

Elektrik Sisteminin Yeniden Toparlanması için Kara Başlatma İşlemlerinde Depolama Sistemleri ve Yenilenebilir Kaynakların Kullanılması

Use of Storage Systems and Renewable Energy Resources in Black Start Process for Electric System Restoration

Mehmet BULUT¹

¹Elektrik Üretim A.Ş Genel Müdürlüğü, Genel Müdürlük, Çankaya, Ankara
mehmetbulut06@gmail.com

Özet

Kullanıcılara kaliteli ve kesintisiz elektrik enerjisi sağlamak için güç sistemlerinde yüksek düzeyde güvenilirliği sağlama adına sistem çalışması yakından izlenir. Farklı nedenlere bağlı olarak güç sisteminde meydana gelen kesintilerin sistem düzeyinde toparlanması için ilk olarak kara-başlatma özelliğine sahip santral üniteleri ile başlanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, elektrik santrallerinin toparlanma yetenekleri kapsamında, kara başlatma için kullanılan yeni teknikler ile santral ölçeğinde inverter tabanlı kaynakların, güneş fotovoltaik (PV) ve batarya sistemleri ile rüzgar enerjisi kaynaklarının kullanılması ve performans özelliklerini ortaya koymaktır.

Anahtar kelimeler: Kara-başlatma, Restorasyon, PV, Enerji Depolama Sistemi, Rüzgar Türbini

Abstract

System operation is closely monitored to ensure a high level of reliability in power systems in order to provide quality and uninterrupted electrical energy to users. After the general interruption in the power system due to different reasons, it is first started with the land-starting switchboard units for the recovery at the system level. The aim of this study, within the scope of the recovery capabilities of power plants, is to reveal the performance characteristics of the new techniques as energy storage systems for used for black -start and the use of inverter-based sources, solar photovoltaic (PV) and battery systems and wind energy sources at the power plant scale.

Keywords: Black-start, Restoration, PV, Energy Storage System, Wind Turbine

1. Giriş

Günümüzde elektrik güç sistemlerinde yüksek düzeyde güvenilirliği sağlamak için sistem çalışması yakından izlenir. Ancak, farklı nedenlere bağlı olarak güç sisteminde kesintiler meydana gelmektedir. Çoğunlukla güç sisteminin yalnızca bir bölümünde kesinti meydana

gelmekte ve bu bölüm, en yakındaki elektrik şebekelerinin yardımıyla geri yüklenmektedir. Harici bir güç sistemi kullanılarak karartılmış alana giden bağlantı hatlarına enerji verilmektedir. Üretimi tekrar çalışır duruma getirmek için seçilen enerji santrallerine yardımcı güç sağlamak nispeten kolaydır. Bu, önce yüksek voltaj şebekesine enerji verildiği ve daha sonra düşük voltaj sistemlerine enerji vermek için kullanıldığı yukarıdan aşağıya bir güç sistem restorasyonu (PSR- Power System Restoration), yeniden toparlanma örneğidir [1].

Mevcut güç sistemleri, özellikle değişken yenilenebilir enerjinin entegrasyonundaki önemli artış, akıllı şebekelerin hızlı gelişimi ve ortaya çıkan tekniklerin geniş uygulaması ile karmaşık siber-fiziksel sistemlere dönüşmektedir. Bu, güç sistemlerinin yaygın kesintiye neden olabilecek birçok yeni faktör içermesine neden olacaktır [2]. Ekipman, insan ve hava koşulları gibi nedenlerle günlük hayatı olumsuz etkileyen ve hatta durma noktasına getiren sebeplerle elektrik kesintileri yaşanmaktadır [3]. Bu durumda sistemin ve sistemi oluşturan güç santrallerinin yeniden toparlanması büyük önem arz etmektedir.

Bir elektrik sisteminin tümünden veya büyük oranda kesintiye uğraması durumunda ise, yeniden toparlanma kara başlatma (Black Start) ünitelerinden başlanmakta ve sistem geri yüklemesi kritik sistem yüklerini besleyerek ilerlemektedir. Kara başlatma (BS-Black Start) ünitelerinin kendileri, sistem yükünün sadece küçük bir kısmını sağlayabildikleri için, bu üniteler dış güç kaynakları tarafına ihtiyaç duyan daha büyük ünitelerin başlatılmasına yardımcı olmak için kullanılmaktadır. Kara başlatma tanım olarak, bir elektrik sisteminin tamamen devreden çıktıktan sonra, sistemi ayağa kaldırmak ve yeniden toparlamak için bir elektrik santralının veya santralin bağlı olduğu elektrik şebekesinin tümüyle veya sadece bir bölümünün kapanma durumundan kurtulması için harici bir elektrik güç kaynağı olmadan veya harici bir iletim ağından elektrik gücü çekmeden yeniden çalışmaya başlatılması

işlemdir [4]. Oturan Sistemin Toparlanması, ilgili yönetmelikte “İletim sisteminin kısmen veya tamamen oturması durumunda harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan devreye alınabilen üretim tesisleri vasıtasıyla iletim sisteminin enerjilendirilmesi, müşterilere elektrik enerjisi verilmesi ve diğer üretim tesislerinin yeniden devreye alınması” şeklinde ifade edilmiştir [5]. Toparlanma yeteneği ise, Sistem oturması durumunda bir üretim tesisinin, harici besleme olmaksızın kendi imkanları ile devreye girmesini ve sistemin bir bölümünü enerjilendirebilmesini, ifade etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, elektrik santrallerinin toparlanma yetenekleri kapsamında, kara başlatma (KB) için kullanılan yeni teknikler ile santral ölçeğinde inverter tabanlı kaynakların, güneş fotovoltaik (PV) ve batarya sistemleri ile rüzgar enerjisi kaynaklarının kullanılması ve performans özelliklerini ortaya koymaktır.

