

***ELEKTRİKLİ
OTOMOBİLLERDE ENERJİ
DEPOLAMA
SİSTEMLERİNDEKİ
GELİŞMELER***

Enerji depolama sistemleri;

- elektrokimyasal (bataryalar)
- hidrojen
- elektromekanik (volanlar)
- ultrakapasitör
- yakıt pilleri

Tablo 1. Alternatif Yakıtlı Yolcu Taşıtlarının performansının Karşılaştırılması

Taşıt Yakıt Tipi	Menzil(km)	Max. Hız (km/h)	Yük kapasitesi(kg)
Benzin	320	>100	500-1000
Elektrik	100-200 (Bataryaya bağlı)	80-150	500-800
Metanol	300-400	>100	500-1000
Etanol	350-450	>100	500-1000
CNG	150-200	>100	400-900
LPG	450-500	>100	500-1000

Tablo 2. ET için batarya enerji depolama sistemleri

Batarya	Wh/kg	Wh/l	W/kg	Çevrim Ömrü
Lityum/mono-sulfat	60-200	120-300	50-70	150-200
Çinko/Bromin	70-100	50-75	30-50	200-350
Nikel/çinko	60-100	120-300	80-120	100-150
Nikel/demir	50-90	100-150	80-120	500-1100
Nikel/metal hibrid	50-90	150-300	100-140	80-500
*Sodyum/sülfür	70-200	100-150	100-140	300-900
Kurşun asit	30-60	30-60	20-80	300-500

Kurşun Asitli Batarya

- **Kurşun asitli batarya**, en iyi bilinendir. Bakım gerektirmez, elektrolit tabaka malzemesinde veya jelde depolanır. Yeni tiplerde, testlerdeki bipolar hücreler kullanılır. Bu batarya ağır, fakat ucuzdur. İyi bir batarya yönetim sistemi ile yaşamı güvenlidir.

Nikel-Kadmiyum Batarya

- **Nikel-kadmiyum batarya**, yüksek güç yoğunluğuna ve yüksek yaşam periyoduna sahiptir. Üretimde tamamen izolasyonlu hücreler ile gaz tekrar birleştirilir. Bu batarya, Avrupa elektrikli taşıtlar pazarında en donanımlı bataryadır.

Nikel-Metal Hibrid Batarya

- **Nikel-metal-hibrid bataryalarda,** depolanmasına müsaade edilen hidrojen kadmiyumun (Cd) yerine negatif elektrot için kullanılabilir. Enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu NiCd batarya ile karşılaştırıldığında artar.

Çinko-Bromin Batarya

- **Çinko-bromin batarya**, bir redoks tip bataryadır, sıvı elektrolit ve eriyebilir aktif malzeme kullanılır. Birleştirme bağlantılarında, bipolar hücreler kullanılır.
- Brom karışım pompalandığında, hücrenin bir tarafının içinden geçirildiğinde çinko-broma gelir. Birleştirmede, iki elektrolit depolanır ve polietilenden borularla getirilir, sistem yüksek esneklik verir. Redoks tip bataryalar, sabit enerji depolama sistemleri için oldukça kazançlıdır.

Sodyum-Sülfür Batarya

- **Sodyum-sülfür batarya**, sıvı elektrolit ile bataryadan esasen farklıdır. Sodyum-iyon, iletken seramikle ayrılır, sıvı reaksiyonlar sodyum ve sülfürdür. Çalışma sıcaklığı, 300 oC den fazladır.

Sodyum-Nikel Klorit Batarya

- **Sodyum-nikel klorit batarya** hücreleri, NaS hücrelere benzer. İkinci elektrolit olarak beta seramik vardır. Batarya, elektrikli taşıtlar için çok iyi uygulanabilirlik gösterir. ZEBRA batarya olarak bilinmektedir.

En İlerlemiş Batarya

- En ilerlemiş batarya, **lityum-iyon** bataryadır. Küçük portatif hücreler, elektronik marketlerde şimdiye kadar kabul ettirilmiştir. Elektrikli taşıtlar için bataryalar, gelişim altındadır.

