



Gemi jeneratörlerinin senkronizasyonu üzerine bir benzetim çalışması

*A simulation study on the synchronization of ship generators*Durukan Erdoğan^{1*}, Kenan Yiğit², Faruk Aydın³, Bora Acarkan⁴¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, durukan.erdogan@std.yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2395-7668>² Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, kyigit@yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4165-4081>³ Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, faruk.aydin@marmara.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6738-6775>⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, acarkan@yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5697-3157>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

*Makale Geçmişi:*Geliş 22 Haziran 2022
Revizyon 31 Ağustos 2022
Kabul 3 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022*Anahtar Kelimeler:**Gemi elektriği, dizel jeneratör, senkronizasyon*

Gemilerin çoğunda elektrik enerjisi ihtiyacı dizel jeneratör grupları ile karşılanmaktadır. Gemilerin türüne bağlı olarak gemilerde farklı sayılarda ve kapasitelerde jeneratör grupları bulunabilir. Gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacının birden fazla jeneratör ile karşılanması durumunda diğer jeneratörün senkronize bir şekilde devreye alınması gerekmektedir. Bu süreç hem otomatik hem de manuel olarak yürütülebilmektedir. Bu çalışmada, bir gemide iki jeneratörün senkronizasyon süreci Matlab&Simulink programında bir benzetim çalışması yapılarak incelenmiştir. Sonrasında, senkronizasyon sürecinde jeneratör baralarındaki elektriksel parametrelerin değişimleri yorumlanmıştır. Bu çalışma ile özellikle gemi personelinin senkronizasyon süreci hakkında teorik bilgi edinmesi ve literatüre gemi elektriği alanında katkı sunulması amaçlanmıştır.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

*Article history:*Received 22 June 2022
Received in revised form 31 August 2022
Accepted 3 September 2022
Available online 30 September 2022*Keywords:**Ship electricity, diesel generator, synchronization*

The electrical energy needs of ships are generally met by diesel generator sets. Depending on the type of ships, there may be different numbers and capacities of generator sets on the ships. If the electrical energy needs of ships are met by more than one generator, the other generator should be activated in a synchronized manner. This process can be carried out both automatically and manually. In this study, the synchronization process of two generators on a ship was performed by making a simulation study in Matlab&Simulink. Then, the changes in the electrical parameters in the generator busbars during the synchronization process were interpreted. With this study, it is aimed to obtain theoretical knowledge about the synchronization process of ship personnel and to contribute to the literature in the field of ship electricity.

Doi: 10.24012/dumf.1134163

* Sorumlu Yazar

Giriş

Gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacı gemi türüne ve operasyonel faaliyetlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Elektrik enerjisi üretimi ise alternatöre dizel motor, buhar türbini veya gaz türbini bağlanarak elde edilebilmektedir. Toplam kurulu gücü 12 MW'a kadar olan gemilerde elektrik enerjisi üretimi ve dağıtımı genellikle alçak gerilim (440-690V) seviyesinde yapılmaktadır. 10-20 MW güç kapasitesi arasında 6.6 kV ve 20 MW güç kapasite üzerinde ise 11 kV gerilim seviyesinde iletim sağlanır [1]. Gemilerde ihtiyaca göre bir veya birden fazla jeneratör devreye alınarak, güç talebi karşılanır. İkinci jeneratörün gemi güç sistemine bağlanması sırasında voltaj genliği, frekansı ve faz açısı kontrol edilmelidir. İki jeneratörün hem gemi güç sistemine hem de beslediği yüklerle zarar vermeden bağlanabilmesi için senkronizasyon şartlarına uyulması gerekmektedir. Bu her iki jeneratörün gerilimlerinin, frekanslarının, faz sıralarının ve faz açılarının eşitlenmesi anlamına gelir [2]. Senkronizasyon işlemi hem manuel hem de otomatik olarak yapılabilmektedir. Manuel senkronizasyon gemide genelde elektrik, elektro-teknik ve makine zabiti tarafından gerçekleştirilir. Personel, ana pano üzerinde bulunan senkronizasyon panelinden her iki jeneratörün senkronizasyon parametrelerini eşitledikten sonra devreye alınacak jeneratörün yük barasına bağlanması için ara devre kesiciyi kapatır. Otomatik senkronizasyon işleminde ise otomatik senkronizasyon cihazı kullanılır. Cihaz, voltajı, frekansı ve faz açısını izler. Senkronizasyon şartlarının sağlanması için düzeltme sinyalleri üretir ve jeneratörleri kontrol eder. Şartlar sağlandığında ise jeneratör kesicisine kapatma komutu göndererek işlemi sonlandırır [3]. Bununla birlikte, jeneratörlerin senkronizasyonu için farklı yöntemler kullanılmakta olup temel amaç senkronizasyon şartlarının sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmektir. Bu yöntemler; parlak lamba yöntemi, karanlık lamba yöntemi ve senkroskop yöntemi olarak sıralanabilir. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanı ise senkroskop yöntemidir. Senkroskop cihazı, iki jeneratörün fazlarına bağlanır ve gösterge panelindeki işaretçi ile senkronizasyon şartlarının sağlanıp sağlanmadığının takibi gerçekleştirilir [4].

