

ENTERKONNEKTE İLETİM ŞEBEKELERİNDE SİSTEM KARARSIZLIĞI PERSPEKTİFİNDE İBER YARIMADASI ENERJİ KESİNTİSİ

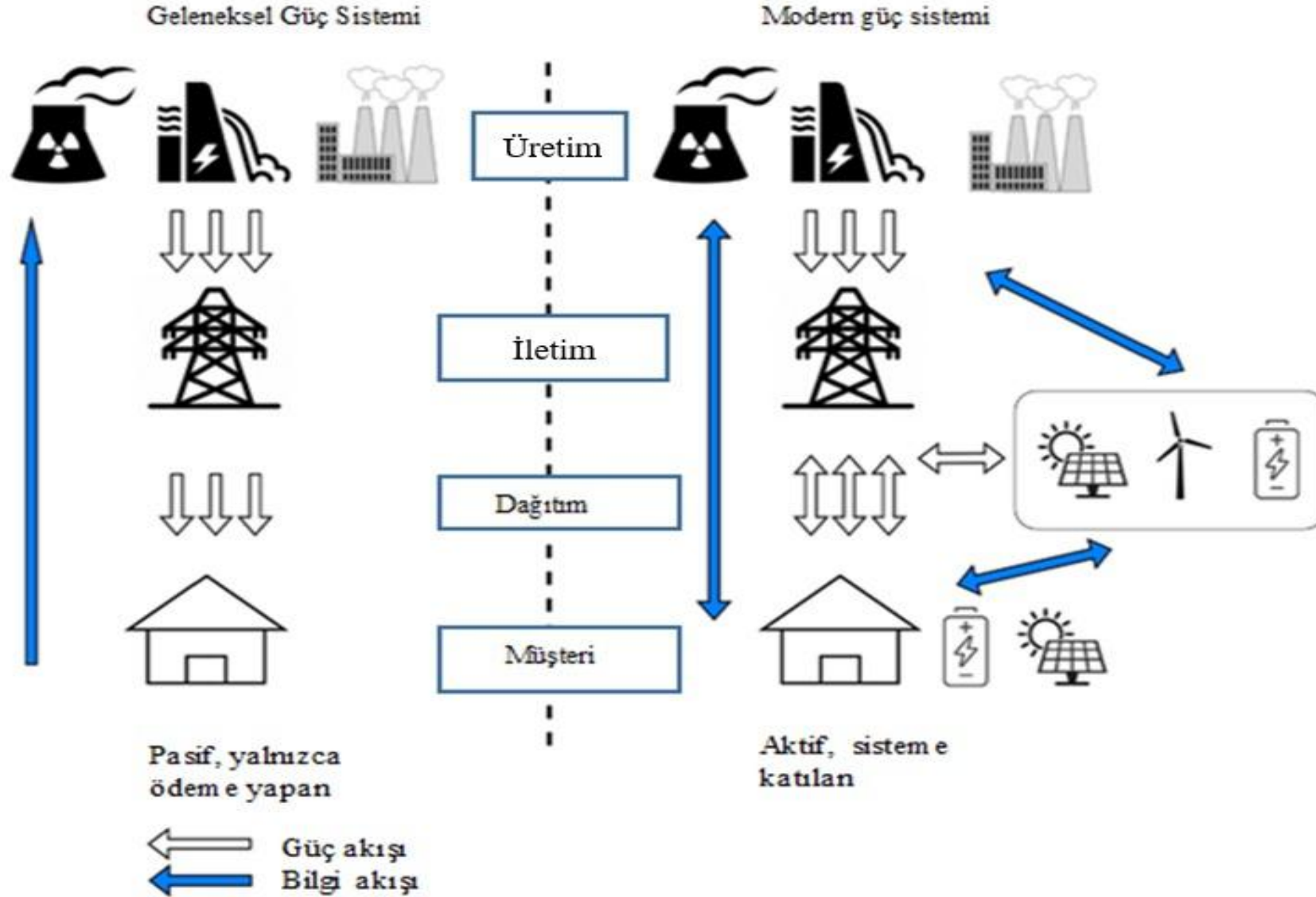
İber Yarımadası Blackout Olay Analizi

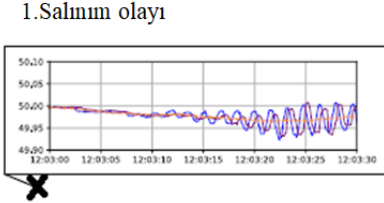
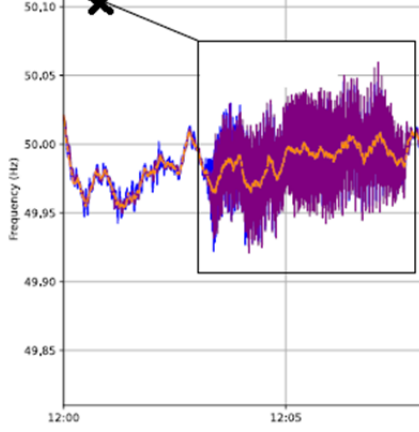
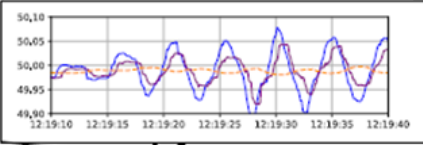
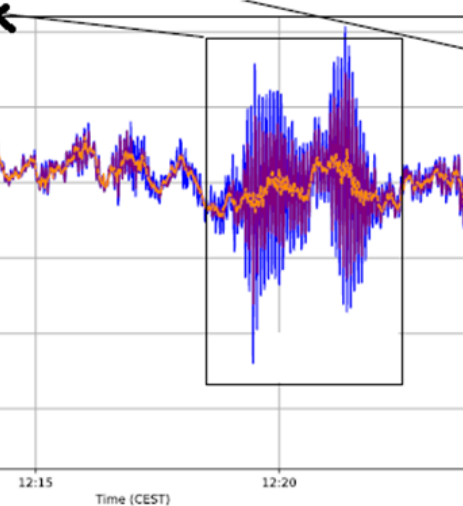
Soykan NOHUT

Elektrik- Elektronik Mühendisi

27.Dönem EMO Ankara Şubesi Enerji Komisyonu Üyesi

Geleneksel Güç Sistemleri ile Modern Güç Sistemlerinin Karşılaştırılması



Zaman (CEST)	Olay
12:03 – 12:07	Güç ve frekans salınımları gözlemlendi. Bu salınım daha çok lokal salınımlar olarak tabir edilen bir salınım olup bant genişliği 0,6 Hz olarak ölçüldü. (Bu tip salınımların risk seviyesi azdır.)  
12:19 – 12:21	İkinci salınım dönemi gözlemlendi. Bu salınım daha çok inter-area osilasyon olarak adlandırılan ve risk seviyesi yüksek düşük bant genişliğindeki salınımlardır. (0,2 Hz'lik bir salınım)  

- **Lokal Salınımlar:** Generatörlerin belirli bir bölgede birbirlerine karşı yaptığı salınımlardır. Bunlar, 0,6 - 2,0 Hz frekansındaki salınımlardır.
- **Bölgeler Arası Salınımlar:** Generatör grubunun bir bölgede, jeneratör grubunun başka bir bölgedeki jeneratör grubuna karşı yaptığı salınımlardır. Bunlar, 0,1 - 0,6 Hz frekansındaki salınımlardır.

Bölgeler arası salınımlar, genellikle sistemdeki farklı bölgelerde yer alan generatör kümelerinin birbirlerine göre ileri-geri salınım yapmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu salınımlar:

- Büyük güç transferleri,
- Zayıf iletim hatları,
- Düşük sistem sönümleme oranları,
- Yenilenebilir kaynakların kontrolsüz veya gecikmeli katkıları gibi nedenlerle tetiklenebilir.

