

KESİNTİLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMİ İLE BÜTÜNLEŞMESİ

Dr. Ersin Aras

Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
34. Dönem Enerji Komisyonu Üyesi

E-posta: ersin.aras@emo.org.tr

Özet: Atmosfere atılan sera gazı miktarını azaltabilmek amacıyla hazırlanan Paris Anlaşmasını Türkiye 2021 yılında imzalamış ve 2053 yılında “Net 0” karbon salınımını hedeflemiştir. Ülkemizdeki sera gazı salınımının %72’si enerji sektörü temellidir (TUİK 2019). Bu nedenle “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından (YEK) elde edilen enerjinin artan oranlarda kullanılması bu hedefi yakalayabilmek için önem taşımaktadır.

YEK’in önemli bir bölümünü rüzgâr ve güneş gibi düşük üretim maliyetli “Kesintili Yenilenebilir Enerji Kaynakları (KYEK)” teşkil eder. Bu kaynakların üretimdeki oranı arttıkça elektrik güç sistemi geleneksel türbin-jeneratör esaslı büyük ataleti olan bir sistemden evirgeç (invertör) esaslı küçük ataleti olan bir sisteme dönüşmektedir. Bu köklü değişim iletim ve dağıtım hatlarının yanı sıra güç elektroniğinin ve enerji depolama sistemlerinin önemini artırmıştır. Makalede şebekelerin “Ekonomik KYEK Kapasitesi” ve “net yük” tanımlanmış, KYEK’in kararlılık dahil şebeke ile bütünleşme sorunları ve bunları aşmak için gerçekleştirilen uygulamalar üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK), Kesintili Yenilenebilir Enerji Kaynakları (KYEK), enerji depolama, batarya, süper kapasitör, atalet, sanal atalet, Rüzgâr Enerji Santrali (RES), Güneş Enerji Santrali (GES).

1. GİRİŞ

KYEK’lerin giderek artan oranda ve büyüklükte devreye girmesi Elektrik Güç Sisteminin (EGS) yapısında köklü değişikliklere neden olmaktadır. 2020 yılında elektrik üretiminde % 11.7 orana sahip olan KYEK’in payı 2035 yılında % 34.3, 2053 yılında ise % 61.4 olarak plânlanmıştır [8]. KYEK santrallerinde üretim hava şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Üretilen ucuz ve “0” karbon salınımlı enerjiden azami faydalanabilmek, kısıntıya gitmemek ve sistem kararlılığını koruyabilmek amacıyla esnek bir elektrik güç sistemi gereklidir. Yapısı değişen EGS, ayrıntılı güç sistemi analizleri, iyi bir plânlama ve bunlara bağlı olarak ek iletim/dağıtım hatları, kısa ve uzun süreli enerji depolama tesisleri ve amaca uygun üretim santralleri gerektirir. Enerji depolama sistemleri olarak; hidrolik rezervuarlar, hidrojen depolama, batarya, süper kapasitör, volanlı enerji depolama vb. tesisleri sayabiliriz.