Çinko-Hava Batarya

- **Çinko-hava veya alüminyum hava** gibi metal hava bataryalarının gelişimleri 60'ların ortalarında başlamıştı. Birkaç yıldır İsrail Jerusalem'deki Elektrik Yakıt Ltd. Şirketi ve Almanya Karlsruhe'deki Enstitü, yeni çinko-hava bataryalarını geliştirdi. Çinko hava bataryalar için gelişmeler İtalya EDISON Şirketinde hala devam etmektedir.

Tablo 3. Elektrikli taşıt için gerekli parametreler

- Güç yoğunluğu (W/l)250-600
- Ömür (yıl)5-10
- Ömür (devir)600-1000
- Azami fiyat (dolar/kWh)100-150
- Yeniden şarj zamanı (saat)3-6

Tablo 5. Saf hidrojen ve benzin için spesifik enerji ve enerji yoğunluğu

	Wh/kg (spesifik enerji)	Wh/l (enerji yoğunluğu)
Magnezyum Hibrid	2758	3978
Magnezyum-Nikel Hibrid	1245	3191
Vanadyum-Hibrid	815	3751
Demir-Titanyum Hibrid	689	3782
Lantan-Beş Nikel Hibrid	539	3506
Sıvı Hidrojen	39,400	2758
Gaz hidrojen	39,400	365
Benzin	12,880	9688

HİDROJEN

- Günümüzdeki depolama metotları içinde hidrojen, endüstriyel kullanım için güvenli ve uygundur, fakat hareketli taşıtlar için kabul edilemez durumdadır. Hidrojenin depolama sistemi olarak kullanılması ve ticari hale gelmesi için gelişmelerin devam etmesi gerekmektedir.

Hidrojen Depolama

- Otomotiv uygulamalarında, ağırlık kritik bir faktördür ve elektrik bataryası ile karşılaştırıldığında hidrojen oldukça rekabet edebiliçi bir durumdadır. Hidrojenin dezavantajı yakıt olarak, hidrojenin var olan dağıtım için gerekli alt yapı tesislerinden kaynaklanmaktadır. Ülkelerde hidrojen istasyonları kurulması ile bu dezavantaj ortadan kaldırılabilir.

Hidrojen depolama

- Hidrojen, sıkıştırılmış gaz olarak depolanabilir (CHG).Düşük fiyat, hafiflik avantajı vardır.
- Sıvı hidrojen formunda kriyojenik tanklarda depolanabilir. Yüksek spesifik enerji ve hızlı yeniden dolun kapasitesi sağlar.
- Metal hibrid formdan vanadyum ve magnezyum olarak bazı metallerle tepki göstererek depolanabilir.

VOLANLAR

- Volanın şekli önemlidir. Aynı sürede, malzemenin gerilmesinin bir yolu tasarımıdır. Volan diski optimize edildiğinde daha fazla enerji depolanabilir. Daha eski tip volanlarda, bütün talimatlar malzemenin yapımına eşittir. Bununla birlikte, bazı malzemeler, daha yüksek gerilme mukavemetine sahiptir: karbon fiberler, cam fiberler, Kevlar fiberleri, v.b.

Volanlar

- Volanın spesifik enerji yoğunluğu (Wh/kg) gerilme/spesifik yoğunluğu çekme gerilme gerilimi oranı ile orantılıdır. Malzemeler tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. ET volanlarda kullanılan malzemeler

	Tasarım Gergi mukave- meti N/m ²	Spesifik yoğunluk kg/m ³	Oran Gergi mukave- meti/ Yoğunluk Nm/kg	Teorik Enerji Yoğunluğu Wh/kg	Pratik Enerji yoğunluğu Wh/kg
Karbon	750	1,550	483,100	515	57,5
E-cam	250	1,900	131,600	140	14
S-cam	350	1,900	184,200	196	19,6
Kevlar	1000	1,400	714,300	762	76,2

Volanlı sistemlerde, meydana gelebilecek beklenmeyen durumlar:

- **Vakum azalması:** Volan ve iç depoda havanın sıcaklığı artacaktır; volanın hızı, hızlı bir şekilde azalacaktır.
- **Aşırı hız:** Volanın çapı büyütüldüğünde, iç depoya sürtebilir. Sürtünme sonucu, volanın yavaşlamasına neden olacaktır. Volanın sıcaklığı ve sürtünme artacak, fakat fiziksel zarar oluşturmayacaktır.
- **Sürtünme zararı:** Volan veya vakum kayıplarının sonucu olarak, sürtünme ile sonuçlanacaktır. Depolanan enerji, volanın mekanik parçalanmasında dağıtılacaktır, fakat iç depoda tutulacaktır.