Literatürde jeneratörlerin senkronizasyonu konusu farklı açılardan incelenmiştir. Garip ve ark. [5] alternatörlerin paralel bağlanması sırasında senkronizasyon şartlarından olan bara gerilimleri eşitliğinin mikro-denetleyici kullanılarak otomatik sağlanması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, gerilim eşitliğinin mikro-denetleyici ile gerçekleştirilmesinin kullanılan eleman sayısını azalttığını ve maliyeti düşürdüğünü belirtmişlerdir. Sefa ve ark. [6] çalışmalarında jeneratörlerin paralel bağlanma koşullarından olan frekans ve faz açısı eşitliğini mikro-denetleyici tabanlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, maliyeti düşük ve güvenilir bir sistem elde etmişlerdir. Ranchagoda ve ark. [7] jeneratör senkronizasyon sistemi için pratik bir modül tasarlamışlardır. İki senkron jeneratör arasında senkronizasyonu gerçekleştiren bu modülü laboratuvar ortamında test etmişlerdir. Sonuçta, jeneratörlerin üstlendikleri yükler arasında %20 oranında bir fark bulmuşlardır. Kusakana [8] mikro-şebeke uygulamalarında çoklu jeneratör sistemlerinin senkronize şekilde çalıştırılmasının teknik ve ekonomik analizini yapmıştır. Şebekeden bağımsız yüklerin tek bir

jeneratör yerine çok jeneratör sistemi ile karşılanmasının kurulum maliyetini artırmasına karşın uzun süreli kullanımlarda ekonomik fayda sağlayacağını belirtmiştir. Xing ve ark. [9] değiştirilebilir ataletli sanal senkron jeneratör için pratik bir senkronizasyon öncesi kontrol yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında, sanal senkron jeneratör kullanılarak önerilen yöntemde bir faz kilitli döngü ile şebeke bağlantı noktasının gerilim değerini izlemişlerdir. Sonrasında, ilgili referans değerlerini ve fazın geri beslemesini düzenleyerek, sanal senkron jeneratörün çıkış voltajının, şebeke bağlantı noktasındaki gerilime göre genlik, frekans ve faz konumunu analiz etmişlerdir. Thakallapelli ve ark. [10] çift beslemeli endüksiyon jeneratör tabanlı rüzgâr türbinlerinin güç şebekelerine esnek bağlantısı için senkronizasyon kontrol tekniğini önermişlerdir. Rüzgâr türbinlerinin arıza sonrasında şebekeye tekrar bağlanabilmeleri adına gerilim kontrollü bir senkronizasyon yöntemini incelemişlerdir. Çalışma neticesinde, bağlantı sırasında yaşanan dalgalanmaların %60 oranında azaltıldığını tespit etmişlerdir. Nurkanović ve ark. [11] yaptıkları çalışmada mikro-şebekelerde optimizasyon tabanlı frekans ve gerilim kontrolü gerçekleştirmişlerdir. Dida ve ark. [12] çift beslemeli asenkron jeneratör kullanan rüzgâr türbini sisteminin yeni şebeke senkronizasyonu ve güç kontrol şemasını oluşturmuşlardır. Bu sistemde bulanık mantık kullanarak senkronizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sistemde gerilim kontrolü kullanılmış olup, makine parametrelerinin değişmesi durumunda kontrollü sistem performansının sağlamlığını artırmak için bir bulanık mantık denetleyicisi tanıtmışlardır. Gozdowiak [13] yaptığı çalışmada jeneratörün şebeke ile bağlanması sırasında oluşan hataların etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, senkronizasyon şartlarından faz açılarının 120 dereceye kadar farklı olması durumunda maksimum hata oranı ile karşılaştığını ifade etmiştir. Huang ve ark. [14] yaptıkları çalışmada birden fazla sanal senkron jeneratör için geliştirilmiş bir paralel ön senkronizasyon kontrolünü önermişlerdir. Şebeke bağlantı problemini çözmek için sanal senkron jeneratör ve çift ikinci dereceden genelleştirilmiş integral frekans kilit döngüsüne dayalı bir ön senkronizasyon kontrolü yapmışlardır. Zare [15] yapmış olduğu çalışmada uyarlanabilir yüksek dereceli kayan mod denetleyicisine dayalı çift beslemeli endüksiyon jeneratörü için senkronizasyon ve frekans kontrol stratejisi geliştirmiştir. Iqbal ve Singh [16] senkron jeneratör senkronizasyonunun sanal laboratuvar kullanılarak öğretilmesini amaçlayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında, Matlab&Simulink programı kullanılarak iki senkron jeneratörün senkronizasyon şartlarının öğretilmesini amaçlamışlardır.

