



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

### Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi

*The Importance of Power Generation Plants with Blackstart on Power System Restoration after Blackout*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Cihan AYHANCI <sup>1</sup>, Bedri KEKEZOĞLU <sup>2</sup>,

<sup>1</sup> ORCID ID: [0000-0001-5749-0352](https://orcid.org/0000-0001-5749-0352)

<sup>2</sup> ORCID ID: [0000-0002-1202-913X](https://orcid.org/0000-0002-1202-913X)

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ayhancı C., Kekezoğlu B., “Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2): 99-112, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi

Cihan AYHANCI<sup>1,\*</sup>, Bedri KEKEZOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 63200, Eyyübiye/ŞANLIURFA

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler/İSTANBUL

### Öz

Güç sistemleri, elektrik enerjisinin kesintisiz bir şekilde tüketiciye ulaştırılmasını sağlayan ve birbirleriyle koordineli çalıştırılan ekipmanların toplamı şeklinde ifade edilen kompleks yapılardır. Bazı durumlarda güç sisteminde tam ya da kısmi olarak sistem çökmesi meydana gelebilmektedir. Bu sistem çökmesi bazen hemen giderilebilirken bazen de giderilmesi uzun sürmektedir. Uzun süren kesintiler sonrasında toplumsal yaşam, gündelik faaliyetler ve üretim faaliyetleri sekteye uğramakta; bu durum maddi olarak büyük bir kayba yol açmaktadır. Güç sisteminin tamamında meydana gelen bir sistem çökmesi sonrasında özenilerek hazırlanmış olan güç sistem restorasyonu planları hemen uygulanmaya başlanmalıdır. Güç sisteminin restorasyonunda kritik bir rol oynayan yeniden toparlanma özellikli güç üretim ünitelerinin konumu ve kapasitesi, sistem çökmesi sonrasında uygulanacak olan restorasyon stratejisine karar vermede büyük bir öneme sahiptir. Yapılan bu çalışmada güç sisteminin tam çökmesi sonrasında yeniden toparlanma özellikli güç üretim santrallerinin sistem restorasyonunda önemini anlamak için gerçek veriler kullanılarak simülasyon çalışması yapılmıştır. Sistem çökmesi ve sistem restorasyonunun uygulama safhalarında güç üretim birimlerinin davranışları incelenmiştir. Güç sistem restorasyon planları hazırlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar ile ilgili bilgi verilmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 04/04/2022

Yayın: 30/08/2022

### Anahtar Kelimeler

Güç Sistemleri  
Sistem Çökmesi  
Yeniden Toparlanma

### Keywords

Power Systems  
Blackout  
Blackstart

## The Importance of Power Generation Plants with Blackstart on Power System Restoration after Blackout

### Abstract

Power systems are complex structures that provide uninterrupted delivery of electrical energy to the consumer and are expressed as the sum of equipment operated in coordination with each other. In some cases, a complete or partial system collapse may occur in the power system. While this system blackout can sometimes be fixed immediately, sometimes it takes a long time to fix it. After long interruptions, social life, daily activities and production activities are interrupted; This leads to a huge financial loss. After a system blackout of the entire power system, elaborate power system restoration plans should be implemented immediately. The location and capacity of blackstart power generation units, which play a critical role in the restoration of the power system, are of great importance in deciding the restoration strategy to be applied after the system blackout. In this study, a simulation study was conducted using real data in order to understand the importance of power generation plants with recovery feature in the system restoration after the complete collapse of the power system. In this study, the behavior of power generation units during the application phases of system collapse and system restoration was investigated. Information is given about the points to be considered while preparing power system restoration plans.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisi, insanların günlük hayatının vazgeçilmez unsurlarından biridir [1]. Elektrik güç sistemi, bir ülkenin ekonomisinin, güvenliğinin ve sağlık sisteminin merkezinde bulunan kritik bir altyapı olarak kabul edilir [2]. Karmaşık güç sistemi dış faktörlere göre hassas olmasına rağmen, belirli bir kalite ve süreklilik düzeyinde elektrik enerjisi vermek için tasarlanır [3]. Dünyada elektrik enerjisine olan talep günden güne sürekli artmaktadır [4]. Artan bu talebi karşılayabilmek için devletler gerekli kurum ve

\*İletişim yazarı, e-mail: ayhanci@harran.edu.tr

kuruluşları ile gerek özel gerekse de devlet destekli olarak güç sistem alt yapısı yatırımları yaparak bu talebi karşılamaya çalışmaktadırlar. Bazen bu elektrik enerjisi talebine cevap verilememektedir. Talebin karşılanmaması durumunda kısmi veya tam güç sistem çökmeleri meydana gelmekte, bunun sonucunda da günlük hayat durma noktasına gelmektedir [5].



**Şekil 1.** Elektriğin yaşamımızdaki yeri [3]

Güç sistemlerinin bir parçası olan elektrik şebekesi, üretilen elektrik enerjisini kullanıcılara iletmek için oluşturulmuş birleşik bir ağıdır [6]. Elektrik üreten güç üretim santralleri, üretim kaynaklarından talep merkezlerine enerji aktaran iletim (nakil) hatları ve kullanıcılara bağlantı sağlayan birleşik dağıtım hatlarından oluşur [7]. Dünya, aşırı olayların artan sıklığına tanık olmaktadır. Aşırı olayların (örneğin kasırgalar, depremler ve sel) ve insan yapımı saldırıların (siber ve fiziksel saldırılar) sıklığı son yıllarda ciddi biçimde artmış bulunmaktadır [9]. Bu olaylar güç sisteminde tam ya da kısmi olarak kesintiye uğratmaktadır. Bu kesintiler bazen hemen giderilirken bazen de giderilmesi uzun sürmektedir. Uzun süren elektrik kesintileri elektrik şebekesinde ciddi sorunlara yol açmaktadır.

Güç sisteminin tamamında meydana gelen bir elektrik kesintisinden sonra sistem için restorasyon işlemi başlatılmalıdır. Bir güç sisteminin restorasyonu, sistemi işleten kurum ve sistem operatörleri için ciddi bir sorun teşkil eder. Bunun sebebi, elektrik enerjisi tedariki sağlayan sistemi çalışır hale getirebilmek için yeniden başlatma özellikli güç üretim ünitelerinin gerekli olmasıdır. Tüm sistemi kapsayan bir elektrik kesintisinin meydana gelmesinin hemen akabinde başlanacak olan restorasyon işlem prosedürleri ve kontrol şemalarının çok iyi hazırlanmış olması gerekmektedir. Sistemin yeniden toparlanmasında kullanılacak olan yeniden başlatma özellikli güç üretim ünitelerinin konumu ve kapasitesi, güç sisteminin çökmesi sonucunda uygulanacak olan restorasyon stratejisine karar vermede önemli bir rol oynayacaktır [10].

Yapılan bu çalışmada güç sisteminin tam çökmesi sonrasında yeniden toparlanma özellikli güç üretim santrallerinin sistem restorasyonunda önemini anlamak için gerçek veriler kullanılarak benzetim çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada sistem çökmesi ve sistem restorasyonunun uygulama safhalarında güç üretim birimlerinin davranışları incelenmiştir.

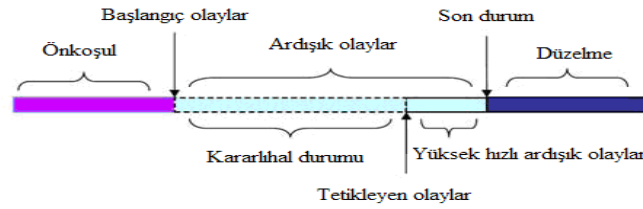
## 2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ÇÖKME VE RESTORASYON

Elektrik şebekesi, güç üreten santraller ile tüketiciler arasında köprü görevi gören bir güç sistemi bileşenidir. Elektrik enerjisinin üretildiği noktadan tüketilmesine kadar enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir

şeklde iletilip dağıtılmasına elverişli olmalıdır [1]. Elektrik şebekeleri inşa edilirken çok iyi planlanmalı ve kurulmalıdır. Şebekede meydana gelen arızalar ve olumsuz etkiler tüketicileri etkilememelidir. Elektrik dağıtım şebekesindeki işletme değerleri tüm aboneler için aynı özellikte (sabit gerilim ve frekansta) olmalı; abonelerin tümü elektrik enerjisinden kesintisiz faydalanabilmeli, güç sistemi her an değişen koşullara ve güç talebine cevap verebilecek durumda olmalıdır [5].

