

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK ÖLÇEKLİ SABİT ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ İÇİN
BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurullah KOCAASLAN
36203628025

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar ALTIN

Şubat 2024

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK ÖLÇEKLİ SABİT ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ İÇİN
BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurullah KOCAASLAN
36203628025

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar ALTIN

Şubat 2024

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serdar ALTIN'a,

Bütün hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Büyük Ölçekli Sabit Enerji Depolama Sistemleri İçin Batarya Teknolojilerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlâk ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Nurullah KOCAASLAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1.GİRİŞ ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ DEPOLAMA.....	1
1.1 Enerji Depolamanın Gerekliği.....	3
1.2 Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu.....	4
2.BATARYA VE ENERJİ DEPOLAMA.....	7
2.1 Geçmişten Günümüze Bataryaların Rolü.....	9
2.1.1 Pillerin tarihi gelişimi.....	9
2.2 Enerji Depolama Sistemlerinin incelenmesi.....	12
2.2.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu.....	12
2.2.2 Elektrik şebekesi dengelemesi.....	12
2.2.3 Enerji verimliliği ve yük dengeleme.....	13
2.2.4 Acil durumlarda güç kaynağı.....	13
2.2.5 Taşıt ve Mobil Uygulamalar.....	13
2.2.6 Endüstriyel ve ticari kullanımlar.....	13
3.ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ.....	15
3.1 Batarya Depolama Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajlarının incelenmesi.....	17
3.1.1 Elektrik Şebekesi Dengelemesi ve Frekans Kontrolü.....	17
3.1.1.1 Anlık enerji dengesi.....	17
3.1.1.2 Frekans kontrolü.....	18
3.1.2 Hızlı Yanıt Süresi	18
3.1.3 Yük Dengesi ve Verimlilik.....	18
3.1.4 Yenilenebilir Enerji Uyumluluğu	18
3.1.5 Kesintisiz Güç Kaynağı.....	18
3.2 Enerji Depolama Sistemleri Arasındaki Karşılaştırma.....	18
3.3 Enerji Depolama Sistemlerinin Mevcut Durumu.....	22
4.LİTYUM İYON BATARYALARIN İNCELENMESİ.....	26
4.1 Lityum-İyon Bataryaların Tarihsel Gelişimi.....	28
4.2 Lityum-İyon Bataryaların Kullanım Alanları.....	30
5.BÜYÜK ÖLÇEKLİ SABİT ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ.....	29
5.1.Büyük Ölçekli Sabit Enerji Depolama Sistemlerinde Lityum-İyon Bataryaların Kullanımı.....	32
5.2 Enerji Depolamada Kullanılan Temel Hesaplamalar.....	33
5.3 Enerji Depolama Sistemlerinin Faydaları.....	34
5.4 Lityum-İyon Bataryaların Geleceği.....	35
5.5 Li-ion hücre üretimi: Süreçlere ve ekipmanlara bir bakış.....	37
5.6 Sabit Batarya Depolama Sistemi Tasarımının İncelenmesi.....	38
5.6.1 Batarya Yönetim Sistemleri (BMS - Battery management systems).....	38
5.6.2 Kablo ve Bağlantı Sistemleri.....	38
5.6.3 İnvörtörler.....	39
5.6.4 Enerji Depolama Konteynerleri veya Modülleri.....	40
5.6.5 Batarya Enerji Depolama Modüllerinin Kullanım Alanları.....	43
5.6.6 Termal Yönetim Sistemleri.....	43
5.6.7 Kontrol ve İzleme Sistemleri.....	44

5.6.8 Güvenlik ve Acil Durum Sistemleri.....	45
5.6.9 Yangın Söndürme Sistemleri.....	45
5.6.10 Aşırı Voltaj veya Akım İçin Acil Durum Kesme Sistemleri.....	46
5.6.11 Sistem Güvenlik ve Kontrolü.....	46
5.6.12 Sabit Enerji Depolama Sistemi Tasarımı.....	47
6.DÜNYADA ENERJİ DEPOLAMA	47
6.1 Dünyada Enerji Depolama Kapasitesi.....	48
6.1.1 Kapsamlı Enerji Depolama Yol Haritası -Hindistan Örneği.....	51
6.1.2 Çin'in Gelişen Batarya ve Depolama Yatırımları.....	53
6.1.3 Almanya'da Batarya Depolama Sistemlerinin Gelişimi.....	54
6.1.4 Türkiye'deki Güncel Durum.....	55
6.2 Enerji Depolama Maliyetlerinin Değerlendirilmesi.....	56
6.3 Enerji Depolamada Geri Dönüşüm.....	56
6.4 Yapay Zeka(YZ) İle Enerji Depolama Sistemleri Gelişimi.....	57
6.5 Türkiye'de Enerji Depolama Firmaları ve Kuruluşları.....	59
6.6 Enerji Depolama Kuruluşlarından Bazıları.....	61
6.7 Dünya Çapında Enerji Depolamada Öncü Şirketler ve Kuruluşlar.....	61
7.SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Farklı enerji depolama sistemlerinin özellikleri.....	19
Çizelge 3.2: Teknolojiye Hazırlık Seviyesi.....	23
Çizelge 3.3: Enerji depolama teknolojilerinin mevcut durumu.....	24
Çizelge 6.1: Bölgelere göre elektrik ağlarına yapılan yatırım harcamaları,	50
Çizelge 6.2: 2022 Yılında Ülkelere Göre Batarya Üretim Kapasitesi.....	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 : Enerji Kaynakları Sınıflandırılması	3
Şekil 2 : Yıllara Göre Elektrik Üretim Miktarları [2]	5
Şekil 3 : Mart 2023 Dönemi Lisanslı Elektrik Üretimi [3]	6
Şekil 4 : Büyük Ölçekli Enerji Depolama Sistemlerinin Yapısı [6]	8
Şekil 5 :Bilgisayar teknolojilerindeki yeniliklerle karşılaştırıldığında pilin zaman içindeki kapasitesi	10
Şekil 6 : Parthian Pili	10
Şekil 7 : Yıllara göre ülkelerin enerji depolama gelişimi - Uluslar Arası Yenilebilir Enerji Ajansı (IRENA) [9]	14
Şekil 8 : Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması	15
Şekil 9 : Seçilmiş enerji depolama tekniklerinin temel özellikleri	16
Şekil 10 : Farklı Enerji Depolama Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi	17
Şekil 11 : Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere göre Enerji depolama sistemlerinin kullanım ömrünün karşılaştırılması	20
Şekil 12 : Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere göre Enerji depolama sistemlerinin kullanım verimlilik karşılaştırılması	21
Şekil 13 : Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere göre Enerji depolama sistemlerinin kullanım güç aralıklarının karşılaştırılması	22
Şekil 14 : Farklı pil teknolojilerinin hacimsel ve gravimetrik enerji yoğunluğu ve bazı hidrojen depolama malzemeleri açısından karşılaştırılması.....	27
Şekil 15 : Elektrikli araç uygulamaları için kullanılan şarj edilebilir piller.....	27
Şekil 16 : Lityum Elementinin Periyodik Tablodaki Yeri.....	28
Şekil 17 : Lityum İyon Pil Kesiti	29
Şekil 18 : Enerji depolama sistemleri	31
Şekil 19 : Enerji Depolama Sistemi Kullanımı [22]	31
Şekil 20 : Lityum İyon Pil Çalışma Prensibi.....	33
Şekil 21 : Küresel Lityum İyon Batarya Pazarı Hedefi.....	36
Şekil 22 : Enerji Depolama Konteynerinin Genel Görünüm.....	40
Şekil 23 : Batarya Depolama Modülü.....	41
Şekil 24 : Pil konnektörü.....	41
Şekil 25 : Jack	41
Şekil 26 : Kelemens	41
Şekil 27 : RJ45 Jack.....	42
Şekil 28 : Batarya Yönetim Sistemi	42
Şekil 29 : Enerji Depolama Sisteminin İç Yapısı.....	42
Şekil 30 : Enerji Paneli.....	42
Şekil 31 : Enerji Depolama Sistemi -Pilden Kabine[31]	42
Şekil 32 : Şebeke ölçeğinde bir batarya depolama sistemine genel bakış.....	48
Şekil 33 : Dünya çapında yenilenebilir enerji üretiminin geçişi.....	49
Şekil 34 : Bölgelere göre elektrik şebekelerinde yatırım harcamaları. (Yıl-Milyar \$)	50
Şekil 35 : Dünyada Yenilenebilir Elektrik Kapasitesi İstatistikleri.....	51
Şekil 36 : Hindistan'ın kapsamlı enerji depolama yol haritası.....	52
Şekil 37 : Türkiye'nin Batarya Depolama Kapasitesi Hedefi	55

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

EDS	: Enerji Depolama Sistemi
BEDS	: Batarya Ölçekli Enerji Depolama Sistemi
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
KGK	: Kesintisiz Güç Kaynağı
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
GES	: Güneş Enerji Santrali
SSD	: Katı Hal Sürücüleri
KW	: Kilowatt
MW	: Megawatt
GW	: Gigabayt
Li-ion	: Lityum İyon
Hz	: Hertz
SOH	: Batarya Sağlık Durumu
YZ	: Yapay Zekâ
LDES	: Uzun Süreli Enerji Depolama
LiFePO4 (LFP)	: Lityum Demir Fosfat
SHS	: Isıl Depolama
LHES	: Düşük Sıcaklıkta Enerji Depolama
PHES	: Pompa Depolamalı Hidroelektrik
GES	: Yerçekimi Enerji Depolama
CAES	: Basınçlı Hava Enerji Depolama
FES	: Volan Enerji Depolama
PSB	: Polisülfid Bromür
THS	: Teknolojiye Hazırlık Seviyesi
EES	: Elektrik Enerji Depolama
EA	: Elektrikli Araç

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜYÜK ÖLÇEKLİ SABİT ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ İÇİN BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurullah KOCAASLAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

ix + 69 sayfa

2024

Danışman: Prof. Dr. Serdar ALTIN

Dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı olması, üretim maliyetlerinin yüksekliği, ülkeleri dışa bağımlı ve pahalı enerji kullanmaya sevk etmektedir. Diğer yandan ise geleneksel enerji üretim yöntemleri çevreye verdiği zarar her geçen gün artmaktadır. Konvansiyonel yakıtların kullanılması, sera gazı salınımını artırmakta ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, nüfusun artması enerjiye olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu problemlerin çözümlerinden biri olan enerji depolama sistemlerinin önemi de giderek artmaktadır. Bu çalışmada enerji depolama sistemleri ve bataryalar hakkında genel bilgiler anlatılarak, büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri için batarya teknolojileri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca büyük ölçekli enerji sistemlerinin genel özellikleri anlatılarak çalışma prensipleri detaylandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: büyük ölçekli sabit enerji depolama, enerji depolama sistemleri, bataryalar, Lityum İyon batarya,

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF BATTERY TECHNOLOGIES FOR LARGE-SCALE STATIONARY ENERGY STORAGE SYSTEMS

Nurullah KOCAASLAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Energy Science and Technologies

ix + 69 pages

2024

Supervisor: Prof. Dr. Serdar ALTIN

The limited energy resources in the world with high production costs lead countries to depend on foreign sources with expensive energy prices. On the other hand, the environmental damage due to traditional energy production methods has increased day by day. The use of conventional fuels increases greenhouse gas emissions and can lead to, important problems that can affect the whole world, such as global warming, green gas release, etc. The development of technology and the increase in population also increase the need for energy sources. The importance of energy storage systems, which is one of the solutions to these problems, has increased these days. In this study, general information about energy storage systems and batteries is explained and information about battery technologies for large-scale stationary energy storage systems is investigated. In addition, the general characteristics of large-scale energy systems and their operating principle are explained.

Keywords: large-scale stationary energy storage, energy storage systems, batteries, Lithium-Ion battery,

1.GİRİŞ: ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ DEPOLAMA

Gelişen teknoloji ile birlikte enerji depolama sistemlerine olan ihtiyaç hızla artmış ve bu tür sistemlerin günlük hayatımıza girmesi ile birlikte elektrik şebeke performansını artırdığı ve gelecekteki enerji taleplerine daha sürdürülebilir bir şekilde yanıt vereceği öngörülmektedir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımı, enerji sektöründe önemli bir adım olabilirken, bununla birlikte doğru teknoloji seçimi ve uygulama sürecinin titizlikle yürütülmesi gerekmektedir.

Enerji şebekesi, artan enerji taleplerine uyum sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının hızla yayılmasını desteklemek amacıyla değişmektedir. Bu nedenle farklı teknolojiler ile yeni enerji depolama sistemleri ortaya çıkmaktadır ve bu cihazlar mevcut yeşil enerjinin genel kullanımını iyileştirmek için hem konut hem de ticari kullanımı güçlendirmek için kullanılması amaçlanmaktadır. Fotovoltaik ve rüzgâr uygulamalarını içeren çeşitli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, farklı depolama cihazlarının çeşitli sabit uygulama türleri için uygunluğunu belirleme üzerine yapılan çalışmalar hâlâ geliştirilmesi üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan incelemeler, enerji depolama cihazlarının mevcut durumunu ve uygulanabilirliğini inceleyerek, şebeke destek uygulamaları için en uygun depolama teknolojilerini bulmak üzerine kurgulanmaktadır. Ayrıca, teknik, ekonomik ve çevresel etki değerlendirme kriterleri çeşitli depolama cihazlarının özellikleri ve potansiyellerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Kapsamlı inceleme yapıldığında, elektrokimyasal depolama kategorisinden lityum-iyon pillerin düşük, orta ve büyük boyutlu uygulamalara, yüksek güç ve enerji yoğunluğu gereksinimleri için uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca elektrik depolama kategorilerinden ise kondansatörler, süperkapasitörler ve süperiletken manyetik enerji depolama cihazları yüksek güç uygulamaları için uygun olduğu görülmektedir. Enerji depolama cihazlarının teknik, ekonomik ve çevresel etki incelemelerine dayanarak, uygulamanın gereksinimlerinin doğru belirlenmesi ve çeşitli depolama cihazlarının kombinasyonunu içeren hibrid çözümlerin de sektörde uygun bir çözüm olduğu görülmüştür.

İlk Bataryalar (18. Yüzyıl) elektrik üretimi ve depolaması için kullanılmış ve Volta pilinin icadı, bu dönemdeki önemli bir adımlarından birisi olarak görülmektedir. 19. Yüzyılın başlarında ise Kurşun asit akülerin keşfi ile süreç bir adım daha hızlanmıştır.

Telekomünikasyon ve Taşımacılık (19. Yüzyıl): 19. yüzyılın sonlarına doğru,

telekomünikasyon sistemleri ve elektrikli araçlar gibi uygulamalarda bataryaların kullanımını artmıştır. İlk basit kimyasal bataryalar Alessandro Volta ve diğer bilim insanları tarafından geliştirildi. Bu bataryalar, elektrik akımı üretmek için farklı metaller ve elektrolit çözeltiler kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim ve Cep Telefonları (20. Yüzyıl): 20. yüzyılın başlarından itibaren bataryaların rolü kablosuz iletişim, cep telefonları ve diğer taşınabilir cihazlar için kritik hale gelmiştir. Bu dönemde kurşun-asit bataryalar gibi bazı geleneksel kimyasal bataryalar kullanılmıştır. Taşınabilir bataryaların gelişimiyle birlikte, telegraf cihazları gibi teknolojilerde kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv endüstrisinde akülerin kullanımı önemli bir noktaya ulaşmıştır.

Yenilenebilir Enerji ve Enerji Depolama (21. Yüzyıl): Geçmişte, elektrik enerjisi genellikle anında kullanılmıştır. Ancak günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi, enerji üretimini dönemsel hale getirmiştir. Bu nedenle, enerji depolamada bataryaların rolü daha kritik hale gelmiştir. Bu bataryalar, enerjiyi depolayarak gerektiğinde serbest bırakmak için kullanılır. Bu, enerji şebekelerinde dengesizliği azaltmaya, güneş panelleri veya rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir kaynaklardan gelen enerjiyi kullanılabilir ve erişilebilir hale getirmeye yardımcı olur.

Elektrikli Taşıtlar (EV'ler): Elektrikli taşıtlar, bataryaların en büyük kullanım alanlarından biridir. Elektrikli araçlar, bataryalardan güç alır ve benzinli veya dizel motorlar yerine kullanılırlar. Bu, sürdürülebilir taşımacılığın teşvik edilmesine ve çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur. Taşınabilir Elektronik Cihazlar: Mobil telefonlar, dizüstü bilgisayarlar, tabletler ve diğer taşınabilir elektronik cihazlar gibi cihazlar, günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu cihazların enerji gereksinimleri, küçük, hafif ve güçlü bataryaların geliştirilmesini teşvik etmiştir.

Bu dönemlerdeki gelişmelerle birlikte, bataryaların enerji depolamadaki rolü sürekli olarak büyümüş ve çeşitlenmiştir. Gelecekte, enerji depolama teknolojilerinin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesi beklenmektedir, bu da enerji şebekelerinin daha esnek hale gelmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yaygın olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır.

Büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri için en uygun batarya teknolojilerinin seçimine yardımcı olmak için örneğin çalışma sıcaklığı, ömrü, enerji yoğunluğu ve maliyet gibi çeşitli faktörleri ele alınacaktır. Ayrıca, batarya teknolojilerinin gelecekteki potansiyel gelişmelerini değerlendirecek ve bu gelişmelerin enerji depolama sektöründe nasıl etkiler yapabileceğini belirlemeye çalışılacaktır.

Tezin amacı, büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri için mevcut batarya

teknolojilerini incelemek, günümüzdeki depolama kapasiteleri hakkında bilgi vermek ve bu teknolojilerin faydalarını, sınırlamalarını ve gelecekteki potansiyel gelişmelerini incelemektir. Sonuç olarak, bu tez, büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri için batarya teknolojileri hakkındaki mevcut bilgi ve gelişmeleri sunacak ve bu alanda yapılan ve yapılması gereken araştırma ve geliştirme çalışmalarını değerlendirecektir.

1.1 Enerji Depolamanın Gerekliliği

Endüstrinin ve teknolojinin hızla gelişmesi daha büyük güçlerde elektrik enerjisi ihtiyacını doğurmuştur. Fosil kaynaklardan üretilen enerji zamanla kaynakların azalmasından dolayı alternatif, yerine yenisi konulabilen, temiz, çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarına ihtiyaç oluşmuştur. Bunlar arasında en önemli yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş ve rüzgâr gibi kaynakları bu alanda büyük bir öneme sahiptir. Şekil-1’de enerji kaynakları sınıflandırılmıştır.

Enerji Kaynakları	
Kullanışlarına Göre	Dönüştürülebilirliklerine Göre
A) Yenilenemez (Tükenir) 1) Fosil Kaynaklı <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kömür ➤ Petrol ➤ Doğal Gaz 2) Çekirdek Kaynaklı <ul style="list-style-type: none"> ➤ Uranyum ➤ Toryum 	A) Birincil (Primer) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kömür ➤ Petrol ➤ Doğal gaz ➤ Nükleer ➤ Biyokütle ➤ Hidrolik ➤ Güneş ➤ Rüzgar ➤ Dalga, Gel-Git
B) Yenilenebilir (Tükenmez) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hidrolik ➤ Güneş ➤ Biyokütle ➤ Rüzgar ➤ Jeotermal ➤ Dalga, Gel-Git ➤ Hidrojen 	B) İkincil (Sekonder) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Elektrik, Benzin, Motorin ➤ İkincil Kömür ➤ Kok, Petrokok ➤ Hava Gazı ➤ Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)

Şekil 1 : Enerji Kaynakları Sınıflandırılması

Şekil 1 incelendiğinde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzde en çok rağbet gören ve dünyamızın geleceği için önem arzeden bir alan olup, bu alandaki çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Enerji üretme sistemlerinin sistem kararlılığı, arz güvenilirliği, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, üretim, iletim, dağıtım problemlerinin minimuma düşürülmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi enerjinin depolanmasını zorunlu kılmıştır. Yenilenebilir Enerji Üretim sistemlerinde depolama; üretim olduğu zaman depolama, üretimin az veya hiç olmadığı durumlarda depolanan enerji sistemi desteklemektedir. Enerji depolama sistemlerinin gelişmesi, kullanılan teknolojileri geliştirmek, enerji kalitesini (gerilim düşümü, güç kaybı, hattaki harmonikler, dalgalanmalar vb. önlenmesi) artırmaktadır.

1.2 Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu

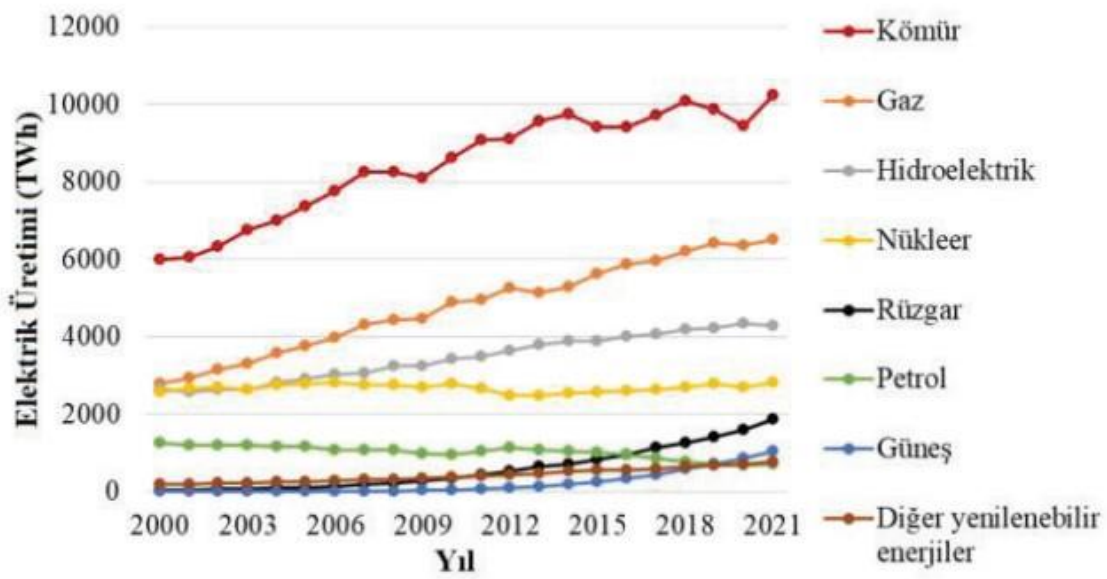
Depolama sistemlerinin, kısa bir süre önce ekonomik olarak mümkün olmayan görevleri üstlenmeye başladığı bir aşamaya gelmiştir. Bu nedenle, birçok yatırımcı şu anda bu uygulamalara yatırım yapmaya hazır ve depolama sistemlerinin başarılı bir iş fırsatı olabileceği yeni alanları aramaktadır. Ne yazık ki, birçok ülkede enerji depolamanın geleneksel güç sistem yapısı içindeki rolünü belirlemedeki zorluklar nedeniyle hala düzenleyici engeller bulunmaktadır, çünkü bu yapı üretim, iletim ve tüketim aşamalarını içermektedir.

Şekil 2’de, çeşitli enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim miktarları detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bu grafik, biyokütle, atık, jeotermal, dalga ve gelgit enerjilerini içeren diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını göstermektedir. Özellikle, kömürden elde edilen elektrik enerjisi genel olarak yıllara göre artış göstermektedir. 2018’den itibaren ise kömüre bağlı elektrik üretimi azamaya başladığı ve bununla birlikte 2021’de tekrar yükselerek en yüksek değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum aslında istenmeyen bir sonuçtur. Bu sonuç günümüzde küresel çapta en çok kullanılan birincil enerji kaynağının kömür olduğunu göstermektedir, ve bu kaynak 10244 TWh ile elektrik üretiminde lider konumda bulunmaktadır. Gaz kaynağı ise elektrik üretiminde ikinci büyük paya sahiptir ve zamanla artış göstermektedir. Nükleer ve petrol kaynaklı elektrik üretiminde ise 2000’li yıllar boyunca belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. [2]

Yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklandığımızda, rüzgâr ve güneş enerjisi 2021’de hidrolik enerji hariç diğer tüm yenilenebilir kaynakları geride bırakarak en çok elektrik

üreten kaynaklar olmuştur. Rüzgârdan elde edilen enerji, 2000'li yılların başından itibaren sürekli bir artış trendindedir. Güneş enerjisinde ise 2009 yılına kadar belirgin bir üretim olmamış, ancak son yıllarda artan bir eğilim gözlemlenmiştir.

Öte yandan, hidrolik enerji hala en fazla elektrik üretimine sahip yenilenebilir enerji kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır, bu durum Global Electricity Review (2022) tarafından da vurgulanmaktadır. Geleceğe yönelik hedeflere baktığımızda, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşabilmek için dünya genelinde yıllık temiz enerji yatırımının 2030 yılına kadar üç kat artması ve yaklaşık 4 trilyon doları aşması beklenmektedir. [1].