2. Santrallerin Kara-Başlatma Özelliği

Çoğu elektrik santralinde, elektrik Enerjini üretmek için de enerji gerekmektedir ve bir elektrik santrali kendi enerjisinin önemli bir kısmını kullanabilmektedir. Örneğin, kömürle çalışan bir elektrik santralinde, ham kömürün kazanlarda yakıt olarak kullanılmak üzere uygun boyuta öğütülmesi, kazanlara güç sağlayan konveyörler, valfleri kontrol eden aktüatörler, kontrol eden sensörler ve kontrol sistemleri, türbinlerin hızı ve jeneratörleri şebekeye bağlayan şalt sistemi gibi kısımlarında enerji ihtiyacı vardır.

Kara başlatma, bir elektrik üretim biriminin veya santralin elektrik kesintisi durumundan elektrik şebekesi yardımı olmaksızın elektrik enerjisi sağlayan bir çalışma durumuna geçmesini sağlayan özelliktir. Kara başlatma için bazı güç santralleri, santral ana jeneratörlerini çalıştırmak için kullanılabilir büyük jeneratörleri (birkaç MW kapasiteli) çalıştırmak için kullanılan, normalde Black-Start Dizel Jeneratörleri (BSDG) olarak çağrılan ufak dizel jeneratör bulundurulur.

Elektrik şebekesini normal şartlara döndürmek için blackstart özelliğine sahip bir elektrik üretim ünitesi gereklidir. Elektrik santrali için blackstart sağlamak için bazı Birkaç MW kapasitede blackstart jeneratörleri mevcuttur. Bu jeneratörler, büyük güç ünitelerini başlatmak için kullanılır. Bu süreç, tüm tesisin enerjilenmesini ve elektrik şebekesine enerji verilmesini sağlar. Santral işletme ekipmanın yüksek bir iç enerji gereksinimi olduğundan, fosil yakıtlı enerji santrallerinde büyük bir yedek kapasite oluşturmak için KB kapasitesi sağlamak ekonomik değildir. Buhar türbinleri kullanan elektrik üretim santralleri; kazan su besleme pompaları, kazan yanma taze hava üfleme fanları ve yakıt hazırlanması için kendi kapasitelerinin %10 'una kadar varabilen kendi işletim gücüne (iç ihtiyaç) gereksinim duyarlar. Her bir santralde, iç ihtiyacı sağlayacak bu büyüklükte bir yedek kapasitenin sağlanması ekonomik değildir; bu sebeple, kara-başlatma gücü, daha önceden belirlenen bağlantı hatlarıyla başka bir santrallardan sağlanmalıdır.[6], [7], [8].

Ancak günümüzde KB özellikli jeneratör setleri üretilmektedir. Hidroelektrik üniteleri ile birlikte, büyük boyutlu dizel jeneratör setleri, gaz türbini jeneratör setleri ve gaz türbinleri bir KB kaynağı olarak kullanılabilir. Nükleer ve termik santral ünitelerinin, KB özelliğine sahip ünitelere enerji verebilmesi için enerji üretim kapasitelerinin iç tüketimine denk gelen %7 ila %8'i oranında olması gerekir. Genel olarak hidroelektrik santraller, hidroelektrik santralinin başlaması için çok az enerjiye ihtiyaç duyması nedeniyle şebeke bağlantılarına enerji vermek için blackstart kaynakları olarak belirlenir. Bu nedenle, bir kara başlangıç kaynağı olarak kullanmak en yaygın olanıdır. Hidroelektrik santrallerinde iç tüketim çok az olması sebebiyle gerekli güç kapasitesi %0,5 ile %1 arasında bulunmaktadır. Doğal gaz santrallerinde ise enerji üretim kapasitesi %1,5 ile %2 arasında olmalıdır [9], [10], [11].

2.1. Kara Başlatma Kaynakları

Kara başlatma ünitesinin birincil işlevi genellikle daha büyük bir elektrik santralinin yardımcı yükünü başlatmaktır. Bu yardımcı yük, çoğunlukla buhar jeneratörlerinin ve yakıt sistemlerinin çalıştırılmasında kullanılan aydınlatma ve motor yükünden oluşur. Normal işletme koşullarında santralde kullanılan elektrik, santraldeki üretim birimleri tarafından sağlanmaktadır. Santralin tüm ana üretim birimleri devre dışı ise santralin ihtiyacı olan elektrik santralin iletim hattına bağlı enerji nakil hatları tarafından sağlanır. Elektrik şebekesi tamamen kesintiye uğraması durumunda, elektrik şebekesi de enerjisiz olacaktır.

Kara başlatma üniteleri, enerji üretmeye başlamak için saha dışı güç gerektirmeyen ünitelerdir. Bunlar;

- Hidroelektrik üniteler: Bu birimler için tasarlanabilir kara başlatma özelliği ve hızlı yanıt verme kabiliyetine sahiptir.

- Dizel jeneratör setleri : Dizel setleri genellikle yalnızca batarya gücüyle çalışır ve çok hızlı başlatılabilir. Boyutları küçüktür ve yalnızca daha büyük birimleri başlatmak için gereken gücü sağlamak için kullanılırdır.

- Büyük Gaz türbinleri : Bu üniteler kendi başlarına kara başlatma özelliğine sahip değildir, ancak tesisi bir siyah başlatma kaynağı yapmak için yerinde dizel jeneratör setleri ile birleştirilmiştir. Dizeller çalıştırılır ve tesis yardımcı otobüslerine enerji vermek ve gaz türbini veya buhar türbinini çalıştırmak için kullanılır. Bir gaz türbininin çevrimiçi duruma getirilmesi genellikle daha hızlıdır.

2.2. Santral Teknolojileri KB Teknik Gereksinimleri

3.2.1. Gaz türbinleri

Gaz türbinleri yüksek esnekliğe sahiptir ve hızlı bir şekilde yeniden başlatılabilir (tipik olarak 30 dakika). Yardımcı yükleri sınırlıdır (büyük gaz türbinleri için yaklaşık 500kW). Ancak gerekli güç kompresörün beslemesini içerir ve nominal gücün yaklaşık %3-4'ü

kadardır. Birkaç tür gaz türbini vardır, ancak büyük gaz türbinleri bile soğuk durumda bile hızla yeniden başlatılabilir. Aero türevli gaz türbinleri gibi daha küçük gaz türbinleri teorik olarak 15-30 dakika içinde yeniden başlatılabilir ve çok esneklerdir. Ancak ataletleri küçüktür ve bu birimleri zayıf bir ağda çalıştırmanın sıkıntıları olabilir.