Volanların Avantajı

- Volanlarda enerji yoğunluğu, var olan bataryalardan daha yüksektir ve ilave avantaj olarak güç çıkarma oranı yüksektir. Pratik olarak ömrü limitsizdir.

Ultrakapasitörler

- Ultrakapasitör teknolojisi, çift tabaka temelli olarak 100 yılın üzerinde anlaşılması olmasına rağmen, ticari uygulamalar için yaklaşık 10 yıl için olağanüstü bir başarı göstermektedir. Konvansiyonel kapasitörler gibi ultrakapasitörler de iki tane plaka olarak adlandırılan iletkenle, bunları ayıran ve dielektrik olarak isimlendirilen yalıtıkandan oluşurlar.

Ultrakapasiteler

- Ultrakapasitörler, konvansiyonel kapasitörlerden, son derece daha yüksek miktarda enerji depolayabilirler. Ultrakapasitörler, günümüzdeki pazarda mevcuttur, düşük veya yüksek enerjide serbest bırakılan enerji, kapasite sınırları 2,700 farad'a kadardır. Onlar aynı zamanda bataryalar gibi kullanılabilirler. Bununla birlikte, **ultrakapasitörler, bataryadan daha fazla güç, 10-20 kez daha fazla verebilirler.**

Tablo 7. Enerji depolama sistemlerinin fiyat karşılaştırmaları

Parametreler	Volanlar	Bataryalar	Kapasitörler
Verim	% 90	% 75	% 90
Enerji Tesis masrafı(\$/kWh)	100-800	200	3600 \$/MJ
Güç tesis masrafı(\$/kW)	220	300	300
Çalışma fiyatı (\$/kW/yıl)	7,5	1,55	% 5 (tesis masrafının)
Değişken (sent/kWh)	0,4	0,5	0

Yakıt Pilleri

- Yakıt pillerinin gelişimi, geçen yüzyıla kadar gider. Temel yakıt olarak, hidrojene ihtiyaç duyar. Yakıt pilleri elektrokimyasal reaksiyonun değişme enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürür. Avantajlı özellikleri, elektrik enerjisinden yakıtın dönüşümü önemlidir, çalışma sessiz, sıfır veya çok düşük emisyon, atık ısı toplanabilir, hızlı yeniden dolum, yakıt esnekliği, dayanıklı ve güvenilirdir.

Tablo 9. Yakıt pillerinin tipik karakteristikleri

	FAYP Fosforik asit yakıt pili	AYP Alkalin yakıt pili	EKYP Ergimiş karbonat yakıt pili	KOYP Katı oksit yakıt pili	KPYP Katı polimer yakıt pili	DMYP Direkt metanol yakıt pili
Çalışma sıcaklığı (oC)	150-210	60-100	600-700	900-1000	50-100	50-100
Güç yoğunluğu (W/cm ³)	0.2-0.25	0.2-0.3	0.1-0.2	0.24-0.3	0.35-0.6	0.04-0.23
Tasarlanmış yaşam (kh)	40	10	40	40	40	10
Tasarlamış fiyat (US\$/kW)	1000	200	1000	1500	200	200

Ergimiş yakıt pili ve katı oksit yakıt pili çok yüksek çalışma sıcaklığında sağlanır, ET için uygulaması pratik olarak zordur. Yakıt pili üzerindeki son gelişmeler ve araştırmalar, ET için katı polimer yalıt pili (PEM yakıt pili) üzerinde odaklanmıştır. Bu konsept ET için çok çekicidir.

