

T.C  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LOŞLAŞTIRMALI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ VE OLUŞAN PROBLEMLERİN ÇÖZÜMLERİNE  
YÖNELİK YENİ BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Banu ERGİNÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Cenk YAVUZ

Ağustos 2016

T.C  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LOŞLAŞTIRMALI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ VE OLUŞAN PROBLEMLERİN  
ÇÖZÜMLERİNE YÖNELİK YENİ BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ  
BANU ERGİNÖZ

Enstitü Ana Bilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK  
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Cenk YAVUZ

Doç.Dr. Ali  
ÖZTÜRK

Jüri Başkanı



Yrd.Doç.Dr. Nazım  
İMAL

Jüri Üyesi



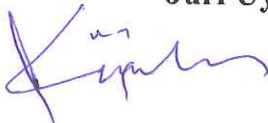
Yrd.Doç.Dr. Ali  
GÜLBAĞ

Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr.Ahmet KÜÇÜKER

Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr.Cenk YAVUZ

Jüri Üyesi



## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Banu Erginöz

16.08.2016

## TEŞEKKÜR

Doktora çalıőmalarım boyunca bilgi ve birikimlerini bana aktaran danıőman hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Cenk YAVUZ'a, uzun ve yorucu bu surete hiçbir zaman desteklerini ve sabırlarını benden esirgemeyen sevgili aileme teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Baőkanlıėına (ProjeNo: 20125002048) teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu, Verimliliğine ve Elektriksel Bozunumlara Dair Çalışmalar.....	4
2.2. Elektriksel Bozunumların Görsel Şartlara Etkisi Üzerine Çalışmalar	9
BÖLÜM 3.	
LED IŞIK KAYNAKLARININ FARKLI AÇILARDAN İNCELENMESİ	13
3.1. LED'lerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri.....	13
3.2. LED Çeşitleri.....	15
3.2.1. Geleneksel LED'ler .....	15
3.2.2. Luxeon LED'ler.....	16
3.2.3. Quantum dot LED'ler (QD-LED).....	16
3.2.4. Organik LED'ler (OLED).....	17

3.2.5. AMOLED (Active Matrix Organic LED).....	18
3.2.6. Transparan (şeffaf) OLED'ler.....	19
3.3. LED'lerde Renk.....	19
3.3.1. Morötesi (ultraviyole) ve mavi LED'ler.....	19
3.3.2. Beyaz LED'ler.....	20
3.3.3. Fosforlu LED'ler.....	20
3.4. LED Sürücü Devreleri.....	21
3.5. LED'lerin Matematiksel Modeli.....	22
3.5.1. Genelleştirilmiş Lambert modeli.....	22
3.5.2. Gauss yaklaşımı.....	23
3.6. LED'in Isıl Yapısı.....	24
3.7. LED ve Harmonik İlişkisi.....	26
3.7.1. Elektrik güç sistemlerinde harmonikler.....	26
3.7.2. Akım harmonikleri ile gerilim harmonikleri arasındaki ilişki	27
3.7.3. Harmonik hesabı.....	27
3.7.4. LED'lerin harmonik etkileri.....	28
3.7.8. LED Aydınlatmalardaki Standartlar.....	32

#### BÖLÜM 4.

DENEY ODALARI VE TEÇHİZATLAR.....	35
4.1. Deney Odaları .....	35
4.2. Flüoresan ve LED Işık Kaynaklı odaların Loşlaştırma Sonuçları ...	38
4.3. Hibrit Odanın Loşlaştırma Sonuçları.....	42

#### BÖLÜM 5.

GÜÇ FAKTÖRÜ PARAMETRELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN FİLTRE TASARIMI	44
5.1. Aktif Filtre .....	44
5.2. Pwm (Darbe Genişlik Modülasyonu) Modeli .....	46
5.3. SRF Filtre.....	50
5.3.1. Harmonik akım referans jeneratörü.....	51
5.3.2. SRF (senkron referans taban) teorisi.....	52

5.3.3. DC Bus gerilim kontrolörü.....	53
5.3.4. Akım kontrolörü.....	54
5.3.5. Hyshisterizis bant kontrolü.....	55
5.3.6. Simülasyon sonuçları.....	60