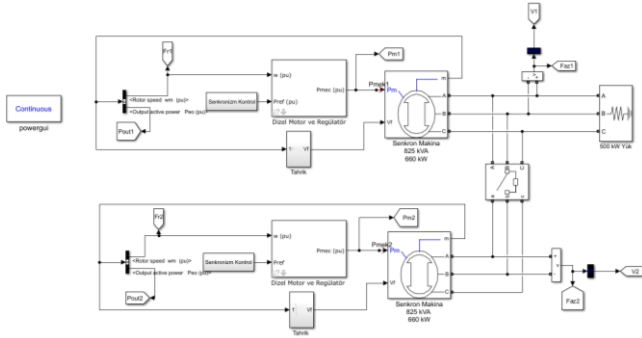
Jeneratörlerin senkronizasyonu konusunda gemi güç sistemlerine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Kim ve ark. [17] bir hibrit deniz elektrik güç sisteminde yüklerin senkronizasyonu ve dağılımı üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada Matlab&Simulink programı kullanılarak bir senkron jeneratör, sanal senkron jeneratör ve elektrik depolama sistemi barındıran bir sistemin senkronizasyonunu ve sonrasında yük paylaşımını incelemişlerdir. Siddiqi ve ark. [18] senkron jeneratörlerin paralel çalışma gerçekleştirebilmeleri için kullanılacak mikro-kontrolcü bazlı bir otomatik senkronizasyon ünitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında Matlab&Simulink programı

kullanmışlardır. Çalışma sonucunda faz açıları arasında göz ardı edilebilecek kadar küçük bir açı farkı ile sistemin senkronize olduğunu göstermişlerdir. Budashko ve Shevchenko [19] gemi jeneratör gruplarını senkronize etmek için kontrol sisteminin sentezine yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın neticesinde bir senkronizasyon görevini gerekli koşullar altında performans görevi ve kontrol görevi olarak ayırarak sistem elemanlarının uygun şekilde ayrıştırılmasıyla adaptif kontrol sistemleri sınıfında bir sistem tasarlamışlardır.

Literatür incelendiğinde, jeneratör sistemlerinin senkronizasyonu güç kalitesi, kontrol ve verimlilik gibi farklı açılardan değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, gemi güç sistemlerinde jeneratörlerin senkronizasyonu konusunda yeterli derecede çalışmanın bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple, bu çalışmada bir gemi güç sisteminde iki jeneratörün senkronize şekilde çalışması durumunda jeneratör baralarındaki gerilim, frekans ve faz açısı gibi elektriksel parametrelerin değişimi ve karakteristiği izah edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Matlab&Simulink programı ile gemi güç sistemi modellenerek senkronizasyon sürecindeki elektriksel parametrelerin davranışı incelenmiştir. Bu sayede hem literatüre katkı sunulması hem de gemi personelinin jeneratörlerin senkronizasyonu konusundaki pratik bilgilerinin yanı sıra teorik bilgilerle de desteklenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada Matlab&Simulink programı ile jeneratör, iletim hattı ve yükten oluşan temel bir gemi elektrik sistemi modellenerek jeneratörlerin senkronizasyon süreci incelenmiştir. Modelin temel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Gemi elektrik sistemi modeli

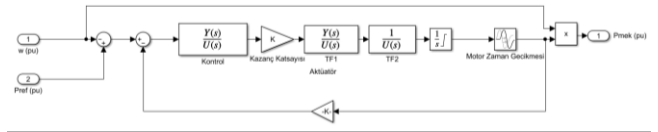
Kullanılan sistem için [18] çalışması referans alınmıştır. Burada ω rotor dönüş hızını, P_{ref} regülatörün takip etmesi istenen referans güç noktasını, V_f alan gerilimini, P_{mek} regülatör tarafından jeneratöre verilen mekanik gücü ifade eder. Modelleme için kullanılan jeneratör verileri literatürden temin edilmiş olup, genel anlamda bir yük gemisinin verilerini yansıtmaktadır [20, 21]. Benzetim çalışmasında iki adet 825 kVA gücünde özdeş senkron jeneratör kullanılmıştır. Sistemin gerilim değeri gemi sistemlerinde kullanılan 440 V değerine ayarlanmıştır.