Tablo 8. Teorik Enerji Kapsamında Belirgin Yakıtlar

	Spesifik enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu(wh/l)
Basıncılı hidrojen gaz	33600	600
Sıvı hidrojen	33600	2400
Magnezyum hibrid	2400	2100
Vanadyum hibrid	700	4500
Metanol	5700	4500
Petrol	12400	9100

Otomotiv uygulamalarında, elektrikli taşıtlardaki gereksinimler

- yüksek ani güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- başlama ve tırmanma için düşük hızlarda yüksek moment,
- çok geniş hız aralığı için sabit-moment ve sabit-güç bölgeleri,
- hızlı moment cevabı,
- geniş hız ve moment menzillerinde yüksek verim,
- faydalı frenleme için yüksek verim,
- yüksek güvenilirlik ve sağlamlık için değişik taşıt çalışma koşulları,
- makul fiyat.

Tablo 10. Farklı motor tiplerinin karşılaştırması

	ASM asenكرون motor	PM Daimi mıknatıslı motor	SRM Anahtarlı relüktans motor	DCM Doğru akım motoru	SYM Senkron motor
Motor boyut Kütle	0	+	0	-	0
Yüksek hız	+	+	+	-	-
Verim	0	+	0	-	0
Kontrol edilebilirlik	+	+	-	+	0
Güç aletleri sayısı	0	0	+	+	0
Dayanklılık/ Bakım	+	0	+	-	-
Kontrpl edici (boyut, kütle)	0	0	0	+	0
TOPLAM	+++	++++	+++	+++	

Farklı motor tipleri

- İyi bir karşılaştırma yapmak için sadece maksimum verimler karşılaştırılmamalıdır.
- Tablo 10, elektrikli taşıtlar için cer motorları olarak sürekli mıknatıslı motor için avantajları göstermektedir. Gerçekte, **sürekli mıknatıslı motor performansının makul pek çok yararlı özellikleri vardır.** Fakat üretim fiyatı dikkate alındığında, mıknatısların yüksek fiyatı ve motorun daha karmaşık yapısı hesaba katılmalıdır. ***Bu fiyat çok yüksek olduğu için, Dünya çapında sonuç, belki de asenkron motorun avantajlı olmasıdır.***

Tablo 11. Elektrikli taşıt motorlarının uygulamaları

- **Elektrikli Taşıt Modelleri**
- **Fiat Panda Elettra**
- **Mazda Bongo**
- **Conceptör G-Van**
- **Suzuki Senior Tricycle**
- **Fiat Secicento Elettra**
- **Ford Think City**
- **GM EV1**
- **Honda EV Plus**
- **Nissan Altra**
- **Toyota RAV4**
- **Chloride Lucas**
- Elektrikli taşıt motorları
- Seri dc motor
- Şönt dc motor
- Ayrı uyarılmış dc motor
- Sürekli mıknatıslı dc motor
- Asenkron motor
- Asenkron motor
- Asenkron motor
- Sürekli mıknatıslı motor
- Sürekli mıknatıslı motor
- Sürekli mıknatıslı motor
- Anahtarlı relüktans motor

SONUÇLAR

- Elektrikli taşıtlar için kullanılan enerji depolama sistemlerinde volanlar ve kapasitörler % 90 verimle en iyi sonuçları vermektedir.
- Bataryalar ise % 70 - % 85 verim göstermektedirler.

Sonuçlar

- Yakıt pillerinin verimleri % 60- % 70 seviyesindedir. Enerji üretiminde hiçbir döner parçanın kullanılmaması, tamamen sessiz çalışma sağlamaktadır. Gelecekte yakıt pilleri, elektrikli taşıtlarda ana enerji kaynağı olarak, yaygın olarak kullanılacaktır.

Sonuçlar

- Hidrojenin verimi % 50 - % 60 olmasına rağmen teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte bu konuda da hızlı bir gelişme beklenmektedir. Ancak yakıt pilli araçların yaygınlaşması için mevcut dağıtım ve bakım sistemlerinde köklü değişiklikler gerekecektir. Uzun vadede iyi bir seçenek olabilir.