

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKIT PİLLİ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TAHRİKİ
İÇİN FARKLI TİPTE BATARYA GRUPLARININ
BELİRLENMESİ

Kimya Mühendisi Burcu AYDIN

FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sema Z. BAYKARA (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM ARAÇLARI	5
2.1 Neden Elektrikli Ulaşım Araçları?	6
2.2 Elektrikli Araçların Yaygın Olarak Kullanımının Önündeki Engeller	7
2.3 Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar	9
2.4 Bataryalı Elektrikli Araçlar	10
2.5 Hibrid Elektrikli Araçlar	10
2.6 Hibrid ve Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar	11
3. BATARYA TEKNOLOJİSİ	13
3.1 Elektrokimyasal Enerji Depolama	13
3.1.1 Elektrokimyasal Pil ve Pil Reaksiyonları	13
3.1.2 Pil Reaksiyonunu Etkileyen Parametreler	15
3.1.3 Denge ve Termodinamik Parametreler	15
3.1.4 Akım (e-) Akışı, Kinetik Parametreler ve Polarizasyon	18
3.1.5 Elektrot Yüzeylerine Kütle Transferi	23
3.1.6 Isı Etkileri	26
3.2 Genel Terimler Ve Karakteristikleri	28
3.2.1 Katodik/Anodik (Elektrotlar)	29
3.2.2 Pil/Batarya	30
3.2.3 Aktif Materyal ve Hacim Değişikliği	30
3.2.4 Aktif Olmayan Komponentler	30
3.3 Batarya Performans Parametreleri	32
3.3.1 Pil ve Batarya Voltajı	32
3.3.2 Şarj (Ampsaat.) Kapasitesi	33
3.3.3 Spesifik Enerji	35
3.3.4 Enerji Yoğunluğu	35
3.3.5 Spesifik Güç	36

3.3.6	Ampsaaat (Şarj) Verimi.....	36
3.3.7	Enerji Verimi	37
3.3.8	Deşarj Eğrileri.....	37
3.3.9	Self Deşarj Karakteristikleri	38
3.3.10	Termal Kontrol	39
3.3.11	Isı Vericileri Ve Alıcıları	39
3.3.12	İç Direnç	44
3.3.13	Deşarj Oranları	46
4.	ELEKTRİKLİ ULAŞIM ARAÇLARINA YÖNELİK BATARYALAR	50
4.1	Mevcut Elektrikli Araç Batarya Çeşitleri	50
4.1.1	Kurşun- Asit Bataryalar	50
4.1.2	Nikel Bazlı Bataryalar	58
4.1.2.1	Nikel Kadmiyum	58
4.1.2.2	Nikel Metal Hidrür Bataryalar.....	62
4.1.3	Sodyum Bazlı Bataryalar	64
4.1.3.1	Sodyum Sülfür Bataryalar:	65
4.1.3.2	Sodyum Metal Klorür (ZEBRA) Bataryalar:	66
4.1.4	Lityum Bataryalar	68
4.1.4.1	Lityum İyon Batarya.....	68
4.1.4.2	Lityum Polimer Bataryalar	71
4.1.5	Metal Hava Bataryalar	71
4.1.5.1	Alüminyum-Hava ve Çinko-Hava Bataryalar	71
5.	BATARYA ÖMRÜ VE BATARYALARIN ŞARJ EDİLMESİ	72
5.1	Batarya Ömrü	72
5.2	Çevrim Ömrü	75
5.3	Bataryanın Şarj Durumu (SoC)	76
5.4	Batarya Denetim Sistemi (BDS).....	79
5.5	Bataryaların Şarj Edilmesi.....	82
5.6	Şarj Eşitlenmesi	83
6.	ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ TEST EDİLMESİ VE MODELLENMESİ.....	86
6.1	Elektrikli Araç Bataryalarının Test Edilmesi	86
6.1.1	Test Metotları	86
6.1.2	Elektrikli Araç Batarya Testleri.....	89
6.1.3	Batarya Testi Önerileri	94
6.2	Bataryaların Modellenmesi.....	95
6.2.1	Bataryanın Modellenmesindeki Amaç	95
6.2.2	Batarya Eşdeğer Devresi	96
6.2.3	Batarya Kapasitesinin Modellenmesi	97
6.2.4	Belirlenen Bir Güçte Bataryanın Simülasyonu.....	100
6.2.5	Peukert Katsayısının Hesaplanması.....	101
6.2.6	Batarya Modeli Oluşturma	102
6.2.7	Batarya Boyutunun Tahmini Olarak Hesaplanması	109
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	114

KAYNAKLAR.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGE LİSTESİ

A	: Amper
$A_{\text{araç}}$: Aracın ön kesit alanı
a	: İvme
a_i	: Reaksiyona giren komponentin aktivitesi
C	: Kapasite (Ah)
C_a	: Aerodinamik sürüklenme katsayısı
C_p	: Peukert kapasitesi
C_t	: Tekerlek sürtünme katsayısı
d	: Havanın yoğunluğu
E	: Açık devre voltajı
E^0	: Standart elektrik potansiyeli, gerilim
E_{Toplam}	: Toplam Enerji
F	: Faraday sabiti (≈ 96500 C ya da 26.8 Ah)
g	: Yer çekimi ivmesi
I	: Akım
KE	: Kinetik enerji
M	: Aracın toplam ağırlığı
n	: Stokiyometrik olarak reaksiyondaki elektro sayısı
P_{Toplam}	: Toplam Güç
PE	: Potansiyel enerji
R	: Gaz sabiti
R_{in}	: İç Direnç
T	: Sıcaklık (K)
t	: Zaman
V	: Volt

v	: Hız
w	: Rüzgar hızı
ΔG	: Reaksiyonun Gibbs serbest enerjisi
ΔH	: Reaksiyon ortalığı
ΔS	: Reaksiyon entropisi
ΔU	: Akımın neden olduğu voltaj düşüşü (V)
η	: Araç aktarım organları verimi
θ	: Eğim

KISALTMA LİSTESİ

EA : Elektrikli Araç

HEA : Hibrit Elektrikli Araç

İYM : İçten Yanmalı Motor

VRLA : Valf Regüleli Kurşun Asit Batarya

SoC : Şarj Durumu

DoD : Batarya Deşarj Yoğunluğu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3. 1 Elektrokimyasal pil ve reaksiyonları.....	14
Şekil 3.2 Operasyon akımının bir fonksiyonun olarak pil polarizasyonu	20
Şekil 3.3 6 pilden oluşan bir bataryanın basit bir eşdeğer devre modeli.....	32
Şekil 3.4 Grafikte nominal olarak 42 Ampsaat'lik bir bataryanın ampsaat şarj kapasitesindeki değişimi.....	34
Şekil 3.5 Ragone grafiği- tipik kurşun-asit ve nikel kadmiyum traksiyoner bataryalar için spesifik enerjiye karşılık spesifik güç grafiği	35
Şekil 3.6 Farklı batarya tiplerinin deşarj eğrileri.....	38
Şekil 3.7 EA ve HEA bataryaları için termal ve gerilim yaklaşımları	42
Şekil 3.8 Kurşun asit batarya iç direncinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	45
Şekil 3.9 Lityum iyon pilin farklı akım oranlarında deşarj edilmesi.....	46
Şekil 3.10 Deşarj zamanına göre batarya kapasitesindeki değişim	47
Şekil 3.11 Peukert eğrisi.....	48
Şekil 4.1 Kurşun asit bataryanın deşarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar	51
Şekil 4.2 Kurşun asit bataryanın şarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar.....	52
Şekil 4.3 Kurşun asit batarya tam dolu şarj halindeyken gerçekleşen gaz reaksiyonları	54
Şekil 4.4 Grafik sızdırmaz bir kurşun asit bataryanın açık devre voltajının şarj durumuna göre değişimini göstermektedir.....	54
Şekil 4.5 NiCd bataryanın deşarjı esnasında gerçekleşen reaksiyonlar.....	59
Şekil 4.6 Nikel metal hidrit pilin deşarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar.	62
Şekil 4.7 Batarya deşarjı boyunca sodyum metal klorürdeki her bir elektrottaki reaksiyonlar.....	67
Şekil 5.1 Deşarj yoğunluğuna bağlı bataryanın çevrim sayısı	74
Şekil 5.2 Batarya kapasitesinin çevrim sayısına göre değişimi.....	76
Şekil 5.3 100 Ah lityum iyon pilin deşarj karakteristikleri	78
Şekil 5.4 HEA batarya çalışma aralığı	82
Şekil 5.5 Bir bataryadaki periyodik şarj eşitlenmesi	85
Şekil 6.1 Basit bir batarya eşdeğer modeli örneği. Bu devre, bataryanın dinamik davranışını modellemektedir.....	96
Şekil 6.2 Peukert modelinin gerçek batarya verileri ile örtüştüğü görülmektedir. 42 V'luk kurşun asit bataryaya ait veriler kullanılmıştır.....	99
Şekil 6.3 6 pilden oluşan bir VRLA kurşun asit batarya için sabit akımda deşarjı.....	105
Şekil 6.4 5 pilden oluşan bir NiCd batarya için sabit akımda deşarj deneyi.....	108
Şekil 6.5 Bir NiCad bataryanın gerçek ölçümler sonucu elde edilmiş kapasiteye bağlı voltaj	

değişimi.....	109
Şekil 6.5 İYM'lu konvansiyonel bir araba ve batarya elektrikli bir arabanın aktarım organlarının verimleri gösterilmiştir.....	110
Şekil 7.1 Kimyasal elementlerin yer kabuğundaki bağlı miktarları.....	115
Şekil 7.2 Farklı batarya tiplerine ait Ragone Grafiği.....	117

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Şarj edilebilir Bataryalar	12
Çizelge 3.1 250C'deki elektrot reaksiyonlarının standart potansiyelleri.....	17
Çizelge 3.2 Ortam sıcaklığında çeşitli elektrolitlerin iletkenlikleri.....	21
Çizelge 4.1 Kurşun asit bataryalar için nominal batarya parametreleri	52
Çizelge 4.2 Nikel kadmiyum bataryalar için nominal batarya parametreleri.....	60
Çizelge 4.3 Nikel metal hidrit bataryalar için nominal batarya parametreleri	63
Çizelge 4.4 Sodyum sülfür bataryalar için nominal batarya parametreleri	66
Çizelge 4.5 Sodyum metal klorür bataryalar için nominal batarya parametreleri.....	68
Çizelge 5.1 Bataryadaki iki farklı pilin şarj durumları gösterilmektedir	84
Çizelge 7.1 EA ve HEA bataryalarının teknik karakteristikleri	116

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında düşük maliyetli, çevre dostu, şehir içi kişisel ulaşım için makul bir araç performansı sergilerken önemli ölçüde az yakıt tüketen alternatif bir aktarım organı olan yakıt pilli elektrikli araçlarda anahtar rolü oynayan enerji depolama sistemleri bataryalar, performans kriterlerine göre incelenmiştir.

Geleceğin otomotiv sektöründe önemli bir yer teşkil edecek olan yakıt pilli elektrikli araçlarda anahtar rolü oynayan enerji depolama sistemleri bataryaların belirlenmesine dair bu tez çalışmasına beni yönlendiren ve bu süreçte ayrı şehirlerde olmamıza rağmen desteğini her zaman yanımda hissettiğim danışmanım Sayın Prof. Dr. Sema Z. BAYKARA'ya, bu tez çalışmasını gerçekleştirmem konusunda beni teşvik eden, proje arkadaşım Emrah KINAV'a, tez hazırlama sürecinde her zaman yanımda olan aileme ve manevi desteğinden dolayı arkadaşım Seda KÖKSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Hidrokarbon yakıtların yol açtığı sera etkisini azaltmak amacıyla, temiz yakıtlara ve ulaşım araçlarına ihtiyaç vardır. İlk aşamada az da olsa hibrit araçlara talep başlamıştır.

Elektrikli araçların günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmayışının nedenlerinin saptanmış ve yaygın olarak kullanılmamasına sebebiyet veren olumsuzluklara ilişkin çözümler geliştirilmiştir. Geleceğin otomotiv endüstrisinde önemli bir yere sahip olacak elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara uyumlu batarya çeşitlerinin performans karakteristikleri, maliyeti, uygulanabilirliği ve temin edilebilirliği başta olmak üzere birtakım özellikleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra bu bataryaların enerji depolama birimi olarak kullanıldığı aracın kullanım amacına göre değişen birtakım parametreler doğrultusunda analizi yapılmıştır. Aynı zamanda batarya test metotları saptanmış ve modelleme yapılarak batarya davranışı incelenmiş, uygun batarya çeşitleri tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrikli ulaşım araçları, bataryalar

ABSTRACT

Clean fuels and transportation vehicles are needed, in order to reduce the greenhouse effect caused by hydrocarbon fuels. Demand for hybrid vehicles is beginning to increase gradually.

Causes of non-generic use of electric vehicles were determined and solutions were developed to problems which give rise to non-generic use of electric vehicles. Mainly some properties like their performance characteristics, costs, applicability and availability of battery types suitable for electric and hybrid electric vehicles which will have an important influence on the future of the automotive industry were investigated. In addition, these batteries were analyzed with some changing parameters according to the application purpose of the vehicle which uses these batteries as the energy storage unit. Also, battery testing methods were investigated and battery behaviour was studied using a modelling approach; suitable battery types were identified.

Key words: Electric vehicles, batteries

1. GİRİŞ

İnsan topluluklarının evriminde anahtar olaylardan biri, odunun hidrokarbon bağlarındaki enerjiden yararlanılmaya başlanması, yani ateşin bulunmasıydı. İnsanlığın refahı, her zaman enerji kaynaklarının kullanımına sıkı sıkıya bağlı oldu. Nükleer, güneş, rüzgar ve su enerjisiyle çalışan teknolojilerden önce kömüre daha sonra petrol ve doğalgaza dayanan teknolojilere geçiş yaptık. Fosil yakıtların uygarlığımız açısından önemi tartışılmaz. Bu kaynakların sınırsız olmamakla birlikte bu yakıtları kullanmanın iklim değişikliği gibi büyük bedelleri vardır. Bu nedenle, fosil yakıtların ekonomik, politik ve çevresel etkileri, kamuoyunda ateşli tartışmalara konu olmaktadır.

Bilim adamları tarafından kesin olarak kanıtlanmamış olsa da fosil yakıtların kullanımından sera gazı emisyonlarının ve CO₂ nin küresel ısınmaya sebebiyet verdiği yaygın bir kanıdır. Son yıllardaki hava olayları, doğal felaketler ve doğadaki değişimler küresel ısınmayla ve dolayısıyla CO₂ ile ilişkilendirilmektedir.

İklim değişikliği ve enerji güvenliğine yönelik kaygılar neticesinde CO₂ emisyonunun azaltılmasına dair hedeflenen oranlar doğrultusunda oluşturulan programların uygulanacağı odak noktalarından biri de ulaşım ve otomotiv sektörüdür(Zülal, 2004).

Küresel enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının her geçen gün giderek daha büyük boyutlara varması direkt olarak ulaşım sektörü ile ilişkilendirilmektedir. Bugün dünya genelindeki ulaşım araçlarında karbon esaslı yakıtların kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonu, enerji kökenli küresel emisyonların %24'ünü oluşturmaktadır (Hermann vd., 2006). Önümüzdeki 10-20 yıl içerisinde kullanılan enerji kaynağına dair radikal değişimler olmadığı sürece ulaşım sektörünün payının üçte bir olacağı öngörülmektedir.

1997 yılında CO₂ emisyonlarının azaltılması amacı ile birçok ülke Kyoto Protokolü'nü imzalamış, bu amaç doğrultusunda özellikle Avrupa ülkeleri, CO₂ emisyonlarını belirli seviyelerin altına düşürmek için yakıt- enerji verimliliği ve CO₂ emisyonuna dair birtakım yasal düzenlemeleri yürürlüğe koymuş, elektrikle çalışan yakıt verimi yüksek araçlara yönelimi teşvik etmiştir.

Bugün artık, refah ve zenginliğin yaratılmasında bilgisayarların ve bilginin, enerjinin ve malzemenin yerini aldığı endüstrileşme sonrası toplum yapısına geçiş yaptığımız söylene de, tüm dünyada enerjiyle ekonomik etkinlikler arasında çok sıkı bir bağ olduğu da bir gerçektir. Bu enerji kaynaklarının başında ise petrol gelmektedir. Küresel enerji gereksinimimizin %40'ı

ve motorlu araçlarda kullanılan yakıtların %90'ı petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Ekonomik kalkınma ve endüstrileşmeye bağlı olarak petrole olan talep ve bunun doğal bir sonucu olarak da petrol fiyatları engellenemez bir şekilde artmaktadır. Çok yakın bir zamanda endüstrileşmiş dünyanın bağımlısı olduğu bol ve ucuz petrolün sonuyla karşı karşıya kalacağı, petrol türevi yakıt rezervlerinin gün gelip tükeneceği ve petrol pazarının, tedarikçi ülkelerin kısıtlamalarına maruz kalacağı su götürmez bir gerçektir.

Geleceğin ulaşım ve otomotiv endüstrisinde her geçen gün rezervleri tükenen ve dolayısıyla fiyatları artış gösteren petrole olan bağımlılığın yerini rüzgâr, güneş, su gibi yenilenebilir enerjileri esas alınmış elektrik ve hidrojenin alacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Küresel ısınma endişeleri, Kyoto protokolünün ve diğer çevre mevzuatlarının getirdiği yükümlülükler de dikkate alındığında fosil yakıt kullanan içten yanmalı motorlara karşı, alternatif olarak geliştirilen hibrid ve elektrikli araçlarda elde edilen başarılar son derece ümit vericidir.

Otomobillerde yakıt olarak benzinden başka maddelerin de kullanılması, uzun süredir üzerinde çalışılan bir konudur bu doğrultuda benzinin yanında elektrik motorlarının da kullanılmasıyla içten yanmalı motorlara oranla çok daha az benzinle çalışan hibrid otomobiller ortaya çıkmıştır. Tüketiciler havayı daha az kirleten ve benzin tasarrufu yapan araçları tercih etmeye başlamışlar ve bataryalarından güç alan elektrikli araçlar çözüm olarak sunulmuştur. 1990'lı yıllarda Toyota, SUV modellerinin, GM ise çift kişilik spor modellerinin elektrikli sürümlerini test etmiştir. Ne var ki bu modeller, bataryalarının sınırlı olmasından dolayı seri üretime geçememiş olsa da bu testler mühendislere önemli deneyimler kazandırmıştır. Tüketiciler yalnızca 100 km kapasitesi olan bataryalı elektrik otomobilleri tercih etmediğini gösterince üreticilerin aklına hibrid otomobiller yapma fikri gelmiştir. Başta Toyota firması olmak üzere içten yanmalı motorların verimliliğinin düşük olduğu ve kirliliğe en çok yol açan düşük hızlarda elektrik motorunun devreye girdiği, elektrik motorunun gücünün yetmeyeceği yüksek hızlardaysa benzinli motorun devreye girdiği hibrid araçlar üretilmiştir. Toyota bu teknolojiyi ilk olarak kullandığı Prius 1995 bir prototip olarak ortaya çıkmış ve 2002'de geliştirilmiş modeli ABD'de satışa sunulmuştur. Bunu takiben Honda, performansı arttırmak için çok hafif olarak dizayn edilmiş Insight'ı pazara sürmüş, sonrasında hibrid oto yarışına GM, Ford, Daimler Chrysler gibi ABD'li üç büyük şirketin de katılmasıyla hibridler seri üretime geçmeye başlamıştır(Fairley ,2004).

Yine de temel düşünce, araçlar petrol tüketimini ne kadar azaltırsa azaltsın petrol bağımlılığından tamamen kurtulmadıkça elektrik motorunun yanı sıra yakıt olarak benzin ve türevlerini kullanan hibridlerin temel bir çözüm olmayacağıdır. Bu nedenle yakıt olarak

hidrojenin daha cazip hale gelmeye başlamıştır. Bugün hidrojenden elektrik üreten yakıt pilleri otomobil endüstrisinin yeni uğraş alanlarının başında gelmektedir. Bütün bu kaydedilen gelişmeler ışığında dünya otomotiv sektörünün geleceği, kısa vadede hibrid (fosil yakıt ve elektrikli) ve elektrikli araçlar; orta vadede ise yakıt pilli ve hibrid (yakıt pili ve elektrikli) uzun vadede ise sadece yakıt pili ya da batarya ile çalışan sıfır emisyonlu elektrikli araçlar olarak gözükmemektedir. Kısacası alternatif yakıtlarla çalışan yeni nesil araç tasarımında üstün yakıt tasarrufu ve düşük emisyon hacimleriyle hibrid otomobiller, yakıt pilleri ve batarya ile çalışan sıfır emisyonlu ve süper ekonomik araçların geliştirilmesinde bir adım konumdadırlar ve önümüzdeki yıllarda yerlerini bu yeni nesil araçlara bırakacaklardır.

Gelecek için çözüm olabilecek çok çeşitli alternatif yakıtlar ve alternatif tahrik sistemleri mevcuttur. İçten yanmalı motorlar, hidrojen, LPG ya da etanol gibi bio –yakıtlarla çalıştırılabilmesi ve konvansiyonel araç aktarım organlarının yerini batarya elektrik, yakıt pilli elektrik ya da çok sayıda farklı seçenekleriyle hibrid elektrik aktarım organları alması bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Hedeflerin saptanmasında olası yakıt ve sistemler arasında en ekonomik çözümlere öncelik verilmelidir. Aksi takdirde hem aracın üreticisi ve aracın kullanıcısı hem de yakıt tedarikçisi açısından finansal olarak sürdürülebilir bir çözüm olmayacaktır. Burada önem teşkil eden toplumun için kişisel ulaşım ihtiyacını sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir noktaya getirebilmektir.

Hidrojen, gelecek için en avantajlı yakıt olarak görülmekte ve yakıt pilleri de geleceğin arabalarını çalıştıran elektrik motoruna elektrik gücü besleyen enerji dönüştürücü olarak değerlendirilmektedir. Yalnız hidrojenin araçlarda yakıt olarak kullanılması için yeni bir altyapı sistemi gerektirmektedir. Avrupa ülkelerinde bu konuda ciddi çalışmalar yürütülmektedir. Yakıt pili teknolojisinde ar-ge çalışmaları hız kesmeksizin devam etmekle birlikte hidrojen üretiminde sürdürülebilirlik açısından sudan ve biokütleden olmak üzere rüzgar, güneş vs. ön plana çıksa da kullanılacak enerji kaynakları henüz netlik kazanmış değildir. CO₂ emisyonlarını minimize edildiği sürdürülebilir bir gelecek için hidrojen üretilmelidir. Aksi takdirde hidrojenin geleceğin yakıtı olması savı çürümeye yüz tutacaktır.

Sürdürülebilir hidrojen ekonomisine tam anlamıyla geçiş 20- 30 yıl sonra gerçekleşebilir. Bu süreçte hibrid elektrikli araçların emisyon ve yakıt tüketimini azaltması bir adım olarak değerlendirilmektedir. Hibrid elektrik aktarım organları çok sayıda farklı konfigürasyon seçenekleri sunmakla birlikte hangi konfigürasyonun geleceğin kişisel ulaşım amaçlarına en iyi şekilde cevap vereceğinin saptanması önem teşkil etmektedir.

Ulaşımı azaltılması ya da kısıtlanması, ulaşım araçlarını, sürücü ve yolcuların alışkanlıklarını değiştirilmesi, araç boyutlarının ve kütlesinin azaltılması, diğer enerji kaynaklarına ve alternatif yakıtlara geçiş yapılması, alternatif aktarım organlarının geliştirilmesi gibi farklı uygulamalar ve hedefler genel olarak ulaşım problemlerine çözüm getirmeye yardımcı olabilir.

Elektrikli ve hibrid elektrikli araçların yaygın bir şekilde pazara girmesi; maliyet, performans ve emniyet başta olmak üzere batarya teknolojisindeki kaydedilen gelişmelere bağlıdır. (Dörffel, 2003) Bataryaların geliştirilmeleri sürecinde daha düşük enerji tüketimi vaat etmeleri açısından geleceğin güç aktarım organları arasında öneminin artacağına şüphe yoktur. Tasarlanan aktarım organları için bataryalar kilit nokta olacaktır.

Elektrikli ve hibrid elektrikli araçlara yönelik batarya çeşitlerinin tespit edilerek bataryanın davranışını anlamak ve tahmin yürütebilmek için batarya performans kriterlerinin değerlendirilmesi ile maliyet ve temin edilebilirlik faktörleri göz önünde bulundurularak kısa sürüş mesafeleri için tasarlanmış yakıt pilli elektrikli araçta kullanılması uygun görülen batarya tipinin modellenmesi ve elektrikli araç bataryalarının test yöntemlerinin incelenmesi bu çalışmanın amaçlarını oluşturmaktadır.

2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM ARAÇLARI

1900’lerde elektrikle çalışan arabaların temiz ve sessiz çalışması, daha basit bir hareket sistemine sahip olmasıyla şehir hayatında sosyal statüsü bakımından seçkin sınıfa hitap etmeye başlamış ve 100’ün üzerinde elektrikli araba üretilmiştir.

Buna rağmen bu araçların ağır olması, uzun şarj süresi, elektrik devrelerinin düşük mukavemeti gibi olumsuz özelliklerinden dolayı elektrikle çalışan arabalar uzun vadeli pazarda kalabilme kabiliyetini yitirmiştir. İhtiyaç duyulan enerji miktarına göre bataryayla kıyaslandığında benzin yakıt deposunun araçta daha az yer kaplaması, içten yanmalı araçlarda yakıt ikmalinin birkaç dakika içerisinde tamamlanması, petrol rezervlerinin sınırsız gibi gözükmesi, uzun mesafelere yolcu ve mamul taşınmasında daha ucuz ve kolay bir seçenek olması gibi nedenlerden dolayı içten yanmalı motorlu araçlar cazip hale gelmiş ve 1920’lerde elektrikli araçlar tüm popülerliğini yitirmiştir.

1900’lü yılların ilk yarısında elektrikli araçlar(EA), içten yanmalı motorların icat edilmesiyle ve her geçen gün giderek artan sayılarıyla rekabet edemez duruma gelmiş ve içten yanmalı motorlar, hız ve menzil özelliklerinden dolayı ulaşım için en etkin çözüm olarak görülmüştür. 1900’lü yılların ortalarında petrol ithal eden ülkelerin kısıtlamaları ve fosil yakıtlara olan talebin her geçen gün artması alternatif enerji kaynaklarının keşfedilmesi ve alternatif enerji sistemlerine geçişi tetiklemiştir. 1970’li yılların ortalarında petrol sıkıntısı, EA programlarının geliştirilmesine yol açmış fakat daha sonra geçici olarak stabil petrol temini ve traksiyoner bataryalara dair alternatif enerji teknolojilerin çok yavaş bir gelişme göstermesi EA’ların geliştirilmesini tekrar engellemiştir.

1990’lı yıllarda, küresel anlamda ulaşım için başta petrol olmak üzere fosil yakıtlara olan talebin büyümesi ve araç emisyonlarının azaltılmasına dair yasal düzenlemeler EA teknolojisi üzerine bir kere daha yoğun çalışmaların gerçekleştirilmesine sebebiyet vermiştir. Bu doğrultuda da EA’lar için traksiyoner bataryalar üzerine araştırma- geliştirme faaliyetlerinde ilerlemeler kaydedilmiştir.

A.B.D. Enerji Departmanı (DOE), EA dizaynında kullanılmak üzere ileri teknoloji bataryalara dair çalışmaların yürütülmesi için A.B.D. Geliştirilmiş Batarya Konsorsiyumu’nu (USABC) kurmuştur. USABC; DOE, Daimler Chrysler- Ford- General Motors ve EPRI olmak üzere devlet ve endüstri ortaklığına dayanan bir konsorsiyumdur. USABC’ın amacı, elektrikli araçları; fiyat, sürüş mesafesi, performans açısından konvansiyonel içten yanmalı motorlu

araçlarla rekabet edebilir duruma getirmek için batarya teknolojisinde çığır açmaktır. Elektrikli araç bataryalarının teknolojik gelişimi; geliştirilmiş kurşun-asit, nikel metal hidrür (NiMH) bataryalar, lityum-iyon ve lityum polimer bataryalar olarak sıralanabilir. Daimler Chrysler, Ford ve General Motors ilk olarak Pb- asit bataryaları elektrikli araçları üretmişlerdir. Daha sonra Honda ve Toyota, NiMH bataryalı araçları üretirken Nissan, lityum iyon (Li-iyon) bataryaları kullanan araçları piyasaya çıkarmıştır (Dhameja S., 2001).

EA'lara yönelik traksiyoner bataryaları ön plana çıkaran özelliklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Uzun bir sürüş mesafesine olanak veren yüksek enerji yoğunluğuna bir şarjda ulaşılabilir.
- Yüksek enerji yoğunluğu, ivmelenme durumunda derin deşarj karakteristikli stabil güce ulaşılmasına imkan verir.
- Bakım gerektirmeyen uzun bir çevrim sayısı ve yüksek emniyet mekanizmaları batarya içerisine monte edilebilir.
- Çevresel olarak geri dönüşümlü bataryalar yaygın bir şekilde kabul görmektedir.

2.1 Neden Elektrikli Ulaşım Araçları?

Elektrikli araçlarda (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.

Tümü-EA'larda içten yanmalı motor (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 jeneratör 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

(Ünlü N. vd., 2003).

Elektrikli araçlar, sistemin optimum şekilde entegre edilmesi ve farklı çalışma durumları için bu entegrasyonların göz önünde bulundurulması halinde, enerji açısından kaynaktan tekerleklere kadar olan döngü baz alındığında içten yanmalı araçlara göre %40-50 oranında daha fazla bir enerji ekonomisi sağlamaktadır.

2008 yılında yapılan bir araştırma sonuçlarına göre Avrupa ülkelerinde araç kullanıcılarının günlük seyahat mesafesi oldukça düşük olduğu ve sürücülerin %52'si yalnız olarak araçları ile seyahat ettiğini aynı zamanda %80'inin toplu taşıma araçlarını kullanmak istemediği ve arabalarından vazgeçemeyecekleri sonuçları elde edilmiştir. 2025 yılında ise toplam nüfusun %58'inin kendi arcına sahip olacağı varsayılmaktadır (Gülşen, 2009).

Ayrıca şehirlerarası yolculuğun 100 km. bile geçmediği durumlar göz önünde bulundurulup aracın genellikle şehir içi kullanım için tercih edildiği dikkate alındığında ve batarya teknolojisinin günümüzde varmış olduğu nokta ile 160 km. bir mesafenin akü şarjıyla gidip geliniyor olması kişisel ulaşım için elektrikli araçları cazip hale getirmektedir. Örneğin; evinden işine arabayla gidip gelen, şehir içinde günlük dolaşımını yapanlar ya da yakın mesafelere gidip gelenler için elektrikli ulaşım araçları son derece idealdir. . Ancak şehirlerarası yolculuklarda şarj istasyonlarına ihtiyaç olacaktır. İşte bu istasyonlarla ilgili dünyanın her yerinde çalışmalar yapılmaktadır (Jaumain, 2009).

2.2 Elektrikli Araçların Yaygın Olarak Kullanımının Önündeki Engeller

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. 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. 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 (Ünlü N. vd., 2003).

Elektrikli bir aracın temel parçalarını elektrikli motor ve gücü motora taşıyan batarya takımı oluşturmaktadır. Bu yapı içerisindeki olumsuz yan ise görece kısa batarya ömrüne bağlı olarak sürüş mesafesinin sınırlı olmasıdır. Hibrid gibi elektrikli araçların bazı türleri sürüş mesafesini uzatacak benzin motoruna sahip olsa da, sadece elektrikle çalışan araçlar yalnız batarya takımının sağladığı sürüş mesafesine bağlı çalışmaktadır. Elektrikli bir aracı tamamen şarj etmek saatler alırken, batarya şarj istasyonlarında uygun bir ağın olmaması sürücülerini kısa menzilli sürüşlere mahkum etmektedir. Tüketicilerin araçlarını şarj ederken kullandıkları elektriğin ücretini ödemeleri için uygun ortamın hazırlanması ve şarj istasyonları için gerekli alanların nasıl oluşturulacağı gibi konular belirsizliğini korumakta bu araçların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel, elektrikli araç şarj istasyonlarının ve bu üniteleri verimli şekilde kullanacak altyapı sistemlerinin gelişmemiş olmasıdır. Bu nedenle elektrikli araçların tüketicilere sunulmasından önce birçok farklı noktada konumlandırılan şarj istasyonlarına ve altyapı sistemlerine yatırım yapılması gerekmektedir. İşte bu yüzden, tıpkı benzinli araçların ihtiyacı olan benzin istasyonları gibi, üretiminde artış görülen elektrikli modeller için de şarj istasyonları kurulması konusu gündeme gelmeye başlamış ve ayrıca elektrikli araçların ülkelerin elektrik şebekelerinde yaratacağı etkiler konusunda da endişeler de mevcuttur.

Sadece enerji depolama ve iletimi değil aynı zamanda kullanılan teknolojinin toplam enerji verimi ele alınması gereken başka konudur. Bataryalarla çalışan elektrikli araçlar, lokal emisyonlara sebebiyet vermemektedir fakat kullanılan elektriğin üretilmesi gerekmektedir. Burada vurgulanmak istenen asıl problem sıfır emisyonlu elektrikli araçlardan değil araçlar için gerekli olan elektriğin üretimiyle alakalıdır. Ancak burada dikkate değer olan bu araçları kullanmak için gerekli olan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı halen fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Elektrik üretimi için rüzgar, güneş v.s. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik birtakım radikal değişiklikler gerçekleşmesi gerekmektedir. Karbon kaynaklı olmayan enerji altyapısı kurulduğunda elektrikli araçlar daha az karbon salınımına sebebiyet vereceklerdir. Şebeke kaynağı daha yeşil oldukça elektrikli araçlarda daha yeşil olacaktır (Kampman B. vd., 2010).

2.3 Yakıt Pili Elektrikli Araçlar

Yakıt pili, hidrojen, metanol, gazolin gibi yakıtlardan gürültü ve yanma olmaksızın direkt olarak elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Enerji, yüksek enerji – depolama yoğunluğuna sahip bir yakıt olarak depolanabilir ve arabayı hareket ettirmek için bir elektrik motoru kullanılabilir. Hidrojen yakıt olarak kullanıldığında teorik olarak açığa çıkan ürün su olacaktır. Bu teknoloji, elektrikli araç aktarım organının kısa sürüş mesafesi ile sınırlı olmaksızın kullanımını işaret eder.

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.

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.

Teorik olarak bir yakıt pili verimi %90 civarındadır. Farklı tipteki yakıt pilleri arasında “polimer değişim membran yakıt pili” (PEMFC), en yüksek güç yoğunluğuna sahiptir (>1 kW/l). Bu nedenle PEMFC, araçlarda en çok tercih edilen yakıt pili çeşitlerinden biridir. Gaz saflaştırmasını da kapsayan bu yakıt pili sisteminin pratik verimi %40 civarındadır [12]. Li-Ion bataryanın veriminden (%90) çok daha düşük bir seviyededir. Elektrik motoru daha fazla kayıplara neden olacaktır. Yakıt pili çok daha iyi ortalama verimlere sahip olmasına rağmen bu durum içten yanmalı motorlara göre daha avantajlı bir konuma geçmesine engel teşkil eder. Fakat bu durum enerji rejenerasyonu gerçekleştirebilirse değişir. %30 civarında rejenerasyon gerçekleştirildiğini farz edersek aktarım organı verimi %70 ulaşır. Bu da enerjiyi geri depolamak için bir batarya gerektirir.

Yakıt pilli elektrikli araçtaki bataryanın rolü aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Aracın elektrikli aygıtları için enerji kaynağı;
2. Rejeneratif frenleme esnasında enerji depolama;
3. Düşük yüklerde yakıt pilinde üretilen enerjinin depolanması
4. Yüksek yüklerde yakıt pili desteği;
5. Yakıt pili sistemi düşük yüklerde çalışırken ana enerji kaynağı olarak görev yapması.

Hidrojen ve yakıt piline yönelik değişim gelecek için bir çözüm olarak son zamanlarda fazlasıyla gündeme gelmekte ve endüstri ve hükümet tarafından destek görmektedir. Bu petrol ve dizel yakıtlı İYM'nin yüz yıllık evriminden sonra teknolojinin ve yatırımın değişimini temsil etmektedir. Karbonsuz ulaşım çağına ulaşmak için çok büyük engeller bulunmaktadır. Araçta hidrojenin depolanması, yakıt pili teknolojisi maliyeti ve klasik arabalara göre daha yüksek fiyat gibi problemler bu teknolojinin yerleşmesindeki engelleri teşkil etmektedir. Yakıt tasfiye ve dağıtım altyapısının hidrojene dönüşümü için köklü değişikliklere gerek duyulacaktır.

2.4 Bataryalı Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlarda aktarım organının maksimum verimi yaklaşık olarak 70% civarındadır (batarya%90, motor kontrolör %90 ve motor %90) ve bu araçlar frenleme esnasında bir miktar enerjiyi yeniden üretme yetenekleri vardır. Bu miktar şehir trafiğinde üretilebilen enerjinin üçte biri kadar rapor edilmiştir. Bu rejenerasyonu da dahil ettiğimizde, bir elektrikli aracın aktarım organı maksimum verimi, konvensiyonel içten yanmalı motor aktarım organı ile kıyaslaması yapıldığında %100 yaklaşmaktadır. Bir başka avantajı ise aktarım organının verim grafiği düz bir çizgiden oluşur ki bu da en tahrikli durumlarda maksimum verim değerini yakaladığı anlamına gelmektedir. Elektrik aktarım organı yerel emisyon üretmez, sessizdir ve en az bakım garantisi verir.

Temel problem elektrik enerjisini depolamaktır. Yakıt tankları ile karşılaştırılınca, bataryalar düşük bir enerji kapasitesine sahiptir (Dörffel, 2003).

2.5 Hibrid Elektrikli Araçlar

Hibrid elektrikli araçlar (HEA) bir elektrik motoru ve bir yakıt dönüştürücüyü bünyesinde barındıran araçlardır.

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, jeneratörler 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, 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 (Westbrook, 2001).

2.6 Hibrid ve Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar

Hibrid ve elektrik araçlarda elektrik enerjisini depolamak için şarj edilebilir traksiyoner bataryalara gereksinim duyulur. Traksiyoner batarya, elektrikli aracın sürüş sırasında gereksinim duyduğu enerjiyi depolayan bir yakıt deposu gibidir. Elektrikli aracın en önemli parçalarından biri olan bataryaların çalışma prensibi bir elektrolit içerisine daldırılmış iki

farklı elektrot arasındaki oluşan potansiyel farka dayanmaktadır. Günümüze kadar çeşitli batarya tipleri geliştirilmiş olmakla birlikte enerji depolama kapasitesi arttırmak amacıyla bu yöndeki çalışmalar devam etmektedir.