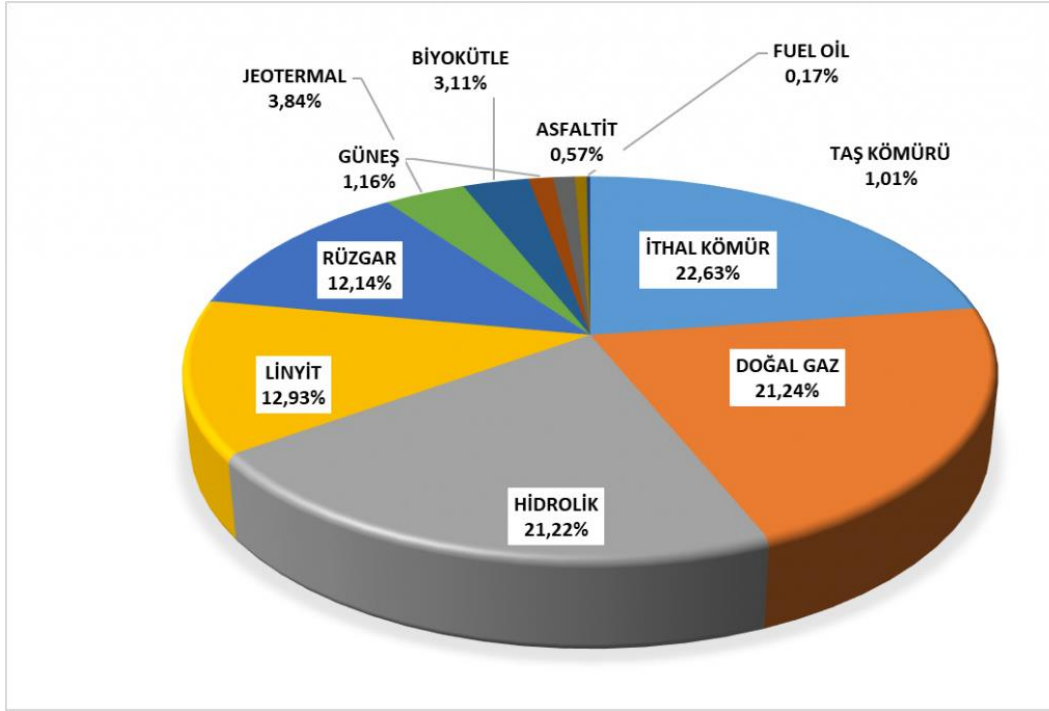


Şekil 2 : Yıllara Göre Elektrik Üretim Miktarları [2]

Türkiye’de ise; 2023 yılı Mart ayına ait verilere göre, jeotermal kaynaklardan elde edilen elektrik üretimi, toplam elektrik üretimi içinde %3,84'lük bir paya sahip olup, bu miktar 971.658,30 MWh değerindedir. 2022 Mart ayı ile kıyaslandığında, bu oranın % -5,81'lik bir düşüş gösterdiği görülmektedir [3].

Elektrik Piyasası Mart ayı raporuna göre [3], 2023 yılının Ocak-Mart döneminde toplam elektrik üretimi 77.720.747,42 MWh olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemde, hidroelektrik, rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji, toplam üretimin %35,95'ini temsil eden 27.938.023,77 MWh elektrik üretmiştir. Ancak, bir önceki yıla kıyasla yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik miktarında bir azalma gözlenmiştir. Geçtiğimiz yıl, yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik, toplam üretimin %42'sini oluşturmuştu. Şekil 3’te pasta dilimi şeklinde değerler belirtilmiştir ve en yüksek elektrik üretiminin kömürden sonra hidroelektrik santrallerden elde edildiği açıkça

görülmektedir. Bu üretimi doğal gaz takip etmektedir. Bununla birlikte yakın zamanda çalıştırılması planlanan nükleer santrallerle birlikte ülkemiz açısından yeni bir kaynak daha sisteme eklenecektir.



Şekil 3 : Mart 2023 Dönemi Lisanslı Elektrik Üretimi [3]

2. BATARYA VE ENERJİ DEPOLAMA

Enerji depolama sistemleri, elektrik sistemlerinde enerji stoklama ve kullanma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, elektrik üretiminde ve dağıtımında güvenilirliği ve esnekliği artırmak için kullanılır. Batarya teknolojileri, bu tür sistemlerin verimliliği, kapasitesi ve ömrü açısından kritik öneme sahiptir.

Enerji depolama sistemleri, elektrik şebekelerinde pek çok fayda sağlamaktadır. Bunlar arasında güç kalitesi parametrelerinin iyileştirilmesi, gerilim profilinin düzeltilmesi, frekans regülasyonu, yük kaydırma, talep yönetimi, dağıtık üretim birimlerinin entegrasyonu gibi önemli avantajlar bulunmaktadır. Bu sistemler, şebekelerdeki güç salınımı ve yük değişimi gibi sorunları azaltarak elektrik kesintilerinin önüne geçmeye yardımcı olabilir.

Bununla birlikte, uygun teknoloji seçimi, bu faydaları maksimize etmek ve verimliliği artırmak açısından son derece önemlidir. Bir metodoloji geliştirmek, enerji depolama sistemlerinin uygulanabilirliği ve etkinliği için kritik bir adımdır. Bu metodoloji, faydaların belirlenmesi, teknoloji seçimi sürecinde dikkate alınması gereken faktörlerin değerlendirilmesi ve en uygun çözümün belirlenmesi için rehberlik edebilir.

Enerji depolama teknolojileri arasında birçok seçenek bulunmaktadır: batarya depolama sistemleri (örneğin lityum iyon, kurşun asit), hidroelektrik depolama, termal depolama, mekanik depolama (örneğin basınçlı hava depolama) vb. Her bir teknolojinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır ve belirli bir uygulama için en uygun olanı seçmek, verimliliği ve maliyet etkinliğini belirleyebilir.

Önerilen metodoloji, belirli bir elektrik şebekesi için ihtiyaçları değerlendirerek faydaları tanımlamak, teknoloji seçimini yaparken ekonomik, teknik ve çevresel faktörleri değerlendirmek ve en uygun enerji depolama çözümünü belirlemek için kapsamlı bir analiz sağlayabilir. Bu, enerji sürekliliği, güvenilirlik ve şebekenin genel performansı açısından önemli bir adım olabilir.

Elektrik şebekeleri için enerji depolama sistemleri, elektrik enerjisini depolayarak ve gerektiğinde şebekeye geri aktararak temel amaçlarını gerçekleştirir. Bu sistemler, kontrol sistemleriyle birlikte kurularak sadece yerel değil, aynı zamanda şebekenin tüm ekipmanlarını koordineli bir şekilde kontrol etme imkanı sunar. Bağlı bir enerji depolama

Yenilenebilir enerji kaynakları gibi dalgalı üretim profillerine sahip birimlere hızlı tepki verebilmeli ve diğer üretim kaynaklarının güç dalgalanmalarına uyum sağlayabilmeli ve enerji depolama sisteminin şarj/deşarj süreçlerinde oluşan enerji kayıpları minimum seviyede olmalıdır. [5]

2.1 Geçmişten Günümüze Bataryaların Rolü

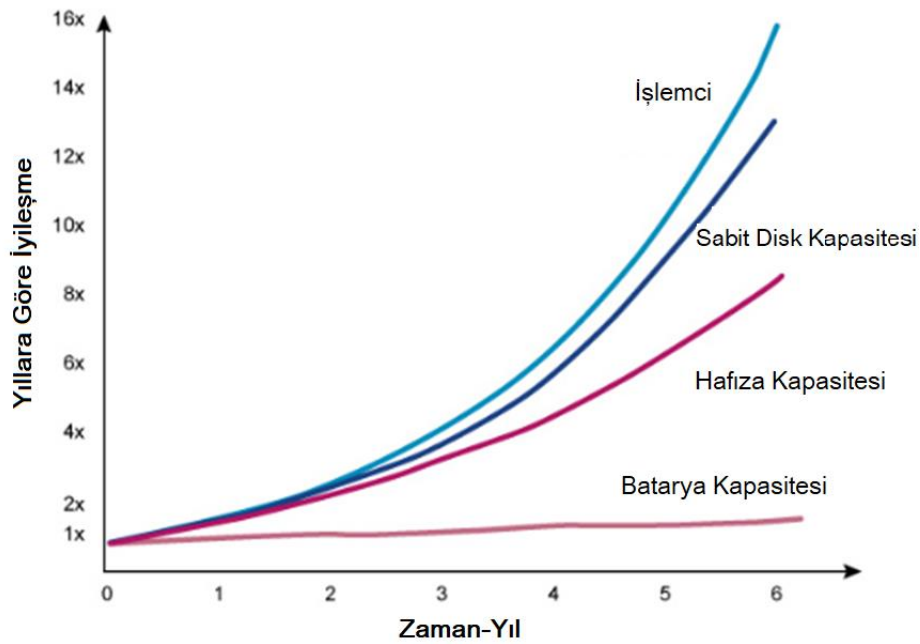
Enerji depolama sistemlerinin geçmişi, 20. yüzyılın başlarında kurşun asit bataryaların DC yükleri beslemek için kullanılmasıyla başlamıştır. Zaman içinde, bu teknolojiler şebekelerde talep kontrolü, güç kalitesi iyileştirmeleri, güvenilirlik artışı ve şebekenin daha istikrarlı hale getirilmesi gibi alanlarda geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen kesintili elektrik üretimi, dağıtık üretim birimlerinin artan kullanımıyla birlikte şebekelerin işleyişini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu yeni yapıdaki işletim zorluklarıyla başa çıkabilmek için enerji depolama sistemlerinin kullanımı, şebekeleri daha güvenilir ve istikrarlı hale getirme konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Enerji depolama sistemleri, yönetmeliklerin olmadığı sistemlerde arbitraj yapmak yani depolama ile elektrik fiyatları yüksekken satma, düşükken depolama veya dağıtık üretim birimlerinin ürettiği enerjinin fiyatını artırmak gibi amaçlarla da kullanılmaktadır.

Enerji depolama sistemlerine en temel elemanı olan Pillerden başlayacak olursak; "Pil", genellikle tek bir hücreden oluşan enerji depolama ve dönüşüm cihazını ifade eder. Örneğin, AA piller, tek bir hücreden oluşan bir enerji kaynağıdır. Öte yandan, "batarya" genellikle birden fazla pili bir araya getirerek oluşturulan bir enerji depolama ve dönüşüm sistemini ifade eder. Bir batarya, birden çok hücreyi içeren ve genellikle bir cihazın güç kaynağı olarak kullanılan bir yapıdır. Örneğin, bir akıllı telefon bataryası birden fazla hücreden oluşur. Kısacası, "pil" genellikle tek bir hücreyi ifade ederken, "batarya" birden fazla hücrenin bir araya getirilmesiyle oluşan bir enerji depolama ve dönüşüm sistemini ifade eder.

2.1.1 Pillerin tarihi gelişimi

Enerji depolamada bataryaların rolü, geçmişten günümüze büyük bir evrim geçirmiştir ve enerji endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Bataryaların tarih boyunca rolünün aşağıdaki gibi özetleyebiliriz. "Pil" kelimesi , savaştaki bir grup topla ilgili olarak "dövme, vurma eylemi" anlamına gelen Eski Fransızca batterie kelimesinden gelir. 1700'lü yıllarda bilim

insanları, bir enerji depolama cihazı bulma çabası içinde, birbirine bağlı birden fazla elektrokimyasal hücreyi temsil etmek üzere "pil" terimini benimsediler. [7] Pil, bir ayırıcıyla izole edilen ve iyonların hareketini desteklemek için elektrolite batırılmış iki elektrottan oluşur. Her biri benzersiz özellikler sunan ancak hiçbiri nihai bir çözüm sunmayan yeni aktif malzemeler denir. İyileştirmeler yavaş olmuştur. Moore Yasası bir entegre devredeki transistörlerin sayısını her iki yılda bir iki katına çıkarırken, lityum iyonun (Li-iyon) 1991'de piyasaya sürülmesinden sonraki on yıllar boyunca kapasite artışı yılda yaklaşık yüzde 8 olmuştur. Şekil 5, enerji depolamayı karşılaştırmaktadır. Bilgisayar teknolojilerindeki yeniliklerle karşılaştırıldığında pilin zaman içindeki kapasitesini ifade etmektedir. 1965 yılında Gordon Moore, bir entegre devredeki transistör sayısının her iki yılda bir ikiye katlanacağını söylemiştir. Bir aküye uygulandığında Moore Yasası, bir arabadaki marş aküsünü madeni para boyutuna kadar küçültecektir. [8]

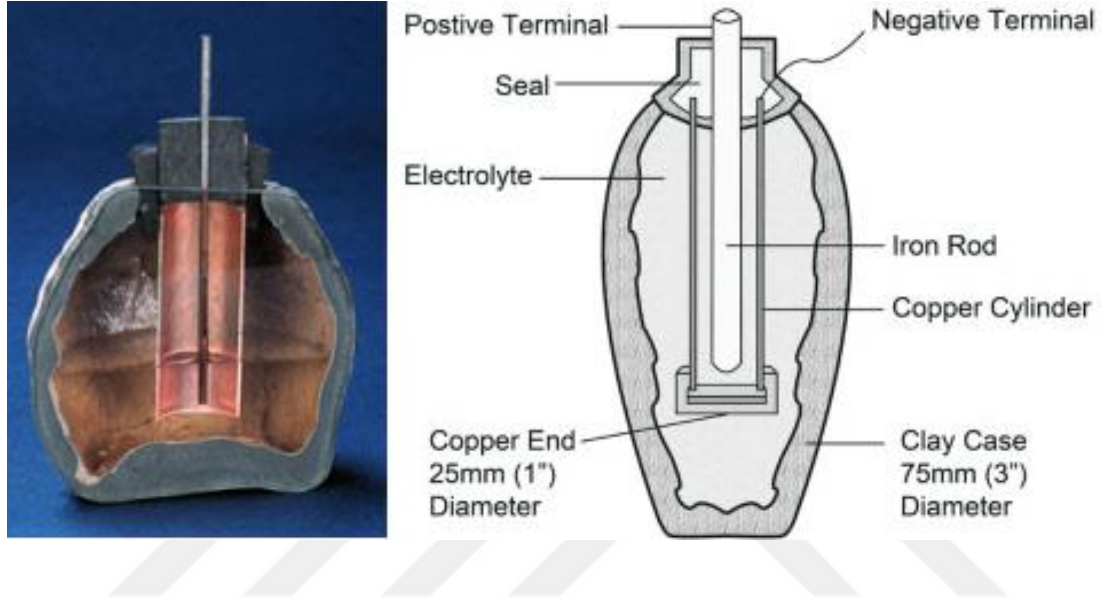


Şekil 5 : Bilgisayar teknolojilerindeki yeniliklerle karşılaştırıldığında pilin zaman içindeki kapasitesi

Son 400 yılda yapılmış olan en çarpıcı ve yeni keşiflerden biri elektrik olmuştur. Ancak pratik kullanımı, aslında 1800'lerin ortalarından itibaren mümkün hale gelmiştir. İlk dikkat çeken kamu çalışmalarından bazıları şunlardır: 1882'de Berlin'de sokak lambaları, 1893'te 250.000 ampul ile aydınlatılan Chicago Dünya Fuarı ve Paris 1900 Dünya Fuarı sırasında Seine Nehri üzerinde bir köprü.

Elektriğin kullanımı, daha da geriye gidebilir. 1936'da Bağdat yakınlarında bir demiryolu

inşa edilirken, işçiler Parthian Pili olarak bilinen ve prehistorik bir pil olduğuna inanılan bir nesne buldular. Bu obje, Part İmparatorluğu'na dayanmaktadır ve yaklaşık 2.000 yıl öncesine tarihlenmektedir. Pil, sirke çözeltisiyle doldurulmuş bir kil kavanozdan oluşmaktaydı ve içine bakır bir silindire çevrili bir demir çubuk yerleştirilmişti. Bu cihaz, 1.1 ile 2.0 volt arasında elektrik üretmekteydi. [8]



Şekil 6 : Parthian Pili [8]

Tarih öncesi bir pilin kil kavanozunda, bakır bir silindire çevrelenmiş bir demir çubuk bulunur. Sirke veya elektrolitik solüsyonla doldurulduğunda kavanoz 1,1 ila 2 volt üretir. Cihazın elektrokaplama için kullanılması amacıyla bir yüzeye altın veya diğer değerli metallere bir katman eklenmesi mümkündür. Arkeolojik bulgular, Mısırlıların yaklaşık 4.300 yıl önce antimonu elektrolizle bakır üzerine kaplayarak galvanik tekniği keşfettiklerini göstermektedir. Babilliler, üzüm suyu bazlı bir elektrolit kullanarak mücevher üretiminde galvanik tekniği uygulayan ilk kişiler olabilir. Partlar (yaklaşık MÖ 250) ise Bağdat'ı yönetirken, gümüşü elektrolizle kaplamak için pil kullanmış olabilirler. [8]

Elektrik üretiminin eski yöntemlerinden biri, modern zamanlarda statik yük oluşturmaktır. 1660 yılında Otto von Guericke, tüyleri ve küçük kağıt parçalarını çeken büyük bir kükürt küresi kullanan bir elektrikli makine yaparak elektrik üretimine katkıda bulunmuştur [8]. Guericke, bu makineyle üretilen kıvılcıkların elektriksel nitelikte olduğunu kanıtlamıştır.

1744 yılında Ewald Georg von Kleist, Leyden kavanozu olarak bilinen metalik folyo ile kaplanmış bir cam kavanozda statik yük depolayan bir cihazı geliştirmiştir. Peter van Musschenbroek ve diğer bilim insanları, elektriğin bir sıvıya benzediğini düşünerek Leyden kavanozunu kullanarak statik elektriği inceledi. Bu kavanoz, yüksek voltajla yüklendiğinde metalik folyoya dokunduklarında güçlü bir şok yaşattır. Statik elektriğin ilk pratik kullanımı, Alessandro Volta'nın icat ettiği "elektrikli tabanca"ydı. Uzun mesafeli iletişim sağlamayı amaçlayan bu icat, tahta direklerle desteklenen bir demir tel aracılığıyla gerçekleştirilecekti. Ancak, bu iletişim bağlantısı asla kurulmadı. Şarj edilebilen ilk pil, 1859 yılında Fransız fizikçi Gaston Plante tarafından icat edildi. Luigi Galvani, 1791 yılında Bologna Üniversitesi'nde yaptığı deneylerle, kurbağanın kaslarının metal bir nesneye dokunulduğunda kasıldığını keşfetti. Bu keşif, hayvan elektriği olarak bilinmeye başladı. Galvani'nin deneylerinin etkisiyle, Luigi Galvani pozitif plakalar olarak çinko, kurşun, kalay ve demir; negatif plakalar olarak ise bakır, gümüş, altın ve grafit kullanarak galvanik elektrik üzerinde deneyler başlattı. Bu, galvanik elektriğe olan ilginin hızla artmasına neden olmuştur. [8]

1990 yılında ise Sony firması tarafından Li-iyon pillerin keşfedilmesi ile birlikte modern pil çalışmaları hız kazanmıştır.

2.2 Enerji Depolama Sistemlerinin incelenmesi

Enerji depolama sistemleri günümüzde enerji sektöründe giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Enerji depolama sistemlerinin önemi ve kullanım alanlarını inceleyelim.

2.2.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu

Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar ve güneş gibi, sürekli ve istikrarlı olmayan bir doğaya sahiptir. Enerji depolama sistemleri, bu kaynaklardan elde edilen enerjiyi depolayarak ve ihtiyaç olduğunda kullanarak enerji istikrarını sağlar. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılabilir.

2.2.2 Elektrik şebekesi dengelemesi

Enerji depolama sistemleri, elektrik şebekelerindeki dalgalanmaları dengeleyerek frekansı ve gerilimi kontrol eder. Ani enerji talebi artışlarında veya düşüşlerinde, depolama

sistemleri hızlı bir şekilde enerji sağlayarak şebekenin kararlılığını korur.

2.2.3 Enerji verimliliği ve yük dengeleme

Depolama sistemleri, zaman içindeki enerji talebi değişikliklerini dengeleyerek enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmaya yardımcı olur. Elektrik şebekelerindeki yük dengesizliklerini azaltır ve elektrik maliyetlerini optimize eder.

2.2.4 Acil durumlarda güç kaynağı

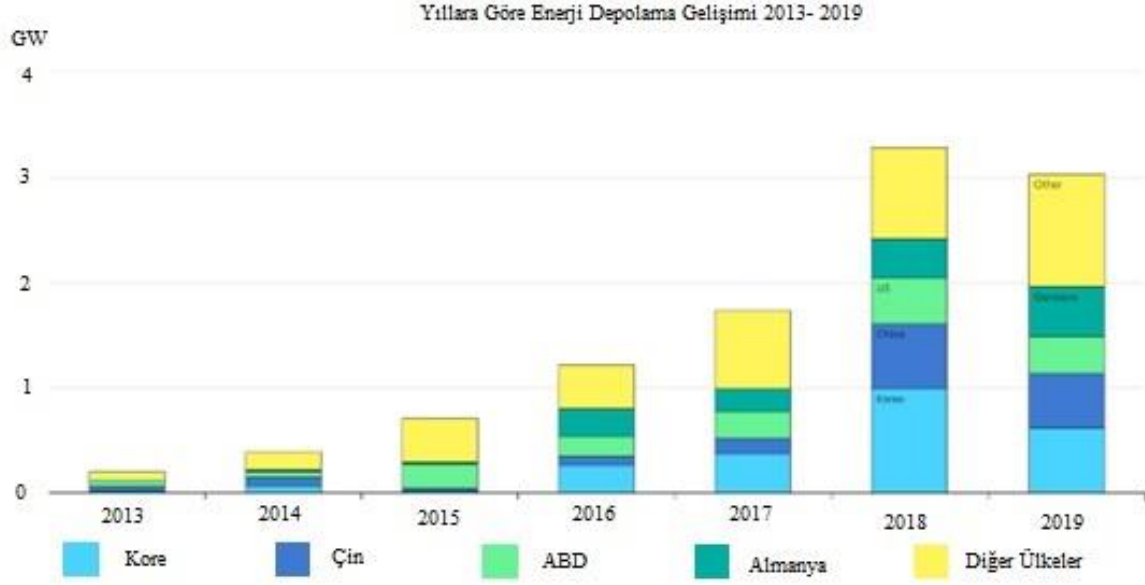
Özellikle kritik sistemler için, enerji depolama sistemleri acil durumlarda güç sağlayarak kesintisiz bir elektrik akışını sürdürür. Hastaneler, veri merkezleri ve diğer kritik altyapılar için güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılabilirler.

2.2.5 Taşıt ve Mobil Uygulamalar

Elektrikli araçlar ve taşıtlar için batarya teknolojisi, enerji depolama sistemlerinin mobil uygulamalarındaki önemli bir örnektir. Bu sistemler, taşınabilir cihazlardan elektrikli araçlara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

2.2.6 Endüstriyel ve ticari kullanımlar

Endüstriyel tesislerde ve ticari yapıların enerji yönetiminde, enerji depolama sistemleri enerji tüketimini optimize eder, enerji maliyetlerini düşürür ve enerji kesintilerine karşı koruma sağlar. Enerji depolama sistemleri, enerji sektöründe sürdürülebilirlik, verimlilik ve güvenilirlik açısından önemli bir rol oynar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yaygın ve etkin kullanımını sağlayarak, enerji sektörünün geleceği için kritik bir bileşendir. Enerji depolama sistemleri günlük yaşamın çoğunda kullanılmaktadır. elektronik araçlarda (bilgisayar, laptop, kamera, yangın, ses sistemleri) elektrik sistemleri, havacılık, uzay keşif çalışmaları, askeri alanlar ve çalışmalar, hastaneler, vb yerlerde kullanılmaktadır. Bunun en yaygın örneği Kesintisiz Güç Kaynağı denilen UPS(Uninterruptible Power Supply)'dir. Her geçen gün enerji depolama kapasitesi artmaktadır. Uluslar Arası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre enerji depolama piyasa değeri 2020 yılı itibari ile yaklaşık 14 milyar dolardır, bu rakam 2015 yılında 2.2 milyar dolardı.

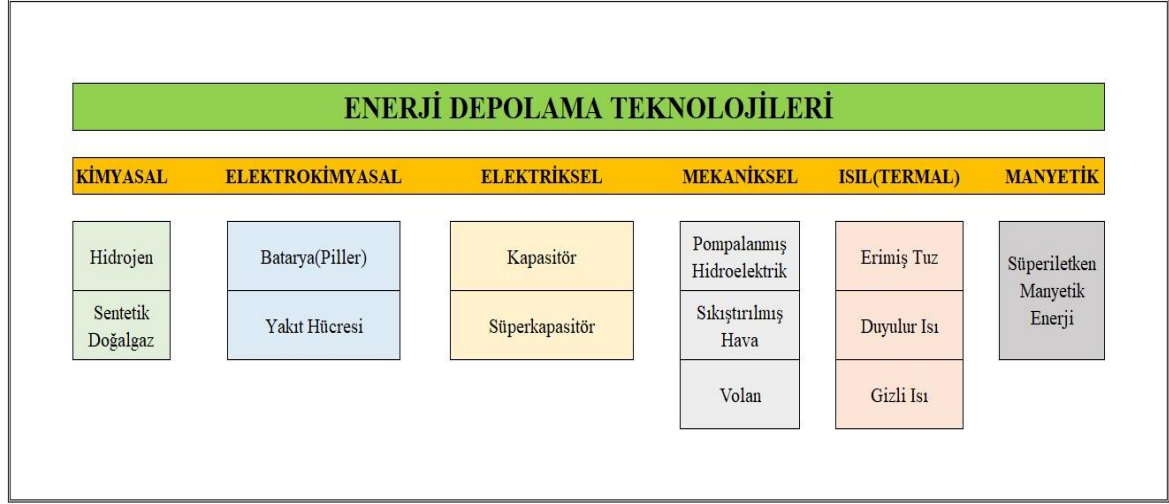


Şekil 6: Yıllara göre ülkelerin enerji depolama gelişimi - Uluslar Arası Yenilebilir Enerji Ajansı (IRENA) [9]

Rystad Energy'nin batarya depolaması raporuna göre [9], elektrik depolama teknolojilerinin gelişimi yeni başlamaktadır ve önümüzdeki beş yıl içinde hızlanması beklenmektedir. Küresel temiz enerji kapasitesindeki artış, sürekli enerji taşıma ihtiyacını beraberinde getirmektedir ve 2030'a gelindiğinde 400 gigavatsaati aşması tahmin edilmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarındaki yatırımların artmasıyla, depolama sistemlerinin önemi daha da artmaktadır. Bu yıl sonuna kadar mevcut kapasiteye 74 gigavatsaat daha ekleneceği öngörülmektedir. Son yıllarda Kuzey Amerika, Avrupa ve Çin gibi bölgelerde depolama alanındaki yatırımların artması beklenmektedir. İklim değişikliğiyle mücadelede fosil yakıtların azaltılması, depolama sistemlerine olan talebi artırmaktadır. Enerji dönüşümü için, yenilenebilir enerjinin yeterli olmadığı durumlarda elektrik depolama sistemlerinin, kömür ve doğal gaz gibi kaynakların yerini alabilmesi için yatırımlara ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır. Asya'da 2030'a kadar yıllık kapasite artışının 110 gigavata, Kuzey Amerika'da 20 gigavata ve Avrupa'da da 18 gigavata yakın olması beklenmektedir. Burada belirtmek gerekir ki enerji depolama kavramında "gigavatsaat" birimi enerjiyi ifade ederken, "gigavat" ise güç birimini temsil eder [9].

3. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Enerji depolama teknolojileri Kimyasal, Elektrokimyasal, Elektriksel, Mekaniksel, Isıl(Termal), Manyetik olarak gruplandırılmaktadır, Şekil 8.



Şekil 7 : Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması(yeniden düzenlenmiştir) [9]

Enerji depolama teknolojilerinde, büyük ölçekler için (Giga Watt, GW), orta ölçekler için (Mega Watt, MW) ve küçük ölçekliler için de (kilo Watt, kW) olarak değer almaktadırlar. Farklı enerji depolama teknikleri, güç kapasitesi, çevrim sayısı veya süresi, enerji yoğunluğu, verimlilik ve tepki süresi gibi parametreleri dikkate alarak karşılaştırmalı bir şekilde sunulmaktadır. Verimlilik ve Enerji Yoğunluğu esas alınır en yüksek olan Lityum-ion bataryalar olduğu görülmektedir. Yine verimliliği yüksek olmasına rağmen enerji yoğunluğu az olan süper kapasitörler dikkat çekmektedir. Güç kapasitesi yüksek olmasına rağmen verimliliği az olan Hidrojen depolama tekniğidir.

Farklı enerji depolama teknolojileri, farklı uygulama alanları, maliyetler, verimlilik ve çevresel etkiler açısından çeşitli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Her bir teknoloji, belirli koşullar altında farklı avantajlara sahiptir ve bir uygulamanın ihtiyaçlarına ve çevresel koşullarına bağlı olarak tercih edilebilir. Örneğin, rüzgar veya güneş enerjisi gibi değişken enerji kaynakları için batarya depolama sistemleri hızlı yanıt süreleri ve modüler yapılarıyla daha uygundur, ancak hidroelektrik depolama daha büyük ölçekli enerji depolama ihtiyaçlarını karşılayabilir. Bu teknolojiler, enerji depolama sistemleri portföyünde çeşitlilik sağlayarak daha güvenilir ve verimli bir enerji altyapısı oluşturabilir. Elektrik şebekesi dengelemesi ve frekans kontrolü, enerji depolama

sistemlerinin önemli kullanım alanlarından biridir. Bu sistemler, şebeke istikrarını korumak ve elektrik frekansını dengelemek için önemli bir rol oynarlar.

Enerji Depolama Tekniği	Güç Kapasitesi (MW)	Çevrim Sayısı veya Süresi	Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	Verimlilik (%)	Tepki Süresi
Süper kapasitör	0,01 – 1	10000 – 100000	10 – 20	80 – 98	10 – 20 ms
Pompa hidro	100 – 1000	30 – 60 yıl	0,2 – 2	70 – 85	saniye – dakika
Sıkıştırılmış hava	10 – 1000	20 – 40 yıl	2 – 6	40 – 75	saniye – dakika
Volan	0,001 – 1	20000 – 100000	20 – 80	70 – 95	10 – 20 ms
Kurşun asidik batarya	0,001 – 100	6 – 40 yıl	50 – 80	80 – 90	< saniye
NaS batarya	10 – 100	2500 – 4400	150 – 300	70 – 90	10 – 20 ms
Li-ion batarya	0,1 – 100	1000 – 10000	200 – 400	85 – 98	10 – 20 ms
Akış bataryası	1 – 100	12000 – 14000	20 – 70	60 – 85	10 – 20 ms
Hidrojen	0,01 – 1000	5 – 30 yıl	600 (@200 bar)	25 – 45	saniye – dakika
Sentetik doğal gaz	50 – 1000	30 yıl	1800	25 – 50	saniye – dakika
Erimiş tuz (ısıt)	1 – 150	30 yıl	70 – 210	80 – 90	dakika

Şekil 8: Seçilmiş enerji depolama tekniklerinin temel özellikleri [10]

Enerji depolama ünitesi	Başlıca Avantajı	Başlıca Dezavantajı	Potansiyel kullanım alanı
Batarya	En yaygınlaşmış elektrik enerjisi depolama teknolojisi	Düşük çevrim ömrü	Elektrikli taşıtlar, taşınabilir cihazlar, küçük güçlü yenilenebilir enerji sistemleri
UK Ultra Kapasitör	Uzun çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu	Elektrikli taşıtlar
Volan	Yüksek güç yoğunluğu	Boştaki yüksek kayıplar	Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonu, bazı uzay ve elektrikli taşıt uygulamaları
Pompanmış su ve sıkıştırılmış hava yaklaşımları	Oldukça büyük miktarda depolama olanağı	Gerekli arazi koşulları	Çok büyük güçlü yenilenebilir enerji sistemleri
Termal enerji	Güneş enerjisi gibi büyük bir kaynak potansiyeli	Depolama ve deşarj süresinin uzunluğu	Büyük miktarda enerji depolaması

Şekil 9 :Farklı Enerji Depolama Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi

3.1 Batarya Depolama Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajlarının incelenmesi

Depolama tekniklerinin avantajları arasında yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı yanıt süresi ön plana çıkar. Ayrıca, modüler yapıları sayesinde ölçeklenebilirlik sağlarlar ve çevre dostu lityum-iyon gibi gelişmiş batarya teknolojileri içerirler. Ancak, dezavantajları arasında üretim aşamasında nadir madenlerin kullanılması ve geri dönüşüm zorluğu gibi faktörler bulunmaktadır. Kapasite azaldıkça maliyetlerin artması da bu tekniklerin karşılaştırıldığı diğer bir dezavantajdır. Teknolojinin gelişmesiyle maliyetlerde düşüşe gidilmektedir.

3.1.1 Elektrik Şebekesi Dengelemesi ve Frekans Kontrolü

3.1.1.1 Anlık enerji dengesi

Elektrik şebekelerinde, anlık olarak talep ve arz dengesi sürekli olarak değişir. Enerji depolama sistemleri, bu dengesizlikleri hızlı bir şekilde dengeleyerek anlık enerji talebini karşılamak için enerji sağlar ya da depolar.

3.1.1.2 Frekans Kontrolü

Elektrik frekansı (50 veya 60 Hz gibi), şebekenin dengeli çalışması için kritik bir faktördür. Ani yük artışları veya azalışları, frekans dalgalanmalarına yol açabilir. Enerji depolama sistemleri, bu dalgalanmaları absorbe ederek frekansı stabilize ederler.

3.1.2 Hızlı Yanıt Süresi

Enerji depolama sistemleri, elektrik şebekesindeki dalgalanmalara hızlı bir şekilde tepki verebilirler. Acil durumlarda, anında enerji sağlayarak şebekeyi dengeleyebilirler, bu da kesintisiz bir enerji akışını sağlar.

3.1.3 Yük Dengesi ve Verimlilik

Depolama sistemleri, şebekedeki yük dengesizliklerini azaltarak enerji kullanımını optimize ederler. Düşük talep dönemlerinde enerji depolar ve yüksek talep anlarında enerjiyi geri vererek şebeke verimliliğini artırır.

3.1.4 Yenilenebilir Enerji Uyumluluğu

Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar ve güneş gibi değişken doğaları nedeniyle elektrik şebekesinde dalgalanmalara sebep olabilir. Enerji depolama sistemleri, bu değişkenlikleri

absorbe ederek şebekenin istikrarını sağlarlar.

3.1.5 Kesintisiz Güç Kaynağı

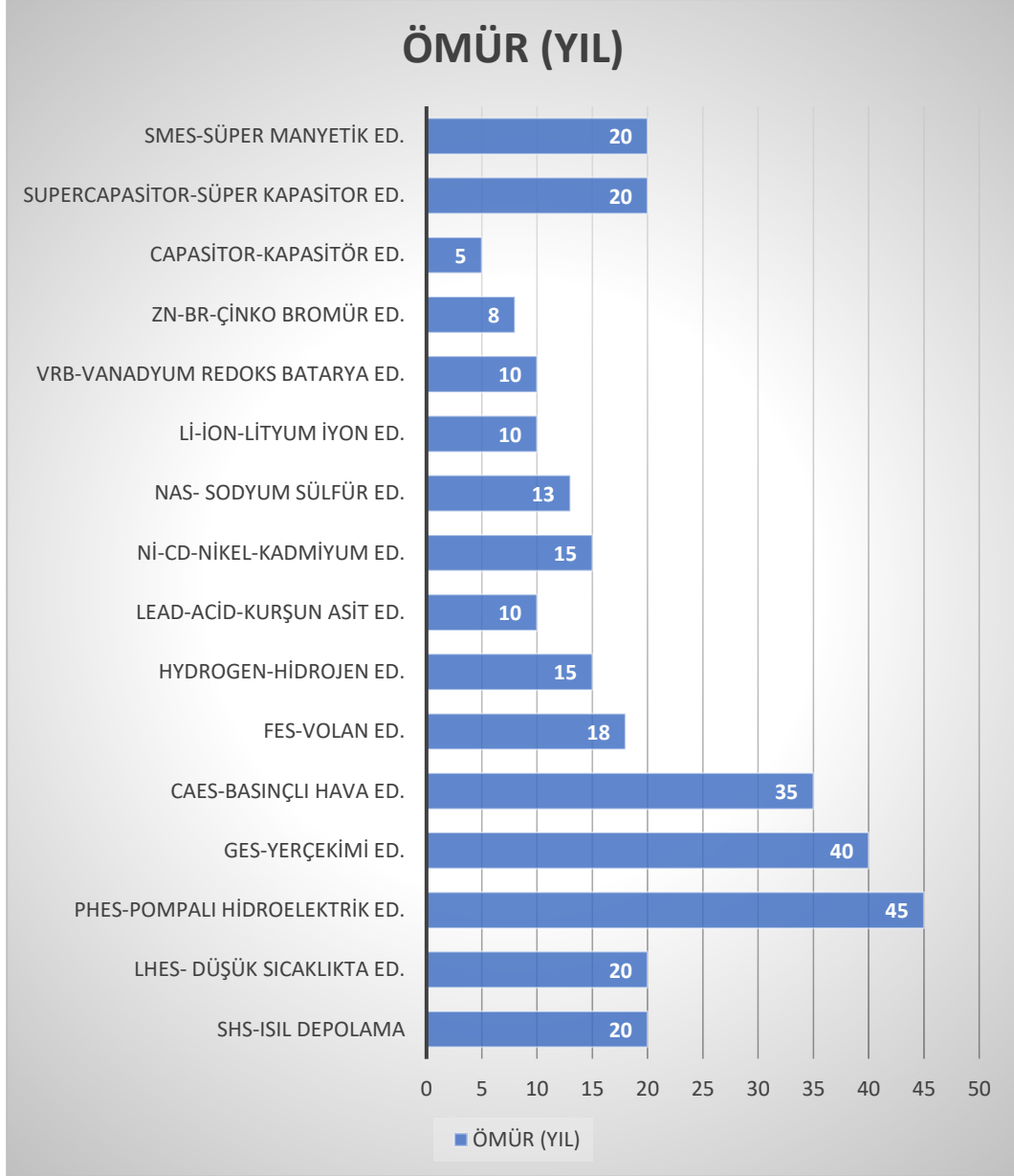
Elektrik şebekesi arızalarında veya kesintilerinde enerji depolama sistemleri, acil durumlarda güç sağlayarak kritik sistemlerin devamlılığını sağlarlar. Enerji depolama sistemleri, şebeke istikrarını korumak, güç dalgalanmalarını azaltmak ve frekans kontrolünü sağlamak gibi önemli görevleri yerine getirerek modern elektrik şebekelerinde kritik bir rol oynarlar. Bu sistemler, şebeke güvenilirliğini artırırken aynı zamanda enerji verimliliğini ve sürdürülebilirliği de artırır.

3.2 Enerji Depolama Sistemleri Arasındaki Karşılaştırma

Çizelge 3.1 [11,12,13,14], enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, güç derecesi, deşarj süresi, verimlilik ve ömür (yıl ve döngüler bazında) gibi çeşitli Enerji Depolama Sistemlerimin (EDS)'lerin tipik özelliklerini göstermektedir. Şekil 11-12-13, Çizelge 3.1'de verilen ortalama değerlere dayanarak seçilen EDS'lerin ömrü, verimliliği ve güç aralığını karşılaştırmaktadır.

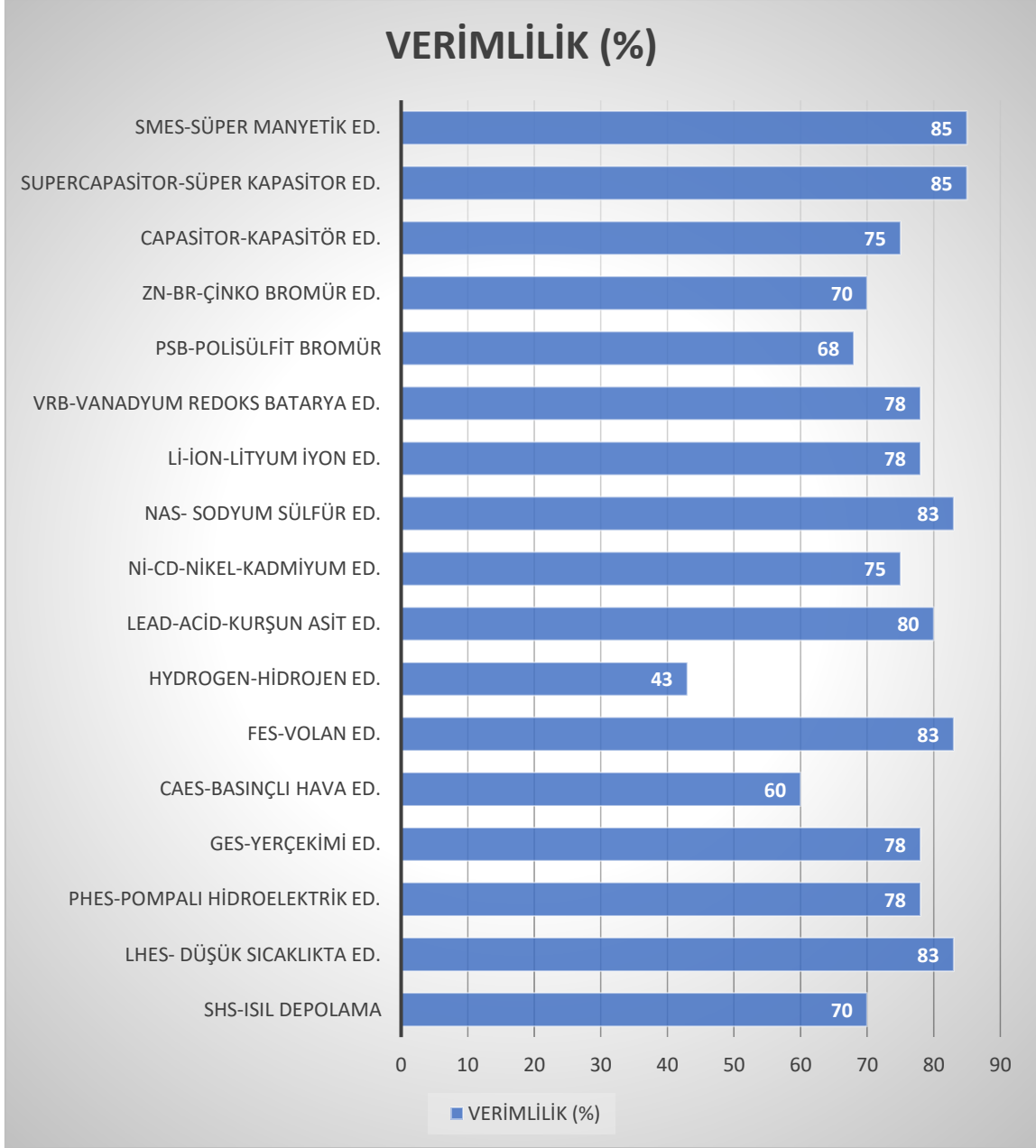
Çizelge 3.1: Farklı enerji depolama sistemlerinin özellikleri

Enerji Depolama Sistemleri	Güç Aralığı (MW)	Deşarj Süresi >	Güç Yoğunluğu (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Verim (%)	Ömür (yıl)	Çevrim Kapasitesi
SHS – Isıl Depolama	250	-	-	-	50-90	10-30	>5,000
LHES – Düşük Sıcaklıkta	5	-	-	-	75-90	10-30	-
PHES – Pompalı Hidroelektrik	10-5,000	1-24 saat	-	0,5-1.5	70-85	30-60	12x10 ³ - 30x10 ³
GES – Yerçekimi ED	40-1,600	1-4 saat	-	-	75-80	-	-
CAES – Basınçlı Hava	3-300	1-24 saat	-	30-60	40-80	20-50	0.5x10 ³ - 13x10 ³
FES - Volan	0.1-20	San-dk	400-500	5-80	70-95	15-20	20x10 ³ - 100x10 ³
Hidrojen	0.1-50	Saniye-24 saat	5-800	600-1,200	20-66	10-20	20x10 ³
Kurşun Asit	0-20	Saniye-Saat	75-300	30-75	70-90	5-15	200-2,000
Nikel Kadmiyum	0-40	Saniye-Saat	150-300	40-90	60-90	10-20	3,000-4,000
Sodyum Sülfür	0.05-8	Saniye-Saat	90-230	150-240	75-90	10-15	2,000-4,000
Lityum İyon	0-0.1	Dakika-Saat	360	100-200	70-85	5-15	1,000-10 ⁴
VRB- Vanadyum Redoks	<3	<10 saat	75-150	35-60	70-85	10	>16x10 ³
PSB – Polisülfid Bromür	<15	<20 saat	-	15-30	60-75	-	15x10 ³ – 20x10 ³
Çinko Bromür	-	Saniye – 10 saat	90-110	75-85	65-75	5-10	>12x10 ³
Kapasitör	0-0.05	Milisanियe – 1 saat	10 ⁵	0.05-5	60-90	5	>50x10 ³
Süper Kapasitör	0-0.3	Milisanियe – 1 saat	500-5,000	1.5-2,5	75-95	>20	>10 ⁵
SMES	1-10	Milisanियe – 8 d	500-2,000	0.5-5	>95	>20	>10 ⁵



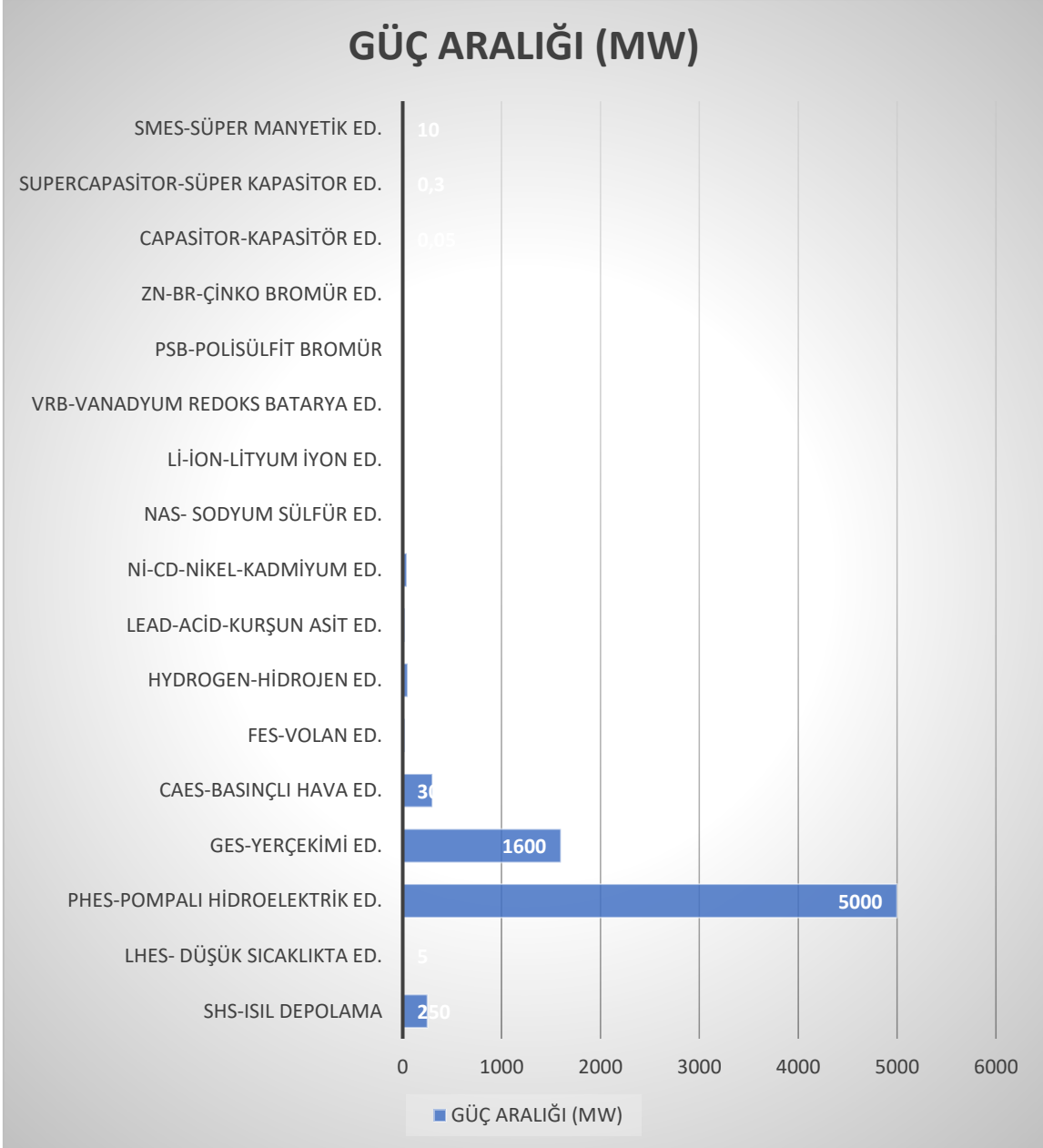
Şekil 11 :Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere göre Enerji depolama sistemlerinin kullanım ömrünün karşılaştırılması

Çizelge 3.1'deki durumu grafik olarak Şekil 11'de yorumlayacak olursak aşağıdaki gibi tablolar karşımıza çıkmaktadır. Bu tabloya göre ömür olarak kapasitörler çok düşük kalmakla birlikte PHES'ler ardından GES ömürleri uzundur.



Şekil 12 :Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere dayanarak, tüm enerji depolama sistemlerinin verimlilik karşılaştırması.

Bu tabloya göre verimlilik olarak süper kapasitörler, SMESler, LHES, FES, NaS, en yüksek değerdedir. Buna karşılık Hidrojen depolama verimliliği düşük seviyededir. Lityum iyonlar da VRB gibi iyi seviyededir.



Şekil 13 :Çizelge 3.1'de toplanan ortalama verilere dayanarak, tüm enerji depolama sistemlerinin güç aralıklarının karşılaştırması.

Güç aralığı tablosu oluşturulduğunda ortaya şöyle bir durum çıkmaktadır. 1 MW altı ve üstündeki depolama sistemleri ayrılabilir. PHES yüksek güç aralığıyla dikkat çekmektedir.

3.3 Enerji Depolama Sistemlerinin Mevcut Durumu

Enerji depolama sistemlerinin mevcut durumunu aşağıdaki çizelgeye göre belirleyecek olursak; Teknolojiye Hazırlık Seviyesi (THS) ölçeği, bir teknolojinin gelişim aşamasını belirleme standardıdır. NASA tarafından 1974 yılında oluşturulmuş ve daha sonra Yeni

Araştırma Çerçeve Programı (2014–2020) tarafından benimsenmiştir. Ölçek, en temel teknolojik durumdan başlayarak başarılı gerçek dünya göstergeleri ve testlerine kadar ilerleyen dokuz seviyeden oluşur. [15]

Çizelge 3.2: Teknolojiye Hazırlık Seviyesi

Aşama	THS	Tanım
Dağıtım	9	Sistem gerçek bir ortamda konuşlandırılmış ve çalışır durumda
	8	Sistemin gerçek ortamda tam doğrulanması ve sertifikalandırılması
Araştırma	7	Prototip gerçek ortamda doğrulanması
	6	Teknolojinin ilgili ortamda gösterimi
	5	Teknolojinin ilgili ortamda doğrulandığı durum
Gelişim	4	Laboratuvarda doğrulanan teknoloji
	3	Konsept test edildi
	2	Konsept/teknoloji formüle edildi

Çizelge 3.2, seviyelerin nasıl tanımlandığını göstermektedir. Bahsedilen enerji depolama teknolojilerinin hepsi aynı hazır bulunurluk seviyesine ulaşmamıştır. [15]

Çizelge 3.3, ticari olgunluk ve gelişim aşamalarına yönelik bir değerlendirme temel alınarak enerji depolama teknolojilerinin mevcut durumunu temsil etmektedir. Her depolama teknolojisi için THS'ler, literatür taramalarından elde edilen verilere dayanarak sunulmuştur. Kurşun-asit, Li-ion piller, Ni-Cd, VRB Vanadyum redoks pilleri , PHES ve FES, halihazırda gelişmiş bir seviyeye ulaşmış uygulama teknolojileridir, ancak bu fikirler üzerindeki temel araştırmalar hala devam etmektedir. EDLC ve I-CAES, gelişimin erken aşamasında olup gelecek birkaç yılda geniş çapta uygulama potansiyeline sahiptir. Hidrojen yakıt pilleri, faz değişim malzemelerine dayalı termal depolamalar ve termokimyasal malzemelerin enerji depolama pazarında önemli bir artış yaşanması muhtemeldir. [15]

Çizelge 3.3: Enerji depolama teknolojilerinin mevcut durumu [16,17,18,19]

Depolama Sistemi	Mevcut Durum	THS
Kurşun Asit bataryalar	Teknolojisi tamamlanıp satışa sunulmuştur.	9
Lityum İyon Bataryalar	Ticari Teknoloji	9
Nikel Kadmiyum Bataryalar	Gelişmiş Teknoloji	9
Sodyum Sülfür	Büyük ölçekli uygulama	8
Vanadyum Redoks Batarya	Gelişmiş Teknoloji	9
Polisülfid bromür Bataryalar	-	4-5
Çinko Brom Bataryalar	Uygulama	6
Elektrik çift katmanlı kapasitörler	Gelişmekte olan teknoloji	8-9
Hibrid enerji depolama sistemi	-	7
Sentetik doğal gaz	Büyük ölçekli uygulama için Prototipin testi	4-8
Pompalanan hidro enerji depolama sistem	Teknolojisi tamamlanıp satışa sunulmuştur.	9
Basınçlı hava enerji depolama sistem	-	7-8
Düşük hızlı volan enerji depolama sistemi	-	9
Yüksek hızlı volan enerji depolama sistemi	Küçük ölçekli uygulama için Prototipin testi	5-7
Süperkapasitörler	-	6
Süper iletken manyetik enerji depolama sistemi	-	5-6

Enerji depolama teknolojilerinin mevcut durumu [16,17,18,19] çizelge 3.3’de verilmektedir. Sonuç Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları aralıktır. Bu kaynaklar, aşırı enerji üretebilir ve sistemi aşırı yükleyebilir, aynı zamanda ihtiyaç duyulan enerjiden daha az enerji üretebilirler, bu nedenle enerji depolama sistemleri bu

aralıklılıkları aşmanın en etkili yöntemi olarak kabul edilmektedir. Enerji depolama sistemleri (EDS), enerjiyi çeşitli biçimlerde depolayan çeşitli EDS'leri içerir. Bazı sistemler olgunluğa erişmiştir, diğerleri ise hala geliştirilmektedir.