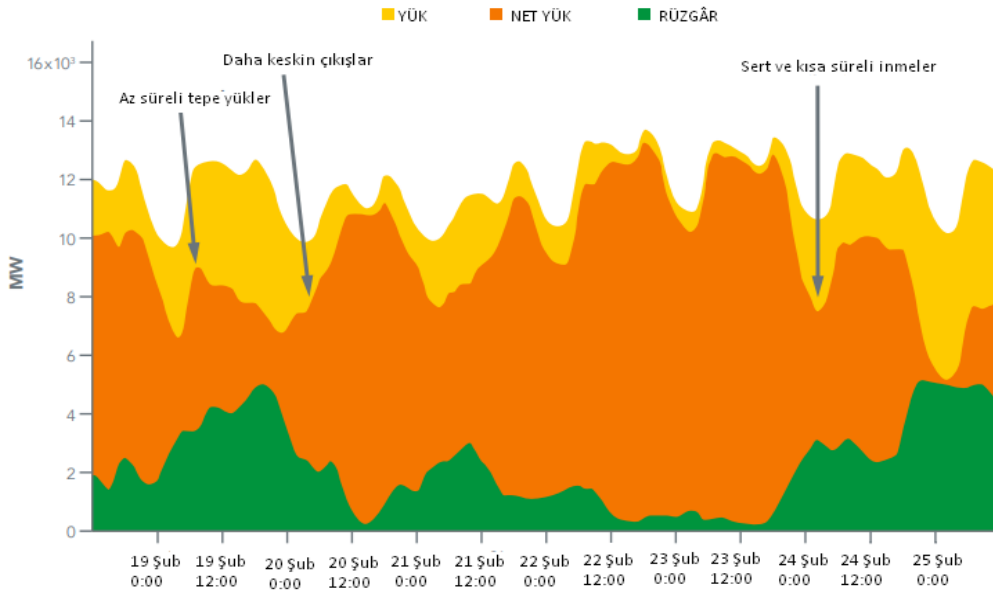
KYEK'lerin üretimde payının artması EGS'nin toplam ataletini düşürmekte, ani yük değişimleri ve arızalara karşı sistemin kararlılığını koruması güçleşmektedir. Sistem kararlılığını ve enerji kalitesini korumak amacıyla sistemde güç elektroniği ve depolama sistemlerinin birleşmesiyle sanal atalet kavramı devreye girmiştir. Ayrıca güç evirgeçleri de şebeke takip eden tipten, şebeke kuran tipe dönüşmeye başlamıştır.

2. EGS'nin ekonomik taşıma kapasitesi, net yük

2.1 Ekonomik taşıma kapasitesi

Güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynaklarının özellikleri; üretimde

değişkenlik, belirsizlik, düşük kapasite kullanım oranları, belirli bölgelerde yoğunlaşmaları ve geleneksel senkron üretim karakteristiklerinin olmamasıdır. Bu özellikler şebekenin iletim/dağıtım hatlarını ve üretim merkezlerini tasarımlarının ötesinde zorlayabilir. Yapılacak güç sistemi analizleri RES ve GES'lerin şebekeye bağlanma şartlarını ortaya koyar. Olduğu gibi bağlanabilirler veya ek tesisler ve hatlar gerekebilir. RES ve GES'lerin "yapılabilirlik çalışmalarına" şebekeye bağlantı maliyeti de mutlaka eklenmelidir. Aksi takdirde yeni tesis üretim kısıtlamalarına maruz kalabilir veya şebeke güvenliği tehlikeye atılır.



Şekil 1. Net yük eğrisi ve şebekenin daha fazla işletme esnekliği gereksinimi [1]

“Ne miktarda KYEK şebekeye bağlanabilir” sorusunun yanıtı genellikle ekonomiktir. Etmenler, üretimin tüketimi dengeleme kapasitesi, çeşitli konfigürasyonlarda ve arıza durumlarında kararlı çalışabilme kabiliyeti, yani esnekliğidir. Eğer yapılacak “bir birim üretim artışı” sistemi riske atıyorsa, bu sınır güç sisteminin ekonomik taşıma kapasitesi olarak tanımlanır [1].

Herhangi bir güç sisteminin ekonomik-taşıma kapasitesi bölgesine bağlı olup, zamanla değişebilir. Buna örnek olarak yeni hatların devreye girmesi, yeni teknolojilerin uygulanması veya üretim, depolama kaynaklarının eklenmesi veya çıkarılmasıdır.

2.2 Net yük

KYEK’lerin belirsiz üretimi gündeme “net yük kavramını” getirmiştir. Net yük Şekil 1’de görüldüğü gibi gerçek yük ile KYEK üretiminin farkından oluşur. Şekil 1 incelenirse net yükün gerçek yüke göre daha sert iniş ve çıkışları olduğu görülür. Bu karakteristikler genellikle güneş ve rüzgâr santrallerinin üretiminin yoğun olduğu bölgelerde oluşur.

