

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELER

Şule KUŞDOĞAN

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Elektrik Mühendisliği
Bölümü 41100 İzmit-Kocaeli
e-mail: kusdogan@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Elektrikli taşıtlar, kentsel alanlarda trafiği geliştirmek ve sağlıklı bir çevre yaratmak için önemli bir faktördür. Günümüz teknolojisi, güç elektroniği ve otomotiv yardımıyla modern motor tasarımı içerir; böylelikle enerji kaynakları performansı, kabul edilebilir taşıt performansı ile birleştirilerek daha iyi olacaktır. Burada, elektrikli taşıtlar için depolama teknolojilerinin karşılaştırmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, enerji depolama teknolojileri, en önemli uygulama alanı olarak kabul edilir. Dünya'da on yıldan fazla süredir bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda, depolama teknolojileri uygulamaları ve önemi, elektrikli taşıtlar için açıklanmaktadır. Bu yazıda, elektrikli taşıta, elektrikli taşıtta enerji depolama sistemlerine ve elektrikli taşıt bileşenleri ile onların tahrik sistemlerine odaklanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli taşıt, enerji depolama, enerji depolama teknikleri, tahrik sistemleri, verimlilik

Improvements in Energy Storage Systems in Electric Vehicles

ABSTRACT

Electric vehicles are for cities an important factor for improving the traffic in urban areas and creating a healthier environment. It is a dream for human being, city traffic without exhausting gas and low noise. Today's technology includes modern motor design influenced by power electronics and automotive views, energy sources performing better and better to match acceptable vehicle performances. This paper describes the comparison of storage technologies for electric vehicles. Nowadays studies on energy storage systems have been going on. In this studies, energy storage technologies are considered to be the most important application area. For more than ten years a number of experiments and demonstration plants have been done in all over the world. Also, storage technologies application and their importance for electric vehicles are explained. In this paper, we focus on the electric vehicle, energy storage technologies in EV, elements of the electric vehicle and their propulsion systems.

Keywords :Electric vehicle, energy storage, energy storage techniques, propulsion systems, efficiency.

* İletişim yazarı

GİRİŞ

Son yıllarda elektrik makineleri ve enerji depolama sistem teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak elektrikli taşıt teknolojisinde de ilerlemeler sağlanmıştır. Buna paralel olarak da daha yüksek menzil ve kullanım rahatlığı sağlanmaktadır. Elektrikli taşıt kullanımıyla gelecekte birincil enerji kaynakları, fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara doğru değişim sağlayacaktır.

Enerji depolama sistemleri;

- elektrokimyasal (bataryalar)
 - hidrojen
 - elektromekanik (volanlar)
 - eritilmiş tuz enerji depolama
 - ultrakapasitör
 - yakıt pilleri
- olarak sınıflandırılabilir.

Sıfır emisyonlu taşıtlar, trafikte 2001'de % 5, 2003'de % 10 gibi artışlar göstermiştir. Böylece konvansiyonel taşıtlara göre emisyonlar da azalmaktadır.

2200 kg'lık bir taşıt için, 10 saniyede 96 km/h'e makul ivmelenme için yaklaşık olarak, 200-250 km'lik menzil için 78 kWh ve 94 kW güç gereklidir.

Daha hafif taşıt için, daha az depolanmış enerji ve güç gereklidir. Bununla birlikte, yeni enerji depolama donanımı ve tahrik sistemleri, ağırlığı daha fazla arttıracaktır, bunun için var olan taşıtların ağırlığı azaltılmaya çalışılmaktadır.

Tümü elektrikli taşıtlar, konvansiyonel taşıtlara göre daha verimlidir. Burada elektrikli taşıtlarda var olan enerji depolama seçenekleri analiz edilmektedir. Motor teknolojisi ve tahrik sistemleri incelenmektedir. Sonuç olarak bu analizle, optimum sistem konfigürasyonu amaçlanmaktadır.

ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Taşıtlar için enerji, çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Gaz ve benzinden termal enerji, mekanik enerjiye çevrilir, fakat bu düşük verim ile yapılır. Havadan oksijen gelir ve havada egzoz emilir. Yanmış malzemeler, tekrar hareketlendirilemez.

Elektrokimyasal enerji, bataryada veya yakıt pillerinde depolanır. Batarya, elektrikli taşıtın en önemli parçasıdır. Enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu, bataryada dikkate alınan birinci parametrelerdir.

Hidrojen depolama teknolojileri, gelecekteki depolama seçenekleri içinde diğer bir anahtar alandır. Birincil hibridler (Milenyum pili), yüksek yüzey alan metal katalizör ve sulanmış alkalın sodyum boryum hibrid arasındaki

Tablo 1. Alternatif Yakıtlı Yolcu Taşıtlarının Performansının Karşılaştırılması

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

reaksiyona dayanır. Bu teknoloji için, malzemelerin fiyatları hesaba katıldığında oldukça yüksektir. Temel kaygı, böyle bir çözümün güvenliği ve kontrolü üzerinedir.

Enerji aynı zamanda volanlarda da depolanabilir. Kinetik enerji, volan ile tahrik edilen generatör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Bazı uygulamalarda volan-generatör takımı ayarlanarak yüksek güç sağlanır.

Superkapasitör veya ultrakapasitör, hücre düzenlemesi ile şarj etme, bir enerji depolama teknolojisidir. Superkapasitörler, büyük çoğunlukla EDLC (Electric double layer capacitors) olarak bilinirler. Enerji, tabaka sınırları içinde, elektrolit çözelti ve iletken elektrodun yüzey alanları arasında oluşur. Düşük gerilim, yüksek kapasiteyle enerji depolama kapasiteleri üretilebilir.

