

Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri

The Technologies of Energy Storage on Smart Grids and Microgrids

Behçet KOCAMAN¹

¹Elektrik ve Enerji Bölümü, Tatvan Meslek Yüksekokulu
Bitlis Eren Üniversitesi
bkocaman1@gmail.com

Özet

Avrupa Birliği Komisyonunun belirlemiş olduğu 20-20-20 hedefinde, 2020 yılında toplam enerji üretiminin % 20'sini yenilenebilir kaynaklardan elde etmek, sera gazı emisyonunu %20 azaltmak ve enerji verimliliğini %20 artırmaktır (enerji tüketimi %20 azaltmak). Bu hedefler doğrultusunda, Avrupa Birliği ülkeleri ve aday ülkeler geleceğin şebekesi olan akıllı şebekeler için alt yapı çalışmalarına başlamışlardır. Akıllı şebekelerin en önemli hedeflerinden biri; son kullanıcı tarafında daha fazla dağıtılmış üretim ve enerji depolamaya olanak tanıyan mikro şebekelerin kurulmasıdır. Mikro şebeke uygulamaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güç üretiminin yaygınlaşmasıyla birlikte artan güç talebini karşılamak için enerji verimliliğinin yanında gerekli enerji tamponu olarak görev yapacak sistemler ve enerji depolama teknolojileri oldukça önem kazanmıştır. Enerji depolama teknolojisi; elektrik güç sistemlerini iyileştirmede, yenilenebilir elektrik üretimini artırmak ve ulaştırma sektöründe petrol türevi yakıtlara alternatifler sunmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, elektriksel, kimyasal, mekaniksel ve ısı depolama teknolojileri ele alınmış ve kullanımları ile ilgili temel özellikler açıklanmıştır. Anahtar kelimeler: Akıllı şebeke, Enerji depolama teknolojileri

1. Giriş

Elektrik enerjisi, hiç kuşkusuz insan hayatının vazgeçilmez en önemli unsurlarındandır. Kullanılan ve gelişen teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artarken, bunun aksine enerji kaynakları azalmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek, en etkin çözüm olarak görülmektedir. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması da o kadar önemli hale gelmiştir. Bu beklentileri karşılamak için elektrik şebekelerinin daha akıllı hale getirilmesi gerekmektedir. Akıllı şebekeler; son yıllarda önem kazanan konulardan olup, elektrik şebekesine çift yönlü etkin bir iletişim altyapısı ekleyen şebeke güncellemesidir. Akıllı şebekeler doğayla dost bir teknoloji olmasının yanında, sabit ve gezgin enerji depolamasında ve dağıtım yenilenebilir enerji kaynaklarında aktif rol alır[1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim merkezlerine uzak olması, düzenli

olmaması ve hava tahminin yeteri kadar doğru yapılamaması nedeniyle, enerji depolama sistemlerinin de önemi giderek artmıştır[2]. Günümüzde bütün modern enerji sistemleri arz güvenilirliği, sistem stabilitesi, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması iletim / dağıtım problemlerinin ve maliyetlerinin minimize edilmesi gibi bir çok nedenle enerjinin depolanmasını zorunlu kılar[3]. Enerji depolama, pik yük talebinin olduğu anlarda depolanan elektrik enerjisini kullanan acil sistem teknolojileridir[4]. Bu teknolojiler; elektrik şebekelerinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında farklı uygulamaları olup, akıllı şebekelerin önemli bir bileşenidir. Akıllı şebekelerin üç temel hedefi şunlardır[5]:

1. Şebeke kapasitesini optimize etmek için elektrik enerjisinin arz ve talep tarafını daha iyi dengelemek, yük eğrisinde günlük dalgalanmaları önleyerek, "yük faktörünü" maksimize etmek.
2. Üretim ve iletim kısıtlamalarından dolayı oluşan enerji maliyetlerindeki oynamaları düzenlemek.
3. Son kullanıcı tarafında daha fazla dağıtılmış üretim (yenilenebilir veya konvansiyonel) ve enerji depolamaya olanak tanıyan mikro şebekelerin kurulması.