## 2.1. Güç Sistemlerinde Sistem Çökmesi

Elektrik enerjisinin kesintisiz bir şekilde tüketiciye ulaştırılabilmesi için güç sisteminin sorunsuz bir şekilde çalışması gerekmektedir. Ancak bazı durumlarda sistemin tümü ya da bir kısmı devre dışı kalabilmektedir. Sistem çökmesi olarak da tanımlanan sistemin tümünün devre dışı kalması; arızalar, aşırı yüklenme, arz-talep dengesizliği, yetersiz reaktif güç desteği vb. koşullar altında meydana gelmektedir. Bu sorunlar elektrik şebekesinin gerilim ve frekans değerinde artma veya azalma meydana getirebilmektedir. Meydana gelen bu bozulmalar sonucunda güç sistemi, koruma röleleri vasıtasıyla güç üretim santrallerinin devre dışı kalmasına sebep olmaktadır. Güç sisteminin çökmesine ait safhalar Şekil 2’de gösterilmiştir [1].



Şekil 2. Sistem çökmesinin safhaları [11]

### 2.1.1. Sistem Çökmesinin Genel Nedenleri ve Sonuçları

Bir güç sisteminde meydana gelen bir sistem çökmesinin sağlıklı bir şekilde incelenebilmesi için ilk bozucu etki öncesindeki sistem koşulları araştırılmalı ve sistem çökmesini başlatan olay incelenmelidir. Bu ilk olay ile birlikte meydana gelen kademeli olay zinciri sistem çökmesinin tetikleyicisi olmaktadır. Sisteme müdahale edilememesi durumunda şebekenin tümünün kaybı söz konusu olabilmektedir. Sistemin çökmesi sonucunda yapılacak ilk iş, sistemin toparlanma sürecini başlatmak olmalıdır [12].

Tablo 1. Sistem çökmesinin genel nedenleri ve sonuçları [7][13]

Genel Nedenler	Genel Sonuçlar
Sistem üzerinde kullanılan ekipmanların aşırı yüklenmesi	Sağlık, eğitim, ulaşım vb. hizmetlerin sekteye uğraması
Meteorolojik koşullar	Trafik problemlerinin baş göstermesi
Güç sistem arızaları	Aydınlatma sorunlarının ortaya çıkması ve buna bağlı sorunlar
Yangın, sel, deprem vb. doğa olayları	İletişim ağının zayıflaması
İşletme hataları	Elektriksel ev ekipmanlarının çalışmaması
Yanlış koruma sistemi	Üretim tesislerinin durması
Sabotaj, siber saldırı vb. durumlar	Finans kurumlarının çalışmasının sekteye uğraması
Yetersiz bilgi ve tecrübe	Endüstriyel tesislerin devre dışı kalması

## 2.2. Güç Sistemlerinin Restorasyonu

Güç sisteminde, istenmeyen durumlarda işletme koşullarının bozulması sonucunda sistem çökmesi meydana gelebilir. Bu tür bozulmalar meydana geldikten sonra güç sistemi en kısa sürede normal işletme koşullarına döndürülmelidir [14]. Bu sebeple güç sistemini işleten kurumun şebeke restorasyon programının olması zaruridir [15]. Restorasyon süreci, değerlendirme, alt sistemlerin hazırlanması ve hedef sistemlerin kurulmasından oluşmaktadır. Sistemin toparlanma süreci olan restorasyon sürecinde en önemli konu, değerlendirmenin dikkatli bir şekilde yapılarak doğru kararların alınmasıdır. Karar anında meydana

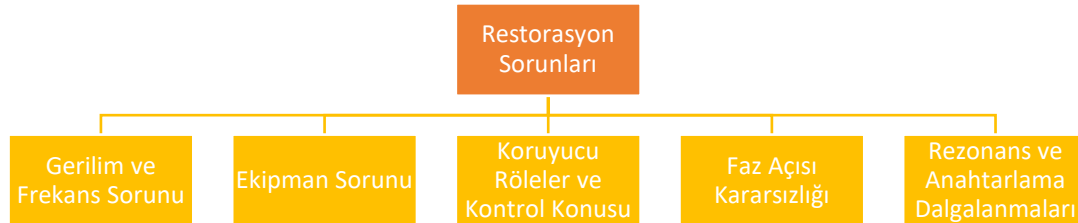
gelen bir gecikme ve alınan yanlış bir karar, sistemde ekonomik anlamda etkisi büyük olan çok ciddi kayıplara sebep olmaktadır [16].

Restorasyon sürecindeki işletme koşulları, normal işletme koşullarıyla yapılan çalışmalardan farklılıklar göstermektedir. Restorasyon koşulları sırasında göz önünde bulundurulması gereken bazı teknik konular vardır. Bunlar sistemdeki gerilim ve frekans değerlerinin istenen değerlerde olmasının sağlanması, reaktif güç kontrolü, üretim ve yük dengesinin sağlanması, öncelikli olarak enerjilendirilmesi gereken ünitelerin beslenmesi, sistemi kontrol eden işletme operatörleri ile üretim operatörlerinin iletişim ve koordinasyonunun sağlıklı bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Restorasyon sürecinde diğer önemli bir konu da yeniden başlatma özelliğine sahip güç üretim ünitelerinin çevresinde kontrollü adalar oluşturulmasıdır. Bu adalar yardımıyla sistem adım adım ve kontrollü bir şekilde enerjilendirilip yüklerin beslenmesi işlemi yapılmalıdır [17]. Yeniden başlatma özellikli güç üretim üniteleri ile hazırlanan adaların sistem için sürdürülebilir faydalar sağladığı görülmüştür [18]. Bir güç sistemi restorasyon sürecinin optimal olmasına karar veren iki önemli parametre hız ve güvenilirliktir. Sistemin tamamında meydana gelen bir sistem çökmesi, kısmi bir sistem çökmesine kıyasla sistemin tekrar toparlanmasında restorasyon sürecine bazı ek zorluklar getirmektedir. Bu zorluklardan en önemli olanı yeniden başlatma özellikli güç üretim ünitelerinin gerekliliğidir. Güç sistem restorasyonunda yeniden başlatma özellikli güç üretim ünitesinin kapasitesi ve ele alınan şebekenin ağ topolojisi önemli faktörlerdir [10].

Elektrik şebekesinin kısmi çökmesi sonucunda, sistemin devre dışı kalmış olan üretim birimleri faal durumda olan diğer sistemlerden faydalanılarak enerjilendirilir. Ancak sistemin tamamen çökmesi sonucunda sistemin enerjilendirilmesi yeniden başlatma özellikli güç üretim üniteleri ile yapılacaktır [10]. Bu işlem sonucunda en uygun yük seçimi yapılmalıdır [19]. Yeniden başlatma kapasitesinin restorasyon hazırlık aşamasında kilit bir rol oynadığı görülmüştür [20]. Güç sistemlerinde yeniden başlatma özelliğinin kullanılabilmesi için planlama sürecinde sistem dinamikleri ile ilgili olarak birçok görüş sunulmuştur [21]. En iyi yeniden başlatma stratejisi için uygulanan belirsiz küme teorisi bunlardan birisidir [22]. Adalaştırma şemaları özel olarak bilgisayar uygulamaları ile değerlendirilerek en uygun restorasyon stratejisi belirlenebilmektedir [23]. Bu hususla alakalı olarak yapılmış olan uluslararası çalışmalar incelenerek sistemde muhtemel yenilikçi iyileştirmeler yapılabilir [24][25]. Güç sisteminin restorasyon planlamasında hesaplama karışıklığını azaltmak için doğrusal bir tam sayı programlama ile yeni bir generatör modelinin verimli bir yeniden başlatma yetenek planlaması olduğu görülmüştür [26].

