



Güvenilir Enerji Depolama Sistemleri için Tasarım, Doğrulama ve Şebeke Uyumluluğu Kriterleri

e+ 4. Enerji Depolama Zirvesi • 23.09.2026

Yaşar AKDOĞAN

SUNGROW



1. PowerTitan 2.0: Büyük Ölçekli Yanma Testi ve Sonuçları
2. EDS Güvenliğinin Gerçek Kaynağı: Sistem Bütünlüğü
3. Tek Marka, Tek Sorumluluk: Triple-E Yaklaşımı
4. Şebeke Uyumu: Grid-Forming Teknolojisi ve Türkiye Yönetmelikleri

SUNGROW

20MWh PowerTitan 2.0 Extreme Burning Test Global Largest Scale

Oynatmak için videoya tıklayın



20 MWh'lik gerçek bir platformda, aktif yangın söndürme sistemi devre dışı bırakılarak en kötü durum senaryosu test edildi.

A: ateşlenen konteyner · B: A'ya bitişik · C ve D: karşı sırada konumlandırıldı



20 MWh

Test platformu

17 MWh

Kurulu kapasite

Dünyanın bu büyüklükte yapılan ilk yanma testi

- Standartların ötesinde, daha zor koşullar
- Canlı yayınlı izlenebilen test
- LFP batarya sistemleri için ilk büyük yanma veri tabanı

Temel Doğrulama Hedefleri ve Test Kurulumu

SUNGROW

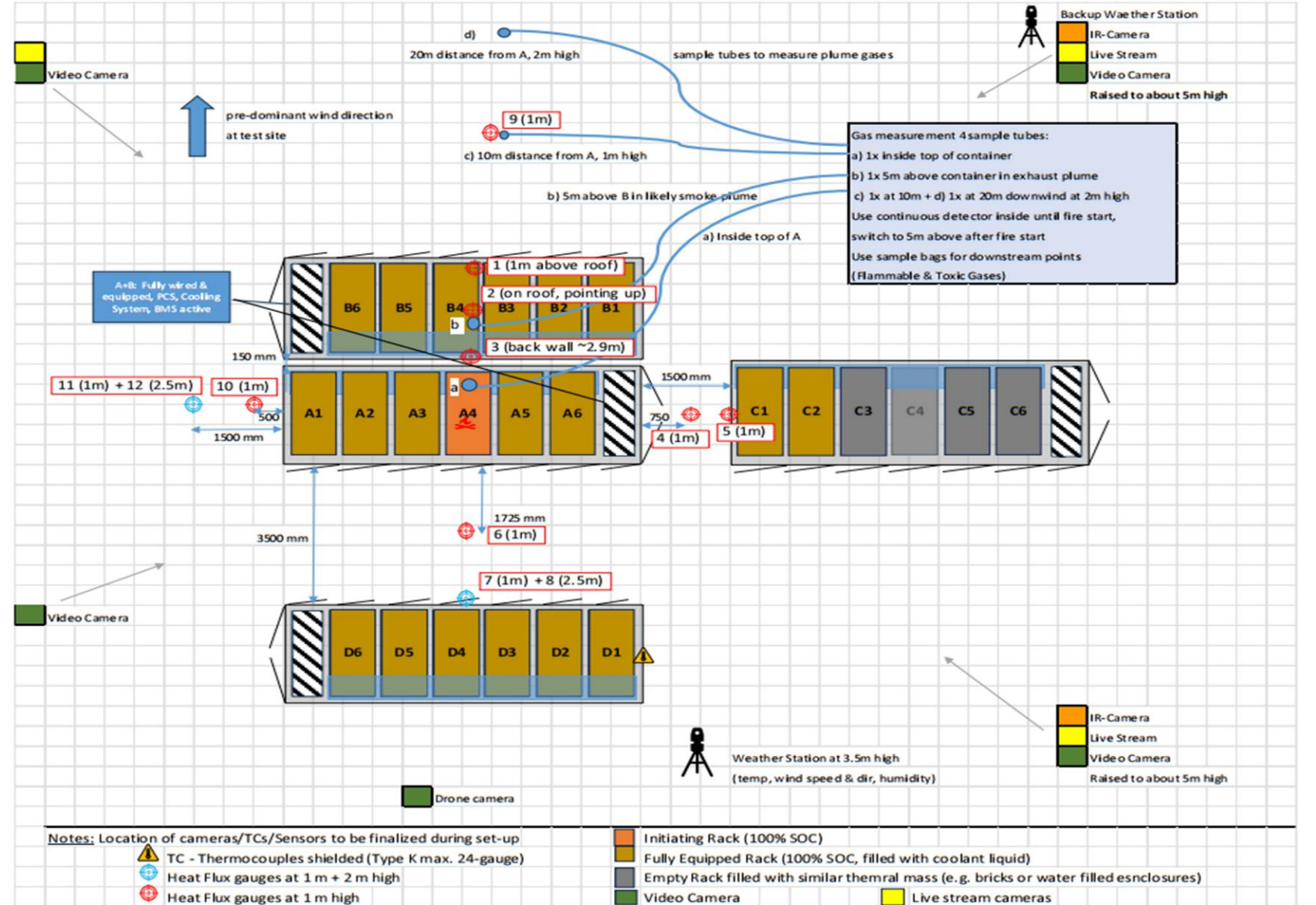
- Proje Yerleşimi
- Güvenliği
- Deflagrasyon Kabiliyeti
- Batarya Bölmesi
- Yangın Dayanımı
- Community Risk Analysis (CRA)