Akıllı ve mikro şebekelerde kullanılan enerji depolama teknolojileri; elektrik üretim ve dağıtım şirketleri, tesis işletmecileri ve elektrikli araç üreticileri için oldukça önemli bir ilgi alanıdır. Büyük miktarlarda enerjinin depo edilebilmesi elektrik şirketlerinin operasyonları için büyük bir esneklik sağlayabilir. Çünkü bu sayede, talep edilen enerjinin aynı anda üretilmesine gerek kalmaz[6].

Enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, gerilim düşmesi ve kesintiler gibi güç kalitesi problemlerinin hem sistem hem de ekipman düzeyinde ele alınan çözümlerinde büyük önem taşımaktadır[7]. Bununla birlikte, enerji depolamanın; sistem verimliliğini artırması, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna olanak vermesi, şebeke kararlılığını ve güvenilirliğini artırması, enerji güvenliğini artırması ve sera gazı emisyonu azaltması gibi faydaları vardır[8]. Elektrik enerjisinin ucuz olarak direkt depolanması kolay olmasına rağmen, ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisine dönüştürüp kullanılmak üzere farklı formlarda depolanabilir. Enerjinin depolanması için geliştirilen başlıca teknolojiler; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısı depolama teknolojileridir.

2. Enerji Depolama Teknolojileri

Enerji depolama teknolojileri (EDT); talep ve fiyattaki saatlik değişimler gibi bazı kritik özellikleri ile başa çıkmak için mükemmel yetenek göstermektedir[9]. EDT, aşağıda belirtilen farklı kullanımları destekleyebilir[10].

- Dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonları gibi küçük veya mobil elektronik cihazlar için dahili güç olarak kullanılabilir.
- Ulusal elektrik şebekesi veya askeri tesisler için, bağımsız sistemler gibi, sabit elektrik üretim ve dağıtım sistemleri için enerji depolamada kullanılabilir.
- Kara, hava, deniz ve uzaydaki araçların güç tahriklerinde kullanılabilir.
- Silahların hedef ve rehberlik cihazları gibi işlemler için gerekli olan güç temininde kullanılabilir.

Tüm enerji depolama teknolojilerinde; depolama kapasitesi, enerji kullanılabilirliği, deşarj süresi, verimliliği, dayanıklılığı ve bağımsızlığı gibi parametreler gereklidir.

2.1. Elektriksel Enerji Depolama Teknolojileri

Elektriksel EDT; güç kalitesinin iyileştirilmesinde, elektrikli araçlarda ve akıllı şebekelerde uygulama alanı bulmaktadır. Bunlar; kapasitörler, ultra kapasitörler ve süperiletken manyetik enerji depolama teknolojileridir.

2.1.1. Kapasitörler

Elektrostatik formda depolanan enerjiyi, elektrik enerjisi olarak açığa çıkaran enerji depolama teknolojisidir. Bu cihazlar, olduğunu bozmadan yüz binlerce defa şarj deşarj döngüsü yapabilmektedirler. Kapasitörler, öncelikle tüketicilerin küçük elektronik cihazları için kullanılmış, ancak giderek silah ve ticari elektrikli araçların güç temini için geliştirilmektedir. Şu anda, enerji yoğunluğunu artırmak araştırma hedefleri arasındadır.