Yakıt pillerinin gelişimi, geçen yüzyıla kadar gider. Yakıt pilleri temel yakıt olarak, hidrojene ihtiyaç duyar. Hidrojenin üretimi vasıtasıyla metanol veya diğer tip hidrokarbon yakıt yeniden oluşturulduğunda yakıt altyapı tesislerinin problemi çözülebilir.

Elektrokimyasal Aygıtlar

Elektrikli taşıtlar için, enerji kaynakları olarak bataryaların gelişmesi ve 1945'lerden beri aktif hâle gelmesi ve gelişmelerin hızlanmasına rağmen araştırma ve gelişmeler devam etmektedir. Günümüzde, elektrikli taşıtlar için uygun batarya teknolojisi, ticari yönden ekonomik olarak uygulanabilir.

Elektrikli taşıtlar, bataryanın hacmi ve ağırlığı yüzünden zayıf performans ve limitli menzile sahiptir. Ayrıca, batarya süresi daha sınırlıdır.

Elektrikli taşıt uygulamaları için elektrokimyasal aletler aşağıdaki özellikleri karşılamalıdır:

- yüksek spesifik enerji yoğunluğu (Wh/kg ve Wh/L)
- yüksek deşarj oranı veya spesifik güç (W/kg) ve
- yüksek deşarj çevrimi sayısı (çevrim ömrü)

Bu gerekli zorunluluklar, günümüzdeki var olan malzemelerin kullanılmasıyla ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Bir batarya, yüksek enerji yoğunluğu ve düşük deşarj oranı ile tasarlanabilir. Eğer deşarj oranı arttırılırsa, spesifik enerji yoğunluğu azalır. Üstüne üstlük, yüksek deşarj oranı bataryanın ömrünü azaltacaktır.

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, 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-hidrür 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, 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, sıvı elektrolit ile bataryadan esasen farklıdır. Sodyum-iyon, iletken seramikle ayrılır, sıvı reaksiyonlar sodyum ve sülfürdür. Çalışma sıcaklığı, 300 °C den fazladır.

Sodyum-nikel klorit batarya hücreleri, NaS hücrelere benzer.

Tablo 2. Elektrikli Taşıtlar İçin Batarya Enerji Depolama Sistemleri

Batarya	Wh/kg	Wh/l	W/kg	Çevrim Ömrü
Lityum/monosülfat	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 hidrür	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

İkinci elektrolit olarak beta seramik vardır. Batarya, elektrikli taşıtlar için çok iyi uygulanabilirlik gösterir. ZEBRA batarya olarak bilinmektedir.

En ilerlemiş batarya, lityum-iyon bataryadır. Küçük portatif hücreler, elektronik marketlerde şimdiye kadar kabul ettirilmiştir. Elektrikli taşıtlar için bataryalar, gelişim altındadır. Elektrikli taşıt için birinci prototip, 13. Elektrikli Taşıtlar Sempozyumu, Osaka 1996 ve gerçek pazarda 2004 civarında ilan edilmiştir.

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 hâlâ devam etmektedir.

Tablo 2, pek çok laboratuvarındaki elektrikli taşıt batarya teknolojilerini vermektedir.

Kurşun asit bataryalar, karşılaştırmaya dahildir ve açıkça görüldüğü gibi yeni teknolojiler ticari gelişmeler için umut vermektedir. Elektrikli taşıtlarda bataryaların güçlenmesi için bazı önerilere yol açan bu parametreler yüksek değerlerde zorluklar içermektedir. Ana ünite, menzil için (spesifik enerji) ve diğer birimler ivmelenme ve yokuş yukarı (spesifik güç) için optimize edilmelidir.

Diğer parametreler, Tablo 3'te gösterildiği gibi yeni elektrikli taşıt bataryaları için karşılanmalıdır.

Tablo 3. Elektrikli Taşıtlar İçin 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 4. Hidrojen ve Benzin İçin Değerler

	Wh/kg* (tanktan başka)
Hidrojen	39.400
Benzin	12.800

Hidrojen

Hidrojen, çevreyi kirlenmeyen yakıtlı motorlu taşıtlar için ideal gibi düşünülebilir; hidrojen temiz olarak yakılır, oksidasyon işleminin sonucu olarak H₂O dan tamamen ayrılır. Hidrojen herhangi bir yakıtın birim başına ağırlığının en yüksek enerji yoğunluğunda oldukça çekicidir.

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 hâle gelmesi için gelişmelerin devam etmesi gerekmektedir. Örneğin hidrojen, sıkıştırılmış gaz olarak depolandığında büyük ve ağır kazanlar içerir. 136 atmosfer tipik basınçta, hidrojen gazı benzin miktarı eşdeğerinden yaklaşık otuz defa çelik içeren ağırlıkta olur.

Sıvı hidrojen son derece soğuktur (- 253 °C veya 20 °K de kaynar) ve döküldüğünde hızlı olarak gaz haline gelir. Sıvı hidrojenin spesifik enerji yoğunluğu geliştirilmelidir.

Diğer bir yolla hidrojen depolama, metal hibrid olarak yapılmaktadır. En önemli metaller, metal hibridler olacaktır. Pek çok durumda, reaksiyon direk ve basittir; $M + H_2 \leftrightarrow Mh_2$. Sıcaklık ve hidrojen gazının basıncı ile ilgili olarak bu reaksiyonun tersi de kullanılabilir. Eğer basınç, belli bir seviyenin üzerinde ise, reaksiyon süreci sağa, metal hibrid forma doğrudur.

