



EGE ÜNİVERSİTESİ

DOKTORA TEZİ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN
HARMONİK KATKILARININ
ANALİTİK VE İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

Oğuz PERİNCEK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ

İkinci Danışmanı : Prof. Dr. Metin ÇOLAK

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.04

Sunuş Tarihi : 16.09.2014

Bornova-İZMİR

2014

E. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN
HARMONİK KATKILARININ
ANALİTİK VE İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

Oğuz PERİNCEK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ

İkinci Danışmanı : Prof. Dr. Metin ÇOLAK

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.04

Sunuş Tarihi : 16.09.2014

**Bornova-İZMİR
2014**

Oğuz PERİNCEK tarafından doktora tezi olarak sunulan “Fotovoltaik Sistemlerin Harmonik Katkılarının Analitik ve İstatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 16.09.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ
Raportör Üye : Yard. Doç. Dr. Numan S. ÇETİN
Üye : Prof. Dr. Metin ÇOLAK
Üye : Yard. Doç. Dr. Hacer ŞEKERCİ
Üye : Yard. Doç. Dr. Savaş ŞAHİN

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Fotovoltaik Sistemlerin Harmonik Katkılarının Analitik ve İstatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

16 / 09 / 2014

Oğuz PERİNCEK

ÖZET**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN HARMONİK
KATKILARININ ANALİTİK VE İSTATİKSEL
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

PERİNCEK, Oğuz

Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ

İkinci Danışmanı: Prof. Dr. Metin ÇOLAK

Eylül 2014, 59 sayfa

Dağıtım sisteminde lineer olmayan (LO) yüklerin kullanımlarının artması neticesinde oluşan ciddi harmonik kirlenme, araştırmacıların harmonikleri daha detaylı incelemelerini zorunlu kılmıştır. LO yüklerin oluşturduğu harmonik akımlar rastgele değişmektedir; çünkü yüklerin çalışma durumları değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden harmonik konusyla ilgili çalışmalar harmoniklerin olasılıksal karakteristiklerinin önemi dikkate alınarak yürütülmelidir. Tek fazlı farklı yüklerin oluşturduğu harmonik akımların etkileşimleri yanıt yüzeyi yöntemlerinden (response surface methodology) Box-Behnken deneysel tasarımına adapte edilerek net harmonik akımın belirlenmesi incelenmiştir. Deneyle sonuçları yüklerin harmonik etkileşimlerinin istatistiksel olarak anlamlı bir modelle ifade edilebileceklerini göstermiştir.

Fotovoltaik (FV) sistemlerin alçak gerilim (AG) elektrik şebekesi harmonik karakteristikleri üzerine etkileri vardır. Bu çalışma FV sistemlerin Türkiye’de seçilen AG elektrik şebekesine etkilerini incelemektedir. Simülasyon programı SUPERHARM, lineer olmayan yüklerin ve eviricinin modellenmesinde kullanılmıştır. AG şebekesine harmonik limitleri aşmaksızın penetre edilebilecek FV sistem miktarı üzerine öneri yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Net harmonik akım, fotovoltaik sistemler, Box–Behnken dizayn, güç sistemleri harmonikleri.

ABSTRACT**DETERMINATION OF HARMONIC CONTRIBUTIONS
FROM FOTOVOLTAIC SYSTEMS BY ANALYTICAL
AND STATISTICAL METHODS**

PERİNCEK, Oğuz

PhD in Solar Energy.

Supervisor: Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Metin ÇOLAK

September 2014, 59 pages

The increase in the number of non-linear loads (NL) connected to the distribution systems has resulted more serious harmonic pollution which obligate researchers to analyze the harmonics in more detailed. Harmonic currents produced by NL vary randomly since their operating modes are changing. Therefore, studies related with harmonic phenomena should be carried out by taking into consideration the importance of the probability characteristic of harmonics. The interactions of harmonic currents produced by different single phase loads is investigated by adopting a full range of response surface methodology using Box–Behnken experimental design to express the net harmonic currents. The results of experiments showed that the harmonic interaction between the loads can be defined as a model which is statistically significant.

PV systems will have an influence on harmonic characteristics of a low voltage (LV) electrical network. This study investigates the harmonic impact of PV systems connected to the selected LV electrical network in Turkey. Simulation program SUPERHARM was used in modelling non- linear loads and inverter. A recommendation is made for the level of penetration of PV systems in the LV distribution network without harmonic limits have been exceeded.

Keywords: Net harmonic current, fotovoltaic systems, Box–Behnken design, power system harmonics.

TEŞEKKÜR

Her konuda yıllardır desteklerini esirgemeyen, her fırsatta kendilerine başvurduğum değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Metin ÇOLAK 'a ve Sayın Prof. Dr. E. Sıddık İÇLİ'ye en derin şükranlarımı sunarım.

Urla' da gerçekleştirilen haftalarca süren, zaman zaman tekrarlanan ölçümler esnasında desteklerini esirgemeyen Urla TEDAŞ Teknik Sorumlusu Sayın Murat KAZAN'a, arıza birimi saha şefi Sayın Bayram VARDAR'a teşekkürlerimi sunarım. Şebekeye bağlı eviricinin ölçümlerine destek olan, bu uğurda işyerini bana açan, kullandıran Sayın Elk.Müh. Eren GÖKDAĞ'a teşekkür ederim.

Uzun, yorucu çalışma saatlerinde sabırla beni destekleyen hayat arkadaşım Sayın Seher PERİNCEK'i ve onlarla geçirmem gereken zamanları kullanarak bu çalışmayı tamamladığım prenseslerim Ezel ve Elzem'i ve yuvamıza yeni katılan oğlumuz Umut'u bir kez daha sevgiyle kucaklıyorum.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | vii |
| ABSTRACT | ix |
| TEŞEKKÜR | xi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xv |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xviii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xx |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 3 |
| 3. HARMONİK KAVRAMI VE STANDARTLARA GENEL BAKIŞ..... | 8 |
| 3.1 Harmonik Tanımı..... | 8 |
| 3.2 Harmoniklerle İlgili Standartlara Genel Bakış | 9 |
| 3.3 Monofaze Yüklerin Harmonik Etkileşimlerinin Tespiti | 12 |
| 4. ŞEBEKE VE EVİRİCİNİN MODELLENMESİ..... | 26 |
| 4.1 Seçilen Alçak Gerilim Şebekesinin Tanıtımı ve Modellenmesi..... | 26 |
| 4.2 Seçilen Eviricinin Harmonik Modellenmesi | 38 |
| 4.3 FV Sistemlerin Harmonik Etkilerinin Belirlenmesi | 46 |
| 5. SONUÇ | 52 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|------------------------|--------------|
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 55 |
| ÖZGEÇMİŞ | 59 |
| EKLER | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Üzerinde çalışılan sistemin şeması (Radakovic et al., 2005). | 3 |
| 2.2 Çalışılan sistemin şeması (Wang and Liu, 2005). | 4 |
| 2.3 Artan konverter sayısına bağlı olarak değişik tetikleme açlarına göre THDi oranı (Wang and Liu, 2005). | 4 |
| 2.4 Çalışılan bara sistemi (Baghzouz et al., 2002)... .. | 5 |
| 2.5 Eviricinin nominal güce bağlı olarak harmonik performansı. | 7 |
| 2.6 Şebekeye bağlanan FV sistem modeli (Papaioannou et al., 2008). | 7 |
| 3.1 Bilgisayar akımının zamana göre değişimi. | 13 |
| 3.2 Bilgisayar akımının harmonik değerleri. | 13 |
| 3.3 Floresan lamba akımının zamana göre değişimi. | 14 |
| 3.4 Floresan lamba akımının harmonik değerleri. | 14 |
| 3.5 Bilgisayar ve floresan lamba toplam akımının harmonik değerleri. | 15 |
| 3.6 Bilgisayar ve floresan lamba toplam akımının zamana göre değişimi. | 15 |
| 3.7 Deneysel kurulum şeması. | 16 |
| 3.8 Gerçekleşen ve tahminlenen 3. ve 5. harmonik eğriler. | 20 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.9 Elektrikli ısıtıcı ve kompakt floresan lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi..... | 22 |
| 3.10 Elektrikli ısıtıcı ve akkor lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi. | 22 |
| 3.11 Kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi. | 23 |
| 3.12 Elektrikli ısıtıcı ve kompakt floresan lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi..... | 24 |
| 3.13 Elektrikli ısıtıcı ve akkor lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi. | 24 |
| 3.14 Kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi. | 25 |
| 4.1 Trafonun görüntüsü..... | 26 |
| 4.2 Trafonun etiket değerleri görüntüsü. | 27 |
| 4.3 Trafonun ağ panosu detay görüntüsü..... | 27 |
| 4.4 Seçilen kol üzerindeki binaların genel görünümü. | 28 |
| 4.5 Abone.net programı üzerinde görülen örnek abone bilgileri..... | 28 |
| 4.6 Abone bağlantı noktasında gerçekleştirilen çalışma görüntüsü..... | 29 |
| 4.7 Toplu yükleri ve empedansları gösteren tek hat şeması. | 30 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.8 Akımın temel bileşeni ve toplam harmonik bozulmasının günlük değişimi. | 32 |
| 4.9 Harmonik bileşenlerin ve toplam harmonik bozulmasının günlük değişimi. | 32 |
| 4.10 14 adet 225 Wp gücündeki panellerin görüntüsü. | 38 |
| 4.11 Panellerin etiketini gösterir fotoğraf. | 39 |
| 4.12 Eviricinin görüntüsü. | 39 |
| 4.13 Eviricinin etiket görüntüsü. | 40 |
| 4.14 Eviricinin akım ölçüm görüntüsü. | 41 |
| 4.15 Eviricinin akım ölçüm sonuçları. | 42 |
| 4.16 Eviricinin harmonik bileşen akım ölçüm sonuçları. | 42 |
| 4.17 Eviricinin thdi frekans dağılımı. | 43 |
| 4.18 Eviricinin üçüncü harmonik akım frekans dağılımı. | 43 |
| 4.19 Eviricinin beşinci harmonik akım frekans dağılımı. | 44 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Kompakt floresan lambaların harmonik bozulma oranları (%) (Vokas et al., 2001)..... | 6 |
| 3.1 IEEE'nin gerilim için harmonik distorsiyon sınırları. | 9 |
| 3.2 IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyon sınırları. | 10 |
| 3.3 Alçak gerilim ve orta gerilim şebekelerinde harmonik bileşen gerilim sınırları (McGranaghan and Beaulieu, 2006). | 11 |
| 3.4 Harmonik gerilim planlama düzeyleri (McGranaghan and Beaulieu, 2006). | 11 |
| 3.5 Gerilim harmonikleri için sınır değerler.. | 12 |
| 3.6 Elektronik balasta ait yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen harmonik bozulma değerleri (Umeh et al., 2003). | 12 |
| 3.7 Denemelerde kullanılan tek fazlı yüklerin özellikleri..... | 16 |
| 3.8 Denemeler için seçilen değişkenlerin seviyeleri..... | 18 |
| 3.9 Üç bağımsız değişken için Box-Behnken deney tasarımı. | 18 |
| 3.10 3. ve 5. harmonik akımlar için teorik olarak tahminlenen ve deneysel olarak gerçekleşen değerler | 19 |
| 3.11 3. ve 5. harmonik akımların regresyonu için ANOVA test sonuçları..... | 21 |
| 4.1 Trafo ilgili kol bara gerilimi temel bileşen ve harmonik ölçülen ortalama değerleri ve simülasyon sonuçları karşılaştırması. | 37 |

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.2 Bağlantı noktaları gerilim değerlerine ilişkin simülasyon sonuçları. | 37 |
| 4.3 Evirici elektriksel özellikleri. | 40 |
| 4.4 Evirici akım ve harmonik bileşenleri SPSS sonuç değerleri. | 44 |
| 4.5 Bağlantı noktalarında evirici bağlanmasıyla birlikte gerilimlerin değişimi. | 46 |
| 4.6 AG barasında NODE4 noktasına evirici bağlanmasıyla birlikte harmonik bileşenlerin değişimi. | 46 |
| 4.7 Mevcut yüklerin harmonik yapısı. | 47 |
| 4.8 Mevcut yüklerin harmonik katkıları. | 47 |
| 4.9 FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları. | 49 |
| 4.10 NODE4 bağlantı noktasındaki FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları. | 49 |
| 4.11 NODE2 bağlantı noktasındaki FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları. | 50 |
| 4.12 NODE4 bağlantı noktasında NODE2 bağlantı noktasına tesis edilen FV sistemlerin oluşturduğu harmonik bozulma oranları. | 50 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|--------------------|--|
| A | Amper |
| V | Volt |
| VA | Voltamper |
| W | Watt |
| <u>Kısaltmalar</u> | |
| FV | Fotovoltaik |
| IEC | Uluslararası Elektroteknik Komisyonu |
| ac | Alternatif akım |
| dc | Doğru akım |
| CP | Kümülatif olasılık |
| THD | Toplam harmonik distirsiyonu |
| HD | Harmonik distirsiyonu |
| IEEE | Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü |
| df | Serbestlik derecesi |
| Seq.SS | Ardışık kareler toplamı |
| Adj.SS | Düzeltilmiş kareler toplamı |
| Adj.MS | Düzeltilmiş ortalama kareler |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u> |
|--------------------|-----------------|
| StDev | Standart sapma |
| ANOVA | Varyans analizi |

1. GİRİŞ

Petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil kaynaklı enerji kaynaklarının ömürlerinin sınırlı olması, insanoğlunu gelecekte enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için yeni enerji kaynakları bulmaya zorlamaktadır. Bu nedenle dünyanın her yerinde temini mümkün ve potansiyeli neredeyse sonsuz kabul edilebilecek kadar büyük olan güneş enerjisi tercih edilen enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. İnsan sağlığı, çevre duyarlılığı ve küresel iklim değişiklikleri dikkate alındığında, fosil kaynakların tersine çevreye en ufak zararı olmayan güneş enerji sistemlerinin önemi iyice artmış olup, güneş enerjisi yatırımları her geçen gün ivmelenerek artmaya devam etmektedir. Günümüzde Fotovoltaik (FV) sistem, onbinlerce insanın çalıştığı büyük bir sektör haline gelmiştir.

Genel olarak FV sistemler, şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde akümülatör ve şarj regülâtörü gibi cihazlara gereksinim olmadığından sistem daha basit, daha ucuz olmakta ve daha az bakım gerektirmektedir. Ayrıca bu sistemler dağıtım sistemlerinin ihtiyacı olan olası yatırımları da önlemektedir. Aynı zamanda çevre dostu olmaları nedeniyle bu sistemlerin elektrik şebekesine verdikleri enerji özendirilmekte ve bazı finansal destekler alınabilmektedir. Belirtilen nedenlerden dolayı, mevcut kurulu sistemlerin neredeyse tamamının şebekeye bağlantılı olarak tesis edildiği bilinmektedir. FV sistemlerde üretilen enerjinin güneş ışınımına bağlıdır. Üretilen gücün doğru akım ve doğru gerilimden oluşması dağıtım sistemlerine bağlantı noktasında evirici kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Şebeke bağlantı noktasında ve şebekenin tamamında şebekenin sağlamla yükümlü olduğu gerilim ve harmonik standartlarının sağlanması gerekmektedir. FV sistemlerin sayıları ve güçleri arttıkça dağıtım sistemlerinin taşıması gereken harmonik bozulma ve gerilim yükselmesi standartları zorlamaktadır. Dolayısıyla mevcut bir dağıtım sisteminde kullanılacak FV sistem sayısı ve gücü sınırsız değildir; şebekenin iletken özellikleri, yük miktarı, sistemin şebekeye bağlantı noktası gibi kriterlere bağlı olarak gerilim ve harmonik açıdan sisteme bağlanabilecek FV güç miktarı değişebilmektedir.

Ülkemizde 2000 yılından sonra düzenlenen kanun ve yönetmeliklerle FV sistem kullanımının yasal çerçevesi düzenlenmiştir. Özellikle Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik ile bürokratik işlemler azaltılarak bu sistemlerin kullanımının artırılması amaçlanmıştır. Bazı bakanlık ve kalkınma

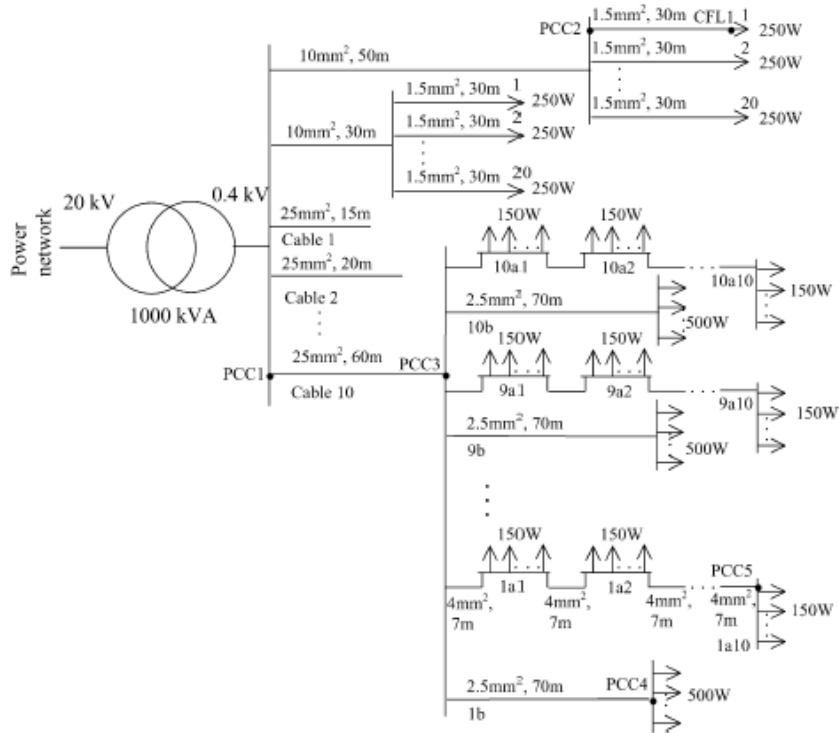
ajalarının desteğiyle FV sistem kullanımı ÷lkemizde de her geçen g÷n artmaktadır.

Tez projesi kapsamında monofaze y÷klerin harmonik etkileşimleri ve ÷lkemizde mevcut durumda çalışan alçak gerilim Şebekesinde kullanılabilir FV sistem g÷c÷ seçilen b÷lgede harmonik modellemesi yapılan evirici kullanılarak incelenmiştir. AG Şebekesinin mevcut y÷klerinin harmonik katkıları çalışılmış, elde edilen sonuçlar ÷lkemiz genelinde benzer karakteristiğe sahip alçak gerilim Şebekesi b÷lgeleri için de değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

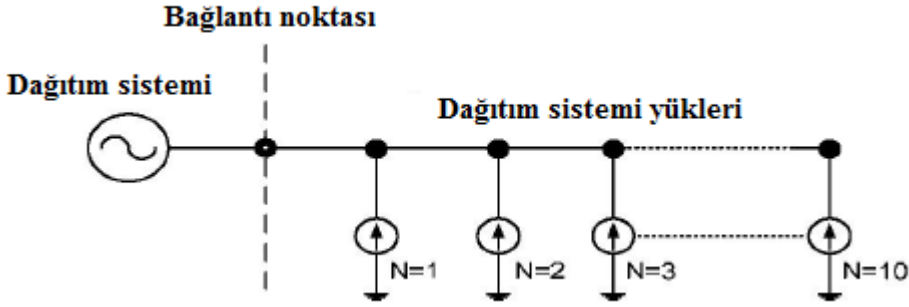
Günümüzde sıkça kullanılan kompakt floresan lamba, bilgisayar, yazıcı, fotokopi makinesi gibi lineer olmayan tüm cihazların mevcut dağıtım şebekelerinde harmonik bozulmaya neden oldukları bilinmektedir. Ayrıca bu cihazların harmonik karakteristiklerin cihazların çalışma anlarına göre zamana göre değiştikleri, dolayısıyla bu tür tek fazlı cihazların harmonik karakteristiklerinin belirlenmesinde istatistiksel yaklaşımın önerildiği bilinmektedir (Grasselli et al., 2002).

Toplam harmonik akım bozulma oranları çok yüksek olan (%100'ün üzerinde) kompakt floresan lambalar çok yoğun olarak kullanıldığı bina ya da şebekelerde tek başlarına bile standartların üzerinde toplam harmonik bozulmaya neden olabilmektedirler. Gerçekleştirilen bir çalışmada, otelde kullanılan lambalar kompakt floresan lambalar ile değiştirilerek harmonik etkileri incelenmiş ve sonuç olarak, toplam floresan lamba gücünün kaynak trafo nominal gücünün %10'unu geçtiğinde, harmonik bozulmanın standardın dışına çıktığı (IEC 61000-3-6) ortaya konulmuştur (Radakovic et al., 2005). Üzerinde çalışılan sistemin şematik görüntüsü Şekil 2.1'de yer almaktadır, floresan lambalar akım kaynağı olarak modellenmiştir.

