

YENİLENEBİLİR ENERJİ UYGULAMALARINDA HİBRİD ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Şule KUŞDOĞAN

Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli-Türkiye

kusdogan@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Günümüzde, enerji kaynaklarının gelecekteki belirsiz durumu nedeniyle, çevresel, ekonomik ve hatta siyasi endişelerden, enerji verimliliği politikaları ve temiz enerji kullanımı çok dikkat çekmektedir. Son zamanlarda artan ihtiyaçlar ile enerji depolama sistemlerine, depolama tekniklerine, modern depolama aygıtlarına ve verimliliği arttırmak için hibrid sistemlere odaklanılmıştır. Enerji depolaması, yenilenebilir enerji santrallerinde baskın bir faktördür. Enerji depolama teknolojileri uygun şekilde tasarlandığında ve entegre edildiğinde değişkenliği düzeltmek için, daha sonraki bir zamanda elektriğin gönderilmesine müsaade eder. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretilerek, sistem esnekliği artırılarak, enerji depolama etkinleştirilerek, elektrik enerjisinin güç değişimleri hafifletilebilir. Bu bildiri, günümüzdeki enerji depolama sistemlerini değerlendirmektedir. Yenilenebilir enerji güç santrallerindeki, depolama sistemlerinin uygulamalarındaki teknik ve ekonomik gereklilikler analiz edilerek, verimliliği arttırmak için gerekli olan hibridizasyon kriterleri ve günümüzdeki depolama teknolojileri uygulamaları verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, enerji depolama teknolojisi, uygulama potansiyeli, hibridizasyon.

1. GİRİŞ

Depolama olanakları, artan talebe bağlı olarak, talep ve arz arasındaki dengeyi daha iyi sağlamak için uzun dönem uygulamaları ve dinamik performans

geliştirme için destek sağlamaya, büyümeye devam etmektedir. Bundan dolayı, izin verilebilen artan kullanım, yenilenebilir kaynakların etkisini basitleştirip kolaylaştırmakta ve esneklik, güvenilirlik ve şebeke performansının genel verimliliğini arttırmaktadır.

2. ENERJİ DEPOLAMA

Yenilenebilir enerjilerin kullanımının gelişmesi ve ulaşım araçlarında CO₂ emisyonlarının azaltılmasına duyulan ihtiyaç, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir bileşeni haline gelen depolama sistemlerine bir ilgi yaratmıştır. Enerji depolaması, yenilenebilir enerji santrallerinde baskın bir faktördür. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretilerek, sistemin esnekliği artırılarak, enerji depolama etkinleştirilerek, elektrik enerjisinin güç değişimleri hafifletilebilir. Elektrik güç sistemlerinde farklı depolama teknolojileri kullanılmaktadır. Bunlar elektrokimyasal veya kimyasal, mekanik, elektromekanik veya termal depolama olabilirler. Genel olarak, enerji depolama tesisi güç dönüşüm sistemi, santralin dengesini ve orta depolamayı kapsar. Elektrokimyasal depolama için, bataryanın birçok farklı

türü vardır ve bunların çoğu daha fazla araştırma ve geliştirme konularında kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde, bataryaların birkaç türü kullanılır: Nikel-kadmiyum (Ni-Cd), Nikel-Çinko (Ni-Zn), kurşun asit. Bununla birlikte, bazıları yüksek şarj-deşarj verimliliği, düşük kendi kendinedeşarj, şarj-deşarj devrinde uzun ömür gibi önemli özelliklere sahip olmak zorundadır. Hidrojen enerji depolama (HES) için genellikle, hidrojen sistemi bir elektrolizör, basınçlı gaz tankı ve yakıt pilleri (FC) içermektedir. Elektrolizör, fazla elektrik üretimi periyotlarında elektrik enerjisini hidrojen formundaki kimyasal enerjiye dönüştürür. Bu hidrojen, enerji kesintilerinde elektrik enerjisi gelene kadar depolanır, sonra bir yakıt hücresini (hidrojen ve hava oksijen) güç santralının yüklerine enerji vererek elektriğe dönüştürür. Hidrojen, farklı hidrojen depolama modlarının kullanımıyla uzun periyotlar için enerji depolayabilir. Mekanik depolama, volan enerji depolama (FES), pompalı hidrojen enerji depolama (PHES), veya sıkıştırılmış hava enerji depolama (CAES) olabilir. Süperkapasitör enerji depolama (SES), çift katlı elektrokimyasal kapasitörlerdir. Yaygın kapasitörlerle karşılaştırıldığında, olağan dışı yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Süperkapasitörler, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki tekrarlayan dalgalanmalarda yükleri koruyarak güvenilir geçici güç sağlayabilir. Süperiletken magnetik enerji depolamasında (SMES) enerji magnetik alanda depolanır veya bobinin sargılarında akımın azaltılmasıyla, indüksiyon magnetik alanından çıkarılır. Bu magnetik aygıtlar, yüksek güç çıkışını sağlamak için anlık olarak tamamıyla boşaltılabilir. Termal enerji depolama (TES), güç üretimi ve ısıtma-soğutma için depolanan enerjiyi