Hidrojen depolama için, metal hibridlerle yüksek hidrojen yoğunluğu amaçlanmaktadır. Tablo 5, saf hidrojen (sıvı ve sıkıştırılmış gaz) ve benzin ile karşılaştırıldığında hidrojen sayılarının spesifik yoğunluğunu göstermektedir.

Tablo 5. Saf Hidrojen ve Benzin İçin Enerji ve Güç Yoğunluğu

	Wh/kg* (*Tanktan başka)	Wh/l* (*Tanktan başka)
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 (LH ₂)	39,400	2758
Gaz Hidrojen (GH ₂) 100 atm.	39,400	365
Benzin	12,880	9688

Tablo 6. Elektrikli Taşıtlardaki Volanlarda Kullanılabilen Malzemeler

	Tasarım Gergi Mukavemeti	Spesifik Yoğunluk	Oran Gergi Mukavemeti/ Yoğunluk	Teorik Enerji Yoğunluğu	Pratik Enerji Yoğunluğu
	N/m^2	Kg/m^3	Nm/kg	Wh/kg	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
Çelik maraging	900	8,000	112,500	240	24

Metal hibridler, ısı uygulandığında, hidrojeni serbest bırakırlar ve güvenlidirler. Bu ısı, standart içten yanmalı motorda, motorun artık, işe yaramaz ısısından elde edilebilir. Kimyasal reaksiyon, deşarj ve şarjın birçok çevrimleri altında durdurulabilir. Hidrojen güçlü otomobiller için yakıt taşıyıcı olarak metal hibridlerin kullanılmasıyla, deneysel taşıtlar yapılmaktadır. Otomotiv uygulamalarında, ağırlık kritik bir faktördür ve elektrik bataryası ile karşılaştırıldığında hidrojen oldukça rekabet edebilen bir durumdur. Hidrojenin dezavantajı yakıt olarak, hidrojenin var olan dağıtım için gerekli altyapı tesislerinden kaynaklanmaktadır. Ülkelerde hidrojen istasyonları kurulması ile bu dezavantaj ortadan kaldırılabılır.

Volanlar

Volanların enerji depolama için kullanılması yeni bir konsept değildir. 54 yıl önce, İsviçre Zürih'de Oerlikon mühendislik şirketi, volanlı yolcu otobüsü yapmıştı (bu 64- volanda 3300 lb ağırlığında ve 3000 dev/dak'da hidrojen atmosferinde). 70 yolcu otobüsü vardı ve menzil yaklaşık yarım mile sınırlıydı ve her otobüs durduğunda, pantograf elektrik hatlarına yükseltildiğinde, volan iki dakika için yeniden şarj ediyordu. Kablosuz trolleybüs sistemi 1959'a kadar çalıştırıldı.

Oerlikon az sayıda, volan tahrikli otomobiller, maden ocakları, demir yolları ve çelik fabrikalarında kullanılmak üzere geliştirmişti. Volanlarda depolanan kinetik enerji, şu eşitlikle verilir.

$$E = 1 / 2 * J * w^2$$

Burada J: eylemsizlik momenti, w: açısal dönme hızı

Bu enerji, açısal hızın karesi ile orantılıdır ve hızın artışı ile daha fazla enerji depolanabilir. Bununla birlikte, bir limit vardır; malzemedeki gerilme aynı zamanda hızın karesi ile orantılıdır ve maksimum gerilme mukavemeti arttığında volan dağılır.

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, vb. Bu yeni bir tip volan tasarımına yol açar, burada yüksek gergi fiberleri, plastik kalıp içine yerleştirilir. Bu fiberler, yüksek gerilme mukavemetiyle orantılı olarak, fiber boyunca merkezkaç kuvvetle davranırlar. Çubukların sayısı (birkaç dereceyle yerleştirildiğinde), optimize edilen diske göre birleştirilebilir.

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

Tahmin edilen pratik enerji yoğunluğu, depo ve şaft, motor/generator, taşıma dingilinin ilave ağırlığı yüzünden önemli teorik değerinden daha düşüktür.

Volan döndüğünde, hava sürtünme kayıpları vakumlanarak azalacaktır. Bu vakum, servis istasyonlarında düzenli olarak kontrol edilir. Magnetik taşıyıcı dingiller, sadece yüksek hızlarda, düşük kayıplar ile vakumlandığında çalışma tipinde uygundur. Volandan alınan enerji, elektrik generatöründe kullanılır. Bu generatör yüksek dönme hızlarına dayanabilmelidir.

Bu amaç için üç tip elektrik makinası kullanılabilir:

- 1) Daimi mıknatıslı motor/generatör
- 2) Çift kutuplu tip motor/generatör
- 3) İndüksiyonlu tip motor/generatör

Yüksek hızlı çalışma için tasarlandığında, fırçasız rotorlar her tipte kullanılabilir. Daimi mıknatıslı motor/generatör tipinde hız artabilir. Makinanın bu tipinin avantajı, diğer iki tipten veriminin daha yüksek olmasıdır. Çift kutuplu motor/generatör, rotorun bağlı bulunduğu akı taşıyan çubuk çevresinde dönmeyen alan sargıları ve iki kutup parçası içerir. İndüksiyon tipi motor/generatör statorunda, alan sargıları vardır, rotor büyük yarıklardan oluşur, magnetik akımın sebep olduğu titreşim vardır.

