

MODERN ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Adem ÇALIKER¹, Engin ÖZDEMİR²

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli

¹ademcaliker@gmail.com, ²eoazdemir@kocaeli.edu.tr

Özet

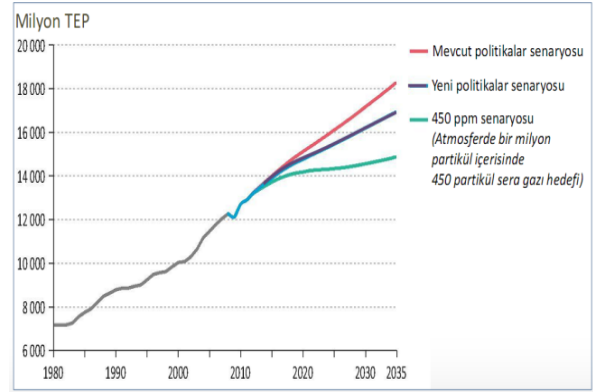
Özellikle sanayi devriminden sonra her geçen gün artan enerji ihtiyacı günümüzde büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlarının çevresel etkileri ve yakın bir gelecekte tükenecek olmaları gerçeğine bağlı olarak bilim insanlarının daha temiz enerji kaynakları üzerine yaptıkları çalışmalar sonuç vermiş, yenilenebilir enerji kaynakları son 30 yılda giderek artan bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Yaşanan bu gelişmeler sonucunda gelişmiş ülkelerin tamamı bu konudaki yatırımlarını arttırarak geleceğe dönük hedefler belirlemişlerdir. Ancak, özellikle rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının meteorolojik şartlardan etkilenmesi nedeniyle kararsız üretim grafikleri tüm şebekenin güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılması açısından enerji depolama sistemleri büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, günümüzde kullanılan modern enerji depolama teknolojilerinin karakteristik özellikleri ortaya konularak detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Enerji Depolama, Batarya Teknolojileri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.Giriş

Günümüzde dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğal gaz ve petrol gibi geleneksel enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır. Şekil-1'de görüldüğü üzere Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre dünyadaki birincil enerji talebi son 30 yılda %100 artmış, önümüzdeki 20 yıllık süreçte ise ortalama %40 artacağı ön görülmüştür [1]. Ülkemizdeki duruma EPDK verileri ışığında bakıldığında geçmiş 10 yıllık süreçte enerji talebinin %65 arttığı, 2020 yılına kadar enerji talebinin ortalama %80 artacağı düşünülmektedir [2]. Mevcut şartların değerlendirilmesi ile sınırlı olan geleneksel enerji kaynakları ile her geçen gün artan enerji ihtiyacının karşılanamayacağı ve üretim/tüketim dengesinin sağlanmasının tehlikeye düşeceği öngörülebilir. Fosil yakıtlarının sera gazı salınımı ve dolayısıyla iklim değişikliğine sebep olması geleneksel enerji kaynaklarının diğer bir olumsuz özelliğidir.

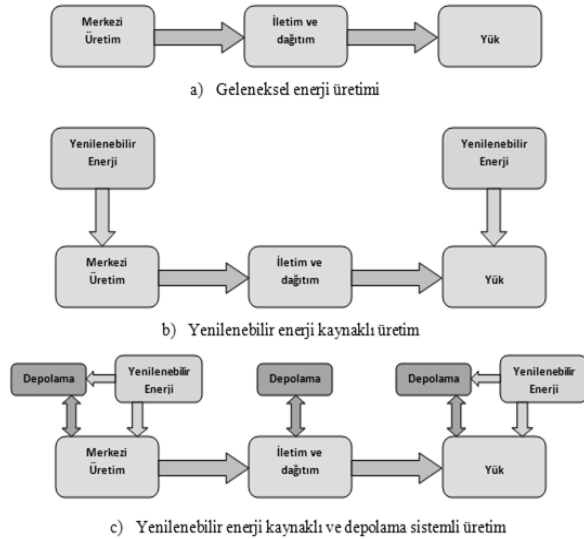
Fosil yakıtlarının yakın gelecekte tükenecek olması enerji çevrelerini alternatif arayışlara yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalar arasında üretilen enerjinin daha verimli kullanılması amacıyla iletim ve dağıtım altyapısının güncellenerek akıllı şebeke denilen forma sokulması, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin artırılması konusundaki çalışmalar ve enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmaktadır.



