

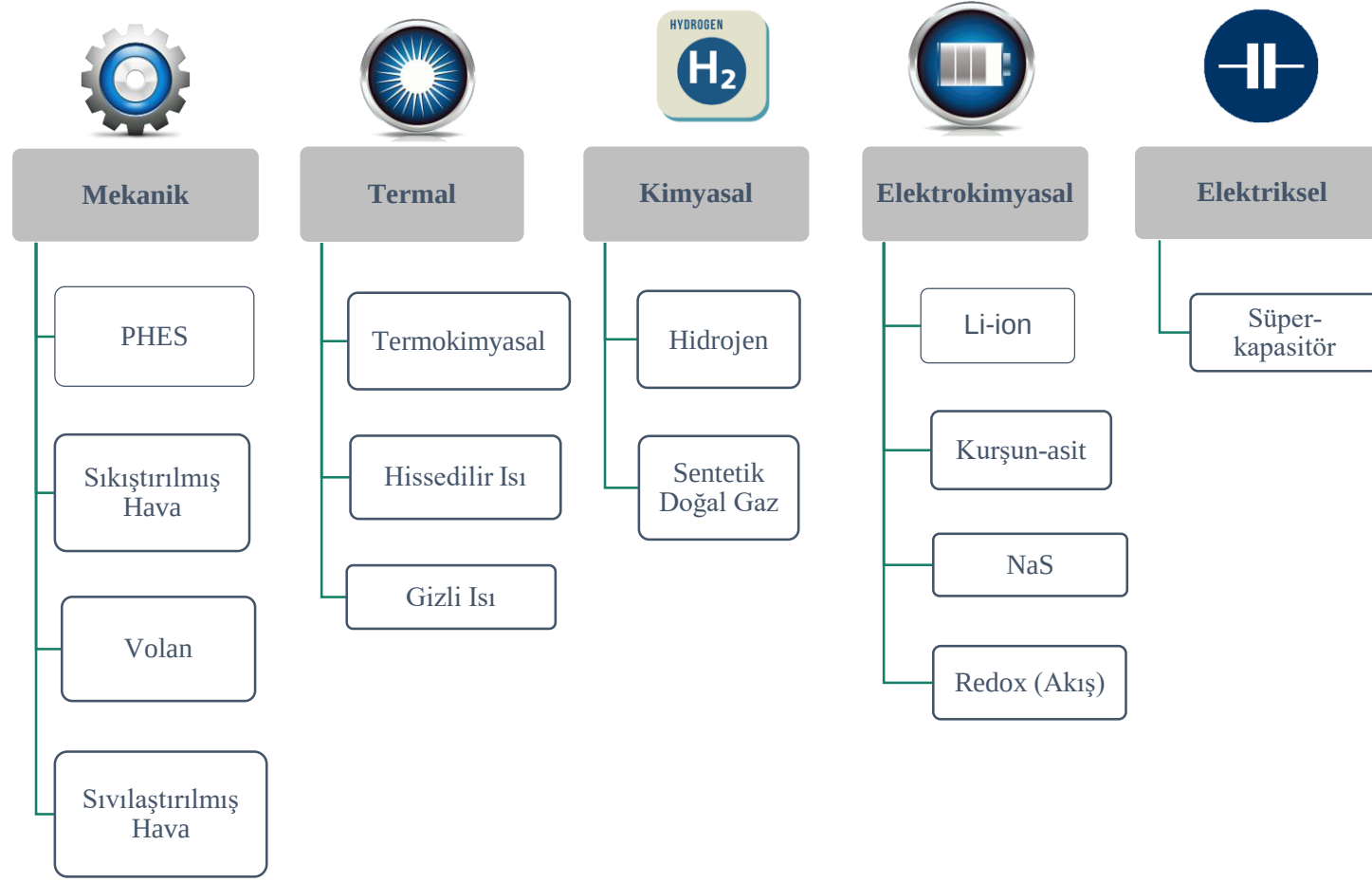
Şebeke arz güvenliğinde elektrik depolama sistemlerinin şebeke entegrasyonu ve gelecek vizyonu

Dr. Fazıl KAYTEZ
(Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi)

*Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
Enerji Politikaları ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı*



Enerji Depolama Teknolojileri



Enerji Depolama Teknolojileri

Mekanik Enerji Depolama



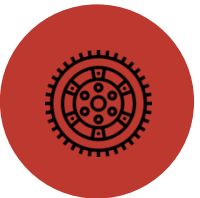
- PHES: İki su rezervuarı arasında suyun yer değiştirmesidir. Coğrafi koşulların uygunluğu aranır.



- Sıkıştırılmış Hava: Yer altındaki oyuklarda havanın depolanmasıdır. Coğrafi koşulların uygunluğu aranır.



- Sıvılaştırılmış Hava: Havanın sıkıştırılıp soğutulması ile uygulanır. Uygulamanın yapıldığı yerin coğrafi özelliklerinden bağımsızdır.



- Volan: Kısa süreli yüksek güç gerektiren uygulamalar için uygundur. Sürtünmesi azaltılmış disk veya silindirler ile yapılır.

Enerji Depolama Teknolojileri

Termal Enerji Depolama



- Termokimyasal: Bir yöndeki tepkimeden ısı alınırken, diğer yöndeki tepkimede ortama ısı verilir.



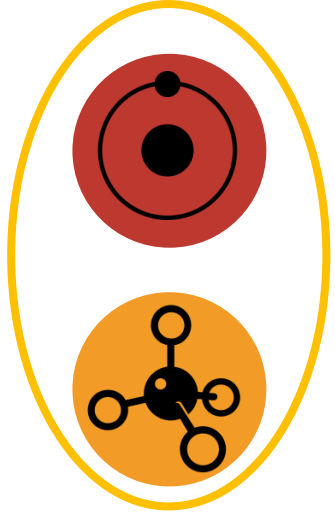
- Ölçülebilir Isı: Su, yağ, kaya gibi ortamlarda ısının depolanmasıdır. Bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılır.



- Gizli Isı: Faz geçişlerinin kullanılmasıdır. Su/buz, erimiş tuz vb

Enerji Depolama Teknolojileri

Kimyasal, Elektrokimyasal ve Elektriksel Enerji Depolama



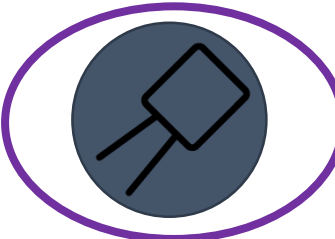
Hidrojen: Elektroliz ile hidrojen gazının üretilip yüksek basınç&düşük sıcaklıkta depolanmasıdır.



Sentetik Doğal Gaz: Hidrojenin metan gazına dönüştürülmesidir.



Bataryalar: Li-Ion, NaS, Kurşun-asit ve Redox gibi farklı türleri vardır. İki elektrot arasında kimyasal reaksiyon sonucu elektrik akımının oluşması prensibi ile çalışır.

