

ENERJİ DEPOLAMA ÇÖZÜMLERİ ve GENEL EĞİLİMLER

Doç. Dr. Muhsin MAZMAN¹, Dr. Cem Hakan YILMAZ²

Giriş

Medeniyet tarihi enerji kaynaklarını keşfetme tarihidir. Kendi kas gücünü kullanarak doğayı dönüştürmeye çalışan insan, doğanın ona sunduğu farklı imkanları kullanmayı öğrenerek bu amacında önemli yol almıştır. Önce etrafındaki hayvanların kas gücünü, sonra su ve rüzgâr gibi doğal kaynakları kullanmayı öğrenerek ilerlemiş ve nihayetinde yakıtların (biyokütle, fosil yakıtlar, nükleer yakıtlar v.b.) imkanlarını keşfederek medeniyetini bugüne taşımıştır. Medeniyet endüstri devrimleri öncesi ve sonrası diye iki döneme ayrılabilir. Endüstri devrimi öncesi dönemi; kendi kas gücünü kullandığı dönem, etrafındaki hayvanların kas gücünü kullandığı dönem ve doğanın gücünü (rüzgâr, akarsu ve güneş) kullandığı dönem olarak üç gelişmişlik dönemine ayrılabilir. Endüstri devrimi sonrası ise; birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü endüstri devrimi olarak dört döneme ayrılır. Bugün çok popüler olarak isimlendirildiği gibi Endüstri 4.0 gelişmişliğin geldiği son noktayı ifade etmektedir. Medeniyeti oluşturan bu dönemlerin tamamı enerji kaynaklarına ulaşma ve kontrol altında tutma yeteneklerimizin ölçüsüne göre şekillenmiştir. Enerjiyi genel olarak ısı ve elektrik olarak elde etmekte ve kullanmaktayız. Şekli ne olursa olsun ilk günden bugüne insan için enerji başlıkları dört ana konuda toplanmıştır;

Bunlar Enerjiyi;

- 1- Üretmek
- 2- İletmek
- 3- Dağıtmak
- 4- Depolamak

şeklinde sıralanabilir.

İlk üç madde enerjiyi üretmek ve son kullanıcıya ulaştırmak için gerekli adımları kapsamaktadır. Son madde olarak depolama ise her üç başlıkta bize sürdürülebilir ve verimli kullanıma imkânı sağlamaktadır.

Enerjiyi hangi kaynaktan üreteceğiz (rüzgâr, güneş, akarsu, nükleer, kömür, doğal gaz v.b.)?

Enerjiyi kullanılacağı yere kadar hangi yollarla iletteceğiz?

Enerjiyi son kullanıcıya nasıl dağıtacağız?

Sorularına vereceğimiz cevaplar enerjinin ana akım sorunlarına odaklanmaktadır. Bununla birlikte;

Ürettiğimiz fazla enerjiyi nasıl değerlendirebiliriz?

Üretim kaynağına bağlı üretim dalgalanmalarını nasıl dengeleyebiliriz?

Ürettiğimiz elektriği en yüksek fiyattan satmak için en uygun zamana kadar nasıl tutabiliriz?

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretirken fazla üretimi cezaya düşmemek için şebekeye beslemeden nasıl saklayabiliriz?

İletim hattı boyunca frekans ve gerilim dalgalanmalarını nasıl bertaraf edebiliriz?

Dengeli ve kayıpsız bir iletimi nasıl sağlarız?

Son kullanıcı enerjiyi pik zamanlarda en ucuz tarifeden nasıl kullanabilir?

Pik zamanlarda şebekeye binen yükü nasıl hafifletebiliriz?

Enerjinin atıl olduğu (üretimin çok ihtiyacın az olduğu) zamanlarda üretilen enerjiyi pik zamanları dengelemek ve yeni yatırımlara gereksinimi azaltmak için kullanılabilir miyiz?

gibi soruların cevapları ise enerjiyi depolama teknolojilerine çıkmaktadır.

1. Enerji Depolama Sistemlerinin Şebeke Üzerindeki Uygulamaları

Enerji depolamanın ihtiyaç olduğu alanlar ve ihtiyaçlar Tablo1'de özetlenmiştir. Tablo1'de de görüleceği gibi enerji depolama teknikleri sektörde birçok alanda önemli imkanlar sunmaktadır.

Şebeke kullanımındaki olası senaryolar ve etkin kullanım için depolamanın etkileri aşağıda kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1. Esnek Kapasite

Puant yükü karşılamak ve sıklıkla görülmeyen ani güç ihtiyaçlarını karşılamak için enterkonnekte şebekelerde ek üretim kaynakları, puant yük santalleri, enerji ithalatı gibi esnek kapasite yöntemleri kullanılmaktadır. Enerji depolama sistemleri kulla-

¹ Mutlu Akü, Yeni Teknolojiler müdürü, mmazman@mutlu.com.tr

² Mutlu Akü, Ar&Ge yöneticisi, cyilmaz@mutlu.com.tr

Tablo 1. Enerji Depolama Sistemlerine gereksinim duyan alanlar ve ihtiyaçlar¹¹

Enerji	Yan Hizmetler	İletim Altyapısı Hizmetleri	Dağıtım Altyapısı Hizmetleri	Enerji Yönetim Hizmetleri	Şebeke Dışı Sistemler	Ulaşım
Arbitraj	Frekans Regülasyonu	İyileştirme Ötelemesi	İyileştirme Ötelemesi	Güç Kalitesi	Solar Sistem	Elektrikli Araçlar
Arz Kapasite Kontrol	Rezerv	Kısıt Yönetimi	Voltaj Kontrolü	Güç Güvenilirliği	Micro Grid Dengeleme Hizmetleri	
	Voltaj Kontrol			Load Shifting	Micro Grid YEK Entegrasyonu	
	Black Start			Talep Tarafı Yönetimi		
				Peak Shaving		

nıma hazır rezerv kapasite olarak önemli bir esnek kapasite seçeneğidir.