2.1.2. Ultra Kapasitörler/Süper Kapasitörler

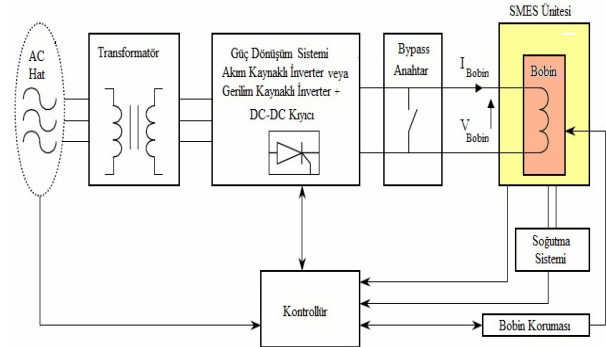
Ultra kapasitör veya süper kapasitör olarak adlandırılan büyük kapasite değerine sahip kondansatörler günümüzde yeni bir enerji depolama elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ultra kapasitör ile oluşturulan enerji depolama sistemi, enerji tamponu görevi dışında aynı zamanda şebekenin güç kalitesinin iyileştirilmesini de sağlamaktadır. Birkaç milisaniyeden birkaç dakikaya kadar yüksek güç deşarjı gerektiren tüm uygulamalar için, ultra kapasitör kullanımı uygun olmaktadır. Ultra kapasitörler, oldukça yüksek güç yoğunlukları nedeniyle (18 kW/kg) çok kısa bir süre içinde güç sistemine yüzlerce hatta binlerce amper akım verebilmektedir. Böylece kısa sürede yüksek güç gerektiren güç kalitesi problemlerinin çözümünde önemli rol alabilmektedirler. Ultra kapasitörler, kimyasal bir reaksiyon olmadan doğrudan elektriği depolayabildiklerinden çok kısa sürede şarj ve deşarj olabilmektedir. Piller, normal şarj durumunda birkaç saat, hızlı şarj durumunda ise birkaç on dakikada şarj olabilirken, ultra kapasitörler birkaç saniyede şarj olabilmektedir. Bununla birlikte pillerin tersine ultra kapasitörler bakımsız olarak çok uzun ömürlü

olabilmektedirler. Ayrıca normal kullanımda sıcaklık etkilenmeleri de oldukça düşüktür. Ultra kapasitör, -40 °C ile +85 °C arasında çalışabilmektedir. Ultra kapasitörlerin en önemli üstünlükleri, uzun işletim ömürleri, esnek gerilim

düzeyi, yüksek akım gücü olarak sayılabilir. Ultra kapasitör uygulamalarının çok yüksek hızla enerji depolama kapasiteleri ile güç kalitesi iyileştirmeye yönelik olarak aktif filtre uygulamalarında kullanımının artması da beklenmektedir. Ultra kapasitörler, çok yüksek güçleri çok hızlı depolayıp geri verebildikleri için özellikle güç sistemlerinde meydana gelen gerilim çökmesi veya kısa süreli kesintiler gibi geçici durumların giderilmesinde önemli görevler alabilmektedir. Ayrıca kesintiler sırasında yaşanan geçişlerde gerilim kararlılığını sağlayabilmektedir[11].

2.1.3. Süperiletken Manyetik Enerji Depolama (SMES, Superconduction Magnetic Energy Storage)

Süperiletken manyetik EDT; en önemli enerji depolama tekniklerinden biridir. Bu teknolojilerde enerji, halka şeklinde sarılmış süperiletken tellerden oluşan bir bobinden oluşur. Üretilen fazla elektrik bu bobine verilir ve her an kullanıma hazır bir şekilde manyetik alan olarak depolanır. Sistemin verimi, %90 veya daha fazladır ve cevap süresi çok kısadır (milli saniye). Şekil 2'de tipik bir SMES sisteminin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Tipik bir SMES sistemi bileşenleri[12]