Belirli depolama çözümleri, uygulamanın performans ihtiyaçlarına göre seçilebilir. Büyük ölçekli enerji depolama uygulamaları için pompalı-hidro ve termal enerji depolama sistemleri idealdir, bu arada pil enerji depolama sistemleri yüksek güç ve enerji ihtiyaçları için çok önerilmektedir. Süperkapasitörler, SMES ve FES genellikle daha kısa süreli ve hızlı yanıt uygulamaları için kullanılır. Düşük verimlilikleri nedeniyle hidrojen ve metan genellikle enerji depolamada kullanılmaz. Ancak, mükemmel depolama potansiyeli sundukları için gelecekte daha büyük ölçekte kullanılmaları beklenmektedir. Kimyasal enerji depolama cihazları popülerdir, ancak pahalıdır. Bununla birlikte, atık enerji yönetimi ve bu pillerin geri dönüşümü konusunda birçok araştırma yapılmaktadır. SHS ve CAES sistemleri büyük miktarda depolama alanı ve önemli bir başlangıç maliyeti gerektirir. Dünya, daha yeşil enerjiye doğru kaydıkça, araştırmacılar değişen enerji gereksinimlerine ve çevresel kriterlere uygun yeni enerji depolama sistemleri geliştirmeye yönlendirilmektedir. Yapılan incelemeler, enerji depolama cihazlarının mevcut durumunu ve uygulanabilirliğini inceleyerek, şebeke destek uygulamaları için en uygun depolama teknolojilerini belirlemektedir. Ayrıca, teknik, ekonomik ve çevresel etki değerlendirme kriterleri çeşitli depolama cihazlarının özellikleri ve potansiyellerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Kapsamlı inceleme, elektrokimyasal depolama kategorisinden lityum-iyon pilin düşük ve orta boyutlu uygulamalara yüksek güç ve enerji yoğunluğu gereksinimleri için uygun olduğunu göstermektedir. Halihazırda, tüm dünya karbon ayak izini azaltma ve daha yeşil bir hale getirme konusunda endişeliyken, elektrik endüstrisi daha verimli ve sürdürülebilir bir güç tedariki, enerjinin bilinçli tüketimi ve CO₂ azaltımına odaklanmaktadır

Şu anki elektrik sistemleri senaryosunda aşağıdakiler önemlidir:

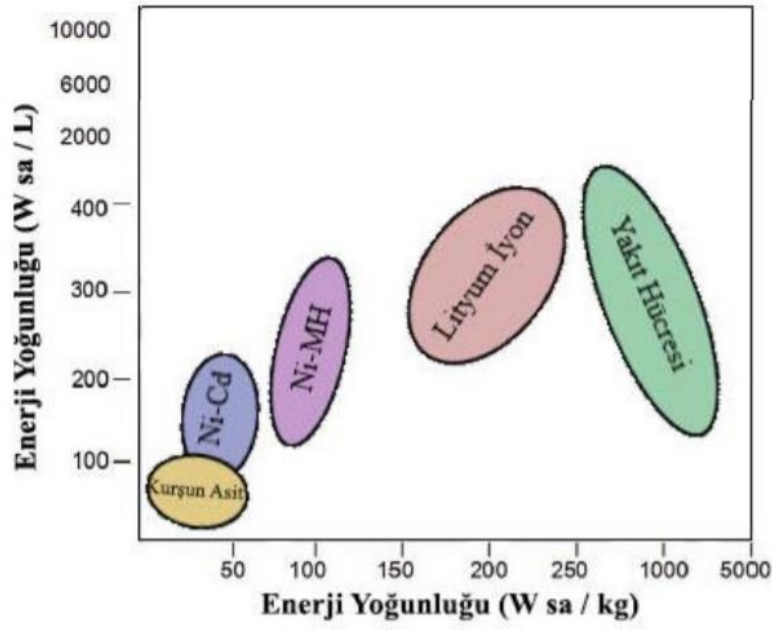
- 1- Enerji depolama sistemleri, acil durum durumlarını yönetme konusunda anahtar bir rol oynayacak ve aynı zamanda akıllı şebekenin bütünlük parçası olarak hareket edecektir.
- 2- Zayıf ve dağınık EES (Elektrik Enerji Depolama) pazarı, akıllı şebeke ve mikro şebekeler devreye alındığında büyük olma eğilimindedir.
- 3- EES sistemleri pazarı, özellikle küçük ve dağıtılmış olanlar, büyümektedir ve yenilenebilir enerji sektörüyle birlikte büyümeye devam edecektir.

- 4- Teknik zorluklar ve ayrıca maliyet ve uyumluluk/sürdürülebilirlik, gelecekteki girişimler için potansiyel olarak kritik konulardır.
- 5- Optimizasyon, güç kalitesi ve güvenlik konularında çalışma alanları bulunmaktadır.
- 6- Farklı optimizasyon tekniklerinin karşılaştırılması sonucunda, meta-sezgisel algoritmaların, sezgisel ve lineer optimizasyon tekniklerini düşünülen amaç fonksiyonlarıyla karşılaştırıldığında daha başarılı olduğu bulunmuştur.

Geleceği ve yatırımcıların ilgisini göz önüne alarak, sistemin kârını maksimize etmek ve sistem üretim maliyetini ve kaybını minimize etmek, toplumsal faydayı artırmaya yardımcı olacaktır. Yenilenebilir enerji entegreli edilmiş güç sistemlerinin birçok yönünü incelemekte ve bu sektördeki en son araştırma gelişmelerine derinlemesine bir değerlendirme sunmaktadır.

4.LİTYUM İYON BATARYALARIN İNCELENMESİ

1991 yılından itibaren Sony firması tarafından ticari olarak üretimi gerçekleştirilen Lityum İyon Bataryalar kısa sürede bir çok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Elektronik cihazların çoğunda (cep telefonu, laptop, drone, vs) bu bataryalar kullanılmaktadır. Elektrikli araçlarda, alternatif enerji kaynakları referanslı uygulamalarda yakın gelecekte kullanımı artacaktır. %100'e yakın enerji depolama verimliliğine sahiptir. Diğer bataryalara göre en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Hafif yapıya sahiptir. Hücre başına 4V gibi. Dezavantajı ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca hassas çalışmalarından dolayı karmaşık bir şarj yönetim sistemi vardır. Elektrolit yapıları düzensiz bir yapıya sahiptir. Aşırı şarj, kalıcı hasara neden olmaktadır. Ayrıca doğada bilinen lityum elementinin az bulunması ileriki zamanlarda fiyatların artışına neden olacaktır. Elektrikli araçlarda daha çok kullanılması için yapısındaki iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Yapısındaki grafit ve lityum kobalt oksit materyallerinin daha yüksek kapasiteli ve daha ekonomik alternatifleri ile değiştirilme çalışmaları da yapılmaktadır.



Şekil 10 : Farklı pil teknolojilerinin hacimsel ve gravimetrik enerji yoğunluğu ve bazı hidrojen depolama malzemeleri açısından karşılaştırılması

Pil	Çevresel özelliği	Nominal gerilim (V)	Maliyet(\$/Wsa)	Spesifik enerji (Wsa/kg)	Çevrim ömrü
Kurşun-Asit	Toksik	2,0	0,1-0,3	20-35	100-500
Ni-Cd	Toksik	1,2	0,5-1,5	30-50	1000
Ni-MH	Düşük Toksik	1,2	1,0	60-120	500
Li-iyon	Tehlikeli	1,5-3,9	0,2-0,3	115-265	400-1200

Şekil 15: Elektrikli araç uygulamaları için kullanılan şarj edilebilir piller

Her bir batarya türü, belirli uygulama alanları için avantajlar sunar ve özellikle enerji depolama sistemleri için farklı gereksinimleri karşılayabilir. Bu seçim, maliyet, performans, çevresel etki ve uygulama gereksinimlerinin dikkate alınması gereken bir süreçtir.

Elementlerin Periyodik Tablosu

Elementlerin Periyodik Tablosu																					
1 H Hydrojen 1.00794																	2 He Helium 4.002602				
3 Li Lityum 6.941	4 Be Berilyum 9.012182															5 B Bor 10.811	6 C Karbon 12.011	7 N Nitrojen 14.006434	8 O Oksijen 15.999	9 F Fluor 18.9984032	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodyum 22.98976928	12 Mg Magnezyum 24.304															13 Al Alüminyum 26.9815386	14 Si Silikon 28.0855	15 P Fosfor 30.973762	16 S Sülfür 32.06	17 Cl Klor 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potasyum 39.0983	20 Ca Kalsiyum 40.078	21 Sc Skandiyum 44.955912	22 Ti Titanyum 47.88	23 V Vanadyum 50.9415	24 Cr Krom 51.9961	25 Mn Manganez 54.938044	26 Fe Demir 55.845	27 Co Kobalt 58.933195	28 Ni Nikel 58.6934	29 Cu Bakır 63.546	30 Zn Çinko 65.38	31 Ga Galyum 69.723	32 Ge Germaniyum 72.630	33 As Antimon 74.9216	34 Se Selenyum 78.9718	35 Br Brom 79.904	36 Kr Kripton 83.80				
37 Rb Rubidyum 85.4678	38 Sr Stronsiyum 87.62	39 Y Yttriyum 88.90584	40 Zr Zirkon 91.224	41 Nb Niyobiyum 92.90638	42 Mo Molibdenum 95.94	43 Tc Teknisyum 97.907	44 Ru Rutenyum 101.07	45 Rh Reniyum 101.07	46 Pd Palladyum 106.3675	47 Ag Gümüş 107.8682	48 Cd Kadmiyum 112.411	49 In İndiyum 114.818	50 Sn Kurşun 118.710	51 Sb Antimon 121.757	52 Te Telür 127.6	53 I Yod 126.90547	54 Xe Ksenon 131.29				
55 Cs Çizimiyum 132.90545196	56 Ba Baryum 137.327	57-71 Lantanoidler	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Wolfram 183.84	75 Re Reniyum 186.207	76 Os Osmiyum 190.23	77 Ir İridiyum 192.222	78 Pt Platinyum 195.084	79 Au Altın 196.966569	80 Hg Cıva 200.59	81 Tl Tlakyum 204.3833	82 Pb Kurşun 207.2	83 Bi Bismüt 208.9804	84 Po Polonyum 209	85 At Astatin 210	86 Rn Radon 222				
87 Fr Fransiyum 223	88 Ra Radyum 226.0254	89-103 Aktinoidler	104 Rf Röfreniyum 261	105 Db Dubnyum 262	106 Sg Seaborgiyum 263	107 Bh Bohryum 264	108 Hs Hassium 265	109 Mt Meitneriyum 266	110 Ds Darmstadtium 267	111 Rg Roentgenium 268	112 Cn Copernicium 269	113 Nh Nihonium 270	114 Fl Fleroviyum 271	115 Mc Moscoviyum 272	116 Lv Livermorium 273	117 Ts Tennessin 274	118 Og Oganesson 276				
57 La Lantanum 138.90547	58 Ce Çizimiyum 140.12	59 Pr Praseodymyum 140.90766	60 Nd Neyodymyum 144.24	61 Pm Prometyum 144.9126	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Eüropyum 151.964	64 Gd Gadolinum 157.25	65 Tb Terbiyum 158.92535	66 Dy Dünyam 162.50052	67 Ho Holmiyum 164.93033	68 Er Erbiyum 167.2593	69 Tm Terbiyum 168.93048	70 Yb Ytterbiyum 173.054688	71 Lu Lütyum 174.967							
89 Ac Aktiniyum 227.03373	90 Th Toryum 232.03772	91 Pa Protaktinyum 231.036888	92 U Uranyum 238.02891	93 Np Nepçunyum 237.048173	94 Pu Plütonyum 244.06422	95 Am Amerisyum 243.061388	96 Cm Kürçüm 247.071251	97 Bk Berkeliyum 247.071251	98 Cf Kaliforniyum 251	99 Es Einsteiniyum 252.083	100 Fm Fermiyum 257.1037	101 Md Mendeleviyum 258.1037	102 No Nobeliyum 259	103 Lr Lawrençiyum 262							

Şekil 16: Lityum Elementinin Periyodik Tablodaki Yeri

4.1 Lityum-İyon Bataryaların Tarihsel Gelişimi

Lityum-iyon (Li-ion) pillerin tarihsel gelişimi 1970'li yıllarda başlamıştır. İlk olarak Sony, 1991 yılında ilk Li-ion pili piyasaya sürmüştür. Bu, pil teknolojilerinden daha düşük ağırlık, daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha uzun ömür sunan bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Li-ion pillerin gelişimi, yıllar boyunca enerji yoğunluğunun artması, maliyetin düşmesi ve güvenliğinin iyileştirilmesi gibi konulara odaklanmıştır. Örneğin, Li-ion pillerin güvenliği için bazal, teknolojik ve malzeme geliştirmeleri yapılmıştır. Ayrıca, pillerin uygulamaları da genişleyerek bugün birçok endüstriyel, ev ve araç uygulamasında kullanılmaktadır. Li-ion pillerin tarihsel gelişimi, bugün modern teknolojilerin ve cihazların çalışması için gerekli enerji kaynağını sağlamak için önemli bir rol oynamıştır. Özellikle, uzun süreli enerji depolama için kritik olan elektrikli araçlar ve güneş enerjisi sistemleri gibi uygulamalarda önemli bir etki yapmıştır. Lityum, atom numarası 3 olan bir alkali metaldir ve ilk kez 1790'larda Brezilyalı Jozé Bonifácio de Andrada e Silva tarafından İsveç'in Utö adasında keşfedilmiştir. Bu keşif, petalit adlı lityum mineralinin ateşe atılması sonucunda gözlemlenen yoğun kırmızı bir alevle gerçekleşmiştir. Peralit mineralini 1817'de inceleyen Johan August Arfvedson, içerdiği bilinmeyen metal için

"lityum" adını vermiş ve bu metalin sodyumun daha hafif bir versiyonu olduğunu fark etmiştir. Ancak, sodyumun aksine, Arfvedson elektrolizle lityumu ayıramamıştır. Elektroliz yoluyla erimiş lityum klorürün toplu olarak elde edilmesi başarısı, 1855 yılına kadar Alman kimyager Robert Bunsen ve İngiliz kimyager Augustus Matthiessen tarafından sağlanmıştır.[20]



Şekil 1711: Lityum İyon Pil Kesiti

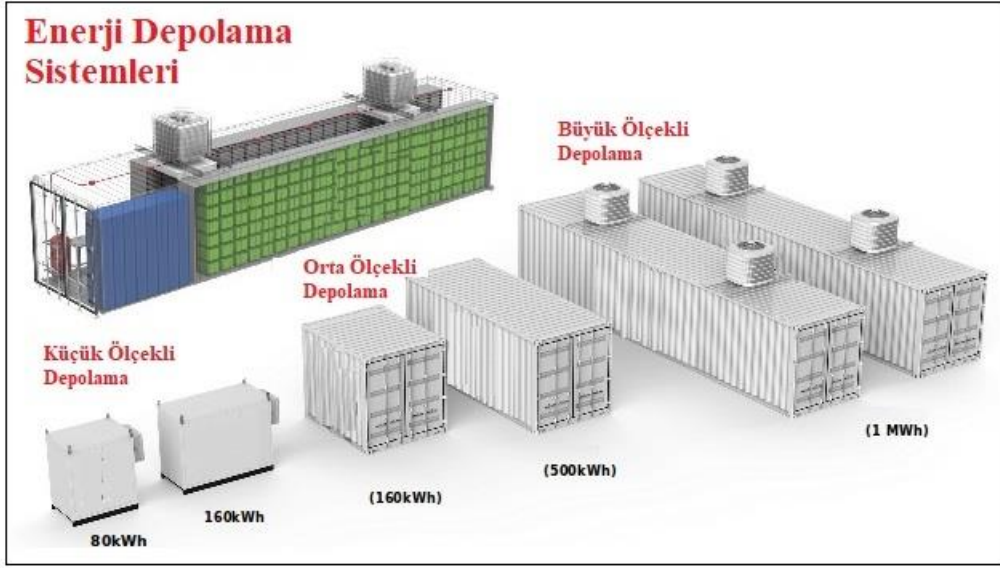
Dünya Lityum rezervi incelendiğinde toplamda yaklaşık 98 milyon ton civarın olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tanımlanmış lityum kaynakları - kıtasal tuzlu sulardan, kıltaşı, jeotermal tuzlu sular, hektorit, petrol sahası tuzlu suları ve pegmatitlerin miktarı 12 milyon tondur. Tanımlanmış lityum diğer ülkelerdeki kaynaklar ise 86 milyon tona revize edildi. Tanımlanan lityum kaynakları şu şekilde dağıtılır: Bolivya, 21 milyon ton; Arjantin, 20 milyon ton; Şili, 11 milyon ton; Avustralya, 7,9 milyon ton; Çin, 6,8 milyon ton; Almanya, 3,2 milyon ton; Kongo (Kinşasa), 3 milyon ton; Kanada, 2,9 milyon ton; Meksika, 1,7 milyon ton; Çekya, 1,3 milyon ton; Sırbistan, 1,2 milyon ton; Rusya, 1 milyon ton; Peru, 880.000 ton; Mali, 840.000 ton; Brezilya, 730.000 ton; Zimbabve, 690.000 ton; İspanya, 320.000 ton; Portekiz, 270.000 ton; Namibya; 230.000 ton; Gana, 180.000 ton; Finlandiya, 68.000 ton; Avusturya, 60.000 ton; ve Kazakistan, 50.000 ton. [21]

4.2 Lityum-İyon Bataryaların Kullanım Alanları

Lityum pazarları konuma göre değişiklik gösterse de küresel son kullanım pazarları şu şekilde tahmin edilmiştir: piller, %80; seramik ve cam, %7; yağlama gresleri, %4; sürekli döküm kalıp akı tozları, %2; hava işleme, %1;tıbbi, %1; ve diğer kullanımlar %5 tir. Piller için lityum tüketimi son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Çünkü şarj edilebilir lityum piller, büyüyen elektrikli araçlar ve taşınabilir pazarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektronik cihazlarda ve elektrikli aletlerde ve şebeke depolama uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Lityum mineralleri seramik ve cam uygulamalarında doğrudan cevher konsantresi olarak kullanılmıştır.[21] Lityum-iyon (Li-ion) piller, geniş bir kullanım yelpazesi sunarak birçok endüstri ve uygulama alanında tercih edilmektedir. Elektrikli araçlardan taşınabilir cihazlara, enerji depolama sistemlerinden beyaz eşyalara kadar, Li-ion piller, uzun menzil, yüksek enerji yoğunluğu ve güvenilir enerji sağlama özellikleriyle dikkat çeker. Özellikle elektrikli araçlar, taşınabilir elektronik cihazlar, enerji depolama sistemleri ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu pillerin adaptasyonu, teknolojik ilerlemeler ve endüstri ihtiyaçlarına paralel olarak sürekli genişlemektedir. [21]

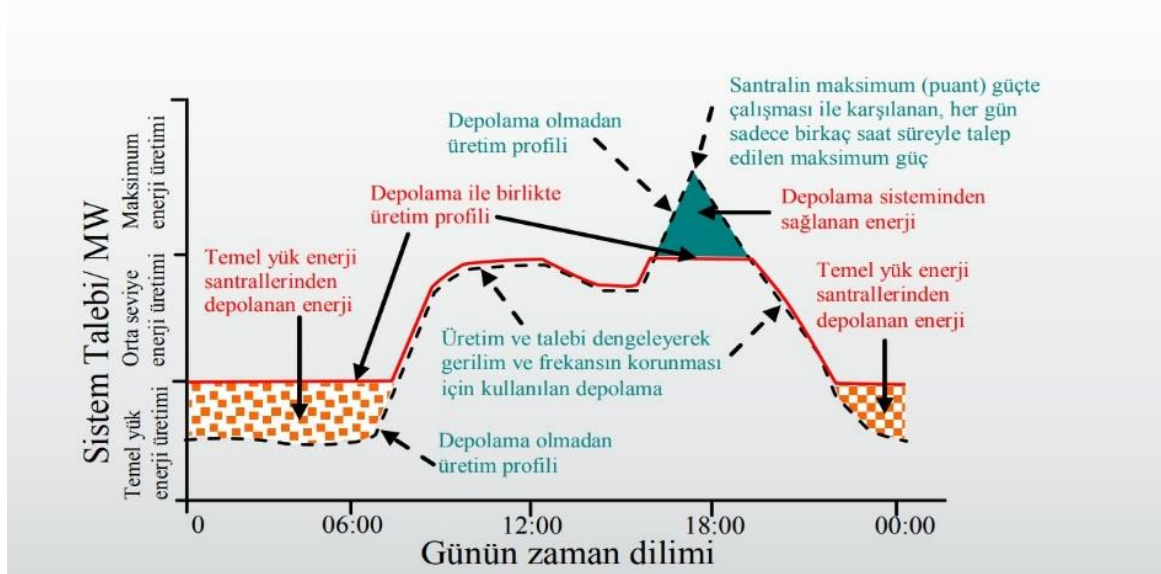
5.BÜYÜK ÖLÇEKLİ SABİT ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Batarya Enerji Depolama Sistemi (BEDS), elektrik sistemlerinin verimliliğini, güvenilirliğini ve esnekliğini optimize etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistem, enerji depolamak için akü, pil veya hidrojen gibi çeşitli teknolojileri kullanarak enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dengeyi sağlar. Genellikle megavat (MW) ölçeğinde olan BEDS 'ler, büyük kapasiteleriyle elektrik santrallerinden daha geniş kapsamlı olabilir. Ayrıca, enerji depolama odaklı olarak tasarlanan BEDS 'ler, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dalgalanmaları düzeltmek için enerjiyi sabit ve istikrarlı bir şekilde sağlar.



Şekil 18: Enerji depolama sistemleri

Bu sistemler, elektrik santralleri, dağıtım ağları ve son kullanıcılar arasında enerji üretimi ve kullanımını koordine etmek üzere uyumlu bir şekilde tasarlanmıştır. Elektrik sistemlerinin büyümesine uygun olan BEDS 'ler, artan enerji talepleriyle birlikte genişleyebilir ve evrilebilir. BEDS 'ler, elektrik sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak, güvenilirliği sağlamak ve enerji dengesizliklerini düzeltmek için kritik bir rol oynar. Bu sistemler, elektrik şebekelerinde yaygın olarak kullanılarak enerji sektöründe önemli bir çözüm sunar.