Bu uygulamalar için elektrik makinası seçiminde, yüksek verimi yüzünden daimi mıknatıslı motor/generatör kullanılır. Stator sargıları içi boş iletkenlerin içinden sıvı dolaşımı kullanılmasıyla soğutulur. Stator çekirdeği, depo duvarı ve stator sargıları sayesinde soğutulur.

Otomobillerde kullanımı için herhangi bir sistem düşünüldüğünde ana kaygı güvenlidir. 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. Depolanmış enerji, volanın mekanik parçalanmasında dağıtılacaktır, fakat iç depoda tutulacaktır.

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

Eritilmiş Tuz Enerji Depolama

“Gizli Isı” olarak depolanabilen enerjinin büyük miktarı, erimenin yüksek ısısında kullanıldığında ve yüksek erimeye kullanılır. Lityum ve magnezyum flüorürün birbirine karıştırıldığında, birim başına düşen ağırlığın yüksek erime ısısına sahiptir: enerji yoğunluğu 200 Wh/kg olarak belirtilmiştir. Hidrojen kapalı bir gözde sıvı olarak çalıştırıldığında, otomobil tahrik sisteminde kullanılabilir. Hidrojen oranı akışı belirlendiğinde ısı çubukları içinden eritilmiş tuz solüsyonuna doğru ısı oranı çekişinde akıtılır.

Ultrakapasitörler

Ultrakapasitör teknolojisi, çift tabaka temelli olarak 100 yılın üzerinde anlaşılmış 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 yalıtıcıdan oluşurlar. Çift tabaka sıvı elektrod solüsyonu iç yüzeyinde meydana getirilir, temel olarak şarj elektrolit ve sıvı arasında ayrılan iç yüzeyde meydana gelir. İki şarj tabakası diğer pozitif fazlalığı ve bir yüzdeki elektronların fazlalığı ile oluşturulur. Dielektrik form arasında kutupsal moleküller bulunurlar. Ultrakapasitörlerin pek çoğu, elektrod, elektrolit ile karbon birleştirilir. Tabakalar, kapasite plakaları sınırlarından oluşurlar. Onların arasındaki küçük boşluklar kadar çok yüksek kapasitansa neden olurlar. İlaveten, karbon elektrodun tipik delikçikli yapısı, etkili yüzey alanını 2,000 m²/g'a kadar artırır.

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. Bunun gibi, ultrakapasitörlerin güç ve enerji yoğunluğu terimlerindeki, elektrolit kapasite teknolojisi ve batarya teknolojisi arasındaki yerleri belirlenmiştir. Üstüne üstlük, üretimden itibaren yaşamı boyunca hakikaten bakım gerektirmezler, milyonlarca kez

devir kapasitesine sahiptirler. Sonuç olarak, enerji depolama formunda iyi bir yere sahiptirler.

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 fiyatının
Değişken (sent/kWh)	0,4	0,5	0

Ultrakapasitör boyutlandırılacağı zaman, çeşitli değişik faktörlerin anlaşılmasına ihtiyaç vardır. Bu sadece kapasitörün etkisi değil, aynı zamanda güç elektroniği ara birimlerinin tasarımının etkisi de olacaktır. Kapasitörün seçimini etkileyen faktörler şunlardır:

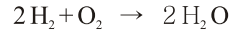
- pik kapasite gerilimi,
- müsaade edilen max. yüzde deşarj,
- kapasitörün içinden akan pik akım,
- kapasitör sabiti,
- her hücre için kapasitans,
- hücre gerilimi,
- hücre sayısı ihtiyacı,
- hücre tertibinin kütlesi,
- hücre tertibinin fiyatı.

Yakıt Pilleri

Yakıt pillerinin gelişimi, geçen yüzyıla kadar gider. Temel yakıt olarak, hidrojene ihtiyaç duyar. Yakıt pilleri elektrokimyasal reaksiyonun değişme enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürür. Bataryanın tersine, yakıt pilleri depolamaktan çok elektrik enerjisi üretir ve yakıt kaynağı olarak bunu yapmaya devam eder. Avantajlı özellikleri, elektrik enerjisinden yakıtın dönüşümü önemlidir, çalışma sessiz, sıfır veya çok düşük emisyon, atık ısı toplanabilir, hızlı yeniden dolun, yakıt esnekliği, dayanıklı ve güvenilirdir. Yakıt pilleri temel olarak üç temel bileşen içerir. İsimleri, anot (A), katot (C) ve elektrolit (E). Anot (yakıt elektrodu) ve elektrot, katalizör yakıt oksitlenme reaksiyonu yakıt için genel ayırıcı yüzey sağlar ve dış devrede elektronları yürütür. Diğer bir deyişle, katot (oksijen elektrot) oksijen ve elektrot

için genel ayırıcı yüzey sağlar, oksijen azaltma reaksiyonu kataliz eder, dış devreden elektronları alır.