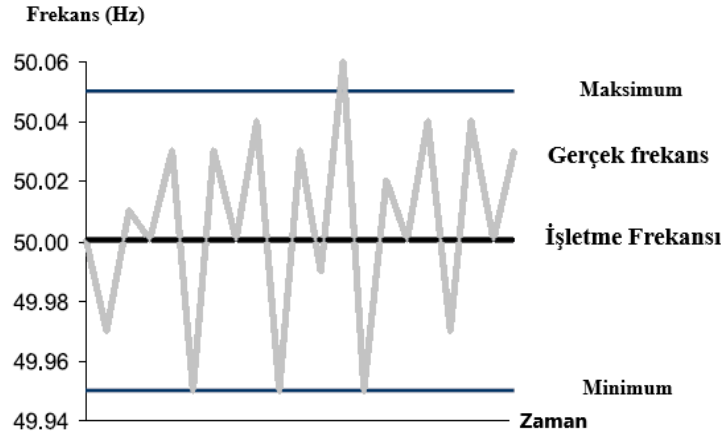


Süperkapasitör: Tepki süresi oldukça kısadır, ancak bataryalardan daha maliyetlidir. Kapasiteleri de düşüktür. Benzer şekilde süper bobinler de bulunur.

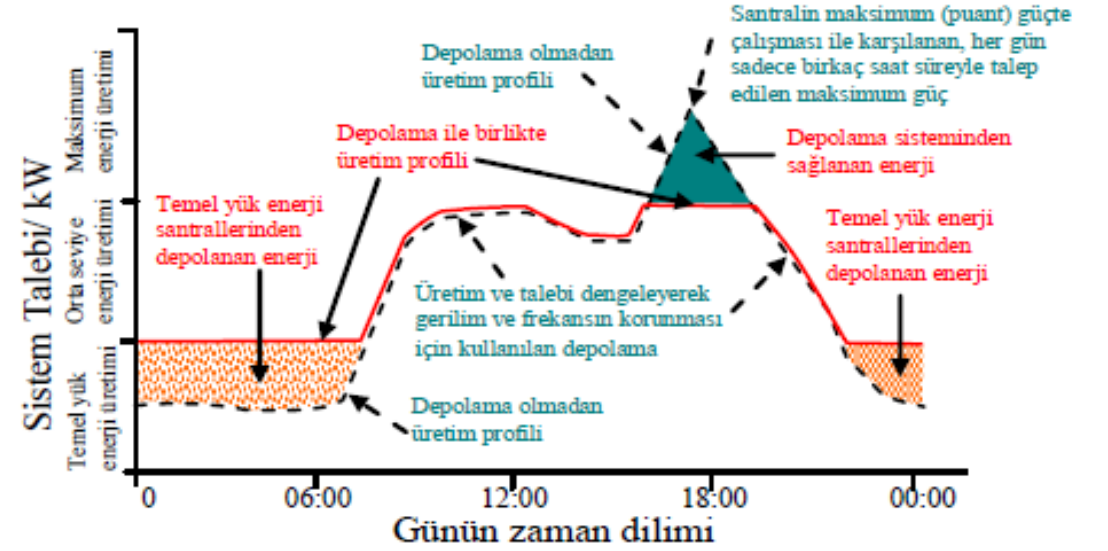
Şebekelerde Depolamanın Kullanım Alanları



Günümüzde en sık kullanımlar



Talep eğrisi ve zamansal depolama/deşarj



Şebeke frekansı üzerinde meydana gelen değişimler

Depolamada Süre ve Sıklık

Kısa Süreli Depolama (Saniye-Dakika)

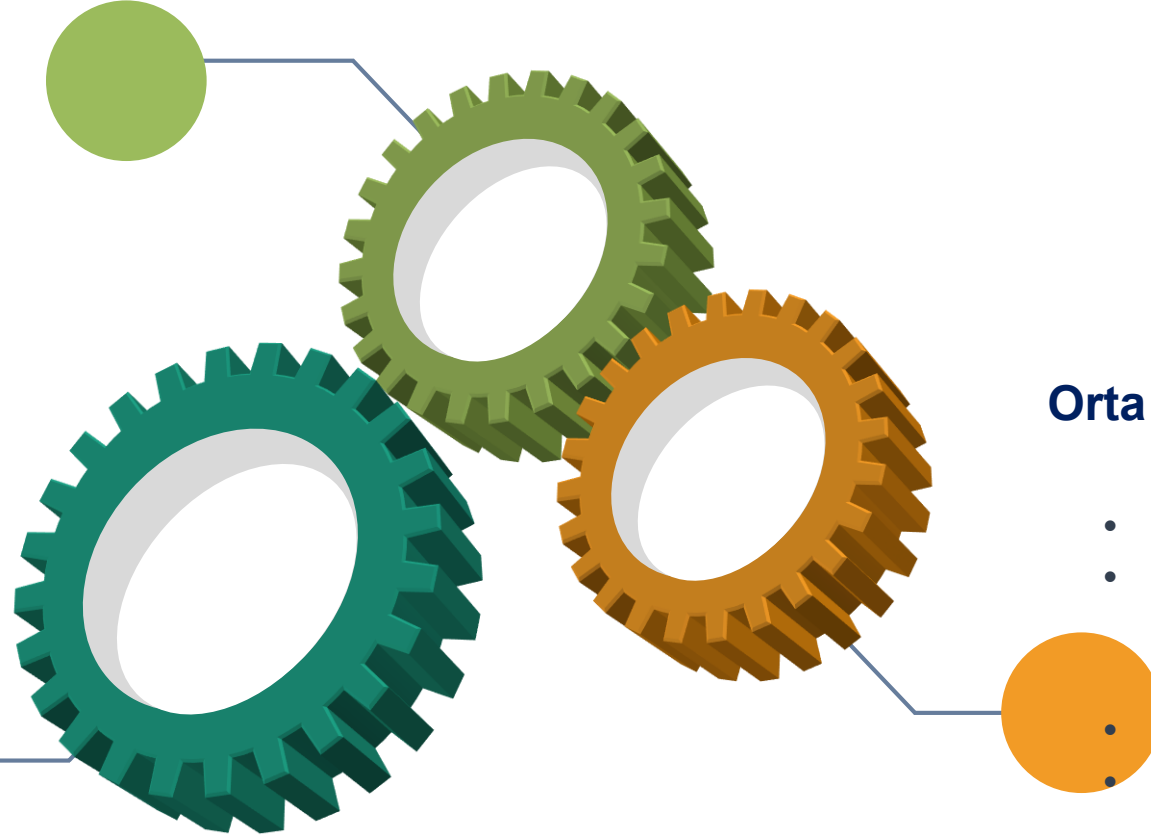
- Batarya
- Süperkapasitör
- Volan

Uzun Süreli Depolama (Haftalık- Aylık)

- Gaz Depolama
- Hissedilir/Gizli Isı

Orta Süreli Depolama (Saat- Gün)