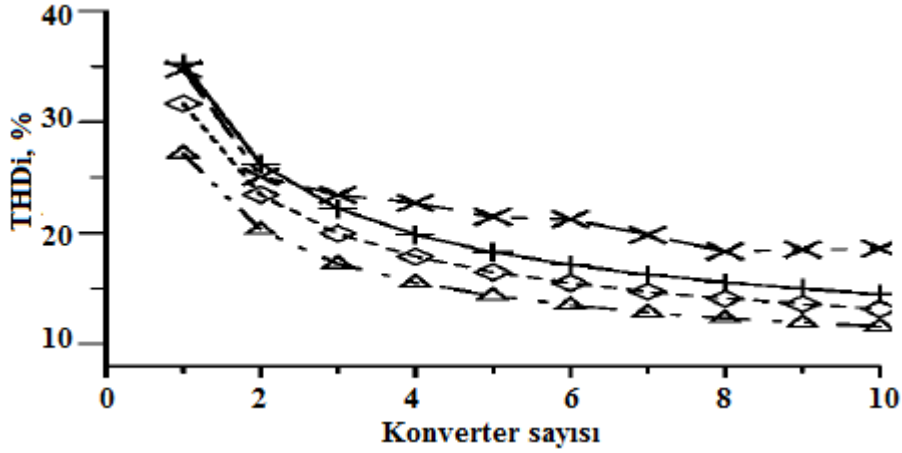


Şekil 2.1 Üzerinde çalışılan sistemin şeması (Radakovic et al., 2005).

Harmonik kavramı vektörel bir kavram olduğundan birden fazla harmonik kaynağın oluşturduğu toplam net harmoniğin tahminlenmesi için de birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde, 10 ac/dc konverterde harmonik akımların toplanması istatistiksel yöntemlerle incelenmiş (Şekil 2.2), harmoniklerin % bozulma miktarının artan konver sayısıyla azaldığı ortaya konulmuş, istatistiksel harmonik modellemenin gerçek güç sistemleri için daha uygun bir yöntem olacağı vurgulanmış ve sonuçlar ortalama, standart sapma gibi istatistiksel veriler ile sunulmuştur. Konverter sayısına bağlı olarak değişik tetikleme açılarında göre toplam harmonik distorsiyonun değişimi Şekil 2.3'te verilmiştir (Wang and Liu, 2005).



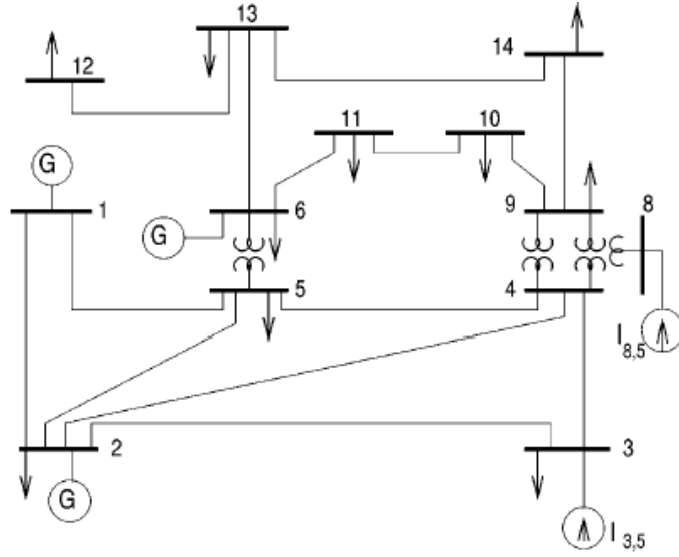
Şekil 2.2 Çalışılan sistemin şeması (Wang and Liu, 2005).



Şekil 2.3 Artan konverter sayısına bağlı olarak değişik tetikleme açılarında göre THDi oranı (Wang and Liu, 2005).

Alçak gerilim şebekesinde çok sayıda lineer ve lineer olmayan yükler çalışmakta ve bu yüklerin çalışma zamanlarının ve sürelerinin kontrolü mümkün

olmamaktadır. Çünkü seçilen şebekede yüzlerce enerji kullanıcısı abone, istedikleri alıcıyı sürekli ya da istedikleri zaman aralıklarında kullanmaktadırlar. Bu nedenle bir takım kabullenmelerle istatistiksel yöntemler kullanmak gerekmektedir. IEC 61000.3.6 standardı doğrultusunda kümülatif olasılık yaklaşımı (CP95) ve ikinci toplama kuralının (second summation law) seçilen örnek dağıtım sisteminde kullanılabilceği belirtilmiştir (Robinson et al., 2000). Daha büyük bir şebekede ise rastgele değişkenlerin toplamı teorik olarak incelenmiş ve çok farklı değişken yük, değişen yük dağılım modelleri, harmonik akımların ve harmonik gerilimlerle etkileşimi konuları çalışılmıştır (Baghzouz et al., 2002). Bu amaçla 14 baralı bir iletim sisteminde örnekleme yapılmıştır (Şekil 2.4). Harmonik akımların bağımsız ve nominal dağılım göstereceğinin kabul edilebilirliği ve olasılık yaklaşımının daha gerçekçi sonuçlar vereceği ortaya konmuş, sonuçlar olasılık dağılımı grafikleriyle verilmiştir.



Şekil 2.4 Çalışılan bara sistemi (Baghzouz et al., 2002).

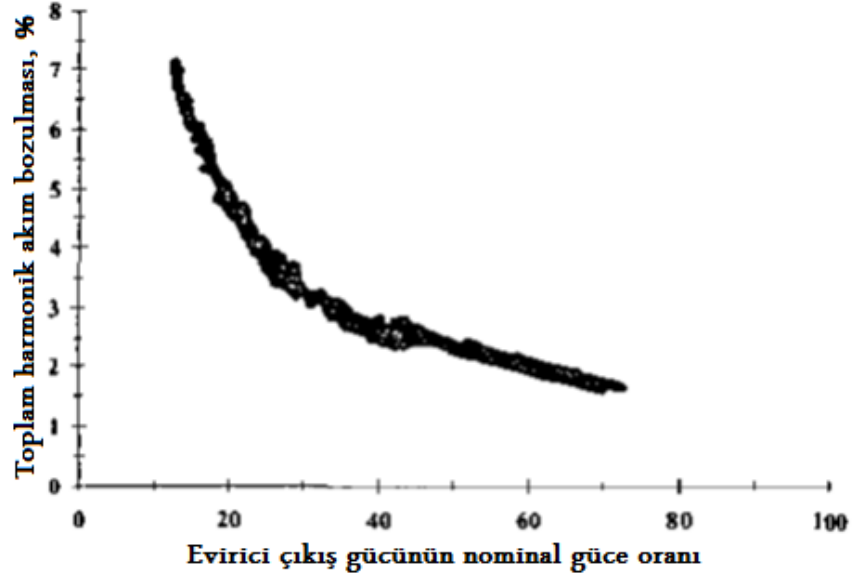
Şebekeye bağlı FV sistemlerde kullanılan eviriciler harmonik standartlara göre üretilmiş olmalarına rağmen, ac çıkışlarında tam sinüs dalga elde edilemediğinden ve nominal gücün dışında harmonik akım bozulma oranının yüzde olarak artmasından dolayı, bağlandıkları şebeke için harmonik kaynağı olarak tanımlanabilmektedirler. Eviricilerin sayı ve güçleri ve bağlandıkları şebekedeki harmonik yük miktarı arttıkça tanımlanmış standartların dışında

harmonik değerler tespit edilebilmektedir. Bu durum ise g kalitesini dşrebilmekte, harmoniklerin neden oldukları olumsuzluklara sebebiyet verebilmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada, şebekeye bağlı dağılmış FV sistemin IEEE-519 standardına göre güç kalitesi incelenmiş ve sonuç olarak, bazı kıstasların bazı şebeke noktalarında standarda uygun olarak sağlandığı bazılarının ise sağlanamadığı ortaya konmuştur (Oliva and Balda, 2003). FV sistemin etkisini incelemek amacıyla, simülasyon çalışmalarından ve sistemin devre dışı yapılması (connect/disconnect) tekniğinden yararlanılmıştır. Yine benzer bir çalışmada, Arki Adası'nı tamamen besleyen FV sistemde, akkor ampullerin tamamının kompakt tip elektronik balastlı olması durumunda, harmonik gerilim bozulmanın standartların üzerinde (%5'in üzerinde) olacağı simülasyonla gösterilmiştir (Vokas et al., 2001). Kullanılan floresanların güçleri 20 W ve 23 W olarak seçilmiş, floresan lambalar dışındaki yüklerin lineer yük olduğu kabul edilmiş, tekil harmoniklerin akım bozulma oranları ve toplam harmonik bozulma oranları yüzde olarak izelge 2.1'de verilmiştir (Vokas et al., 2001).

Çizelge 2.1 Kompakt floresan lambaların harmonik bozulma oranları (%) (Vokas et al., 2001).

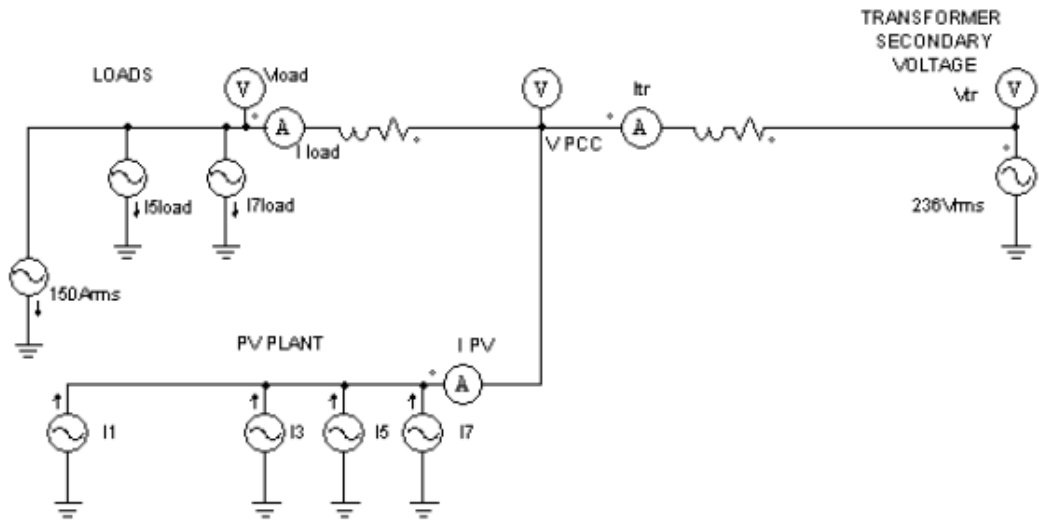
| Harmonikler | 20 W | 23 W |
|-------------|-------|-------|
| 3 | 88,9 | 88,2 |
| 5 | 71,1 | 69,1 |
| 7 | 48,9 | 47,4 |
| 9 | 28,9 | 27,3 |
| 11 | 18,9 | 18,1 |
| 13 | 16,7 | 16,1 |
| 15 | 12,6 | 12 |
| 17 | 6,8 | 6,1 |
| 19 | 2,5 | 1,7 |
| THD (%) | 130,5 | 127,7 |

FV sistemde kullanılan eviricilerin çalışma koşulları güneşe bağlı olarak gün içerisinde değişmekte ve nominal gten uzaklaşıldıkça harmonik akım bozulma miktarı da artmaktadır. Eviricinin nominal güce bağlı olarak harmonik performansı 4.2 kWp gücündeki şebeke bağlantılı evirici üzerinde yapılan bir çalışmada incelenmiş ve sonuç şekil 2.5'de verilmiştir (Chenvidhya, 2003).



Şekil 2.5 Eviricinin nominal güce bağlı olarak harmonik performansı (Chenvidhya, 2003).

Dağıtım şebekesinin alçak gerilim kısmına bağlanan 20 kW_p gücündeki FV sistemin harmonik etkileri, PSIM yazılım programı kullanılarak incelenmiştir (Papaioannou et al., 2008). Bu çalışmada FV sistem bazı ölçümlerin ortalamaları alınarak Şekil 2.6'daki gibi akım kaynakları olarak modellenmiştir. Şebekedeki mevcut bozulmalar ise yine akım kaynağı olarak modellenmiştir. Çalışma neticesinde beşinci ve yedinci harmonik akımların trafo tarafında çok az da olsa artışa neden olmasına rağmen, harmonik değerlerin standartların dışına çıkmadığı görülmüştür.



Şekil 2.6 Şebekeye bağlanan FV sistem modeli (Papaioannou et al., 2008).

3. HARMONİK KAVRAMI VE STANDARTLARA GENEL BAKIŞ

3.1 Harmonik Tanımı

Tam sinüs olmayan periyodik dalgalar, temel bileşen frekans dalgalarının katlarının tam sinüs dalgaları toplamları şeklinde yazılabilirler. Burada temel bileşen dışındaki bileşenler, harmonik olarak tanımlanmaktadırlar. Tam sinüs olmayan bir dalganın temel ve harmonik bileşenleri Fourier analizi ile hesaplanabilmektedir (Soliman and Srinath, 1998).

Tam sinus olmayan periyodik bir $F(t)$ dalgası Denklem (1)'deki gibi ifade edilirken, F_0 , a_n ve b_n ise Denklem (2)-(4)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$F(t) = F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \quad (1)$$

$$= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=2}^{\infty} [a_n \cos(nwt) + b_n \sin(nwt)]$$

Burada;

$$F_0 = \frac{1}{2} a_0 \quad (2)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(nwt) \partial(wt) \quad n=0,1,2,\dots,\infty \quad (3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(nwt) \partial(wt) \quad n=0,1,2,\dots,\infty \quad (4)$$

Harmonik bileşenlerin büyüklüğünün tespiti ve sınırlandırılması için bazı tanımlamalar yapılmıştır. Sık kullanılan toplam harmonik distorsiyon (THD), harmonik bileşenlerin efektif değerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır (Denklem (5)).

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (5)$$

THD, formülden de anlaşılacağı üzere harmonik içeren akım değerinin temel bileşen değerine göre sapmasını gösteren bir değerdir ve genelde yüzde olarak ifade edilmektedir. Buradaki “I” harfi akım bozulmasını temsil etmekte aynı tanımlama gerilim için yapıldığında “v” harfi kullanılmaktadır. Temel frekansta THD sıfırdır. Benzer şekilde n. akım harmonik distorsiyonu (HD_I), n. harmonik bileşenin efektif değerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır (Denklem (6)).

$$HD_I = I_n / I_1 \quad (6)$$

Harmoniklerin dağıtım sisteminde; sistem elemanlarında ve yüklerde ek kayıpların oluşması, gerilim düşümünün artması, toprak kısa devre akımlarının yükselmesi, kondansatörlerin aşırı yüklenmeleri ve yalıtım seviyelerinin zorlanması nedeniyle hasar görmeleri, koruma sistemlerinin hatalı çalışması, aydınlatma elemanlarında ve monitörde görüntünün titremesi, yalıtım malzemesinin zorlanması ve delinmesi gibi birçok olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle harmonik akımın ve onun oluşturacağı harmonik gerilimlerin şebekede minimum düzeyde tutulması amaçlanmaktadır.

3.2 Harmoniklerle İlgili Standartlara Genel Bakış

Harmoniklerin olumsuz etkilerini azaltmak için şebekedeki ve elektrikli cihazların ürettiği harmonik değerler sınırlandırılmış ve böylece harmonik standartları oluşturulmuştur. Bu standartlar ülkeden ülkeye değişmesine rağmen en yaygın olarak kullanılan standartlar, IEEE tarafından 1992 yılında getirilen IEEE 519-1992 nolu standard ve IEC tarafından değişik kod isimlendirmeleriyle (IEC 61000-3-6, IEC 61000-2-2 gibi) detaylandırılan standartlardır.

IEEE'nin harmonik sınır standartları Çizelge 3.1 ve 3.2'de yer almaktadır. Bu çizelgelerde; I_k , sistemin kısa devre akımını; I_L , yüke ait maksimum talep akımını; TTD ise toplam talep distorsiyonun değerini göstermektedir.

Çizelge 3.1 IEEE'nin gerilim için harmonik distorsiyon sınırları.

| Bara gerilimi (Vn) | Tekil harmonik büyüklüğü (%) | (Toplam harmonik distorsiyonu) THD _v (%) |
|------------------------|---------------------------------|--|
| $V_n \leq 69$ kV | 3,0 | 5,0 |
| $69 < V_n \leq 161$ kV | 1,5 | 2,5 |
| $V_n > 161$ kV | 1,0 | 1,5 |

Çizelge 3.2 IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyon sınırları.

| V _n ≤ 69 kV | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
| I _k / I _L | n < 11 | 11 ≤ n < 17 | 17 ≤ n < 23 | 23 ≤ n < 35 | n ≥ 35 | TTD (%) |
| < 20 | 4,0 | 2,0 | 1,5 | 0,6 | 0,3 | 5,0 |
| 20-50 | 7,0 | 3,5 | 2,5 | 1,0 | 0,5 | 8,0 |
| 50-100 | 10,0 | 4,5 | 4,0 | 1,5 | 0,7 | 12,0 |
| 100-1000 | 12,0 | 5,5 | 5,0 | 2,0 | 1,0 | 15,0 |
| > 1000 | 15,0 | 7,0 | 6,0 | 2,5 | 1,4 | 20,0 |
| 69 < V _n ≤ 161 kV | | | | | | |
| < 20 | 2,0 | 1,0 | 0,75 | 0,3 | 0,15 | 2,5 |
| 20-50 | 3,5 | 1,75 | 1,25 | 0,5 | 0,25 | 4,0 |
| 50-100 | 5,0 | 2,25 | 2,0 | 0,75 | 0,35 | 6,0 |
| 100-1000 | 6,0 | 2,75 | 2,5 | 1,0 | 0,5 | 7,5 |
| > 1000 | 7,5 | 3,5 | 3,0 | 1,25 | 0,7 | 10,0 |
| V _n > 161 kV | | | | | | |
| < 50 | 2,0 | 1,0 | 0,75 | 0,3 | 0,15 | 2,5 |
| ≥ 50 | 3,0 | 1,5 | 1,15 | 0,5 | 0,22 | 4,0 |

IEC 61000-3-6, dağıtım sistemindeki harmonik düzeyleri belirleyen direktifleri içermektedir. Bu standart zamansal değişimleri dikkate alarak istatistiksel yaklaşım önermektedir. Harmonik çalışma en az bir hafta boyunca yapılmalı ve ölçümler kümülatif olasılık dağılımı 95'e (cumulative probability distribution, CP95) uygun olarak ifade edilmelidir. Diğer önemli bir konu ise harmonik akım veya harmonik gerilimlerin CP95 değerlerinin toplamlarını tanımlayan ikinci toplama kuralı (second summation law) olup, bu Denklem (7)'de yer almaktadır.

$$V_h = a \sqrt{\sum_i V_{hi}^a} \quad (7)$$

Bu denklemde V_h, h frekansındaki (yüz, yüzelli vd.) sonuç harmonik gerilimin büyüklüğünü; V_{hi}, her bir i. harmonik gerilimin h frekansındaki büyüklüğünü; a ise harmonik gerilimin büyüklük ve faz açısına bağlı olarak değişen gerçek değerle hesaplanan değer ölçüsü olan bir sabiti ifade etmektedir. Örneğin 5. harmonik değer için a=1,4 olarak önerilmektedir. IEC standartları orta gerilim direktifleri Çizelge 3.3 ve 3.4'deki gibi özetlenebilir (McGranaghan and Beaulieu, 2006).

Çizelge 3.3 Alçak gerilim ve orta gerilim şebekelerinde harmonik bileşen gerilim sınırları (McGranaghan and Beaulieu, 2006).

| 3'ün katları olmayan tek harmonikler | | 3'ün katları olan tek harmonikler | | Çift harmonikler | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim, % | Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim,% | Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim, % |
| 5 | 6 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 7 | 5 | 9 | 1,5 | 4 | 1 |
| 11 | 3,5 | 15 | 0,4 | 6 | 0,5 |
| 13 | 3 | 21 | 0,3 | 8 | 0,5 |
| $17 \leq h \leq 49$ | $2,27*(17/h)-0,27$ | $21 \leq h \leq 45$ | 0,2 | $10 \leq h \leq 50$ | $0,25*(10/h)+0,25$ |
| THD = %8 | | | | | |

Çizelge 3.4 Harmonik gerilim planlama düzeyleri (McGranaghan and Beaulieu, 2006).

| 3'ün katları olmayan tek harmonikler | | | 3'ün katları olan tek harmonikler | | | Çift harmonikler | | |
|--------------------------------------|---------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim, % | | Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim, % | | Harmonik sırası, h | Harmonik gerilim, % | |
| | OG | YG-UYG | | OG | YG-UYG | | OG | YG-UYG |
| 5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1,8 | 1,4 |
| 7 | 4 | 2 | 9 | 1,2 | 1 | 4 | 1 | 0,8 |
| 11 | 3 | 1,5 | 15 | 0,3 | 0,3 | 6 | 0,5 | 0,4 |
| 13 | 2,5 | 1,5 | 21 | 0,2 | 0,2 | 8 | 0,5 | 0,4 |
| $17 \leq h \leq 49$ | $1,9*(17/h)-0,2$ | $1,2*(17/h)$ | $21 \leq h \leq 45$ | 0,2 | 0,2 | $10 \leq h \leq 50$ | $0,25*(10/h)+0,22$ | $0,19*(10/h)+0,16$ |

Ülkemizde ise dağıtım sistemindeki harmonik sınırlar 21 Aralık 2012 Tarihli ve 28504 Sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Bu yönetmelikte IEC standartından esinlenilmiş, ölçüm periyodu, TS EN 61000-4-30'da tanımlanan bir haftalık kesintisiz ölçüm zamanı olarak belirlenmiştir. Ayrıca yönetmelikte ölçüm periyodu boyunca ölçülen her bir gerilim harmoniği etkin değerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'i, Çizelge 3.5'de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olması ve toplam harmonik bozulma (THB) değerinin (40. harmoniğe kadar değerler dâhil) en fazla %8 olması talimatlandırılmıştır.