Şekil-1: Dünya birincil enerji talebi

Akıllı şebekeler, dağıtık üretim ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sorunsuz bir şekilde sisteme entegrasyonuna izin veren, gittikçe karmaşıklaşan şebeke sisteminde talep-üretim dengesini verimli bir şekilde koruyabilmek için elektrik şebekesi ile iletişim sistemini birleştiren yeni nesil enerji şebekesidir. Yapılan çalışmaların merkezinde artan enerji ihtiyacının mümkün olduğunca büyük bir kısmını, çevre kirliliğini önleme ve dışa bağımlılığı azaltma gibi önemli iki avantaja sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarından sürdürülebilir ve ekonomik bir şekilde karşılanması bulunmaktadır. Bununla birlikte, kullanılan teknolojinin yeni ve gelişmekte olması nedeniyle birim enerji maliyetlerinin fazla ve birçoğunun meteorolojik şartlara bağlı olması nedeniyle emre amadeli sürelerinin az olması gibi dezavantajları vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin güç kalitesi standartlarını sağlanması ve sürdürülebilir olması açısından belirtilen dezavantajların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Belirtilen dezavantajlar, nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji ile

enerji talebinin tam olarak örtüşmemesine neden olabilmektedir. Bu noktada, enerji talebinin her durumda yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabilmesi için enerji depolama sistemleri büyük öneme sahiptirler. Şekil-2’de gösterildiği gibi enerji depolama sistemleri, üretimin fazla olduğu dönemde enerjinin depolanması eksik olduğu zaman ise sisteme destek olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilirliğini arttıran, dağıtık üretim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır.



Şekil-2: Elektrik üretim ve dağıtımında güç akışı

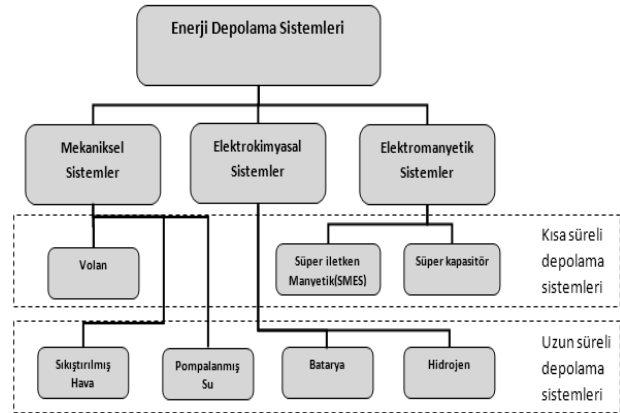
Bu çalışmada, günümüzde kullanılmakta olan ve geliştirilmeye devam edilen enerji depolama sistemleri detaylı bir şekilde incelenirken sistemlerin karşılaştırılması ve kullanım alanları irdelenmektedir.

2. Enerji Depolama Sistemleri

Günümüzde güç sistemlerinde kullanılan çeşitli enerji depolama teknolojileri bulunmaktadır. Bu teknolojiler arasında en uygun olanının tespit edilmesi sürecinde maliyet, ömür, güvenilirlik, depolama sisteminin boyutu, depolama kapasitesi ve çevresel etki gibi pek çok parametrenin dikkatlice irdelenmesi gerekmektedir. Tüm bu parametrelerin değerlendirilmesi aşamasında enerji depolama sisteminin sağlayacağı toplam fayda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir kriterdir.

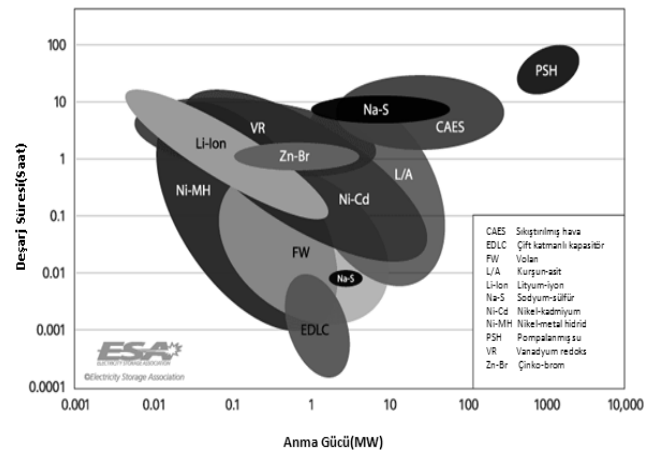
Enerji depolama teknolojileri genel olarak mekanik, elektrokimyasal ve elektromanyetik depolama olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Mekanik enerji depolama teknolojileri, pompalanmış su tabanlı enerji depolama sistemleri, sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri ve volanları içermektedir. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri, batarya ve hidrojen tabanlı enerji depolama sistemlerini

barındırmaktadır. Elektromanyetik enerji depolama teknolojileri ise süper kapasitörlerin ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemlerinin bulunduğu grubu temsil etmektedir.