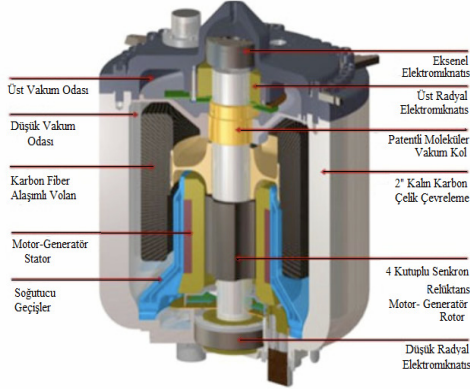
Depolanan enerji, bobin endüktansına ve akıma bağlı olup, deşarj edilerek sisteme her an geri verilebilir. Çıkışta bir DC-AC dönüştürücü ile tekrar AC güç elde edilir. SMES' in uygulama alanlarının geniş olması (yük akışı, frekans kontrolü, sistem kararlılığı, enerji yönetimi.. gibi) ekolojik dengeye olumlu etkisi ve yüksek verimliliği göz önüne alındığında gelecekte enterkonnekte sistem içerisinde uygulama alanı bulabilecek önemli bir enerji üretim birimi olduğu söylenebilir[4].

2.2. Mekaniksel Enerji Depolama Teknolojileri

Mekaniksel EDT, potansiyel ve kinetik enerji olarak depolama yapmaktadırlar. Bunlar, pompalı hidroelektrik depolama, sıkıştırılmış hava ile enerji depolama ve volan enerji depolama teknolojileridir.

2.2.1. Volanlar(Flywheels)

Volanlar; en eski enerji depolama teknolojilerinden biridir. Sistem enerjisini, yüksek devir sayısı ile dönen bir rotorun sağladığı atalet ile depolar. Sistemden enerji alındığında, enerjinin korunumu kanununa göre devir sayısı azalır. Ters olarak da sisteme enerji verildiğinde devir sayısı artar. Devir sayısı yaklaşık 75.000 devir/dakika'yı bulabilir. kontrollü güç sağlamak, büyük güç etkileri meydana getirmek amacıyla; uzay, ulaşım, telekomünikasyon ve nükleer araştırma endüstrilerindeki güç sistemlerinde başarıyla kullanılmaktadırlar. Şekil 3'de volan sisteminin kesit şeması gösterilmiştir.

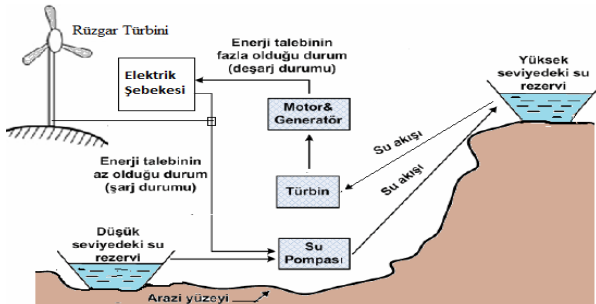


Şekil 3. Volan enerji depolama ünitesinin kesit şeması[13]

Volan ile enerji depolama teknolojisi, bazı uygulamalarda kullanılsa da halen araştırma ve geliştirme aşamasındadır ve birkaç yıl sonra ticari olarak kullanıma hazır hale geleceği düşünülmektedir.

2.2.2. Pompalı Hidroelektrik Depolama

Pompalı hidroelektrik depolama yönteminde, suyun düşük seviyedeki rezervuardan daha yüksek seviyedeki rezervuara pompalanarak potansiyel enerjinin depolanmasıdır. Bu işlem; enerji tüketiminin düşük olduğu zamanlarda rüzgar türbininin ürettiği veya şebekeden alınan elektrik enerjisinin su pompalarını çalıştırmak üzere kullanımıyla gerçekleştirilir. Pompalanarak depolanmış su, elektrik enerjisi gereksiniminin fazla olduğu durumlarda su türbinine aktararak mekanik enerji elde edilir, elde edilen mekanik enerji generatör yardımıyla elektrik enerjine dönüştürülerek şebekeye aktarılır. Şekil 4'de Pompalı hidroelektrik enerji depolama akış diyagramı gösterilmiştir.