Çizelge 3.5 Gerilim harmonikleri için sınır değerler.

| Tek Harmonikler | | | | Çift Harmonikler | |
|-------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 3'ün Katları Olmayanlar | | 3'ün Katları Olanlar | | | |
| Harmonik Sırası h | Sınır Değer (%) | Harmonik Sırası h | Sınır Değer (%) | Harmonik Sırası h | Sınır Değer (%) |
| 5 | 6 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 7 | 5 | 9 | 1,5 | 4 | 1 |
| 11 | 3,5 | 15 | 0,5 | 6.....24 | 0,5 |
| 13 | 3 | 21 | 0,5 | | |
| 17 | 2 | | | | |
| 19 | 1,5 | | | | |
| 23 | 1,5 | | | | |
| 25 | 1,5 | | | | |

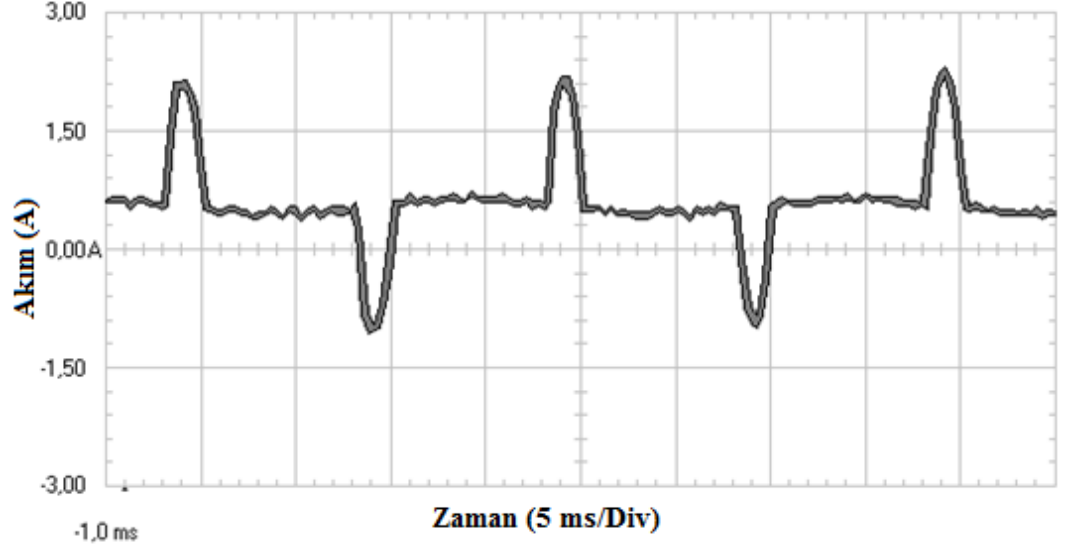
3.3 Monofaze Yüklerin Harmonik Etkileşimlerinin Tespiti

Elektrik dağıtım şebekesinde son zamanlarda sayıları hızla artan bilgisayar, kompakt floresan lamba, yazıcı, televizyon, kesintisiz güç kaynağı gibi monofaze lineer olmayan yüklerin harmonik akım değerlerinin yüksek olduğu ve harmonik karakteristiklerinin zamana göre değiştikleri bilinmektedir. Örneğin kompakt floresanlarda kullanılan tipik elektronik balastların ve upslerin toplam akım harmonik bozulmasının %100 üzerinde olduğu ve herbir harmonik bileşeninin de yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir (Umeh et al., 2003). Elektronik balasta ait yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen harmonik bozulma değerleri Çizelge 3.6'da yer almaktadır (Umeh et al., 2003).

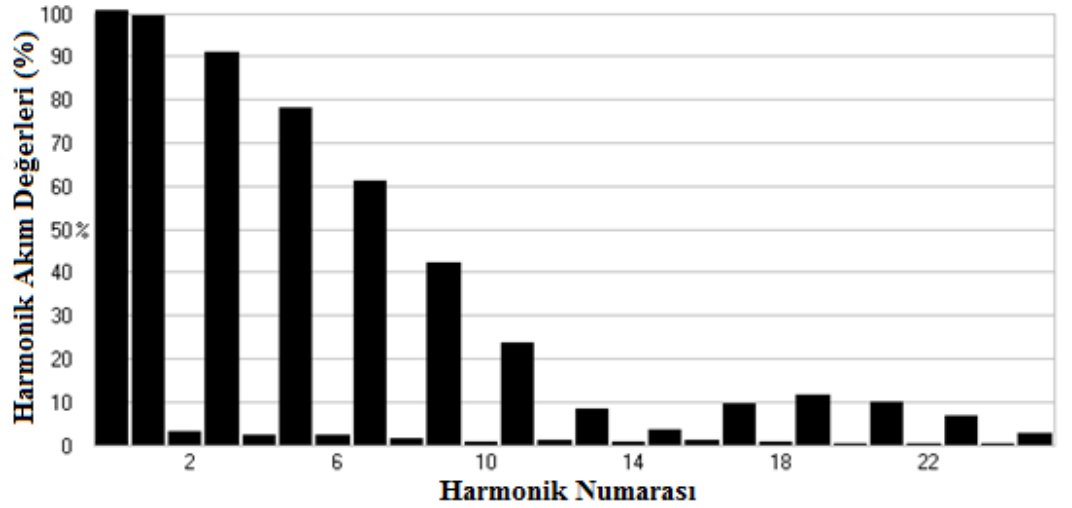
Çizelge 3.6 Elektronik balasta ait yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen harmonik bozulma değerleri (Umeh et al., 2003).

| Harmonik sayısı | Büyüklik, % |
|-----------------|-------------|
| 3 | 63,07 |
| 5 | 57,65 |
| 7 | 50,78 |
| 9 | 42,6 |
| 11 | 34,19 |
| 13 | 26,12 |
| 15 | 19,47 |
| THD | 118,1 |

Yaygın olarak kullanılan bilgisayarların harmonik akım karesiği tespiti amacıyla tipik bir masa üstü bilgisayarda Fluke 43B Güç Analizörü ile ölçümler yapılmış ve anlık olarak THDi değeri %82,4 olduğu ölçülmüştür. Akımın zamana göre değişimi ve bileşenlerin harmonik değerleri sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2’de yer almaktadır.

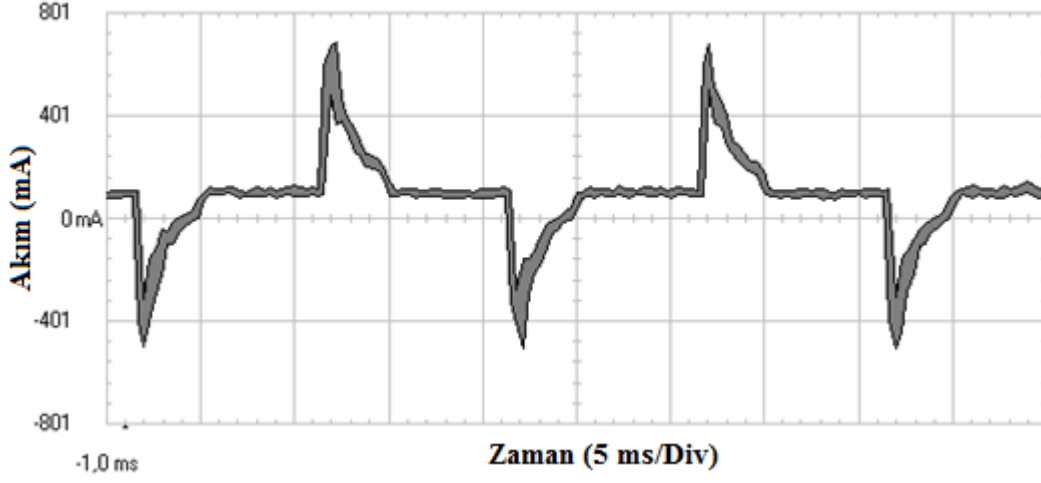


Şekil 3.1 Bilgisayar akımının zamana göre değişimi.

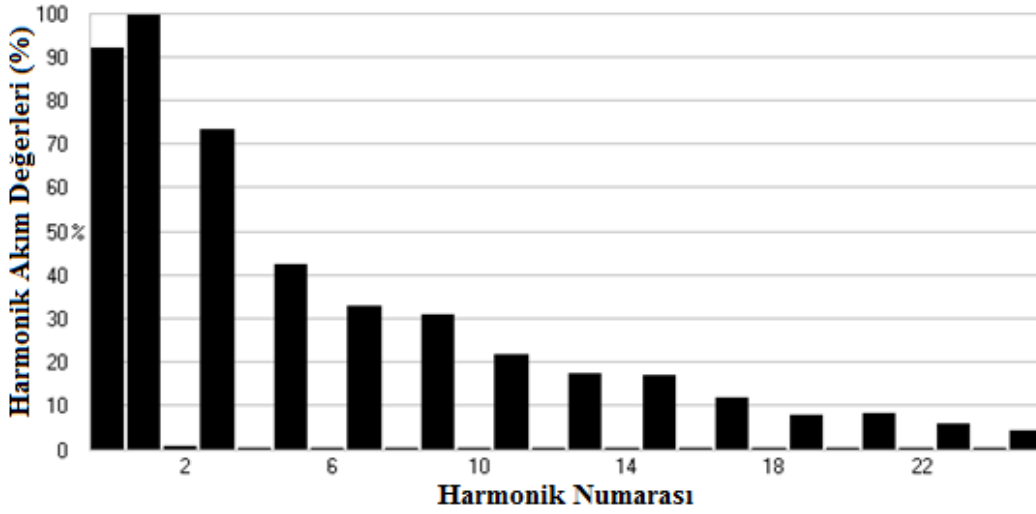


Şekil 3.2 Bilgisayar akımının harmonik değerleri.

Floresan lambaların da harmonik akım bozulma oranlarının fazla olduğu bilindiğinden tipik bir floresan lambanın da akımının zamana göre değişimi ve bileşenlerin harmonik değerleri sırasıyla ölçülmüştür (Şekil 3.3 ve 3.4). Floresan lambanın THDi değeri ise %72,4 olarak tespit edilmiştir.

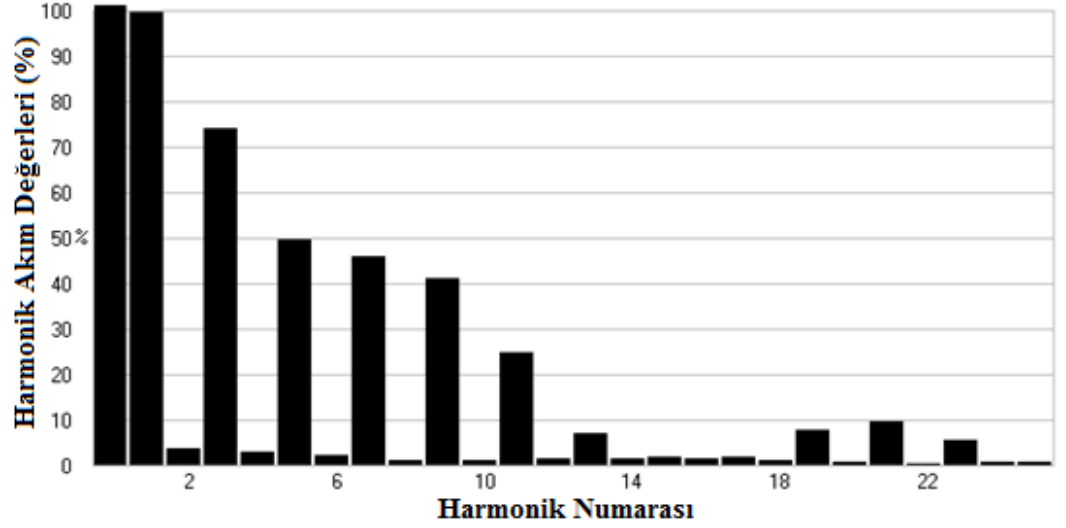


Şekil 3.3 Floresan lamba akımının zamana göre değişimi.



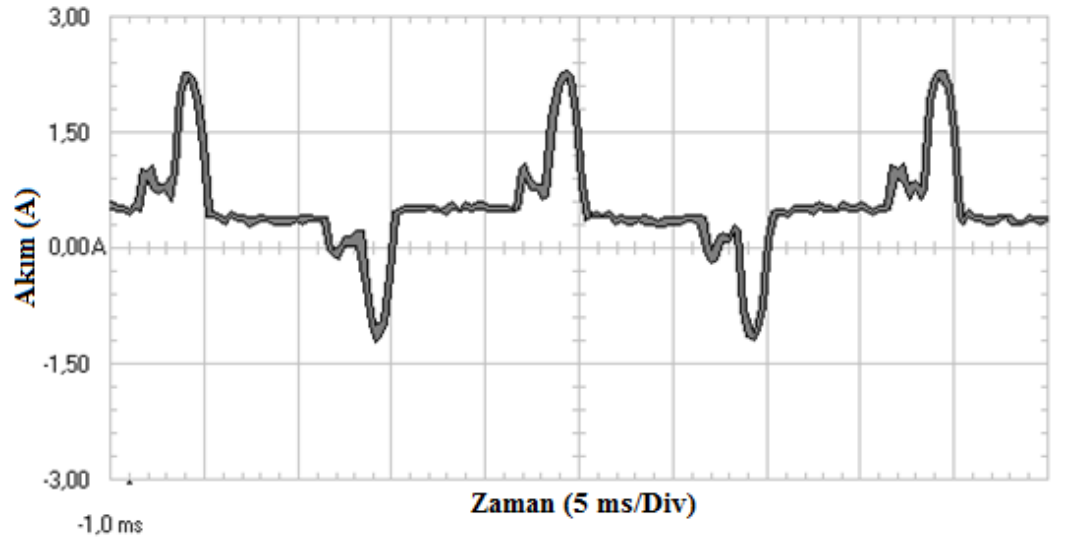
Şekil 3.4 Floresan lamba akımının harmonik değerleri.

Bilgisayar ve floresan lambanın paralel bağlanması durumunda ikisinin oluşturduğu net harmonik bozulma oranının %74,7 olduğu ölçülmüş ve bileşenlerin temel bileşene oranları Şekil 3.5'de yer almaktadır.



Şekil 3.5 Bilgisayar ve floresan lamba toplam akımının harmonik değerleri.

Harmonik kavramı vektörel büyüklük olduğundan bilgisayar ve lambanın harmonik etkileşimleri Şekil 3.6'da görülmektedir. Lineer olmayan yüklerin oluşturduğu net harmonik akım değerlerinin hesaplanması, her bir bileşenin değerinin vektörel olması ve yüklerin çalışma durumuna göre çok geniş aralıkta değişebiliyor olması tahminlemeyi zorlaştırmaktadır.



Şekil 3.6 Bilgisayar ve floresan lamba toplam akımının zamana göre değişimi.

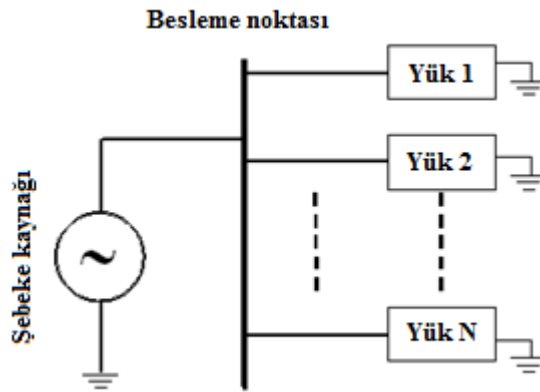
Şebekenin bir bölümünde ya da tamamında seçilen birkaç yükün birbiriyle etkileşimleri harmonik çalışmalar açısından önemlidir. Eğer belli sayıdaki yüklerin etkileşimleri belli yöntemlerle tespit edilebilirse bu yöntem harmonik kaynağı olan FV sistem eviricilerinde de kullanılabilir. Ayrıca seçilen yükler

arasında harmonik etkiyi azaltan alıcılar var ise bunların kullanımları ve sayıları ayarlanabilir. Benzer methodla üç fazlı yüklerin harmonik etkileşimleri de incelenebilir.

Belirtilen nedenlerden dolayı, alçak gerilim dağıtım sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanım alanı bulan akkor lambalar, elektrikli ısıtıcılar ve kompakt floresan lambalar tek fazlı yük olarak seçilmiştir. Elektriksel özellikleri Çizelge 3.7’de yer almakta ve deneysel kurulum şeması Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 Denemelerde kullanılan tek fazlı yüklerin özellikleri.

| | Akkor lamba | Elektrikli ısıtıcı | Kompakt floresan lamba |
|----------------|-------------|--------------------|------------------------|
| Nominal güç, W | 40 | 530 | 20 |
| Frekans, Hz | 50/60 | 50/60 | 50/60 |
| Voltaj, V | 220-230 | 220-230 | 220-240 |



Şekil 3.7 Deneysel kurulum şeması.

Harmonik eğrilerin büyüklükleri, deneysel tasarıma uygun olarak güç kalite analizörü (Fluke 43B) ile ölçülmüştür (Fluke View Power Quality Analyzer Users Manual, 2009). Daha belirgin sonuçlar elde etmek amacıyla harmoniklerin zamana bağlı değişimleri dikkate alınmıştır. Bu amaçla her bir deney için 5 dakika süresince 30 ölçüm gerçekleştirilmiş ve deneysel tasarımda kullanılmak üzere ortalama değerleri hesaplanmıştır. Nihai harmonik eğriyi etkileyebileceği düşünülen yük empedansları, uygulanan voltaj gibi faktörler dikkate alınmamıştır. Bu çalışmanın amacı, bağlanan yük sayısının ve birbirleriyle olan harmonik etkileşimlerinin etkisini ortaya koymaktır.

Denemeler, yanıt yüzeyi yöntemlerinden (response surface methodology) birisi olan Box-Behnken tasarımına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yanıt

yüzeyi yöntemi, birçok değişken tarafından etkilenen bir yanıtla ilişkin problemlerin analizinde ve modellenmesinde kullanılan matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin bütünüdür (Montgomery, 2005; Linder et al., 2005; Ravikumar et al., 2005; Kiran et al., 2007). Ampirik bir modelleme tekniği olup, kontrol edilebilen deneysel faktörler ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmede kullanılmaktadır (Annadurai and Sheeja, 1998).

Yanıt (Y) ile değişkenler (X_1, X_2, \dots, X_n) arasındaki ilişki Denklem (8)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon \quad (8)$$

Yanıt ile değişkenler arasındaki korelasyon, grafiksel gösterimde bir yüzeyin koordinatları olarak gösterilebildiğinden, bu ilişkilerin incelenmesi yanıt yüzey çalışması olarak adlandırılmaktadır (Montgomery, 2005; Sharma et al., 2008).

Box ve Behnken tarafından ileri sürülen bazı üç-seviyeli tasarımlar, tamamlanmamış blok tasarımları ile 2^k faktöriyelerin kombinasyonu ile oluşturulmaktadır. Box-Behnken tasarımı, her bir değişkenin üst ve alt limitleri tarafından oluşturulan kübik alanın köşelerinde herhangi bir nokta içermemekte, bu da ölçümlerin daha az olması anlamına gelmektedir. Bu durum pahalı veya uygulanması güç olan fiziksel işlemler ile çalışılırken avantaj sağlamaktadır (Montgomery, 2005; Box and Behnken, 1960). Her ne kadar Box-Behnken tasarımı birçok endüstriyel uygulamalarda denemelerin tasarımında kullanılıyor olsa da (Annadurai and Sheeja, 1998; Sharma et al., 2008; El-Sersy, 2007; Nagarajan and Annadurai, 1999; Muthukumar et al., 2003; Korbahti and Rauf, 2008), bu çalışmanın amacını oluşturan farklı tek faz yükler tarafından üretilen harmonik eğrilerin tanımlanmasına ilişkin denemelerin tasarlanmasında ilk kez kullanım alanı bulacağı söylenebilir.

Isıtıcı, kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısı kritik değişkenler olarak seçilmiş ve sırasıyla X_1 , X_2 ve X_3 olarak sembolize edilmiştir. Her bir değişkenin düşük, orta ve yüksek seviyeleri -1, 0 ve +1 olarak tanımlanmıştır (Çizelge 3.8). Denemelerin tasarımı ise Çizelge 3.9'da yer almaktadır.

Çizelge 3.8 Denemeler için seçilen değişkenlerin seviyeleri.

| Değişkenin seviyesi | Değişkenlerin sayısı | | |
|---------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Isıtıcı, X_1 | Kompakt floresan lamba, X_2 | Akkor lamba, X_3 |
| -1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| +1 | 2 | 2 | 2 |

Çizelge 3.9 Üç bağımsız değişken için Box-Behnken deney tasarımı

| Deney No. | Değişkenlerin seviyesi | | |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------|
| | Isıtıcı | Kompakt floresan lamba | Akkor lamba |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | -1 | -1 |
| 3 | 0 | -1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | -1 |
| 5 | 1 | -1 | 0 |
| 6 | -1 | 0 | -1 |
| 7 | -1 | 0 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 1 | -1 |
| 12 | 0 | 1 | 1 |
| 13 | -1 | -1 | 0 |
| 14 | -1 | 1 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |

Üç önemli bağımsız değişken (X_1 , X_2 ve X_3) içeren bir sistemde, yanıtın bu değişkenler üzerine olan matematiksel ilişkisi ikinci seviyeden bir polinomial denklem ile tanımlanmaktadır (Denklem (9)).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 \quad (9)$$

Y (3. (I_3) ve 5. (I_5) harmonik akım) bağımlı değişken olup; X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenlerin (ısıtıcı, kompakt floresan ve akkor lamba sayısı) seviyesi; β_0 merkezi noktadaki regresyon katsayısı; β_1 , β_2 ve β_3 lineer katsayılar; β_{12} , β_{13} ve β_{23} ikinci dereceden katsayılarıdır. Polinomial model eşitliğinin uygunluğu, R^2 tarafından tanımlanmıştır. Bağımlı değişken olarak 3. ve 5. harmonik akımların seçilmesinin nedeni, tek fazlı yükler tarafından üretilen en büyük harmonik akım olmalarıdır. Sonuçların değerlendirilmesinde istatistiksel program kullanılmıştır.