Şekil-3: Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması

Enerji depolama teknolojileri, birkaç saniyeden birkaç güne kadar değişen geniş bir yelpazede enerji sağlayabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında enerji depolama sistemleri, Şekil-3’de gösterildiği gibi kısa süreli ve uzun süreli enerji depolama sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Her bir enerji depolama teknolojisi, Tablo-1’de belirtildiği gibi maliyet, güç, tepki süresi ve depolama kapasitesi gibi kriterler göz önünde bulundurulduğunda belirli özelliklere sahiptir (Şekil-4).



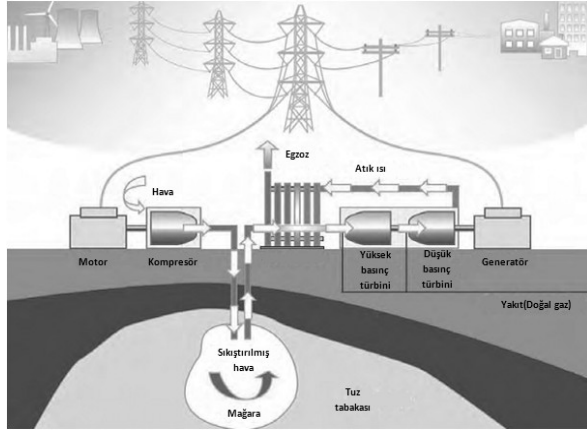
Şekil-4: Enerji depolama sistemlerinin güç-deşarj süresi grafiği

2.1 Sıkıştırılmış Hava Tabanlı Enerji Depolama Sistemleri

Bu sistemde, hava, elektrik üretiminin fazla yada gün içerisinde tüketimin az olduğu zamanlarda yeraltında mağara veya kullanılmayan maden gibi alanlara veya yer üstünde yüksek basınçla dayanıklı tanklara depolanır (Şekil-5).

Tablo-1 : Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması

Depolama Teknolojisi	Avantajı	Dezavantajı	Kullanım Alanı
Pompalanmış su tabanlı depolama	Yüksek kapasite, düşük birim enerji maliyeti	Büyük ve özel alana ihtiyaç olması	Zaman kaydırma enerji uygulamaları, Büyük güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu
Sıkıştırılmış hava tabanlı depolama	Yüksek kapasite, düşük birim enerji maliyeti	Büyük yeraltı alanına ihtiyaç olması, ek yakıt maliyeti	Zaman kaydırma enerji uygulamaları, Büyük güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu
Hidrojen	Çevresel etkilerinin olmaması	Düşük verim, yüksek maliyet, depolama üniteleri sorunları	Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, elektrikli taşıt uygulamaları
Batarya	Olgunlaşmış teknoloji, yüksek güç ve enerji yoğunluğu	Çevresel etkilerinin olumsuz olması, yüksek üretim maliyeti, orta yada düşük çevrim ömrü	Taşıyabilir cihazlar, elektrikli taşıtlar, küçük güçlü yenilenebilir enerji sistemleri
Volan	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet	Güç kalitesi uygulamaları
Süper kapasitör	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet	Elektrikli taşıtlar, güç kalitesi uygulamaları
Süper iletken manyetik depolama	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet,	Güç kalitesi uygulamaları



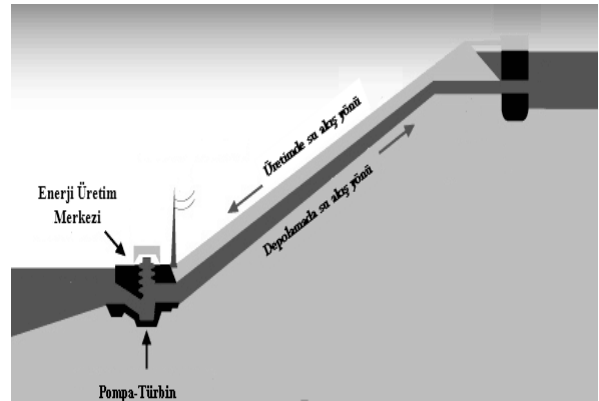
Şekil-5: Sıkıştırılmış hava tabanlı enerji depolama sistemi gösterimi