1.2. Enerji Arbitrajı

Enerji depolama sistemleri; elektriğin fiyatının düşük olduğu zaman aralığında depolanarak satış fiyatının pahalı olduğu zaman aralığına kaydırılması için kullanılmaktadır.

1.3. Güç Sistemi Dengeleme ve Yardımcı Hizmet Değerleri

Güç sistemi dengeleme, daha fazla veya az güç taleplerinin karşılanması için yedek güç tutup, hızlı tepki sürelerinde güç sağlayarak sistemin daha kararlı çalışmasını sağlayabilmektedir.

Regülasyon için ani devreye girip çıkabilen ve tepki süresi saniyenin altında depolama sistemleri kullanılmaktadır.

1.3.1. Güç Sistemi Dengeleme

Güç Sistemi dengeleme, enerji arz talep dengesini sağlayabilmek amacıyla, hızlı tepki vererek şebekenin kararlılığını sağlamak olarak tanımlanabilir. Güç sistemindeki dengesizliklerin düzenlenmesi için, 10 ile 30 dakika arasında tepki süresinde sabit güç sağlaması gerekmektedir. Depolama bu amaçla gerekli sürelerde sabit güç sağlamak için kullanılabilir.

1.3.2. Arıza Yedeği

Arıza yedeği, sistemde ana güç üretim sisteminin arızalanması sonucunda oluşan üretim düşüşünde devreye girerek sistemin kararlı çalışmaya devam etmesini sağlar. Bu sistemlerde belirleyici olan sistemin tam kapasite ile güç sağlayabildiği süredir. Depolama arıza durumunda sistem kararlılığını sürdürmeye destek olabilmektedir.

1.3.3. Reaktif Güç Desteği ve Gerilim Kontrolü

Generatörler, yükler ve elektrikli makineler farklı seviyelerde reaktif güç sağlayabilmektedir.

Çeşitli enerji depolama yöntemleri sisteme reaktif enerji sağlayabilmekte ve senkron halde kalmasına yardımcı olabilmektedir.

1.3.4. Şebeke Kararlılığı

Dengeleyici güç sistemleri, kararlılığı bozulmuş şebekelerin kesinti yaşanmadan tekrar kararlı hale gelmelerine yardımcı olmaktadır. Sistemi tekrar kararlı hale getirebilmek için sistemler 10 ile 30 saniye arasında, bir otomasyon sistemine bağlı olarak devreye girer.

1.3.5. Generatör Başlangıç Gücü

Pek çok generatör çalışabilmek için başlangıç gücüne ihtiyaç duymaktadır. Enerji depolama sistemleri ile karşılanabilen bu kapasite generatörlerin yeniden devreye girebilmesinde çok önemlidir.

1.4. Enerji İletim Yönetimi

Enerji santralleri genellikle nüfus yoğunluğunun olmadığı bölgelere kurulmuştur. Üretilen enerji iletim hatlarıyla tüketicilere kadar ulaştırılır. Talebin yüksek olduğu dönemlerde iletim hatlarında yoğunluk yaşanmaktadır. Tüketicilere yakın bölgelerde üretilen enerjinin depolanması ve ihtiyacın yerel enerji depolarından karşılanması verimli olmanın yanında iletim hatlarının mevcut kapasitesinin efektif kullanılmasını sağlayacaktır.

1.5. Güç Kalitesi

Enerji depolama sistemleri, gerilimin daha kararlı olmasını ve güç kalitesini artırarak sistemin daha kararlı olmasına yardımcı olabilmektedir. Hassas

cihazları kullanmakta olan bireysel ve kurumsal tüketiciler için güç kalitesi çok önemlidir. Bu tüketiciler ile enerji sağlayıcı arasındaki iş ortaklığı enerji depolama sistemlerinin ile güçlenmektedir.

1.6. Maksimum Talep Durumu için Destek

İşletmede düşük talep zamanlarında elektrik enerjisinin depolanarak yüksek talep zamanlarında pahalı elektrik enerjisi üretiminin engellenmesi sağlanır.

1.7. Şebeke Frekans Desteği

Üretim ve yük arasındaki oluşabilecek dengesizliğin giderilmesi için kısa süreli güç desteği ve frekans regülasyonu gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artması ile şebekeye bağlı frekans rezervi olarak kullanılan generatör sayısı azalmakta, frekans kontrolünü zorlaştırmaktadır. Enerji depolama sistemleri ile sistem güvenilirliğini artırmak için daha hızlı bir frekans kontrol rezervi oluşturulabilir.