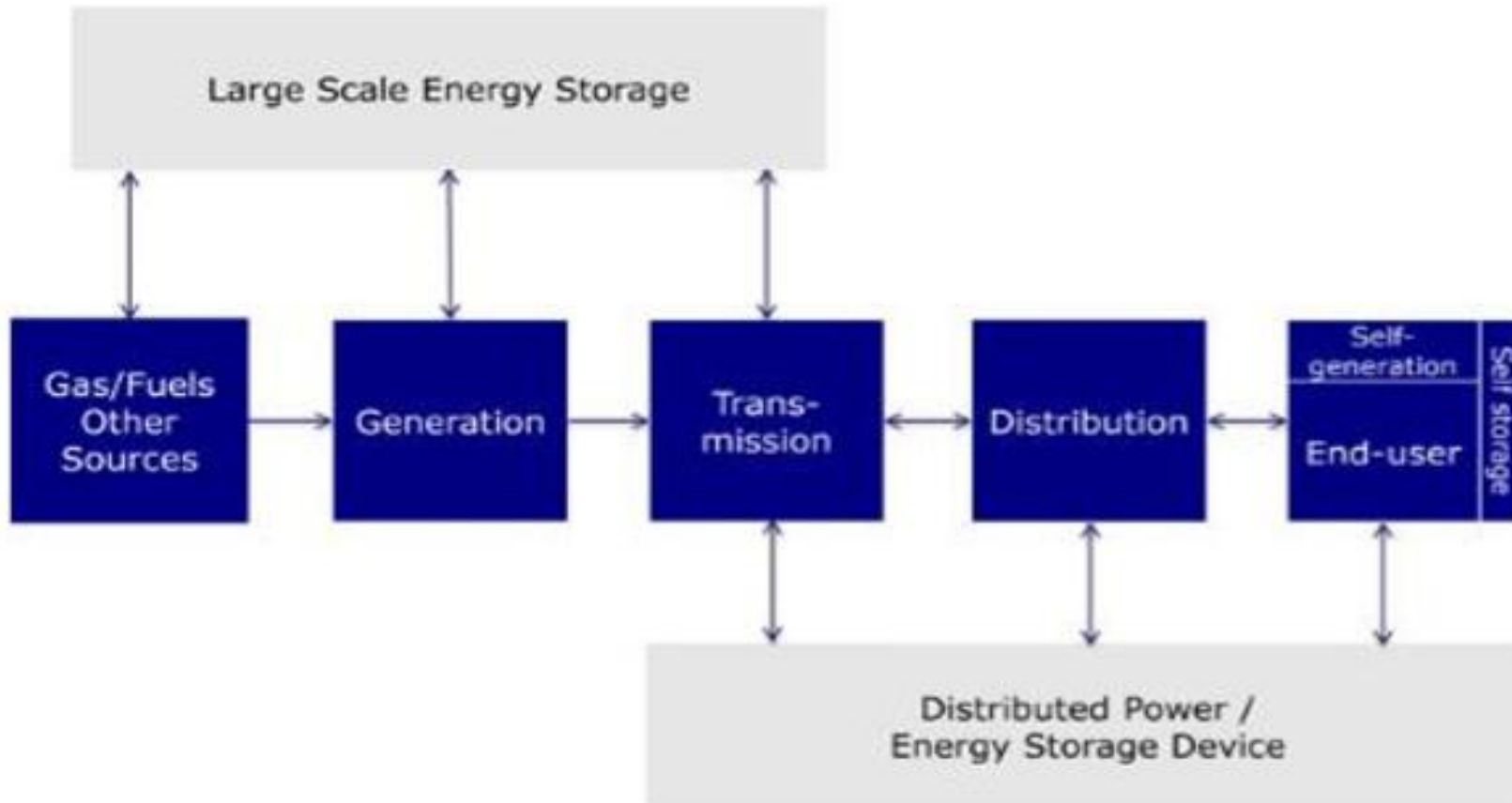
- Batarya
- PHES,
Sıkıştırılmış/Sıvılaştırılmış
Hava
- Termokimyasal
- Redox



Enerji Depolama Sistemleri kullanımında süreler ve sıklıklar

Kısa deşarj zamanı	Orta deşarj zamanı	Uzun deşarj zamanı
Zaman Aralığı: saniyelerden - dakikalara	Zaman Aralığı: dakikalardan - saatlere	Zaman Aralığı: günlerden - aylara
EDD Teknolojisi: Çift Katmanlı <u>Kapasitör</u> (ÇKK), Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (SİMED)	EDD Teknolojisi: <u>Volan</u> Enerji Depolama (VED) Elektrokimyasal EED, Kurşun Asit, Lityum İyon(<u>Li-ion</u>), Sodyum Sülfür (<u>NaS</u>)	EDD Teknolojisi: Hidrojen (H ₂) (uzun deşarj) Sentetik Doğalgaz Depolama (SDG) (uzun deşarj) PHES (orta-uzun deşarj) Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (orta-uzun deşarj) <u>Redox Akış</u> Bataryaları (orta-uzun deşarj)
Enerjinin güce oranı < 1 (Örneğin 10kW gücünde bir sistem için 10kWh'den daha az kapasite)	1 < Enerjinin güce oranı < 10 (Örneğin 10kW gücünde bir sistem için 10kWh ve 100kWh arasında bir kapasite)	Enerjinin güce oranı > 10

Enerji Depolama Sistemleri ve şebeke desteği



Batarya Depolama Kurulumları

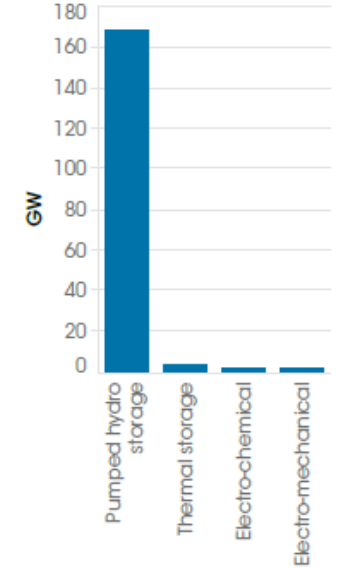
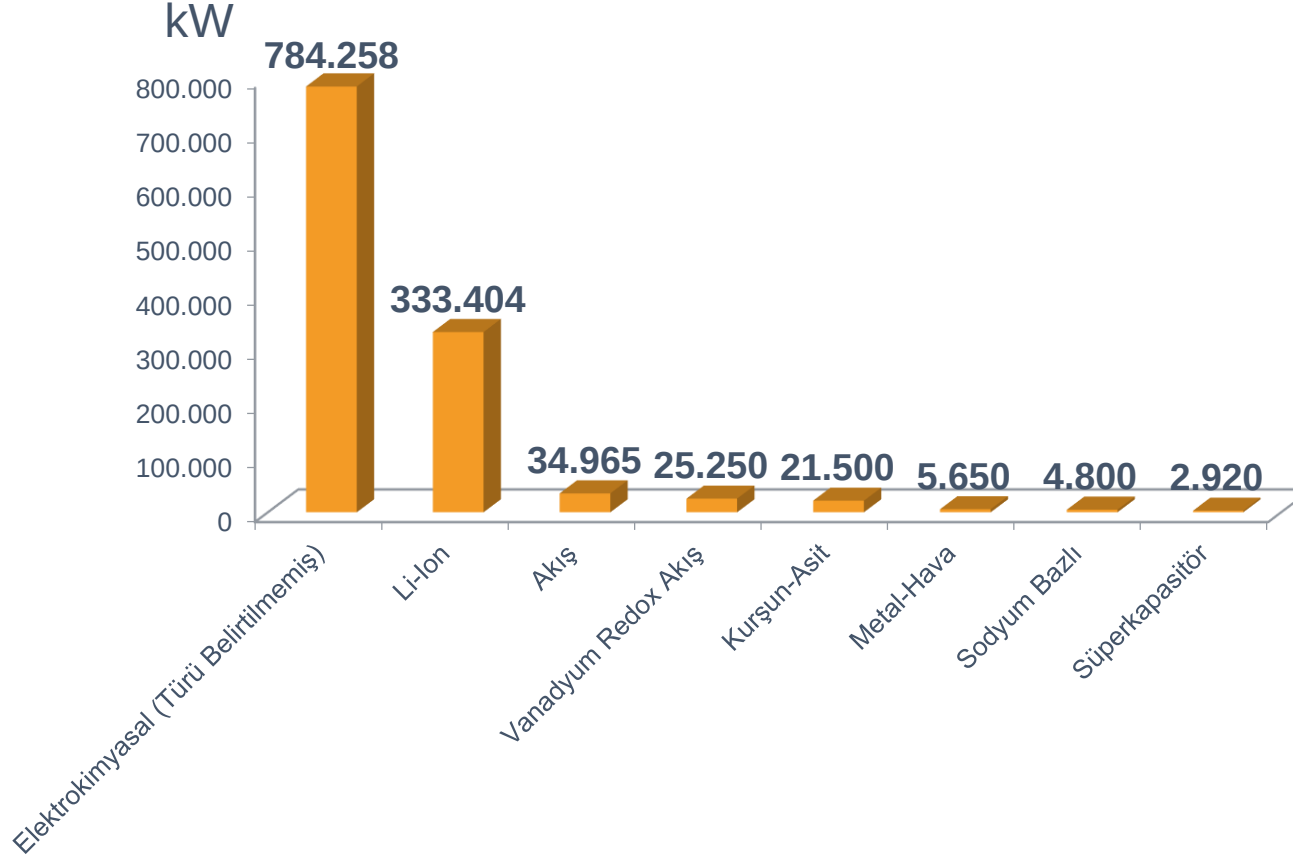
Teknoloji Türü	Proje Sayısı	Güç (MW)
Elektrokimyasal	995	3.375
PHES	352	183.896
Termal	222	3.684
Elektromekanik	70	2.585
Hidrojen	13	20