## BÖLÜM 6.

KULLANICI ANKETİ VE IŞIK SPEKTRUMU İLİŞKİSİ.....	63
6.1. Anket Çözümlemesi.....	65
6.2. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	74

## BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	86
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	93

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
DALI	Dijital adreslenebilir aydınlatma arabirimi
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit gazı
W	Watt
Wh	Watt – saat
$\rho$	Yansıtma faktörü
$lm$	Lümen – ışık akısı
$lx$	Lüks – aydınlık düzeyi
$cd$	Kandela – ışık şiddeti
TA	Çalışma alan(lar)ı
nTA	Çalışma yapılmayan alan(lar)
$\eta$	Verim ya da etkinlik
P	Güç (Watt)
$\Phi$	Işık akısı
E	Aydınlık düzeyi
U	Düzensizlik faktörü
MF	Bakım – kirlenme faktörü
UDI	Kullanışlı günışığı aydınlık düzeyi
°C	Santigrat derece
°K	Kelvin derece
Q	Soğutma enerjisi
d	Yoğunluk
V	Hacim
c	Özgül ısı
$t_x$	Oda sıcaklığı



J	Joule
$V(t)$	Gerilim
$I(t)$	Akım
$V_n$	n. harmonik gerilimin efektif değeri
$I_n$	n. harmonik akımın efektif değeri
$V_{ef}$	Harmonikli gerilimin etkin değeri
$I_{ef}$	Harmonikli akımın etkin değeri
THD	Toplam harmonik bozulma
THD <sub>v</sub>	Toplam Gerilim Harmoniği Bozulması
THD <sub>i</sub>	Toplam Akım Harmoniği Bozulması
GF	Güç faktörü

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. LED Yapısı.....	14
Şekil 3.2. LED aydınlatmalı panellerde kullanılan led kesiti.....	15
Şekil 3.3. Led sürücü devresi .....	21
Şekil 3.4. LED ve aydınlatılan düz zemin arasındaki geometri.....	22
Şekil 3.5. Bir GaAs LED'in (CQY11C) jonksiyondan kılıfa kadar olan ısıl empedansının LED'e uygulanmış olan darbeli gücün darbe süresine göre değişimi.....	25
Şekil 3.6. 11W LED aydınlatma aygıtının şebeke akım harmonik dağılımı	29
Şekil 3.7. 18W Elektronik balastlı flüoresan lamba aydınlatma aygıtının akım-gerilim dalga şekli.....	30
Şekil 3.8. Farklı marka LED lambaların akım dalga formları.....	32
Şekil 4.1. Test odası 1 (LED).....	36
Şekil 4.2. Test odası 2 (Flüoresan).....	37
Şekil 4.3. Test odası 3 (Hibrit).....	37
Şekil 4.4. Test odası 4 (Flüoresan).....	38
Şekil 4.5. TR1-DL1 senaryo THDI% sonuçları.....	40
Şekil 4.6. TR1-DL2 senaryo THDI% sonuçları.....	40
Şekil 4.7. TR1-DL3 senaryo THDI% sonuçları.....	41
Şekil 4.8. TR1-DL4 senaryo THDI% sonuçları.....	41
Şekil 4.9. TR1-DL5 senaryo THDI% sonuçları.....	41
Şekil 5.1. TR3-DL1 senaryo aktif filtre simülasyonundan önce THDI% değerleri.....	45
Şekil 5.2. TR1-DL1 aktif filtre simülasyonundan önce THDI% değerleri...	46
Şekil 5.3. Basit invertere ait prensip şeması.....	48
Şekil 5.4. Dalga şekilleri.....	49
Şekil.5.5. Pwm filter tasarımı.....	50