Ölçüm düzeni

- 590+ termokupl · 12 hassas sensör
- 10+ kamera: IR, canlı yayın, drone
- 4 gaz izleme noktası

Konteyner arası mesafeler

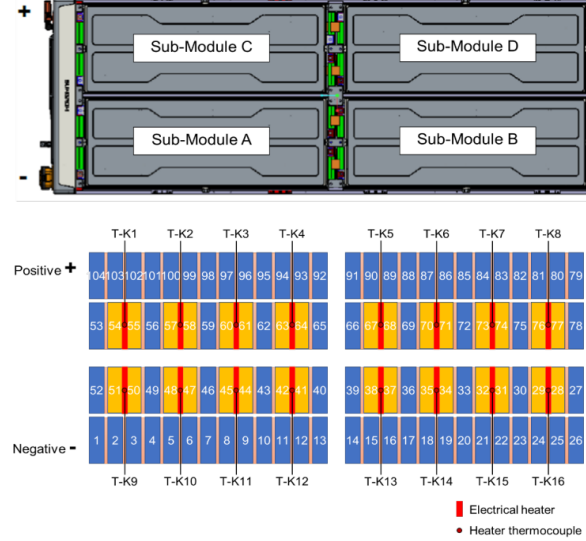
- A – B sırası: 150 mm
- A – C sırası: 1.500 mm
- A – D sırası: 3.500 mm





1 • Isıtıcı yerleşimi

Hücre yüzeylerine toplam 19,2 kW ısıtma kapasitesi yerleştirildi; termal kaçak kontrollü biçimde tetiklendi.



2 • Kademeli tetikleme

Deflagrasyonu kolaylaştırmak için önce 4 ısıtıcı devreye alındı; gaz birikimi hedeflenerek ilerlendi.



3 • Ateşleme

Kıvılcım cihazları test boyunca her 10 saniyede bir çalıştırıldı; patlayıcı tutuşma garanti altına alındı.

Aşama 1

Gaz tahliyesi



Aşama 2

Deflagrasyon
panellerinin açılması



Aşama 3

Tam Ölçekli
Yangın



Aşama 4

Tamamen
yanma



25 saatten fazla yanmanın ardından yakınındaki konteynerlarda herhangi bir yayılım olmadı...

- 1) EU Directive: must be transposed into national law/EU Regulation : directly applicable in all EU countries; 2) For Products and Services related to OEM supplies;
3) Draft status, planned enforcement 2027; 4) Offering goods or services to individuals in the EU/EEA Monitor the behavior of individuals in the EU/EEA



Konteyner A'nın yanma sonrası iç ve üstten görünümü



Konteyner B'nin yanma sonrası görünümü ve voltaj kontrolü



Konteyner C & D'nin yanma sonrası iç görünümü

Önemli sıcaklık dereceleri

A Konteyneri maks. 1385 °C · B iç maks. 101 °C · B hücre maks. 42,3 °C (BMS) · C maks. 40 °C · D maks. 52 °C · C ve D hücre sıcaklıkları < 40 °C

A tamamen yandı; B, C ve D'de tutuşma görülmedi, yangın sonrası voltaj ve fonksiyon kontrolleri başarıyla tamamlandı.

Ana Sonuç: 25 Saatlik Yanmaya Rağmen Yayılım Yok

SUNGROW

Konteyner A tamamen yandı; komşu B, C ve D konteynerlerinde tutuşma ya da kritik sıcaklık artışı görülmedi.

25+ saat

Kesintisiz yanma süresi

1385 °C

Konteyner A maksimum sıcaklık

101 °C

Konteyner B iç maksimum

42,3 °C

B konteyneri maks. hücre (BMS)

< 40 °C

C ve D konteyner maks. hücre (BMS)

Deflagrasyon panelleri planlandığı gibi açıldı, yapısal patlama yaşanmadı. Gaz analizi, rüzgâr yönünde 10 ve 20 m mesafede düşük seviyeli toksik ve yanıcı gaz konsantrasyonu gösterdi; yangın sonrası B, C ve D konteynerlerinde fonksiyonel kontroller başarıyla tamamlandı.