Dünya genelinde işletmedeki, inşa halindeki ve sözleşme aşamasındaki depolama tesis sayıları

Kaynak: IEA, 2018 Report

- Sadece Avrupa, 2015 yılında 300 MWh, 2017 de ise 700 MWh kurulum gerçekleştirildi.
- Avrupa’da İtalya, Almanya ve İngiltere bu konuda önde gelen ülkeler.
- Kurulu kapasitenin % 40-45 i konutlara ait PV sistemlerde.

Batarya Depolama Kurulumları Artıyor



Dünya genelinde işletmedeki, inşaat halindeki, sözleşmesi imzalanmış ve planlanan depolama sistemleri

Teknoloji türlerine göre dünya genelinde işletmedeki depolama grupları

Kaynak: IEA, 2018 Report

Piyasa Eğilimi



- Farklı teknoloji türleri piyasada yer almaktadır,
- PHES depolama sektöründe halen en baskın tür (% 95),
- Elektrikli araçların yaygınlaşması ve YEK santrallerin sisteme entegrasyonu batarya depolama sistemlerini daha popüler hale getiriyor,
- Artan üretimler maliyetleri düşürüyor,
- Mevzuat düzenlemeleri hala yetersiz.



Küresel Li-Ion Batarya Üretimi

2018 yılında 1,6 GW işletmede bulunan batarya depolama sistemi bulunmaktadır.

2023 yılında 14 GW şebeke bağlantılı batarya depolama sisteminin kurulacağı öngörülmektedir.

Yıllık 100 GWh'den fazla Li-Ion batarya üretimi gerçekleştirilmektedir

2020 yılında üretimin 250 GWh'i aşması beklenmektedir.

En büyük üreticiler Çin merkezli uzak doğu şirketleridir.