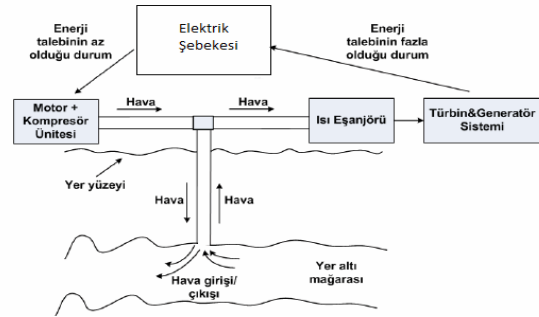


Şekil 4. Pompalı hidroelektrik enerji depolama akış diyagramı

Su depolama yönteminin uygulanmasında; yatırım sermayesi, suyun depolanması için uygun büyüklükte alanın sağlanması, çevresel etkiler ve sistemin depolama verimliliği gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir[14]. Başta Japonya olmak üzere dünyada pek çok ülkede toplam 100.000 MW'ın üzerinde pompalı hidroelektrik santrali bulunmaktadır[15].

2.2.3. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama (CAES, Compressed Air Energy Storage)

Elektriğin fazla ve ucuz olduğu saatlerde, kompresör çalıştırılarak ortamdaki hava yeraltındaki geçirimsiz mağaralarda sıkıştırılarak depolanmakta, ihtiyacın olduğu saatlerde ise basınçlı hava ile türbinler çalıştırılarak elektrik üretilmektedir. Bu yöntemde, havanın sıkıştırılarak depolanabilmesi için geçirimsiz bir formasyona ihtiyaç vardır. Doğal boşluklar, terk edilmiş madenler, tuz mağaraları kullanılabilir gibi, yapay boşluklar da oluşturulabilmektedir. Havanın sıkıştırılması için yapay tanklar üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır[16]. Şekil 5'te sıkıştırılmış hava enerji depolama akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5. Sıkıştırılmış hava enerji depolama akış diyagramı[17]

Şekil 5'te görüldüğü gibi yerin alt katmanlarında bulunan bu tabakalara havanın gönderilmesi ve tekrar yer yüzeyine çıkartılması taşıyıcı boru sistemleri ile gerçekleştirilmektedir.

2.3. Kimyasal Enerji Depolama Teknolojileri

2.3.1. Şarj Edilebilir Piller[10]

2.3.1.1 Gelişmiş Kurşun-Asit Piller

Bu piller, araç motorlarını çalıştırmada güç sağlamak için kullanılan 100 yıllık pillerin gelişmiş versiyonlarıdır. Bu pillerde, anot olarak kurşun, katot olarak kurşun dioksit ve elektrolit olarak sülfürik asit kullanılır. Bunlar, sabit depolama kullanımları için uygun olup ticari olarak mevcuttur. Ancak, diğer hedefler arasında faydalı deşarj ve şarj edilebilir şekilde araştırılmaktadır.

2.3.1.2 Akış Piller

Bunlar, sabit depolama sistemlerinde kullanılmaya aday olup, ticari olarak mevcuttur, çoğu türü de araştırılmaktadır.

2.3.1.3 Lityum-İyon Piller

Bu piller, şarj ve deşarj sırasında katottan anoda hareket ederler. Bunlar, kişisel elektronik cihazlarında, elektrik araçları ve sabit depolama sistemleri için en popüler şarj edilebilir pillerdir. Dağıtılmış enerji kaynaklarında kullanılıp, enerji kapasitesini ile güvenliği artırmak ve maliyeti düşürmek için araştırmalar devam etmektedir.

2.3.1.4. Metal –Hava Piller

Bu pillerde; katot olarak oksijen, anot olarak ise magnezyum, demir veya lityum gibi metaller kullanılmaktadır. Bunlar, lityum-iyon pillerinden daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha düşük maliyete sahip olup şu anda elektrik araçları ve sabit depolama için araştırılmaktadır.