Hidrojen, yakıt pilleri için çevresel kirliliği olmayan ideal yakıt olarak gözükmektedir. Çünkü her yakıtın ağırlığının per unit enerji hacmi en yüksektir ve üretim sadece sudur, yakıt pilleri reaksiyonun sonucu olarak



Hidrojen sadece primer yakıt değildir, genel olarak değişik primer yakıtlardan, hidrokarbon, metanol ve kömür gibi yakıt yöntemi vasıtasıyla türetilir. Hidrojen depolamanın üç yolu vardır. Birincisi, sıkıştırılmış gaz olarak depolanabilir, CHG olarak isimlendirilir. Benzer şekilde sıkıştırılmış gaz olarak, CHG 20-34,5 Mpa'da fiberglasla güçlendirilmiş alüminyum tanklarda depolanabilir. İkinci olarak, sıvı hidrojen formunda kaynama noktasının (-253 °C) altında, yüzeyde sertleştirilebilir, sonra kriyojenik tanklarda depolanabilir. Üçüncüsü, metal hibrid formdan vanadyum ve magnezyum olarak bazı metaller ile tepki göstererek getirilebilir. Çözünme sıcaklığına bağlı olarak reaksiyonun tersi de kullanılabilir (300 °C'ye kadar). Tablo 8, sıvı petrol ve sıvı metanol değişik formlarda depolanan hidrojen dahil olmak üzere, bazı başlıca yakıtların teorik enerji içeriğini gösterir.

Tablo 8. Teorik Enerji Kapsamında Belirgin Yakıtlar

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

* çevre sıcaklığı ve 20 Mpa

** kriyojenik sıcaklık ve 0.1 Mpa

CHG depolama, hızlı yeniden dolun kapasitesi ile doğal teknoloji ve düşük fiyat, hafiflik avantajları vaat eder, fakat güvenlik ile ilgili olarak ve çok yer tutan boyutuyla zarar görür. Sıvı hidrojen, hızlı yeniden dolun kapasitesi ve yüksek spesifik enerji sunar; ama yüksek uçuculuk kadar, dağıtım fiyatı ve pahalı üretim eksiklikleridir. Metal hibridlere rağmen, doğuştan güvenlik ve kompakt boyut üstünlüklerini sağlayabilir, ya vanadiyum hibrid gibi (700 Wh/kg) düşük enerji yoğunluğuna oranla ya da magnezyum hibrid (278 °C) olarak ayrıştığında çok yüksek sıcaklığa müsaade edilebilir.

Yakıt pilleri sistemleri boyunca, kocaman değişken sayılar

yüzünden, yakıtın tipi, elektrolit tipi, yanma tipi ve çalışma sıcaklıkları olarak; literatürde pek çok sınıflandırmalar ortaya çıkar. Aerodinamik yapının yapılmasında yıllardır genel olarak elektrolit tipi asit, alkalın, katı oksit, katı polimer, eritilmiş karbonat sınıflandırılır. Yakıt olarak hidrojen kullanılması yerine bazı yakıt pilleri ile aynı zamanda karbonmonoksit ve metanol benimsenmektedir.

Tablo 9'da yakıt pillerinin karakteristik özellikleri özetlenmiştir. Buna göre, ergimiş karbonat yakıt pili (MCFC) ve katı-oksit yakıt pili (SOFC), 600 °C ve 900 °C çok yüksek çalışma sıcaklığından sağlanır, elektrikli taşıtlar için uygulandığında pratik olarak zordur. Direkt-metanol yakıt pili için (DMFC), teknolojik yönden hâlâ gelişmemiştir, buna rağmen 30 yılın üzerinde geliştirilmektedir. Aynı zamanda, pratik elektrikli taşıt uygulamaları için güç seviyesi işe yarar ve güç yoğunluğu çok düşüktür. Diğerleri, fosforik asit yakıt pili (PAFC), alkalın yakıt pili (AFC) ve katı-polimer yakıt pili (SPFC) olarak adlandırılır, aynı zamanda PEM yakıt pili olarak bilinir. Elektrikli taşıt uygulamaları ve yakıt pilleri için teknik olarak uygulanabilir.

(PEM) SPFC katı polimer teknolojisindeki ilerleme ile, elektrikli taşıt uygulamaları için alkalın yakıt pilinden (AFC), katı polimer yakıt pili daha avantajlıdır. Ana sebep, daha yüksek güç yoğunluğu ve daha uzun süre dayanım, ekonomik fiyat ve düşük çalışma sıcaklığı yüzündendir. Böylece, yakıt pili üzerindeki son araştırmalar ve gelişmeler elektrikli taşıtlar için, SPFC katı polimer (PEM)-SPFC teknolojisine odaklanmıştır. Ballard güç Sistemleri ve Daimler Benz ile birlikte 1997'de PEM yakıt pilli otobüs üretmişti, NEBUS olarak adlandırılmıştı. Günümüzde, platin-elektro-katalizör elektrodlarının ve katı polimer film malzeme fiyatının önemli ölçüde azaltılması çok önemli aşamalardır. Unutmamalıdır ki sıvı yakıtın kesin avantajı, DMFC direkt metanol yakıt pilinin eksikliğini önüne geçer, metanol yakıtlı PEM (katı polimer yakıt pili) sistem konsepti elektrikli taşıtlar için çok çekicidir ve daha da çekici olacaktır. Metanol ve su önce karıştırılır,

buharlaştırılır ve sonra hidrojen ve karbondioksit gazlarına çevrilir. Ortaya çıkan hidrojen gazı, saf su ve istenilen elektrik üretilerek PEM yakıt pilini besler.