Talebin yüksek olduğu zamanlarda ise yüksek basınçla depolanan hava doğal gaz ile karıştırıldıktan sonra yakılarak santralde tekrar elektriğe dönüştürülür. Sıkıştırılmış hava tabanlı enerji depolama sistemlerinde enerji yoğunluğu yaklaşık olarak 12 kWh/m³ ve kombine çevrim sistemlerinde verim %70 civarındadır[3]. Bu tip enerji depolama sistemlerinin en önemli dezavantajı, havanın depolanacağı doğal coğrafi alanların temin edilmesi ve bu alanlardaki kaçakların önlenmesinde yaşanan sorunlardır.

2.2 Pompalanmış Su Tabanlı Enerji Depolama Sistemleri

Pompalanmış su tabanlı enerji depolama sisteminde yükseklik farkı bulunan iki depolama alanı mevcuttur

ve sistem, talebin az olduğu zaman aralığında suyun üst depolama alanına pompalanması ve talebin yüksek olduğu dilimde ise suyun alt depolama alanına salınması ile elektrik üretilmesi esasına göre çalışmaktadır (Şekil-6).



Şekil-6: Pompalanmış su tabanlı enerji depolama sistemi gösterimi

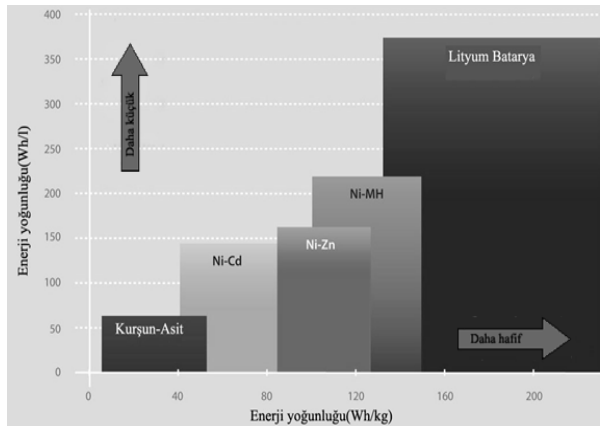
Depolama alanları konusunda yer altı mağaraları, deniz yada insan yapımı barajlar gibi çeşitli seçeneklerin bulunduğu bu tür depolama sistemlerinin verimleri %70-85 civarında iken deşarj süreleri birkaç saat ile birkaç gün arasında değişebilmektedir. Bu sistemin çok uzun ömre ve sınırsız kullanılabilme gibi avantajları varken topografik şartlara bağımlılık ve çok büyük alanların kullanılması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Pompalanmış su tabanlı depolama sisteminin temel uygulama amacı zaman kaydırma yöntemi ile enerji yönetiminin yapılabilmesidir [4].

2.3 Hidrojen Depolama Sistemleri

Tipik bir hidrojen depolama sisteminde, elektrokimyasal bir dönüştürücü olan elektrolizer tarafından elektrik yardımı ile suyu oluşturan oksijen ve hidrojen atomları ayrıştırılır ve hidrojen tanklarda depolanır. Talebin arttığı dönemde ise depo edilen hidrojen, yakıt pili sayesinde elektrik üretmek için kullanılır. Hidrojenin depolanmasında yüksek basınçta sıkıştırma, sıvılaştırma, hidrokarbonlar, hidrürler ve karbon nano tüplerinin kullanılması gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan depolama yönteminin türüne göre depolanan hidrojenin depo ağırlığına oranı %2 ile %68 arasında değişmektedir. %2 gibi çok düşük depo ağırlık oranına sahip çelik ve alüminyum bazlı tüplerde depolama işleminde tüp ağırlığı büyük sorun oluşturmaktadır iken %68 gibi iyi bir depo ağırlık oranı sunan karbon nano tüp yönteminde ise maliyetin çok yüksek olması büyük bir dezavantajdır [5]. Bu sistem, sayılan mevcut problemlerinin çözümü ile birlikte çok olumlu çevresel etkileri olacak geleceğin en önemli enerji depolama yöntemlerinden biri olarak görülmektedir.