3.2.2. Kombine çevrimli gaz türbini

Kombine çevrimli gaz türbinleri, bir veya daha fazla gaz türbini, ısı geri kazanımlı buhar jeneratörü ve bir buhar türbininden oluşur. Tesisi başlatmak ve yeniden başlatmak için ana kısıtlamalar buhar türbininde yatmaktadır. Buhar türbini, yüksek bir yardımcı yük gerektirir ve sıkı termal kısıtlamalara tabidir. Gaz türbininin yardımcıları nispeten küçüktür (büyük gaz türbinleri için bile <1 MW). Ancak buhar türbinleri için yardımcıları 400-500 MW CCGT için 5 MW'a kadar olabilir. Isı geri kazanımlı buhar jeneratörünü yeniden başlatmak için buhar proses yardımcılarının çoğuna enerji verilmelidir. Buhar türbininin ana termal kısıtlamaları tamburlu kazanda yatmaktadır. Kazan içindeki sıcaklık kontrol edilmeli ve hızlı değişimden kaçınılmalıdır.

3.2.3. Hidro / pompaj depolama

Hidro üniteler, siyah başlatma özelliği sağlamak için çok verimlidir. Yardımcı ekipmanları çok küçüktür ve türbinler hızlı bir şekilde yeniden başlatılabilir. Hidro ünitelerin ana sınırlamaları, sınırlı enerji miktarlarından kaynaklanmaktadır (kara başlangıç rezervi olarak minimum su hacmi kalıcı olarak tutulmalıdır)

3.2.4. Biyokütle

Biyokütle santrallerinin çoğu, tasarım olarak kömür santrallerine benzer. Her iki tip ünite de bir buhar döngüsünden yararlanır ve genellikle ana hareket ettirici olarak bir buhar türbinine sahiptir. Bu, buhar işlemi için yardımcı maddelerin boyutunun önemli olduğu ve türbinin yeniden başlama süresinin kazandaki termal kısıtlamalara bağlı olduğu anlamına gelir. Bir elektrik kesintisi sırasında biyokütle için sahada minimum depolama gereksinimlerine uyulması gerekir.

3.2.5. Kombine Isı ve Güç (CHP) tesisleri

Kombine Isı ve Güç (CHP) tesisleri, bir sanayi sitesine veya bölgesel bir alana ısı ve güç sağlayan endüstriyel veya konut tesisleridir. CHP'deki gaz türbinleri, teorik olarak çok kısa bir süre içinde yeniden başlatılabilen geleneksel gaz türbinleridir. Ancak, buhar işleminde bir sınırlama gelebilir. CHP tasarımına bağlı olarak, buhar işleminin by-pass edilip edilemeyeceği dikkatlice araştırılmalıdır. Değilse, tüm sürecin (ve yardımcıların) yeniden başlatılması gerektiği anlamına gelir. CHP'yi kara başlangıç birimleri olarak kullanmanın mümkün olduğu sonucuna varılabilir.

3.2.10. Nükleer birimler

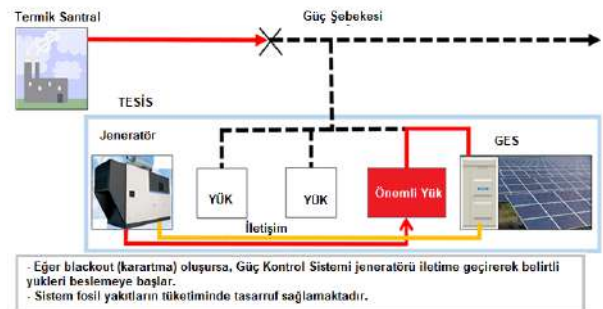
Nükleer birimlerin çoğunun kendi başlarına kara başlatma özelliği yoktur, ancak tesis yardımcılarının harici bir kaynak tarafından yeniden enerji verildiğinde yeniden başlatılabilir. Kesinti durumunda, nükleer sürecin güvenli çalışması garanti edilmelidir ve nükleer güvenliği garanti altına almak çeşitli katmanlar bulunmaktadır.

Başka bir savunma katmanı, acil durum dizelidir. Bu dizel üniteler sadece kritik yardımcı yükleri besleyecek şekilde boyutlandırılmıştır ve nükleer üniteyi yeniden başlatmak için yeterli değildir. Nükleer ünite ev yükü işletimine geçişte başarısız olursa, acil durum kapatması gerçekleşir. Acil kapatmadan sonra, ana jeneratörü şebeke ile yeniden senkronize etmek için en azından uzun bir süre gereklidir. Yakıt çevrimi ömrünün sonuna yaklaşırsa, şebekeye yeniden bağlanmak için beklenen süre uzayabilir.

3. Yenilenebilir Kaynakların ve Batarya Sistemlerinin KB Özelliği

3.1. Çatı PV Sistemleri ve GES

Konut PV sistemlerinin kara başlatma özelliği, invertörün tasarımına bağlıdır. Bazı invertörler yalnızca şebekeyi takip eder ve bu nedenle siyah başlatma amaçları için uygun değildir. Diğer invertör türleri teknik olarak kara başlatma özelliğine sahiptir. Bu, tipik olarak, müşteriler dağıtım ağına enerji vermek yerine şebekeden çıkmak istediğinde kullanılan bir yetenektir. Dağıtım ağına dağıtılmış PV sistemlerinden enerji vermek için karmaşık bir koordineli yaklaşım geliştirilmeli ve kurulmalıdır. Bu nedenle, özel iletişim kanalları da teknik gereksinimlerin bir parçasıdır. Yardımcı yüklere enerji vermek için bir akü sistemi mevcut olmalıdır. PV üretiminin kesintili olması ve frekans desteğinin olmaması nedeniyle, PV şu anda ilk yükleri geri yüklerken ek bir zorluk olarak kabul edilmektedir. Ancak, konut PV ve pil sisteminin azalan maliyeti sayesinde, birden fazla konut müşterisinin şebekeden bağımsız çalışabilmesi mümkün olabilir.



