

# SÜRÜCÜLÜ SİSTEMLERDE ENERJİ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet Can YÜKSEL  
a.canyuksel@gmail.com

Denizhan AKIN  
akindenizhan@gmail.com

Belgin TÜRKAY  
turkayb@itu.edu.tr

Elektrik Mühendisleri Odası  
İstanbul Şubesi

İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi

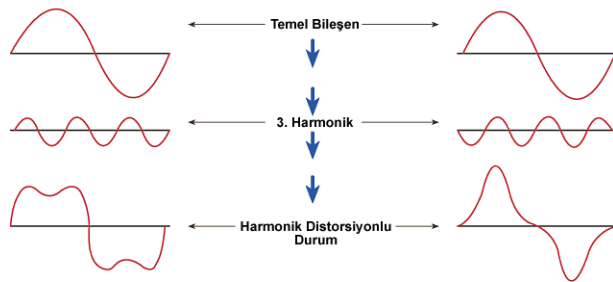
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi

**Özet-** Enerji verimliliğinin gün geçtikçe önem kazanması sebebiyle, kullanılan donanımlar uygulamada farklı üstünlükleri ve sakıncaları beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, enerji kalitesi ve enerji kalitesinin verimliliğe etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda endüstride ve binalarda yaygın olarak kullanılan ve verimlilikte önemli bir pay sahibi olan sürücülerin enerji kalitesine etkisi ile bu etkinin giderilmesinde kullanılan yöntemlerden bazıları incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler-** Enerji verimliliği, enerji kalitesi, sürücü, darbe genişlik modülasyonu, DGM (PWM), harmonik, Toplam Harmonik Distorsiyonu

## 1. Giriş:

Enerji kalitesi problemleri kayıplara sebep olduğundan incelenmesi verimlilik açısından da önemli olmaktadır. Enerji kalitesi her türlü donanımda ısı kaybı ve ömür kısalması gibi birçok konuda en önemli etkenlerden birisidir. Bu yüzden enerji kalitesinin enerji tasarrufu üzerindeki etkisi harmonikler ve güç faktörü başlıkları olarak iki ana grupta toplanabilir.



Şekil-1. Harmonikli Dalga Şekli

Denklemlerde tanımlanan Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD), gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüzoidalden uzaklaşmasını yani bozulmanın derecesini göstermektedir.

$$THD_{(1)} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

Harmonikli tüketicilerin olması durumunda güç faktörü (PF)  $\cos\phi$  olması gerekenden daha küçük bir değere düşecektir. Harmonikli durumdaki güç faktörü;

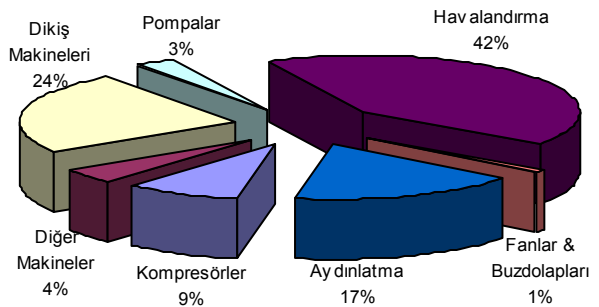
$$\mu = 1 / \left[ 1 + THD_{(1)}^2 \right] \quad (2)$$

$$PF = \mu \cdot \cos\phi \quad (3)$$

denklemlerle ifade edilir.

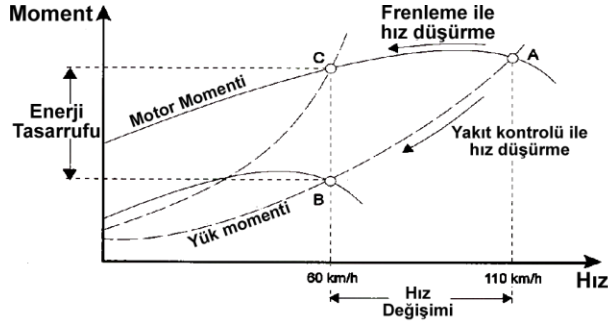
## 2. Sürücüler ve Enerji Verimliliği:

Tasarım aşamasında ihtiyacı garantiye almak için büyük seçilen motor, fan, pompa gibi makinelerin kayıpları da gereğinden fazla olabilmektedir. Bunların yanında çalışma saatlerine bağlı olarak ta donanımın düşük güçlerde çalışması durumu söz konusudur. Sürücülerin bu tip durumlarda tasarrufa önemli katkısı vardır. Örneğin pompalarda, fanlarda ve kompresörlerde enerji tasarrufu ile ön plana çıkarlar. Aşağıdaki gibi bir endüstriyel tesiste pompalar, havalandırma, fanlar, kompresörler ve dikey makineleri sürücülerin kullanımına uygun donanımlardır. Dolayısıyla, toplam tüketimin %79'u tasarrufa açıktır. [2]



Şekil-2. Bir Endüstriyel Tesiste Ekipmana Bağlı Enerji Tüketimi

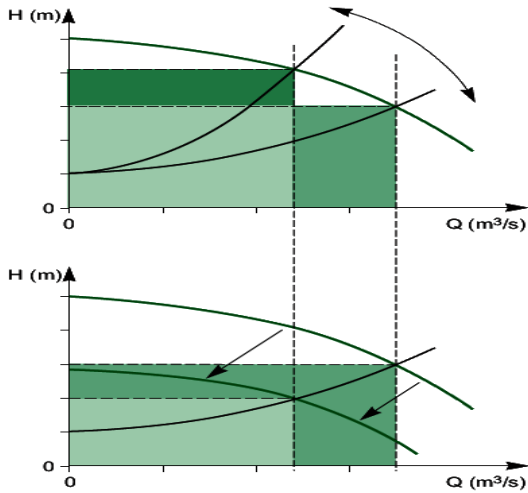
Bir taşıt örneği gösterildiğinde sürücünün tasarruftaki önemi daha iyi anlaşılacaktır. İlk yöntemde sürücü ile motora verilen yakıt azaltılarak hız düşürülür. İkinci yöntemde ise fren kullanılarak yavaşlama sağlanır. Şekil-3'te tasarruf incelenmiştir.



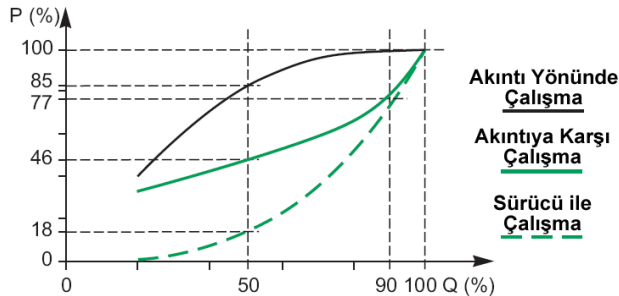
Şekil-3. Sürücülerin Tasarrufa Etkisi

Görüldüğü gibi frenleme ile daha hızlı bir yavaşlama sağlanmasına karşın yakıt kontrolü ile yavaşlamada tasarruf sağlanmaktadır. [3]

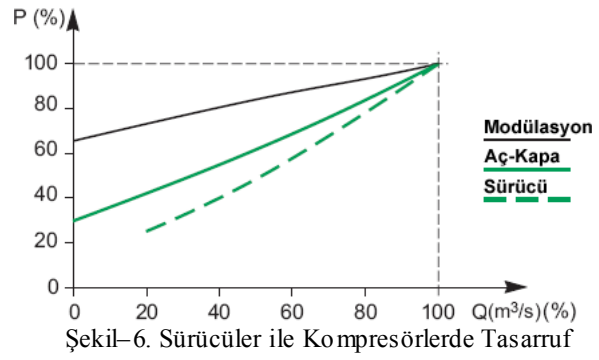
Bu grafiğe ek olarak Şekil-4, Şekil-5 ve Şekil-6'da sürücülerle pompa, fan ve kompresörlerde sağlanan enerji tasarrufu görülmektedir. [4]