2.3.1.5. Lityum-Metal Piller

Anot olarak Lityum kullanılan pillerdir. Bunlar, lityum-iyon pillerine göre, birim ağırlık başına daha büyük enerji depolama potansiyeline sahiptirler. Bu pillerin diğer potansiyel kullanımları olmasına rağmen, öncelikle elektrikli araçlar için araştırılmaktadır.

2.3.1.6. Sodyum Piller

Bu pillerde, elektrod olarak sodyum veya sodyum bileşikleri kullanılmaktadır. Öncelikle sabit depolama sistemleri için uygun kabul edilir. Bazı sodyum pilleri ticari olarak mevcut olmasının yanında diğerleri araştırılmaktadır.

2.3.1.7. Nikel Kadmiyum Piller

Bu piller, sulu potasyum hidroksit elektrolit içinde bir nikel ve bir kadmiyum elektroda sahiptir. Nikel kadmiyum pilleri, kullanım olarak çok yaygın değildir ve yaklaşık olarak verimlilikleri %75'tir. Bu piller, acil aydınlatmalar, telekomünikasyon sistemi, güneş enerji istasyonlar, uzay araçları gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir[17]. Kurşun asit pillerinden daha yüksek enerji yoğunluğuna ve kullanım ömrüne sahiptir. Ancak, kurşun-asit pillerinden daha pahalıdır.

2.3.2. Yakıt Hücreleri

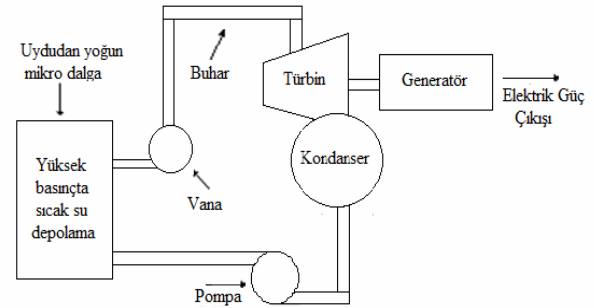
Yakıt hücreleri, piller gibi yakıt ve yakıcılarını bünyelerinde barındırmazlar. Bunun yerine bu iki kimyasal depo edildikleri harici bir kaynaktan sürekli olarak alırlar. Oysa piller, yakıt ve yakıcılarını kendi içyapılarında bulundurlar. Örneğin, kurşun – asit pillerinin yakıtı (kurşun) anotta bulundurulurken, yakıcı maddesi (kurşun dioksit) katotta bulundurulur, depo edilir. Yakıt hücresi, özgül enerji değeri açısından pillerden daha yüksek bir değeri sağlayabilirken, özgül güç bakımından daha kötü bir değere sahiptir. Bunun da ötesinde, yakıt hücreleri oldukça pahalıdır (1500 \$/KW, 1999 fiyatlarıyla) ve yük değişimlerine hızla adapte olamamaktadırlar[18].

2.3.3. Hidrojen (Güneş hidrojen, Güneş metal, Güneş Amonyak)

Alternatif enerji kaynaklarının ürettiği enerjinin yük talebinin haricinde kalan fazla kısmı bir elektrolizör ünitesi üzerinden hidrojen elde etmek için kullanılmaktadır. Elde edilen hidrojen, farklı yapılarıdaki hidrojen tanklarında depolanabilmekte ve ihtiyaç olduğunda bir yakıt hücresi sistemi tarafından elektrik enerjisine çevrilerek yük talebinin karşılanması açısından kullanılabilir. Hidrojen depolama sistemleri, sayılan mevcut problemlerinin çözümü ile birlikte geleceğin en önemli enerji depolama yöntemlerinden biri olarak görülmektedir[19].