2.4 Batarya

Batarya sistemleri, elektrik enerjisini elektrokimyasal formda depolayan ve maliyet-verim oranı yüksek enerji depolama yöntemlerinden biridir. Bataryalar, çalışma prensibi nedeniyle sessiz olmaları, genel olarak çevre kirliliğine neden olmamaları ve modüler yapıları sayesinde birkaç wattan birkaç megawata kadar her türlü enerji ihtiyacına cevap verecek şekilde bağlantılarının kolay ve hızlı yapılabilmesi nedeniyle günlük yaşamımızda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Farklı uygulamalardaki ihtiyaçları karşılamak üzere kurşun-asit, nikel-kadmium, nikel metal hidrit, sodyum sülfür, sodyum nikel klorit, vanadyum redoks, çinko bromür ve lityum iyon gibi çeşitli batarya teknolojileri geliştirilmiştir. Genel olarak verimleri %60-80 aralığında olan bataryalar ile ilgili olarak Şekil-7’de görüldüğü gibi enerji ve güç yoğunluğu, şarj-deşarj süreleri konularında daha iyi modeller üretmek amacıyla çalışmalar devam etmektedir [7].

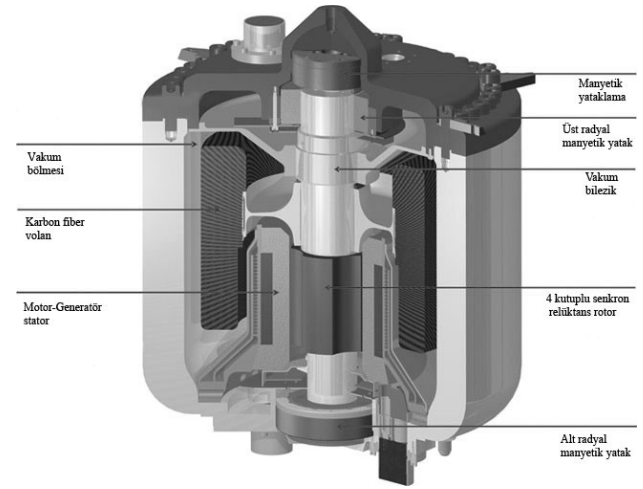


Şekil-7: Batarya sistemlerinde enerji yoğunluğu

Bataryaların, yukarıda belirtilen avantajlarına karşın bazı tip bataryaların çevre için zararlı metaller içermesi, çevrim ömürlerinin büyük orandadeşarj miktarına bağlı olması gibi dezavantajları vardır. Şarj-deşarj sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon nedeniyle ortaya çıkan ısının bataryanın ömrünü etkilemesi ve bazı batarya tiplerinde self-deşarj oranının yüksek olması ön plana çıkan diğer dezavantajlardır.

2.5 Volan

Volan enerji depolama sisteminin temel bileşenleri, dönen ağır bir cisim, manyetik yataklama elemanları ve enerjinin depolanmasını ve tekrar geri alınmasını sağlayan iletim elemanı olup enerji, dönen ağır bir cisimde kinetik enerji formunda depolanır.



Şekil-8: Tipik volan enerji depolama sistemi

Şekil-8’de temel bileşenleri görülen volan sistemleri 6000-50000d/dk hız aralığında üretilebilmektedir. Düşük hızlı volan sistemleri 5 Wh/kg civarında bir enerji yoğunluğuna sahipken yüksek hızlı volan sistemleri ile 100 Wh/kg’lık bir enerji yoğunluğuna ulaşılabilir [6]. Volan temelli enerji depolama sistemlerinin temel avantajları uzun bir çevrim ömrüne sahip olmaları ve yüksek şarj-deşarj hızlarına uygun bir yapı içermeleridir. Volan sistemlerinin nominal güçteki verimleri %90 civarındadır. Günümüzde hızlı cevap verme yetenekleri sebebiyle endüstride kesintisiz güç kaynağı, güç kalitesi ve şebeke frekansının dengelenmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Volan sistemlerinin en önemli dezavantajları ise fiyatlarının ve boşdaki kayıplarının %20 gibi oldukça yüksek olmasıdır.