Şekil-4. Sürücüler ile Pompalarda Tasarruf



Şekil-5. Sürücüler ile Fanlarda Tasarruf



Şekil-6. Sürücüler ile Kompresörlerde Tasarruf

### 3. Sürücülerin Enerji Kalitesine Etkisi:

Enerji verimliliği konusunda bu kadar geniş kullanım alanına sahip olan sürücüler enerji kalitesi göz önüne alındığında yarattıkları harmonikler nedeniyle yetersiz kalmaktadırlar. Bu da sürücü sistemlerinin yapısında bulunan doğrultucu, evirici gibi güç elektroniği devrelerinden kaynaklanmaktadır. Bu harmonikler hem yükü hem de şebekeyi etkilemektedir. Bu etkiyi azaltmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu bölümde şebeke tarafında pasif filtrenin, yük tarafında da frekans artırımının harmonik akımlarına etkileri incelenecektir.

Pasif filtreler kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok etmek için tasarlanan kondansatör, endüktans ve direnç elemanlarından oluşan devrelerdir. Pasif filtreli sistemlerdeki en büyük sorun filtrenin bir kere tasarlanıp oluşturulduktan sonra değişen şartlara uygunluk sağlayamamasıdır. Buna bağlı olarak genellikle sabit güçte çalışacak sistemlerde pasif filtre kullanımı önerilmektedir. Değişken şartlar altında ise aktif filtre kullanımı başarımlı sağlamaktadır. [5-6]

Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM, PWM), sinüs dalga ile genellikle üçgen seçilen bir referans dalganın karşılaştırılması ile yarı iletken elemanların tetiklenmesi sonucu alternatif gerilim elde edilmesidir. DGM'de önemli olan iki nokta karşılaştırılan dalgaların genlik oranları ve frekanslarıdır. Genlik oranı değiştirildiğinde elde edilecek alternatif gerilimin genliği ayarlanmakta, üçgen referansın frekansı ile de dalganın kalitesi ayarlanmaktadır. [7]

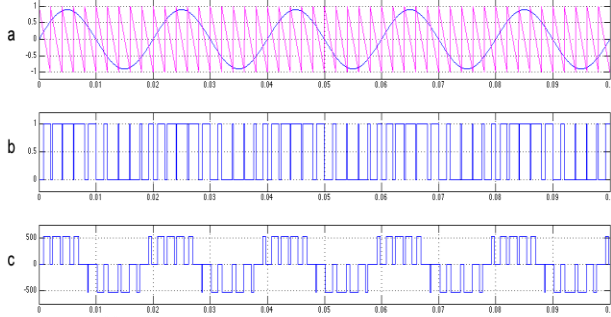
$$m = \frac{V_p}{V_t} \quad (4)$$

m: Genlik modülasyonu indeksi,  $V_p$ : Sinüs (kontrol) dalga genliği,  $V_t$ : Üçgen (taşıyıcı) dalga genliği

$$m_f = \frac{f_c}{f} \quad (5)$$

$m_f$ : Frekans modülasyonu indeksi,  $f_c$ : Taşıyıcı dalga frekansı,  $f$ : Üçgen dalga frekansı

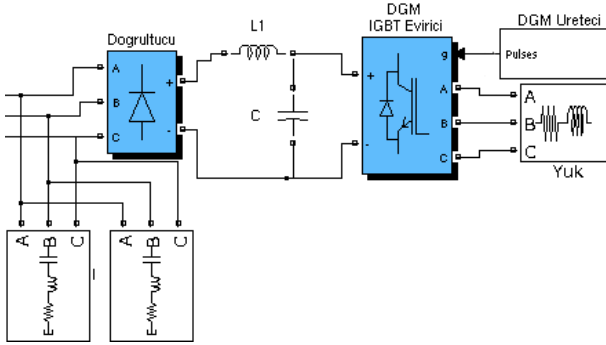
Fakat yarı iletken anahtarlar elemanlarının çalışma frekansı sınırları sebebiyle belli bir seviyenin üzerinde karşılaştırma yapılamamaktadır. Aşağıda DGM devresinde elde edilen dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil-7. a) Karşılaştırma dalgaları  
b) Tetikleme oluşumu c) Elde edilen faz arası gerilim