Regresyon analiz yöntemi uygulanarak, 3. (I_3) ve 5. (I_5) harmonik akımlar için tahminlenen yanıt Denklem (10) ve (11)'de yer almaktadır;

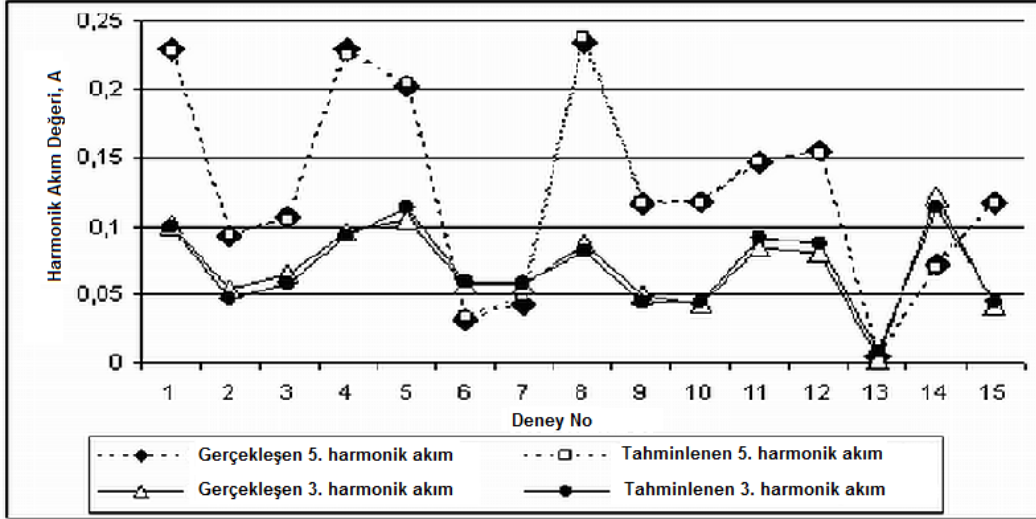
$$I_3=0.01611+0.01011\times A+0.02883\times B-0.02061\times C-0.034402\times A\times B+0.00155\times A\times C-0.003775\times B\times C+0.02072\times A^2+0.013845\times B^2+0.012147\times C^2 \quad (10)$$

$$I_5=-0.000656+0.084519\times A+0.032906\times B-0.004490\times C-0.008628\times A\times B-0.002900\times A\times C-0.001275\times B\times C+0.009799\times A^2+0.001224\times B^2+0.006501\times C^2 \quad (11)$$

Burada I_3 ve I_5 3. ve 5. harmonik akımlar için tahminlenen yanıt olup, A, B ve C ise test edilen değişkenler olup sırasıyla ısıtıcı, kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısını ifade etmektedir. Gerçekleşen ve tahminlenen değerler Çizelge 3.10 ve Şekil 3.8'de yer almaktadır.

Çizelge 3.10 3. ve 5. harmonik akımlar için teorik olarak tahminlenen ve deneysel olarak gerçekleşen değerler.

| Deney No. | 3. harmonik akım, I_3 (A) | | 5. harmonik akım, I_5 (A) | |
|-----------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Gerçekleşen Değer | Tahminlenen Değer | Gerçekleşen Değer | Tahminlenen Değer |
| 1 | 0,10100 | 0,09911 | 0,22900 | 0,22733 |
| 2 | 0,05400 | 0,04695 | 0,09190 | 0,09366 |
| 3 | 0,06440 | 0,05742 | 0,10600 | 0,10489 |
| 4 | 0,09490 | 0,09309 | 0,22900 | 0,22445 |
| 5 | 0,10500 | 0,11386 | 0,20100 | 0,20379 |
| 6 | 0,05690 | 0,05879 | 0,03180 | 0,03347 |
| 7 | 0,05680 | 0,05861 | 0,04340 | 0,04795 |
| 8 | 0,08690 | 0,08174 | 0,23400 | 0,23744 |
| 9 | 0,04980 | 0,04453 | 0,11600 | 0,11700 |
| 10 | 0,04280 | 0,04453 | 0,11800 | 0,11700 |
| 11 | 0,08420 | 0,09118 | 0,14600 | 0,14711 |
| 12 | 0,07950 | 0,08655 | 0,15500 | 0,15324 |
| 13 | 0,00249 | 0,00766 | 0,00479 | 0,00136 |
| 14 | 0,12200 | 0,11314 | 0,07230 | 0,06951 |
| 15 | 0,04100 | 0,04453 | 0,11700 | 0,11700 |



Şekil 3.8 Gerçekleşen ve tahminlenen 3. ve 5. harmonik eğriler.

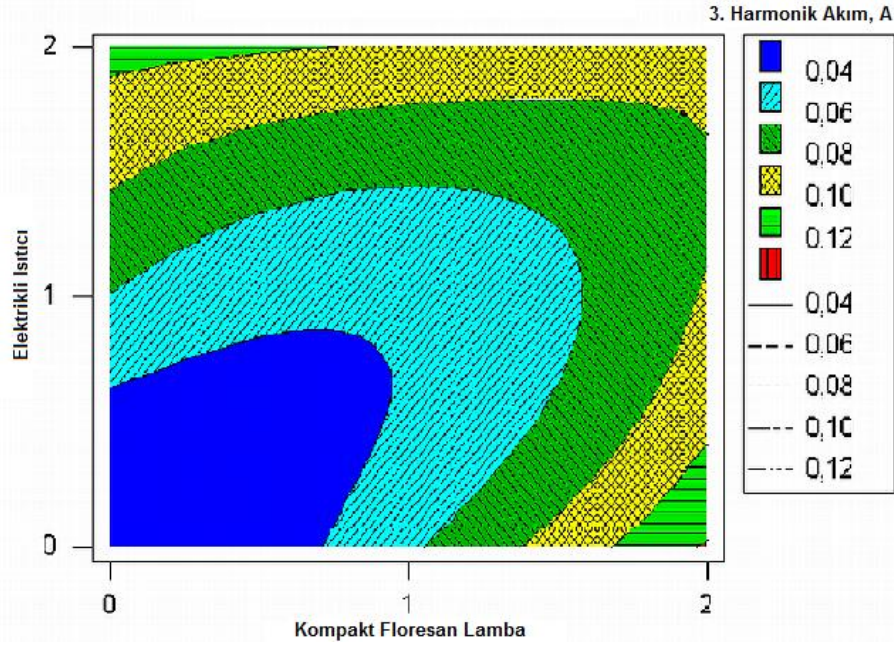
3. ve 5. harmonik akımlar için yanıt yüzeyi modeli için ANOVA sonuçları Çizelge 3.11’de özetlenmiştir. Aynı çizelgede Denklem (10) ve (11)’in istatistiksel önemliliğini tanımlayan F-testi sonuçları da detaylı yorumlama yapılabilmesi için yer almaktadır. Regresyon modelinin P-değerleri dikkate alınacak olursa, 3. ve 5. harmonik akım modellerinin %95 güven aralığında istatistiksel açıdan önemli olduğu söylenebilir. Bilindiği üzere ANOVA test sonucunda R^2 değerinin 1’e yakın olması, gerçekleşen ve tahminlenen değerler arasında oldukça iyi bir korelasyonun olduğuna işaret etmektedir. Gerçekleştirilen deney sonucunda 3. ve 5. harmonik akımlarının her ikisi için de elde edilen R^2 değerleri (0,9650 ve 0,9990) yanıtın gerçekleşen ve tahminlenen değerleri arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir. Deneysel tasarım sonucunda, gerçekleşen ve tahminlenen değerler açısından hemen hemen aynı değerlerin elde ediliyor olması, bu modelin bu çalışmadaki kullanılabilirliğini göstermektedir (Çizelge 3.10 ve Şekil 3.9). Lack-of-fit değeri, regresyonda yer almayan noktaların model tarafından tahminlenmesindeki başarısızlığı göstermektedir. ANOVA test sonucunda lack-of-fit değerinin 0.05’den büyük olması, geliştirilen modelin gerçekleştirilmeyen deneyleri de tahminlemede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Yapılan bu çalışmada da lack-of-fit’in önemli olmayan değeri ($>0,05$), modelin 3. harmonik akım açısından istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 3.11 3. ve 5. harmonik akımların regresyonu için ANOVA test sonuçları.

| | Source | df | Sum of squares | Mean squares | F-value | Frequency (P) |
|---|-------------|----|----------------|--------------|---------|---------------|
| 3. Harmonik akım $R^2 = 96,5\%$, Adj. $R^2 = 90,2\%$ | Regression | 9 | 0,012798 | 0,001422 | 15,32 | 0,004 |
| | Linear | 3 | 0,005505 | 0,000318 | 3,42 | 0,109 |
| | Square | 3 | 0,002492 | 0,000831 | 8,95 | 0,019 |
| | Interaction | 3 | 0,004801 | 0,001600 | 17,24 | 0,005 |
| | Residual | 5 | 0,000464 | 0,000093 | | |
| | Lack of fit | 3 | 0,000421 | 0,000140 | 6,49 | 0,136 |
| | Pure error | 2 | 0,000043 | 0,000022 | | |
| 5. Harmonik Akım $R^2 = 99,9\%$, Adj. $R^2 = 99,6\%$ | Regression | 9 | 0,074729 | 0,008303 | 428,85 | 0,000 |
| | Linear | 3 | 0,073914 | 0,001565 | 80,84 | 0,000 |
| | Square | 3 | 0,000477 | 0,000159 | 8,22 | 0,022 |
| | Interaction | 3 | 0,000338 | 0,000113 | 5,82 | 0,044 |
| | Residual | 5 | 0,000097 | 0,000019 | | |
| | Lack of fit | 3 | 0,000095 | 0,000032 | 31,60 | 0,031 |
| | Pure error | 2 | 0,000002 | 0,000001 | | |

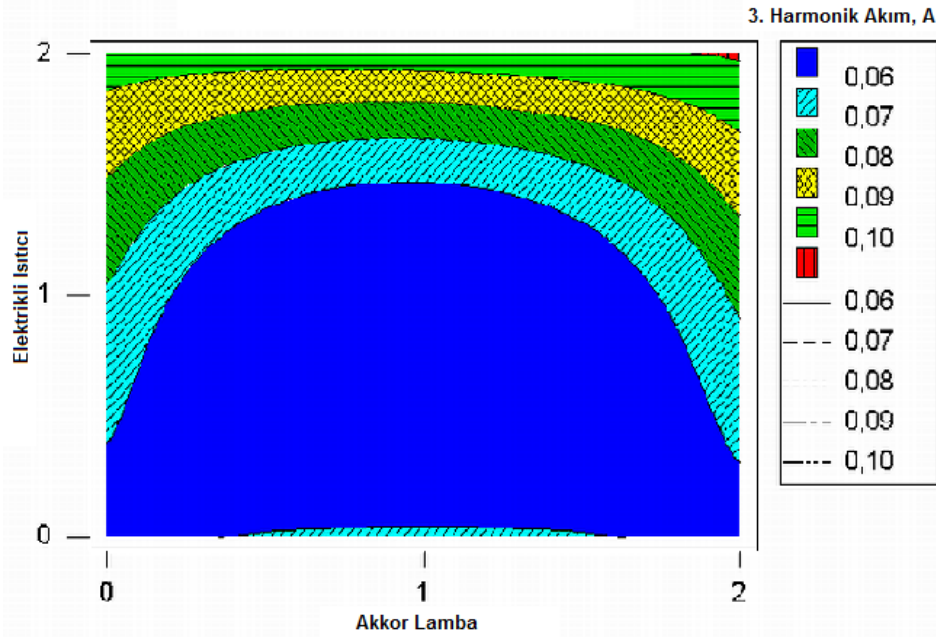
Denklem (10) ve (11)'deki katsayılar, herbir bağımsız değişkenin (ısıtıcı, kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısı) sorumluluğunu ve aralarındaki etkileşimi ifade etmektedir. Örneğin; Denklem (10)'daki B'nin (+0,02883) A'dan (+0,01011) daha yüksek olan katsayı değeri, her ne kadar elektrikli ısıtıcının nominal güç değeri en yüksek olsa da kompakt floresan lambanın 3. harmonik akım üzerine olan etkisinin, elektrikli ısıtıcıdan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, kompakt floresan lamba ile elektrikli ısıtıcının etkileşimi ($A \times B$) -0,034402 katsayı değerine sahip olup, azaltıcı etki özelliğine sahiptir. Diğer yandan, Denklem (11)'de değişkenler arasından en yüksek katsayı (+0,084519) değerine sahip olan A'dır. Bu şu anlama gelmektedir; 5. harmonik akımı üzerinde en büyük etkiye sahip olan elektrikli ısıtıcıdır. Kompakt floresan lamba, ikinci önemli değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Kompakt floresan lamba 5. harmonik akımında artışa neden olurken, -0,004490 katsayı değerine sahip akkor lamba düşüşe neden olmaktadır. Yukarıda bahsedilen her bir değişkenin etkileri yanıt yüzey grafikleri yardımıyla net bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 3.9-3.14).

Şekil 3.9'dan da görüldüğü üzere, harmonik akım değeri hem ısıtıcı hem de kompakt floresan lamba sayısına bağlı olarak değişmektedir. Ancak, Denklem (10)'dan da görüldüğü üzere kompakt floresan lambanın etkinliği daha yüksek olmaktadır. Denemelerde iki elektrikli ısıtıcı kullanıldığında 3. harmoniğin değeri 0,12 A'e kadar çıkmaktadır. Ancak bu değer, ısıtıcılar yerine iki tane kompakt floresan lamba kullanıldığında 0,12 A'den çok daha büyük olmaktadır.



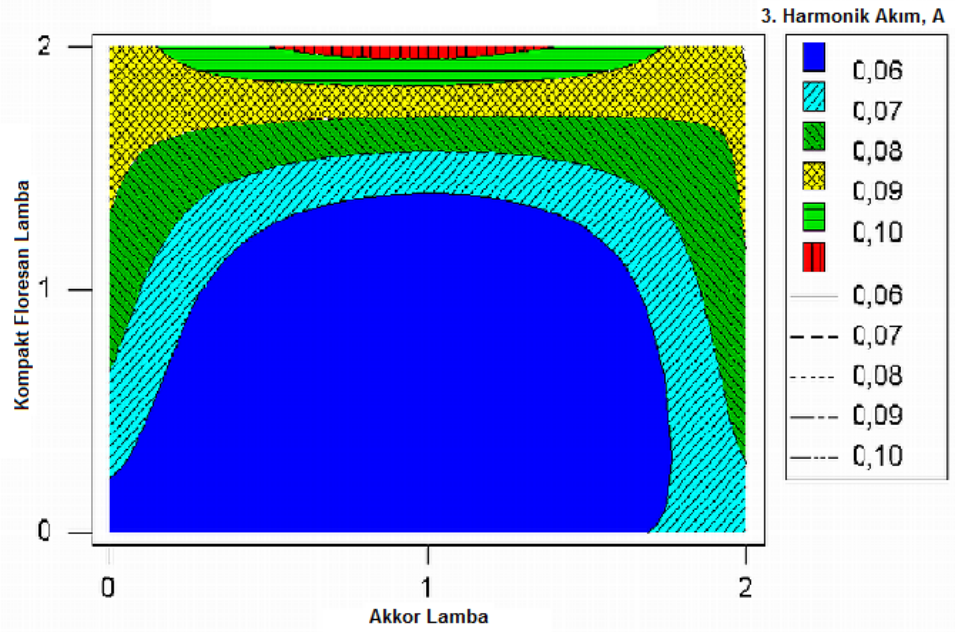
Şekil 3.9 Elektrikli ısıtıcı ve kompakt floresan lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi.

Şekil 3.10, elektrikli ısıtıcı sisteme dâhil edilmediği sürece akkor lambanın önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Akkor lamba sayısından bağımsız olarak iki elektrikli ısıtıcı kullanılarak 0,09-0,10 A arasında bir harmonik akım değeri elde edilmiştir. Ancak maksimum değer (0,10 A üzeri), iki akkor lamba ve iki elektrikli ısıtıcı kullanıldığında elde edilmiştir.



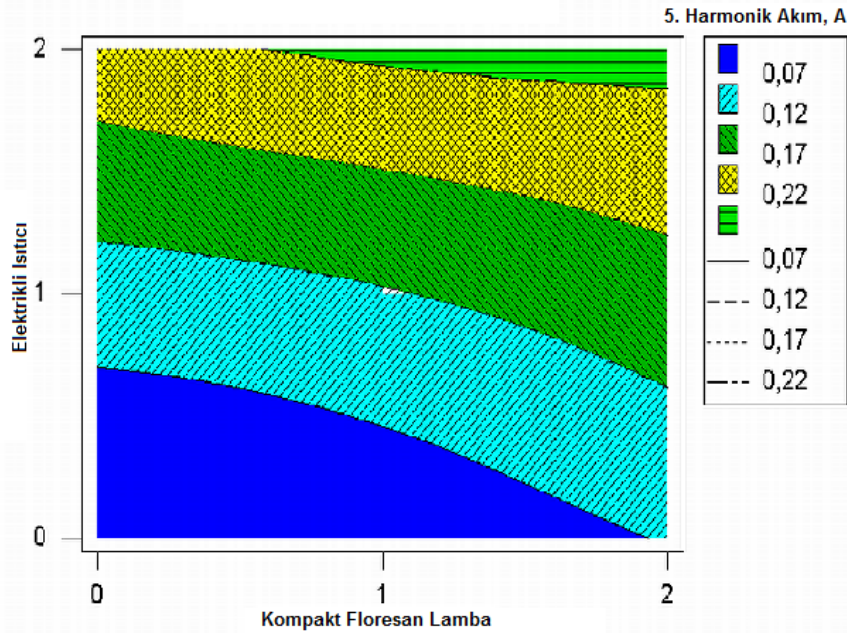
Şekil 3.10 Elektrikli ısıtıcı ve akkor lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi.

1 akkor lamba ile 2 kompakt floresan lambanın aynı anda kullanılması en yüksek harmonik kirliliğe (0,10 A üzeri) neden olmaktadır. Kompakt floresan lamba kullanılmaksızın akkor lamba sayısının 1'den 2'ye çıkartılması, 3. harmonik akımın 0,06 A'den 0,07 A'e yükselmesine neden olmaktadır. Sadece iki kompakt floresan lamba kullanılarak hemen hemen maksimum harmonik akım değeri elde edilmektedir. Kompakt floresan lamba sayısı 1 ve daha az olduğunda ise önemsiz kabul edilebilecek harmonik akım değerleri elde edilmektedir (Şekil 3.11).



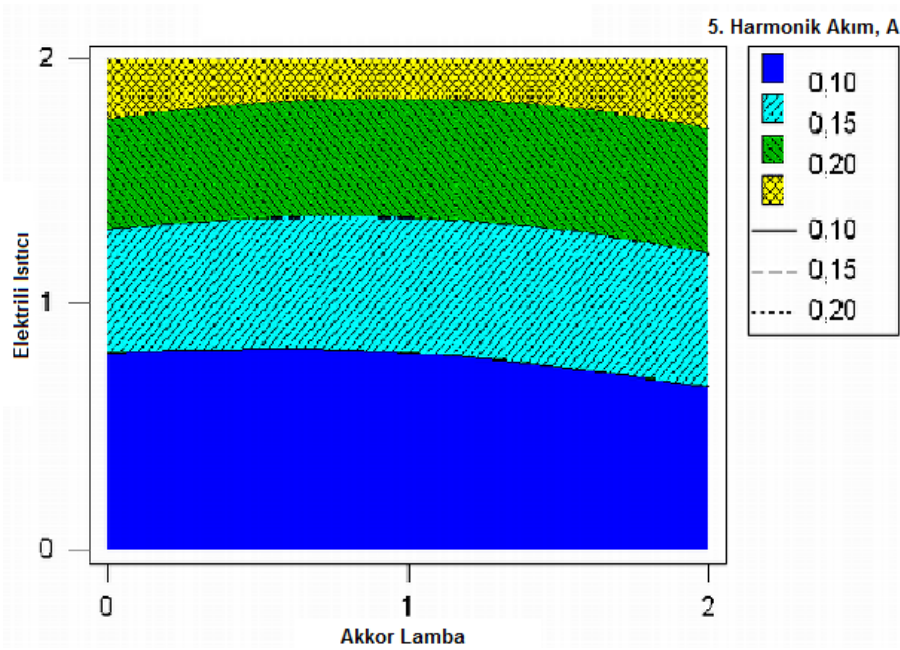
Şekil 3.11 Kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısının 3. harmonik akım üzerine olan etkisi.

Denklem (11)'de belirtildiği üzere, 5. harmonik akım üzerinde en yüksek artış etkisine sahip olan +0,084519 katsayılı değere sahip elektrikli ısıtıcıdır. Şekil 3.12 bu görüşü desteklemektedir; sistemde 1 elektrikli ısıtıcı bağlı iken sisteme 1 veya 2 kompakt floresan lamba bağlanması elde edilen net harmonik akımı (0,12 A) değiştirmemektedir.