Şekil 5.6. SRF kontrolör şeması.....	52
Şekil 5.7. PI denetleyici.....	52
Şekil 5.8. PI regülatör.....	54
Şekil 5.9. DC Bus gerilim kontrolörü blok şeması.....	54
Şekil 5.10. HBCC tekniği şeması.....	55
Şekil 5.11. HBCC blok diyagramı.....	55
Şekil 5.12. SRF metodu kullanılarak tasarlanan aktif filtre Mat/Sim. Modeli.....	56
Şekil 5.13. Ide akımının harmonikli bileşeninin alındığı ana blok.....	57
Şekil 5.14. Ide akımının harmonikli bileşeninin alındığı alt blok.....	57
Şekil 5.15. Ds-qs koordinatlarından a-b-c koordinatlarında referans akımlarının oluşturulduğu ana blok.....	57
Şekil 5.16. Ds-qs koordinatlarından a-b-c koordinatlarında referans akımlarının oluşturulduğu alt bloklar.....	58
Şekil 5.17. Histeresis ana denetleyici bloğu.....	58
Şekil 5.18. Histeresis ana denetleyici bloğunun içi.....	59
Şekil 5.19. Filtre akımının oluşturulduğu akım kontrollü gerilim kaynağı inverter(VSI) ana bloğu.....	59
Şekil 5.20. Filtre akımının oluşturulduğu akım kontrollü gerilim kaynağı inverter (VSI) ana bloğunun içi.....	60
Şekil 5.21. LED modeli.....	60
Şekil 5.22. Filtre olmadan sistem davranışı.....	61
Şekil 5.23. Aktif filtre simülasyonu öncesi DL5 senaryosu THD değeri.....	61
Şekil 5.24. Aktif filtre kullanımdan sonra sistem davranışı (a).....	62
Şekil 5.25. Aktif filtre simülasyonu sonrası DL5 senaryosu THD değeri (b)	62
Şekil 6.1. Anket/Deney katılımcılarının yaş aralıkları.....	65
Şekil 6.2. Anket/Deney katılımcılarının eğitim durumları.....	66
Şekil 6.3. Anket/Deney katılımcılarının göz rahatsızlıkları durumu.....	66
Şekil 6.4. Anket/Deney katılımcılarının göz rahatsızlıkları durumu.....	67
Şekil 6.5. Anket/Deney katılımcılarının çalışma mekanlarında günlük geçirdiği süreler.....	67
Şekil 6.6. Anket/Deney katılımcılarının çalışma mekanlarında bilgisayarda	

geçirdiği süreler.....	68
Şekil 6.7. Anket/Deney katılımcılarının tercih ettikleri aydınlatma şartları	68
Şekil 6.8. Deney Odası 2’de Aydınlatma %100 iken flüoresan lamba spektrumu.....	75
Şekil 6.9. Deney Odası 2’de Aydınlatma %50 iken flüoresan lamba spektrumu.....	76
Şekil 6.10. Deney Odası 3’te Aydınlatma %100 iken LED lamba spektrumu	77
Şekil 6.11. Deney Odası 3’te Aydınlatma %50 iken LED lamba spektrumu	77
Şekil 7.1. %50 oranında Loşlaştırma uygulanmış Flüoresan armatürün ışık spektrumundaki tayf kayıpları.....	82
Şekil 7.2. %50 oranında Loşlaştırma uygulanmış LED armatürün ışık spektrumundaki tayf kayıpları.....	82

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Aydınlatma aygıtlarının güç kalitesi sonuçları.....	30
Tablo 3.2. TS EN 6100-3-2 yük sınıfları.....	33
Tablo 3.3. A sınıfı donanım için harmonik sınır değerleri .....	33
Tablo 3.4. C sınıfı donanım için harmonik sınır değerleri .....	34
Tablo 4.1. Aydınlatma sisteminde dimleme seviyeleri .....	39
Tablo 4.2. Test Sonuçları .....	40
Tablo 4.3. TR2 için test sonuçları.....	42
Tablo 5.1. Sistem parametreleri.....	61
Tablo 6.1. Katılımcıların çalışma düzlemi görme performansları.....	69
Tablo 6.2. Katılımcıların odanın görsel konforu ile ilgili değerlendirmeleri .....	69
Tablo 6.3. Katılımcıların odadaki ışık dağılımı ile ilgili değerlendirmeleri.....	69
Tablo 6.4. Katılımcıların görsel atmosferden memnuniyetleri.....	70
Tablo 6.5. Katılımcıların odadaki ışık rengine ilişkin memnuniyetler.....	70
Tablo 6.6. Katılımcıların ışık rengi tercihi.....	70
Tablo 6.7. Katılımcıların odadaki aydınlatmanın biyolojik saatlerine etkisi ile ilgili değerlendirmeleri.....	71
Tablo 6.8. Katılımcıların odadaki aydınlatma şartlarının çalışma performanslarına etkisi ile ilgili değerlendirmeleri.....	71
Tablo 6.9. Katılımcıların odanın aydınlatma şartlarına ilişkin değerlendirmeleri...	71
Tablo 6.10. Katılımcıların çalışma düzlemindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	72
Tablo 6.11. Katılımcıların kapı pervazındaki renk ve desenleri seçebilmelerine ilişkin değerlendirmeleri.....	72
Tablo 6.12. Katılımcıların sol duvardaki renkleri seçebilmelerine ilişkin değerlendirmeleri.....	72
Tablo 6.13. Katılımcıların karşı duvardaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	73