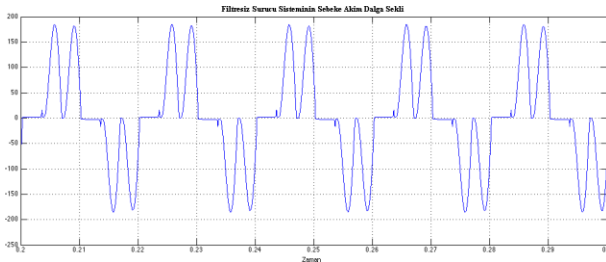
#### 4. Sürücülü bir Sistemin İncelenmesi:

Çalışmada sürücülerin enerji kalitesine olan etkisini incelemek üzere Şekil-8'de verilen devre tasarlanmıştır.

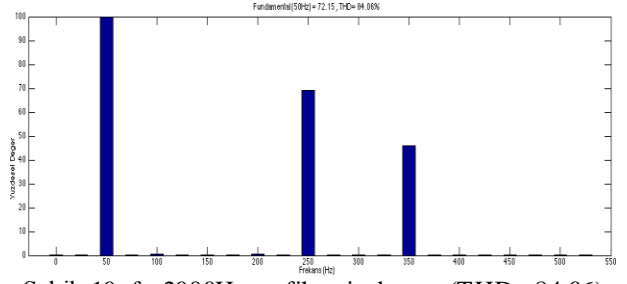


Şekil-8. DGM ile yük beslemesi

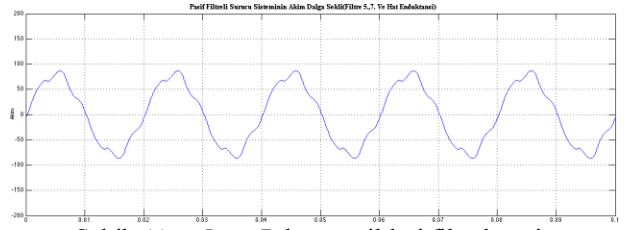
Şekil-8'de tasarlanan devrenin açık şeması Ek A'da verilmiştir.



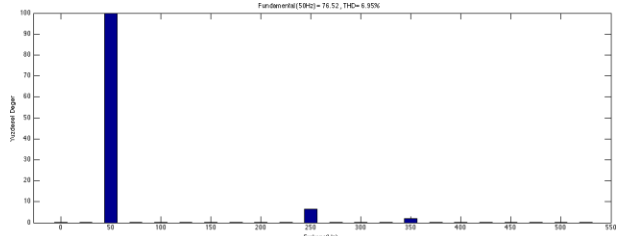
Şekil-9. Filtrelenmemiş Şebeke A kımı



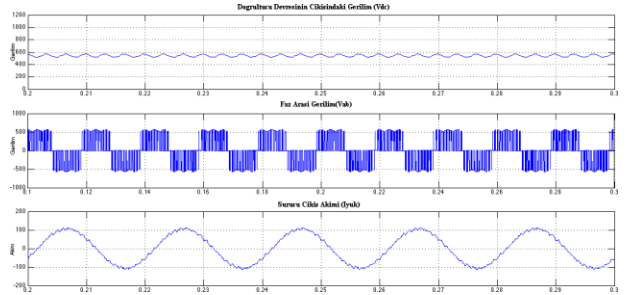
Şekil-10.  $f_c=2000\text{Hz}$  ve filtresiz durum (THD= 84.06)



Şekil-11. 5. ve 7. harmonikleri filtrelenmiş Şebeke Akımı



Şekil-12.  $f_c=2000\text{Hz}$  ve filtreli durum (THD= 6.95)