Net yükün belirsizliği ve sert karakteristikleri sistemi zorlar. Esnek, hızlı tepki verebilen iletim, dağıtım, depolama ve üretim tesisleri bu gereksinimi karşılayabilir. Esnekliği kısıtlı olan bir EGS yükü dengelemede zorlanır, bu nedenle KYEK üretimine sınırlamalar getirebilir ve elektrik birim fiyatı zamana bağımlı olarak çok değişir.

3 EGS esnekliği

3.1 Üretim esnekliği [2,3]

Geleneksel EGS’lerde baz, ara yük ve tepe yük santralleri bulunur. **Baz yük santrallerinin** üretimleri sabittir, gerekmedikçe değişmez. Sırasına göre; nükleer, jeotermal, biyogaz, hidrolik, kömür ve Kombine Çevrim (KÇS) santralleri sayılabilir. **Ara yük santralleri** tepe yükle baz yük arası gereksinimi sağlayan santrallerdir, genellikle KÇS’den oluşur. **Tepe yük santralleri** ise yükün kısa süreli tepe yaptığı zamanlarda devreye giren üretim maliyeti yüksek olan santrallerdir. Gaz Türbinleri (GT), Pompajlı Hidroelektrik Santraller (PHS) ve diğer enerji depolama-üretim tesisleri sayılabilir.

Ülkemiz, 2053 yılına kadar “Net 0” veya “karbon nötr” salınımını hedeflediği ve taahhüt ettiği için kömür ve diğer yüksek karbon salımlı santrallerin bir plân dahilinde kapatılması veya iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu santrallerin yerini genellikle KYEK’ler, KÇS’ler, depolama tesisleri ve diğer tiplerde santraller alacaktır.

Üretim kaynaklarının yeterliliğinin hesaplanabilmesi ve ileri dönem plânlaması amacıyla Avrupa Birliği “Avrupa kaynaklarının yeterliliğinin değerlendirilmesi yöntemi [4]” adlı hesaplama metodunu standartlaştırmış ve tüm üye ülkelerin buna göre rapor vermesini istemiştir.

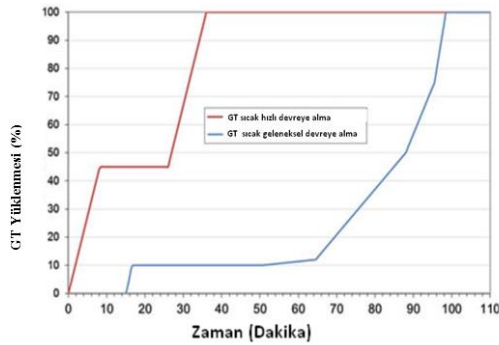
Üretimin esnekliği sağlayabilmek ve kesintili güç kaynakları nedeniyle değişmiş yük özelliklerini

karşılatabilmek için endüstrideki önemli uygulamalardan bazılarının üzerinde durmak gerekmektedir.

3.1.1 Kombine çevrim santralleri ve gaz türbinleri^[3]

Baz ve ara yükleri karşılamak için kullanılan KÇS'lerin ve tepe yükü karşılamakta kullanılan GT'lerinin yük alma süreleri KYEK'lerin değişkenliğini karşılayacak hızda olmayabilirler. Bu amaca hizmet için daha hızlı yük alan veya verebilen KÇS ve GT'ler tasarlanmış veya bazı mevcutlar modifiye edilmeğe başlanmıştır, Şekil 2.

Mevcut tesislerin revizyonları maliyetlidir. Gaz ve buhar türbinlerini, atık ısı kazanlarını, borulamayı, ek yardımcı kazanı, otomasyonu, yani tüm santralı kapsar.