Batarya Depolama Sistemleri

Li-Ion



NaS

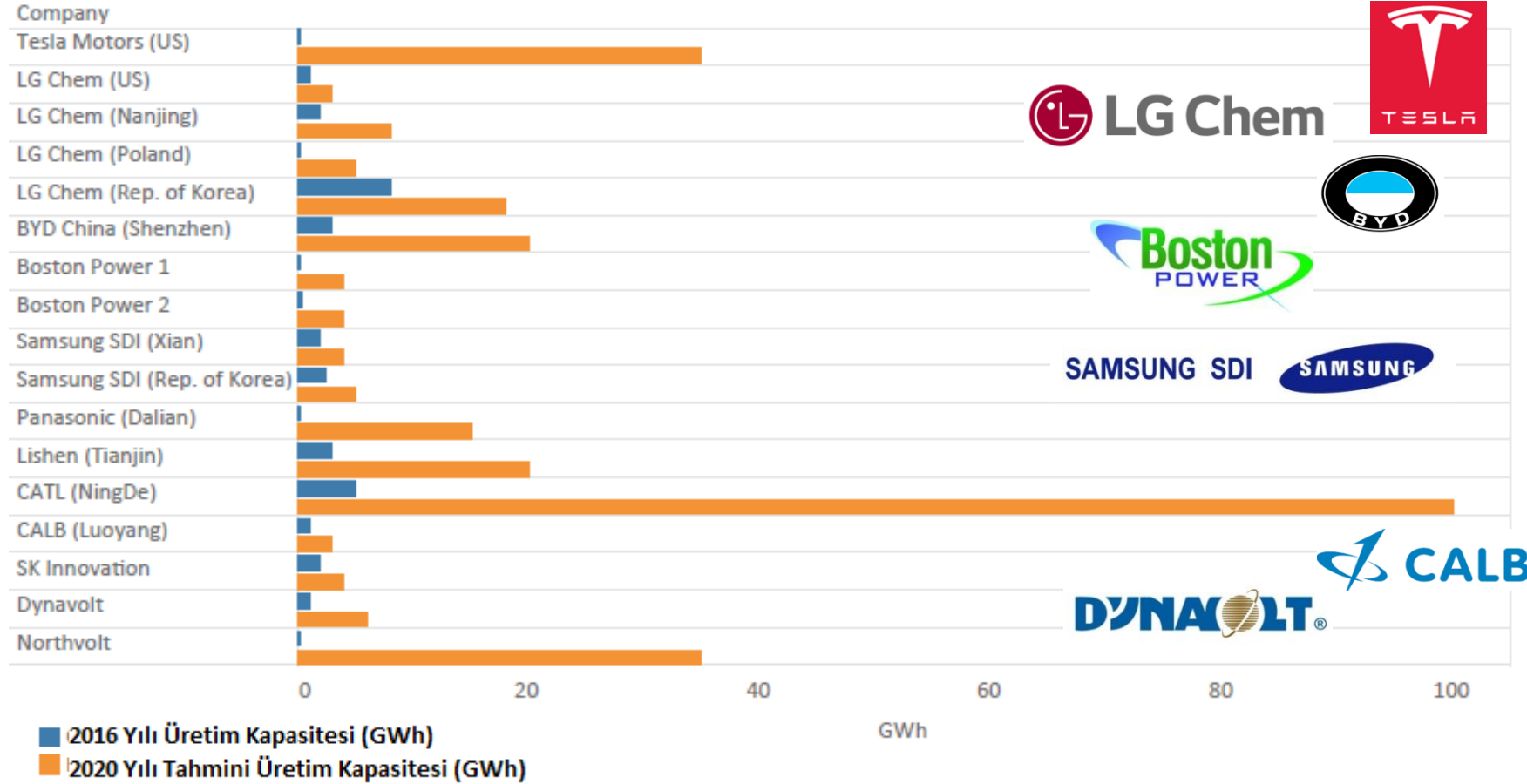


Akış



- Büyük veya küçük ölçekte kullanılabilir,
- Uzun veya kısa süreli kullanılabilir,
- Merkezi veya dağıtık yapıda yer alabilir,
- Piyasada giderek daha fazla kabul görmektedir,
- PV sistemler ile konut kullanımlarında yaygınlaşmaya başlamıştır,
- Elektrikli araçlarda güç kaynağı olarak kullanılmaktadır,
- NaS ve Li-Ion en yaygın kullanılan çeşididir.
- Akış bataryalarda gelişim olursa piyasayı değiştirebilir.

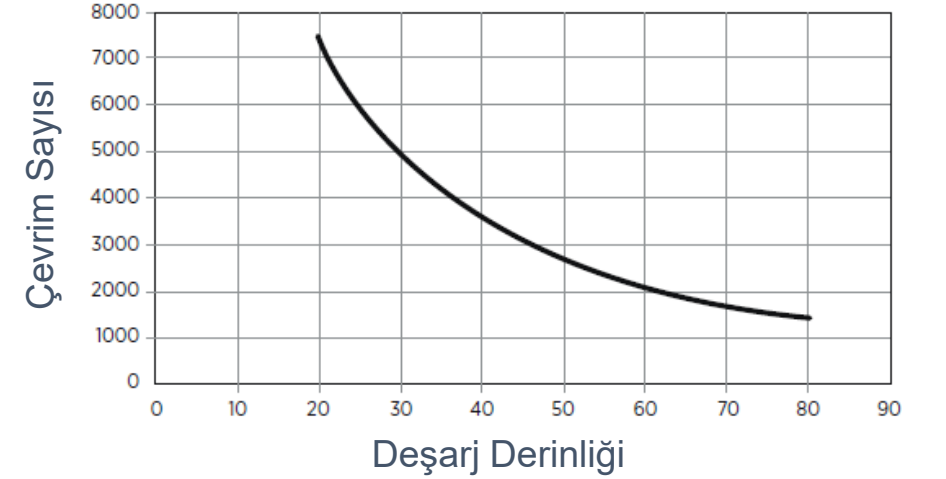
Önemli Batarya Üreticileri



- 2017 Yılı Üretici Kapasiteleri Toplamı: 119 GWh
- 2021 Yılı Üretici Kapasite Tahmini: 273 GWh
- Ortalama Fabrika Yatırımı: 250 \$/kWh (100 MWh fabrika 25 milyon \$)

Bazı Batarya Kavramları

- **Deşarj Derinliği (Depth of Decharge-DoD):** Bataryanın bir çevrimde yeniden şarj edilmeden önce ne kadar deşarj olduğunu gösteren ifadedir. Deşarj derinliği ne kadar fazla olursa batarya ömrü o kadar kısalmır.
- **Çevrim Ömrü (Cycle Life):** Bataryanın performansını önemli ölçüde kaybetmeden önceki şarj/deşarj çevrim sayısıdır. Tam şarj edilmiş bir batarya orijinal kapasitesinin sadece % 60-80 'lik kısmını veriyorsa bu batarya ömrünü doldurmuş kabul edilir.
- **Derin Çevrim (Deep Cycle):** Bataryanın % 80 ve fazlası oranda deşarjıdır. Ömrü kısaltır.
- **Çevrim Verimliliği (Round-Trip Efficiency):** Bir çevrimde bataryadan alınan enerjinin, verilene oranı.
- **Ortam Sıcaklığı:** Bataryada iç tepkimelere neden olarak kapasitenin hızlı kaybolmasına neden olur. Li-İyon bataryalar ortam sıcaklığına karşı fazla duyarlı değildir.

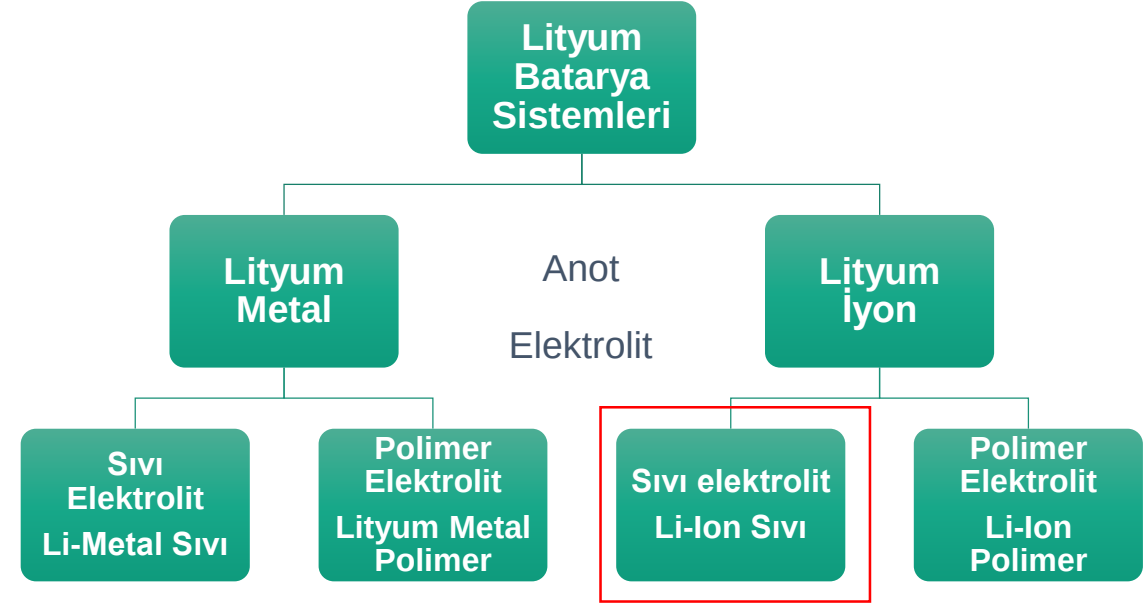


Teknik karakteristikler

	Power rating (MW)	Discharge time	Cycles, or lifetime	Self-discharge	Energy density (Wh/l)	Power density (W/l)	Efficiency	Response time
Pumped Hydro	100 – 2500	4 – 16h	30 – 60 years	~ 0	0.2 – 2	0.1 – 0.2	70 – 85%	10 s – min
Compressed Air	10 – 1000	2 – 30h	20 – 40 years	~ 0	2 – 6	0.2 – 0.6	40 – 70%	min
Flywheels	0.001 – 20	sec – min	20000 – 100000	1.3 – 100%	20 – 80	5000	70 – 95%	< sec
Li-ion battery	0.05 – 100	1 min – 8h	1000 – 10000	0.1 – 0.3%	200 – 400	1300 – 10000	85 – 95%	< sec
Lead-acid battery	0.001-100	1 min – 8h	6 – 40 years	0.1 – 0.3%	50 – 80	90 - 700	80 – 90%	< sec
Sodium-sulphur battery	10 – 100	1 min – 8h	2500 – 4500	0.05 – 20%	150 – 300	120 – 160	70 – 90%	< sec
Flow battery	0.1 – 100	hours	12000 – 14000	0.2%	20 – 70	0.5 – 2	60 – 85%	< sec
Superconducting Magnetic	0.1 – 1	ms – sec	100000	10 – 15%	~ 6	~ 2600	80 – 95%	< sec
Supercapacitor	0.01 – 1	ms – min	10000 – 100000	20 – 40%	10 – 20	40000 - 120000	80 – 95%	< sec
Hydrogen	0.01 – 100	min – week	5 – 30 years	0 – 4%	600 (200bar)	0.2 – 20	25 – 45%	sec - min
Synthetic Natural Gas	1 – 100	hour – week	30 years	Negligible	1800 (200bar)	0.2 – 2	25 – 50%	sec - min
Molten Salt (latent thermal)	1 – 150	hours	30 years	n/a	70 – 210	n/a	80 – 90%	min

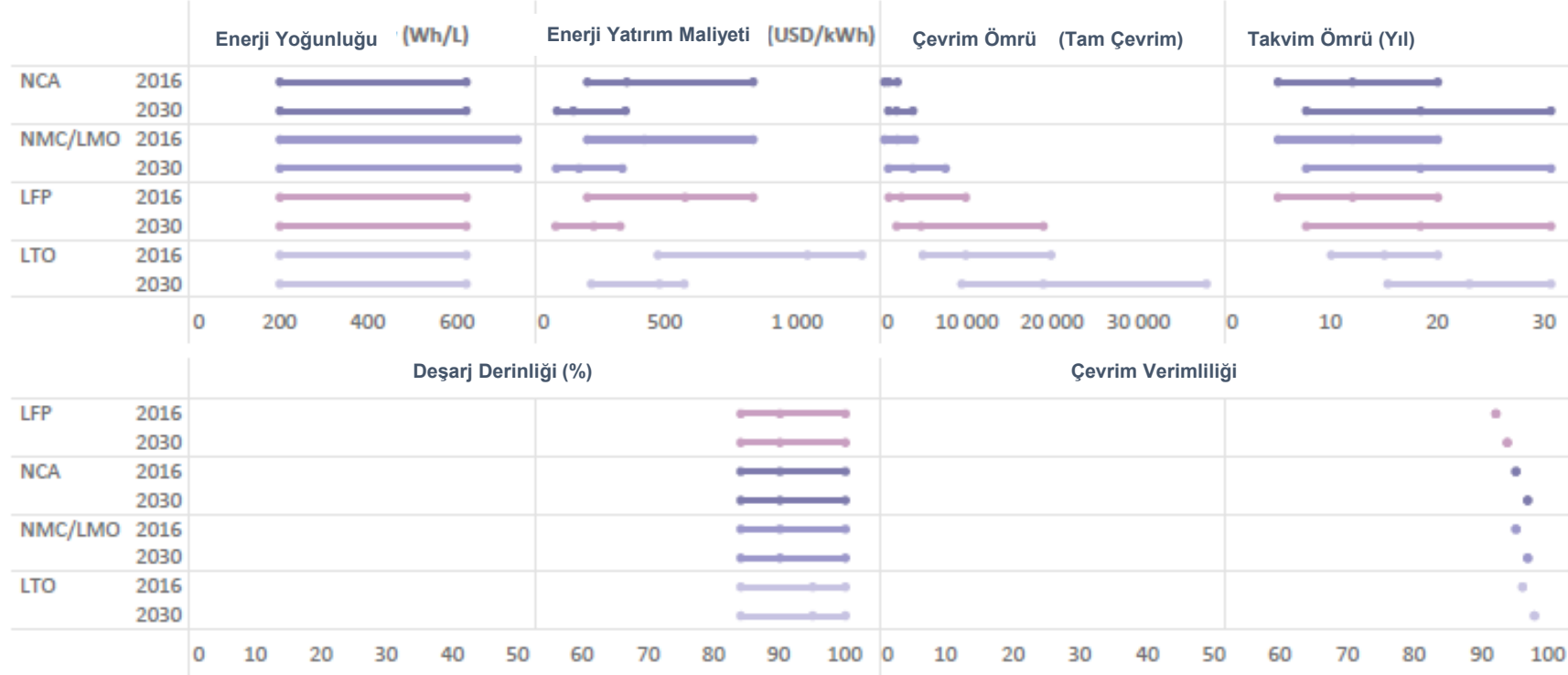
Li-Ion Batarya Özellikleri

- Enerji yoğunlukları yüksektir. (Birim hacimde depolanan enerji miktarı):
 - 120 Wh/kg Li-İyon
 - 35 Wh/kg Kurşun-Asit
 - 60 Wh/kg NaS
- Verimleri yüksektir. (% 95-98)
- Çevrim ömürleri yüksektir. (500-20.000)
- Deşarj süreleri düşüktür, böylece kısa süre içerisinde yüksek güç/enerji sağlayabilirler.
- Bu bakımdan frekans regülasyonu için uygun çözümdür.
- 2000'li yıllardan bu yana özellikle elektronik cihazlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. (Taşınabilir cihazların % 50 si)
- Büyük depolama sistemlerindeki özel paketlenme ve kontrol sistemlerinin karmaşıklığından dolayı bu alandaki maliyetleri daha yüksektir.
- Alev alma ihtimalinden dolayı yangın tehlikesi barındırır.



- Lityum pillerin ana sınıflandırması genellikle anot ve elektrolit türünü birleştirmektir.
- Bataryalar anot-katot arasındaki Lityum İyonlarının alışverişi ile çalışır.
- Çoğunlukla Li-Ion Sıvı elektrolitli bataryalar kullanılmaktadır.

Li-Ion Batarya Özellikleri



Katot türüne göre:

NMC: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit

LMO: Lityum Manganez Oksit

NCA: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum

LFP: Lityum Demir Fosfat

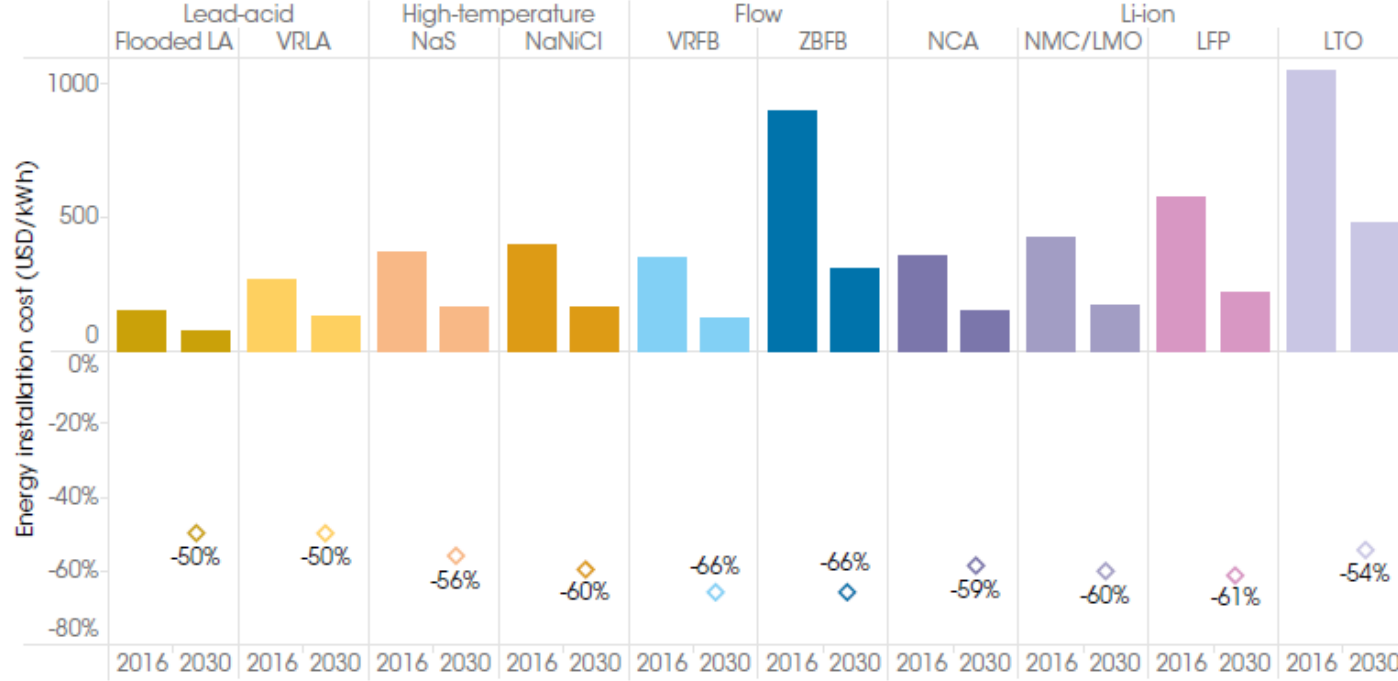
LTO: Lityum Titanat

Lityum İyon Batarya Maliyetleri



- Yeni üretim teknikleri ve yüksek rekabet sayesinde batarya fiyatlarında büyük düşüşler yaşanmaktadır.
- Bloomberg'e göre; 2017 yılında Kore'li bir firmanın 162 \$/kWh üretim maliyetini yakaladığı ve 2030 yılında Li-Ion Batarya maliyetlerinin **74 \$/kWh** seviyelerine düşmesi beklendiği ifade edilmektedir.
- Piyasada kapasite ikiye katlandıkça, fiyatlar % 19 düşmektedir.

Lityum İyon Batarya Maliyetleri



- Flooded LA: Islak Kurşun-Asit
- VRLA : Vana ile Ayarlanan Kurşun-Asit
- NaS: Sodyum Sülfür
- NaNiCl: Sodyum Nikel Klorür
- VRFB: Vanadyum Redox Akış
- ZBFB: Çinko Bromin Akış
- NCA: Nikel Kobalt Alüminyum
- NMC/LMO: Nikel Manganer Kobalt Oksit/Lityum Manganer Oksit
- LFP: Lityum Demir Fosfat
- LTO: Lityum Titanat

- 2010-2016 yılları arasında araçlarda kullanılan Li-Ion batarya maliyetleri % 73 oranında azalmıştır.
- Küçük ölçekli sabit tesis için Li-Ion Batarya kurulum maliyetlerinde ise % 60 oranında düşüş gözlemlenmiştir.

Li-Ion Batarya Depolama Bileşenleri



Hücre



Modül



Batarya Yönetim Sistemi



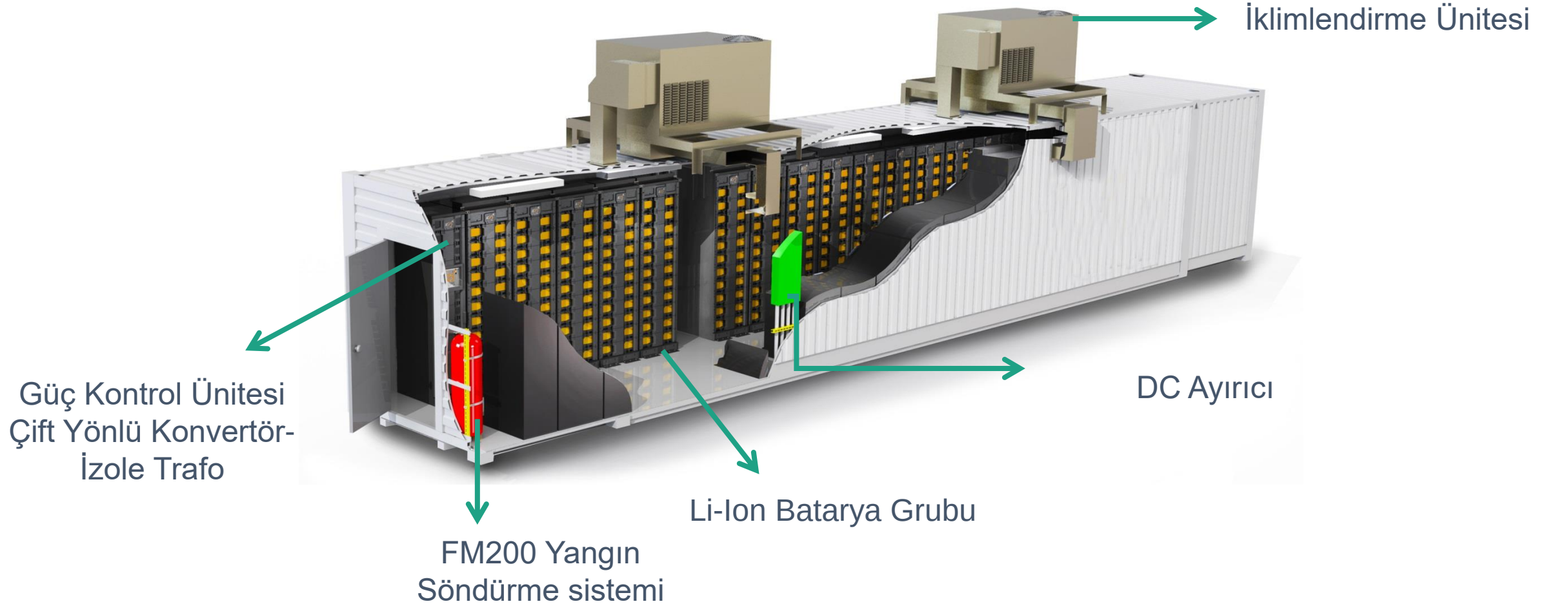
Kabinet

- 22 ft'lik (6,7 m) bir konteyner 2 MW batarya gücü sağlayabilir.