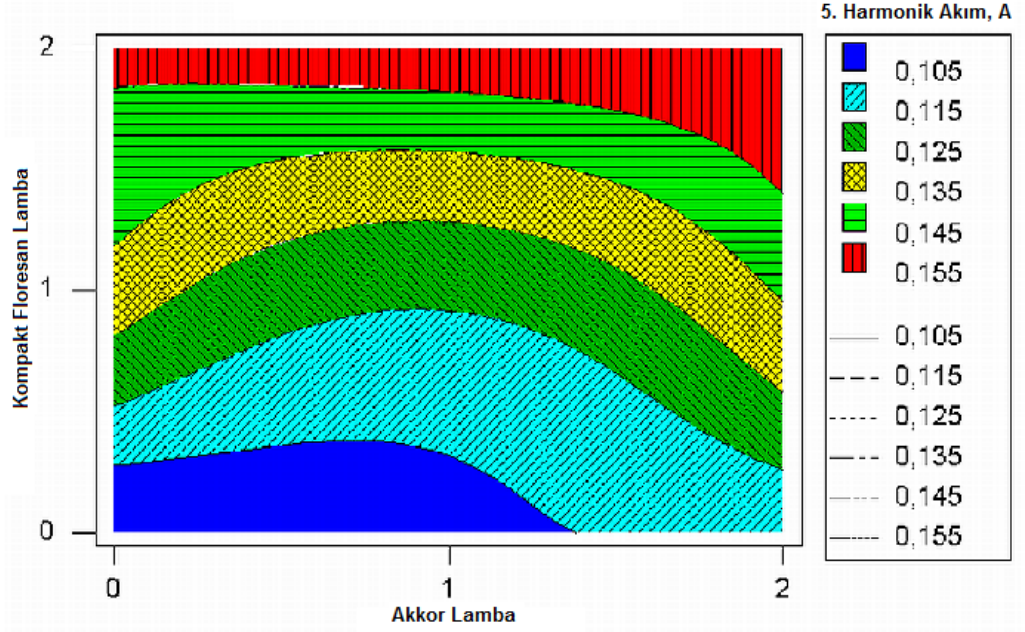
Şekil 3.12 Elektrikli ısıtıcı ve kompakt floresan lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi.

Şekil 3.13'den de görüldüğü üzere, ısıtıcı ve akkor lambanın 5. harmonik değerlerine olan etkisi kıyaslandığında, akkor lamba sayısındaki artışın önemsiz olduğu söylenebilir. 1 elektrikli ısıtıcı yerine 2 akkor lamba kullanıldığında, 5. harmonik akım değeri 0,10 A ile 0,15 A arasında sabit kalmaktadır. Ancak, 1 veya daha fazla akkor lamba eşliğinde bir yerine iki elektrikli ısıtıcı kullanıldığında harmonik akım değeri 0,15 A'den 0,20 A'ye yükselmektedir.



Şekil 3.13 Elektrikli ısıtıcı ve akkor lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi.

Her ne kadar ısıtıcı ve akkor lamba arasında daha az bir etkileşim görülüyor olsa da, ısıtıcı yerine kompakt floresan lamba kullanımı tercih edildiğinde etkileşim daha büyük önem arz etmektedir (Şekil 3.14). Bu durum Denklem (11)'den de net bir şekilde görülmektedir; $A \times B$ 'nin katsayısı $-0,008628$ iken $A \times C$ 'nin katsayısı $-0,002900$ 'dır.



Şekil 3.14 Kompakt floresan lamba ve akkor lamba sayısının 5. harmonik akım üzerine olan etkisi.

Dağıtım sistemlerine bağlanan yeni harmonik kaynakların sayısı dikkate alındığında harmoniklerle ilgili çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farklı olduğu nokta; tek fazlı yükler arasındaki harmonik etkileşimin değerlendirilmesinde üç seviyeli deneysel bir tasarım olan Box-Behnken modelinden yararlanılmış olmasıdır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar, 3. ve 5. harmonik akımlar için yüklerin katkısının ve yükler arasındaki etkileşimin ($A \times B$, $A \times C$, $B \times C$, vd.) değerlendirilmesinde Box-Behnken deneysel tasarımın kullanılabilirliğini göstermiştir. Bağımsız değişkenlerin (elektrikli ısıtıcı, kompakt floresan lamba, akkor lamba) yanıtı olan katkısı, çalışmalar sonucunda elde edilen denklemler kullanılarak kolaylıkla belirlenebilmektedir.

4. ŞEBEKE VE EVİRİCİNİN MODELLENMESİ

4.1 Seçilen Alçak Gerilim Şebekesinin Tanıtımı ve Modellenmesi

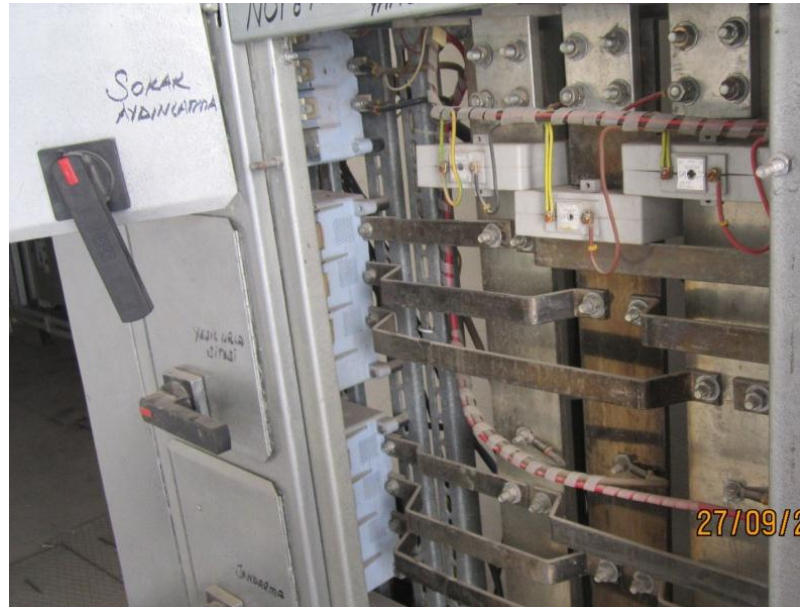
FV sistemin harmonik katkısını inceleyebilmek amacıyla Urla İlçesi'nde elektrik dağıtım sistemi alçak gerilim şebekesi ve bu sisteme bağlı FV sistem ve sistemde kullanılan monofaze evirici seçilmiştir. Bu kapsamda alçak gerilim projesi Ek 1'de verilmiş olan 1000 kVA gücündeki trafonun evirici bağlı C kolu çalışma için belirlenmiştir. Trafo bölgesi toplam dört koldan ve 91 adet direktten oluşmaktadır. Kol isimleri A, B, C ve D olarak adlandırılmaktadır. Seçilen C kolu 35 direğe sahip ve en uzun kol özelliğini taşımaktadır. Trafonun görüntüsü, etiket değeri fotoğrafı ve ag panosu detay görüntüleri sırasıyla Şekil 4.1-4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Trafonun görüntüsü.

| BEST | | BALIKESİR ELEKTROMEKANİK SANAYİ TESİSLERİ A.Ş. | |
|-----------------------------|--------------------|--|------------------|
| 3 Fazlı Yağlı Transformatör | | | |
| Tipi | YTH 1000 / 17,5 | | No |
| Standart | TS 267 / IEC 60076 | | İmalat Yılı |
| Nominal Güç | Y.G. | A.G. | Frekans Hz. |
| Nominal İzolas. | 1000 | 1000 | 50 |
| | 95 / 38 | - / 3 | Bağl. Grubu |
| | 1 | | Dyn11 |
| | 2 | | |
| Nominal | 3 | 400 | Söğütme |
| | 4 | | ONAN |
| Gerilim | 5 | | İzolasyon Sınıfı |
| | | | A |
| | | | Kısa Devre |
| | | | Gerilimi % |
| | | | Boş. Çev. Oranı |
| | | | 15,3/0,4 |
| Nominal Akım | 36,55 | A. | 1443,4 |
| Boşta Akım % | | A. | 1443,4 |
| Kısa Devre Süresi Max. S. | 3 | Py kW. | 10,22 |
| Yağ Cinsi | L.P.A.R.U.Y. | | Yağ Ağırlığı |
| | | | 0,680 t |
| İzole Direnci | YG/AG | YG/T | AG/T |
| 30 s. M ohm | | | |
| 60 s. M ohm | | | |
| Müşteri Adı | | | |
| Malzeme Kod No | 4800456 | | |
| | TSE | | |
| | TÜRK MALI | | |

Şekil 4.2 Trafonun etiket değerleri görüntüsü.



Şekil 4.3 Trafonun ağ panosu detay görüntüsü.

Seçilen trafonun C kolu üzerinde çok sayıda mesken ve ticarethane aboneleri bulunduğu, orada bulunan bina ve yapılardan anlaşıldığı gibi (Şekil 4.4) Tedaş bilgi sisteminden alınan detaylı abone bilgilerinden de anlaşılmaktadır. Tedaş tarafından kullanılmakta olan Abone.net isimli yazılımda mevcut abone ile ilgili birçok bilgiye ulaşılabilmektedir. Şekil 4.5’de örnek bir abonenin bilgileri verilmiştir. Yapılan abone bilgilerinin incelenmesi neticesinde ilgili C kolunda 89

mesken abonesi ve 30 ticarethane abonesi olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle mevcut abonelerin yaklaşık %75'i mesken, %25'i ticarethane abonelerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.4 Seçilen kol üzerindeki binaların genel görünümü.

| Abone.net | | Raporların | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|----------|-----------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| ABONE | ADRES | GENEL İŞLEMLER | KAÇAK | MERKEZİ YÖNETİM | SAYAÇ | TAHAKKUK | TAHSİLAT | TRAFİ | YETKİ YÖNETİMİ | MUHASEBE İÇMALLERİ | |
| ABONE BİLGİLERİ - (DURUM: NORMAL) | | | | | | | | | | | |
| Abone Numarası: | 00000126750 | İşletme Kodu: | 35.20.7.0.0 | Dosya No: | 22,00 | Sıra No: | 1,01 | Abonelik Baş. Tarihi: | 25.12.2002 | Abonelik Bitiş Tarihi: | Abonelik devam ediyor. |
| Kayıt Tipi: | ABYS | Talimatlı Banka: | GARANTI BANKASI | | | | | | | | |
| Gerçek Sahis Bilgileri | | | | | | | | | | | |
| Vatandaşlık No: | | Vergi Dairesi: | | | | | | | | | |
| Ad: | ZEHRA | Vergi No: | | | | | | | | | |
| Soyad: | YALAZ | Sosyal Güvenlik Tipi: | Diğer | | | | | | | | |
| Baba / Ana Adı: | / | Sosyal Güvenlik No: | | | | | | | | | |
| D. Yeri / Tarihi: | - | | | | | | | | | | |
| Nüfusa Kayıtlı Olduğu: | | | | | | | | | | | |
| İli: | | Çilt No: | | | | | | | | | |
| İlçe: | | Aile Sıra No: | | | | | | | | | |
| Mahalle Köy: | | Sıra No: | | | | | | | | | |
| Adres Bilgileri | | | | | | | | | | | |
| Tarife Bilgileri | | | | | | | | | | | |
| Ana Abone Grubu: | 2 - TİCARETHANE-YAZIHA NE | Ana Tarife Grubu: | 50200 - Tic.Büro | | | | | | | | |
| Unipede Kodu: | 1610 - YAZIHA NE VE TİCARETHANELER | Tarife Grubu: | 50210 - TİCARETHANE-BÜRO-YAZIHA NE | | | | | | | | |
| Terim: | TekTerimPuant | Teşvik Oranı: | 0,00 | | | | | | | | |
| Dağıtım Tipi : | Dağıtım Sistemi Kullanıcısı | Beslenme Tipi : | TEDAS tan enerji aliyor | | | | | | | | |
| Ana Saymanlık : | | Saymanlık Kodu : | | | | | | | | | |
| Enerji Bilgileri (Alçak Gerilim) | | | | | | | | | | | |
| En. Kesme Durumu : | Enerji_Kesilebilir | | | | | | | | | | |
| Güç Bilgileri: | Kurulu Güç :5,00 KW - Sözleşme Gücü: 3,00 KW - Bağlantı Gücü: 3,00 KW | | | | | | | | | | |
| Bağlantı Bilgileri: | Trafo Kodu: - Fider No: Girilmemiş - Direk No: Girilmemiş - Köfre No: Girilmemiş | | | | | | | | | | |
| Diğer Bağlantı Bilgileri: | Primer / Sekonder : Sekonder - Faz Adedi: 1 - Kompanzasyon Tesisi:Yok | | | | | | | | | | |
| Abone Sözleşmeleri | | | | | | | | | | | |
| Abone Belgeleri | | | | | | | | | | | |
| Aboneye Bağlı Sayaçlar | | | | | | | | | | | |
| Seri No | Markası | Cinsi | Tipi | Hane Tam/Kesir | Enerji Ölçüm Cinsi | Son Endeks (Tüm-Gündüz/Puant/Gece) | Tahakkuk | | | | |
| 00011950 | ESM | Elektronik | Monofaze | 5/3 | Aktif-Uç Zam. | 43886,000/19048,000/24871,000 | 1,00 | | | | |
| © 2003 Bu Yazılımın Tüm Hakları TEDAS'a aittir. 29/11/2012 - 15:36 Yeni mesaj yok. | | | | | | | | | | | |
| Guvenilen siteler | | | | | | | | | | | |

Şekil 4.5 Abone.net programı üzerinde görülen örnek abone bilgileri.

Abonelerin kullandıkları alıcıların; dolyısıyla çekilen akımların rastgele değiştiği bizzat rastgele seçilen abonelerin bağlantı noktalarındaki ölçümlerle görülmüştür (şekil 4.6). Her bir abonenin kullanım alışkanlıklarının farklı olduğu ve birbirlerinden bağımsız olduğu bilinmektedir.



şekil 4.6 Abone bağlantı noktasında gerçekleştirilen çalışma görüntüsü.

Alçak gerilim şebekesinin modellenmesinde Ek 1'deki alçak gerilim projesi dikkate alınmıştır. Mevcut 35 direk arasındaki mesafelerin mevcut uzunluklar incelendiğinde ortalama mesafenin 40 m olarak kabul edilebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca direklerden eşit güç çekildiği kabul edilmiş ve trafo ag barası dışında dört bağlantı noktası seçilmiştir. Her bir bağlantı noktasındaki direk sayısı ile orantılı güç dağılımı olduğu, bu bağlantı noktalarına bağlı direk sayıları ile orantılı olarak güç çekildiği kabul edilmiştir. Ag şebekesinde kullanılan pansy ve rose iletkenlerin resistans ve reaktans değerleri üretici firma olan Emta firması katalogundan alınmış ve 40 m ve 40 metrenin gerekli katları için hesaplanmıştır (Emta Kataloğu, 2012).

Hat empedansları basit işlem yapılarak temel bileşen 50 Hz' deki değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur, empadans Z ile, resistans r ile, reaktansın 50 Hz'deki büyüklüğü x ile sembolize edilmiştir.

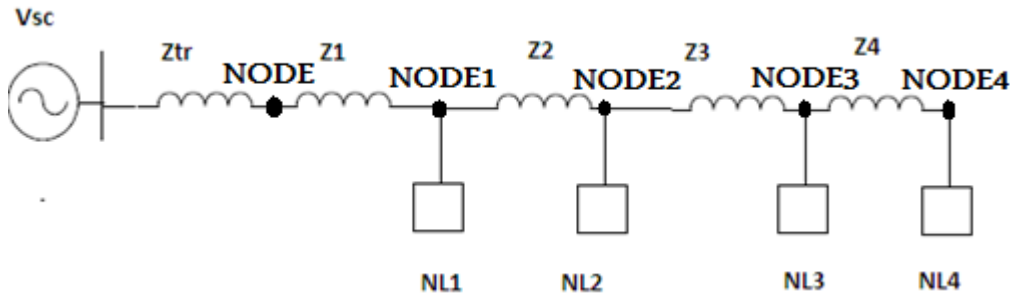
Z1: 40m pansy; $r = 0,028$ ohm, $x = 0,033$ ohm

Z2: 120m pansy; $r = 0,084$ ohm, $x = 0,099$ ohm

Z3: 200m pansy; $r = 0,140$ ohm, $x = 0,165$ ohm

Z4: 240m rose; $r = 0,334$ ohm, $x = 0,400$ ohm

Seçilen dört bağlantı noktasındaki yükler sırasıyla NL1, NL2, NL3 ve NL4 olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde trafo etiket değeri kullanılarak ($u_k=0,06$) trafo empedansı (Z_{tr}) da $0,0096$ ohm olarak hesaplanmış ve $0,01$ ohm olarak kullanılmıştır. Yapılan açıklama ve hesaplar ışığında ağ şebekesinin C kolunun tek hat şemasını Şekil 4.7'deki gibi gösterebiliriz. Burada V_{sc} trafo gerilimini göstermektedir. Bağlantı noktaları ise sırasıyla NODE, NODE1, NODE2, NODE3 ve NODE4 olarak isimlendirilmiştir.



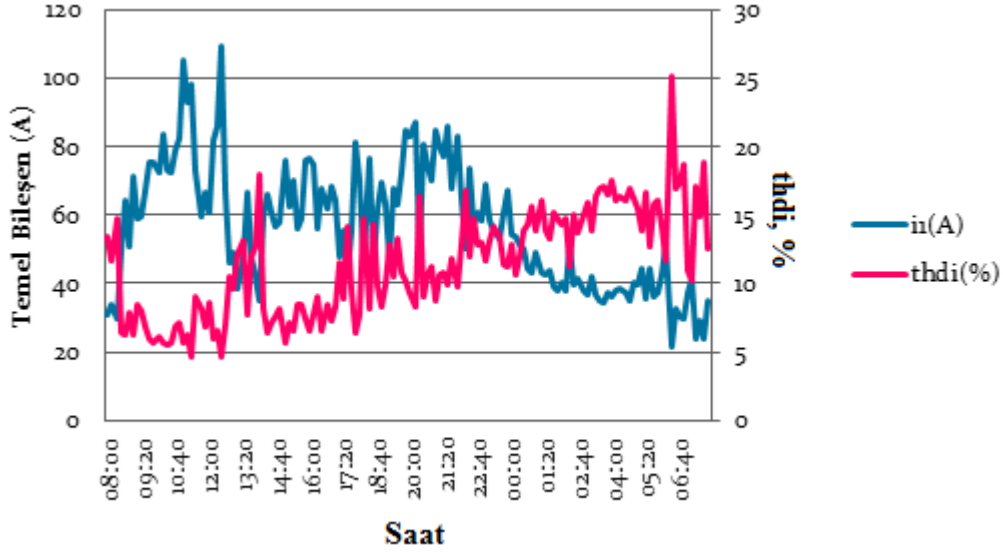
Şekil 4.7 Toplu yükleri ve empedansları gösteren tek hat şeması.

IEC standartlarından esinlenerek hazırlanan Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde ölçüm periyodu boyunca ölçülen herbir gerilim harmoniği etkin değerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'i, Çizelge 3.5'de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olması istenildiğinden ve ölçüm periyodunun en az bir hafta olması istenildiğinden ölçümler 10'ar dakikalık periyodlarla ve iki haftanın üzerinde süren zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Şebekede mevcut bulunan lineer olmayan yüklerin oluşturduğu şebekedeki mevcut harmonik bozulmayı tespit edebilmek ve şebekenin harmonik karakteristiğini ortaya koymak için Fluke 43B güç analizörü ile ölçülen akım ve harmonik akım değerlerinin IEC 61000.3.6 standartında belirtildiği gibi kümülatif olasılık değerleri (CP95) hesaplanmıştır.

Ayrıca şebekenin genel yapısını görebilmek için akım rms değeri, harmonik akım değerleri ve açılarınin ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, varyans değerleri ve kümülatif olasılık dağılım değerleri hesaplanmıştır (Ek 2). Bu hesaplamada SPSS istatistik programı kullanılmıştır. İlgili kol akımının CP95 değerinin 87,80 olması nedeniyle toplam trafodan 21072 VA güç çekildiği ve bu yükün her bir bağlantı noktasına göre dağılımının $NL1 = 1,20$ kVA, $NL2 = 11,44$ kVA, $NL3 = 6,62$ kVA ve $NL4 = 1,81$ kVA olduğu hesaplanmıştır (Şekil 4.7).

