



## Batarya Teknolojilerinin Enerji Depolama Sistemleri İçerisindeki Yerinin İncelenmesi

Taner ÇARKIT  
ASPİLSAN Enerji San. Tic. A. Ş.

Mustafa ALÇI  
Erciyes Üni. Elektrik Elektronik Müh. Böl.

### Abstract

Limited energy production and external dependency. On the otherhand, today, traditional energy production methods are one of the important causes of environmental pollution. Therefore, the importance of renewable energy sources and energy storage systems (ESS) are increasing. In this study, the results of testing on based energy storage systems are evaluated while informing about the usage of Vanadium Redox technology and Lithium based battery technology in energy storage systems.

**Keywords:** Energy storage, , renewable energy

### Özet

Fosil kaynakların sınırlı olması enerji üretim maliyetlerini ve dışa bağımlılığı artırmaktadır. Diğer taraftan, geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin (EDS) önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, batarya teknolojileri içerisinde yer alan, Vanadyum Redox teknolojisinin ve Lityum tabanlı batarya teknolojisinin enerji depolama sistemleri içerisindeki kullanımı hakkında bilgi verilirken, tabanlı enerji depolama sistemleri üzerine yapılan test sonuçları değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji depolama, , yenilenebilir enerji

### 1. Giriş

20'nci yüzyılın ekonomik ve endüstriyel gelişimi, elektrik enerjisinin büyük güçlerde üretilmesini, uzak mesafelere iletilmesini ve dağıtılmasını yeni teknolojik gelişmelerle mümkün kılmıştır [1]. Ancak, söz konusu

olan bu enerji üretiminin temelindeki fosil kaynakların sınırlı olması, yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, bu kaynakların üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliğine sahip olması gibi negatif etkileri, yenilenebilir, sınırsız, çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılmasını, geliştirilmesini gerekli ve zorunlu hale getirmektedir. Bu değişim ve gelişmelere paralel olarak, Paris'te düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) 22'nci Konferansı (COP22) sonunda, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 192 ülke içerisinde, küresel sera gazı salınımının %66'sından sorumlu 94 ülke, Paris Antlaşmasını onaylamıştır. Söz konusu anlaşma 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu anlaşmanın hedefi; kısa zamanda tamamen yenilenebilir enerjiye geçmek ve fosil yakıtları en kısa zamanda terk etmektir [2]. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisinin de dahil olduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu nedenle önem kazanmaktadır [3]. Günümüzde bütün bu enerji üretim sistemleri arz güvenilirliği, sistem kararlılığı, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, iletim/dağıtım problemleri, ulaştırma maliyetlerinin minimize edilmesi gibi birçok nedenler ile enerjinin depolanmasını zorunlu kılmaktadır [4]. Yenilenebilir enerji depolama sistemleri, üretimin fazla olduğu durumlarda depolama yaparken, üretimin yeterli olmadığı durumlarda ise sistemi desteklemektedir [5]. Enerji depolama teknolojilerinin (EDT) geliştirilmesi, gerilim düşmesi ve kesintiler gibi güç kalitesi problemlerinin hem sistem



hem de donanım düzeyinde ele alınan çözümlerinde büyük önem taşımaktadır [6].

## 2. Enerji Depolama Sistemleri

Enerji depolama sistemlerinin (EDS) önemi her geçen gün artmaktadır. Hayatımızın vazgeçilmezi haline gelen EDS' nin kullanım yerleriyle ilgili bazı örnekler şöyle verilebilir; elektronikte, elektrik sistemlerinde, havacılık ve uzay alanında, günlük yaşamda, askeri alanda, ayrıca stadyumların, benzin istasyonlarının, elektrik santrallerinin, hastanelerin, marketlerin, her türlü görüntü ve sesli sistemlerin, bankaların, bilgi işlem sistemlerinin, yazarkasaların elektrik kesintisinden zarar görmemesi için kesintisiz güç kaynağı (UPS) olarak kullanılabilir [7]. Tüketicinin kararlı ve sabit bir şebeke voltajı kullanamamasının yanında, atmosferik olaylar (yıldırım... vb) ve hassas cihazların yakınlarında bazı yüksek güçlü makine ve motorların devreye girmesi/devreden çıkması ile de şebekede ani voltaj düşmesi ve yükselmesiyle sıkça karşılaşmaktadır. Karşılaşılan problemlerin çeşitlenmesi ile bunlara karşı alınacak tedbirler de değişmekte ve çeşitlenmektedir [8]. Her geçen gün gelişen teknoloji destek alınarak, uygulanması gereken tedbirlerde, önceliği enerji depolama sistemlerinin aldığı açık bir şekilde ifade edilebilmektedir. EDS, güneş ve rüzgar santrallerindeki gibi elektrik enerjisi üretiminin yetersiz kaldığı durumlarda, destekleyici bir güç kaynağı olarak devreye girebilmektedir. Enerji depolama sistemleri (EDS) yenilenebilir enerjinin gelişimini destekleyecek olan zincirin kayıp halkası niteliğindedir. Dünya çapında yenilenebilir enerjiye ve bu enerjinin depolanmasına olan eğilim ulusal ve uluslar arası resmi kurumlarca da desteklenmekte ve araştırılmaktadır. Dünyadaki gelişmiş ulusların 2020 yılı ileri için, enerji ve bu