kullanmak için bir malzemeyi soğutarak veya ısıtarak ısıl enerjiyi depolar. Tablo 1'de enerji depolama sistemi (ESS) teknolojilerinin özellikleri verilmektedir [1,2,3,4]. Bu tabloda enerji depolama sistemleri için farklı teknolojileri içeren tipik özellikler, güç oranı,deşarj zamanı, güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu, döngüler ve yaşam süreleri sunulmaktadır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ UYGULAMALARI

Yenilenebilir enerji güç santrallerindeki depolama sistemlerinin uygulamalarında, teknik ve ekonomik gereklilikler bulunmaktadır [5]:

3.1. Depolama fiyatları

Enerji depolama teknolojilerinde, enerjinin ekonomik ve çevresel olumlu etkileri çok önemlidir:

-Talep artışlarında ve tahmin edilen dalgalanmalarla rezerv güç santrallerinin azaltılması,

-Kısa süreli dalgalanmaları yumuşatarak ve elektrik kesintileri sırasında boşluğun kapatılmasıyla, güç kesintisinin maliyetlerini azaltır. Yenilenebilir enerji için destek, yenilenebilir kaynakların değişkenliğini düzeltmeyle ve ihtiyaç duyulduğunda elektrik dağıtımına izin verilerek sağlanabilir.

Depolama sistemlerinin uygulamalarında açık avantajlarına rağmen, yenilenebilir enerji güç santrallerinin alanında, gerçek engelleri aşmak için daha fazla çabanın zorunlu olduğu açıkça görülmektedir [5].

Tablo 1. Enerji depolama sistemi (ESS) teknolojilerinin özellikleri[1]

Sistem	Nominal		Yoğunluk		Yaşam süresi		Verim (%)	Günlük Kendi kendine deşarj(%)
	Güç (MW)	Tipik deşarj zamanı	Güç Yoğ. (W/l)	Enerji Yoğ. (Wh/l)	Yıl	Devir		
Pompaalı hidro	100-5000	1-24h	0.1-0.2	0.2-2	>50	>15.000	70-80	Çok küçük
Sıkıştırılmış hava	5-300	1-24h	0.2-0.6	2-6	>25	>10.000	41-75	Küçük
Volan	0-0.25	sn-h	5000	20-80	15-20	104-107	80-90	100
Yakıt pili	0-50	sn-24h	0.2-20	600	10-30	103-104	34-44	0
Süper-kapasitör	0-0.3	msn-1h	(4-12)*10 ⁴	10-20	4-12	>5*10 ⁵	85-98	20-40
SMES	0.1-10	msn-8sn	2600	6	-	-	75-80	10-15
Bataryalar								
Kurşun asit	0-20	sn-h	90-700	3-15	3-15	250-1500	75-90	0.1-0.3
NiCd	0-40	sn-h	75-700	5-20	5-20	1500-3000	60-80	0.2-0.6
Li-iyon	0-0.1	dk-h	1300-10000	5-100	5-100	600-1200	65-75	0.1-0.3
NaS	0.05-8	sn-h	120-160	10-15	10-15	2500-4500	70-85	10-20
VRB	0.03-3	sn-10h	0.5-2	5-20	5-20	>10.000	60-75	Küçük
ZnBr	0.05-2	sn-10h	1-25	5-10	5-10	1000-3650	65-75	Küçük

Tablo 2’de tüm depolama teknolojilerinin, kW başına depolama maliyetinin başlangıç sermaye fiyatı gösterilmektedir. Nispeten düşük maliyetler, PHES ve CAES sistemleri kullanılarak elde edilebilir. Batarya teknolojisi, PHES’den daha az rekabetçidir, ancak nispeten düşük maliyetli bir çözüm olarak düşünülebilir.