Zaman (CEST)	Olay
12:32:57 12:33:17	– Güney İspanya’da yaklaşık toplamı 2200 MW’ı bulan 3 ayrı üretim kaybı gerçekleşti. Bu üretim kayıplarının sebepleri konusunda kesinlik olmasa da birçok kaynakta, ilgili santrallerdeki gerilim seviyelerinin standart değerlerin oldukça üzerinde olduğu ifade edilmektedir. Osilasyonlar sonrası oluşan sistem durumunun ne ölçüde stabil olduğu kesin olarak bilinmemekle birlikte birbirini tetikleyen olay zincirinin, reaktif güç regülasyonunu sağlayan bir ya da birkaç santralin herhangi bir sebeple servis harici olması sonucu oluşan bir silsile olması ihtimali yüksektir. 

Gerilim kararsızlıklarının birden çok sebebi bulunmaktadır:

- **Değişken yükler;** özellikle fabrika vb. özel yük profillerine sahip kullanıcıların olduğu bölgelerde değişen tüketim yükleri gerilimde artış ve azalışlara sebep olabilir.
- **İletim hatları yük değişimleri;** sistemdeki herhangi bir arıza veya üretim-tüketim dengesi değişimleri kaynaklı iletim hatlarında yük değişimleri yaşanır. Yukarıda da bahsedildiği üzere yükü değişen hatlar reaktif güç üretmeye ve tüketmeye başlayabilir. Bu da gerilim değişimlerine yol açar.
- **Reaktif güç desteği alınan argümanların yetersizliği veya yükümlü paydaşın yetersiz tepkisi;** sistemde bulunan şönt ekipmanların ya da FACTS cihazlarının set edilen gerilim değerlerine ulaşmak için yetersiz kalmasının yanı sıra reaktif güç desteği sağlamakla yükümlü sistem paydaşlarından gelen reaktif desteğin de istenen düzeyde olmaması gerilim kararsızlıklarına yol açar

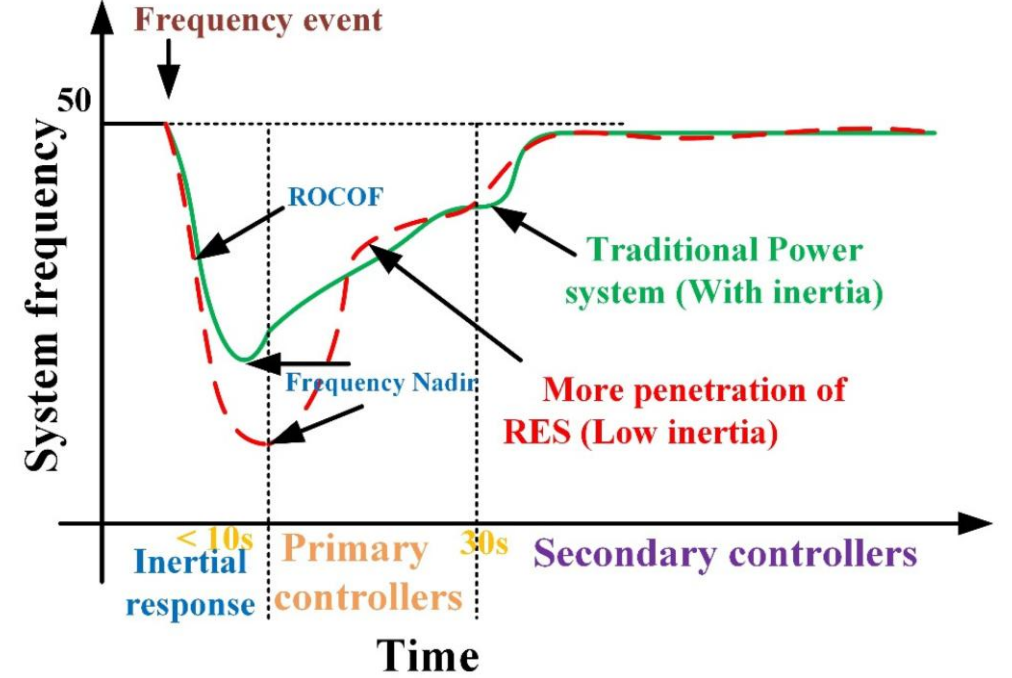
Zaman (CEST)