Modellenen jeneratörlerin temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Senkron jeneratör parametreleri

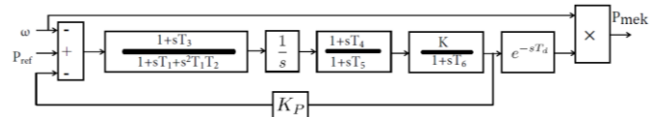
Parametre	Birim
Görünür Güç	825 kVA
Aktif Güç	660 kW
Gerilim	440 V
Kutup Sayısı	6
Devir sayısı	1200 rpm
Frekans	60 Hz
$\cos\theta$	0.8

Yapılan gemi güç sistem modelinde kullanılan hız regülatörü modeli IEEE standart DEGOV1 modeli olup, temel yapısı Şekil 2 ile gösterilmiştir [9].



Şekil 2. Dizel motor ve hız regülatörü modeli.

Ayrıca modelin oluşturulmasında kullanılan Standard IEEE DEGOV1 modelinin blok şeması Şekil 3'te verilmiştir. Uyarma gerilimi üretilmesi için kullanılan uyarıcı sistem için IEEE AC5A modeli kullanılmıştır. Sistemde dizel motor ve hız regülatörü modeli için [9] çalışması referans alınmıştır.



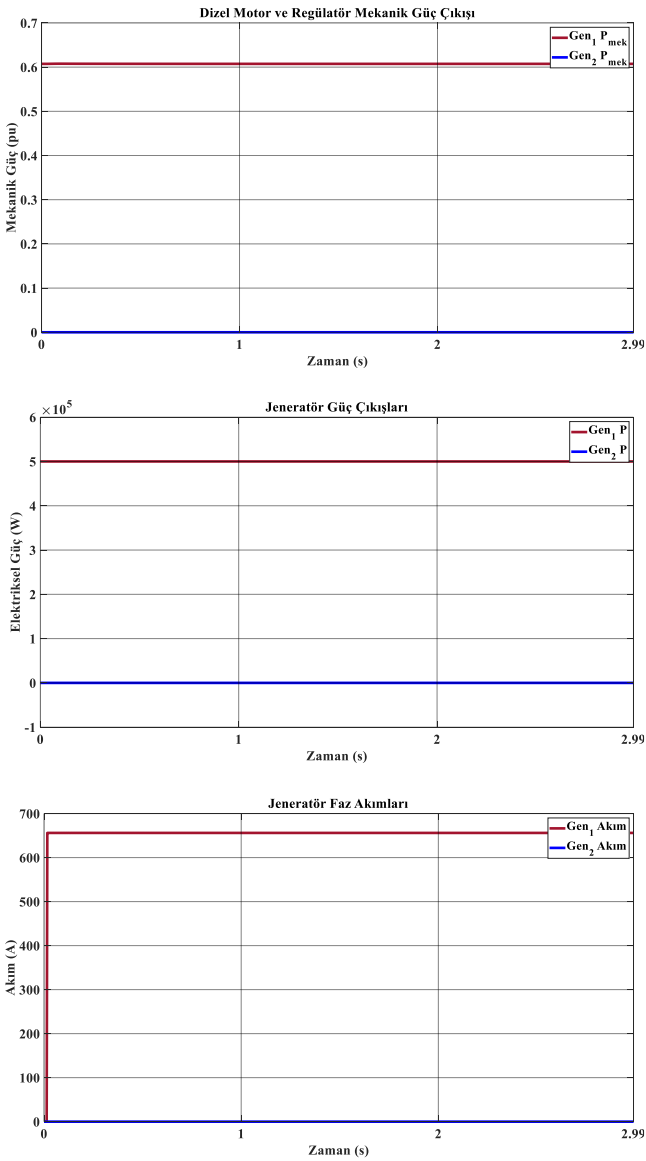
Şekil 3. Standard IEEE DEGOV1 modeli blok şeması [9]

Burada, K_p düşüm katsayısını ifade eder. K_p değeri genellikle 0.03-0.05 arasında alınmaktadır [22]. Bu model için K_p değeri 0.05 olarak kabul edilmiştir. Sistemde referans güç noktası (P_{ref}) ile açılal hız arasındaki farkı dikkate alarak kontrol işlemi yapılmaktadır. Modelde tüm girişler per unit (pu) cinsinden kullanılmıştır. Sistemin çıkışlarında ise normal değerlerine çevrilmiştir. Sistemde yalnızca dizel motor ve regülatör mekanik güç çıkışı pu cinsinden ölçülmüştür. Sistem üçüncü saniyede anahtarlama yapacak şekilde ayarlanmıştır. Son olarak sistemde kullanılmakta olan yük değeri 500 kW olarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Jeneratörlerin bir adet ve yüksek kapasiteli seçilmesi yerine daha düşük kapasiteli ve sayıca birden fazla tesis edilmesi işletme açısından daha verimli olmasına, kaynak yönetiminin daha sağlıklı bir şekilde yapılmasına ve arıza/bakım durumlarında işletme dengesinin korunmasına katkı sunacaktır. Bununla birlikte, gemide yüksek kapasiteli tek jeneratörün çalışması ihtiyaç duyulan enerji gereksinimine bağlı olarak jeneratörün düşük yükte çalışmasına neden olabilir. Bu durum dolaylı olarak yakıt sarfiyatını artırabilir.

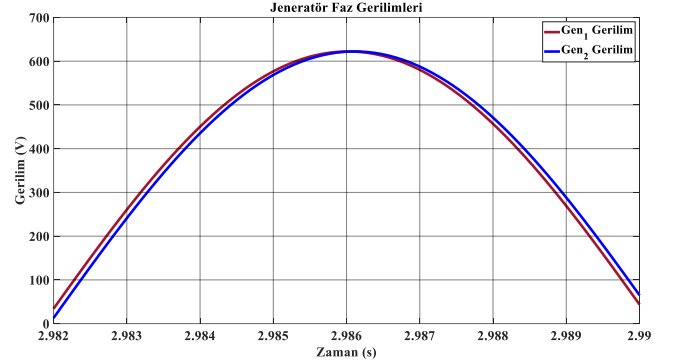
Bu nedenle, normal işletme koşullarında orta büyüklüklerde birden fazla jeneratörün devreye alınması ile jeneratörlerin daha verimli ve yakıt sarfiyatının daha düşük olduğu bir noktada çalıştırılması mümkün olabilecektir. Aynı zamanda yük artışı durumunda diğer jeneratörlerin devreye alınması ile bu yüklerin karşılanması ve sistemin esnek ve verimli bir şekilde işletilmesi mümkündür. Bu durumda jeneratörlerin eş zamanlı olarak devreye alınması ve işletilmesi gerekmektedir. Bu sürecin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesi için senkronizasyon şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada senkronizasyon sürecinin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada örnek bir gemi güç sistemi modellenerek gemide 500 kW güç ihtiyacının oluşması durumu incelenmiştir. Bu durumda birinci jeneratöre ek olarak ikinci jeneratörün de devreye alınması sürecinin benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Senkronizasyon öncesinde her iki jeneratörün güç çıkışları, jeneratöre verilen mekanik güçleri ve akım değerleri Şekil 4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4. Senkronizasyon öncesi bara değerleri

İkinci jeneratör devreye alınmadan hemen önce devredeki jeneratör tüm yükü karşılamakta olup ikinci jeneratöre verilen mekanik güç sıfırdır. Bunun doğal sonucu olarak ikinci jeneratörün faz akımı ve çıkışındaki elektriksel güç de sıfırdır. Bu durumda, birinci jeneratöre, dizel motor ve regülatörün çıkışından aktarılan mekanik güç 0.6 pu, jeneratör faz akımı 656.2 A ve elektriksel çıkış gücü 500 kW olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada faz sıraları düzgün bağlanmıştır. Faz açıları ise hemen hemen eşit seviyelerdedir. Faz açısı değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.

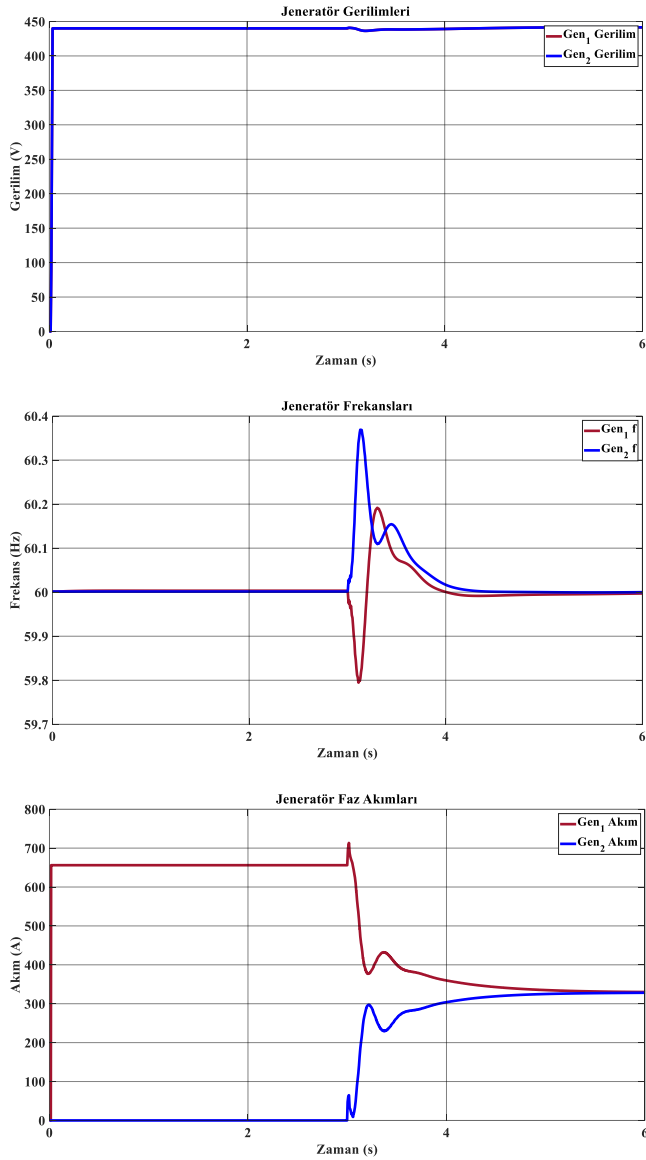


Şekil 5. Faz açısı değişimi

Pratikte devre kesiciyi tüm değerlerin tam olarak eşit olduğu seviyede kapatmak gerçekçi bir yaklaşım değildir. Bunun yerine bu tür sistemlerde eşitlenmesi gereken parametrelerdeki uyumsuzluklar kabul edilebilir bir tolerans seviyesi ile senkronize edilir [23]. Bu çalışmada da senkronizasyon şartı hemen hemen sağlanmış durumdadır. Ayrıca, senkronizasyon anında ikinci jeneratör henüz yük almamış durumdadır. Bu nedenle ikinci jeneratöre ait akım değerleri sıfır olmuştur.

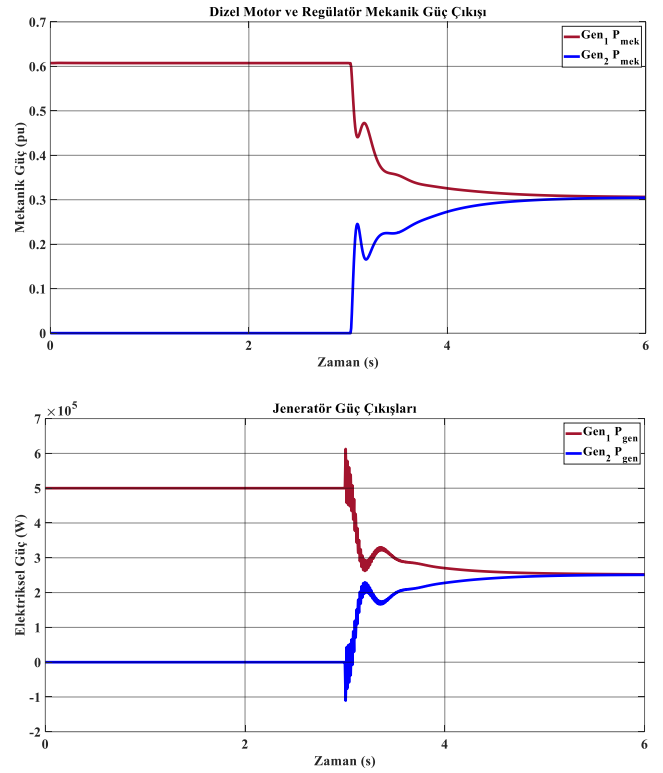
Senkronizasyon sonrasında ise devreye alınacak jeneratörün yük barasına bağlanması için ara devre kesici kapatılmıştır. Bu durumda her iki jeneratörün senkronizasyon öncesi, sırası ve sonrasındaki gerilim, akım ve frekans değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü üzere anahtarın kapatıldığı 3. saniyede baralardaki frekans, gerilim ve faz açıları yaklaşık olarak eşit duruma ve bu durumda senkronizasyon anında olabilecek dalgalanmalar en az hale getirilmiştir.



Şekil 6. Senkronizasyon sürecinde bara değerleri

Senkronizasyon sonrasında gerekli şartlar sağlandığı için devreye alınan jeneratöre verilen mekanik güç artmaya başlamıştır. Bu sırada regülatörler aracılığı ile çalışan mevcut jeneratöre verilen mekanik güç ise azalır. İkinci jeneratöre verilen mekanik güç artırıldıkça, makinenin devri yükselir ve ikinci jeneratör birinci jeneratörden yükü almaya başlar. Bu noktada birinci jeneratör üzerindeki yük azaldıkça makine devri biraz artar ve frekansı bir miktar yükselir. Bu işlemle aynı zamanda mevcut çalışan birinci jeneratöre aktarılan mekanik güç azaltılır. Birinci jeneratörün devri düşer ve bir miktar yükü üstünden atmaya başlar. Bu noktada aktarılan yükü üstüne alan ikinci jeneratörün devri düşecektir ve sistem frekansı da aynı şekilde düşüş gösterecektir. Bu sayede sistem frekansı bozulmadan yük paylaşımı tamamlanmış olur. Bu süreçte dizel makineden elde edilen mekanik güç ile alternatörün çıkış gücü değişimi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Pmek ve Pgen değişimi

Şekil 7’de görüldüğü üzere, işletmedeki birinci jeneratöre verilen mekanik güç azaltılırken, devreye alınan jeneratöre verilen mekanik güç artırılmıştır. Bu sayede yük iki jeneratör arasında eşit olarak paylaştırılmıştır. Yük paylaşımı 3.5s gibi kısa bir süre içerisinde tamamlanmıştır. Bu sürecin sonunda her iki jeneratör de yaklaşık olarak 250 kW’lık yükü karşılamaya başlamıştır.

Gemi elektrik sistemi için gerçekleştirilen benzetim çalışması sonucunda her iki jeneratörün senkronizasyon sırası ve sonrası bara parametrelerindeki değişim ise Tablo 2 ile özetlenebilir.

Tablo 2 Senkronizasyon sırası ve sonrası bara değerleri

Parametre	Senkronizasyon Sırası		Senkronizasyon Sonrası	
	Jeneratör 1	Jeneratör 2	Jeneratör 1	Jeneratör 2
Güç (kW)	500	0	250	250
Frekans (Hz)	60	60	60	60
Bara Gerilimi (V)	440	440	440.4	440.4
Pm (pu)	0.3203	0	0.1602	0.1602
Pg (pu)	0.6060	0	0.3033	0.3033

Tablo 2’den görüldüğü üzere, jeneratörler arasındaki yük paylaşımı tamamlandığında jeneratör baralarında eşit parametreler ölçülmüştür. Sistem frekansı ve bara gerilimleri mevcut değerlerini hemen hemen korumuştur. Bara gerilimlerinde ise %0.09’luk bir fark oluşmuştur. Ayrıca dizel motor ve hız regülatörleri aracılığı ile sağlanan mekanik gücün paylaşım süresi sonunda eşitlendiği de görülmüştür.

Böylece, yük iki jeneratör arasında yaklaşık 3.5s gibi bir sürede eşit paylaşılmıştır.

Sonuç olarak, gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacı jeneratör grupları ile karşılanmakta olup güç ihtiyacının artması yedekte bekleyen jeneratörün devreye alınması ile sağlanır. İki jeneratörün eş zamanlı olarak sisteme enerji sağlaması için gerilim, frekans, faz açısı ve faz sırası gibi parametrelerin eşitlenmesi gerekmektedir. Gemi güç sisteminde herhangi bir hata ile karşılaşılması için öncelikle bu parametreler eşitlenir. Sonrasında diğer jeneratör sisteme bağlanır. Böylece her iki jeneratör ile elektrik enerjisi üretimine katkı sağlanır. Bu süreç uygulamada eksiksiz yapılsa da senkronizasyon şartlarının temel prensiplerinin teorik olarak izah edilmesi özellikle gemide çalışacak personel için önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışma ile gemi jeneratörlerinin senkronizasyonu konusunda denizcilik alanında literatüre katkı sunulması amaçlanmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada, gemilerde elektrik enerji üretimi sağlayan jeneratörlerin eş zamanlı işletilmesi süreci incelenmiştir. Bu kapsamda, gemi güç sistemi Matlab&Simulink programı ile modellenmiştir. Sonrasında, gemide elektrik enerjisi ihtiyacının tek jeneratörle karşılanmadığı durumlarda diğer jeneratörün devreye alınması süreci analiz edilmiştir. Bu süreçte senkronizasyon şartlarının (faz sırası, faz açısı, gerilim ve frekans) karakteristiği incelenmiştir. Sonuç olarak, gemilerde enerji verimliliğinin sağlanması, güç kalitesinin bozulmaması ve elektrik enerjisi ihtiyacının kesintisiz karşılanması için senkronizasyonun etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile geminin bir kısmının (aydınlatma, elektrik motorları vb.) veya tamamının enerji ihtiyacının karşılanabilmesi mümkündür. Gelecek çalışmalarda bu tür entegrasyonların gemi jeneratörlerinin senkronizasyonuna etkisinin araştırılması düşünülmektedir. Bununla birlikte gemilerde jeneratörlerin senkronizasyonun gerçekleşmesi sürecinin pratik bilgilerin yanı sıra teorik bilgilerle de desteklenmesinin gemi personelinin bir ünitenin arızalanması neticesinde güç kaynağının bütünlüğünün etkilenmesi, kaynak yönetimi hususunda karşılaşılabilecek zorluklar ve jeneratörlerin verimsiz çalıştırılması gibi olası enerji problemlerini çözmesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] ABB, "Teknik uygulama föyü no. 12 deniz sistemleri ve gemi tesisatlarının genel özellikleri".
- [2] D. L. Ransom, "Get in step with synchronization," in *67th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, College Station, TX, USA, 2014, pp.4210-4215.
- [3] F. Yıldırım, "Generatörlerin otomatik senkronizasyonu" Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2014.
- [4] U. Amin, G. Ahmad, S. Zahoor ve F. Durrani, "Implementation of parallel synchronization method of generators for power & cost saving in University of

- Gujrat," *Energy and Power Engineering*, vol. 06, no. 10, pp. 317-332, Sept. 2014.
- [5] İ. Garip, S. Bayhan, ve İ. Çolak, "Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından gerilim eşitliğinin mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi," *Technological Applied Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 348-359, May. 2009.
- [6] İ. Sefa, R. Bayındır, İ. Garip, S. Bayhan ve İ. Çolak, "Generatörlerin paralel bağlanma şartlarından frekans ve faz açısı eşitliğinin mikrodenetleyici tabanlı olarak sağlanması," *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, vol. 25, no. 1, pp. 39-48, 2010.
- [7] N. H. Ranchagoda, M. K. S. Sankalpana, K. A. S. K. Arachchi ve D. S. De Silva, "A practical module for generator synchronization system," In *2015 IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, Amritsar, India, Oct. 2015, pp. 26-30.
- [8] K. Kusakana, "Techno-economic analysis of multiple paralleled diesel generators for micro isolated applications," In *2017 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE)*, Cape Town, South Africa. Apr. 2017, pp. 2-7.
- [9] P. Xing, X. Jia, C. Titan, Y. Mao, L. Yu ve X. Jiang, "Pre-synchronization control method of virtual synchronous generator with alterable inertia," in *2019 IEEE 10th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, Xi'an, China, June 2019 pp. 946-951.
- [10] A. Thakallapelli, S. Kamalasadana, K. M. Muttaqi ve M. T. Hagh, "A synchronization control technique for soft connection of doubly fed induction generator based wind turbines to the power grids," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 5, pp. 5277-5288 Oct. 2019.
- [11] A. Nurkanović, A. Mešanović, M. Sperl, S. Albrecht, U. Münz, R. Findeisen, ve M. Diehl, "Optimization-based primary and secondary control of microgrids". *at-Automatisierungstechnik*, vol. 68, no. 12, pp. 1044-1058, May. 2020.
- [12] A. Dida, F. Merahi ve S. Mekhilef, "New grid synchronization and power control scheme of doubly-fed induction generator-based wind turbine system using fuzzy logic control", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 4, June 2020.
- [13] A. Gozdowiak, "Faulty synchronization of salient pole synchronous hydro generator," *Energies*, vol. 13, pp. 20, Oct. 2020.
- [14] S. Huang, B. Wang, Y. Yan, ve W. Xu, "An improved parallel pre-synchronization control for multiple virtual synchronous generators," in *2021 China Automation Congress (CAC)*, Beijing, China, 2021, pp. 6182-6187.
- [15] H. Zare, "Synchronization and frequency control strategy for doubly fed induction generator based on adaptive high-order sliding mode controller," *In International Journal of Numerical*

- Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 34 no. 5, Apr. 2021.
- [16] A. Iqbal ve G. K. Singh, "Teaching synchronization of synchronous generator using virtual laboratory," *IETE Journal of Education*, pp. 1–10 March 2022.
- [17] Y. Kim, N. A. Dobroskok, A. N. Lavrinovskiy, ve A. N. Lukichev, "On synchronization and distribution of loads in a hybrid marine electric power system," in *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 946-951.
- [18] M. T. A. Siddiqi, M. M. Rasul ve S. M. Hossain, "Automatic synchronization unit for marine alternators," in *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, DHAKA, Bangladesh, 2021, pp. 211-214.
- [19] V. Budashko ve V. Shevchenko, "The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* vol. 1, no. 2, pp. 45-63, Feb. 2021.
- [20] G. Kökkülünk, "Energy and exergy analyses of a bulk carrier diesel generator for different loads," *Journal of ETA Maritime Science*, vol. 7, no. 1, pp. 43–50, Jan. 2019.
- [21] MAN Diesel & Turbo, "L16/24 imo tier ii-marine generating sets."
- [22] K. Valkeejärvi, "The ship's electrical network, engine control and automation," *Royal Belgian Institute of Marine Engineers*.
- [23] R. C. Schaefer, "Art of generator synchronizing," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Austin, TX, USA, 2016, pp. 88-95.