Bu teknolojiye rağmen sıfır emisyon taşıtlarda kullanılması çelişkili gibi görünür, elektrikli taşıtlar hâlâ çevre dostudurlar, karbonmonoksit, nitrojen oksit ve hidrokarbon gibi zararlı emisyonlar üretmezler. Son zamanlarda, Daimler-Benz ve Ballard Güç Sistemlerinin ilk metanol yakıtlı PEM yakıt pilli-güçlü elektrikli taşıt, NECAR 3 olarak adlandırılan, 400 km üzerinde seyahat edebilen, 38 L sıvı metanol kullanıldığında RAV 4 elektrikli taşıt olarak adlandırılan metanolün her tankı ile 500 km menzile sahip yakıt pili tasarlanmıştır. Öyle olsa bile bu metanol yakıtlı katı polimer yakıt pili, yakıt pilli elektrikli taşıtlar hâlâ gelişme aşamasındadır. Sıvı yakıtlı yakıt pilli elektrikli taşıtın konseptini daha fazla yaymak için hidrojenin elde edilmiş araştırmaları için devam ettirilmelidir. Bu araştırmanın nedeni, metanol veya hidrojenle çalışan yakıt pilli elektrikli taşıtlar yüzünden, basittir; benzin dağıtımında milyar dolarlarının yüzlercesinin harcandığı bu yapının altında değişiklik imkansızdır. Son zamanlarda, Chrysler, bu konsepti önümüzdeki birkaç yıl içinde yakıt pilli elektrikli taşıtı gerçekleştirmeye karar vermiştir. Hâlâ bu konuda yapılacak araştırmalar vardır ve gelişmelerle yakıt pilli elektrikli taşıtlar ticari olarak geçerli hâle gelecektir.

Hidrojenin üretimi vasıtasıyla metanol veya diğer tip hidrokarbon yakıt yeniden oluşturulduğunda yakıt altyapı tesislerinin problemi çözülebilir.

ELEKTRİKLİ TAŞIT İÇİN TAHRİK KONTROLÜ

Otomotiv uygulama tahriğinde, elektrikli taşıtlarda bazı büyük gereksinimler aşağıda özetlenmektedir:

- 1) yüksek ani güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- 2) başlama ve tırmanma için düşük hızlarda yüksek moment,
- 3) çok geniş hız aralığı için sabit-moment ve sabit-güç bölgeleri,

Tablo 9. Yakıt Pillerinin Tipik Karakteristikleri

	PAFC-FAYP	AFC-AYP	MCFC-EKYP	SOFC-KOYP	SPFC-KPYP	DMFC-DMYP
Çalışma Sıcaklığı (°C)	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
Tasarlanmış fiyat (US\$/kW)	1000	200	1000	1500	200	200

PAFC : Fosforik asit yakıt pili

AFC : Alkalın yakıt pili

MCFC : Ergimiş karbonat yakıt pili

SOFC : Katı oksit yakıt pili

SPFC : Katı polimer yakıt pili veya proton değişme film yakıt pili

DMFC : Direkt metanol yakıt pili

- 4) hızlı moment cevabı,
- 5) geniş hız ve moment menzillerinde yüksek verim,
- 6) faydalı frenleme için yüksek verim,
- 7) yüksek güvenilirlik ve sağlamlık için değişik taşıt çalışma koşulları,
- 8) makul fiyat.

Elektrikli tahrik kontrolünde, daha yüksek hızlarda, özellikle hafif yüklerde yüksek verim, aşırı yükte iyi performans, geniş hız menzili sabit güçte çalışabilme, ana gereksinimlerdir. Bu karakteristikler, sınırlı batarya kapasitesinin kullanılmasına, boyut, motor ve tahrik ağırlığının minimize edilmesine müsaade eder.

Tablo 10. Farklı Motor Tiplerinin Karşılaştırması

	ASM	PM	SRM	DCM	SYM
Motor boyut	0	+	0	-	0
Kütle	+	+	+	-	-
Dayanıklılık	+	0	+	-	-
Bakım	0	+	0	-	0
Verim	0	0	0	+	0
Kontrol edici boyut	0	0	0	+	0
kütle	+	+	-	+	0
Kontrol edilebilirlik	+	+	-	+	0
Güç aletleri Sayısı	0	0	+	+	0
Dayanıklılık	0	0	0	0	0
TOPLAM	+++	++++	++	--	--

ASM : Asenkron motor
 PM : Daimi mıknatıslı motor
 SRM : Anahtarlı relüktans motor
 DCM : Doğru akım motoru
 SYM : Senkron motor

Tablo 10, farklı motor tiplerinin karşılaştırmasını verir: asenkron motor (ASM), daimi mıknatıslı motorlar (PM), anahtarlı relüktans motor (SRM), doğru akım motoru (DCM) ve senkron motor (SYM). Uygulama aşamasında motorlar değerlendirilmelidir. Farklı motor tiplerinin her birinde çalışma bölgelerinin bazıları, diğerlerinden daha az verimlidir; bazı bölgeler diğerlerinden daha verimli yapılabilir. İyi bir karşılaştırma yapmak için sadece maksimum verimler karşılaştırılmamalıdır. Fakat verim, kesin hız devri ile ayarlanır. 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 kadar, Dünya çapında sonuç, belki de asenkron motorun avantajlı olmasıdır.

Tablo 11. Elektrikli Taşıt Motorlarının Uygulamaları

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

Tablo 11'de günümüzdeki elektrikli taşıtlarda kullanılan motorlar belirtilmektedir.

DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Batarya teknolojisindeki gelişmelerle bu enerji depolama türü de öne çıkacaktır. Yüksek hızlı volan, küçük sürekli mıknatıslı motor/generatör ile, daha çok avantaja sahiptir. Volanlar, yüksek ivmelenme gibi ani güç gerektiren taşıtlarda kullanılır. Volanlarda toksit emisyonlar ve atık malzemeler açığa çıkmaz, çevreye karşı daha duyarlıdır. Bataryaların zayıf güç yoğunluğunu geliştirmek için kullanılırlar. Diğer bazı sistemlere ve içten yanmalı motora gerçek bir rakiptir. Taşıtlar için volan/motor/generatör sistemi, malzemelerdeki, mil yatağı, rulmandaki ve kararlı hâl kontrol devrelerindeki teknolojik gelişmeler yüzünden giderek daha iyi gelişmeler sağlamaktadır.

Süperkapasitörlerin deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü, bataryalara göre fazladır. Süperkapasitörler ivmelenme ve yokuş yukarı çıkma gibi ani güç gereksinimlerinde bataryalara ya da yakıt piline yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yüksek güç yoğunlukları ile volanlara benzer uygulamalara adaydır.

Bataryalar, tepe yüklerde anlık enerji talebini karşılayabilir. Bataryalarla, spesifik gücün ve spesifik enerjinin yüksek olması ve uzun çevrim ömrü sağlanır. Bataryaların çeşitliliği, değişik tasarım problemlerine anahtar olacaktır.

Elektrikli taşıtlarda yakıt pillerinin kullanılmasının

sağlayacağı temel avantajlar; normal ve kısmi yüklerde yüksek çalışma verimi, direkt enerji dönüşümü, düşük emisyon değerleri (CO, SO₂, NO_x), düşük bakım tutum maliyetleri, düşük gürültü seviyesidir.

Hidrojen, enerji yoğunluğunun fazla olması nedeniyle çok çekicidir. Kullanım için güvenli ve uygundur. Sıvı hidrojenin spesifik enerji yoğunluğu geliştirilmelidir.

SONUÇLAR

Son yıllarda özellikle daha düşük maliyetli, hafif, az yer kaplayan ve verimli elektrik motorlarının geliştirilmesi amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Kafesli asenkron motorları, elektrikli taşıtların, elektrik tahriği için en önemli potansiyel aday olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. Elektrikli taşıtlar dayanıklılık, düşük bakım, düşük fiyat ve çevreye zarar vermeden çalışması yönünden yeterlidir. Özellikle, cer tahriği ve endüstriyel sıkıntılar ve çevre için uygundur. Günümüzde, asenkron motor tahriği komutatörsüz motor tahriğinde, en çok tercih edilen bir teknolojidir. Üstüne üstlük, kafesli asenkron motoru, otomotiv elektrik tahriğinin en temel büyük gereksinimlerini, en iyi yerine getiren bir aday olarak gözükmektedir.

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

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.

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.

EK

BİR OTOMOBİL İÇİN ENERJİ VE GÜÇ GEREKSİNİMLERİ (PRATİK OLARAK)

A. Taşıtlar Performans Özellikleri

Depolanan enerji ve maksimum gücün miktarı, taşıtların ekstraksiyon performans özelliklerine ve tahrik gurubunun bileşenlerinin verimine bağlıdır.

Otomotiv pazarında kabul edilebilmesi için performans özellikleri, var olan otomobillerle benzer olmalıdır. Tipik özellikler:

Kütle	Taşıtlar (yakıt dahil) 1600 kg
	Yolcular 400 kg
	Bagaj 200 kg
	Toplam 2200 kg

Menzil	48 km/sa sabit hızda 250 km veya; 88 km/sa sabit hızda 200 km veya; % 10 eğimde 48 km/sa sbt hızda 10 km
--------	--

Hız	Maksimum 120 km/sa
Hızlanma	0-96 km/sa'e 10 saniye
Yavaşlama	96-0 km/sa'e 7 saniye
Hızlı yeniden şarj	Tam şarj 40 saniyeden daha az
Yavaş şarj	Tam şarj için 8 saat

Yardımcı güç	Havalandırma/ısıtma 3 kW
	Ön cam .1 kW
	Aydınlatmalar 1 kW
	Radyo/Ses donanımı .2 kW
	Camların gücü .2 kW
	Motor soğutma pompası & Fan 1.5 kW
	Toplam 6 kW

Verimler Motorlar	% 95
	Vites Kutusu % 99
	Evirici % 97
	Kontrollü redresör % 98
	Volan generatör % 95
	Bataryalar % 92

B. Enerji Gereksinimleri

Menzil özelliklerinin her biri için enerji gereksinimleri değerlendirilmelidir:

a) Eğim yok, sabit hız 48 km/s ve mesafe 250 km

Gerekli cer kuvveti

$$1,1 \times 100 \times 4,448 = 500 \text{ N.}$$

Seyahat edilen toplam mesafe

$$250 \times 1000 = 250.000 \text{ m.}$$

250 km gidildiğinde toplam zaman

$$(250/48) \times 3600 = 18.750 \text{ s.}$$

Yardımcı güç gereksinimleri

$$6 \times 1000 \times 18.750 = 112.500.000 \text{ J (W/s)}$$

Gezinti sırasında kullanılan enerji

$$112.500.000 + 500 \times 250.000 / (.95 \times .99 \times .97 \times .98 \times .95)$$

$$= 112.500 + 147.173.561$$

$$= 259.673.561 \text{ J} = 72.13 \text{ kWh}$$

b) Eğim yok, sabit hız 88 km/h ve mesafe 200 km.