Olay

12:33:18 – İber Yarımadası'ndaki şebeke frekansı 48,0 Hz'nin altına düştü. Otomatik yük atma devreye girdi. Her ne kadar bu frekans düşüşü yayınlanan hiçbir evrakta gözükme de bu aşamada BlackOut çok hızlı bir şekilde gerçekleşti. İspanya'nın arıza öncesi üretim çeşitliliğine bakılacak olursa %64'e varan rüzgâr ve güneş santral üretim payı olduğu görülmektedir. Ayrıca o anki sistem verilerine göre RoCoF' un 0,6 Hz/s'nin üzerine çıktığı ve ortalama ataletin kabaca 50 GW.s olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilere göre İspanya'nın olay anındaki atalet sabitinin ENTSO-E'nin risk gördüğü 2 değerinin altına indiği bir gerçektir.

BlackOut'un hemen öncesinde üretim kayıplarının gerçekleşmesi ile birlikte düşen frekansa bağlı olarak faz açılarının çok hızlı şekilde yükseldiği ve hatların stabil çalışma limiti olan 90 derecenin çok üzerine çıktığı görülmüştür. Zaten bu da domino etkisi oluşturan ve sistemin tutunamayıp çöküşün başladığını gösteren ana noktadır.

Santral Tipi	2025	%
Güneş (FV)	18283	53
Rüzgar	3645	11
Nükleer	3392	10
Hidro	3206	9
Dağıtılmış Termal olmayan yenilenebilir	1917	6
Termal Yenilenebilir	1882	6
Kombine Çevrimler	1657	5
Kömür	228	1
Toplam Üretim	34210	

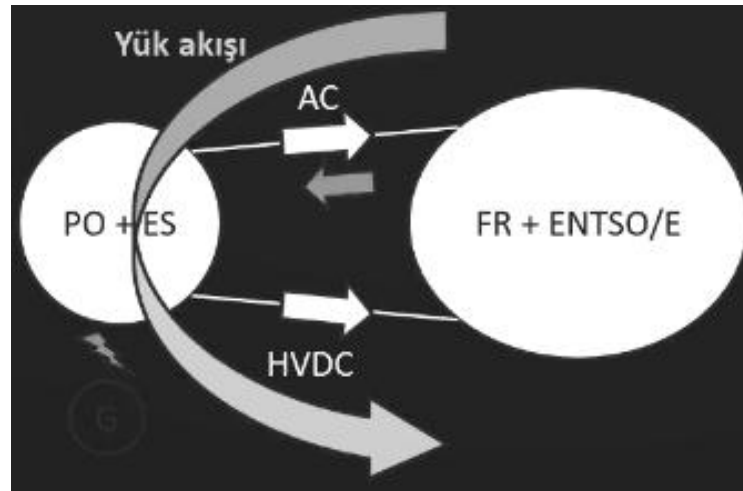
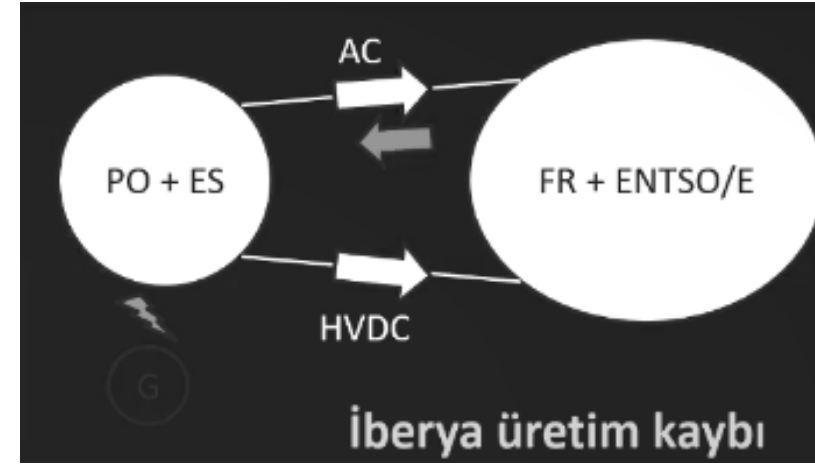
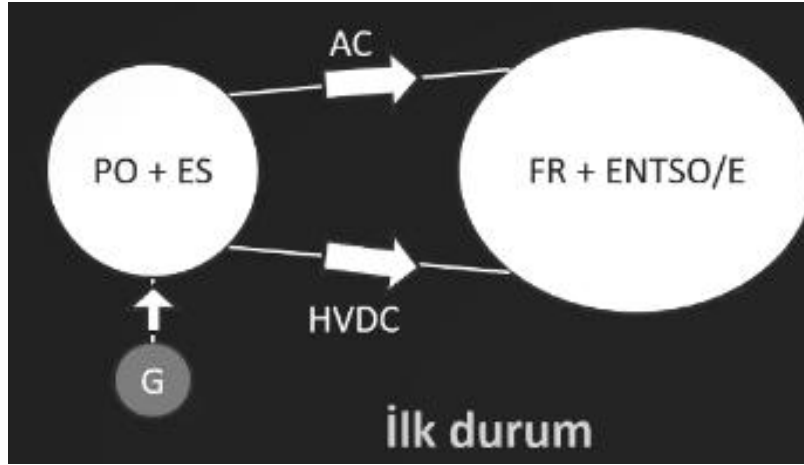