### 2.2.1. Sistem Restorasyonu Sorunlarına Genel Bakış

Güç sisteminin restorasyon koşullarındaki çalışması, normal sistem koşullarından önemli derecede farklıdır. Gerçek uygulamalarda, büyük çaplı sistem bozukluğu tipik olarak ilgili güç sistemleri için çeşitli restorasyon koşulları meydana getirmektedir. Bunlar tüm sistemin çökmesi, kısmi sistem çökmesi ve ada modu çalışmadır. Restorasyon işlemi esnasında sistemi normal çalışma koşullarına döndürebilmek için birçok koşulun sağlanması gerekmektedir. Bu esnada birçok teknik sorun ile karşılaşmaktadır [27].



*Şekil 3. Sistem çökmesinin safhaları*

Karşılaşılan bu sorunlar en kısa sürede giderilmelidir. Restorasyon sürecinde bahsedilmiş olan sorunların meydana gelmemesi için sistem operatörleri tarafından dikkatle takip edilmelidir. Yaşanan soruna müdahale edilerek restorasyon sürecinin en kısa sürede gerçekleşmesi sağlanmalıdır.

Bir elektrik kesintisinin meydana gelme zamanı oldukça tahmin edilemez bir durumdur. Aynı zamanda hızlı bir restorasyon, sürecin daha fazla gecikmeden hızlı bir şekilde başlatılmasını gerektirir. Restorasyon süreci hızına etki eden önemli faktörlerden birisi de üretim istasyonlarında olduğu kadar transformatör merkezlerinde de yeterli sayıda eğitilmiş ve tecrübeli personel ve sistem operatörünün bulunmasıdır. Ayrıca sahada meydana gelmiş olan arızalı kısımların düzeltilmesi için saha ekiplerinden gelmesi gereken manevra ve doğrulama işleminin süresi de önemli bir etkidir. Uzaktan açma ve kapama yapma imkanı sunan sistem elemanlarının batarya yeterlilikleri de gerekli bir zorunluluktur. Ayrıca termik güç üretim ünitelerinde sistem çökmesi nedeniyle meydana gelen sıcaklığın belli bir değerin altına düşmesi üniteyi çevrimiçi hale getirmek için gerekli olan süreyi uzatabilir. Restorasyon süreci uzadığında termik güç üretim ünitelerinin devreye girmesi de uzayacaktır. Buhar türbinli santraller için bu süre tesis 2-3 saat içinde çalışmaya başlamazsa, tekrar çalışmaya başlamadan önce “minimum duruş süresi” ile öngörülen ek süre boyunca kapalı tutulması gerekmektedir. Bu durum güç üretim santralini işleten kurum için istenmeyen bir durumdur [10].

### 2.2.2. Sistem Restorasyon Planı

Tüm sistemi kapsayan bir elektrik kesintisinin meydana gelmesi sonucunda başlanacak olan restorasyon işlem prosedürleri ve kontrol şemalarının çok iyi hazırlanmış olması gerekmektedir. Sistemi yeniden başlatmak için kullanılacak olan yeniden başlatma özellikli güç ünitelerinin konumu ve üretim kapasitesi, güç sisteminin tam çökmesi sonucunda uygulanacak olan restorasyon stratejisine karar vermede önemli bir rol oynayacaktır. Güç sistem çökmesi sonucunda oluşturulacak bağımsız adaların sayısı, adaların konfigürasyonu ve yüklenmesi, rezerv kapasitelerinin durumu ve restorasyon yolunun seçimi önem arz etmektedir [10].

Bir toplu güç sistemi restorasyonu sırasında, tam ada kapasitesi teknik anlamda tam olarak elde edilemez. Çeşitli teknik ve ekonomik kısıtlamalar, iletişim ve kontrol altyapısında homojen olmayan durumu ile birleşen şebekenin büyük boyutu, tek adımlı restorasyonu daha karmaşık ve ortaya çıkabilecek arızalara karşı hassas hale getirecektir. Bundan dolayı hedef durumlar olarak isimlendirilen ara aşamalar yoluyla sistem restorasyonunu gerçekleştirmek yaygın olarak kabul edilen endüstriyel bir uygulamadır [28].

### 2.3. Güç Sistemlerinde Yeniden Başlatma Özelliğinin Tanıtılması

Yeniden başlatma özelliği, bir güç üretim birimi veya istasyonunun, bir güç sisteminin çökmesi durumunda elektrik şebekesinin yardımı olmaksızın elektrik enerjisi sağlayan bir çalışma durumuna geçmesi için gereken özelliğe denilmektedir [1]. Normal işletme koşullarında güç üretim tesisi içinde kullanılan elektrik enerjisi, tesis içindeki üretim ünitelerinden karşılanır. Tesisin ana üretim ünitelerinin tamamı kapanırsa tesisin ihtiyacı olan elektrik enerjisi, tesisin iletim hattına bağlı olduğu iletim hatları yardımıyla sağlanmaktadır. Elektrik şebekesinin tamamen çökmesi durumunda elektrik şebekesi de enerjisiz halde kalmaktadır. Elektrik şebekesini normal koşullarına döndürmek için bir yeniden başlatma özelliğine sahip güç üretim ünitesine ihtiyaç vardır [29]. Yeniden toparlanma sağlamak için bazı elektrik santrallerinde yeniden başlatma özellikli generatörler bulunmaktadır. Bu generatörler büyük güç üretim ünitelerini başlatmak için kullanılırlar. Bu işlem de tüm santralin enerjilenip elektrik şebekesine elektrik enerjisi vermesini sağlamaktadır [31]. Yeniden başlatma özelliğine sahip generatörler yardımıyla sistemin kısa sürede toparlandığı görülmüştür [32].

Şimdiye kadar sistematik olarak araştırılmamış olan belirsizliklerle başlayan sistem çökmesinin, yeniden başlatma üniteleri ile problemin çözümü için birçok öneride bulunulmuştur. Yapılan simülasyon ve karşılaştırmalar ile çalışmanın sağlanması yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir [33]. Nükleer ve termik güç üretim santrali ünitelerinin yeniden başlatma özelliği ile enerjilendirilmesi için güç üretim kapasitelerinin %7 ile %8 civarında bir başlatma gücüne sahip olması gerekirken bu değer hidroelektrik güç üretim santralleri için ise %0,5 ile %1 arasında bir değerdir. Doğalgaz ile çalışan santrallerde ise enerji üretim kapasitesinin %1,5 ile %2 arasında bir üretime sahip olmalıdır [34].

Genellikle hidroelektrik enerji santralleri, şebeke bağlantılarını enerjilendirmek için yeniden başlatma kaynakları olarak belirlenmişlerdir [30]. Bunun sebebi ise bir hidroelektrik santralinin başlangıç için çok az bir enerjiye ihtiyaç duymasındır. Bundan dolayı hidroelektrik santrallerin yeniden başlatma güç kaynağı olarak kullanılması en yaygın durumdur.

Fosil yakıt ile çalışan santrallerde ekipmanların enerji iç ihtiyacı çok olduğundan dolayı bu santrallere yeniden başlatma özelliği kazandırarak büyük bir bekleme kapasitesi oluşturmak ekonomik değildir. Ancak günümüzde yeniden başlatma özelliğine sahip generatör setleri üretilmektedir. Hidroelektrik ünitelerle birlikte, dizel generatör setleri, gaz türbini generatör setleri ve büyük ölçekteki gaz türbinleri yeniden başlatma kaynağı olarak kullanılabilir [30].