3.2. Fotovoltaik sistemlerde depolama

En basit modeller, elektrokimyaya dayalıdır. Bu modeller, enerji depolamasını öngörebilir ancak yük altında sıcaklık ve yaş etkileri içermezler. Gerilim değişiminin zaman

hızı gibi model olaylarında kullanılamazlar. Bir hücre, kapasite ile karakterize edilir. Elektriğin miktarı Ah olarak açıklanır, tam şarjdan sonra sabit akımla deşarj edileceğini ifade eder. Bir bataryanın mevcut kapasitesi, deşarj oranına bağlıdır [5].

$$I_{bat}^n \times t = C \quad (1)$$

Burada I_{bat} deşarj akımını, n Peukert sabiti, t deşarj zamanında akımı, C Peukert’e göre 1 A deşarj oranında kapasiteyi Ah olarak açıklamaktadır. Deşarj akımları iki farklı deşarj oranı ile aşağıdaki eşitlikte açıklanır:

Tablo 2. Enerji depolamanın sermaye fiyatı [5]

Sistem	Sermaye fiyatı		
	\$(kW)	\$(kWh)	\$(her devir için kWh)
PHES	600-1200	5-100	0.1-1.4
CAES	400-8000	2-50	2-4
Volan	250-350	1000-5000	3-25
Kurşun asit	300-600	200-400	20-100
Ni-Cd	500-1500	800-1500	20-100
Li-iyon	1200-4000	600-2500	15-100
NaS	1000-3000	300-500	8-20
Van.Redox	600-1500	150-1000	5-80
ZnBr	700-2500	150-1000	5-80
Yakıt pili	10.000+	--	6000-20,000
UK	100-300	300-2000	2-20
Elektr.Enr.	200-300	1000-10,000	--
Dep			

$$C_1 = C_2 (I_{bat2}/I_{bat1})^{n-1} \quad (2)$$

Burada C_1 ve C_2 , bataryaların farklı deşarj oranlarındaki kapasitelerdir [5].

Şarj durumunda (SOC) sabit deşarj oranı, aşağıdaki eşitlikle elde edilir:

$$SOC(t) = 1 - (I_{bat}/C) \times t \quad (3)$$

Akım, zamanla sürekli değişir. Yukarıdaki denklem, sabit akım göz önüne alındığında iki hesaplama adımı haline getirir. Böylece, t_k zamanında bataryanın şarj durumundaki değişimi aşağıda gösterilmiştir [5]:

$$\Delta SOC(t_k) = I_{bat\ k} / C_1 \times (I_{bat\ k} / I_{bat\ 1})^{n-1} \times \Delta t \quad (4)$$

Bu yaklaşım, aynı zamanda, bataryanın yeniden şarj hesabında da kullanılır. Gerçekten de bataryadaki akım negatif olursa, şarj durumu artar. Batarya şarj durumu aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$SOC(t_k) = SOC(t_{k-1}) + \Delta SOC(t_k) \quad (5)$$

4. HİBRİDİZASYON KRİTERLERİ

Enerji depolama sistemlerinin teknolojileri, depolanan enerji ile ilgili olarak üç kategoride sınıflandırılabilir; mekanik, elektriksel ve kimyasal. Her teknolojiye birkaç farklı özellik ve uygulama bulunmaktadır. Tablo 1'den görüldüğü gibi, enerji depolama sistemleri teknolojileri yüksek güç ve yüksek enerji teknolojileri olarak iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Yüksek güç depolama sistemleri, karakteristik olarak kısa süreler için çok yüksek oranlarda enerji sağlar. Enerji depolama sistemleri teknolojilerinden SMES, süperkapasitörler, volanlar ve yüksek güç bataryaları bu kategorinin dışındadır.

Alternatif olarak, yüksek enerji depolama sistemleri, uzun zaman periyotları için enerji sağlarlar. Kalan enerji depolama sistemleri teknolojileri, pompalamalı hidro, sıkıştırılmış hava enerji depolama (CAES), yakıt pili ve yüksek güçlü bataryalar bu kategoridedir [6]. Tablo 3, enerji depolama sistemleri (ESS) teknolojilerini bu sınıflamaya göre kategorize etmektedir.

Tablo 3. Yüksek güç ve yüksek enerji ESS teknolojileri sınıflandırması [1]

Yüksek güç aygıtları (Hızlı cevap)	Yüksek enerji aygıtları (Yavaş cevap)
Süperkapasitör	Pompalamalı hidro
SMES	CAES
Volan	Yakıt pili
Batarya	Batarya

Tablo 4. Teorik HESS konfigürasyonları

Enerji sağlayıcı	Güç sağlayıcı
Batarya	Süperkapasitör
	SMES
	Volan
CAES	Süperkapasitör
	SMES
	Volan
	Batarya
Yakıt pili	Süperkapasitör
	SMES
	Volan
	Batarya
Pompalamalı hidro	Süperkapasitör
	SMES
	Volan
	Batarya

Batarya teknolojileri, kapsamlı geniş karakteristiklerinden dolayı hem yüksek güç hem de yüksek enerji aygıtlarıdır. Bu bağlamda, yüksek enerjili cihazların hibridizasyonu ile daha fazla işlevsel enerji depolama sistemi elde edilebilir.