Şekil 1. Sistem Çökmesi durumunda GES kullanımı[12]

Blackout durumunda bir tesisteki önemli yükleri beslemek için kara başlatma olarak GES kullanımınıza yönelik bir uygulama örneği Şekil 1'te verilmektedir. Buradaki uygulamada; Elektrik kesintisi anında sistem

belirli bir yüke güç sağlar. Acil durum jeneratörünün çalışma süresini uzatarak fosil yakıttan tasarruf etmek mümkün olmaktadır. Tesisteki elektriği üreterek, şebekeden çekilen toplam elektrik miktarını azaltmak mümkün olup, aynı zamanda fosil yakıt kullanımının da kısmen önüne geçilmektedir. [12].

3.2. Batarya Enerji Depolama Sistemi (BESS)

Kara başlatma özelliği, elektrik santralinin elektrik kesintisi, şebeke bağlantısı kaybı ve / veya üretim kapasitesi kaybından sonra kendini yeniden başlatmasına izin verir. Bir enerji depolama sistemleri EDS, yeniden başlatma için gereken santral gücü dengesini sağlayabilir.

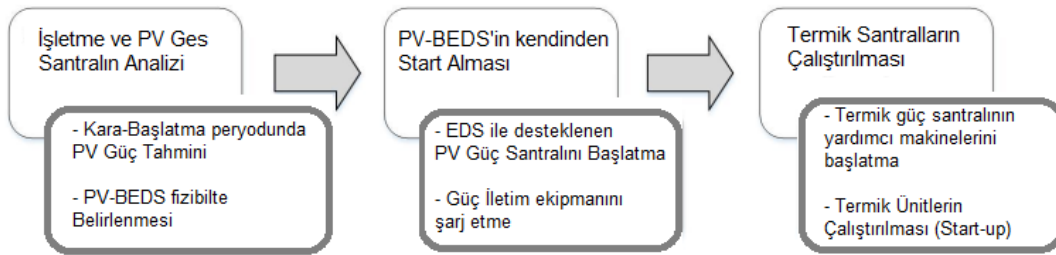
Enerji depolama sistemleriyle beraber enterkonnekte şebekeler merkezi olmayan bir yapıya dönüşmekte ve bu sayede şebeke arızalarının domino etkisi azaltılabilmektedir. Örneğin, batarya depolama tesisleri kullanılarak frekans kontrolü daha hızlı yapılabilir ve kısa süre içerisinde santraller “black start” yöntemiyle devreye alınıp, enterkonnekte şebeke kısa sürede ayağa kaldırılabilir. Aynı zamanda enterkonnekte sistemin bir bölgesinde meydana gelen arızanın diğer bir bölgeye etkisi depolama sayesinde azaltılmış olacaktır. Elektrik üretim şirketleri mevcut konvansiyonel santrallerinin yanına ve senkron olarak batarya depolama sistemleri ekleyerek arz güvenliği ve frekans hizmetini daha esnek, daha kaliteli verebileceklerdir.

İnverter tabanlı teknolojinin kara başlatma özelliğine sahip olması gereksinimlerine ek olarak, depolama sistemleri minimum miktarda enerji gerektirir. Enerji

gereksinimleri, restorasyon prosedüründe BESS'in rolüne göre tanımlanmalıdır. Örneğin, tek bir jeneratörün yardımcı yüküne yeniden enerji vermeyi amaçlayan bir BESS için enerji gereksinimleri, birden fazla üretim birimine marş yolu sağlamayı amaçlayan bir pompalı depolama tesisinin enerji gereksinimleri ile aynı olmayacaktır. Güç sistemi restorasyonu için BESS kullanımı çok erken bir aşamadır. Bazı yardımcı programlar, frekans düzenleme veya siyah başlatma hizmetleri gibi yardımcı hizmetler sağlamak için BESS kullanımını mevcut bir yardımcı programla birleştirir.

Kara başlatma, komşu bir tesisin yardımcısını tedarik etmek için bir BESS'yi başlatarak Almanya'da başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, bu, kara başlatma yetenekleri olmayan ancak bir BESS sistemine yakın konumlanmış büyük tesislerin yeniden başlatılmasına olanak tanır. BESS, kara başlatma kaynakları olarak veya sistemin yeniden inşası sırasında voltaj ve frekans bozulmalarını azaltmak için kullanılabilir. Bu, BESS'in tasarımına ve boyutuna bağlıdır. Depolama sistemlerinin ana sınırlamaları, konumları ve mevcut enerji deposudur. Ekonomik olarak uygunsa, BESS'in kara başlangıç hizmetleri sağlamak için geleneksel tesislerle birlikte kullanılması beklenmektedir (Şekil 2).

PV-BESS, kara başlangıçlı güç kaynağı olarak kullanıldığında, PV güç üretiminin rastgeleliği ve belirsizliği nedeniyle, PV-BESS yalnızca yürütülebilir dönemde kara başlangıç güç kaynağı olabilir. Bir kara başlatma süreci başlamadan önce, PV-BESS'in yürütülebilir kara başlatma periyodunda olup olmadığının belirlenmesi gereklidir.[13]



Şekil 2. PV-BESS'e dayalı elektrik şebekesinin kara başlangıç süreci [13].

