



Dökme Yük Gemilerinde Güç Kalitesi Problemlerinin Simulink ile Modellenmesi

İsmail Nuri BERTİZLİOĞLU^{a(*)} Seçil GÜLMEZ^b

Yayın Geliş Tarihi

02 Haziran 2020

Yayına Kabul Tarihi

26 Ağustos 2020

Elektronik Yayın Tarihi

02 Kasım 2020

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler

Elektrik güç kalitesi

Dökme yük gemisi

Gemi elektrik sistemleri

Simulink

Öz

Gemi elektrik sistemlerindeki güç kalitesi kavramı, elektronik kontrol sistemlerinin ve elektrik tahrik sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla daha önemli hale gelmiştir. Düşük güç kalitesi geminin elektrik şebekesi performansı ile beraber enerjinin verimli kullanımını, seyir güvenliğini ve denizde can güvenliğini etkilemektedir. Bu çalışmada, elektrik güç kalitesi kavramı ve elektrik sistemindeki problemlerden kaynaklanabilecek önemli güç kalite bozuklukları yöntem olarak yaşanmış bir yolcu gemisi kazası göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu gemi kazası MATLAB/Simulink programı aracılığıyla modellenerek sinüzoidal dalgaların olması gerekenden ne kadar saptığı güç kalitesi bozuklukları olarak ortaya konulmuş ve gemilerdeki elektrik güç kalite kavramının öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Yolcu gemisinde harmonik güç bozukluğunun önlenmesine yönelik tesis edilen harmonik filtrelerin patlaması sonucu sistem çökmesiyle (blackout) sonuçlanan kaza sırasında harmonik filtrelerin devre dışı kalma durumu kurgusal olarak bir dökme yük gemisine uyarlanarak, harmonik filtreli ve filtresiz durumlar analiz edilmiştir. Ayrıca, filtredeki kondansatörlerin terminallerinin kısa devre olmasıyla yaşanmış olması muhtemel gerilim yükselmesi ve düşmesi olayları incelenmiştir. Bu çalışmayla beraber, gemi elektrik sistemlerinde güç kalitesini temin etmeye yönelik ekipmanların önemi incelenmiş, oluşacak muhtemel arızaların gemi kazalarına sebep olabileceği sonucuna varılmıştır.

Modeling of Electric Power Quality Problems in Bulk Carriers with Simulink

Article Submitted

02 June 2020

Article Accepted

26 August 2020

Available Online

02 November 2020

Research Article

Keywords

Electric power quality


Bulk carrier

Ship electrical system

Simulink

Abstract

The concept of power quality in ship electrical systems has become more important with the widespread use of electronic control systems and electrical drive systems. The low power quality affects the ship's electrical network performance, as well as the efficient use of energy, cruise safety and life safety at sea. In this study, the concept of electrical power quality and important power quality disorders that may arise from problems in the electrical system are examined by considering a passenger ship accident experienced as a method. This accident is modeled through the MATLAB / Simulink program to show how much sinusoidal waves deviate from what they should have been presented as power quality disturbances and it is aimed to emphasize the importance of the concept of electric power quality on ships. During the accident that resulted from the blackout of the harmonic filters installed on the passenger ship to prevent harmonic power disturbance, the disability of the harmonic filters is adapted fictionally to a bulk carrier and the harmonic filtered and unfiltered conditions are analyzed. In addition, the voltage swells and sag events that are likely to have occurred due to the short circuits of the capacitors in the filter have been examined. With this study, the importance of the equipment for ensuring power quality in ship electrical systems has been examined and it has been inferred that possible failures in this equipment may cause ship accidents.

^a  İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye.

^(*) Sorumlu Yazar /Corresponding Author : İsmail Nuri BERTİZLİOĞLU, ismail.bertizlioglu@gmail.com.

^b  İskenderun Teknik Üniversitesi, Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Hatay, Türkiye.
secil.gulmez@iste.edu.tr.

1. Giriş

Gemilerin inşa ve operasyon süreçlerinde önemli parametrelerden olan elektrik, nitelik ve niceliğinin uygunluğu anlamında literatürde elektrik güç kalitesi adı altında incelenmektedir. Literatürde “gerilim kalitesi”, “güç kaynak kalitesi” veya “temiz güç” olarak ifade edilen bu kavram, kabul edilemeyecek seviyede distürbans (bozukluk) içermeyen güç anlamına gelmektedir (Tulsky, Vanin, Tolba, Sharova ve Diab, 2016).

Bu çalışmada, bir yolcu gemisinde güç kalitesi bozuklarından olan harmonik bozukluğu gidermeye yönelik tesis edilen pasif filtrenin patlaması sonucu meydana gelen kaza, elektrik tahrikli olarak tasarlanan bir dökme yük gemisi üzerinde MATLAB/Simulink programı aracılığıyla modellenerek incelenmiştir. Çalışmanın amacı, yaşanmış bu gemi kazasında sinüzoidal dalgaların olması gerekenden ne kadar saptığını güç kalitesi bozuklukları olarak ortaya koymak ve gemilerdeki elektrik güç kalite kavramının önemini vurgulamaktır.

Gemi elektrik sistemi hem AC hem de DC gerilimlerde çalışan birçok kısımdan oluşmaktadır. Bu karmaşık sistemi oluşturan birçok cihaz için gerilim ve frekans değişimi yapıldığından güç kalitesinde farklı türde hatalar ortaya çıkabilmektedir. Önemli güç kalite bozukluklarından olan harmonik bozukluk, gerilim ve akımın temel frekansın katlarındaki bileşenleridir. İntertörler, AC/DC dönüştürücüler, ark fırınları ve transformatörler gibi lineer olmayan cihazların kullanıldığı sistemlerde harmonik bozukluk görülebilmektedir. Çalışmamıza konu olan gemideki en belirgin harmonik bozukluk kaynağı, elektrik tahrik motorlarını kontrol etmeye yarayan gerilim kaynağı invertördür.

Çalışmanın literatür araştırması kısmında, şimdiye kadar gemilerde güç kalitesi konusuyla ilgili yapılan çalışmalar ortaya konularak, bu çalışmanın literatüre olan katkısı anlatılmıştır. Çalışmanın yöntem kısmında, harmonik yük bozukluğunu gidermek için dökme yük gemisinde tesis edilen pasif filtre kapasitesinin nasıl hesaplanacağı belirtilmiş, model ve hesaplamalar kısmında ise ilgili yöntemle göre hesaplanan filtrenin patlaması sonucu devre dışı kalmasıyla meydana gelmiş olması muhtemel olan yüksek harmonik dağılım, gerilim yükselmesi ve gerilim düşmesi olayları simüle edilmiştir. Yapılan simülasyonda konvensiyonel dizel-motor tahrik sistemine sahip M/V Fellowship gemisinin elektrik tahrikli motorlarla yol aldığı varsayılmıştır. M/V Fellowship gemi elektrik sisteminin test edilebilmesi için harmonik filtre kondansatörlerinin patlaması sonucu elektrik sistem çökmesi olayına maruz kalan Queen Mary 2 gemisindeki girdiler simülasyon modeline dahil edilmiş ve simülasyon modelinin davranışı incelenmiştir.

Bu çalışmayla beraber, 2013 yılında Dünya Denizcilik Örgütü (World Maritime Organization-IMO) ve Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (Maritime Pollution-MARPOL) tarafından, yeni inşa edilen gemiler için Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (Energy Efficiency Design Index-EEDI), mevcut gemiler için ise Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (Ship Energy Efficiency Management Plan-SEEMP) kuralları kapsamında yayınlanan belgelerdeki enerji verimliliği hesabına, elektrik güç kalitesi için alınması gereken tedbirler ortaya konularak katkı sağlanmıştır.

2. Literatür Araştırması

Literatürde gemilerde güç kalitesi ve güç kalite bozukluklarıyla ilgili olan çeşitli yayınlar bulunmaktadır. Bu yayınlarda genel olarak elektrik güç kalitesi kavramı, elektrik güç kalitesi bozukluğuna yol açan ekipmanlar ve elektrik güç kalite bozukluğunun gemide yarattığı sonuçlar işlenmiştir. Mindykowski, Szmít ve Tarasiuk (2004), tümleşik karasal elektrik sistemleri ile gemi elektrik sistemlerinin farkını ortaya koymayı amaçlayarak, gemi elektrik sistemlerinin karasal sistemlere göre yüksek tüketim/üretim oranına ve jeneratörün yüksek kısa devre empedansına sahip olması sebebiyle elektromanyetik bozulmalardan daha çok etkilenebileceğini ortaya koymuşlardır. Doerry ve Clayton (2005), Amerika Birleşik Devletleri donanmasının elektrik güç kalitesi servisinin sürekliliğine önem vermesine rağmen, servis hizmetlerinin sürekliliği ve takibi için herhangi bir ölçüt geliştirmediğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda çalışmalarının amacının servis kalitesi (Quality of Service-QOS) adı verilen ve gemideki önemli elektrik üreticilerinin/tüketicilerinin servis/bakım kalitesini takipte kullanılan bir sistemin faal hale getirilmesi olduğunu ortaya koymuşlardır. Xu, He ve Zheng (2006), son yıllarda gemi şebekelerinde elektrik güç kalitesinin bozulmasının nedenlerini tartışırken, güç kalitesinin geminin ekonomik çalışması ve seyir sistemlerinin güvenilirliği için iyileştirilmesi gerektiğini vurgulamayı amaçlamışlardır. Kanellos, Perros ve Sofra (2008), güç kaynağı kalitesinin gemi elektrik sistemleri için önemli bir problem haline geldiğini belirterek, güç kalitesi bozukluklarının nedenlerine, çeşitlerine ve sonuçlarına değinmişlerdir. Ayrıca gemilerdeki ve karadaki elektrik sistemlerinin farklarını ortaya koymayı amaçlamışlardır. Su ve Hong (2015), pompaların, üfleyici ve fanların, ısıtma, havalandırma ve klimaların gemilerde arttığını, bu cihazların doğrusal olmayan yapılarından dolayı harmoniklere yol açtığını ve bu harmonikleri

azaltmak amaçlı pasif filtre kullanıldığını belirtmişler, enerji verimliliğini başarma konusundaki uluslararası mevzuatlar doğrultusunda filtre kullanımının gerekliliğini vurgulamayı amaçlamışlardır. Barros ve Diego (2016) önemli güç kalite bozukluklarını açıklayarak elektrik güç kalitesinin gemi elektrik şebekelerinde önemli bir konu olduğunu ve düşük güç kalitesinin gemilerde seyir gibi kritik sistemleri etkilediğini belirterek bu durumun gemi üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Prousalidis, Styvaktakis, Hatzilau ve Mindykowski (2017), gemilerdeki elektrik güç sistemlerinin günümüzdeki ve gelecekteki güç kalitesi problemlerini anlatarak güç kalitesinin değerlendirme süreci, karşılaşılan zorluklar ve alınan önlemler üzerinde durmuşlardır. Gemi kazalarının önlenmesi amacıyla güç kalitesinin iyileştirilmesine yönelik gerekli koşulları teknolojik çözümler ve personel yeterliliği olarak 2 ayrı kategoride incelemişlerdir. Jayasinghe, G., Meegahapola, L., Fernando, N., Jin, Z. ve Guerrero, J., (2017), gemi mikro elektrik şebekelerinin özellikle elektronik ara yüzlü yükler ve kaynakların yoğun şekilde kullanılması nedeniyle son zamanlarda yoğun ilgi gördüklerini ve elektrik tahrik motoru gibi büyük dinamik yüklerin yer aldıkları şebekelerde güç kalite konusunun önemli hale geldiğini ortaya koyarak çalışmalarında güç kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yeni yöntemleri araştırmayı amaçlamışlardır. Kumar ve Zare (2019), son yıllarda hem karada hem de denizde verimliliğin ön planda olduğu sistemlerin tercih edilmesiyle elektrikli motorların, güç dönüştürücülerinin ve güç kalitesinin önemli hale geldiğini anlatarak farklı gemi elektrik sistemlerinde dikkate alınması gereken güç kalite bozukluklarını araştırmayı amaçlamışlardır. Djararov, Grozdev, Bonev, Tsvetanov, Enchev, Varbev, Predoi ve Djararova, (2019), gemi güç sistemlerinin sınırlı kapasitede olduğunu ve bu sistemlerdeki elektrik tahrik motoru gibi yüksek tüketicilerin güç kalitesini bozabildiğini belirtip, gemideki güç üretici ve tüketicilerini matematiksel olarak modelleyip güç kalitesini incelemişlerdir. Literatürden elde edilen çalışmalarda gemilerde güç kalitesi problemlerine ve onların çözümlerine dair kullanılan yöntemlere geniş yer verildiği görülmüştür. Ancak dökme yük gemilerinin elektrik sistemi ve güç kalitesi bozukluğundan kaynaklı bir gemi kazasının incelenmesine yönelik çalışmaların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma son yıllarda giderek yaygınlaşan elektrikli tahrik sisteminin dökme yük gemilerinde de uygulanması bakımından literatürdeki ilk çalışmalarından birisi olmuştur.

3. Yöntem

Bu çalışmada, gemilerde elektrik güç kalitesi kavramını açıklayabilmek için yöntem olarak gemi kaza raporlarından detaylı bilgilerine ulaşılan bir gemi kazası, MATLAB/Simulink programıyla benzetim ve modelleme yapılmak suretiyle simule edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Gemi kaza raporundan edilen bilgilere göre, kaza 23 Eylül 2010 tarihinde, Queen Mary 2 (QM2) adlı yolcu gemisi Southampton'dan Barcelona'ya giderken meydana gelmiştir. Bu kaza neticesinde gemide elektrik sistem çökmesi gerçekleşmiş, tüm tahrik motorları durmuş ve acil durum jeneratörleri devreye girmiştir (MAIB, 2011).

Simülasyon kısmında, konvensiyonel dizel motorla yol alan bir dökme yük gemisinin düşük emisyonlu olması ve enerji verimliliği nedeniyle son yıllarda giderek yaygınlaşan elektrikli tahrik sistemiyle seyir ettiği varsayılarak, QM2 gemisinde meydana gelen kaza sırasındaki muhtemel güç bozuklukları simule edilmiştir. Yeni tasarlanan dökme yük gemisinde dizel motorla tahrik bulunmadığından, elektrik projeleri incelenen ve toplam yük hesabı yapılan dökme yük gemisindeki ana makine ile ilgili, deniz suyu soğutma pompası, ceket suyu sirkülasyon pompası, fuel oil besleme pompası, kazan besleme suyu pompası, ana makine blower, ana makine silindir yağı pompası ve yağlama yağı pompasının güçleri toplam yük hesabına katılmamıştır. MATLAB programının simülasyon modunda, anabarıdan ölçülen gerilim ve akım değerleri, hızlı fourier dönüşümüyle (fast fourier transform-FFT) bileşenlerine ayrılmış ve farklı frekans seviyelerinde sinüzoidal dalgadan ne kadar saptığı harmonikler olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca kaza sırasında patlamış kondansatörlerden dolayı meydana gelmiş olduğu varsayılan fazdan faza ve fazdan toprağa kısa devre sonucu oluşan gerilim yükselmesi ve düşmesi olayları da arıza bloğu kullanılarak simüle edilmiştir. Bu çalışmada, elektrik tahrikli olarak tasarlanan dökme yük gemisinin (M/V Fellowship) yol almak için kullandığı tahrik ünitelerinin ve elektrik üretim ünitelerinin kazaya uğrayan yolcu gemisiyle (Queen Mary 2) eşdeğer kapasitede olduğu varsayılarak simülasyonlar yapılmıştır. Elektrik tahrik motorlarının sürücüleri 6 darbeli olarak tasarlanmıştır. Dökme yük gemisindeki harmonik bozukluğu bastırmak için tasarlanacak pasif filtre için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (Wakileh, 2001);

$$Q_c = P. (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) \quad (3.1)$$

Q_c : Reaktif güç ihtiyacı (MVar)

P : Aktif güç (MW)

Φ_1 : Mevcut güç katsayısının açısı

Φ_2 : İstenilen güç katsayısının açısı

Burada kullanılan olan kondansatörün reaktansı X_c ;

$$X_c = \frac{kV^2}{Q_c} \quad (3.2)$$

X_c : Kondansatör reaktansı (MVar)

kV : Gerilim (kiloVolt)

Q_c : Reaktif güç ihtiyacı (MVar)

h_n harmoniğini bastırmak için kullanılması gereken reaktör kapasitesi X_L eşitlik (3.3)'teki gibidir;

$$X_L = \frac{X_c}{h_n^2} \quad (3.3)$$

X_L : Reaktör reaktansı (MVar)

X_c : Kondansatör reaktansı (MVar)

h_n : Harmonik derecesi

Karakteristik reaktans eşitlik (3.4)'e göre hesaplanmaktadır;

$$X_n = \sqrt{X_L \cdot X_c} \quad (3.4)$$

X_n : Karakteristik reaktans

Reaktörün direnci R ise eşitlik (3.5)'e göre hesaplanmaktadır;

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (3.5)$$

R : Reaktör direnci (Ohm)

X_n : Karakteristik reaktans (MVar)

Q : Kalite faktörü

Filtrenin kapasitesi Q_f aşağıdaki eşitlik (3.6)'ya göre hesaplanmaktadır;

$$Q_f = \frac{kV^2}{X_c - X_L} = Q_c \cdot \frac{h_n^2}{h_n^2 - 1} \quad (3.6)$$

Q_f : Filtrenin kapasitesi (MVar)

4. Model ve Hesaplamalar

Bu kısımda, kazaya maruz kalan QM2 gemisinin girdileri kullanılarak tasarlanan ve elektrik tahrikle yol aldığı varsayılan dökme yük gemisinin harmonik filtrelili ve harmonik filtresiz çalışma durumundaki harmonik dağılımı ile kaza sırasında meydana gelmiş olması muhtemel olan gerilim yükselmesi ve düşmesi olayları simule edilmiştir.

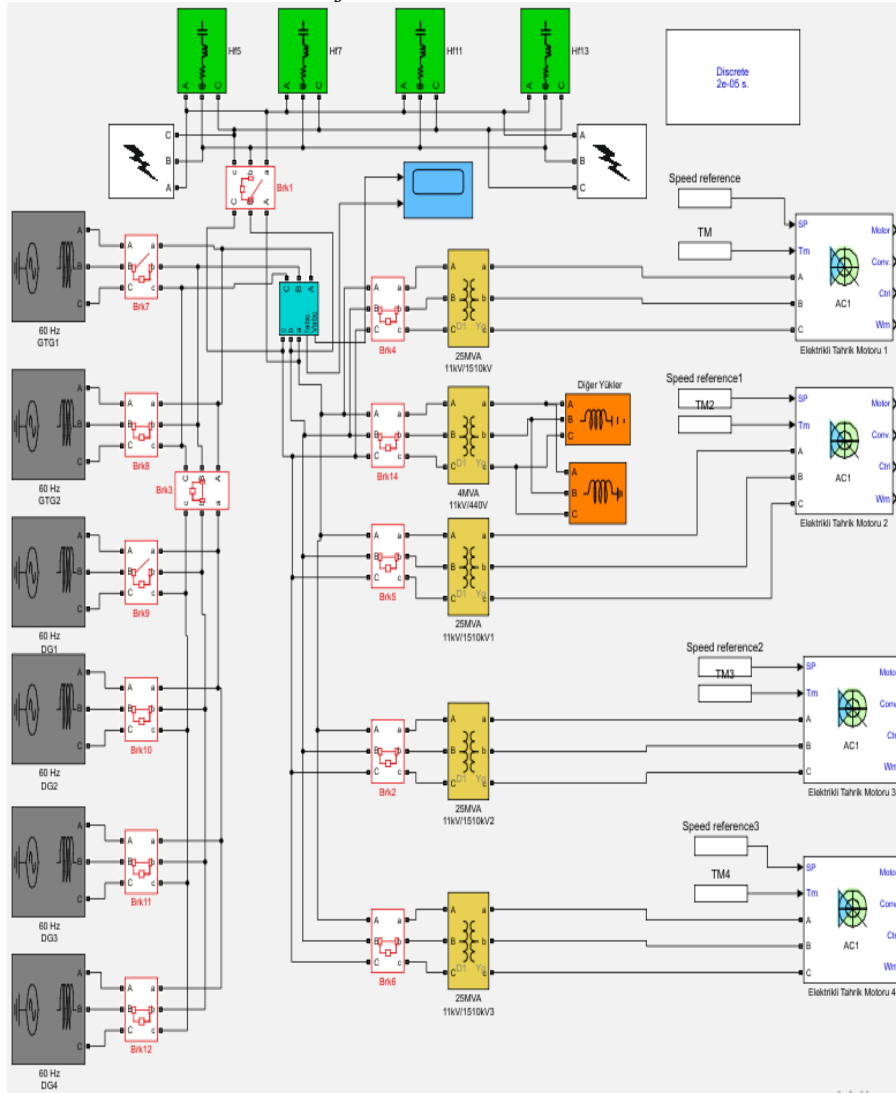
Tasarlanan modelde kullanılan önemli girdi değerleri Tablo 1'de verilmektedir. Diğer yükler değeri, M/V Fellowship gemisindeki panolardaki toplam tüketicilerin eş zamanlılık çalışması da dikkate alınarak hesaplanan yaklaşık değerleridir. Gaz jeneratörü, dizel jeneratörü, tahrik motoru ve trafo1 değerleri QM2 gemisinin verileridir. Trafo 2 değeri ise, dökme yük gemisindeki 440V gerilimdeki tüketicileri beslemek için tasarlanmıştır.

Tablo 1. Gemideki deęişkenler

Değişken Adı	Adet	Değeri
Gaz Jeneratör (GTG)	2	25 MW
Dizel Jeneratör (DG)	4	16,8 MW
Elektrik Tahrik Motoru	4	21,5 MVA
Transformatör1 11kV/1.51 kV	4	25 MVA
Transformatör2 11kV/0.44 kV	1	4 MVA
Diğer Yükler	2	1.5 MVA
Şebeke Frekansı (hz)	-	60
Şebeke Gerilimi	-	11 kV

Kaynak: (DSEC,2008; MAIB, 2011)

Şekil 1. Simulink Modeli



Şekil 1'de elektrik tahrik motorlu olarak tasarlanan dökme yük gemisinin elektrik şebekesinin simulink modeli yer almaktadır. Bu simülasyon modeli üzerinde harmonik filtre devrede iken ve harmonik filtre devre dışı iken harmonik bozukluk, gerilim yükselmesi ve gerilim düşmesi güç kalite parametreleri incelenmiştir.

4.1. Harmonik Bozukluk

Bu kısımda tasarlanan simülasyon modelindeki harmonik filtrelerin devre dışı ve devrede olduğu durumlardaki harmonik bozukluğu analiz edilecektir.

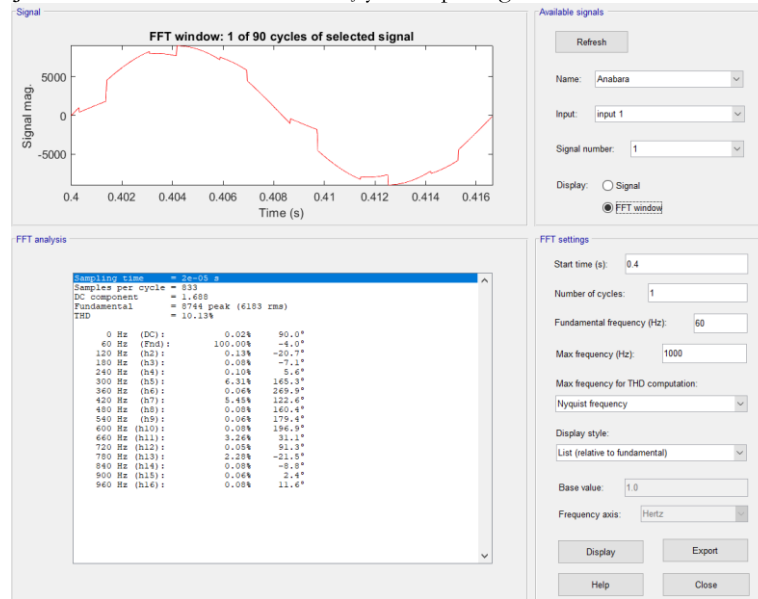
Modelde, öncelikli olarak harmonik filtrelerin devre kesicisi açık konumdayken filtrelerin devre dışı olduğu durum analiz edilmiştir.

Tablo 2. Filtresiz harmonik dağılımı

Harmonik	%THD	%h5	%h7	%h11	%h13
Gerilim h.	10,13	6,31	5,45	3,26	2,28
Akım h.	20,41	16,83	10,34	3,97	2,39

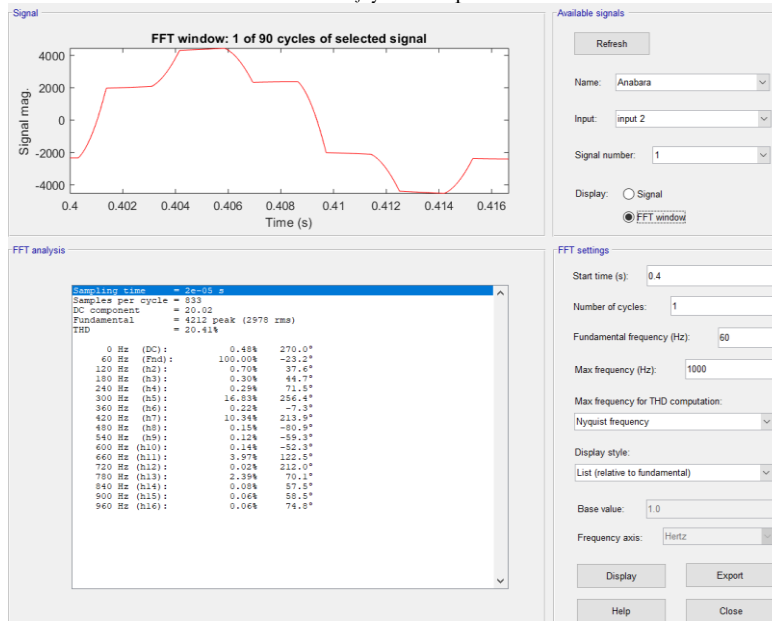
Bu duruma göre elde edilen gerilim ve akım harmonik dağılımı Tablo 2’de görülmektedir.

Şekil 2. Harmonik filtre devre dışıyken toplam gerilim harmonik bozulma



Şekil 2, tablo 2’deki gerilime ait Simulink FFT hesaplama çıktısıdır. Dalga bozuk bir sinüzoidal şeklindedir.

Şekil 3. Harmonik filtre devre dışıyken toplam akım harmonik bozulması



Şekil 3. ise tablo 2'deki akıma ait Simulink FFT hesaplama çıktısıdır. Dalga bozuk bir sinüzoidal şeklindedir.

Yüksek harmonikli dağılımın düzeltilmesi için, reaktif güç ihtiyacına göre dökme yük gemisine pasif harmonik filtreler yerleştirilmelidir. Filtre kalite faktörü Q değeri 100 olarak seçilmiş olup, harmonik filtresiz güç faktörü Φ_1 değeri 0,85 olarak kabul edilmiş ve geminin yeni güç faktörü Φ_2 'nin 0,95 olması amaçlanmıştır.

Eşitlik 1'e göre hesaplanan reaktif güç ihtiyacı: 14.02 MVar'dır.

Tablo 3. Filtre hesabı

	h5	h7	h11	h13
$X_L(\Omega)$	0,34	0,18	0,07	0,05
$R(\Omega)$	0,0171	0,0121	0,0078	0,0066
Q_f (MVar)	14,7	14,4	14,2	14,2

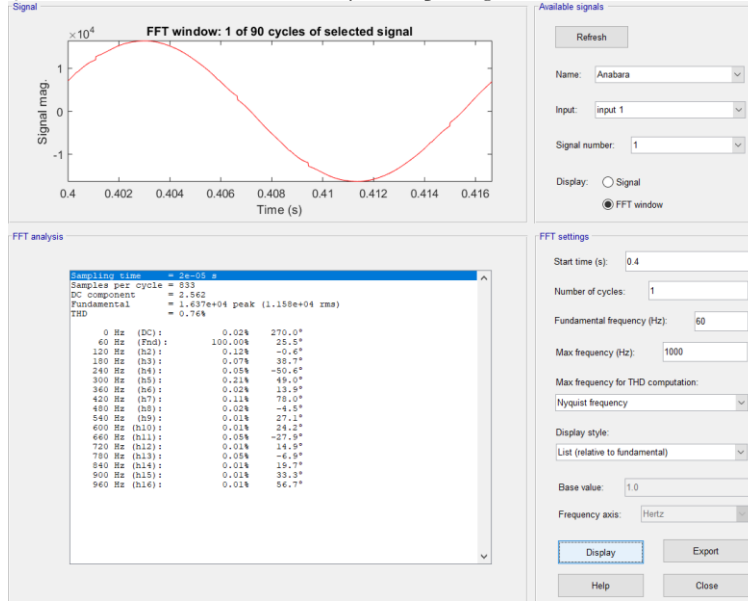
Eşitlik 2'ye göre $X_c=8,59$ Ohm hesaplandıktan sonra derecelere göre hesaplanan filtre kapasitesi, R ve C değerleri tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 4. Filtreli durumdaki harmonik dağılım

Harmonik	%THD	%h5	%h7	%h11	%h13
Gerilim h.	0,76	0,21	0,11	0,05	0,05
Akım h.	0,83	0,32	0,13	0,07	0,06

Harmonik filtreler devredeyken Simulink simülasyonu ile elde edilen harmonik dağılım tablo 4'te verilmiştir.

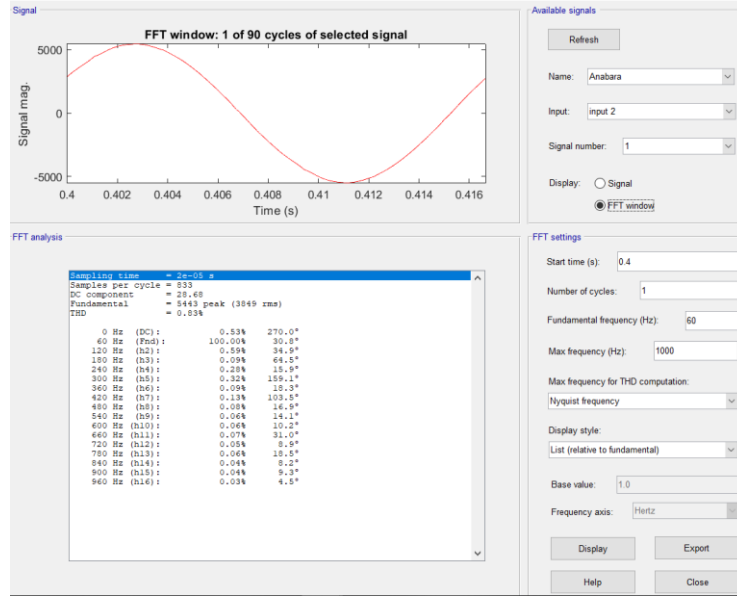
Şekil 4. Harmonik filtre devredeyken toplam gerilim harmonik bozulma



Şekil 4, Tablo 4'deki gerilime ait Simulink FFT çıktısıdır. Bu sayfanın üst kısmındaki dalga şekli filtresiz duruma göre sinüzoidal duruma yaklaşmıştır.

Şekil 5, Tablo 4'deki akıma ait Simulink FFT hesaplama çıktısıdır. Bu sayfanın üst kısmındaki dalga şekli filtresiz duruma göre sinüzoidal duruma yaklaşmıştır. Harmonik dağılım gerilim ve akım için ilgili standartlara göre uygun olarak %5'in altındadır (IEEE 2002; IEC,2007; ABS, 2006).

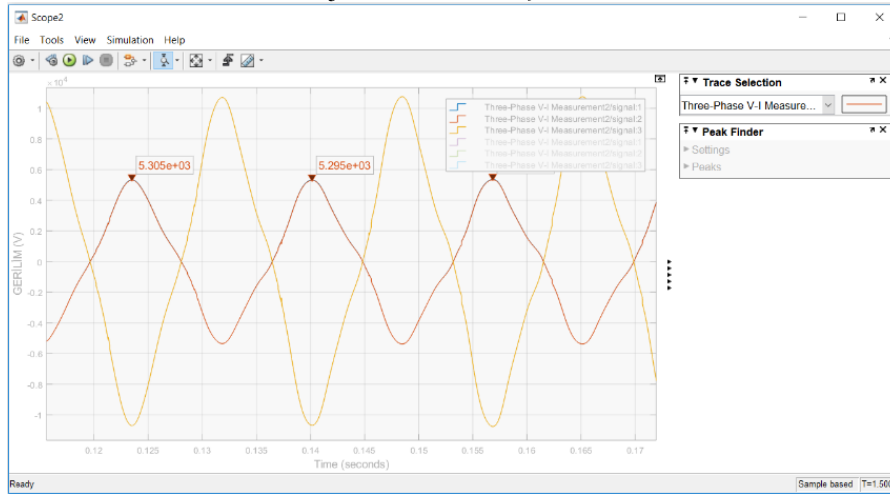
Şekil 5. Harmonik filtre devredeyken toplam akım harmonik bozulma



4.2. Gerilim Düşmesi

Bu kısımda, harmonik filtrelerin patlamasıyla oluşabilecek olan faz-faz kısa devresi sırasında meydana gelebilecek gerilim düşmesi durumu incelenmiştir.

Şekil 6. Gerilim düşmesi



Şekil 6'da Simulink'teki üç faz hata (three phase fault) bloğu kullanılarak 0,1-0,2 saniyeleri arası iki fazın kısa devre olmasıyla gerilim düşmesi meydana gelmiştir.

Tablo 5. Gerilim düşmesi

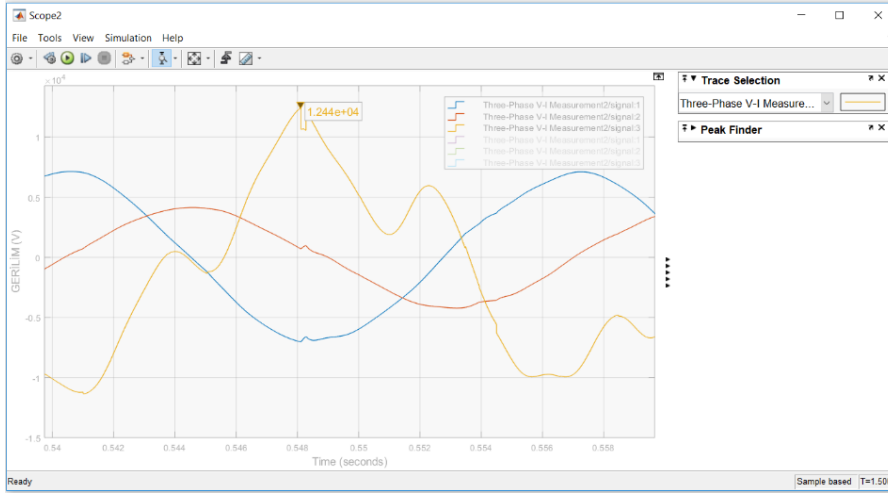
Gerilim (V_{RMS})	Düşme (V_{RMS})	Düşme Oranı (%)
6812 V	3762 V	44,7

Meydana gelen gerilim düşmesi miktar ve yüzde olarak tablo 5'te verilmiştir. Buna göre gerilimin RMS değeri 6812 V iken %44,7'lik bir düşüşle 3762 V olmuştur.

4.3. Gerilim Yükselmesi

Bu kısımda, harmonik filtrelerin patlamasıyla oluşabilecek olan faz-toprak kısa devresi sırasında meydana gelebilecek gerilim yükselmesi durumu incelenmiştir.

Şekil 7. Gerilim yükselmesi



Şekil 7’de 0,5-0,6. saniyeler arası ise tek fazdan toprağa kısa devre olmasıyla gerilim yükselmesi simule edilmiştir.

Tablo 6. Gerilim yükselmesi

Gerilim (V_{RMS})	Yükselme (V_{RMS})	Düşme Oranı (%)
6812 V	8822	29,5

Meydana gelen gerilim yükselmesi miktar ve yüzde olarak tablo 6’da verilmiştir. Buna göre gerilimin RMS değeri 6812 V iken %29,5’lik bir yükselişle 8822 V olmuştur.

5. Sonuç

Bu çalışmada, harmonik filtrelerin patlaması sonucu sistem çökmesiyle (blackout) sonuçlanan yolcu gemisi kazası sırasında harmonik filtrelerin devre dışı kalma durumu kurgusal olarak bir dökme yük gemisine uyarlanarak, harmonik filtreli ve filtresiz durumlar ile gerilim düşmesi ve yükselmesi olayları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, kaza sırasında filtrelerin devre dışı kalmasıyla beklendiği şekilde 6 darbeli sürücülerle sürülen elektrik tahrik motorlarının yer aldığı gemi şebekesi gerilim ve akımında, özellikle 5., 7., 11. ve 13. harmonik seviyelerinde yoğun bozukluk oluşmuştur. Filtrelerin kaza sırasında devre dışı kaldığı durumdaki harmonik dağılım da, kritik cihazlardan oluşan izole bir elektrik sistemi olan dökme yük gemisi elektrik sisteminin harmonik filtresiz olarak güvensiz durumda olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca kazalardan kaynaklı olarak, gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesi gibi güç kalite bozuklukları da meydana gelebilmekte ve durum sistem çökmesi olayıyla sonuçlanabilmektedir.

Yüksek harmonik bozulum, üretilen elektrik enerjisinin verimli kullanımı hususunda önemli bir engel teşkil etmekle birlikte, farklı güç kalitesi bozukluklarına da yol açabilmektedir. Gemilerde tesis edilen harmonik filtrelerin etkin ve kesintisiz olarak kullanılabilmesi için, filtrelerin belirli periyotlarla bakımı ve bozunuma uğrayan kondansatörlerin değişimi, kapsamlı olarak hazırlanan prosedürler ve talimatlar ile ilgili mürettebatın bu konuda iyi derecede eğitilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca harmonik dağılımın çevrimiçi olarak izlenebilmesi ve bu sayede gemi otomasyon sisteminde limitlerin tanımlanıp limit aşımı esnasında otomasyon sisteminin alarm vermesi arızaya derhal müdahale etme imkanı verecektir.

Bu çalışmayla beraber, gemi elektrik sistemlerinde güç kalitesini temin etmeye yönelik ekipmanların önemi ortaya konulmuş, arıza, yangın vb. durumların maddi ve manevi olarak ciddi sonuçlara neden olabilecek kazalara yol açabileceği görülmüştür.

Elektrik güç kalitesi, karasal şebekelerde olduğu gibi gemi elektrik şebekelerinde de her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Elektrik sisteminden kaynaklı kazaların önüne geçmek için gemilerin tasarım aşaması, üretim sonrası testleri ve işletme süreçleri boyunca elektrik güç kalitesine dair koruyucu elemanların seçimi titizlikle yapılmalı, takibi yapılmalı ve gereken yatırımlar yapılmalıdır.

Gelecekte, tüm gemi tiplerini kapsayacak şekilde bir gemi sistemini güç kalite bozukluklarının sonuçlarından koruyacak “arıza tahmin edici ve önleyici” sistemlerin anlatıldığı bir çalışmanın hazırlanması faydalı olacaktır.

Kaynakça

- ABS. (2006). *Control Of Harmonics In Electrical Power Systems*. American Bureau of Shipping. 191.
- Agarwala, N. and Nair, K.. (2014). Aspects and Impact Of Power Quality Onboard Ships. *8th International Conference on capacitors*. Delhi.
- Barros J. and Diego R.I. (2016). A review of measurement and analysis of electric power quality on shipboard power system networks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 665-672.
- Djagarov, N., Grozdev, Z., Bonev, M., Tsvetanov, D., Enchev, G., Varbev, Predoi, G. and Djagarova, J. (2019), Power Quality Investigation on a Ship's Power System. *International Journal Of Circuits, Systems And Signal Processing*, 13.
- Doerry N. and Clayton D. (2005). Shipboard Electrical Power Quality Of Service. *Naval Engineers Journal*, 119(2), 25-34.
- DSEC. (2008). *Wiring Diagram of Bulk Carrier*. Total Ship Building Engineering and Resourcing Company.
- International Electrotechnical Commission. (2007). *IEC61000-4-7-2007*.
- Jayasinghe, G., Meegahapola, L., Fernando, N., Jin, Z. and Guerrero, J. (2017), Review of Ship Microgrids: System Architectures. Storage Technologies and Power Quality Aspects. *Inventions 2017*. <https://doi.org/10.3390/inventions2010004>.
- Kumar, D. and Zare, F. (2019). A Comprehensive Review of Maritime Microgrids: System Architectures, Energy Efficiency, Power Quality and Regulations. *IEEE Access Journal*, 7.
- MAIB. (2011). *Report on the investigation of the catastrophic failure of a capacitor in the aft harmonic filter room on board RMS Queen Mary 2 while approaching Barcelona 23 September 2010*. Marine Accident Investigation Branch.
- Mindykowski, J. (2017). Power quality on ships: Today and tomorrow's challenges. *EPE 2014*, 1-18, <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2014.6969860>.
- Mindykowski, J., Szmít, E. and Tarasiuk, T. (2004). Electric power quality and ship's safety. *Polish Acad. Sci., Branch in Gdańsk Mar. Technol. Trans.*, 15, 351-360.
- Monem, O.A. (2019). Harmonic mitigation for power rectifier using passive filter combination. *IOP Conference Series Materials Science and Engineerin.*, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/610/1/012013>
- Naletina, D. and Perkov, E. (2017). The Economic Importance Of Maritime Shipping With Special Reference On Croatia. *19 th International Scientific Conference on Economic and Social Development*. Melbourne.
- Peydayesh, M. and Baldick, R. (2019). The Effects of Very Fast Response to Frequency Fluctuation. *31st USAEE/LAEE North American Conference*. Austin.
- Prousalidis, J., Styvaktakis, E., Hatzilau, I.K., Kanellos, F., Perros, S. and Sofras, E. (2008). Electric Power Supply Quality in Ship Systems-An Overview. *International Journal of Ocean Systems Management*, 68-83. <https://doi.org/10.1504/IJOSM.2008.017782>.
- Schipman, K. and Delincé, F. (2016). The Importance of Good Power Quality. *ABB Power Quality Products*. Belgium.
- Su, C. and Hong, C. (2013). Design of passive harmonic filters to enhance power quality and energy efficiency in ship power systems. *49th IEEE/IAS Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*. Stone Mountain, GA, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICPS.2013.6547328>.
- Szweda, M. (2009). Dwt Analysis Of Selected Transient And Notching Disturbances. *XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology*. Lisbon, Portugal, 882-886.
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2002). *IEEE Standard. 45:2002*.
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2002). *IEC 60092-101:2002*.
- UNCTAD. (2018). Review of Marine Transport. Trade And Deveopment Report 2018.
- Wakileh G. (2001). Power Systems Harmonics. Springer Engineering Online Library. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04343-1>.
- Xu, X., He, M. and . Zheng, H. (2006). Study of Electric Power Quality Improvement in Ship Networks. *2006 1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. Singapore, 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2006.257201>.