Bilinen hibrid enerji depolama sisteminin (HESS) arzulanan işlemi aşağıdaki gibidir: Yüksek enerji aygıtı, uzun dönem enerji ihtiyacını karşılarken, kısa dönem güç ihtiyacını da karşılamalıdır. Bu teoriye dayanarak, olası mümkün kombinasyonlar, teknik yönden fizibil olmayan ve bazı sistem seviyesi sınırlamaları olanlar da dahil olmak üzere tümü, tablo 4’de listelenmiştir[1].

4.1. Batarya-Süperkapasitör

HESS teknolojilerinin tümü, batarya-süperkapasitör dışında, araştırmacılar tarafından önerilmiş ve incelenmiştir. Süperkapasitörler aynı zamanda

ultrakapasitör olarak veya elektrokimyasal çift katlı kapasitörler (EDLC) olarak adlandırılan enerji depolama aygıtlarıdır ve yüksek spesifik güç 10 kWkg^{-1} yukarısında olanlar; ve düşük spesifik enerji tipik olarak 10 Whkg^{-1} altında olanlar şeklindedirler. Tipik olarak çok yüksek devir ömürleri 500.000 üzerindedir.

Diğer bir deyişle, tekrar doldurulabilir bataryalar, yani sekonder bataryalar, tipik olarak yüksek spesifik enerji aygıtlarıdır. Bununla beraber bataryalar, süperkapasitörlerin tersine, 1 kWkg^{-1} ’i aşmayan düşük spesifik güce sahiptir. İlave, batarya devir ömürleri, süperkapasitörden daha düşüktür. Genellikle, batarya-süperkapasitör hibridizasyonu, değişik yöntemlere göre yapılabilir. Bu yöntemlerde, hibridizasyon düzeyleri dışsal ve içsel olarak sınıflandırılabilir. Hibridizasyon seviyelerinin her biri seri ve paralel metotlarla bölünmüştür. Diğer bir deyişle, batarya-süperkapasitör HESS iç seri, iç paralel, dış seri ve dış paralel formlara sahip olabilir [1,6].

Yukarıda bahsedilen yöntemler arasında, dış paralel hibridizasyon elektrik güçlü taşıtlar, aralıklı yenilenebilir enerji sistemleri ve genel darbe güç sistemleri gibi özel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Elektrik veya hibrid taşıtların güç kaynağında tahrik gücünün ana parçası, doldurulabilir bataryalar ve yakıt pilleridir. Batarya yaşam süresi, şarj/deşarj devirleri, oranları etkilidir. Örneğin, taşıtın hızlanması veya yavaşlaması sırasında bataryaya giren veya çıkan akım oranları etkilidir. Ayrıca, yüksek güç talepleri sırasında, ve şarj durumuna bağlı olarak batarya gerilimi, kabul edilebilir minimum sistem geriliminin altına düşebilir. Batarya yaşam süresini arttırmak ve ayrıca sistem gerilimini asgari seviyenin

üzerinde tutmak için, süperkapasitörler genellikle bataryalarla, batarya güçlü elektrikli taşıtlar ile hibridize edilirler. Batarya-süperkapasitör ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, bu teknolojiye elektrikli ve hibrid taşıtlardır. Süperkapasitörlerle hibridizasyon yapıldığında, hibrid veya elektrikli araçlar için bataryanın ömrü ve döngüsü dolayısıyla performans artmaktadır [1,6].

Hibrid enerji depolama sistemlerinde batarya-süperkapasitör çalışmaları, süperkapasitörlerin kullanımıyla bataryaların optimize edilen enerjiyi sistemde depoladığını; yenilenebilir enerji sistemlerinde de güç değişikliklerini düzleştirmek için aşağıdaki çalışmaların yapılmakta olduğunu göstermektedir.

- Fotovoltaik sistemler
- Rüzgar enerji sistemleri
- Hibrid rüzgar-güneş sistemleri
- Genel mikro şebekeler

Bu konulardaki diğer çalışmalar, hibrid ESS genel darbeleri yüklerdeki davranışlarıyla ilgilidir.