3.3. Rüzgar Santralleri

Son teknoloji rüzgar türbinlerinden oluşan Rüzgar enerjisi santralleri (RES), bir zamanlar kara başlatma özelliği ile donatıldığında, güç sistemi restorasyonu için hızlı ve çevre dostu çözümler sağlayabilir. Rüzgar türbinlerini black start yetenekleriyle donatmak için teknik gereklilikler sağlanmalıdır. Rüzgar türbinlerinin kendi kendine başlama kabiliyeti ile ilgili olarak, ilk hedef, rüzgar türbini kontrolörü ve dönüştürücülere enerji verilecek, rüzgar hızı ve yön ölçülür, türbin kanatlarını rüzgara yönlendirmek için ilgili mekanizmaya güç verilir ve güç üretmek için pitch sistemi etkinleştirilir. Bu durumda, WT, rüzgar da

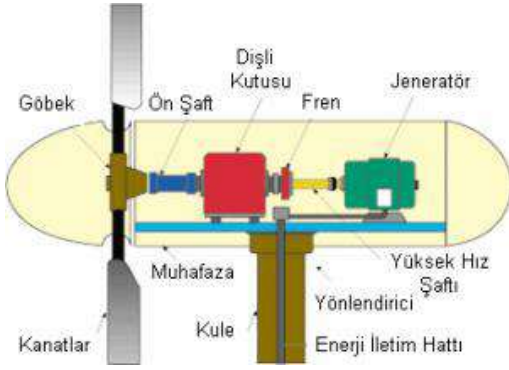
değişken olabilirken, kendi yükündeki dalgalanmalar nedeniyle minimum ve dalgalı güç üretimini yönetmek zorundadır. Üçüncü ve en önemli amaç, birkaç (birden fazla ve birkaç yüze kadar), rüzgar türbinini yukarıda açıklandığı gibi başlatmak ve yalnızca kendisine ve belki de trafo merkezine güç sağlayan ada olarak çalışmak üzere bir uyum içinde çalıştırmaktır [14].

Rüzgar santrallerinde, yardımcı yükleri beslemek için küçük dizel jeneratörler veya bir akü sistemi kurulmalıdır. Eviriciler, şebeke oluşturma yeteneğine sahip olarak tasarlanmalı ve zayıf bir ağda çalışabilmelidir (Şekil 3). Rüzgar türbinlerinin koordineli bir kontrolü tesis tasarımına dahil edilmiş olmalı ve ilgili

tesis kontrolörü zayıf bir şebekede frekans ve gerilimi kontrol edebilmelidir.

Restorasyon planları hazırlanırken şu anda kıyıdaki rüzgar çiftlikleri kullanılmamaktadır. Bu, esas olarak rüzgarın aralıklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ek olarak, rüzgar değişimi ve frekans kontrolü ile başa çıkmanın zorluğu, operasyonel ve kontrol zorluklarını beraberinde getirir. Rüzgar enerjisinin kesintisini azaltmak için pil enerji depolama sistemleri kurulabilir. Şebeke kaybı/siyah başlatma özelliği sırasında rüzgar türbinini başlatmak için batarya gücünün kullanılması tasarlanabilir. Ancak, güç sistemi restorasyonu sırasında rüzgar yoksa, teknik yeterlilik sadece akü sistemi tarafından sağlanacaktır. Güç sistemi restorasyonuna katkıda bulunmak için kıyıdaki rüzgar çiftliklerinin kullanılması, yalnızca rüzgarın neden olduğu aktif güç değişimlerini kaldırabilecek kararlı bir adaya yeniden bağlanıldığında faydalı olacaktır [15].

Şebeke operatörleri, büyük bir sistem kesintisi olduğunda, şebekenin bir kısmını veya tamamını keserek şebeke sistemini geri yüklemek olarak düşünürler. Rüzgar çiftliği operatörleri bunu, şebeke bağlantısı kesildiğinde platforma ve rüzgar çiftliğine enerji vermek ve kara şebekesine bağlantı yeniden kurulana kadar yardımcıları güç sağlamak olarak düşünür. WTG üreticileri, rüzgar santrali üzerinden şebeke bağlantısı olmadığında, her bir türbindeki yardımcıları güç sağlamak olarak düşünmektedir.



Şekil 3. Genel bir rüzgar türbini yapısı [21]

Bir dizel jeneratör ve bir açık deniz trafo merkezindeki yakıt tüketimi ihmal edilebilir bir maliyete sahip olacaktır; ancak varlığı, sigorta maliyetini önemli ölçüde artırır. Bu nedenle, açık deniz trafo merkezinin yardımcı beslemesi için trafo merkezinde dizel jeneratör yerine WT'lerin kullanılması açık deniz trafo merkezinin maliyetini azaltmak için tercih edilecektir.

3.4. Pompalı-HES

Kesikli yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip ülkeler kaynaklarını daha verimli kullanmak için enerji sistemlerinde hızlı devreye girip çıkabilen santrallere sahip olmaları gerekmektedir. Çünkü acil bir ihtiyaç durumunda bir doğalgaz santralının devreye girmesi ve enerji vermesi en erken 4-5 saat, nükleer santralde ise

aynı süreç 5 gün sürer. Hidroelektrik santraller ise 3-5 dakika içerisinde devreye alınabilmekte ve ihtiyaç duyulan ani yükü karşılayabilecek kapasitededir. Dünyada ani elektrik talebini karşılamak için yaygın olarak kullanılan pompalı HES'lerin amacı, elektrik talebi düşük olduğunda suyu yüksek bir rezervuarda depolamak ve daha sonra elektrik talebi geldiğinde biriken sudan elektrik talebini karşılamaktır. Potansiyel şekilde enerji depoalayan pompalı hesler bir elektrik şebekesinin yeniden toparlanmasında çok hızlı ve etkili rol alma kapasitesine sahip olacaktır. Yedek güç ve diğer şebeke hizmetlerinin (örn. reaktif güç, kara başlatma yeteneği) sağlanması, PHS tesislerini daha elzem kaynak haline getirmektedir [16].

3.5. Deniz Aşırı (Off-shore) Rüzgar Türbinleri

Offshore Rüzgar Çiftlikleri'nde kara başlangıç için mevcut çözüm, tüm enerjiyi sağlamak için platformda dizel jeneratörler kullanır. Black Start'ın en temel biçimi, Black Start'ın kendisine ve yardımcı işlevlerine güç verebilen bir türbin kullanır. Temel hizmet işlevlerine güç sağlamak için açık deniz platformunda çok daha küçük bir dizel jeneratör gerekli olacaktır. Çoğu türbin zaten bu çözümü sunabilecek kapasitededir. Türbin adalı modda çalışır ve kendi yardımcı gücünü üretir. Bir UPS, rüzgarın az olduğu zamanlarda güç sağlayabilir. Rüzgar Türbinleri kendileri için siyah başlatma hizmetleri sağlayabilir [17], [18].