Son yıllarda, rüzgâr, fotovoltaik (PV) ve batarya enerji depolama sistemleri (BESS) gibi invertör tabanlı kaynakların (IBR'ler) artan penetrasyon seviyeleri, bu kaynakların teknik potansiyelini ve ilgili maliyetleri güç sistemine yeniden başlatma özelliği kazandırma hususunda ilgiyi arttırmıştır [35]. Aynı zamanda güç sisteminin esnekliğini güçlendirmek için sistem restorasyon stratejilerinin optimizasyonu ve mikro şebekeler oluşturularak, elektrik enerjisi arzının sürekliliğini sağlamak için dağıtık üretim tesislerinin kullanımı da yaygınlaşmaktadır [36]. Voltaj kaynaklı dönüştürücü tabanlı yüksek gerilim doğru akım ünitelerinin de yeniden başlatma kabiliyetinden de faydalanabilmektedir [37].

### 2.3.1. Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santralleri ile Sistemin Enerjilendirilmesi

Güç sistemlerindeki tamamen çökmeler çok nadir görülse bile bazen meydana gelebilmektedir. Güç sisteminin tamamen çökmesi sonucunda güç üreten santraller de tamamen enerjisiz durumda kalmaktadır. Bu durumda sistemin tekrar normal koşullarına dönmesi için yeniden başlatma özelliğine sahip generatörler restorasyon planda kilit rol oynamaktadır.



Şekil 4. Güç sisteminin yeniden başlatma özelliği ile enerjilendirilmesi

## 3. ETAP PROGRAMINDA YAPILAN ÖRNEK SİSTEM ÇÖKMESİ VE YENİDEN BAŞLATMA UYGULAMASI

Simülasyon, modern güç sistemlerinin tasarımında vazgeçilmez bir süreç haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda güç endüstrisinin gelişmesiyle güç sisteminin ve tek generatörün kapasitesi büyümekte ve güç sisteminin yapısı gittikçe daha da karmaşıklaşmaktadır. Güç sistemini simülasyonla planlamak, analiz etmek ve izlemek büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir [38].

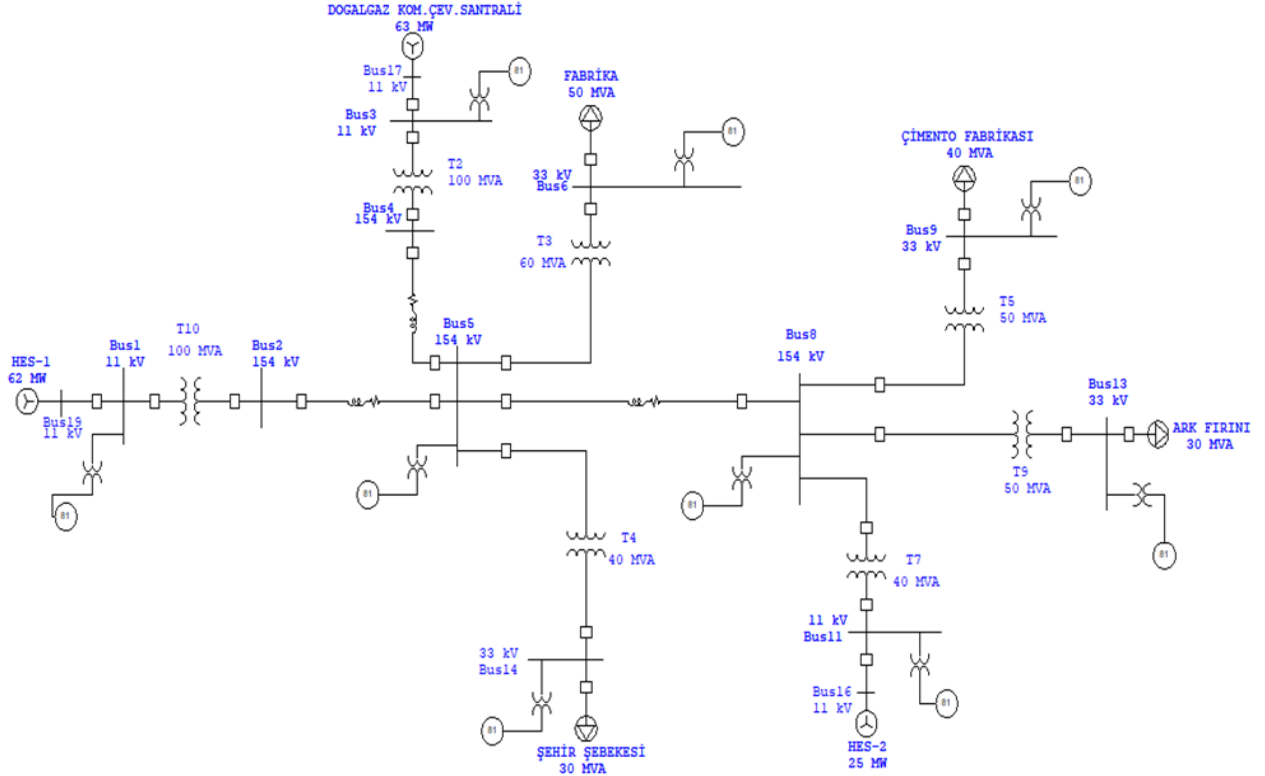
### 3.1. Örnek Güç Sistemi Uygulaması

Yapılan örnek güç sistemi uygulamasında Türkiye Enterkonnekte Elektrik Şebekesindeki veriler kullanılarak oluşturulan bir şebeke sistemi kullanılmıştır. Örnek güç sisteminde bulunan ünitelerin aktif güç bilgileri Tablo 2’de verilmiştir. Tablodaki bilgilere göre sistemde üç güç üretim ünitesi, dört tane de tüketim ünitesi bulunmaktadır. Sistemde toplamda 150 MW’lık üretim kapasitesi, 119 MW’lık tüketim kapasitesi mevcuttur. Sistemde üretim merkezlerinin çıkışında 34,5/154 MW’lık yükseltici üç transformatör merkezi, tüketim merkezlerinin çıkışında ise 154/34,5 MW’lık dört adet indirici transformatör merkezi bulunmaktadır. Sistemde her baranın ve transformatörlerin giriş ve çıkışlarında devre kesiciler kullanılmıştır. Ayrıca sistemde baralara bağlı olan frekans röleleri mevcuttur. Bu röleler bağlı oldukları baranın kesicileri ile koordineli olarak çalışmaktadır.

Tablo 2. Sistem çökmesi senaryoları için kullanılan güç sistemi birimlerinin bilgileri

ÜRETİM		TÜKETİM	
ÜRETİM BİRİMİ	GÜCÜ	TÜKETİM BİRİMİ	GÜCÜ
Hidroelektrik Santral 1	62 MW	Fabrika	34 MW
Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	63 MW	Şehir Şebekesi	25,5 MW
Hidroelektrik Santral 2	25 MW	Ark Fırını	25,5 MW
		Çimento Fabrikası	34 MW

Tablo 2’de bulunan güç sistemi birimlerinin verilen bilgileri kullanılarak bir takım sistem çökmesi ve yeniden başlatma senaryoları Şekil 5’te verilen güç şebeke sisteminde geçici kararlılık durumunda uygulanmıştır.



Şekil 5. Sistem çökmesi ve yeniden başlatma senaryoları için kullanılan güç sistemi

### 3.2. Sistem Çökmesi Senaryoları

Oluşturulmuş olan örnek güç sisteminde uygulanması için beş farklı senaryo hazırlanmıştır. Güç sisteminde uygulanmış olan sistem çökmesi senaryolarının grafiklerinden elde edilmiş olan sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir. Benzetim senaryo süresi 500 saniye olarak belirlenmiştir. Sistem  $t=0$  anında devreye alınarak normal çalışma koşullarında iken  $t=10$  s.’de senaryoda belirlenen arıza meydana gelmiştir. Bu andan itibaren sistemde bulunan diğer santrallerin durumları grafikler üzerinden incelenmiş olup aşağıdaki Tablo 3 oluşturulmuştur.