Sonuçlar; yerleşim, izin ve risk analizi süreçlerinde kullanılabilir ölçüm kanıtı üretildi.

Proje Yerleşimi

Konteynerler arası güvenlik mesafesi ve yerleşim kararları gerçek ölçekli ısı akısı ve sıcaklık verisiyle desteklendi.

İzin ve CRA

Community Risk Analysis için gerçek ölçekli, şeffaf ve bağımsız izlenebilir veri seti sağlandı.

Standartların Ötesi

Mevcut standartlara uyumun yanı sıra, standartlardan daha zor koşullarda doğrulama yapıldı.

Veri Tabanı

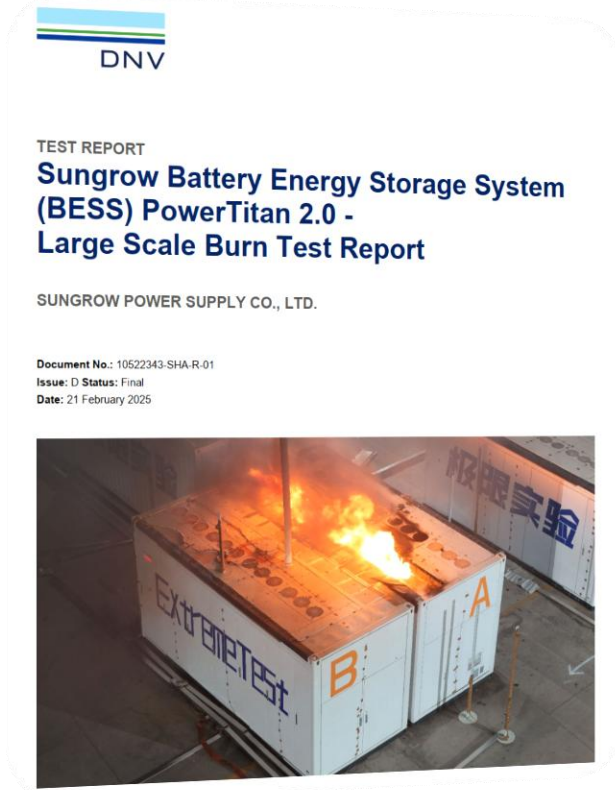
LFP sistemleri için gaz analizi, deflagrasyon ve tutuşma davranış özelinde büyük çapta bir yanma veri tabanı oluşturuldu.

Özet: Tek marka bütünlüğü ile tasarlanan PowerTitan 2.0, gerçek ölçekli yangın senaryosunda yayılımı önleyerek sistem seviyesinde güvenliği sahada kanıtlamıştır.

Temel Sonuç - Sistem Seviyesinde Kanıtlanmış Güvenlik

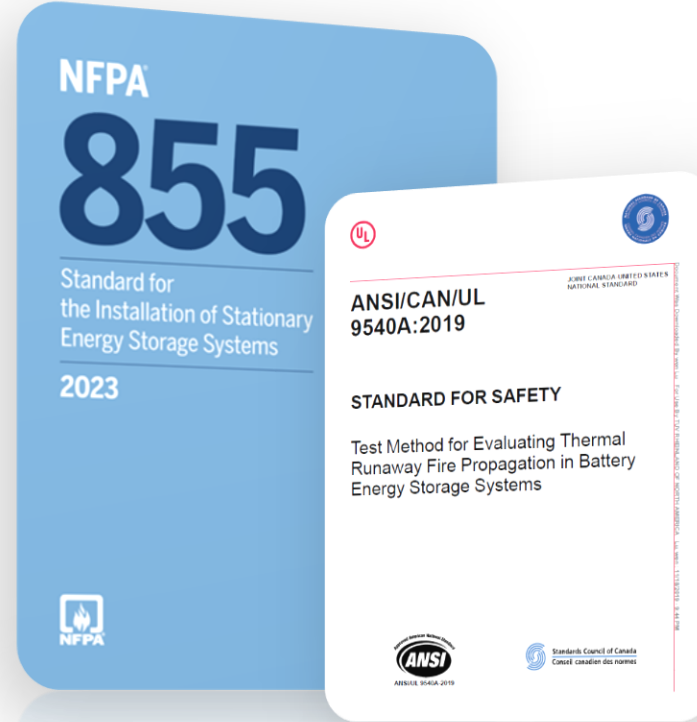
SUNGROW

UL9540A hücre seviyesinde veridir; LSFT sistem seviyesinde kanıttır.
PowerTitan 2.0 tam ölçekli LSFT'i tamamladı — yayılma yok.



LSFT Raporu Alındı

Akredite laboratuvar onaylı tam ölçekli LSFT raporu.



