KOH
Nikel-metal hidrür	1.23	Ni	Metal hidrür	KOH
Sodyum-sülfür	2.1	S	Na	βAl ₂ O ₃
Sodyum-nikel klorür	2.1-2.2	NiCl	Na	βAl ₂ O ₃
Sodyum-demir sülfür	1.75-2.1	FeS ₂	LiAl ya da LiSi	LiCl/KCl
Lityum-katı polimer	2.-2.5	Li	V ₆ O ₁₃ + siyah asetilen	(PEO*) ₁₂ LiClO ₄
Lityum-iyon	3.6	Karbon ilavesi	LiCoO ₂	Organik
Alüminyum-hava	1.5	Al	O ₂	KOH
Çinko-hava	1.65	Zn	O ₂	KOH

5.2.1.1 Kurşun-Asit Batarya

Tüm İYM'larda ilk hareket bataryası olarak kullanılan düşük maliyet versiyonları negatif kurşun elektrotu, pozitif kurşun dioksit elektrotu ve de sülfürik asit elektrolit çözeltisinden oluşmaktadır. Genelde 6 tane hücre yaklaşık 12 voltu sağlamak için seri bir şekilde bağlanır.

Bu batarya 100 yıllık bir gelişme süreci geçirmesine rağmen 25-35 Wh/kg gibi düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Buna karşın güç yoğunluğu ise 150 W/kg gibi yüksek bir değerdir.

Kurşun asit bataryaları düşük çevre sıcaklıklarından şiddetli bir şekilde etkilenmektedir. Özellikle 10°C'nin altındaki çalışma koşullarında hem enerji hem de güç yoğunluğunda belirgin ölçüde düşüş görülür. Bu batarya tipini kullanan elektrikli araçların daha düşük ortam sıcaklıklarına maruz kalması durumunda yardımcı bir batarya ısıtmasına ve izolasyonuna ihtiyaç duyulur.

Kurşun asit bataryalarının ömrü yaklaşık %80 derin deşarj koşulunda 1000 çevrimdir. Bu yaklaşık 3 yıla tekabül etmektedir.

5.2.1.2 Nikel-Demir Batarya

Nikel demir bataryaları 1901 yılında Thomas Edison tarafından elektrik araçlarının daha uzun yol kat edebilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Nikel demir bataryaları güvenilir, uzun ömürlü, fakat pahalı bir sekonder bataryadır.

Bataryada nikel pozitif elektrot, demir negatif elektrot ve potasyum hidroksit ise sıvı elektrolittir.

Süre gelen geliştirme çalışmaları sayesinde enerji yoğunluğu 50 Wh/kg'a mertebesine ulaşmıştır. Bu gelişme aktif malzeme oranının arttırılması ve pasif batarya komponentlerinin ağırlıklarının azaltılması ile sağlanmıştır.

Nikel demir bataryalar -20°C 'de dahi nispeten performanslarını korumaktadır. Azami güç yoğunluğu 100 W/kg'dır ve bu değer ivmelenme için iyi bir değerdir. Bununla beraber güç yoğunluğu deşarjın derinliği ile önemli bir biçimde etkilenir. Bu bataryaların yaklaşık 6 yıla karşılık gelen, 2000 derin deşarj çevrimine kadar kullanım ömrü vardır.

5.2.1.3 Nikel-Çinko Batarya

Şarj edilebilen nikel çinko bataryalar ilk olarak 1899 yılında icat edilmiştir. Şarj esnasında çinko plakanın üzerinde dendritler kullanım ömrünü kısalttığından, bu bataryalar kullanımı yaygınlaşmamıştır. Son dönemde yüksek güç ve enerji yoğunluğu sayesinde EA'larda kullanım imkanı doğmuştur. Enerji yoğunluğu 70 Wh/kg ve güç yoğunluğu 150 W/kg olmasına rağmen bu bataryalarda temel problem dendrit oluşumu nedeniyle kullanım ömrünün 300 çevrim kadar kısa olmasıdır.

Bataryanın geniş bir çalışma sıcaklığı toleransı vardır (-39 ile $+81^{\circ}\text{C}$ arası). 30 günlük kullanım sonrası % 60 şarj azalması görülmektedir. Son zamanlarda bataryaların ömürlerinin uzatılabilmesi için bazı çalışmalar yapılmasına karşın nikel-çinko bataryaların gelişimi konusundaki araştırmaların yoğunluğu gittikçe azalmaktadır.

5.2.1.4 Nikel Kadmiyum Batarya

Son yıllarda nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalar özgül enerji, özgül güç, çevrim ömrü ve güvenilirlik bakımından en iyi dengeyi sağlayan bataryalar olarak kabul edilmektedir.

Nikel kadmiyum batarya sinterlenmiş pozitif nikel elektrot, negatif kadmiyum elektrot ve sulu elektrolit olarak potasyum hidroksitden oluşmuştur. Nikel kadmiyum bataryaları kurşun asit bataryalarına göre birim ağırlık başına bir miktar daha fazla enerji depolamaktadır. Bataryanın enerji yoğunluğu 50 Wh/kg ve güç yoğunluğu 200 W/kg'dır. Bu bataryalar yüksek şarj ve deşarj oranlarına sahip olduklarından EA'larda kullanılabilir. Derin deşarj çevrim sayısı 2000 civarındadır.

Kadmiyumun toksik ve çevreye zararlı olmasından dolayı, nikel-kadmiyum bataryaların geri kazanımı oldukça önemli ve bir o kadarda karmaşıktır. Çevreye verdikleri zarardan dolayı kullanımları durdurulmuştur.

5.2.1.5 Nikel-Metal Hidrür Batarya

Nikel-metal hidrür (NiMH) bataryalar, toksik özelliği olmayıp daha iyi performansa sahip olduklarından son zamanlarda birçok elektrikli araç uygulamalarında nikel kadmiyum bataryanın yerini almıştır. NiMH, nikel kadmiyum bataryalara göre daha fazla enerji depolamaktadır. Batarya, metal hidrür karışımı olan negatif elektrot, potasyum hidroksit elektroliti ve de aktif malzemesi nikel hidroksit olan pozitif elektrottan oluşmaktadır. Negatif elektrot olarak hidrojen içeren metal alaşım kullanılır. Hidrojen içeren metal alaşımları iki kategoriye ayrılmaktadır:

- AB_5 alaşımları; nikel bileşikleri
- AB_2 alaşımları; titanyum vanadyum ve zirkonyum alaşımlı nikel bileşikleri.

NiMH bataryası 70 Wh/kg'dan fazla enerji yoğunluğuna ve 200 W/kg dan daha fazla güç yoğunluğuna sahiptir. Batarya %80 derin deşarj durumunda 600'ün üzerinde tam şarj/deşarj çevrimine sahiptir ve hızlı bir şekilde % 80 tekrar şarj olması yaklaşık 35 dakikadır. NiMH bataryalar, kurşun asit bataryalardan yaklaşık 5 katı kadar daha pahalıdır.

5.2.1.6 Sodyum-Sülfür Batarya

Sodyum sülfür batarya, ilk olarak 1960'li yıllarda Ford Araştırma laboratuvarında elektrikli taşıtlar için gerekli enerji ve güç yoğunluğunu sağlamak için geliştirilmiştir. Birçok Avrupa, Amerika ve Japon şirketinde ticari prototiplerde kullanılmaktadır. Batarya negatif sodyum elektrotundan ve pozitif sülfür elektrotundan oluşmaktadır. Batarya yüksek sıcaklıklarda (350°C) çalışmaktadır ve her iki elektrot bileşenleri de sıvı durumdadır.

Sodyum sülfür bataryalar, 110 Wh/kg gibi yüksek enerji yoğunluğu ile 150 W/kg gibi yüksek güç yoğunluğu ve 1000 derin deşarj çevrimi sağlamaktadır. Bataryanın

optimum çalışma sıcaklığı 350°C'dir ve 200°C'nin altında çalışması durmaktadır. Bu sıcaklığın altında sodyum elektrolit donmaktadır. Sodyumun donması reaksiyonu yavaşlatarak, mekanik gerilmelere yol açması nedeniyle bataryaya zarar vermektedir.

5.2.1.7 Sodyum-Nikel Klorür Batarya

Sodyum-nikel klorür bataryasında, nikel klorür pozitif elektrot sodyum ise negatif elektrottur. Sodyum tuzu elektroliti yerine sodyum klorür elektrotu yer almaktadır. Bu elektrodun donma noktası daha düşük olup 160°C civarındadır.

Bu batarya türü, sodyum sülfür bataryasına göre bir miktar düşük sıcaklıklarda çalışmakta (300°C) olup, benzer enerji (100 Wh/kg) ve azami güç yoğunluğuna (150 W/kg) sahiptir.

5.2.1.8 Lityum-Demir Sülfat Batarya

Elektrikli taşıtlarda potansiyel kullanım alanı bulunan üçüncü yüksek sıcaklık bataryasıdır. Lityum, özellikle üstün enerji depolama yeteneği sağlayan yüksek elektrot potansiyeline sahip olmasından dolayı bataryalarda kullanılması uygundur .

Bataryanın demir sülfat pozitif elektrotu ve alüminyum lityum negatif elektrotu vardır. Çalışma sıcaklıkları 450°C civarındadır. Azami enerji yoğunluğu 150 Wh/kg, güç yoğunluğu 300 W/kg ve derin deşarj çevrimi 1000 mertebesindedir.

5.2.1.9 Lityum-Katı Polimer Batarya

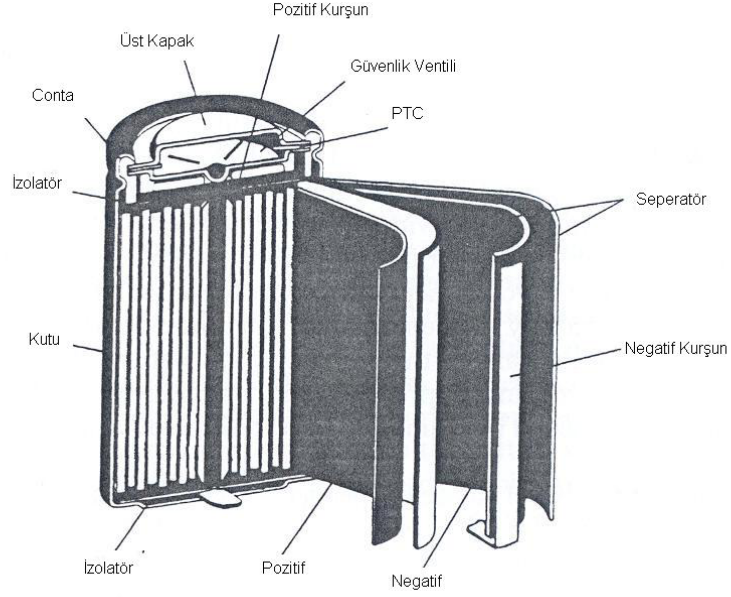
Lityum-katı polimer bataryada diğer yüksek sıcaklık bataryalarından farklı olarak, ergimiş tuz elektroliti yerine iletken polimerler kullanılmaktadır. 150 Wh/kg enerji ve 300 W/kg güç yoğunluğuna sahiptir. Bataryanın düşük güçte dış ortam sıcaklıklarında çalışması mümkün olmakla birlikte, optimum çalışma sıcaklığı 80°C ve 120°C aralığındadır.

5.2.1.10 Lityum-iyon Batarya

Lityum-iyon hücrelerin yapısı lityum-katı polimer batarya hücrelerine benzemektedir. Ancak negatif lityum metal plaka yerine grafit veya kalay oksit gibi negatif “host” kullanılmasıdır. Deşarj esnasında lityum iyonları negatif “host”tan organik elektrot yardımıyla manganez, kobalt ya da nikel oksit pozitif “host”a geçer. Şarj esnasında da tam tersi proses gerçekleşir. Lityum iyonları katot ve anot arasında sarkaç gibi hareket eder. Lityum-iyon bataryalar yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrimlik derin deşarj çevrimine sahiptirler. Bu bataryalar, %80 şarj durumuna 1 saatten daha kısa sürede tekrar şarj edilebilmektedir.

Bu bataryayı, elektrikli araç uygulamalarında kullanılabilecek maliyet ve özelliklere getirebilmek için Japonya (Sony ve Panasonic), Avrupa (SAFT ve Varta) ve ABD’de (Duracell) çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir. Sony, 3500 derin deşarj çevrimli 35 kWh kapasite ve 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahip bir lityum-iyon batarya yaptığını bildirmiştir.

Lityum-katı polimer bataryalar ve lityum-iyon bataryalar yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle, elektrikli araç uygulamaları için en uygun potansiyele sahip bataryalar olarak değerlendirilmektedir. Gelecek 15-20 yıl içinde lityum-iyon bataryanın henüz yüksek olan maliyetlerinin düşerek EA’larda kullanılabilecek ekonomik seviyeye inebileceği öngörülmektedir. Şekil 36’da lityum-iyon bataryanın şematik şekli görülmektedir.



Şekil 36. Lityum-iyon hücrenin yapısı

5.2.1.11 Alüminyum-Hava ve Çinko-Hava Bataryalar

EA'larda kullanılan bir diğer batarya türü metal-hava bataryalarıdır. Çinko ve alüminyum, bu türden uygulamalarda en fazla kullanılan metal elektrotlardır. Tüm metal hava bataryalarda ince gaz geçirgen katot ve potasyum hidroksit gibi alkali su bazlı elektrolit kullanılır.

Alüminyum-hava bataryasının azami enerji yoğunluğu 220 Wh/kg, çinko-hava bataryasının ise 200 Wh/kg olarak belirtilmektedir. Ancak hava ve elektrolit arasındaki değiş-tokuş hızı güç yoğunluğunu belirler ve bu hız oldukça düşüktür.

5.2.1.12 Hibrid Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar

Genel olarak EA'larda kullanılacak bataryaların spesifik güç (W/kg), spesifik enerji (Wh/kg) seviyelerinin yüksek, uzun ömürlü ve düşük maliyetli olması gereklidir. Ancak bu özelliklerin tümünü bir arada barındıran mükemmel batarya bulunmamaktadır. Hibrid elektrikli araçta kullanılacak bataryalar, araçta kullanılan enerji yönetim sistemi ve araç konfigürasyonuna göre seçilmelidir.

Batarya şarj seviyesinin, % 50 lilerin altına düşmesin prensibine tasarlanmış HEA'lar için derin deşarja dayanabilecek bataryalar seçilir. Sessiz sürüş modu için de derin deşarj kabiliyetine sahip bataryalar kullanılmalıdır. Ancak kullanım süresince şarj seviyesi belli aralıklarda değişecek şekilde tasarlanmış hibrid sistemlerde kullanılacak bataryaların spesifik gücünün yüksek olması gereklidir.

Seri HEA'larda, ortalama yükleri güç üretim sisteminin tek başına karşılayacak, şekilde enerji yönetim sisteminin kurulması gereklidir. Bu durumda bataryalar tepe yüklerde anlık enerji talebini karşılayacak büyüklükte seçilmelidir. Güç desteği durumunda, kullanılan bataryanın spesifik gücünün yüksek olması istenir. Yükün tamamının aküler tarafından karşılanacağı durumlarda ise spesifik enerjisi yüksek batarya kullanılması tercih edilir. Burada güç üretim sistemi aküleri şarj etmek için kullanılmaktadır.

Paralel hibrid araçlarda, çoğunlukla elektrik tahrik sistemi düşük güçlerde seçilir. Paralel hibrid araçlarda sessiz sürüş modu çok kısadır. Düşük hızlarda ve geri kazanımlı frenleme sırasında enerji tasarrufu sağlamayı hedefleyen bu uygulamada spesifik gücü yüksek bataryalar kullanılmaktadır.

5.2.2 Volanlar

Volan (flywheel) veya diğer adıyla magneto-dinamik enerji depolama (MDS) sistemi, bir kinetik enerji depolama ünitesidir. Volanlar, dönen bir ağırlık sayesinde kinetik enerjiyi depo etmektedir. Hali hazırda Volanlar, İYM'lu araçlarda enerjinin depolanabilmesi için kullanılmaktadır. İYM'lu araçlarda kullanılan mevcut volanlarda depolanan enerji miktarı oldukça düşüktür. 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 oldukça yüksektir.

Volanların enerji yoğunluğu özellikle dönme hızına bağlıdır. Bunun yanında yüksek dönme hızı özel yataklar ve yüksek mukavemetli malzemeler gerektirdiğinden maliyetleri artırmaktadır.

Volanlarda depolanan enerji U :

$$U = \frac{1}{2} Jw^2$$

Burada J atalet momenti, w ise açısal hızdır.

Depolanan enerji atalet momenti ile doğru, açısal hızın ise karesiyle doğru orantılı olarak artar.

Birim kütle başına depolana enerji ;

$$\frac{U}{m} = k \frac{\sigma}{\rho}$$

Burada k , geometriye bağlı sabit sayıdır. σ gerilme direnci ρ ise malzeme yoğunluğudur.

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'nın üzerindedir. Volanlar saniyeler mertebesinde tam şarja ulaşırlar. Volanlar toksik emisyonlar ve atık malzemeler açığa çıkmaz, çevreye karşı daha duyarlıdır.

Volanların avantajları yanında bazı dezavantajları da vardır. Volan enerji depolama sisteminin uygulanmasındaki en büyük zorluk sistemin çalışması için gerekli ekstra donanıma ihtiyaç duyulmasıdır. Ekstra donanımlar araca ek ağırlık getirmektedir.

Özellikle Almanya'da Magnet Motor ve Hollanda'da CCM HEA'larda kullanılmak üzere volan enerji depolama sistemini geliştirmiştir. Özellikle Magnet-Motor firmasının ürettiği volanlar 1988'den beri Avrupa'nın çeşitli başkentlerinde dizel elektrikli trolleybüs vb. araçlarda güvenle kullanılmaktadır.

CCM volanları kompozit malzemelerden üretilmiştir. Volan vakum altındaki koruma haznesi içerisinde 15000 d/d ile dönmektedir. Enerji depolama verimi yaklaşık %93'dür. Motor volan ile birlikte dönmektedir.

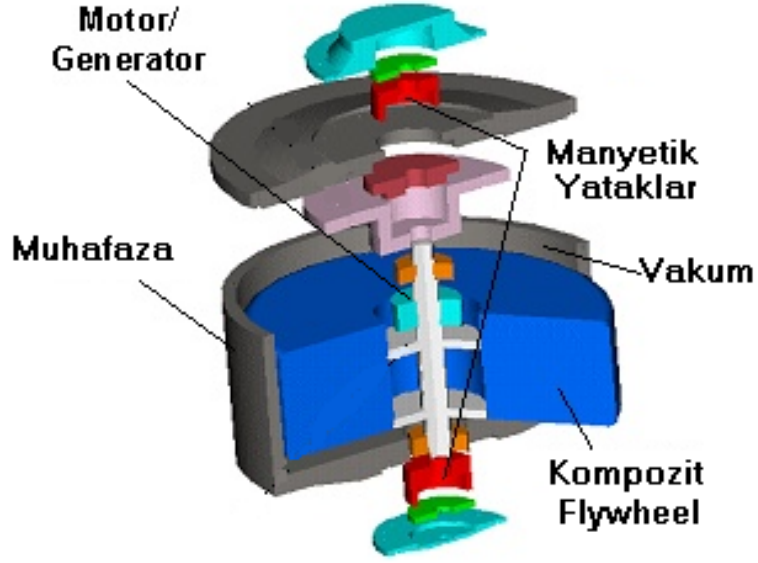
CCM tarafından geliştirilen volanlar test amaçlı olarak trolleybüsde kullanılmıştır. Şehir içi sürüş şartlarına uygun tasarlanmış standart dizel otobüsüne göre volanın enerji depolama verimi %93'dür ve %35 yakıtın geri kazanımı sağlanmıştır.

Tablo 18'de CCM volan ünitesinin enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu ve çevrim ömrü hibrid araçlarda kullanılan kurşun-asit bataryalarına göre karşılaştırılmıştır.

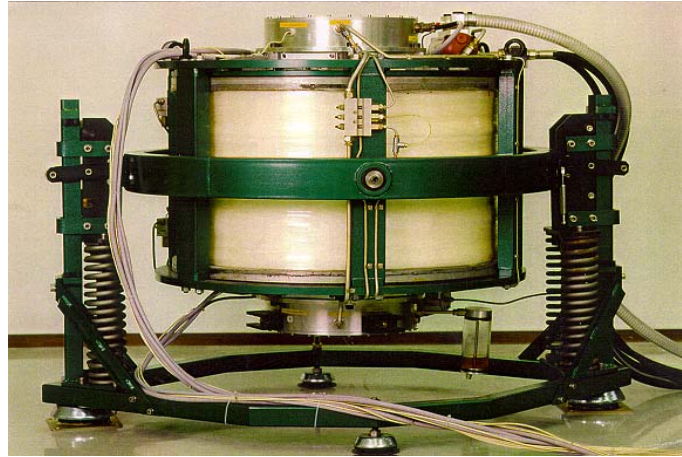
Tablo 18. Volan enerji depolama sisteminin kurşun-asit bataryaya göre karşılaştırılması

Özellikler	Kurşun-asit bataryaya göre oran
Enerji Yoğunluğu	0.025
Özgül enerji	0.25
Çıkış güç yoğunluğu	6
Özgül çıkış gücü	7
Çevrim ömrü	1000
Tekrar şarj oranı	240

Şekil 37'de volanın yapısı ve şekil 38'de CCM firmasının EMAFER adını verdikleri volan sisteminin şematik resimleri görülmektedir.



Şekil 37. Volanın yapısı



Şekil 38. EMAFER adını verilen volan sistemi

5.2.3 Süperkapasitörler

Kapasitörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitör iki tane plaka olarak adlandırılan iletkenle, bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkandan oluşmaktadır. Konvansiyonel kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir ($\sim 10^{12} \text{ W/m}^3$) fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür ($\sim 50 \text{ Wh/m}^3$). Konvansiyonel kapasitörler genellikle elektrolitik kapasitörler olarak adlandırılırlar. Depolanan yük miktarı yani enerji miktarı plakaların alanına ve

aralarındaki mesafeye bağlıdır. Yüksek kapasite için alan büyük ve plakaların arasındaki boşluk az olmalıdır.

