

YÜK BESLEME MALİYET ANALİZİ AÇISINDAN, Li-FePO₄ TABANLI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİ İLE DİZEL ELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Taner Çarkıt

1. Giriş

Artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi dünyanın kısıtlı fosil kaynaklarından karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketim ihtiyacı arasındaki açık hızla büyümektedir. Fosil yakıtların bir süre sonra tükeneceği de yadsınamayacak bir gerçektir [1]. Diğer taraftan, geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyon ton kükürt bileşikleri, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır. Türkiye’de elektrik enerjisinin yüzde 70’i çevre kirliliği yaratan ve küresel ısınmaya yol açan fosil yakıtlardan (yüzde 31 doğalgaz; yüzde 29 linyit, yüzde 10 petrol türevleri, taş kömürü, vb.) elde edilmektedir [2].

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilirlerdir ve dünya genelinde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek ve bu enerjiyi depolamak enerji açığını kapatabilmek için en etkin çözüm olarak görülmektedir. Rüzgâr sistemlerinde ve fotovoltaik sistemlerde olduğu gibi, yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim merkezlerine uzak olması, üretimin kararlı olmaması, iklim şartlarından etkilenmesi, bununla birlikte hava tahmininin yeteri kadar doğru yapılamaması gibi nedenler, enerji depolama sistemlerinin önemini giderek artırmaktadır [3].

Günümüzde bütün modern enerji sistemleri arz güvenilirliği, sistem kararlılığı, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, iletim/dağıtım problemlerinin ve maliyetlerinin minimize edilmesi gibi birçok nedenler ile enerjinin depolanmasını zorunlu kılmaktadır [4]. İyi bir enerji depolama sisteminin sahip olması gereken bazı özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Yüksek depolama kapasitesi,
- Yüksek şarj/deşarj verimi,
- Kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması,
- Uzun ömürlü olması,
- Maliyetlerin düşük olması,
- Yüksek enerji yoğunluğuna sahip (kWh/kg veya kWh/litre) olmasıdır.

Enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, gerilim düşmesi ve kesintiler gibi güç kalitesi problemlerinin hem sistem hem de donanım düzeyinde ele alınan çözümlerinde büyük önem taşımaktadır [5].

Enerji depolama sistemlerinin (EDS) önemi her geçen gün artmaktadır. Hayatımızın vazgeçilmezi haline gelen EDS’nin kullanım yerleriyle ilgili bazı örnekler şöyle verilebilir:

- Elektronikte: Her türlü elektrik-elektronik, elektronik donanımda, sabit ve mobil cihazlar için dahili güç kaynağı olarak kullanılabilir.*
- Elektrik Sistemlerinde: Ulusal elektrik şebekesi ve bağımsız sistemler gibi sabit elektrik üretim ve dağıtım sistemleri için enerji depolamada kullanılabilir.*
- Havacılık ve Uzay Alanında: Kara, hava, deniz ve uzaydaki araçların güç temininde kullanılabilir.*
- Günlük Yaşamda: Yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği dalgalı enerjinin depolanmasında ve daha sonrasında sabit bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesinde kullanılabilir [6].*
- Askeri Alanda: Askeri birliklerde güvenliği artırmak ve sabotajları önlemek için kullanılabilir (Kalekollar, askeri birlikler, vb.).*
- Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS) Olarak: Stadyumların, benzin istasyonlarının, elektrik santrallerinin, hastanelerin, marketlerin, her türlü görüntü ve sesli sistemlerin, bankala-*

Türkiye’de elektrik enerjisinin yüzde 70’i çevre kirliliği yaratan ve küresel ısınmaya yol açan fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların bir süre sonra tükeneceği de yadsınamayacak bir gerçektir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek ve bu enerjiyi depolamak enerji açığını kapatabilmek için en etkin çözüm olarak görülmektedir.

rn, bilgi işlem sistemlerinin, yazarkasaların elektrik kesintisinden zarar görmemesi için UPS olarak kullanılabilir.

Elektrik üretim şirketlerinin kararlı ve sabit bir şebeke voltajı temin edememelerinin yanında, tabiat şartları (yıldırım vb.) ve hassas cihazların yakınlarında bazı yüksek güçlü makine ve motorların devreye girmesi ve devreden çıkması ile şebekede ani voltaj düşmesi ve yükselmesiyle sıkça karşılaşmaktadır. Karşılaşılan problemlerin çeşitlenmesi ile bunlara karşı alınacak tedbirler de değişmekte ve çeşitlenmektedir [7].