Tablo 6.14. Katılımcıların bilgisayarda okudukları belgeye ilişkin değerlendirmeleri.....	73
Tablo 6.15. Okuma Problemi yaşayan katılımcıların değerlendirmeleri.....	73
Tablo 6.16. Anketin güvenilirlik değerlendirmesi.....	74

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Aydınlatma sistemi, ışık spektrumu, harmonik bozunum, aktif filtre

Flüoresan ve LED lambalar, düşük enerji sarfiyatları sebebiyle, evlerde ve ofislerde kullanılan en yaygın aydınlatma kaynaklarıdır. Bununla birlikte her iki kaynağın güç faktörü, harmonik bileşenleri ve renk işlemleri düşüktür. Bu çalışmanın amacı, özellikle LED aydınlatma kaynağının sistem parametrelerini incelemek, aydınlatma kontrolü uygulandığında (loşlaştırma), enerji kalitesi parametreleri, spektrum ve renksel geriverim gibi önemli unsurların davranışını araştırmak ve karşılaştırmaktır. Bu sayede aydınlatma kalitesini etkileyen olumsuz etkenleri ortadan kaldırmak adına önlemler almak için yaklaşımlarda bulunulabilir.

Çalışma kapsamında, sözü geçen ışık kaynaklarının renksel geriveriminde ve ışık spektrumlarında oluşabilecek harmonik kaynaklı bozulmalarda kullanıcıların memnuniyetleri araştırılmış, elde edilen veriler neticesinde harmoniklerin sebep olduğu aydınlatma sistem parametrelerinin bozulmasıyla, görsel bozulma arasında anlamlı ilişki kurulmuştur. Daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde bu konuya değinilmediği anlaşılmış, tez konusunun literatürde eksik kalan bazı konuları tamamlayıp yeni çalışmalara ışık tutacağı fikri oluşmuştur.

Gerek enerji kalitesini olumsuz etkileyen gerekse ışık kalitesini bozarak kullanıcıları rahatsız edebilecek harmonikleri ortadan kaldırmak amacıyla yeni bir aktif filtre tasarımı yapılması, var olan sorunlara bir çözüm olacaktır. Yapılan araştırmalar neticesinde PWM ve SRF tabanlı aktif filtre tasarımları üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak tasarlanan filtrelerle gerçekleştirilen simülasyonlarda, harmoniklerin istenilen standart değer aralıklarında kalması sağlanmış ayrıca bu yöntemle ışık spektrumunda ve görsel algılamadaki kayıpların önüne geçilebileceği savı ortaya konmuştur.

# INVESTIGATION OF DIMMABLE LIGHTING APPLICATIONS AND A NEW APPROACH TO SOLVE ENCOUNTERED PROBLEMS

## SUMMARY

Keywords: Lighting system, light spectrum, harmonic distortion, active filter

Fluorescent and LED lamps are the most common used light sources both in homes and offices due to their low energy consumptions. However both sources are short of the quality of power factor, harmonic components and colour rendering. Taking these parameters in account, the purpose of this study is to investigate and compare energy quality parameters for especially LED light sources used with lighting control, especially dimmable control. As a result it can be possible to take measures to eliminate the negative factors affecting the lighting quality.

In this study, mentioned light sources are researched in the aspect of harmonic distortion that may occur in the satisfaction of the users of welded color rendering, as a result a significant relationship between the lighting system with distortion of parameters caused by harmonics and visual degradation and light spectrum losses. Examining the previous studies it is understood that this subject is not addressed, and to complete the remaining missing parts of this subject in the literature became one of this thesis' main ideas.

Designing an active filter can be an effective solution to the problems about energy quality and electrical harmonics which degrades the visual perception of users and quality of the light applied. Especially PWM and SRF based active filters are studied in thesis after researching previous studies held. As a result simulations of new filter designs limited electrical harmonics under the standard values, furthermore it is proposed that by using this method losses in light spectrum and visual perception shall be prevented.



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi gerek maliyeti gerekse kullanım yaygınlığı bakımından diğer enerji türleri içerisinde birinci sırayı almaktadır. Enerji maliyetinin yüksek olması ve talebin her geçen gün artması sebebiyle enerji tasarrufu zorunlu hale gelmiştir. Enerji tasarrufu, çeşitli iyileştirme yöntemleri kullanılarak, kaliteyi düşürmeden enerjiyi daha etkin kullanarak ancak mümkün olur. Enerjinin etkin kullanılmasıyla ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunulacaktır. Bu bilinçle Türkiye’de “Enerji Verimliliği Kanunu“ 02 Mayıs 2007 tarihinde Resmi Gazete’ de yayımlanmıştır [1]. Kanunun amacı, enerjinin etkin kullanılması, enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında verimliliğin artırılması bilincini oluşturmak ve sağlamaktır.

Türkiye’de üretilen toplam elektriğin %25’i aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır [2]. Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kaynağı aydınlatma sistemleridir. Tüketimde önemli bir payı bulunan aydınlatmanın verimli ve tasarruflu kullanılması son derece önemlidir. Aydınlatmada enerji tasarrufu, aydınlatma kontrolü altında düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılarak ve bu kaynakların elektrik şebekesine verdiği olumsuz etkileri minimuma indirerek sağlanabilir.

Aydınlatma sektöründe en yaygın kullanılan ışık kaynağı bundan 15-20 sene öncesine kadar akkor flamanlı lambalardı. Zamanla akkor flamanlı lambaların yerini yüksek verimli ışık kaynağı gereksinimi nedeniyle flüoresan lambalar almıştır. Flüoresan lambaların kullanım ömrü akkor flamanlı lambalara göre 8 kat daha uzundur ve akkor flamanlı lambaların kullandığı enerjinin %20’sini kullanırlar [3]. Son yıllarda ise gelişen teknoloji sayesinde LED teknolojisi ile üretilen ışık kaynakları flüoresan lambaların yerine kullanılacak yeterliliğe ulaşmış durumdadır. Geleneksel flüoresan lambalara karşın ortalama 10 kata kadar daha az enerji tüketimleri

bulunmaktadır [4]. Yüksek enerji tüketimiyle bilinen Amerika'da aydınlatma amacıyla kullanılan enerji ihtiyacının 20 yıl içinde LED aydınlatmalar sayesinde %29 azalacağı tahmin edilmektedir [5]. Benzer tahminler tüm gelişmiş ülkelerin enerji planlamalarına yavaş yavaş girmeye başlamıştır. LED'li ışık kaynaklarının çok yakın gelecekte aydınlatma sektörünün tamamında kullanılacağı ve elektrik tüketimi açısından büyük tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir.

Enerji kalitesi açısından bakılacak olursa, kaliteyi bozan en önemli parametrelerden birinin harmonikler ve ilgili bileşenleri olduğu rahatlıkla söylenebilir. Dağıtım sistemlerinde tek fazlı yüklerden olan ışık kaynaklarının önemli harmonik kaynaklarından olduğu bilinmektedir. Farklı türlerdeki ışık kaynaklarının harmonik değerleri de farklıdır. Harmoniklerin ve diğer parametrelerin incelenmesi ve yapılacak olan iyileştirmeler sonucunda daha kaliteli ve verimli bir enerji elde edilebilir.