Süperkapasitörler konvansiyonel kapasitörlerin geliştirilmiş halidir. Süperkapasitörlerin 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.

Bir süperkapasitörde plakaların arasındaki boşluk katı polimerden oluşan elektrolitle doludur. Burada plakalar bataryada olduğu gibi elektrottur. Ancak kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmez, sadece elektrot yüzeylerinde iyonlaşma olur. Elektrotlar çok yüksek yüzey alanına sahip delikli malzemeden yapılmıştır (>2000 m²/g). Süperkapasitörlerde elektrostatik yükler iyonlar şeklinde elektrolitte depolanmaktadır.

Devam eden araştırmalar 4000 W/kg ve 15 Wh/kg civarında kapasiteye sahip kapasitörlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Süperkapasitörlerin primer enerji kaynağı olarak HEA'larda kullanılması için enerji yoğunluklarının artırılması gereklidir.

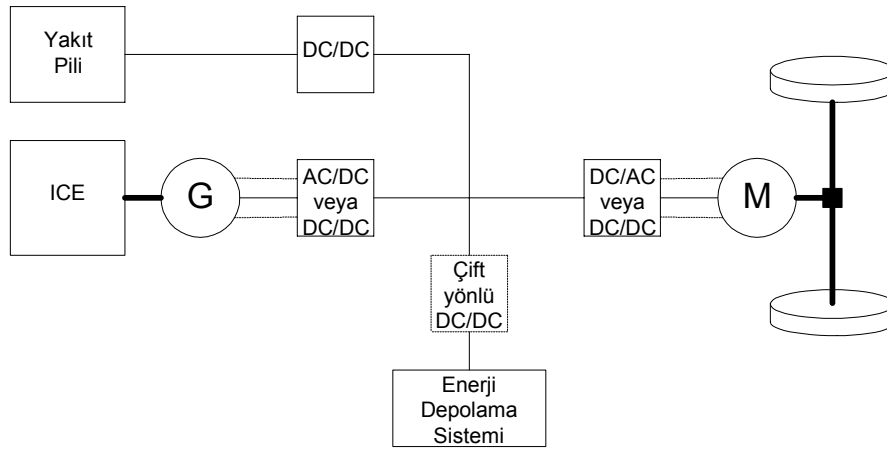
Süperkapasitörler halihazırda ivmelenme ve yokuş çıkma gibi ani güç gereksinmelerinde bataryalara yada yakıt piline yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tablo 20'da kurşun asit batarya, volanın ve süperkapasitörün mukayesesi gösterilmiştir.

Tablo 19. Kurşun-asit, volan ve süperkapasitörlerin değerlendirilmesi

	Kurşun-asit	Volan	Süperkapasitör
Özgül enerji			
(Wh/kg)	50	5-15	3-5
(kJ/kg)	180	18-55	11-18
Özgül güç(W/kg)	150	500	300-500
Depolama verimi (%)	77	93	80-90
Normal şarj zamanı (saat)	8	Çok kısa	Çok kısa
Çevrim ömrü	600-1200	>1 000 000	>100 000

5.3. Güç Kontrol Sistemleri

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



Şekil 39. Seri hibrid güç sistemi

Elektrikli araçlarda kullanılan güç kontrol sistemleri, klasik güç elektroniği devrelerinden oluşmaktadır. Bu devreler 4 ana başlık altında incelenebilir;

- Doğrultucular (AC/DC)
- Çeviriciler (DC/DC)
- Eviriciler (DC/AC)
- Kıyıcılar (AC/AC)

AC/AC kıyıcılar, elektrikli araçlarda uygulama alanına sahip olmadığından bu bölümde incelenmeyecektir.

5.3.1 Doğrultucular

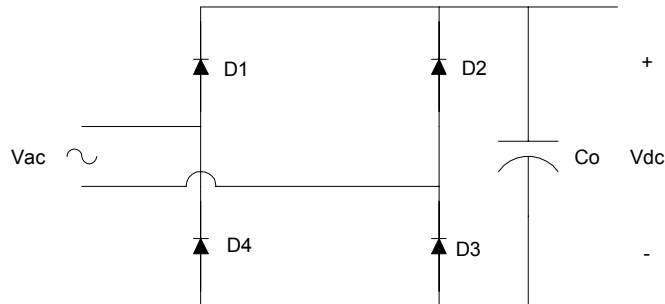
Alternatif gerilimin doğru gerilime dönüştürülmesinde doğrultucular kullanılmaktadır. Doğrultucular kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadırlar. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi kontrolsüz doğrultucularda çıkış gerilimi kontrol edilmemekte ve ortalama çıkış gerilimi AC kaynaktaki gerilim değişimlerinden ve yükten etkilenmektedir. Kontrollü doğrultucularda ise kullanılan yarı iletken anahtarların anahtarlama açılarının kontrol edilmesiyle çıkış gerilimi ayarlanabilir sabit değerlerde tutulabilmektedir.

HEA'larda doğrultucular, AC generatör kullanılması durumunda, çıkış geriliminin DC baraya bağlanmadan önce doğrultulmasında kullanılır. Bu doğrultucuların AC/DC dönüşümünün yanında bir diğer önemli özelliği enerji yönetim (energy management) sistemi olarak ta görev yapmasıdır.

Pek çok uygulamada DC baraya bağlı olan akülerin şarj ve deşarjının kontrolünde DC/DC çevirici kullanmak yerine, çıkış gerilimi değiştirilebilir doğrultucular kullanılmaktadır.

5.3.1.1 Kontrolsüz Doğrultucular

Kontrolsüz doğrultucularda, yarı iletken anahtar olarak diyotlar kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan doğrultucu türleri köprü doğrultuculardır. Şekil 40'da 1 fazlı köprü doğrultucu devre şeması görülmektedir.



Şekil 40. Bir fazlı kontrolsüz doğrultucu

AC gerilimin pozitif olduğu sürede D1-D3 diyotları, negatif olduğu sürede ise D2-D4 diyotları iletme geçmekte ve çıkıştaki kondansatörü doldurmaktadır. Çıkış gerilimindeki dalga şekli, kullanılan kondansatörün değerinin artırılması ile değiştirilebilir.

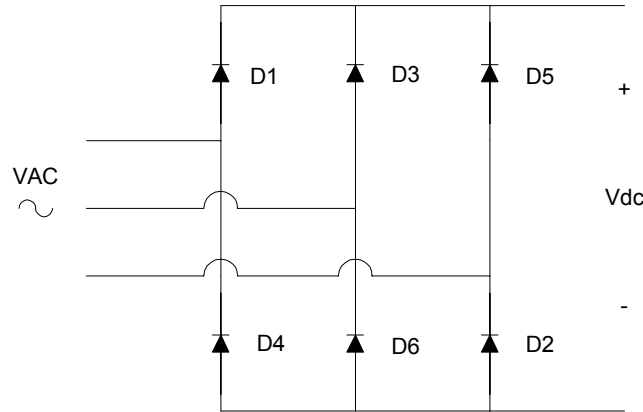
Şekil 40'de görülen doğrultucu devresinin çıkış gerilimi, giriş geriliminin tepe değerine eşittir.

$$V_{ac} = \sqrt{2}V_{rms} \cdot \sin(\alpha) = V_m \cdot \sin(\alpha)$$

$$V_{dc} = V_m$$

Üç fazlı kontrolsüz doğrultucu devre şeması Şekil 41'de görülmektedir. Çıkışta elde edilen gerilim değeri şu formülle hesaplanır;

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}$$

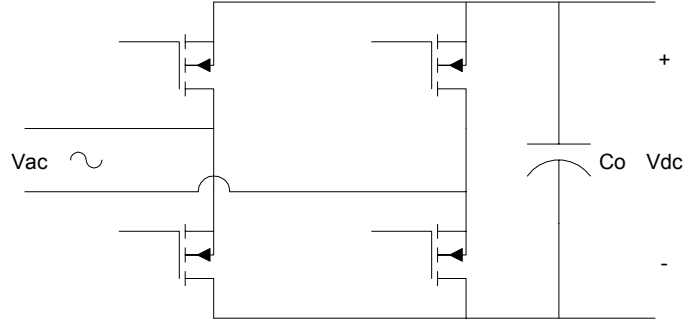


Şekil 41. Üç fazlı kontrolsüz doğrultucu

5.3.1.2 Kontrollü Doğrultucular

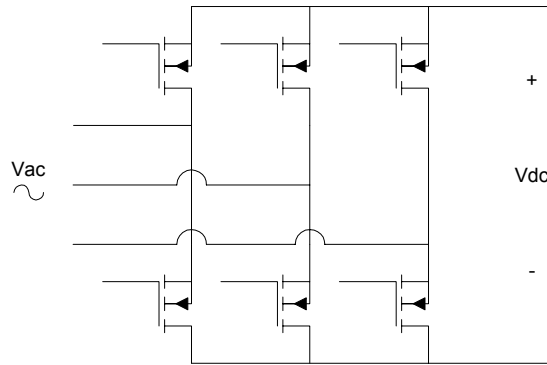
Kontrollü doğrultucularda, anahtarlama için kontrollü yarı iletken anahtarlar kullanılır. Günümüzde MOSFET ve IGBT'ler, anahtarlama hızlarının yüksek, iletim kayıplarının düşük olması ve yüksek güçlerde üretilmeleri gibi nedenlerle en yaygın olarak kullanılan anahtarlardır. Bunların yanısıra, tristörler, GTO, MCT ve bipolar

transistorlarda kullanılabilir. Şekil 42’de bir fazlı kontrollü doğrultucunun şematik resmi görülmektedir.



Şekil 42. Bir fazlı kontrollü doğrultucu

Kontrollü doğrultucularda, anahtarların tetikleme açılarının kontrolü ile çıkış gerilimi sabit bir değerde tutulur. Bunun için çeşitli darbe genişlik modülasyonu (PWM) teknikleri kullanılmaktadır. Şekil 43’de üç fazlı kontrollü doğrultucunun şematik resmi görülmektedir.

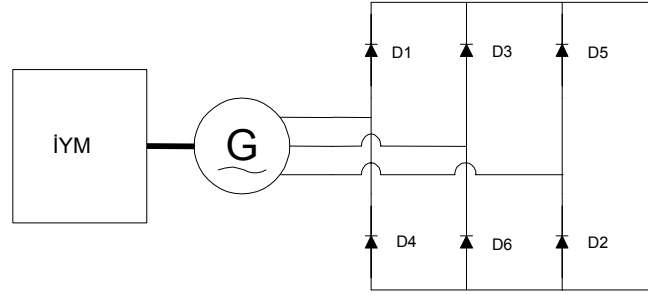


Şekil 43. Üç fazlı kontrollü doğrultucu

5.3.1.3 Doğrultucuların Elektrikli Araçlarda Kullanımı

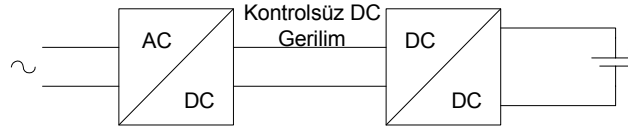
Hibrid elektrikli taşıtlarda kullanılan bara gerilimi DC’dir. Bunun başlıca nedeni, kullanılan elektronik devrelerde senkronizasyon sorunu yaşanmaması, kontrol kolaylığı ve verimliliğin artırılmasıdır. Ancak DC elektrik makinaları bakım gereksinimi ve ömürlerinin kısa olması gibi nedenlerle hibrid elektrikli araç uygulamalarında tercih edilmemektedir. HEA’larda elektrik enerjisi üretimi genellikle

AC çıkışlı generatörler ile sağlanır. Üretilen elektrik enerjisi DC baraya, doğrultucu devreleri ile bağlanır. Şekil 44'de generatör DC bara bağlantısı görülmektedir.



Şekil 44. Generatör DC bara bağlantısı

Doğrultucuların, EA'larda bir diğer kullanım alanı da akü şarj devreleridir. Akülerin şebekeden şarj edilebilmesi için kullanılan güç elektroniği sisteminin bir parçası da doğrultucu devreleridir. Şebeke gerilimi bir kontrolsüz doğrultucu ile doğrultulur. Daha sonra bir DC/DC çevirici ile uygun şarj algoritması kullanılarak akü şarj edilir. Şekil 45'de akü şarj sisteminin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 45. Akü şarj sistemi

5.3.2 Çeviriciler

DC-DC çevirici olarak da tanımlanan çeviriciler çoğunlukla regüle edilmemiş DC gerilim kaynağının, kontrollü bir biçimde sabit DC gerilime dönüştürülmesi için kullanılırlar. Regüle edilmemiş DC gerilim, genellikle bir kontrolsüz doğrultucu ile sağlanır. Aküler ve yakıt pilleri de regüle edilmemiş DC gerilim kaynağıdır.

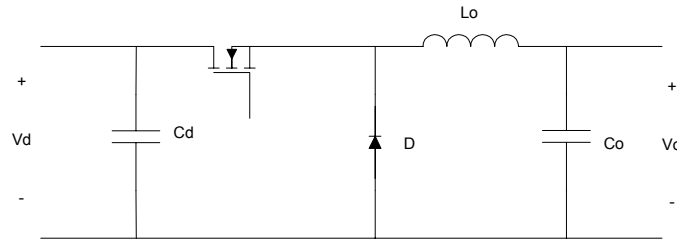
Çeviricilerin genel çalışma prensibi belirli bir periyot içerisinde yarı iletken anahtarın iletme ve kesime geçmesi ve sonucunda da ortalaması giriş geriliminden farklı bir çıkış geriliminin sağlanmasıdır.

DC-DC çeviriciler anahtarlama güç kaynakları ve DC motor sürüş sistemlerinde oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Hibrid elektrikli araç uygulamalarında genellikle farklı gerilim seviyesine sahip DC sistemlerin birbirlerine bağlanması amacıyla kullanılırlar.

Literatürde alçaltıcı (buck) ve yükseltici (boost) olmak üzere 2 temel çevirici topolojisinden söz edilmektedir. Alçaltıcı-yükseltici, flyback, forward çeviriciler, cuk çevirici, yarım köprü çevirici, tam köprü çevirici ve sepic çevirici bu iki temel devrenin kombinasyonları ile türetilmiştir. Bahsi geçen tüm çeviricilerin tek, çift ve dört bölgede çalışan varyasyonları bulunmaktadır.

5.3.2.1 Alçaltıcı Çevirici

İsminden de anlaşılacağı üzere alçaltıcı çevirici DC giriş geriliminden daha düşük ortalama DC gerilim üretir. Temel alçaltıcı devre şeması Şekil 46'da görülmektedir.



Şekil 46. Alçaltıcı DC-DC çevirici

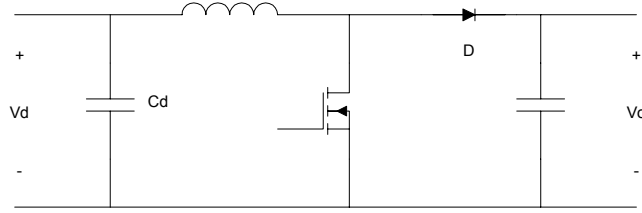
Belirli bir periyot içerisinde, yarı iletken anahtarın iletme ve kesime geçmesi ile ortalaması giriş geriliminden daha düşük bir DC gerilim elde edilir. Devrenin çıkışında bir L-C filtre bulunmaktadır. Endüktans yük akımındaki dalgalanmayı, kondansatör ise çevirici çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için kullanılır.

Anahtar iletme geçtiğinde yük endüktans üzerinden beslenir. Bu sırada endüktans üzerinde enerji depolanmaya başlanır. Anahtar kesim durumuna geçtiğinde ise serbest geçiş diyodu olarak adlandırılan diyot iletme geçer. Bu sayede endüktans üzerinde depolanan enerji yük üzerinde harcanır. Devrenin çıkışında bulunan

kondansatör, anahtarın kesime gittiği süre içerisinde çıkış gerilimini sabit tutmaya çalışır.

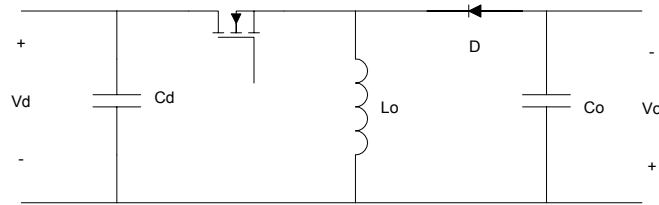
5.3.2.2 Yükseltici Çevirici

Yükseltici çevirici kullanılarak ortalaması giriş geriliminden daha yüksek olan çıkış gerilimi elde edilir. Anahtar iletme geçtiğinde endüktans üzerinde enerji depolanmaya başlanır ve kesime geçtiğinde kaynak ve endüktans geriliminin toplamı diyot üzerinden yükü besler. Anahtarın iletme geçtiği sürece yük çıkış kondansatörü tarafından beslenir. Şekil 47’de yükseltici DC-DC çeviricinin şematik resmi görülmektedir.

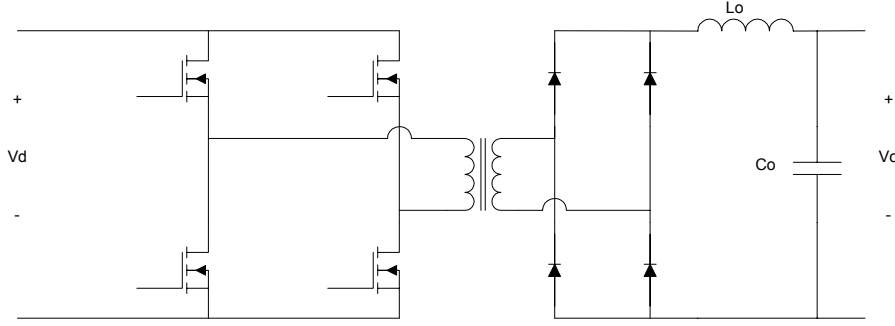


Şekil 47. Yükseltici DC-DC Çevirici

5.3.2.3 Diğer Çevirici Devre Şemaları



Şekil 48. Alçaltıcı-yükseltici DC-DC çevirici

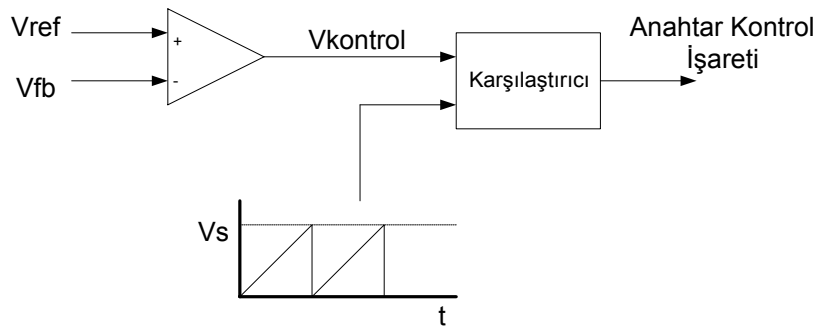


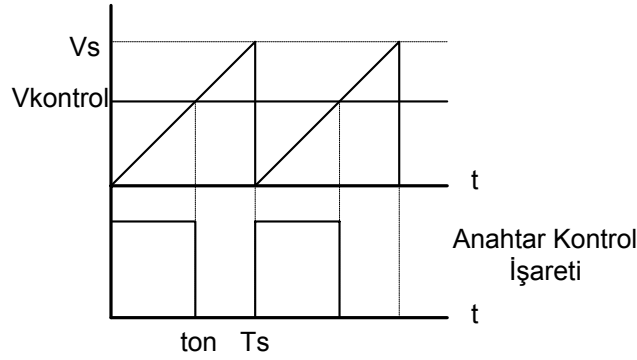
Şekil 49. Tam köprü DC-DC çevirici

5.3.2.4 Çeviricilerin Kontrolü

DC-DC çeviricilerde ortalama DC çıkış gerilimi, giriş gerilimindeki dalgalanmaya veya yükteki bir değişmeye rağmen istenilen bir değerde sabit tutulmalıdır. Çeviriciler, DC gerilimi bir seviyeden diğerine çevirmek için bir veya birden fazla yarı iletken anahtar içerirler. DC-DC çeviricilerde ortalama DC çıkış gerilimi kullanılan bu anahtarların iletim ve kesim sürelerinin değiştirilmesiyle kontrol edilir. En yaygın kontrol yöntemi, sabit bir anahtarlama frekansında, anahtarın iletim süresinin ayarlanmasıdır. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) adı verilen bu yöntemde, anahtarın iletim süresinin anahtarlama periyoduna oranı değiştirilir.

PWM işaretinin üretilmesi için çıkış geriliminden geri besleme (V_{fb}) alınır ve istenilen gerilim seviyesinde bir referans işaretine (V_{ref}) karşılaştırılır. Aralarındaki fark yani hata işareti bir güçlendiriciden geçirildikten sonra, frekansı anahtarlama frekansına eşit olan testere dişli dalga ile kıyaslanır. Kontrol işaretinin ($V_{kontrol}$), testere dişli dalgadan daha yüksek olduğu sürece anahtar kontrol işareti üretilir.



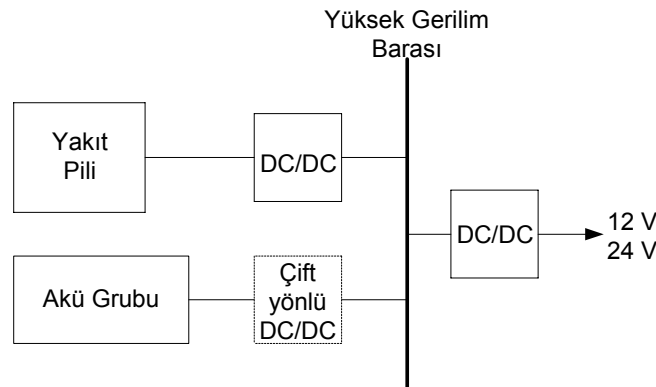


$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{V_{kontrol}}{V_s}$$

5.3.2.5 Çeviricilerin Hibrid Elektrikli Araçlarda Kullanım Alanları

DC-DC çeviriciler, HEA'larda farklı DC gerilim seviyesine sahip sistemlerin birbirine bağlanması ve DC motor kontrolü olmak üzere iki amaçla kullanılabilirler.

Farklı gerilim seviyesine sahip DC sistemler yakıt pili, akü grubu veya alçak gerilim beslemesine ihtiyaç duyan elektronik devreler olabilir. Şekil 50'de farklı seviyedeki DC gerilimlerinin paralel bağlanmasının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 50. Farklı seviyedeki DC gerilimlerin paralel bağlanması

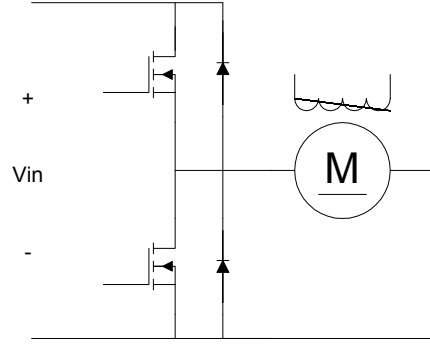
Pek çok binek hibrid elektrikli araç uygulamasında DC bara gerilimi 300 V civarında seçilmiştir. Bara gerilimi, kullanılan akülerin birbirine seri bağlanması ile gerçekleştirilebilir. Örneğin 25 adet 12 V'luk kurşun asit akünün seri bağlanması ile 300 V'luk bara gerilimi oluşturulur. Bu durumda akü grubu için DC-DC çevirici

kullanmaya gerek olmayabilir. Ancak yakıt pili sistemlerinin çıkış gerilimi genellikle bu seviyenin altında olduğundan, baraya güç yönetim sistemi adı da verilen DC-DC çevirici aracılığı ile bağlanır.

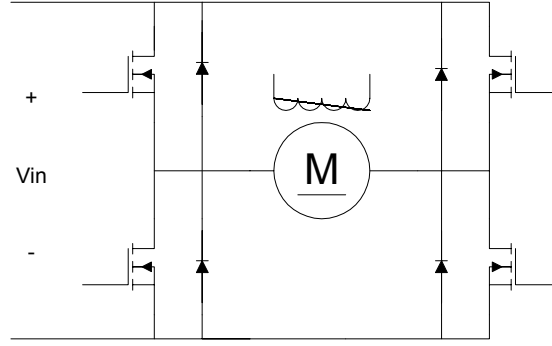
Çevirici kullanımına bir diğer neden de gerek akü gerekse de yakıt pilinin ideal gerilim kaynakları olmaması yani uç gerilimlerinin yüke ve diğer bazı koşullara göre değişim göstermesidir. Regüle edilmemiş güç kaynaklarının birbirine bağlanması kararlı olmayan bir yapı oluşmasına neden olur.

Akü grubu çıkışında kullanılan DC-DC çeviriciler, standart çeviricilerden farklı olarak, çift yönlü güç akışını sağlamalıdır. HEA'larda akü grubu, çeşitli yol koşullarında sistemi besler ve uygun durumlarda tekrar şarj edilir. Bu işlem için kullanılacak çevirici çift yönlü çalışabilmeli veya iki ayrı çevirici kullanılmalıdır. İki çevirici kullanımından ağırlık ve maliyet gibi nedenlerle kaçınılmaktadır.

DC-DC çeviriciler DC motor sürücüsü olarak ta kullanılmaktadır. Bu çeviriciler bir, iki, üç ve dört bölgede çalışabilen sürücüler olarak sınıflandırılırlar. Birinci bölge motor çalışma için kullanılır ve akımın akış yönü kaynaktan yüke doğrudur. İkinci bölge ise geri kazanımlı frenleme içindir ve elektrik makinası generatör olarak çalışarak akımın kaynağa doğru akmasına neden olur. EA'larda geri kazanımlı frenleme sürüş menziline artırılması için çok önemlidir. Bu nedenle EA'larda DC motor sürücüleri en azından iki bölgede çalışabilmelidir. Ters yönde çalışmanın mekanik anahtarlar yerine elektronik kontrolle yapılmasının istenmesi halinde dört bölgede çalışabilen çeviriciler kullanılır. Şekil 51'de iki bölgeli DC motor sürücüsünün ve Şekil 52'de dört bölgeli DC motor sürücüsünün şematik resmi görülmektedir.



Şekil 51. İki bölge DC motor sürücüsü



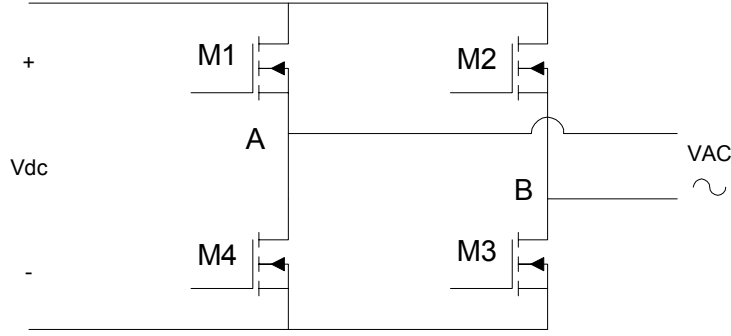
Şekil 52. Dört bölge DC motor sürücüsü

5.3.3 Eviriciler

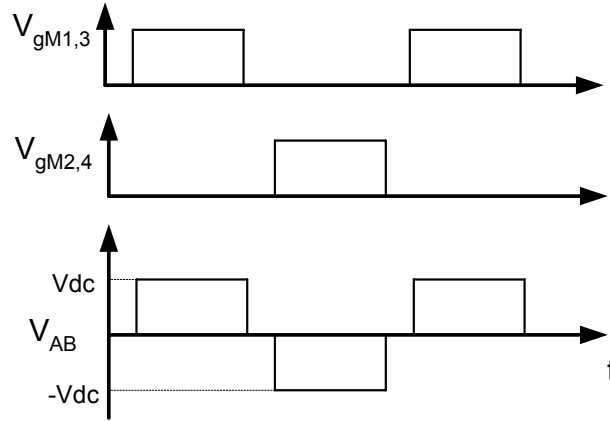
Eviriciler DC giriş gerilimini AC'ye çeviren güç elektroniği devreleridir. Elektrikli taşıt tahrik sistemlerinde, 3 fazlı gerilim beslemeli PWM (Darbe genişlik modülasyonu) eviriciler asenkron, sürekli mıknatıslı motor kontrollerinde kullanılmaktadır. Günümüzde anahtarlama elamanı olarak çoğunlukla IGBT'ler tercih edilmektedir. Genel olarak tüm güç elektroniği devrelerinde kullanılan anahtarların nominal gerilimi, anahtarlama sırasında oluşan gerilim yükselmeleri nedeniyle, bara geriliminin iki katı kadar seçilir.

İdeal eviricinin çıkış gerilimi sinüzoidal dalga şeklinde olmalıdır. Ancak uygulamada tam olarak sinüzoidal değildir ve harmonikler içerir. Çıkış gerilimindeki bu harmonikler, yüksek hızlı yarı iletken anahtarların çeşitli anahtarlama teknikleri kullanılarak kontrol edilmesiyle azaltılabilir. Bunun yanında, bazı uygulamalarda,

çıkışı kare dalga olan eviricilerde kullanılmaktadır. Anahtarlama için kullanılan çeşitli PWM tekniklerinden bazıları, sinüzoidal PWM, histerisiz bant PWM ve uzay vektörü PWM'dir. Şekil 53'de bir fazlı evirici devresinin şematik resmi görülmektedir.



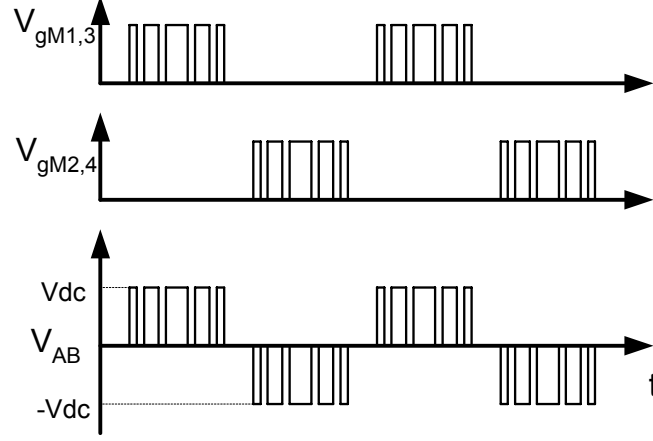
Şekil 53. Bir fazlı evirici devresi



Şekil 54. Kare dalga evirici kontrol ve çıkış gerilimleri

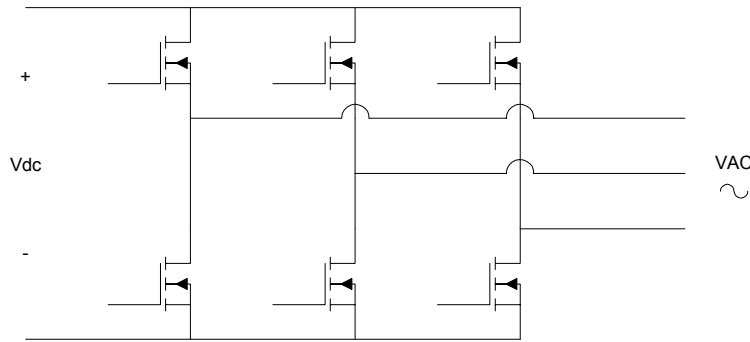
Bir fazlı eviricideki anahtarların kontrol girişlerine (Gate) uygun işaretler uygulanarak sırayla ilettime geçirilirler. Kare dalga eviriciye ilişkin kontrol işaretleri ve evirici çıkışı Şekil 54'de gösterilmiştir. 1 ve 3 numaralı anahtarlar ilettime geçtiğinde A-B noktaları arasında pozitif doğru gerilim uygulanır. 2 ve 4 numaralı anahtarlar ilettime geçtiğinde ise negatif doğru gerilim A-B noktaları arasında görülür. Dolayısıyla bir periyodun yarısında pozitif, diğerinde ise negatif gerilim uygulanarak, harmonikler içeren AC gerilim evirici çıkışında görülür.

Harmonikleri daha az ve sinüzoidal AC gerilime daha yakın dalga şekilleri üretebilmek için farklı PWM teknikleri kullanılır. Şekil 55’de evirici kontrol ve çıkış gerilimlerinin ve Şekil 56’da üç fazlı eviricinin şematik resimleri görülmektedir.



Şekil 55. Evirici kontrol ve çıkış gerilimleri

Çıkışın pozitif olduğu sürede iletimde olan 1 ve 3 numaralı anahtarlar, bu yarı periyotta da iletim ve kesime geçirilirler. Negatif periyotta aynı yöntem 2 ve 4 numaralı anahtarlara da uygulanır. Bu yöntemde çıkış gerilimi kare dalga çıkışa göre daha az harmonik içermekte ve daha çok AC gerilime benzemektedir. İdeal AC gerilime yaklaşabilmek için pek çok farklı PWM yöntemi geliştirilmiştir.



Şekil 56. Üç fazlı evirici

Eviriciler asenkron, senkron, sürekli mıknatıslı senkron motor hız kontrolünde kullanılabilir. Bu makinaların kontrolünde evirici çıkışı sinüzoidaldir. Sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım makinası kontrolünde ise fazlar kare dalga ile beslenir. EA'larda

motor hız kontrolü için kullanılan eviriciler genellikle kullanılan motorun faz sayısına bağlı olarak 3 fazlıdır. Bu konular tahrik sistemleri bölümünde ele alınmıştır.

5.4. Tahrik Sistemleri

Tümü-elektrikli ve HEA'larda kullanılan tahrik sistemleri elektrik motoru, güç elektroniği ve kontrol ünitelerinden oluşur. Güç elektroniği ve yeni manyetik malzemelerdeki hızlı gelişmeler nedeniyle, bu sistemler her geçen gün yenilenmektedir. Daha önceden de değinildiği gibi paralel hibrid elektrikli taşıtlarda bunlara ek olarak, İYM'de tahrik sisteminin bir parçasıdır.

Bugüne gelene kadar farklı elektrik motor tipleri tümü-elektrikli ve HEA'larda denenmiştir. Tümü-Elektrikli ve hibrid elektrikli araç motorlarında beklenen özellikler şunlardır:

- Yüksek anlık güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- Kalkış ve yokuş tırmanma durumları için düşük hızlarda yüksek moment,
- Normal seyir sırasında yüksek hızlarda yüksek güç,
- Sabit moment ve sabit güç bölgelerini içeren çok geniş hız aralığı,
- Moment ihtiyacına hızlı cevap verebilme,
- Geniş hız ve moment aralıklarında yüksek verim,
- Geri kazanımlı frenleme için yüksek verim,
- Aracın değişik çalışma koşulları için yüksek güvenilirlik ve sağlamlık,
- Kabul edilebilir seviyede maliyet.

HEA'lardaki elektrik tahrik sistemlerinin seçimi, esas olarak üç faktöre bağlıdır. Bunlar; sürücünün beklentileri, araç kısıtları ve enerji kaynaklarıdır. Sürücünün beklentileri; ivmelenme, en yüksek hız, tırmanma kabiliyeti, frenleme ve menzil özelliklerini içeren sürüş profili ile tanımlanır. Araç kısıtları aracın çeşidine, araç ağırlığına ve aracın taşıdığı yüke bağlıdır. Enerji kaynakları ise aküler, yakıt pilleri, süperkapasitörler, volanlar ve değişik hibrid kaynaklarla ilgilidir.

Geçmişte kontrolünün kolay olması nedeniyle tercih edilen DC motor türleri, günümüzde güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler sonucunda yerlerini AC motorlara bırakmaktadır. Fırça-kolektör bakım gereksinimi 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.

Elektrikli araç tahrik sistemlerinde başlıca 4 elektrik motoru kullanılmaktadır.

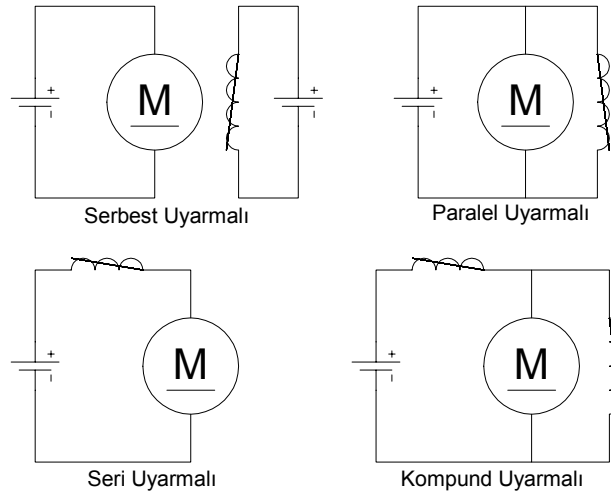
- DC motor
- Asenkron motor
- Sürekli mıknatıslı motor
- Anahtarlamalı relüktans motoru

5.4.1 Doğru Akım Motorlar

DC motorlar, bir manyetik alan içerisinde bir iletkenin akım geçirilmesi sonucunda, o iletkene kuvvet etki etmesi prensibiyle çalışırlar. DC motorlarda manyetik alanın oluşturulması için statorda bir alan sargısı ve rotorda da dönme hareketinin sağlanması için bir endüvi sargısı bulunur. DC gerilim dönen kısma da uygulandığından fırça kolektör düzeneği kullanılmaktadır. Bu düzenek DC motorun bakım gereksinimini arttırmakta ve sanayide olduğu gibi EA'larda da kullanımının azalmasına neden olmaktadır.

DC motorlar alan sargısının türüne göre serbest uyarmalı, seri uyarmalı, paralel uyarmalı ve kompund uyarmalı olmak üzere 4'e ayrılırlar. Şekil 57'de DC motor türlerinin şematik resimleri görülmektedir.

Serbest uyarmalı DC motorlarda, uyarma sargısı ve besleme sargısı elektriksel olarak birbirinden bağımsız olan iki kaynaktan beslenir. Seri uyarmalı DC motor da uyarma sargısı ve endüvi sargısı birbirine seri, paralelde ise paralel olarak bağlanmıştır. Kompund motor bu iki türün birleştirilmesiyle elde edilir.



Şekil 57. DC motor türleri

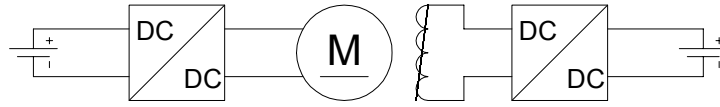
Seri uyarmalı motorlarda uyarma sargısından akan akım, endüvi sargısı ile aynıdır. Üretilen moment akımın karesi ile orantılı olması, elektrikli araç uygulamalarında seri uyarmalı DC motorların tercih edilmesine neden olmuştur. Buna karşın yüksüz çalışma durumunda çekilen akımın çok düşük olması motorun çok yüksek devirlere çıkmasına ve sonucunda da mekanik olarak zarar görmesine neden olur. Bu nedenle motor sürekli yüklü halde çalıştırılmalıdır.

Paralel uyarmalı DC motorda uyarma sargısına ve endüviye aynı gerilim uygulanmaktadır. Üretilen moment endüvi akımıyla lineer olarak orantılıdır, dolayısıyla seri uyarmalıya göre daha azdır.

Kompund motorlar ise seri ve paralel motorun kombinasyonudur. Uyarma sargılarının birbirine göre ters veya düz sarılması ile farklı karakteristikler gösterirler. Hız kontrolü, endüviye uygulanan gerilimin artırılması veya uyarma sargısından akan akımın azaltılması ile sağlanır. Ters yönde çalışma için ise endüvi sargısı ya da uyarma sargısından birine uygulanan gerilim yön değiştirilmektedir.

Seri, paralel ve kompund DC motorlarda ters yönde çalışma için ilave mekanik veya elektronik bağlantılar kullanılır. Bu anahtarlar sargılardan birine uygulanan gerilimin yönünün değiştirilmesini sağlar.

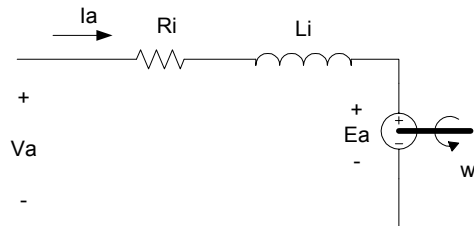
Serbest uyarmalı DC motorlarda her iki sargıya uygulanan gerilimin ayrı ayrı kontrol edilebilmesi, hız ve moment kontrolü açısından üstünlük sağlamaktadır. Motorun ters yönde dönmesi için, uygulanan gerilimlerden birinin yön değiştirmesi yeterlidir. Şekil 58'de serbest uyarmalı DC motor kontrol sisteminin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 58. Serbest uyarmalı DC motor kontrol sistemi

DC makinalar kolay kontrol edilebilmesi, moment ve akı kontrolünün bağımsız olarak sağlanabilmesi ve yerleşmiş üretim teknolojisi gibi üstünlüklerine rağmen, yüksek bakım gereksinimine yol açan fırça aşınmaları, düşük nominal hız, komütatör nedeniyle oluşan yüksek elektromanyetik girişim, düşük özgül güç oranı (W/kg) ve düşük verimlilik gibi dezavantajları vardır.

Şekil 59'da DC motor endüvi eşdeğer devresi görülmektedir. Devre, iç direnç R_i , endüvi sargı endüktansı (L_i) ve rotorda endüklenen gerilimden (E_a) oluşmaktadır.



Şekil 59. DC Motor eşdeğer devresi

DC motor devre eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

$$V_a = E_a + R_i \cdot I_a + L_i \cdot \frac{dI_a}{dt} \quad (1)$$

$$E_a = K \cdot \phi \cdot \omega_r \quad (2)$$

ω_r : motor hızı

ϕ : akı

K: makinanın yapısına bağlı olan bir sabit

J: motor eylemsizliği

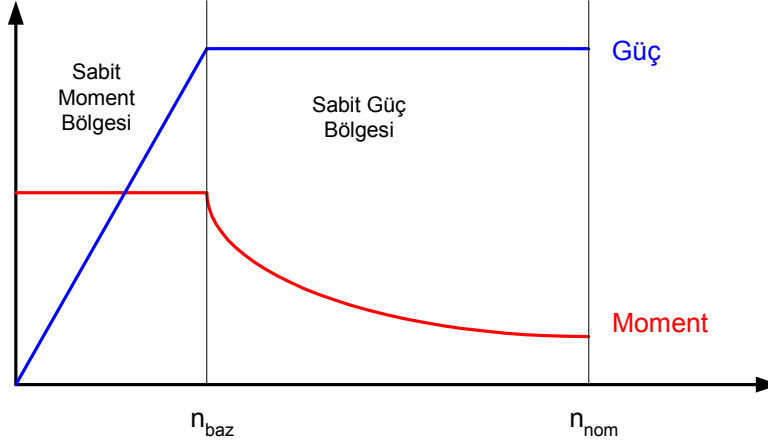
Tl: yük momenti

2 numaralı eşitlik 1 numaralı eşitlikte yerine konular ve ifade düzenlendiğinde,

$$\omega_r = \frac{V_a - R_i \cdot I_a - L_i \cdot \frac{dI_a}{dt}}{K \cdot \phi} \quad (3)$$

3 numaralı eşitlikte de görüldüğü gibi DC motor hız kontrolü, rotora uygulanan gerilim veya akının kontrol edilmesiyle sağlanabilir.

Endüviye uygulanan gerilim V_a 'nın yükseltilmesi akımın artmasına neden olur. Bunun sonucunda elektriksel momenti yükselir ve motor hızlanır. Endüviye uygulanan gerilim nominal değerine ulaştığında, motor baz hızına ulaşmıştır. Bu durumdagerilimin daha fazla artırılması mümkün değildir. Bu noktadan sonra motorun hızlanabilmesi için sabit gerilimde, uyarma devresi gerilimi düşürülerek akı azaltılmaya başlanır. Azaltılan akı endüvide endüklenen gerilimin düşmesine neden olur. E_a düştüğünde endüviden akım artar. Bu artış alan akısındaki azalmadan çok daha fazla olduğundan motor momenti artar ve sonucunda motor hızlanır. Motorun baz hızına ulaşana kadarki çalışma bölgesine moment bölgesi, alan zayıflatılarak hızın arttırıldığı bölgeye ise sabit güç bölgesi adı verilir. Şekil 60'da DC motor çalışma bölgelerinin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 60. DC motor çalışma bölgeleri

EA'larda tahrik için DC motor kullanılması durumunda, hız kontrol bölgesinin artırılabilmesi için endüvi kontrolü ve alan kontrolü birleştirilmelidir.

5.4.2 Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar basit ve sağlam yapısı nedeniyle endüstride olduğu gibi EA'larda da en çok tercih edilen motor türüdür. Tek ve üç fazlı olarak üretilmekle beraber, yüksek güç gerektiren elektrikli araç uygulamalarında üç fazlı asenkron motor kullanılmaktadır.

Dışta AC gerilimin uygulandığı stator sargıları, içte ise akım taşıyan iletkenlerin bulunduğu rotordan oluşur. Stator sargısına uygulanan 3 fazlı AC gerilim döner manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan rotorda gerilim endükler ve rotor sargılarından akım akmaya başlar.

Asenkron motorun iki türü bulunmaktadır:

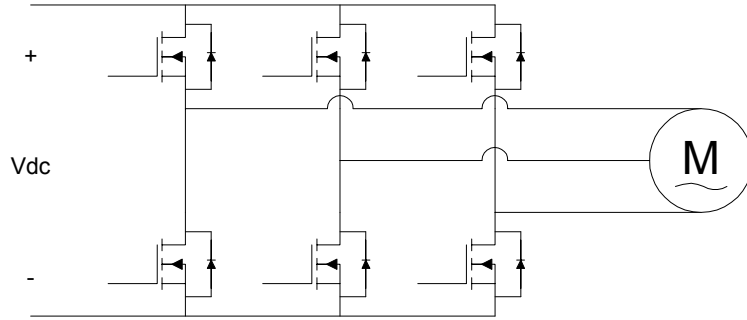
- Kısa devre kafesli asenkron motor
- Bilezikli asenkron (rotoru sargılı) motor

Kısa devre kafesli asenkron motorun rotoru, mıknatıslanmayı sağlayacak silindirik şekline demir malzemeden oluşur. Bu malzemenin çevresi, uçları birbirine halkalarla kısa devre edilmiş iletken çubuklarla kaplanır.

Bilezikli asenkron motorun rotorunda endüvi sargıları bulunmaktadır. Üç fazdan oluşan sargılar yıldız şeklinde bağlanmış ve faz uçları bilezik olarak tanımlanan iletkenlerle dışarıya çıkarılmıştır. Dışarıya çıkarılan fazlar, isteğe bağlı olarak değişken dirençler ile kısa devre edilerek devre tamamlanır. Direnç değerinin değiştirilmesi ile motor hız kontrolü sağlansa da elektriksel verimliliği düşüreceğinden bu yöntem EA'larda başvurulmaz.

Elektrikli araç uygulamalarında sağlam yapısı nedeniyle kısa devre kafesli asenkron motorlar tercih edilmektedir.

Asenkron motorlarda hız kontrolü, DC motorlara göre daha karışıktır. 3 fazlı eviriciler farklı kontrol stratejileri ile birleştirilirler. Asenkron motor kontrolünde kullanılan eviricilerde, DC gerilimin anahtarlanarak AC'ye dönüştürülmesi çoğunlukla MOSFET veya IGBT'ler ile yapılmaktadır. Bu anahtarlar çeşitli PWM teknikleri kullanılarak kontrol edilir. Şekil 61'de asenkron motor sürücü devresinin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 61. Asenkron motor sürücü devresi

Statora uygulanan 3 fazlı gerilimin neden olduğu döner alan hızına, senkron hız adı verilir. Stator senkron hızı ile rotor hızı arasındaki fark kayma hızıdır ve rotorun stator senkron hızından farklı bir değerde döndüğünü ifade eder. Kayma hızının, senkron hız cinsinden ifadesine kayma adı verilir.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

n : motor hızı

n_s : döner alan senkron hızı

s : kayma

Kayma ifadesinin düzenlenmesiyle asenkron motor hız kontrolü için temel eşitliğe ulaşılır;

$$n = n_s (1 - s) = \frac{120 \cdot f}{p} (1 - s)$$

p : kutup sayısı

f : besleme frekansı

Görüldüğü gibi kutup sayısı ancak üretim anında değiştirilebileceğinden, asenkron motor hız kontrolü stator besleme frekansı veya kaymanın değiştirilmesi ile sağlanır. Kaymanın değiştirilmesi için statora uygulanan gerilim kontrol edilmelidir.

Gerilim/frekans (V/F) oranının sabit tutulması prensibine dayanan klasik asenkron motor hız kontrol yöntemine skalar kontrol adı verilir. Asenkron motor sürekli hal devre eşitlikleri temel alınarak geliştirildiğinden, dinamik durumlarda ve düşük hızlarda zayıf performans gösterir. EA'larda motor sürücü performans gereksinimleri, skalar kontrol yönteminin ile sağlanamayacak kadar zorludur. Bunun yerine çoğunlukla vektör kontrol yöntemi kullanılır. Vektör kontrol yöntemi, motora uygulanan gerilimin genliği ve faz açısının kontrolünü içerir.

Bu kontrol stratejilerinin yanında uyarlamalı kontrol, optimal kontrol gibi daha gelişmiş kontrol yöntemleri de hızlı cevap süresi ve yüksek verim sağlamak amacıyla kullanılabilir.

5.4.3 Sürekli Mıknatıslı Motorlar

Manyetik alan yaratmak için uyarma sargılarının yerine mıknatıs kullanılan motorlardır. Bu yöntem, rotor bakır kayıplarını ve uyarma devresi bakım gereksinimini ortadan kaldırır.

Sürekli mıknatıslı motorlar (SM) genellikle 2 gruba ayrılırlar:

- SM Senkron makinalar: Bu makinalar, asenkron makinalardaki gibi düzenli olarak dönen stator alanına sahiptir.
- Kare Dalga SM makinalar: Fırçasız DC makina olarak da adlandırılırlar. Stator sargıları ayırık zamanlarda kare dalga ile beslenirler.

Uyarma için kullanılan mıknatıslar, rotor ve stator arasındaki hava boşluğunda akı yoğunluğunun artmasına neden olur. Buna bağlı olarak güç yoğunluğu (W/kg) ve eylemsizliğe göre moment (Nm/kgm²) oranları yüksektir.

Sürekli mıknatıslı makinalarda çoğunlukla ferritler, samaryum kobalt (SmCo) ve neodmiyum-demir boron (NdFeB) olmak üzere 3 tip mıknatıs kullanılır. SM makinalar için en büyük tehlike, yüksek ısı ve yük koşullarının, mıknatısların özelliklerini kaybetmelerine neden olabilmesidir. Bunu için SM makina tasarımında mıknatıs korunmasına yönelik uygun önlemler alınır.

Asenkron motorlara göre kayma açısı hesaplamasının olmaması nedeniyle sürekli mıknatıslı motor kontrolü daha kolaydır. Rotorunda kafes bulunmaması eylemsizliği düşürerek elektriksel cevap süresinin azalmasını sağlar. Ancak daha düşük zaman sabitine sahip asenkron motorun cevap süresi daha kısadır. Aynı güç oranında, sürekli mıknatıslı motorun boyutları asenkron motora göre daha küçüktür. Rotor bakır kayıpları olmaması soğutma açısından SM motorlara avantaj sağlamaktadır. Buna karşın asenkron motor fiyat açısından SM motora üstünlük sağlamaktadır.

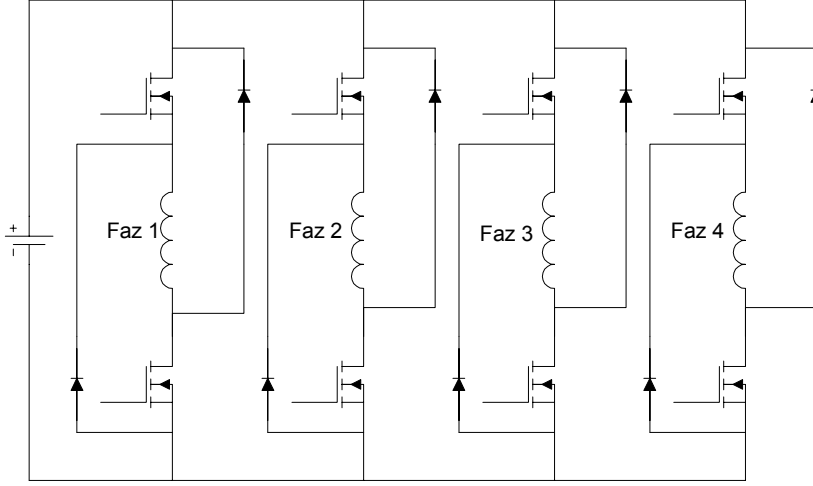
Sürekli mıknatıslı senkron motorun hız kontrolünde vektör kontrol yöntemi kullanılabilir. Motor sürekli senkron hızda döndüğünden vektör kontrolün uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Ancak SM senkron motor hız kontrolünde yüksek çözünürlüklü pozisyon sensörü kullanılmalıdır.

Fırçasız doğru akım motor hız kontrolü ise daha kolaydır. Fazlara uygulanan gerilimler kare dalga şeklindedir ve konum belirlemek için yalnızca 3 adet akım sensörü kullanmak yeterlidir. Üç fazlı kare dalga evirici hız kontrolü sağlanır.

5.4.4 Anahtarlmalı Relüktans Motoru

Anahtarlmalı relüktans makinasının (SRM) en belirgin özelliği rotorunda mıknatıs veya sargı olmaması ve statorunda bağımsız faz sargılarının olmasıdır. Rotor ve stator, ince manyetik çelik tabakaların üst üste konulmasıyla oluşturulur.

SRM stator faz sargıları birbirinden bağımsız olarak sırayla DC gerilimle beslenir. Dört fazlı bir SRM'nin hız kontrolü için kullanılabilecek devre Şekil 62'de görülmektedir.



Şekil 62. SRM sürücü devresi

Diğer motorlardan farklı olarak SRM motorlarının dönüş yönü fazların beslenme sırasına bağlıdır. Örneğin 1-2-3-4 besleme sırası uygulandığında motor saat yönünde dönüyorsa, 4-3-2-1 besleme durumunda ters yönde dönecektir.

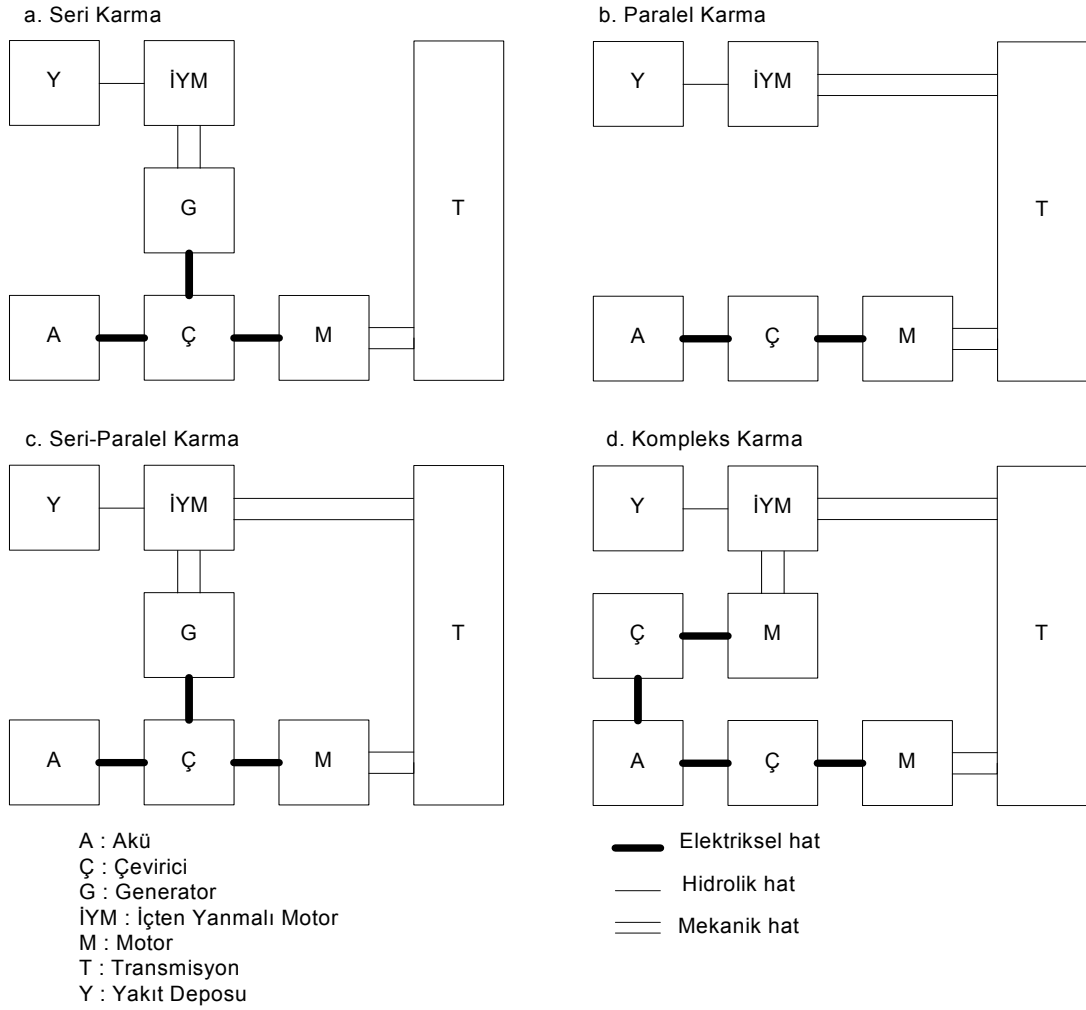
Anahtarlmalı relüktans motorları basit yapı ve düşük üretim maliyeti avantajlarına sahiptirler ve elektrikli araç tahrik sistemi için moment-hız karakteristiğini karşılamaktadırlar. SRM kayıplarının çoğunun statorda oluşması, soğutma açısından kolaylık sağlamaktadır. Birbirinden bağımsız stator fazları, fazlardan birinde sorun oluşması durumunda bile çalışmanın devam etmesine olanak sağlar.

Yapısındaki basitliğine karşın, tasarım ve kontrolünde basitlik içermez. Kutup uçlarındaki şiddetli doyma ve kutupların saçak etkisinden dolayı, tasarım ve kontrolü zor ve karmaşıktır. Aynı zamanda, genellikle akustik gürültü problemi gösterirler. SRM'nin en önemli dezavantajlarından biride moment karakteristiğindeki dalgalanmadır.

5.5.Sürüş Kontrol ve Enerji Yönetimi Sistemleri

5.5.1 Sınıflandırma

Hibrid elektrikli araç, tahrik enerjisinin iki ya da daha fazla tipteki enerji kaynağından sağlandığı ve en az birisinin elektrikselsel enerji ürettiği araçtır. Bu tanıma bağlı kalarak, İYM ve akü, akü ve yakıt pili, akü ve kapasitör gibi birçok çeşit hibrid elektrikli araç mevcuttur. Bu hibrid tanımın yanı sıra, hibrid elektrikli araç basit anlamda, bir İYM ve bir elektrik motoru bulunan bir araçtır. Bu bölümde, bu tanıma göre tahrik sisteminde hem İYM, hem de elektrik motoru bulunan, enerji kaynağı olarak da İYM ve akü kullanan hibrid elektrikli bir aracın enerji yönetim sistemi incelenecektir. Şekil 63'da bu sınıflandırmaya karşılık düşen blok diyagramlar görülmektedir.



Şekil 63. Hibrid elektrikli araçların sınıflandırılması

Burada, elektriksel ve mekanik hatlar çift yönlü iken hidrolik hat ise tek yönlüdür. Bir önceki bölümde anlatılan sınıflandırma genel olarak kabul görse de, araçlardaki enerji yönetim şekillerinde ortaya çıkan ihtiyaçlar ve farklılıklar günümüzde aşağıdaki sınıflandırmayı doğurmuştur. HEA'lar, geleneksel olarak seri ve paralel olarak iki temel çeşide ayrılırlar. Seri ve paralel HEA'ların özelliklerini gösteren araçların geliştirilmesi ile birlikte bu sınıflandırma seri, paralel ve seri-paralel olarak genişlemiştir. 2000 yılında, bu üç sınıflandırmaya da dahil edilemeyen yeni bir çeşidin geliştirilmesiyle HEA'lar dört sınıf halinde gruplandırılmıştır.

- Seri hibrid
- Paralel hibrid
- Seri-paralel hibrid
- Kompleks hibrid

5.5.2 Enerji Akışı Kontrolü

HEA'lardaki konfigürasyonların değişikliklerinden dolayı, sistem elemanları arasındaki enerji akışını düzenlemek için farklı güç kontrol stratejileri gereklidir. Bu kontrol stratejileri, HEA'lardaki bazı hedefleri yerine getirmeyi amaçlar. Dört ana hedef vardır. Bunlar;

- Azami yakıt ekonomisi
- Düşük emisyonlar
- Düşük sistem maliyeti
- İyi sürüş performansı

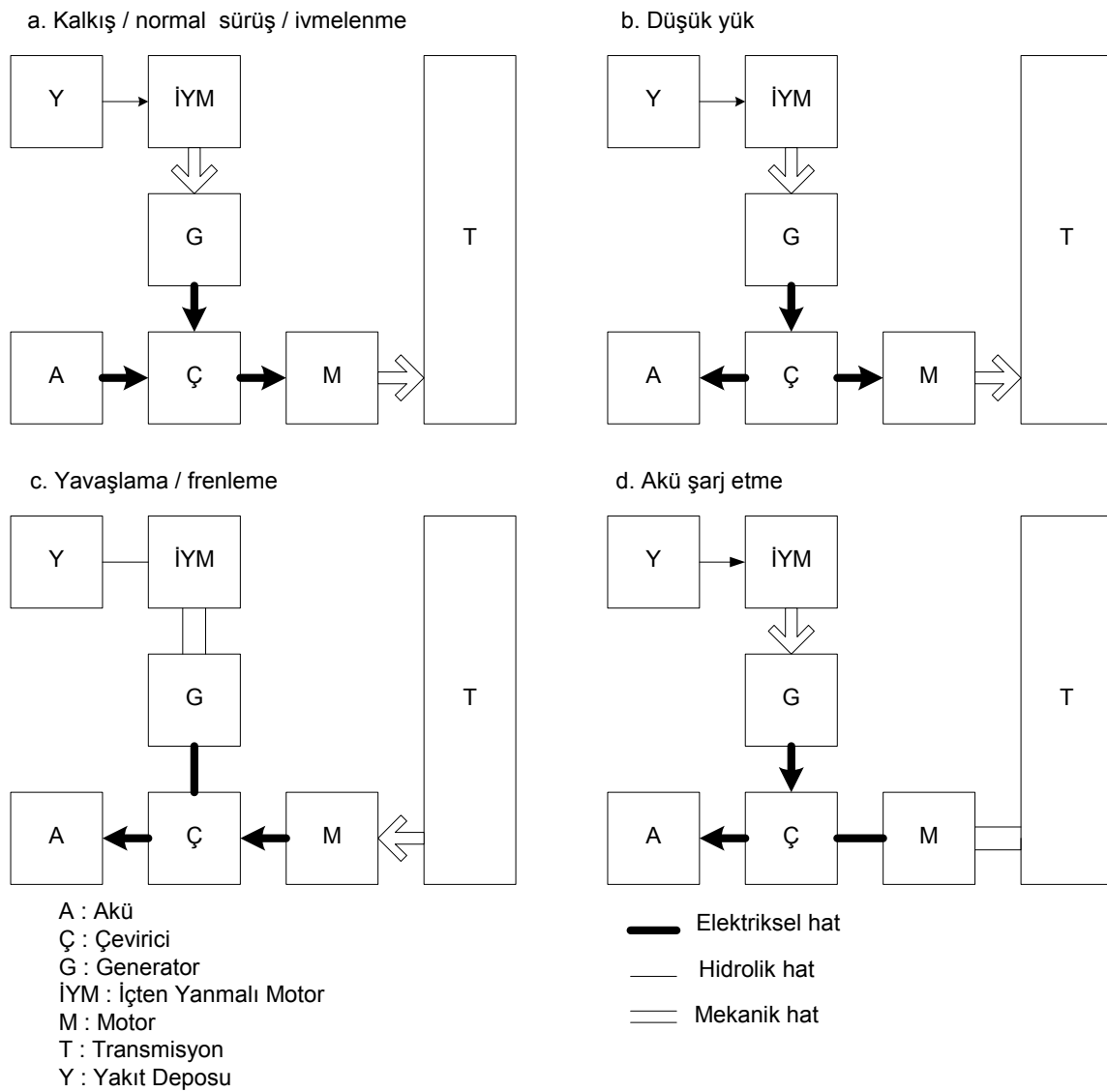
HEA'lar için güç kontrol stratejilerinin tasarımı farklı faktörler içerir. Bazı anahtar faktörler aşağıda özetlenmiştir:

- İYM'un optimal çalışma noktası: Optimal çalışma noktası, İYM'nin moment-hız düzlemi üzerinde azami yakıt ekonomisinin, en düşük emisyonlar ya da yakıt ekonomisi ve emisyonlar arasındaki bir orta nokta esas alınabilir.
- İYM'un optimal çalışma eğrisi: İYM farklı güç ihtiyaçlarını karşılamak durumunda olduğu için bunlara karşılık gelen optimal çalışma noktaları optimal çalışma eğrisini oluştururlar.
- İYM'un optimal çalışma bölgesi: İYM, moment-hız düzlemi üzerinde yakıt verimliliğinin optimum olduğu, tercih edilen bir çalışma bölgesine sahiptir.
- Düşük İYM dinamikleri: İYM'nin çalışma hızının, ani dalgalanmalardan kaçınılacak şekilde düzenlenmesi gerekir.
- Düşük İYM hızı: İYM düşük hızlarda çalıştığı zaman yakıt verimliliği çok düşüktür. İYM'nin hızı belirli bir eşik değerinin altında olduğu zaman kapatılmalıdır.
- Düşük İYM çalıştırma zamanı: İYM çok sık çalıştırılıp kapatılmamalıdır. Aksi halde, bu durum yakıt tüketiminin ve emisyonların artmasına neden olur. Bu dezavantajları engelleyecek bir en düşük çalıştırma zamanı belirlenmelidir.
- Uygun akü kapasitesi- Akü kapasitesi, ivmelenme için yeterli enerjii sağlayabilecek, frenleme esnasında ya da yokuş aşağı giderkenki rejeneratif enerjii kabul edebilecek uygun bir seviyede korunmalıdır. Akü kapasitesi çok yüksek olduğu zaman, İYM kapatılmalı ya da boşta çalıştırılmalıdır. Bu

kapasite çok düşük olduğu zaman ise, İYM aküyü şarj etmek için çıkışını arttırmalıdır.