2. Lityum Tabanlı EDS'nin Emsallerine Göre Avantajları

Bir EDS'nin içerdiği enerji, depolama sistemlerinin tabanında kullanılan pil yapılarının yük altında gösterdiği ortalama deşarj gerilim değeri ile nominal kapasite değerinin çarpımına eşittir ve Watt (W) olarak ifade edilir. Birim zamanda, örneğin bir saat içerisinde elde edilen enerji miktarı ise Watt-saat (Wh) cinsinden verilir. EDS'lerin enerji değerleri birbirinden farklıdır ve bu sistemlerin temelinde kullanılan batarya/pil blok yapılarının sahip oldukları bu değerler, kilogram (kg) cinsinden ağırlıklarına veya litre (lt) cinsinden hacimlerine bölünmeleri sonucunda enerji yoğunlukları bulunmaktadır[8].

Şekil-1'de EDS'lerin temelini oluşturan farklı yapılarıdaki batarya/pil yapılarının temel enerji yoğunlukları verilmiştir. Lityum tabanlı sistemler diğer sistemlere göre yüksek enerji yoğunluğuna ve Tablo-1'de görüldüğü gibi yüksek nominal gerilime sahiptir [9].

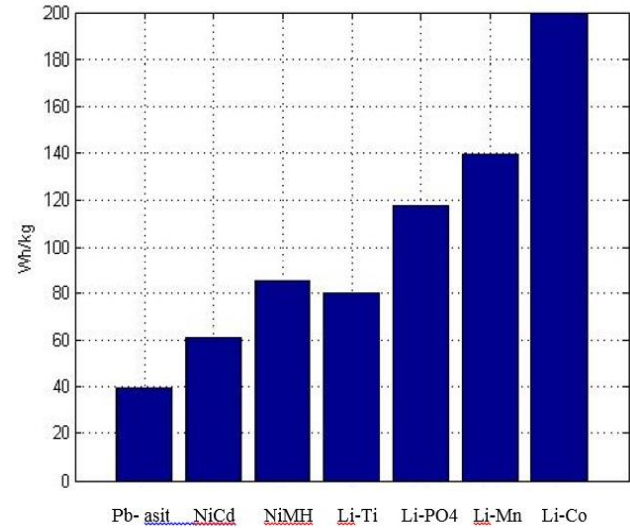
Tablo 1: EDS Hücre Yapılarının Nominal Gerilimleri

EDS Yapısındaki Depolama Sistemi	Nominal Gerilim (V)
Sekonder Lityum	3.0-3.6
Sekonder Ni-Cd	1.2
Sekonder Ni-MH	1.2
Sekonder Bakım Gerektirmeyen Pb-Asist	2.0
Sekonder Lityum-İyon	3.6
Sekonder Lityum-Polymer	3.6

*Sekonder: Şarj edilebilir

Tablo 2: Li-FePO₄'nin Diğer Lityum Tabanlı Sistemlere Göre Üstünlükleri

Teknoloji	Li-PO ₄	Li-CoO ₂	LiMn ₂ O ₄	Li(NiCo)O ₂	Li ₂ 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/Ağırlık Yoğunluğu	Kabul edilebilir	İyi	Kabul edilebilir	İyi	En iyi
Uzun Dönemde Maliyet	En ekonomik	Yüksek	Kabul edilebilir	Yüksek	-
Sıcaklık Aralığı	Çok iyi (-20C...+70C)	İyi (-20C...+55C)	+55C üzerinde performans çok düşer	İyi (-20C...+55C)	İyi (-20C...+65C)



Şekil 1: Farklı Tip EDS Tabanlarının Enerji Yoğunlukları

Lityum temelli EDS'lerin diğer depolama yöntemlerine göre üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Çok uzun depolama ömürlerinin olması,
- Uzun süreyle sabit gerilim sağlayabilmeleri,
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanıma imkan sağlamaları,
- Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları,
- Yüksek oranda elastikiyet göstermeleri,
- Yüksek şarj verimine sahip olmaları,
- Çevrim ömürlerinin fazla olması [10].

Lityum tabanlı sistemlerin içinden Li-FePO₄'nin diğer lityum tabanlı sistemlere göre üstün özellikleri de (güvenilir olması, çevre dostu olması vb) Tablo-2'de gösterilmiştir.

3. Dizel Jeneratörde 1 kVA İçin Yakıt Maliyeti

Yeni nesil jeneratör motorları eski tip motorlara nazaran daha çok elektronik donanıma ve yapıya sahiptir, buna bağlı olarak verimleri de artmaktadır. Motorların yakıt sarfiyatı ise teorik olarak; genelde kullanılan gücün rakamsal de-

ğerinin 1/4'ü kadardır [11]. Örneğin 30 kVA Jeneratörün yakıt sarfiyatı $30/4 = 7.5$ lt/h olduğu söylenebilir. Motorların tükettiği yakıt markaya göre değişiklik gösterse de genel olarak birbirine yakın değerlerdedir. Motorun gücü büyüdükçe bu 1/4 oranı, 1/5 oranına yaklaşmaktadır [12]. Tablo-3'de bazı motorların güçleri ve yakıt sarfiyatı verilmektedir [13].

Aynı şekilde, kurulu 80 kVA dizel jeneratör, bir saatte yaklaşık 20 lt yakıt tüketmektedir [11-13]. Halen, ülkemizde dizel yakıt litre fiyatı 1.23 dolar (\$) civarındadır[14]. Bu durumda 1 kVA için yakıt (lt) ve tüketim maliyeti Denklem (1) ve Denklem (2)'de gösterilmektedir.

$$80 \text{ kVA için yakıt tüketim maliyeti;} \\ (20 \text{ lt/h}) \cdot (1.23 \$) = 24.6 \text{ lt\$/h} \quad (1)$$

$$1 \text{ kVA dizel jeneratörün yakıt tüketim maliyeti;} \\ (24.6 \text{ lt\$/h}) / (80 \text{ kVA}) = 0.30 \text{ lt\$/hkVA} \quad (2)$$

olarak hesaplanmaktadır.

4. EDS'de 1 kVA İçin Elektrik Maliyeti

80 kVA güce sahip olan EDS'nin tam çevrim verimi yüzde 80 ve üzeri olduğundan, tam yükte (yüzde 100) çalışabilmesi için şarj faktörü 1.2 olarak kabul edilirse, 80 kVA EDS'nin şarj edilebilmesi için gerekli enerji;

$$(80 \text{ kVA}) \cdot (1.2) \cong 96 \text{ kVA}$$

olarak hesaplanmaktadır [15].

Tablo 3: Jeneratör Motorlarının Güce Göre Yakıt Tüketim Miktarı

Jeneratör Gücü kW	Jeneratör Gücü kVA	Ortalama yakıt tüketimi (lt)
20	25	6.1
60	75	18.2
75	94	23.1
150	188	41.3
300	375	81.4
500	625	135.1
1000	1250	269.1
2000	2500	537.1

Ülkemizde 1 kWh elektrik fiyatı 0.66 dolar civarındadır [16-17]. EDS için $\text{Cos}\Phi$ değeri 0.95 olarak alınrsa, 96 kVA için toplam elektrik tüketim maliyeti Denklem (3)'te gösterilmektedir [13].

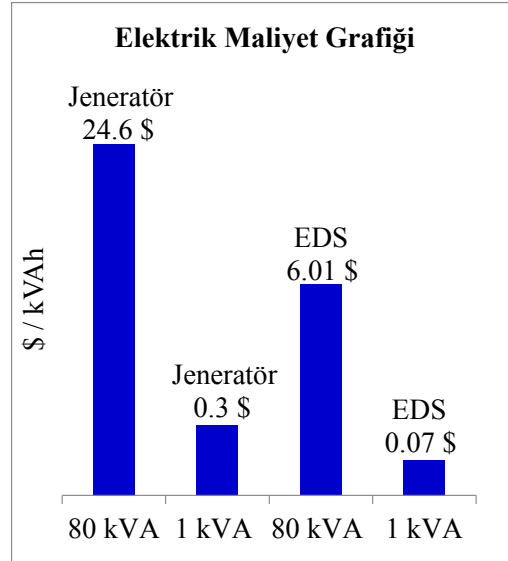
$$(96 \text{ kVA}) \cdot (\text{Cos}\Phi) \cdot (0.66 \$) \cong 6 \$/\text{kVA} \quad (3)$$

1 kVA şarj için gerekli elektrik tüketim maliyeti ise Denklem (4)'te gösterildiği gibi şu şekildedir;

$$(6 \$) / (80\text{kVA}) \cong 0.07 \$/\text{kVA} \quad (4)$$

80 kVA'lık dizel jeneratör ile 80 kVA'lık EDS'nin birim elektrik (1 kVA) üretim maliyeti karşılaştırma grafiği Şekil-2'de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 80 kVA kapasiteye sahip dizel elektrik jeneratörün tam yükte çalışabilmesi için 24.6 dolarlık dizel yakıt, bu jeneratörden

elde edilen birim elektrik (1 kVA) miktarının karşılanabilmesi için 0.3 dolarlık dizel yakıt gerekmektedir. Öte yandan 80 kVA kapasiteye sahip EDS'nin tam yükte çalışabilmesi için 6.01 dolarlık elektrik enerjisi, bu EDS'den elde edilen birim elektrik (1 kVA) miktarının karşılanabilmesi için 0.07 dolarlık elektrik enerjisi gerekmektedir.



Şekil 2: 80 kVA'lık Dizel Jeneratör ile 80 kVA'lık EDS'nin Birim Elektrik (1 kVA) Üretim Maliyeti

5. 40 kVA'lık, 80 kVA'lık, 175 kVA'lık Dizel Jeneratörler İle 80 kVA'lık EDS'nin Şarj Edilmesi

380 VAC (3 faz, 1 nötr, trafoda topraklı) giriş gerilimine sahip EDS (Li-FePO₄ tabanlı) hızlı şarj ile en kısa 2 saatte şarj edilebilmektedir ve çıkışta faz başına 32 A'den daha fazla akım çekilmemesi gerekmektedir[15]. Eşdeğer bir jeneratör (80 kVA) ile şarj edildiğinde, jeneratörün yakıt maliyeti Denklem (5)'te gösterilmektedir.

$$(2\text{h}) \cdot (20 \text{ lt/h}) = 40 \text{ lth} \quad (5)$$

80 kVA dizel jeneratör ile 80 kVA'lık EDS'yi tam olarak şarj edebilmek için gerekli yakıt maliyeti Denklem (6)'da gösterilmektedir.

$$(1.23 \$) \cdot (2 \text{ h}) \cdot (20 \text{ lt}) \cong 49.2 \$ \quad (6)$$

Daha yüksek çıkış gücüne sahip jeneratör kullanılırsa yakıt tüketimi de artacaktır. Örneğin; 175 kVA'lık jeneratör kullanılarak 80 kVA'lık EDS'yi şarj etmek istendiğinde saatlik yakıt tüketimi ve yakıt tüketim maliyet hesabı Denklem (7)'de gösterilmektedir.

$$(175 \text{ lt}) \cdot (1/4) = 43.75 \text{ lt}$$

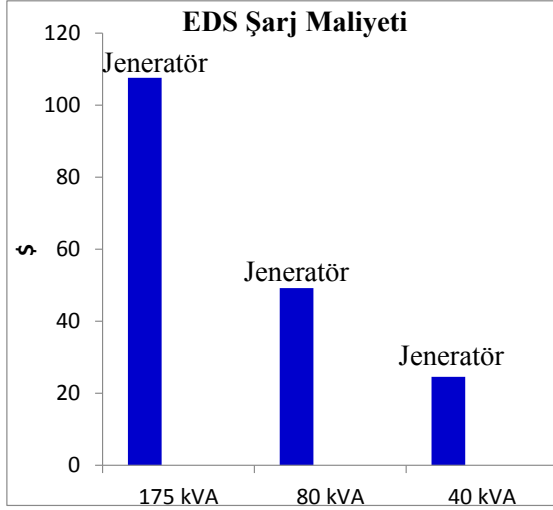
$$(43.75 \text{ lt}) \cdot (2 \text{ h}) = 87.5 \text{ lth}$$

$$(43.75 \text{ lt}) \cdot (2 \text{ h}) \cdot (1.23 \$) = 107.62 \$\text{lth} \quad (7)$$

Buna karşılık daha küçük çıkış gücüne sahip jeneratör kullanılırsa yakıt tüketimi Şekil-3'te gösterildiği gibi daha az olacaktır. Örneğin; 40 kVA'lık jeneratör kullanılarak 80 kVA'lık EDS şarj etmek istendiğinde gerekli yakıt ve yakıt maliyeti Denklem (8)'de hesaplanmaktadır.

$$40 \text{ lt}/4 = 10 \text{ lt}$$

$$(10 \text{ lt/h}) \cdot (2 \text{ h}) \cdot (1.23 \$) \cong 24.6 \$\text{lt} \quad (8)$$



Şekil 3: Farklı Güçlerdeki Jeneratörler ile 80 kVA'lık EDS'nin Şarj Maliyeti Grafiği

6. Kullanım Yerinde Maliyet (1 kVA yük için)

1 kVA'lık yükün 75 saat çalıştırılabilmesi için jeneratörün de 75 saat çalıştırılması gerekir.

40 kVA'lık jeneratörün 75 saatte yakıt tüketim maliyeti aşağıda hesaplanmaktadır.

$$(40 \text{ lt/4}) \cdot (75 \text{ h}) \cdot (1.23 \$) = 922.5 \$\text{1th}$$

80 kVA'lık jeneratörün 75 saatte yakıt tüketim maliyeti aşağıda hesaplanmaktadır.

$$(80 \text{ lt/4}) \cdot (75 \text{ h}) \cdot (1.23 \$) = 1845 \$\text{1th}$$

175 kVA'lık jeneratörün 75 saatte yakıt tüketim maliyeti aşağıda gösterilmektedir.

$$(43.75 \text{ lt}) \cdot (75 \text{ h}) \cdot (1.23 \$) = 4035.9 \$\text{1th}$$



Aynı güce sahip dizel jeneratör ile EDS'nin yük besleme maliyetleri karşılaştırıldığında, EDS'nin açık ara tasarruflu ve birim güç başına maliyetinin yadsınamayacak ölçüde az olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan EDS'nin uzun yıllar herhangi bir bakım ve parça değişimi göstermeyeceğinden çok daha ekonomik olacağı açıktır.

7. Sonuç

Aynı güce sahip dizel jeneratör ile EDS'nin yük besleme maliyetleri karşılaştırıldığında EDS'nin açık ara olarak tasarruflu olduğu ve EDS'nin birim güç başına maliyetinin yadsınamayacak ölçüde az olduğu analizler sonucunda anlaşılmaktadır. Ayrıca, jeneratör boşa ve/veya rölantide çalışması durumunda her halükarda tam yükteki yakıtın yaklaşık yüzde 80'ini tüketmektedir. Dizel jeneratörün her 100 saatlik çalışmasında ve ayrıca belirli aralıklarla yapılması gereken işletme bakım maliyetleri (Yağ değişimi, akü değişimi, yakıt filtresi, hava filtresi, yağ filtresi, elektronik ve mekanik parça değişimi... vs) vardır. Diğer taraftan EDS'nin uzun yıllar herhangi bir bakım ve parça değişimi göstermeyeceğinden çok daha ekonomik olacağı açıktır.

Referanslar

- [1] H.Kumbur, Z.Özer, H.D.Özsoy, E.D.Avcı, "Türkiye'de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması", MÜ, 2005
- [2] A.Froggatt, "The liberalisation of Europe's electricity markets – Is the Environment Paying the Price for Cheap Power", Greenpeace, s. 13, Mayıs 2000.
- [3] H.B.Çetinkaya, "Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği Açısından Akıllı Şebekeler ve SCADA uygulamaları", 3'üncü Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı, 2012
- [4] http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=7965
- [5] Ö.Gencer, "Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Dinamik Gerilim Düzenleyici Tasarımı", Doktora Tezi, KOÜ, 2006
- [6] http://www.emo.org.tr/ekler/2863E1979493264_ek.pdf
- [7] M. Alçı, S. Kara, "Elektronik Devre Tasarımında Op-Amp ve Lineer Tümdevre", p:10/31-34, Temmuz 2000
- [8] S.Arna, "Taşınabilir Pil ve Bataryalar", Mart 2007
- [9] L.Çetin, "Yakıt Hücreleri ve Piller", deu, Kasım 2011
- [10] The World of Batteries (Functions, Systems Disposal) GRS Batterien, Germany, p:9, 2007
- [11] İŞBİR Elektrik Sanayi A.Ş., <http://www.isbirelektrik.com.tr/>

[12] Genpower Generator, "<http://www.air-kam.com/files/gnt-13-220.pdf>"

[13] <http://www.gucbirjeneratör.com/sayfalar.asp?Language-ID=1&cid=4&id=159>

[14] http://tr.globalpetrolprices.com/Turkey/gasoline_prices/

[15] ASPİLSAN Enerji Sanayi Ve Ticaret A.Ş., <http://www.aspilsan.com/fbilgi.asp>

[16] TEDAŞ, Güncel Fonlu Elektrik Birim Fiyatları, 2015

[17] EPDK, <http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatları/>