Şekil 2. GT'lerde geleneksel ve hızlı yüklenme^[3]

3.1.2 Enerji Depolama Tesisleri (EDT)

Enerji depolama tesisleri KYEK'lerin hızlı değişen enerjisini yumuşatmada, uzun süre çalışabilen güç üniteleri devreye girene kadar sisteme güç vererek köprülemede ve frekans kontrol amaçlı kullanılırlar.

Endüstride yaygın kullanılanlardan önemlileri süper kapasitörler (SK), bataryalar, pompajlı hidroelektrik santral (PHS), hidrojen depolama ve üretim tesisleri olarak belirtilebilir. Tesislerin özelliklerini incelerken hangi tip tesisin EGS'de hangi şartlarda ve hangi zaman sürecinde yararlı olacağını göz önünde tutmak gerekir.

a) Süper kapasitörler ve bataryalar

Süper kapasitörler ve bataryalar KYEK'lerle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Özellikler	Birim	SK	Li-İyon
Gerilim	V	48 - 62	12 - 24
Ortam	°C	-40, +85	-20, +45
Çevrim Ömrü		>1,000,000	10,000
Takvim Ömrü	Yıl	15 - 20	3 - 10
Enerji Yoğunluğu	Wh/L	1 - 10	250-650
Güç Yoğunluğu	W/L	1,000-10,000	850-3,000
Verimliliği	%	>98	80 - 90
Şarj Oranı	C/x	>1,500	< 40
Deşarj Süresi		Sn veya Dk'lar	Saatler

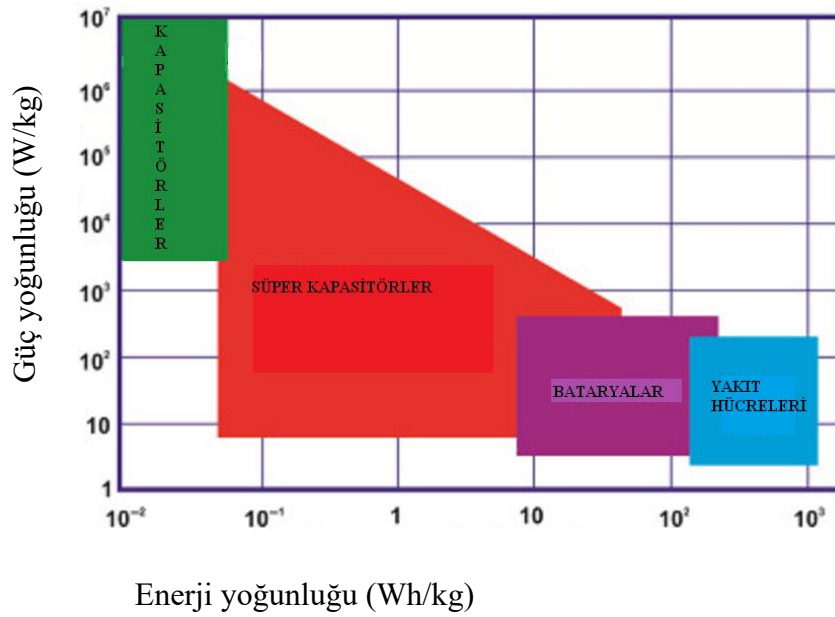
Tablo 1. SK ve Li-İyon batarya özellikleri^[9]

Süper kapasitörler enerjiyi elektrik alanında saklar, bataryalar ise kimyasal tepkiye girerek elektrik üretirler. Bu önemli fark SK'lara bataryalara nazaran birçok avantaj sağlar. Tablo 1 incelenirse bu özellikler; yüksek güç yoğunluğu, 1 milyondan fazla çevrim (şarj/deşarj), 15-20 yıl arası ömür, -40°C ila + 85°C ortam sıcaklığı arasında çalışma olarak listelenebilir.

Dezavantajları ise enerji yoğunluklarının az olması ve yüksek fiyatlarıdır.