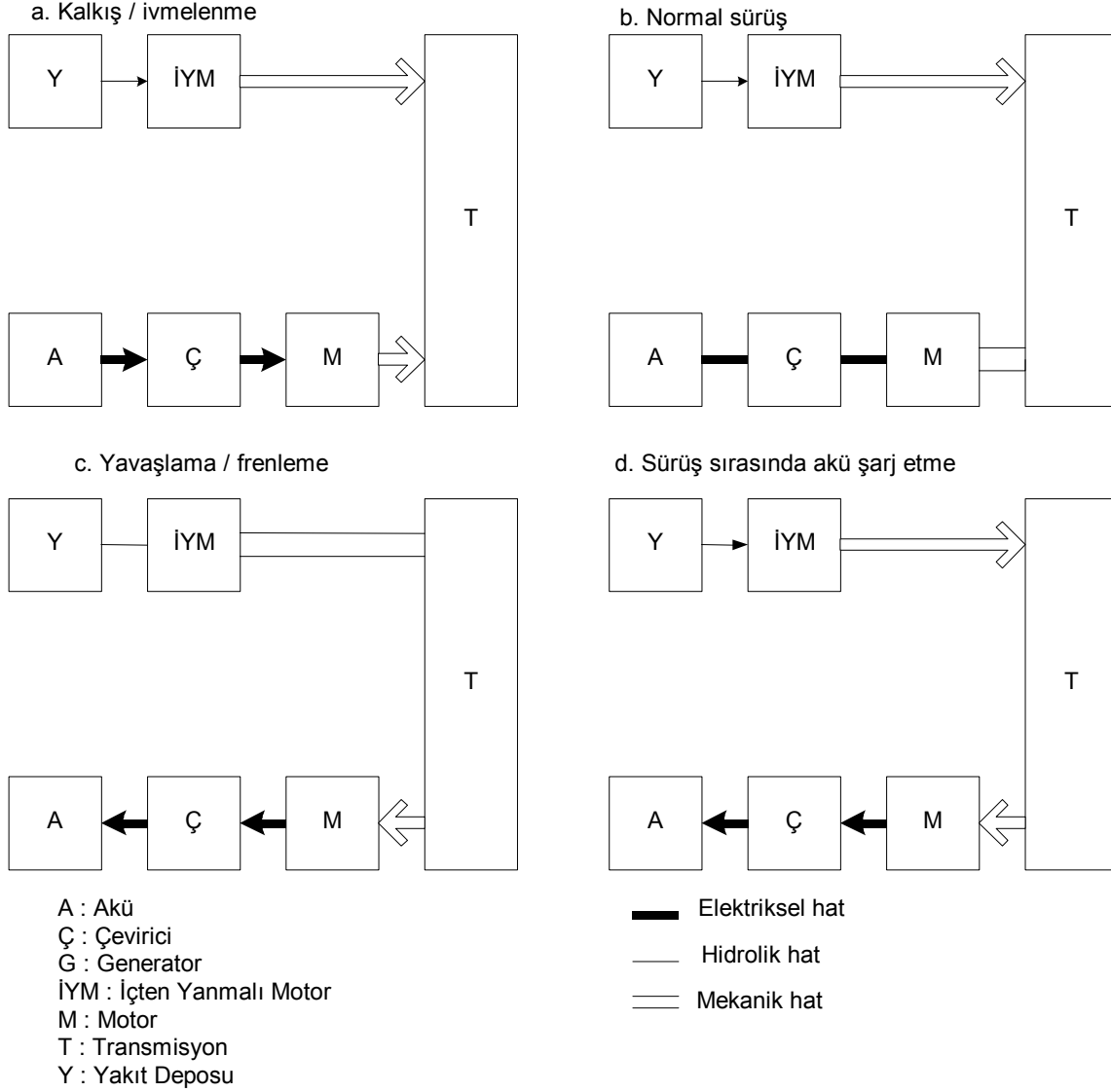
- Nispi dağıtım- Güç talebinin, İYM ve akü arasındaki dağıtımını sürüş çevrimi boyunca orantılı olarak bölünmelidir.
- Coğrafik politika- Belirli şehirlerde ya da bölgelerde hibrid elektrikli aracı, saf elektrikli modda çalıştırma ihtiyacı doğacaktır. Bu geçiş, elle yada otomatik olarak kontrol edilebilecektir.

Şekil 64'de seri hibrid elektrikli aracın çalışma modlarının şematik resmi görülmektedir



Şekil 64. Seri hibrid elektrikli araç çalışma modları

Şekil 65’de paralel hibrid elektrikli aracın çalışma modlarının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 65. Paralel hibrid elektrikli araç çalışma modları

5.5.2.1 Seri Hibrid Kontrol

Seri hibrid, hibrid elektrikli aracın en basit çeşididir. İYM’nin mekanik çıkışı, bir generatör kullanılarak elektrik enerjisine çevrilir. Elektrik enerjisi ya aküleri şarj eder ya da elektrik motoru ve mekanik transmisyon üzerinden tekerleri tahrik eder.

Kavramsal olarak bakıldığında bu araç konvansiyonel araçla kıyaslanabilsin diye sürüş menzili oldukça küçük boyutta İYM kullanılarak arttırılmış elektrikli araçtır. İYM'un tahrik sistemi ile mekanik bağlantısı olmadığından, generatör setini yerleşiminde esnekliğe sahiptir. Sürüş sistemindeki basitliğe rağmen, İYM, generatör ve elektrik motoru gibi üç tahrik elemanına ihtiyaç duyar. Bir başka dezavantajı ise, eğer bu araç uzun bir eğimi tırmanmak için tasarlanmışsa bütün tahrik elemanlarının bu eğimi baştan sonuna kadar gidebilecek şekilde azami güçte boyutlandırılması gereklidir. Diğer taraftan, kısa yolculuklar için düşünülürse, buna karşılık generatör seti daha düşük güçte boyutlandırılabilir

Seri hibrid sistemde enerji akışı kontrolü şekil 64'de görüldüğü üzere dört çalışma durumunda gösterilebilir. Seri HEA'ların kalkış, normal sürüş ve ivmelenmesi sırasında, İYM (generatör üzerinden) ve akü elektrik enerjisini güç çeviricisine iletir. Oradan da elektrik motorunu sürerek transmisyon aracılığıyla tekerlekleri tahrik eder. Düşük yükte, İYM'nin çıkışı tekerlekleri sürmek için ihtiyaç olan güçten yüksek olacağından üretilen enerji aynı zamanda aküleri uygun seviyeye ulaşıncaya kadar şarj etmede kullanılır. Frenleme ya da yavaşlama sırasında elektrik motoru generatör olarak çalışıp tekerleklerdeki kinetik enerjiyi elektrığe dönüştürerek çevirici üzerinden aküleri şarj eder. Aynı zamanda, araç tamamen dursa dahi aküler, İYM tarafından generatör ve çevirici üzerinden şarj edilebilirler.

5.5.2.2 Paralel Hibrid Kontrol

Seri hibrid sistemden farklı olarak paralel hibrid sistem, İYM ve elektrik motorunun tekerleklerle mekanik güç aktarmasını olanaklı kılar. İYM ve elektrik motoru genellikle tekerleklerin şaftına iki dişli aracılığıyla bağlanır. Böylelikle sadece İYM, sadece elektrik motoru ya da her ikisi birlikte tahrik gücünü sağlayabilir. Kavramsal olarak paralel hibrid sistem, daha düşük emisyonlar ve yakıt tüketimi elde edebilmek için elektrikle desteklenmiş içten yanmalı bir araç modelidir. Elektrik motoru, rejeneratif frenleme esnasında ya da İYM'un verdiği gücün tekerlekleri tahrik edecek güç ihtiyacından fazla olduğu anlarda aküleri şarj etmek için bir generatör olarak kullanılabilir. Seri hibrid elektrikli araçtan üstünlüğü, İYM ve elektrik motoru gibi sadece iki tahrik elemanına ihtiyaç duymasıdır. Seri hibrid sisteme göre bir diğer avantajı ise aynı performansı elde edebilmek için daha küçük bir İYM ve elektrik

motoru kullanılabilir. Uzun yol uygulamasında bile, sadece İYM gerekli azami güç için boyutlandırılmaya ihtiyaç duyulurken, elektrik motoru hala yarısı kadar boyutlandırılabilir.

Paralel hibrid elektrikli araçtaki dört çalışma durumu Şekil 65'de gösterilmiştir. Kalkış ya da ivmelenme sırasında İYM ve elektrik motorunun ikisi de aracı tahrik etmek için gerekli gücü orantılı olarak paylaşırlar. Genel olarak, İYM ve elektrik motoru arasındaki nispi dağılım %80-20'dir. Normal sürüş sırasında, aracı tahrik etmek için gerekli gücü tek başına sağlarken elektrik motoru kapalı durumdadır. Frenleme ya da yavaşlama sırasında elektrik motoru generatör olarak çalışıp çevirici üzerinden aküleri şarj eder. Aynı zamanda, İYM ve elektrik motoru aynı şafta bağlantılı olduğu için araç düşük yüklerdeyken aküler, İYM tarafından elektrik motoru aracılığıyla şarj edilebilir.

5.5.2.3 Seri-Paralel Hibrid Kontrol

Seri-paralel hibrid sistem, seri ve paralel HEA'ların her ikisinin de özelliklerini gösterirken, seri ile karşılaştırıldığında ilave bir mekanik bağlantı, paralel ile karşılaştırıldığında ilave bir generatör içerir. Her iki sistemin avantajlı özelliklerine sahip olmasına rağmen seri-paralel hibrid elektrikli araç göreceli olarak daha karmaşık ve maliyetlidir. Bununla birlikte, kontrol ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte bazı modern HEA'larda bu sistem uygulanmaktadır.

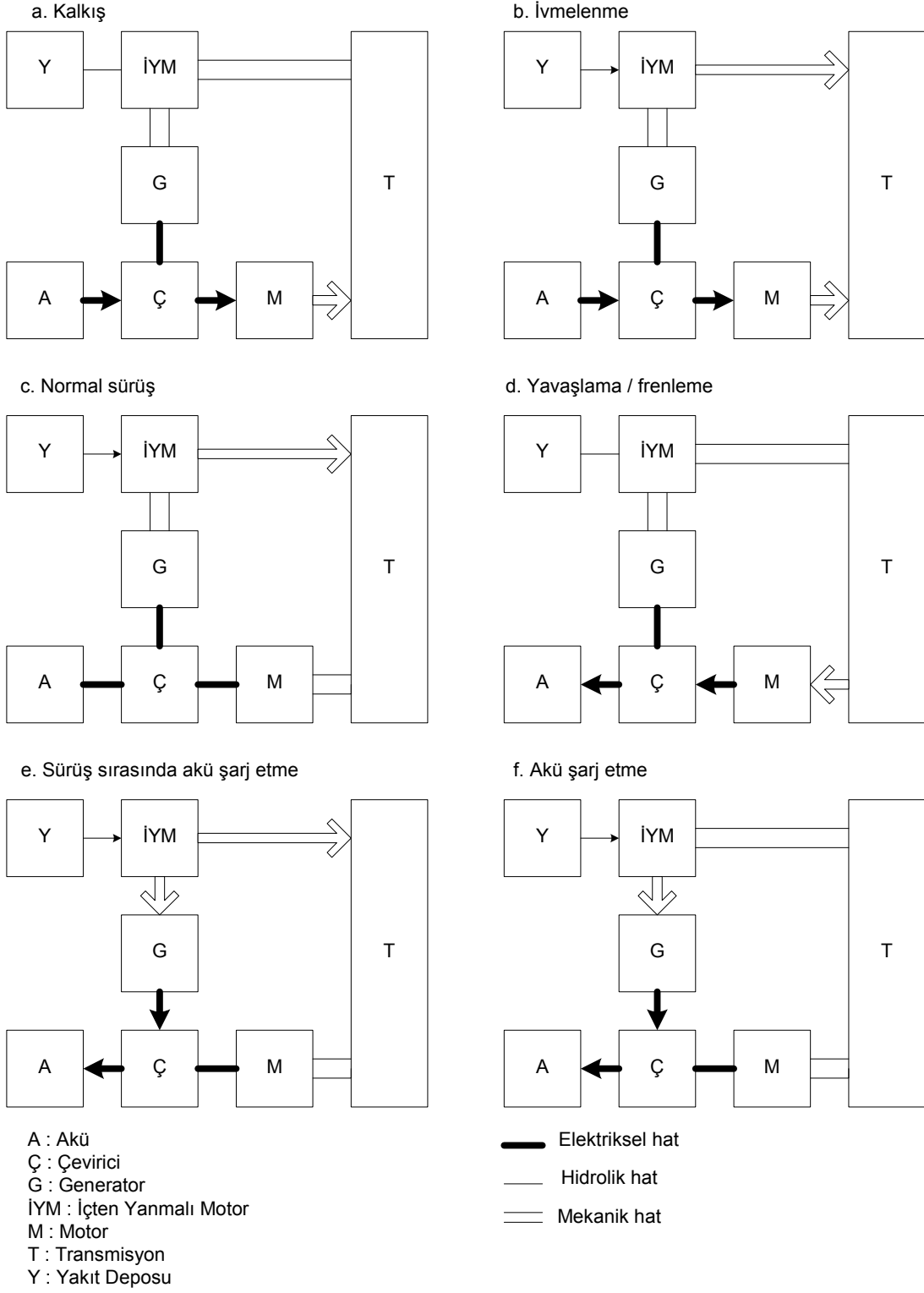
Seri-paralel hibrid sistem, seri ve/veya paralel hibrid sistemin özelliklerini içerir. Bundan ötürü, enerji akışı kontrolünü gerçekleştirmek için olası birçok çalışma durumu mevcuttur.

Şekil 66, altı çalışma durumunun bulunduğu İYM ağırlıklı seri-paralel hibrid sistemi göstermektedir. Kalkış anında, aküler aracı tahrik etmek için gerekli gücü tek başına sağlarken İYM kapalı durumdadır. İvmelenme sırasında hem İYM, hem elektrik motoru aracı tahrik etmek için gerekli gücü orantılı olarak bölüşürler. Normal sürüş sırasında, İYM gerekli gücü tek başına sağlarken, elektrik motoru kapalı durumdadır. Frenleme ya da yavaşlama sırasında elektrik motoru generatör olarak çevirici

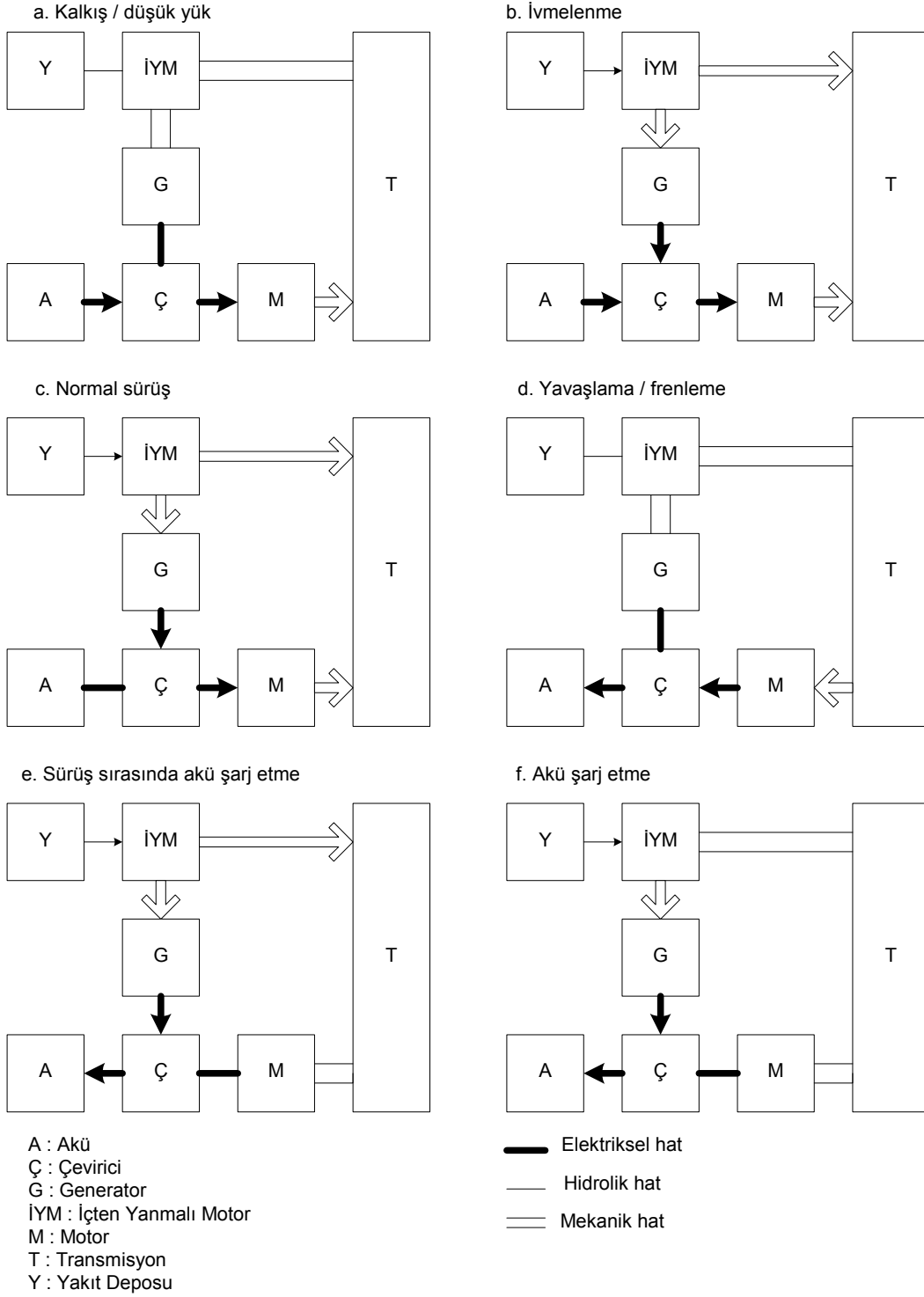
üzerinden aküleri şarj eder. Sürüş esnasında aküyü şarj etmek için, İYM hem aracın tekerleklerini tahrik eder hem de generatör aracılığıyla çevirici üzerinden aküleri şarj eder. Aracın durduğu durumlarda İYM aküleri şarj etmek için generatörü tahrik edebilir.

Basit olarak, bunları İYM ağırlıklı ve elektrik ağırlıklı olarak iki gruba ayırabiliriz. İYM ağırlıklı sistem, İYM'nin elektrik motorundan daha aktif olduğunu gösterirken elektrik ağırlıklı sistem elektrik motorunun daha aktif olduğunu göstermektedir

Şekil 67, altı çalışma durumunun bulunduğu elektrik ağırlıklı seri-paralel hibrid sistemi göstermektedir. Kalkış anında ve düşük yüklerde, aküler aracı tahrik etmek için elektrik motorunu beslerken İYM kapalı durumdadır. İvmelenme ve normal sürüş durumunda, İYM ve elektrik motoru ikisi birden çalışarak aracı tahrik ederler. Anahtar farklılık ivmelenme için kullanılan elektrik enerjisi, hem generatör hem de aküden gelirken, normal sürüş sırasında yalnızca İYM tarafından tahrik edilen generatör tarafından gelir. Bir planet dişlisi (planetary gear) İYM'nin çıkışını ayırmak için kullanılarak, aracı tahrik etmek ve generatörü tahrik etme işlevleri gerçekleştirilir. Frenleme ya da yavaşlama sırasında elektrik motoru generatör olarak çalışarak aküleri çevirici üzerinden şarj eder. Aynı zamanda, sürüş sırasında aküleri şarj etmek için İYM bir yandan generatörü tahrik ederken bir yandan da aracın tekerleklerini tahrik eder. Araç dururken, İYM aküleri şarj edebilsin diye generatörü tahrik edebilir.



Şekil 66. Seri-paralel hibrid elektrikli araç(içten yanmalı motor ağırlıklı) çalışma modları



Şekil 67. Seri-paralel hibrid elektrikli araç(elektrik ağırlıklı) çalışma modları

5.5.2.4 Kompleks Hibrid Sistem

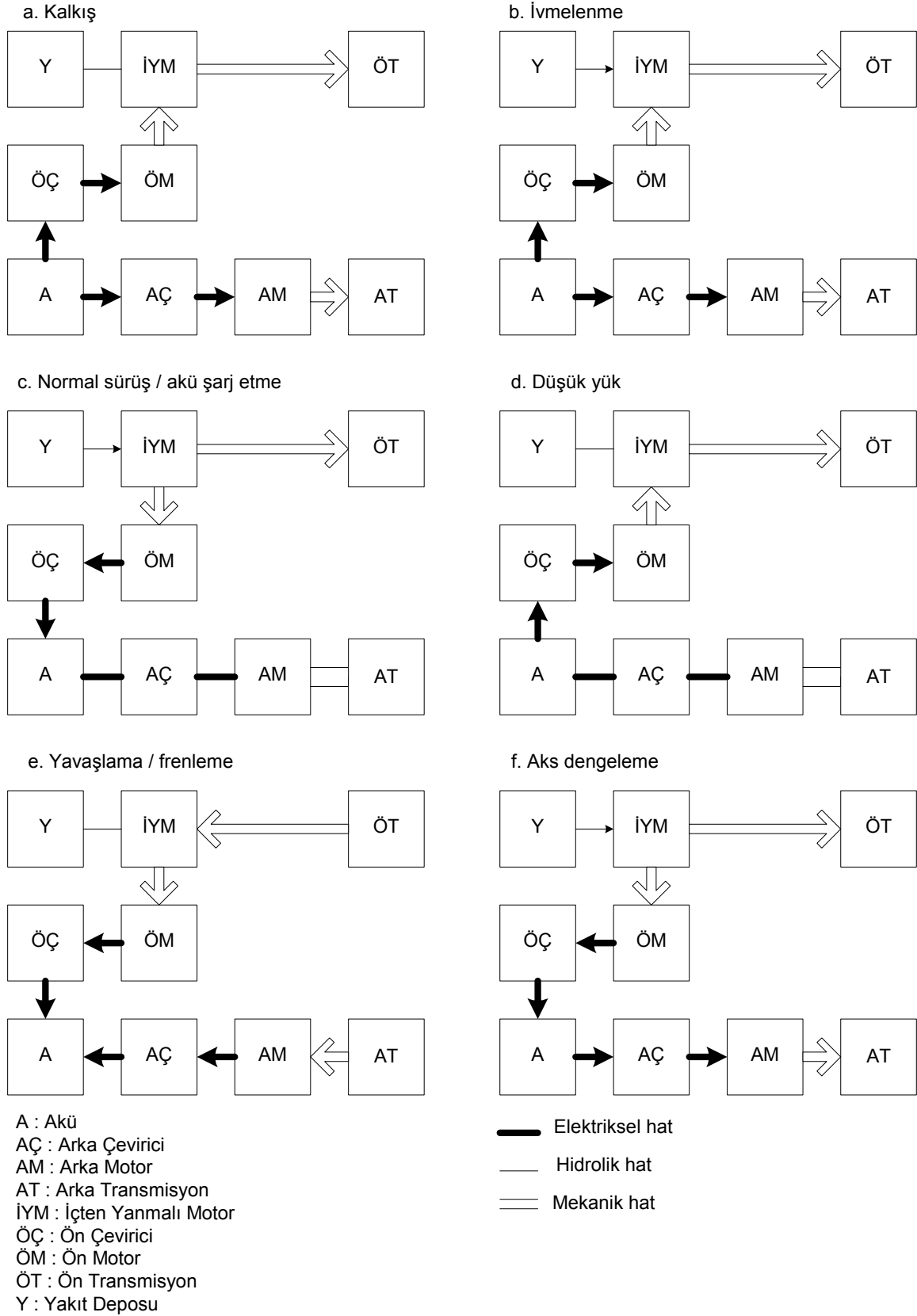
Bu sistem diğer üç sınıflandırmaya dahil edilemeyecek kompleks bir konfigürasyon içerir. Kompleks hibrid, seri-paralel hibrid ile benzer görülmekle birlikte generatör ve elektrik motorunun ikisi de elektrik makinasıdır. Bununla birlikte, esas farklılık kompleks hibrid sistemde elektrik motoru çift yönlü enerji akışı yaparken, seri-paralel hibrid de generatör tek yönlü enerji akışı sağlamaktadır. Bu çift yönlü enerji akışı çok çeşitli çalışma durumlarına imkan tanırken, özellikle seri-paralel hibrid sistem tarafından gerçekleştirilemeyen üçlü tahrik (İYM ve iki elektrik motoru) çalışma durumunu gerçekleştirir. Seri-paralel hibrid elektrikli araca benzer şekilde, kompleks hibrid sistem yüksek derecede karmaşıklık ve yüksek maliyete sahiptir. Bununla birlikte, bazı yeni HEA'larda çift akslı tahrik sistemi bulunmaktadır.

Kompleks hibrid kontrolün geliştirilmesi, HEA'lar için çift akslı tahrik sistemi üzerine odaklanmıştır. Bu sistemde, ön tekerleklerin aksı ve arka tekerleklerin aksı ayrı ayrı tahrik edilmektedir. Ön tekerlekler ve arka tekerlekler arasında bir aktarım ya da tahrik şaftı olmadığından, bu durum daha hafif bir tahrik sistemine ve araç içerisinde yerleştirme esnekliğine imkan tanır. Bununla birlikte, dört tekerde yapılan rejeneratif frenleme, aracın yakıt verimliliğini ve dolayısıyla yakıt ekonomisini önemli derecede arttırır.

Şekil 68'de, ön tekerleklerin hibrid bir sürüş sistemi ve arka tekerleklerin de bir elektrik motoru tarafından tahrik edildiği çift akslı bir kompleks hibrid sistem görülmektedir. Bu sistemde altı çalışma durumu vardır. Kalkış anında, akülerden çekilen enerji ile ön ve arka elektrik motorları, aracın ön ve arka akslarını ayrı ayrı tahrik ederken İYM kapalı durumdadır. İvmelenme sırasında, İYM ve ön elektrik motoru birlikte çalışarak ön aksı tahrik ederken, arka elektrik motoru da aynı zamanda arka aksı tahrik etmektedir. Bu çalışma durumunun üç tahrik elemanı (bir İYM ve iki elektrik motoru) kullanılarak eş zamanlı bir şekilde aracı tahrik ettiğine dikkat edilmelidir. Normal sürüş ve/veya akü şarjı sırasında, İYM'nin çıkış enerjisi bölünerek hem ön aksı tahrik eder, hem de elektrik motorunu (generatör olarak çalışan) tahrik ederek aküyü şarj eder. İYM, ön elektrik motoru ve ön aksı birbirine monte etmek için kullanılan mekanik bağlantı elemanı genellikle bir planet dişlidir.



Düşük yüklerde sürüş sırasında, akülerden çekilen enerjiyle sadece ön elektrik motoru çalıştırılarak ön aks tahrik edilirken, İYM ve arka elektrik motoru kapalı durumdadır. Frenleme ya da yavaşlama sırasında, ön ve arka elektrik motorları ikisi birden aynı anda generatör olarak çalışarak aküleri şarj ederler. Bu çift akslı sistemin kendine has bir özelliği, akslar arasındaki enerji dengeleme kapasitesidir.

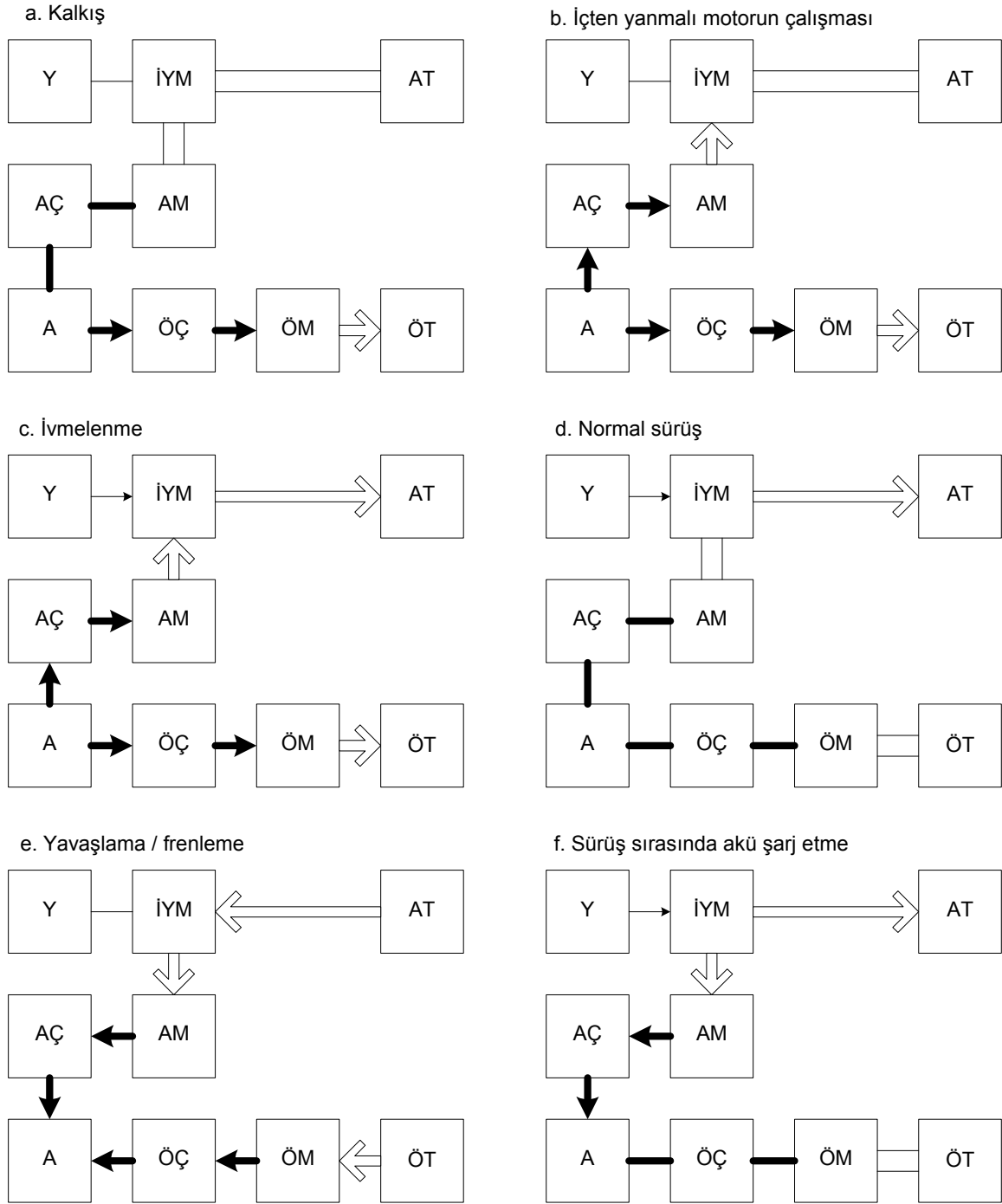


Şekil 68. Kompleks hibrid (ön hibrid, arka elektrikli) elektrikli araç çalışma modları

Ön tekerleklerin tahrik edilmeden döndüğü durumlarda, ön elektrik motoru generatör olarak çalışarak, İYM'nin çıkış gücündeki değişimleri kullanır ve aküleri şarj eder. Bu güç farkı, daha sonra aküler üzerinden arka tekerlekleri tahrik ederek aksları dengelemek için kullanılır. Toyota Prius hibrid elektrikli aracının geliştirilmiş üst versiyonu, THS-C olarak adlandırdıkları bu enerji akış kontrol modelini kullanmaktadır.

Şekil 69'de ön tekerleklerin bir elektrik motoru ve arka tekerleklerin de hibrid bir sürüş sistemi tarafından tahrik edildiği çift akslı başka bir kompleks hibrid sistem görülmektedir. Araç tahrik sisteminde altı çalışma durumu mevcuttur.

Kalkış anında akülerden çekilen enerji ile sadece ön elektrik motoru çalışarak aracın ön aksını tahrik ederken, İYM ve arka elektrik motoru kapalı durumdadır. Araç hareket ettikten sonra, akü aynı zamanda arka elektrik motoruna enerji ileterek, İYM'nin hızının artmasını çabuklaştırır ve böylece İYM çalışır. İvmelenme sırasında, ön elektrik motoru ön aksı tahrik ederken İYM ve arka elektrik motoru birlikte çalışarak arka aksı tahrik eder. Böylece, bu çalışma durumunda üç tahrik elemanı (bir İYM ve iki elektrik motoru) kullanılarak eş zamanlı bir şekilde araç tahrik edilir. Normal sürüş sırasında, İYM aracın arka aksını tahrik etmek için tek başına çalışır. Frenleme ya da yavaşlama sırasında, hem ön hem de arka elektrik motoru generatör olarak çalışarak aküleri şarj ederler. Sürüş sırasında akü şarjı için, İYM'nin enerji çıkışı bölünerek hem arka aksı tahrik eder hem de arka elektrik motorunu tahrik ederek onu generatör olarak çalıştırıp aküleri şarj eder.



A : Akü
AÇ : Arka Çevirici
AM : Arka Motor
AT : Arka Transmisyon
İYM : İçten Yanmalı Motor
ÖÇ : Ön Çevirici
ÖM : Ön Motor
ÖT : Ön Transmisyon
Y : Yakıt Deposu

— Elektriksel hat
— Hidrolik hat
— Mekanik hat

Şekil 69. Kompleks hibrid (ön elektrikli, arka hibrid) elektrikli araç çalışma modları

REFERANSLAR

1. Westbrook M.H., 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", London, SAE.
2. Husain I., 2003, " Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals", CRC Presss, New York.
3. Jefferson C.M., Barnard R.H., 2002 "Hybrid Vehicle Propulsion", WIT Press, Boston.
4. Chan C.C ve Chau K.T., 2001 "Moden Electric Vehicle Technology", Oxford University Press, New York.
5. Chan C.C., 2002. "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles", *Proceedings of the IEEE*, 90, 247-275.
6. Uçarol H., 2003, "Karma Elektrikli Araç", Yüksek Lisans Tez Çalışması, İTÜ, İstanbul.
7. Joseph M. Norbeck...[ve arkadaşları], 1996, "Hydrogen Fuel for Surface Transportation", Society of Automotive Engineers Inc..
8. Wood K.H., Stapersma D., 2002, "Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems", Institute of Marine Engineers, Science and Technology Press.
9. SAĞ O.K., 1987, "Klasik Termodinamik Esasları I", İstanbul Teknik Üniversitesi Basımı.

6. ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMINDA KULLANILAN BAZI YAZILIMLAR

Literatürde adı geçen çeşitli hibrid elektrikli araç yazılım programları bulunmaktadır. Bu programlar arasında bazı önemlilerin gözden geçirildiği kısa bir özet aşağıda sunulmuştur.

6.1. Simplev

SIMPLEV, HEA'lar ve tümü-EA'ları modellemek amacıyla Idaho National Engineering Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. Bu program değişik motorları, alternatörleri, İYM'leri, aküleri, transmisyonları seçmeyi sağlayan menü tabanlı bir arayüze sahiptir. Araç performansını simüle eden bir program olan SIMPLEV, konvansiyonel, tümü elektrikli, seri hibrid ve paralel hibrid tahrik sistemlerini simüle etme kabiliyetine sahiptir. SIMPLEV, küçük araçlardan (golf arabaları) büyük tren lokomotiflerine kadar geniş bir aralıktaki araçların yazılımlarını yapar. Bu program, sürüş sistemi elemanlarının performans parametrelerini saniye-saniye tahmin etmeyi sağlar.

6.2. CarSim

CarSim, AeroVironment Inc. tarafından geliştirilmiş bir program olup Simplev'e çok benzemektedir. CarSim sadece seri HEA'lar ve tümü-EA'ları simüle etmekte ve emisyonlar hakkında bilgi vermemektedir.

6.3. Hvec

HVEC (Hybrid Vehicle Evaluation Code), Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı tarafından tamamı EA'ları ve seri HEA'ları simüle etmek üzere geliştirilmiştir. Bu program daha önce bahsedilen iki programın temel özelliklerini içermekle birlikte, onlarda olmayan birtakım ekipman modellerine sahiptir. Toplam yakıt tüketimini, emisyonları ve performans karakteristiklerini sınaama kabiliyetine sahiptir. Program çeşitli sürüş çevrimleri için ivmelenme, yokuş tırmanma performanslarını, emisyonları ve araç performansını simüle edebilir. Program rejeneratif frenlemeyi içermektedir ve

ekipman performanslarındaki duyarlılık analizi için kullanışlıdır. Bu program elektrikli araç prototiplerinde, hidrojen konsept araçlarda, hibrid trenlerde ve bir doğal gaz aracında uygulanmıştır. Ayrıca yüksek yakıt ekonomisi ve düşük emisyonlar için araçları optimize etmekte kullanılmaktadır.

6.4. CSM HEV

CSM HEV, hibrid elektrikli aracın karakteristiklerini simüle eden, Colorado School of Mines tarafından geliştirilen bir programdır. Bu program, MATLAB/SIMULINK tabanlı, bir program olup daha önce bahsedilen simülasyon programlarından daha kolay konfigürasyon değişikliğine izin vermektedir.

6.5. V-Elph

V-Elph(Electrically-Peaking Hybrid) simülasyon programı, Texas A&M Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. MATLAB/SIMULINK tabanlı bir program olan V-Elph, her türlü hibrid elektrikli aracın sistem dizayn parametrelerine ait yazılımları sağlamaktadır. Görsel bir program tekniği kullanılarak, kullanıcıya araç yapısını kolay ve hızlıca değiştirebilme imkanı sunulmuştur. Program yazılım sonuçlarını da grafik olarak vermektedir. Elektrik motorlarının, İYM'lerin, akülerin, araç dinamiklerinin, yakıtların ve kontrol stratejilerinin menü tabanlı detaylı modelleri bulunmaktadır.

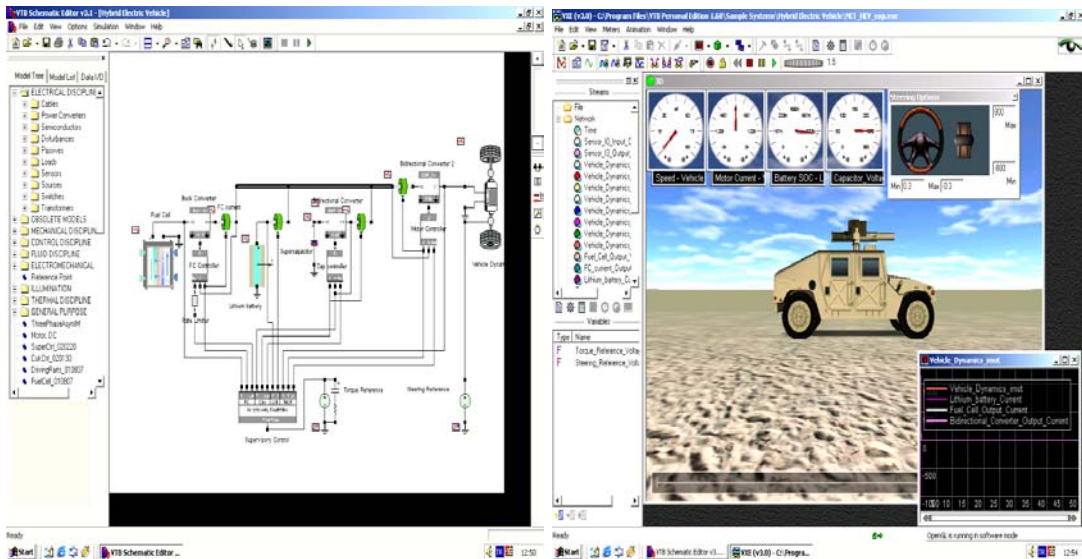
6.6. Advance

Advance, TNO Otomotiv bölümü tarafından geliştirilmiştir. MATLAB/SIMULINK ortamında hazırlanan program, kullanıcılara araç modeli geliştirmekte kolaylık ve esneklik sağlar. Bu program ile konvansiyonel, elektrikli ve HEA'ların tasarımı, analizi ve değerlendirmesi yapılabilir. İYM, diferansiyel, vites kutusu, araç gövdesi, değişik elektrik motorları, aküler gibi çeşitli araç parçalarını yazılım araçları olarak model veritabanı şeklinde içerir. MATLAB/SIMULINK gerçek zamanlı yazılım olanağını sunmaktadır. Bu özellik, bir araç modelini Hardware-In-the-Loop testleri için kullanmayı olanaklı kılmaktadır.

6.7.VTB

VTB, (Virtual Test Bed) programı South Carolina Üniversitesi merkezli olup, geliştirilmesi uluslararası katılımı gerçekleştirilmektedir. Bu program sadece araçlar konusunda değil, yakıt pili tesisi, elektrikli gemi, elektrik motorları, uydu sistemleri, yarıiletken anahtarlar gibi çeşitli konularda, özetle termal, elektrik ve mekanik disiplinleri içeren bir programdır.

VTB, iki önemli özelliğe sahiptir; (i) Değişik dillerde yaratılmış modelleri tek bir yazılım ortamında toplama kabiliyeti, (ii) Simulasyon sonuçlarını, ileri derecede görsellikle sunabilmesi (mekanik ekipmanların tam hareketli animasyonları, hesaplanmış sonuçların sistem sonuçları üzerinde yaratıcı şekilde haritalandırılması). VTB'nin ilk özelliği, çok sayıda teknik sisteme ait her bir elemanın en uygun dilde tanımlanmasını sağlar (örneğin, elektronik elemanlar için SPICE, dinamik sistemler için ACSL, Advanced Continuous Simulation Language, güç elektroniği devreleri için SABER, kontrol için MATLAB). Öte yandan, ikinci özellik kullanıcının yazılım sonuçlarını anlayışını önemli derecede artırır. Şekil 70'de VTB programının modelleme ve sonuç sayfalarından örnekler gösterilmektedir.



Şekil 70. VTB bilgisayar programından görünüş (modelleme ve sonuç sayfaları)

6.8. Advisor

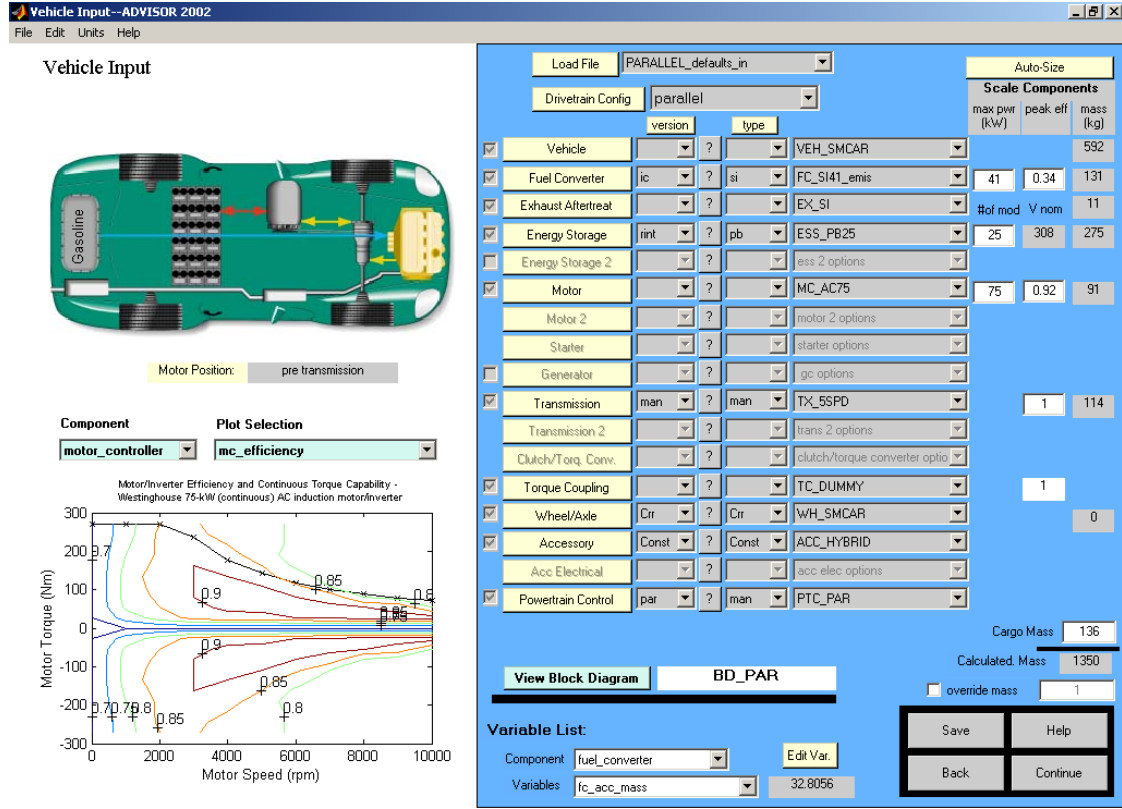
ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator), 1994 yılında NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Bu program, A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) hibrid EA'lar için teknoloji geliştirmek üzere Ford, General Motors ve Daimler Chrysler ile olan Hibrid Elektrikli Araç Tahrik Sistemleri anlaşması çerçevesinde tasarlanmıştır. Birincil görevi, hibrid elektrikli ve elektrikli araç elemanlarının sistem düzeyinde etkileşimlerini incelemek, ve onların araç performansı ile yakıt tüketimine olan etkilerini aydınlatmaktır. ADVISOR, ilk olarak 1998 yılında internet üzerinden halka sunulmuş ve birçok yenilenme geçirmiştir.

ADVISOR, MATLAB/Simulink ortamında yaratılmıştır. MATLAB, hesapları gerçekleştirmek için matris tabanlı programlamada kolaylık sağlarken, Simulink karmaşık sistemleri, grafiksel blok diyagramlar kullanarak ifade etmek için kullanılabilir.

ADVISOR, kullanıcıya simulasyon işlemleri boyunca yol göstermek için üç adet ana grafiksel arayüz (GUI-graphical user interface) ekranı kullanır. Bu arayüzlerle, kullanıcı, araç parametrelerinin ve sürüş çevrimi gereksinimlerinin, araç performansı, yakıt ekonomisi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini iteratif olarak değerlendirebilir. Bu arayüzler, MATLAB çalışma alanında bulunan işlenmemiş giriş ve çıkış verileri ile etkileşimi kolaylaştırırlar. Araç modeli, alt sistemler arasındaki bağlantıyı ifade etmek için, Simulink blok diyagramları kullanılarak grafiksel olarak resmedilir. Böylece, model yazılım sırasında, MATLAB çalışma ortamından giriş verilerini okuyarak, çıkışları sonuç çalışma bölgesine gönderip sonuç ekranında görüntülendirir. Araç giriş ekranının örneği şekil 71'de görülmektedir.

. Bu sayfadaki menülerden aracın düzeni (seri, paralel veya konvansiyonel) ve sürüş sistemini oluşturacak elemanlar seçilir. Değişik elemanların karakteristik performans haritaları ekranın sol altında görülebilir ve ilgili menüden ulaşılabilir. Bir elemanın boyutu (tepe gücü ve sayısı) kutular içerisinde gösterilen karakteristik değerlerle değiştirilebilir. Bir elemanın herhangi bir skalar büyüklüğü, değişkenleri düzenleme

menüsünden istenildiği gibi değiştirilip, daha sonra kullanılmak üzere kaydedilebilir. Kullanıcı, araç parametrelerinin giriş ayarlarını tamamladıktan sonra devam tuşuyla simulasyon penceresine gelir.

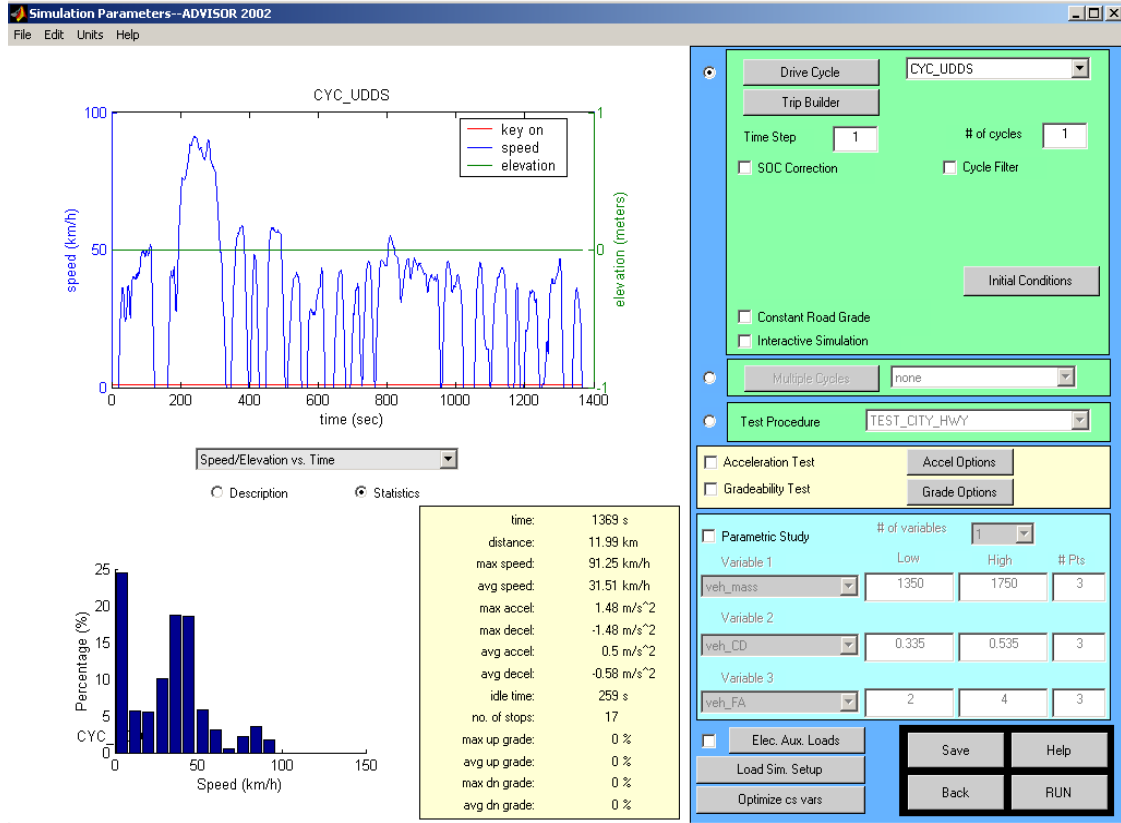


		Auto-Size		
		max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehicle			592
<input checked="" type="checkbox"/>	Fuel Converter	41	0.34	131
<input checked="" type="checkbox"/>	Exhaust Aftertreat			11
<input checked="" type="checkbox"/>	Energy Storage	25	308	275
<input checked="" type="checkbox"/>	Motor	75	0.92	91
<input checked="" type="checkbox"/>	Motor 2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Starter			
<input checked="" type="checkbox"/>	Generator			
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmission			114
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmission 2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Clutch/Torque Conv.			
<input checked="" type="checkbox"/>	Torque Coupling			114
<input checked="" type="checkbox"/>	Wheel/Axle			0
<input checked="" type="checkbox"/>	Accessory			
<input checked="" type="checkbox"/>	Acc Electrical			
<input checked="" type="checkbox"/>	Powertrain Control			

Şekil 71. Araç parametreleri giriş ekranı

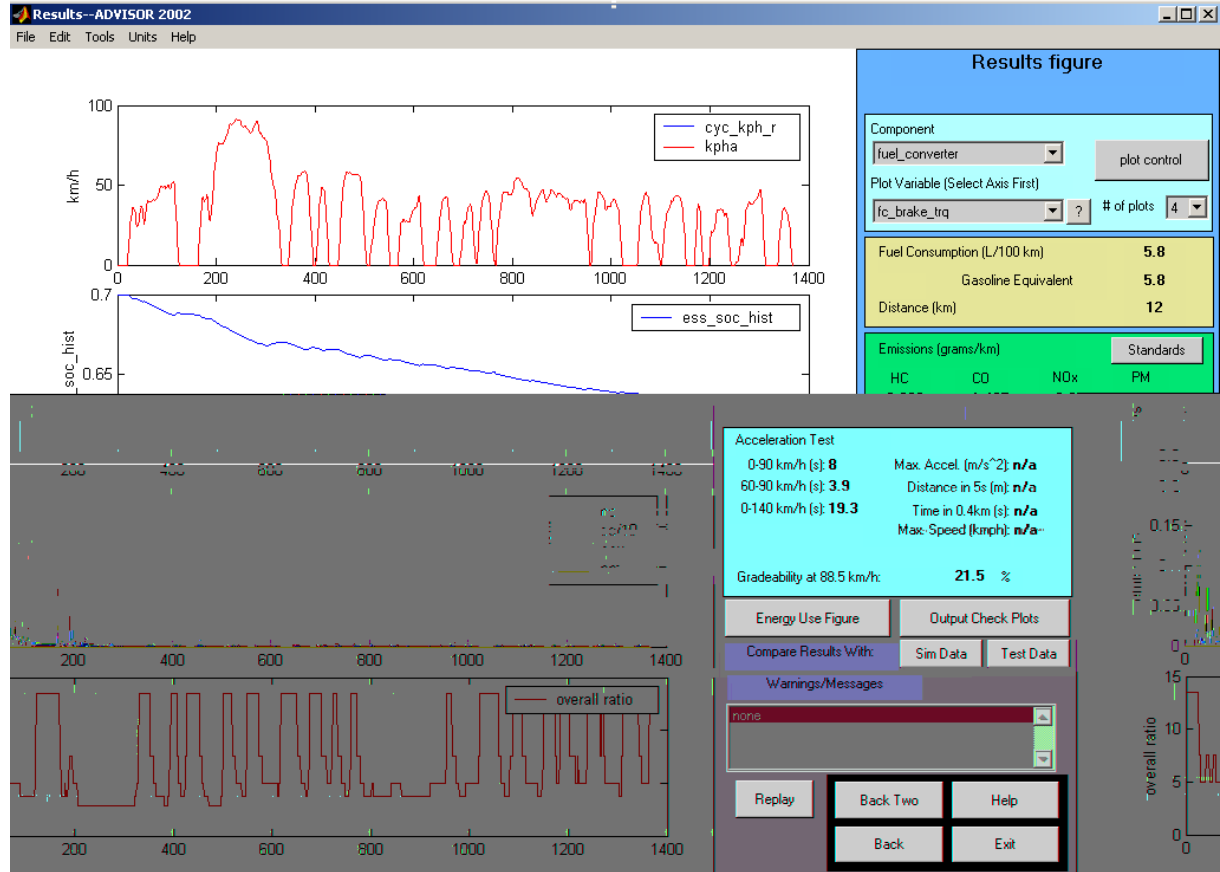
ADVISOR'da kullanılan modeller, sürüş sistemi elemanlarının giriş/çıkış ilişkilerinin laboratuvarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen sonuçlarına dayanır. Bununla birlikte sürekli hal testlerinde (örneğin sabit moment, hız) toplanan veriler kullanılarak, bunların geçici hal etkileri düzeltilmiştir. Çok sayıda özel ve standart sürüş çevrimlerini (drive cycle) kullanmaktadır.

Şekil 72’de görülen simulasyon ekranında, kullanıcı aracın hangi olaylar içerisinde simule edileceğini tanımlar. Bu tek bir sürüş çevrimi olabileceği gibi, birden çok çevrim veya özel test prosedürlerini (ivmelenme testi, eğim testi) içerebilir.



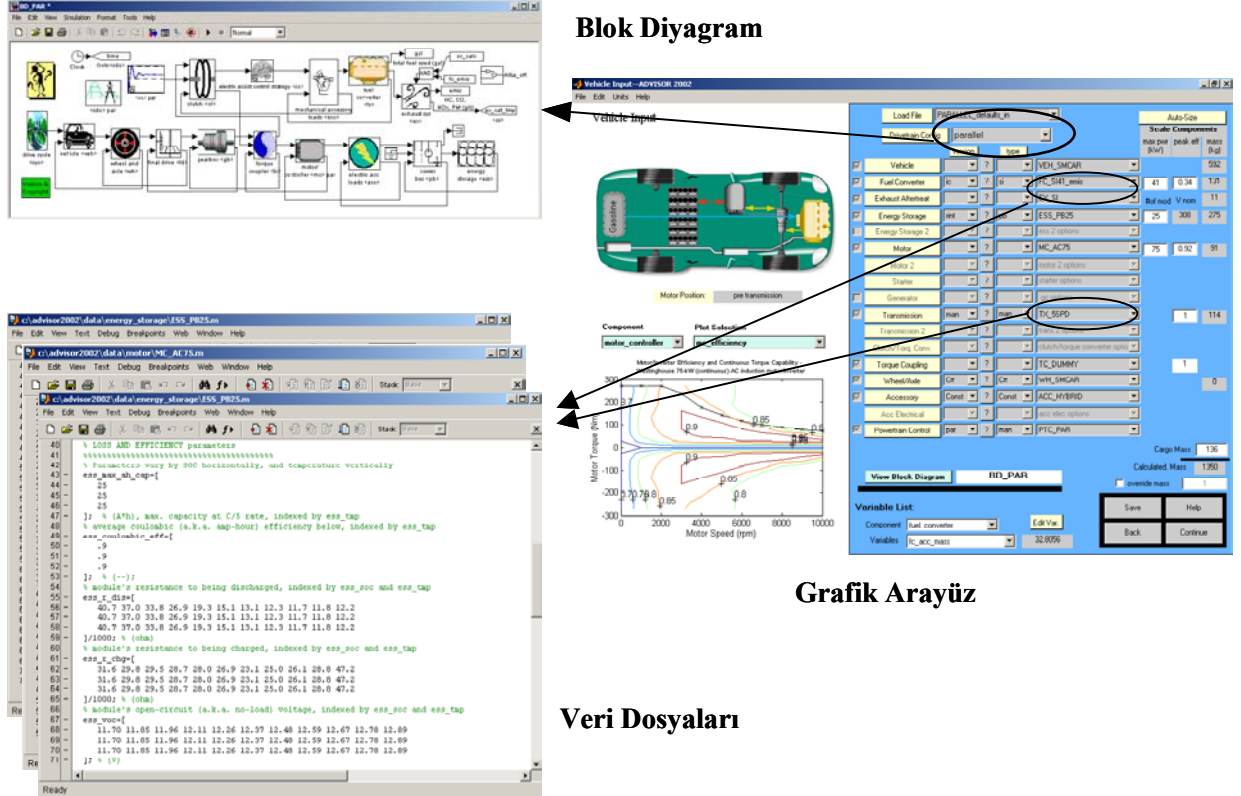
Şekil 72. Yazılım parametreleri giriş ekranı

Şekil 73'de görülen sonuç ekranında, araç performansını sürüş çevrimi boyunca ve de çevrimin herhangi bir noktasında anlık olarak görme olanağı mevcuttur. Sonuç ekranının sağ tarafında, yakıt tüketimi ve emisyonlar gibi özet sonuçlar bulunmaktadır. Sol tarafta ise, zamana bağlı olarak detaylı sonuçlar (örneğin; motor hızı, motor momenti, akü gerilimi, vb.) çizilmiştir.



Şekil 73. ADVISOR sonuç ekranı

Şekil 74’de MATLAB çalışma alanındaki verilerle bağlantı halinde bulunan grafik arayüz ekranı görülmektedir. Alt sistemlerdeki cihazların verileri metin dosyaları halinde kaydedilmiştir. Kullanıcının seçimlerine göre uygun veri kümeleri çalışma ortamına yüklenir. Grafik arayüz aynı zamanda kullanılacak modelin seçimini kontrol etmek için de kullanılır. Grafikselsel blok diyagram olarak gösterilen model, MATLAB çalışma ortamına yüklenen verileri giriş parametre kümesi olarak algılar.



Şekil 74. ADVISOR programının grafik arayüz, veri dosyaları ve modeller arasındaki bağlantısı

Şubat 2002’de ADVISOR, Ansoft’un SIMPLORER programıyla birleşmiştir. Bu yeni araç sistem tasarım çözüm programı, SIMPLORER’in elektriksel sistem karakteristiklerini doğru tahmin etmedeki kuvveti ile ADVISOR’ın bütün aracın sistem analizini gerçekleştirmedeki gücünü biraraya getirmiştir.

REFERANSLAR

1. Uçarol H., 2003, “Karma Elektrikli Araç”, Yüksek Lisans Tez Çalışması, İTÜ, İstanbul.

7. ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA İLGİLİ STANDARTLAR VE KODLAR

Günümüzde EA'lar ve alt bileşenleri konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları artarak devam etmektedir. Bu durum EA'lar ve alt bileşenleri için performans ve güvenlik testlerinin tüm dünyada kabul edilebilir bir seviyede yapılabilmesini sağlayan standart bir test prosedürünün oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu amaca yönelik olarak EA'lar için çeşitli standart test prosedürleri geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak bu konuda henüz uluslararası tek bir yaygın standart oluşturulamamıştır. Bunun yanında ABD'de SAE (Society of Automotive Engineer's) ile EVAmerica (Electric Vehicle America) ve Japonya'da JEVS'in (Japan Electric Vehicle Society) bu alandaki çalışmaları dikkat çekmektedir. Ayrıca son zamanlarda Koreliler elektrikli araç test metodlarının standardizasyonu konusunda çalışmalar başlatmışlardır.

7.1. Elektrikli Araç Performans Test Metotları

Elektrikli araç performans testleri, genel olarak hem şasi dinamometre üzerinde testleri hem de pistte doğrulama testlerini içermektedir. SAE'nin bu konuda 3 standardı söz konusudur. Bunlar sırasıyla J1634, J1666 ve J2344'tür. EVAmerica'nın ETA-TP001 ~ ETA-TP007 diye adlandırılan 7 standardı bulunmaktadır. JEVS'in ise Z101-87 ~ Z901-1995 diye anılan 18 standardı bulunmaktadır.

Elektrikli araç testleri için Kore tarafından hazırlanan standartlar ise yukarı da bahsi geçen standartlar baz alınarak geliştirilmiştir. Geliştirilen Kore Standartları (KS) arasında:

KS R 1133: EA'ların çalıştırma test metodlarıyla ilgili genel kurallarını dairdir. Test aracının, deney düzeneğinin ve dinamometrenin şartlarını belirler. Hidrolik ve elektrikli dinamometre için yol yük kuvvetini oluşturma metodundan bahseder.

KS R 1134: Dinamometrede zaman ve araç hızına bağlı olarak yol yük kuvvetinin ölçülmesini içerir.

KS R 1135: EA'ların şasi dinamometre üzerinde enerji tüketimi ve menzil testini içermektedir. Test esnasında hem şehir içi hem şehirlerarası duruma göre testler yapılır. Sabit hız testinde, araç hızı 72 km/h ve 96 km/h olarak ayarlanır.

KS R 1136: EA'ların ivmelenme ve azami hız ölçümü testlerini kapsar. Pistte veya şasi dinamometre üzerinde yapılır. %100, %80 ve %60 batarya şarj durumları için testler yapılır. İvmelenme testinde, 40 km/h, 80 km/h ve 100 km/h'e ulaşma zamanları ölçülür.

KS R 1137: EA'ların azami tırmanma test yönteminden bahseder. Şasi dinamometre üzerinde 1.5 km/h'lik çalışma hızıyla 20 saniyelik süre için tahrik kuvvetinin ölçülmesini ve daha sonra hesap yöntemlerini içerir.

KS R 1138: EA'ların tırmanma test yönteminden bahseder. Analitik yöntem, şasi dinamometre yöntemlerini kullanarak tırmanabilirliğin ölçülmesini ve zemin testlerini doğrulanmasını kapsar.

KS R 1139: EA'ların fren test yöntemini içerir. EA'ların rejeneratif frenleme genel çalışma şartına göre fren mesafesinin ölçülmesi için gerekli yöntemi izah eder. Test başlangıç hızı, 100 km/h veya azami hızdır.

7.2. Batarya Test Standartları

Bu kısımda, geleceğin EA'ları için iki tip batarya, NiMH ve Lityum-İyon, için geliştirilen test yöntemlerinden bahsedilmiştir.

7.2.1 Batarya Performans Testi Yöntemleri

Bu standart test yöntemi Amerikan Batarya Konsorsiyomu (USABC) Elektrikli Araç Test prosedürleri el kitabına dayanmaktadır. Sırasıyla kapsadığı testler aşağıda verilmektedir:

- Deşarj Kapasitesi: 25 °C'de 3 saat boyunca son voltajına düşene kadarki deşarj kapasitesi ölçülür. Yapılan 3 ölçüm için ortalama deşarj kapasitesi hesaplanır.
- Enerji Yoğunluğu: Ölçülen deşarj kapasitesi değeri kullanılarak spesifik enerji (Wh/kg) ve enerji yoğunluğu (Wh/l) hesaplanır.
- Değişken Deşarj Durumları için Sınır Güçlerin Saptanması: 2/3 oranındaki açık devre geriliminde bulunan bir bataryanın sürdürülebilir deşarj güç

kabiliyetinin saptanmasına dair testleri içerir. Testte öncelikle deney öncesi 30 saniyelik süre için başlangıç olarak kabul edilecek olan düşük akım deşarjı tespit edilir. Bunu takiben gene 30 saniye süreyle yüksek akım deşarjı ile %10 deşarj derinliğine kadar test edilir. Deşarj testleri, %10 deşarj derinliğinden %90'a artırılarak tekrarlanır ve sonuç olarak her bir deşarj derinliği için sınır güç değerleri hesaplanır.

- **Güç Yoğunluğu:** Her 5 saniye sonrasında gerilimin, spesifik deşarj akımına karşılık gelen değeri ölçülerek deşarj karakteristiği çıkarılır. 25 °C'de ve %80 deşarj derinliğinde, 30 saniye için ortalama güç verisinden güç yoğunluğu hesaplanır
- **Çevrim Ömrü:** Tekrarlayan şarj/deşarjlardan sonra batarya ömrünün sonuna kadar ki toplam çevrim sayısının ölçülmesiyle ilgilidir. Şarj/deşarj testleri 25 °C'de yapılır.
- **Kendiliğinden Deşarj:** Uzun süreli depolama için deşarj kapasitesi kaybının ölçülmesini kapsar. Elektrikli araç bataryasını 3 saat içinde deşarj edebilecek test akımı uygulanır. 45°C'de 1 ay süreyle depolama durumu esas alınarak testler yapılır.
- **Kısmi Deşarj:** Tekrarlayan kısmi deşarjlardan dolayı deşarj kapasitesi kaybının ölçülmesiyle ilgili testlerdir. 3 saat içinde deşarj edebilecek akım uygulanır. %50 deşarj derinliğinde 10 kısmi deşarj/şarj sayısı için ölçümler alınır.
- **Sıcaklık Karakteristiği:** Değişik deşarj sıcaklıklarında deşarj kapasitesinin ölçülmesini kapsar. Şarj sıcaklığı, 25°C'dir. NiMH bataryalar için -30°C, 0°C, 65°C sıcaklıklarında, Li-İyon bataryalar için ise -20°C, 0°C, 45°C sıcaklıklarda deşarj kapasiteleri ölçülür.

7.2.2 Batarya Güvenlik Testi Yöntemleri

Burada anlatılan test yöntemleri IEC 619601 ve SBA G1101 (Japon) test şartnamelerini baz almaktadır. Bu iki standart, elektrikli araç batarya sistemi için değılsede sekonder lityum hücreler için, küçük birtakım farklılıklar dışında özdeş sayılabilirler. Güvenlik testleri elektriksel, mekanik ve çevre testleri olmak üzere üç

gruba ayrılmaktadır. Tablo 21’de elektriksel güvenlik testleri, Tablo 22’de mekanik güvenlik testleri ve Tablo 23’de Çevre Testleri özetlenmiştir.

Tablo 20. Elektriksel testler

Test Adı	Test Başlangıcı Şarj Durumu	Sıcaklık (°C)	Yöntem
Sürekli Şarj	Tam Deşarj	25	1 ay için şarj
Kısa Devre	Tam Şarj	60	50 mΩ’luk dirençle 6 saatten şarj
Zorlanmış Deşarj	Tam Şarj	25	%250 Deşarj
Aşırı şarj	Tam Deşarj	25	%250 Şarj
Yüksek Akımda Şarj	Tam Deşarj	25	Azami şarj akımının 3 misli akımda %100 Şarj

Tablo 21. Mekanik testler

Test Adı	Şarj Durumu	Sıcaklık (°C)	Yöntem
Titreşim	Tam Şarj veya Deşarj	25	0.8 mm genlikte, 10-55 Hz frekansta, 1 Hz/dakika hızla, xyz-ekseni yönünde 90-100 dakika süreyle titreşim
Ani Etki	Tam Şarj veya Deşarj	25	İlk 3 ms süre için, azami 125g-175g’lik, en düşük ortalama 75g’lik xyz eksenini yönünde ivmelenme
Serbest Düşme	Tam Şarj veya Deşarj	25	1.9 m’den 10 defa düşürme
Delme (Gömülme)	Tam Şarj	25	2.5-5mm çaplı çiviye plaka üzerinde, plaka yüzeyine 90° açıyla 6 saat süreyle tutma
Çarpışma	Tam Deşarj	25	150 mm çapında direk, 50 km/h hızla kafa kafaya çarpışma

Tablo 22. Çevresel testler

Test Adı	Şarj Durumu	Sıcaklık (°C)	Yöntem
Yüksek Sıcaklıkta Depolama	Tam Şarj	100, 60, 20	100°C'de 5 saat tuttuktan sonra veya 60°C ve 20°C'de 20 gün tuttuktan sonra, 24 saatten fazla depolama
Isıl Şok	Tam Şarj	-20 ⇔ +60	Her bir sıcaklık limitinde 2 saat süreyle tutma. Isıtma hızı: 10 çevrim boyunca 16°C/dakikadan daha hızlı ısıtma
Düşük Basınç	Tam Şarj	25	11.6 kPa basınçta 6 saat süreyle depolama
Isıtma	Tam Şarj	130	5°C/dakika ısıtma hızıyla azami sıcaklığa kadar ısıtma ve azami sıcaklıkta 1 saat tutma
Su İçine Daldırma	Tam Deşarj	25	24 saat süreyle su içine daldırma

7.3. Hibrid Elektrikli Araç Performans Test Metotları

SAE J1711 Standardı uluslar arası olarak kullanılan tek hibrid araç test metodudur. SAE J1711 Standardı batarya, kapasitör, volan ve motorun birlikte yer aldığı tüm HEA'lara ait bir test yöntemidir.

Test modu durumunda J1711, UDDS, HFEDS, US06 ve SC03 sürüş çevrimlerini içerir. UDDS şehir içi dinamometre sürüş çevrimi olup, 22 dakika, 52 saniyelik bir süre içinde aracın şehiriçi sürüşü temsil etmek için kullanılır. HFEDS ise şehirlerarası yakıt ekonomisi sürüş çevrimi olup, 12 dakika, 45 saniyelik süre içinde aracın şehirlerarası yollardaki kullanımını temsil etmede kullanılır. US06 ve US03 sürüş çevrimleri sırasıyla 10 dakikalık bir süre içinde düşük hız ve ivmelerde aracın kullanılmasını ve gene 10 dakikalık süre içinde aracın klima çalışırken ki durumlarını test etmede kullanılır.

J1711 Standardına göre, iki temel tipte egzost emisyon ve yakıt ekonomi testleri bulunmaktadır. Birinci tip testler, şarj edilebilir enerji depolama sistemlerinin kısmi

şarjlı şekliyle, ikinci tip testler ise tam şarjlı testleriyle başlarlar. Bu testler arasında çalışma moduna ve kullanılan sürüş çevrimine (UDDS, HFEDS, SC06 veya SC03) göre farklılıklar bulunmaktadır.

Kısmi şarjlı testin amacı, hibrid elektrikli aracın bir veya bir seri sürüş çevrimi içindeki egzost emisyonlarını ve yakıt ekonomisini ölçmektir. Bunun yanında gerçekte alınan mesafe ve şarj durumu (SOC) da ölçülmüş olur. Bu test aynı zamanda dışarıdan bir elektrik enerjisi kaynağı olmadan, sürücünün enerji depolama sistemini kullanım esnasında şarj etme davranışını da gösterir.

HEA'ların tam şarj testi, özel bir sürüş çevrimi kullanılarak yapılır. J1711'de UDDS ve HFEDS sürüş çevrimlerine göre test şartları tanımlanmış olmakla birlikte diğer sürüş çevrimlerine göre de uygun test şartları tanımlanarak aynı test yapılabilir. Bu test kısmi şarjlı testte olduğu gibi HEA'ların hibrid çalışma modunda egzost emisyonlarını ve yakıt ekonomisini test edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında, farklı bir elektrik kaynağı yardımıyla her gün aracını dışardan %100 şarj eden bir sürücünün şarj etme alışkanlığını da gösterir. Testin sonucunda, egzost emisyonları ve yakıt ekonomisine ait değerler dışında, gerçek alınan mesafe, alternatif akım kaynağından çekilen tekrar şarj enerjisi ve tümüyle elektrikli mod esnasında alınan mesafeler de çıkarılmış olur.

REFERANSLAR

1. Ki-won Kim, Meung-ho Rhee, Chang-su Hahn, "Standardization of Performance and Establishment of Test Methods for EV Batteries", EVS19 Proceedings, 19-23 Ekim, 2002, Busan, Korea.
2. Meung-Ho Rhee and Chang-Su Hahn, "Standardization of Testing Methods for EV & HEV in Korea", EVS19 Proceedings, 19-23 Ekim, 2002, Busan, Korea.
3. SAE, J1634, J1666, J2344 Standards.
4. EVAmerica Standards, ETA-TP001, ETA-TP002, ETA-TP003, ETA-TP004, ETA-TP005, ETA-TP006, ETA-TP007.
5. JEVS Standards, 1995, Z101-87, Z102-87, Z103-87, Z104-87, Z105-88, Z106-88, Z107-88, Z108-1994, Z109-1995, Z110-1995, Z111-1995, Z112-1996, Z804-1998, Z805-1998, Z806-1998, Z807-1998, Z806-1998, Z901.

6. SAE J1711 Standard, "Recommended Practice for Measuring the Exhaust Emissions and Fuel Economy of Hybrid-Electric Vehicle".
7. USABC, 1996, "Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual Revision 2".
8. SAE J1798 Standard, 1997, "Surface Vehicle Recommended Practice".
9. JEVS D001, D002, D701 – D709.
10. IEC 61960-1, 2000, Final Standard.
11. SBA G1101, 1997, "Guideline for Safety Evaluation on Secondary Lithium Cells" .

8. GELECEKTE ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİNİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNE ETKİLERİ VE YENİ OLUŞUMLAR

Bu bölüme kadar elektrikli araç teknolojilerinin günümüzdeki durumu anlatılmıştır. Bu kısımda ise elektrikli araç teknolojilerinde beklenen değişimler ve bunların etkileri üzerine çeşitli yaklaşımlar verilmektedir.

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere elektrikli araç teknolojileri arasında yer alan kritik unsurlar sırası ile;

- Daha hafif, küçük, güvenilir ve düşük maliyetli elektrik motorları/generatörleri,
- Daha yüksek enerji ve güç yoğunluğuna sahip, uzun ömürlü, güvenilir ve düşük maliyetli batarya sistemleri,
- Boyut ve ağırlıkça daha küçük, yüksek devirli, sabit yükte optimize edilmiş İYM'ler,
- Hidrojen üretim, depolama ve yakıt pili teknolojileri,
- Güç elektroniği sistemleridir.

Bu konularda, otomotiv sektörünün tüm önemli firmaları, çeşitli uzmanlıklar ve büyük mali kaynak kullanarak nihai ürüne ulaşmayı hedefleyen çalışmalar yürütmektedir. Bunun yanında bir çok ülke ulusal araştırma programlarını yönlendirerek bu çalışmalarını ivmelendirmektedir. Başta Japonya olmak üzere Güney Kore ve İsveç gibi ülkelerde, elektrikli taşıtlara olan ilgiyi arttırabilmek için satın alma fiyatına destek teşvikleri uygulanmaktadır.

Bir çok ülkede çeşitli programlar ve hedefler tanımlanarak, finansman, altyapı ve insan kaynakları ile desteklenmektedir. En önemli programlar arasında

- ABD; Freedom Car Programı ve ileri batarya teknolojileri programı gibi projeler ile milyar dolara varan yıllık destekler oluşturmaktadır.
- Japonya, tüketiciye direkt mali teşvikler, Zero Emission Vehicle Programı ve diğer ilgili projelerde büyük çaplı destekler yaratmaktadır. Japon hükümeti bu

sayede Toyota ve Honda gibi şirketlerinin büyük pazar payları kazanmasını hedeflemektedir.

- Çin hükümeti bir çok firmayı alt sistemlerin üretilmesi için doğrudan desteklemektedir. Bilhassa güç elektroniği ve batarya teknolojilerinde batılı firmaların oldukça altında fiyatlar ile üretim başlatılmıştır. Çin yeniden oluşacak otomotiv sektöründe en ön saflarda yer almayı hedeflemiştir.
- Avrupa topluluğu nispeten nihai ürünlere doğru olan bu yarışta daha geriden takip etmekle birlikte çerçeve programları ile ciddi finansman kaynakları ayırmaktadır. Ayrıca ana üretici şirketlere elektrikli araç çalışmalarında doğrudan destek sağlamaktadır.
- Güney Kore'de farklı şirketler devletin araştırma kurumları ile birlikte çalışmaktadır. Mali ve uzmanlık destekleri ile yürütülen programlarda aracın kendisi ve alt sistemler üzerinde uzmanlaşılması hedeflenmektedir.

SAE International Başkanı 2000 yılı Elektrikli Araç Sempozyumunda (EVS) verdiği açılış konuşmasında belirttiği gibi, otomotiv sektörü geçtiğimiz yüzyılda mevcut içten yanmalı motora sahip araç konseptini neredeyse mükemmelleştirmiştir. Ancak önümüzdeki 10–15 yıl içerisinde sektörde yeniden yapılanma gerçekleşecektir. Bu yapılanmaya hazır firmalar ve ülkeler kendilerini başrollerde bulabileceklerdir.

Bu bölümde önümüzdeki 20 yıl içerisinde elektrikli araç teknolojilerindeki tahmin edilen gelişmeler anlatılacaktır.

8.1. Tahrik Yöntemleri

Son yıllarda özellikle daha düşük maliyetli, hafif, az yer kaplayan ve verimli elektrik motorlarının geliştirilmesi amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Önümüzdeki 10 yıl içerisinde EA'lar için tüm kriterleri sağlayan elektrik motorlarının tasarlanması beklenmektedir.

EA'larda ağırlık ve boyut olarak avantajları nedeni ile DC/AC eviricisi ile birlikte AC senkron motor kullanımı artmaktadır. AC motorlar, jant içerisine konulacak kadar küçük, hafif ve güçlü tasarlanabilir olduğundan araç diferansiyel kullanmadan direkt tahrik edilir. Sürekli mıknatıslı motorları, maliyetindeki beklenen düşüşler, yüksek

manyetik performansı, sıcaklık dayanımı ve korozyona karşı dirençleri önümüzdeki dönem için rakipsiz kılmaktadır.

8.2. Enerji Sistemleri

8.2.1 Bataryalar

Enerji depolama kapasitesi bakımından kurşun-asit bataryalara nazaran iki kat yüksek NiMH veya üç kat yüksek lityum-iyon bataryaları hızla geliştirilmektedir. Yüksek sıcaklık bataryalarının (sodyum-sülfür, sodyum-nikel klorür, lityum-demir sülfür), enerji depolama kabiliyetleri yüksek olmasına rağmen, karmaşık yapısı ve yüksek çalışma sıcaklığı (300-450°C) nedeni ile kullanılmasının zordur.

NiMH bataryaları nispeten daha az performansa sahip nikel kadmiyum bataryalarının yerini almaktadır. Bu bataryalar kısa ve orta vadede elektrikli araç uygulamalarında büyük oranda kullanılacaktır. Bu süre sonunda endüstrinin lityum-iyon bataryaları kullanıma alması beklenmektedir.

Lityum iyon bataryalar, maliyet ve stabilite açısından istenilen seviyeye ulaştıklarında rakipsiz kalacaklardır. Kullanım kolaylığı ve ömürleri ile yüksek hücre voltajı (3.6 V), enerji yoğunluğu (100-125 Wh/kg) ve hacimsel yoğunluğu birlikte değerlendirildiğinde çeşitli tasarım problemlerine anahtar olacaktır.

8.2.2 Volanlar

Volanlar, yüksek ivmelenme gibi ani güç gerektiren araç özelliklerinin geliştirilmesine oldukça uygundur. Yüksek güç yoğunluğuna nazaran enerji yoğunlukları oldukça düşüktür. Volanlar, dönme hızlarının 50,000 d/d gibi yüksek değerlere ulaşması ile yüksek enerji depolama kabiliyetine ulaşırlar. Konvansiyonel malzemeler, bu hızlarda ortaya çıkan gerilmelere dayanım gösterememektedir. Bu nedenle karbonfiber malzemelerin volanlarda uygulanmasına yönelik bir çok çalışma yürütülmektedir. Otobüs ve kamyon gibi araçlarda yüksek rejenaratif güçlerin depolanmasında ve bataryaların zayıf güç yoğunlunu geliştirmek amacı ile kullanımı öngörülmektedir.

8.2.3 Süperkapasitörler

Süperkapasitörler yüksek güç yoğunlukları ile volanlara benzer uygulamalara adaydır. Ancak uygulama kolaylığı ve yüksek güvenilirliklerinin yanında maliyetleri nedeni ile seri üretim araçlarda henüz kullanılmamaktadır. Bunun yanında önümüzdeki 5 yıl içerisinde süperkapasitörlerin uygun maliyette geliştirileceği ve volanlara karşı büyük üstünlük sağlayacağı düşünülmektedir.

8.2.4 Yakıt Pilleri

Gelecekte yakıt pillerinin EA'larda ana enerji kaynağı olarak yaygın olarak kullanılacaktır. Son dönemlerde araç üreticileri tarafından, özellikle yakıt pili ve yakıt dönüştürücünün boyutlarının küçültülmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Bunun yanında yakıt pillerinin seri üretim araçlarda uygulanmasına kadar geçen sürede güvenilirlik, stabilite, çeşitli iklim ve yol şartlarına uyum, güvenlik, bakım gibi konularda ayrıntılı çalışmalara henüz başlanmıştır. Yakıt pilli seri üretim araçlarının önümüzdeki on yıl içerisinde piyasada görüleceği düşünülmektedir.

8.3. Geleceğin Elektrikli Araçları

Gelecek 20 yıl içerisindeki elektrikli araç teknolojilerinde beklenen gelişmelerden yola çıkılarak 2025 yılına değin elektrikli araç konseptleri hakkında düşünceler aşağıda verilmiştir.

1. Tümü-EA'lar kısa vadede şehir içi gibi kısa menziller için tercih edilecek ve düşük maliyetli, düşük teknoloji bataryalar kullanılacaktır (nikel-metal hidrür veya kurşun-asit). Daha sonra teknolojinin gerektirdiği ileri lityum-iyon bataryalı tümü-EA'lar yollarda görülecektir. Kısa vadede performansın şehir içi kullanım için değişmeyeceği ve bataryalar tam şarj edildiğinde 100 km kadar menzil vereceği düşünülmektedir. Aracın şarjı, bir güç kaynağından endüktif olarak ve hızlı sistemler ile sağlanacaktır. Ancak kısa ve orta vadede hibrid araçların avantajları ve uzun dönemde yakıt pilli araçların devreye girmesi nedeni ile tümü EA'lar belli satış rakamlarında kalacaktır.

2. Hibrid elektrikli araçlar pazara en yakın ve kısa dönemde en ümit vaat eden ürün niteliğindedir. Paralel hibrid konfigrasyonları başta olmak üzere bir çok ürün grubunda hızla çoğalmaları beklenmektedir. Hibrid EA'lar üzerinde yürütülen çalışmalar, maliyet azaltma, optimisasyon, tasarım, alt sistemler ve üretim teknikleri geliştirme yönündedir. Hibrid araçların mevcut dağıtım ve bakım altyapısına uyum sorunları bulunmamaktadır. Hibrid araçlar prototip fazını tamamlayarak, seri üretim fazına geçiş sürecindedir.
3. Düşük maliyetli güvenilir yakıt pilli EA'ların orta ve uzun vadede pazarda yer almaya başlayacağı belirtilmektedir. Araçta azami güç gereksinimlerini karşılamak için ilave yardımcı batarya sistemine ihtiyaç duyulacaktır. Yakıt pili kısa vadede sıkıştırılmış hidrojen, devamında orta vadede yakıt dönüştürücüler ya da sodyum bor hidrür sistemler ile beraber çalışacağı düşünülmektedir. Uzun vadede tüm yakıt pilli araçlarda güvenli ve yüksek yoğunlukta depolanmış hidrojen kullanılacaktır. Yakıt pilli EA'lara geçiş sürecinde başlangıçta sıkıştırılmış hidrojene kolay ulaşabilecek kullanıcılar hedeflenecektir. İlk yıllarda PEM yakıt pilleri tek uygun çözüm olarak görülmek ile birlikte 2020 sonrası KOYP'lerinin de kullanıma alınabileceği öngörülmektedir. Ancak yakıt pilli araçların yaygınlaşması için mevcut dağıtım ve bakım sistemlerinde köklü değişiklikler gerekecektir.

REFERANSLAR

1. Westbrook M.H, 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", London, SAE.
2. Jurgen K.R, 2002, "Electric and Hybrid Electric Vehicles", Society of Automotive Engineers, Boston.