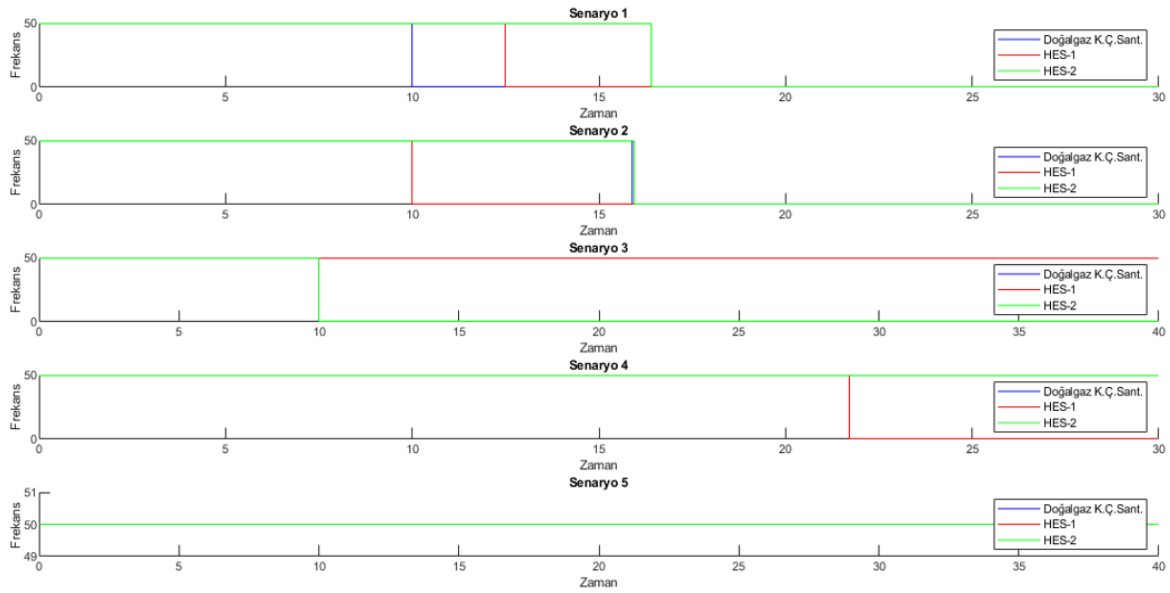
Tablo 3. Sistem çökmesi senaryolarının sonuçları

Senaryo Adı	Sistemde Meydana Gelen İlk Olay	Devre Dışı Kalma Anı (s)	İlk Devre Dışı Kalan Santral	Devre Dışı Kalma Anı (s)	Sistemin Toplam Çökme Süresi (s)
Senaryo 1	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin devre dışı kalması.	10. s	Hidroelektrik Santral 1	12,5. s	16,4 s



<b>Senaryo 2</b>	Hidroelektrik Santral 1'in devre dışı kalması.	10. s	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali ve Hidroelektrik Santral 2 birlikte devre dışı kalmıştır.	15,9. s	15,9 s
<b>Senaryo 3</b>	Hidroelektrik Santral 2'nin devre dışı kalması.	10. s	Devre dışı kalan santral yoktur.	...	...
<b>Senaryo 4</b>	Sistemde bulunan ark fırını yükünde %200'lük yük artışının meydana gelmesi.	10. s	Hidroelektrik Santral 1	21,7. s	25,7 s
<b>Senaryo 5</b>	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde generatör uyarımının kaybolması.	10. s	Devre dışı kalan santral yoktur.	...	...

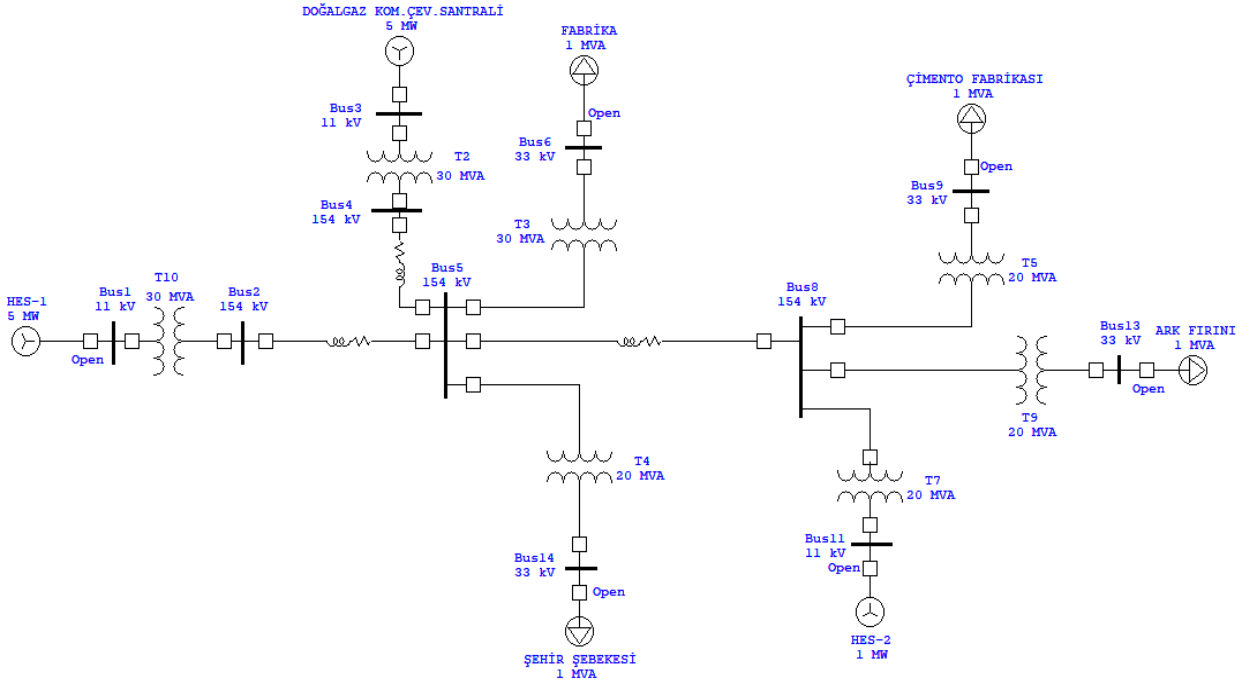
Gerçekleştirilen benzetim senaryolarında sistemdeki üretim birimlerinin senaryodaki olaylara verdiği tepkiler incelenmiştir. Benzetim senaryolarının tümünde sistem normal çalışma koşullarında iken  $t=10.s$ 'de olay meydana gelmiştir. Senaryo 1'de Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin devre dışı kalması ile  $t=12,5.s$ 'de Hidroelektrik Santral 1 devre dışı kalmıştır.  $t=16,4.s$ 'de sistemde çökme meydana gelmiştir. Senaryo 2'de Hidroelektrik Santral 1'in devre dışı kalması ile  $t=15,9$ 'da sistemde çökme meydana gelmiştir. Senaryo 3'de Hidroelektrik Santral 2'in devre dışı kalması ile sistemde herhangi bir çökme meydana gelmemiştir. Senaryo 4'te yüklerden olan ark fırınında %200'lük bir artış meydana gelmiş olup  $t=21,7.s$ 'de Hidroelektrik Santral 1 devre dışı kalmıştır.  $t=25,7.s$ 'de sistemde çökme meydana gelmiştir. Senaryo 5'te Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde generatör uyarımının kaybolması sonucunda sistemde devre dışı kalan herhangi bir santral olmamıştır.



**Şekil 6.** Sistem çökmesi senaryolarının sonuçları

### 3.3. Yeniden Toparlanma Senaryosu

Yeniden başlatma özelliği bulunan santraller aynı anda devreye alınamaz. Sistemde, yeniden başlatma özelliği bulunan Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali frekans özellikleri baz alınmıştır. Diğer santraller başlatma komutu sonrası senkron hale gelerek sistem dahil olmuştur.



Şekil 7. Yeniden toparlanma senaryoları için kullanılan güç sistemi

Şekil 7’de görülen güç sistemi, yeniden toparlanma senaryosunu uygulamak için kullanılmıştır. Sistemde bulunan ünitelerin bilgileri Tablo 4’te belirtildiği gibidir.

Tablo 4. Yeniden toparlanma senaryosu için kullanılan güç sistemi birimlerinin bilgileri

ÜRETİM		TÜKETİM	
ÜRETİM BİRİMİ	GÜCÜ	TÜKETİM BİRİMİ	GÜCÜ
Hidroelektrik Santral 1	5 MW	Fabrika	1 MVA
Doğalgaz Kombi Çevrim Santrali	5 MW	Şehir Şebekesi	1 MVA
Hidroelektrik Santral 2	1 MW	Ark Fırını	1 MVA
		Çimento Fabrikası	1 MVA

Elektrik güç sistemlerinde çökme meydana geldiğinde tüm sistemi tekrar toparlamak için yeniden başlatma özellikli bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Bu bölümde yeniden başlatma özellikli güç kaynağı sistemde devreye alınmıştır. Gerçekleştirilen senaryo bilgileri Tablo 5’te açıklanmıştır.

Tablo 5. Yeniden toparlanma senaryo bilgisi

Senaryo Adı	Yeniden Başlatma Özelliği Olan Santral	Sistemde Bulunan Yükler	Senaryonun Açıklaması
Senaryo 1	Doğalgaz Kombi Çevrim Santrali	Fabrika Şehir Şebekesi Ark Fırını Çimento Fabrikası	Sistem çökmesi olmuş olan elektrik şebeke sistemini tekrar toparlamak için yeniden başlatma özelliği olan Doğalgaz Kombi Çevrim Santrali ile sisteme yeniden başlatma komutu verilmiştir. Daha sonra yükler kademeli olarak devreye alınmıştır.

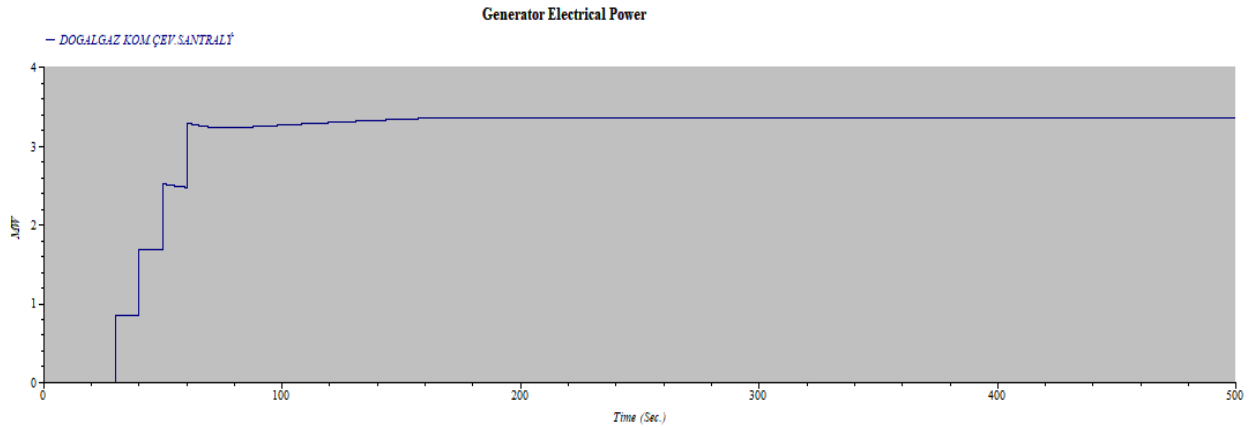
Çöken elektrik şebeke sistemini tekrar toparlamak için yeniden başlatma özelliği olan Doğalgaz Kombi Çevrim Santrali ile sisteme yeniden başlatma verilmiştir. Çalışma sonucunda santralin çalışma grafikleri gösterilmiştir. Yeniden başlatma esnasında generatörde ve baralarda meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Tablo 6’da uygulanan yeniden toparlanma senaryosunun sonuçları görülmektedir.

**Tablo 6.** Yeniden toparlanma senaryosunun sonuçları

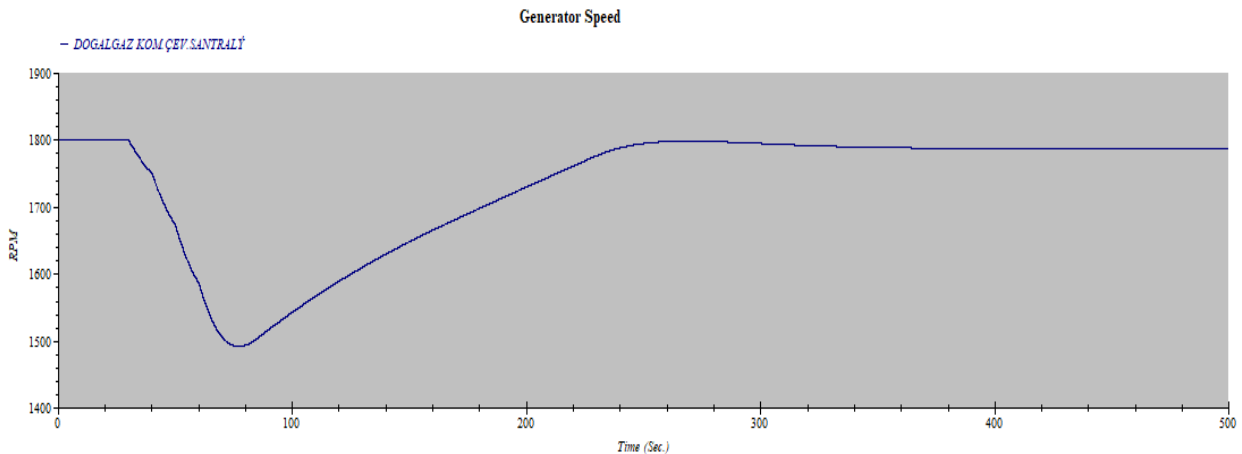
Senaryo Adı	Yeniden Başlatma Özelliği Olan Santral	Devreye Girme Anı	Devreye Giren Yük	Devreye Girme Anı (s)	Sistemin Toparlanma Süresi (s)
Senaryo 1	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali	Başlangıç anında	Şehir Şebekesi	30 s	160 s
			Çimento Fabrikası	40 s	
			Ark Fırını	50 s	
			Fabrika	60 s	

Elektrik Şebeke Sistemleri'nde meydana gelen yeniden toparlanma olayını anlatmak için uyguladığımız senaryo sonucunda Tablo 6'daki sonuçlar ortaya çıkmıştır. Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'ne yeniden toparlanma özelliği kazandırılarak sistemin yeniden toparlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen uygulamada başlangıç esnasında Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali devreye girmiştir. Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin senkronizasyon şartlarını sağlamasıyla birlikte  $t=30$ . s'de şehir şebekesi devreye alınmış olup daha sonra sırasıyla  $t=40$ . s'de çimento fabrikası,  $t=50$ . s'de ark fırını ve  $t=60$ .s'de fabrika devreye alınmıştır. Sistemin tam toparlanma süresi  $t=160$ . s'de gerçekleşmiştir.