SK'ların kısa sürede yüksek güç alıp/verebilmeleri, milyonlarca kez şarj/deşarj olabilmeleri kararlılık, gerilim, frekans kontrolü ve KYEK üretimlerinin yumuşatılması gibi hızlı enerji transferi gerektiren uygulamalarda tercih edilmelerini sağlar.

Şekil 3 endüstride kullanılan bazı depolama çeşitlerinin güç ve enerji yoğunluklarını vermektedir. Şekil 4'te depolama sistemlerinin enerji kabiliyetleri verilmiştir. Şekil 3 ve 4 aynı zamanda bize depolama aygıtlarının kullanım sıralamasını da belirtmektedirler. Ansal tepki ve yüksek güç için SK'lar ve daha uzun süreli ve dengeli besleme için bataryalar gibi.

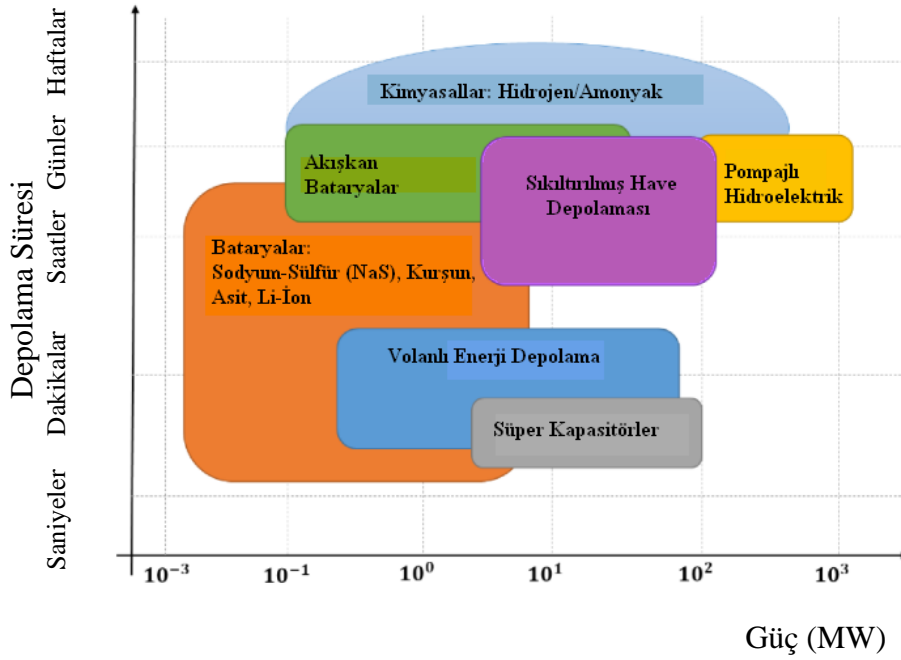


Şekil 3. Depolama tiplerinin enerji ve güç yoğunlukları [6]

b) Hibrit sistemler

SK'lar ve bataryalar diğer enerji depolama teknikleri ile de etkili olarak birlikte kullanılabilirler. Birlikte kullanıldıklarında SK'lar şebekeye kısa sürede yüksek güç, bataryalar ise uzun süreli dengeli

enerji vererek birbirlerini tamamlarlar. Bu karışım diğer bir faydası da bataryaların şarj/deşarj miktarını azaltarak ömürlerini uzatmasıdır. Üretim köprülemesi maksadıyla; “SK+batarya”, “SK+Batarya+GT”, “SK+Batarya +PHS” gibi karışımlar da kullanılır.



Şekil 4. Depolama sistemlerinin enerji verebilme süreleri^[7]

3.2 İletim ve dağıtım esnekliği

Yük, net yük, elde olan ve plânlanan üretim ve depolama kaynakları gözetilerek kısa, orta ve uzun dönem için iletim ve dağıtım şebekeleri tasarlanır. Sistem operatörlerine kısıtlamasız veya en az kısıtlamalı, esnek, işletmesi güvenilir bir güç sistemi tasarlamak esastır.