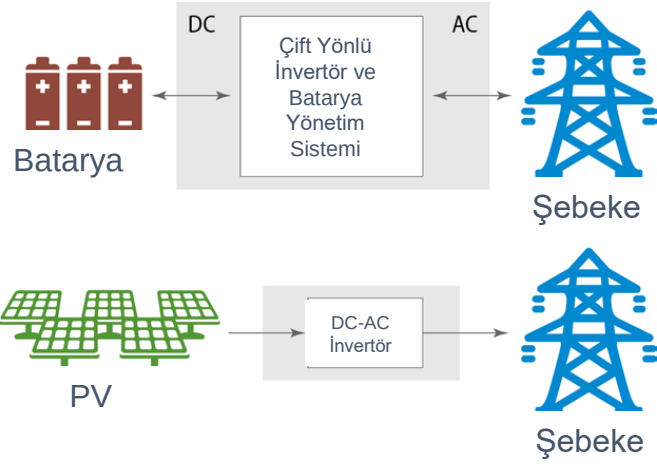


Konteyner

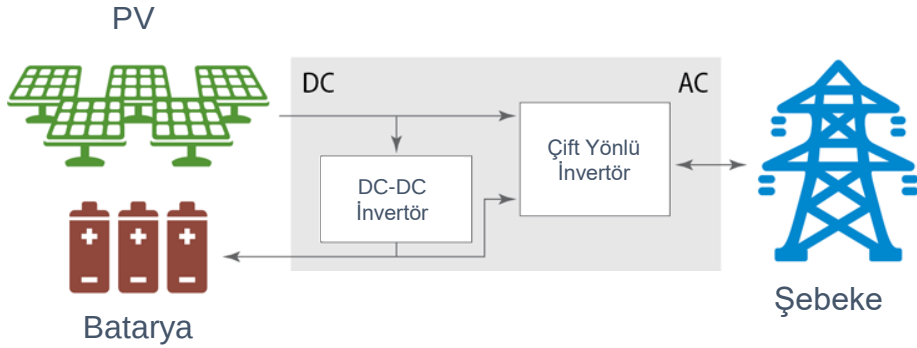
Li-Ion Batarya Depolama Bileşenleri



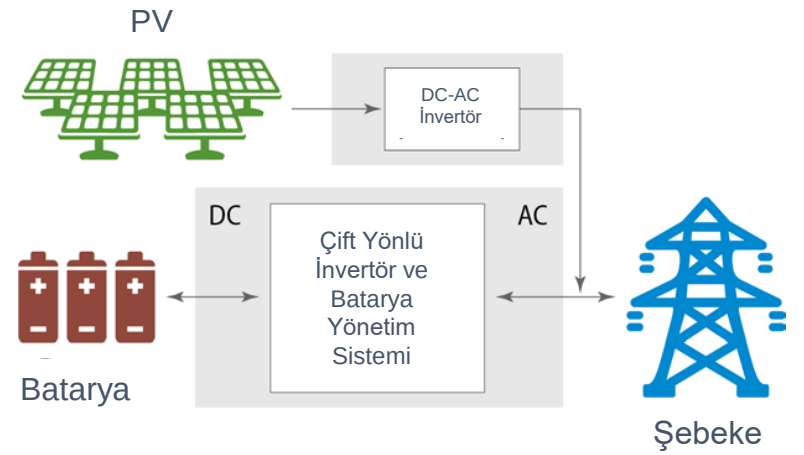
Batarya Depolama Şebeke Bağlantı Türleri



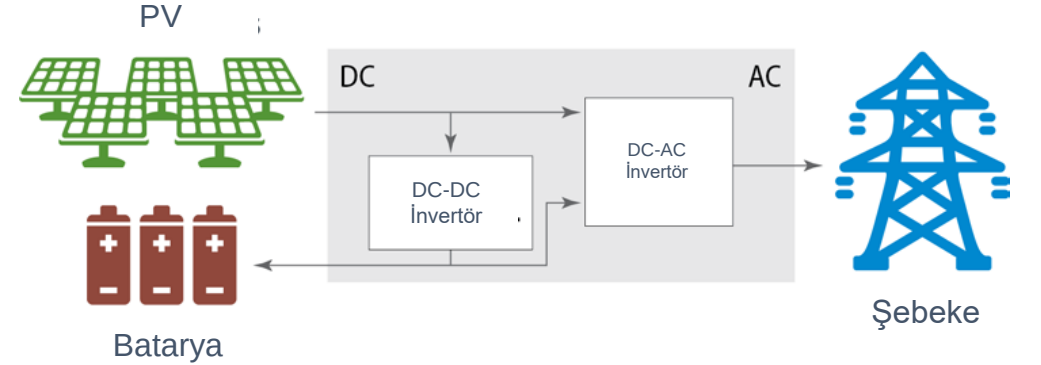
Bağımsız PV ve Depolama sistemi



DC Kuplelı PV ve Şebeke Şarılı Depolama sistemi



AC-Kuplelı PV + Depolama Sistemi



DC Kuplelı PV Şarılı Depolama Sistemi

Li-Ion Batarya Depolama Sistemi Proje Gelişimi



Örnek Bir Depolama Projesi



Tesla Avustralya 100 MW Li- Ion Batarya Depolama Sistemi

Tesla 2017 yılında Avustralya'da dünyanın en büyük Li-Ion batarya depolama sisteminin kurulumunu yaklaşık 60 gün içerisinde tamamladı.

Kurulu gücü 100 MW/129 MWh olan sistemin frekans regülasyonu, yenilenebilir enerjinin kesintili üretiminin dengelenmesi ve zaman ötelenmesinde kullanılması hedeflenmiştir.

Sistem yaklaşık 30.000 konutun elektrik ihtiyacını 1 saat boyunca karşılayabilecek kapasitededir.

Sistemin kurulum maliyetinin yaklaşık 66 Milyon \$ (55 milyon Euro) olduğu ifade edilmektedir.

Gelecek öngörüler

Yenilenebilir Enerji Şebekesi Entegrasyonu Stratejileri		Simülasyon Senaryoları	Sonuçların Değerlendirilmesi için Parametreler
Ana Senaryolar Kaynak Odaklı Dağıtım	Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Üretimini Kaynak Kalitesini Göre Ayırma	Baz Senaryo 20 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı İki Kat (x2) 40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı Üç Kat (x3) 60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı	- İletim Yatırımları (milyon Euro cinsinden) - YAL/YAT Talimatı Miktarları (TWh/yıl ve toplam üretiminin %'si cinsinden)
Strateji 1 Sistem Odaklı Dağıtım	Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Üretimini Kaynak Kalitesi ve Yerel Talebi Dengeleyerek Yeniden Dağıtma	40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı 60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı	Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kesintisi (TWh/yıl ve toplam üretiminin %'si cinsinden)
Strateji 2 Esneklik Seçenekleri	Depolama Sistemleri (Pompaj Depolama ve Batarya) Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kesintisi ve Talep Katılımı Esnek Termik Ünite	40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı* Esneklik 60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı* Esneklik	Hatlarda Kısıt Süresi (yıllık saat cinsinden)

Kaynak: SHURA Türkiye çalışması

Gelecek öngörülleri



İlginiz için teşekkür ederim.

Dr. Fazıl KAYTEZ

e-posta: fkaytez@enerji.gov.tr