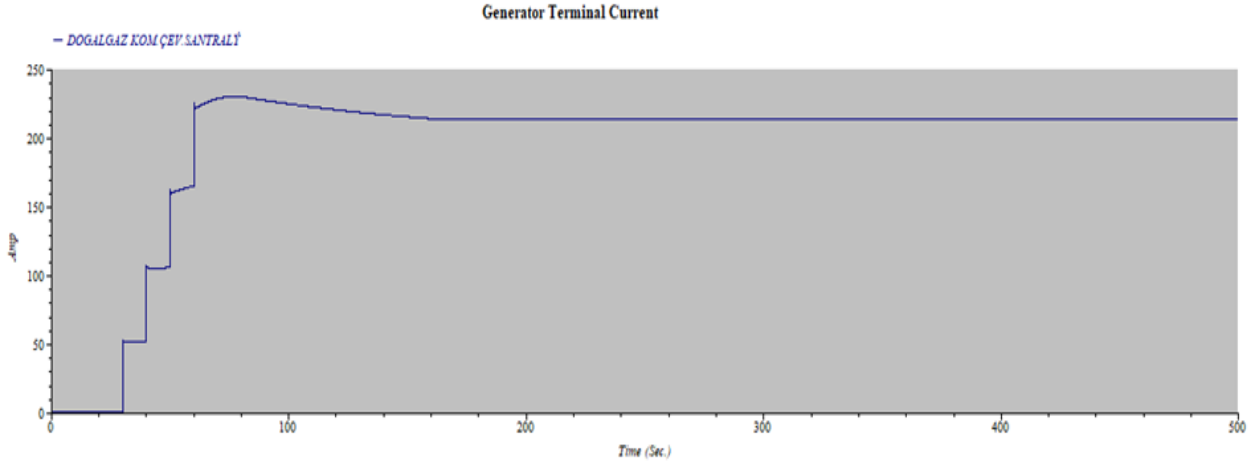
Şekil 8'de yeniden başlatma esnasında generatör aktif gücünde meydana gelen değişim görülmektedir. Yüklerin devreye girmesi ile birlikte artan yük ihtiyacını karşılamak için generatörün aktif güç üretimi artmıştır.

**Şekil 8.** Senaryo 1 – Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin elektrik güç grafiği

Şekil 9'da generatör devir sayısında meydana gelen değişiklikler görülmektedir. Yüklerin devreye girmesi ile yük kaybı meydana gelmiş olup daha sonra devir sayısı tekrar toparlanmıştır.

**Şekil 9.** Senaryo 1 – Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin generatör devir sayısı grafiği

Şekil 10’da generatör terminal akımında meydana gelen değişim şeklinde görülmektedir. Yüklerin devreye girmesi ile terminal akımı kademeli olarak artış göstermiştir.

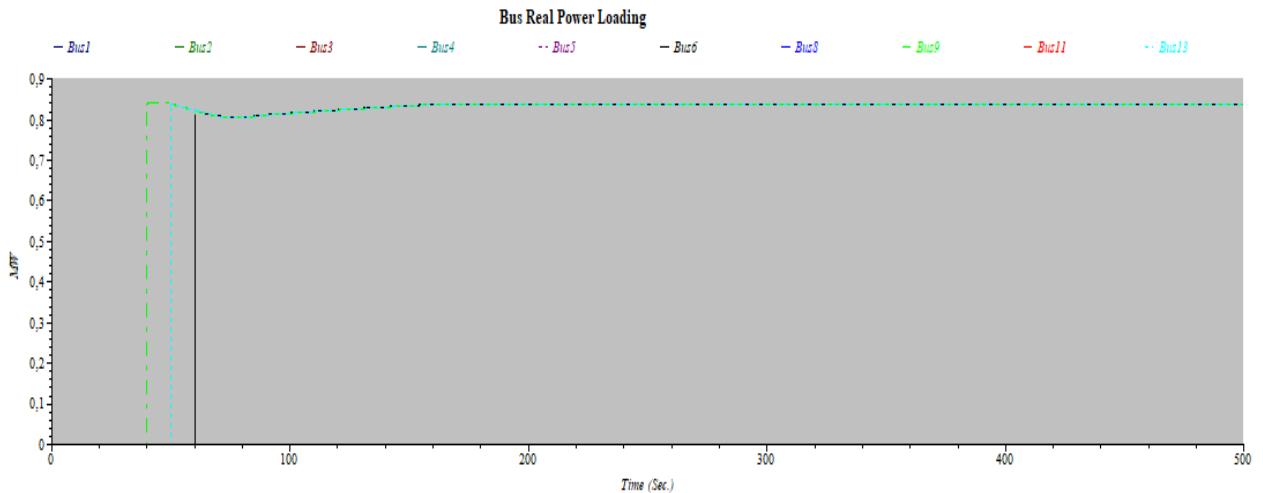


Şekil 10. Senaryo 1 – Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin terminal akım grafiği

Tablo 7. Bara Bilgileri

Bara Adı	Bara 1	Bara 2	Bara 3	Bara 4	Bara 5	Bara 6	Bara 7	Bara 8	Bara 9	Bara 10	Bara 11
Bağlı Olan Birim	HES 1, T 10	İletim Hattı, T 10	Doğalgaz K.Ç.S. , T 2	T 2, İletim Hattı	İletim Hattı, T 4, T 8	Fabrika, T 8	T 4, Şehir Şebekesi	İletim Hattı, T 5, T 9, T 7	T 5, Çimento Fabrikası	T 9, Ark Fırını	HES 2, T 7
*T: Transformör *HES: Hidroelektrik Santral											

Şekil 11’de yüklerin devreye alınması ile birlikte Tablo 7’de bilgisi verilen baraların yüklenmesi görülmektedir. Buna göre yüklerin bağlı olduğu baralarda yüklerin devreye alınması sırasına göre baraların yüklenme durumu şekildeki gibi olmaktadır.



Şekil 11. Senaryo 1 – Şebekede bulunan baraların aktif güç grafiği

Yapılan uygulama sonucunda kendisinde sistem çökmesi meydana gelmiş olan elektrik şebeke sistemini yeniden toparlanmasını sağlamak ve hızlıca normal çalışma şartlarına getirmek için mutlaka yeniden başlatma özelliğine sahip santrallere ihtiyaç vardır. Sistemde bulunan yeniden başlatma özellikli santrallerin sayısının artması ile beraber sistemin toparlanması süresi azalacaktır.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Elektrik enerjisi günlük hayatımızın vazgeçilmez öğelerinden biridir. Günlük yaşantımızın her anında elektrik enerjisinden faydalanılmaktadır. Buna bağlı olarak güç sistemi üzerinde meydana gelebilecek kesintiler hem maddi hem de enerji kalitesinde önemli kayıplara yol açmaktadır. Bu açıdan elektrik şebeke sisteminin kısmen ya da tamamen devre dışı kalmasına sebep olan sistem çökmesi olayının detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada güç sistemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Güç sistemlerinde meydana gelen sistem çökmesi ve sonrasında uygulanacak olan restorasyon sürecine değinilmiştir. Güç sistemlerinde sistem çökmesi olayları ile karşılaşılmasını için alınması gereken tedbirler ortaya konulmuştur. Elektrik şebeke sistemlerinde oluşabilecek sistem çökmesi olayları örnek bir güç sistemi üzerinde beş farklı senaryo uygulanarak sonuçları incelenmiştir. Bununla birlikte yeniden başlatma özelliğine sahip olan güç üretim santrali ile güç sisteminin yeniden başlatılması sağlanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre herhangi bir arıza sonucunda devre dışı kalan santrale en yakın santral ilk devre dışı kalan santral olmuştur. Sistemde küçük güçte üretim yapan bir santralin devre dışı kalmasının anlık olarak bir etkisi olmasına rağmen sistemde herhangi bir sistem çökmesi meydana gelmemiştir. Elektrik şebeke sistemlerini işleten kurumlar yapılan bu çalışmada anlatıldığı gibi dünyada ve ülkemizde meydana gelmiş olan sistem çökmesi olaylarını inceleyerek çeşitli senaryolar oluşturmalıdır. Oluşturulan bu benzetim senaryoları elektrik güç sistemlerine benzetim programları vasıtasıyla uygulanmalıdır. Bu uygulama sonucunda meydana gelen sonuçlar mutlaka değerlendirip ona göre elektrik şebeke sisteminde sistem çökmesi olayını önleyici tedbirler alınmalıdır. Sonuçlar dikkate alındığında şebekede üzerinde farklı enerji kaynaklarının kullanımının hem sistem çökmesi riskini azalttığı hem de yeniden başlatma özelliği ile şebeke restorasyonuna katkı sağladığı gözlenmiştir. Yeniden toparlanma özelliği ile güç sistemi restorasyonu süresinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca güç sistemlerine uygulanan sistem çökmesi senaryoları ile güç sisteminde meydana gelebilecek durumlara göre tedbirler alınabilmektedir. Bu sayede enerjinin kesintisiz olarak tüketicilere ulaştırılması sağlanmaktadır. Bu da toplumun yaşam kalitesini arttırmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile güç sistemi operatörlerine ve konuya ilgi duyanlara yol haritası çizilmiştir. Bu çalışmaya ilaveten ulusal şebeke sistemimiz üzerinde farklı sistem çökmesi ve yeniden toparlanma senaryolarının öngörülmesi ve analiz edilmesi, sistemin kesintisiz olarak işletilmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca sisteme yeni eklenen dağıtık üretim sistemlerinin etkilerinin de dikkate alınması gelecek çalışmalara yön verecek önemli bir çalışma konusudur.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Ayhancı, "Güç Sistemlerinde Sistem Çökmesi ve Yeniden Toparlanma", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
- [2] A. A. Bajwa, H. Mokhlis, S. Mekhilef, and M. Mubin, Enhancing power system resilience leveraging microgrids: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(3), (2019) 035503.
- [3] S. Afzal, H. Mokhlis, H. A. Illias, N. N. Mansor and H. Shareef, State-of-the-art review on power system resilience and assessment techniques. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 14(25), (2020) 6107-6121.
- [4] Y. Lin, Z. Bie and A. Qiu, A review of key strategies in realizing power system resilience. *Global Energy Interconnection*, 1(1), (2018) 70-78.
- [5] C. Ayhancı, B. Y. Yoldas, and B. Kekezoglu, Blackout and blackstart on power systems. *PressAcademia Procedia*, 5(1), (2017) 190-197.