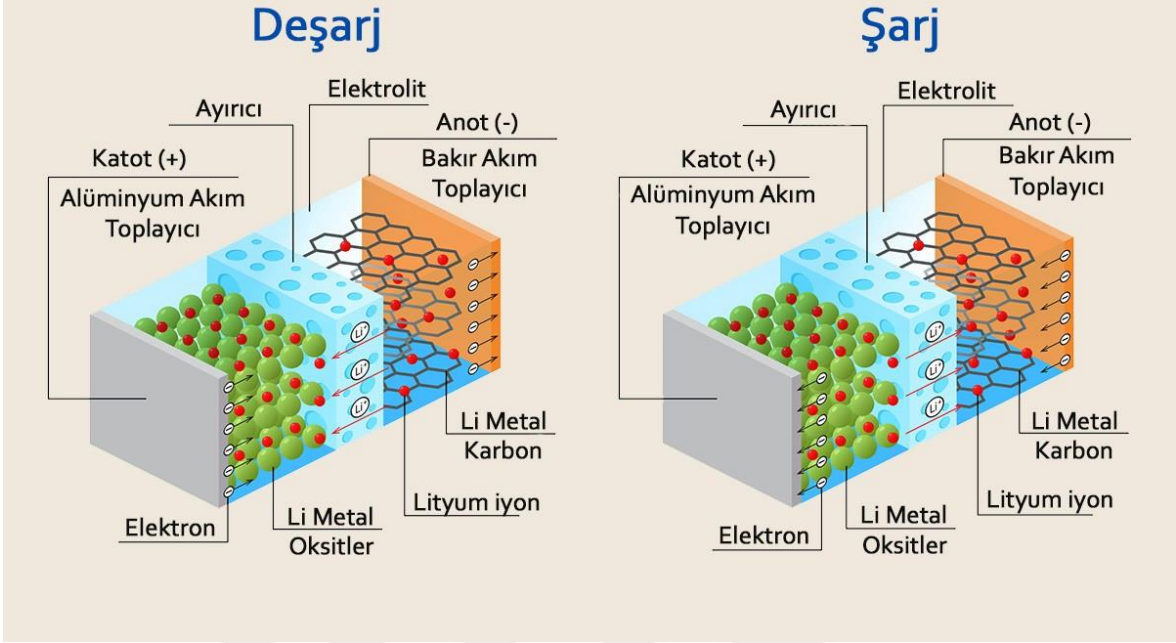
Şekil 129: Enerji Depolama Sistemi Kullanımı [22]

5.1.Büyük Ölçekli Sabit Enerji Depolama Sistemlerinde Lityum-İyon Bataryaların Kullanımı

Büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemlerinde (BEDS) lityum-iyon bataryaları, modern enerji depolama teknolojilerinin öncüsü olarak öne çıkar. Bu bataryalar, enerji depolama konusunda etkileyici avantajlara sahip olmalarıyla dikkat çeker. Lityum-iyon bataryalarının başlıca özelliklerinden biri, hafif olmalarına rağmen yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmalarıdır. Bu, BEDS'lerin daha büyük kapasitelerle enerji depolamasını sağlarken daha az fiziksel alan kullanmalarını mümkün kılar. Ayrıca, lityum-iyon bataryaları, kullanılan ileri teknolojiler ve kaliteli malzemeler sayesinde uzun bir ömre sahiptir. Bu durum, enerji depolama sistemlerinin daha az maliyetle ve uzun vadeli bir çözümle güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Lityum-iyon bataryaların bir diğer avantajı da kompakt tasarımlarıdır. Hafif ve küçük boyutlu olmaları, BEDS'lerin yer ihtiyacını minimize eder ve bu da enerji depolama çözümlerini daha esnek ve uygun hale getirir. Maliyet açısından da avantajlı olan lityum-iyon bataryaları, üretim maliyetlerinin düşmesiyle birlikte BEDS'ler için ekonomik ve etkili bir enerji depolama seçeneği sunar. Sonuç olarak, lityum-iyon bataryaları, BEDS'lerin performansını artırarak elektrik sistemlerinin güvenilirliğini ve verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir.

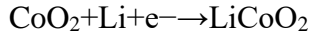
2019 Nobel Kimya Ödülü Lityum iyon piller çalışmasına verilmiştir. [23] Lityum-iyon bataryalar, günümüzde birçok cihazdan elektrikli araçlara kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan bir batarya teknolojisidir. Bu bataryaların yapısı, katot (genellikle lityum karışımlı metal oksitler), anot (grafit gibi karbon bazlı malzemeler), elektrolit (lityum tuzları içeren organik çözeltiler) ve ayırıcıdan (katot ve anot arasında fiziksel teması önleyen madde) oluşur. Lityum-iyon bataryaların şarj ve deşarj işlemlerinde lityum iyonları katot ve anot arasında hareket eder; şarj edilirken bu iyonlar anottan katota doğru hareket eder, deşarj edilirken ise bu süreç tersine döner. Bu çalışma prensibi, lityum-iyon bataryaların güvenilir, hafif ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmalarını sağlayarak geniş bir uygulama yelpazesi için ideal bir enerji depolama çözümü sunmalarına olanak tanımaktadır. [24]

Lityum İyon Pil

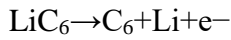


Şekil 20 :Lityum İyon Pil Çalışma Prensibi

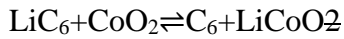
Lityum İyon pilin içinde gerçekleşen oksidasyon-redüksiyon (redoks) reaksiyonları, indirgeme katotta ve oksidasyon anotta meydana gelir. İndirgeme katotta, kobalt oksit CoO_2 lityum iyonlarıyla birleşerek lityum-kobalt oksit $LiCoO_2$ oluşturur. Bu reaksiyonun yarı tepkimesi şu şekildedir:



Oksidasyon anotta ise grafit interkalasyon bileşiği LiC_6 grafit C_6 ve lityum iyonlarına ayırır. İlgili yarı tepkimesi şu şekildedir:



Bu iki yarı tepki, lityum İyon pilin şarj ve deşarj işlemlerindeki ana redoks reaksiyonlarını temsil eder. Tam tepki, pilin deşarj (boşaltma) ve şarj (dolum) süreçlerini içerir:



Bu tepkime, lityum İyon pilin enerji depolama ve serbest bırakma yeteneklerini sağlamaktadır [25].

5.2 Enerji Depolamada Kullanılan Temel Hesaplamalar

Enerji depolama hesaplamalarında kullanılan temel formüller şunlardır:

Güç (Watt) hesaplaması: Güç (Watt)=Voltaj (V)×Akım (Amper) ,

$$(Watt)=Voltaj (V)×Akım (Amper)$$

Enerji (Watt Saat) hesaplaması:

$$Enerji (Wh)=Güç (Watt)×Zaman (Saat) Enerji (Wh)=Güç (Watt)×Zaman (Saat)$$

Bu formüller, enerji depolama sistemlerindeki güç ve enerji değerlerini hesaplamak için kullanılır. Bataryanın kapasitesi 4000 mAh (4 Ah) ve gerilimi 3.8 V bir bataryanın enerji depolama kapasitesini aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Enerji (Wh)=Voltaj (V)×Kapasite (Ah)$$

$$\text{Bu durumda: Enerji (Wh)}=3.8V×4Ah=15.2Wh$$

$$Enerji (Wh)=3.8V×4Ah=15.2Wh$$

Yani, 4000 mAh kapasiteli bir bataryanın depolayabileceği enerji 15.2 Watt-saat'tir.

5.3 Enerji Depolama Sistemlerinin Faydaları

Enerji depolama sistemleri, günümüz enerji ihtiyaçlarına çeşitli avantajlar sunan önemli bir teknolojidir. Bu sistemlerin başlıca faydalarından biri, elektrik güç sistemi stabilitesini artırma kapasitesidir. Özellikle elektrik şebekesindeki ani dalgalanmalar veya kısa süreli kesintilerle başa çıkmak için enerji depolama sistemleri, hızlı ve etkili bir şekilde enerji sağlayarak sistemin dengesini korur. İkinci önemli avantaj, enerji depolama sistemlerinin elektrik verimliliğini arttırabilme yeteneğidir. Bu sistemler, üretilen veya ithal edilen elektriği daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyarak enerji kaynaklarının optimal kullanımını sağlar. Bu sayede enerji maliyetleri düşer ve şebeke üzerindeki yük azalır. Enerji depolama sistemleri aynı zamanda ekonomik açıdan da çekici hale gelir, çünkü enerji şebekelerinin yüksek güç taleplerini karşılamak için pahalı enerji kaynaklarına başvurmayı önleyerek elektrik maliyetlerini azaltabilirler. Bu durum, enerji şebekelerinin daha sürdürülebilir ve ekonomik bir şekilde işlemesine katkıda bulunur. Çevresel etkileri azaltma konusunda da önemli bir rol oynayan enerji depolama sistemleri, fosil yakıtlı enerji üretimini azaltarak karbon emisyonlarını minimize eder. Bu, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarına olumlu bir katkı sağlar. Enerji güvenliği açısından, enerji depolama sistemleri, enerji arzının güvenliğini artırarak ülkelerin enerji bağımlılığını azaltır. Bu, enerji kesintileriyle mücadelede etkili bir çözüm sunar ve enerji arzının istikrarını güvence altına alır. Son olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme konusundaki rolü, enerji depolama sistemlerini daha çekici kılan faktörlerden biridir. Bu sistemler, rüzgar ve güneş gibi dalgalı enerji kaynaklarının sürekliliğini sağlayarak yenilenebilir enerjiye olan geçişi destekler. Bu nedenlerle, enerji depolama sistemleri,

elektrik sistemlerinin güvenilirliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

5.4 Lityum-İyon Bataryaların Geleceği

Lityum-iyon bataryaların geleceği, enerji depolama sektöründe önemli bir rol oynamaya devam edecektir. Büyük olasılıkla, lityum-iyon bataryaların kapasitesi ve verimliliği artacak ve maliyetleri düşecektir. Ayrıca, lityum-iyon bataryaların kullanım alanları da genişleyecektir. Özellikle, araçlar, evler ve ticari enerji depolama sistemleri gibi uygulamalarda lityum-iyon bataryaların tercih edilme oranı artacaktır. Aynı zamanda, lityum-iyon bataryaların çevresel etkileri ve güvenliği hakkında daha fazla çalışma yapılacak ve çevre dostu alternatif batarya teknolojileri ortaya çıkacaktır. Özet olarak, lityum-iyon bataryaların geleceği, enerji depolama sektöründeki gelişmeler ve yenilikçi teknolojik gelişmeler doğrultusunda belirlenecektir. Ancak, lityum-iyon bataryaların enerji depolama sektöründeki rolü ve önemi artmaya devam edecektir. Ultra ince lityum şeritler, gelişmiş lityum iyon piller için anot malzemesi olarak büyük umut vaat etmektedir. Çin merkezli Central South Üniversitesi'nde yapılan bir araştırma, lityum iyon piller için yüksek performanslı, ince ve bağımsız lityum anotların ölçeklenebilir üretimi konusunda önemli bir strateji geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Avustralya Synchrotron'un kullanılmasıyla lityum iyon pillere olan talebi karşılamak adına lityum anotların üretiminde yeni bir yaklaşım öne çıkmaktadır. [26] Katı hal lityum metalinin, teorik olarak yüksek enerji yoğunluğu ve kapasiteye sahip olması, geleneksel grafit anotların yerine geçebilecek ideal bir alternatif olduğunu göstermektedir. Çalışma sonuçlarına göre, işlenmemiş lityum şeritlere kıyasla daha iyi mekanik dayanıklılığa, elektrokimyasal performansa ve etkileyici döngü stabilitesine sahip ince lityum şeritlerin üretildiği görülmüştür. Bu şeritler, 2.800 saate kadar çevrim ömrüne sahiptir. Ayrıca, çalışma, LiFePO₄ (LFP) ve çinko dialkilditiyofosfat (ZDDP) kaplı lityum kullanılan tam hücre konfigürasyonunu içermektedir [26]. Bu konfigürasyon, 350 döngüden sonra %83,2'nin üzerinde kapasite tutma ile mükemmel döngü ömrü sergilemiştir. Bu araştırma, çinko bazlı bir yağın kullanımını içermekte olup, bu yağın üretim sürecinde hamurun makarna makinesinde yuvarlanmasına benzer bir yöntemle lityumun daha ince bir şekilde yuvarlanmasına olanak sağladığını ortaya koymaktadır. Numunelerin Synchrotron'a postalandığı ve bu aşamada Dr. Johannessen'in, X-ışını absorpsiyon spektroskopisi ışın hattını kullanarak lityum anotların ölçümlerini üstlendiği belirtilmiştir. Bu ışın hattının, enerji malzemeleri ve kataliz

alanında yararlı olduğu ve 2023 yılına kadar bir önceki yıla göre neredeyse iki kat daha fazla yayın ürettiği vurgulanmıştır [26]. Bu inovatif çalışmanın, katı hal pilleri için üretilen mikron kalınlığındaki ultra ince lityumun geliştirilmesinde önemli bir adım olduğu ifade edilmiştir.[27]



şekil 21 : Küresel Lityum İyon Batarya Pazarı Hedefi[28]

Lityum iyon batarya pazarı, malzeme, ürün tipi, tip, kapasite, voltaj, uygulama ve bölgeye göre sınıflandırılmıştır. Malzemeye göre pazar, katot malzemesi, anot malzemesi, elektrolit malzemesi, ayırıcı malzeme, akım toplayıcı malzemeler ve diğer malzemeler olarak sınıflandırılmıştır. Ürün türüne göre pazar, batarya ve batarya paketlerini içeren lityum iyon batarya bileşenlerine bölünmüştür; ve taşınabilirlik ayrıca sabit ve taşınabilirlik olarak ikiye ayrılır. Türe göre pazar, Lityum Nikel Manganez Kobalt (NMC), Lityum Demir Fosfat (LFP), Lityum Kobalt Oksit (LCO), Lityum Titanat Oksit (LTO), Lityum Manganez Oksit (LMO) ve Lityum Nikel Kobalt Alüminyum olarak bölümlere ayrılmıştır. Kapasite segmenti pazarı 3.000 mAh altı, 3.001 - 10.000 mAh, 10.001 - 60.000 mAh ve 60.000 mAh üstü olarak bölünmüştür. Piyasa, voltaj segmentine göre düşük (12V altı), orta (12V-36V) ve yüksek (36V üstü) olarak bölünmüştür. Ayrıca uygulama segmenti tüketici elektroniği, otomotiv, havacılık, denizcilik, medikal, endüstriyel, enerji ve telekomünikasyonu içermektedir. Çalışma aynı zamanda dört temel bölgedeki (Kuzey Amerika, Avrupa, Asya Pasifik ve RoW) pazar büyüklüğünü de öngörülmektedir. [28]

5.5 Li-ion hücre üretimi: Süreçlere ve ekipmanlara bir bakış

Lityum piller, lityumun farklı kimyasal yapılarına dayalı olarak iki ana gruba ayrılır: lityum metal piller ve lityum iyon piller. Lityum metal piller genellikle şarj edilemez ve içlerinde doğrudan metalik lityum bulundurlar. Diğer yandan lityum iyon piller, içerdikleri elektrolitte yalnızca iyonik formda lityum barındırır ve şarj edilebilirler. Bu genel sınıflandırma altında, farklı kimyasal yapıları da barındırırlar; örneğin, lityum iyon piller arasında lityum polimer, lityum demir fosfat (LiFePO₄), lityum hava gibi çeşitli tipler bulunmaktadır. [29]

Her iki lityum pil tipinin de benzerlikleri olsa da farklılıkları dikkat çekicidir. Lityum metal piller metalik lityum içerir ve esasen şarj edilemezler. Anot olarak lityum metali veya lityum bileşikleri içerirler. Bu gruba lityum alaşımlı piller dahildir. Öte yandan, lityum iyon piller şarj edilebilir ve lityum elektrolitte yalnızca iyonik formda bulunur. Lityum iyon kategorisine lityum polimer piller dahildir. Lityum piller bazen Li-ion piller olarak kısaltılır. Lityum piller çoğu tüketici ve taşınabilir elektronik cihaz için tercih edilen güç kaynağı olduğundan, lityum piller her yerde bulunur. Aklınıza bile gelmemiş olabilecek öğeler arasında yer alırlar. Lityum metal piller saatler, hesap makineleri, kameralar, araba anahtarlıkları ve defibrilatörler gibi eşyalarda bulunur. Lityum -iyon piller ise genellikle cep telefonu, dizüstü bilgisayar, tablet, elektrikli el aleti ve e-bisiklet gibi ürünlerde bulunur. Hava yolu yolcularının taşıdığı günlük eşyalar içerisinde yer almakta ve her gün kargo olarak taşınmaktadır.

Elektrikli otomobillerin ve e-bisikletlerin benimsenmesi arttıkça ve lityum piller daha hafif hale gelip daha uzun süre dayandıkça, lityum pillere dayalı ürünlerin sayısı da artmaya devam edecektir. Enerji depolamanın pratik ve verimli bir yolu olmasına rağmen lityum piller, uygun şekilde tasarlanmadığı, test edilmediği ve üretilmediği takdirde arızalanabilir ve alev alabilir. Ayrıca aküde depolanan enerji ve yanıcı elektrolit, taşıma sistemine yönelik potansiyel riski azaltmak için bunların nakliyeye uygun şekilde hazırlanması gerektiği anlamına gelir. Bu sorunu çözmeye yardımcı olmak için çeşitli kurallar oluşturulmuştur. Lityum pillerin nakliyesi sırasında uyumluluğun sağlanması için üreticiler, perakendeciler, toptancılar, nakliye komisyoncuları ve tedarik zincirindeki diğer tüm bilgiler yer almaktadır. [30]

5.6 Sabit Batarya Depolama Sistemi Tasarımının İncelenmesi

Büyük ölçekli enerji depolama sistemleri, genellikle birden fazla bileşeni içeren karmaşık yapılarla oluşturulur. Bu sistemlerde kullanılan bazı ana bileşenler:

5.6.1 Batarya Yönetim Sistemleri (BMS - Battery management systems)

Batarya Yönetim Sistemleri (BYS), enerji depolama sistemlerinde özellikle lityum iyon bataryalar gibi kullanılan batarya paketlerinin izlenmesi, dengelenmesi ve korunması için kritik bir rol oynar. BYS'nin temel işlevleri, güvenlik, performans ve izleme alanlarında yoğunlaşır. Güvenlik ve koruma kapsamında, aşırı şarj ve deşarj durumları önlenerek bataryanın güvenliği sağlanır. Ayrıca, sıcaklık kontrolü ile bataryaların aşırı ısınmasının engellenmesi ve sıcaklık değerlerinin izlenmesi sağlanır. Performans ve verimlilik alanında BYS, hücre dengesi ile her batarya hücresinin eşit şarj seviyesine sahip olmasını sağlayarak batarya paketinin genel performansını optimize eder. Şarj yönetimi ise bataryaların en uygun şekilde şarj edilmesini sağlar, şarj hızını, akımı ve voltajı kontrol eder. Bu sayede bataryaların daha uzun ömürlü olması ve daha verimli çalışması hedeflenir. İzleme ve raporlama alanında BYS, sürekli olarak batarya hücreleri ve paketin performansını izler, veri toplar ve analiz eder. Hata tespiti ve uyarılar ile potansiyel sorunlar önceden tespit edilir ve uygun önlemler alınabilir. Bu süreç, veri iletimi ve haberleşme modülleri aracılığıyla harici sistemlere veya kontrol merkezlerine veri aktarımı ile desteklenir. BYS'nin bileşenleri arasında sensörler (akım, voltaj, sıcaklık sensörleri), kontrol ünitesi (mikroişlemci ve yazılım), iletişim modülleri ve kesici/koruyucu devreler bulunur. Bu bileşenler, kompleks algoritmalar ve donanım kullanılarak bataryaların sürekli olarak izlenmesini, korunmasını ve optimize edilmesini sağlar. Batarya yönetim sistemleri, enerji depolama sistemlerinin daha güvenilir, performanslı ve uzun ömürlü olmasına katkıda bulunarak sürdürülebilir enerji depolama çözümlerinin gelişimine katkı sağlar.

5.6.2 Kablo ve Bağlantı Sistemleri

Büyük ölçekli depolama sistemlerinde kullanılan kablo ve bağlantı sistemleri, yüksek güç iletimi için özel olarak tasarlanmış kaliteli ve dayanıklı kabloların kullanılmasını gerektirir. Bu kablolar, enerji depolama cihazları, invertörler ve diğer önemli bileşenleri birbirine bağlayarak sistemin etkin bir şekilde çalışmasını sağlar. Enerji depolama sistemlerinde

kablo seçimi büyük bir önem taşır ve çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Akım taşıma kapasitesi, gerilim seviyesi, ısıl ve çevresel koşullar, esneklik ve montaj kolaylığı gibi faktörler, kablo seçim sürecinde dikkate alınması gereken temel unsurlardır. Kablo montajı ve kurulumu aşamasında ise doğru kesit ve uzunluk belirlenerek enerji kaybının en aza indirilmesi hedeflenir. Ayrıca, kablo izolasyonu ve koruma özellikleri çevresel etkilere karşı direnç sağlamak amacıyla gözden geçirilmelidir. Bağlantı noktalarının düzgün ve güvenli olması, enerji kaybını ve güvenlik risklerini önlerken, kablo yönetimi düzenli bir kurulumu destekleyerek bakım süreçlerini kolaylaştırır. Test ve doğrulama adımları ise kurulumun ardından kabloların doğru şekilde bağlandığını ve iletimin beklendiği gibi çalıştığını doğrulamak için önemlidir. Enerji depolama sistemlerinde kablo ve bağlantı sistemlerinin doğru seçimi, kurulum ve düzenli bakım, sistem performansını ve güvenilirliğini artırarak uzun ömürlü bir enerji depolama çözümü sağlar. Bu nedenle, uzmanların önerilerini ve belirlenen standartları takip etmek, başarılı bir enerji depolama sistemi için kritik bir adımdır.

5.6.3 İnvörtörler

Enerji depolama sistemlerinde, DC (doğru akım) enerjiyi depolama sisteminden gelen AC (alternatif akım) enerjiye dönüştüren invörtörler, depolanan enerjiyi kullanılabilir hale getirirler. İnvörtör seçimi, sistemin verimliliği, güvenilirliği ve performansı için kritik bir faktördür. İnvörtör seçerken dikkate alınması gereken temel faktörler arasında şunlar bulunmaktadır:

Güç Kapasitesi: İnvörtör, depolama sisteminin maksimum güç gereksinimini karşılamalı ve bataryaların maksimum ve sürekli güç kapasitelerine uygun olmalıdır.

Gerilim ve Akım Tipi: Seçilen invörtör, sistemde kullanılan bataryaların gerilim ve akım tipine uygun olmalıdır ve DC gerilim ve akım değerleriyle uyumlu olmalıdır.

Verimlilik: İnvörtörün yüksek verimlilikte çalışması önemlidir, çünkü bu, enerji kaybını minimize eder. Genellikle %90'ın üzerinde verimlilik hedeflenir.

Dalgalanma ve Dengeleme: İyi bir invörtör, dalgalanmayı minimize etmeli ve batarya paketlerini dengeli bir şekilde kullanarak batarya ömrünü uzatmalı ve performansı optimize etmelidir.

İzleme ve Kontrol Özellikleri: İnvörtör, batarya durumunu izleme ve kontrol etme yeteneklerine sahip olmalı ve batarya yönetim sistemleriyle uyumlu çalışabilmelidir.

Güvenlik ve Koruma Özellikleri: İnvörtör, aşırı şarj, aşırı deşarj, kısa devre gibi durumları algılayabilen ve buna göre koruma sağlayabilen özelliklere sahip olmalıdır.

Soğutma ve Termal Yönetim: İnvörtör, uzun süreli kullanımlarda bile termal olarak stabildir. Soğutma sistemleri ve termal yönetim özellikleri, invertörün uzun ömürlü ve güvenilir çalışmasını sağlar.

İnvörtör seçimi ve kurulumu aşamasında doğru montaj ve bağlantıların güvenli bir şekilde yapılması, sistem güvenliği ve performansı için kritiktir. Ayrıca, güvenilir bir üreticiden ve üründen satın almak, uzun vadeli kullanım ve garanti durumlarında destek almanızı sağlar.

İnvörtör seçimi, enerji depolama sistemlerinde sistemin verimliliği, güvenilirliği ve uzun ömürlü çalışması için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, sistem gereksinimlerinizi ve kullanım senaryolarınızı dikkate alarak uygun kapasitede ve özelliklerde bir invertör seçmek önemlidir. Profesyonel bir uzmana danışmak ve önerilerini almak da bu süreçte faydalı olabilir.

5.6.4 Enerji Depolama Konteynerleri veya Modülleri

Enerji depolama konteynerleri veya modülleri, modern enerji depolama sistemlerinde önemli bir rol oynayan batarya hücrelerinin paketlenmiş halleridir. Bu modüller genellikle büyük ölçekli enerji depolama tesislerinde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Birçok batarya hücresini içeren bu modüller, enerji depolama kapasitesini belirli bir kapasite ve voltaj seviyesinde bir araya getirerek sağlarlar.



Şekil 22: Enerji Depolama Konteynerinin Genel Görünüm

Bu modüllerin özellikleri, enerji depolama teknolojisinin gelişimine ve uygulama ihtiyaçlarına uygun olarak çeşitlenmiştir. Modüler tasarımları, standart boyutlarda

olmalarını sağlayarak farklı enerji depolama sistemlerine kolayca entegre edilebilmelerini sağlar. Bu özellik, farklı enerji depolama ihtiyaçlarına göre modüllerin ölçeklendirilmesine olanak tanır ve projelerin daha esnek bir şekilde yönetilmesini sağlar.

Termal yönetim sistemleri, enerji depolama modüllerinin sıcaklık kontrolünü optimize etmeye yardımcı olur. Bu sistemler, batarya hücrelerinin uygun çalışma sıcaklıklarında kalmasını sağlayarak bataryaların performansını artırır ve ömürlerini uzatır. Ayrıca, modüller güvenlik ve koruma özelliklerine sahiptirler. Aşırı şarj, aşırı deşarj, aşırı ısınma gibi durumları algılayabilen güvenlik sistemleri, bataryaların güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar ve olası riskleri en aza indirir.



Şekil 23 : Batarya Depolama Modülü



Şekil 24:Pil konnektörü



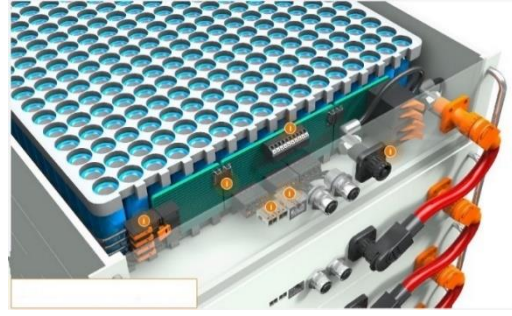
Şekil 25:Jack



Şekil 26: Klemens



Şekil 27: RJ45 Jack



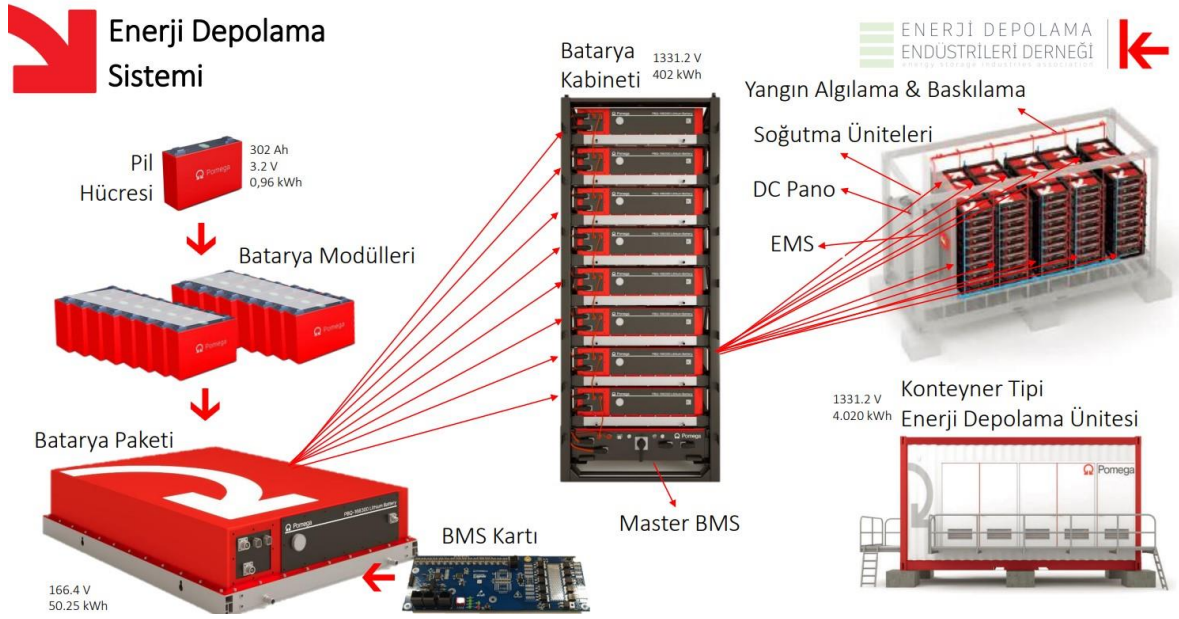
Şekil 28: Batarya Yönetim Sistemi



Şekil 29: Enerji Depolama Sisteminin İç Yapısı



Şekil 30: Enerji Paneli



Şekil 3113: Enerji Depolama Sistemi - Pilden Kabine [31]

5.6.5 Batarya Enerji Depolama Modüllerinin Kullanım Alanları

Enerji depolama modülleri, enerji sektöründe çeşitli uygulama alanlarında kullanılan çok yönlü yapı taşlarıdır. Bu modüller, özellikle büyük ölçekli enerji depolama projelerinde yaygın olarak kullanılır. Güneş veya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerjiyi depolama kapasitesine sahip olan bu modüller, elektrik şebekelerindeki enerji talep ve arz dengesizliklerini azaltmaya ve güvenilirliği artırmaya yönelik projelerde önemli bir rol oynarlar. Ticari ve endüstriyel uygulamalarda da enerji depolama modülleri sıklıkla tercih edilir. Büyük tesisler, fabrikalar veya işletmeler, bu modüller aracılığıyla enerji ihtiyaçlarını dengeleyebilir ve acil durumlarda güç sağlayabilir. Modüler tasarımları, işletmelerin özel enerji gereksinimlerine uygun çözümler sunma esnekliği sağlar. Elektrik şebekesindeki dalgalanmaları dengelemek ve yük taleplerini karşılamak amacıyla enerji depolama modülleri grid stabilizasyonunda kullanılır. Bu sayede şebeke stabilitesi artırılır ve enerji iletimindeki güç dalgalanmaları minimize edilir. Ayrıca, taşınabilir enerji depolama çözümleri de modüler bir yapıya sahip olabilir. Acil durumlar için kullanılan bu çözümler, felaket durumlarında elektrik sağlama veya uzak bölgelerde geçici enerji ihtiyaçlarını karşılama amacını taşır. Enerji depolama modüllerinin modüler yapısı, farklı uygulama alanlarına kolayca entegre edilebilir ve projelerin ölçeğini artırmak veya azaltmak konusunda esneklik sağlar. Bu modüler yaklaşım, enerji depolama sistemlerini daha verimli ve ölçeklenebilir hale getirerek enerji sektöründe çeşitli avantajlar sunar.

5.6.6 Termal Yönetim Sistemleri

Büyük enerji depolama sistemlerinde, batarya paketlerinin optimum sıcaklık aralığında kalmasını sağlamak için kullanılan termal yönetim sistemleri, batarya performansının artırılması ve uzun ömürlü kullanımının temin edilmesi açısından kritik bir rol oynar. Termal yönetim sistemleri, büyük ölçekli enerji depolama projelerinde batarya hücrelerinin aşırı ısınmasını engelleyerek batarya ömrünü uzatmaya odaklanır. Termal yönetim sistemlerinin temel işlevleri arasında sıcaklık izleme ve kontrol önemli bir rol oynar. Sistem, batarya hücrelerinin sıcaklık değerlerini sürekli olarak izler ve gerektiğinde müdahale ederek aşırı ısınmayı önler. Soğutma ve ısıtma işlemleri, batarya hücrelerinin optimal sıcaklık aralığında kalmasını sağlamak için kullanılan diğer önemli teknikler arasında yer alır. Hücre dengesi ve eşit ısı dağılımı, termal yönetim sistemlerinin bir diğer

önemli işlevidir. Bu sistemler, batarya paketinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlayarak hücreler arasında dengeyi korur. Aşırı ısınmayı önleme, termal yönetim sistemlerinin bir diğer kilit avantajıdır. Bu, batarya hücrelerinin performansını artırırken güvenliği sağlar ve aşırı ısınma kaynaklı sorunları en aza indirir. Sıvı soğutma sistemleri, hava soğutma sistemleri, termal izolasyon malzemeleri ve sensörlerle desteklenmiş otomasyon, termal yönetim sistemlerinin kullanılan teknikleridir. Bu sistemlerin avantajları arasında performansın artırılması, uzun ömürlü kullanım ve güvenlik bulunur. Sonuç olarak, termal yönetim sistemleri büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde batarya sağlığını korur ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Optimum sıcaklık aralığında çalışmak, batarya performansını artırarak enerji verimliliğini destekler ve uzun vadeli kullanımı güvence altına alır.

5.6.7 Kontrol ve İzleme Sistemleri

Enerji depolama sistemlerinde, işleyişin izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla kullanılan özel yazılım ve donanımlar, sistemlerin verimli ve güvenli bir şekilde işlemesine olanak tanır. Bu özel yazılım ve donanımlar, veri toplama, analiz, performans takibi ve otomasyon gibi işlemlere yönelik olarak tasarlanmıştır. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetim ve Veri Toplama) sistemleri, enerji depolama sistemlerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılır. Gerçek zamanlı verileri toplayan, işleyen ve görselleştiren bu yazılımlar, sistemin genel performansını takip etmek amacıyla önemli bir rol oynar. Enerji Yönetim Sistemleri (EYS), enerji depolama sistemlerinin enerji akışını optimize etmek, depolama kapasitesini yönetmek ve enerji talebine uyum sağlamak için kullanılır. Bu yazılımlar, sistemin enerji yönetimi süreçlerini düzenler ve verimliliği artırmak amacıyla tasarlanmıştır. Battery Management System (BMS), batarya paketlerinin performansını izlemek, dengelemek, korumak ve verimliliğini artırmak için kullanılır. Şarj seviyelerini kontrol eden, aşırı şarj/deşarj durumlarını önleyen bu sistem, bataryaların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Veri toplama ve sensörler, sistemdeki farklı bileşenlerden veri toplayan sensörleri içerir. Örneğin, sıcaklık, akım, voltaj gibi sensörler, sistemin işleyişi hakkında önemli veriler sağlar. Kontrol ve izleme üniteleri, veri analizi yapmak, alarmları işlemek ve gerektiğinde sistemdeki değişiklikleri yapmak için kullanılır. Bu üniteler, sistemin günlük işleyişini yönetir ve performansı optimize etmek amacıyla kullanılır. Otomasyon sistemleri, sistemin süreçlerini otomatize etmek için kullanılır. Rutin işleri yöneten ve belirli senaryolara göre otomatik tepkiler

verebilen bu sistemler, enerji depolama sistemlerinin verimli çalışmasını destekler. Veri depolama ve analiz, toplanan verilerin depolanması, analiz edilmesi ve performansın izlenmesi için kullanılır. Bu veriler, sistemin optimize edilmesi ve gelecekteki planlamalar için önemli bir kaynak oluşturur. Bu yazılım ve donanım bileşenleri, enerji depolama sistemlerinin karmaşık süreçlerini yönetir ve sistemlerin güvenilirliğini sağlar. Gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve kontrol yetenekleri, enerji kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmek ve sistemin performansını optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Bu bileşenlerin entegrasyonu, enerji depolama sistemlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde çalışmasına katkı sağlar.

5.6.8 Güvenlik ve Acil Durum Sistemleri

Büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde, yangın söndürme sistemleri, aşırı voltaj veya akım durumunda devreye giren acil durum kesme sistemleri gibi güvenlik önlemleri bulunabilir. Elbette, büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde güvenlik önlemleri oldukça kritik bir rol oynar. Bu sistemlerde, yangın söndürme, aşırı voltaj veya akım durumlarında devreye giren acil durum kesme sistemleri gibi bir dizi önlem bulunur.

5.6.9 Yangın Söndürme Sistemleri

Yangın söndürme sistemleri, çeşitli tasarımları ve işlevleri içeren önemli güvenlik önlemleridir. Bu sistemler, farklı tipteki yangınları etkili bir şekilde kontrol etmek ve söndürmek için tasarlanmıştır. Köpük söndürme sistemleri, yangın anında kimyasal köpüklerin kullanılmasını içerir. Bu köpükler, batarya bölmelerini kaplayarak yangının yayılmasını engeller. Yangın çıkması durumunda hızlı bir tepki sağlamak adına bu sistemler yaygın olarak kullanılır. Gazlı söndürme sistemleri özel gazlar, genellikle argon veya azot gibi inert gazlar, kullanarak yangını bastırır. Bu gazlar oksijen seviyesini düşürerek yangını etkili bir şekilde söndürür. Özellikle hassas ekipmanlar veya alanlarda tercih edilen bir yangın söndürme yöntemidir. Su söndürme sistemleri, belirli durumlarda kullanılabilen bir diğer yangın söndürme çözümüdür. Su püskürtme sistemleri, yangını kontrol altına almak için kullanılır. Ancak, bataryalarla temas etmesi durumunda su, hasara yol açabileceğinden dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Su püskürtme sistemleri genellikle yangın riski olan ortamlarda tercih edilir ve özellikle belirli yangın tipleri üzerinde etkilidir. Bu çeşitli yangın söndürme sistemleri, yangın güvenliği açısından önemli bir rol oynar ve

farklı yangın senaryolarına uygun olarak seçilebilir. Her biri belirli avantajlar ve sınırlamalar sunarak, çeşitli uygulama alanlarına hitap eder ve yangın güvenliği standartlarını karşılamak için kullanıcı ihtiyaçlarına uygun bir çözüm sunar.

5.6.10 Aşırı Voltaj veya Akım İçin Acil Durum Kesme Sistemleri

Elektrik devrelerindeki güvenlik önlemlerinden bazıları, aşırı akım veya voltaj durumlarında sistemi korumak için tasarlanmış çeşitli elektrikselsel cihazları içerir.

Kesiciler (Circuit Breakers), elektrik devresindeki aşırı akım durumlarında devreye girer. Bu cihazlar, aşırı akımı algıladıklarında hızla devreyi keserek elektrik akışını durdurur. Bu, elektrik devresini ve bağlı ekipmanları aşırı akıma karşı korur. Kesiciler, çeşitli tiplerde bulunabilir ve belirli uygulama ihtiyaçlarına uygun olarak seçilebilir. Kontaktörler (Contactors), elektrik devresindeki aşırı voltaj veya akım durumlarında devreye girer. Bu cihazlar, genellikle aşırı akım veya voltaj durumunda otomatik olarak devreyi kapatır ve elektrik akışını keser. Kontaktörler, özellikle büyük elektrik yüklerini kontrol etmek veya korumak için kullanılır. Bu sayede, sistem aşırı yüklenme veya diğer elektrikselsel sorunlardan kaynaklanan potansiyel hasarlardan korunur. Bu güvenlik cihazları, elektrik sistemlerinde oluşabilecek aşırı akım veya voltaj durumlarının kontrol altına alınmasına yardımcı olarak, kullanıcıların ve ekipmanların güvenliğini sağlar. Elektrik devrelerindeki kesiciler ve kontaktörler, elektrik tesisatlarının güvenilir ve etkili bir şekilde çalışmasını destekleyerek, elektrik enerjisinin güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

5.6.11 Sistem Güvenlik ve Kontrolü

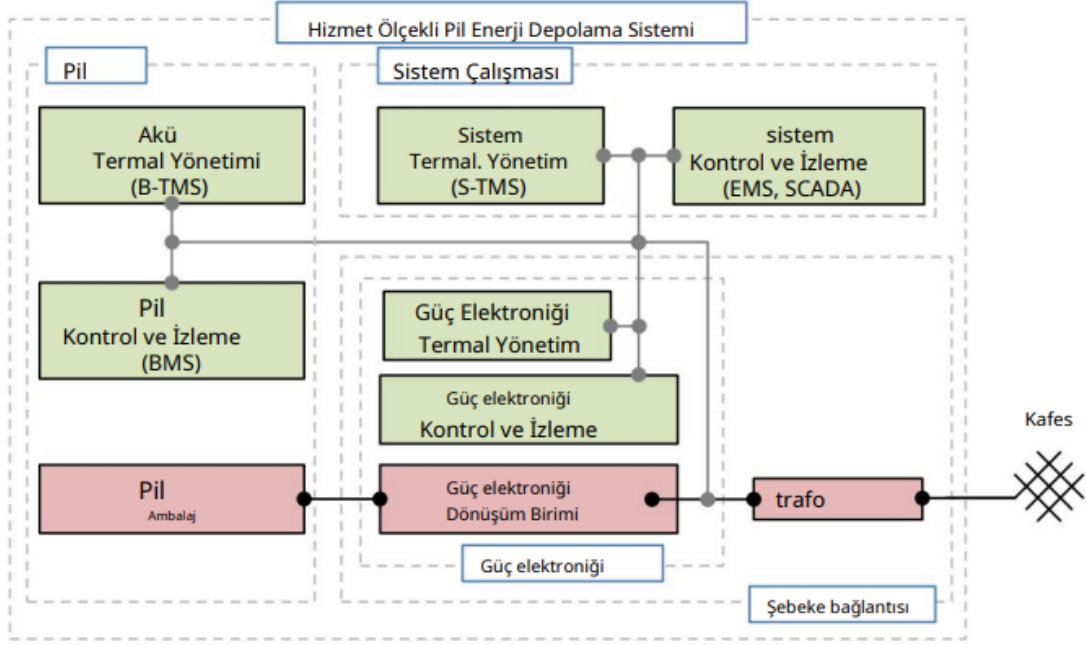
Büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinin güvenliğini sağlamak ve olası riskleri minimize etmek amacıyla bir dizi güvenlik önlemi kullanılmaktadır. Aşırı Şarj/Deşarj Koruması: Enerji depolama sistemlerinde kullanılan bataryaların aşırı şarj veya deşarj olmasını engelleyen sistemler, batarya ömrünü ve güvenliğini korur. Bu, batarya hücrelerinin belirlenen sınırlar içinde çalışmasını sağlayarak potansiyel hasarları önler. Akım ve Voltaj Sensörleri: Sistemdeki aşırı akım veya voltaj durumlarını algılayan sensörler, hızlı bir şekilde bu durumları tespit eder. Bu sayede, anormal elektrik akışları veya voltaj dalgalanmalarına karşı sistem güvenliğini sağlar. Sensörler, sistemdeki elektrikselsel değişiklikleri izleyerek, potansiyel tehlikeli durumları önceden belirler. Sistem İzleme ve Otomasyon: Gerçek zamanlı izleme ve otomasyon sistemleri, enerji depolama

sistemlerinin sürekli olarak izlenmesini sağlar. Anormal durumları tespit ettiğinde otomatik olarak devreye giren bu sistemler, acil durum prosedürlerini başlatarak hızlı ve etkili bir müdahale sağlar. Bu, sistem performansını optimize etmek ve olası güvenlik sorunlarına hızlı çözümler getirmek için önemli bir unsurdur. Bu güvenlik önlemleri, enerji depolama sistemlerinin karmaşık yapıları ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Ancak, her bir sistemin özel ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanması, güvenliği en üst düzeye çıkarmak için önemlidir. Bu sayede, büyük ölçekli enerji depolama sistemleri hem verimli çalışabilir hem de güvenli bir şekilde enerji depolama görevini yerine getirebilir. Bu bileşenler, büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinin çalışmasını sağlayan ana yapı taşlarıdır. Teknoloji ilerledikçe ve yeni gelişmeler yaşandıkça, bu sistemlerde kullanılan bileşenler ve teknolojiler de sürekli olarak gelişmekte ve iyileştirilmektedir.

5.6.12 Sabit Enerji Depolama Sistemi Tasarımı

Sabit enerji depolama sistemi tasarımı, enerji depolama sistemlerinin etkili ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kritik bir rol oynar. Bu tasarım süreci, bir dizi önemli faktörü içermektedir. İlk olarak, enerji depolama sisteminin belirli amaçları ve gereksinimleri belirlenmelidir. Örneğin, ev kullanımı için tasarlanan bir enerji depolama sistemi ile ticari bir enerji depolama sistemi farklı gereksinimlere sahip olabilir. Bu nedenle, sistemin kullanılacağı bağlam dikkate alınmalıdır. Bir diğer kritik faktör, sistemde kullanılacak batarya tipi ve kapasitesidir. Lityum-iyon, nikel-kadmiyum (NiCd) veya nikel-metal Hidrür (NiMH) gibi farklı batarya seçenekleri, depolama sistemi tasarımında dikkate alınması gereken önemli unsurlardır. Güç elemanları, enerji depolama sistemi tasarımında büyük bir öneme sahiptir. Bu, sistemin gücü, dayanıklılığı ve performansını belirleyen kritik bir faktördür. Seçilen güç elemanları, sistemin verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Ayrıca, tasarım sürecinde izolasyon ve güvenlik özelliklerinin titizlikle incelenmesi gerekmektedir. Bu, enerji depolama sistemi çalışması sırasında olası tehlikeli durumları önlemek ve sistem güvenliğini sağlamak için önemlidir. Son olarak, kontrol ve yönetim sistemi, enerji depolama sistemi tasarımının ayrılmaz bir parçasıdır. Bu sistem, enerji depolama sisteminin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar, enerji akışını düzenler ve sistemin istenen performansı sağlamasına yardımcı olur.

Bu faktörlerin tümü, enerji depolama sistemi tasarımının detaylı bir şekilde incelenmesinde ve belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Doğru tasarım, enerji depolama sisteminin hem verimli hem de güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gereklidir.



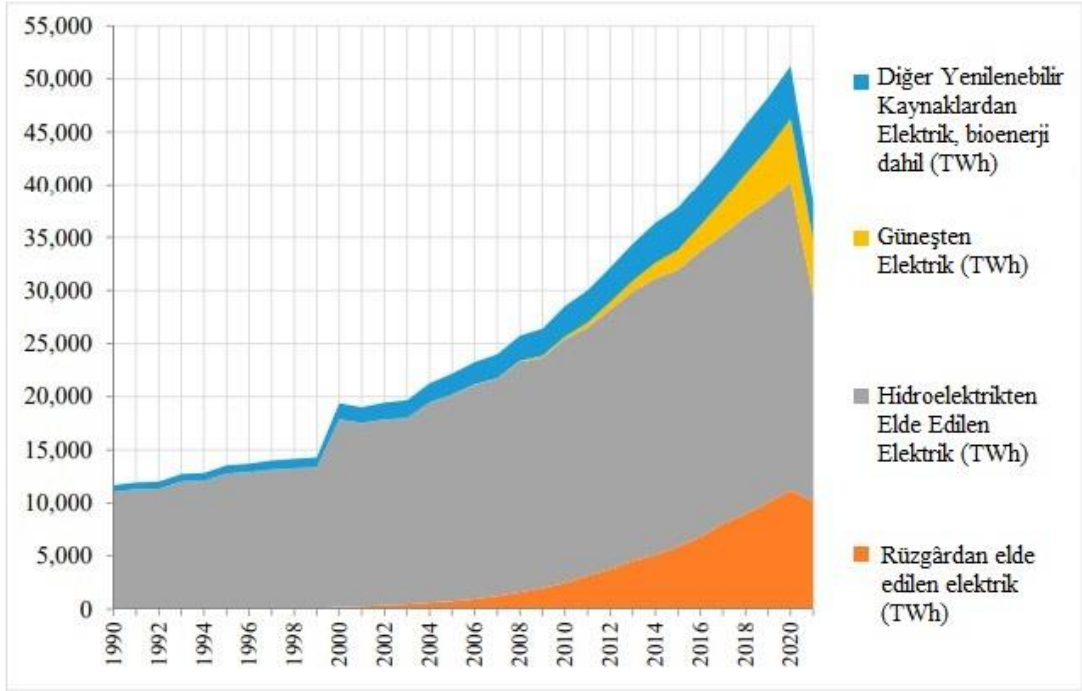
Şekil 32 : Şebeke ölçeğinde bir batarya depolama sistemine genel bakış [50]

Gri çizgiler yardımcı güç kaynağını, siyah çizgiler ise ana enerji depolama güç akışını gösterir.

6.DÜNYADA ENERJİ DEPOLAMA

6.1 Dünyada Enerji Depolama Kapasitesi

Toplam enerji üretiminin karşılaştırmalı yüksek direnci tarafından gizlenen daha önemli bir değişiklik, özellikle yenilenebilir kaynaklardan (rüzgar, güneş, biyoyakıtlar ve jeotermal enerji vb.) yapılan üretimde, genel enerji tüketimindeki düşüşe rağmen en büyük büyümeyi yaşamıştır. Rüzgar ve güneş enerjisi üretimindeki güçlü artışlar, bu genişlemenin ana itici güçleri olmuştur. [32] Dünya genelindeki enerji üretiminde yenilenebilir enerjinin oranı, en hızlı artışını yaşamaktadır. Şekil 8'de gösterildiği gibi önceki beş yıl içinde dünya genelindeki enerji üretimindeki artışın yaklaşık %60'ı yenilenebilir kaynaklardan gelirken, bunların arasında rüzgar ve güneş enerjisi önemli bir yer tutmaktadır [32,33]

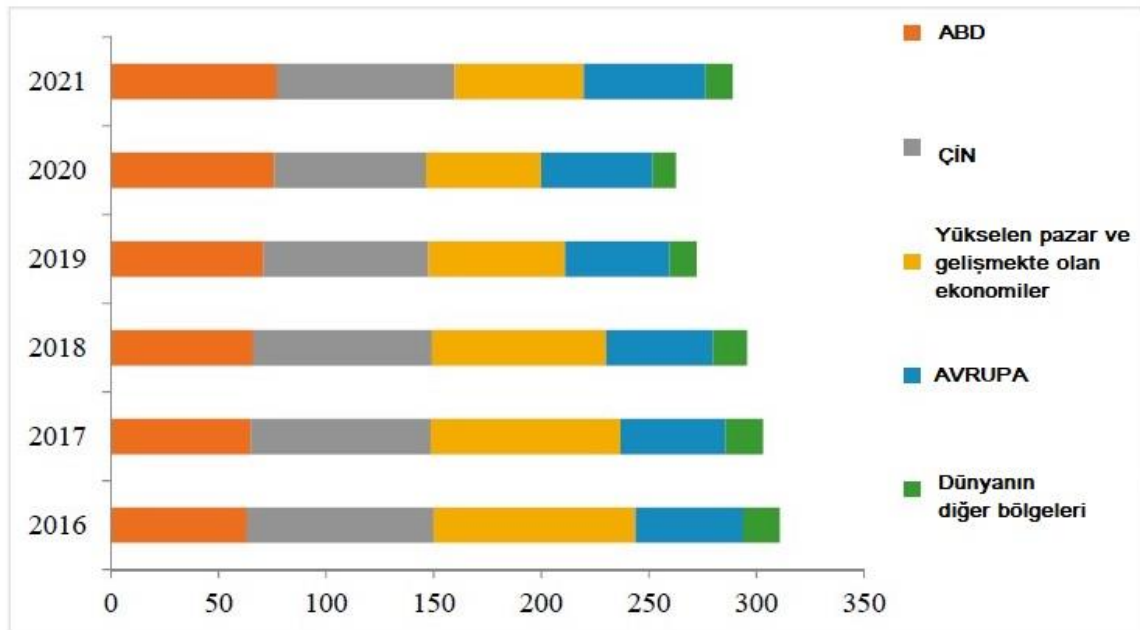


Şekil 33. Dünya çapında yenilenebilir enerji üretiminin geçişi.

Gelişmekte olan bir pazar ekonomisi, genişledikçe küresel piyasalara giderek daha fazla katılan bir ülkenin ekonomisidir. Gelişmekte olan bir ekonomi, düşük insan gelişme endeksine, düşük büyümeye, düşük kişi başına gelire ve endüstrileşme ile girişimcilik yerine tarıma dayalı faaliyetlere olan bir tercihe sahip olan ekonomidir. Diğer bir deyişle, gelişmekte olan bir ekonomi, gelişmekte olan bir ülke veya az gelişmiş bir ekonomi olarak da bilinir. Avrupa, Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nde artan altyapı harcamaları ile birlikte, güç ağlarına yapılan yatırımların, 2020'de COVID-19 salgını nedeniyle dördüncü yıl üst üste düşmesinin ardından gelecekte %10 artması beklenmektedir. Karbonsuz enerji üretimine ulaşma çabalarının bir parçası olarak, daha güçlü ve dijital şebekeler inşa etmek için kararlı büyüme ve iyileşme planlarına entegre edilen önlemler bulunmaktadır. Ancak, 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu'nda, şebeke yatırım seviyesi 2030'a kadar üç katına çıkacak, özellikle akıllı şebekeler ve dijital yatırımlar için, bu on yıldaki tüm yatırımların yaklaşık %40'ını oluşturması beklenmektedir (Tablo 4 ve Şekil 9'da gösterildiği gibi) [32,33].

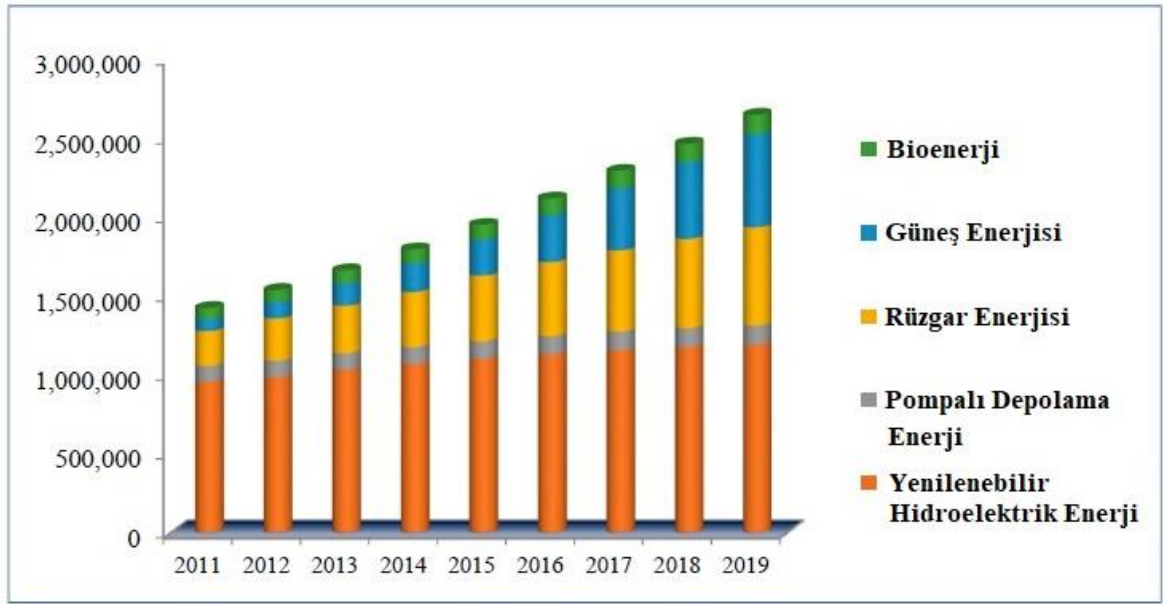
Çizelge 6.1 - Bölgelere göre elektrik ağlarına yapılan yatırım harcamaları, 2016–2021 (milyar ABD doları).

Bölge	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ABD	63.1	65	66	71	75.8	77.1
ÇİN	86.9	83.7	83.2	76.6	70.7	82.6
Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler	93.9	88.2	81.1	63.5	53.5	60
AVRUPA	50	48.7	49.5	48.5	51.8	56.7
Dünyanın geri kalan bölgeleri	17	17.5	15.9	12.6	10.8	12.6



Şekil 34: Bölgelere göre elektrik şebekelerinde yatırım harcamaları. (Yıl-Milyar \$)

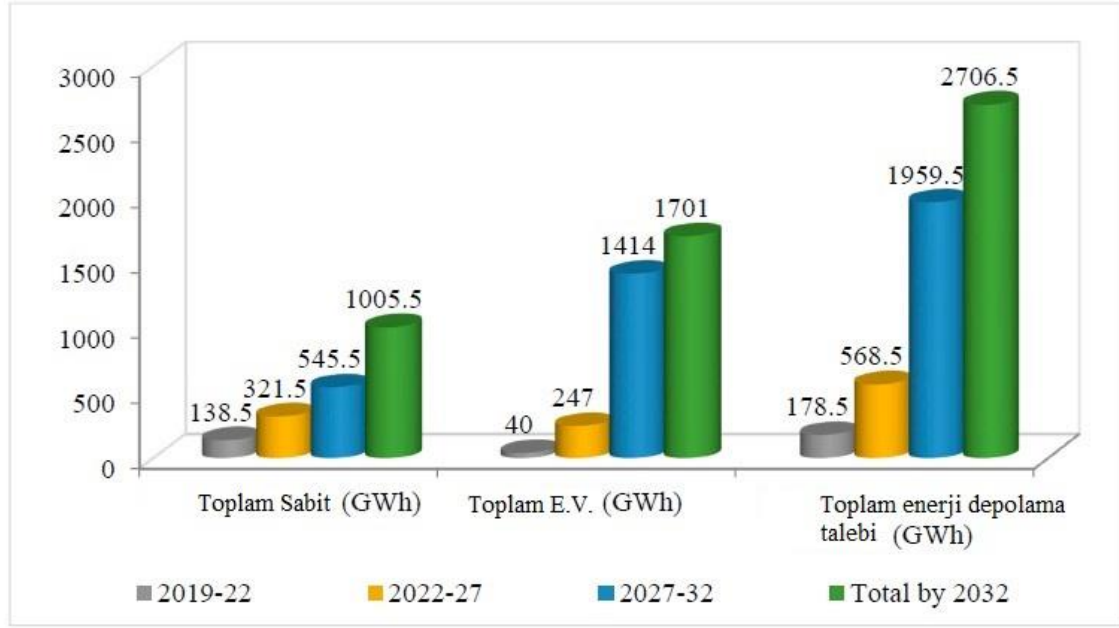
Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üreten elektrik santralleri ve diğer tesislerin maksimum net üretim kapasitesi, yenilenebilir enerji üretim yeteneğini ölçmek için kullanılır. Veriler, çoğu ülkenin ve teknolojinin sonunda kurulu ve bağlı kapasitesini yıl sonunda göstermektedir (Şekil 35'te gösterilmiştir) [33–34-35].



Şekil 35: Dünyada Yenilenebilir Elektrik Kapasitesi İstatistikleri

6.1.1 Kapsamlı Enerji Depolama Yol Haritası -Hindistan Örneği

Hindistan, 2030'a kadar enerji karışımındaki fosil olmayan enerji üretimini %40'a çıkarma hedefini belirledi ve sera gazı emisyon yoğunluğunu 2005 seviyesinden %33 ila %35 azaltmaya kararlıdır. Bu hedefe ulaşmak için yenilenebilir enerjinin (YE) yüzdesi, mevcut olan 2022'deki 175 GW hedefinin üzerine çıkarılmalıdır. Gelecek yıllarda, artan miktardaki yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların (EA) penetrasyonu nedeniyle şebeke güvenilirliğini sağlama ve sürekli kaliteli enerji tedarik etme konusunda şebeke işletmecileri zorluklarla karşılaşacaktır. Bu durum, enerji depolama sistemlerinin şebeke desteği için kullanılmasına kapı açacaktır [36,37] Bu durum, şirketlere bu sistemlerin çeşitli YE ve EA penetrasyon seviyelerindeki ekonomik fırsatları ve şebeke güvenilirliği üzerindeki etkilerini anlamalarını sağlayacaktır (Şekil 37'de gösterildiği gibi) [38]



Şekil 36: Hindistan'ın kapsamlı enerji depolama yol haritası

Araştırma grubu BloombergNEF ve kalite güvence sağlayıcısı DNV'nin ayrı analizlerine göre[39], yenilenebilir enerji yatırımları ve hükümet politikalarının dünya şebekelerine esneklik kazandırmak için depolama ihtiyacını artırması nedeniyle dağıtımlarda bir artış olacaktır. [39]. Bloomberg NEF'in 2. Yarı 2023 Enerji Depolama Piyasası Görünümü raporunda firma, küresel kümülatif kapasitenin 2030 sonuna kadar 1.877 GWh kapasiteye ulaşarak 650 GW üretime ulaşacağını tahmin ederken, DNV'nin yıllık Enerji Dönüşümü Görünümü, yalnızca lityum iyon pil depolamasının 2030 yılına kadar 1,6 TWh'ye ulaşacağını tahmin edilmektedir. Başka bir deyişle, her ikisi de terawatt-saat sınırının bu on yılın sonundan çok önce aşıldığını düşünülmektedir. BloombergNEF için tahmin rakamlarının art arda yukarı yönlü revizyonları takip edilmektedir. Mart ayında yayınlanan bu yılın ilk yarısına ilişkin raporda , 2030 yıl sonuna kadar kümülatif kurulu kapasitenin 508 GW/1.432 GWh olacağı tahmin edilmektedir. Bir yıl önce bu rakamlar 411 GW ve 1.194 GWh idi; bu da 27 GW'lık kurulu kapasiteden çok büyük sıçramaları temsil eder. 2021 sonu itibarıyla kaydedilen kümülatif kurulum kapasitesi 27GW/56GWh şeklinde sunulmuştur [39].

6.1.2 Çin'in Gelişen Batarya ve Depolama Yatırımları

Çin'in gelişen ekonomisi batarya yatırımlarını ve enerji depolamayı da geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir. Dünya elektrikli araç çağına hazırlanırken, pil üretimi Amerika Birleşik Devletleri de dahil olmak üzere birçok ülke için bir öncelik haline gelmiştir. BloombergNEF'in lityum iyon tedarik zinciri sıralamasının ardındaki verileri ve tahminleri kullanan bu infografik, 2022 ve 2027'de ülkelere göre pil üretim kapasitesini görselleştirerek Çin'in pil hakimiyetinin boyutunu vurgulamaktadır. [39]

Çizelge 6.2: 2022 Yılında Ülkelere Göre Batarya Üretim Kapasitesi

Sıralama	Ülke	2022 Pil Hücresi Üretim Kapasitesi, GWh	% Toplam
1	Çin	893	%77
2	Polonya	73	%6
3	A.B.D.	70	%6
4	Macaristan	38	%3
5	Almanya	31	%3
6	İsveç	16	%1
7	Güney Kore	15	%1
8	Japonya	12	%1
9	Fransa	6	%1
10	Hindistan	3	%0,2
11	Diğer	7	%1

Çizelge 6.2 incelendiğinde; Dünya genelindeki pil üretiminin yüzde 77'sini oluşturan yaklaşık 900 gigavat-saatlik üretim kapasitesi ile Çin, dünya genelinde en büyük 10 pil üreticisinden altısına ev sahipliği yapmaktadır. Çin'in pil sektöründeki etkinliği, metal madenciliğinden elektrikli araç üretimine kadar uzanan elektrikli araç tedarik zincirindeki dikey entegrasyonunu içermektedir. Ayrıca, 2021 yılında küresel satışların yüzde 52'sini oluşturarak en büyük elektrikli araç pazarına da ev sahipliği yapmaktadır. Çin, dünya genelindeki pil üretim kapasitesinin yüzde 69'una sahip olmasıyla, bu köklü avantajının 2027 yılına kadar devam etmesi beklenmektedir. Bu süreçte, ABD'nin ise önümüzdeki beş yıl içinde pil üretim kapasitesini 10 katından fazla artırması planlanmaktadır. Bu artışın önemli bir faktörü, Enflasyonu Azaltma Yasasındaki elektrikli araç (EA) vergi kredilerinin, yerli malzemelerle üretilen EA'leri ödüllendirerek pil üretimini teşvik etmesi olabilir. Ford,

General Motors, Toyota, SK Innovation ve LG Energy Solution gibi Asya şirketleri, son aylarda ABD'de pil üretimine yatırım yapacaklarını açıklamışlardır. Avrupa, 2027 yılında akü üretimi açısından öngörülen ilk 10 ülkeden altısına ev sahipliği yapacaktır. Bu başarıda, Almanya'nın Volkswagen'i, Çin'in CATL'si ve Güney Kore'nin SK Innovation'ı gibi yerli ve yabancı şirketlerin katkıları önemli bir rol oynayacak. Avrupa'daki mevcut ve gelecekteki akü tesisleri, uluslararası işbirlikleri ve yerel girişimlerin bir araya gelmesiyle şekillenmektedir. [40]

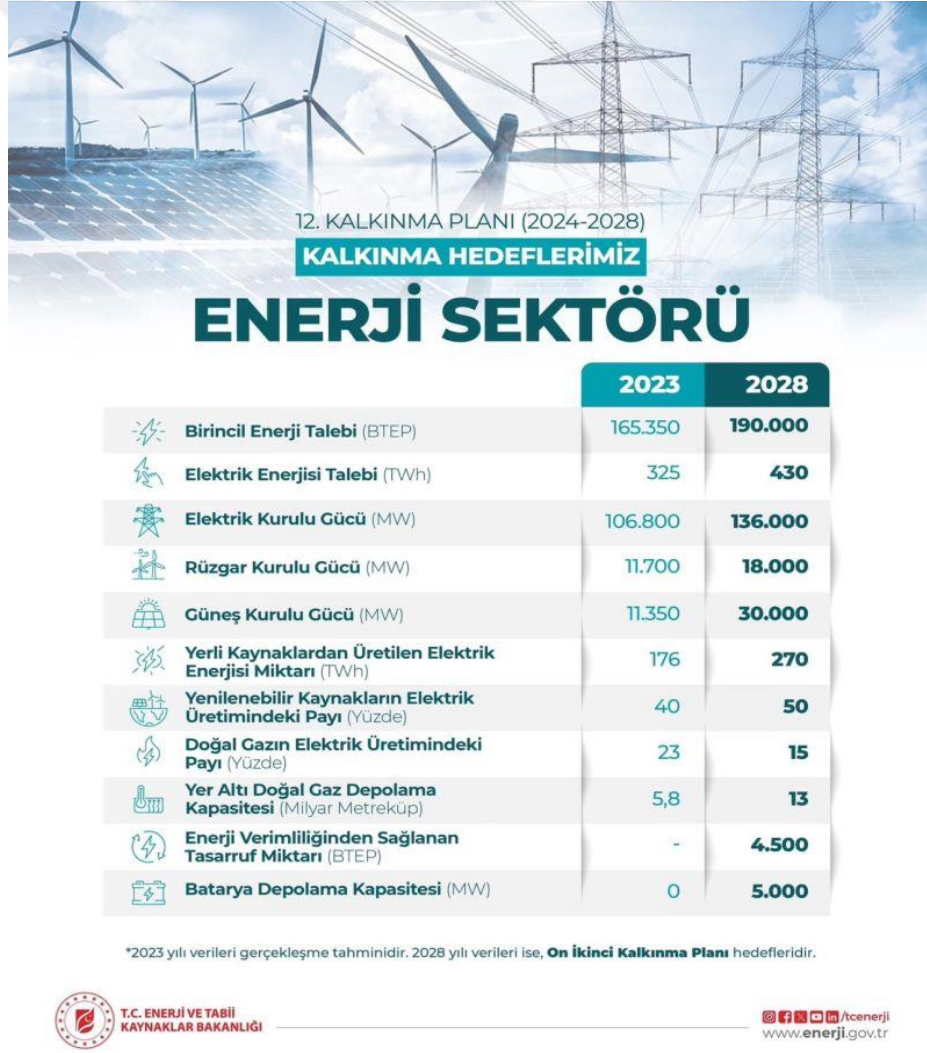
6.1.3 Almanya'da Batarya Depolama Sistemlerinin Gelişimi

Batarya depolama sistemleri (BDS) Almanya'da uzun süredir hızla büyüyor ve gelecekte bu büyüme daha da artacaktır. Bu hızlı büyüme, mevcut gelişmeler hakkında yetersiz bilgi oluşmasına neden olabilmektedir. Ev depolama sistemleri 2022'de batarya enerjisi açısından %52 büyüyerek Almanya'daki en büyük sabit depolama pazarı haline gelmiştir. Yalnızca 2022'de tahmini 220.000 Ev Depolama Sistemi (1.9 GWh / 1.2 GW) kurulmuştur. Endüstriyel depolama sistemleri pazarı %24 büyüyerek 2022'de toplamda 1,200 Endüstriyel Depolama Sistemi (0.08 GWh / 0.04 GW) kurulmuştur. Büyük ölçekli enerji depolama sistemleri (BEDS) pazarı ise %910 artarak 47 BEDS (0.47 GWh / 0.43 GW) devreye alınmıştır. Elektrikli araç (EA) pazarı batarya enerjisi açısından %34 büyüyerek 693.000 yeni EA (27 GWh / 43 GW (DC) / 4.5 GW (AC)) ile genişlemiştir. Şarj noktası başına EA sayısı 2017'de 9 iken 2022'de 23'e yükselmiştir. PDS sistem fiyatları 2022'de önemli ölçüde artarak EDS için 1.200 €/kWh seviyesine çıkmıştır. BEDS fiyatları ise ortalama olarak 310 €/kWh ile 465 €/kWh arasında değişmiştir. 2022'de EA fiyatları, araçların batarya enerjilerine bölünerek belirlenmiştir; ortalama belirli EA sistem fiyatları orta sınıf için 800 €/kWh'dan lüks araçlar için 1.240 €/kWh'a kadar değişmiştir. Toplamda, 2022 sonunda Almanya'da 7.0 GWh batarya enerjisi ve 4.3 GW inverter gücüne sahip 650.000'den fazla sabit PDS, ayrıca 65 GWh batarya enerjisi ve 91 GW DC şarj gücüne (12 GW AC) sahip 1.878.000 EA tahminen çalışmaktaydı. Yaklaşık 72 GWh'lik bir birikmiş batarya enerjisi, ulusal olarak kurulan 39 GWh'lik pompa hidro depolama miktarının neredeyse iki katıdır ve batarya depolamanın enerji sistemi için muazzam esneklik potansiyelini göstermektedir [41].

6.1.4 Türkiye'deki Güncel Durum

Elektrik depolama tesisi yatırımları Türkiye'de, mevcut koşullar altında, yüksek yatırım maliyetleri ve uzun lisanslama süreçleri nedeniyle henüz istenilen seviyede değildir. Ancak, lityum iyon pil teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte düşen yatırım maliyetleri ve uygun finansman koşulları, yatırımların geri dönüş süresini kısaltabilir, bu da yatırımların artmasına yol açabilir. Bu gelişmelerle birlikte, elektrik depolama tesisi yatırımlarının artması beklenmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yayınlamış olduğu tabloya göre 2024-2028 yılları arasındaki kalkınma planı hedefleri tabloda belirtilmiş olup, mevcutta sıfır olan batarya depolama kapasitesi 2028 yılına kadar 5000 MW olacaktır. [42]



Şekil 37 : Türkiye'nin Batarya Depolama Kapasitesi Hedefi [42]

6.2 Enerji Depolama Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

DNV, 2050 yılına kadar lityum-iyon (Li-iyon) kurulumlarının 22TWh'ye ulaşacağını ve bunların çoğunluğunun, daha küçük bir bağımsız Li-iyon pil depolaması ve daha küçük bir kısmı ile şebeke ölçekli güneş PV'li lityum-iyondan oluşacağını belirtmektedir. O zamana kadar yaklaşık 1,4 TWh'ye ulaşan uzun süreli enerji depolama (LDES) teknolojileri daha küçük ama giderek büyümektedir. [51]

Bununla birlikte, DNV tahminine göre, eski LDES teknolojisi olan pompalı hidro enerji depolamanın (PHES) nispeten az sayıda yeni kurulum görmesi muhtemel olup, bugün mevcut olan 3 TWh civarında kalacaktır. DNV'ye göre lityum iyon "yeniliğin eşliğinde" ve tedarik zinciri zorluklarından kaynaklanan bazı son maliyet baskılarına rağmen, şebeke ölçeğindeki Li-iyon batarya enerji depolama sistemi (BEDS) teknolojisinin maliyetinin, ABD'nin altına düşeceğini tahmin edilmektedir. 2030'a kadar 200 ABD Doları/kWh ve 2050'ye kadar 130 ABD Doları/kWh civarına kadar düşecektir. Bu bataryaların üretim maliyetleri, 2010 yılından bu yana sürekli bir düşüş eğiliminde olup, özellikle elektrikli araç üretim maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, gelecek yıllarda bu bataryaların üretim maliyetlerinin daha da düşmesi beklenmektedir. [51]

6.3 Enerji Depolamada Geri Dönüşüm

Lityum-iyon bataryaların geri dönüşümü, enerji depolama teknolojilerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu süreç, lityum iyon bataryaların ömrünü tamamladığında veya kullanım dışı kaldığında, içerdikleri değerli materyallerin geri kazanılmasını ve çevresel etkilerin minimize edilmesini hedeflemektedir. Geri dönüşüm süreci genellikle şu adımları içerir: Toplama ve Ayırma, Taşıma ve Depolama, Deşarj, Ayırıştırma ve İşleme, Metal Geri Kazanımı, Elektrot Malzemeleri Geri Kazanımı, ve Elektrolit ve Diğer Kimyasalların Yönetimi. Toplama ve Ayırma aşaması, kullanılmış lityum iyon bataryaların toplanmasını içerir. Bu aşamada, farklı batarya tipleri ve boyutları ayrıştırılır ve uygun şekilde sınıflandırılır. Bu, geri dönüşüm tesislerine gönderilecek malzemenin belirlenmesine olanak tanır. Taşıma ve Depolama aşamasında, toplanan bataryalar güvenli bir şekilde taşınır ve geçici olarak depolanır. Bu sırada bataryalardan

sızan kimyasalların çevreye zarar vermemesi için özel önlemler alınır. Deşarj aşamasında, bataryalardaki enerji güvenli bir şekilde boşaltılır, bu da taşınma ve işleme sırasında olası güvenlik risklerini azaltır. Ayırıştırma ve İşleme aşaması, bataryaların geri dönüşüm tesislerinde ayırıştırılmasını ve bileşenlerinin (metal, elektrolit, plastik vb.) ayrılmasını içerir. Kimyasal maddelerin etkili bir şekilde çıkarılması için özel işleme teknikleri kullanılır. Metal Geri Kazanımı aşamasında, lityum, kobalt, nikel ve diğer metaller bataryalardan geri kazanılabilir. Bu metaller, çeşitli proseslerle ayırıştırılır ve yeniden kullanılmak üzere rafine edilir. Elektrot Malzemeleri Geri Kazanımı aşamasında, anot ve katot malzemeleri bataryanın elektrotlarından geri kazanılabilir ve tekrar üretim veya başka endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir. Elektrolit ve Diğer Kimyasalların Yönetimi aşamasında ise, elektrolit ve diğer kimyasallar özel işleme yöntemleriyle ayırıştırılır ve çevreye zarar vermeden imha edilir veya yeniden kullanılır. Bu aşamaların tamamı, lityum iyon bataryaların etkili bir şekilde geri dönüşümünü sağlayarak çevresel sürdürülebilirlik ve değerli malzeme yönetimi açısından önemli bir rol oynar. Bu süreç, aynı zamanda gelecekteki enerji depolama sistemlerinin gelişimi için kritik bir bileşen olarak görülmektedir.

6.4 Yapay Zeka(YZ) İle Enerji Depolama Sistemleri Gelişimi

Enerji depolama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, günümüzde giderek artan bir öneme sahip olup, bu alandaki teknolojik gelişmeler, batarya teknolojilerini etkileyerek sistemin verimliliği, güvenliği ve kullanılabilirliği üzerinde önemli bir etki bırakmaktadır. Yapay zeka (YZ) ise bu yeniliklerin önemli bir katalizörü olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, YZ'nin enerji depolama sistemlerinde batarya teknolojilerine entegrasyonu, bir dizi avantaj sunmaktadır. Verimlilik açısından, YZ'nin akıllı şarj yönetimi, bataryaların şarj ve deşarj süreçlerini optimize etme kapasitesine sahiptir. Kullanım alışkanlıklarını analiz ederek en uygun şarj zamanlarını belirleme yeteneği, enerji depolama sistemlerinin daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, YZ tarafından yapılan tahmin ve analizler, bataryaların performansını önceden tahmin etmeye yardımcı olarak, bakım zamanlaması ve kullanım şeklinin optimize edilmesini mümkün kılar, bu da bataryaların ömrünü uzatır. Güvenlik boyutunda, YZ'nin hata öngörüsü yetenekleri önemlidir. YZ, bataryalardaki potansiyel hataları önceden tespit edebilir, anormallikleri belirleyip önleyici bakım önerileri sunarak güvenlik risklerini en aza indirebilir. Aynı zamanda, YZ'nin optimum sıcaklık kontrolü, bataryaların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayarak, güvenlik

önlemlerini artırır ve batarya ömrünü uzatır. Kullanım kolaylığı açısından, YZ'nin adaptif performansı, bataryaların kullanım alışkanlıklarına göre performanslarını ayarlayabilme yeteneğini içerir. Bu, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre daha verimli enerji sağlayabilir. Aynı zamanda, uzaktan izleme ve yönetim yetenekleri, bataryaların durumunu uzaktan takip etmeyi ve sorunları hızla tespit edip çözmeyi mümkün kılar. Araştırma ve geliştirme açısından, YZ'nin malzeme tasarımı konusundaki analitik yetenekleri, daha etkili batarya malzemelerinin keşfedilmesine ve geliştirilmesine öncülük edebilir. Simülasyon ve modellerle deneme, farklı batarya tasarımlarının etkilerini önceden değerlendirerek, en verimli ve güvenilir olanları belirlemeye yardımcı olabilir. Sonuç olarak, Yapay Zeka'nın enerji depolama sistemlerinde batarya teknolojilerine entegrasyonu, sistemin daha verimli, güvenli ve kullanıcı dostu olmasına katkı sağlayabilir. Bu entegrasyon, enerji depolama alanında sürekli iyileştirmeler ve inovasyonlar sağlayarak, sürdürülebilir enerji depolama sistemlerinin gelişimine öncülük edebilir. Akıllı şebekeler, enerji iletimi, dağıtımı ve tüketimi konusunda geleneksel şebekelere göre daha fazla veri toplama, iletişim ve kontrol yeteneğine sahip olan gelişmiş enerji altyapı sistemleridir. Bu şebekeler, bilgi ve iletişim teknolojilerini enerji sektörüne entegre ederek daha etkin, güvenilir ve sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturmayı amaçlarlar. Akıllı şebekeler, enerji verimliliğini artırır, enerji kaynaklarını daha iyi yönetir ve kullanıcıların enerji tüketimini daha bilinçli bir şekilde kontrol etmelerine olanak tanır.

Akıllı şebekelerin temel özellikleri şunlardır: İletişim Teknolojileri, Akıllı sayaçlar, sensörler ve diğer cihazlar arasında sürekli ve hızlı veri iletişimi sağlar. Uzaktan Kontrol ve Yönetim, Enerji şirketleri, enerji tüketimini uzaktan izleyebilir ve yönetebilir. Bu sayede enerji verimliliği artar ve sorunlara hızlı müdahale edilebilir. Enerji Depolama, Akıllı şebekeler, enerji depolama sistemlerini daha etkin bir şekilde entegre edebilir. Bu, enerjiyi belirli bir dönemde depolayarak, talep ve arz dengesizliklerini gidermeye yardımcı olur. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu, Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerji dalgalanmalarını dengeleme yeteneğine sahiptir.

Akıllı şebekelerin önemli bir bileşeni olan enerji depolama sistemleri, batarya teknolojilerini içerir. Bu depolama sistemleri, ağı entegre edilmiş büyük ölçekli batarya bankaları veya bireysel ev sahiplerinin kullanabileceği küçük ölçekli batarya sistemleri olabilir. Enerji depolama sistemleri, şebeke üzerindeki dalgalanmaları düzenler, ani enerji taleplerini karşılar ve şebeke güvenilirliğini artırır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerjiyi depolayarak kullanılabilirliğini artırır.

Batarya depolama sistemlerinin akıllı şebekelerle entegrasyonu, enerji verimliliğini artırır ve şebekenin daha esnek ve dayanıklı olmasını sağlar. Akıllı şebekeler, enerji talebini ve arzını dinamik bir şekilde yönetirken, depolama sistemleri bu süreçte kritik bir rol oynar. Batarya teknolojileri, enerji depolama sistemlerindeki sürekli gelişmelerle birlikte, akıllı şebekelerin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasına katkıda bulunmaktadır. Yine yapay zeka ve makine öğrenmesi desteğiyle çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Lityum-iyon bataryalar, hafiflikleri, yüksek enerji yoğunlukları ve uzun ömürleri nedeniyle enerji depolamak için ideal bir tercih olarak görülür. Bununla birlikte, kullanıma bağlı olarak içerdikleri kimyasal bileşenlerin bozunması sonucunda kapasiteleri zamanla azalır, performansları düşer ve patlama riskleri artar. Bu sebeplerle, lityum-iyon bataryaların sağlık durumlarını değerlendirmek, güvenlik ve maliyet açısından büyük bir önem arz eder. Sağlık durumu (SOH), bataryaların mevcut kapasitesinin başlangıçtaki kapasitesine oranı olarak tanımlanabilir. SOH kestiriminin önemli bir unsuru, bataryaların kapasite bozunumlarını en iyi yansıtan sağlık göstergelerini (HIs) belirlemek ve bu göstergeleri SOH kestiriminde doğru bir şekilde kullanmaktır. Lityum-iyon bataryaların şarj veya deşarj sırasında ölçülen akım, gerilim, sıcaklık ve empedans gibi parametreler, bataryaların sağlık durumu hakkında kritik bilgiler sunar. Ancak, öznelik çıkarımı bağlamında, bu parametrelerin bataryaların kapasitelerine olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmeli, ihtiyaç duyulması halinde çeşitli veri ön işleme adımlarından geçirilmeli ve makine öğrenmesi algoritmaları için uygun hale getirilmelidir. [43]

Yapay zeka ve makine öğrenimi destekli olarak, lityum-iyon bataryaların deşarj sırasındaki kapasite bozunumları, görüntülerle temsil edilerek öznelik seçimi ve çıkarımı konusundaki matematiksel ve zamansal işlem yükü ortadan kaldırma çalışmaları yapılmaktadır. Görüntü tabanlı bu öznelik çıkarımı, son derece özgün ve yenilikçi bir yaklaşımdır. Makine öğrenimi yöntemleri ile SOH tahmini geleneksel yöntemlere alternatif olmaktadır. [44]

6.5 Türkiye’de Enerji Depolama Firmaları ve Kuruluşları

Aspilsan Enerji: Devlete ait bir enerji şirketi olan Aspilsan Enerji, lityum iyon pil üretim tesisi ile Türkiye'nin ilk yerli enerji depolama sistemlerini üretmektedir. Bu sistemler, savunma sanayisi, elektrik şebekesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. 2017'den itibaren Türkiye'nin pil ve batarya teknolojisinde milli bir lider olma hedefiyle

Ar-Ge faaliyetlerine başlamıştır. Özellikle ülkemizde üretilmeyen Li-iyon silindirik pil hücresi konusunda öncü olmayı amaçlayan firma, Lityum İyon Silindirik Pil Üretim Tesisi'ni kurarak pil hücresi malzemesi geliştirme ve yerli ekosistem oluşturma misyonunu üstlenmiştir. Üretilen hücre, Li-NMC/grafit kimyasında, 18650 tipinde, 2900 mAh kapasitede ve 3.68V gerilime sahiptir. Tesis, Kayseri Mimarsinan OSB'de 25.000 metrekare kapalı alana sahiptir. Makine, ekipman ve yardımcı sistemlerin kurulumu ve devreye alma işlemleri tamamlanarak, saha kabul testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Haziran 2022'de optimizasyon tamamlanarak seri üretime başlanmıştır. [45]

Enerjisa: Türkiye'nin en büyük elektrik dağıtım şirketlerinden biri olan Enerjisa, enerji depolama sistemlerini şebeke kesintilerini önlemek, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği depolamak ve şebeke dengesini sağlamak amacıyla kullanmaktadır. Aksa Enerji: Türkiye'nin en büyük elektrik üretim şirketlerinden biri olan Aksa Enerji, enerji depolama sistemlerini yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği depolamak ve şebeke dengesini sağlamak amacıyla kullanmaktadır.

Koç Holding: Koç Holding bünyesindeki Arçelik, Grundig ve Beko gibi şirketler, enerji depolama sistemlerini beyaz eşya ürünlerinde kullanmaktadır. Bu sistemler, cihazların enerji tüketimini azaltmaya ve enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olmaktadır. Tofaş: Tofaş, enerji depolama sistemlerini elektrikli araç üretiminde kullanmaktadır. Bu sistemler, elektrikli araçların menzillerini artırmaya ve elektrik şebekesi üzerindeki yükünü azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Kontrolmatik: Ankara'daki tesislerinde, Kontrolmatik enerji depolama sistemlerini üretim aşamasından teslimine kadar sağlamaktadır. Pomega Enerji Depolama Teknolojileri A.Ş., Kontrolmatik'in bir parçası olarak 2022'den bu yana enerji depolama çözümlerini sunmaktadır. Inovat: Anahtar teslim enerji depolama ve yönetim çözümleri sunmaktadır. [46] Europower Enerji, Aksa Enerji, YEO Enerji, Anatolia Yenilenebilir Enerji, GalataWind Enerji, Sanko Enerji, Fiba Enerji ve Menderes Enerji: Bu firmalar enerji depolama için başvuruda bulunmuşlardır. [47]

Elektrik depolama tesisleri, artan yenilenebilir enerji üretiminin aşırı elektrik arzını depolayarak kullanım ihtiyacı arttığında şebekeye geri vererek dengelemeyi sağlar. Progresiva Enerji Yatırımları Ticaret AŞ, Silivri'de kurulacak 250 megavat gücündeki bağımsız elektrik depolama tesisi için başvuruda bulunarak Türkiye'nin ilk örneği olmayı hedeflemektedir. Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği'ne göre, lisanslı üretim santralleri bünyesindeki depolama tesisleri mevcut lisanslara entegre edilirken,

tüketim tesisleri için ayrı lisans gerekmemektedir. Tedarik lisansı için başvuruda bulunan şirket, yurt genelinde toptan ve perakende elektrik satışı yapmayı hedeflemektedir [48]. Bu firmaların enerji depolama sistemlerini geliştirmesi ve kullanması, enerji maliyetlerini düşürme, talep yükünü kontrol etme ve sürdürülebilir bir enerji geleceği oluşturma hedefine katkıda bulunmaktadır. Bu firmaların enerji depolama sistemlerini geliştirmesi ve kullanması, enerji maliyetlerini düşürme, talep yükünü kontrol etme ve sürdürülebilir bir enerji geleceği oluşturma hedefine katkıda bulunmaktadır.

6.6 Enerji Depolama Kuruluşlarından Bazıları

Günder - Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu – Türkiye Bölümü

Enerji Depolama Endüstrileri Derneği

Pilder - Pil, Batarya Üreticileri ve Tedarikçileri Derneği

6.7 Dünya Çapında Enerji Depolamada Öncü Şirketler ve Kuruluşlar

- ABB Ltd
- BYD Co. Ltd.
- Fluence Energy
- General Electric Company
- Hitachi, Ltd
- Kokam
- LG Chem
- Maxwell Technologies Inc.
- NEC Energy Solutions
- Orion Energy Systems, Inc.
- Panasonic Holdings Corporation
- Saft Groupe SAS
- Samsung SDI Co., Ltd.
- Siemens Energy AG
- Tesla Energy Operations, Inc.
- Alevo Analytics
- Ambri
- Aquion Energy
- Beacon Power
- Blue Planet Energy
- C&D Technologies
- Enel X

- EnSync Energy
- ESS Inc.
- FlexGen
- Fluidic Energy
- GNB Industrial Power
- Greensmith Energy
- GS Yuasa
- Hitachi Chemical
- Johnson Controls
- Leclanche
- Mitsubishi Electric
- NEC Energy Solutions
- Nidec ASI
- Powertech Systems
- Powin Energy
- Primus Power
- Redflow
- Saft Batteries
- Schmid Group
- Sharp Corporation
- Siemens Energy
- SimpliPhi Power
- Stem Inc.
- Sumitomo Electric Industries
- Sunverge Energy
- Tesla Powerpack
- Toshiba
- Varta Storage.
- Vionx Energy
- ViZn Energy Systems
- XALT Energy
- Younicos
- Advanced Energy Storage Systems Association (AESS)
- California Energy Storage Alliance (CESA)
- China Energy Storage Alliance (CNESA)
- Clean Energy Council (CEC)
- Electric Power Research Institute (EPRI)
- Energy Storage Association (ESA)
- Energy Storage Europe
- European Association for Storage of Energy (EASE)
- German Energy Storage Association (BVES)
- Global Energy Storage Alliance (GESA)
- IEEE Power and Energy Society (PES)
- Indian Energy Storage Alliance (IESA)

- International Association for Energy Storage (IAES)
- International Electrotechnical Commission (IEC)
- International Renewable Energy Agency (IRENA)
- Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- National Renewable Energy Laboratory (NREL)
- Solar Energy Industries Association (SEIA)
- The Smart Electric Power Alliance (SEPA)
- Uluslararası Enerji Depolama Birliği (IAES)
- Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)
- Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)
- Japonya Elektrik Üreticileri Birliği (JEMA)
- Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA)
- Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL)
- Güneş Enerjisi Sanayicileri Derneği (SEIA)
- Akıllı Elektrik Enerjisi İttifakı (SEPA)

[49]

7.SONUÇ

Büyük ölçekli sabit batarya depolama sistemleri, elektrik enerjisini depolamak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, enerji üretim ve dağıtımının daha verimli ve güvenli hale getirilmesini amaçlar. Dünya çapında, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı ile birlikte, bu tür sistemlerin önemi de artmaktadır. Büyük ölçekli sabit batarya depolama sistemleri, enerji seviyesini düzenlemek, enerji fiyatlarını stabilize etmek ve elektrik arz-talebinin dengelenmesine yardımcı olmak için kullanılabilir. Bunlar, aynı zamanda enerji üretim santrallerinin yedek enerji kaynağı olarak da kullanılabilir.

Bu bölümlerden, yenilenebilir enerji sistemi kullanımının bir seçenek olmadığı, aksine zorunlu olduğu gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli bulunabilirliği nedeniyle enerji depolama sistemi, her yenilenebilir enerji entegre güç sistem için esastır. Bu özellikle sistem sapmalarına daha duyarlı olan şebeke bağımsız sistemleri için geçerlidir.

Enerji depolama sistemlerinin birçoğu geliştirilmiş olmasına rağmen, hiçbiri tüm uygulamaların gereksinim duyduğu özelliklere tam olarak sahip değildir. Hangi depolama teknolojisinin bir uygulamada kullanılacağına belirlenmesi, teknolojilerin sahip olduğu ortak anahtar özelliklerin kıyaslanmasıyla yapılabilir. Ancak, uygulamadaki sistem sayısının sınırlı olması ve bazı teknolojilerin ticari olarak olgunlaşmamış olmaları nedeniyle, bazı ön kabullerle hareket etmek gerekmektedir.

Depolama teknolojileri, teknik özellikler, ekonomik açıdan işletme ve kurulum maliyetleri, özgül enerji, özgül güç değerleri, enerji kapasitesi ve maksimum depolama süresi gibi faktörler açısından birbirinden farklılık gösterir. Yeni bir seçim yapılacağına, her bir enerji depolama sisteminin ilgili uygulamaya uygunluğunun detaylı bir şekilde analiz edilmesi önemlidir.

Büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri, enerji sistemlerinin güvenilirliğini, verimliliğini ve esnekliğini artırmak için kullanılan önemli araçlardır. Bunlar, elektrik üretiminin ve dağıtımının dengesini sağlamak, enerji fiyatlarının oynaklığını azaltmak ve enerji kaynaklarının etkilenmesini azaltmak gibi fonksiyonları yerine getirir. Bununla birlikte, bu sistemlerin performansı, içlerindeki batarya teknolojilerine bağlıdır.

Yapılan incelemeler, enerji depolama cihazlarının mevcut durumunu ve uygulanabilirliğini inceleyerek, şebeke destek uygulamaları için en uygun depolama teknolojileri

belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, teknik, ekonomik ve çevresel etki değerlendirme kriterleri çeşitli depolama cihazlarının özellikleri ve potansiyellerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Kapsamlı inceleme, elektrokimyasal depolama kategorisinden lityum-iyon pilin düşük ve orta boyutlu uygulamalara yüksek güç ve enerji yoğunluğu gereksinimleri için uygun olduğunu göstermektedir. En önemli kriterlerden biri de ticari teknolojisi diğerlerine göre tamamlanmıştır.

Lityum iyon piller, birçok taşınabilir elektronik cihaz, araç ve uzay araçları gibi birçok uygulama için bir enerji depolama çözümüdür. Lityum iyon piller, birim başına daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip oldukları için daha uzun pil ömrü ve hafif cihazlar sunarlar. Ayrıca, hafiflikleri, taşınabilir cihazlarda kullanımı daha kolay hale getirir.

Lityum iyon bataryalar aynı zamanda düşük kendi deşarj hızına sahiptir, bu da cihazların uzun süre kullanılmadığı durumlarda enerji kaybını minimumda tutar. Hızlı şarj ve deşarj yetenekleri, kullanıcılara daha hızlı şarj olma ve cihazı daha hızlı kullanma imkanı sunar. Çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkan lityum iyon bataryalar, zararlı ağır metaller içermemeleri ve geri dönüşümlerinin daha kolay olmalarıyla çevre açısından avantaj sağlarlar.

Ayrıca elektrik depolama kategorilerinden ise kondansatörler, süperkapasitörler ve süperiletken manyetik enerji depolama cihazları yüksek güç uygulamaları için uygunluğu görülmüştür. Lityum İyon bataryalar için uygulama alanı genişlemekte ve teknolojik gelişmelerle, yapay zeka uygulamalarıyla da daha da iyileşecektir. Sonuç olarak, büyük ölçekli sabit enerji depolama sistemleri için batarya teknolojilerinin araştırılması, enerji sistemlerinin verimliliğini, güvenilirliğini ve esnekliğini artırmak için önemlidir. Lityum-iyon bataryalar, bu sistemler için en uygun batarya teknolojisidir ve gelecekte daha da iyileşecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Koç, E., ve Şenel, M. C.** (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu–Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-44.
- [2] **Global Electricity Review**, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)
- [3] **Bilgi Merkezi** <<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>>(Erişim tarihi 12.01.2024)
- [4] **Denholm, P. Ela, E., Kirby, B. and Milligan, M.** (2010) The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. Report of National Renewable Energy Laboratory. Colorado, USA. <https://doi.org/10.2172/972169>
- [5] **S Koohi-Kamali, VV Tyagi, NA Rahim, NL Panwar, H Mokhlis** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 135-165
- [6] **Aydın R, Baykal Ş, Terciyanlı A, Çam E,** (2020) Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Uygulamaları için Uygun Teknoloji Seçimi Metodolojisi Önerilmesi
- [7] **Winter, M., & Brodd, R. J.** (2004). What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245- 4270. doi:<https://doi.org/10.1021/cr020730k>
- [8] **Pillerin Tarihiçesi** <<https://batteryuniversity.com/article/bu-101-when-was-the-battery-invented>> (Erişim tarihi 15.01.2023)
- [9] **Küresel Enerji Depolama** <<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kuresel-elektrik-depolama-kapasitesi-2030da-400-gigavatsaati-asacak/2929307>> (Erişim tarihi 15.11.2023)
- [9] **Aydın R, Baykal Ş, Terciyanlı A, Çam E,** (2020) Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Uygulamaları için Uygun Teknoloji Seçimi Metodolojisi Önerilmesi
- [10] **World Energy Council** (2019) Energy Storage Monitor: Latest trends in energy storage-2019 https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf
- [11] **H. Chen, T. Cong, W. Yang,** et al., Progress in electrical energy storage system: a critical review, *Prog. Nat. Sci.* 19 (2009) 219–312.
- [12] **D. Akinyele, R. Rayudu,** Review of energy storage technologies for sustainable power networks, *Sustain. Energy Technol. Assess.* 8 (2014) 74–91.
- [13] **F. Nadeem, S. Hussain, P. Tiwari,** et al., Comparative review of energy storage systems, their roles, and impacts on future power systems, *IEEE Access* 7 (2018) 4555–4585.
- [14] **O. Krishan, S. Suhag,** An updated review of energy storage systems: classification and applications in distributed generation power systems incorporating renewable energy resources, *Int. J. Energy Res.* 43 (2018) 6171–6210.
- [15] **J. Mitali, S. Dhinakaranb, A.A. Mohamad-** Energy storage systems: a review
- [16] **IRENA,** in: Innovation Outlook: Thermal Energy Storage, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020, p. 2020.
- [17] **A. Olympios, J. McTigue, P. Farres-Antunez,** et al., Progress and prospects of thermo-mechanical energy storage—a critical review, *Progress Energy* 3 (2021) 022001
- [18] **N. Ntavarinis, P. Davies, E. Oterkus,** Assessment of energy storage technologies for case studies with increased renewable energy penetration, *Limnol. Oceanogr.* 4 (2019) 000007.

- [19] **T. Nguyen, V. Martin, A. Malmquist**, et al., A review on technology maturity of small scale energy storage technologies, *Renew. Energy Environ. Sustain.* 2 (2017) 36.
- [20] **W. M. Haynes**, ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press/Taylor ve Francis, Boca Raton, FL, 95. Baskı, İnternet Versiyonu 2015, Aralık 2023'te erişildi.
- [21] **USGS-Mineral Commodity Summaries**, 2023
- [22] **Whittingham, M. S.**, History, “Evolution, and Future Status of Energy Storage”, *Proceedings of the IEEE, Issue Special Centennial, Vol. 100*, 2012, p 1518-1534)
- [23]<<https://tr.euronews.com/2019/10/09/nobel-kimya-odulu-nun-sahipleri-belli-oldu-lityum-iyon-pil-enerji>> (Erişim tarihi 15 Eylül 2023)
- [24] **Sauer, D. U., Karden, E, Fricke B., Holger Blanke, Marc Thele, Oliver Bohlen, Julia Schiffer, Jochen Bernhard Gerschler, Rudi Kaiser**, —Charging performance of automotive batteries—An underestimated factor influencing lifetime and reliable battery operation| *Journal of Power Sources Vol.168* 22–30,(2007).
- [25]<<https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-explained/how-does-a-lithium-ion-battery-work> > (Erişim tarihi 12 Eylül 2023)
- [26] **Nature Communications**, "ZDDP-enhanced performance of lithium metal anodes through zinc-phosphorus-based chemistry<<https://techxplore.com/news/2023-12-ultra-thin-lithium-great-anode-material.html>>
- [27]**Dr. Bernt Johannessen**, *Nature Communications*. <<https://techxplore.com/news/2023-12-ultra-thin-lithium-great-anode-material.html>>
- [28]<<https://www.researchandmarkets.com/reports/5806124/grid-scale-stationary-battery-storage-market#product--toc>>(Erişim 15 Eylül 2023)
- [29]<<https://www.iata.org/en/publications/newsletters/iata-knowledge-hub/what-to-know-about-how-to-ship-lithium-batteries/> > (Erişim 15 Eylül 2023)
- [30]<<https://www.iata.org/en/publications/store/lithium-battery-shipping-regulations/>> (Erişim 25 Eylül 2023)
- [31]<(https://enerjidepolama.org/wp-content/uploads/osman-cotuker-kontrolmatik-yerli-batarya-uretimi.pdf)> (Erişim 25 Eylül 2023)
- [32] **Available online:** <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/powerby-fuel.html> (accessed on 8 July 2022) (Erişim 8 Temmuz 2022)
- [33]**Available online:** <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-spending-in-electricity-networks-by-region-2016-2021> (Erişim 10 Temmuz 2022)
- [34]**Available online:** <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021> (Erişim 10 Temmuz 2022)
- [35]**Available online:** <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Erişim 15 Temmuz 2022)
- [36]**Dawn, S.; Gope, S.; Das, S.S.; Ustun, T.S.** Social Welfare Maximization of Competitive Congested Power Market Considering Wind Farm and Pumped Hydroelectric Storage System. *Electronics* 2021, 10, 2611. [CrossRef]
- [37]**Singh, N.K.; Koley, C.; Gope, S.; Dawn, S.; Ustun, T.S.** An Economic Risk Analysis in Wind and Pumped Hydro Energy Storage Integrated Power System Using Meta-Heuristic Algorithm. *Sustainability* 2021, 13, 13542. [CrossRef].

- [38] **Available online:**
https://indiasmartgrid.org/reports/ISGF_Report_Energy_Storage_System_RoadmapforIndia_2019to2032_11July2019_Draft.pdf (Erişim 7 Temmuz 2022)
- [39] <<https://www.energy-storage.news/worlds-energy-storage-capacity-forecast-to-exceed-a-terawatt-hour-by-2030/>> (Erişim 25 Eylöl 2023)
- [40] <<https://about.bnef.com/blog/chinas-battery-supply-chain-tops-bnef-ranking-for-third-consecutive-time-with-canada-a-close-second/>> (Erişim 25 Eylöl 2023)
- [41] <<https://arxiv.org/abs/2203.06762v3>> (Erişim 25 Eylöl 2023)
- [52] <https://www.linkedin.com/posts/tcenerji_elektrikte-kurulu-g%C3%BCc%C3%BCm%C3%BCz%C3%BC-5-y%C4%B11-i%C3%A7inde-activity-7126508388401750018-bnRa?utm_source=share&utm_medium=member_desktop> (Erişim 26 Aralık 2023)
- [43] **Aydın, Y.**, (2023). State of health prediction of lithium-ion batteries using machine learning methods / Lityum-iyon bataryaların makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sağlık durumu kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [44] **Güner, K.**, (2023). Battery state of health (SOH) prediction using machine learning / Makine öğrenmesi ile batarya sağlık durumu tahmini
- [45] <<https://www.aspilsan.com/lityum-iyon-silindirlik-pil-uretim-tesisi/>> (Erişim 28 Kasım 2023)
- [46] <<https://www.inovat.com.tr/>> (Erişim 5 Ocak 2024)
- [47] <<https://www.yenisafak.com/ekonomi/ruzgar-ve-gunese-110-milyar-dolar-10-gunde-900-firma-depolamak-icin-basvurdu-3892824>> (Erişim 5 Ocak 2024)
- [48] <<https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiyenin-ilk-elektrik-depolama-tesisi-icin-250-milyon-dolarlik-basvuru/2485673#:~:text=T%C3%BCrkiye'nin%20ilk%20m%C3%BCsta kil%20elektrik,250%20milyon%20dolar%20olaca%C4%9F%C4%B1%20 hesaplan%C4%B1yor.>> (Erişim 5 Ocak 2024)
- [49] <<https://www.researchandmarkets.com/reports/5806124/grid-scale-stationary-battery-storage-market>> (Erişim 28 Kasım 2023)
- [50] **Baggu, M.; Smith, K.; Friedl, A.; Bialek, T.**; Schimpe, M. Performance and Health Test Procedure for Grid Energy Storage Systems. In Proceedings of the IEEE Power and Energy Society (PES) General Meeting, Chicago, IL, USA, 16–20 July 2017.
- [51] <<https://www.pacificgreen.com/articles/evaluating-dnvs-2023-energy-transition-outlook-predictions/>> (Erişim 08 Aralık 2023)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nurullah KOCAASLAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2007, Malatya Anadolu Lisesi
- **Önlisans** : 2013, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Medya ve İletişim Bölümü
- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Lisans** : 2017, Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2013-2018 Yılları arasında İstanbul'da Proje-Taahhüt firmasında çalıştı,
- 2018-2022 Yılları arasında Malatya'da Elektrik Kontrol Mühendisi olarak çalıştı,
- 2022 yılından itibaren ile Malatya'da kendi şirketinde çalışmalarını devam ettirmektedir.