4.2. Batarya-SMES

Süperkapasitörlerde tek hücrenin nominal gerilimi genellikle çok düşüktür. Pratikte, birkaç birimin seri bağlantıları ile daha yüksek gerilim seviyeleri sağlanarak kullanılmaktadır. Fakat, seri bağlama hücrelerde tüm kapasiteyi azaltmaktadır. Üstelik, bazı koruma devreleri, gerilim ayarına ihtiyaç duymaktadır. Süperkapasitörlerde çıkış gerilimi, şarj ve deşarj ile değişir ve depolanan enerji ile orantılıdır; depolanan enerji düşükse çıkış gerilimi de düşüktür. Aksine SMES’de kontrol çok kolaydır ve güç sistemlerine çok uygundur. SMES, magnetik alan formunda enerji depolayan süperiletken

bir bobindir. SMES, hızlı cevap zamanı, yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek çevrim ömrü için mükemmel karakteristiklerle güç sisteminden güç aktarabilir [1,6].

Bununla birlikte, SMES sisteminin uygulaması, kompleks bakım gerektirir, soğutma mekanizmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, SMES’in özel saha gereksinimleri, yenilenebilir güç üretimi alanlarında ve demiryolu trafo merkezleri gibi sabit uygulamalarla sınırlıdır. SMES hibridizasyonu için çalışmalar günümüzde devam etmektedir [1,6].

4.3. Batarya-Volan

Volan, motor-generatör setinde, enerji mekanik enerji formunda depolar. SMES gibi volan da yüksek yaşam süresi ve verimliliğe sahiptir ve verim kaybı olmaksızın birçok devirde yüksek güç oranlarında deşarj ve şarj olabilir. Diğer yandan volan teknolojisi, SMES, batarya ve süperkapasitörlerin aksine, kimyasalları gerektirmemektedir ve çevresel bir çözümdür. Volan, kısa süreli ve yüksek güç uygulamaları ile uyumludur. Ayrıca, deşarj süresi, manyetik havalandırma yatakları kullanılarak 10 dakikalara kadar ulaşabilir. Havalandırma uygulamaları ve araçlar için batarya/volan enerji depolama sistemleri tanımlanmıştır [1,6].

4.4. CAES-Süperkapasitör

Basınçlı hava enerji depolama (CAES) sisteminin temeli, ucuz enerjiyi kullanarak havayı sıkıştırmak ve sıkıştırılmış havayı (sisteme türbin yoluyla göndererek ve yanmayı türbin generatör sistemine salarak) enerji üretmek için kullanmaktır. Basınçlı hava yeraltında jeolojik formasyonlarda (tuz oluşumları, kaya yapıları v.b), daha büyük CAES santralleri için depolanmaktadır. Basınçlı hava, daha

küçük CAES santralleri için tanklarda veya geniş borularda depolanır [1,7].

CAES, uzun periyotlar için enerji depolamayı mümkün kılar. Tipik olarak büyük miktarlarda 50-300 MW arasında değişen kapasitelerde yaklaşık % 70 verim ile enerji depolayabilir. CAES sistemin kalbi ve enerji sağlama rolünü oynamaktadır. CAES sisteminde, maksimum verimlilik noktası izleme sistemi düşünülmüştür. Diğer bir deyişle, süperkapasitör, bir filtre görevi görür ve çıkış gücünü düzleştirir [1,7].

4.5. CAES-SMES

Teorik olarak, CAES sistemi, SMES sistemi ile sistemin esnekliğini ve kapasitesini arttırmak için hibrid edilebilir. Böyle bir HESS’de CAES uzun süreli ve yavaş cevap sağlamaktadır. SMES’ler ise kısa vadeli, hızlı cevap ve yüksek güç sağlamaktadır [1]. Tablo 4’de gösterildiği gibi, HESS teknolojisi literatürde önerilmemiştir.

4.6. CAES-Volan

Bu hibridizasyon, rüzgar türbini çıkış dalgalanmalarını pürüzsüzleştirmek için önerilmektedir [1,8].

4.7. CAES-Batarya

CAES’i bataryalarla hibridize etmek mükemmel bir HESS verebilir. CAES’in düşük güç yoğunluğu ve yavaş cevabı, bataryalarla tamamlayıcı olarak kompanze edilebilir. Batarya teknolojisinin hızlı ve yeni gelişmeleri ile ilgili olarak, herhangi bir enerji sağlayan ESS’nin hibridizasyonu, özellikle CAES, fonksiyonel bir HESS oluşturmak için umut vaat eden bir araç olacaktır. Günümüzde henüz kullanılmamaktadır [1,6].

4.8. Yakıt pili-Süperkapasitör

Hibrid yakıt pili hidrojen tankı ile birlikte, süperkapasitör ile enerji depolama birimi ile bir HESS

oluşturabilir.