enerjinin depolanması üzerine hedeflerinin olduğu bilinmekte ve gündemde yerini almaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın 2017 yılında yayınladığı "REthinking Energy 2017" raporuna göre, 1GW olan enerji depolama kapasitesinin 2030 itibariyle 250GW'a ulaşabileceği belirtilmektedir. Depolama sektörünün piyasa değerinin 2015'te 2,2 milyar dolar olduğu ve 2020 itibariyle 14 milyar dolara yükselebileceği ifade edilmektedir [9].

## 3. Batarya Teknolojilerinin Enerji Depolama Sistemleri'nde Kullanımı

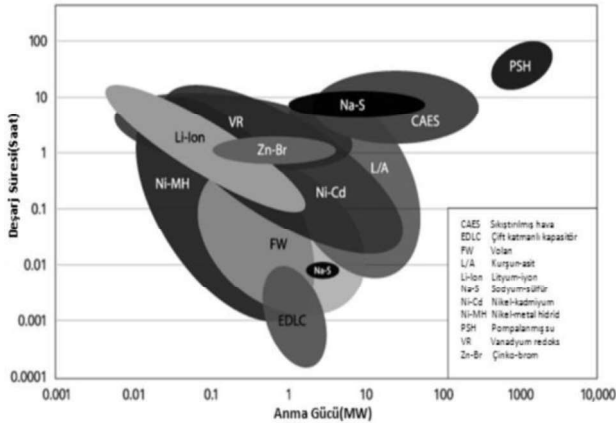
Batarya teknolojisi içerisinde yer alan sekonder (şarj edilebilir) bataryalar, hızlı cevap verme süreleri, yüksek enerji kapasiteleri ve yüksek depolama verimlilikleri gibi avantajlarından dolayı sabit depolama sistemlerinde kullanışlı olmaktadır [10-11]. EDS, anotta ve katotta kullanılan kimyasal maddenin değişmesi ile farklı isimlerde tanımlanmaktadır. Ancak bütün bu anot ve katot tabanlı enerji depolama teknolojilerini "Batarya Teknolojisi" adı altında toplamak mümkündür. Günümüzde çok farklı teknolojiye sahip enerji depolama sistemlerine ulaşmak mümkündür. Bu teknolojiler şu şekilde çeşitlenebilmektedirler;

- Lityum İyon (LiIon)
- Sodyum Sülfür (NaS)
- Çinko Bromin (ZnBr)
- Vanadyum Redox
- Metal Hava
- Nikel Kadmiyum (NiCd)
- Polisülfür Bromür (PSB)
- Kurşun Asit

Bu teknolojilerin fiyat, performans ve kararlılıkları açısından detaylı olarak araştırılması ve ihtiyaca cevap veren ürününün kullanılması gerekmektedir. Enerji depolama teknolojilerine ait deşarj süresi ile anma gücünü ifade eden grafik Şekil-1'de verilmektedir. İhtiyaca en iyi şekilde hitap etmesi ve talebi büyük ölçüde karşılayabilmesi içi kullanılacak teknoloji altyapısının belirlenmesinde yine Şekil-1'deki grafikten yararlanılmaktadır. Bu bataryalar arasında kurşun asit bataryalar, güç sistemi



uygulamalarında kullanılan en eski ve olgunluğa ulaşmış teknoloji olarak görülmektedir. Yaygın bir şekilde kullanılan bu teknolojiye gelişme oranı maximum %5 olarak öngörülmektedir. Lityum İyon (LiIon), Sodyum Sülfür, Nikel Kadmiyum (NiCd) gibi bataryalar güç gereksinimi fazla olan, güç yoğunluğu gerektiren uygulama alanlarında fazlaca kullanılmaktadır [12]. Bu batarya teknolojileri içerisinde LiIon'un gelişim ve kararlılığı bakımından ileriki zamanlarda büyük potansiyele sahip olacağı tahmin edilmektedir. Boyutlarının ve ağırlığının küçük olmasını destekler nitelikte olarak, LiIon bataryalar %100'e yakın depolama kapasitesi ve yüksek enerji yoğunluğu sunmaktadır. Bu özellikleri itibari ile taşınabilir/mobil enerji depolama sistemleri için ideal bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Metal hava tipi bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna ve düşük maliyete sahip olmalarından dolayı ideal bir sistem gibi görünse de tekrar şarj olmaları zordur.