NFPA 855 (2026) Şartı Sağlanmış Oldu

Md. 9.2.1.2: ünite seviyesinde test zorunlu.



Sektörün Yeni Eşiği

Yayılmama kanıtı yoksa izin ve sigorta riski.

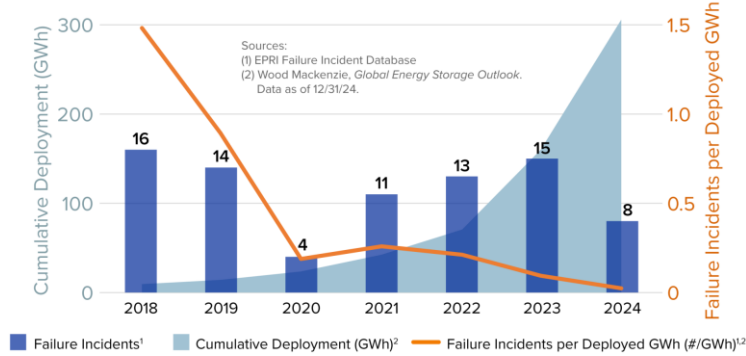
EDS Arızaları Can Ve Mal Güvenliğini Tehdit Eder

SUNGROW

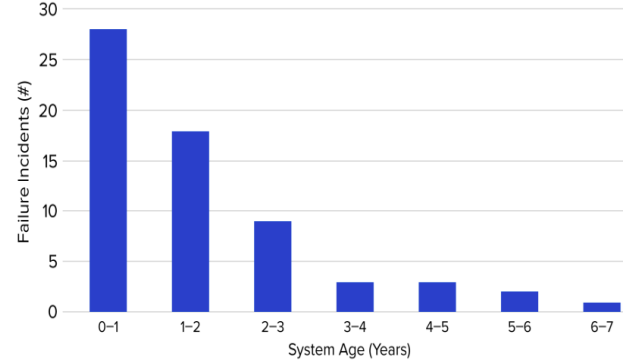
Arızaların %72'si ilk 2 yılda — kök neden: dizayn ve entegrasyon

Küresel kurulum ve arıza trendi

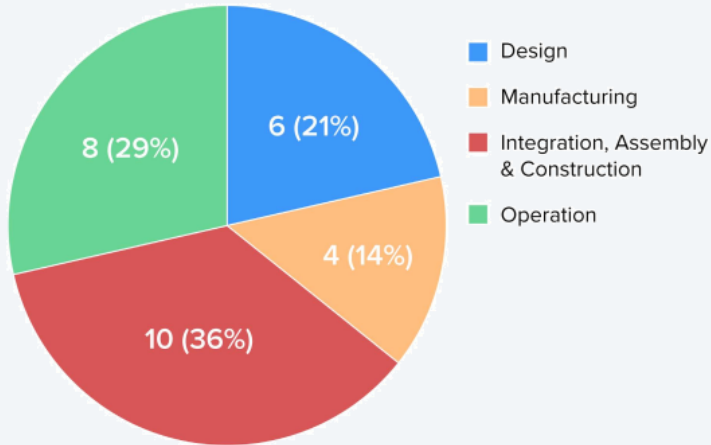
Global Grid-Scale Storage Deployment and Failure Statistics



Sistem yaşına göre arıza sayısı



Kök neden dağılımı (arıza ve yangınlar)



%57

Dizayn + Entegrasyon

Arıza ve yangınların yarısından fazlası dizayn ve kurulum entegrasyonu kaynaklı



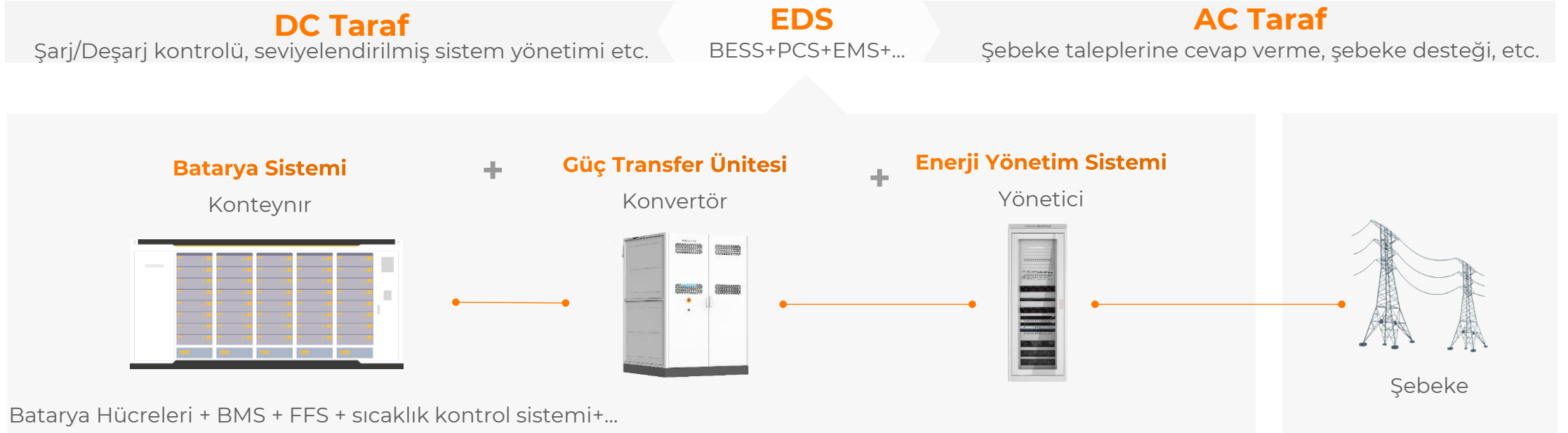
Source: EPRI / TWAICE / PNNL, Insights from EPRI's Battery Energy Storage Systems (BESS) Failure Incident Database - Analysis of Failure Root Cause, May 2024