Genel olarak WT'ler dahili güç kaynağı ile donatılmıştır, ayrıca, WT'nin kuledeki ve naseledeki dahili ışıklar, havacılık engelleme ışıkları, kontrolörler ve şalt cihazları gibi kritik bileşenleri çok kısa sürelerle (örn. bir saat). Özellikle açık deniz sahalarında olduğu gibi, RT'ler rüzgar olduğu sürece kendilerini sürdürmek için güç üretebildiğinden, harici yardımcı güç kaynaklarının kullanımı en aza indirilebilir veya tamamen önenebilir.

Bir açık deniz RES'de, bir yardımcı güç kaynağı, genellikle bir dizel jeneratör, açık deniz (AC veya HVDC) trafo merkezinde bulunur ve bu, trafo merkezinin yardımcı bileşenlerine (örn. kontroller, anahtarlama donanımı, iklim üniteleri) güç sağlayabilir. Rüzgar santrali operatörleri, bunu, şebeke bağlantısı kesildiğinde açık deniz şalt sahasına güç sağlamak olarak görüyor. TSO'lar bunu, şebekeye yeniden enerji vermek için rüzgar santralini kullanmak olarak görüyor. Çoğu rüzgar santrali, açık deniz platformunda bir dizel jeneratör ile donatılmıştır. Dizel kara şebekesine güç gönderemez. Kara başlatmanın en temel biçimi, kara ünitesinin kendini başlattığı ve kendi yardımcılarına güç sağlayan bağımsız bir rüzgar türbininden oluşur. Ticari olarak temin edilebilen türbinler bunu yapabilir. Türbinler için daha büyük bir zorluk, rüzgar türbinleri ile açık deniz platformu arasındaki kablolarla enerji vermektir. Rüzgar türbini invertörleri, şebeke oluşturacak ve zayıf bir ağda çalışacak şekilde tasarlanmalıdır [19], [20].

4. Sistem Restorasyonu

Kara olmayan başlatma birimlerinin, iletim hatlarının ve transformatörlerin restorasyon sırası, her sistemin restorasyon metodolojisinin amaç fonksiyonuna göre farklıdır. Bu alanda birçok çalışma yapılmış olup, her İletim Sistem Operatörü (ISO) farklı bir restorasyon prosedürlerine sahiptir. Restorasyon aşamasında, frekans aralığını korumak için üç sınırlamaya ihtiyaç vardır: baranın voltajı, iletim hatlarının aşırı yük hızı ve şebekenin frekansı.

Örneğin, Güney Kore'de, tam bir elektrik kesintisi meydana geldiğinde, tüm sistemi geri yüklemek için tüm sistem yedi bölgeye ayrılır. Her alt sistemin en az bir siyah başlatma birimi ve önceden atanmış yolları vardır.

Siyah başlatma üniteleri genellikle hidroelektrik güç veya pompalanan depolama gücüdür. Bir elektrik kesintisi meydana gelirse, önce siyah başlatma ünitesi ve önceden atanmış yollar geri yüklenir. Siyah başlatma ünitesi ve önceden atanmış yollar geri yüklendikten sonra, jeneratörlerin geri kalanının geri yüklenmesi emredilir [22]

4.1. Sistem Geri Yükleme İçin Gereksinimler

Jeneratör başlatma sırası (GSS-Ggenerator start-up sequence)'nin üçüncü önemli kategorisi restorasyon hizmetleridir. Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcudiyetinde sistem restorasyonu için genel stratejiler hakkında bazı çalışmalar vardır, ancak bir ada durumu veya kara başlatma sırasında rüzgar/PV etkili sistem restorasyonu hakkında çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Şimdiye kadar, rüzgar ve PV güneş enerjisi santrallerinin elektrik kesintisi riskini artıracığına dair bir kanıt ortaya konulmamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını sistem restorasyon şemalarına entegre etmek için, katılımcı yenilenebilir enerji kaynaklarının doğrudan TSO tarafından kontrol edilmesi gerekir. Nadiren sistem geri yükleme vakaları sırasında sorun, sistemdeki siyah başlatma birimlerinin yeterliliğidir. Değişken yenilenebilir enerji kaynakları prensipte restorasyon sürecine katkıda bulunabilir. Ancak, bu muhtemelen bazı üretim birimleri restorasyon sürecini başlattıktan sonra yapılacaktır (bugün çoğunlukla, mümkün olduğunda, süreci başlatmak için hidro jeneratörler kullanılmaktadır). Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem geri yüklemesine katılması için üretimlerinin doğasında var olan değişkenliği sınırlayan yeni çalışma modlarının oluşturulması gerekir.

Tıpkı rüzgar gücünde olduğu gibi, özellikle yüksek VG penetrasyonuna sahip senaryolar için, güneş PV'sinin sistem restorasyonuna olası katkıları konusunda araştırmalara ihtiyaç vardır. Yüksek PV (depolama ve diğer VG) paylarına sahip siyah başlangıç hizmetinin teknik fizibilitesi üzerine devam eden araştırmaya ek olarak, ekonomik yönün daha derinlemesine araştırılması gerekiyor. Özellikle ada oluşturma ile ilgili olarak,

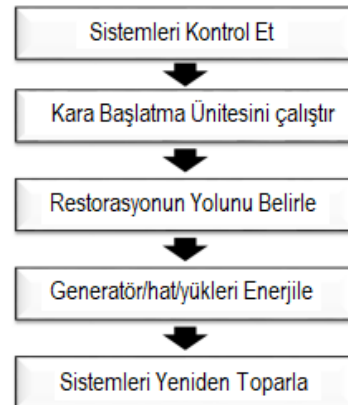
eviricinin davranışı (özellikle arıza sırasında kendi kendine komütasyonlu) ve eviriciler tarafından kullanılan ada oluşturma mevcut algılama yöntemleri (bozukluğa neden olan) daha fazla incelenecek konulardır.