Primer frekans kontrolü yan hizmet faydasının yanı sıra aynı zamanda baz yük santrallerin ana trafolarına entegre edilerek santralin frekans kontrol hizmetlerinin pil tesisi üzerinden kesintisiz bir şekilde sağlanması mümkün olabilmektedir. Santralin imkanlarından faydalandığından dolayı yatırım, işletme ve bakım maliyetleri minimum düzeyde gerçekleşir.

Üretim ve yük arasındaki oluşabilecek dengesizliğin giderilmesi için kısa süreli güç desteği ve frekans regülasyonu gerekmektedir. Oluşabilecek sorunlar genel olarak konvansiyonel sistemler ile karşılanmaktadır. Fakat fosil yakıtlar kullanımıyla sağlanan geleneksel elektrik enerjisi üretiminin azaltılmak

istenmesi bu sorunun çözümü için enerji depolama yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır⁹

Üretim sürecinde enerji depolamanın kullanım imkanı ve sistem üzerine etkisi Şekil1'de özetlenmiştir. Şekil1'de de görüleceği gibi depolama ile pik zamanlarda şebekeyi rahatlatmak ve sürekli dengeli bir şebeke oluşturmak mümkün olabilmektedir.

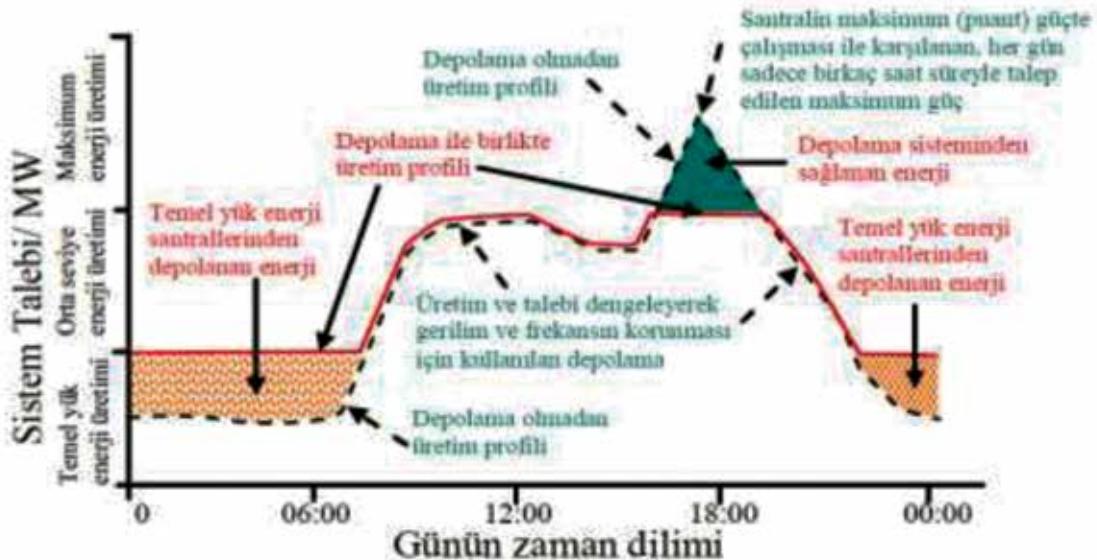
2. Enerji Depolama Gereksinimi

Bugün için enerji ihtiyacımızı karşılayan baz yükler fosil yakıt kaynaklı santraller ve nükleer santrallerden karşılanmaktadır. Bunun başlıca nedeni bu santrallerin emre amadeliklerinin yüksek olmasıdır. Yenilenebilir kaynaklar fosil yakıt ve nükleer kullanımını azaltıcı yardımcı sistemler olarak çalışmaktadır. Girişte bahsettiğimiz kaynağın kesikli ve heterojen yapısı bunu zorunlu kılmaktadır. Bu temel sorun enerjinin depolanmasıyla aşılabilmektedir. Üretim sürecinde ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması, kesikli ve heterojen zamanlarda sisteme beslenmesi sürekli enerji arzı sağlamaktadır.

Enerji depolama sadece yenilenebilir kaynaklar için değil mevcut kaynakların da etkinliğini arttırmak için kullanılabilir.

Depolamanın genel kullanım amaçları aşağıda sıralanmıştır;

- 1. Enerji Kalitesi (Power Quality):** Enerji kalitesinin sürekliliğini sağlamak için sadece saniyeler ya da daha kısa süreler mertebesinde yapılan depolama
- 2. Gücü destekleme (Bridging Power):** Saniyelerden dakikalar mertebesine kadardır.



Şekil 1. Üretim Tarafında Enerji Depolama Sistemi Kullanımı⁸

Farklı enerji üretim merkezlerini kesme/devreye almalarda enerjinin sürekliliğini sağlamak için yapılan depolama

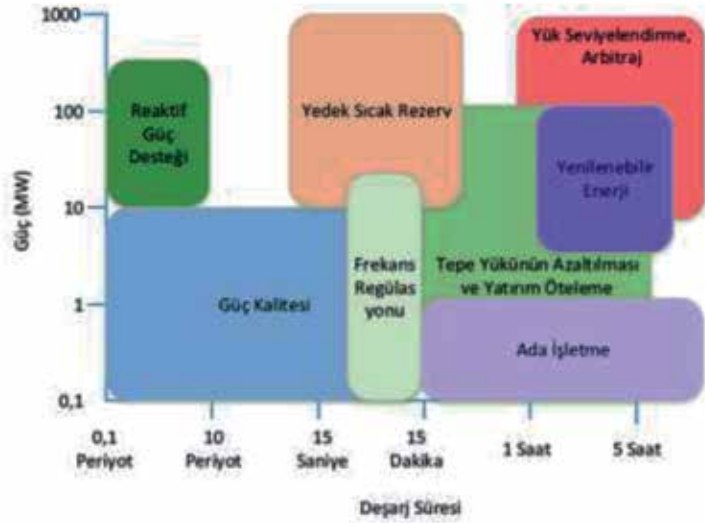
3. Enerji Yönetimi (Energy Management): Elektrik enerjisinin üretildiği ve tüketimine ihtiyaç duyulduğu zamanlarındaki farklılıkları çözmek için depolama (Enerjinin üretim fazlası olduğu (ucuz olduğu) zamanlarda depolanması ve ihtiyaç zamanlarında kullanılmasıdır ki saatlerce şebekeden bağımsız enerji kullanma olanağı sağlar.).

Şebekede depolama ihtiyacı ve ihtiyaç olan zaman-kapasiteler Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2 elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım süresince depolamaya önemli miktarda ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

3. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Enerji depolama ve dönüşüm teknikleri toplu olarak Tablo 2’de verilmiştir. Mekanik, elektrokimyasal ve elektriksel teknikler elektrik depolama için kullanılmaktadır. Isıl yöntemler çoğunlukla ısı enerjisi depolama için kullanılırken ergimiz tuz uygulamasında olduğu gibi dolaylı olarak elektrik depolama için de kullanılabilir. Termokimyasal ve kimyasal tekniklerde doğrudan bir depolama yoktur. Ancak depolanmış hidrojen yakıt pilleri aracılığıyla enerji üretimi (dönüşümü) sağlayabilmektedir. Kullanımdaki tüm enerji depolama sistemleri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Termokimyasal ve Kimyasal yöntemler enerji dönüşümü amaçlı oldukları için bu yazının kapsamında değildir. Dönüşüm sistemleri dışında elektrik enerjisini depolamada aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır:



Şekil 2. Kurulu güç ve kullanım süresine bağlı enerji depolama gereksinimi ¹⁰

- Bataryalar
 - o Pb-asit
 - ◆ Derin deşarjlı Pb-asit
 - ◆ AGM VRLA
 - ◆ Jel Pb-asit
 - o NiCd
 - o NiMH
 - o Li-iyon
 - o Metal-hava
 - o NaS
 - o Flow Battery (akışlı batarya)
 - ◆ VRB (Vanadyum redoks batarya)

Tablo 2. Enerji Depolama Teknolojileri

Enerji Depolama Teknolojileri			
Mekanik Pompalanmış Su Sıkıştırılmış Hava Volan	Electrokimyasal Pili/Akü Pb-Asit, Li İyon, NiCd Akıllı Batarya NaS	Elektriksel Kapasitör Süper iletken magnet	Isıl Duyulur Isı Gizli Isı
Termokimyasal Güneş Yakıtları (Hidrojen)		Kimyasal Hidrojen (Yakıt Pili)	

- ◆ ZnBr (çinko bomür redoks batarya)
- ◆ PBS (polysülfid redoks batarya)
- Süper kapasitörler
- Volan (Flywheel)
- Isıl Güneş elektrik depolama (Solar thermal electric storage (STES))
- Pompalanmış su depolama (Pumped hydro storage (PHS))
- Sıkıştırılmış hava enerji depolama (Compressed air energy storage (CAES))
- Süper iletken manyetik enerji depolama (Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES))

Bataryalar;

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayarak ihtiyaç anında tekrar elektrik enerjisine çeviren sistemlere pil (cell), pillerin seri veya paralel bağlanarak oluşturdukları yapıya akümülatör (batarya) denmektedir. Piller; birincil (Primer) tip (Çinko-karbon, çinko-klorür, alkali-mangan, çinko-hava, gümüş-çinko, lityum temelli piller v.b.) ve ikincil (sekonder) tip bataryalar (kurşun asit, Nikel-kadmium, nikel metal hidrür, lityum iyon v.b.) olarak ikiye ayrılırlar. Birincil piller şarj edilemez olup kullanımları bitince yenilenirken ikincil piller elektrik kaynağı ile tekrar şarj edilebilme özelliğine sahiptirler. Kimyasal reaksiyonlardan alınacak olan elektrik enerjisi miktarı, 100 mWh düğme pilinden >100 MWh'lik bataryalarına kadar oldukça geniş bir aralık göstermektedir. Bu çeşitlilik; çok özel elektriksel karakteristikleri sağlayan, farklı batarya teknolojilerini ve hücre tasarımlarını kapsamaktadır.

Taşınabilir sistemlerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin depolanması için kullanılan mevcut en yaygın teknoloji kimyasal pillerdir.

Güneş hücresinden elde edilen enerji depolamak için NiCd tip bataryalar zaman zaman kullanılsa da bu sistemlerde büyük oranda derin deşarjlı Pb-asit modelleri (VRLA, AGM, Jel) kullanılmaktadır. Farklı güneş uygulamalarında kurşun asitin her türü kullanılsa da, Güneş enerjisinin ihtiyaç duyduğu düşük sürekli akımla derin deşarja cevap verebildiği için jel aküler -Özellikle yatay olarak ta kullanım imkanı veren OPzV tip jel aküler- bu alanda tercih edilmektedir.

NaS;

Daha çok rüzgar enerjisinin depolanmasında güneş için kullanılan aküler yoğun olarak kullanılmakla birlikte rüzgar tarlası kurulan bölgelerde akü blokları yerine alternatif olarak NaS (sodyum sülfür) bataryalar ve redoks bataryalar kullanılmaktadır. NaS bataryalar Japonya da ticari olarak kullanılmakta olan sistemlerdir. Çalışma sıcaklığı 300 °C ve verimi %89'dur. Anot olarak Na ve katot

olarak ergimiş kükürt kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklı bir sistem olduğundan işletme şartları zordur. Pik zamanlarda 6 saat çalışabilmektedir.

Redoks bataryalar;

Redoks bataryalar (flow battery olarak ta adlandırılmaktadır) elektrokimyasal bir enerji depolama sistemidir. Elektrolitler aktif malzemeleri içerir ve bir birinden ayrı tanklarda depolanır. Tanklar ayrı olduğundan çalışmadığı zaman negatif ve pozitif aktif maddeleri arasında temas yoktur. Dolayısıyla kendiliğinden deşarjı oldukça küçüktür. Çalışır durumdayken; tanklar içinde yer alan aktif madde içeren elektrolit bir pompa yardımıyla tankların dışındaki dizgeler içinde dolaştırılır. Dizgeler yakıt pillerinde de kullanılan membranlarla ayrılmıştır. Reaksiyon bu membran yardımıyla dizgelerde gerçekleşir. Elde edilen elektrik dış devreden kazanılır.

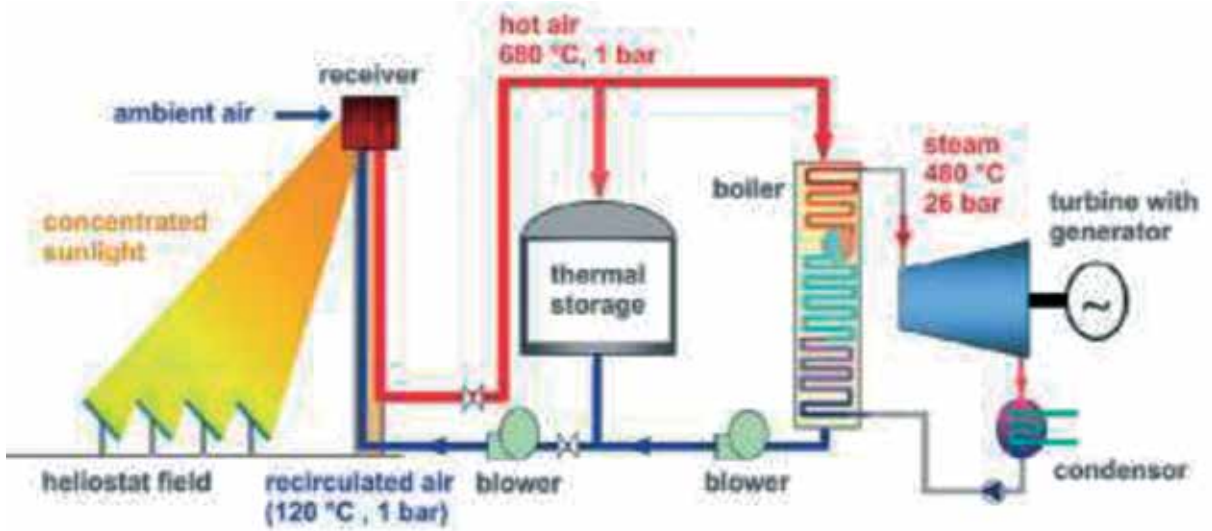
İlk yapılan şekli Zn/Cl batarya olup Zn/Br, vanadyum (1.41 V at 25 °C) ve sodyum sülfat/sodyum polisülfat kullanan çeşitleri bulunmaktadır. Bataryanın kapasitesi kullanılan elektrolitin miktarı artırılarak artırılabilirdiğinden rüzgar tarlalarında yüksek miktarda enerjinin depolanması için kullanılabilir.

Süper Kapasitörler;

Ultrakapasitör ve süperkapasitör deyimi genel olarak sıvı elektrolit içerisindeki çok yüksek yüzey alanına sahip karbon iki elektrot arasında elektrik depolayabilen cihaza verilen genel addır. Enerji elektrotlar arasında şarj transferiyle depolanır. Depolayabildiği enerji düşük olmasına karşın güç seviyeleri yüksektir. Çok hızlı şarj/deşarj olabilmesi, 10000'den fazla şarj/deşarj çevrimini rahatlıkla sağlaması önemli avantajlarıdır. Süper kapasitörler enerjinin depolanmasından çok gücün dengelenmesinde kullanılmaktadır.

Volan (Flywheel);

Depolama kinetik enerji şeklindedir. Büyük hacimli bir kütle döneşmesiyle daha küçük volanlar hızlı dönme hareketi yapar. Güç yoğunluğu yüksek, enerji yoğunluğu düşüktür. Süper kapasitörlerde olduğu gibi kısa süreli depolamalarda etkindir. Özellikle mobil uygulamaları daha yaygındır. Tren/metro ve araç uygulamalarında olduğu gibi kısa sürelerde yüksek hızlara çıkıp hemen ardından kısa sürelerde çok düşük hızlara inildiği durumlarda kullanılmaktadır. Hızlanma periyodunda volan çok yüksek hızlara çıkmakta yavaşlamada dönem hareketine devam ederek hızlanırken verilen enerjiyi depolamaktadır. Yavaşlama basamağından sonra tekrar hızlanırken kinetik enerji olarak depolanmış enerji sisteme beslenerek geri kazanılmaktadır.



Şekil 2. Isıl güneş enerji depolama [N. Ahlbrink et. All.]

Ergimiş Tuz Destekli Enerji Depolama (SOLAR THERMAL ELECTRIC STORAGE (STES));

Bu sistemde Güneş enerjisi odaklayıcı aynalar kullanılarak bir kuleye yönlendirilerek kulede yüksek sıcaklıklar elde edilir. Gün içinde bir akışkan kuleden geçirilerek buhar elde edilir ve bu buhar bir türbine beslenerek elektrik elde edilir. Kulede oluşan fazla ısı ile tanklarda depolu tuz ısıtılarak ergitilir. Güneş olmadığı zaman ergimiş tuzlarda depolanmış ısı akışkanı buharlaştırarak türbine buhar beslemek için kullanılır. Tuz olarak tanklarda %40 KNO₃ + %60 NaNO₃ karışımı kullanılır. Depolama tanklarında ulaşılan sıcaklık 240-565 °C arasındadır. Bu ısı türbinlere gidecek

su buharlaştırmak için kullanılır. Ticari kurulumu mevcut olup 50 MW - 200 MW kapasitelerde kurulumlar bulunmaktadır.

Pompalanmış Su Depolama (Pumped Hydro Storage-PHS);

Suyun hidrolik enerjisinden faydalanmak için potansiyel enerji şeklinde depolanmasıdır. Su kaynağına yakın kot farkı olan bölgelerde yüksek noktada bir gölet oluşturularak düşük seviyelerdeki su yüksek noktalara pompalanarak depolanır. Potansiyel enerji olarak depolanmış su hidroelektrik santrallerinde olduğu gibi bir türbine beslenerek elektrik elde edilir. Bu sistemde su pompalamak için gerekli elektrik enerjisi gece ucuz tarifeden sağlanabileceği gibi bölgede yenilenebilir kaynaklarla elde edilen elektrik enerjisi de bu şekilde depolanabilir. Bu sistemleri dezavantajı büyük hacimli göletler oluşturmanın ekolojik dengeyi değiştirme riskinin varlığıdır. Ayrıca uygulanması için su kaynağı ve coğrafi olarak uygun alan gerektirir. Buna karşın temiz enerji depolaması, depolama çevrim sayısının çok yüksek olması ve depolama hacminin büyük olması önemli artılarıdır. Dünyada kurulu depolama kapasitesinin %95 kadarı pompalanmış su sistemleridir.

Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE (CAES));

Hava yer altı maden yataklarında ya da tuz kayaları içine açılan oyuklarda depolanır. Yer altındaki bu oyuklar doğal oyuklar, terk edilmiş maden yataklar v.b. olabileceği gibi oyuk tuz yatağındaki tuzu ergiterek de açılabilir. Bu işlem zorlu ve uzundur. Depolamaya yeterli büyüklükte bir oyuk Yaklaşık



Şekil 3. Isıl güneş enerjili depolama [[5]Greenway-Mersin, <http://www.yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608>]

1,5-2 yılda açılabilir. Gaz türbinlerinde kullanılan gazı %40 oranında azaltarak aynı miktar elektrik üretimi sağlayan bir sistemdir. Sistem elektriğin ucuz olduğu saatlerde harcadığı yakıtın 2/3'ü kadarını havayı tuz yataklarına basmak için kullanır. Üretime gereksinim olan zamanda türbine/piston hareketine bu hava beslenerek gaz tüketimi düşürülür.

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE (SMES));

Enerji iyi izole kaplardaki çok soğuk sıvılar (Sıvı helyum) içine yerleştirilmiş süper iletken bobin içinde depolanır. Enerji DC elektrik akımının, sıfıra yakın dirençteki süper iletken bobinlerde manyetik olarak dolaşmasıyla depolanır. Buzdolabı büyüklüğünde alanda 250 kW-h enerji mikro-saniyelerle ve mükemmel bir gerilim

dengesinde depolanır. Ancak depolama kısa sürelidir (1-60 sn).