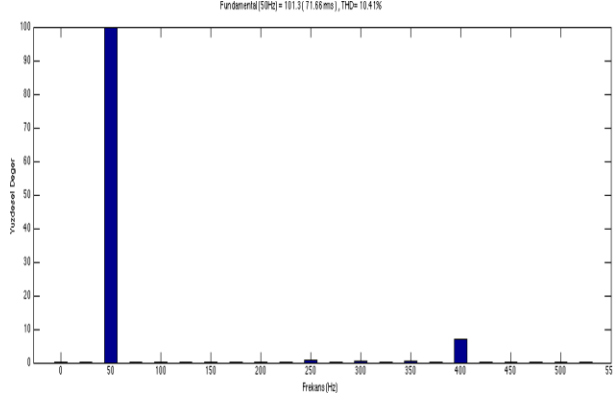
Şekil-13. a) Doğrultucu çıkışındaki gerilim  
b) Yükte faz arası gerilim c) Yük Akımı

Devrede sürücülerini ve harmonik etkilerini inceleyebilmek için birkaç durum göz önüne alınarak ölçümler yapılmıştır. Sistemde sadece etkileri büyük olan 5. ve 7. harmonikler pasif filtre ile kompanse edilmişlerdir.

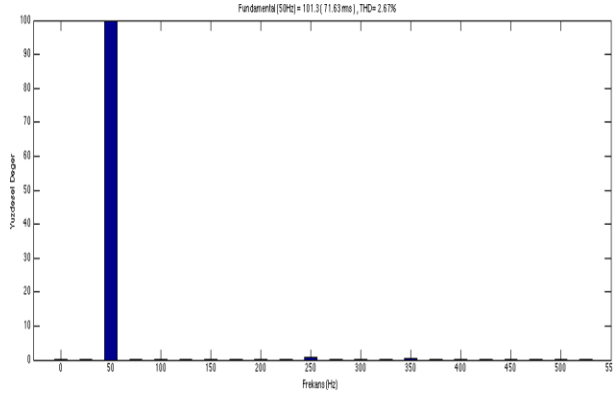
Daha sonra DGM devresinde üçgen referans (taşıyıcı) dalganın frekansı artırılarak akım dalga şeklindeki THD durumları hem şebeke hem de yük tarafında incelenmiş, sonuçlar Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo-1. Taşıyıcı frekansı değişimi ve THD

Taşıyıcı frekansı (Hz)	Şebeke Akımı THD (Filtresiz) (%)	Şebeke THD (Filtreli) (%)	Yük THD (Filtreli) (%)
1000	83.89	6.97	5.16
1500	83.97	6.96	3.52
2000	84.40	6.95	2.67
3000	86.97	6.97	1.92



Şekil- 14. Taşıyıcı frekansı 500 Hz (THD= 10.41)



Şekil- 15. Taşıyıcı frekansı 2000 Hz (THD= 2.67)

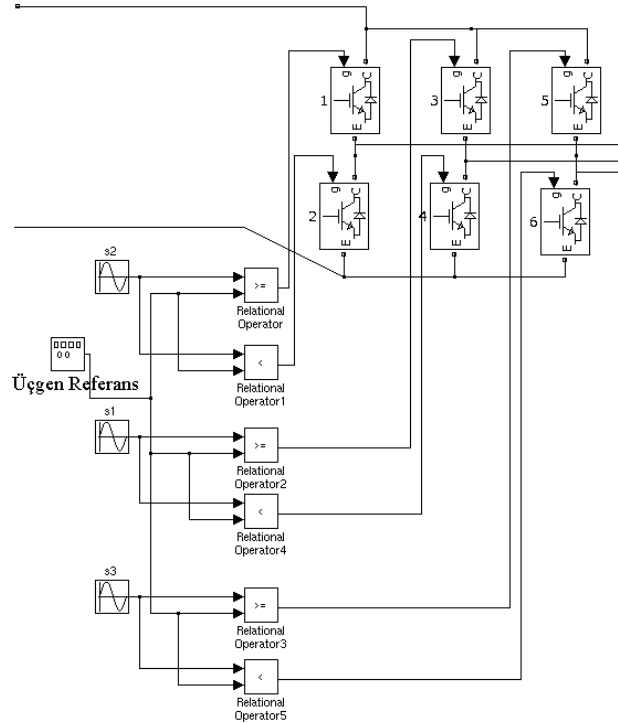
## 5. Sonuç:

Çalışmanın sonucunda sürücülerin doğrultucu kısımlarının oluşturduğu akım harmoniklerinin, sürücü devresinin şebekeden çektiği akıma etkisi bakımından devrenin geneline göre daha büyük bir paya sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sürücünün çıkış tarafındaki harmoniklerin sürücünün frekansı ile doğrudan bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Simülasyon sonucunda alınan Akım THD değerlerinden (Tablo-1) sürücünün frekansının artırılmasının THD'yi ne kadar azalttığı dolayısıyla yükün distorsiyon gücünün ne kadar azaldığı görülmektedir. Ayrıca filtreleme yapılmadığı zaman harmonik spektrumunda da görüldüğü üzere (şekil-10, şekil-12) giriş akımındaki harmonik değerleri yükselmekte, bu da şebekeyi kötü etkilemektedir. Ayrıca

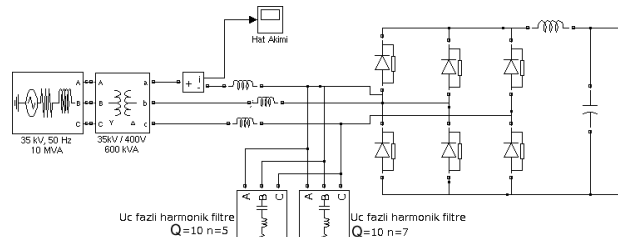
filtreli ve filtreli sistemlerin akım harmonik spektrumları incelendiğinde sürücü sistemlerindeki filtrelerin önemi açıkça görülebilmektedir. [8]

Sürücü sisteminin frekansının yükseltilmesi kaliteyi artırmanın yanında bazı negatif etkilere de neden olabilmektedir. Anahtarlama ile ilgili olarak ısı kayıplarının artmasının yanında simülasyon sonuçlarından görülebileceği üzere yüksek frekanslara çıktığında giriş akımındaki harmoniklerin değerleri artmaktadır, bu çok fazla sürücü barındıran sistemlerde probleme yol açabilmektedir. Artan harmonik değerleri için daha büyük ve daha kaliteli filtreler gerekmektedir buna bağlı olarak sistemin maliyeti artmaktadır. Sürücü sistemlerinin tasarımı yapılırken yüksek frekansın getirmiş olduğu bu negatif etkiler göz önüne alınarak optimum frekans ve filtre belirlenmelidir.

## 6. Ek A:



Şekil-17. DGM IGBT Evirici Kısım



Şekil-16. Şebeke Bağlantısı, Filtreleme ve Doğrultucu Kısım

## **Referanslar:**

- [1] **Yalçın, B.**, “Kompanzasyon ve Harmonik Filtre Sistemleri”, 3e Electrotech Dergisi, 2004. 2004/01(116)
- [2] **Mendis, N.N.R., Perera, N.**, “Energy Audit: A Case Study”, International Conference on Information and Automation, 2006
- [3] **Malcolm Barnes**, “Practical Variable Speed Drives and Power Electronics”, ELSEIVER, 2003
- [4] **J. Schonek**, “Energy efficiency: benefits of variable speed control in pumps, fans and compressors”, Cahier Technique Schneider Electric no. 214, May 2008
- [5] **Ahmet M. HAVA, Hazem ZUBİ**, “Üç fazlı doğrultucularda güç kalitesini düzeltici filtrelerin başarımlarının karşılaştırılması”. 11. Elektrik Elektronik Bilgisayar Muhendisliği Ulusal Kongresi, 22-25 Eylül 2005
- [6] **Stefan Fassbinder**, “Power Quality Application Guide : Harmonics-Passive Filters”, Leonardo Power Quality Initiative
- [7] **Bose, Bimal K.**, “Modern Power Electronics and AC Drives”, Prentice Hall PTR, 2002
- [8] **Rockwell Automation Mequon, WI**, Straight Talk About PWM AC Drive Harmonic Problems and Solutions