4 Kararlılık

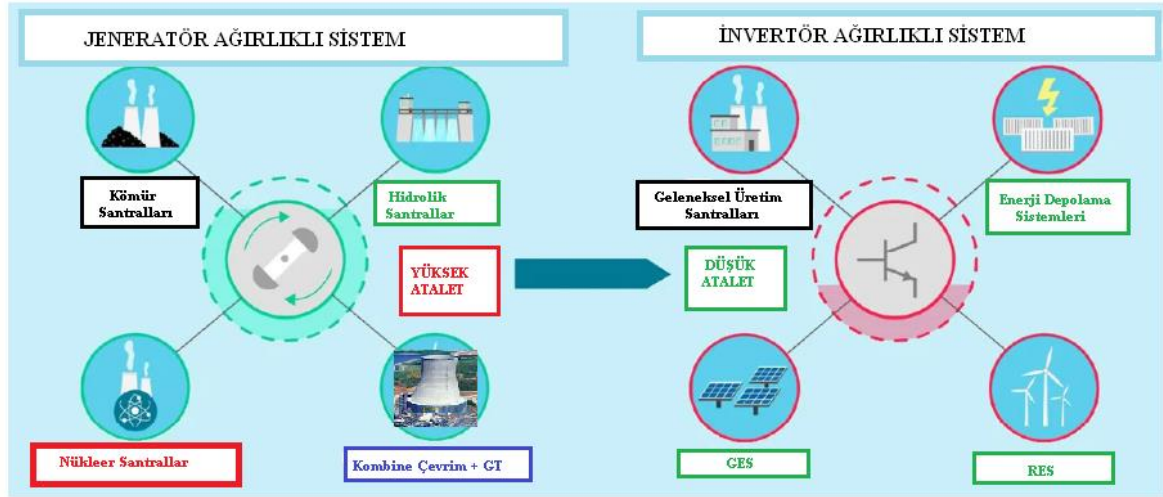
EGS'ler büyük değişim içindedir. Gün geçtikçe yük merkezlerine yakın fosil yakıtla üretilen güç miktarı azalmakta, onların yerini genellikle yük merkezlerinden uzakta bulunan KYEK'ler almaktadır. Bunun neticesinde mevcut EGS üzerindeki baskı giderek artmaktadır.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı "Türkiye

Ulusal Enerji Plânı 2022" ye göre [8] 2020'de elektrik üretiminde % 11.7 paya sahip olan KYEK'lerin payı 2035'te % 34.3'e, 2053'te ise % 61.4'e çıkmaktadır. Dolayısıyla EGS Şekil 5'te görüldüğü gibi yüksek ataletli sistemden düşük ataletli evirgeç bazlı sisteme dönüşmektedir.

Mevcut KYEK santrallarının çoğu şebeke ile evirgeçler, yani güç elektroniği üzerinden etkileşirler. Bu değişim EGS'nin dayanıklılığını azaltır, ortaya frekans ve gerilim kararsızlığı, yük akışı dengesizlikleri gibi sorunlar çıkarır.

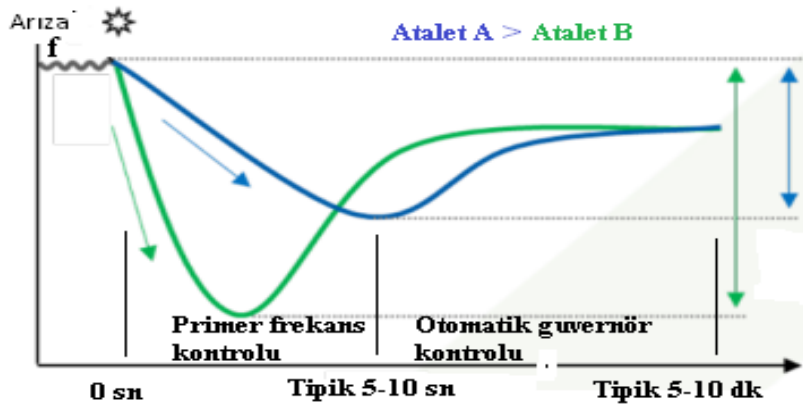
İnvertör bazlı mevcut sistemlerde türbin/jeneratör sistemlerinde bulunan atalet bulunmaz. Dolayısıyla mevcut santrallardaki güç sisteminin kararlılığını sağlayacak frekans ve gerilim kontrol kabiliyetleri yoktur.