Depolama Teknolojilerinin Kıyaslaması

Elektrik enerjisi depolama teknikleri uygulamanın türü, yeri ve büyüklüğüne bağlı olarak birbirlerine göre üstünlüğe sahiptir. Sistemlerin uygulamaya göre kıyaslamalı tablosu (Tablo 3) şu şekildedir:

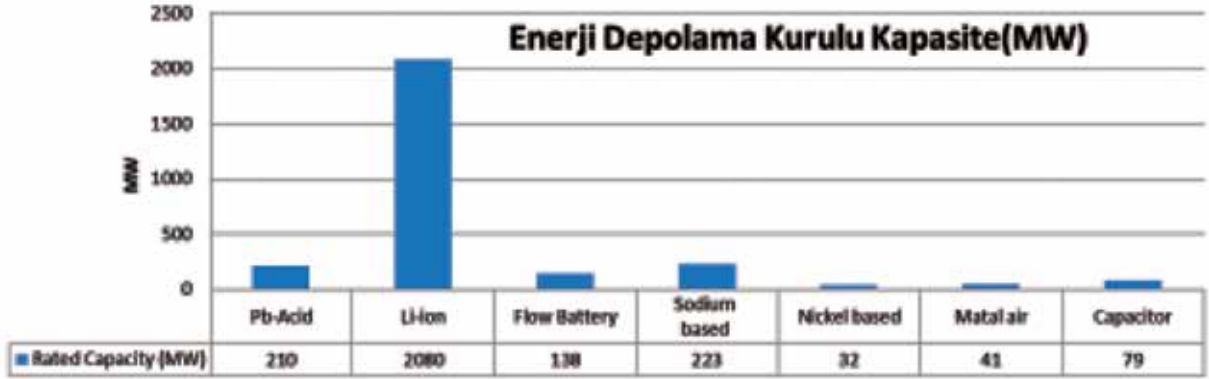
Tablo 3'de verilen değerler genel yaklaşımları ifade etmektedir. Gerçekte kurulu olan depolama türleri ve kapasitesini Amerika Enerji Bakanlığı (DOE) enerji depolama sayfasında (<http://www.energystorageexchange.org/projects>) taramak mümkün. Tüm kurulu sistemler derlendiğinde enerji depolamadaki kurulu kapasitenin %95 oranında pompalanmış su olduğu, Isı depolamanın ve elektrokimyasal depolamanın ticari olarak karşılık bulduğunu görmekteyiz (Şekil 4).

Tablo 3. Elektrik enerjisi depolama teknikleri [2, 3]

	Güç seviyesi	Enerji seviyesi	Deşarj süreleri	Teknolojinin durumu
Bataryalar (Pb-asit, NiCd, NiMH, Li-iyon)	kW-500 kW	MWh-300 MWh	0,2h-8h	Denenmiş, bilinir
Volan (Flywheels)	500 kW-1 MW	100 kWh-100 MWh	<5 dk.	Denenmiş, bilinir
Pompalanmış su	100 MW-4000 MW	500 MWh-15 GWh	4-12 saat	Geliştirme aşaması, ilk uygulamalar var
Sıkıştırılmış hava	25 MW-3000 MW	200 MWh-10 GWh	1-20 saat	Geliştirme aşaması, ilk ticari uygulamalar var
NaS	1 MW	1 MWh	1 saat	Geliştirme aşaması, ilk ticari uygulamalar var
Süperiletken manyetik depolama	10kW-10 MW	10kWh-1 MWh	1-30 dk.	Geliştirme aşamasında, ticari değil
Süper kapasitör	<250 kW	10 kWh	<1 dk.	Geliştirilmiş
Akışlı batarya	100 kW-10 MW	1-100 MWh	10 saat	Geliştirilmiş, demo projeler mevcut



Şekil 4. Türlerine göre kurulu enerji depolama kapasiteleri [6]

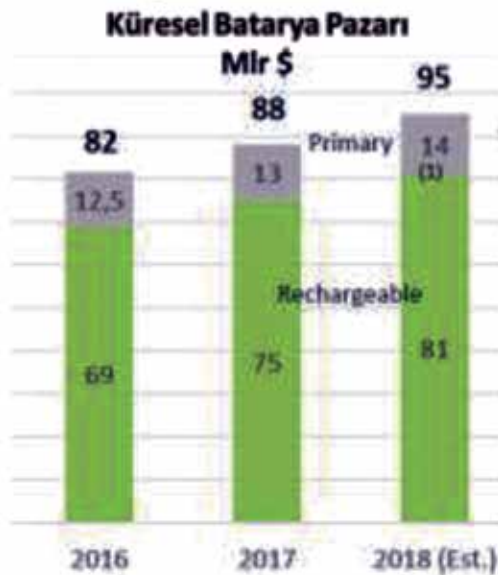


Şekil 5. Elektrokimyasal enerji depolama sistemleri [6]

Elektrokimyasal sistemlere daha yakından baktığımızda ise kurulu kapasitenin büyük oranda lityum bazlı olduğu ve bu alanın diğerlerine göre çok hızlı büyüdüğünü görmekteyiz (Şekil 5). Son zamanlarda lityum piller ile kurulu sistemlerde tek kurulumda 400 MWh gibi büyük ölçekli kurulumlara doğru gidilmektedir. 50 MWh üstü depolama sistemleri çoklukla büyük güneş tarlaları için kurulmaktadır. Bu tür büyük kurulumlar güneş enerjisini bir destek sistemi olarak güvenli hale getirmekte ve bazen baz yük için tek kaynak olarak kullanılabilmesinin önünü açmaktadır.

Batarya Pazarı ve Gelecek Beklentisi:

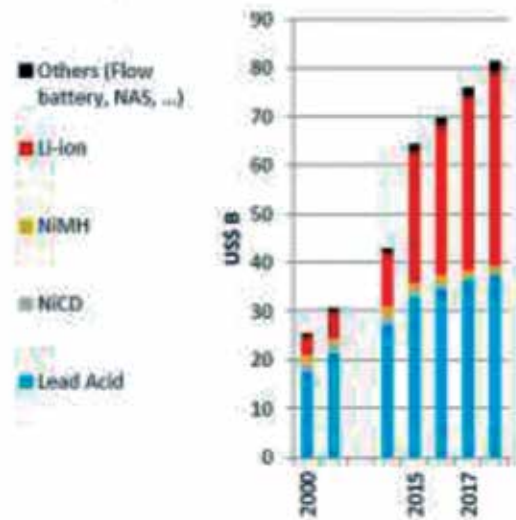
Küresel pil/batarya pazarı 2018 yılında 95 Milyar ABD Dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu pazarın yaklaşık 80 Milyar ABD Dolarlık kısmını şarj edilebilir sistemler oluşturmaktadır (Şekil 6) [7].



Şekil 6. Küresel pil/batarya pazarı [7]

Şarj edilebilir pil pazarında hakim olan kurşun asit aküler iken son 4-5 yılda lityum iyon piller pazar paylarını önemli oranda arttırmışlardır. 2018 yılı içinde kurşun asit ve lityum iyonun pazardan aldıkları pay yaklaşık olarak eşit seviyede gerçekleşmiştir (Şekil 7) [7].

Lityum iyon pillerde tüm önemli oyuncular uzak doğudur. Japonya, Çin ve Kore %95 pazar payı ile pazardaki ana oyunculardır. Çin uzak doğulu üçlü içinde son yıllardaki yatırımlarıyla üretim üssü olmuştur. Ana oyuncular ve coğrafi dağılımları Şekil 8'da verilmiştir [7]. Şekilden görüleceği gibi ana üreticiler Çinli veya Çin'de üretim yapmakta olan Japon ve Kore şirketleridir. Amerika ve Avrupa oyunda yer bulabilmek için yoğun bir çaba içindedir. Ancak şu an için etkin pazar payları yakalayamamışlardır.



Source: AVICENNE ENERGY, 2018

Şekil 7. Küresel şarj edilebilir pil/batarya pazarı [7]



Şekil 8. Lityum iyonda ana oyuncular ve coğrafi dağılımı

Sonuç

Uygulama türü, gereksinim, doğal imkanlar ve maliyet değerlendirilip en uygun depolama tekniği seçilmelidir.

Güneş enerjisi depolamada kurşun asit ve lityum iyon piller öne çıkmaktadır. Pazarın büyümesine bağlı olarak depolama maliyetleri düşmektedir. Daha büyük depolama sistemi kurulumlarıyla güneş enerjisinin ana enerji kaynağı olarak kullanım imkanları artmaktadır.

İnsanlara kesintisiz bağlanabilirliği sunacak firmalar gelecekte pazarda baskın olacaklardır. Yenilenebilir, ucuz ve sürekli enerji kaynaklarını geliştirememiş ülkeler ve firmalar ise pazardan çok sınırlı pay alabilecek ve sadece pazar olabilecektir.

Kaynaklar

1. Xing Luo et.al., Applied Energy 137 (2015) 511–536
2. MAZMAN M., Enerji Depolama Teknolojileri (Energy Storage Technologies), Kimya Mühendisliği Dergisi (Journal of Chamber of Chemical Engineers), Sayı 173, sayfa 10-13, 2009
3. Mazman M., Ve Ark., “Yenilenebilir Enerji İçin Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri” (Energy Storage Technologies for Renewable Energy), Enerji Dünyası, Sayı:85, sayfa;66-72, Nisan-2011,

4. N. Ahlbrink et. al., conference paper 2009, Germany, (<https://www.researchgate.net/publication/225001359>)

5. <http://www.yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608>

6. Mazman M., Enerji depolamada gelecek beklentileri, 11. Uluslararası Enerji Kongresi ve Fuarı, Ankara-Türkiye, 2018

7. Pillot C., The rechargeable energy market, AABC2019, Strasbourg, France, 2019

8. Whittingham, M. S., History, “Evolution, and Future Status of Energy Storage”, Proceedings of the IEEE, Issue Special Centennial, Vol. 100, 2012, p 1518-1534.

9. Uğur. B., Ö., Rüzgar Enerji Santrallerinde Kullanılan Depolama Sistemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; İstanbul

10. Alboyacı. B., Enerji Depolama Sistemlerinin Şebekeye Entegrasyonu ve Uyumluluk Problemleri, Kimyasal Enerji Depolama Sistemleri Çalıştayı, Ankara Türkiye 2019

11. Kaytez. F., Enerji depolama sistemlerinin şebeke entegrasyonu ve gelecek vizyonu Kimyasal Enerji Depolama Sistemleri Çalıştayı, Ankara Türkiye 2019 ■