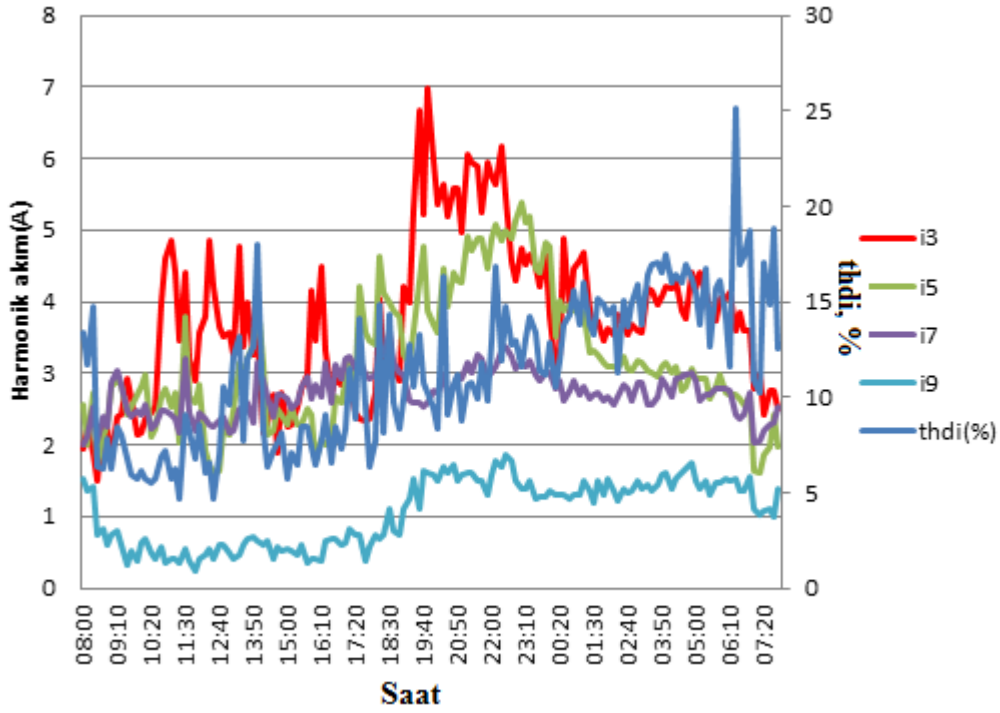
Seçilen kol üzerinde yüzlerce alıcının rastgele devreye girmesi ve devreden çıkması ve bu alıcıların harmonik ve elektriksel özelliklerinin farklı olması nedeniyle iki haftalık ölçüm periyodunda akım rms değerinin maksimum 127 A ile 17,4 A arasında değiştiği, en büyük harmonik değerlere sahip olan üçüncü harmonik akım değerlerinin 0,65 A ile 9,36 A arasında değiştiği görülmüştür. Benzer şekilde, beşinci, yedinci, dokuzuncu ve onbirinci harmonik akım değerlerinin sırasıyla; 0,33 A ile 5,38 A; 0,71 A ile 3,56 A; 0,02 A ile 2,00 A; 0,02 A ile 1,44 A arasında değiştikleri tespit edilmiştir. Harmonik açıların değişimi ise neredeyse 360 derecedir. Akım değerlerindeki değişimlerin bu denli fazla olması olasılık dağılım yaklaşımının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Gün içerisinde akımın temel bileşeninin (i_1) ve akımın toplam harmonik bozulmasının (thdi) 24 saatlik dilimde değişimine bakıldığında çekilen akımın yüksek olduğu öğle saatlerinde (11:00-12:30) thdi değerinin düşük olduğu ve enerji tüketiminin düşük olduğu saatlerde ise thdi değerinin %25'lere kadar çıkabildiği görülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Akımın temel bileşeni ve toplam harmonik bozulmasının günlük değişimi.

Üçüncü, beşinci, yedinci, dokuzuncu harmonik bileşenlerin ve thdi'nin günlük değişimlerine bakıldığında ise belirtilen değerlerin değişik zamanlarda maksimum minimum değerlere ulaştığı, zaman yönünden bir paralellik olmadığı görülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Harmonik bileşenlerin ve toplam harmonik bozulmasının günlük değişimi.

Similasyonlar için özellikle harmonik analizlerine ve hesaplamalarına yönelik hazırlanmış olan SUPERHARM version 4.3 ve sonuçların değerlendirildiği TOP version 6.02 bilgisayar programları kullanılmıştır. Şebekedeki yüklerin harmonik etkilerini de dikkate almak için yükler uygun güç ve bağlantı noktasına göre programda lineer olmayan yük olarak tanımlanmış ve özellikle diğer bileşenlere göre daha yüksek değerlere sahip olan üçüncü, beşinci, yedinci, dokuzuncu ve onbirinci harmonik akım değerleri modellemede kullanılmıştır. Şebekenin güç faktörü 0,92 olarak ölçüldüğünden yük tanımlamalarında da bu değer kullanılmıştır. Ölçüm değerleriyle uyumlu olabilmesi için yapılan similasyon sonuçlarına göre yüklerin harmonik modellemeleri yapılmış SuperHarm programında şebeke modelini tanımlamak için aşağıdaki kod yazılmıştır.

```
TITLE Title1 = "Grid without Inverter"
```

```
OPTIONS
```

```
FBASE = 50
```

```
VSOURCE name=vsrsc bus=src mag=241 ang=0 freq=50
```

```
BRANCH name=trempp from=src to=node
```

```
x=0.01
```

```
BRANCH name=pansy from=node to=node1
```

```
r=0.028 x=0.033
```

```
NONLINEARLOAD NAME=NL1 KV=0.23 KVA=1.20 DF=0.92
```

```
FREQMULT = 50 BUS = node1
```

```
TABLE={  
  
    { 1, 5, 0 },  
  
    { 3, 1.354, 0 },  
  
    { 5, 3.969, 0 },  
  
    { 7, 0.869, 0 },  
  
    { 9, 0.317, 0 },  
  
    { 11, 0.174, 0 }  
  
}
```

```
BRANCH name=pansy1 from=node1 to=node2
```

```
        r=0.084      x=0.099
```

```
NONLINEARLOAD NAME=NL2 KV=0.23 KVA=11.44 DF=0.92
```

```
FREQMULT = 50 BUS = node2
```

```
TABLE={  
  
    { 1, 47.5, 0 },  
  
    { 3, 12.860, 0 },  
  
    { 5, 37.703, 0 },  
  
    { 7, 8.260, 0 },  
  
    { 9, 3.013, 0 },
```

```
{ 11, 1.654, 0 }
```

```
}
```

```
BRANCH name=pansy2 from=node2 to=node3
```

```
r=0.14          x=0.165
```

```
NONLINEARLOAD NAME=NL3 KV=0.23 KVA=6.62 DF=0.92
```

```
FREQMULT = 50 BUS = node3
```

```
TABLE={
```

```
{ 1, 27.6, 0 },
```

```
{ 3, 7.445, 0 },
```

```
{ 5, 21.828, 0 },
```

```
{ 7, 4.782, 0 },
```

```
{ 9, 1.744, 0 },
```

```
{ 11, 0.957, 0 }
```

```
}
```

```
BRANCH name=rose from=node3 to=node4
```

```
r=0.334          x=0.400
```

```
NONLINEARLOAD NAME=NL4 KV=0.23 KVA=1.81 DF=0.92
```

```
FREQMULT = 50 BUS = node4
```

```
TABLE={
```

```
{ 1, 7.53, 0 },
```

```
{ 3, 2.031, 0 },
```

```
{ 5, 5.953, 0 },
```

```
{ 7, 1.304, 0 },
```

```
{ 9, 0.476, 0 },
```

```
{ 11, 0.261, 0 }
```

```
}
```

```
retain currents= yes
```

```
....
```

Yapılan simülasyon neticesindeki değerler ile alçak gerilim barasındaki ölçülen gerilim ve gerilim harmonik bileşenleri değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.1’de verilmiştir. Burada 1, 3, 5, 7, 9, 11 sayıları sırasıyla gerilimin temel bileşen, üçüncü, beşinci, yedinci, dokuzuncu ve onbirinci harmonik gerilim değerlerini temsil etmektedir. Simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farkların son derece sınırlı kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.1 Trafo ilgili kol bara gerilimi temel bileşen ve harmonik ölçülen ortalama değerleri ve simülasyon sonuçları karşılaştırması.

| Bara Gerilimleri | Ölçüm Ortalama Değerleri (V) | Simülasyon Sonuçları (V) |
|------------------|------------------------------|--------------------------|
| V1 | 240,694 | 240,621 |
| V3 | 0,726 | 0,726 |
| V5 | 3,550 | 3,543 |
| V7 | 1,086 | 1,085 |
| V9 | 0,506 | 0,508 |
| V11 | 0,336 | 0,340 |

Şebekede trafodan uzaklaştıkça mesafe ve çekilen akımla orantılı olarak gerilim düştüğünden dağıtım şirketleri hem trafo alçak gerilim barasında hem de en son abone bağlantı noktasında standartlara uygunluğu amaçlamaktadırlar. Bu amaçla ülkemizde trafo alçak gerilim barasında genellikle faz nötr gerilimleri 240V düzeyinde ayarlanmaktadır. Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde alçak gerilim seviyesinde faz nötr gerilimi 230 V olarak tanımlanmış ve ölçülen değerlerin tamamının en fazla +%10 ile - %15 aralığında değişebileceği belirtilmiştir. Yapılan modelleme ve simülasyon neticesinde bağlantı noktalarının her bir gerilimine bakıldığında trafodan uzaklaştıkça gerilimin düştüğü ancak her bir bağlantı noktasının geriliminin standartlar içerisinde kaldığı görülmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Bağlantı noktaları gerilim değerlerine ilişkin simülasyon sonuçları.

| Bağlantı Noktası | Frekans(Hz) | Gerilim(V) |
|------------------|-------------|------------|
| NODE | 50 | 240,621 |
| NODE1 | 50 | 237,108 |
| NODE2 | 50 | 227,257 |
| NODE3 | 50 | 220,452 |
| NODE4 | 50 | 216,999 |
| SRC | 50 | 241 |

Simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farklar ve bağlantı noktalarındaki gerilimler dikkate alındığında şebekenin kabul edilebilir şekilde modellendiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

4.2 Seçilen Eviricinin Harmonik Modellenmesi

Urla İlçesinde iki katın üzerinde imar izni olmamasından dolayı eskiden yapılmış üç ve dört katlı çok ender birkaç bina dışında yapılar iki katlıdır ve çoğunlukla mesken amaçlı kullanılmaktadırlar. Bu yapılarda kullanılacak birkaç kw gücündeki FV sistemler evlerin tüketeceği enerjiyi yaklaşık olarak üretmeye yetebilecektir. 2 Ekim 2013 tarihinde yayınlanan 28783 sayılı Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğde “Kurulu gücü 5 kWe’ a eşit veya daha düşük olan üretim tesisi şebekeye AG seviyesinden tek fazlı olarak bağlanabilir.” hükmü yer aldığından seçilen bu bölgede gelecekte tek fazlı evirici kullanımı olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle bu bölgede seçilmiş olan trafoyun üzerinde çalışma yapılan kolunda tesis edilmiş olan, 14 adet 225 Wp gücündeki aynı marka ve model panellerden (Şekil 4.10) oluşan ve monofaze olarak çalıştırılan şebeke bağlantılı FV sistem modellenmek üzere incelenmiştir. Sistemde kullanılan panellerin marka, model ve elektriksel özellikleri etiketleri üzerinden görülmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.10 14 adet 225 Wp gücündeki panellerin görüntüsü.

| SYMPHONY ENERGY | | |
|--|-------------|---|
| PHOTOVOLTAIC MODULE | SE - M225GA | |
| NOMINAL PEAK POWER (Pmax) | 225 | W |
| MAXIMUM POWER VOLTAGE (Vmp) | 30.2 | V |
| MAXIMUM POWER CURRENT (Imp) | 7.44 | A |
| OPEN - CIRCUIT VOLTAGE (Voc) | 36.6 | V |
| SHORT - CIRCUIT CURRENT (Isc) | 8.06 | A |
| (STC : 1000W/m ² , AM 1.5, 25 °C) | | |

Şekil 4.11 Panellerin etiketini gösterir fotoğraf.

Üretilen enerjiyi şebekeye vermek amacıyla Kaco Powador 3200 marka evirici kullanılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Eviricinin görüntüsü.

Kullanılan eviricinin etiket değerleri ve elektriksel özellikleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Çizelge 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.13 Eviricinin etiket görüntüsü.

Çizelge 4.3 Evirici elektriksel özellikleri.

| Giriş değişkenleri | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Tavsiye edilen Max. PV jeneratör gücü | 3200 W |
| MPP aralığı | 350 V ... 600 V |
| Yüksüz voltaj | 800 V |
| Max. Giriş akımı | 8.6 A |
| Dize sayısı | 3 |
| MPP izleyici sayısı | 1 |
| Çıkış değişkenleri | |
| Nominal güç | 2600 VA |
| Max. çıkış | 2850 VA |
| Nominal akım | 11.3 A |
| Nominal frekans | 50 Hz/60 Hz |
| Güç faktörü | 0.80 endüktif ... 0.80 kapasitif |
| Şebeke faz sayısı | 1 |

Eviricilerin modellenmesinde eviricinin donanımı kullanılarak teorik modelleme yerine şebekede değişik çalışma koşullarındaki özelliklerine göre değerlendirilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir. Yapılmış bir çalışmada, değişik yapıdaki (trafolu/trafosuz vs.) eviricilerin harmonik açıdan değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve eviricilerin akım harmonik bozulmalarının şebeke geriliminin kalitesine bağlı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Heskes and Enslin, 2003).

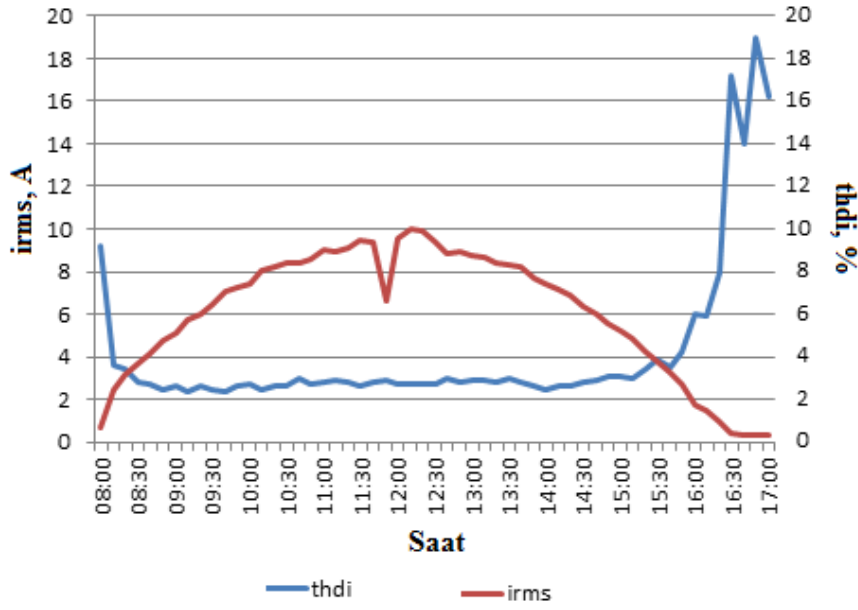
Özellikle güneşin gün içerisinde doğduğu battığı dolayısıyla ışınım şiddetinin ve evirici giriş gücünün güneşe bağlı olarak sık sık değiştiğinden; eviricilerde harmonik bozulma oranları da sık sık değişmektedir. Nominal güçten uzaklaşıldıkça bozulma oranının arttığı bilinmektedir. Işınımın az olduğu dönemlerde inverterlerin THD_1 bozulma oranının %5'in çok üzerine çıktığı yapılan bir çalışmada belirtilmiştir (Sidrach-de-Cardona and Carretero, 2005; Thongpron and Kirtikara, 2006).

Eviricilerin modellenmesinde mevcut evirici standartlarının en kötü değerleri seçilerek ya da yapılan ölçümler sonucunda en kötü ya da en kötü ikinci değerler kullanılarak çalışmalar yapılabilir. Bunun dışında var olan herhangi güçteki bir eviricinin harmonik akım değerleri başka güç ve modeldeki benzer eviriciye uygun şekilde uyarlanarak da modelleme çalışmaları yapılabilir. Ancak şebekenin gerçek ve zorlu koşullarında, şebeke standartına uygun şekilde 10 dakikalık sürelerle en az bir hafta süreyle kümülatif olasılık dağılım değerleri dikkate alınarak modelleme bu çalışmada tercih edilecektir. Şebekede olduğu gibi evirici harmonik akımlarında da kümülatif olasılık dağılım 95 (CP95) kullanılacaktır. Bu kapsamda seçilmiş olan eviricinin akım değerleri bir hafta süre ile Fluke 43B güç analizörü ile kaydedilmiştir (Şekil 4.14).

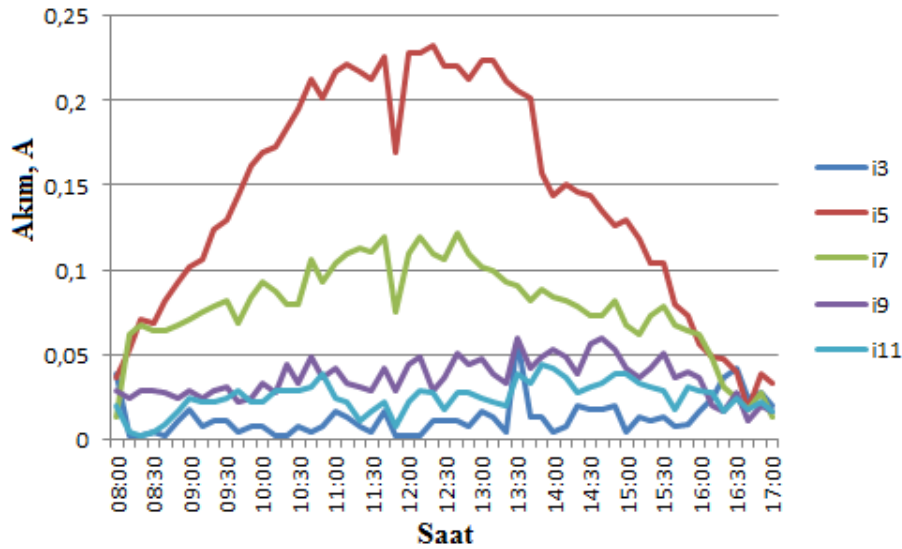


Şekil 4.14 Eviricinin akım ölçüm görüntüsü.

Işınımın azaldığı saatlerde eviricinin etkin çalışmaması ve kendini kapatmasından dolayı eviricinin etkin olduğu 08:00 ile 17:00 saatleri arasındaki 7 günlük toplam 385 adet onar dakikalık veriler dikkate alınmıştır. Gün içerisinde eviricinin thdi değeri incelendiğinde nominal güçte %3'den küçük değerlere sahip olduğu ancak nominal gücün çok uzaklarında çalıştığı sabah ve akşam saatlerinde %10'un çok üzerine çıktığı görülmektedir (Şekil 4.15). Beşinci harmonik akımın diğer bileşenlere göre daha büyük olduğu ve gün içerisinde öğle saatlerinde maksimum düzeyine ulaştığı Şekil 4.16'dan anlaşılmaktadır.

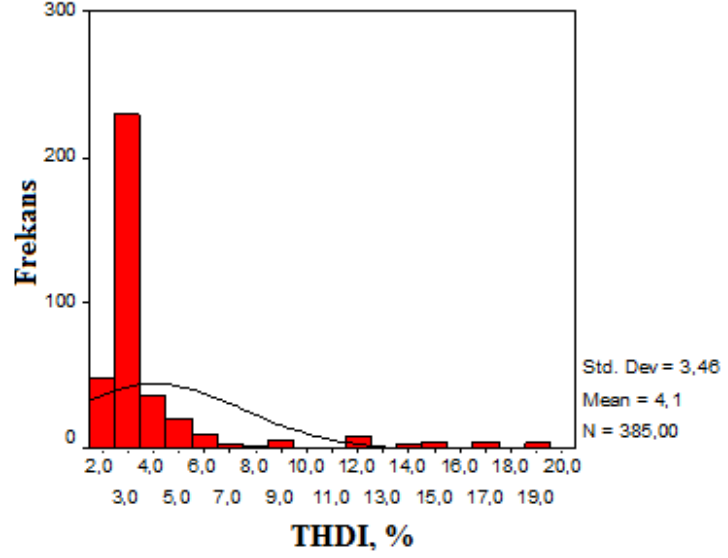


Şekil 4.15 Eviricinin akım ölçüm sonuçları.



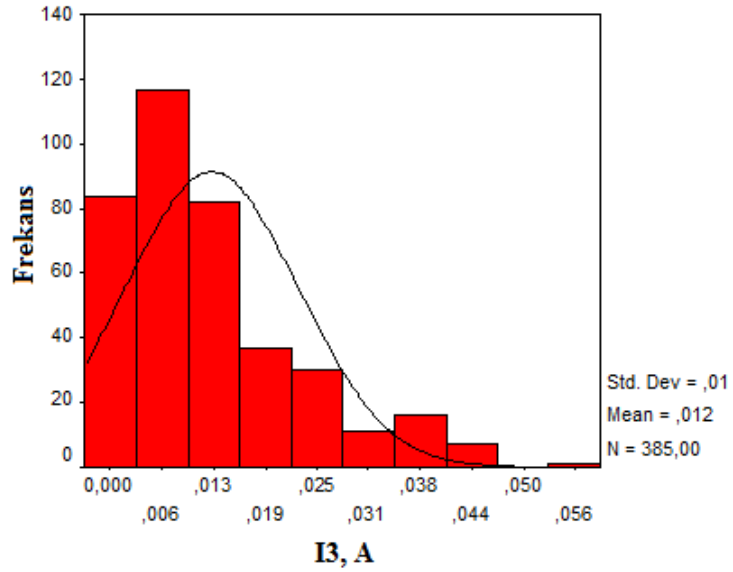
Şekil 4.16 Eviricinin harmonik bileşen akım ölçüm sonuçları.

Eviricinin harmonik verilerine zamandan bağımsız olarak frekans dağılımı olarak bakıldığında thdi değerinin ortalama %4,1 olduğu ve genelde thdi değerinin %2 ile %6 arasında değiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.17).

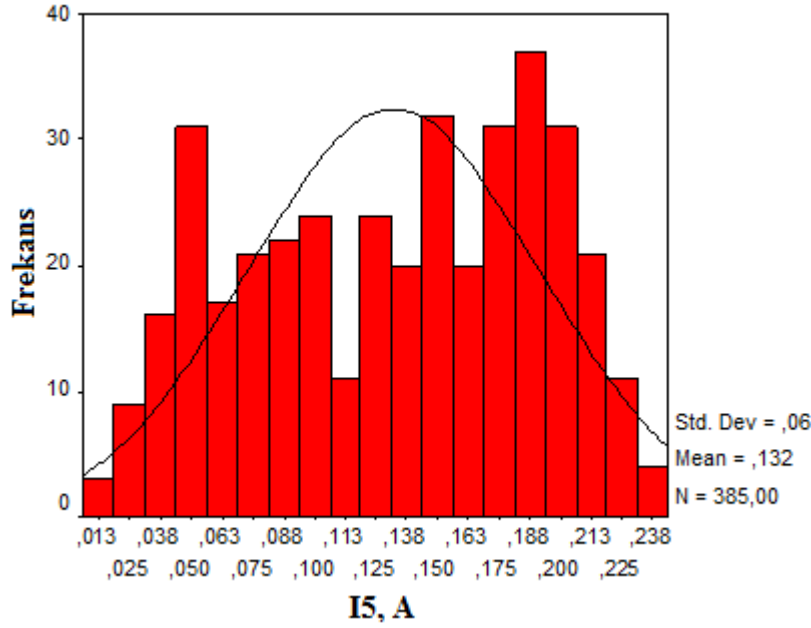


Şekil 4.17 Eviricinin thdi frekans dağılımı.