Kara başlatma yetenekleri, adalı RES/PV sisteminde çalışma yeteneğine dayanmaktadır. Bir RES veya PV sistemini siyah başlatmak için, rüzgar durumunda, üç fazlı bir voltaj üretmek için DC bağlantıları dahil olmak üzere gerekli tüm yardımcıları besleyecek güvenilir bir güç kaynağına ihtiyaç duyar. Rüzgar türbinlerindeki veya RES seviyesindeki piller veya RES seviyesindeki bir dizel jeneratör, böyle bir SRS-Sistem restorasyon desteği için güvenilir bir yardımcı güç kaynağı olarak kullanılabilir.

Elektrik kesintisi gibi kritik bir şebeke durumunda, arzın güvenilirliği büyük önem taşır. Bu nedenle, en azından hizmetin ana tedarikçilerinden biri olarak, rüzgar veya PV gücünün restorasyon sürecine güvenilir katılımı çok daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyar. Rüzgar veya PV gücü için önerilen bir yaklaşım, siyah başlatma yeteneği sağlayarak restorasyonun ilk hattını oluşturmak değil, halihazırda çalışan başka jeneratörler varken restorasyon sürecinin sonraki aşamalarına katkıda bulunmaktadır [23].

4.2. Mevcut enerji karışımının etkisi : Belçika Örneği

Belçika üretim parkı bugün büyük bir termik santral payına sahiptir. TSO'lar, sistem restorasyonunun ilk aşamaları için geleneksel olarak termal ünitelere ve pompa-depolama ünitelerine güvenirlenir. Endüstriyel proseslerden bağımsız olan gazla çalışan tesisler hızla yeniden başlatılabilir ve bu nedenle güç sisteminin restorasyonuna katkıda bulunmak için iyi bir konuma sahiptir. Nükleer santraller şu anda mevcut restorasyon prosedüründe kritik bir etkiye sahiptir. Güvenlik nedeniyle (bir nükleer santralin hizmet dışı bırakılmasından sonra da bir süre devam eder), nükleer santraller, mümkün olduğunca çabuk yeniden enerji verilmesi gereken kritik yükler olarak kabul edilir. Nükleer santraller büyüklüklerinden dolayı restorasyona katkıda bulunurlar. Reaktif gücü emmek ve 380kV omurgasına yeniden enerji vermek için stabilize sağlamak [23].



Şekil 4. Kara başlangıç hizmetinin genel prosedürü [23].

Muhtemel nükleer aşamalı çıkıştan sonra, yeni termik santraller kurularak yeterlilik sorununun çözüleceği varsayılmaktadır. Bu, potansiyel olarak daha fazla siyah başlatma özellikli birimler sağlayabilir. Büyük pompalı depolama tesisleri, hızlı bir şekilde yeniden başlatılabilmeleri, büyük reaktif güç emme yeteneklerine sahip olmaları, büyük bir ataletle sahip olmaları ve yalnızca jeneratör olarak (üst rezervuarlarda yeterli su rezervi sağlayarak) kullanılabilmeleri nedeniyle sistem restorasyonu için çok faydalıdır. TSO tarafından seçilen restorasyon yaklaşımı, restorasyon hizmetlerinin alımını etkiler (Şekil 4).

Bazı ülkeler için restorasyon yaklaşımlarına ve restorasyon için varlık türlerine genel bir bakış Tablo 1 ile sunulmaktadır. Tüm ülkelerde, farklı bölgelere yayılmış birden fazla siyah başlatma hizmeti kullanılmaktadır.

Tablo 1. Restorasyon yaklaşımlarına genel bakış [23]

Ülke	Restorasyon Yaklaşımı	Varlık Türleri
Fransa	Ana sistem ve Bölgesel restorasyon yaklaşım planı : 7 Bölge	Hidrolik santraller Termik Üniteler HVDC (TSO-owned top-down, yukarıdan aşağıya restorasyon) yalnız yedek olarak
Almanya (50 Hz kontrol alanı)	Ana sistem ve Bölgesel yaklaşım, 4 Kara başlatma hizmeti	Hidrolik santraller (nehir tipi ve pompaj depolamalı hes)
İrlanda	Ana sistem ve Bölgesel yaklaşım, 7 Kara başlatma hizmeti	Pompaj Depolamalı Üniteler, Küçük Hidrolik Üniteler 1 HVDC (top-down, yukarıdan aşağıya restorasyon) aşağıdan yukarıya bir siyah başlatma hizmetinin yerini alıyor.
Belçika	Ana sistem ve Bölgesel yaklaşım, 5 Bölge ve 5 Kara başlatma hizmeti	CCGT/OCGT (Kombine/açık çevrim gaz türbinleri) Pompaj Depolamalı Üniteler
İngiltere	Ana sistem ve Bölgesel yaklaşım, 6 Bölge ve 18 Kara başlatma hizmeti	Fosil yakıtlı Termik santraller HVDC(top-down, yukarıdan aşağıya restorasyon) aşağıdan yukarıya bir siyah başlatma hizmetinin yerini alıyor.

Siyah başlatma tesisleri, güç sistemini tamamen enerjisiz bir durumdan başlatmak için kullanılır. Bu nedenle, siyah başlatma ünitelerinin etkisi, restorasyon senaryosunun yalnızca ilk 4-6 saati ile sınırlıdır. Sistem başlatıldığında, restorasyon senaryosunun kalan kısmı,

Şekil 5'de gösterildiği gibi diğer faktörler tarafından belirlenecektir.



Şekil 5. Belçika'da uygulanan restorasyon senaryosu [23]

5. Sonuç ve Değerlendirme

Enerji sistemlerinde kesintiler nadiren gerçekleşmekte ancak meydana geldiklerinde günlük hayata çok olumsuz yönde etkilemektedirler. Enerji sisteminin kesintiye uğraması sonucunda santraller tamamen enerjisiz kalmaktadır. Bu durumda BlackStart özelliğine sahip jeneratörler, sistemin tekrar normal şartlara dönmesi için öncelikle harici destek üniteleri ile beslenmelidir. Daha sonra santralin diğer birimlerine enerji verilmektedir. Daha sonra, enerjilendirilmiş durumdaki sıralı enerji nakil hatlarının dışında kalan kısımlar da enerjilendirilir. Daha sonra baz yük santrallerine enerji verilmektedir. Ardından diğer santraller adım adım elektrik şebekesinde yer almalıdır.

Rüzgâr türbinleri ve güneş PV sistemleri, bazı faydalı özellikler mevcut olmasına rağmen, adalı ağ işletimi veya siyah başlatmaya katılım için özel olarak tasarlanmamıştır. Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem geri yükleme desteğinin hangi prosedürlere bağlı olarak yapılması gerektiği ortaya konmalıdır. Bunun için rüzgâr ve güneş koşulları hakkında yeterli bilgiye ihtiyaç vardır. Depolamayı rüzgâr türbinlerine veya RES ve güneş PV sistemlerine entegre ederek, güç üretiminin öngörülebilir ve güvenilirliği büyük ölçüde artırılabilir, bu da sistem restorasyonunun desteğine (System restoration support-SRS) katılımı güçlü bir şekilde artıracaktır.

Sorumluluk Reddi (Disclaimer)

Bildiride ifade edilen görüşler yazarların görüşü olarak sunulmaktadır, ait oldukları kuruluşun görüşleri olduğu anlamına gelmemektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Feltes, J.W. And Grande-Moran, C., "Black start studies for system restoration,"2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp. 1-8, Doi: 10.1109/PES.2008.4596565.

- [2] Tuttokmađı, Ö., Kaygusuz, A., “Investigation of Large Scale Power Blackouts”, *BEU Journal of Science*, 8 (2), 664-676, 2019
- [3] Şekerci, H., Polat, S., “Dünyada Ve Ülkemizde Önemli Elektrik Çöküntüleri”, *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildirileri*, 21-24 Ekim 2015.
- [4] W. Sun, C. C. Liu and S. Liu, “Black start capability assessment in power system restoration”, *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011, pp. 1-7, doi: 10.1109/PES.2011.6039752.
- [5] “Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliđi”, *EPDK*, 2017.
- [6] “Black Starts: how the grid is restarted”, <https://10-raisons.fr/en/black-starts-comment-la-grille-est-redemarree/>
- [7] Agrawal, V.K., R.K. Porwal, Rajesh Kumar, Vivek Pandey, “Mock Blackstart Drills – An Excellent Learning Experience for Power System Operators”, *CBIP- 5th International Conference on Power System Protection and Automation*, 6-9, Dec 2010
- [8] Schäfer, B., and G. Cigdem Yalcin, “Dynamical modelling of cascading failures in the Turkish power grid”, *Chaos (Woodbury, N.Y.)* 29(9):093134, September 2019.
DOI: 10.1063/1.5110974
- [9] Ayhanci, C., Beyazit Yasar Yoldas, Bedri Kekezoglu, “Blackout And Blackstart On Power Systems”, *2nd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship*, May 12- 14, 2017, Istanbul, Turkey.
Doi:10.17261/Pressacademia.2017.589
- [10] ENTSO-E, “Report on Blackout in Turkey on 31st March 2015” Final Version 1.0, *Project Group Turkey*, 21 September 2015
- [11] “Almanya Elektrik Depolama Sektörü İnceleme Gezisi Raporu”, *EÜD (Elektrik Üreticileri Derneđi)*, 2018.
- [12] “Captive consumption solar power generation system”, https://www.meidensha.com/products/energy/prod_05/prod_05_01/prod_05_01/prod_05_01_02/index.html
- [13] Junhui Li., Hongfei You, Jun Qi, Ming Kong, Shining Zhang and Hongguang Zhang, “Stratified Optimization Strategy Used For Restoration With Photovoltaic-Battery Energy Storage Systems As Black-Start Resources”, 10.1109/ACCESS.2019.2937833, *IEEE Access*,
Doi: 0.1109/ACCESS.2017
- [14] Jain, H., Gab-Su Seo, Eric Lockhart, Vahan Gevorgian, and Benjamin Kroposki, “Blackstart of Power Grids with InverterBased Resources”, *National Renewable Energy Laboratory, 2020 IEEE Power and Energy Society General Meeting (IEEE PES GM)*, Montreal, Canada August 2–6, 2020, Preprint
- [15] Hulle, F.V., Iván Pineda and Paul Wilczek, “Economic grid support services by wind and solar PV a review of system needs, technology options, economic benefits and suitable market mechanisms”, *Final publication of the REserviceS project*, Sept 2014
- [16] Bjarne, S., “Prospects for pumped-hydro storage in Germany”, *EWL Working Paper*, No. 07/11, University of Duisburg-Essen, Chair for Management Science and Energy Economics, Essen, (2011)
- [17] Thomson, J. and Ian Talbot, “Black Start capability in the Wind Turbine Market”, 10th January 2018
- [18] Göksu, Ö., Oscar Saborío-Romano, Nicolaos A. Cutululis, Poul Sørensen, “Black Start and Island Operation Capabilities of Wind Power Plants”, *16th Wind Integration Workshop*, 25-27 October 2017,
- [19] Patent, EP 2 146 095 A3, “Use of pitch battery power to start wind turbine during grid loss/black start capability”, *Inventor: Edenfeld, Thomas*, 49080 Osnabrück (DE)
- [20] Nazan Alptekin, “Rüzgar Türbini Nasıl Çalışır?”, <https://www.teknikelektrik.com/makale/ruzgar-turbini-nasil-calisir-2271>
- [21] Çağatay Yedekçiođlu, “Rüzgar Türbini ve Kısımları Nelerdir?”, Ocak 2020.
<https://muhendisgelisim.com/ruzgar-turbini-ve-kisimlari/>
- [22] Bokyung Goo, Sookkyung Jung, Jin Hur, “Development of a Sequential Restoration Strategy Based on the Enhanced Dijkstra Algorithm for Korean Power Systems”, *Applied Sciences* 6(12), 2016. DOI: 10.3390/app6120435
- [23] Study On The Review Of The Black Start Ancillary Services1, *ELIA – National Control Center & Market Development – Non confidential Version*, 20/12/2018.