Gerekli cer kuvveti

$$1,1 \times 200 \times 4,448 = 980 \text{ N.}$$

Seyahat edilen toplam mesafe

$$200 \times 1000 = 200.000 \text{ m.}$$

200 km gidildiğinde toplam zaman
 $(200/88) \times 3600 = 8.182 \text{ s.}$
 Yardımcı güç gereksinimleri
 $6 \times 1000 \times 8.182 = 49.092.000 \text{ J}$
 Gezinti sırasında kullanılan enerji
 $49.092.000 + 980 \times 200.000 / (.95 \times .99 \times .97 \times .98 \times .95)$
 $= 49.092.000 + 230.768.143$
 $= 279.860.143 \text{ J} = 77.74 \text{ kWh}$
 c) % 10 eğim, sabit hız 48 km/h ve mesafe 10 km
 Gerekli cer kuvveti
 $1,1 \times 564 \times 4,448 = 2800 \text{ N.}$
 Seyahat edilen toplam mesafe
 $10 \times 1000 = 10.000 \text{ m.}$
 10 km gidildiğinde toplam zaman
 $(10/48) \times 3600 = 750 \text{ s.}$
 Yardımcı güç gereksinimleri
 $6 \times 1000 \times 750 = 4.500.000 \text{ J (W/s)}$
 Gezinti sırasında kullanılan enerji
 $4.500.000 + 2800 \times 10.000 / (.95 \times .99 \times .97 \times .98 \times .95)$
 $= 4.500.000 + 32.966.878$
 $= 37.466.878 \text{ J} = 10.4 \text{ kWh}$

200-250 km menzilde otomobile vermek için gerekli olan minimum enerji 78 kWh. Enerji gereksinmesi, toplam araç ağırlığı 2200 kg ve daha hafif araç kullanıldığında kayda değer oranda azalır.

C. Güç gereksinimleri

Yeniden şarj edilen bataryalarda, metal hibridlerde veya volanlarda taşıtın maksimum hızlanma/yavaşlama oranları, zaman ve güç gereksinmelerine bağlıdır.

1) Hızlanma 10 saniyede 0-96 km/h
 Hızlanma oranı
 $96.000 / (3600 \times 10) = 2.67 \text{ m/s}^2$
 Hızlanma kuvveti
 $2200 \times 2.67 = 5,867 \text{ N.}$
 Toplam seyahat edilen mesafe
 $.5 \times 2.67 \times 10 \times 10 = 133.5 \text{ m.}$
 Toplam geçici enerji gereksinmesi
 $5.867 \times 133.5 / (.95 \times .99 \times .97 \times .98 \times .95) = 922.183 \text{ J.}$
 Gerekli güç
 $922,183 / 10 = 92.2 \text{ kW}$
 2) Yavaşlama (10 saniyede 96-0 km/h)
 Yavaşlama oranı
 $96.000 / (3600 \times 10) = 2.67 \text{ m/s}^2$
 Yavaşlama kuvveti
 $2200 \times 2.67 = 5,867 \text{ N.}$
 Toplam seyahat edilen mesafe
 $.5 \times 2.67 \times 10 \times 10 = 133.5 \text{ m.}$

Bataryaya veya volana geri dönen toplam geçici enerji gereksinmesi

$$5.867 \times 133.5 / (.95 \times .99 \times .97 \times .98 \times .95) = 922.183 \text{ J}$$

Gerekli güç

$$922,183 / 10 = 92.2 \text{ kW}$$

3) Yavaş yeniden dolma (8 saatte 78 kWh)

Gerekli güç

$$78 / 8 = 9.75 \text{ kW}$$

4) Hızlı yeniden şarj (50 dakikada 78 kWh)

Gerekli güç

$$78 / (50/60) = 93.6 \text{ kW}$$

Spesifik hızlanma/yavaşlama oranlarını karşılamak için gerekli minimum güç 94 kW'tır.

KAYNAKÇA

1. **Benbouzid Hachemi M., Diallo Demba, et al**, Kalhammer Fritz, Prokopius Paul and et al, "Advanced fault-Tolerant Control of Induction-Motor Drives for EV/HEV Traction Applications: From Conventional to Modern and Intelligent Control Techniques", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 56, No. 2, p.519-528, March 2007.
2. **Chan C.C.** "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles", Proceedings of The IEEE Vol. 90, No. 2, February 2002.
3. **Douglas H., Pillay P.** "Sizing Ultracapacitors For Hybrid Electric Vehicles", IEEE, p.1599-1604, 2005.
4. **Garzian Ter**, 1994. "Energy Storage for Power Systems", IEE.
5. **Hoolboom Gerard, Szabados Barna.** "Nonpolluting Automobiles", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No. 4, November 1994.
6. **Kalhammer Fritz, Prokopius Paul and et al**, "Fuel Cells for Electric Vehicles", IEEE, 1999.
7. **Mader Jerry, Brunner Jim, Bevilacqua Oreste.** "Electric Vehicle Commercialization" Electric Vehicle Conference.
8. **Maggetto G., Mierio Van.** "Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology : A Survey", IEE Savoy Place, London, 2000.
9. **Morita Kenji.** "Automotive power source in 21st Century", Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. And Elsevier Science, p.3-7, 2003
10. **Sanchez D., Poxon W.** "Hybrid Electric Vehicles: Current Concepts and Future Market Trends", Rama De Estudiantes Del IEEE De Barcelona, p.5-29, 2006.
11. **Ünlü Namık ve diğerleri**, "Elektrikli Araçlar", TÜBİTAK-MAM Yayını, KOCAELİ 2003.