Üçüncü, beşinci bileşenlerin ve thdi frekans dağılımlarının birbiriyle benzerlik göstermediği görülmüş ve frekans dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 4.18 ve 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.18 Eviricinin üçüncü harmonik akım frekans dağılımı.



Şekil 4.19 Eviricinin beşinci harmonik akım frekans dağılımı.

Eviricinin toplam harmonik akım bozulma ve bazı harmonik bileşenlerin ortalama, maksimum, minimum değerleri ve kümülatif olasılık dağılım değerleri SPSS programı kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Evirici akım ve harmonik bileşenleri SPSS sonuç değerleri.

| | | Statistics | | | | | | | | |
|---|-------------|------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | THDI | IRMS | I1 | I3 | I5 | I7 | I9 | I11 | I13 |
| N | Valid | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 |
| | Missing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Mean | 4,10026 | 5,74351 | 5,74100 | 1,22E-02 | ,13200 | 6,86E-02 | 3,96E-02 | 2,90E-02 | 7,79E-03 |
| | Minimum | 2,100 | ,320 | ,319 | ,002 | ,011 | ,009 | ,007 | ,002 | ,002 |
| | Maximum | 19,600 | 9,980 | 9,980 | ,058 | ,235 | ,122 | ,084 | ,091 | ,029 |
| | Percentiles | | | | | | | | | |
| | 5 | 2,30000 | ,42300 | ,41420 | 2,22E-03 | 3,77E-02 | 2,22E-02 | 1,55E-02 | 8,87E-03 | 2,22E-03 |
| | 10 | 2,40000 | 1,03600 | 1,03360 | 2,22E-03 | 4,66E-02 | 3,11E-02 | 2,00E-02 | 1,33E-02 | 2,22E-03 |
| | 15 | 2,50000 | 1,81700 | 1,81700 | 2,22E-03 | 5,55E-02 | 4,66E-02 | 2,44E-02 | 1,55E-02 | 2,22E-03 |
| | 20 | 2,50000 | 2,51800 | 2,51600 | 2,22E-03 | 6,88E-02 | 5,32E-02 | 2,66E-02 | 1,77E-02 | 2,22E-03 |
| | 25 | 2,50000 | 3,31000 | 3,31000 | 4,44E-03 | 7,99E-02 | 5,77E-02 | 2,88E-02 | 2,00E-02 | 2,22E-03 |
| | 30 | 2,60000 | 3,90400 | 3,90400 | 4,44E-03 | 9,09E-02 | 5,99E-02 | 3,11E-02 | 2,22E-02 | 2,22E-03 |
| | 35 | 2,60000 | 4,64700 | 4,64700 | 4,66E-03 | ,10400 | 6,21E-02 | 3,33E-02 | 2,22E-02 | 4,44E-03 |
| | 40 | 2,70000 | 5,12200 | 5,12800 | 6,65E-03 | ,11880 | 6,43E-02 | 3,55E-02 | 2,44E-02 | 4,44E-03 |
| | 45 | 2,70000 | 5,81200 | 5,80800 | 6,65E-03 | ,12900 | 6,65E-02 | 3,77E-02 | 2,44E-02 | 4,44E-03 |
| | 50 | 2,80000 | 6,43000 | 6,42000 | 8,87E-03 | ,14000 | 7,10E-02 | 3,77E-02 | 2,66E-02 | 6,65E-03 |
| | 55 | 2,90000 | 6,90900 | 6,91300 | 1,11E-02 | ,14900 | 7,32E-02 | 3,99E-02 | 2,88E-02 | 6,65E-03 |
| | 60 | 3,00000 | 7,35800 | 7,35400 | 1,33E-02 | ,15700 | 7,76E-02 | 4,21E-02 | 2,88E-02 | 6,65E-03 |
| | 65 | 3,10000 | 7,72000 | 7,70900 | 1,33E-02 | ,16870 | 7,99E-02 | 4,44E-02 | 3,11E-02 | 8,87E-03 |
| | 70 | 3,30000 | 8,09600 | 8,10200 | 1,55E-02 | ,17500 | 8,21E-02 | 4,66E-02 | 3,33E-02 | 8,87E-03 |
| | 75 | 3,60000 | 8,44000 | 8,44000 | 1,77E-02 | ,18400 | 8,43E-02 | 4,88E-02 | 3,55E-02 | 1,11E-02 |
| | 80 | 4,08000 | 8,69000 | 8,68000 | 2,00E-02 | ,19100 | 8,87E-02 | 5,10E-02 | 3,99E-02 | 1,33E-02 |
| | 85 | 4,91000 | 8,91000 | 8,91100 | 2,22E-02 | ,20000 | 9,09E-02 | 5,55E-02 | 4,44E-02 | 1,55E-02 |
| | 90 | 6,98000 | 9,13000 | 9,12400 | 2,66E-02 | ,20600 | 9,32E-02 | 5,99E-02 | 4,66E-02 | 1,77E-02 |
| | 95 | 13,94000 | 9,54000 | 9,54700 | 3,70E-02 | ,21640 | ,10200 | 7,10E-02 | 5,55E-02 | 2,00E-02 |

Eviricinin harmonik akım bozulma değerinin çalışma koşullarına bağlı olarak %2,1 ile %19,6 aralığında değiştiği ve en büyük harmoniğin 5. harmonik olduğu Çizelge 4.4 incelendiğinde görülmektedir. 13. Harmonik bileşen ve daha sonraki harmonik bileşenler nispeten küçüktürler. Eviricinin CP95 değerleri kullanılarak Superharm programı içerisinde aşağıdaki kodlar kullanılarak evirici akım kaynağı olarak modellenmiştir. Bu modelleme sonucuna göre hesaplanan toplam harmonik akım bozulma oranının %3'den küçük olacağı görülmektedir. Genelde bu güçteki eviricilerin nominal güçte harmonik akım bozulma değerlerinin %3'den küçük olarak üretildiği düşünüldüğünde yapılan modellemenin kabul edilebilir olduğu anlaşılmaktadır.

```
isource name = pvinv
```

```
bus = node4
```

```
freqmult = 50
```

```
table={ { 1, 9.547, 0},
         { 3, 0.037, 0},
         { 5, 0.216, 0},
         { 7, 0.102, 0},
         { 9, 0.071, 0},
         { 11, 0.056, 0}
```

En uzak bağlantı noktası olan NODE4 noktasına bir adet FV sistem ve evirici bağlandığında beklenildiği gibi en az kaynağa yakın olan NODE noktasında; en çok ise bağlantının yapıldığı trafoya göre en uzak nokta NODE4 noktasında gerilimin arttığı görülmüştür (Çizelge 4.5). Benzer şekilde herbir bağlantı noktasında beklenildiği gibi ölçülen harmonik gerilimler artmıştır. AG barasında (NODE noktasında) harmonik gerilimin eviricisiz ve eviricili harmonik değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 Bağlantı noktalarında evirici bağlanmasıyla birlikte gerilimlerin değişimi.

| Bağlantı Noktası | Eviricisiz Gerilim (V) | Eviricili Gerilim (V) |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| NODE | 240,621 | 240,626 |
| NODE1 | 237,108 | 237,365 |
| NODE2 | 227,257 | 228,25 |
| NODE3 | 220,452 | 222,671 |
| NODE4 | 216,999 | 222,229 |
| SRC | 241 | 241 |

Çizelge 4.6 AG barasında NODE4 noktasına evirici bağlanmasıyla birlikte harmonik bileşenlerin değişimi.

| Harmonik Sayısı | Eviricisiz Gerilim (V) | Eviricili Gerilim (V) |
|-----------------|------------------------|-----------------------|
| v3 | 0,726 | 0,731 |
| v5 | 3,543 | 3,579 |
| v7 | 1,085 | 1,103 |
| v9 | 0,508 | 0,518 |
| v11 | 0,340 | 0,344 |

4.3 FV Sistemlerin Harmonik Etkilerinin Belirlenmesi

Şebekedeki mevcut yüklerin sayılarının çok fazla olması ve devreye değişik zamanlarda girip çıkması nedeniyle şebekedeki harmonik bileşenler de sık sık değişmektedir. Ancak bu değişkenlerin birbirlerine oranlarının değişiminin daha sınırlı olacağı açıktır. Harmonik bileşen kümülatif olasılık 95 (CP95) değerlerinin temel bileşene oranlarının ise tanımlanan şebekenin mesken, ticarethane gibi seçilmiş alanları için sabit kabul edilebileceği ve bu sabit değer kullanılarak şebekenin mevcut yüklerinin harmonik katkılarının Denklem (12)'deki gibi hesaplanabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Robinson at all, 2000).

$$L_{O,h} = m_h \times Z_{tr} \times h \quad (12)$$

Denklem (12)'de; $L_{O,h}$ şebekedeki mevcut yüklerin harmonik bozulmalarını h. bileşen için yüzde olarak, m_h h. harmonik bileşen için hesaplanan katsayıyı (I_h/I_1), Z_{tr} trafonun empadans değerini, h ise harmonik bileşenin numarasını ifade etmektedir.

İki haftalık akım değerlerinin CP95 değerleri kullanılarak (Ek 2) ağırlıklı olarak mesken abonelerinden (89 mesken, 30 küçük ölçekli ticarethane) oluşan alçak gerilim şebekesindeki mevcut yüklerin harmonik yapısı belirlenmiş ve harmonik katkıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Mevcut yüklerin harmonik yapısı.

| | |
|----------------------------|--------|
| $I_{3,CP95} / I_{1,CP95}$ | 0,0763 |
| $I_{5,CP95} / I_{1,CP95}$ | 0,0474 |
| $I_{7,CP95} / I_{1,CP95}$ | 0,0333 |
| $I_{9,CP95} / I_{1,CP95}$ | 0,0188 |
| $I_{11,CP95} / I_{1,CP95}$ | 0,0097 |

Denklem (12) kullanılarak mevcut yüklerin harmonik katkıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Mevcut yüklerin harmonik katkıları.

| Harmonik numarası | Harmonik düzeyi, (%) |
|-------------------|----------------------|
| $L_{0,3}$ | 0,0023 |
| $L_{0,5}$ | 0,0024 |
| $L_{0,7}$ | 0,0023 |
| $L_{0,9}$ | 0,0017 |
| $L_{0,11}$ | 0,0011 |

Şebekenin çalışma yapılan kolu ve fazında gün içerisinde rastgele devreye giren ya da devreden çıkan, harmonik karakteristikleri farklı ve çalışma koşullarına göre harmonik özellikleri de değişen yüzlerce alıcının oluşturduğu harmonik bozulma ile yine gün içerisinde güneşe bağlı olarak çıkış gücü ve dolayısıyla harmonik özellikleri değişen FV sistemde kullanılan eviricinin oluşturdukları toplam harmonik bozulmanın tespitinde detayları bölüm 3.2 de verilen ikinci toplama kuralı (second summation law) kullanılacaktır. Şebekeye bağlanabilecek eviricilerin harmonik bozulmalarının müsaade edilebilir oranı mevcut yönetmelikler kapsamında ikinci toplama kuralı kullanılarak Denklem (13)'deki

gibi hesaplanabilir (Beaulieu et al., 2007; Latheef et al., 2006; Robinson et al., 2000).

$$L_{FVS} = \sqrt[a]{L_h^a - M_h^a - L_{O,h}^a} \quad (13)$$

Denklem (13)'de; L_{FVS} FV sistemin oluşturduğu harmonik bozulma oranını, L_h alçak gerilim şebekesinde müsaadeedilebilir harmonik bozulma oranını, M_h orta gerilim şebekesinde planlamada kullanılan harmonik bozulma oranını, $L_{O,h}$ şebekedeki mevcut yüklerin harmonik bozulma oranını, h harmonik bileşenin numarasını, a ise harmonik derecesine göre sabit sayıyı ifade etmektedir.

Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde harmonik ölçüm ve değerlendirme noktası daha önceden “Dağıtım şirketinin gerilim harmoniklerine ilişkin performansı; AG seviyesi için, ölçüm alt yapısının bulunması durumunda bağlantı noktasından, ölçüm alt yapısının bulunmaması durumunda ise müşterinin bağlandığı OG/AG transformatörün AG çıkışından ölçülür. OG seviyesi için ölçüm noktası ise OG bağlantı noktasıdır.” ibaresiyle trafonun alçak gerilim barası ölçüm noktası olarak seçilebilmekteydi. Ancak 21 Aralık 2012 Tarihli ve 28504 Sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde ölçüm noktası “Dağıtım şirketinin gerilim harmoniklerine ilişkin performansı, AG ve OG seviyesi için esas olarak bağlantı noktasından ölçülür. Ancak, dağıtım şirketinin uygun görmesi halinde ölçme, faturalandırmaya esas ölçüm noktasından da yapılabilir.” şeklinde düzenlenmiş ve bağlantı noktası ise aynı yönetmelikte “Kullanıcıların bağlantı anlaşmaları uyarınca dağıtım sistemine bağlandıkları saha veya irtibat noktası” olarak tanımlandığından harmonik standartları şebekenin herhangi bir abone bağlantı noktası için önem kazanmıştır. Bu nedenle yapılacak çalışmada şebekenin herhangi bir noktasındaki eviricilerin etkisiyle oluşan harmonik bozulma katkısı standartlar açısından belirleyici olacaktır. IEC standartındaki değerler ve Denklem (13) kullanılarak harmonik bileşenlere göre müsaade edilebilir FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4.9). Standartta harmonik bileşenlerin oranlarının her bir bileşen için farklı belirlenmiş olması ve şebekedeki ve eviricinin harmoniklerinin de harmonik numarasına göre değişim gösteriyor olması Çizelge 4.9’da da harmonik numarasına göre farklılıklar göstermesine neden olmuştur. FV kaynaklı değişim 5. harmonik için %2,069 ile sınırlı iken 9. harmonik için bu oran sadece %0,587 olmuştur.

Çizelge 4.9 FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları.

| Harmonik sayısı | Harmonik bozulma, (%) |
|-----------------|-----------------------|
| 3 | 0,998 |
| 5 | 2,069 |
| 7 | 1,953 |
| 9 | 0,587 |
| 11 | 1,803 |

Şebekeye bağlanacak eviricinin gerilim ve harmonik etkisi kaynaktan uzaklaştıkça artacağından kritik bağlantı noktası trafodan en uzak noktası, NODE4 olacaktır. Aynı marka eviricinin kullanılması da harmonik akımlar arasındaki vektörel toplam neticesinde toplam harmonik akımı azaltma yönünden ihtimali azalttığından yine en kötü senaryo kapsamında olacaktır. Ancak dağıtım şirketinin kullanılacak evirici marka ve modelini belirleme durumu olmadığından aynı kol ve aynı fazda aynı marka ve aynı model evirici kullanılma ihtimali hep olacaktır. Bağlantı noktasına göre bağlanabilecek evirici sayısı değişeceğinden eviricilerin NODE2'ye bağlanması durumu bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

NODE4 bağlantı noktasına bağlanan evirici sayıları birer birer artırılarak harmonik bileşenler değerlendirilmiştir. Üç adet aynı özellikteki evirici bağlandığında NODE4 bağlantı noktası geriliminin 233,229 V olduğu ve 9. harmonik değerinin hesaplanan %0,587 katkı oranını (1,369 V) geçtiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). Bir başka deyişle Kaco Powador 3200 marka eviricilerden trafodan 600 m uzakta olan en kritik bağlantı noktasına en fazla iki adet 2,6 kVA gücünde toplam 5,2 kVA gücünde evirici bağlanabilmektedir.

Çizelge 4.10 NODE4 bağlantı noktasındaki FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları.

| Evirici sayıları | 9. harmonik değeri, (V) |
|------------------|-------------------------|
| 0 | 11,918 |
| 1 | 12,433 |
| 2 | 12,941 |
| 3 | 13,430 |

Trafoya mesafesi daha yakın olan NODE2 bağlantı noktası için benzer çalışmalar yapıldığında 12 adet aynı özellikteki eviricinin bağlanma durumunda 9.

harmonik açısından NODE2 noktasında gerilim simülasyon sonucunda 239,850 V olarak bulunmuştur ve eviricilerin harmonik bozulma katkılarının müsaade edilebilir değerden fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 NODE2 bağlantı noktasındaki FV sistem kaynaklı harmonik bozulma oranları.

| Evirici sayıları | 9. harmonik değeri, (V) |
|------------------|-------------------------|
| 0 | 6,946 |
| 5 | 7,491 |
| 11 | 8,261 |
| 12 | 8,393 |

Eviricinin trafoya yakın bir nokta olan NODE2 noktasına bağlanmasına rağmen trafodan yaklaşık 600 m uzakta olan en uzak bağlantı noktasında da simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre gerilim harmonik bileşenlerinde eviricilerden dolayı oluşan değişimin ve bozulmanın NODE2 noktasına göre daha fazla olduğu görülmüştür. 10 adet aynı özellikte eviricinin NODE2'ye bağlanma durumunda 9. harmonik açısından NODE4 noktasında gerilim simülasyon sonucunda 226,958 V olarak bulunmuştur. 10 adet evirici kullanılması durumunda harmonik bozulma katkılarının müsaade edilebilir değerden fazla olacağı sonucu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 NODE4 bağlantı noktasında NODE2 bağlantı noktasına tesis edilen FV sistemlerin oluşturduğu harmonik bozulma oranları.

| Evirici sayıları | 9. harmonik değeri, (V) |
|------------------|-------------------------|
| 0 | 11,918 |
| 5 | 12,564 |
| 9 | 13,160 |
| 10 | 13,316 |

Harmonik modellemesi yapılan Kaco Powador 3200 marka eviricilerden detayları verilen NODE2 noktasına 9. harmonik sınırları aşılmadan 9 adet eviricinin bağlanabileceği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Eviricinin nominal gücünün 2,6 kVA olduğu bilindiğinden çalışma yapılan faza NODE2

noktasından toplam 23,4 kVA gücünde eviricilerin harmonik standartlar açısından bağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde diğer fazlar ve kollar dikkate alınarak, diğer iki fazın benzer özellikler taşıdıkları kabul edilerek seçilen kol için ve trafo bölgesi için de gerektiğinde hesaplamalar yapılabilir.

5. SONUÇ

Şebekede kullanılan yüklerin oluşturduğu net harmonik etkiyi ve yüklerin birbirleriyle harmonik etkileşimlerinin tespiti yüklerin çalışma koşullarının dolayısıyla harmonik karakteristiklerinin sık sık değişiyor olması nedeniyle farklı yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada akkor lamba, elektrikli ısıtıcı ve kompakt floresan lamba gibi tek fazlı yükler arasındaki harmonik etkileşimin belirlenmesinde deneysel bir tasarım olan üç seviyeli Box-Behnken modelinden faydalanmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar, 3. ve 5. harmonik akımlar için yüklerin her birinin katkısının ve yükler arasındaki etkileşimin ($A \times B$, $A \times C$, $B \times C$, vd.) değerlendirilmesinde Box-Behnken deneysel tasarımın kullanılabilceğini göstermiştir. Burada seçilmiş olan bağımsız değişkenlerin (elektrikli ısıtıcı, kompakt floresan lamba, akkor lamba) yanıt(harmonik akım) olan katkısı, çalışmalar sonucunda elde edilen denklemler kullanılarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Benzer şekilde farklı alıcıların harmonik etkileşimleri önerilen yöntemle belirleneceği gibi çok sayıdaki alıcılar için yüksek seviyeli (4,5,6,...) Box-Behnken deney tasarımları kullanılarak istenilen harmonik katkılar hesaplanabilir. Bu çalışmada üçüncü ve beşinci harmonik akım değerleri değişken olarak kullanılmıştır. Gerektiğinde harmonik açılar ve harmonik konusunda önemli bir tanım olan toplam harmonik distorsiyon da Box-Behnken deney tasarımları kullanılarak değerlendirilebilir.

Ağırlıklı olarak iki katlı meskenlerden oluşan, gelecekte monofaze eviricilerin kullanılma ihtimalinin sosyolojik ve fiziksel nedenlerden yüksek olduğu Urla İlçesi'nde seçilen bir trafo bölgesinin evirici bağlı kolu gerçek ölçüm ve tespitlerle modellenmiştir. Buradaki mevcut yüklerin harmonik katkıları dikkate alınmış ve yapılan simülasyonlar neticesinde neredeyse ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının örtüştüğü model ortaya konmuştur. Yaklaşık % 75'i mesken, % 25'i ticarethane abonelerinden oluşan bu bölgede yüklerin genel harmonik özellikleri harmonik bileşen kümülatif olasılık 95 (CP95) değerlerinin temel bileşene oranlarının sabit kabul edilebileceği yaklaşımı kullanılarak tespit edilmiştir. Bu değerler benzer yoğunluktaki mesken ve ticarethane şebeke alanları için de kullanılabilir. Genel olarak ise tespit edilen bu oranlar alçak gerilim şebekesinde harmonik bileşen akımların temel bileşene oranları hakkında bir fikir verdiğinden planlama amaçlı kullanılmaları faydalı olacaktır.