Günümüzde aydınlatmada enerji tasarrufu ve verimliliği yolunda yapılan çalışmaların nicel verilerle en ölçülebilir sonuçları güç, akım, gerilim, tüketim, harmonik değerleri gibi değerlerken bir de ölçü cihazları ile ölçülemeyen sonuçları mevcuttur. Bunlar görsel algı, görsel performans ve aydınlatmaya bağlı iş/çalışma performansıdır. Enerji tasarrufu sağlamak amacıyla aydınlatma sistemleri ister mevcut uygulamalarda ister retrofit (mevcut armatürde ışık kaynağı ya da aydınlatma bileşeni değişikliği yapılması) uygulamalarında isterse yeni tesisatlarda çoğunlukla loşlaştırma tertibatlarıyla donatılmaktadır. Loşlaştırma ortam aydınlığının her daim % 100'de muhafaza edilmesi yerine, gün ışığı katkısı, yapılan işte duyulan aydınlık düzeyi ihtiyacı gibi bileşenlerin etkisi ile kullanıcı tarafından ya da otomatikleştirilmiş bir kontrol sistemi tarafından aydınlatmanın sürekli ya da kademe kademe ve/veya senaryolandırılmış biçimde kısılması işlemidir. Çalışılacak ortamdaki aydınlatma tesisatının özelliğine göre 1-10 V ya da DALI kontrol seçenekleri kullanılmaktadır.

Aydınlatma kontrolü ister manuel ister otomatik olarak yapılsın işin içine elektronik devreler kullanarak aydınlatma aygıtına müdahale etme işlemi karışınca elektriksel parametrelerde bazı değişikliklerin ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Aydınlatmanın loşlaştırılması elektronik yöntemlerle yapıldığından harmonik

bozunumların ortaya çıkması beklenen bir sonuçtur. Ancak yukarıda anlatıldığı gibi harmonik bozunumların kullanıcının görsel şartlarını nasıl etkilediğine ilişkin sayısal bir parametre elde etmek mümkün değildir.

Bu zamana kadar yapılan loşlaştırma odaklı aydınlatmada enerji tasarrufu ve enerji verimliliği çalışmalarında bu konu üzerinde durulmadığı görülmektedir. Loşlaştırma sonucunda ortaya çıkan elektriksel bozunumların aydınlatma aygıtından çıkışı nasıl etkilediği, ışık spektrumunda bir bozunuma sebep verip vermediği, eğer spektrumda bir bozunum ortaya çıkıyorsa bunun kullanıcılar/kişiler için nasıl bir görsel soruna yol açıp açmadığı incelenmemiştir.

Bu tez çalışması şekillendirilirken ilgili literatür kaynakları irdelenmiş, yeni nesil aydınlatma aygıtlarından/kaynaklarından olan LED'ler detaylı olarak incelenmiş ve nasıl çalıştıkları irdelenmiş, ardından edinilen bilgiler ışığında test ve deney odaları kurulmuştur. Bu odalarda yapılan deneyler ve anketler neticesinde tespit ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

Yukarıda anlatıldığı üzere test ve deney odalarında kurulan düzeneklerle günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip Flüoresan ve LED lambaların elektriksel parametreleri incelenmiş, enerji tasarrufu ve verimlilik odaklı yapılan loşlaştırma işlemleri sonrasında özellikle enerji kalitesi bakımından ortaya çıkan sorunlar tespit edilmiştir. Tespit edilen sorunların ortadan kaldırılması için bir model tavsiyesi yapılmıştır. Ancak tez asıl olarak; loşlaştırma sonucu ortaya çıkan elektriksel bozunumların ışık spektrumunu ve ortamdaki kullanıcıların görsel algı, görsel performans ve aydınlatmaya bağlı iş/çalışma performansı gibi bileşenleri nasıl etkilediğini araştırmaya odaklanmıştır. Bu bağlamda kurulan test ve deney odalarında yapılan elektriksel ölçümler, aydınlatma ölçümleri ve 40 kişilik bir katılımcı grubu ile gerçekleştirilen anketli deney çalışması ile sorunların somutlaştırılması, ortaya konulması ve varsa çözüm yollarının önerilmesine uğraş verilmiştir.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI**

Literatür taraması kapsamında aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu ve enerji verimliliğini sağlayabilmek amacıyla yapılmış çalışmalar irdelenmiş, bu çalışmalardan edinilen bilgi ile test ve deney odalarının hangi aydınlatma aygıtları ve kontrol donanımlarından oluşacağını kararı verilmiştir. Ayrıca farklı kontrol tarzları, loşlaştırma, farklı aydınlık düzeylerinde çalışma gibi konuların irdelenmesi ile kullanıcıların görsel algı, görsel performans ve aydınlatmaya bağlı iş/çalışma performansı gibi konuların nasıl etkilendiğine dair fikir edindirebilecek çalışmalar incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda edinilen akademik bilgi birikimi tezin deneysel ve uygulama odaklı planlamasının yapılmasında kullanılmıştır.

### **2.1. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu, Verimliliğine ve Elektriksel Bozunumlara Dair Çalışmalar**

C. Perdahçı, U. Hanlı tarafından yapılan çalışmada, aydınlatmada tasarrufu sağlamak amacıyla alınacak önlemler belirlenmiş, bu önlemler arasında aydınlatma kontrolü kullanılması, ışık kaynaklarının bakımı, yüksek verimli lambalar kullanılması gibi uygulamalar önerilmiştir [6].

Y. Erol, T. Canbolat tarafından yapılan çalışmada, yeni nesil power LED teknolojileri incelenmiş, Flüoresan ve akkor Flamanlı lambaların LED ile elektriksel parametreler açısından mukayesesi yapılmış ve LED lambaların eksik yönlerini irdemişlerdir [7].

Ö. Gencer ve arkadaşları, aydınlatma aygıtlarındaki harmoniğin ölçülmesi, yok edilmesi ve simülasyonunun yapılması ile ilgili yeni bir algoritma geliştirmişler, aydınlatma aygıtı olarak elektronik balastlı flüoresan lamba ve deşarj lambalarını ele almışlardır [8].

M. Chiogna ve arkadaşları İtalya'nın Trento kentinde bulunan üniversitenin mühendislik fakültesi konferans salonunda, kış ve yaz sömestlerinde 75' er gün süren bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, farklı senaryolarda, bir tarafta aydınlatma kontrolü uygulanan diğer tarafta geleneksel yöntemle aydınlatılan ortamda enerji verimliliklerini geliştirmek için performanslar analiz edilmiştir. Her iki aydınlatma yönteminde de, yaz ve kış aylarında uygulanan farklı senaryolarda enerji verimliliği değişkenlik göstermiştir. Kış aylarında enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiş, aydınlatma kontrolü uygulanan ortamda %65 'lere yakın bir tasarrufun sağlanacağı gösterilmiştir [9].

M. Kosir ve arkadaşları, Lubiana'da inşaat mühendisliği binasının 3. katındaki 9,5 m<sup>2</sup>'lik bir ofiste, nisan-mayıs ayları boyunca sabah 11:00 ila öğlen 13:00 arasında yaptıkları çalışmada, günışığından faydalanılan bir ortamda önce aydınlatma kontrolü uygulanmadan ve aydınlatmalar kapalıyken dikey ve yatay çalışma düzlemleri için aydınlık seviyeleri ölçümleri yapılmış, sonrasında aydınlatma kontrolü uygulanarak aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Aydınlatmalar kapalıyken ve gökyüzünün açık olduğu şartlarda çalışma düzleminde pencereden 2 metre uzaklığa kadar yeterli aydınlık sağlanmış fakat hava şartlarının kötü olduğu günlerde odanın hiçbir yerinde 1000 lx dikey aydınlık düzeyi sağlanamamıştır. Aydınlatma kontrolü uygulandığında, parçalı bulutlu ve güneşli havalarda ortamdaki aydınlık düzeyleri başarı ile sağlanmıştır [10].

FG. Rosillo, F. Castejon ve M.A. Edigo, entegre balastlı kompakt flüoresan lambaların civa ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının üretimi ve işletmesi ile ilgili ölçüm metodları ve bu metodla yapılan ölçümler neticesinde farklı işletme döngüleri altında ekonomik maliyetlerinin onların ömürleriyle ilişkilendirmesini hedeflemişlerdir. Bu hedefle söz konusu kirletici emisyonların azaltılması ve kompakt flüoresan lambaların ekonomik maliyetinin minimum olması için basit kriterler bulunulması amaçlanmıştır. Farklı üreticiler tarafından üretilen birleşik karakteristikli balast ve düşük kalitede üretilmiş iki balast modeli analiz edildi. Sonuç olarak, lambaların üretim yeri, parçaların kalitesi, lambaların ne sıklıkta açıldığı ya da ne kadar süre açık kaldığı gibi parametreler, lambaların emisyon kirliliği ve maliyetlerini doğrudan etkileyen faktörler olduğu tespit edilmiştir [11]. Aydınlatmada enerji tasarrufunun çevreye etkisi net bir şekilde bu

çalışmanın sonuçlarında ifade edilmiştir.