Literatürdeki uygulamalarda, elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilmektedir. Hibrid güç sistemleri için süperkapasitörlerin hibridizasyonu sistem performansını geliştirmektedir. Tam yakıt pilli ve süperkapasitörlü elektrikli araçta, fiyatı minimize etmek için yakıt pili, süperkapasitör bankalarının tahrik gücü ve yakıt pilinin ağırlığı, fiyatı, hacmi optimal tasarlanmalıdır. Bu sırada, kontrol stratejileri, güç ve enerji yönetimi, modelleme, simülasyon, analizler ve konverter tasarımları da maliyeti etkileyecektir [1,6].

4.9. Yakıt pili-SMES

Uzun dönem yüksek güç depolama ihtiyaçlarında sıvı hidrojen rol oynar ve kısa dönem dalgalanmalar SMES ile bastırılacaktır. Önerilen HESS sisteminde saniye, dakika ve saat ölçekleri değişkenlikle baş edebilecek kapasitededir. Önerilen sistemler, geniş ölçekli yenilenebilir kaynaklara entegre edildiğinde şebekeye güvenlik, verimlilik ve uygun maliyet sağlar [1].

4.10. Yakıt pili-Batarya

Yenilenebilir enerji sisteminin yanı sıra, hibrid yakıt hücresi ile bataryalar, birçok literatürde yakıt pili ile çalışan güç aktarma fonksiyonları ile işlevselliği artırır [1,6].

4.11. Pompalamalı hidro-Güç kaynağı enerji depolama sistemleri

Pompalamalı hidrolik enerji depolama sistemi, sadece depolama teknolojisi olarak kullanılmış, hem teknik açıdan olgunlaşmış hem de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu depolama sistemleri, Dünya çapında 70 yıldan daha fazla bir süredir kullanılmaktadır. Bu büyük ölçekli enerji depolama sistemleri teknolojisi günümüzde en çok kullanılan teknolojidir, Dünya çapında 280 kurulum bulunmaktadır. Pompalamalı hidrolik enerji depolama

sisteminde, pik olmayan dönemlerde veya eşit aralıklarda, orijinal su kaynağından daha yüksek rezervuara pompalanan yeniden konumlandırılan su, ucuz elektrik depolamak için kullanılır. Bu durumda, suyun yukarı doğru pompalanmasında tüketilen elektrik enerjisi, rezervuardaki suyun potansiyel enerjisi olarak depo edilir. Sonra pik periyotlarda, rezervuarda depolanan su, aşağıya doğru serbest bırakılarak, elektrik üretmek için hidrolik türbinleri çalıştırır. Pompalamalı hidrolik enerji depolama sistemi oluşturmak için iki temel engel, uygun yer eksikliği ve yüksek fiyattır. Hatta sistemin maliyetinden ve sınırlamalarından daha da önemlisi, rezervuarları oluştururken vadiler yaratmak, sel gibi endişeleri ve doğal yaşam alanlarına zarar vermek gibi çevreyle ilgili endişelerdir. Diğer enerji depolama sistemi teknolojilerinin çevresel sorunları, pompalamalı hidrolik sistemlerle aynı değildir. Pompalamalı hidro enerji depolama sistemi birimlerinin, çevresel etkileri, Dünya çapında kullanımı, teknik olgunluğuna rağmen, hibrid enerji depolama sistemlerinin açılımlarını sınırlamaktadır. Pompalamalı hidro sistemleri, ESS birimleri için enerji sağlayıcı olmasına rağmen, herhangi bir güç sağlayıcı ESS ile HESS oluşturmak için hibrid yapılmamıştır.

5. UYGULAMALAR

Genel olarak bir hibrid enerji depolama sistemi, depolama birimlerinin tüm uygulamalarını sunabilmelidir; fakat onların olağanüstü özellikleri bazı spesifik uygulamalarda ortaya çıkmakta ve birkaç uygulamada performansı geliştirmektedir. Özellikle, taşımacılık ve iklimlendirme uygulamaları için

uygundur. Örneğin elektrikli araçlar gibi bazı durumlarda kabulü belirleyecek önemli anahtar faktörlerdir. Ulaşım sektöründen, şebeke desteğine kadar çeşitli uygulamalarda, enerji kaynağı olarak hibrid enerji depolama sistemleri kullanılmaktadır. Uygulamaların ayrıntıları aşağıda açıklanmaktadır:

5.1. Elektrikli ulaşım

Günümüzde, enerji kaynaklarının gelecekteki belirsiz durumu nedeniyle, çevresel, ekonomik ve hatta siyasi endişeler enerji verimliliği politikaları ve temiz enerji kullanımı çok dikkat çekmektedir. Bu amaçla, ulaşım sektöründe hem özel hem de kamuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özel taşımacılık alanında, yakıt pilli taşıtlar, hibrid elektrikli taşıtlar, fişli elektrikli taşıtlar, bataryalı elektrikli taşıtlar gibi içten yanmalı motorların yerini almak veya geliştirmek için çeşitli alternatifler önerilmektedir. Bu alternatifler var olan veya çeşitli tahrik sistemleri ile içten yanmalı motoru değiştiren veya kullanımını geliştiren genel özelliklerdir. Yukarıda bahsedilen elektrikli ve hibrid taşıtlarda, tahrik grubu ana elemanı genellikle yakıt pilini ve bataryaları içeren güç kaynağıdır. Bataryanın veya yakıt hücresinin ömrü, şarj ve deşarj döngülerinin sınırlarına bağlı olarak etkilenir. İlaveten yüksek güç sırasında hızlanma gibi düşük zaman periyotlarında depolama sistemi başarısız olabilir.

Tablo 5. Elektrikli araçlarda HESS uygulamaları [1]

HESS Teknolojisi	HESS Uygulaması
Enerji Güç sağlayıcı sağlayıcı	Elektrikli araç
Batarya Süperkapasitör SMES Volan	Batarya güçlü araçlar
Yakıt pili Süperkapasitör SMES Batarya	Yakıt pilli araçlar

Tablo 5, ulaşım sektöründeki HESS uygulamalarını göstermektedir. Ayrıca özel karayolu ulaşımının yanı sıra, tren ulaşımında da HESS'lerinden yararlanılmaktadır. Elektrikli demiryolu sistemlerinde hızlanma ve yavaşlama yüzünden güç tüketimi çok değişkendir. Bu dalgalanmaları düzleştirmek için, ESS'ler demiryolu trafo bölgesinde veya trende kurulabilir. Güç değişimlerini düzeltmenin yanı sıra ESS biriminden, taşıttaki faydalı frenleme enerjisinin yeniden kullanımı için faydalanılabilir. Bu nedenle, trenlerde gerekli sabit güce ek olarak, yavaşlama sırasında kaynağa büyük bir güç geri beslemesi ve trenin hızlanması sırasında güç kaynağından büyük güç çekimi gereklidir. Bu gereklilikler, tek bir ESS birimi ile sağlanamayan enerji depolama karakteristiklerini büyük ölçüde etkiler. Bu durumda, bir HESS birimi çözüm olabilir. Genellikle, yüksek güç yoğunluğu ve süperkapasitör ve SMES gibi yüksek devir aygıtları, bataryalar veya yakıt pilleri ile hibrid edilirler. Elektrikli ulaşım uygulamalarında amaç, süperkapasitör, nadiren SMES ve volandır. Yüksek çevrim ömrü ve güç yoğunluğu yüzünden bataryalarla veya yakıt pilleri ile bağlantılı batarya güçlü ve yakıt pilli araçlar kullanılmaktadır. Ayrıca, yakıt pilli taşıtlarda, yakıt pilinin

batarya ile hibrid edilmesi önerilmektedir.

5.2. Yenilenebilir enerji

Şebekede, yenilenebilir kaynaklar, aralıklı yapılarından dolayı güç kalitesi sorunları, güvenilirlik ve kararlılık gibi sorunlara neden olabilir. Bu problemlerle başa çıkabilmek için, ESS'nin yenilenebilir enerji entegrasyonu ve düzleştirme etkileri araştırılmaktadır. Yenilenebilir enerjide dalgalanmaları ortadan kaldırmak için depolama aygıtı olarak bataryaların kullanımı önerilmektedir. Ama, yenilenebilir kaynakların aralıklı yapısından dolayı, bu sistemlerde bataryalar kullanıldığında, tam ve kısmi şarj/deşarj döngüleri sırasında sorunlar ortaya çıkabilir.

Tablo 6. Yenilenebilir enerji sistemlerinde HESS uygulamaları

HESS teknolojisi	HESS uygulaması
Enerji Güç sağlayıcı sağlayıcı	Yenilenebilir enerji
Batarya Süperkapasitör	Genel Mikro şebeke Hibrid rüzgar- fotovoltaik Rüzgar Fotovoltaik
SMES	Genel Mikro şebeke Rüzgar Dalga
Volan	Genel Mikro şebeke Rüzgar
Yakıt pili Süperkapasitör	Genel Mikro şebeke Rüzgar Fotovoltaik
SMES	Genel mikro şebeke
Batarya	Genel mikro şebeke Hibrid rüzgar- fotovoltaik Fotovoltaik

Bu problem, batarya ömrü üzerinde olumsuz bir etki yaratır ve sistem maliyetlerini artırır. İlaveyen, diğer yenilenebilir sistemlerde bataryalar hariç farklı depolama aygıtlarından, güç kalitesi bozulmalarında, kısa zaman periyotlarında daha hızlı cevap ile daha yüksek güç yoğunluğu ile karakterize edilen ESS biriminden yüksek güç gereksinimleri olabilmektedir. Bu durum HESS kullanımını zorunlu kılmaktadır. Şebekeye aralıklı yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile, HESS’de uzun süreli enerji dengelemesi, kısa dönem güç kalitesi ve frekans regülasyonu uygulanabilir. Yenilenebilir enerji

sistemlerindeki HESS uygulamaları Tablo 6’da verilmektedir [1].

6. SONUÇLAR

Elektrik üretmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve aynı zamanda gittikçe artan sayıdaki çeşitli elektrik güçlü araçların kullanılması alanındaki Dünya çapındaki ilerleme, enerji depolama aygıtlarının uygulaması için eğilimleri arttırmaktadır. ESS teknolojileri tüm gereksinimleri karşılamaya uygun nitelikte olup, elektrikli ulaşım sektörü veya optimal yenilenebilir kaynaklara entegrasyonu için gerekli olan ideal karakteristik özelliklerin tümünü içermelidir. Diğer bir deyişle, homojen bir ESS, verim, fiyat, yaşam ömrü v.b. açısından sınırlı özelliklere sahiptir. Alternatif olarak, HESS şu anda mevcut ESS teknolojilerinden oluşan olası bir çözümdür. HESS konsepti, birbirinden farklı enerji depolama teknolojilerinin hibrid edilmesiyle kendi dezavantajlarını aynı anda gizlerken, yalnızca avantajlarını kullanarak kendi sınırlarını aşabilmesine olanak sağlar.

Bu çalışmada, HESS’in ilerlemeleri ve çalışmaları için kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Elektrikli ulaşım sektöründe, bataryalı araçlar batarya-süperkapasitör hibrid yapısı ile iyi bir HESS oluşturmaktadır. Aynı zamanda, batarya ve/veya süperkapasitör ile yakıt pili hibrid yapıldığında HESS işlemsel olarak yakıt pilli taşıtlarda fonksiyonel olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji alanında, düzleştirme ve şebeke entegrasyonunda batarya-süperkapasitör pratik olarak HESS’de rüzgar enerji sistemlerinde uygulanabilir. Ayrıca, yaygın olarak batarya-süperkapasitör veya yakıt pili-batarya HESS sistemleri ile fotovoltaik santralleri desteklemek

önerilmektedir. İlâveten, rüzgar-fotovoltaik yenilenebilir hibrid enerji sistemlerinde yakıt pili-batarya ile HESS tarafından iyi desteklenebilir.

Sonuç olarak, gelecekteki çeşitli uygulamalarda HESS'lerini kullanmanın olumlu etkileri olacaktır. Bununla birlikte, işlevsellikleri geliştirmek ve fizibilitelerini göstermek için daha fazla araştırma ve geliştirme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Hemmati R., Saboori H., 2016, "Emergence of hybrid energy storage systems in renewable energy and transport applications-A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 65, pp.11-23.
- [2] Luo X., et al, 2015, "Overview of current development in electrical energy storage technologies and the applications potential in power system operation", Applied Energy 137, pp.511-536.
- [3] Gallo A.B., 2016, "Energy storage in energy transition context: A technology review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, pp.800-822.
- [4] Aneke M., Wang M., 2016, "Energy storage technologies and real life applications-A state of the art review", Applied Energy 179, pp.350-377.
- [5] Amrouche S.O, et al, 2016, "Overview of energy storage in renewable energy systems", International Journal of Hydrogen Energy 41, pp.20914-20927.
- [6] Bocklisch T., 2016, "Hybrid energy storage approach for renewable energy applications", Journal of Energy Storage 8, pp.311-319.
- [7] S.Lemofouet, A.Rufer, 2006, "A Hybrid energy storage system based on compressed air and supercapacitors with maximum efficiency point tracking (MEPT)", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53 (4), pp.1105-1115.
- [8] P.Zhao, et al, 2014, "Design and thermodynamic analysis of a hybrid energy storage system based on A-CAES (adiabatic compressed air energy storage) and FESS (flywheel energy storage system) for wind power application", Energy, Vol. 4, pp.674-684.