- [6] C. Strunck, C. Rehtanz, D. Espín-Sarzosa and R. Palma-Behnke, Control Possibilities for Community Microgrids Considering Small Production Processes and its Benefits to the Whole System. In *2020 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition-Latin America (T&D LA)* (pp. 1-6). IEEE.
- [7] Z. Bo, O. Shaojie, Z. Jianhua, S. Hui, W. Geng, and Z. Ming, An analysis of previous blackouts in the world: Lessons for China' s power industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, (2015) 1151-1163.
- [8] İktisat ve Toplum Dergisi, Elektriksiz bir günün iktisadi ve toplumsal anlamı, <http://www.iktisadiyat.com>, 26 Ağustos 2015.
- [9] N. Bhusal, M. Abdelmalak, M. Kamruzzaman and M. Benidris, Power system resilience: Current practices, challenges, and future directions. *IEEE Access*, 8, (2020) 18064-18086.
- [10] S. R. Kurup and S. Ashok, Grid restoration planning after a total blackout. In *2015 International Conference on Control Communication and Computing India (ICCC)* ,(2015, November) (pp. 280-284). IEEE.
- [11] P. Candar, “Enterkonnekte Şebekelerde Oluşan Sistem Çökmelerinin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [12] A. Borghetti, C. A. Nucci and M. Paolone, *Restoration Processes after Blackouts*. John Wiley & Sons, 2013.
- [13] Y. Besanger, M. Eremia, and N. Voropai, Major grid blackouts: Analysis, classification, and prevention. *Handbook of electrical power system dynamics: Modeling, stability, and control*, (2013) 789-863.
- [14] S. R. Kurup and S. Ashok, Grid restoration planning after a total blackout. In *2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC)* (2015, November) (pp. 280-284). IEEE.
- [15] Nort American Electric Reliability Corporation(NERC), “2015 LongTerm Reliability Assessment”, (2015) Atlanta.
- [16] J. J. Ancona, A framework for power system restoration following a major power failure. *IEEE Transactions on power systems*, 10(3), (1995) 1480-1485.
- [17] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and O. Resende, “MicroGrids Black Start and Islanded Operation”, 15th Power Systems Computation Conference, (22-26 August 2005), Liege.
- [18] A. Castillo, Microgrid provision of blackstart in disaster recovery for power system restoration. In *2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)* (2013, October) (pp. 534-539). IEEE.
- [19] A. Ketabi, H. Asmar, A. M. Ranjbar and R. Feuillet, An approach for optimal units start-up during bulk power system restoration. In *LESCOPE 01. 2001 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering. Conference Proceedings. Theme: Powering Beyond 2001 (Cat. No. 01ex490)* (2001, July) (pp. 190-194). IEEE.
- [20] E. Lu, Z. Qin, M. Liu, Y. Hou, N. Wang and J. Wen, Increasing black start capacity by fast cut back function of thermal power plants. *Int. J. Smart Grid Clean Energy*, 2, (2013) 60-66.
- [21] J. W. Feltes and C. Grande-Moran, Black start studies for system restoration. In *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, (2008, July) (pp. 1-8). IEEE.
- [22] S. Zeng, Z. Lin, F. Wen and G. Ledwich, A new approach for power system black-start decision-making with vague set theory. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 34(1), (2012) 114-120.
- [23] J. J. Joglekar and Y. P. Nerkar, A different approach in system restoration with special consideration of islanding schemes. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 30(9), (2008) 519-524.
- [24] S. Barsali, R. Giglioli, D. Poli, M. Sforza, R. Salvati and R. Zaottini, The restoration of an electric power system: International survey and discussion of possible innovative enhancements for the Italian system. *Electric Power Systems Research*, 78(2), (2008) 239-247.

- [25] S. Barsali D. Poli, A. Pratico, R. Salvati, M. Sforza and R. Zaottini, Restoration islands supplied by gas turbines. *Electric power systems research*, 78(12), (2008) 2004-2010.
- [26] Y. Jiang, S. Chen, C. C. Liu, W. Sun, X. Luo, S. Liu, ... and D. Forcum, Blackstart capability planning for power system restoration. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 86, (2017) 127-137.
- [27] D. Lindenmeyer, H. W. Dommel and M. M. Adibi, Power system restoration—A bibliographical survey. *International journal of electrical power & energy systems*, 23(3), (2001) 219-227.
- [28] H. Afrakhteh and M. R. Haghifam, Optimal islands determination in power system restoration, (2009).
- [29] G. Zhang, EPRI power systems dynamics tutorial. *EPRI, Palo Alto, CA, Tech. Rep.*, (2009). 1016042.
- [30] “An introduction to black start”, National Grid Company plc, a document from [www.nationalgrid.com](http://www.nationalgrid.com)
- [31] Clean Technica, “Restoring The Grid After A Blackout — Using Batteries”, <https://cleantechnica.com/2016/02/02/restoring-the-grid-after-a-blackout-using-batteries/>, 24 April 2017.
- [32] W. Sun, C. C. Liu and S. Liu, Black start capability assessment in power system restoration. In *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, (2011, July) (pp. 1-7). IEEE.
- [33] H. Wang, Z. Lin, F. Wen, G. Ledwich, Y. Xue, Y. Zhou and Y. Huang, Black-start decision-making with interval representations of uncertain factors. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79, (2016) 34-41.
- [34] Southern Regional Load Despatch Centre Power System Operation Corporation, “Black Start Restoration Procedures Of Southern Region 2013”, (November 2012), Bangalore.
- [35] H. Jain, G. S. Seo, E. Lockhart, V. Gevorgian and B. Kroposki, Blackstart of power grids with inverter-based resources. In *2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)* (2020, August) (pp. 1-5). IEEE.
- [36] D. K. Maina, S. Shirzadi, S. Al-Sachit, L. Y. Liu and N. K. C. Nair, Electricity Distribution Resilience Assessment for Potential Seismic Event in New Zealand. In *2020 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON)*, (2020, September) (pp. 1-6). IEEE.
- [37] Y. Jiang-Hafner, H. Duchon, M. Karlsson, L. Ronstrom and B. Abrahamsson, HVDC with voltage source converters—a powerful standby black start facility. In *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition* (2008, April) (pp. 1-9). IEEE.
- [38] H. Zhu, H., X. Liu and N. E. Mastorakis, The simulation analysis of motor startup based on the ETAP platform. In *2014 International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry* (2014, September) (pp. 245-248). IEEE.