Kurşun asit (Pb-asit), nikel kadmiyum(NiCd), nikel metal hidrür (NiMH), lityum iyon gibi bataryalar hibrid ve elektrikli araçlarda kullanılan şarj edilebilen bataryalara örnek gösterilebilir. Batarya seçiminde öne çıkan faktörleri; spesifik güç, spesifik enerji, batarya çevrim ömrü ve maliyeti olarak sıralayabiliriz. Çizelge 2.1’de farklı tipteki bataryaların karakteristik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Şarj edilebilir Bataryalar (Jeong ve Oh., 2001)

Teknoloji	Spesifik enerji(Wh/kg)	Enerji yoğunluğu(Wh/l)	Spesifik güç(W/kg)	Güç yoğunluğu(W/l)	Kurulum maliyeti(US\$/kW)	Çevrim ömrü
Geliştirilmiş Pb-asit	35	71	412	955	180	500-1000
NiMH	80	200	220	600	450	1000
Li-polimer	155	220	315	445	400	1000
NaNiCl	90	150	100	200		
NiCd	50	150				

3. BATARYA TEKNOLOJİSİ

3.1 Elektrokimyasal Enerji Depolama

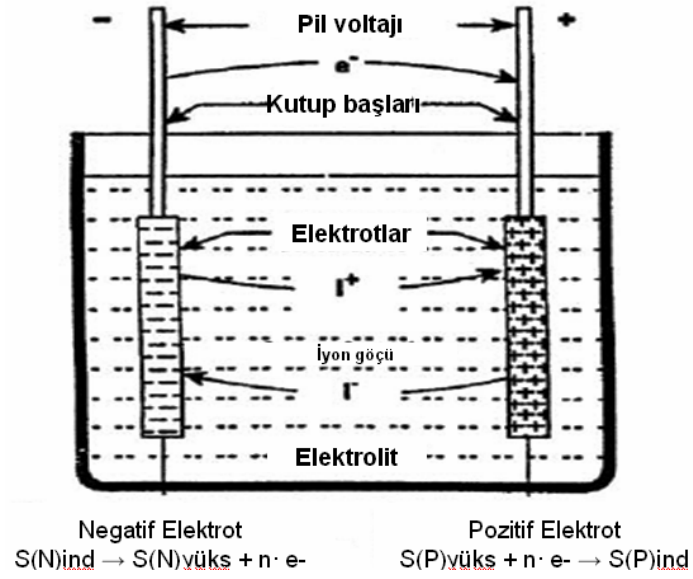
Batarya, bünyesindeki aktif materyallerin içerdiği kimyasal enerjiyi, elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları (redoks reaksiyonları) ile elektrik enerjisine dönüştüren enerji depolama birimleridir. Bir batarya bir ve ya seri, paralel ya da her iki şekilde bağlanmış birden fazla pilden meydana gelir. Yani bataryanın temel elektrokimyasal birimi pildir. Pil; elektrolit, elektrot, seperatör, kutup başları ve koruyucu tabaka (mahfaza) düzeneğinden oluşur. Bataryalar ise bir ya da daha fazla elektrokimyasal pilin, gereken operasyon voltajı ve akım seviyelerini sağlamak üzere paralel ve ya seri bir düzende elektriksel olarak bağlanmasından oluşur ve aynı zamanda görüntüleme, kontrol ve diğer yardımcı elemanları (tapa, diyot.. vb.) bünyesinde bulundurur (Linden ve Reddy, 2002).

Bataryalar şarj edilemeyen (primer), şarj edilebilir (sekonder) bataryalar olmak üzere ikiye ayrılır. Şarj edilebilir bataryalarda, deşarj süresince belli bir voltajda elektrik akımı formunda bataryadan çekilen enerjiyi üreten kimyasal prosesin ters yönde gerçekleşmesiyle batarya şarj edilir. Elektrik enerjisinin beslenmesiyle yüksek enerji içeren kimyasal kompozisyon restore edilir ve bataryanın hemen hemen orijinal haline ulaşılır.

Sekonder bataryalar, gerçek elektrokimyasal depolama sistemleridir. Sekonder bataryaların kapsamında bulunan traksiyoner bataryalar, elektrikli ve hibrid elektrikli araç uygulamaları için tercih edilmektedir.

3.1.1 Elektrokimyasal Pil ve Pil Reaksiyonları

Pil reaksiyonu, bataryayı karakterize eden kimyasal bir reaksiyondur. Batarya deşarj olduğunda yüksek enerji içerikli kimyasal bileşikler, düşük enerji içerikli bileşenlere ayrışır. Genellikle ısı olarak gözlemlenen enerji açığa çıkar. Bataryada pil reaksiyonu, iki elektrot reaksiyonundan oluşur. Biri elektronları serbest bırakırken, diğeri de bu elektronları absorplar ve bu elektron akışı, akım formunda bataryadan çekilir. Böylece pil reaksiyonu ile bağlantılı enerji üretimi ya da tüketiminin doğrusal olarak elektrik akımına dönüştüğünü söyleyebiliriz. Şekil 3.1' de, elektrokimyasal pil ve gerçekleşen reaksiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Elektrokimyasal pil ve reaksiyonları (Kiehne, 2003)

Bir pozitif ve bir negatif plaka elektrolit içerisine daldırılır. Reaksiyona giren maddeler (aktif materyal) genellikle elektrotlar içerisinde depolanmış haldedir, bazı durumlarda (tüm reaksiyonlara katılacaksa) elektrolit içerisinde de bulunabilir. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi deşarj boyunca, yükseltgen maddeyi (elektronları verir) içeren negatif elektrot, elektronları serbest bırakır, indirgen maddeyi içeren pozitif elektrot, elektronları çeker. Böylece $S(N)_{ind}$ negatif elektrot yükseltgenmesi aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.



Pozitif elektrot $S(P)_{yüks}$ indirgenirken :



Her iki pil reaksiyonu birlikte:



Eğer batarya sekonder (şarj edilebilir) batarya ise, şarj edildiğinde yukarıdaki reaksiyonun tersi gerçekleşir ve eş miktarda enerji pile beslenir.

Pil reaksiyonun başlangıcı ($S(N)_{ind} + S(P)_{yüks}$) ve son aşaması ($S(N)_{yüks} + S(P)_{ind}$) arasındaki bağ enerjisi farkı, akım olarak pilden çekilen enerjiyi temsil eder (tersinir ısı hariç) ki bu da ısı kaybı ve ya ek enerji eldesi ve Joule Isısı üreten diğer kayıplar hariç olarak ifade edilir.

Akımın kimyasal enerjiye direkt dönüşümü, bataryalara ve yakıt pillerine ait bir özelliktir. Direkt enerji dönüşümünün avantajı yüksek verim sağlanmasıdır.

Çoğu bataryada reaksiyona giren maddeler, elektrotlarda depolanır (aktif materyal), kurşun-asit bataryalarda olduğu gibi tabii ki elektrolitin de reaksiyona katıldığı sistemler vardır (Kiehne, 2003).

3.1.2 Pil Reaksiyonunu Etkileyen Parametreler

Pil reaksiyonu açısından bir batarya sistemini tanımlayan temel parametreler aşağıda özetlenmiş bir şekilde ifade edilmiştir.

Pil Reaksiyonunu Etkileyen Parametreler

- 1- Termodinamik ve kimyasal kararlılık parametreleri, tüm reaksiyonlar dengeye ulaştığında dengedeki sistemi tanımlar. Elektrokimyasal pilde elektron akışı (akım) var olmadığında uygulaması yapılır. Bu parametreler de ancak dengede iken ulaşılabilecek maksimum değerleri temsil eder.
- 2- Reaksiyon gerçekleşirken kinetik parametreler devreye girer. Bu parametreler akım akışı ile bağlantılıdır ve termodinamik verilerden çıkarılmış değerleri genellikle fazlasını ifade eder. Kinetik parametreler, reaktan maddeleri elektrot yüzeyine getiren taşınma ya da difüzyon yoluyla kütle transferini de kapsar. Daha da fazlası elektronda ya da iyon iletkenlerinde akım akışının neden olduğu voltaj düşüşü de kinetik parametreler kapsamındadır. Kinetik parametreler kalınlık ya da elektrotlar arasındaki boşluk gibi pilin dizayn parametrelerinden etkilenmektedir.

3.1.3 Denge ve Termodinamik Parametreler

Termodinamiğin esasları genellikle denge durumunda uygulanır ve bu dengeden dolayı, termodinamik parametreler, reaksiyonun ilerleyiş yönüne bağlı olmayıp, yalnızca bitiş ve başlangıç bileşenleri arasındaki farklı enerji seviyelerine bağlıdır (Elektrokimyasal reaksiyonun ürünleri ve reaktanları). Termodinamik parametreler, performans verilerinin mümkün olan üst limitini tanımlar. Pil boyunca akımın geçmesiyle, bu veri eldesi kinetik parametrelerin etkisiyle azalır.

Bir elektrokimyasal reaksiyonun termodinamik parametreleri:

- 1- Reaksiyon ortalması ΔH ; açığa çıkan ya da absorbe edilen enerjinin miktarını ifade eder. ΔH , kimyasal enerjinin %100'e kadar ısı enerjisine dönüştürülmesi koşuluyla maksimum ısı üretimini (oluşumunu) tanımlar.
- 2- Reaksiyonun Gibbs serbest enerjisi ΔG ; elektrik enerjisine çevrilen maksimum kimyasal enerji miktarını ve tam tersini ifade eder.
- 3- Reaksiyon entropisi ΔS ; kimyasal ya da elektrokimyasal proses ile bağıntılı tersinir enerji kaybı ya da kazancını karakterize eder.

Üç parametre arasındaki önemli bağıntılar:

$$\Delta G = \Delta H - T.\Delta S \text{ ya da } \Delta H - \Delta G = T.\Delta S \quad (3.4)$$

T= Sıcaklık (K)

ΔH ve ΔG arasındaki farkın ürünü $T.\Delta S$, tersinir ısı etkisi olarak adlandırılır. Bu da denge anlamına gelen proseslerin tersinir yönde gerçekleştiğinde çevreyle olan ısı değişimini göstermektedir. Çevrenin soğumasıyla oluşturulan ek enerji, ilk durumda (Peltier ya da ısı pompası etkisi) oluşturulur. Aksi takdirde $T.\Delta S$, ek ısı verir (Kiehne,2003).

ΔG Serbest Enerji :

Bir pilde reaksiyonlar, elektrot ara yüzeylerinde gerçekleşir. Genel olarak bir elektrottaki indirgenme reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:



burada a adet A molekülü, n tane e^- alır ve c adet C molekülüne dönüşür.

Diğer elektrottaki yükseltgenme reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:



pildeki toplam reaksiyon:



Şarj esnasında, reaksiyon gerçekleştiğinde sistemin serbest enerjisinde bir artış gözlenir.

Standart serbest enerjideki ΔG^0 değişim aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\Delta G^0 = -n F E^0 \quad (3.8)$$

F= Faraday sabiti (≈ 96500 C ya da 26.8 Ah)

n= Stokiyometrik olarak reaksiyondaki elektro sayısı

E^0 =Standart elektrik potansiyeli, gerilim

Çizelge 3.1’de 25^0C ’deki elektrot reaksiyonlarının standart potansiyelleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 250C ’deki elektrot reaksiyonlarının standart potansiyelleri
(Linden ve Reddy, 2002)

Elektrot reaksiyonu	E^0, V	Elektrot reaksiyonu	E^0, V
$\text{Li}^+ + e \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.01	$\text{Tl}^+ + e \rightleftharpoons \text{Tl}$	-0.34
$\text{Rb}^+ + e \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2.98	$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.27
$\text{Cs}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2.92	$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.23
$\text{K}^+ + e \rightleftharpoons \text{K}$	-2.92	$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14
$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2.92	$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.13
$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sr}$	-2.89	$\text{D}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{D}_2$	-0.003
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2.84	$\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{H}_2$	0.000
$\text{Na}^+ + e \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.34
$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.38	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	0.40
$\text{Ti}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1.75	$\text{Cu}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.52
$\text{Be}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Be}$	-1.70	$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	0.80
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66	$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}$	0.80
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1.05	$\text{Pd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pd}$	0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76	$\text{Ir}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ir}$	1.00
$\text{Ga}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ga}$	-0.52	$\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.07
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0.40	$\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1.36
$\text{In}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{In}$	-0.34	$\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	2.87

Koşullar standart durumdan farklı olduğunda pilin voltajı E, Nernst denklemi ile ifade edilir:

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \quad (3.9)$$

a_i = Reaksiyona giren komponentin aktivitesi

R = Gaz sabiti

T = Mutlak sıcaklık

Bir pil reaksiyonunun standart serbest enerjisindeki değişim, bataryayı bir dış devreye elektrik

enerjisini iletebilmesi için zorlar.

Elektromotor kuvvetinin ölçümü, doğal olarak denge sabitleri ve aktivite katsayıları ile birlikte entalpi, entropi ve serbest enerjideki değişimleri saptamayı mümkün kılar.

Tekli Elektrot Potansiyeli

“Tekli elektrot potansiyeli”, daima bu elektrot ve referans bir elektrot arasındaki pil voltajını ifade etmektedir.

3.1.4 Akım (e-) Akışı, Kinetik Parametreler ve Polarizasyon

Akım geçişi esnasında pil reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu da elektron transferinin arzu edilen yöne doğru olduğunu ve kütle transferiyle reaksiyona giren malzemelerin elektrot yüzeyine taşındığı anlamına gelmektedir. Akım akışını gerçekleştirmek için ek enerji gerekmektedir. Daha da fazlası iletken elementler arasındaki akım akışı, ohmic voltaj düşüşüne neden olmaktadır. Yani tersinmez enerji kaybı ve (karşılığında meydana gelen) aynı miktardaki ısı oluşumu, akım akışından kaynaklanmaktadır. (Kiehne,2003)

Pil içindeki elektrotlardan alınan ya da depolanan kimyasallardan elde edilen maksimum elektrik enerjisi, elektrokimyasal çiftin ΔG serbest enerjisindeki değişime bağlıdır. Bu enerjinin tümünün deşarj operasyonu boyunca kullanılabilir elektrik enerjisine dönüşümü arzulanan bir durumdur. Fakat elektrokimyasal reaksiyonlarla birlikte bir yük akımı: i , elektrotlardan geçerken gerçekleşen polarizasyondan dolayı kayıplar söz konusudur. Bu kayıplar:

- 1- Aktivasyon polarizasyonu: Elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonlarından kaynaklanır.
- 2- Konsantrasyon polarizasyonu: Kütle transferinin bir sonucu olarak bulk yığnında ve elektrot yüzeyinde ürünler ve reaktanların farklı konsantrasyonlarından kaynaklanır.

Bu polarizasyon etkileri, enerjinin artık ısı olarak verilen kısmını tüketir, böylece elektrotlarda depolanan mevcut enerjinin tümü kullanılabilir elektrik enerjisine dönüşmez.

Elektrokimyasal parametreleri ve kütle transferi ile ilişkili olarak teoriksel denklemler kullanılarak aktivasyon ve konsantrasyon polarizasyonu hesaplanabilir. Fakat pratikte elektrotların komplike fiziksel yapısından dolayı her ikisi içinde gerçek değerleri belirlemek zordur. Çoğu batarya ev yakıt pili elektrotlarının aktif materyalden oluşmuş kompozit yapıları

sınırlı bir kalınlıkta gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu da polarizasyon komponentlerini hesaplamak için bilgisayar hesaplamalı kompleks matematiksel modellemeler gerektirir.

Pilin performansını etkileyen bir diğer faktör ise iç dirençtir. Operasyon boyunca voltaj düşüşüne neden olur ki aynı zamanda kullanılır enerjinin bir bölümünü artık ısı olarak tüketir. İç dirençten kaynaklanan voltaj düşüşü “ohmic polarizasyon” olarak ya da “IR düşüşü” olarak ifade edilir ve sistemden çekilen akımla orantılıdır. Pilin toplam iç direnci, elektrolitin iyonik rezistansı (separatör ve gözenekli elektrotlar içindeki), aktif kütlenin elektronik rezistansı, akım toplayıcılar ve her iki elektrotun elektriksel bağlantısının ve akım toplayıcı ile aktif kütle arasındaki kontak rezistansının toplamıdır. Bu dirençler, akım ve voltaj düşüşü arasındaki lineer bir bağıntı ile Ohm yasasına tabidir. Bir dış yük bağlandığında, pil voltajı E , aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E = E_0 - [(\eta_{ct})_a + (\eta_c)_a] - [(\eta_{ct})_c + (\eta_c)_c] - iR_i = iR \quad (3.10)$$

E_0 = Elektromotor kuvveti ya da pilin açık devre voltajı

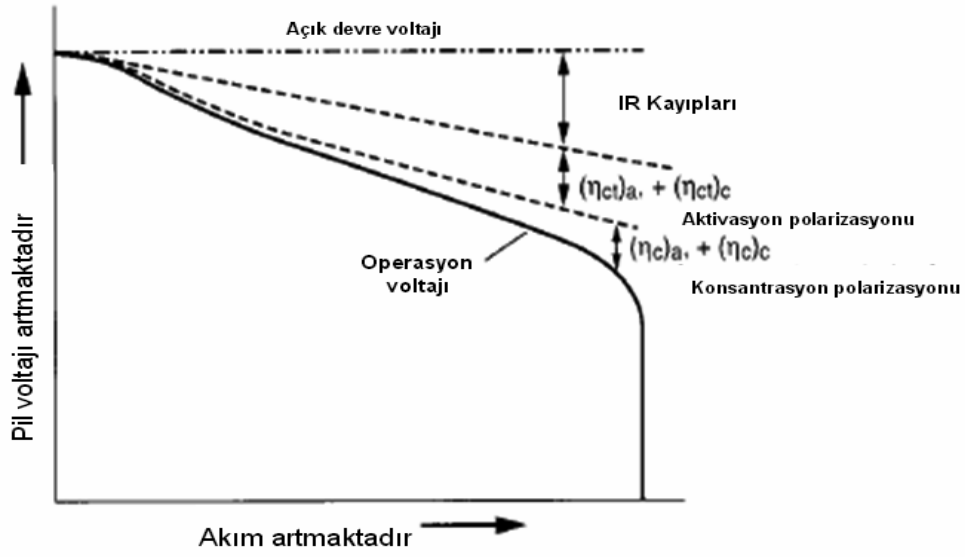
$(\eta_{ct})_a, (\eta_{ct})_c$ = Aktivasyon polarizasyonu ya da anot ve katottaki şarj-transfer voltaj gerilimi

$((\eta_c)_a, (\eta_c)_c)$ = Anotta ve katottaki konsantrasyon polarizasyonu

i = Yükteki pilin operasyon akımı

R_i =Pilin iç direnci

Denklemden de görüldüğü gibi pilden alınan kullanışlı voltaj, polarizasyon ve IR düşüşünden azalmaktadır. Çok küçük operasyon akımlarında polarizasyon ve IR düşüşü azdır ve pil, açık devre voltajına yakın bir değerde operasyon görür. Teorik olarak elde edilebilir enerjinin büyük kısmını verir. Şekil 3.2 ‘de pil polarizasyonu ve deşarj akımı arasındaki bağıntı gösterilmiştir (Linden ve Reddy,2002).



Şekil 3.2 Operasyon akımının bir fonksiyonunun olarak pil polarizasyonu (Linden ve Reddy, 2002)

Aynı zamanda bataryadan temin edilir enerji miktarı, her iki elektrottaki temel elektrokimyasal reaksiyonlara bağlıdır ve şarj transfer reaksiyonunu, difüzyon oranını, enerji kaybının büyüklüğünü etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri; elektrot içeriği ve dizaynı, elektrolit iletkenliği, seperatörün yapısı olarak sıralayabiliriz. Bataryanın dizaynında minimum enerji kaybıyla yüksek bir operasyon verimi elde etmek için önemli rol oynayan elektrokimyanın prensipleri baz alınmış temel bazı kurallar vardır. Bunlar:

1-Elektrolitin iletkenliği yeteri kadar büyük olmalıdır. Çizelge 3.2’de bataryalarda kullanılan çeşitli elektrolit sistemleri için spesifik iletkenlikler gösterilmiştir.

2-Elektrolit tuz ya da çözücüleri, anot ya da katot materyalleriyle direkt olarak kimyasal reaksiyona girebilmeleri için kimyasal dengeye sahip olmalıdır.

3-Anot ve katottaki elektrot reaksiyonları belli bir hıza sahip olmalı ki pilin işlevini yitirmesine neden olan aktivasyon ya da şarj transfer polarizasyonunun çok yüksek olması engellenmelidir. Şarj transfer polarizasyonunu minimize etmenin en yaygın metodu gözenekli elektrot dizaynı kullanmaktır. Gözenekli elektrot yüzeyi belirli bir geometrik boyuttaki elektrot içinde büyük bir elektrot yüzey alanına olanak sağlar ve belirli bir operasyon akımı için lokal akım yoğunluklarını azaltır.

4- Çoğu bataryada reaktanların tümü ya da bir bölümü elektrot fazından elde edilir ve reaksiyon ürünlerinin tümü ya da bir bölümü elektrot yüzeyinden taşınır ya da difüze olur. Bir pil yeteri kadar elektrolit taşıma kapasitesine sahip olmalıdır ki aşırı konsantrasyon polarizasyonunun oluşmasından kaçınarak kütle transferi kolaylaştırılmalıdır. Elektrotun gözenek boyutu, yeterli kalınlık, seperatörün yapısı ve elektrolit içindeki reaktanların yeterli konsantrasyonu pil fonksiyonelliğini sağlama açısından çok önemlidir.

5-Akım toplayıcı materyal ya da substrat, korozyon problemlerine yol açmaksızın elektrot materyali ve elektrolitle uyum göstermelidir.

6- Şarj edilebilir bataryalarda reaksiyon ürünlerinin, şarj ve deşarj boyunca tersinir reaksiyonları kolaylaştırmak için elektrot yüzeyinde kalması tercih edilir. Reaksiyon ürünleri, elektrolitle kimyasal olduğu kadar mekanik olarak denge halinde olmalıdır.

Çizelge 3.2 Ortam sıcaklığında çeşitli elektrolitlerin iletkenlikleri

Elektrolit sistemi	Spesifik iletkenlik $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
Sulu elektrolitler	$1-5 \times 10^{-1}$
Erimiş tuz	$\sim 10^{-1}$
İnorganik elektrolitler	$2 \times 10^{-2} - 10^{-1}$
Organik elektrolitler	$10^{-3} \times 10^{-2}$
Polimer elektrolitler	$10^{-7} \times 10^{-3}$
İnorganik katı elektrolitler	$10^{-8} \times 10^{-5}$

Elektron Transferi

Elektron transfer reaksiyonu, elektriksel yükün değiştiği ana reaksiyon basamağını ifade etmektedir. Akım akışı, elektronların aşmak zorunda oldukları bir enerji bariyerinden dolayı ek kuvvetleri karşılar. Gerekli ek enerji, aktivasyon enerjisi olarak adlandırılır ve Arrhenius

denklemleriyle ifade edilen reaksiyon derecelerine bağlıdır.

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{R.T}\right) \quad (3.11)$$

Elektrot reaksiyonlarında, n.F.E itici güç ve ilgili bağıntı;

$$i = k' \cdot c_j \cdot \exp\left(\frac{n.F}{R.T} E\right) \quad (3.12)$$

akım i ve kütle transferi arasında n.F ,k' ekivalan faktörü dahil olmak üzere E elektrot potansiyeli ve c_j; absorplanan ya da açığa çıkarılan reaksiyona giren malzemelerin konsantrasyonu.

Elektron transferi yalnızca tek yönde gerçekleşmez, ters reaksiyonda mümkündür ve her ikisi arasındaki denge elektrot potansiyeline bağlıdır. Böylece denklem (3.12), aşağıdaki gibi tamamlanır.

$$i = k_+ \cdot c_{ind} \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot n \cdot F}{R.T} E\right) - k_- \cdot c_{yük} \cdot \exp\left(-\frac{(1-\alpha) \cdot n \cdot F}{R.T} E\right) \quad (3.13)$$

Buradaki 1; anodik reaksiyonu (Pb → Pb²⁺ + 2·e⁻) ifade eder, 2 ise tersini ifade etmektedir.

α; transfer faktörünü ifade eder (≅ 0.5)

k; reaksiyonun ne kadar simetrik olduğunu ve ne kadar elektrot potansiyeline (aktivasyon enerjileri arasındaki fark) bağlı olduğunu ifade etmektedir.

n; yük sayısı

c_{ind}, c_{yüks}; reaktanların indirgenmiş ve yükseltgenmiş konsantrasyonlarının mol/dm³ olarak ifadesi.

Genellikle akım/votaj eğrileri, denge potansiyelinden sapma ile ilgilidir, aşırı gerilim η = E - E⁰.

Bu da denklem (3.13) ile ilişkilendirildiğinde:

$$i = i_0 \left[\exp\left(\frac{\alpha \cdot n \cdot F}{R \cdot T} \eta\right) - \exp\left(-\frac{(1-\alpha) \cdot n \cdot F}{R \cdot T} \eta\right) \right] \quad (3.14)$$

i₀; dinamik dengeyi karakterize eden değişen akım yoğunluğu

Elektrolit Polarizasyonu

Daha öncede ifade edildiği üzere dengeden gerçek voltajın sapmasıyla polarizasyon ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda tekli elektrolit potansiyeli için önemli bir parametredir.

$$\eta_+ = E_+ - E_+^0 \text{ ya da } \eta_- = E_- - E_-^0 \quad (3.15)$$

η_+ ve η_- ; pozitif ve negatif elektrotların polarizasyonu

E_+^0 ve E_-^0 ; pozitif ve negatif elektrotların denge potansiyeli

E_+ ve E_- ; pozitif ve negatif elektrotların gerçek potansiyeli

$$E = E^0 + \eta_+ - \eta_- \quad (3.16)$$

E^0 ; pilin denge ya da açık devre voltajı

Sıcaklık Etkisi :

Kinetik parametrelerle kimyasal reaksiyonların dereceleri etkiyen sıcaklığa bağlıdır. Aktivasyon enerjisi terimi ile bağıntılı olan Arrhenius Denkleminin logaritmik formu;

$$\ln(k) = -\frac{E_A}{R \cdot T} + \ln(k_0) \text{ or } \ln(k) = -\frac{E_A}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln(k_0) \quad (3.17)$$

Bu bağıntı göz önünde bulundurulduğunda kinetik parametrelere bağlı sıcaklık doğrusallaştırılabilir. $1/T$ 'ye karşılık reaksiyon hızının logaritması çizildiğinde ki Arrhenius Grafiği olarak adlandırılır, sıcaklığın kinetik parametrelere bağıntısının doğrusal olduğu görülür.

3.1.5 Elektrot Yüzeylerine Kütle Transferi

Bataryalara dair bir diğer önemli konu, elektrot yüzeylerinden ve yüzeylerine olan kütle transferi prosesleridir.

Elektrotlardan kütle transferi üç çeşit prosesle gerçekleşir:

- 1- Taşınım ve yer değiştirme
- 2- Elektriksel göç
- 3- Difüzyon (konsantrasyon değişimi)

Yer değiştirme ve taşınım prosesi matematiksel ve deneysel olarak ifade etmek oldukça basittir. Sistemin akışlı olması ve dikkatli olarak dizayn edilmesi gerekir.

Bir elektrik potansiyeli gradyeni içinde elektro aktif maddelerin göçü, efektif olarak potansiyel gradyeni sıfıra düşüren ve böylece göçe neden olan elektrik alanını ortadan kaldıran inert “takviye elektrolit”in aşırı derecede eklenmesiyle sıfıra yaklaşarak azalma gösterir.

Konsantrasyon gradyenindeki difüzyon prosesi, bu proseslerden en önemli olanıdır ve bataryalarda kütle transferinde genellikle bu proses baskındır.

Difüzyonu analiz etmek için t zamanda ve x mesafede bir düzlemi geçen materyalin akısını belirlemek için basit bir denklem kullanılır. Akı, konsantrasyon gradyeni ile orantılıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$q = D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.18)$$

$$q = Akı$$

D = Difüzyon katsayısı

C = Konsantrasyon

Zamanla konsantrasyondaki değişim oranı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.19)$$

- Burada sınır koşullarının belirtilmesi gerekmektedir. Bunlar batarya performansı ile belirlenen elektrotun istenilen deşarj rejimine göre seçilir.

Konsantrasyon Polarizasyonu:

Genellikle batarya sistemlerinde kütle transferi için tercih edilen proses; difüzyon ile maddeler reaksiyonun gerçekteştiği bölgelerden ve gerçekteşecek bölgelere transferi için düzenli akım akışına gerek vardır. Batarya performansını geliştirmek için uygulanan yöntemlerden biri de difüzyon proseslerinin arttırılması ve geliştirilmesidir. Böylece denklem (3.18), $i = nFq$ denkleminde yerine yazılır:

$$i = nF \frac{DA(C_B - C_E)}{\delta} \quad (3.20)$$

i = Akım

C_B = Elektriksel olarak aktif maddelerin bulk konsantrasyonu

C_E = Elektrottaki konsantrasyon

A = Elektrot alanı

δ = Sınır tabakası kalınlığı (konsantrasyon gradyenin büyük olduğu elektrot yüzeyindeki tabaka)

$C_E = 0$ olduğunda maksimum difüzyon akımı tanımlanır; i_L :

$$i_L = nF \frac{DAC_B}{\delta_L} \quad (3.21)$$

Burada δ_L , sınır tabakası kalınlığıdır. i_L 'yi arttırmak için, bulk konsantrasyonu, elektrot alanı ya da difüzyon kat sayısı artırılmalıdır. Spesifik koşullarda denklem (3.20) uygulanarak analiz edilebilir yani sistemlerin özellikle güç yoğunlukları ve deşarj oranı gibi parametreleri hesaplanabilir.

Elektrot yüzey alanı ve elektrolit yığını arasında var olan konsantrasyon farkı, konsantrasyon polarizasyonu olarak ortaya çıkar. Nernst Denklemine göre konsantrasyon polarizasyonu η_c , difüzyon tabakası boyunca konsantrasyon değişiminden elde edilir:

$$\eta_c = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_B}{C_E} \quad (3.22)$$

Difüzyon tabakası kalınlığının çok fazla değişmediği varsayılırsa konsantrasyonlarla birlikte $\delta_L = \delta$ olur ve :

$$i = \left(1 - \frac{C_E}{C_B}\right) i_L \quad (3.23)$$

Denklem (3.23) kullanılarak:

$$\eta_c = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right) \quad (3.24)$$

Bu denklem difüzyonla kütle transferi için akım ve konsantrasyon polarizasyonun bağıntısını verir ki i , sınır akımına i_L 'ya yaklaştıkça teorik olarak konsantrasyon polarizasyonu sonsuz bir şekilde artacaktır. Halbuki gerçek bir proseste konsantrasyon polarizasyonu belli bir noktaya kadar artacaktır ki orada başka bir elektrokimyasal reaksiyon gerçekleşecektir.

Gözenekli Elektrotlar:

Elektrokimyasal reaksiyonlar, elektrolit- elektrolit ara yüzeyinde vuku bulan heterojen reaksiyonlardır. Batarya sistemlerinde elektrotlar genellikle aktif reaktanlar, bağlayıcılar ve iletken dolgu malzemelerinden yapılmış kompozitlerdir. Elektrot yüzeyindeki aktivasyon ve konsantrasyon polarizasyonundan kaynaklanan enerji kayıplarını minimum hale getirmek için ve elektrot verimini arttırmak için geniş elektrot yüzey alanına sahip elektrotlar tercih edilir (Linden ve Reddy, 2002).

3.1.6 Isı Etkileri

Elektrokimyasal reaksiyonlar, tersinir ısı etkisiyle ifade edilen ısı etkisiyle ilişkilidir. Akım pil boyunca geçerken, elektrotlarda ve elektrolitteki ohmic dirençlerden dolayı fazla ısı oluşur. Bunun yanı sıra polarizasyon etkileri de “Joule Isınmasına” neden olmaktadır.

Elektriksel Isınma (Joule Isınması) :

Batarya, şarj ve deşarj olurken akımın iç rezistanstan geçmesiyle ısı oluşur. Deşarj durumunda sistem içerisindeki toplam enerji belirli olduğu için ısı artışı çekilebilen (elde edilebilen) enerji ile sınırlanacaktır. Bu durum düşük güç kapasiteli bataryalarda çok yüksek kısmi sıcaklıklara neden olur. Batarya tam olarak şarj olduktan sonra bataryaya elektrik akışını kesecek herhangi bir otomatik durdurma sistemi mevcut olmadığı için bu durum riskli olabilir.

Batarya tasarımcıları, batarya içerisindeki ısı oluşumu ya da ısı kayıplarını minimize edebilmek için pillerin iç direncini mümkün olduğunca düşük tutmaya çalışmaktadırlar.

Tersinir Isı Etkisi :

$$Q_{rev} = T \cdot \Delta S \quad (3.25)$$

Tersinir ısı etkisi, elektrokimyasal reaksiyonlarla ilişkili kaçınılmaz ısı emisyonunu ya da ısı absorpsiyonunu ifade eder.

Birim zaman başına düşen tersinir ısı etkisi, akım geçişi ile alakalıdır. Çünkü her çoklu pil reaksiyonu $n \cdot F$ miktarında akıma gereksinim duyar;

$$\frac{dQ_{rev}}{dt} = \frac{Q_{rev}}{n \cdot F} \cdot i \quad W \quad (3.26)$$

$Q_{rev}/n \cdot F$, V 'nin bir boyutudur, ölçülebilen bir voltaj olmamasına rağmen voltaja eşdeğerdir. Fakat kalorik hesaplamalar için aşağıdaki bağıntıyı kullanmak uygundur;

$$E_{kal} = E^0 - \frac{Q_{rev}}{n \cdot F} \quad V \quad (3.27)$$

E_{kal} ; tersinir ısı etkisini kapsayan farazi bir voltajdır ve kalorik hesaplamalarda denge voltajı yerine kullanılır. Denklem (3.25) ve denklem (3.26)'ün kombinasyonu E_{kal} 'yi vermektedir.

$$E_{kal} = -\frac{\Delta H}{n \cdot F} \quad (3.28)$$

Akıma Bağlı Isınma Etkileri :

Akım

Herhangi bir iletken objenin içerisinde geçerken, akımdan kaynaklanan voltaj düşüşüne orantılı olarak ısı oluşturur. (Kiehne, 2003)

$$dQ_{joule} / dt = \Delta E \cdot i \quad (3.29)$$

Q_j ; Oluşan ısı (Joule Etkisi)

t ; zaman(s)

ΔU , akımın neden olduğu voltaj düşüşü (V)

i ; akım (A)

Bu ısı Joule Etkisi olarak adlandırılır, daima enerji kaybı anlamına gelmektedir.

Joule ısınması denklem (3.29)' e göre aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$dQ_{joule} / dt = (E - E^0) \cdot i \quad /W \quad (3.30)$$

Belli bir zaman diliminde (saat olarak) ifade edilişi:

$$Q_{joule} = \int_0^t \{(E - E^0) \cdot i\} dt \quad /Wh \quad (3.31)$$

Not: $E - E^0$ polarizasyonu ifade eder. Elektrolitte olduğu kadar elektronik rezistans boyunca geçen akımın neden olduğu voltaj düşüşünü de kapsar. Isı etkisi polarizasyonla orantılıdır. $E - E^0$, belli bir deşarj oranı aşıldığında genellikle artan iç direnç ve deşarj ürünlerinin iletkenliğinin düşük olması nedeniyle şarj ve deşarj prosesi boyunca sabit kalmaz.

Toplam Isı Oluşumu :

Joule ısınmasının ve tersinir ısı etkisinin toplamı batarya ya da pilde oluşan toplam ısı etkisini ifade eder.

$$Q_{toplam} = Q_{joule} + Q_{tr} \quad / Wh \text{ (enerji)} \quad (3.32)$$

$$\frac{Q_{toplam}}{dt} = \frac{Q_{joule}}{dt} + \frac{Q_{tr}}{dt} \quad /W \text{ (birim zamandaki iş)} \quad (3.33)$$

dQ_{tr} / dt ' nin işaretine bağlı olarak toplam enerji oluşumu, Joule etkisinden büyük ya da küçük olabilir.

Denklem (3.30)' ya göre dQ_{joule} / dt yerine $(E - E^0)$ ifadesi konulduğunda aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{dQ_{toplam}}{dt} = -(E - E_0) \cdot i + \frac{dQ_{tr}}{dt} \quad (3.34)$$

Denklem (3.26) ve denklem (3.27) bağıntıları kullanılarak, ısı hesaplamaları için basit bir bağıntı elde edilir.

$$\frac{dQ_{toplam}}{dt} = (E - E_{kal}) \cdot i \quad (3.35)$$

Not: Denklem (3.29)'da ifade edildiği gibi Joule etkisi her zaman enerji kaybı olduğu için termodinamik parametrelere göre Denklem (3.35)'in işareti negatif olmalıdır. ($Q_{oluşum} = -Q_{toplam}$ zorluğunun üstesinden gelmek için)

3.2 Genel Terimler Ve Karakteristikleri

Batarya ve pillere dair temel bileşenleri; pozitif ve negatif elektrotlar, elektrolit gibi aktif

materyaller; seperatör, batarya kutusu, kutup başı sızdırmaz tapaları olarak sıralayabiliriz.

3.2.1 Katodik/Anodik (Elektrotlar)

Batarya deşarj edildiğinde, pozitif elektrottaki aktif materyal indirgenir ($S(P)_{yüks} + n e^{-} \rightarrow S(P)_{ind}$), negatif akım elektrottan elektrolite doğru geçer. Böyle bir indirgen akım, katodik olarak nitelendirilir. Negatif elektrotta aktif materyal bir anodik akım tarafından yükseltgenir. ($S(N)_{ind} \rightarrow S(N)_{yüks} + n.e^{-}$)

Katodik ve anodik terimleri tam olarak akım akışının yönü ile ilişkilidir. Katodik, negatif akımın katottan elektrolit vasıtasıyla anoda geçişini ifade etmektedir. Anodik ise, bir pozitif akımın anottan elektrolit aracılığı ile katota geçişidir. Sekonder bataryalarda, hangi elektrotun anot ya da katot olduğu şarj ve deşarj operasyonuna bağlıdır.

Kurşun-asit bataryalarda, deşarj boyunca ($Pb \rightarrow Pb^{+2} + 2.e^{-}$) negatif elektrot anottur, şarj boyunca da katottur. Pozitif elektrotta ise tam tersi; $Pb(IV) + 2.e^{-} \rightarrow Pb^{2+}$ katodik reaksiyondur ve PbO_2 elektrotu, deşarj boyunca katot, şarj boyunca anot olur. Bu belirsizlik nedeniyle, sekonder bataryalarda “pozitif elektrot” ve “negatif elektrot” terimleri tercih edilir.

Bataryanın temel bileşenlerinden olan elektrotlar, kutup başları ile dış devreye bağlanır.

Kurşun asit bataryalarda olduğu gibi elektrot materyali katı bir metal ızgara şeklinde ya da birçok nikel ve lityum bazlı pillerde olduğu gibi aktif elektrot materyali akım toplayıcı rolü üstlenen spiral şekilde sarılmış metalik bir folyo ile kaplanmıştır.

Elektrotların yüzey alanını arttırarak pilin operasyon akımı yükseltilebilir ve böylece pil daha fazla güç sağlarken kısa sürede şarj olabilir.

Yüksek güç pillerinde akım toplayıcılarla boyutu arttırılmış ve geniş yüzey alanına sahip elektrotlara gereksinim duyulur. Bunun sonucu olarak elektrolit alanı azalır ve pil kapasitesi düşer. Şarj edilebilir bataryalarda elektrot genellikle düz plakalı elektrotlar, spiral sarılmış elektrotlar ve çoklu elektrot yapılarından oluşur.

Özellikle elektrot yüzey alanını arttırmak için geniş folyo şeritlerinden oluşan elektrotların ve seperatörün spiral ya da silindirik sarılmış, spiral sarımlı pillerde akım taşıma kapasitesi artmış ve iç direnç düşmüştür. Bu elektrot yapısı lityum iyon pillerde olmak üzere aynı zamanda NiCd, NiMH ve kurşun asit bataryalarda yüksek akım oranları için kullanılmaktadır [1].

3.2.2 Pil/Batarya

Her bataryanın temel elementi pildir. Batarya terimi, birkaç pilin seri ya da paralel olarak birbirine bağlanmış şeklini ifade etmektedir. Bazen tekli piller de batarya olarak nitelendirilmektedir.

Pil takımı içerisindeki piller, tekli pillerin derin deşarjından zamanından önce bozulmanın önüne geçmek için aynı kapasiteye sahip olanlarından seçilir. Batarya pil takımları, özellikle lityum-iyon bataryalarda ve tekli pillerde genellikle sıcaklık sensörleri, termal tapalar ya da belirlenmiş bir sıcaklık değeri aşıldığında iç direnci arttıran aparatlar gibi emniyet aygıtları ile donatılmıştır.

3.2.3 Aktif Materyal ve Hacim Değişikliği

Aktif materyal terimi, pil reaksiyonlarının komponentlerini ifade etmektedir. Yani kurşun-asit bataryalardaki sülfürik asit gibi elektrolit komponentleri de dahil olmak üzere negatif ve pozitif elektrottaki materyaller kastedilmektedir

Aktif materyal şarj- deşarj operasyonları esnasındaki kimyasal dönüşüm ve bunun sonucu olarak sıklıkla ortaya çıkan hacim değişiminden etkilenmektedir. Bu da aktif materyal hacminin büyümesi halinde yeterli hacmi sağlamak için özel bir dizayn karakteristiği gerektirir. Hacmin azalması, diğer taraftan akım bağlantılı elementlere ve elektrot/seperatör çifti içerisine sıkıştırıcı kuvvetler uygulayacak metal şeritler ya da makaslar gibi mekanik komponentler gerektirecek, kontak problemlerine neden olabilir.

3.2.4 Aktif Olmayan Komponentler

Pil reaksiyonun, iki elektrot reaksiyonuna ayrılması, birçok aktif olmayan komponentleri de gerektirmektedir. Bunlar, iletken ve iletken olmayan komponentler olarak sınıflandırılabilir.

İletken Komponentler :

Aktif materyalden toplanan akım kutup başlarına iletilmek zorundadır. Genellikle akım ileticisi aynı zamanda aktif materyal bir yardımcı olarak davranış gösterir. Bazı sistemlerde pil haznesi metaldir ve genellikle kutup başı gibi davranabilir. Pil içerisinde, elektrotlar paralel olarak bağlandığında, kutup köprüleri gibi bağlayıcı kısımlar gerektirmektedir.

Karbon ya da metal tozu gibi katkı maddelerine özellikle kalın tabaklardaki aktif materyal içerisinde iletkenliği arttırmak için gerek görülmektedir.

Seperatör :

İki elektrot reaksiyonunu ayırmak için pozitif ve negatif elektrot arasındaki elektrik kontağının tam olarak engellenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde oluşan kısa devre, bataryayı deşarj eder. Diğer taraftan elektrolitten geçen iyonik akım, mümkün olduğu kadar düşük seviyede olmalıdır.

Modern bataryalarda, mikrometre boyutunda %80'lik açık hacimden daha fazla olarak, gözenekli kalın plastik yapraklar ya da aynı şekilde plastik ya da cam fiber levhalar, bir diğer bilinen adıyla AGM (Absorbe fiber mat), Valf regüleli kurşun-asit (VRLA) bataryalarda kullanılır.

Batarya Kutusu :

Çeşitli plastik malzemeler kullanılmaktadır. Kurşun-asit bataryalarda lastik, cam elyafı ya da yüksek pil voltajının tüm metallere zarar vereceği göz önünde bulundurularak plastik kutu kullanılmaktadır. Plastik malzemelerin dezavantajı ise gaz, su buharı ve uçucu malzemeleri geçirebilme özelliğidir. Bu yüzden sızdırmaz nikel/kadmiyum bataryalarda ve hatta nikel/metal hidrit bataryalarda metal kutu kullanılır.

Kutup Başı Sızdırmaz Tapaları :

Kutup başlarının tapaları kritik bir unsurdur. Sıvı elektrolitli, menfezli bataryalarda, elektrolit sızmasını önlemek zorundadır. Tapalı bataryalarda, hidrojen kaçağını önlemeli ve hatta çevreden oksijen girişinin de önüne geçmelidir.

Menfez ve Vanalar :

Birçok batarya sisteminde, ikincil reaksiyonların oluşturmuş olduğu, çıkarılması gereken gazlar nedeniyle hava boşaltma tapaları gerekmektedir. Menfezler, bazı şarj edilebilir bataryalarda kullanıldığı için, batarya içine ve batarya dışına olmak üzere her iki yönde de gaz akışına izin veren basit kapaklardır.

Vanalar yalnızca VRLA bataryalarda hidrojen çıkışı için, aynı zamanda aşırı yükleme gibi batarya kötü kullanıma maruz kaldığında çok yüksek iç basınçtan kaynaklanan hasarın önüne geçmek için diğer sızdırmaz bataryalarda da kullanılır.

3.3 Batarya Performans Parametreleri

Bir bataryanın deşarj/şarj davranışı; akım, voltaj ve sıcaklık gibi birtakım parametrelere bağlıdır.

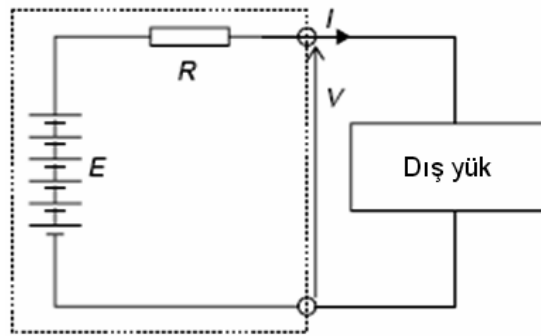
3.3.1 Pil ve Batarya Voltajı

Piller seri bağlanarak toplam voltaj değeri elde edilir. Elektrikli araçlar için kullanılan bataryalar genellikle 12V'dur ve bu batarya pilleri gerekli voltaja ulaşmak için seri bağlanmıştır. Dışarı akım verildiğinde voltaj düşecek; batarya şarj edilirken voltaj yükselecektir.

Şekil 3.6'da batarya eşdeğer devresi gösterilmiştir. Batarya sabit bir E voltajı ile karakterize edilir fakat iç direncin R , voltaj üzerinde etkisinden dolayı kutup başlarındaki voltaj V , farklıdır. Bir I akımı, Şekil 3.6'da olduğu gibi batarya dışına akışında, basit devre teorisi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$V = E - IR \quad (3.36)$$

Eğer I akımı sıfır ise, kutup başı voltajı, açık devre voltajı olarak da ifade edilen E 'ye eşit olacaktır. Batarya şarj olurken voltaj IR kadar artış gösterecektir. Bu nedenle elektrikli araç bataryalarında iç direnç mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır.



Şekil 3.3 6 pilden oluşan bir bataryanın basit bir eşdeğer devre modeli

Genellikle denklem (3.36), kullanımda olan bataryanın voltajını belirlemede oldukça yararlıdır. Yalnız açık devre voltajı E , pratikte bir sabit değildir. Voltaj sıcaklığın yanı sıra bataryanın şarj durumundan da etkilenmektedir.

3.3.2 Şarj (Ampsaat.) Kapasitesi

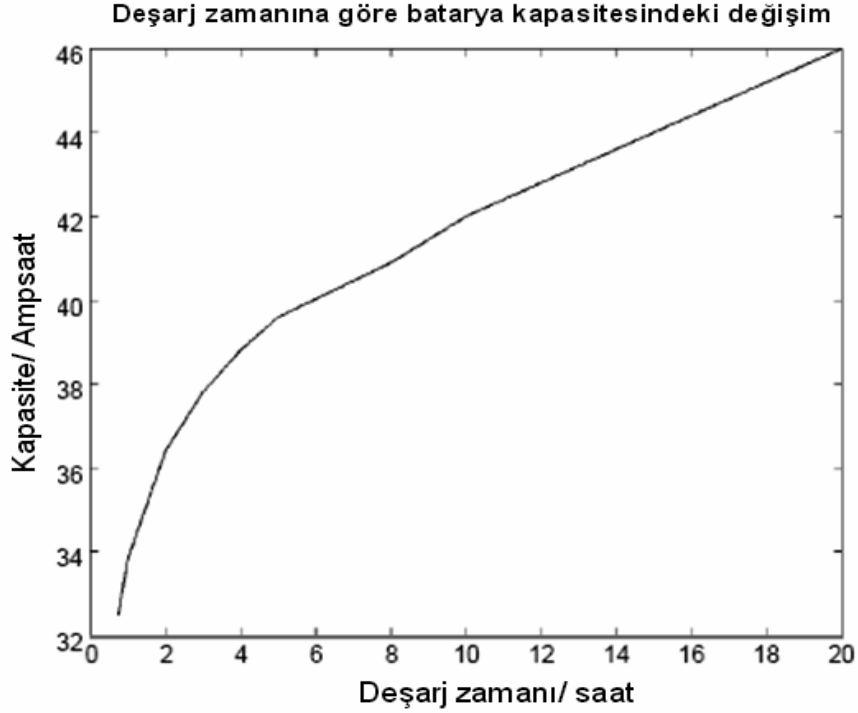
Bataryadan temin edilen elektrik şarjı (yükü), çok önemli bir parametredir. Şarj, bir saniyedeki 1 Amp akım geçişi olarak, SI biriminde Coulomb olarak ifade edilir. Fakat bu şekildeki gösterimi çok küçük bir değer ifade ettiği için, bir saatte akan bir Amp'i ifade eden Ampsaat'in kullanımı daha uygundur. Bir bataryanın kapasitesi 10Ampsaat ise bu; bataryadan 10 saat içinde 1Amp, 5 saat içinde 2Amp ya da 1 saat içinde 10 Amp çekilebileceği anlamına gelmektedir. Buna rağmen pratik olarak çoğu batarya için teoriksel yaklaşımdan sapmalar olur.

Eğer bir batarya 10 saatte 1 Amp verebiliyorsa, bataryadan 10 Amp çekildiği deşarj süresi bir saatten daha az olacaktır. Elektrikli araçlarda kullanılan büyük bataryaların kapasitesi (traksiyoner bataryalar) genellikle 5 saatlik bir deşarj süresinden ibarettir. Şekil 3.7'de bataryadan şarjın ani ya da yavaş olarak çekilmesinden kapasitenin ne şekilde etkilendiği görülmektedir. Diyagram, nominal olarak 100 Ampsaat'lik bir bataryaya aittir. Eğer şarj bir saat içinde çekilirse, kapasite 70 Ampsaat'e kadar düşecektir. Diğer taraftan eğer akım çok yavaş, 20 saat kadar bir süre zarfında çekilirse, bataryanın kapasitesi 110 Ampsaat'e kadar yükselecektir.

Kapasitedeki bu değişim, pilin içersindeki birtakım istenmeyen reaksiyonlar nedeniyle vuku bulur. Bütün bataryalarda gerçekleşen bu değişim en çok kurşun-asit bataryalarda hissedilir. Bu olgunun etkilerine yönelik tutarlı bir kestirimde bulunmak önem taşımaktadır ve konu batarya modellenmesinde açıklanmıştır.

Bir bataryanın kapasitesi Ampsaat olarak, C harfi ile gösterilir. Aynı şekilde C; akımı da temsil ettiği için yanlışya meydan verebilir. Fakat bu tez içindeki kullanımlarda kapasiteyi simgeleyecektir.

42 Ampsaat kapasiteli bir batarya için $C=42$ Ampsaat'dir. Batarya kullanıcıları; "2C'luk bir deşarj akımı" ya da "0.4C'da bataryayı şarj etmek" gibi birtakım ifadeler kullanır. Bunlar, 84 Amps'lik bir deşarj akımı ve 16.8 Amps'lik bir şarj akımı anlamlarına gelmektedir.



Şekil 3.4 Grafikte nominal olarak 42 Ampsaat'lik bir bataryanın ampsaat şarj kapasitesindeki değişim gösterilmiştir. Bu grafikte Hawker Energy Products Inc tarafından üretilen kurşun-asit traksiyoner bataryalara ait veriler baz alınmıştır.

Bir bataryanın Ampsaat kapasitesi deşarj boyunca zamanla değişiklik göstermiş olduğu yukarıda bahsedilmiştir. Bizim örneğimizdeki 10 saatlik deşarj süresinde 42 Ampsaat'lik kapasiteye sahip bir bataryanın 84 Ampsaat için, deşarj akımı; $2C_{10}$ olarak ifade edilebilir.

Depolanan Enerji :

Bataryanın görevi enerji depolamaktır. Bataryanın enerji içeriği, bataryanın voltajına ve yüklenen şarja bağlıdır. SI birimindeki karşılığı olan Joule, çok küçük olduğu için Wattsaat'in kullanımı daha uygun olacaktır. Bu da 1 saat için 1 Watt'lık bir yükte yapılan işin enerji olarak karşılığıdır. Wattsaat, 3600 Joule'a eşittir. Wattsaat, şarj için Ampsaat kullanımımıza uygundur ve basit formülü aşağıdaki gibidir:

$$\text{Enerji (Wattsaat)} = \text{Voltaj} \times \text{Ampsaat} = V \times C \quad (3.37)$$

Bu denklemin büyük bir dikkatle kullanılması gerekmektedir. Batarya voltajı V ve Ampsaat kapasitesi C olmak üzere her ikisinin de bataryanın nasıl kullanıldığına bağlı olduğuna daha önce değinmiştik. Akım arttıkça her ikisi de azalacak ve batarya çabuk tükenecektir. Bu yüzden depolanan enerji değişken bir niceliktir ve enerji hızlı bir şekilde verilirse, miktarı azalacaktır. Eğer sahip olduğu şarj kapasitesi beş saatlik bir deşarj içinse enerji bu deşarj

oranında verilecektir.

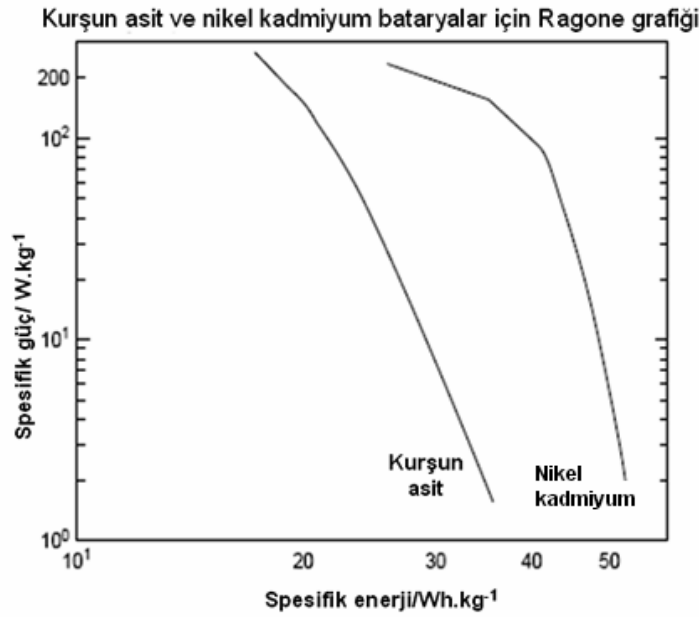
3.3.3 Spesifik Enerji

Spesifik enerji, bataryanın birim kütlesi için depolanan elektrik enerjisi miktarıdır. Birimi Wh.kg^{-1} 'dir. Bir araçtaki bataryanın enerji kapasitesi (Wh), spesifik enerjisine (Wh.kg^{-1}) bölündüğünde, batarya kütlesi için ilk yaklaşımı verir. Bataryada depolanan enerji, sıcaklık ve deşarj oranı gibi faktörlerle büyük ölçüde değişiklik gösterdiği için spesifik enerjiler, batarya davranışına dair kesin sonuçlara ulaşmamızda bir rehber olmaktan öteye gidemez.

Şekil 3.8'de bir bataryanın spesifik enerjisinin değişimi gösterilmiştir.

3.3.4 Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu, bataryanın birim hacmi başına depoladığı elektriksel enerji miktarıdır. Birimi, Wh.m^{-3} 'dür. Bataryanın enerji kapasitesinin (Wh), enerji yoğunluğuna, (Wh.m^{-3}) bölünmesi ile gereken batarya hacmini vermesi açısından önemli bir parametredir. Eğer bataryanın hacmi biliniyorsa hacmin bataryanın enerji yoğunluğu ile çarpılması sonucunda kullanılabilir elektrik enerjisi miktarı için ilk yaklaşım elde edilebilir. Araç dizaynı için batarya hacmi önemli bir unsur olabilir.



Şekil 3.5 Ragone grafiği- tipik kurşun-asit ve nikel kadmiyum traksiyoner bataryalar için spesifik enerjiye karşılık spesifik güç grafiği (Larminie ve Lowry, 2003)

3.3.5 Spesifik Güç

Spesifik güç, bataryanın birim kütesinden elde edilecek güç miktarıdır. Bataryadan dışarıya verilen güç, bataryanın kendisinden daha çok bataryanın bağlı olduğu yüke dayandığı için spesifik güç oldukça değişken ve kural dışı bir niceliktir. Bataryalar maksimum güce sahip olsalar da, çok verimsiz ve aynı zamanda kısa süreli olacağı için bataryayı maksimum gücüne yakın bir değerde birkaç saniyeden fazla çalıştırmak makul değildir.

Birimi, $W.kg^{-1}$ 'dir. Bazı bataryaların çok yüksek spesifik enerjisi olmasına rağmen spesifik gücü düşüktür. Yani depoladığı enerji miktarı fazladır fakat bunu yavaş bir şekilde dışarıya verir. Elektrikli araçlar açısından değerlendirdiğimizde aracı uzun bir mesafe boyunca çok yavaş çalıştırırlar. Genelde herhangi bir batarya tipi için yüksek spesifik güç, düşük spesifik enerji anlamına gelmektedir. Bu durumun nedeni de daha önce değindiğimiz gibi enerjinin bataryadan yüksek güçte, hızlı bir şekilde dışarıya verilmesi, kullanılabilir enerji miktarını azaltmasıdır.

Farklı batarya tipleri için spesifik enerji ile spesifik gücün değişimindeki fark, karşılaştırma yapma açısından önem taşır. Bu karşılaştırma daha çok Ragone grafiği olarak da bilinen spesifik enerjiye karşılık spesifik gücün grafiği kullanılarak yapılır. Bataryadan çekilen yük, farklı uygulamalarda önemli ölçüde değiştiği için logaritmik değerler kullanılır. Şekil 3.8'de kaliteli bir kurşun-asit traksiyoner batarya ve benzer şekilde NiCad bataryanın Ragone grafiği gösterilmiştir.

Şekil 3.8'de olduğu gibi Ragone grafikleri, tüm enerji kaynaklarının karşılaştırılmasında kullanılır. Maliyet gibi diğer faktörleri göz ardı ettiğimizde bu grafikten elde edeceğimiz sonuç; gerekli güç yoğunluğu $100 W.kg^{-1}$ 'den az ise NiCad bataryanın performansı daha iyidir. Fakat $250 W.kg^{-1}$ ve ya daha da fazla değerlerde ise kurşun-asit daha cazip gelmeye başlayacaktır. Ayrıca Ragone grafiği, “ Bu bataryanın spesifik gücü nedir?” sorusuna cevap olarak tek sabit bir değer verilemeyeceğini açık bir şekilde göstermektedir.

3.3.6 Ampsaat (Şarj) Verimi

İdeal olarak batarya içine giren şarjın tümünün bataryadan çekilebilmesi gerekmektedir. Bu durumda Ampsaat verimi %100 olacaktır. Maalesef böyle bir batarya mevcut değildir; şarj verimi %100'den azdır. Sıcaklık ve şarj oranına bağlı olarak farklı batarya tipleri için bu değer değişecektir. Şarj durumuna göre de değişir. Örneğin %20 oranından %80'e kadar şarj olmuş bir bataryanın verimi %100'e yakın olacaktır fakat %20 oranında şarj olmuş bir bataryanın

veri büyük oranda düşecektir.

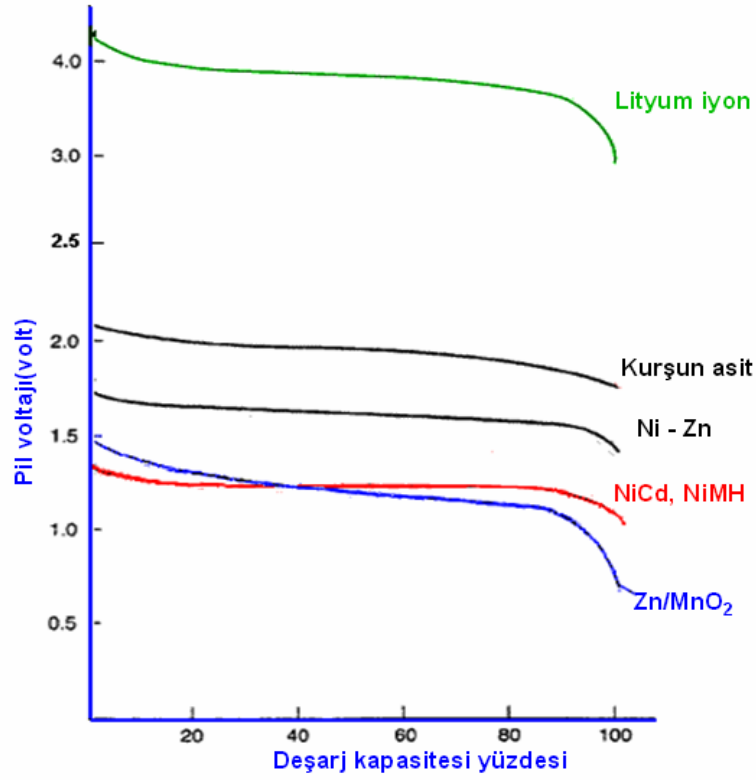
3.3.7 Enerji Verimi

Enerji verimi, bataryadan çekilen elektrik enerjisinin, bataryayı, deşarj olmadan önceki durumuna getirmek için gereken elektrik enerjisi miktarına oranlanmasıyla bulunur. Elektrikli araçları bu anlamda ön plana çıkaran, enerjiyi kullanım verimi ve bunun neticesinde toplam emisyonda azalmadır. Daha önce de ifade edildiği üzere enerji verimliliği, bataryanın kullanımına bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. Eğer batarya hızlı bir şekilde şarj ya da deşarj edilirse, enerji verimi büyük oranda azalacaktır. Bataryalar için kıyaslama kriteri olarak kullanılabilir (Vincent ve Scrosati 1997).

3.3.8 Deşarj Eğrileri

Bir pilde herhangi bir zamanda kutup başlarında beliren voltaj, pilin iç direncine, yük akımına bağlıdır ve pilin kullanım süresi, sıcaklığı ve şarj durumuna göre değişiklik gösterir. Aşağıdaki grafikte 0.2 C oranında deşarj edilen çeşitli pil kimyasallarının tipik deşarj eğrileri gösterilmiştir. Bu grafikte göze çarpan her pilin çeşidinin nominal pil voltajı ve deşarj eğrisi kendine özgü olduğudur. Lityum iyon ve nikel bazlı bataryalar oldukça yatay bir deşarj eğrisine sahip olduğu, kuşun asit bataryaların deşarj eğrisi belirgin bir eğim gösterir.

Eğimli bir deşarj eğrisi sergileyen pillerden elde edilen güç, deşarj döngüsü boyunca önemli ölçüde azalma gösterir. Bu durum, yüksek güç uygulamalarında döngü sonuna yaklaştıkça problem yaratabilir. Yatay bir deşarj eğrisi, deşarj döngüsü boyunca voltaj temini kayda değer şekilde sabit kaldığından bataryanın kullanılmakta olduğu uygulamanın dizaynını kolaylaştırır. Eğimli bir eğride ise pil voltajı, pilde kalan şarjın bir ölçütü olarak kullanılabilirdiği için bataryanın şarj durumunun hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır. Modern lityum iyon bataryalar çok düz bir deşarj eğrisine sahip olmalarından dolayı şarj durumlarının tespiti için diğer yöntemler kullanılmalıdır.



Şekil 3.6 Farklı batarya tiplerinin deşarj eğrileri

X eksenini, pil kapasitesinin yüzdesi olarak standart pil karakteristiklerini gösterir. X ekseninde zaman baz alınsaydı, her deşarj eğrisinin uzunluğu nominal pil kapasitesi ile orantılı olurdu.

3.3.9 Self Deşarj Karakteristikleri

Self deşarj oranı, pil kullanımda olmadığı durumlarda, pil içinde istenmeyen kimyasal reaksiyonlardan dolayı enerjisini ne kadar sürede kaybettiğinin bir ölçütüdür. Pil kimyasına ve sıcaklığına göre değişmektedir.

Traksiyoner batarya pillerinin self deşarj oranları aşağıdaki gibidir:

- Kurşun asit için bir aylık süre zarfında %4 ile %6 arasında
- Nikel kadmiyum için bir aylık süre zarfında %15 ile %20 arasında
- Nikel metal hidrür için bir aylık süre zarfında %30
- Lityum bataryalar için bir aylık süre zarfında %2 ile %3 arasında

3.3.10 Termal Kontrol

Tüm bataryalarda, şarj ve deşarj prosesleri boyunca gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar, sıcaklıkla ilişkilidir.

Sıcaklık Etkileri :

Çalışma sıcaklık aralığı $+20^{\circ}\text{C}$ ile $+30^{\circ}\text{C}$ arasında nominal batarya performansı sahip bir bataryanın, yüksek ya da daha düşük operasyon sıcaklıklarında gerçek performansı önemli ölçüde azalabilir.

Arrhenius yasasına göre bir kimyasal reaksiyonun hız sabiti, sıcaklık arttıkça üssel olarak artar. Bu durum da daha yüksek sıcaklıklarda bataryadan çekilen anlık gücün daha büyük olmasına olanak sağlar. Aynı zamanda yüksek sıcaklık değerleri, pil kapasitesini arttırıp, pil iç direncini azaltarak elektron ya da iyon hareketliliğini arttırır.

Belirtilmiş olan aralığın en üst sıcaklık noktasında, istenmeyen ya da tersinir olmayan kimyasal reaksiyonları başlatabilir ve bataryada kalıcı hasara sebebiyet veren elektrolit kaybına neden olur.

Çalışma aralığının alt noktasındaki sıcaklıklarda, kimyasal reaksiyon hız sabiti azaldığı için batarya performansı düşer. Bataryanın çalışma aralığı -20°C ile -30°C arasında olsa da 0°C 'deki operasyonda batarya performansı ciddi şekilde etkilenecektir.

Bir bataryanın düşük sıcaklıklardaki çalışma limiti bataryanın şarj durumuna (SoC) bağlıdır. Örneğin kurşun- asit batarya, deşarj olurken sülfürik asit elektroliti, suyla birlikte zamanla seyreltik hale gelir ve donma noktası buna bağlı olarak artar.

Bu nedenlerden dolayı şarj kapasitesini ve çevrim ömrünü optimize edebilmek için bataryanın belli bir çalışma sıcaklığı aralığında tutulmalıdır. Buna bağlı olarak bataryayı, üreticinin belirlemiş olduğu operasyon limitleri içerisinde çalışmasını sağlayacak ısıtma ve soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır.

Batarya aynı zamanda iç ve dış termal etkilere maruz kalır. Termal kontrol sistemi ile bu etkiler kontrol altında tutulur.

3.3.11 Isı Vericileri Ve Alıcıları

Batarya kapasitesinin ve çevrim ömrünün optimum seviyede olması için batarya, sınırlı bir operasyon sıcaklığında tutulmalıdır. Bu nedenle optimum batarya performansına ulaşmak

amacıyla bataryanın , üreticinin uygun gördüğü çalışma limitleri içinde tutulmasını sağlamak için ısıtma ve soğutma sistemlerine gereksinim duyulabilir.

Elektriksel Isınma (Joule Isınması) :

Batarya, şarj ve deşarj olurken akımın iç rezistanstan geçmesiyle ısı oluşur. Deşarj durumunda sistem içerisindeki toplam enerji sabittir ve sıcaklık artışı, çekilebilen (elde edilebilen) enerji ile olacaktır. Bu durum düşük güç kapasiteli bataryalarda çok yüksek kısmi sıcaklıklara neden olur. Batarya tam olarak şarj olduktan sonra bataryaya elektrik akışını kesecek herhangi bir otomatik durdurma sistemi mevcut olmadığı için bu durum riskli olabilir.

Batarya tasarımcıları, batarya içerisindeki ısı oluşumu ya da ısı kayıplarını minimize edebilmek için pillerin iç direncini mümkün olduğunca düşük tutmaya çalışmaktadırlar.

Termokimyasal Isıtma ve Soğutma :

Joule ısınmasına ek olarak pillerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ekzotermik olabilir ve ısı oluşumuna eklenir ya da endotermik olabilirler ve kimyasal proses boyunca ısı absorbe ederler. Sekonder bataryalarda kimyasal reaksiyonlar tersinir olduğu için şarj boyunca ekzotermik olan reaksiyonlar, deşarj boyunca endotermik olacaktır ya da bunun tam tersi gerçekleşecektir ve böylece herhangi bir kayıp problemi olmayacaktır. Birçok durumda Joule ısınması, endotermik soğutma etkisini aşacaktır ki bu da birtakım önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

Kurşun-asit bataryalardaki şarj esnasındaki reaksiyonlar ekzotermiktir ve VRLA bataryalar termal kaçağa eğilimlidirler. NiMH bataryalar da şarj esnasında ekzotermiktirler ve tam dolu şarja yaklaştıkça pil sıcaklığı şiddetli bir şekilde artış gösterir. Sonuç olarak NiMH bataryaların şarj cihazları bu sıcaklık artışına duyarlı olarak dizayn edilmeli ve pilin hasar görmemesi için şarj cihazının bağlantısı kesilmelidir. Alkalın elektrolitli Nikel bazlı bataryalar (NiCd) ve lityum iyon bataryalar şarj boyunca endotermiktir. Eğer bu batarya türleri aşırı şarja maruz kalırsa, şarj boyunca termal kaçağın olma olasılığı yüksektir.

Dış Termal Etkiler :

Bataryanın termal durumu ortam sıcaklığına da bağlıdır. Eğer sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksekse, taşınım, iletim ve radyasyon ile ısı kaybedecektir. Eğer ortam sıcaklığı daha yüksek ise batarya çevresinden ısı alacaktır. Ortam sıcaklığı çok yüksek olduğunda ise sıcaklığı kontrol altında tutmak için termal kontrol sisteminin çok iyi çalışması gerekmektedir. Tek bir

pil ortam sıcaklığında çok iyi çalışabilir fakat bu aynı ısıyı oluşturan benzer pillerden oluşan bir batarya dizinin bir parçasıysa her ikisi de aynı yükü taşıyor olsa bile sıcaklık limitlerini aşacaktır.

Sıcaklık:

Ortam koşullarından dolayı artış göstermesi muhtemel termo-elektriksel ve termo-kimyasal etkilerin sonucunda sıcaklık artış gösterir ve bu da kimyasal reaksiyonların hız sabitlerinin üssel olarak artış göstermesine neden olur. Sıcaklık artışı aşırıya kaçtığında aşağıda sıralanan birçok olumsuzlukla karşı karşıya kalınır:

- Aktif kimyasallar pilin şişmesine sebebiyet vererek genişlikleri artar.
- Pilin komponentlerinin mekanik deformasyonu açık devre ya da kısa devre ile sonuçlanabilir.
- Aktif materyallerinin kalıcı şekilde azalmasına ve bunun sonucunda kapasite kaybına neden olacak tersinmez kimyasal reaksiyonlar gerçekleşebilir.
- Yüksek sıcaklıklarda uzun süreli operasyon, pilin plastik parçalarının çatlamasına neden olabilir.
- Kimyasal reaksiyonlara neden olan sıcaklık artışı, sıcaklığın artmasını hızlandıracak ve termal kaçağa yol açacaktır.
- Pil içindeki basınç artabilir.
- Gaz çıkışı gerçekleşecektir.
- Pil parçalanabilir ya da patlayabilir.
- Zehirli ya da parlayıcı kimyasallar açığa çıkabilir.

Termal Kapasite :

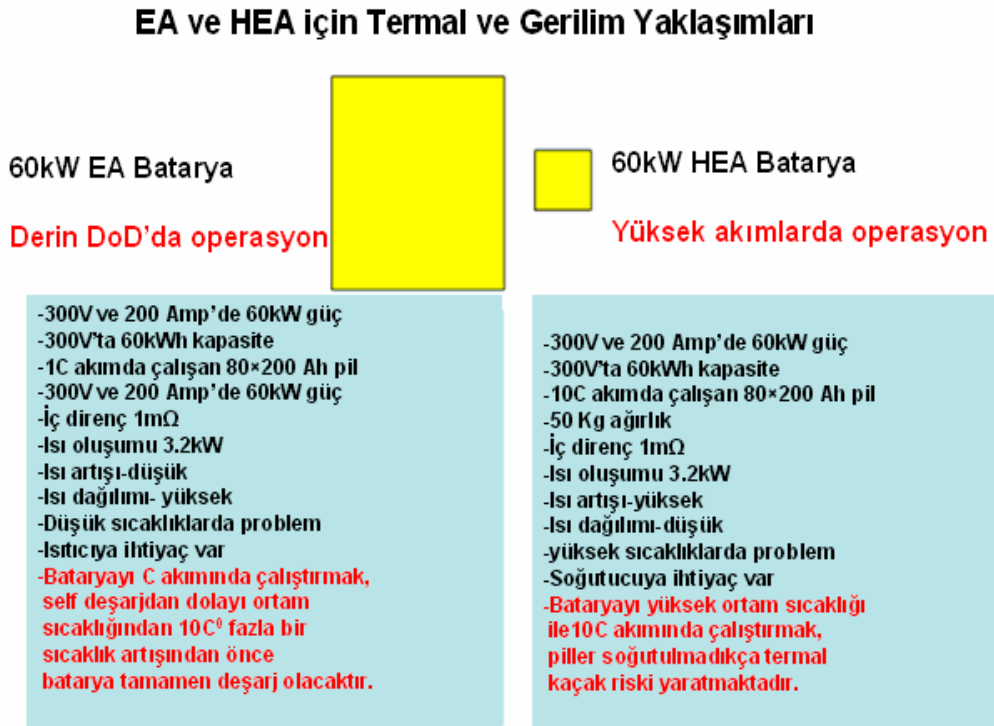
Bir nesnenin termal kapasitesi, onun ısı absorplayabilme yeteneğini ifade eder. Basit olarak verilen bir ısı miktarı için nesnenin boyutu ya da ağırlığı arttıkça ısının neden olduğu sıcaklık artışı daha az olacaktır.

Uzun yıllardır kurşun asit bataryalar, hacim ve ağırlıklarından dolayı operasyon boyunca sıcaklık artışı büyük bir problem olmadığı için yüksek güç uygulamalarında kullanılan birkaç güç kaynağından biri olmuştur. Fakat yüksek güç ve enerji yoğunluklarına sahip daha küçük daha hafif bataryaların termal kapasitesi düşüktür. Yani verilen bir güç çıkışı için sıcaklık artışı daha yüksek olacaktır.

Yüksek güç uygulamalarında kullanılan yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar için ısı dağılımı çözülmesi gereken büyük bir mühendislik sorunudur. Pil tasarımcıları, ısı pilin dışına yönlendirecek yaratıcı pil yapısı teknikleri geliştirmektedir. Batarya tasarımcıları da aynı şekilde ısıyı batarya dizini dışına yönlendirecek yaratıcı çözümler bulmalıdır.

EA ve HEA Bataryaları İçin Termal Yaklaşımlar :

EA'ların bataryalarının boyutları iletim ve taşınım yoluyla ısı dağılımını olanak verecek kadar büyük boyutlarda olmasına bağlı olarak termal kapasitesi yüksek olduğu için sıcaklık yükselmesi düşük olacaktır. Aynı yükü taşıyan HEA'ların bataryaları EA'ların bataryalarının onda birinden daha küçük bir boyutta olmasından dolayı termal kapasitesi ve ısı dağılımı düşük olacaktır buna bağlı olarak da sıcaklık yükselmesi yüksek olacaktır.



Şekil 3.7 EA ve HEA bataryaları için termal ve gerilim yaklaşımları

Pillerin operasyon sıcaklık aralığında tutulması gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda, her ikisi de aynı miktarda ısıyı dağıtmasına rağmen, EA'lar için düşük sıcaklıklarda bataryayı sıcak tutmak problem olurken HEA'larda ise sıcaklığı yüksek ortamlarda aşırı ısınma problemleri ile karşılaşılacaktır.

EA'larda, çok düşük ortam sıcaklıklarında, operasyon boyunca akım akışından kaynaklanan ısınma (I^2R), hacminden dolayı bataryanın arzu edilen operasyon seviyelerinde çalışmaya olanak verecek sıcaklık artışı için yetersiz kalacaktır ve sıcaklık artışı için dış ısıtıcılara gereksinim duyulabilir. Bu sayede ısı amaçlı olarak bataryanın kapasitesinin bir kısmı bölünür. Diğer taraftan sıcaklığın yüksek olduğu ortamda çalıştırılan bir HEA bataryadaki aynı ısı oluşumu, termal kaçağa yol açabilir ve ek bir soğutma sistemine ihtiyaç doğabilir.[2]

Termal Kaçak :

Bir bataryada ulaşılan operasyon sıcaklığı, batarya tarafından oluşturulan ısının ortam sıcaklığına etkisi sonucunda ulaşılan sıcaklıktır. Eğer batarya aşırı akım akışına maruz kalırsa, termal kaçak olasılığı artacak ve bunun sonucunda batarya büyük boyutlarda hasara uğrayacaktır. Bu olay batarya içerisindeki ısı oluşum oranı, ısı dağılım kapasitesini aştığında vuku bulmaktadır. Bu şekilde sonuçlanan birkaç durum aşağıda sıralanmıştır:

- İlk olarak şarj esnasında akım pil boyunca akarken termal kayıplar (I^2R), elektrolitin sıcaklığını artırıp, sıcaklıkla birlikte elektrolitin rezistansı azaltarak, kaçak durumuna ulaşıncaya kadar reaksiyonu kuvvetlendirmesi.
- Şarj esnasında, şarj akımı pildeki kimyasalların ekzotermik kimyasal reaksiyonunu başlatarak şarj akımının oluşturduğu ısıyı artışına sebebiyet vermesi.
- Ya da deşarj boyunca ekzotermik kimyasal reaksiyon sonucu üretilen ısı, pil içindeki akım akışından dolayı akım oluşturarak direnç ısıyı kuvvetlendirmesi.
- Ortam sıcaklığının aşırı olması.
- Yetersiz soğutma.

Bazı koruyucu önlemler alınmadığı sürece gerçekleşecek termal kaçak, pilin yapısına ve kimyasına da bağlı olarak pilin erimesine ya da basıncının artmasıyla patlamasına ya da yanmasına yol açabilir.

Termal kontrol sistemi tüm bu faktörleri kontrol altında tutmalıdır.

Sıcaklık Kontrolleri :

Düşük sıcaklık operasyon koşulları ile başa çıkmak nispeten daha kolaydır. Isıtıcılar kapalı konumdayken bataryayı daha etkin bir operasyon sıcaklığına kademeli olarak getirecek self ısınma gibi yeterli enerji genellikle bataryada mevcuttur. Hatta bazı durumlarda batarya kullanımında değilken yeniden-şarj döngüsünde tutmak yeterlidir.

Düşük güç bataryaları için koruma devreleri bataryayı tavsiye edilen operasyon sıcaklık aralığında tutmak için yeterlidir. Buna rağmen yüksek güç devreleri termal kontrol için özel bir hassasiyet gerektirmektedir.

Dizayn Objektifleri

- Aşırı ısınmadan korumak
- Oluşan fazla ısıyı dağıtmak
- Eşit ısı dağılımı
- Minimum ağırlık artışı

Isı Geri Kazanımı

Elektrikli araçlarda olduğu üzere bazı uygulamalarda artan ısıyı kullanmak için yolcu kompartımanını ısıtma gibi fırsatlar mevcuttur ve çoğu otomotiv sistemi, araç klima kontrolüyle birlikte batarya termal kontrolünün entegre edilmiş formunu bünyesinde bulundurmaktadır. Ne yazık ki bu durum yalnızca soğuk havalarda fayda sağlamaktadır.

3.3.12 İç Direnç

Bir pilin iç direnci, pilin akım taşıyabilme kapasitesini belirler. Düşük iç direnç, yüksek akımlara sebebiyet verir.

Aynı zamanda iç direnç, elektrolitin fiziksel özelliklerinden de etkilenmektedir. Elektrolit materyalinin küçük granül boyutu, iç direncin azalmasına sebebiyet vermektedir. Yüzey alanını büyütme ve böylece iç direnci düşürme amacıyla daha çok spiral yapıdaki elektrotlar kullanılır.



Şekil 3.8 Kurşun asit batarya iç direncinin sıcaklığa bağlı değişimi

Düşük sıcaklıklarda iyi çalışmayan bir pil, yüksek sıcaklıklarda düşük direnç sayesinde ve aynı zamanda kimyasal reaksiyonların hız sabitlerinin de artmasıyla verimi artar. Fakat düşük iç direnç, ne yazık ki self deşarj oranının artmasına neden olur. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda çevrim ömrü kısalmaktadır. Yüksek güç uygulamalarında, optimum performansı elde etmek için pilin belirli bir sıcaklık aralığında çalışmasını sağlayarak ısıtma ve soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulabilir.

Deşarj çevriminin sonuna doğru aktif materyaller etkin bir şekilde tüketilerek, deşarj durumundaki son hallerine dönüştüğü için iç direnç fark edilir biçimde artma eğilimi gösterir. Deşarj çevriminin sonunda pil voltajındaki hızlı düşüş bu durumdan kaynaklanmaktadır.

Ayrıca pilin iç direncindeki I^2R kayıplarının Joule ısınması etkisi, pilin sıcaklığının artmasına neden olacaktır.

Voltaj düşüşü ve I^2R kayıpları, 100mAh'lık bir mobil telefon pili için kayda değer bir etkiye sahip olmayabilir ama 200Ah- 100 pillik bir otomotiv bataryası için büyük bir etki yaratmaktadır. 1000mA'lık lityum mobil telefon bataryasının iç direnci 100 il 200mOhm civarında iken 200 Ah'lık bit lityum otomotiv bataryası için 1mOhm civarındadır.

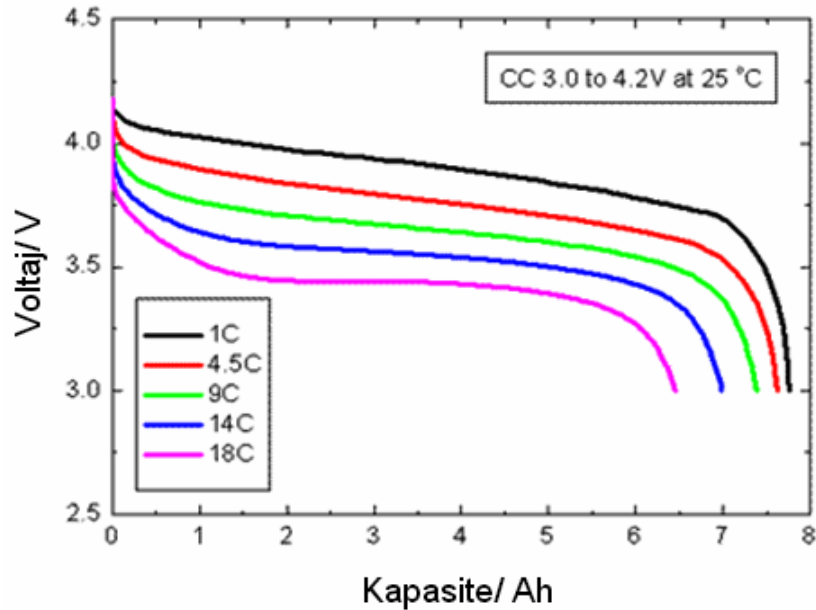
Pil eskidikçe elektrolitin rezistans özelliği artma eğilimi gösterir. Eskime(yaşlanma), elektrot yüzeyinin hasar görmesine ve rezistansla temasının artmasına ve aynı zamanda plakaların efektif alanları, elektriksel kapasitesini düşmesine sebebiyet vererek azalır. Tüm bu

nedenlerden dolayı pilin performansını olumsuz şekilde etkileyecek olan iç direnç artış gösterir. Pilin yeni halindeyken iç direnci ile gerçek iç direncinin kıyaslanması, pilin efektif kapasitesi ve yaşının saptanması için kullanılabilir bir ölçüt olabilir.

İç direnç, pilin efektif kapasitesini de etkilemektedir. İç direnç yükseldikçe özellikle yüksek akımlarda şarj ve deşarj prosesi boyunca kayıplarda artar. Bu da yüksek deşarj oranlarında kullanılabilir pil kapasitesinin azaldığı anlamına gelmektedir. Tam tersine eğer deşarj prosesi uzun bir periyotta gerçekleşiyorsa, Ampsaat kapasitesi artacaktır. Bu nedenle üreticiler, bataryalarını daha düşük deşarj oranlarına göre spesifik hale getirmişlerdir.

3.3.13 Deşarj Oranları

Bir lityum iyon pilin çok yüksek akım oranlarında deşarj edilmesi durumunda pilin efektif kapasitesindeki azalma, deşarj eğrileri ile aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

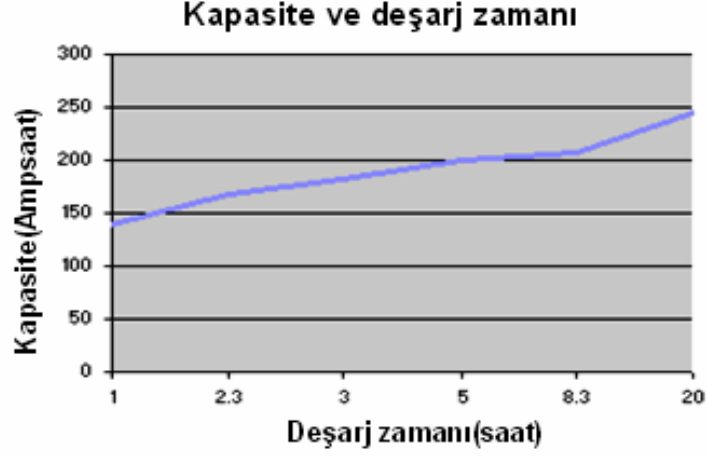


Şekil 3.9 Lityum iyon pilin farklı akım oranlarında deşarj edilmesi

Eğer deşarj prosesi elektrikli araçlarda olduğu gibi bazı yüksek akım oranlı uygulamalarda birkaç saat kadar uzun bir periyotta vuku bulursa, bataryanın efektif kapasitesi, C oranında spesifik kapasitesinin iki katına çıkabilir. Bu durum, yüksek güç uygulamalarına yönelik pahalı bir bataryanın boyutlandırılması için önemli olabilir. Aşağıdaki grafikte bir kurşun-asit bataryanın derin deşarjında, deşarj oranı 1.0C'dan 0.05C'a düşmesinden dolayı efektif kapasitesinin iki katına çıktığı görülmektedir. Bir saatten kısa deşarj süreleri için (yüksek C

oranında) efektif kapasitesi şiddetli bir şekilde düşüş göstermektedir.

Benzer şekilde şarj prosesinin verimliliği de şarj oranından etkilenmektedir.



Şekil 3.10 Deşarj zamanına göre batarya kapasitesindeki değişim

Bu grafiği yorumladığımızda;

- Otomotiv uygulamalarında, eğer yüksek akım oranları, ivmelenme ya da yokuş tırmanma durumları için kullanılırsa aracın menzili azalacaktır.
- Normal sürüş koşullarında küçük, tipik bir elektrikli araç 1 mil mesafe için 150 ile 250 Watsaat arasında enerji harcayacaktır. Bu nedenle 100 millik mesafe için 20KWh kapasiteli bir bataryaya ihtiyaç duyulacaktır.
- Hibrit elektrikli araçlarda daha küçük bataryalar kullanılmasına rağmen bu bataryaların 40C'lara varan çok yüksek deşarj oranlarında deşarj edilmesi gerekebilir. Eğer araç rejeneratif frenleme enerjisini kullanılırsa bataryanın etkin olabilmesi için çok yüksek oranlarda şarj girişine uygun olmalıdır.

Peukert Denklemi

Peukert denklemi, pilin davranışını karakterize etmek ve kapasite ayarını (Akünün deşarjı belirlenmiş olandan farklı değerlerdeki C-oranlarında yapıldığında, hesaplamalarda kullanılan düzeltme faktörü) matematiksel terimlerle nicelendirmek için en uygun ifadedir. Bir bataryanın kullanılabilir kapasitesinin deşarj oranına bağlı olarak nasıl değiştiğini yaklaşık olarak ifade eden deneysel bir formüldür.

$$C = I^n \cdot T$$

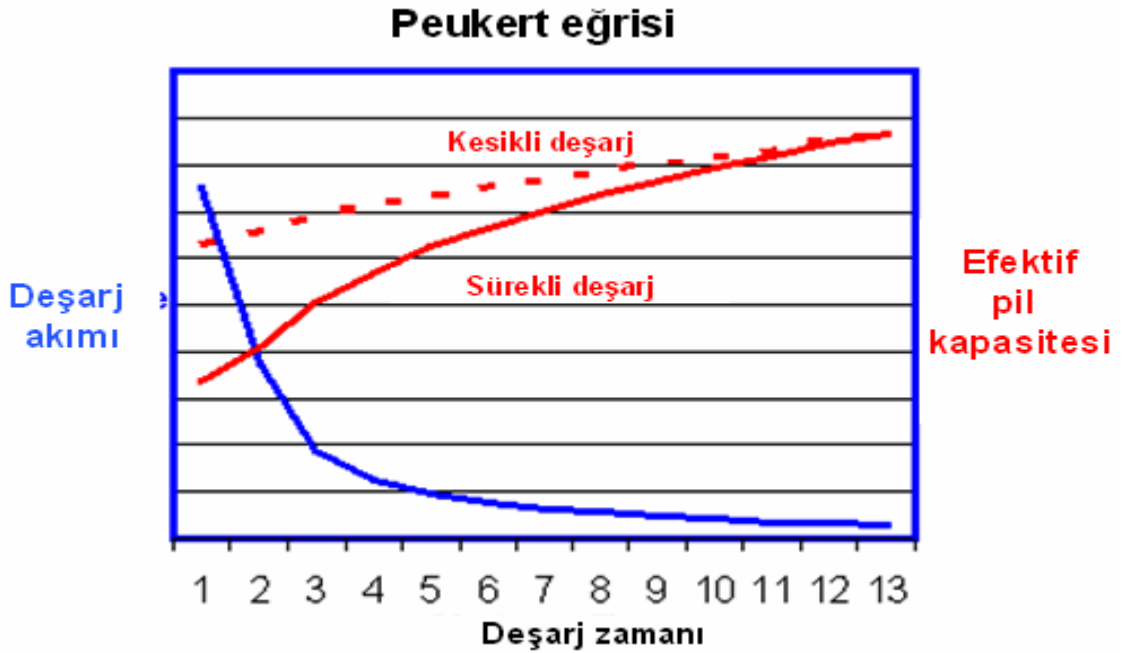
C; Amp saat olarak ifade edilen bataryanın teorik kapasitesi

I; Akım

n; Bataryaya özgü Peukert sabiti

Denklem, yüksek akımlarda bataryada kullanılabilir enerjinin azaldığını göstermektedir. Peukert sayısı, direkt olarak bataryanın iç direnci ile ilişkilidir. Bu da yüksek akımların daha çok kayıp ve daha az kullanılabilir kapasiteye neden olduğu anlamına gelmektedir.

Peukert sayısının değeri, devamlı yüksek akım altında bir bataryanın ne kadar iyi performans göstereceğini belirtir. 1'e yakın bir değer, bataryanın performansının iyi olduğu anlamına gelmektedir. Batarya, yüksek akımlarda deşarj olduğunda kapasite kaybı artar ve sayı büyür. Bir bataryanın Peukert sayısı deneysel olarak belirlenir. Kurşun-asit bataryalar için 1.3 ile 1.4 arasındadır.



Şekil 3.11 Peukert eğrisi

Yukarıdaki grafikte, çok yüksek devamlı deşarj oranlarında bataryanın efektif kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Buna rağmen aralıklı kullanımda, sıcaklık ortam seviyesine düştüğünde bataryanın devinimsiz periyot boyunca kapasite geri kazanımı için zamanı olacaktır. Eğer batarya kesikli çizgide gösterildiği gibi aralıklı olarak kullanılırsa, bu geri

kazanım potansiyelinden dolayı kapasite kaybı daha az ve operasyon verimi yüksek olacaktır. Bu, devamlı bir sabit yükte yüksek verimle çalışan içten yanmalı bir motorun davranışının tam tersidir. Bu bağlamda devamlı olarak kesintilere (durma) maruz kalan ulaşım araçları için elektrik gücü (enerjisi) en uygun çözümdür.

4. ELEKTRİKLİ ULAŞIM ARAÇLARINA YÖNELİK BATARYALAR

Elektrikli ulaşım araçlarına yönelik bataryalar ya da traksiyoner bataryalar, şarj edilebilir bataryalardır. Elektrikli ulaşım araçlarına yönelik bataryalar belli bir sürüş periyodu boyunca güç sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu bataryalar amper-saat olarak yüksek bir kapasiteye sahip olmalıdır. Elektrikli ulaşım aracı bataryaları, sahip oldukları yüksek spesifik güç, spesifik enerji ve enerji yoğunlukları ile karakterize edilirler. Aracın ağırlığını azaltarak performansında artış sağlayan daha küçük ve daha hafif bataryalardır.

4.1 Mevcut Elektrikli Araç Batarya Çeşitleri

Kurşun asit bataryalar, nikel kadmiyum, nikel metal hidrür bataryalar, sodyum bazlı bataryalar, lityum iyon bataryalar, metal hava bataryalar elektrikli ulaşım araçlarında enerji depolama birimi olarak tercih edilmektedir.

4.1.1 Kurşun- Asit Bataryalar

Elektrikli araçlarda en yaygın olarak kullanılan bataryalardır. Özellikle içten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılırlar. Fakat elektrikli araçlarda, derin çevrimlere dayanıklı daha sağlam ve sıvı elektrolitten ziyade jel elektrolitli kurşun asit bataryalar kullanılır. Bu bataryaların maliyetleri çok yüksektir.

Kurşun asit pillerde negatif plaka, aktif materyal olarak kurşun; pozitif plaka ise aktif materyal olarak kurşun dioksitten oluşur. Plakalar, seyreltik sülfürik asit elektroliti içerisine daldırılmıştır. Sülfürik asit, kurşun ve kurşun dioksit tepkimeye girerek kurşun sülfat ve su oluşturur. Bu proses boyunca oluşan elektrik enerjisi açığa çıkar. Toplam reaksiyon:



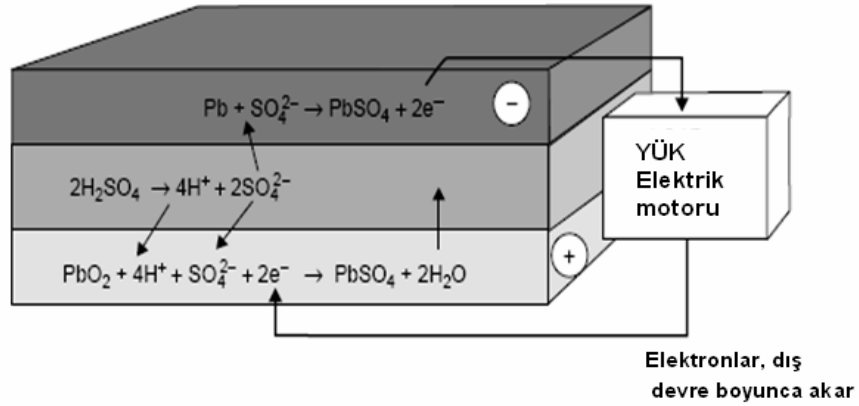
Bataryanın her elektrotundaki reaksiyonlar, Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir. Diyagramın üst kısmında bataryanın deşarj hali görülmektedir. Her iki elektrot reaksiyonu da kurşun sülfat oluşumu ile sonuçlanır. Elektrolit giderek sülfürik asit kaybına uğrar ve bunun sonucunda daha da seyreltik olur.

Şarj olurken (Şekil 4.2), elektrotlarda, kurşun ve kurşun dioksit oluşumu başlar ve elektrolitin sülfürik asit yoğunluğu artar.

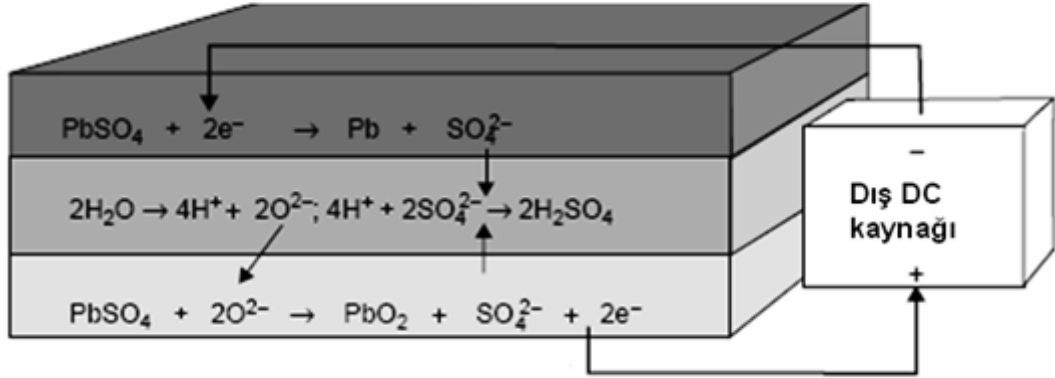
Kurşun asit bataryalar, en yaygın olarak kullanılan yeniden şarj edilebilir bataryalardır. Bunun asıl nedeni, bataryayı oluşturan temel unsurların (kurşun, sülfürik asit, plastik mahfaza) maliyetlerinin düşük olması, emniyetli bir şekilde işlev görmesi ve pil başına 2V civarında oldukça yüksek bir voltaja sahip olmasıdır. Çizelge 4.1’de bataryanın tüm karakteristikleri belirtilmiştir.

Kurşun asit bataryanın en önemli özelliklerinden birisi de aşırı derecede düşük iç direncidir. Bu da bataryadan akım çekildiğinde voltajdaki düşüş çok küçük hatta herhangi bir elektrikli araç bataryasından daha küçük olacaktır. Bir pilin kapasitesi, plakaların alanlarıyla doğru orantılıdır ve iç direnç plaka alanıyla ters orantılıdır. Bunun sonucu olarak da iç direnç, kapasite ile ters orantılıdır. Çizelge 4.1’de performansı iyi bir bataryanın iç direnci 0.022Ω verilmiştir. Bir kurşun asit bataryanın iç direnci aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R = Pilsayisi \times \frac{0.022}{C_{10}} \text{ Ohms} \quad (4.2)$$



Şekil 4.1 Kurşun asit bataryanın deşarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar.



Şekil 4.2 Kurşun asit bataryanın şarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar

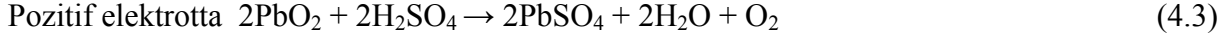
Çizelge 4.1 Kurşun asit bataryalar için nominal batarya parametreleri
(Larminie ve Lowry, 2003)

Spesifik enerji	20-35 Wh.kg ⁻¹ kullanım şekline bağlı
Enerji yoğunluğu	54-95 Wh.L ⁻¹
Spesifik güç	~250 W.kg ⁻¹ verim büyük oranlarda düşüş göstermeden önce
Nominal pil voltajı	2V
Ampsaat verimi	~%80 deşarj oranı ve sıcaklıkla değişiklik gösterir
İç direnç	Oldukça düşük, 1 Ampsaatlik pil için, pil başına ~0.022Ω
Ticari olarak temini	Çeşitli üreticilerden temin etmek mümkün
Operasyon sıcaklığı	Ortam sıcaklığında, aşırı soğukta düşük performans
Çevrim ömrü sayısı	800 civarında %80 kapasiteye kadar
Şarj dolun süresi	8 saat (1 saat içinde %90 yeniden şarjı mümkün)

12 V'luk bir bataryanın pil sayısı, nominal batarya voltajının 2'ye bölünmesiyle bulunur. C₁₀, 10 saatlik bir periyotta Ampsaat kapasitesidir.

Kurşun asit bataryaların karakteristikleri

Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilen kurşun asit batarya reaksiyonlarının dışında reaksiyonlarda gerçekleşir. Sülfürik asit içerisindeki kurşun ve kurşun dioksit stabil değildir ve çok yavaş da olsa bozunurlar:



Bu durumda bataryanın self-deşarj olmasına neden olur. Bu reaksiyonların hız sabiti pilin sıcaklığına göre değişir, sıcaklık arttıkça daha hızlı gerçekleşir. Aynı zamanda komponentlerin saflığına ve elektrotları tutan alaşımların içeriği gibi diğer faktörlere de bağlıdır.

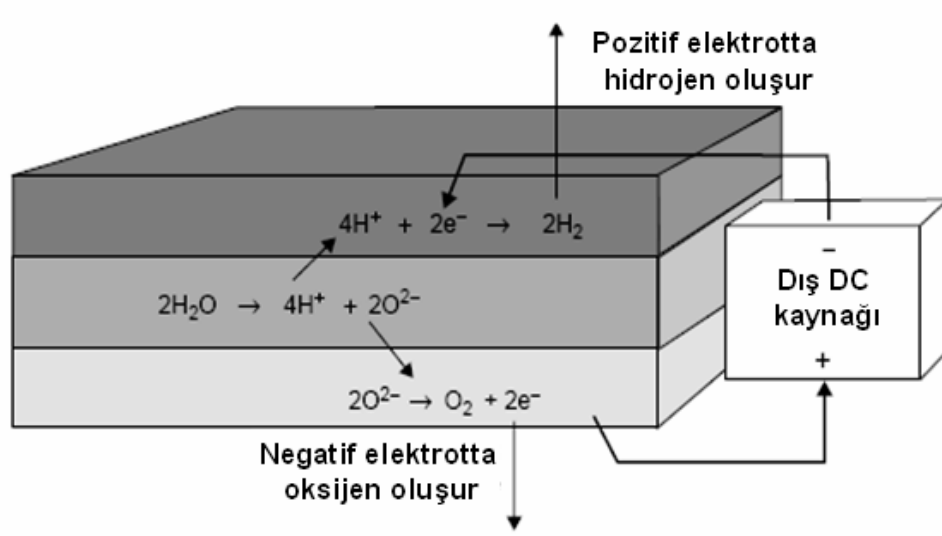
Bataryanın deşarj operasyonu boyunca da vuku bulan bu istenmeyen reaksiyonlarda hidrojen ve oksijen gazı açığa çıkar. Eğer batarya ani bir şekilde deşarj edilirse, düşük voltaj, yüksek sıcaklık, yüksek elektrot aktivitesi gibi nedenlerden dolayı bu reaksiyonlar ve gaz oluşumu daha hızlı gerçekleşir ki, bu deşarj reaksiyonları tüm pillerde aynı oranda gerçekleşmez ve böylece bazı piller, diğerlerinden daha fazla deşarj olur. Bu durum bataryanın şarj edilmesi açısından önem taşımaktadır. Yani tüm pillerin şarj tam olarak şarj olduğunu garantilemek için bazı piller aşırı şarj durumuna tolerans göstermek zorunda kalacaktır.

Kurşun asit batarya aşırı şarj durumundayken gerçekleşen reaksiyonlar Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Bu gaz reaksiyonları, elektron alan ya da veren elektrotlarda daha fazla kurşun sülfat kalmadığında gerçekleşir. Yani batarya tam dolu şarj halindeyken gerçekleşir.

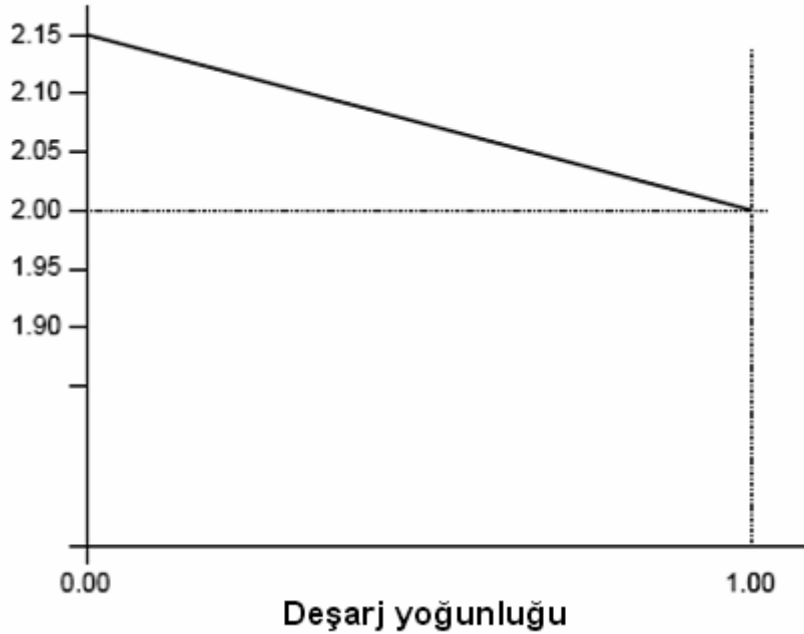
Şarj ve deşarj reaksiyonları, pil elektrolitlerinin konsantrasyonlarını değiştirmektedir. Reaktanların konsantrasyonundaki değişim, deşarj olurken pilin üretmiş olduğu voltajda küçük bir değişime yol açmaktadır. Voltajdaki düşüş Şekil 4.4’da gösterilmiştir. Modern sızdırmaz bataryalarda bu değişim lineerdir. Batarya voltajının, batarya şarj durumuna dair bir gösterge olarak kullanılamayacağı dikkate alınmalıdır.

Şekil 4.3’deki aşırı şarj reaksiyonunun dikkat edilmesi gereken bir diğer noktası, suyun hidrojen ve oksijene dönüşerek kaybolmasıdır. Eski bataryaların dizaynlarında bu gazlar menfezden dışarı verildiği ve zaman zaman elektrolit sıvısı takviyesi yapıldığı kaydedilmiştir. Modern sızdırmaz bataryalarda böyle bir sisteme gerek duyulmamıştır; gazlar batarya içerisinde tutulur ve tekrar su oluşturmaları için rekombinasyonlarına izin verilir. Tabi ki bu oluşum için

bir limit vardır ve gaz oluşumunun hızlı bir şekilde gerçekleşmemesi için aşamalı olmalıdır.



Şekil 4.3 Kurşun asit batarya tam dolu şarj halindeyken gerçekleşen gaz reaksiyonları



Şekil 4.4 Grafik sızdırmaz bir kurşun asit bataryanın açık devre voltajının şarj durumuna göre değişimini göstermektedir.

Kurşun asit batarya üreticileri, bataryaları uzunluk genişlik ve ağırlık açısından çok geniş bir aralıkta üretebilmektedirler. Kurşun asit bataryaların farklı uygulamalarda farklı dizaynlarda

olmak üzere çok yaygın bir kullanımı olması doğru batarya tipini seçme açısından problem yaratabilir. Klasik arabalarda kullanılan batarya tipi, başlatıcı-aydınlatıcı-ateşleyici (SLI) olarak ifade edilen ve elektrikli araç uygulamaları için uygun olmayan bir batarya tipidir. Bu uygulamalar için uygun olan traksiyoner ve derin çevrim tipi bataryalardır. Bu tip bataryalar, kurşun asit bataryaların maliyet açısından en pahalı olanlarıdır.

Yüzyılı aşkın süredir sulu kurşun asit bataryalar; traksiyon, yedekleme ya da stand by güç sistemleri dahil olmak üzere güç uygulamaları için standart enerji kaynağı olmuştur. Son yirmi yılda araştırmalardaki kayda değer ilerlemeler sonucu valf ayarlamalı kurşun asit (VRLA) nın geliştirilmesi ile sulu kurşun asit dizaynına bir alternatif olarak ön plana çıkmıştır. Birim hacim başına daha fazla enerji yoğunluğu ile VRLA bataryalara olan talep, traksiyoner batarya uygulamalarında büyümeye devam etmektedir.

Traksiyoner uygulamalar için VRLA batarya teknolojisi, özellikle de EA uygulamalarında, batarya bloklarındaki pillerin kurumasını önleyen distile edilmiş su seviyesinin ayarlanması ve emniyet işlemleri için minimum kontrol ve bakım gerektirmeyen bataryalara olan talepten doğmuştur. Günümüzde hiç bakım gerektirmeyen batarya henüz mevcut olmadığı için buradaki bakım gerektirmeyen bataryadan kasıt çok daha az bakım gerektiren bataryadır.

Ticari olarak mevcut bataryalar absorbe fiberglas mat (AGM) ve jel teknolojisi olmak üzere iki çeşittir. Bu iki bataryanın dizaynı sulu kurşun asit batarya ile benzerlik gösterir.

Sulu bataryalar periyodik olarak distile su ikmaline ihtiyaç duyarlar. Su bataryanın her pilinin içine bir menfez başlığından eklenmektedir. Şarj işlemi gerçekleşirken eriyikli kurşun asit bataryalarda gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyon sonucu pil potansiyeli ve ya başka bir deyişle pil voltajı oluşur ve her iki elektrot arasında potansiyel fark yaratır. Şarj işlemi boyunca elektrolit çözeltisindeki su, elektroliz sonucu O₂ ve H₂ iyonlarına ayrılmaktadır. Oluşan oksijen ve hidrojenin %30'u tekrar reaksiyona girmektedir. Oysaki yüksek batarya verimi için devamlı olarak su ikmaline gereksinim duyulmamalı ve bunun sonucu olarak bakım maliyetleri önemli ölçüde azaltılmış olmalıdır. Rekombinasyon faktörü artırılmış VRLA bataryalarda verim %95 -99 civarındadır. Özel havalandırma ve asit içeriği gereksinimleri VRLA bataryalarda minimal seviyededir. Bu durum bataryaların elektronik devrelerin yanı sıra yerleştirilmesine imkan tanır. VRLA bataryalarının iki çeşidi, absorbe mat fiberglas (AGM) bazlı batarya ve jel bazlı bataryadır.

AGM bazlı VRLA bataryada elektrolit, seperatörlere emdirilmiştir. Standart plakaları kullanmasından dolayı sulu batarya ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca elektrolit solüsyonu

açısından daha yüksek özgül ağırlığa sahiptir. Fiberglas, tıpkı bir sünger gibi davranarak serbest elektrolit absorbe etmek ve tutmak amacıyla kullanılır. AGM aynı zamanda rekombinasyon ile plakalar arasında oksijen değişimine de izin verir. Aynı zamanda fiberglas bataryanın pozitif ve negatif plakaları arasında elektriksel ayırım ya da yalıtımı sağlar.

Fiberglasın kalınlığı elektrolitin absorplanma derecesini belirler. Daha kalın olanlar elektrolit depolayabilirken, ince olanlar ise muhtemelen pili kurutacaktır. Bu da plakaların kısılmasını önlemektedir. AGM bataryanın güvenlik menfezi ve alev tutucu, eriyikli kurşun-asit batarya dizaynından farklılık gösteren diğer unsurlardır. Menfez ve alev tutucu, normal batarya operasyonu esnasında oksijenin serbest kalmasını önler ve böylece elektrolitin rekombinasyon için batarya iç basıncı muhafaza edilir. Ayrıca kıvılcım ve elektrik arklarını önleyerek emniyet cihazı gibi görev yapar. Aşırı gaz basıncı yükselmesi durumunda menfez basınç ayarlayıcı olarak görev yapar.

İkinci tip VRLA bataryada ise jel teknolojisi baz alınmıştır. Bu batarya da eriyikli kurşun asit bataryada olduğu gibi elektrolit ve plakalar bulunmaktadır. Silikanın saf formu asidik bir jel oluşturmak suretiyle elektrolite eklenir. Jel tamamen kurduğunda çatlaklar oluşur. Asidik jeldeki bu çatlaklar pozitif ve negatif plakalar arasında oksijen difüzyonuna izin verir. Böylece rekombinan bir jel teknolojisi ortaya çıkmaktadır. Yüksek bir akışkan form içindeki asidik jel Prelyte olarak adlandırılır ve batarya ömrünü uzatan oksijen difüzyonunu artırır. Jel teknolojisinde de tıpkı AGM bataryada olduğu gibi batarya iç basıncını muhafaza etmek ve olağandışı çalışması durumunda hidrojen ve oksijenin serbest kalmasını önlemek için menfez ve alev tutucu yerleştirilmiştir. Mevcut elektrolit hacmi batarya performansı belirlenmesi açısından önemli bir faktördür. Böylece Ampsaat olarak daha düşük, eriyikli batarya, hacimce geniş bir asit rezervuarına sahip olduğu için daha büyük bir VRLA bataryadan daha uzun süreli performans göstermektedir. (Dhameja, 2001)

Ayrıca AGM batarya dizaynı düşük iç direnç ve benzerlerine oranla daha yüksek yoğunluklu elektrolitten dolayı çok yüksek bir performans sergilemektedir. Deşarj sonu voltajı oranları ve ampsaat olarak kapasite değerlerini, VRLA bataryaları, eriyikli kurşun asit bataryalarla kıyaslama açısından baz almak etkin bir yaklaşım değildir. Batarya havalandırılması, asit içerme, kapladığı hacim gibi ekonomik açıdan önem taşıyan faktörleri de batarya seçiminde göz önünde bulundurmak doğru bir yaklaşım olacaktır.

Yüksek akım ve yüksek spesifik güç için özel olarak dizayn edilmiş VRLA bataryalar, hibrid uygulamalar için oldukça elverişlidir.

Batarya Ömrü ve Bakımı :

Kurşun asit bataryalarda gerçekleşen gaz reaksiyonlarının elektrolit kaybına neden olur. Klasik bataryalarda belirli aralıklarla distile olmuş su eklenerek bu durum telafi edilir, modern araç kurşun asit bataryalarının sızdırmaz oluşu elektrolit kaybını engellemektedir. Ayrıca çoğunlukla elektrolit sıvıdan ziyade jeldir. Bu da elektrolitin uzun süre bakım gerektirmeyeceği anlamına gelmektedir. Yalnız sızdırmazlık bataryanın tamamını kapsamaz, belli bir basınçta gazları serbest bırakan valf bulunmaktadır ve gaz çıkışı gerçekleştiğinde su kaybı sürekli ve telafi edilememektedir. Bu özellik bir çeşit emniyet gereksimidir ve bu tip bataryalar valf ayarlamalı kurşun asit batarya (VRLA) olarak adlandırılmaktadır. Aşırı şarj esnasında reaksiyonların çok hızlı gerçekleştiğinde gaz oluşumuna neden olan, şarj voltajının çok yüksek olmasıdır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda batarya hasar görecektir. Diğer taraftan VRLA gibi bataryalar genellikle bakım gerektirmez.

Bakım gerektirmeyişi bataryaların sonsuza kadar işlev göreceklere anlamına gelmez. Su kaybı gerçekleşirse de kurşun asit bataryalar kullanım ömürlerini kısaltan birçok etkiye maruz kalırlar. Bunlardan en çok bilineni ise sülfasyondur. Bu durum bataryanın iki ya da daha fazla süreyle deşarj durumunda bırakıldığında ortaya çıkar. Elektrotlardaki kurşun sülfatlar büyük kurşun ya da kurşun peroksitlere dönüşümü zor olan kristaller oluşturur ve elektrotların yüzeyini kaplayan yalıtkan bir tabaka meydana getirirler. Yavaş bir şekilde bataryayı yeniden şarj ederek bazen kısmi dönüşümü sağlanabilir fakat genellikle bu dönüşüm gerçekleşmez.

Bataryanın şarj durumunun uygun seviyede olmasını sağlamak sülfasyon problemini ortadan kaldıracaktır. Her ne kadar dikkat edilse de bazı problemlere engel olunamaz. Bataryanın elektrotları içerisinde, aktif materyaller arasındaki bağlantıda elektriksel direncini arttıran korozyon reaksiyonları vuku bulur ve böylelikle aktif materyaller giderek daha büyük kristaller oluşturur, sonuç olarak reaksiyon hız sabitini (derecesi) düşürerek ve bataryanın kapasitesini azaltarak yüzey alanı küçülecektir. Şarj/deşarj operasyonu boyunca aktif materyallerin sürekli boyut değişimi ve titreşim etkileri, yavaş yavaş yerlerin çıkmalarına neden olacaktır. Sonuç olarak taşıyıcılarıyla iyi bir elektriksel bağlantı sağlayamayacak ve düşerek tamamen bağlantısız olacaklardır.

Tüm bu problemlerden dolayı kurşun asit bataryanın ömrü 700 çevrim civarındadır ki bu çevrim sayısı özellikle derin çevrimlere bağlıdır. Elektrikli araçlardaki yaklaşık ömrü 700 çevrim ya da 5 yıldır (Bosch 2000).

Bataryanın Şarj Edilmesi :

Kurşun asit bataryanın şarj edilmesi kompleks bir prosedürdür ve doğru bir şekilde şarj edilmediği takdirde batarya hasar görerek ömrü azalacaktır. Şarj operasyonu çok yüksek voltajlarda gerçekleştirilmemelidir. Aksi takdirde su kaybı gerçekleşecektir.

Kurşun asit bataryalarının şarj işlemini en iyi şekilde gerçekleştirmek için batarya üreticisinin tavsiyeleri dikkate alınmalıdır.

Kurşun asit bataryalar için en yaygın olarak kullanılan teknik çok aşamalı şarj metodudur. Bu metotta batarya, pil voltajı önceden belirlenen seviyeye ulaşana kadar şarj edilir. Sonra akım kapatılır ve pil voltajının yine daha önceden saptanmış bir seviye düşmesine izin verilir, akım tekrar açılır. Buradaki problem ise; önceden belirlenen voltajların batarya tipine aynı zamanda sıcaklığa göre değişiklik göstermesidir. Kurşun asit bataryalar çok farklı uygulamalarda kullanılırlar da her batarya için uygun şarj cihazı tedarikçilerden temin edilebilir.

Kurşun asit bataryalar, kilowatt-saat şarj olarak en ucuz yeniden şarj edilebilen bataryadır. Buna rağmen spesifik enerjisi düşüktür ve bir kurşun-asit bataryayla dizayn edilmiş aracın ulaşacağı menzili kestirmek zordur. Hiç şüphe yok ki kurşun asit bataryalar uzun bir süre daha kısa mesafeli araçlarda kullanılmaya devam edilecektir.

4.1.2 Nikel Bazlı Bataryalar

Nikel demir, nikel çinko, nikel kadmiyum, nikel metal hidrür bataryalar nikel bazı olarak sınıflandırılır. Bunların arasında nikel metal hidrür bataryaların performansı oldukça iyidir. Nikel çinko batarya da makul bir performans sergilemesine rağmen, 300 derin çevrimlik limitli bir ömre sahiptir. Nikel/ demir bataryaların da uygulamaları da oldukça azdır.

4.1.2.1 Nikel Kadmiyum

Nikel kadmiyum batarya, elektrikli araç uygulamaları için kurşun asit bataryaların en büyük rakibi olarak görülmektedir ve sahip oldukları spesifik enerji neredeyse kurşun asit bataryaların spesifik enerjilerinin iki katıdır.

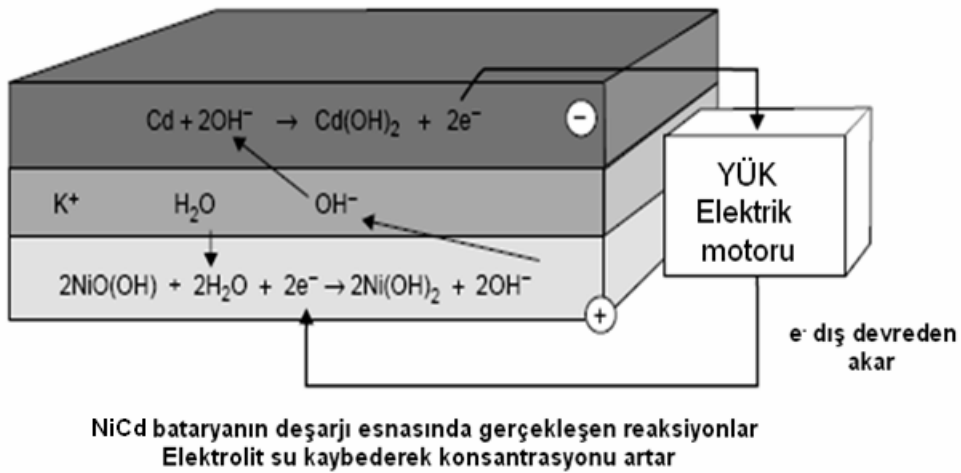
NiCd bataryalarda, pozitif elektrot nikel oksihidroksitten ve negatif elektrot ise metalik kadmiyumdan oluşur. Aşağıda gösterilen reaksiyon sonucunda elektrik enerjisi elde edilir.



Elektrotlarda gerçekleşen reaksiyonlar ve bataryanın nasıl çalıştığı Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Piller deşarj olurken elektrolitin konsantrasyonu artar.

Nikel kadmiyum bataryalar, elektrikli araçlarda dahil olmak üzere birçok uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 2500 Civarında uzun bir çevrim ömrü, yüksek spesifik güç, -40°C’ den +80°C’ ye kadar geniş bir operasyon sıcaklık aralığı, düşük self- deşarj, uzun süreli depolama gibi özellikleri NiCd bataryayı cazip hale getirmektedir. Bu da kurşun asit bataryalardakilere göre daha yavaş gerçekleşen self-deşarj reaksiyonları ile çok daha stabil bir batarya olmasına sebebiyet vermektedir. NiCd bataryaları farklı şekil ve boyutlarda satın almak mümkündür fakat elektrikli araçlar için gerekli boyutlarda bulmak kolay olmayabilir, NiCd bataryaların temel kullanım alanları portatif cihazlar ve elektronik ekipmanlardır. Aynı zamanda mekaniksel ve elektriksel olarak oldukça dayanıklıdır ve bir saat içinde şarj edilebilmeleri mümkün olmakla birlikte 20 dakika içerisinde %60 kapasiteye kadar şarj olabilmektedirler.

Diğer taraftan her pilin operasyon voltajının sadece 1.2V civarında olması ve her 12V’luk batarya için 10 adet pil gerekmesi, 6 pillik kurşun asit bataryalarla kıyaslandığında olumsuz bir özellik olarak değerlendirilebilir. Bu durumda NiCd bataryaların neden daha yüksek maliyete sahip olduklarına dair az da olsa bir fikir verebilir. Bir diğer problem ise maliyet açısından kadmiyum kurşundan çok daha pahalı ve çevreye zararlı aynı zamanda kanserojenik olmasıdır.



Şekil 4.5 NiCd bataryanın deşarjı esnasında gerçekleşen reaksiyonlar. Şarj operasyonu esnasında reaksiyonların tersi gerçekleşir.

Çizelge 4.2 Nikel kadmiyum bataryalar için nominal batarya parametreleri

Spesifik enerji	40- 55 Wh.kg ⁻¹ akıma göre değişir
Enerji yoğunluğu	70- 90 Wh.L ⁻¹ akıma göre değişir
Spesifik güç	~125 W.kg ⁻¹ verimi azalmadan önce
Nominal pil voltajı	1.2 V
Ampersaat verimi	iyi
İç direnç	çok düşük, 1 Ampsaatlık pil için pil başına ~0.06Ω
Ticari olarak temini	küçük boyutlarda temini kolay, büyük boyutlarda ise zor
Operasyon sıcaklığı	-40 ⁰ C'den +80 ⁰ C'ye kadar
Çevrim ömrü sayısı	1200 civarında %80 kapasiteye kadar
Şarj dolun süresi	1 saat, 20 dakikada %60 kapasiteye kadar hızlı şarj

NiCd bataryalar, kurşun asit bataryaların maliyet olarak 3 katıdır. Daha uzun çevrim ömrüne sahip olmaları bu yüksek maliyetin nedeni olarak gösterilebilir. 35⁰C'nin altında şarj veriminin ani bir şekilde azalıyor olması elektrikli araçlarda kullanılmasına engel teşkil etmez. Peugeot 106, Citroen AX ve Reno Clio ve Ford Th!nk'in elektrikli versiyonlarında kullanılmaktadır.

NiCd bataryaların da kurşun-asit bataryalar gibi doğru bir şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. NiCd bataryalar, kurşun asit bataryalara göre self deşarja daha az eğilimlidirler. Normalde voltaj önceden belirlenen bir seviyeye ulaşana kadar sabit bir akımda şarj edilir, belirlenen seviyeye ulaşıcında akım kesilir. Bu noktada pil voltajı önceden belirlenen daha düşük bir voltaja iner ve akım tekrar açılır. Bu prosese batarya şarj oluncaya kadar devam edilir. Daha çok bataryaların daha düşük, sabit bir akımda şarj edilmesi tercih edilir. Bu işlem daha kolay olmasına rağmen daha fazla sürede gerçekleşir.

NiCd bataryayı ön plana çıkaran bir diğer özelliği ise aşırı şarj olma durumunun üstesinden gelebilmesidir. Bu da pil yapısındaki negatif elektrottaki kadmiyum hidroksit fazlalığından kaynaklanmaktadır. Böylece pozitif elektrot sürekli olarak tam dolu şarj durumunda olacaktır. Şarj akımının devam etmesi, pozitif elektrotta aşağıdaki reaksiyonun vasıtasıyla oksijen

oluşumu ile sonuçlanacaktır:



Serbest kalan oksijen negatif elektrotta difüze olur burada kadmiyumla reaksiyona girerek ve (4.6) reaksiyonunda oluşan suyu kullanarak kadmiyum hidroksit oluştururlar.



Bu reaksiyonun yanı sıra normal şarj reaksiyonu da (4.6) reaksiyonunda ortaya çıkan elektronları kullanarak bu elektrotta gerçekleşecektir.



(4.7) ve (4.8) denklemlerini karşılaştırdığımızda kadmiyum hidroksit oluşum oranının, kadmiyuma dönüşüm oranına tam olarak eşit olduğu görülmektedir. Bu da batarya herhangi bir materyal net kullanımı olmaksızın sürdürülebilir bir sistem olduğunun göstergesidir. Bu aşırı şarj durumu süresiz olarak devam edebilir. Çoğu NiCd bataryaların boyutları ve dizaynları, 100Ampsaat'lik bir batarya 10A'de olmak suretiyle C/10 oranında sürekli bir şekilde şarj olmaya devam edebilir. Bu aşırı şarj akımı boşa harcanan enerjiyi temsil etmekte fakat bataryada herhangi bir hasara yol açmamaktadır ve tam dolu şarj için pillerin eşitlendiği son safhada batarya şarj edilirken bazı pillerin için yapılması zorunluluk gerektirmektedir.

Nikel kadmiyum bataryanın iç direnci, kurşun asit bataryalardaki kadar olmasa da düşüktür. Bu durum da maksimum ekonomik spesifik güçte biraz da olsa azalmaya neden olmaktadır. Bir NiCd bataryanın iç direncinin deneysel olarak elde edilmiş formülü aşağıda gösterilmiştir:

$$R = \text{Pilsayisi} \times \frac{0.06^*}{C_3} \text{ Ohms} \quad (4.9)$$

* Bu formüldeki 0.06 faktörü, kalite değeri iyi olan NiCd traksiyoner bir bataryanın küçük bir örneğinin ölçüm değerleri baz alınarak tespit edilmiştir.

(4.9) denklemini, kurşun asit piller için olan (4.2) denklemiyle karşılaştırdığımızda 0.06 sayısının 0.022'ye göre daha büyük olduğunu görmekteyiz ayrıca bu denklemdeki pil sayısı, kurşun asit bataryalar için gerekli olan pil sayısından daha fazla olacaktır.

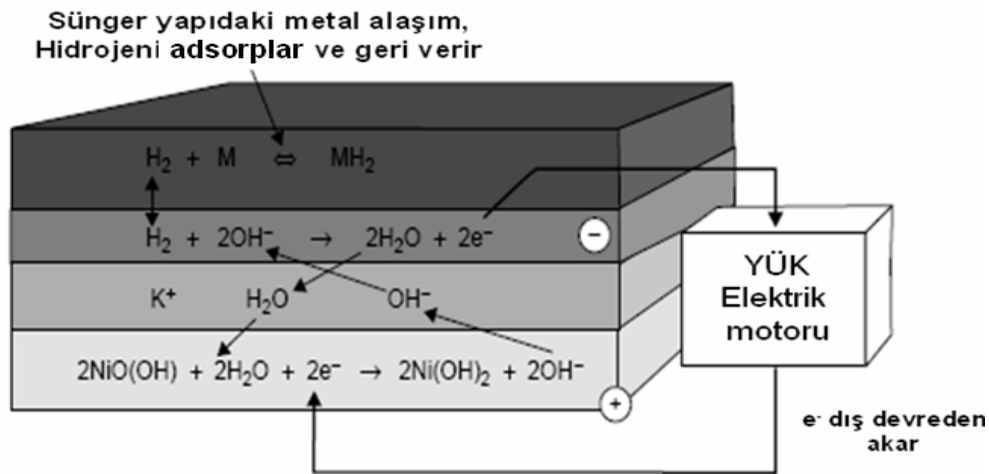
4.1.2.2 Nikel Metal Hidrür Bataryalar

Nikel Metal Hidrür (NiMH) bataryalar, 20. yüzyılın son 10 yılı içerisinde ticari olarak piyasaya sürülmüştür. NiCd bataryalarla performans açısından benzerlik gösterse de NiMH bataryaları avantajlı konuma getiren temel fark ise negatif elektrotun bir metal hidrit içerisinde absorbe edilmiş hidrojeni kullanır.

Dikkat değer bir özelliği ise bu bataryanın negatif elektrotunun tam olarak bir yakıt pili gibi davranmasıdır.

Pozitif elektrottaki reaksiyon NiCd pillerinde gerçekleşen reaksiyonla aynıdır; deşarj boyunca nikel oksihidroksit, nikel hidroksite dönüşür. Negatif elektrotta metalden serbest bırakılan hidrojenler, su ve elektronlar oluşturmak üzere reaksiyona girer. Her bir elektrottaki reaksiyonlar Şekil 4.6.'de gösterilmiştir.

Hidrojenleri tutan metaller, formülasyonları tescilli alaşımlardır. Çalışma prensibi ise yakıt pillerinde olduğu gibi metal hidrit, hidrojen depolar. Temel prensip ise tersinir bir reaksiyondur ki hidrojen metale bağlanır, gerek duyulduğunda hidrojen serbest bırakılır. Bu tip bir çalışma yürütebilmek için pilin sızdırmaz olması gerekmektedir, absorpsiyon/desorpsiyon prosesi hidrojen gazı basıncı açısından sürüş için önem teşkil etmektedir. Sızdırmazlıkla ilgili bir diğer önemli husus ise; pil içerisine hava girişi olduğunda, hidrojen absorplayan alaşımlar zarar görecektir. Bu durumun nedeni ise havayla reaksiyona girmesi ve hidrojen depolamak için kullanılacak yerleri diğer moleküllerin işgal etmesidir.



Şekil 4.6 Nikel metal hidrit pilin deşarjı boyunca gerçekleşen reaksiyonlar.

Şarj operasyonu boyunca reaksiyonlar ters yönde gerçekleşir. Burada dikkat edilmesi gereken şarj ve deşarj operasyonlarının her ikisinde oluşan su tam olarak aynı oranda kullanılır ve bu yüzden elektrolitte şarj durumuna bağlı olarak bir değişim gözlenmez.

NiMH batarya için toplam reaksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir:



Enerji ve güç yoğunluğu açısından metal hidrit piller, NiCd bataryalara göre kısmen daha iyi durumdadırlar. NiMH bataryaların nominal spesifik enerjisi 65 Wh.kg^{-1} , nominal enerji yoğunluğu 150 Wh.L^{-1} ve maksimum spesifik gücü ise 200 W.kg^{-1} civarındadır. Çizelge 4.3'de NiMH bataryalara ait diğer bilgiler gösterilmiştir. Performans açısından NiCd bataryalara göre biraz daha iyi olsa da benzerlik göstermektedir. Nominal pil voltajı 1.2V 'dur.

NiCd bataryalara göre NiMH bataryaların iyi olduğu bir başka özellik ise daha hızlı şarj olmasıdır. Çok hızlı bir şekilde şarj edilebilmekte fakat soğutma sistemini gerektirmektedir.

Çizelge 4.3 Nikel metal hidrit bataryalar için nominal batarya parametreleri

Spesifik enerji	$\sim 65 \text{ Wh.kg}^{-1}$ güç durumuna bağlı
Enerji yoğunluğu	$\sim 150 \text{ Wh.L}^{-1}$
Spesifik güç	200 W.kg^{-1}
Nominal pil voltajı	1.2 V
Ampersaat verimi	Oldukça iyi
İç direnç	Çok düşük, 1 Ampsaat'lik bir pil için $\sim 0.06\Omega$
Ticari olarak temini	Küçük piller şeklinde temini kolay, traksiyoner bataryalar şeklinde zor
Operasyon sıcaklığı	Ortam sıcaklığı
Çevrim ömrü sayısı	%80 deşarj ile ~ 1000
Şarj süresi	1 saat, %60 kapasiteye kadar 20 dakikada hızlı şarj

Bataryanın iç direncinden dolayı ortaya ısı enerjisi çıkışı olmakla birlikte negatif elektrotun

hemen bitişindeki metale hidrojenin bağlandığı reaksiyon oldukça güçlü bir ekzotermik reaksiyondur. Araç bir bisiklet ya da scooter olmadığı sürece soğutma sistemi NiMH batarya sistemleri açısından önem oluşturmaktadır. Bu nedenle batarya kasasına soğutucu fanlar monte edilmiştir.

NiMH bataryaların enerji depolama kapasiteleri NiCd bataryalara göre kısmen daha yüksek ve fiyat olarak da daha pahalıdır. Bu batarya tiplerinin NiCd bataryalarla kıyaslandığında tek olumsuz yanı self deşarj özellikleridir. Hidrojen molekülleri çok küçüktür ve bu nedenle kolayca elektrolitten pozitif elektrotta difüze olurlar ve aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir:



Hidrojenin negatif elektrottan ayrılarak pozitif elektrotta nikel hidroksiti oluşturmasıyla pil deşarj olur. Sonuç olarak batarya oldukça hızlı bir şekilde self deşarja maruz kalır.

Elektrolit kompozisyonun şarj ve deşarj süresince değişmiyor olması yani oluşan ve kullanılan su ve OH⁻ iyonlarının tam olarak aynı oranda olması, pilin açık devre voltajı ve iç direncinin deşarj boyunca hem kurşun asit hem NiCd bataryalara göre oldukça durağan olmasına neden olur.

Şarj prosedürü NiCd bataryalarla benzerlik göstermektedir. NiCd bataryalarda olduğu gibi NiMH bataryaları da bir saat içinde şarj etmek mümkündür. NiCd pillerde olduğu gibi pillerin çoğu 0.1C'luk aşırı şarj durumunun üstesinden gelebilir. Daha öncede belirtildiği gibi aşırı şarj, bataryada her pilin tam olarak şarj olduğundan emin olabilmek için zorunluluk teşkil etmektedir.

Tüm yeni batarya sistemleri arasında NiMH bataryalar en gelişmiş bataryalardan biri olmakla birlikte en başarılı hibrit araçlardan Toyota Prius da dahil olmak üzere birçok araçta kullanılmaktadır. NiMH bataryaların pazarı şu an için küçük olmakla birlikte üretim sayısı arttıkça fiyatı da düşecektir. Gelecek vaat eden batarya tiplerinden biridir.

4.1.3 Sodyum Bazlı Bataryalar

1980'lerde likit sodyum negatif elektrot kullanan bir dizi batarya geliştirilmiştir. Bu bataryaları diğer bataryalardan ayıran en önemli özelliği yüksek sıcaklıklarda (350°C) çalışabilmesidir. Erimiş sodyum formunda bir ya da daha fazla likit elektrotlar ve katı bir seramik elektrolit kullanımı da yapılarını farklı kılan özellikleridir. Yüksek sıcaklıklarda çalışma gereksiniminden dolayı elektrikli arabalar gibi geniş sistemler için pratiktirler, scooter

ve motosikletler için uygun değildirler.

4.1.3.1 Sodyum Sülfür Bataryalar:

Bu bataryalar 1970lerde geliştirilmeye başlanmıştır, 300⁰C ve 350⁰C arasındaki sıcaklıklarda çalışırlar. Bataryayı sıcak tutmak için, piller boş bir kutu içine etrafı kapalı şekilde sarmalanmıştır. Basit sodyum sülfür pilleri, kurşun asit bataryaların neredeyse altı katı bir spesifik enerjiye sahiptir fakat deneysel bataryalarda sarılım kütlesi bu potansiyel gelişimi yarıya indirmektedir. Pillerdeki negatif elektrot erimiş sodyumdan, pozitif elektrot ise erimiş kükürttten oluşmaktadır. Elektrolit sodyum iyonlarını ileten ve aynı zamanda iki elektrotu ayıran katı bir beta aluminyum oksit seramiktir. Gerçek piller oldukça küçük tutulur, birbirlerine bağlanır ve ısı kaybını önlemek için boş bir kapalı bölme yerleştirilir. Muhafaza kabının dizaynı dikkat edilmesi gereken bir husustur çünkü bataryanın kütlesini iki katına çıkarabilir. Bataryalar kullanılmadan önce kendi çalışma sıcaklıklarına kadar yavaşça ısıtılmalıdır. Dolayısıyla piller kullanılırken bataryanın iç direncinden geçen elektrik akımı nedeniyle kendiliğinden ısınacaktır. Eğer bir günden fazla kullanılmadıysa bataryanın iç tarafı elektrikli ısıtıcılarla sıcak tutulmalıdır. Elektrik enerjisi sodyumun kükürtle reaksiyona girerek sodyum sülfürü oluşturmasıyla elde edilir.

Reaksiyonun temel kimyasal formülü:



Çizelge 4.4 Sodyum sülfür bataryalar için nominal batarya parametreleri

Spesifik enerji	100 Wh.kg ⁻¹ (200 Wh.kg ⁻¹ olası)
Enerji yoğunluğu	150 Wh.L ⁻¹
Spesifik güç	200 W.kg ⁻¹
Nominal pil voltajı	2 V
Ampersaat verimi	Oldukça iyi
İç direnç	NiCd bataryanın iç direnciyle benzerlik göstermektedir
Ticari olarak temini	Yaygın değil
Operasyon sıcaklığı	300–350 ⁰ C
Çevrim ömrü sayısı	%80 deşarj ile ~1000
Şarj süresi	8 saat

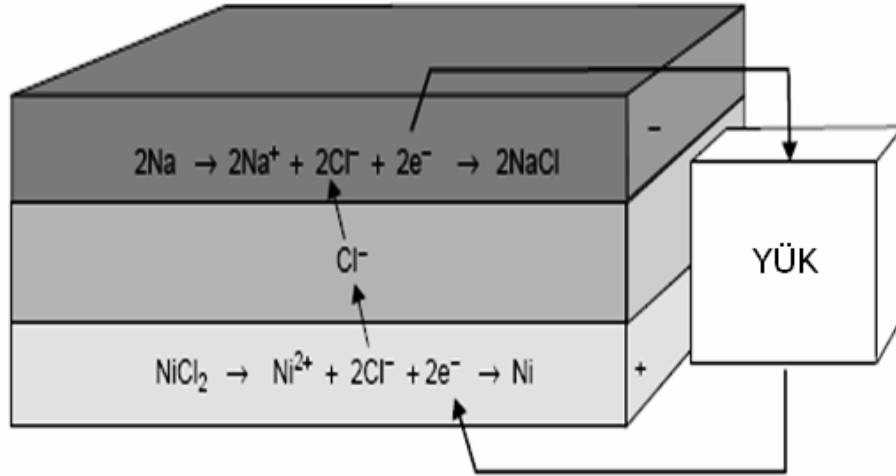
Bataryaların genel özellikleri çizelge 4.4'e verilmiştir. İyi bir termal izolasyon ihtiyacından dolayı küçük bataryalar kullanışsızdır. Bataryayı ısıtma ve soğutma dikkatli bir dizayn ve batarya denetimi gerektirir. Sodyum sülfür bataryalar dikkate değer biçimde umut verici olsa da kırılğan bir yapıya sahip seramik tüple ayrılmış reaktif materyallerin emniyeti ile ilgili endişeler bu bataryaların büyük ölçüde ticari pazarda yer almamasıyla sonuçlanmıştır. Denemeler sırasında test araçlarında kendiliğinden çıkan yangınlar bu korkuları arttırmıştır.

4.1.3.2 Sodyum Metal Klorür (ZEBRA) Bataryalar:

Sodyum metal klorür ya da zebra batarya birçok yönden sodyum sülfür bataryaya benzerdir ve bu bataryanın avantajlarından birçoğuna sahiptir. Bu sistemle sodyum sülfür bataryayla ilişkili emniyet endişelerinin çoğu aşılmıştır. Zebra pillerinin daha emniyetli olmasının temel nedeni erimiş sodyum metalden ayrılmış katı pozitif elektrotun kullanımudur. Bu batarya kayda değer biçimde gelecek vaat etmekte ve ticari olarak elde edilebilmektedir.

Zebra pil pozitif elektrot olarak katı nikel klorür, negatif elektrot olarak erimiş sodyum kullanmaktadır. Sodyum ve sekonder elektroliti çevreleyen beta seramik elektrot ve pozitif

elektrot bölmesinde kullanılan sodyum alüminyum klorür olmak üzere iki elektrot vardır. Klor iyonları elektrot içindeki hareketli iyonlardır. Deşarj esnasındaki elektrik enerjisi sodyum ile nikel klorürün, nikel ve sodyum klorürü vermek üzere reaksiyona girmesinden elde edilir. Zebra bataryada oluşan genel kimyasal reaksiyon:



Şekil 4.7 Batarya deşarjı boyunca sodyum metal klorürdeki her bir elektrottaki reaksiyonlar.

Şekil (4.7)'de pil deşarjının ilk ve orta evreleri boyunca her bir elektrottaki reaksiyonları görülmektedir. Reaksiyon her bir pil için yaklaşık 2.5 V 'luk açık devre gerilim üretmektedir. Deşarjın sonraki evrelerinde elektrolitten alüminyum iyonlarının da dahil olmasıyla daha karmaşık bir hal almaya başlar ve düşük voltajla sonuçlanır. Gerçekte bu tip pillerin pil voltajı ne yazık ki deşarj boyunca 2.5 V den 1.6 V civarına düşer. Pilin iç direnci çıkış voltajını etkileyerek aynı zamanda artmaktadır. Yine de bu etkilere rağmen, Çizelge 4.5'teki bilgilerde de görüldüğü gibi bu pillerin spesifik enerjisi çok yüksektir.

Zebra bataryadaki temel problem; sodyum sülfür bataryaya benzer olarak, 320°C civarında çalışma gereksinimidir.

Çizelge 4.5 Sodyum metal klorür bataryalar için nominal batarya parametreleri

Spesifik enerji	100 Wh.kg ⁻¹
Enerji yoğunluğu	150 Wh.L ⁻¹
Spesifik güç	150 W.kg ⁻¹
Nominal pil voltajı	~2 V
Ampersaat verimi	Çok yüksek
İç direnç	Çok düşük
Ticari olarak temini	Temin edilebilir
Operasyon sıcaklığı	300 ⁰ C–350 ⁰ C
Çevrim ömrü sayısı	>1000
Şarj süresi	8 saat

4.1.4 Lityum Bataryalar

1980'lerin sonlarından itibaren şarj edilebilir lityum iyon bataryalar ticari olarak piyasaya sürülmüştür. Diğer batarya çeşitleriyle kıyaslandığında oldukça yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları fiyatlarının da aynı oranda yüksek oluşuna açıklık getirebilir. Maliyeti yüksek laptop bilgisayarlar ve mobil telefon uygulamalarında Li-iyon bataryalar NiCd ve NiMH bataryalara göre daha çok tercih edilmektedir.

4.1.4.1 Lityum İyon Batarya

EA uygulamalarında günümüzde ticari anlamda en çok tercih edilen batarya tipi Li-iyondur. Li metalinin atomik kütlelerinin çok düşük olması ve çok yüksek negatif potansiyele sahip olması gibi nedenlerden dolayı batarya teknolojisinde bir çığır açarak hız ve sürüş mesafesi bakımından yüksek performans karakteristiği sergileyen EA larda uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Li metalinin hava ya da birçok sıvı elektrolitle reaksiyona girme eğiliminin yüksek olması bir dezavantajdır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için lityum ilave edilmiş grafit karbonları (Li_xC) kullanılmış ve yüksek performans için uygun

potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Li- iyon bataryanın deşarjı esnasında anaotta serbest hale geçen (Li^+) iyonları, organik elektrolit boyunca ilerleyerek katoda doğru hareket eder. Organik elektrolit sıvı değildir. Lityum iyonları katoda ulaştığında hızlı bir şekilde katot materyalinin bünyesine katılır. Bu proses tersinirdir. Li iyonlarının hızlı bir şekilde eski haline dönebilme yeteneğinden dolayı Li-iyon bataryalar, Pb-asit ve NiMH bataryalardan daha hızlı bir şekilde şarj ve deşarj olurlar. Aynı zamanda Li -iyon bataryalar NiMH bataryalarla kıyaslandığında eşit miktarda enerji depolamasına karşılık %40 daha küçük ve NiMH bataryaların ağırlığının yarısı kadar bir ağırlığa sahiptir. (Anderman,2000).

Li-iyon bataryalarda kullanılmak üzere çok çeşitli materyaller geliştirilmektedir. Genellikle anot materyalleri, karbonun çeşitli formları özellikle de grafit ve hidrojen içeren karbon materyallerinden oluşur. Katot için üç çeşit oksitleyici geliştirilmiştir; kobalt, nikel, mangan. İlk olarak teknik açıdan hem nikel hem de mangan oksitlere tercih edilen kobalt oksit kullanılmıştır.

Kobalt oksitli lityum-iyon bataryalarda katot; kobalt oksit kaplamalı alüminyum bir folyodan üretilmektedir. Anotlar ise karbon materyalleri ile kaplanmış ince bir bakır levhadan üretilmiştir. Levhalar plastik bir ayıraç ile ayrıldıktan sonra sarmal bir şekilde sarılır lityumhekzaflora-fosfat içerikli sıvı bir elektrolitle doldurulmuş çelik bir haznenin içine konulur. Tam dolu şarj durumundayken bu bataryaların açık devre gerilimi 4.1 Volt'tur.

Ayrıca sahip oldukları yüksek spesifik enerjinin yanı sıra Li-iyon bataryalar uzun bir kullanım ömrü potansiyeline sahiptir. Yüksek voltaj, klasik dizaynı ve özellikle kobalt yerine manganin kullanılmasıyla düşük batarya maliyeti vaat etmektedir.

Li-ion bataryaların aşırı şarj durumunda, kurşun asit ve NiMH bataryalarda da olduğu gibi elektrot ya da elektrolit formlarının dekompozisyonları, bataryanın hasar görmesini engellemek için dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Li-iyon bataryalardaki elektrolit su içermediği için suyun çözünmesine bağlı gazlaşma olayı gerçekleşmez.

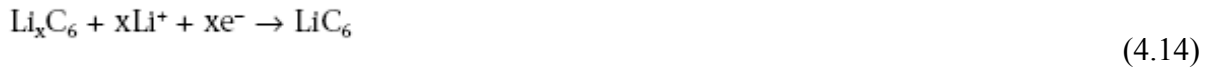
Pb-asit ve NiMH bataryalarda olduğu gibi Li-iyon bataryalar aşırı şarj durumuna maruz kalmamak için batarya denetim sistemi ile birlikte çalışabilmelidir.

Katı haldeki yeniden şarj edilebilir Li-ion bataryalar birim kütle ve hacim başına daha yüksek enerji içeriğine sahiptir. Aynı zamanda Li-iyon, NiMH gibi nikel bazlı bataryalara oranla çevre dostu bir batarya olarak tanımlanabilir.

Li-iyon bataryaların gelişimi, NiMH ve Pb-asit bataryalara göre daha yavaş olmuştur. Nedeni ise lityum dendrit oluşumundan kaynaklanan batarya pilinin yeterli bir şekilde işlev görmeyişi ve çevrimden dolayı geniş bir alanda lityum partiküllerinin oluşumunun artmasıdır. Bataryada oluşan bu kusurların üstesinden gelmek için metalik lityum yerine alternatif solüsyonlar düşünülmüştür. Bunlardan biri karbon bazlı alternatif bir materyal diğeri ise shuttlecock (badminton topu) olarak da adlandırılan durumda lityum iyonlarının katot ve anot arasında mekik dokumasıdır. Deşarj prosesi boyunca lityum iyonları anottan katota taşınır. şarj prosesi boyunca lityum iyonları katottan anota doğru hareket eder. Lityumla işlem görmüş anodun voltajı lityum metalininkine (yaklaşık olarak 10 mV) yakındır ve bu nedenle pil voltajı aşırı derecede azalmaz.

Katı haldeki Li-iyon bataryalar, likit elektrolitli benzerlerine göre çeşitli avantajlar sahiptir. Enerji yoğunlukları 200Wh/L'nin üzerindedir. Operasyon sıcaklığı ise -20⁰C ile 60⁰C arasında oldukça geniş bir aralığa sahiptir.

şarj operasyonu boyunca, Li-iyon pilin anot denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:



Katot denklemi ise:



Deşarj operasyonu boyunca anot denklemi:



Katot denklemi:



Li-iyon metal oksit/ karbon sisteminde elektrotların her ikisi de yapısı değişmeksizin tersinir bir şekilde lityum açığa çıkarır ya da bünyesine katar. Li-iyon bataryalar oda sıcaklığında çalışmaktadır. Yüksek pil voltajları sayesinde batarya organik bir elektrolite ihtiyaç duyar.

LiCoO₂, LiNiO₂ ve LiMnO₄ bazlı katotlar ve anot birlikteliğinin sonuçları detaylı bir şekilde analiz edildiğinde batarya üreticileri lityum-manganez spinelinin geliştirilmesine odaklanmıştır.

Bütün Li-iyon bataryaları, prizmatik bir çelik mahfazaya sahiptir ve elektrot konfigürasyonları kümelenme şeklindedir. 100Wh/kg'dan daha büyük spesifik enerjileri ve 300Wh/kg'ın üzerinde spesifik güçleri ile büyük prizmatik pillerin performansı EA uygulamalarına yönelik tüm gerekleri karşıladığı için çalışmalar daha düşük maliyetli pozitif elektrot materyali üzerine yoğunlaşmıştır. (Dhameja, 2001)

4.1.4.2 Lityum Polimer Bataryalar

Lityum polimer batarya, negatif elektrot olarak lityum metali, pozitif elektrot olarak ise okside olmuş bir geçiş metali kullanır. Lityum ve metal oksidin kimyasal reaksiyonu sonucunda lityum metal oksit oluşur ve enerji açığa çıkar. Batarya şarj edilirken bu reaksiyonun tam tersi gerçekleşir. Lityum burada reaktan olmakla birlikte aynı zamanda elektrolit boyunca hareket eden taşınabilir iyondur. Toplam kimyasal reaksiyon:



Lityum polimer teknolojisinde; elektrolit, bir katı iletken polimer olmasından dolayı bataryalar tamamıyla kurudur ve likit elektrolit içermezler.

4.1.5 Metal Hava Bataryalar

EA'larda kullanılan bir diğer batarya türü metal-hava bataryalarıdır.

4.1.5.1 Alüminyum-Hava ve Çinko-Hava Bataryalar

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. BATARYA ÖMRÜ VE BATARYALARIN ŞARJ EDİLMESİ

Bataryalar, yapısındaki aktif materyallerin kaybına neden olan istenmeyen kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel değişimler sonucu sınırlı bir kullanım süresine sahiptir. Bu değişimler genellikle tersinmezdir ve pilin elektriksel performansını etkiler. Batarya ömrü ancak istenmeyen kimyasal reaksiyonlar azaltılarak ya da önlenerek uzatılabilir.

Bataryada kalan enerji miktarını bilmek ve tam dolu durumdaki enerji miktarı ile kıyaslamasını yapmak, yeniden şarj olmadan önce bataryanın ne kadar süre performans sergileyeceğinin tahmin edilmesinde yardımcı olmaktadır.

5.1 Batarya Ömrü

Batarya çevrim ömrü, nominal kapasitesi; başlangıçtaki nominal kapasitesinin %80'nin altına düşmeden önce bir bataryanın performans sergileyebileceği şarj-deşarj döngülerinin sayısı olarak tanımlanır. Çevrim sayısı arttıkça zamanla kapasitede azalma görülür.

Çevrim ömrünün bir diğer alternatif ölçümü de pil iç direncinin baz alınmasıdır. Bataryanın iç direncindeki artış önceden belirlenen bir değere genellikle ilk durumdakinin 1.3 katı olmak üzere yeni bir değere ulaşmadan önceki bataryanın sergilemiş olduğu çevrim sayısı, batarya ömrü olarak tanımlanır.

Batarya çevrim ömrü;deşarj yoğunluğuna bağlıdır (Her çevrim, bataryanın tam olarak şarj vedeşarj olduğu varsayılırsa). Eğer batarya her çevrimde kısmi olarakdeşarj edilirse çevrim ömrü artacaktır. Bu nedenledeşarj yoğunluğunun çevrim ömrüne özgü belirtilmesi önem taşımaktadır.

Kimyasal Değişimler:

Bataryalarda gerçekleşmesi arzu edilen kimyasal reaksiyonlar maalesef genellikle bazı aktif kimyasalları tüketen ya da reaksiyonlarına engel olan istenmeyen kimyasal reaksiyonları beraberinde getirmektedir. Bu durum batarya ömrünü azaltmaktadır.

Sıcaklık Etkileri:

Bataryanın içindeki kimyasal reaksiyonlar, hem voltaj hem de sıcaklıkla yürütülür. Bataryanın sıcaklığı arttıkça kimyasal reaksiyonlar hızlanacaktır. Yüksek sıcaklıklar performansı arttırırken bir yandan da batarya ömrünün azalmasına yol açan istenmeyen kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine yol açacaktır.

Raf ömrü ve şarj tutma, self deşarj oranına bağıdır ve self deşarj da pildeki istenmeyen kimyasal reaksiyonların bir sonucudur. Benzer şekilde korozyon, gaz oluşumu, elektrot pasivasyonu çevrim ömrünü azaltan istenmeyen kimyasal reaksiyonlardır. Bu nedenle sıcaklık hem raf ömrünü hem de çevrim ömrünü etkiler.

Basınç Etkileri:

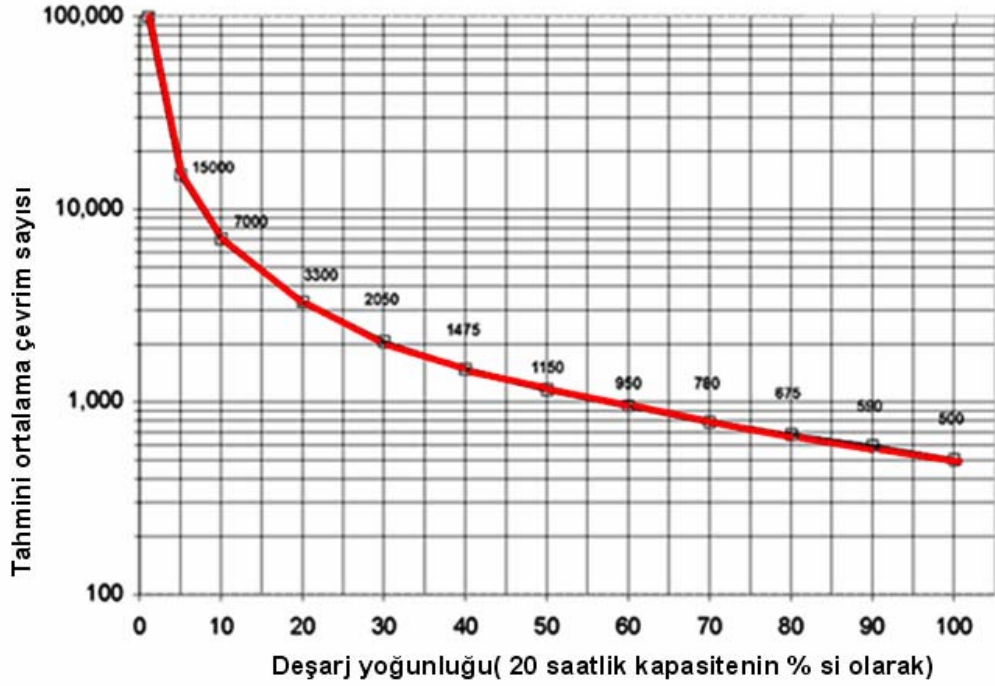
Bu problem sızdırmaz bataryalarda ortaya çıkmaktadır.

Pil içindeki basınç artışı, artan sıcaklığın bir sonucudur. Çeşitli faktörler sıcaklık artışına sebebiyet verebilir. Akım fazlası ya da yüksek ortam sıcaklığı, pil sıcaklığının artışına neden olur ve aktif kimyasalların genişlemesine yol açarak pildeki iç basıncın artışına sebebiyet verecektir. Aşırı şarj, sıcaklık artışı nedenlerinden biridir ve daha da önemlisi aşırı şarj gaz oluşumuna neden olarak iç dirençte daha da büyük bir artışa sebebiyet verecektir.

Basınç fazlası; pil koruyucu tabakasında şişme, akım yolunda aksaklık, kısa devre gibi pil içinde mekanik hasarlara neden olacaktır.

Deşarj Yoğunluğu:

Bataryanın çevrim sayısı, deşarj yoğunluğu artış gösterdikçe eksponansiyel olarak düşüş gösterir. Uygulamada deşarj yoğunluğu sınırlanırsa, tasarımcı bataryanın çevrim ömrünü önemli ölçüde arttırabilir.



Şekil 5.1 Deşarj yoğunluğuna bağlı bataryanın çevrim sayısı

Elektrikli araç uygulamaları gibi uygulamalarda bataryadan maksimum kapasite çekilir. Bu da bataryanın çok yüksek DoD durumunda deşarj olduğu anlamına gelmektedir. Derin deşarj yoğunluklarında batarya pilleri kalıcı olarak hasar görebilir. Derin çevrim bataryalarının DoD potansiyellerini maksimum yapmak için özel pil yapıları ve kimyasal karışımlar gerekebilir. Traksiyoner bataryalar %80 ile %10 DoD durumunda çalışabilirler.

Voltaj Etkileri:

Şarj olabilen her bataryanın operasyon voltaj karakteristiği, kendine özgü pil kimyasıyla ilişkilendirilir. Aktif kimyasalların tümü, tam dolu şarj durumundaki kompozisyonuna dönüştüğünde pil içine giren elektriksel enerji, ısının artmasına neden olur ve kimyasal bileşenleri rekombine olamayacakları formlara dönüştüren istenmeyen reaksiyonları başlatır. Pil, üst voltaj limitinin üzerinde şarj etmek pile hasar verecek tersinmez kimyasal reaksiyonların oluşmasına neden olur. Bu duruma eşlik eden sıcaklık ve basınç artışı kontrol edilemez ise pilin patlamasına ve tehlikeli kimyasalları açığa çıkararak yangına sebebiyet verebilir. Yine benzer şekilde pili önerilen düşük voltaj limitinin altında deşarj etmek, aktif kimyasallar arasında istenmeyen reaksiyonlara yol açarak kalıcı hasara sebebiyet verebilir.

Formasyon:

Pil formasyonu, yeni bir pilin aktif materyallerinin kullanılabilir formlarına dönüşüm

prosessidir. Elektrolit ya da elektrotların başlangıçtaki kristal yapısı, elektrot kaplama prosesi ve elektrotların yapıldığı komponentler üretim prosesleri ile belirlenir. Bu, pilin iç direncini minimum seviyeye getiren optimum yapı olmayabilir ve elektrolit ile elektrotlar arasında optimum teması oluşturmaz. Pil boyunca akım geçişleri, pilin ısınması ve soğumasıyla aktif kimyasalların mikro yapılarında küçük değişimlere neden olacaktır.

Formasyon, pil üreticisi tarafından komponentlerin mikro yapılarını optimize etmek ve birbirleriyle teması sağlamak için kontrollü koşullar altında üretim yerinde gerçekleştirilen ilk şarjdır.

Bazı kimyasal formüllerde tam güç ya da kapasiteye ulaşmadan önce batarya on ya da daha fazla şarj-deşarj çevrimi gerektirebilir.

Pil Yaşlanması:

Pil yaşlandıkça materyallerin kristal yapısı ve kimyasal kompozisyonu değişir. Elektrotlar üzerinde metalik dendritler, daha geniş kristaller oluşabilir.

Bu değişimlerin sonuçları:

- Pilin formasyonu boyunca oluşan daha küçük kristaller daha büyük boyutlara ulaşarak iç direnci artırır ve pil kapasitesi azalır.
- Kristal ve dendrit oluşumu, elektrolit ve seperatöre basınç uygulayacak olan elektrot şişmesine neden olur. Elektrotlar böylece birbirine yaklaşarak baskı uygular ve pillerin selfdeşarjı artış eğilimi gösterir.
- Olağan dışı durumlarda dendrit ya da kristal büyümesi seperatörü delerek yüksek selfdeşarj ya da kısa devre ile sonuçlanabilir.

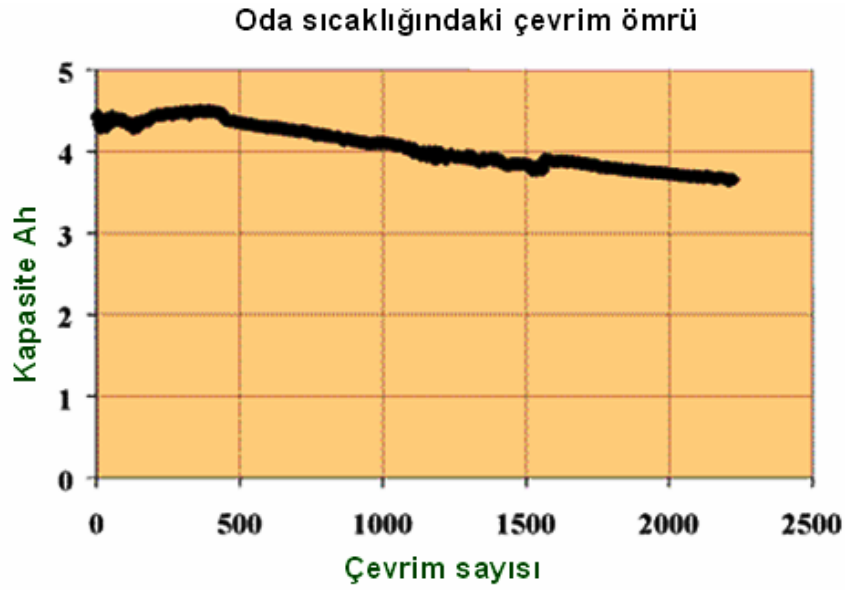
Batarya ömrünü uzatmanın en kolay yolu, bataryayı dizayn edildiği operasyon limitleri içinde çalıştırmaktır. Batarya için tasarlanmış şarj ekipmanları ve emniyet sistemleri kullanılmalıdır. Batarya denetim sistemi, şarj vedeşarj operasyonu boyunca bataryanın bağlı olduğu yükü kontrol ederek pilleri arzu edilen operasyon limitleri içerisinde tutar. Bataryayı oluşturan pillerin şarj eşitlemesi yapılmalıdır. Kapasite kaybı olan piller, formasyon prosesinin tekrarlanmasıyla restore edilebilir ve böylece kullanım ömürleri uzar.[3]

5.2 Çevrim Ömrü

Çevrim ömrü, pil kapasitesinin başlangıçtaki spesifik kapasitesinin %80'nin altına düşmeden önceki performans sergileyeceği çevrimlerin sayısıdır. Çevrim ömrü sonunda batarya pili

fonksiyonuna devam edecektir fakat kapasitesi, ilk durumdaki kapasitesine göre önemli ölçüde azalmış olacaktır.

Çevrim ömrü, gerçek operasyon koşullarında batarya ömrüne dair en iyi yaklaşımı vermese de kontrollü koşullar altında bataryaları mukayese etmek için iyi bir yöntemdir. Piller nadiren de olsa ardı ardına şarj- deşarj çevrimlerine maruz kalırlar ve tam olarak yeniden şarj olmadan önce değişik yoğunluklarda kısmi deşarja uğrarlar. Kısmi deşarjlarda daha az miktarda enerji alındığı için batarya daha fazla sayıda derin olmayan çevrimler sürdürecektir. Bu tarz çevrimler daha çok rejeneratif frenleme enerjisini kullanan hibrid elektrikli araçlara özgüdür.



Şekil 5.2 Batarya kapasitesinin çevrim sayısına göre değişimi

5.3 Bataryanın Şarj Durumu (SoC)

SoC, bataryanın şarj durumu göstergesi olarak tanımlanır. SoC göstergesinde, pilin akım kapasitesinden ziyade yeni bir pilin nominal kapasitesi referans alınır. Bunun nedeni ise pil yaşlandıkça pil kapasitesinin kademeli olarak azalmasıdır. Sıcaklık ve deşarj oranı, efektif kapasiteyi etkilemektedir.

Maalesef çoğu zaman pilin nominal kapasitesi yerine mevcut kapasitesi referans olarak alınmaktadır. Bu durumda ise ömrünü tamamlamaya yakın tam dolu bir pil, nominal kapasitesinin %80'ini kadar efektif bir kapasiteye sahip olmasına rağmen batarya şarj durumunu %100 olarak gösterecektir ve hesaplanan kapasiteyi pilin yeni nominal kapasitesi

ile karşılaştırılması yapılarak gerekli düzeltme faktörleri uygulanmalıdır. Bataryada kalan şarj miktarının doğru bir hesaplamasının yapılabilmesi için bataryanın yaşı ve çevresel faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Pil eşitlemesi uygulamalarında da herhangi bir pilin şarj durumunu, batarya dizinindeki diğer pillerle orantılı olarak bilmek gerekmektedir.

SoC kontrolü batarya denetim sisteminin (BDS)'nin temel bir fonksiyonunu oluşturmaktadır. Lityum bataryaların başlıca kullanım alanı olan otomotiv uygulamalarında enerji akışının etkin ve güvenli denetimi için şarj durumunun kesin olarak belirlenmesi gerekmektedir. EA uygulamalarında SoC menzili belirlemek için kullanılır. Bataryanın hiç kullanılmamış ilk aşamadaki kapasitesi baz alınır, mevcut kapasitesi kullanılmaz. HEA uygulamalarında SoC, elektrik motorunu ne zaman devreye gireceği durumları belirler. %5'in üzerinde SoC hataları, sistem yakıt verimini ciddi şekilde etkilemektedir.

Şarj Durumunu Belirleme Metotları:

Bataryanın şarj durumunu tespit etmek için çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları pil kimyasallarına göre spesifikleşmiştir. Çoğu, şarj durumu ile değişen uygun parametrelerin ölçümüne dayanmaktadır.

- Direkt Ölçüm:

Eğer batarya sabit bir oranda deşarj oluyorsa bu yöntem uygulanabilir. Bataryadaki şarj, akımın akış zamanı ile çarpımına eşittir. Yalnız burada iki problem ortaya çıkmaktadır. Hemen hemen tüm bataryalarda deşarj akımı sabit değildir., batarya deşarj oldukça lineer olmayan bir şekilde azalma gösterir. Bu yüzden ölçüm cihazı akımın zamana göre integralini almalıdır. İkinci problem ise; metodun bataryanın şarj içeriğini öğrenmek için deşarj edilmesine dayanmasıdır. Halbuki kullanıcı pili deşarj etmeden şarj içeriğini öğrenmek istemektedir.

Bataryanın coulombic veriminden dolayı şarj esnasında alınan gerçek şarj, izleme tertibatı ile kaydedilerek bataryadaki efektif şarjı direkt olarak ölçmek mümkün değildir. Bataryanın şarj-deşarj döngüsü boyunca bataryadaki kayıplar, şarj esnasında bataryaya alınan şarjdan daha az deşarj esnasında şarj verilecek anlamına gelmektedir.

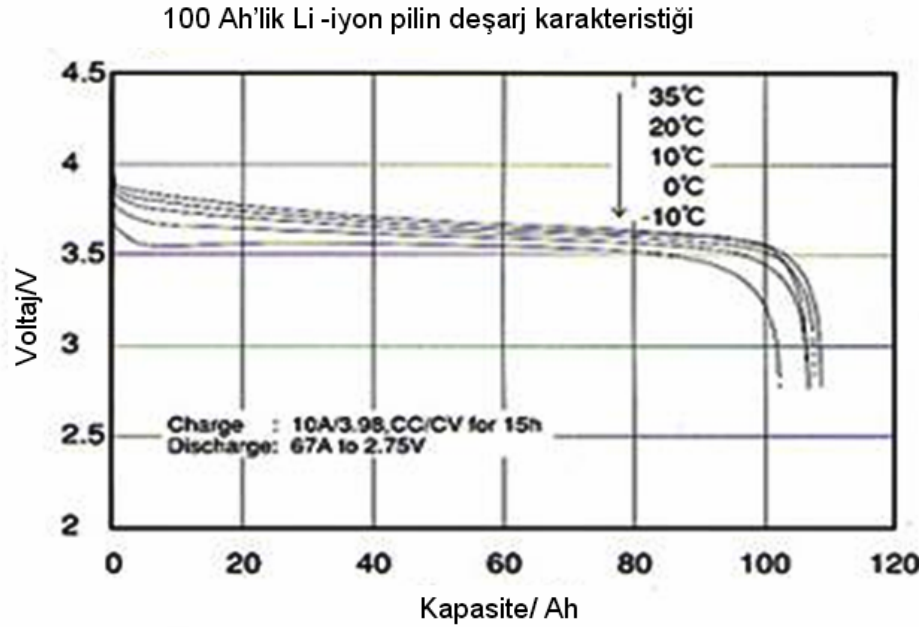
- Özgül Ağırlığa Bağlı SoC Ölçümü:

Bu metot kurşun asit bataryalarda şarj durumunu tespit etmek için kullanılan geleneksel bir

metottur. Aktif kimyasallardaki kütle değişiminin ölçülmesine dayanmaktadır. Batarya deşarj olurken aktif elektrolit; sülfürik asit harcanır ve sülfürik asit konsantrasyonu azalır. Bu dönüşüm solüsyonun direkt olarak SoC ile orantılı özgül ağırlığını azaltır. Elektrolitin gerçek özgül ağırlığı bu nedenle bataryanın şarj durumunun bir göstergesi olarak kullanılır. Özgül ağırlık ölçümleri genellikle vakum tipi hidrometre ile yavaş ve uygun olmayan bir yöntemle yapılmaktaydı. Son zamanlarda dijital ölçüm yapan elektronik sensörler pil yapısına yerleştirilmektedir.

- Voltaj bazlı SoC Tahmini:

Bu metotta batarya pili voltajı, SoC ya da kalan kapasitenin hesaplanmasında temel alınır. Sonuçlar gerçek voltaj seviyelerine, sıcaklığa, deşarj oranına ve pil yaşına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Bu yöntemde bataryanın sabit sıcaklık ve deşarj oranında, kalan kapasitesine karşılık açık devre voltajının grafiği oluşturulur. Fakat bazı pil kimyalarında özellikle lityum olmak voltaj, çok sayıda şarj-deşarj döngüsü boyunca çok küçük bir değişim gösterir. Aşağıdaki grafikte yüksek kapasiteli bir lityum iyon pilin deşarj eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 5.3 100 Ah lityum iyon pilin deşarj karakteristikleri

Batarya pil voltajı, pil deşarj olurken fark edilir şekilde düşüş göstermediği için batarya uygulamaları için idealdir. Yine aynı nedenle gerçek bir pil voltajı, pil SoC durumunun iyi bir göstergesi olmadığı anlamına gelmektedir. Çevrim sonundaki ani pil voltajı düşüşü,

bataryanın deşarjının tamamlandığını ya da tamamlanmak üzere olduğunu bir göstergesi olarak kullanılabilir. Lityum pilleri tamamıyla deşarj etmek çevrim ömürlerini önemli ölçüde kısaltır ve birçok uygulamada pil çevrim ömrünü uzatan deşarj yoğunluğu limitlerine maruz kalmaktadır.

-Akım Bazlı SoC Belirlenmesi:

Bir elektrik yükündeki enerji içeriği Coulomb olarak ölçülür ve akımın zamana göre integraline eşittir. Pil içindeki kalan kapasite şarj esnasında pile giren akımın ya da deşarj esnasında pilden çıkan akımın ölçülmesiyle ve zamana göre integralinin alınmasıyla hesaplanabilir. Metot, tam dolu bir pile uygulanır. Coulomb sayımı olarak da bilinen bu metot direkt olarak şarj akışını ölçtüğü için diğer SoC ölçümlerine göre daha yüksek bir doğrulukta çalışır. Coulombic sayımı self deşarj akımı dikkate alınmaksızın bataryadan dış devreye olan akım akışına dayanır.

-İç Dirence Bağlı SoC Ölçümü:

Şarj-deşarj döngüleri boyunca pildeki aktif kimyasalların kompozisyonu değişir ve bu durum pil direncinin de değişmesine neden olur. Bu nedenle pil iç direnç ölçümü SoC belirlemede kullanılabilir fakat iç direncin aynı zamanda sıcaklıkla da değişiklik göstermesi ve pil aktif haldeyken iç direnç ölçümündeki zorluklardan dolayı bu yöntem pek tercih edilmez.

Bulanık mantık ve diğer benzer modeller bu problemin üstesinden gelmek için kullanılabilir.

5.4 Batarya Denetim Sistemi (BDS)

Bataryanın denetlenmesi, şarj ve deşarj işlemi esnasında voltaj, akım, batarya içi ve ortam sıcaklığı gibi kilit rol oynayan operasyon parametrelerinin kontrol altında tutulmasıdır. Bataryanın yük ya da şarj cihazıyla bağlantısının kesilmesi durumunda ve herhangi bir arıza durumunda alarm veren aygıtları korumak amacıyla çevrim boyunca veri girişleri bir monitörde görüntülenmektedir. (Westbrook,2001)

Elektrikli araçlarda aktif batarya denetimi, efektif ve sürekli bir ölçüm, şarj durumu, voltaj, sıcaklık, bataryanın şarj ve deşarj oranlarının kontrolünün yanı sıra düşük voltaj, aşırı ısınma, yüksek iç direnç ya da açık ve kısa devre gibi durumlarda her bir batarya pilinin sıcaklık ve voltajını da görüntüler. Bunu efektif olarak yerine getirmek için her pilin ek kablolarla bağlantısı gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle batarya pillerinin izlenmesi ve uyumsuzlukları saptamak üzere batarya bloklara bölünür. Blokların sıcaklık ve voltaj değerleri karşılaştırılır.

Bu metotla tüm batarya hata durumlarını saptamak mümkündür fakat toplam batarya performansını etkileyen her bir pilin şarj durumundaki uyumsuzlukları saptamak kolay olmamaktadır. Her pile voltaj ve sıcaklık sensörü yerleştirilerek verilerin tek bir kablo üzerinden dijital veri olarak batarya denetiminin izlendiği bilgisayara iletilmesi mümkün olmakla birlikte şarj algoritmasını da ayarlamak mümkündür. Ayrıca BDS, tam güç için bataryayı hazır durumda tutacak ve bataryanın ömrünü uzatacak metotları, şarj rejiminin kontrol edilmesinden planlanan batarya bakımı gibi sistemleri kapsar. Batarya denetim sistemi, enerji denetim sisteminin bir parçasıdır ve araçtaki motor denetimi, iletişim ve emniyet sistemleri gibi diğer sistemlerle ara yüz oluşturmuştur.

Batarya performansını ve emniyetini kontrol etmek için öncelikle hangi parametrelerin kontrol edilmesi gerektiğini ve neden kontrole ihtiyaç duyduğunu anlamak gerekmektedir. Bu nedenle pil kimyasını, performans karakteristiklerini ve batarya hata durumlarının esaslarını iyi bir şekilde kavramak gerekmektedir. Tüm batarya denetim sistemlerinin üç temel amacı vardır:

-Pillerin ya da bataryanın hasar görmesini engellemek.

-Bataryanın ömrünü uzatmak.

-Uygulama amacına göre fonksiyonel gereksinimleri karşılayabileceği şekilde bataryanın bakımı yapmak.

Bu amaçlar doğrultusunda BDS aşağıdaki fonksiyonları içermelidir.

Pil Koruması:

Bataryanın kendine has dizayn limitlerinin dışında çalıştırması durumunda bataryanın hasar görmesi kaçınılmazdır. Büyük miktarda enerji içeren yüksek güç pilleri bir kısa devre ya da fiziksel hasar sonucunda bu enerjisini kontrolsüz bir şekilde açığa çıkarırsa yıkıcı sonuçlara neden olabilir. Operasyon koşulları toleransının dışına çıkmış bir bataryayı korumak tüm BDS uygulamalarının temel amacıdır.

Farklı uygulamalar ve farklı pil kimyasalları farklı şekilde koruma gerektirebilir. Önceden belirlenen voltaj, akım ve sıcaklığı operasyon limitlerinde tutabilmek için devre kontrol edilmelidir. Özellikle lityum pillerde hata durumunda patlama risklerine karşı pil koruması önem arz etmektedir.

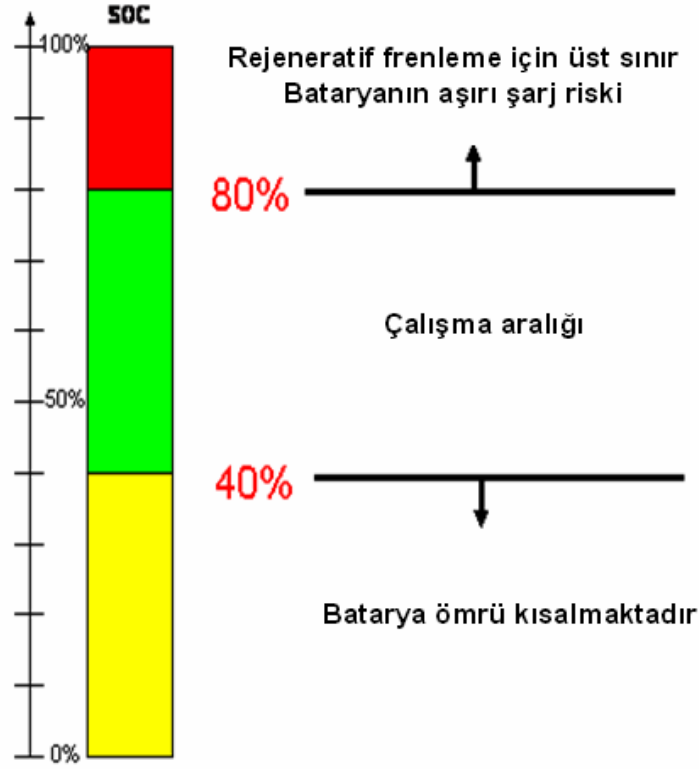
Aşağıdaki istenmeyen olay ya da koşullar için pil koruması tavsiye edilmektedir:

- Şarj ve deşarj boyunca aşırı akı
- Kısa devre
- Voltaj fazlası- aşırı şarj
- Önceden belirlenmiş deşarj derinliği limitlerinin aşılması
- Yüksek ortam sıcaklığı
- Aşırı ısınma- pil sıcaklık limitinin aşılması
- Pil içinde basın oluşması
- Bir kaza durumunda sistemin izolasyonu için
- Hatalı kullanım

Şarj Kontrol:

Bataryaların şarj durumunu tespit etmek, batarya denetim sisteminin ikinci temel görevidir. BDS, pillerin aşırı gerilim altında kalmaması için şarjın her pile eşit şekilde dağılmasını kontrol ederken bataryadaki her bir pilin SoC durumunu hesaplar ve görüntüler. Bataryalar uygun olmayan şarj işleminden hasar görmektedir. SoC göstergesi şarj ve deşarj çevrimlerinin sonlandırılmasında devreye girer. Aşırı şarj ve deşarj işlemi bataryanın hasar görmesinin iki başlıca nedenidir ve BDS, pillerin arzu edilen operasyon deşarj yoğunlukları arasında kalmasını sağlar.

Hibrid elektrikli araçlarda batarya rejeneratif frenlenme enerjisini depolayabilmesi için yüksek güçte şarj kabiliyeti ve ivmelenme ya da harekete geçme durumunda yüksek güçte deşarj olabileceği kabiliyetine sahip olmalıdır. Bu nedenle bataryalar gereksinim duyulan güçte deşarj olabilecek ve pillerin aşırı şarj riskine imkan vermeksizin rejeneratif enerjiyi kabul edecek şekilde şarj olabilecek SoC seviyesinde tutulmalıdır. HEA bataryalarını pil-şarj eşitlemesi için tam olarak şarj etmek, rejeneratif frenleme enerjisini depolama kabiliyetini azaltır. Bu yüzden HEA'larda bataryayı uygun operasyon limitleri içerince tutmak için doğru SoC bilgisine gereksinim duyulur.[4]



Şekil 5.4 HEA batarya çalışma aralığı

Batarya denetim sistemi, batarya görüntüleme birimi, batarya kontrol birimi ve araç enerji denetim sistemi ile bağlantılı araç iletişim ağından oluşmaktadır.

5.5 Bataryaların Şarj Edilmesi

Bataryaların işlevlini zamanından önce yitirmemesi için doğru bir şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. Kurşun asit bataryaları çok düşük bir şarj durumunda bırakmak, sülfasyon prosesinden kaynaklanan kalıcı hasara neden olduğu gibi bataryaların yanlış bir şekilde şarj edilmesi de bataryalar çok çabuk hasara uğratacaktır.

Batarya sabit bir akım ya da voltaj girişi sağlamamanın yanı sıra akım ve voltajın çok dikkatli kontrolünü gerektiren şarj işlemi basit bir operasyon değildir. Bataryaya ait şarj ekipmanı batarya üreticisinden temin edilmelidir. Aracın şarj edilmesi gereken ve uygun şarj ekipmanı bulunmayan farklı yerler için hafif, taşınabilir bir batarya şarj cihazı alternatifi değerlendirilmelidir.

Fotoelektrik panellerin haricindeki durumlarda, bataryayı şarj etmek için gerekli elektrik enerjisi alternatif akımlı (AC) enerji kaynağından gelecektir. Bataryanın şarj olabilmesi için

bu akımın doğrusal akıma (DC) çevrilmesi gerekmektedir. Düzeltişmiş DC akımında çok az miktarda dalgalanmalar olmak üzere düzgün bir akım olmalıdır. Çünkü DC akımındaki değişiklikler akım voltajını, batarya voltajının altına düşürmekte, şarj işlemi gerçekteşmemektedir ve “yüksek nokta” dalgalanmaları voltajda bataryaya hasar verecek kadar artışa neden olabilmektedir. Yüksek DC akımlarında düzgün doğrusal DC akımı sağlamak adaptörleri zorlamaktadır bu da yüksek akım şarj cihazları için özel olarak dizayn edilmiş adaptör fiyatlarının oldukça pahalı olmasına sebebiyet vermektedir.

şarj işlemi ile ilgili bir diğer husus ise halka açık yerlerde ve araba park yerlerinde şarj işlemi için olanaklar sağlanmasıdır. Avrupa’da bazı şehirlerde ve ABD’de California’da çeşitli yerlerde şarj istasyonları kurulmuştur. Fakat buradaki ortaya çıkan sorun elektrikli araç bataryaları herhangi bir elektrik kaynağından şarj edilebilir olmasına rağmen şehir şebekesindeki elektrik akımı için elektrikli araçlara yönelik herhangi bir standardizasyon çalışması olmamasıdır.

Her elektrikli ve hibrid elektrikli araca yönelik özel olarak dizayn edilmiş bir şarj cihazı kullanılmalıdır ve şarj işlemi araç enerji denetim sistemi ile kontrol edilmelidir. Hangi batarya tipi ya da hangi şarj metodu kullanılırsa kullanılsın bataryalarda şarj eşitlenmesi mutlaka yapılmalıdır.

5.6 şarj Eşitlenmesi

şarj eşitlenmesi ciddi bir hasarın önüne geçmek için tüm batarya tiplerinde düzenli aralıklarla yapılan bir işlemdir.

Bataryadan akım çekildiğinde bataryadaki içindeki piller aynı miktarda şarj kaybına uğramaması problem yaratmaktadır. Bu durum bataryadaki farklı pillerin farklı self deşarj oranlarından kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise üretim varyasyonları ve bataryadaki pillerin tümü tan olarak aynı sıcaklıkta olmadığı sıcaklık değişimleridir.

Eğer bataryadan nominal olarak %50 şarj çekildiğinde bazı piller %52 gibi biraz daha fazla, bazı piller ise %60 gibi çok daha fazla şarj kaybediyorsa, tekrar şarj işlemi gerçekteştiğinde şarj kayıpları fazla normal pillere göre fazla olan piller tam olarak şarj olamayacakları için self deşarj eğilimi göstereceklerdir. Çizelge 5.1’de bu durum şarj-deşarj döngüleri ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Bataryadaki iki farklı pilin şarj durumları gösterilmektedir (Larminie ve Lowry, 2003).

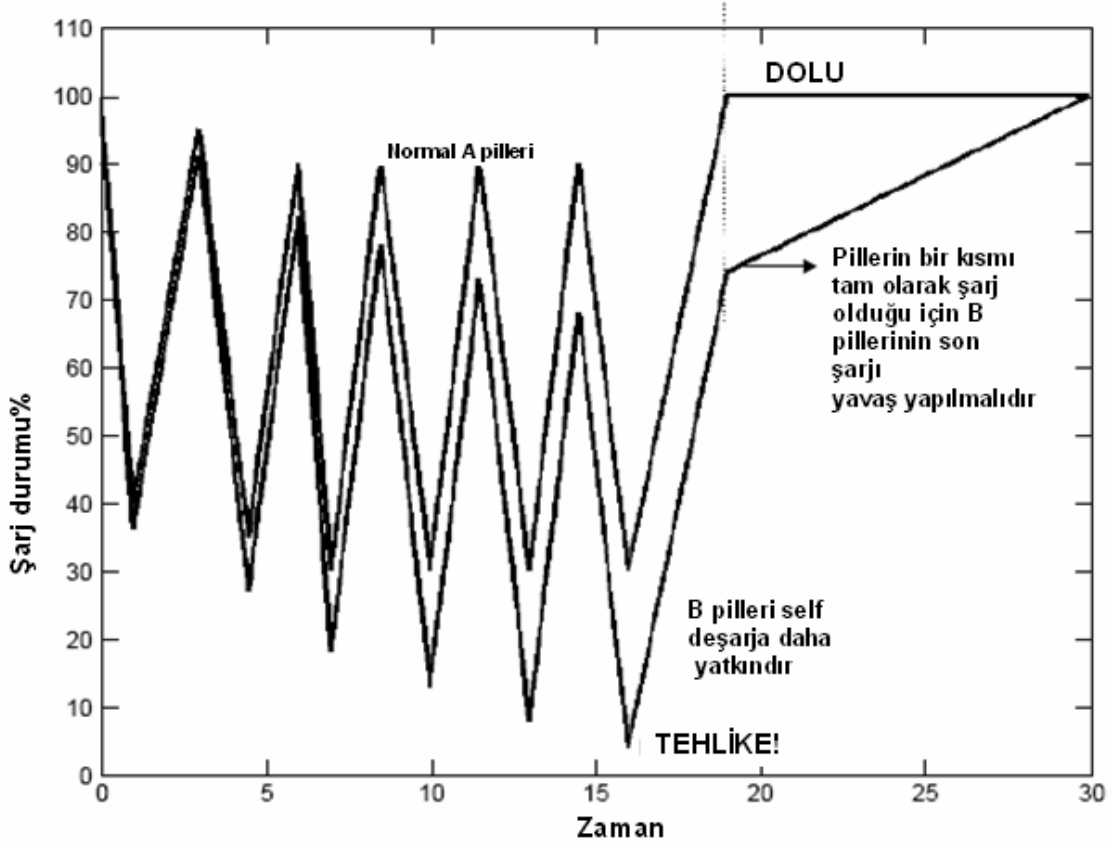
A pilinin şarj durumu	B pilinin şarj durumu	Sonuç
%100	%100	Tam dolu
%48	%40	%50 deşarj
%98	%90	%50 şarj
%35	%19	%60 deşarj
%85	%69	%50 kısmi tekrar şarj
%33	%9	%50 deşarj
%83	%59	%50 kısmi tekrar şarj
%18	Şarj alınmıyor, boş batarya	%60 deşarj

Pil A, düşük self deşarj oranlı; pil B ise daha yüksek self deşarj oranına sahiptir. Pillerdeki bu farklılık üretim hataları ve sıcaklıkla ilişkilendirilebilir. Piller ardı ardına şarj ve deşarj edilmiştir.

A pili, %20 ile %80 şarj durumu arasında döngüde şarj olmaktadır ki mükemmel bir aralıktır. Buna rağmen pil B nin, her şarj işlemi boyunca şarj seviyesi daha da düşmektedir ve sonuç olarak birkaç çevrimden sonra hasara uğrayacaktır. Bu örnekte olduğu gibi batarya tamamen boşalırsa voltaj hızlı bir şekilde düşecektir. Eğer bataryadan akım çekilmeye devam edildiğinde önemli ölçüde tahrip görmüş bir pil, seri devreden ibaret bataryanın tümünde hasara neden olacaktır. Bu durum bataryanın zamanından önce işlevini yitirmesinin temel sebeplerindendir.

Bataryada böyle bir durumun oluşmasını engellemek için batarya, her pili tam olarak şarj oluncaya kadar (bu proses şarj eşitlenmesi olarak bilinir) düzenli aralıklarla şarj edilmelidir. Pillerin çoğu şarj olduktan sonra self deşarja yatkın pillerin tam olarak şarj olması için bataryaya akım beslenmeye devam edilmelidir. Bu proses gerçekleşirken bazı pillerin aşırı şarj olması kaçınılmazdır. Bu da piller için neden aşırı şarj durumunun üstesinden gelebilmenin önemli olduğuna açıklık getirmektedir. Aşırı şarj durumunda belirli bir akım mümkündür. Bu nedenle bütün pilleri tam dolu şarj durumuna getirirken şarj işleminin son

aşaması çok çabuk gerçekleşmemesi, tam dolu hale yaklaşmışken şarj işleminin tamamlanmasının neden daha uzun zaman sürdüğünün açıklamasıdır. Şekil 5.5’de bu proses gösterilmiştir. Çizelge 5.1’den farklı olarak Şekil 5.5’de herhangi bir pil tam olarak deşarj olmadan şarj eşitlemesi yapılarak batarya kurtarılmıştır.



Şekil 5.5 Bir bataryadaki periyodik şarj eşitlemesi (Larminie ve Lowry, 2003).

Üst çizgi(A), normal pillerin şarj durumlarını göstermektedir. Alt çizgi (B) ise self deşarja yatkın pilleri göstermektedir. Şarj eşitlemesinde bir kısım pilleri tam dolu şarj durumuna getirmek için diğer piller aşırı şarj olmaktadır ve prosesin son bulması bu aşamada 12 birim zaman sürmektedir.

Hibrid elektrikli arabalarda, batarya aynı zamanda rejeneratif frenlemeden gelen enerjiyi de absorbe edebilmesi için bataryanın tam olarak şarj edilmesi arzulanan bir durum değildir. Fakat periyodik olarak batarya denetim sistemi pillerin tümü %100 şarj durumunun eşitlemesi için bataryayı tam olarak şarj etmelidir (Larminie ve Lowry, 2003).

6. ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ TEST EDİLMESİ VE MODELLENMESİ

Elektrikli araç gelişimi devam ettiği sürece, elektrikli ve hibrit elektrikli araç uygulamaları için batarya teknolojilerinin gelişiminin sürdürülmesi ve bataryaların simülasyonlarının yapılması büyük önem taşımaktadır. Batarya performansının tespit edilmesi için batarya pil takımı elektrikli ve hibrit elektrikli araçların sürüş esnasında teste tabi tutulması ile saptanabilir. Bilgisayar ortamında simülasyonunun yapılması ile performans analizi, günlük hayatta kullanım koşullarında bataryanın temel hatlarının belirlenmesini sağlamaktadır.

6.1 Elektrikli Araç Bataryalarının Test Edilmesi

Tekli pil ya da bataryanın tam olarak şarj olup olmadığı, içerisinde ne kadar şarj kaldığı, kullanıma girdiği gün itibariyle performansında herhangi bir azalma olup olmadığı gibi birtakım sorulara açıklık getirmek amacıyla batarya testleri geliştirilmiştir.

6.1.1 Test Metotları

Batarya test metotları; mekanik test, çevresel testler, termal görüntüleme, elektromanyetik uygunluk testleri, çevrim testi, yük testi olarak sıralanabilir.

Mekanik Test :

Batarya; darbe, delme, çarpma, titreşim, sarsıntı, düşme gibi dinamik ve mekanik gerilimlere maruz kaldığında ne kadar işlevini koruyabileceği saptanır.

Çevresel Testler :

Bataryanın kullanım süresi boyunca maruz kalacağı çevresel koşullarda bataryanın nasıl bir davranış sergileyeceği izlenir. Bu test; ısınma, çevrim sıcaklığı, irtifa, nem ve ateşe maruz kalma gibi testleri kapsamaktadır.

Çevrim Testi :

Batarya, üretici tarafından belirlenen çevrim ömrünü karşılayana ya da aşana kadar tekrarlı bir şekilde şarj-deşarj çevrimlerine maruz bırakılır. Çevrim ömrü, pil kapasitesinin başlangıçtaki spesifik kapasitesinin %80'nin altına düşmeden önceki performans sergileyeceği çevrimlerin sayısı olarak tanımlanır.

Sıcaklık, şarj/deşarj oranları,deşarj yoğunluğunun her biri pilin çevrim ömrü üzerinde büyük etkisi vardır. Çevrim testleri tercihen çevrim ömrünün ne şekilde etkilendiğini tespit etmek amacıyla sıcaklık artışına izin verilen ya dadeşarj yoğunluğu kısıtlanmış operasyon koşullarını simüle etmek için kullanılabilir.

Çevrim ömrü aynı zamanda aşırı şarj vedeşarj durumundan da etkilenmektedir ve belirlenen çevrim ömrüne ulaşmak doğru voltaj ve akım limitlerinin ayarlanması gerekmektedir.

Çevrim testi genellikle farklı şarj vedeşarj profilleri yaratan çok kanallı test cihazları kullanılarak bir dizi pil takımına uygulanır. Aynı zamanda sıcaklık, kapasite, empedans, çıkış gücü vedeşarj zamanı gibi çeşitli pil performans parametreleri görüntülenir ve kaydedilir.

Termal Görüntüleme :

Termal görüntüleme, pil ya da batarya dizinindeki yüksek termal gerilim noktalarını gösteren “sıcak bölgeler”in kontrol edilmesine dayalı bir test metodudur. Bu, özel bir kamera kullanılarak batarya tarafından yayılan kızıl ötesi radyasyonun yoğunluğunu kaydeden bir çeşit fotoğrafıma tekniğidir. Bu testle aşırı ısınma, yetersiz ısı alıcı (soğutucu) ya da hava akışı gibi problemler saptanır.

Elektromanyetik Uygunluk (EMC) Testi :

Bataryaların diğer elektronik ve elektrik ekipman ve sistemlerin radyo frekans sinyalleri, güç hattı geçişleri gibi müdahaleleri durumunda olumsuz yönde etkilenip etkilenmediği saptanır.

Yük Testi

Yük testi, batarya gereksinim duyulan spesifik gücü verip vermediğini kontrol etmek için yapılır. Yük genellikle bataryanın kullanılacağı tahmini koşulları bir temsili olarak dizayn edilir. Otomobil bataryalarında yüksek akım oranlarında değişken yükler olmaktadır ve yük tipik bir sürüş modelinin simülasyonu için dizayn edilebilir. Elektrikli araç bataryaları için daha kompleks yüksek güçteki yük profilleri gerektirir. Bu araçların sürüş koşullarının simülasyonu için ABD’de USABC’ın geliştirmiş olduğu Dinamik Gerilim Testi (DST) ve Federal Şehir İçi Sürüş Programı (FUDS); Avrupa’da, Avrupa Birleşmiş Milletler Ekonomik Komisyonu (ECE-15) ve Ekstra Şehir İçi Sürüş Çevrimi (EUDC) gibi standart yük profilleri geliştirilmiştir. [5]

Batarya performansının tespit edilmesi için batarya pil takımı elektrikli ve hibrit elektrikli araçların sürüş esnasında teste tabi tutulması ile saptanabilir. Bilgisayar ortamında

simülasyonunun yapılması ile performans analizi, günlük hayatta kullanım koşullarında bataryanın temel hatlarının belirlenmesini sağlamaktadır.

Uç uca test yaklaşımı ile elektrikli araç geliştirilmesi esnasında karşılaşılan birtakım önemli kısıtlamaların üstesinden gelinmiştir. Bu yöntemin avantajları:

- Aktif metal, elektrolit, pil içi ve piller arası sıcaklık dağılımı gibi bataryanın iç karakteristiklerinin dizaynı ile ilgili iyileştirilmeler yapılmasına olanak sağlamak,
- Aracın fiziksel bir protipinin inşa edilmesinden önce geliştirilmiş traksiyoner batarya dizaynları ve alternatiflerini değerlendirmek,
- Bataryanın şarj durumu (SoC), hareket halindeki araçta şarj (etme) profili ve araç sürüş profiline dair öngörüle bulunmak,
- Araç entegrasyonu ve simülasyonu için sanal batarya dizaynlarını oluşturmak,
- Hızlı şarj cihazları ve batarya performansı denetim sistemlerinin dizaynını iyileştirmek, olarak sıralanabilir.

Bu tez kapsamına konu olan testler kurşun-asit bataryaları, NiMH bataryaları kapsamaktadır. Dayanıklılık testi, darbe deney testi, yolda karşılaşılabilecek çarpma ve engel testleri(levha ve bariyerler gibi) uygulanan test prosedürü dahilindedir.

Ayrıca 400 metre kısa mesafe yarış testi de olmak üzere sabit güç deşarj testi ve sabit kuvvet testlerini içeren dinamometre testleri de bu testler kapsamındadır. Analiz edilmiş veriler, çekilen gücü, motor torkunu, hızı ve aracın ivmelenme değerleridir. Veriler toplanır ve grafiksel olarak gösterimi yapılır ya da analiz edilmek için Excel dosyasına aktarılır.

Aracın ve bataryanın her ikisi için gerçek test süresi yaklaşık olarak bir saat iken standart bir bilgisayarda simülasyonu merkezi işlem birimi zamanı ile sadece bir dakikadır.

Kompleks dinamik gerilim testine maruz kalan 85 Ah'lik valf regüleli kurşun asit batarya, testi %80'lik deşarj yoğunluğunda yaklaşık olarak 76 dakikada, bataryanın aşırı deşarjı ve kalıcı hasar oluşmasını önlemek için sonlandırmak zorundadır. Simülasyon yapılırken %80'lik deşarj yoğunluğu değerinin ötesinde batarya tamamen deşarj olana kadar yaklaşık 100 dakika kadar devam ettirilir. Bilgisayar simülasyonu, dinamik gerilim testi çevriminde ya da gerçek sürüş çevriminde en son batarya limitinin belirlenmesine yardımcı olur. Bu simülasyon pozitif plakadaki asidi azalmasından dolayı deşarjın sonlandırıldığını gösterir.

Aktif materyalin kullanım oranını belirlemek deneysel olarak neredeyse imkansız olduğu için bilgisayar ortamında simülasyonu alternatif teşkil eder. Aktif materyallerin az kullanımı, enerji yoğunluğunu arttırmak ve mevcut batarya teknolojisinin maliyetini azaltmak için bir olanak olarak değerlendirilmektedir.

6.1.2 Elektrikli Araç Batarya Testleri

Batarya, EA'ların kabul görmesinde anahtar ögedir. Batarya pil takımı testi ve geliştirilmesi için batarya maksimum gücüne karşılık gelen batarya çevrim ömrünün etkisini tespit etmek ve batarya çevrim ömrü üzerindeki şarj metodu etkisinin saptanması önem arz etmektedir. Batarya takımı denetimi açısından, termal denetim karakteristiklerini ve bataryalarda aktif materyalin kullanımı çalışmaları önem taşımaktadır.

A.B.D. Geliştirilmiş Batarya Konsorsiyumu (USABC), pil takımı testi için prosedürler belirlemiştir. Bu test prosedürleri dahilinde pil takımı çevrim ömrü testi, emniyet testi, tahrip edici yanlış kullanım testi ve test sonrası analizi bulunmaktadır.

Tipik bir batarya testi düzeni aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır.(aynı sıralamada uygulanması zorunlu değildir.)

- Batarya içi performans testi
- Emniyet/ yanlış kullanım ya da çevrim ömrü testi
- Çevrim ömrü raporu
- Test sonrası analizi ve rapor etme

Batarya İçi Performans Testleri

Batarya içi performans testleri aşağıdaki testleri kapsamaktadır:

- Sabit akım deşarjı
- Maksimum güç
- Sabit güç
- Değişken güç deşarjı
- Ulusal şehir içi sürüş programı

- Dinamik gerilim testi (DST)
- Spesifik performansı
- Kısmi deşarjı
- Sürdürülebilir tırmanma gücü
- Termal performans
- Batarya titreşimi
- Şarjın tamamlanması ve optimizasyonu
- Hızlı şarj etme

Yukarıda bahsedilen testlerin kısa bir tanımı, batarya test sistemini ve traksiyoner pil takımı açısından EA gelişimine katkısını kavramak için yardımcı olacaktır.

Sabit Güç Testi

Bu test, elektrikli araçların uygulamalarını temsilen bir dizi güç seviyelerinin üstünde devamlı bir deşarj sağlamak için bataryanın yeterliliğini tespit eder. Testler sabit bir güç altında birbirini izleyen şarj/deşarj süreçleri sırasında bataryanın gerilim/güç davranışını tanımlar. Bu davranış DoD 'nin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Bir dizi güç seviyesinde yapılan bu testler sırasında batarya en az 2 kez olmak üzere belirli bir kapasitede deşarja veya belirlenmiş bir tükenme noktasına kadar deşarja maruz kalır. Batarya üzerinde hangi deşarj durumu önce gerçekleşirse bu duruma göre test sonlandırılmaktadır.

Değişken Güç ile Deşarj Testi

Bu test ile frenleme dahil elektrikli araçlara ait sürüş davranışlarının batarya ömrü ve performansı üzerindeki etkilerinin simülasyonu yapılmaktadır. Test altında belirlenen değişken güç deşarjı standartları, otomobil endüstrisi standardı “Ulusal Şehir İçi Sürüş Programı’na dayanmaktadır. Bu program, elektrikle çalışan taşıt uygulamalarının şarj/deşarj döngülerini içerir şekilde hazırlanmıştır.

Ulusal Şehir İçi Sürüş Programı (Değişken Güç ile Deşarj Testi)

Bu test, gerçek güç ihtiyaçlarının olası en iyi simülasyonunu ortaya koymaktadır. Pik enerji ihtiyaçlarının ortaya çıkmasına ve maksimum şarj etme oranına bağlı olarak ortaya çıkan

batarya davranışına ait istenilen profili sağlamaktadır.

Dinamik Gerilim Testi (Değişken Güç Testi)

Bu test, Ulusal Şehir içi Sürüş Programının basitleştirilmiş bir profili olan bir güç-zaman testidir. Bu belirlenmiş profil, elektrikli araçların deşarja maruz kaldığı durumlar ile frenleme durumlarındaki dinamik davranışı simüle etmektedir.

Özel Performans Testi

İsminden de anlaşılacağı gibi bu özel performans testi, nadiren karşılaşılan, sadece mutlak durumlar ve/veya çevresel koşullar için tanımlanmıştır. Bu test aynı zamanda özel batarya testleri için de uygulanabilmektedir.

Kısmi Deşarj Testi

Bu test ile bataryanın kısmi deşarjlara karşı olan tepkisi ölçülür. Bu sayede herhangi bir kapasite kaybının olup olmadığı belirlenir. Elektrikli taşıtların kısmi bir DOD işlemi için düzgün şarj prosedürüne uygun olup olmadığı doğrulanmış olur.

Durağan Batarya Kapasite Kaybı Testi

Bu test, bataryanın uzun süreli kullanılmaması durumunda oluşan batarya kapasitesindeki kayıpları ölçer. Uzun bir süre sürüş yapılmayan ve bu sürede şarj edilmeyen bataryalı bir aracın bataryası simule edilmektedir. Durağan kayıplar, kendi kendine deşarj olma veya kalıcı veya yarı kalıcı batarya kapasite kaybıyla sonuçlanabilecek başka mekanizmalara bağlı olarak gerçekleşir.

Aralıksız Tırmandırma Güç Testi

Bu test ile batarya bitmeden önce ortalama 45 W / kg güç ile yapılan 6 dakikalık deşarj esnasındaki DoD belirlenir. Bu test sonuçları 45 W/kg gücün aralıksız sağlandığı zamana göre ortaya konur. Bu test, maksimum DoD değerinin grafiksel olarak saptanmasını sağlar ve batarya tamamen deşarj olmadan önceki en az 6 dakika için bu maksimum DoD değerlerin hangi güç değerleri ile elde edildiğini ortaya koyar.

Termal Performans Testi

Bu test ortam sıcaklığının değişiminin batarya üzerindeki etkilerini karakterize eder. Bataryanın sıcaklık karakteristiği, çoğu durumda kullanılan batarya teknolojisi ile ilintilidir. Bu nedenle şarj-deşarj döngülerinin sayısal olarak tüm bataryalar için geçerli bir genellemesi

yapılamaz. Bu testin sonuçları, termal batarya yönetimi ve kontrolünün gerekliliğini belirlemek için yararlı verileri sağlamalıdır. Bu sayede batarya için izin verilen ortam sıcaklığı aralığı belirlenebilir. Buna göre termal batarya denetimi sağlanabilir.

Batarya Titreşim Testi

Bu test, uzun süreli,yol kaynaklı titreşim ve şok darbelerinin batarya performansı üzerindeki etkilerini karakterize eder.Bu test ile bataryaların servis ömrü karakterize edilir.Amaç hem titreşime karşı dayanıklılığı sağlamak hem de tasarımdaki düzeltilmesi gereken yetersizlikleri belirlemektir.

Optimizasyon Testinde Şarjın Tamamlanması

Bu test ile bir şarj algoritması oluşturulur veya üretici,geliştirici firma tarafından sağlanan şarj algoritmasının bataryayı şarj edemediği , sabit bir batarya kapasitesinin sağlanamadığı durumlarda varolan bir algoritma optimize edilir.Ayrıca şarj yöntemi de bu problemin oluşmasında etkilidir.

Hızlı Şarj Testi

Bu test Yüksek şarj oranlarına maruz kalan bataryanın hızlı şarj olabilme kapasitesini ölçer ve hızlandırılmış şarj işleminin verimini ve diğer etkilerini tespit eder. Hızlı şarj etme için USABC, 15 Dakika içerisinde deşarj yoğunluğu %60 olan bataryanın şarj durumunun %40'ını geri kazandırmayı hedeflemiştir.

Performans Güvenliği Testleri

İsminden de anlaşılacağı gibi batarya sistemlerinin performanslarını karakterize eder. Bataryaların olağan arızaları ve en kötü durum senaryosunda vereceği tepkiler karakterize edilir.Buradan elde edilen bilgiler ile güvenli sürüş ve performans sağlanarak oluşabilecek kazalar minimuma indirilmeye çalışılır.

Elektrikli Araçlarda Hızlandırılmış Güvenilirlik Testi

Hızlandırılmış güvenlik testleri kullanımda olan elektrikli araçların yıllar geçtikten sonra ortaya koyacakları performans değerlerini , bir yıl gibi kısa bir zamanda elde etmek için gerçekleştirilir.Testler standart yönergeler doğrultusunda uygulanır ve sonuçları elektrikli araçlarının performansı açısından daha anlaşılır,doyurucu bilgiler elde edilmesini sağlar.

Araçlarda yaşanan arızalar ,aynı zamanda yolda kalma durumuyla da alakalı olabilmektedir.Bu arızalar , testler sırasında ortaya çıkan hatalar ve kusurlar olacaktır.Aracın yolda kalması durumu , araç ve aracın bileşenlerin çıkan arızaya göre tamirat maliyeti ortaya çıkaracaktır.

Bazı izlenebilir bileşenler aşağıda listelenmiştir.

- Batarya
- Şarj sistemi
- Yardımcı sistemler
- Çekiş Motor Sistemi
- Frenleme sistemi ve ABS sistemi
- Tekerlekler
- Aktarım organları ve şanzıman
- Havalandırma sistemi

Elektrik araçlardaki batarya sistemi içerisindeki aşağıdaki bileşenler takip edilmelidir;

- Çekiş Gücü Sağlayan Batarya
- Batarya Modülleri
- Yüksek Gerilim Bataryası Elektrik Kabloları
- Batarya Fan Filtresi
- Batarya Sigortası
- Batarya Devresi Şalteri
- Batarya Şarj Durumu Şarj Göstergesi
- Batarya Bölmesi
- Batarya Fanı
- Batarya Termal Sistemi

- Batarya Akım Sensörü
- Batarya Sıcaklık Sensörü

Batarya Şarj Sistemi için , aşağıdaki bileşenler takip edilmelidir;

- Yerleşik Batarya Şarj Sistemi
- Yerleşik Şarj Sistemi Elektrik Kabloları ve Bağlantıları
- Şarj Ünitesi Fanı
- Şarj Algoritması Arayüz Kartı
- Yerleşik Şarj Portu
- Şarj Ünitesi Sigortası

Batarya amortisman giderlerinde , testlerden elde edilen dataların güvenilirliğini etkendir.Eğer test periyodu süresince batarya grubunda , herhangi bir batarya değişikliği olursa batarya değiştirme maliyeti elektrikli araç tarafından katedilen mile bölünür.Bu hesap, mil başına araç maliyetini verir.Bu durum elektrikli araçların mil başına sürüş maliyetlerinin \$/mil veya cent/mil olarak bir özetini sağlayacaktır.

6.1.3 Batarya Testi Önerileri

Sonuçlara dayanarak ,

a) Bataryanın pik güç yapabilme fonksiyonu, taşıt bir döngünün var olduğu enerji deşarjına maruz kaldığında, 3 saatlik sabit akımlı bir enerji deşarjına göre daha çabuk azalmaktadır.Bu pik yük indirgemesi, sürüş şartları altındaki kullanılabilir ömrü belirlemektedir.

Buna bağlı olarak ; yüksek pik güç gerektiren sürüş profillerindeki batarya kullanım ömrü, daha düşük pik yük gerektiren sürüş profiline sahip sürüş tekniklerinin kullanıldığı bir aracın bataryasına göre daha kısadır.

b) Deşarj ve şarj süreleri arasında 8 saate kadar oluşturulabilecek dinlenme süreleri batarya ömründe az da olsa artış sağlamaktadır.

c) 3 adımlı sabit akım ;

Bu şarj metodu , şarj sırasında daha düşük sıcaklık artışı sağlamaktadır. Fakat sabit akım-sabit

voltaj(CI/CV) şarj yönteminin üzerinde bir deşarj süresi sağlamamaktadır.

d) İzole edilmiş elektrolitik kurşun asit bataryaların soğutulması taşkın elektrolitli bataryalara göre daha zordur. Bu tasarımların ikisinde de elektrot batarya, bataryayı çevreleyen duvar ile temas halinde değildir. Buna bağlı olarak izole bataryalarda , yüksek ısı üretimi ve zayıf ısı iletkenlik ortaya çıkmaktadır.

e) Batarya paketinin ısı yönetim sistemi , sistemin hacimsel enerji yoğunluğunu arttırmak için belirgin bir şekilde geliştirilmelidir.

f) Kısa vadede en çok gelecek vadede yaklaşım; batarya elektrotları arasında zorlanmış elektrolit sirkülasyonu ile VRLA tipi bataryalardaki aktif malzemenin batarya kullanımını arttırmaktır. (Dhameja, 2001)

6.2 Bataryaların Modellenmesi

Son yıllarda elektrikli ve hibrid elektrikli araçlar için bataryaların araştırılması ve geliştirilmesinde, bataryanın modellenmesi ve simülasyonunun yapılması giderek artış göstermektedir. Performans, emniyet, kullanım ömrü vb. açısından batarya sistemlerini anlamak, elektrikli ve hibrid elektrikli araçların performansı açısından büyük önem taşımaktadır.

6.2.1 Bataryanın Modellenmesindeki Amaç

Spesifik koşullar altında, ilgili performans karakteristikleri kullanılarak bataryanın nasıl bir davranış sergileyeceğine dair fikir yürütmek ve bunun sonucu olarak bataryanın kullanıldığı aracın performansını incelemek amacıyla bataryalar birtakım bilgisayar programları yardımıyla, modellenmektedir. Bu tip modeller, fizik ve kimya prensiplerinden daha çok gerçek performans verilerine dayanmaktadır.

Her ne kadar bataryaların modellenmesi oldukça zor ve tam olarak güvenilir olmasa da bu çalışmada daha çok gerçek performans verilerine dayalı bir modelleme yapılacaktır. Bataryanın performansı önemli ölçüde sıcaklık gibi ölçülebilir niceliklere ve voltaj gibi performans karakteristiklerine bağlıdır. Batarya ömrü, bataryanın geçmişte nasıl kullanıldığı gibi tam olarak tayin edilmesi oldukça zor parametrelere de bağlıdır. Üretim toleransları ve bataryanın içerisindeki farklı piller arasındaki değişkenliğin batarya performansı üzerinde büyük bir etkisi olacaktır.

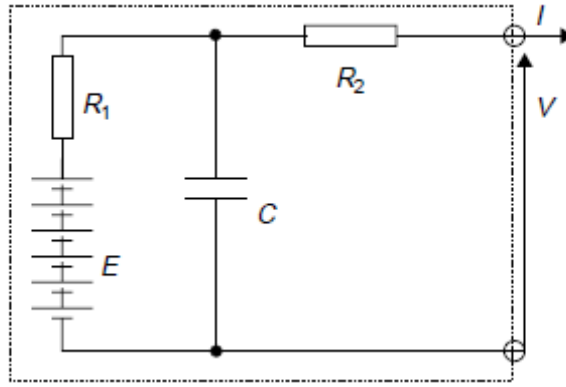
6.2.2 Batarya Eşdeğer Devresi

Bir bataryanın performansının simülasyonu için yapılacak ilk iş bir eşdeğer devre oluşturmaktır. Bu devre, açık devre voltajı, direnç, kutup başı voltajı gibi unsurlardan oluşur ve her unsur tam olarak tahmin edilebilir davranışlar sergiler.

Bir devrenin bu şekilde sınırlandırılması bataryanın dinamik davranışının tümünü açıklamaz. Örneğin, bataryaya bir yük bağlandığında voltaj ani bir şekilde daha düşük bir seviyeye inecektir halbuki gerçekte voltajın yeni bir değeri bulması zaman alacaktır.

Şekil 6.1 'de dinamik etkileri oldukça iyi bir şekilde modelleyen biraz daha sadeleştirilmiş eşdeğer devre görülmektedir. Devremizi sadeleştirdikçe performans ile ilgili daha iyi tahminler elde edebiliriz.

Batarya simülasyonundaki amaç; menzil, mesafe, ivmelenme, hız ve bunun gibi parametreler açısından elektrikli araçların performansı hakkında tahmin yürütebilmektir. Şekil 6.1'de eşdeğer devre basit bir şekilde gösterilmiştir. Burada fark etmemiz gereken, batarya parametrelerinin (E ve R) sabit değerler olmadığıdır. Batarya açık devre voltajı E, en önemli parametredir ve bataryanın şarj durumuna bağlı olarak değişir.



Şekil 6.1 Basit bir batarya eşdeğer modeli örneği. Bu devre, bataryanın dinamik davranışını modellemektedir.

Açık devre voltajı; E değeri, bataryanın şarj durumu ile orantılı olarak değişir. Değişken batarya deşarj derinliği ise tam dolu haldeyken sıfır ve boşaldığında 1.0'dir. Kurşun asit batarya için açık devre voltajının basit formülü:

$$E = n \times (2.15 - DoD \times (2.15 - 2.00)) \quad (6.1)$$

Bu formülde n , pil sayısını ifade etmektedir. Formül kurşun asit batarya için iyi sonuçlar verse de sıcaklık faktörünü de bu formüle dahil etmek çok daha gerçeğe yakın sonuçlara ulaşmamızı sağlayacaktır. Sıcaklığın, açık devre voltajı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu şüphe götürmez bir gerçektir.

Nikel bazlı bataryalarda ise durum biraz daha farklıdır. Çünkü voltaj/şarj durumu eğrisi lineer olmaktan çok uzaktır. Bu tür bataryalar için tutarlı sonuçlar veren çok terimli denklemler, MATLAB gibi matematiksel yazılımların kullanılmasıyla çözümlenebilir. Bir NiCd traksiyoner bataryanın deneysel sonuçlarından türetilmiş, açık devre voltajı formülü ise:

$$E = n \times (-8.2816DoD^7 + 23.5749DoD^6 - 30DoD^5 + 23.7053DoD^4 - 12.5877DoD^3 + 4.1315DoD^2 - 0.8658DoD + 1.37) \quad (6.2)$$

Batarya modellenirken deneysel sonuçlardan da faydalanarak aracın performansına dair tahmin yürütebilmek amaçlanmaktadır.. Bataryaya ait saptanmış birtakım parametre değerleriyle birlikte kapsamlı bir simülasyon için MATLAB yazılımı kullanılabilir. Birçok parametreye bağlı olarak çalışması ve kullanıcının tespit etmiş olduğu konuları da kapsayarak neyi, nasıl yaptığını kolaylıkla anlaşılması gibi özelliklerinden dolayı yapacağımız simülasyonlarda MATLAB programı kullanılmıştır.

Batarya modelinde açık devre voltajını (E) saptamak için, iç direnç; R değerini bilmemiz gerekir. R değeri, bir batarya için yaklaşık olarak sabit bir değer olmasına rağmen şarj durumundan ve sıcaklıktan etkilenir. Hatalı kullanımda ise artış göstermektedir, özellikle de bu durum kurşun asit bataryalarda daha çok ortaya çıkmaktadır. (4.2) ve (4.9) denklemlerinde, kurşun asit ve nikel bazlı bataryaların birinci dereceden basit bir yaklaşımla iç direnç formülleri verilmiştir. (Larminie ve Lowry, 2003)

6.2.3 Batarya Kapasitesinin Modellenmesi

Daha önce de değinildiği gibi akım hızlı bir şekilde çekildiğinde batarya kapasitesi azalmaktadır. 1A'lık akımı 10 saat boyunca bataryadan çekilmesi ile 10A'lık akımı 1saat boyunca bataryadan çekilmesi, alınan şarj miktarı açısından aynı değildir.

Bu olgu, özellikle daha yüksek akım uygulamalarının gerçekleştiği ve beklenenden daha az kapasite ile sonuçlanan elektrikli otomobiller açısından önem taşımaktadır. Akımın kapasite üzerindeki etkisi ile ilgili tahmin yürütmek, aracın tasarımında ve bataryada kalan şarj miktarını ölçmek için kullanılacak cihazın yapılmasında önem taşımaktadır. Bataryanın deşarj

derinliği biliniyorsa, (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak açık devre voltajı bulunabilir.

Batarya kapasitesinin modellenmesinde ise en iyi yöntem, Peukert modelinin kullanılmasıdır. Düşük akımlarda çok doğru sonuçlar vermese de yüksek akımlarda, batarya davranışına dair iyi bir model ortaya çıkarır.

Peukert Kapasitesinin ele edildiği formül:

$$C_p = I^k T \quad (6.3)$$

Burada k, Peukert Katsayısı olarak ifade edilen bir sabittir. (kurşun asit bataryalar için değeri, genellikle 1.2'dir.). Bu denklemde bataryanın sabit bir akımda I A, tamamen boşalınca kadar deşarj olduğu ifade edilir ve T h kadar sürer. Batarya 1 A akımda deşarj edildiğinde, Peukert Kapasitesi, normal Ampsaat kapasitesine eşdeğer olduğu dikkatlerden kaçmaması gereken bir husustur. Peukert Kapasitesinin hesaplanmasına dair aşağıdaki örnek incelenebilir.

5 saatlik süreçteki nominal kapasitesi 40Ah olan bir bataryayı ele alalım. Bu da bataryanın aşağıda hesaplan akımda deşarj edildiğinde 40 Ah kapasitesi olduğu anlamına gelmektedir:

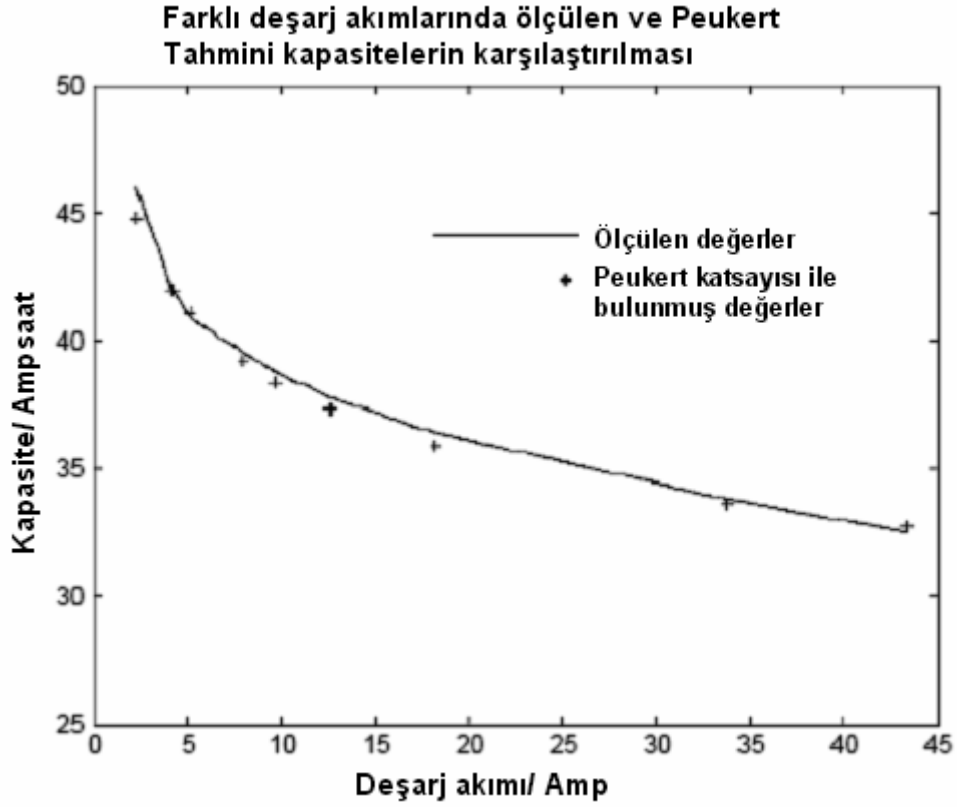
$$I = \frac{40}{5} = 8A \quad (6.4)$$

Peukert Katsayısı 1.2 alınırsa, Peukert Kapasitesi:

$$C_p = 8^{1.2} \times 5 = 60.6Ah \quad (6.5)$$

Şekil 6.2'deki nominal olarak 42 Ah (10 h) kapasiteli bataryanın kapasitesinin artan deşarj akımına bağlı olarak azalışı gösterilmiştir. Peukert Katsayısı bu batarya tipi için 1.107 bulunmuştur. Denklem (6.3) yi kullanarak:

$$C_p = 4.2^{1.107} \times 10 = 49Ah \quad (6.6)$$



Şekil 6.2 Peukert modelinin gerçek batarya verileri ile örtüştüğü görülmektedir. 42 V'luk kurşun asit bataryaya ait veriler kullanılmıştır. (Larminie ve Lowry, 2003)

Bataryadan bir I akımı geçişi, batarya kapasitesi ile ilişkilendirildiği takdirde bataryadan dışarı verilen akım I^k olacaktır. I ve k 1.0'den ne kadar büyük olursa I^k da I 'dan daha büyük olacaktır.

MATLAB programında yapacağımız simülasyonda batarya deşarj olurken voltaj değişimini göreceğiz. Her aşamadaki çekilen şarjı hesaplayan aşamalı bir simülasyon yapılacaktır.

Hesaplamalar arasındaki zaman aralığı, δt olarak gösterilecektir. Bataryadan Geçen akımın I olduğunu farz edersek, bataryadan çekilen efektif akım aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\delta t \times I^k \quad (6.7)$$

Burada yapılması gereken; δt birim olarak saniye olmasından dolayı Ampsaat olarak ifade edilebilmesi için 3600'e bölünür. Simülasyonun n . Aşamasında bataryadan çekilen toplam şarj; CR_n formülü :

$$CR_{n+1} = CR_n + \frac{\delta t \times I^k}{3600} Ah \quad (6.8)$$

Aslında batarya plakalarından çekilen şarj, elektrik motoruna aktarmak amacıyla bataryadan temin edilen toplam şarj değildir. Bataryadan alınan şarj; CS:

$$CS_{n+1} = CS_n + \frac{\delta t \times I}{3600} Ah \quad (6.9)$$

Bataryanın vermiş olduğu şarj CS, bataryadan çekilen şarjdan daha düşüktür, bunun nedeni ise batarya içerisinde gerçekleşen selfdeşarj reaksiyonlarıdır.

Bataryanındeşarj derinliği ise bataryadan çekilen şarjın orijinal kapasiteye oranıdır. Yani simülasyonun n. aşamasındakideşarj derinliği:

$$DoD_n = \frac{CR_n}{C_p} \quad (6.10)$$

DoD, açık devre voltajını buna bağlı olarak da kutup başı voltajını bulmak için kullanılabilir.

Bataryanındeşarjını simüle etmek için kullanacağımız yukarıdaki denklemler, bataryadeşarj olana kadar 1, 2, 3, 4, vb. aşamadan n. aşamaya kadar çalıştırılacaktır. Buradadeşarj derinliğinin 1.0' e ulaşmadan yani DoD 0.99 olduğunda programın durması yönünde komut verilir.

6.2.4 Belirlenen Bir Güçte Bataryanın Simülasyonu

Belirli bir hızda hareket edecek araç tasarlanırken belirli bir güçte çalışan motora gereksinim duyulur. Bu da bataryadan çekilecek belirli bir elektrik gücünü ifade etmektedir. Böyle bir durumda ise bataryayı akımdan ziyade belirli bir güçteki operasyonunu simüle etmek daha kullanışlı olacaktır.

P (W) gücünde çalışırken bataryadan geçen I akımı için kurulacak denklem:

$$P = V \times I \quad (6.11)$$

Bataryanın kutup başı voltajı V yerine denklem (3.36) deki karşılığını yazıldığında:

$$P = V \times I = (E - IR) \times I = EI - R^2 \quad (6.12)$$

I için ikinci dereceden olan bu denkleminin çözümlerinden biri; bataryayı çok yüksek bir akımda çalıştırılmasına ve dolayısıyla artan iç dirençten kaynaklı olarak voltajın düşmesine ve böylece bu güce çok yüksek bir akımda düşük bir voltajla ulaşılmasına ki gayet etkin olmayan

bir operasyona sebebiyet vereceğinden aşağıdaki denklem kullanışlı bir çözüm olacaktır:

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP}}{2R} \quad (6.13)$$

Araç içersindeki kullanımını simüle ederken rejeneratif frenlemeden ortaya çıkan güç batarya içerisine dağıtılır. Bu durumda akım bataryaya doğru geçer ve bu durumda kutup başı voltajı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$V = E + IR \quad (6.14)$$

Denklem (6.14)'i, güç için yazılmış denklemle kombine ettiğimizde aşağıdaki eşitliği elde ederiz:

$$P = V \times I = (E + IR) \times I = EI + RI^2 \quad (6.15)$$

Etkin bir şekilde çalıştırılması için akım:

$$I = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4RP}}{2R} \quad (6.16)$$

Simülasyonu çalıştırırken, gücün P, pozitif olduğuna dikkat edilmelidir. Denklem (6.16)' den elde edilen akım batarya içerisine akar. Rejeneratif frenlenmenin de batarya simülasyonuna dahil edilmesiyle denklem (6.8), bataryadan çekilen şarjın azalmasından dolayı aşağıdaki şekilde modifikasyonu daha uygundur:

$$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t \times I}{3600} Ah \quad (6.17)$$

6.2.5 Peukert Katsayısının Hesaplanması

Peukert katsayısı dair bilgi batarya ait veriler arasında nadiren bulunur fakat bu değeri hesaplamamıza olanak verecek yeterli veriye ulaşmak mümkündür. Burada ihtiyaç duyduğumuz sadece bataryanın iki farklı deşarj süresindeki kapasitesidir. Şekil 6.2'de görüldüğü üzere nominal olarak 42 Ampsaat'lik (10 saat için) bir bataryadan akım 1 saat içinde çekildiğinde kapasitesinin 33.6 olduğu görülmektedir.

Peukert katsayısı, iki farklı süre zarfındaki kapasiteleri kullanarak iki farklı akım değerlerine ulaşıldıktan sonra aşağıdaki yöntem izlenerek hesaplanır:

$$I_1 = \frac{C_1}{T_1} \quad \text{ve} \quad I_2 = \frac{C_2}{T_2} \quad (6.18)$$

Buradan Peukert kapasitesi için iki denklem elde ederiz.

$$C_P = I_1^k \times T_1 \quad \text{ve} \quad C_P = I_2^k \times T_2 \quad (6.19)$$

Peukert katsayısı sabit olduğundan:

$$I_1^k T_1 = I_2^k T_2$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^k = \frac{T_2}{T_1}$$

$$k = \frac{(\log T_2 - \log T_1)}{(\log I_1 - \log I_2)} \quad (6.20)$$

Eğer bataryanın farklı deşarj sürelerindeki kapasite ölçüm değerleri mevcut ise $\log(I)$ 'ya karşılık $\log(T)$ grafiği çizilir ve grafiğin eğimi bize Peukert katsayısını verir.

Peukert katsayısının küçük olması genel olarak bataryalar için tercih edilen bir durumdur. Bataryaların sahip olduğu Peukert katsayısının genel bir değerlendirilmesi yapıldığında, kurşun asit bataryalarda daha büyük olma eğilimi gösterirler.

6.2.6 Batarya Modeli Oluşturma

Yukarıda açıklanan dinamik parametreler doğrultusunda VRLA ve NiCd bataryaların her biri için sabit akımdaki deşarjı sırasında batarya voltajına karşılık kapasite değişimini gösteren iki model MATLAB programı kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir model içerisinde bataryalara ait veriler belirtilmiştir.

% 6 pilden oluşan bir VRLA kursun asit batarya için sabit akımda desarj deneyi

% zaman 50 saniyelik steplere ayarlanmıştır ki bu da sabit bir akım deneyi için yeteri kadar % küçüktür.

% verileri elde edebilmemiz için belirli dizinleri oluşturmamız. T 0 dan 5000 saniyeye kadar % 50 saniyelik steplerle çalıştırılacak olan zaman.

T= 0:50:50000;

% Bu 1001 degere karşılık gelir. Yine her biri 1001 stepten oluşan ve tümünün ilk değeri % sıfır olan dört tane daha dizin yapılacak. Dod(n) desarj yoğunluğu değerlerini, V(n) voltaj % değerlerini, CR(n) ve CS(n) Amphours olarak bataryadan çekilen ve bataryanın beslemiş % olduğu sarj miktarlarının değerlerini ifade etmek için kullanılacaktır.

CR=zeros(1,1001); % Elektrotlardan çekilen Peukert katsayısı kullanarak düzeltilmiş sarj.

DoD=zeros(1,1001); % Tam dolu sarj ile başlanmış desarj yoğunluğu.

V= zeros(1,1001); %Her zaman stepindeki batarya voltajı

CS= zeros(1,1001); % Ah olarak bataryanın vermiş olduğu sarj

% Deney için gerekli birtakim sabitler

I = 40; % Desarj akımını 40 Amp e ayarla

Pilsayisi=6; % 6 pillik batarya

Kapasite=50; % Bu bataryanın 10 h lik nominal kapasitesidir

k=1.12; % Peukert katsayısı, 1 den çok büyük değil

deltaT=50; % 10 saniyelik zaman steplerle al, OK sabit I için.