Şekil-1: Enerji depolama sistemlerinin güç-deşarj süresi grafiği [13]

Redox bataryalar da kendiliğinden deşarj olmama özellikleriyle uzun süreli enerji depolama uygulamaları için umut vaat etmektedir. Redox bataryalar, yüksek sabit maliyet ve pompa sistemlerini gerektirmektedir. Kimyasal tesisin işletilmesi ve harici bir depolama ile akış kontrolü sağlanması gibi işlemleri maliyetini artırmaktadır. Maliyet dezavantajına ek olarak mobil sistemlerde kullanılması durumunda, oluşabilecek kazalarda yüksek tehlike oranına

sahiptir. Enerji depolama alanında batarya teknolojisinin yenilenebilir enerji kaynakları ile koordineli olarak kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. EDS'nin yaygınlaşan bu kullanımının sebebi, akıllı elektrik şebekesinin ekonomik, kaliteli ve güvenilir olma durumunu desteklemesinden kaynaklanmaktadır. Enerji depolama sistemlerinde batarya teknolojisi, dünya genelinde geniş alanlarda kullanılmasına rağmen, Kuzey Amerika, Avrupa, Asya-Pasifik gibi kıtalarda geniş ölçekte kullanılmaktadır.

### 3.1. Vanadyum Redox Teknolojisi

Vanadyum elementi 23 atom numarasına sahiptir. Sert ve gümüş grisi renge sahip olan bu element, sünek bir geçiş metalidir. Element doğada çok çeşitli hallerde ve neredeyse her yerde bulunabilmektedir. 65 farklı mineralin içerisinde bileşik halinde bulunan metal, düşük bir oranda da olsa insan vücudunda dahi bulunmaktadır. Ülkeden ülkeye üretim yöntemi çeşitlilik göstermektedir. Doğu Asya bölgelerinde ve Karadeniz'in kuzey bölgelerinde çelik üretim sanayinde ortaya çıkan cürufun işlenmesi sonucunda elde edilirken, başka ülkelerde ise ağır yağ baca tozunun geri dönüşümü yöntemiyle ve Uranyum metalinin yan ürünü olarak elde edilebilmektedir. Ülkemizin neredeyse her yerinde vanadyum metaline rastlamak mümkündür. Şekil-2'de ülkemizin vanadyum haritası verilmektedir.

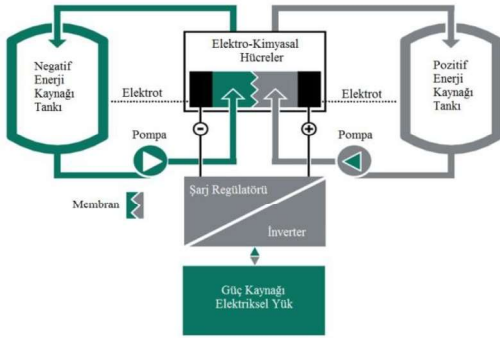


Şekil-2: Türkiye'nin vanadyum cevherleşme sahaları/alanları

Vanadyum redox tipi akışkan enerji depolama sistemi, güneş elektrik santralleri (GES), rüzgar elektrik santralleri (RES), biyogaz sistemleri, jeneratör sistemleri ve/veya parelel

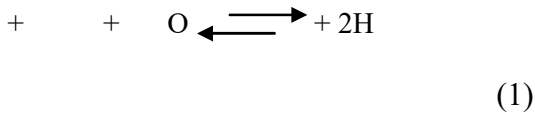


şebeke sistemleri ile koordineli olarak çalışabilmektedir. Güneş ve rüzgar santrallerinde üretimin yetersiz kaldığı durumlarda destekleyici bir güç kaynağı olarak devreye girebilmektedir. Çalışma prensibi, eksi (-) ve artı (+) tanklardaki kimyasal reaksiyonun gerçekleşerek enerji elde edilmesine dayanmaktadır. Şekil-3'te de görüldüğü gibi, sıvı enerji kaynakları iki adet tankta depolanmakta ve elektrokimyasal hücreler aracılığı ile pompalanmaktadır. Uygulanan voltaja bağlı olarak enerji kaynakları elektrokimyasal olarak şarj edilmektedir. Şarj kontrol cihazı ve inverter, sırasıyla elektrik enerji kaynağı ile kullanıcılar arasında bir ara yüzü temsil etmektedir.



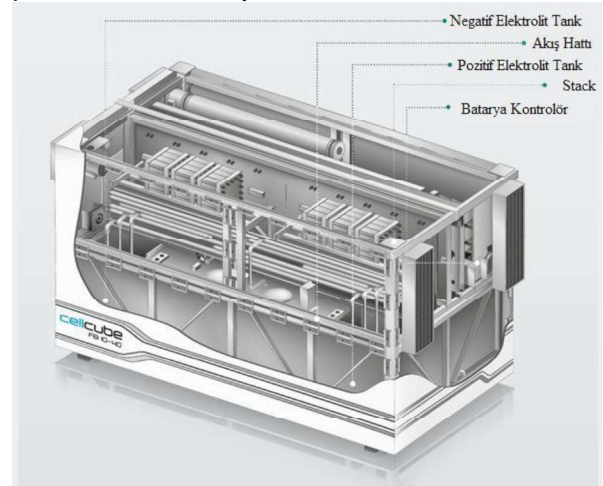
Şekil-3: Vanadyum redox akışkan teknolojisinin çalışma prensibi

Şekil-3'teki sistemde Denk.1'de verilmekte olan reaksiyon gerçekleşmektedir. Reaksiyon su (O) oluşturma yönünde ise şarj, hidrojen (H) oluşturma yönünde ise deşarj gerçekleşmektedir.



Tanklar içerisindeki elektrolit sıvılar, temelde vanadyum pentaoksit tozlarının sülfürik asit içerisinde eritilmesi ile elde edilmektedir. Pozitif tankta iyonları bulunurken negatif tankta ve iyonları bulunmaktadır. Eklem (junction) bölgesindeki geçirgen bir membran içerisinde, sıvılar karşılıklı olarak iyonu vererek dış çevreden elektron akışını sağlamaktadırlar. Bu akış sonucunda enerji oluşmaktadır. 1 mol/lit konsantrasyon sonucunda 1,26 V

gerilim üretilmektedir. Üretimde, yarı şarj durumunda 1,4 V, tam şarj durumunda ise 1,6 V hücre gerilimi elde edilmektedir. Şekil-4'te Vanadyum tabanlı enerji depolama sisteminin detaylı elektronik ve mekanik görünümü verilmektedir. Artı ve eksi tankların birleşim yeri olan membranda gerçekleşen reaksiyon sonucunda oluşan enerji, şarj regülatörüne aktarılmaktadır. Burada regüle edilip düzenlendikten sonra inverter kısmına aktarılır ve burada istenilen türde enerjiye çevrilerek tüketiciye sunulmaktadır.



Şekil-4: Vanadyum tabanlı EDS'nin elektromekanik görünümü

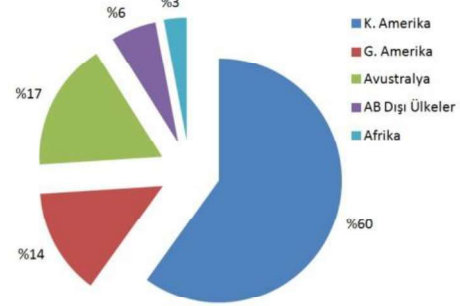
### 3. 2.Lityum İyon Teknolojisi

Lityum, atom numarası 3 olan, sembolü Li ile gösterilen kimyasal bir elementtir. Periyodik tabloda alkali metal olarak bulunan ve yoğunluğu en düşük olan metaldir. Alkali metal olmasının yanında, toprak alkali (2.grup) özelliği de gösterebilmektedir. Son yörüngesinde bir tane elektron bulunduğu için, bu değerlik elektronunu hemen vererek pozitif iyon haline geçmektedir. Bu özelliğinden dolayı su ile çok kısa sürede reaksiyona girmektedir ve doğada doğal halde bulunmamaktadır. Yüksek özgül ısı (3582 J/(kg.K)) ve sıvı haldeki geniş sıcaklık değer aralığı, kullanışlı bir metal haline gelmesinde büyük rol oynamaktadır. Lityum, yer kabuğunda düşük konsantrasyonda yoğun olarak bulunmaktadır. Kabuktaki ortalama yoğunluğu yaklaşık %0,006 oranında olup, deniz suyunda yaklaşık 0,1 – 0,2 ppm (parts per million) oranında lityum olduğu düşünülmektedir. Bu konsantrasyon ile tüm



deniz sularında yaklaşık olarak 230 milyar ton lityum bulunduğu hesaplanabilmektedir. Lityumun doğadaki ana kaynakları killer, mineraller ve salamuralar (tuzlu yer altı suları) olup ticari ölçekte üretim, mineraller ve salamuralardan yapılmaktadır. Yüz elliden fazla lityum mineralinin varlığı bilinmesine rağmen bunların çok azının ticari olarak önemi bulunmaktadır. Ticari olarak öneme sahip lityum mineralleri: Spodümen, lepidolit, petalit ve ambligonit'tir [14]. 1976'da batı dünyasının rezervlerinin toplamda, element düzeyinde 10,6 milyon ton olduğu hesaplanmıştır. Daha sonraki keşifler, özellikle Güney And Dağları'ndaki Batı Çin Platoları ve Tibet'teki keşifler, telaffuz edilen rakamı belirgin bir şekilde yükseltmiştir. Dünya rezervlerinin büyük bir çoğunluğu Bolivya'da bulunmaktadır ( $5,4 \times 10^6$  ton). Bu ülkeyi sırasıyla Şili ( $1,4 \times 10^6$  ton), Avustralya ( $0,44 \times 10^6$  ton) ve ABD ( $0,41 \times 10^6$  ton) izlemektedir. Keşfedilen rezervler sayesinde Çin, günümüz lityum tabanlı pillerin merkezi haline gelmiştir. Lityum cevherlerinin dünya üzerindeki, dağılımları oransal olarak Şekil-5'te verilmektedir [15]. Dünyada toplam rezerv olarak 28,5 milyon ton lityum bulunduğu tahmin edilmektedir. Şu anki mevcut talep rakamları, mevcut enerji üretimi ve teknolojik koşullar göz önüne alındığında bu rezerv 1775 yıl boyunca günümüz talebini karşılayacak büyüklükte görülmektedir. Ülkemizde lityum cevheri yok kabul edilmektedir. Türkiye'de Gördes ve Akdağ Madeni masiflerinde bazı pegmatitlerde lityumlu mika varlığı rapor edilmekle birlikte, önemli büyüklükte rezervlerden söz edilememektedir. Ayrıca MTA (Maden Tetkik ve Arama) tarafından Tuz Gölü'nde yapılan çalışmalarda, Li konsantrasyonu mevsimine göre 60 ppm dolayında saptanmıştır [16]. Yapılan çeşitli araştırmalar, Tuz Gölü'nün ve Kırka Bigadiç bölgelerindeki killerin gelecekte lityum bileşikleri açısından potansiyel kaynak olabileceklerini göstermiştir. Lityum metali, cep telefonu pili, kamera pili gibi şarj edilebilir pillerde ve alaşım olarak havacılık araçlarında kullanılmaktadır. En basit şekliyle bir pil, biri pozitif diğeri negatif olmak üzere

iki elektrottan oluşmaktadır. Bu iki elektrodu birbirinden ayıran ve iyonik olarak iletken, elektriksel açıdan yalıtkan bir elektroliti bünyesinde barındırmaktadır.



Şekil-5: Lityum cevherlerinin dünya üzerindeki dağılım oranları

Lityum kökenli EDS'lerin diğer depolama yöntemlerine göre üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir;

- Çok uzun depolama ömürlerinin olması,
- Uzun süreyle sabit gerilim sağlayabilmeleri,
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanıma imkan sağlamaları,
- Yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek nominal gerilime sahip olmaları [17],
- Yüksek oranda elastikiyet göstermeleri,
- Yüksek şarj verimine sahip olmaları,
- Çevrim ömürlerinin uzun olması [18].

Lityum tabanlı sistemlerin içerisinde de, 'ın diğer lityum tabanlı sistemlere göre üstünlükleri, güvenilir olması, çevre dostu olması... vb özellikleri Tablo-1'de gösterilmiştir.

### 3. 2. 1. Tabanlı EDS İle Yapılan Yükleme Testleri Ve Sonuçları

Testlere başlamadan önce sistemin güç tüketiminin alınabilmesi için EDS'nin çıkışına kombine trifaze elektronik sayaç bağlanmıştır. İlgili sayaç 3x150-300V (3x220/380V) ve 3x40-80V (3x58/100V) arası hassas ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm esnasında, sayacın koordineli olarak çalışacağı akım trafosunun ömür hassasiyetini koruma garantisi bulunmaktadır. Sayacın uzaktan izlenme ihtimali düşünülerek RS232 ve RS485 bağlantı, PLC opsiyonu bulunan



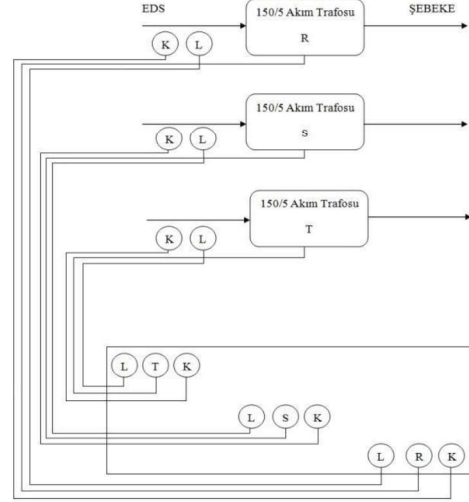
İlgili sayaç seçilmiştir. Sayacın referans uçları olan K ve L ucuna 150/5 oranlı akım trafosundan çıkan referans çıkışlar bağlanmıştır.

Tablo-1: 'ın diğer lityum tabanlı sistemlerle karşılaştırılması [7]

Teknoloji	LiFePO <sub>4</sub>	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Li(NiCo)O <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> S
Güvenlik	En güvenli	Sabit değil	Kabul edilebilir	Sabit değil	Güvenli
Çevreye Duyarlılık	En çevre dostu	Çok tehlikeli	Kabul edilebilir	Çok tehlikeli	Sülfür nedeni ile zararlı
Çevrim Ömrü	En iyi	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir
Güç Ağırılık Yoğunluğu	Kabul edilebilir	İyi	Kabul edilebilir	İyi	En iyi
Uzun Dönemde Maliyet	En ekonomik	Yüksek	Kabul edilebilir	Yüksek	-
Sıcaklık Aralığı	Çok iyi -20°C...+70°C	İyi -20°C...+55°C	+55°C üzerinde performans çok düşer	İyi -20°C...+55°C	İyi -20°C...+65°C

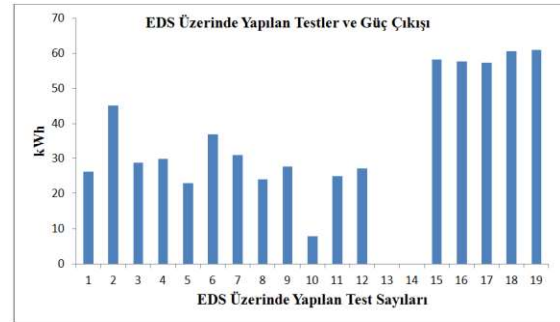
Akım trafoları, primer akımı belli bir oran içerisinde sekonder tarafına düşüren, primer akım ile sekonder akım arasındaki faz farkı sıfır derece olan bir ölçü transformatörü olarak bilinmektedir. Söz konusu akım trafoları rölelerin ve ölçü aletlerinin yüksek gerilim sisteminden yalıtımını sağlamaktadır. Sistemden çıkış gücünün ölçülebilmesi için çıkış ucundaki R, S, T fazları doğrudan akım trafosuna bağlanmıştır. Akım trafosunun çıkış R, S, T faz uçları, modifiye sayacın R, S, T uçlarına doğrudan bağlanırken, sistemden çekilen akımın ölçülebilmesi için, akım trafosunun K ve L referans uçları doğrudan modifiye sayacın K ve L girişlerine 2,5 mm kesite sahip bakır kablo ile bağlanmıştır. Modifiye sayaca uzaktan erişim yapılmadığı için A ve B uçları boş bırakılmıştır. Sistemin kurulum şeması ve bağlantı şablonu Şekil-6'da verilmektedir. Sistem, çıkış bağlantıları yapıldıktan sonra, yükler bağlanarak test edilmiş ve arızalar gözlemlenmiştir. Sisteme bağlanan yüklerin teorik olarak güçleri toplam 5245 watt/h olarak alınmaktadır. Sistemin, beklenenden farklı davranış vererek alarm vermesi ve kapanması üzerine yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda, 24'üncü ve 30'uncü akü gruplarına ait batarya yönetim ve koruma devrelerinde arıza tespit edilmiştir. Arıza giderildikten sonra yapılan yüklenme testlerinde EDS'nin beklendiği gibi çalıştığı gözlemlenmiştir. Yapılan testlerden elde edilen sonuçların grafikleştirilmiş hali Şekil-

7'de verilmektedir. Tam verim alınan testler sonucunda elektronik kartların iç tüketimi yaklaşık 0,25 kWh olarak tespit edilmiştir. Sistemin sıcaklığının uygun seviyede kalmasını sağlayan iklimlendirme sisteminin iç tüketimi ise yaklaşık 1 kWh olarak tespit edilmiştir.



Şekil-6: Modifiye sayaç ve akım trafosu bağlantı şeması/bağlantı şablonu

Bundan sonraki çalışmalar EDS iç tüketiminde büyük rolü oynayan iklimlendirme sistemi tüketiminin üzerinde yoğunlaşacaktır. İç tüketim ne kadar azaltılırsa çıkış gücünde o denli artacaktır.

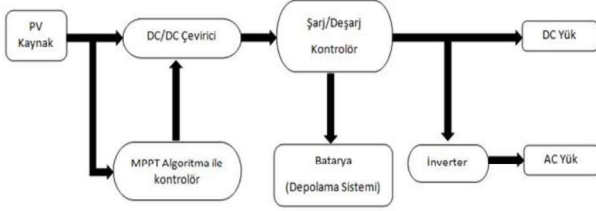


Şekil-7: EDS üzerinde yapılan bütün testler sonucunda elde edilen güç çıkış grafiği

**3. 2. 2. FV Paneller İle Tabanlı EDS'nin Entegre Olarak Çalışması**  
Panellerden elde edilen DC voltaj, DC/AC veya DC/DC çeviriciler sayesinde uygun formata çevrilerek bataryaların ve/veya akü gruplarının şarj edilmesi sağlanarak enerji



depolanmaktadır. Enerji depolama sisteminin temel blok diyagramı Şekil-8'de gösterilmektedir. Fotovoltaik (FV) modül, üzerine düşen ışın radyasyonunu, kendi içinde elektriksel voltaja çevirmektedir. Daha iyi bir güç üretimi için MPPT (maximum power point tracking) tercih edilmektedir. MPPT belirli periyotlarda elde edilen gücün tepe (peak) yaptığı değeri izleyip takip ederek yüke yollanmasını sağlamaktadır. FV kaynaklı enerji üretim sistemlerinden mümkün olabilecek en yüksek gücü elde edebilmek, ancak en yüksek güç noktası takibi (MPPT) yöntemi ile mümkün olabilmektedir [19]. Kaynaktan gelen voltaj DC/DC çeviricilerle en uygun şekle çevrilmektedir. Şarj kontrolü sayesinde, uygun formata çevrilen bu gerilim DC olarak depolama sisteminde depolanabilmektedir.



Şekil-8: Enerji depolama (batarya) şarj sistemi blok diyagramı

DC olarak kullanılmak istenen gerilim, depolanmadan DC yük üzerinde değerlendirilebilmektedir. AC yükte kullanılmak istenen enerji şarj kontrolöründen geçip invertere ulaşarak, ihtiyaca göre monofaze veya trifaze AC enerji olarak AC yükte değerlendirilmektedir. 76 kWh'lik LiFeP tabanlı enerji depolama sistemi (EDS) ulusal şebekeden gelen 50/60 Hz frekansa sahip 380 VAC (3 Faz + Nötr + Toprak) değerini inverter sayesinde, içerisinde bulunan 3,6 VDC gerilime ve 72 A amper değerine sahip hücrelerden oluşan akülere uygun formata dönüştürerek depo edebilmektedir. Çıkış ise isteğe göre 12VDC, 24VDC, 220VAC, 380VAC (3 Faz + Nötr + Toprak) olarak alınabilmektedir. Sistem boyut olarak yaklaşık 10'' konteyner ve takriben 3850 kg ağırlıktan oluşmaktadır.

## Sonuç

Türkiye'nin yıllık büyüme hızı dikkate alınarak yapılan enerji talebi üzerindeki çalışmalar sonucunda, enerji ihtiyacının 2020 yılına kadar 436 milyon kWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. Türkiye'deki elektrik enerjisi kurulu gücünün oluşumunda, klasik kaynaklı enerji üretim tesislerinden elde edilen enerji üretim oranının her geçen yıl azalarak devam ettiği, buna karşılık yenilenebilir enerji santrallerinden elde edilen enerji üretim miktarı artış oranının hızlı bir şekilde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Gelişen teknoloji sonucunda yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırım ve gelişmelerin artması sonucu, yenilenebilir enerji her alana girmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji ve bu enerji türünün içerisinde bulunan güneş enerjisi, günlük hayatın vazgeçilmez haline gelmiştir. Bu gelişmeleri destekler biçimde, ülkemizde 2016 yılı son çeyreği itibarı ile toplam kurulu güneş santrali gücü 750 MW'lar seviyesine ulaşmıştır. Ülkemizde gelecek 10 yıl içerisinde, güneş enerji santrali (GES) kurulu gücünün 5 GW'lar seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir [20]. Türkiye'nin 2023 yılı hedefleri arasında bulunan bir diğer yenilenebilir enerji türü, rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerji santrali (RES) kurulu gücünün 20.000 MW mertebelerine çıkartılması planlanmakta ve bu yönde çalışmalar devam etmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kararlı ve sürdürülebilir enerji üretmedikleri dikkate alındığında, enerji üretim santralleri ile koordineli olarak, enerji depolama sistemleri (EDS)'nin de geliştirilmesinin gerekli olduğu açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Enerji depolama yöntemleri, teknolojileri arasından tercihin, tüm yöntemlerin ve teknolojilerin avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak yapılması gerektiği bir gerçektir. EDS'leri ile aynı güce sahip dizel jeneratör ile EDS' nin yük besleme maliyetleri karşılaştırıldığında, EDS' nin yük besleme maliyetinin açık ara olarak tasarruflu olduğu ve EDS'nin birim güç başına maliyetinin yadsınamayacak ölçüde az olduğu analizler sonuca anlaşılmaktadır [7].



## Referanslar

[1] F.A. Farret, M.G. Simoes, “ Integration of Alternative Sources of Energy”, John Miley and Sons. Inc., 2006

[2] Marrakeck Cop22/Cmp12 Un Climate Change Conference, 2016

[3] World Energy Council Turkish National Committee ”Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi”, pp:1-212, 2009

[4][http://www.normenerji.com.tr/menu\\_detay.asp?id=7965](http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=7965)

[5] World Energy Statistics 2011, International Energy Agency, 2011

[6] Ö.Gencer, “Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Dinamik Gerilim Düzenleyici Tasarımı”, Doktora Tezi, KOÜ,2006

[7] T.Çarkıt, “Yük Besleme Maliyet Analizi Açısından, Tabanlı Enerji Depolama Sistemi İle Dizel Elektrik Jeneratörünün Karşılaştırılması”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 458, pp: 52-55, 2016

[8] M. Alçı, S. Kara, “ Elektronik Devre Tasarımında Op-Amp ve Lineer Tümdevre” , p:10/31-34, 2000

[9] IRENA (International Renewable Energy Agency), “REthinking Energy 2017”, 2017

[10] Hajimolana S.A.,Soroush M.: Dynamics and Control of a Tubular Solid-Oxide Fuel Cell. Ind. Eng. Chem. 48, 6112–6125 ,2009

[11] M.H. Chakrabarti, S.A.Hajimolana, F.S.Mjalli, M.Saleem, I.Mustafa, “Redox Flow Battery for Energy Storage”, Arab J SciEng, 38:723-739, 2013

[12] E.Özdemir, A.Çaliker, İ.M.Koç, “Yenilenebilir Enerji Kaynağından Beslenen

Elektrik Güç Sistemleri İçin Hibrit Enerji Depolama Teknolojileri” ICCI Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı Bildiriler Kitabı, pp: 68-72, 2014

[13] A.Çaliker, E.Özdemir, “ Modern Enerji Depolama Sistemleri ve Kullanım Alanları”, 5’inci Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, pp:175-179, 2013

[14] A.İnci, O. Aydın, “Lityum” , Madencilik Türkiye, pp:36-37, 2010

[15] “İndustrial Minerals Prices & Data”, pp: 93-97 , 1999

[16] Uygun, A., Şen, E., Tuz Gölü Suyunun Jeokimyası, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt 21, S: 113-120, 1978

[17] L.Çetin, “ Yakıt Hücreleri ve Piller” ,deu, Kasım 2011

[18] The World of Batteries (Functions, Systems Disposal) GRS Batterien, Germany, p:9, 2007

[19] Y.Erdoğan, T.Dinçler, M.Kuncan, H.M.Ertunç, Güneş Panelleri İçin Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Tasarımı, TOK 2014 Bildiri Kitabı, pp: 1055-1060, 2014

[20] M. Alçı, T. Çarkıt, “ Fotovoltaik (PV) Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi”, 8. Enerji Verimliliği Formu, Bildiriler Kitabı, pp:43-48, 2017