Monofaze evirici bir haftalık ölçümler sonucunda, harmonik akımının CP95 değeri kullanılarak başarılı bir şekilde modellenmiş ve simülasyonla Superharm 4.3 programı kullanılarak şebekeye entegre edilmiştir. Şebekenin değişik bağlantı noktalarına göre yürürlükteki standartlara göre bağlanabilecek evirici ve dolayısıyla FV güç sistemi gücünün değiştiği görülmüştür. Şebekeye bağlanacak eviricinin gerilim ve harmonik etkisi kaynaktan uzaklaştıkça artacağından kritik bağlantı noktası trafodan en uzak nokta olacaktır. Bu noktaya bağlanan evirici sayıları birer birer artırılarak harmonik bileşenler değerlendirilmiştir. Üç adet aynı özellikteki evirici bağlandığında bağlantı noktası 9. harmonik değerinin hesaplanan sınır katkı oranını geçtiği tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle simülasyon sonuçlarına göre Kaco Powador 3200 marka eviricilerden trafodan 600 m uzakta olan en kritik bağlantı noktasına seçilen faz için en fazla iki adet 2,6 kVA gücünde toplam 5,2 kVA gücünde evirici bağlanabilir. Diğer iki fazda dikkate alındığında ve fazların benzer özellikler taşıdığı kabul edildiğinde bu kola en kötü senaryo kapsamında toplam 6 adet seçilen evirici ve dolayısıyla toplam 15,6 kVA gücünde evirici bağlanabilir. Tedaş AG şebekelerinde genelde kol uzunluğunun 500 metrenin altında olacak şekilde planlanmasına rağmen yer yer bu mesafenin üzerine de çıkılmaktadır. 10 adet aynı özellikte eviricinin trafoya daha yakın mesafedeki (160 m) bağlantı noktasına bağlanma durumunda 9. Harmonik açısından en uzak harmonik bozulma katkılarının müsaade edilebilir değerden fazla olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla belirtilen bu noktaya maksimum 9 adet Kaco Powador 3200 marka evirici bağlanabilmekte ve bu faz için bağlanabilir evirici gücü 23,4 kVA olmaktadır. Diğer fazlar ve kollar dikkate alınarak trafo bölgesine toplam bağlanabilecek maksimum evirici gücü ve FV panel gücü aritmetik işlemlerle kolaylıkla hesaplanabilir.

2 Ekim 2013 tarih 28783 sayılı resmi gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'te 'AG seviyesinden bağlanacak üretim tesislerinin toplam kapasitesi, bu üretim tesislerinin bağlı olduğu dağıtım transformatörünün İlgili Şebeke İşletmecisine ait bir transformatör olması halinde transformatör gücünün yüzde otuzunu geçemez.' hükmü yer almaktadır. Ancak uzun şebeke kolları ve bağlantı noktalarının trafodan uzak noktalarda olması ve aynı marka eviricilerin ya da benzer harmonik özelliklere sahip eviricilerin kullanılması durumlarında harmonik bozulma oranının yükselmesi nedeniyle trafonun yüzde 30 kapasitesi kadar FV sistem gücü kullanılamayacağı yapılan bu çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Özellikle küçük kapasiteleri trafolarında harmonik sınırın aşılması ihtimali daha da yüksek olacaktır. Kol uzunluklarının sınırlandırılması başka bir ifadeyle çok sayıda trafo

kullanılması, Őebeke iletkenlerinin empedans değeri dűŐük iletkenlerden Őeçilmesi (yűksek kesit, ya da havai hat yerine yer altı kablolarının Őeçilmesi) gibi basit uygulamalar alçak gerilim Őebekedeki FV bağlanabilirlik oranlarını artırılmasına yardımcı olacaktır. Akıllı Őebekelerin oluŐturulması ise kullanım oranlarını maksimum değerlere ıkarabilecektir.

Bu tez kapsamında yapılan ıalıŐmalar benzeri incelemeler baŐka bir ıalıŐmada orta gerilim hattında da yapılabileceği gibi incelenen harmonik bileŐenler dıŐındaki bileŐenler baŐka bir ıalıŐma konusu olabilecektir. Ayrıca eviricinin modellenmesinde farklı yűntemlerle modellemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Annadurai, G. and Sheeja, R.Y.**, 1998, Use of Box-Behnken design of experiments for the adsorption of verofix red using biopolymer, *Bioprocess Engineering*, 18:463-466pp.
- Baghzouz, Y., Burch, R.F., Capasso, A., Cavallini, A., Emanuel, A.E., Halpin, M., Langella, R., Montanari, G., Olejniczak, K.J., Ribeiro, P., Rios-Marcuello, S., Ruggiero, F., Thallam, R., Testa, A. and Verde, P.**, 2002, Time-varying harmonics: Part II—Harmonic summation and propagation, *IEEE Trans. Power Del.*, 17:279–285pp.
- Beaulieu, G., Koch, R., Halpin, M. and Berthet, L.**, 2007, Recommended methods of determining power quality emission limits for installations connected to EHV, HV, MV and LV power systems, *19th International Conference on Electricity Distribution*, Vienna, 1-6pp.
- Box, G.E.P. and Behnken, D.W.**, 1960, Some new three level designs for the study of quantitative variables, *Technometrics*, 2:455-476pp.
- Chenvidhya, D.**, 2003, A thai national demonstration project on PV grid-interactive systems: power quality observation, *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 3:2152-2154pp.
- El-Sersy, N.A.**, 2007, Bioremediation of methylene blue by bacillus thuringiensis 4g1: application of statistical designs and surface plots for optimization, *Biotechnology*, 6:34-39pp.
- Emta Kataloğu**,
<http://www.emta.com.tr/media/uploads/dokuman/ConductorCatalogue.pdf>,
 (Erişim tarihi: 3 Mayıs 2012)
- FlukeView Power Quality Analyzer Users Manual**, www.fluke.com, (Erişim tarihi: 12 Mayıs 2009)
- Graselli, U., Lamedica, R. and Prudenzi, A.**, 2002, Time-varying harmonics of single-phase non-linear appliances, *Power Engineering Society Winter Meeting-IEEE*, 2:1066-1071pp.
- Heskes, P.J.M. and Enslin, J.H.R.**, 2003, Power quality behaviour of different photovoltaic inverter topologies, *PCIM-2003, 24th International Conference*, Nürnberg, Germany.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kiran, B., Kaushik, A. and Kaushik, C.P.,** 2007, Response surface methodological approach for optimizing removal of Cr (VI) from aqueous solution using immobilized cyanobacterium, *Chem. Eng. J.*, 126:147–153pp.
- Korbahti, B.K. and Rauf, M.A.,** 2008, Application of response surface analysis to the photolytic degradation of basic red 2 dye, *Chem. Eng. J.*, 138:166–171pp.
- Latheef, A., Robinson, D.A., Gosbell, V.J. and Smith, V.W.,** 2006, Harmonic impact of photovoltaic inverters on low voltage distribution systems, *Conference Proceedings of the 2006 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'06)*, 1-6pp.
- Linder, M., Kochanowski, N., Fanni, J. and Parmentier, M.,** 2005, Response surface optimisation of lipase-catalysed esterification of glycerol and n-3 polyunsaturated fatty acids from salmon oil, *Proc. Biochem.*, 40:273–279pp.
- McGranaghan, M. and Beaulieu, G.,** 2006, Update on IEC 61000-3-6: Harmonic emission limits for customers connected to MV, HV, and EHV, *Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES*, 1158-1161pp.
- Montgomery, D.C.,** 2005, Design and Analysis of Experiments, 6th ed., John Wiley & Sons. Inc.
- Muthukumar, M., Mohan, D. and Rajendran, M.,** 2003, Optimization of mix proportions of mineral aggregates using Box–Behnken design of experiments, *Cem. Concr. Compos.*, 25:751–758pp.
- Nagarajan, G. and Annadurai, G.,** 1999, Biodegradation of reactive dye (Verofix Red) by the white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* using Box-Behnken experimental design, *Bioprocess Engineering*, 20:435-440pp.
- Oliva, A.R. and Balda, J.C.,** 2003, A PV dispersed generator: a power quality analysis within the IEEE 519, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 18:525-530pp.
- Papaioannou, I.T., Bouhouras, A.S., Marinopoulos, A.G., Alexiadis, M.C., Demoulias, C.S. and Labridis, D.P.,** 2008, Harmonic impact of small photovoltaic systems connected to the LV distribution network, *Electricity Market, EEM 2008, 5th International Conference on European*, 1-6pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Radakovic, Z., Topalis, F.V. and Kostic, M.,** 2005, The voltage distortion in low-voltage networks caused by compact fluorescent lamps with electronic gear, *Electric Power System Research*, 73:129-136pp.
- Ravikumar, K., Pakshirajan, K., Swaminathan, T. and Balu, K.,** 2005, Optimization of batch process parameters using response surface methodology for dye removal by a novel adsorbent, *Chem. Eng. J.*, 105:131–138pp.
- Robinson, D., Gosbell, V., Perera, S. and Mannix, D.,** 2000, Establishment of typical harmonic voltage levels in radial distribution systems, *Proc. of 9th Inter. Conf. on Harmonics and Quality of Power*, 3:1053-1058pp.
- Sharma, P., Singh, L. and Dilbaghi, N.,** 2008, Optimization of process variables for decolorization of Disperse Yellow 211 by *Bacillus subtilis* using Box–Behnken design, *Journal of Hazardous Materials*, 164:1024-1029pp.
- Sidrach-de-Cardona, M. and Carretero, J.,** 2005, Analysis of the current total harmonic distortion for different single-phase inverters for grid-connected pv-systems, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 87:529-540pp.
- Soliman, S.S. and Srinath, M.D.,** 1998, *Continuous and Discrete Signals and Systems*, 2nd edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Thongpron, J. and Kirtikara, K.,** 2006, Effects of low radiation on the power quality of a distributed PV-grid connected system, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90:2501-2508pp.
- Umeh, K.C., Mohamed, A. and Mohamed, R.,** 2003, Determining harmonic characteristics of typical single phase non-linear loads, *Student Conference of Research and Development 2003 Proceedings*, 413-419pp.
- Vokas, G.A., Gonos, I.F., Korovesis, F.N. and Topalis, F.V.,** 2001, Influence of compact fluorescent lamps on the power quality of weak low-voltage Networks supplied by autonomous photovoltaic stations, *IEEE Porto Power Tech Conference*.
- Wang, L. and Liu, K.,** 2005, A study randomly varying harmonic currents and total harmonic distortion of currents in power systems, *IEEE, International Conference on Future Power Systems*, 18: 5p.

ÖZGEÇMİŞ

• KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Oğuz PERİNCEK

Doğru Tarihi : 12/08/1976

İş Adresi : Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü

Telefon : 0 232 3111240

E-mail : perincekoguz@hotmail.com

• EĞİTİM DURUMU

Ege Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, İZMİR, (2000-2003 Yüksek Lisans)

ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği, ANKARA, (1994-1995 İng. Hazırlık, 1995-1999 Fakülte)

Selçuk Anadolu Lisesi, SİVAS, (1991-1994 Lise Bölümü, Fen Bilimleri Bölümü)

Selçuk Anadolu Lisesi, SİVAS, (1987-1988 Alm. Hazırlık, 1988-1991 Ortaokul Bölümü, Almanca)

Recep Handan İlkokulu, SİVAS, (1982-1987)

- **İŞ TECRÜBESİ**

Öğretim Görevlisi, Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS, (1999-2000)

Mühendis, Tedaş Manisa (2000-2004)

Mühendis, Başmühendis, Urla İşletme Müdürü Tedaş İzmir (2004 - 2011)

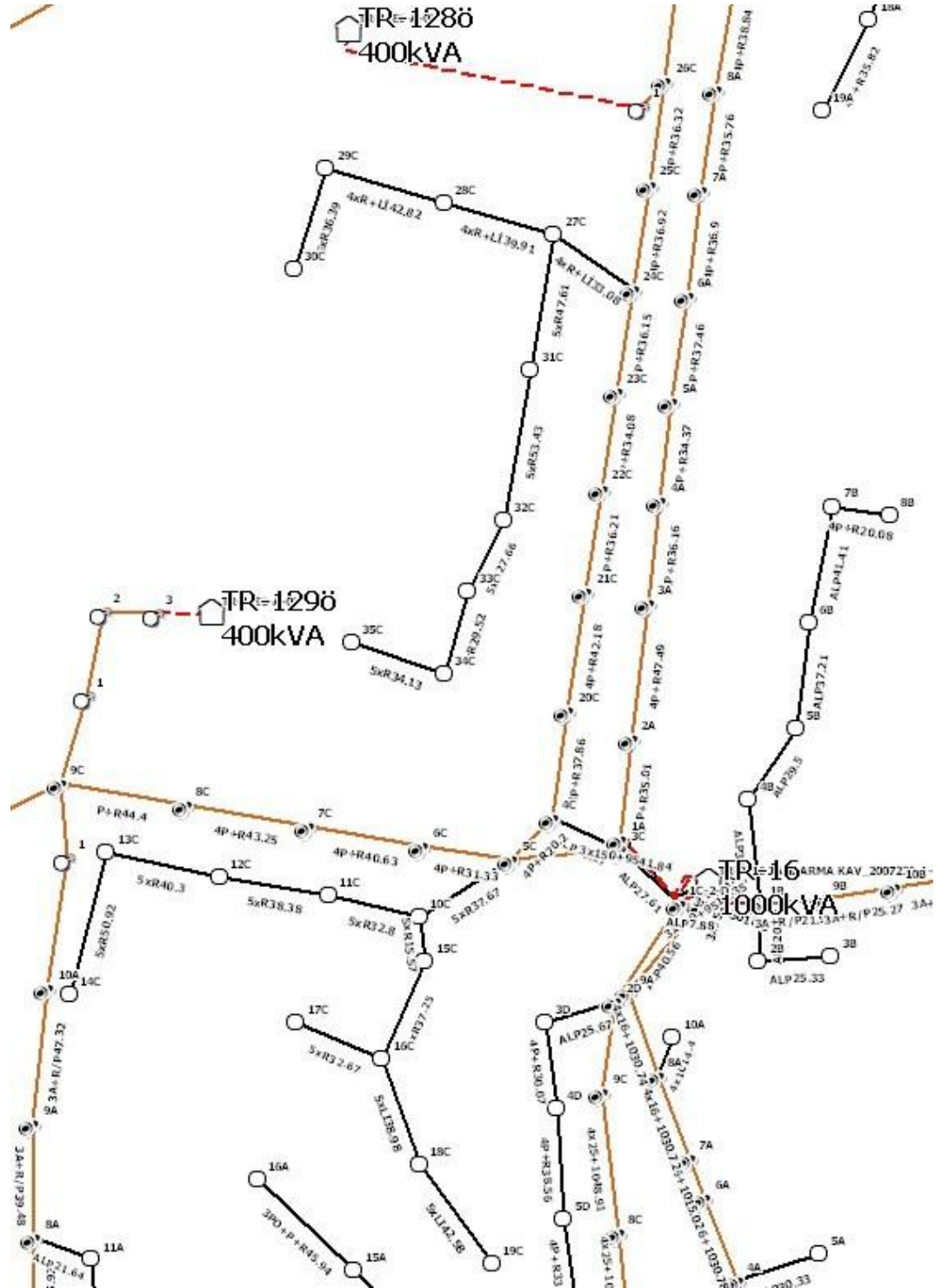
- **DOKTORA TEZİ KAPSAMINDA YAYINLARI**

Oguz Perincek, Metin Colak, ‘Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads’, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 2, March-April 2013, pp.158-165.

EKLER

- Ek 1 Urla İlçesi'nde seçilen elektrik dağıtım sistemi alçak gerilim şebekesi projesi
- Ek 2 Şebekenin akım rms değeri, harmonik akım değerleri ve açıların ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, varyans değerleri ve kümülatif olasılık dağılım değerlerine ilişkin SPSS hesaplama sonuçları

Ek 1 Urla İlçesi'nde seçilen elektrik dağıtım sistemi alçak gerilim şebekesi projesi



Ek 2 Şebekenin akım rms değeri, harmonik akım değerleri ve açılarının ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, varyans değerleri ve kümülatif olasılık dağılım değerlerine ilişkin SPSS hesaplama sonuçları

Statistics

| | | ARMS | A1 | A3 | A3AÇY | A5 | A5AÇY | A7 | A7AÇY | A9 | A9AÇY | A11 | A11AÇY |
|--------------------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N | Valid | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 | 2013 |
| | Missing | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Mean | | 56,5137 | 56,2022 | 4,0891 | -110,6761 | 2,6866 | 81,0631 | 2,1600 | -67,6806 | ,9847 | 67,1823 | ,5417 | -31,0537 |
| Std. Error of Mean | | ,4099 | ,4107 | 3,047E-02 | ,5661 | 1,843E-02 | ,7552 | 9,795E-03 | 1,0057 | 1,143E-02 | 2,2237 | 4,517E-03 | 1,5766 |
| Std. Deviation | | 18,3896 | 18,4284 | 1,3672 | 25,3975 | ,8271 | 33,8838 | ,4395 | 45,1213 | ,5130 | 99,7710 | ,2026 | 70,7367 |
| Variance | | 338,1780 | 339,6058 | 1,8691 | 645,0342 | ,6840 | 1148,1118 | ,1931 | 2035,9312 | ,2631 | 9954,2595 | 4,106E-02 | 5003,6840 |
| Minimum | | 17,40 | 17,10 | ,65 | -177,00 | ,33 | -177,00 | ,71 | -176,00 | ,02 | -179,00 | ,02 | -178,00 |
| Maximum | | 127,00 | 126,00 | 9,36 | 177,00 | 5,38 | 171,00 | 3,56 | 179,00 | 2,00 | 180,00 | 1,44 | 180,00 |
| Percentiles | 5 | 30,7700 | 30,4000 | 2,1870 | -145,0000 | 1,4000 | 27,0000 | 1,4700 | -133,3000 | ,1560 | -163,0000 | ,2000 | -141,0000 |
| | 10 | 35,0000 | 34,7000 | 2,5600 | -138,0000 | 1,7440 | 41,0000 | 1,6000 | -121,0000 | ,2220 | -136,0000 | ,2890 | -121,0000 |
| | 15 | 37,0000 | 36,7000 | 2,8000 | -133,0000 | 1,9300 | 49,0000 | 1,7100 | -111,0000 | ,3110 | -69,0000 | ,3330 | -104,9000 |
| | 20 | 39,0000 | 38,7000 | 2,9500 | -129,0000 | 2,0200 | 55,0000 | 1,7800 | -103,0000 | ,4000 | 20,0000 | ,3780 | -91,0000 |
| | 25 | 41,4000 | 41,0000 | 3,1100 | -125,0000 | 2,1250 | 61,0000 | 1,8500 | -97,0000 | ,4670 | 43,5000 | ,4000 | -81,0000 |
| | 30 | 44,1000 | 43,7000 | 3,2600 | -122,0000 | 2,2320 | 66,0000 | 1,9100 | -91,0000 | ,5780 | 60,0000 | ,4220 | -72,0000 |
| | 35 | 47,0000 | 46,7000 | 3,4200 | -119,0000 | 2,3100 | 71,0000 | 1,9700 | -85,0000 | ,6890 | 73,0000 | ,4670 | -62,0000 |
| | 40 | 49,7600 | 49,3600 | 3,5500 | -117,0000 | 2,4060 | 75,0000 | 2,0300 | -79,4000 | ,8670 | 84,0000 | ,4890 | -53,0000 |
| | 45 | 52,5000 | 52,2000 | 3,6900 | -114,0000 | 2,4900 | 79,0000 | 2,0900 | -74,0000 | 1,0900 | 93,0000 | ,5110 | -43,7000 |
| | 50 | 55,4000 | 55,1000 | 3,8300 | -112,0000 | 2,6000 | 82,0000 | 2,1400 | -69,0000 | 1,1900 | 100,0000 | ,5560 | -33,0000 |
| | 55 | 57,8000 | 57,5700 | 4,0200 | -110,0000 | 2,6900 | 86,0000 | 2,2000 | -64,0000 | 1,2400 | 108,0000 | ,5780 | -26,0000 |
| | 60 | 60,6000 | 60,4000 | 4,2200 | -108,0000 | 2,8000 | 91,0000 | 2,2640 | -60,0000 | 1,2900 | 115,0000 | ,6000 | -18,0000 |
| | 65 | 63,2000 | 63,0000 | 4,4230 | -105,0000 | 2,9410 | 94,0000 | 2,3100 | -55,0000 | 1,3200 | 122,0000 | ,6340 | -8,0000 |
| | 70 | 66,3600 | 66,0000 | 4,6900 | -102,0000 | 3,0700 | 98,0000 | 2,3900 | -49,0000 | 1,3600 | 129,0000 | ,6520 | ,0000 |
| | 75 | 68,9000 | 68,5500 | 4,9350 | -98,0000 | 3,2200 | 103,0000 | 2,4600 | -43,0000 | 1,4000 | 135,5000 | ,6870 | 11,0000 |
| | 80 | 72,1200 | 71,8200 | 5,2500 | -95,0000 | 3,4000 | 108,0000 | 2,5600 | -36,8000 | 1,4400 | 143,0000 | ,7110 | 23,0000 |
| 85 | 76,6000 | 76,3000 | 5,6180 | -90,0000 | 3,6000 | 114,0000 | 2,6500 | -29,0000 | 1,4900 | 151,0000 | ,7400 | 39,0000 | |
| 90 | 80,8800 | 80,5800 | 6,0700 | -83,0000 | 3,8200 | 121,0000 | 2,7600 | -18,0000 | 1,5600 | 158,0000 | ,7780 | 57,0000 | |
| 95 | 87,8000 | 87,6600 | 6,6900 | -73,0000 | 4,1530 | 134,0000 | 2,9160 | ,0000 | 1,6500 | 168,0000 | ,8460 | 100,6000 | |