2.6 Süper Kapasitörler

Süper kapasitörler temel olarak, elektrik enerjisinin depolandığı elektro-kimyasal çift katmanlı bir yapı üzerinde çok sayıda yüzeyel elektrotlardan ve bir ayırıcı yüzeyden oluşmaktadır. Ayırıcı yüzey elektrotlar arasında teması fiziksel olarak engellemekte, fakat iyon geçişine izin vermektedir.

Süper kapasitörün yapısındaki yüzeysel elektrotlar nano boyutlarda olup yüzey alanını ve buna bağlı olarak kapasite değerini çok yüksek değerlere çıkarmaktadır [8]. Süper kapasitörler, olağanüstü düşük iç dirençleri ve içyapılarında herhangi bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmemesi nedeniyle çok hızlı şarj-deşarj olabilmektedirler. Bunun yanı sıra, dayanıklılık, uzun ömür, yüksek çevrim sayısı ve hava şartlarına daha az duyarlı olması diğer avantajları olarak sıralanabilir. Süper kapasitörler, %90'lara varan verimlilikleri ve üretildikleri malzemelerin çevre dostu olması nedeniyle hem küçük uygulamalarda hem de son yıllarda hızla gelişen elektrikli taşıt uygulamalarında enerji depolama elemanı olarak tercih edilmektedir [4]. Düşük enerji yoğunlukları ve self-deşarj oranlarının kötü olması nedeniyle uzun süreli depolama yapamamaları ve maliyetlerinin nispeten yüksek olması ön plana çıkan dezavantajlarıdır [4].

2.7 Süper İletken Manyetik Enerji Depolama

Bu sistemde enerji, süper iletkenlerden oluşan bobin içerinden geçen doğru akımın oluşturduğu manyetik alanda depolanmaktadır. Yaklaşık 100 yıl önce keşfedilen süper iletkenlik kavramında süper iletkenin elde edilebilmesi için materyallerin -270°C kadar soğutulması gerekirken yapılan çalışmalar sonucunda günümüzde kritik sıcaklık değeri -170°C kadar çıkmıştır [4]. Bu depolama sisteminin temel bileşenleri, süper iletkenlerden yapılan bobin, güç şartlandırıcısı ve soğutma ünitesidir. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemlerinin çok hızlı şarj-deşarj olabilmesi ve genel verimlerinin %85-90 civarında olması önemli avantajlarıdır. Ancak, bu sistemin güvenilirliğinin hayati bir şekilde soğutma sisteminin düzgün çalışmasına bağlıdır. 10MW ve daha büyük ölçekli süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri yüksek enerjili fizik deneyleri ve nükleer füzyon uygulamalarında kullanılırken nispeten daha küçük boyutlu sistemler, mikroçip üretimi gibi hassas üretim yapan kuruluşlarda güç kalitesini kontrol etmek için kullanılmaktadır.

3. Sonuç

Çevresel etkileri ve özellikle enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmada önemli rolünün olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yaygın kullanılmasında kilit görev bu sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldıracak enerji depolama sistemlerinde olacaktır. Daha geniş kapsamlı düşünüldüğünde, yeni nesil enerji şebekesi olan akıllı şebekelerin de temel bileşenlerinden olan enerji depolama sistemleri üzerine yapılan araştırma çalışmaları insanlara gelecekte enerjiye istedikleri zaman istedikleri yerde kaliteli bir şekilde ulaşma fırsatı verecektir. Mevcut enerji depolama sistemlerinin 30 yıl önceki durumları ile şu anki teknolojileri arasındaki fark bu vaadin gerçekleşeceğine dair en önemli göstergedir.

Kaynaklar

- [1] "World Energy Statistics 2011", *International Energy Agency*, 2011
- [2] "Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasitesi Projeksiyonu (2011-2020)", *Türkiye Elektrik İletim A.Ş.*, 2011
- [3] Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J., "Energy storage systems—Characteristics and Comparisons", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008.
- [4] "Electrical Energy Storage", *International Electrotechnical Commission*, 2011
- [5] Barbir, F., PEM "Fuel Cells: Theory and Practice", *Elsevier Academic Press*, 2005
- [6] Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A. and Efthimiou, V., "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009
- [7] Nair, N. K. C. and Garimella, N., "Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration", *Energy and Buildings*, 2010
- [8] Kötz, R. and Carlen M., "Principles and applications of electrochemical capacitors", *Electrochimica Acta*, 2000