$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\Delta P}{2H}$$

$\partial f / \partial t$ = Rate of change of frequency
 ΔP = MW of load or generation lost
 $2H$ = Two times the system inertia in MWs / MVA

Blackout

Fransa-İspanya arasındaki AC bağlantıların 12:33:21'de kesilmesini takiben, sadece üç saniye sonra HVDC bağlantıların da devre dışı kalmasıyla İber Yarımadası tamamen enerjisiz kalmıştır.



Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının hızlı penetrasyonu; sistemdeki ataletin azalmasına, bölgeler arası salınımların artmasına ve konvansiyonel dengeleme araçlarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle,

- Geniş Alan İzleme ve Kontrol Sistemleri (WAMS),
- HVDC bağlantılar ve VSC destekli inverter teknolojileri,
- Grid-forming invertörler ve senkron jeneratörler,
- Makine öğrenmesi vb. yöntemlerle geliştirilen yapay zeka destekli osilasyon analiz sistemleri

gibi ileri teknolojilere dayalı etkili stratejiler geliştirilerek salınım problemlerinin önlenmesi ve sönümlenmesi sağlanmalıdır.

Ayrıca;

- Üretim hatlarındaki aşırı gerilimlerin koruma ayarları ile gerilim ve akım trafolarının eşik değerlerinin arttırılmalıdır. Böylece, gereksiz açmalar önüne geçilecektir.
- Dinamik ve sürekli (continuous) modda gerilim ve frekans kontrolü yeni gelişen STATCOM gibi teknolojilerle takip edilmelidir.
- Kesintili kaynaklara sahip üretim tesislerinin sistem olaylarına karşı devrede kalabilme kabiliyetlerinin arttırılması gerekmektedir.
- Mevcut regülasyonların gözden geçirilerek güncellenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda güç elektroniği tabanlı yeni nesil çözümlerin zorunlu tutulması oldukça hayati öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Olay Öncesi İspanya'nın Komşu Ülkeler ile Elektrik Ticareti Durumu.Son erişim tarihi: 23.06.2024. [Online].<https://www.energy-charts.info>
- [2] Olay Öncesi İspanya'nın Komşu Ülkeler ile Elektrik Ticareti Durumu ve İber Yarımadası'ndaki şebeke frekansı değişimi. Son erişim tarihi: 23.06.2024. [Online]
https://www.linkedin.com/posts/luisbadesa_iberia-blackout-2025-activity-7329865554536611841-dLmB?utm_source=share&utm_medium=member_android&rcm=ACoAABe038ABUh5ZpUu3vTWQVqEFN0BN04O7AJc
- [3] T. Yeşilyurt, & B. Akbal, “Elektrik Tesislerinde Gerilim Kararlılığının Sağlanması için Kullanılan Yöntemler” , Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 287-292, 2020.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.804207>
- [4] İber Yarımadası'ndaki Elektrik Kesintilerinden Teknik İçgörüler Webinarı EPRA Energy Osman Bülent TÖR'ün sunumu
- [5] oHmLand - Inertial Awareness / Accurate system inertia data is becoming crucial for power system operations

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM.