



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Enerji Kalitesi Açısından Harmonikli Bir Sağlık Tesisinin İncelenmesi

Özkan ALKAN ^{a*}, Salih TOSUN ^a, Özge ALKAN ^b

^a Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zknkn81@gmail.com

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinde ve tesislerinde enerjinin kalitesini belirlemede temel unsurlardan biride harmoniklerdir. Olumsuz etkilere neden olan bu harmoniklerin etkilerin yok edilmesi gerekmektedir. Elektrik tesislerinde veya işletmelerinde harmoniklerin etkilerini sonlandırmak veya sınırlamak amacıyla pasif güç filtreleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada tesis olarak önemli bir kurum olan hastane birimi ele alınmıştır. Yapılan harmonik analizi sonucu, tesis bilgisayar ortamına taşınarak MATLAB/Simulink'de modellenmiştir. Benzetim çalışması sonucu pasif filtre tasarlanarak bozucu etkiler elimine edilmiştir. Tasarımlardan elde edilen sonuçların analizi incelendiğinde; elde edilen sonuçlar Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) harmonik limitleri içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji kalitesi, Harmonik analizi, Pasif filtre, Modelleme

Investigation of Harmonic Health Facility by Energy Quality

ABSTRACT

Harmonics in determining the quality of energy in electrical power systems and installations are important. These harmonics which cause adverse effects must be eliminated. Passive power filters are widely used to eliminate or limit the effects of harmonics in electrical installations or operations. In this study, the hospital facility which is an important institution was taken up. As a result of the harmonic analysis, the plant is modeled in MATLAB / Simulink by moving to the computer environment. As a result of simulation, a passive filter was designed and the destructive effects were eliminated. When the analysis results obtained from the designs are examined, it is observed that the harmonic limits are within the The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) standards.

Keywords: Energy quality, Harmonic analysis, Passive filter, Modeling

I. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile güç elektroniği barındıran sistemlerin kullanımının artması enerji sistemlerinde sorunlara neden olmuştur. Kayıp, gerilim düşümü, rezonans durumları, güç faktörü değişimi gibi problemlere sebep olan harmonikler akım ve gerilimi bozan etkilerdir. Harmonik kaynakları temel olarak; güç elektroniği ekipmanları, kesici, ayırıcı, sigortalar, harmonik rezonans durumları olarak sıralanabilir [1].

Elektrik enerji sistemlerini olumsuz etkileyen harmoniklerin elimine edilmesi veya etkisinin azaltılmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, harmonik kaynağı içeren elemanların imalat esnasında tasarımının harmonik üretmeyecek veya minimum seviyede üretecek şekilde tasarlanması veya şebekeye entegrasyonunun uygun şekilde yapılmasıdır. İkinci yöntem ise, harmoniklerin meydana geldikten sonra elimine edilmesidir. Bu yöntemi, harmoniklerin etkilerin filtrelenmesi olarak da adlandırabiliriz [2].

Günümüzde elektrik sistemlerimize gelişen teknoloji ile beraber yeni yükler eklenmektedir. İlave yükler iletim ve dağıtım şebekelerine ek yüklenmelere sebebiyet vermektedir. Bu yüklenmeler şebekeye bağlı diğer sistemleri etkileyerek zarar görmelerine neden olmaktadır. Güç kalitesi sorunları, hassas ekipmanın arızalanmasına neden olan voltaj, akım veya frekans dalgalanmalarına neden olmaktadır [3]. Tüketilen enerjinin istenilen kalitede olması sistemler için oldukça önemlidir. Güç kalitesi, enerjinin aralıksız sağlanması, gerilim ve frekans kararlılığı, güç faktörünün bire yakın olması, fazlar arası gerilim dengesinin sağlanması, akım ve gerilimdeki harmoniklerin sınır değerlerde tutulması gibi kriterlerin göz önüne alınması olarak tanımlanabilir. Yarı iletken elemanlara sahip alıcıların ve doğrusal olmayan (nonlinear) yüklerin cihazların güç kalitesinin bozulmasında payı büyüktür. Bu tür yükler, enerji kalitesini azaltmasının yanında yeni nesil elektronik cihazların güç devrelerinde oluşabilecek bozulmalara karşı duyarlılığını oldukça etkilerler. Nonlinear yükler, harmonikler kaynaklar içerdiğinden kalitesi düşük enerjiye neden olurlar [4]. Nonlinear yüklerden kaynaklanan ve sistemi etkileyen harmonik akım katkısının harmonik gerilimi bileşenlerinin bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir [5]. Sistemdeki doğrusal olmayan yüklerin artması nedeniyle harmonik analizi yapmak gerekmektedir. Ardından gerilim ve akım profilleri yük davranışından çok etkilendiğinden, bu tür analizleri gerçekleştirmek için modellemeler çok önemlidir [6].

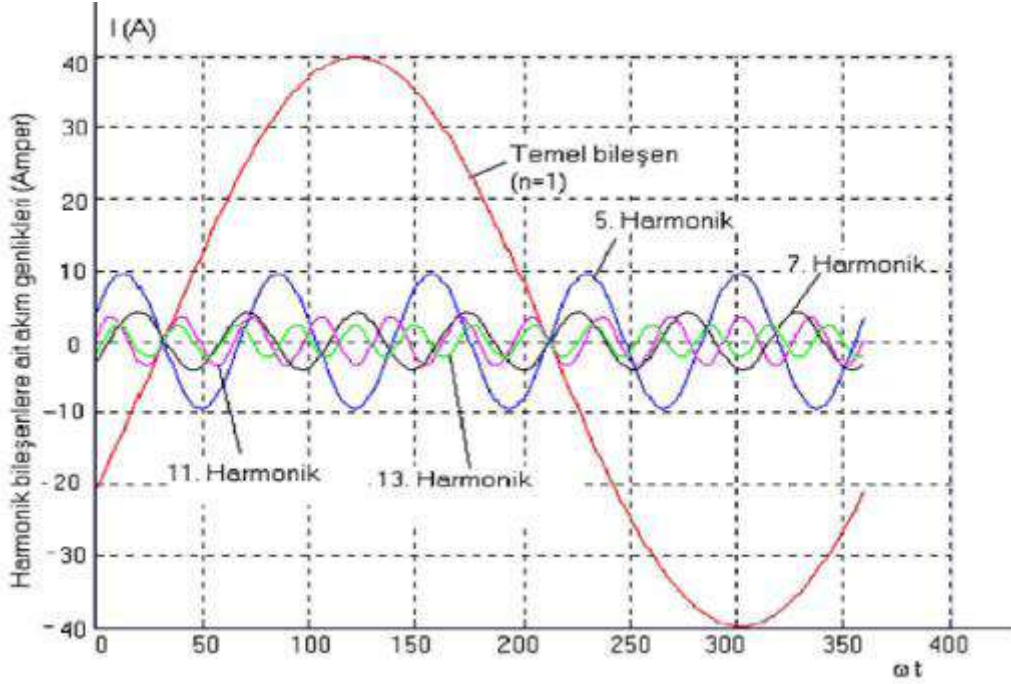
Günümüz şartlarında güç kalitesi ifadesini en üst düzeye çıkarmak için optimum bir pasif filtre tasarım yaklaşımı gereklidir. Ayrıca, yükün güç kalitesine uygun bir aralıkta tutulması da önem arz etmektedir [7]. Endüstriyel ve büyük ticari tesisler için paralel pasif filtreler genellikle beklendiği kadar etkili değildir ve seri pasif filtre kullanımı işletmeler açısından optimum fayda sağlamaktadır [8]. Pasif filtreler harmonikleri azaltmada ekonomik ve etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir [9]. Filtreleme işleminde kullanılan pasif filtreler bu özelliğinden dolayı harmonik içeren enerji sistemi modeline entegre edilerek MATLAB simülasyon programı ile filtrenin sistemdeki etkileri kolaylıkla gözlemlenebilir [10].

Bu yapılan çalışmada; hastane güç sisteminden, harmonik analizatörü yardımıyla gerçek ölçüm verileri toplanmıştır. Elde edilen bu veriler bilgisayar ortamında modellenerek matematiksel analizi yapılmıştır. Sisteme uygun pasif filtre tasarımı yapılarak, harmoniklerin sistem üzerine etkileri harmonik standartlar göz önüne alınarak yok edilmiş ve ayrıntılı olarak incelenmiştir.

II. KULLANILAN MATERYAL VE YÖNTEM

A. HARMONİK ANALİZİ

Elektrik güç sistemlerinde gerilimin düzgün ve sabit frekanslı olarak üretilerek tüketicilere iletimi kullanıcıların şebekeye bağlayacağı cihazların en az sorunla ve yüksek verimde çalışması açısından önemlidir. Fakat bazı bozucu sebeplerden dolayı şebeke üzerine ve sistemin temele dalga formunda Şekil 1'deki gibi temel frekansın katları şeklinde harmonik etkiler oluşmaktadır [11].



Şekil 1. Harmonik bileşenler

Sistemdeki enerji kalitesini belirlemede en önemli göstergelerden biri olan, Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) gerilim ve akım büyüklükleri için;

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \quad (1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (2)$$

İfadeleri ile bulunur.

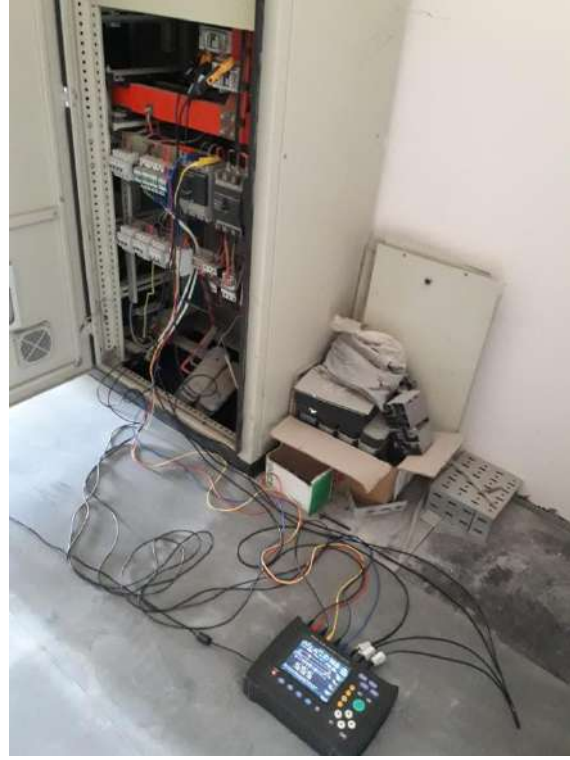
Denklem 1'e ve Denklem 2'ye göre V_n ve I_n etkin değerler olmak üzere; THD, harmonik büyüklüklerin etkin değerinin temel değere oranıdır [12].

Denklem 1’de görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır. THD genellikle yüzde olarak ifade edilir. IEEE Standard 519-1992’ye göre maksimum akım ve gerilim THD oranları %5 ve %8 arasında olmalıdır [13].

Bu oranlar, THD harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklindeki değişimin tespit edilmesinde kullanılır. Temel frekanstan meydana gelen tam bir sinüs dalga formu için THD sıfırdır.

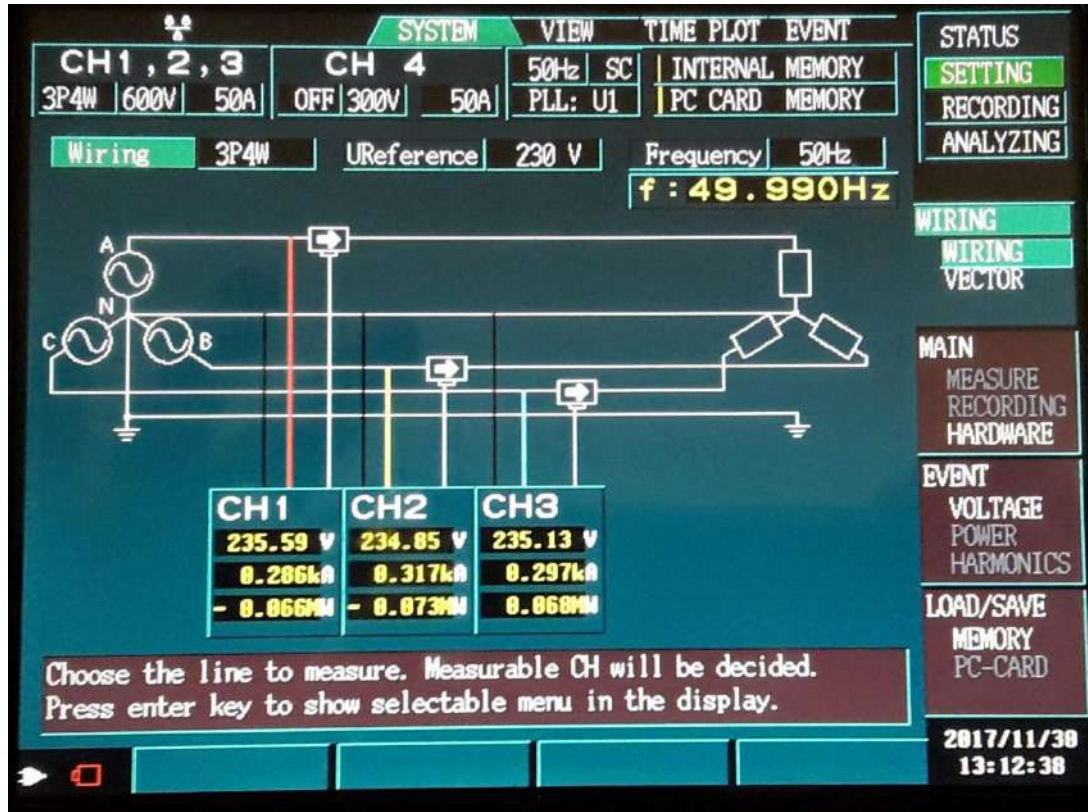
Harmoniklerin değerlerini belirli aralıklarda tutmak amacıyla IEEE tarafından bazı tedbirler ve sınırlamalar getirilmiştir. En önemli sınırlama ise harmonik değerlerin %5 ve %8 arasında olmasıdır [12].

Ölçüm yapılan enerji tesisi sağlık kuruluşu olup, kurulu gücü 1600 KVA’dır. Şekil 2’de hastane şebekesine analizatör bağlantısı görülmektedir.



Şekil 2. Analizatörün sisteme bağlantısı

Sisteme bağlanan HIOKI 3196 model analizatör ayarları Şekil 2’deki gibi üç faz yıldız bağlantı ve diğer ekipmanların uygun yerlere bağlanmasıyla ölçme işlemi gerçekleştirilmiştir.



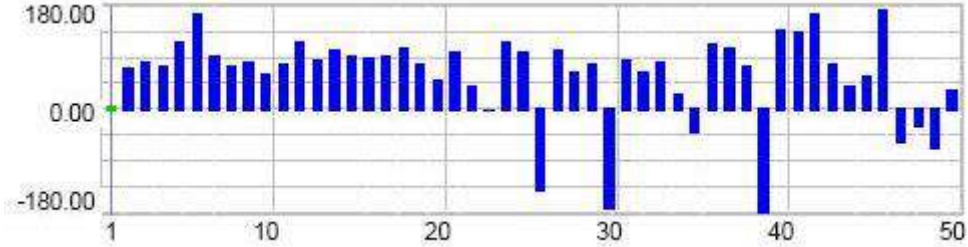
Şekil 3. Analizator ekran görüntüsü

Şekil 3'te görüldüğü gibi analizator bağlantı ve ayarları yapılarak iki hafta süreyle 30 saniye aralıklarla ölçüm alınmıştır. Bu ölçüm neticesinde harmonik etkilerin sınırlandırılması amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu ve harmonik büyüklükler, akım için şöyledir:

Tablo 1. Harmonik analizi sonucu elde edilen veriler

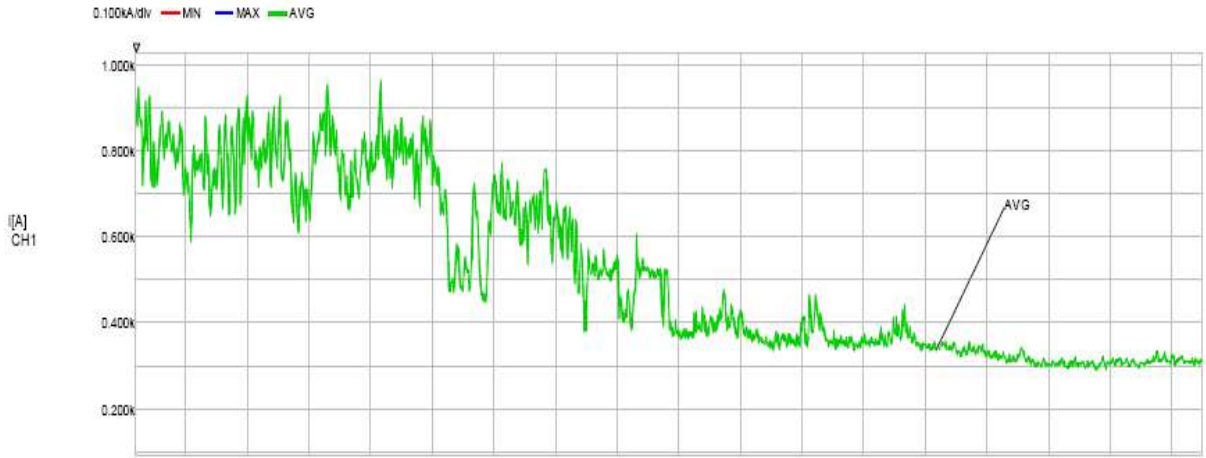
Harmonik Sırası	Akım (KA)	Harmonik Sırası	Akım (KA)	Harmonik Sırası	Akım (KA)	Harmonik Sırası	Akım (KA)
1	0,769	14	0,000	27	0,000	40	0,000
2	0,001	15	0,003	28	0,000	41	0,000
3	0,068	16	0,000	29	0,001	42	0,000
4	0,001	17	0,004	30	0,000	43	0,000
5	0,014	18	0,000	31	0,001	44	0,000
6	0,000	19	0,002	32	0,000	45	0,000
7	0,018	20	0,000	33	0,000	46	0,000
8	0,000	21	0,001	34	0,000	47	0,001
9	0,009	22	0,000	35	0,001	48	0,000
10	0,000	23	0,002	36	0,000	49	0,001
11	0,009	24	0,000	37	0,001	50	0,000
12	0,000	25	0,001	38	0,000	THD	%9,56
13	0,006	26	0,000	39	0,000		

Tablo 1’de elde edilen veriler incelendiğinde THD akım yüzdesinin IEEE standartlarının üzerinde olduğu görülmektedir. Harmonik değerleri incelendiğinde %5-%8 arasında bir değere indirmek için filtre tasarımı yapılarak ilgili sağlık kuruluşunun enerji kalitesi artırılmalıdır. Bundan dolayı öncelikle simülasyon programında kurulan bara sistemine güç değerleri ve analizatör yardımıyla alınan gerçek harmonik akım değerleri de girilerek sistemin simülasyonu yapılır. Sonrasında uygun pasif filtre tasarımı yapılarak harmonik seviyesi istenen değerlere indirilir.



Şekil 4. Harmonik analizi sonucu elde edilen toplam harmonik bar grafiği

Tablo 1’de alınan sayısal veriler Şekil 4’ deki bar şeklinde de ifade edilebilir. Grafik incelendiğinde elli harmonik değeri açısıl olarak ifade edilmiştir. Bazı geçici durumlar nedeniyle açısıl değişimler grafikte görülmektedir. Haftalık alınan ölçüm sürecinde elde edilen grafiğin bir toplam harmonik distorsiyonu verisi olduğu düşünüldüğünde kesinti yada anlık harmonik rezonans durumlarının sistemi etkilediği görülmektedir.



Şekil 5. Bir faza ait iki haftalık akım ortalama grafiği

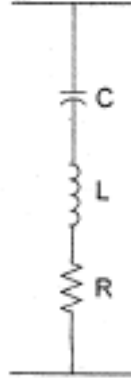
Şekil 5’de görüldüğü gibi haftalık ölçüm hastane güç sisteminin değişken yapısını göstermektedir. Bu akım dalgalanmalarının iki haftalık bazda gece-gündüz, mevsimsel ve haftanın günlerine göre değişebildiği gözlenmiş olup; harmonik etkilerinde buna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

B. PASİF FİLTRE, FİLTRE TASARIMI VE UYGULAMASI

Pasif filtreler birbirine seri şekilde bağlanan direnç, bobin ve kondansatör elemanlarında oluşur. Bu filtre tekniğinin amacı harmoniklerin olduğu frekans değerlerine denk gelecek olan rezonans

noktasındaki bobin ve kondansatör değerlerini belirleyerek her rezonans frekansına denk gelen pasif filtre işlemini yapmaktır. Filtre tasarımında tek ayarlı filtre kullanılmıştır [14].

Tek ayarlı filtreler pasif filtre çeşitlerinden olup, birbirine seri bağlı direnç bobin ve kondansatör elemanlarından oluşurlar ve sadece tek frekans değeri için filtre özelliği vardır. Bağlandığı devrede düşük empedans etkisi ile harmonik değerinin eliminasyonunu sağlarlar. Filtre tasarımı ve tek ayarlı filtre tasarım denklemleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 6. Tek ayarlı pasif filtre

Bir filtre tasarımında; harmonik akım eğrileri, toplam harmonik bozunum değeri, sistemin reaktif gücü, diğer kaynakların etkisi gibi kriterler göz önünde bulundurulur.

Şekil 6'da görülen tek ayarlı filtre tasarımında aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplama yapmak mümkündür.

Empedans değeri Z Denklem 3 ile hesaplanır.

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (3)$$

Filtrenin uygulanacağı frekans değerinde rezonans anındaki endüktif reaktans ωL ve kapasitif reaktans ωC olmak üzere; denkleminin sanal kısmı sıfıra eşit olacağından direnç değeri R , empedansa eşit olur.

Filtre uygulanacak rezonans anındaki frekans değeri f_r aşağıdaki Denklem 4 ile L endüktans ve C kapasite değerleri hesaplamaya katılarak bulunur.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

İstenen harmonik değeri sırası n olmak üzere; endüktif ve kapasitif reaktans değerleri aşağıdaki Denklem 5 ve Denklem 6 ile hesaplanır.

$$X_{Ln} = n\omega L \quad (5)$$

$$X_{Cn} = \frac{1}{n\omega C} \quad (6)$$

Rezonans anında ise;

$$X_{Ln} = X_{Cn} \quad (7)$$

Filtreyi oluşturan direnç, bobin ve kondansatör değerleri şu şekilde belirlenir:

Kondansatör kapasitesi;

$$Q_c = w \cdot C \cdot U^2 \quad (8)$$

Denklem 8 ile hesaplanır. Paralel filtre kol sayısına “k” ile ifade edecek olursak bir filtre kapasitesi;

$$C_r = C/k \quad (9)$$

olur. Kalite faktörü X_{Cn} , n. sıradaki harmoniğe ait kapasitif reaktans değeri olmak üzere; rezonans anındaki reaktans değerlerinin dirence oranıdır ve Denklem 10 ile ifade edilir:

$$X_{Cn} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{X_{Lr}}{R} = \frac{X_{Cr}}{R} \quad (10)$$

Direnç değeri;

Bu değer küçük bir değere sahip olduğundan genelde seçilen herhangi bir değerden oluşur. Ne kadar küçük seçilirse filtrenin kalite faktörü o kadar fazla olur. Eğer bir Q kalite faktörü verilip endüktans ve kapasite değerleri istenir ise Denklem 11 ve Denklem 12 kullanılır:

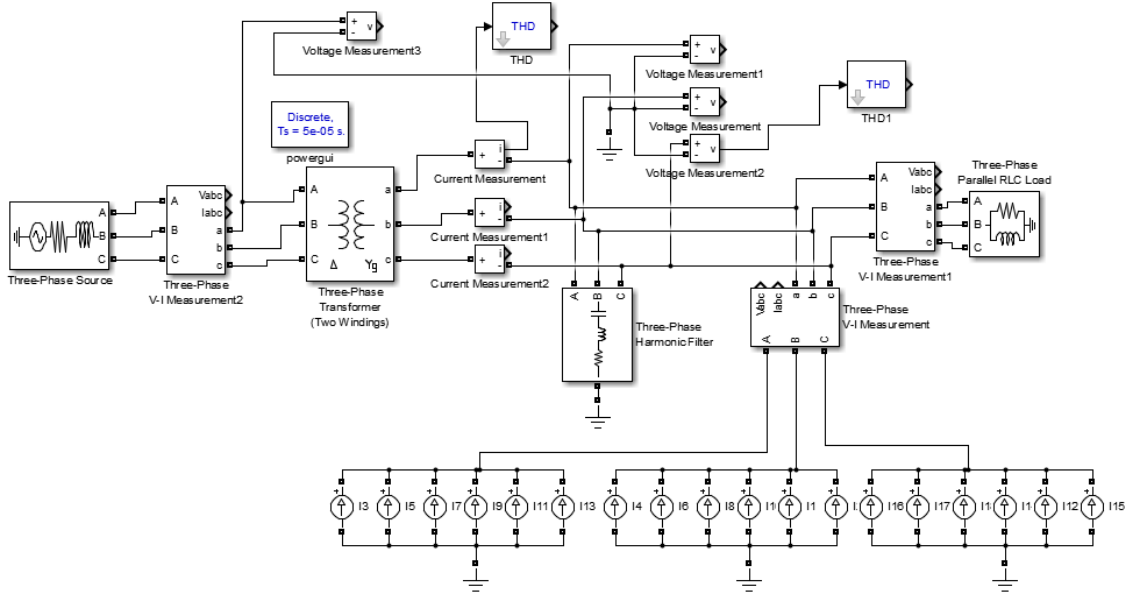
$$L_r = \frac{X_{Lr}}{2\pi f_r} = \frac{R \cdot Q}{2\pi f_r} \quad (11)$$

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r \cdot X_{Cr}} = \frac{1}{2\pi f_r \cdot R \cdot Q} \quad (12)$$

Rezonans frekansı f_r ise L_s kaynak özendüktas değeri ve L endüktans olmak üzere Denklem 13 ile ifade edilir [14]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{(L_s + L) \cdot C}} \quad (13)$$

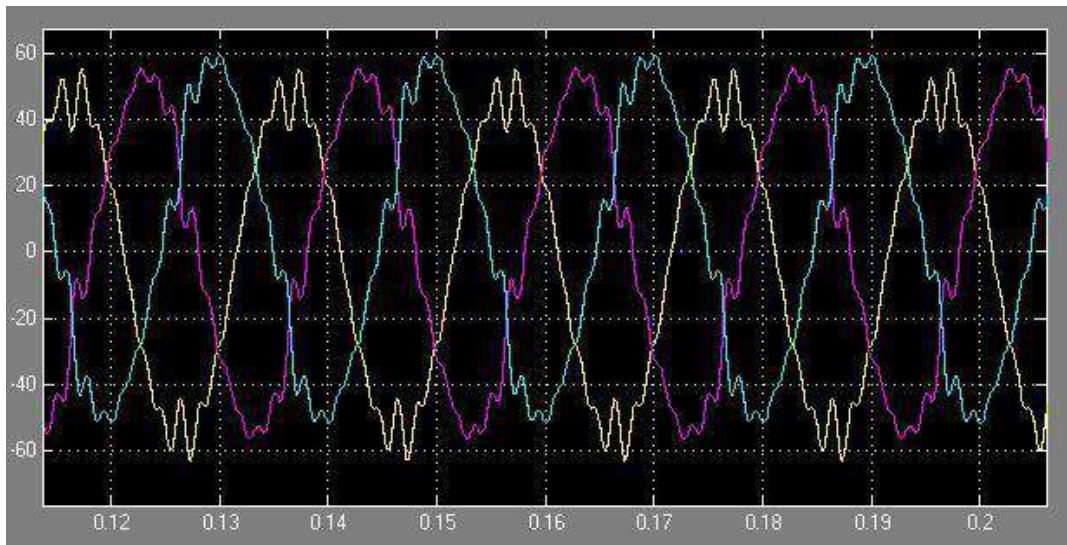
C. SİMÜLASYONU YAPILAN SİSTEM



Şekil 7. Simülasyon programında kurulan sistem

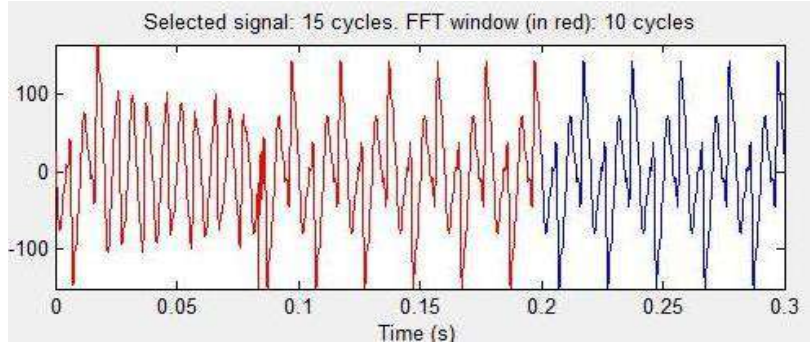
Şekil 7’de harmonik analizi yapılan hastane sistemine ait modelleme, harmonik kaynakları ile birlikte görülmektedir. Transformatör ve yük değerleri göz önüne alınarak, harmonik etkileri akım kaynağını temsil edecek şekilde sisteme eklenmiştir. Sonrasında harmoniklerin bozucu etkilerini elimine edecek olan filtre tasarımına gidilerek enerji kalitesinin artırılması amaçlanmıştır.

Harmonik analizi yapılan hastane güç sisteminden elde edilen Tablo1 ‘deki veriler göz önüne alınarak %9.56 seviyesinde olan THD değeri bu benzetim çalışması ile IEEE standartlarına göre %5-%8 arasına indirilmeye çalışılmıştır.

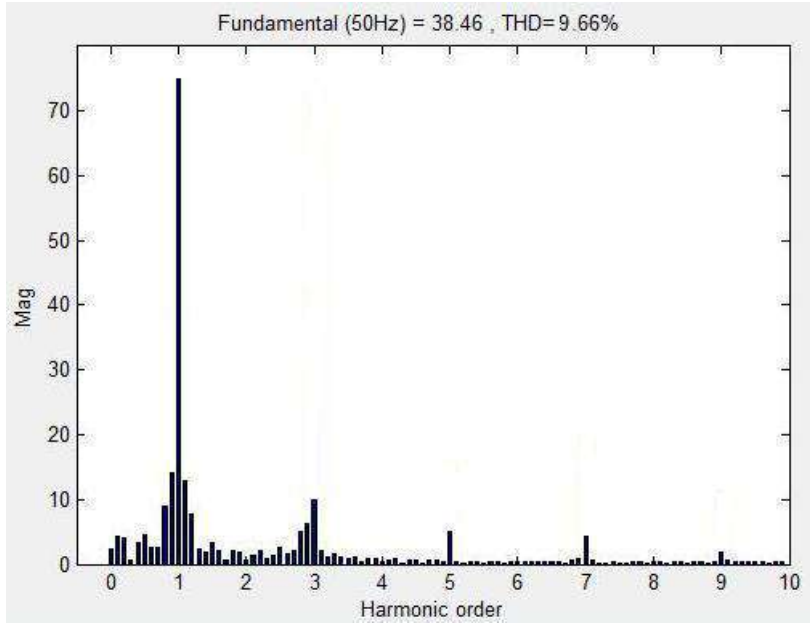


Şekil 8. Akım harmoniklerinin scope görüntüsü

Tablo 1 verilerinin simülasyon programına aktarılması sonucu elde edilen akımın sinüs eğrisi ve harmoniklerin etkileri Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 9. Akım harmoniklerinin simülasyon programında FFT analizi



Şekil 10. Akım harmoniklerinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi

Şekil 9’da simülasyon programında yapılan analiz sonucu ve Şekil 10’da aynı analize ait harmonik etkilerin bar grafik ile ifadesi yer almaktadır.

D. FİLTRENİN SİSTEME UYGULANMASI

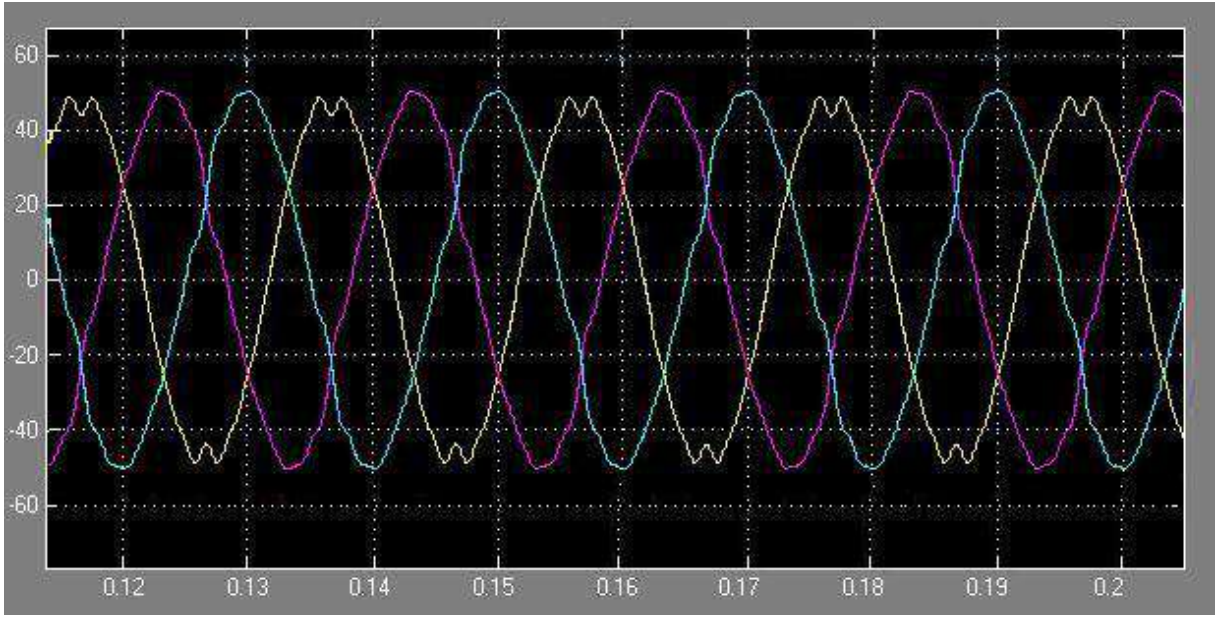
Mevcut hastane sisteminin reaktif gücü 3298 VAR, aktif gücü 189 KW’tır. Sistemin güç değerleri analizör yardımıyla tespit edilmiştir. Bu değer filtrelerin bir diğer fonksiyonu olan kompanzasyon içinde önemlidir[5].

Reaktif güç değerini kullanarak ihtiyaç duyduğumuz kapasitör reaktansı Denklem 12’den kolaylıkla bulunabilir. Daha sonra direnç ve endüktans değerlerini hesaplayabiliriz.

Tablo 2. Pasif filtre değerleri

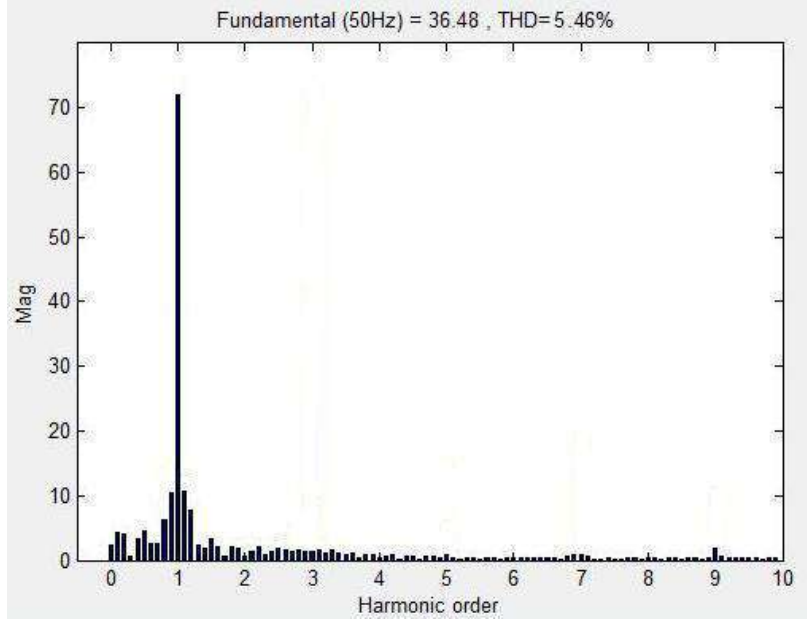
Harmonik	C (Farad)	R (Ohm)	L (Henry)
3th	$2,85656.10^{-9}$	10612,492	394,107
5th	$2,85656.10^{-9}$	$2,85656.10^{-9}$	141,879
7th	$2,85656.10^{-9}$	31837,483	506,709

Elde edilen filtre değerleri simülasyon programı üzerinde uygulanarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Şekil 3'te ki filtresiz harmonik grafiği filtre eklendikten sonra daha düzgün hale gelmiştir.



Şekil 11. Akım harmoniklerinin filtrelenmiş halinin scope görüntüsü

Şekil 11'de tasarlanan filtrenin sisteme entegrasyonu sonucu üç faza ait grafik görülmektedir. Sinüs eğri üzerindeki dalgalanmaların azaldığı gözlenmektedir. Fazlardan birine ait harmonik bozulmanın filtreleme işleminden sonra devam etmesinin temel nedeni; toplam harmonik distorsiyonun sifıra indirilememesi ve fazlara bağlı olan harmonik etkilerin değişkenlik göstermesidir.



Şekil 12. Akım harmoniklerinin filtrelenmiş halinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi

Şekil 10’da ki 3, 5 ve 7 numaralı harmoniklerin filtreleme işlemi sonucunda elimine edilmesiyle Şekil 12’de oluşan bar grafik elde edilmiştir.

III. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle bir sağlık kuruluşu olan Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi enerji tesisi harmonik analizi iki haftalık sürekli olarak kayıt altına alınmak sureti ile ve ölçümler tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelenerek harmonik akım değerinin IEEE standardına uygun olmayıp % 9,56 seviyesinde olduğu görülmüştür. Harmoniklerin bozucu etkileri düşünüldüğünde ve hastane altyapısının harmonik kaynaklar barındırabileceği düşünüldüğünde; uygun filtre tasarımına gidilmesi gerekmektedir. Mevcut enerji sistemi MATLAB üzerinde modellenerek harmonik kaynaklar sisteme eklendikten sonra; sistem için uygun olan tek ayarlı pasif filtre tasarımı yapılmıştır. Gerekli hesaplamalar yapılarak harmonik eliminasyonu grafikler ile de desteklenmiştir.

Hastane enerji şebekesi genel olarak incelendiğinde ameliyathane, görüntüleme ve laboratuvar altyapısında birçok güç elektroniği devresi mevcut olup, yarı iletken anahtarlama elemanlarının harmonik etkileri azımsanmayacak kadar fazladır. Hastanenin bir kısmında balastlı floresan lambalar ve manyetik endüksiyon prensibiyle çalışan elektrik makinalarının varlığı düşünüldüğünde harmonik oluşumunda bu kaynakların önemli bir etken olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada hastane enerji sistemi üzerindeki harmonik etkilerini en aza indirerek, geçici durum arızaları minimize edilip, sistem kararlılığının artırılmasıyla enerji kalitesi üst seviyelere çıkarılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. J. Carnovale, T. J. Dionise and T. M. Blooming, "Price and Performance Considerations for Harmonic Solution," Power Systems World Power Quality Conference, Long Beach, California, 2003.
- [2] M. Bilge, "Güç sistemlerinde harmoniklerin pasif filtrelerle eliminasyonu," Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2008.
- [3] A. Kalair, N. Abas, A. R. Kalair, Z. Saleem and N.Khan, "Review of Harmonic Analysis, Modeling and Mitigation Techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.78, pp. 1152-1187, 2017.
- [4] F. Kükreer ve R. Taşaltın, "Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Meydana Getirdiği Kayıpların Analizi," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 5, ss. 21-38, 2016.
- [5] H. A. Pereira, F. D. Freijedo, M. M. Silva, V. F. Mendes and R. Teodorescu, "Harmonic Current Prediction by Impedance Modeling of Grid-tied Inverters: A 1.4 MW PV Plant Case Study," *Electrical Power and Energy Systems*, vol.93, pp. 30-38, 2017.
- [6] M. Brunoro, L. Frizera Encarnac and J. F. Fardin, "Modeling of Loads Dependent on Harmonic Voltages," *Electric Power Systems Research*, vol.152, pp. 367-376, 2017.
- [7] S. H. E. A. Aleem , M. E. Balci and S. Sakar, "Effective Utilization of Cables and Transformers Using Passive Filters for Non-linear Loads," *Electrical Power and Energy Systems*, vol.71, pp. 344-350, 2015.
- [8] P. Pinceti and D. Prando, "Sensitivity of Parallel Harmonic Filters to Parameters Variations," *Electrical Power and Energy Systems*, vol.68, pp. 26-32, 2015.
- [9] Y. Y. Hong and W. J. Liao, "Optimal Passive Filter Planning Considering Probabilistic Parameters Using Cumulant and Adaptive Dynamic Clone Selection Algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 45, no. 1, pp. 159-166, 2013.
- [10] K. Tunçalp ve M. Sucu, "Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrenmesinde Pasif Filtre ve Filtreli Kompanzasyonun Kullanımı ve Simülasyon Örnekleri," *Politeknik Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 263-269, 2006.
- [11] S. Adak, "Enerji sistemlerinde harmonik yük akışı analizi ve simülasyonu," Doktora tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [12] S. Rüstemli, M. S. Cengiz ve F. Dinçer, "Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c.2, s 1, ss. 30-38, 2013.
- [13] I. M. E. Purwa Antaka, W. G. Ariastina, I. N. S. Kumara and R. S. Hartati, "Application of hybrid active power filter to reduce losses due to harmonics distortion: a case study in a city hotel," Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Technology Development, Bali, Indonesia, 2012, ss. 24-31.
- [14] C. Kocatepe, M. Uzunoğlu, R. Yumurtacı, A. Karakaş ve O. Arıkan, *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2003, böl. 13, ss. 315-333.