% Hesaplanan değerler

Rin= (0.022/Kapasite)*Pilsayisi; % iç direnc

PeuCap= ((Kapasite/10)^k)*10;

% Dış devre voltajını baslatmak

%V(1) = acik_devre_voltaji_VRLA (0,Pilsayisi) - I*Rin;

V(1) = Pilsayisi*(2.15-0*(2.15-2)) - I*Rin ;

for n=2:1001

CR(n) = CR(n-1) + ((I^k * deltaT)/3600);

DoD(n) = CR(n) / PeuCap;

if DoD(n) >1

DoD(n) = 1;

end

%V(n) = acik_devre_voltaji_VRLA (DoD(n),Pilsayisi) - I*Rin;

V(n) = Pilsayisi*(2.15-DoD(n)*(2.15-2)) - I*Rin ;

% Desarj yogunlugu eger %99 u asarsa batarya tikenmistir

if DoD(n) > 0.99

V(n) = 0;

end

**% Bataryadan disariya verilen sarj Ampsaat hesaplanir. Duzeltilmis Peukert
%degil gercek akim kullanilir.**

if V(n) >0

CS(n) = CS(n-1) + ((I* deltaT)/3600);

else

CS(n) = CS(n-1) ;

end

end

**% batarya V na karsilik batarya t nin grafigi cizilebilir, fakat disariya verilen Ah
cizilmesi**

% daha uygun olur. Bat. V na karsilik disariya verilen Ah grafigi cizilir.

```
plot( CS, V, 'b.' ) ;
```

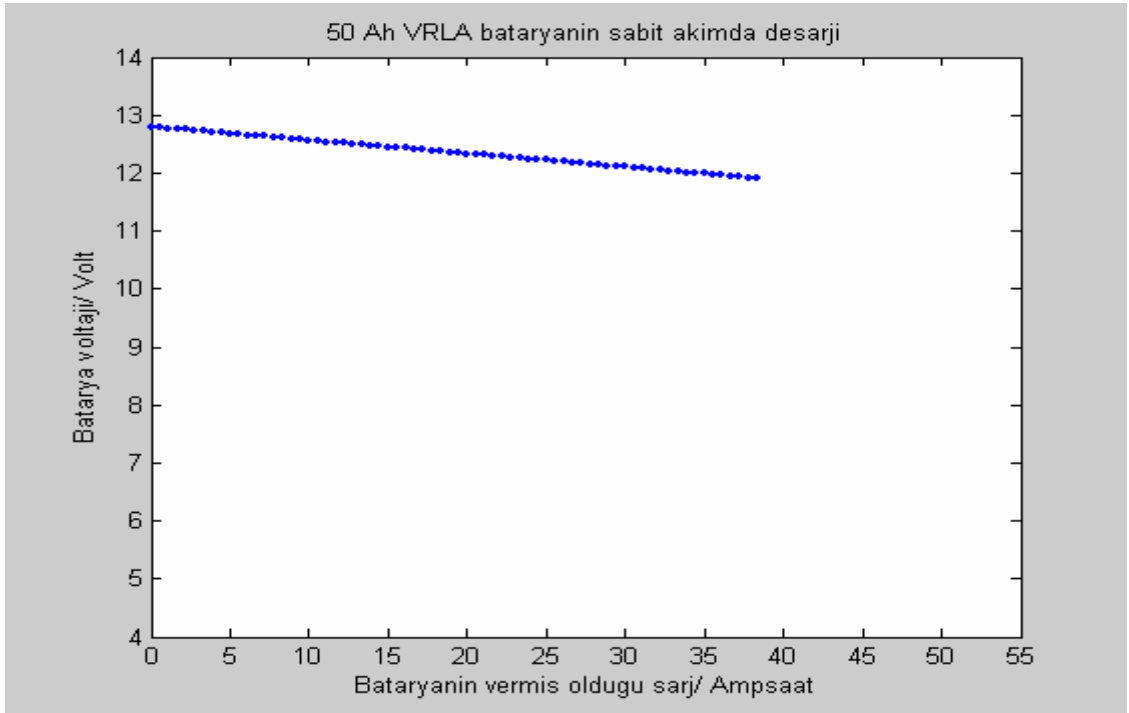
```
axis([0 55 4 14]) ;
```

```
XLABEL('Bataryanın vermiş olduğu sarj/ Ampsaat');
```

```
YLABEL('Batarya voltajı/ Volt') ;
```

```
TITLE('50 Ah VRLA bataryanın sabit akimda desarji') ,
```

Program çalıştırıldığında batarya voltajına karşılık kapasite değişiminin grafiği elde edilir.



Şekil 6.3 6 pilden oluşan bir VRLA kursun asit batarya için sabit akımda deşarjı

% 5 pilden oluşan bir NiCd batarya için sabit akımda desarj deneyi

% zaman 50 saniyelik steplere ayarlanmıştır

% verileri elde edebilmemiz için belirli dizinleri oluşturmalyız. T 0 dan 5000 saniyeye % kadar 50 saniyelik steplerle çalıştırılacak olan zaman.

T= 0:50:50000;

CR=zeros(1,1001);

DoD=zeros(1,1001);

V= zeros(1,1001);

CS= zeros(1,1001);

% Deney için gerekli birtakim sabitleri veriyoruz

I = 30;

Pilsayisi=5;

Kapasite=50; % Bu bataryanın 3 h lik nominal kapasitesidir

k=1.045;

deltaT=50; % 10 saniyelik zaman steplerle al, OK sabit I için.

% Hesaplanan degerler

Rin= (0.06/Kapasite)*Pilsayisi;

PeuCap= ((Kapasite/3)^k)*3;

% Dış devre voltajini baslatmak

%V(1) = acik_devre_voltaji_NC (0,Pilsayisi) - I*Rin;

V(1)=Pilsayisi*(-8.2816*0.^7+23.5749*0.^6-30*0.^5+23.7053*0.^4-12.5877*0.^3+4.1315*0.^2-0.8658*0+1.37) - I*Rin;

for n=2:1001

CR(n) = CR(n-1) + ((I^k * deltaT)/3600);

```

DoD(n) = CR(n)/PeuCap;

if DoD(n)>1

    DoD(n)=1;

end

%V(n)=acik_devre_voltaji_NC (DoD(n),Pilsayisi) - I*Rin;

V(n)=Pilsayisi*(-8.2816*DoD(n).^7+23.5749*DoD(n).^6-
30*DoD(n).^5+23.7053*DoD(n).^4-12.5877*DoD(n).^3+4.1315*DoD(n).^2-
0.8658*DoD(n)+1.37) - I*Rin;

% Desarj yogunlugu eger %99 u asarsa batarya tükenmiştir

if DoD(n)>0.99

    V(n)=0;

end

% Bataryadan dışarıya verilen sarj Ampsaat olarak hesaplanır. Düzeltilmiş Peukert
degil,

% gercek akım kullanılır.

if V(n)>0

    CS(n)=CS(n-1)+ ((I*deltaT)/3600);

else

    CS(n)=CS(n-1);

end

end

%Batarya voltajina karsilik kapasite degisimini gosteren grafik cizilir.

plot(CS,V,'b.');
```

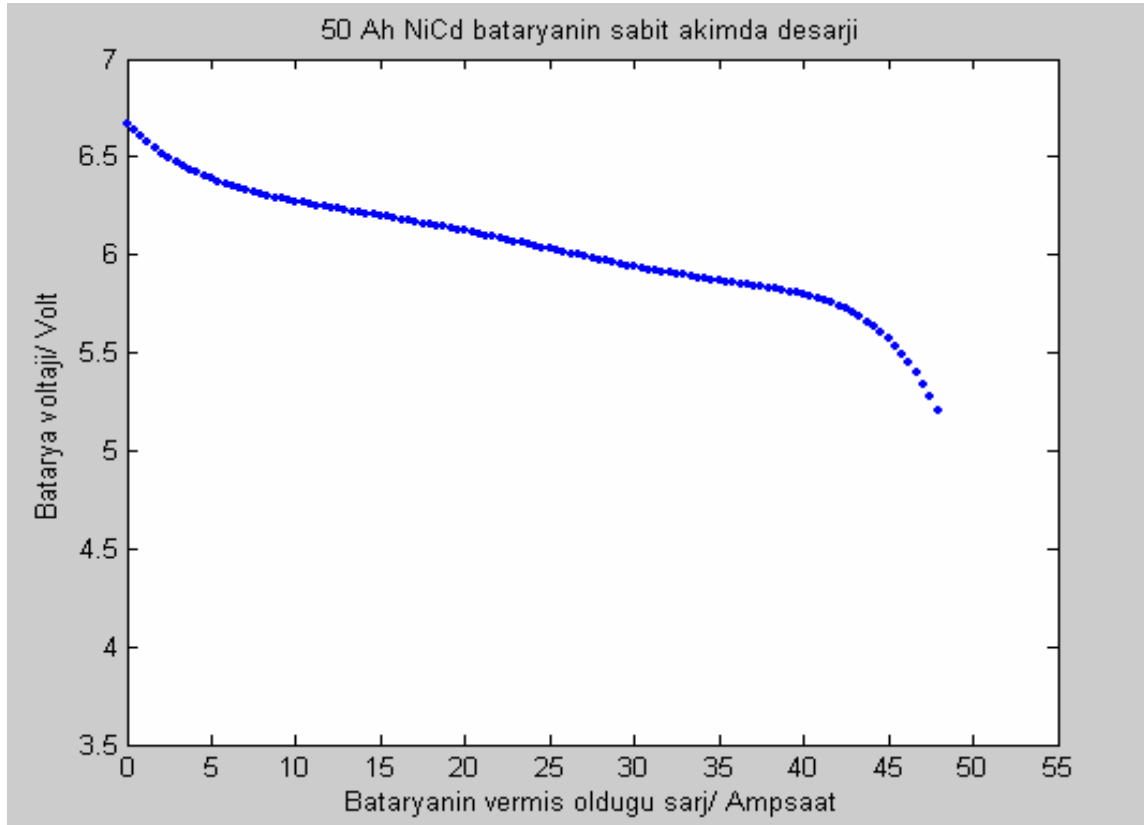
axis([0 55 3.5 7]);

XLABEL('Bataryanın vermiş olduğu sarj/ Ampsaat');

YLABEL('Batarya voltaj/ Volt ');

TITLE('50 Ah NiCd bataryanın sabit akımda desarji');

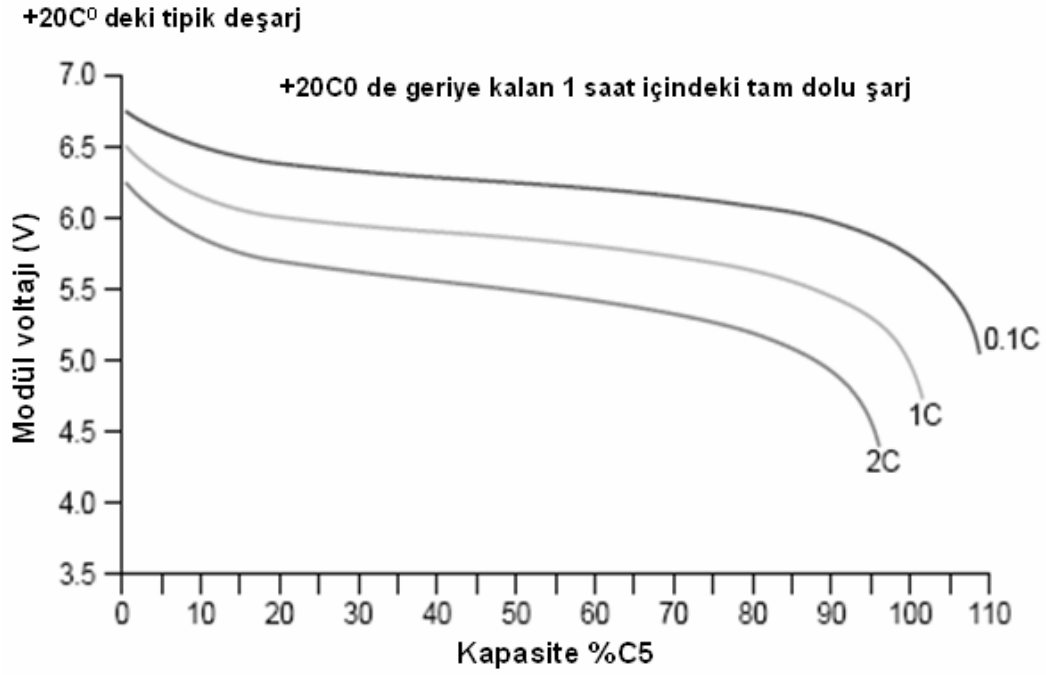
Grafikte 50Ah lik bir NiCd bataryanın sabit akımdaki deşarjı boyunca voltaj değişimi görölmektedir.



Şekil 6.4 5 pilden oluşan bir NiCd batarya için sabit akımda desarj deneyi

Her iki grafikte de deşarj derinliği 1.0' a ulaşana kadar ki deşarj operasyonu boyunca voltaj değişimi gösterilmiştir.

NiCd batarya için yapılmış olan simölasyonun tutarlılığı, gerçek bir bataryanın test ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden oluşturulmuş aşağıdaki grafikte kıyaslandığında görölebilir.

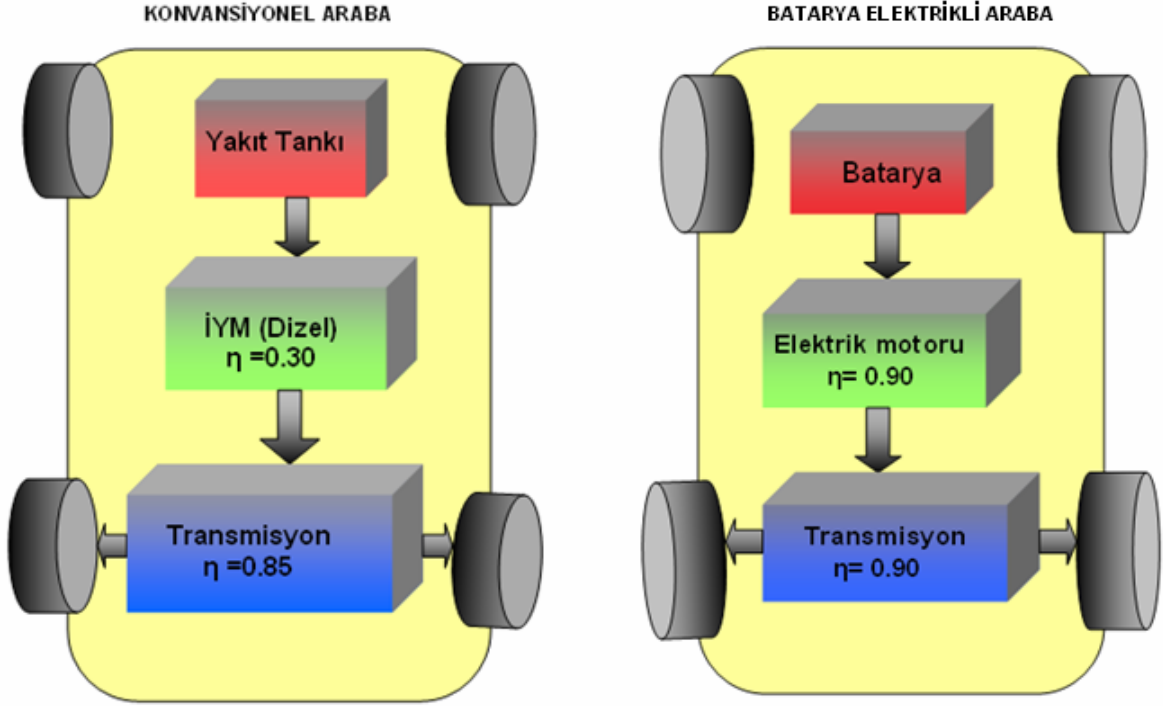


Şekil 6.5 Bir NiCad bataryanın gerçek ölçümler sonucu elde edilmiş kapasiteye bağlı voltaj değişimi (Larminie ve Lowry, 2003)

6.2.7 Batarya Boyutunun Tahmini Olarak Hesaplanması

Yakıt tankları ile karşılaştırılınca, bataryalar düşük bir enerji kapasitesine sahiptir. Yaklaşık olarak üç kat daha verimli olmasına rağmen elektrikle çalışan bir arabanın gereksinim duyduğu batarya boyutu, ağırlık ve hacimce aynı miktarda enerji harcayan dizel motorlu konvansiyonel bir arabanın yakıtına oranla çok daha büyüktür. Bu durum da elektrikli arabalar için makul olmayan ağırlık, alan ve maliyet açısından bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Örneğin şehir içi yakıt tüketimi 6lt/100Km olan dizel motorlu Fiat Palio Sole [6] ile bir Li iyon bataryalı elektrikli aracın 80 km sürüş mesafesi için yakıt miktarı ve batarya boyutunu karşılaştırabiliriz.



Şekil 6.5 İYM'lu konvansiyonel bir araba ve batarya elektrikli bir arabanın aktarım organlarının verimleri gösterilmiştir.

Şekil 6.5 de görüldüğü üzere dizel motorlu konvansiyonel aracın toplam verimi %26, bataryalı elektrikli aracın toplam verimi ise %81'dür.

Dizel yakıtının spesifik enerjisi yaklaşık olarak 12.6 kWh/kg'dır. Motor (%30)ve transmisyon (%85) verimleri göz önünde bulundurulduğunda, 1kg yakıtın enerjisinden, tekerleklere iletilen enerji miktarı 3.3 kWh olacaktır.

Dizel motorlu aracın 80 km yol kat edebilmesi için 4.8 lt yakıtı ihtiyacı vardır. Dizel yakıtın yoğunluğu 0.84 kg/lt'dir. Yani 80 km sürüş mesafesi için 4 kg yakıt harcamaktadır.

Aynı zamanda 60 km/ h sabit bir hızla 80 km yol kat eden lityum iyon bataryalı, orta boyutlu bir elektrikli araç için gerekli güç ve enerji değerlerine hesaplayarak batarya ağırlığını elde edebiliriz.

Elektrikli araçlarda enerji dönüşüm ve depolama sistemlerinin kullanımını doğru bir şekilde değerlendirmek için aracı harekete geçirmek için gerekli güç ve enerji miktarlarının sayısal olarak hesaplanması zorunludur. Yolun kavis ve eğriliklerinden kaynaklanan nispeten küçük kayıpları ihmal ederek, tekerlekleri hareket etmesi için gerekli güç aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_{traksiyon} = P_{egim} + P_{ivmelenme} + P_{tekerlek} + P_{aero} + P_{atalet} \quad (6.21)$$

$$P_{egim} = d(PE)/dt = Mg \sin \theta \quad (6.22)$$

$$P_{ivmelenme} = d(KE)/dt = d(1/2Mv^2)/dt = Mav \quad (6.23)$$

PE : Potansiyel enerji

KE : Kinetik enerji

t : zaman

M : Aracın toplam ağırlığı

g : Yer çekimi ivmesi

v : Hız

θ : Eğim

a : İvme

$$P_{tekerlek} = C_t Mgv \quad (6.24)$$

$$P_{aero} = 0.5dC_a A(v+w)^2 v \quad (6.25)$$

C_t : Tekerlek sürtünme katsayısı

d : Havanın yoğunluğu

C_a : Aerodinamik sürüklenme katsayısı

A : Aracın ön kesit alanı

w : Rüzgar hızı

η : Verim

$$P_{toplamlam} = P_{traksiyon} / \eta_{sürüş} + P_{aksesuar} \quad (6.26)$$

$$E_{toplamlam} = \int P_{total} dt \quad (6.27)$$

Bu hesaplama için yapılan varsayımlar:

Elektrikli aracın, rüzgarsız bir havada 60km/h'lik sabit bir hızla 80km yol aldığı varsayılmıştır. Aktarım organları verimleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

$$M=1200\text{kg}$$

$$A=2.2 \text{ m}^2$$

$$C_t= 0.01$$

$$C_a=0.3$$

$$d=1.21 \text{ km/m}^3(20 \text{ }^\circ\text{C'de})$$

$$w=0 \text{ km/h (Rüzgarsız bir havada rüzgar hızı sıfır olduğu kabul edilecektir.)}$$

$$g=9.8\text{m/s}^2$$

$$a=0 \text{ km/h/s (sabit hızda hareket ettiği kabul ediliyor. İvme sıfır alınacaktır.)}$$

$$\theta=6.11^0 \text{ yani \%10 eğim}$$

$$P_{\text{aksesuar}}=2\text{kW}$$

$$P_{\text{egim}} = 1200 \times 9.8 \times 60 \times 0.1 \times 10^3 / 3600 = 19600W \quad (6.28)$$

$$P_{\text{ivmelenme}} = 0 \text{ (sabit hızda } a=0\text{km/h/s)} \quad (6.29)$$

$$P_{\text{tekerlek}} = 0.01 \times 1200 \times 9.8 \times 60 \times 10^3 / 3600 = 1960W \quad (6.30)$$

$$P_{\text{aero}} = 0.5 \times 1.21 \times 0.3 \times 2.2 \times (60)^3 \times (10^3)^3 / (3600)^3 = 1849W \quad (6.31)$$

$$P_{\text{traksiyon}} = 19600 + 1960 + 1849 = 23409W \quad (6.32)$$

$$\eta_{\text{Toplam}} = (0.90 \times 0.90) = 0.81$$

$$P_{\text{toplam}} = 23409 / 0.81 + 2000 = 30900W = 30.90kW \quad (6.33)$$

$$E_{\text{toplam}} = 30.90 \int_0^{1.3} t = 40.17kWh \quad (6.34)$$

Aracın 60km/h hızla 80km yol alması için gerekli toplam güç miktarı 30.90 kW, toplam enerji miktarı ise 40.17 kWh bulunmuştur($t=1.3$, 80 km mesafeyi 60 km/h hızla alması için gerekli süre). Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus; her çevrim boyunca bataryanın çevrim ömrünün azalmaması için %20 şarj durumuna (%80 DoD) kadar deşarj edilmesi gerekmektedir. Yani yukarıdaki hesaplamada bulmuş olduğumuz enerji değeri bataryanın mevcut enerji içeriğinin %80'i olmakla birlikte bataryanın toplam enerjisi 50.21kWh'dir. Lityum iyon bataryanın spesifik enerjisi 125Wh/kg olduğuna göre araçtaki batarya ağırlığı yaklaşık olarak 402 kg'a denk gelmektedir. Enerji yoğunluğu 250 Wh/L civarında olan lityum iyon bataryanın hacmi ise $0,2m^3$ 'tür.

Bunun yanı sıra aracın 60km/h'lik sabit hızla 80 km yolu tek bir çevrim ile alabilmesi için gerekli kapasite, 30.90 kW güç ile birlikte 300V gerilimde 1.3 saat yol alır. Buradan yola çıkarak aracın gerek duyduğu enerji miktarı ve dolayısıyla batarya ağırlığı hesaplanabilir.

$$P = V \times A \quad (6.35)$$

$$30900 = 300 \times A \quad (6.36)$$

$$A = 103$$

$$C = 103A \times 1.3h = 134Ah \quad (6.37)$$

$$E = V \times C \quad (6.38)$$

$$E = 300 \times 134 = 40200Wh \quad (6.39)$$

%80 deşarj yoğunluğunda 40200Wh enerji veren bataryanın toplam enerji içeriği 50250kWh'dir

Yine lityum iyon bataryanın spesifik enerjisinden (125Wh/kg), batarya ağırlığı yaklaşık olarak 402 kg'a denk gelmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda bataryalara dair çalışmalarda kaydedilen elektrikli ulaşım araçlarının performansı açısından gelecek vaat etmektedir.

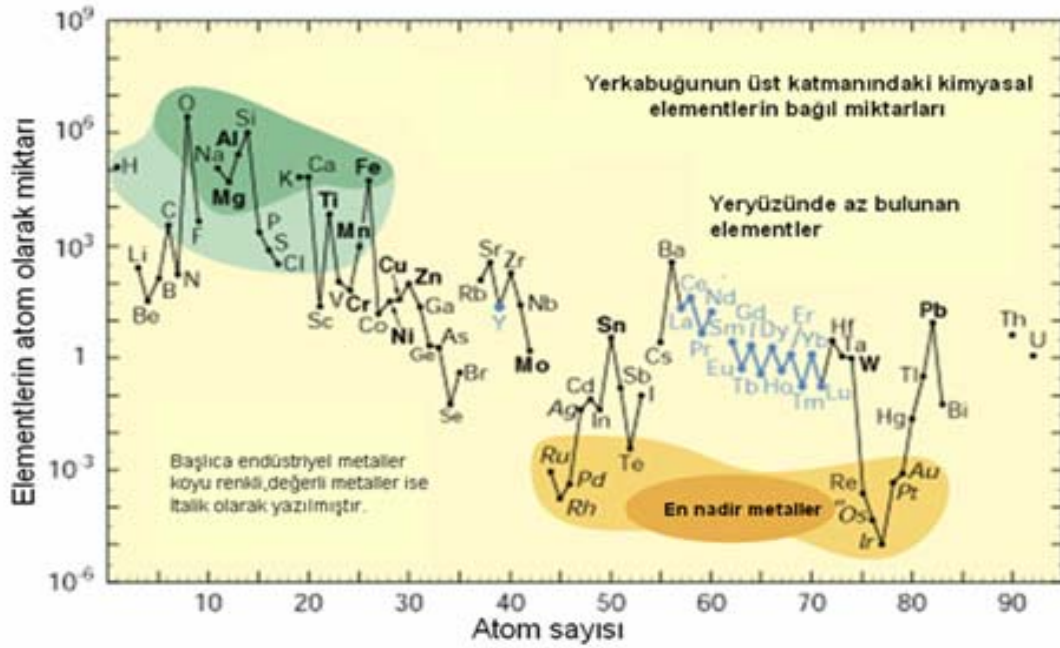
Batarya dizaynında, elektrot potansiyeli farkı yüksek element çiftleri seçilmelidir ve bu seçimde dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır. Bunlar; ham materyallerin temin edilebilirliği ve maliyeti, kimyasal karışımın stabil olması ve emniyeti, komponentlerin üretilebilirliği, kimyasal reaksiyonların tersinirlik kabiliyeti, komponentlerin iletkenliği, operasyon sıcaklık aralığı olarak sıralanabilir. Tüm bu faktörler dikkate alındığında çok geniş çeşitlilikte materyal yapılarına sahip temel kimyasalların sınırlı kullanımı söz konusu olmaktadır.

Pil performansını optimize etmek için alternatif pil kimyasallarının ve aktif komponentlerin geliştirilmesinde hedef, akım kapasitesini arttırmak, iç direnci azaltmak, selfdeşarjı azaltmak, kutup başı voltajını arttırmak ve coulomb verimini arttırarak maliyeti azaltmak olmuştur.

Ayrıca aktif komponentlerin performansını geliştirmek için ilave bileşiklerin dahil edilmesiyle çevrim ömrünü arttırmak, sızıntı ya da korozyonun önüne geçmek, polarizasyonu kontrol altına alarak emniyeti arttırmak amaçlanmaktadır. Bunlara örnek olarak, sızdırmaz pillerde aktif kimyasalların rekombinasyonu gibi gerçekleşmesi arzu edilen kimyasal olayları hızlandırmak ve başlatmak için kullanılan katalizörler ve dendrit formasyonu gibi istenmeyen fiziksel ya da kimyasal olayları engellemek ya da yavaşlatmak için eklenmiş inhibitörler verilebilir.

Genellikle yüksek enerji yoğunluklarına reaktivitesi yüksek kimyasalların kullanımıyla ulaşılmaktadır. Buna karşın ise daha reaktif kimyasallar stabil olmama eğilimi gösterirler ve özel emniyet önlemleri gerektirebilirler. Enerji yoğunluğu aynı zamanda pil yapısında kullanılan aktif materyallerin kullanılabilir pil kapasitesini sınırlayan safsızlıklara bağlıdır. Bu durum farklı üreticilerden çıkmış benzer pil kimyalarının neden farklı enerji içeriğine vedeşarj performansına sahip olduğunu açıklar. Ayrıca bataryanın enerji yoğunluğu, kullanılan pillerin yapısı (silindirik, prizmatik), pil koruyucu tabaka ve bağlantılardan da etkilenmektedir.

Pil Kimyasallarının Temin Edilebilirliği:



Şekil 7.1 Kimyasal elementlerin yer kabuğundaki bağıl miktarları

Şekil 7.1’de görüldüğü üzere atom sayılarına göre lityum, yeryüzünde kurşun ve nikelden 20 ve 100 kat daha fazla bulunmaktadır. Fakat kullanım yaygınlığı kurşun ve nikelden daha düşüktür. Bunun nedeni ise lityumun diğer metallere oranla daha reaktif olması ve serbest halde bulunmamasıdır. Tam tersine kurşun çok az reaktiftir ve genellikle serbest halde bulunur, ekstraksiyonu ve saflaştırılması daha kolaydır. Kadmiyum ise toksik özellik göstermesi nedeniyle bataryalar açısından daha az tercih edilen bir kimyasaldır.

Batarya seçiminde batarya karakteristiklerinin, enerji/güç ilişkisinin (Ragone Grafiği), sıcaklığa bağlı batarya ve pilin iç direnç değişiminin, yük ve sıcaklığa bağlı deşarj yeteneğinin, batarya şarj/deşarj karakteristiklerinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.1 EA ve HEA bataryalarının teknik karakteristikleri (Matheys ve Autenboer, 2005)

Teknoloji	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Spesifik Güç (W/kg)	Çevrim Sayısı	Optimum Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)	Verimlilik (Wh)	Self Deşarj
Pb-Asit (VRLA)	40	250	500	20-40	80-85%	Düşük
NiCd	60	200	1350	0-40	70-75%	Düşük
NiMH	70	350	1350	0-40	70%	Yüksek
NiZn	75	200	Veri yok	0-40	70%	Veri yok
NaNiCl	125	200	1000	Veri yok	90-95%	Yüksek
Lityum	125	400	1000	0-40	90%	Düşük
ZnBr	80	100	Veri yok	20-40	Veri yok	Veri yok
Zn-Hava	200	70	Veri yok	20-40	Veri yok	Veri yok

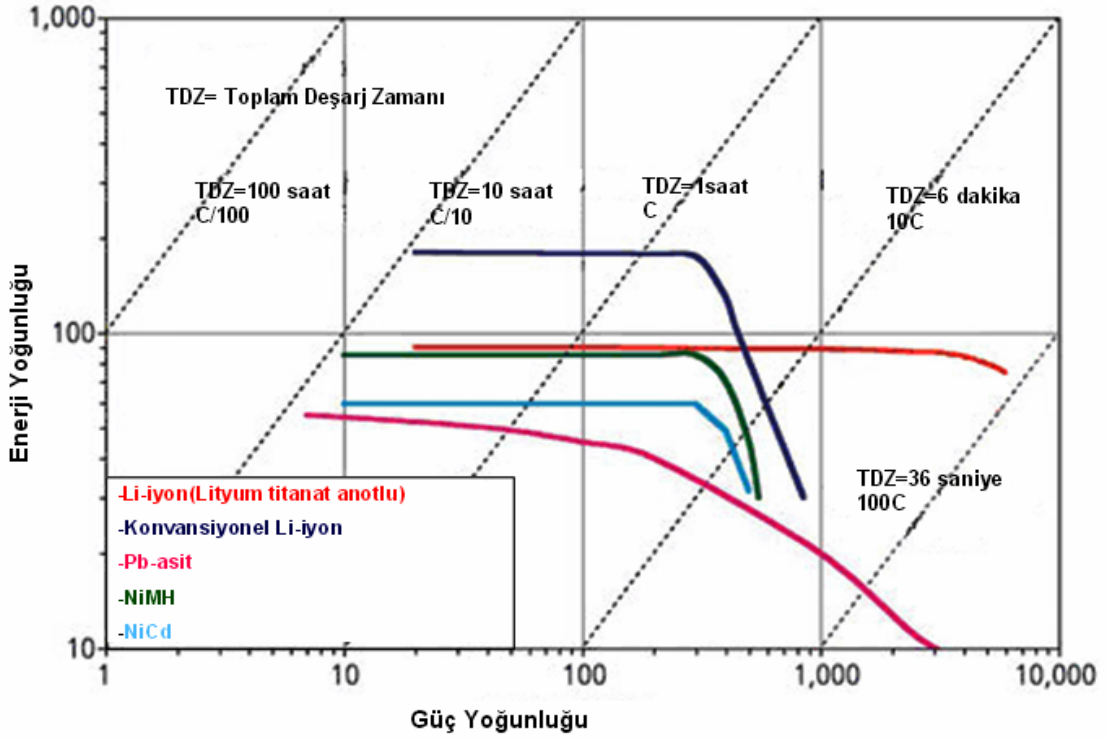
Çizelge 7.1’de elektrik ve hibrid elektrikli araçlarda kullanılan çeşitli batarya tiplerine ait teknik performans faktörleri incelenmiştir. Çizelgedeki parametreler aynı zamanda bataryanın nasıl kullanıldığına da bağlıdır ve aşağıdaki açıklamalar dikkate alınmalıdır.

- Bataryanın çevrim sayısı, deşarj yoğunluğuna bağlıdır.
- Gerçek sürüşteki bataryanın çevrim sayısı, laboratuvar testlerindeki çevrim sayısından daha az olacaktır. Çünkü standart test çevrimleri, bataryanın gerçek kullanım koşullarıyla birebir örtüşmeyecektir.
- Batarya dizini çok sayıda pilden oluşmaktadır. Her pil birbirinden farklı davranış sergileyebileceği için tüm batarya dizinin karakteristiği, bir tek pilin karakteristiğinden farklı olacaktır.

Batarya karakteristikleri sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Aynı zamanda batarya karakteristikleri geliştirildiği spesifik uygulamaya da bağlıdır. Örneğin EA için enerji yoğunluğu yüksek bataryalar ön plana çıkarken HEA’lar için spesifik gücü yüksek bataryalar tercih edilmektedir.

Performans açısından farklı batarya tiplerini kıyaslamamanın bir başka yolu da spesifik güce karşılık (genellikle logaritmik eksenle gösterilir) spesifik enerjiyi ifade eden Ragone grafiğini kullanmaktır. Böylece elektrikli ve hibrid elektrikli araçlar için uygun farklı batarya

çeşitleri karşılaştırılır.



Şekil 7.2 Farklı batarya tiplerine ait Ragone Grafiği

Nikel metal hidrür, lityum iyon, sodyum nikel klorür gibi yeterli enerji yoğunluğuna sahip bataryalar orta mesafeli araçlarda kullanılabilir. Özellikle çok hızlı şarj olabilen nikel metal hidrür bataryalar uzun mesafe süreleri için dizayn edilmiş hibrid araçlar için ya da sık duraklar boyunca şarj edilebilen otobüsler için idealdir. Özellikle lityum iyon batarya olmak üzere bu batarya tiplerinin fiyatları oldukça yüksektir. Doğal olarak elektrikli ulaşım araçlarında bu batarya tiplerinin kullanımı yaygınlaştıkça fiyatları da bu doğrultuda düşüş gösterecektir.

Lityum iyon bataryalar birim hacim ve kütle başına kurşun-asit bataryalara göre üç kat daha fazla enerji depolayabilmektedir. Yüksek enerji karakteristiklerinden dolayı lityum iyon bataryalar elektrikli ve hibrid elektrikli araç uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bölüm 6.2.7’de orta boyutlu, Li-ion bataryalı, modern bir elektrikli araç için gerekli güç ve enerji değerleri hesaplanarak batarya ağırlığı elde edilmiştir. Lityum iyon bataryaların maliyeti 3Wh/\$ civarındadır. Yani toplam enerjisi 50210Wh olan 402kg ağırlığındaki bu Li-iyon bataryanın maliyeti yaklaşık olarak 16737\$’dır. Bu durumda araç maliyetinin çok yüksek rakamlara varmasına neden olmaktadır. Oysa ki bir VRLA batarya, kısa mesafeli sürüşlere

yönelik olarak tasarlanmış daha küçük boyutlu bir elektrikli araçta kullanıldığında aynı enerji değerini verecek Li-iyon bataryanın yaklaşık olarak üç katı ağırlığına sahip olmasına rağmen, maliyet söz konusu olduğunda, 8Wh/\$'lık maliyetiyle Li-iyon bataryaya göre %62.5 gibi daha az bir batarya maliyeti oluşacaktır.

Kurşun asit bataryalar genellikle kısa sürüş mesafeli elektrikli ulaşım araçları için tercih edilir. Depolanan enerji birimi başına en ucuz bataryalardır ve uzun süre elektrikli ulaşım araçlarında yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir ki kısa bir sürüş mesafesinde çalışan kullanışlı elektrikli ulaşım araçlarına büyük oranda gereksinim duyulmaktadır.

VRLA bataryalar eriyikli kurşun asit bataryalara göre daha az hacim kaplamakta ve bakım gerektirmemektedirler. VRLA bataryalar dair yeni gelişmelerle bataryaların boyutu küçültülerek enerji yoğunluğu arttırılmaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda şehir içi ulaşım konseptine uygun kısa sürüş mesafeli yakıt pilli bir elektrik araçta; maliyet, temin edilebilirlik gibi faktörler ve son yıllardaki kayda değer gelişmeler göz önünde bulundurularak, valf regüleli kurşun asit bataryanın (VRLA) kullanımı daha uygun gözükmektedir.

KAYNAKLAR

Anderman M., Kalhammer F. R. ve MacArthur D. (Haziran,2000) “Advanced Batteries for Electric Vehicles: An Assessment of Performance, Cost, and Availability”, *California Air Resources Board Report*, Sacramento, California

Zülal A. (Der.) , 2004, “Ucuz petrolün sonu”, *Bilim ve Teknik*, 440 :36-44

Cooper A., (2003), “Development of a lead-acid battery for a hybrid electric vehicle”, *Journal of Power Sources* 133 (2004) 116–125

Dhameja S., (2001), *Electric Vehicle Battery Systems*, Newnes publications, U.S.A.

Dörffel D. (Nisan, 2003), “Peace-of-Mind Series Hybrid Electric Vehicle Drivetrain” , Doktora Tezi , Southampton Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, Southampton, UK

Fairley P. (Nisan, 2004), "Hybrid's Rising Sun," *Technology Review*, Vol. 107, No. 3, 36

Fuhs A., (2009), “Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation”, CRC Press, Broken Sound Parkway NW

Gu W.B., Wang C.Y., Liaw B.Y., (1998), “The use of computer simulation in the evaluation of electric vehicle batteries”, *Journal of Power Sources* 75_1998.151

Gülşen Ö., (Aralık 2009), “Elektrikli araçların geleceği”, *Taysad* , 50: 18-20

Hermann W., Bosshard P., Hung E., Hunt R. ve Simon A.J.(Fall 2006), “A Technical Assessment of High-Energy Batteries for Light-Duty Electric Vehicles”, *Global Climate & Energy Project*, Stanford Üniversitesi

Jaumain F.Vd. (2009), “The electric future of the automotive industry”, *Global Automotive Perspectives*, 1:19-23

Jeong K.S.ve Oh B.S.,(Eylül, 2001) “Fuel economy and life-cycle cost analysis of a fuel cell hybrid vehicle”, *Journal of Power Sources* 105 (2002) 58–65

Jorgensen K., (2007), “Technologies for electric, hybrid and hydrogen vehicles: Electricity from renewable energy sources in transport”, *Utilities Policy* 16 (2008) 72-79

Kampman B., Leguijt C., Bennink D., Wiolders L., Rijkee X., Buck A. ve Braat W., (Ocak, 2010), “Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles”, *Green Power for Electric Cars*, 4.037.1

Kiehne H. A. ,(2003), *Battery Technology Handbook*, Marcel Dekker, Inc., New York

Larminie J.ve Lowry J., (2003), *Electric Vehicle Technology Explained*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex

Linden D. ve Reddy T. B.,(2002), *Handbook Of Batteries*, McGraw-Hill, New York

Matheys J. ve Autenboer W., (2005), “Subat: Sustainable Batteries” ,Work package 5: Overall Assessment Final Public Report, Vrije Üniversitesi, Brüksel

M. Akşit (Der.), 2009, “Hibrid araçların geleceği”, NTV Bilim, 9:38-43

Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Uçarol H., Özsu E., Yazar A., Turhan L., Akgün F. ve Tırıs M. (Eylül,2003), “Elektrikli Araçlar”, TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze

Vincent C.A. ve Scrosati B. (1997), *Modern Batteries*, Arnold, London.

Westbrook M.H., (2001),*The Electric and Hybrid Electric Car*, SAE, Warrendale PA

İnternet Kaynakları :

[1] http://www.mpoweruk.com/cell_construction.htm

[2] <http://www.bestmag.co.uk/eMag/25BESTOA/flash.html#/0/>

[3] <http://www.mpoweruk.com/life.htm>

[4] <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>

[5] <http://www.mpoweruk.com/testing.htm>

[6] http://www.fiat.com.tr/Pages/tr/otomobiller/paliosole_tekniktablo.aspx

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 20.01.1983

Doğum yeri Giresun

Lisans 2002-2006

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007- 2010

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2007 -2008

UNIDO-ICHET (Birleşmiş Milletler Hidrojen
Enerji Teknolojileri Merkezi)

2009- 2010

MKE Mühimmat Fabrikası

2010-Devam ediyor

TSE Ankara Kimya Laboratuvarı