2.4. Isıl (Termal) Enerji Depolama Teknolojileri

Isıl enerji depolaması, enerjinin elde edilmesiyle, talep arasındaki fark ve yer-zaman arasındaki uyumsuzluğu gideren, hem ısıtma hem de soğutma için çözümler veren bir sistemdir. Bu sistem; konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulama sansı bulup, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Rüzgar, güneş ve su gibi doğal enerji kaynaklarından ve atık ısıdan yararlanmak için de ısı enerji depolama gereklidir. Ucuz olan dönemde depolanan enerjinin, pahalı saatlerde kullanılmasıyla daha ekonomik enerji tüketimi sağlanabilir. Şekil 6'da ısı enerji depolama blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 6. Isıl enerji depolama blok diyagramı[20]

Isı enerjisi depolaması, kullanım süresine göre kısa süreli depolama (gece- gündüz) ve uzun süreli depolama (yaz-kış mevsimleri) olmak üzere ikiye ayrılır. Kullanım amacına ve sıcaklığına göre sıcak depolama, soğuk depolama veya her iki amaç için sıcak ve soğuk depolama yapılabilir. Uzun dönem depolama ile hedeflenen, yazın sıcaklığını depolayıp kışın kullanmak veya kışın soğukunu depolayıp yazın kullanmaktır. Isı enerjisinin depolaması, enerjinin elde edilmesiyle kullanımı arasındaki yer ve zaman farkını kapatarak, hem ısıtma hem de soğutma için alternatif çözümler verir. Konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulanan depolama, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Isıl depolamanın yapılabilmesi için bir santralin atık ısı, güneş enerjisi ve jeotermal enerji vb. ısı kaynaklı sistemlere ihtiyaç vardır. Güneş enerjisi, zamana bağlı olarak değişim gösteren ve kesikli yapıya sahip bir enerji türüdür. Bu özelliği nedeniyle güneş enerjisine bağlı olarak çalışan sistemlerin yük faktörü kesikli yapıya sahip enerji türlerine göre daha düşüktür. Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin depolanması ile yük faktörü artmakta, bunun sonucunda da sistemlerin geri ödeme süreleri kısalmakta ve sistemler ekonomik hale gelmektedir.

Çizelge 1'de elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısı EDT ve uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 1. Enerji depolama teknolojileri ve uygulama alanları

ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ (EDT)	UYGULAMALAR
Elektriksel (Süper kapasitör/Ultra kapasitör) Kimyasal (Yakıt hücreleri, kurşun - asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Nikel kadmiyum pilleri)	Elektrikli Araçlar
Elektriksel (Süper kapasitör/Ultra kapasitör, Mikro Süperiletken manyetik enerji depolama-SMES, Geniş SMES) Mekaniksel (Yüksek güç volanlar, pompalı hidroelektrik, Sıkıştırılmış hava enerji depolama(CAES) Isıl enerji depolama Kimyasal (Sodyum Sülfür-NaS pilleri, Kurşun-asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Nikel kadmiyum-NiCd pilleri, Yakıt hücreleri, Akış Çinko bromür-ZnBr)	Akıllı Şebekeler
Kimyasal (Kurşun-asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Yakıt hücresi) Isıl enerji depolama	Bina ve Evler

Çizelge 1’de enerji depolama teknolojilerinden elektriksel ve kimyasal EDT’nin elektrikli araçlarda, kimyasal ve ısıl EDT’nin bina ve evlerde; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısıl EDT’nin ise akıllı şebekelerde kullanıldığını görülmektedir. Bunların yanında EDT, güç kalitesi, güvenilirlik, enerji yönetimi ve rezerv gibi uygulamaları da bulunmaktadır.