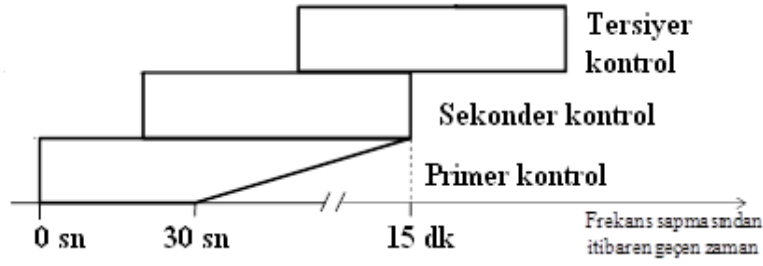
Şekil 5. Jeneratör ağırlıklı sistemden evirgeç ağırlıklı sisteme dönüşüm [5].

Sistemde oluşabilecek büyük arızalarda sistem frekansı EGS'nin toplam ataletine bağlı olarak ani düşmeler gösterebilir (Şekil 6). Yüksek ataletli sistemlerde düşme yavaş, düşük ataletli sistemlerde ise hızlı olur. Üretim yapan santrallerdeki guvernörlerin harekete geçerek frekansı düzeltmeye başlamaları ilk saniyeden itibaren başlar (primer kontrol). Eğer sistemin ataleti ve guvernörlerin etkisi frekansı belirlenen seviyelerde tutamıyorsa ve frekans hızla düşüyorsa şebekenin yük atma sistemleri devreye girerek

yük-güç dengesini eşitlemeye çalışır. Aksi takdirde EGS kısmen veya tamamen çökebilir. İlk 5-10 saniyelik guvernör tepkileri sonrası "sekonder frekans kontrolü" yapmakla görevli üniteler devreye girer, görevleri hem sistem frekansını nominal değerine getirmek hem de primer kontrollu görevli santrallerin yükünü almaktır. Son olarak ta "tersiyer kontrol" santralleri devreye girerek sekonder kontrol santrallerinin yükünü alır ve sistemi yeni bir arızaya karşı hazır duruma getirirler, Şekil 7.



Şekil 6. Değişik ataletli güç sistemlerinin tepkileri [5].



Şekil 7. Elektrik şebeke yönetmeliği işletme yedekleri^[11].

Primer ve sekonder kontrol santralleri saniyeler içinde görevlerini tamamlarlar. İnvörtör ağırlıklı EGS'de gerçek atalet düşük olduğu için bu aşamalarda sanal atalet kullanılabilir. Sanal atalet güç elektroniği, süper kapasitörler ve bataryalar kullanarak elde edilir. Amaç EGS'deki yük-güç dengesine milisaniyeler içinde katkı yapmak ve uzun süre çalışabilecek türbin/jeneratör esaslı güç kaynakları devreye girene kadar köprüleme görevi yapmaktır. Köprüleme sırasıyla süper kapasitör ve bataryalar kullanılarak yapılır. Bunun yanı sıra 3.1.2.b'de belirtildiği gibi SK+batarya”, “SK+Batarya+GT”, “SK+Batarya +PHS”, “Senkron kondansatör + volan) gibi karışımlar da kullanılabilir.