BATARYA SİSTEMİ ≠ EDS

EDS Karmaşık Bir Sistemdir, Basit Bir Ekipman Yığını Değildir

SUNGROW

Bataryalar sadece enerji depolarıdır; EDS ise tam teşekküllü bir santraldir. DC tarafı, güç transferi ve şebeke arayüzü bir bütün olarak tasarlanmalıdır.



Uzun Şebeke Entegrasyon Süreleri

Üreticiler arasında koordinasyon yükü

Zorlu Hata Ayıklama Süreçleri

Veri uyumsuzluğu kök nedeni gizler

Güvence Altına Alınmamış Satış Sonrası Hizmet

Sorumluluk sınırları belirsiz

Çok sayıda EDS tesisi şebeke bağlantısını 180 günden uzun sürede tamamlıyor; PACK, BMS, PCS ve EMS farklı üreticilerden geldiğinde arayüz ve sorumluluk sınırları her aşamada yeniden müzakere ediliyor.



EMS ile BMS arasındaki veri uyumsuzluğu, sistem çıkış değerlerinin şebeke gereksinimlerini karşılamamasına ve şebeke yönetiminin olağan dışı çalışmasına yol açıyor; arızanın hangi ekipmandan kaynaklandığı tespit edilemediği için giderme süresi uzuyor.

Enerji depolama tesislerinde ekipmanların farklı tedarikçilerden temin edilmesi, işletme ve bakım faaliyetlerinin ayrı yürütülmesi durumunu doğurur; sorumlulukların net tanımlanmadığı bu yapıda çok sayıda sorunun çözüm süreci gecikir.

Batarya, BMS, PCS, trafo ve EMS tek elden tümleşik bir sistem olarak sağlanmalı... Tek sorumluluk, tek arayüz, öngörülebilir devreye alma.

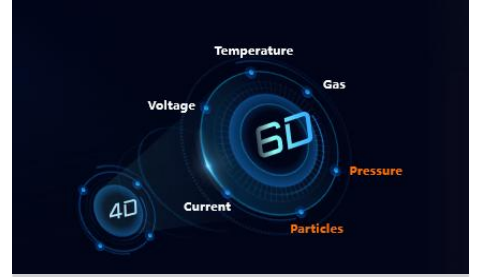
TEK MARKA ÇÖZÜMÜ



TRIPLE-E TEKNOLOJİSİ

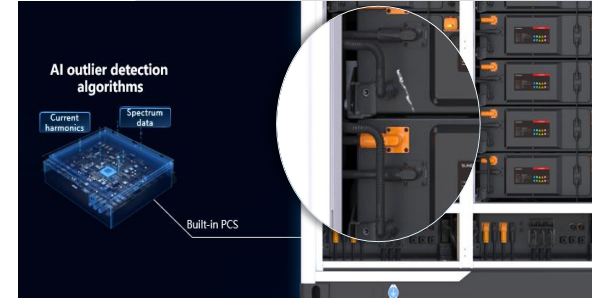
Elektrokimyasal

6D hücre sağlığı tespiti —
24 saat önceden erken uyarı



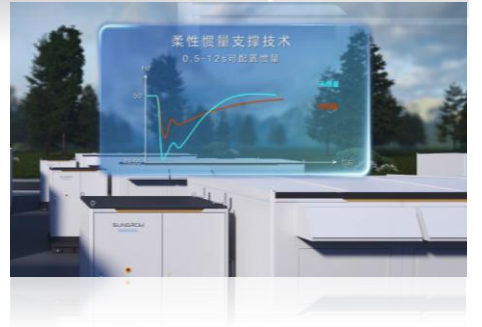
Elektronik

AI destekli ark önleme —
ms seviyesinde tespit,
s seviyesinde devre kesme



Elektriksel Şebeke Desteği

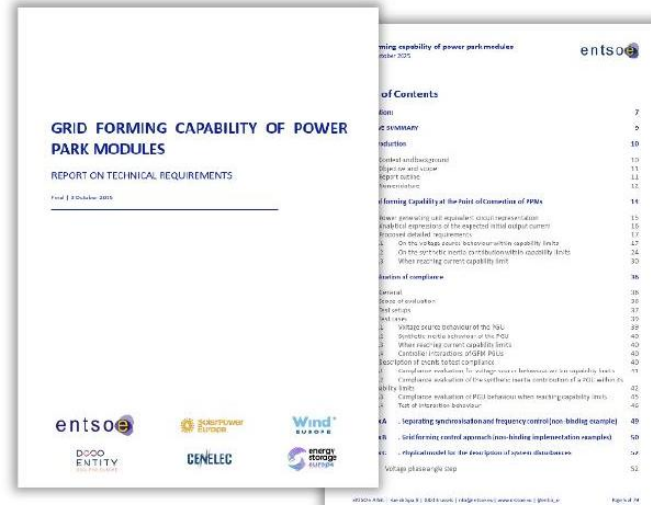
Stem Cell teknolojisi —
her şebeke senaryosunda
kararlı çalışma



AB'de Grid-forming

1 MW üzerindeki yeni depolama ve yenilenebilir enerji santralleri için bağlayıcı olmayan teknik gereklilikler.

— *ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity)*



Almanya'da Grid-forming

Atalet (inertia) piyasasına katılım için ön koşul olarak grid-forming üniteler için gereklilikler ve doğrulamalar.

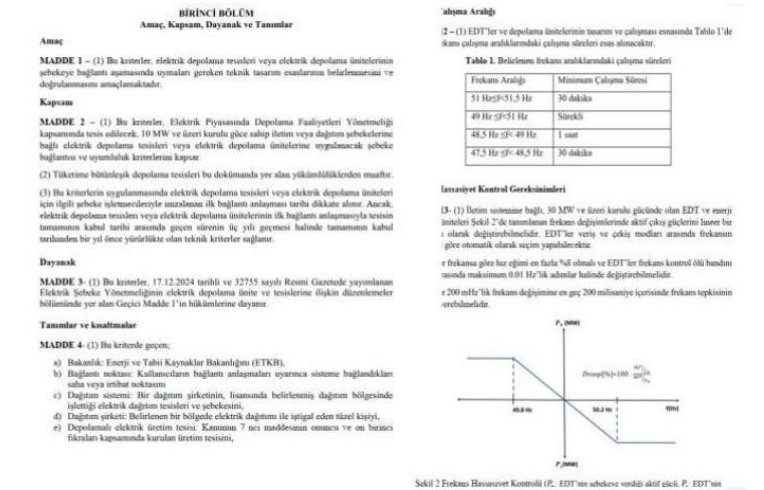
— *Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE*

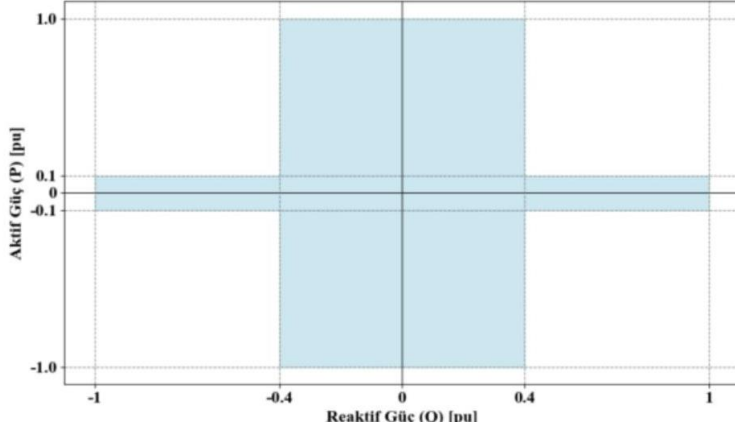


Türkiye'de Grid-forming

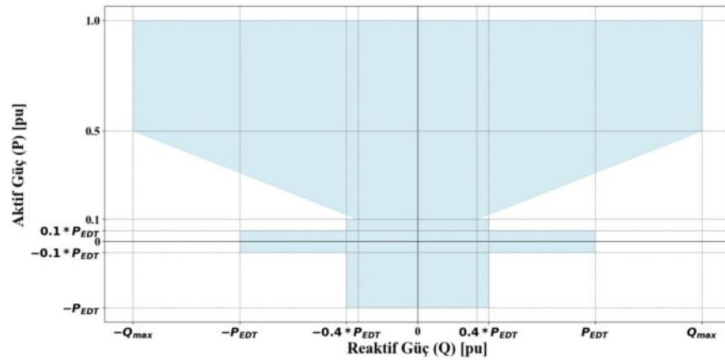
İletim ve dağıtım şebekesine bağlı EDT ve depolama üniteleri, otonom çalışabilen şebeke oluşturan (grid forming) teknolojisi yeterliliği için gerekli donanım ve yazılım altyapısına sahip olmalıdır.

— *TEİAŞ, Şebeke Bağlantı ve Uyumluluk Kriterleri, Madde 13/2*





Şekil 6 — Müstakil EDT ve depolamalı üretim tesisleri



Şekil 7 — Depolamalı üretim ve üretime bütünleşik tesisler

Sürekli çalışma zorunluluğu

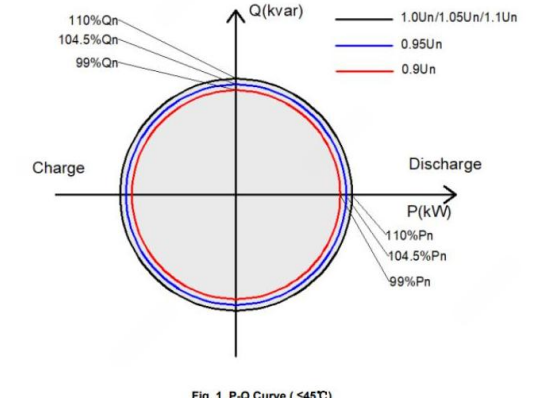
- Müstakil EDT ve Kanun 7/10 kapsamındaki tesisler, bağlantı noktasında Şekil 6'daki taralı sınırlar içinde her noktada sürekli çalışabilmelidir.
- Ana kaynak devrede ve toplam aktif çıkış $\geq \%10$ iken Şekil 7 sınırları ile ESY Ek-18 reaktif güç miktarları geçerlidir.
- Ana kaynak devre dışı veya çıkış $< \%10$ iken sınırlar depolama kurulu gücü (P_{EDT}) üzerinden uygulanır.

Kaynak: TEİAŞ — Elektrik Depolama Tesislerinin Şebeke Bağlantı ve Uyumluluk Kriterleri, Madde 11

Sungrow PCS

Dört bölgede (four-quadrant) çalışma: şarj ve deşarjda tam reaktif güç kapasitesi.

As shown in the following figure, the shaded area indicates the active-reactive power range of ST5015UX-3H & ST5015UX-6H ($\leq 45^\circ\text{C}$):



ST5015UX-3H / 6H P-Q eğrisi ($\leq 45^\circ\text{C}$)

Otonom şebeke oluşturma

- Donanım ve yazılım altyapısı otonom GFM yeterliliğine sahip olmalı.
- Şebeke oturduğunda harici kaynak olmadan kendi barasını enerjilendirmeli.

Ani faz açısı tepkisi

- 5°'ye kadar akım limitine girmeden tepki.
- Hesaplanan akımın %50'sine en geç 10 ms'de ulaşma.
- 60°'ye kadar şebekede kalma.

Gerilim kaynağı davranışı

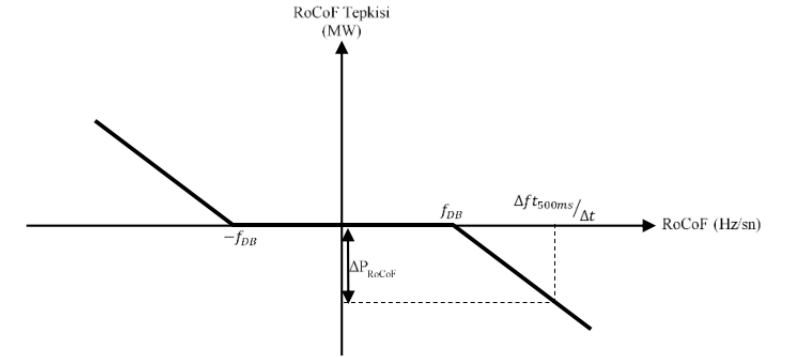
- Etkin empedans ardında Thevenin eşdeğeri davranış.
- Temel frekansta pozitif bileşen gerilim kaynağı (Şekil 8).

Salınım sönümleme

- 0,05–10 Hz aktif güç salınımlarında sönümleme oranı en az %10.

RoCoF tepkisi

- 500 ms penceresinde hesaplanır; ölü bandı TEİAŞ belirler (varsayılan 0 mHz).
- Tepkinin %90'ına en geç 250 ms'de ulaşma.
- Eşdeğer atalet sabiti H_{eq} 1–10 s; varsayılan 5 s.
- $\Delta P \geq 0,5$ pu, azami gücün 1,5 s eşdeğeri enerji rezervi; ± 2 Hz/s'e kadar şebekede kalma.



Şekil 9 EDT RoCoF Tepkisi

$$\Delta P_{RoCoF} = 2H_{eq} \times \frac{\left| \frac{\Delta f t_{500ms}}{\Delta t} \right| - f_{DB}}{f_{nom}} \times P_{nom}$$

Geçici rejim tepkileri sırasında lisans gücü üzerinde çıkışa izin verilir. Yürürlük: TEİAŞ'ın yayım tarihi; 01.06.2026'ya kadar lisans alan tesisler muaf.

Kaynak: TEİAŞ — Elektrik Depolama Tesislerinin Şebeke Bağlantı ve Uyumluluk Kriterleri, Madde 13

İletim sistemine bağlı ve depolama ünitesi kurulu gücü 10 MW ve üzeri EDT'ler için teknik belgeler ve şebeke analiz modelleri, her başlık için en az bir analiz programında santral kabulü öncesinde TEİAŞ'a sunulur.

Modelden beklenenler

- Sistem etütleri için toplulaştırılmış model sağlanır.
- Uyumluluk analizleri için tüm tesisin detaylı modeli; master kontrolcü fonksiyonları, şebeke bağlantısı ve tek hat şeması ile tek model olarak sunulur.
- Dinamik modellerde transfer fonksiyonları, set point parametreleri ve koruma aktivasyon sinyalleri tanımlanır.
- STATCOM/SVC gibi ekipmanların simülasyon modeli ve çalışma karakteristiği eklenir.
- Her ekipman için harmonik katkı değerleri ve teknik dokümanlar verilir; model kullanım kılavuzu sunulur.

Tablo 3 — Model türü ve analiz programları

Model türü	Detaylı model	Toplulaştırılmış model
Statik	PowerFactory, PSS-E	PowerFactory, PSS-E
Dinamik (RMS)	PowerFactory, PSS-E	PowerFactory, PSS-E (WECC/IEC doğrulanmış eşdeğer)
Geçici durum (EMT)	PowerFactory, PSCAD	—

Madde 16: Dağıtım şebeke işletmecisinin talebi hâlinde dağıtım sistemine bağlı tesisler için de aynı modeller sunulur.

Kaynak: TEİAŞ — Elektrik Depolama Tesislerinin Şebeke Bağlantı ve Uyumluluk Kriterleri, Madde 15–16 ve Tablo 3

Ülkeler Bazında Grid Forming Gereksinimleri

grid - forming function	USA NERC	Euro OSMOSEC	UK GC0137	Germany FFN	Australia AEMO	China State Grid	Turkey TEİAŞ
SCR Support	Yes	Yes	Yes	1 to 20	Yes	Yes	Yes
Overload ability	Yes	short time 200%	Short time overload& continuous overload	1,5-2 pu	Yes	300% 10s	No time limit determined- 130% In
Fault ride through	Negative sequence current, protection linkage	Fault ride through curve	Rapid injection of fault current	Reactive power rise time 10ms stable time 60ms	Yes	LVRT - HVRT continous FTR	Yes
Phase angle jump tolerance	$\leq 30^\circ$	Transient disturbance $\leq 60^\circ$	Small disturbance : 5° Large disturbance : 60°	Small disturbance : 5° Large disturbance : 60°	Yes	Large disturbance : 60°	$\leq 60^\circ$
Voltage Regulation	Yes	Yes	$\pm 5\%U_n$	Small disturbance $\pm 5\%U_n$ Large disturbance $\pm 10\%U_n$	voltage step response $\geq 5s$	Yes	Large disturbance $\pm 10\%U_n$ EK-18
Fast Frequency	Yes	Yes	2Hz/s endurance	Transient disturbance 2Hz/s	Yes	Yes	$\geq 2Hz/s$ (500 ms window)
Inertia Response	Yes	Yes	Maximum RoCoF 2Hz/s, 5ms start, 30 ms Maximum	Inertia constant H= 2-10 s	Yes	Inertia constant H=2-20 s	H = 5–15 s (default 5 s)
Damping Control	Yes	Yes	Damping coefficient 0.2 to 5	Damping coefficient $> 1 s$	0-500 Hz Positive Damping	Yes	YES - Low-frequency oscillation damping (0.1–2 Hz) mandatory
On grid Off grid switching	Yes	N/A	Yes	N/A	Yes	Yes	Autonomous islanding and resynchronization capability required
Black Start	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Mandatory – energize own bus without external source

Kaynaklar: NERC, National Grid GC0137, TEİAŞ 2024/2026 taslağı, AEMO

TEŞEKKÜRLER!