3. Sonuçlar

Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken elektrik çıkışlarından dolayı, çoğu zaman enerji taleplerine direkt cevap vermemektedir. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimine sınırlı katkıda bulunduğunu göstermektedir. EDT, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarıyla güç sisteminin verimliliği içinde güvenilirlik ve kaliteyi sağlamada elektrik şebekesine entegre edilmiş olmasından dolayı bu problemler için bir çözümdür. Elektrik EDT, enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda depolanıp, enerji fiyatlarının yüksek olduğu zamanlarında kullanılarak enerji maliyetlerini azaltır. Doğal afetlerden dolayı, elektrik şebekelerinde meydana gelen arızalarda, güç kaynağının güvenilirliğini artırmak için kullanıcılara destek sağlar. Ayrıca şebekelerin frekans ve gerilimlerini koruyarak güç kalitesini geliştirmektedir. Bunlardan dolayıdır ki; elektrik enerjisi depolama teknolojileri, akıllı şebekelerin geliştirilmesinde en önemli unsurlardan biridir. Geleceğin şebekesinin çift yönlü akışlı ve akıllı şebekelere dönüşeceği göz önüne alınırsa, enerji depolama teknolojilerinin akıllı ve mikro şebekelerdeki yeri daha iyi anlaşılacaktır.

4. Kaynaklar

1. Dinçer H., Mutlu F., Kuzlu M. " Sayısal Teknolojinin Elektrik Şebeke Ağına Katılması: Akıllı Şebeke " *EMO IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 2011
2. Çetinkaya H.B., "Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği Açısından Akıllı Şebekeler ve SCADA uygulamaları", *3. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı*, 2012
3. http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=7965
4. Kuşdoğan, Ş., Kurt, G., Arsoy, A., "Süperiletken Manyetik Enerji Depolama Sisteminin(SMES) İncelenmesi ve Teknolojik Değerlendirilmesi", 2002,
5. <http://www.akillisebekeler.com/schneider-electricakilli-sebeke-uygulamaları/>
6. Rahman, S. "Advanced Energy Technologies", *Virgiana Polytechnic Institute and State University*
7. GENCER, Ö., Ö., "Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Dinamik Gerilim Düzenleyici Tasarımı", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2006.
8. <http://www.a123systems.com/energy-storage-for-grid.htm>
9. "Electrical Energy Storage", International Electrical Commission (IEC), 2011
10. Hall, R., Harris, H. "Batteries and Energy Storage", United States Government Accountability Office, 2012
11. Özdemir, E., Özdemir, Ş., Uçar, M., Kesler, M. "3-Fazlı 4-Telli Sistemlerde Güç Kalitesi Düzeltimi için Birleşik Seri-Paralel Aktif Filtre Sisteminin Tasarımı, Denetimi ve Gerçekleştirilmesi", *Tübitak Projesi Sonuç Raporu* (Proje No: 108E083, Kocaeli, 2010
12. ARSOY, A.B., "Electromagnetic Transient and Dynamic Modeling and Simulation of a StatCom-SMES Compensator in Power Systems", Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2000.
13. <http://gigaom.com/cleantech/flywheel-maker-pentadyne-raises-14m/>
14. <http://www.termodinamik.info/?pid=2857>
15. <http://enerjienstitusu.com/2011/01/25/turkiye-enerji-sistemi-icin-bir-zorunluluk-%e2%80%9cenerji-depolama-sistemleri-%e2%80%9d/#more-898>
16. http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=7965
17. Erdinç, O., Uzunoğlu, M., Vural, B., "Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 2011
18. Kozak, M., Kozak, Ş., "Enerji Depolama Yöntemleri", *SDU International Technologic Science*, Vol. 4, No 2, pp, 17-29, 2012.
19. Paksoy, H., Evliya, H., Turgut, B., Mazman M., Konuklu, Y., Gök, O., Yılmaz, M., O., Yılmaz, S., Beyhan, b., Sahan, N., Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Depolama ile Değerlendirilmesi, <http://www.belgeler.com/blg/2eeh/sera-isitma>
20. Jerry Dinkins, J., Lee, K., Mahserjian, S., Pinkoski, B., "Texas Space Grant Consortium Space Solar Power Ground-Based Energy Storage", Texas Tech Univ., 1997