EGS'lerdeki belirtilen hızlı değişim enerji depolama elemanlarının yanı sıra güç elektroniğinde de kendini göstermiştir. Halen yaygın olarak kullanılan “şebeke takip eden” evirgeçler yerine “şebeke kuran evirgeçler” devreye girmeye başlamıştır [12]. Mevcut evirgeçlerin çoğu şebeke gerilimine ve KYEK'lerden gelen akıma bağlı çalışırlar. Şebeke kuran evirgeçler ise “şebeke kurma konumunda” gerilim kaynağı olarak ta çalışabilirler. Şebekeyi denetleyerek gerilim ve akımın evirgeç tarafından ayarlanması ve kontrolü “sanal senkron makine” kavramını ortaya

çıkarmaktadır. Bu tip evirgeçler sistemi “0”dan ayağa kaldırma kabiliyetine de sahiptirler.

5 Sonuçlar

Önümüzdeki yıllarda güneş ve rüzgâr gibi üretim maliyeti düşük kesintili güç kaynaklarının kurulması ve kullanılması hızla devam edecektir. KYEK'lerin mevcut güç sistemi ile bütünleşmesi için yeni teknolojilerin kullanılması, iletim, dağıtım, depolama ve üretim tesislerine ciddi yatırımlar yapılmasını gerektirecektir.

Doğal gazla ve hidrojenle çalışan kombine çevrim santralleri ve gaz türbinleri, KYEK santrallerini desteklemek ve devre dışı olacak yüksek karbon salımlı kömür santrallerinin boşluğunu doldurabilmek için artan oranlarda kullanılacaktır.

Komşu ülkeler ve Avrupa Birliği ülkeleri [10] ile elektrik güç sistemimizi birleştirme çalışmalarının daha da geliştirilmesi hem güç sistemimizin güvenilirliğini artıracak hem de KYEK santrallerimizin üretiminden azami yararlanmamızı sağlayabilecektir.

Üniversiteler, kamu kuruluşları, özel kuruluşlar ve endüstri bu büyük değişime hazırlanmalı, depolama sistemleri, güç elektroniği, akıllı şebekeler için mevcut alt yapı ve bilgi birikimi hızla geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] ONREL, Jaquelin Cochran, Paul Denholm, Bethany Speer, and Mackay Miller. [Grid integration and the Carrying Capacity of the U.S. Grid to Incorporate Variable Renewable Energy. Technical report. April 2015.](#)

[2] Cochran, J., Miller, M., Zinaman, O., et al. (2014). [Flexibility in 21st Century Power Systems. NREL/TP-6A20-61721.](#)

[3] Fast Start Combined Cycles: [How Fast is Fast?](#) Power Engineering, September 2017, Clarion Energy Content Directors.

[4] [Methodology for the European resource adequacy assessment,](#) 2 October 2020

[5] Skeleton, [Wind turbine inertia – supporting the grid with active Power](#) (skeletontech.com), 19 May 2020.

[6] ScienceDirect, electrochemical capacitor, capacitors application, A. Burke, in Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, 2009.

[7] [Present and Future of Supercapacitor Technology](#) Applied to Powertrains, Renewable Generation and Grid Connection Applications. by Gustavo Navarro, Jorge Torres, Marcos Blanco, Jorge Nájera, Miguel Santos-Herran ve Marcos Lafoz. CIEMAT, Spanish National Research Centre on Energy, Environment and Technology. 25-05-2021.

[8] [Türkiye Ulusal Enerji Plânı 2022,](#) T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

[9] [Battery vs supercapacitor whitepaper,](#) Eaton Electronics Division, 02-2022

[10] [European Union Agency for the cooperation of Energy Regulators.](#)

[11] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu [Elektrik şebeke yönetmeliği,](#) 31-10-2021.

[12] [A review of functional requirements for grid-forming inverters.](#) John Fitzgerald Weaver, PV Magazine, 27-06-2023