CA. Majithia, AV. Desai ve AK. Panchal tarafından yapılan çalışmada, akkor, halojen, kompakt flüoresan, lineer tüplü flüoresan ve LED lambaları gibi yaygın olarak kullanılan bazı ışık kaynaklarının, akım ve gerilim dalga formları, toplam harmonik distorsiyon, deplasman güç faktörü ve net güç faktörü ölçümleri yapılmıştır. Harmonik analizi yapılan aydınlatma elemanlarından akkor ve halojen lambaların minimum toplam harmonik distorsiyon değerine, kompakt flüoresan lambalar ile LED lambaların ise en yüksek toplam harmonik distorsiyon değerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. LED ve flüoresan lambaların, üçgen dalga formlu akımları yüzünden toplam harmonik distorsiyon değerlerinin yüksek olduğu, LED lamba ve LED tüp karşılaştırmasından tekli harmoniklerin önemli katkısı yüzünden LED lambaların THD' sinin yüksek değer gösterdiği sonucuna varılmıştır [12].

C. Yavuz, E. Yanıkoğlu ve Ö. Güler'in 2010 ve 2012 tarihli günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tasarrufu ve enerji kalitesi parametrelerini inceleyen çalışmalarında, loşlaştırma özelliklerine haiz olan elektronik adreslenebilir balastlarla ilgili olarak önemli bulgulara ulaşılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre sözü geçen sistemler önemli miktarda enerji tasarrufu ve verimlilik sağlarken özellikle akım harmoniği anlamında uluslararası standartların çok üzerinde bozucu etki yaratmakta ve şebeke enerji kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir [13,14].

H.C. Albu ve arkadaşları ofisler için uygun olan farklı ışık kaynaklarının farklı aydınlık seviyelerinde, güç kalitesi ve aydınlık karakteristiklerini belirlemek için, 21 Ocak 2010 saat 17:00 de, kuzey duvarında 4 eşit pencere bulunan 60 m<sup>2</sup>'lik odada bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde, LED armatürlerin aydınlık etkinlik değerinin diğer aydınlatma ekipmanlarından daha fazla olduğu fakat toplam harmonik distorsiyon değerlerinin diğer aydınlatma ekipmanlarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan MATLAB ve DIALUX yazılımları ile farklı loşlaştırma teknolojilerinin güç kalitesinde farklı etkilere sahip olduğunu göstermiş, düşük fiyatlı triyak loşlaştırmanın en büyük harmonik değeri verdiği görülmüştür [15].

A. Logadottir ve arkadaşları, 18 m<sup>2</sup>'lik iki ayrı odada yaptıkları çalışmada farklı aydınlık düzeyleri için kullanıcı tercihlerini incelemişlerdir. Orta aydınlık düzeyinin, yüksek ve düşük aydınlık düzeyine göre daha çok tercih edildiği tespit edilmiştir [16].

A.M. Dugar ve ekibi, zengin çeşitte sensör kullanımı ile kaliteli çevre aydınlatma tasarımı yapılarak ideal aydınlatma kontrol sisteminin karakteristiklerini, insan faktörünü de göz önünde bulundurarak, belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Farklı üreticilerden temin edilen farklı kalitelere aydınlatma kontrolü elemanlarının kullanımını, insanların algısal ve becerisel özelliklerine göre sınıflandırmışlardır [17].

George ve arkadaşları, LED lambaların ve CFL'lerin ekonomik avantajlarını karşılaştırarak dağıtım şebekelerinde sebep oldukları güç kalitesi problemlerini incelemişlerdir. Isıl kayıpları daha az olan ve güç faktörü değerinin daha yüksek olduğu LED lambaların, THD değeri %100'lere varan kompakt flüoresan lambalara oranla ekonomik açıdan daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir. Her iki lamba türünün de şebekedeki olumsuz etkilerini elimine etmek için pasif filtre önerisi ve tasarımı yapan ekip, bu filtre devresinin en büyük avantajının maliyeti ve 3. harmoniği zayıflatması, en büyük dezavantajının da daha yüksek harmonikleri zayıflatmaması ve tasarımının zor olduğu sonucuna ulaşmışlardır [18].

S. Uddin ve arkadaşları, Çeşitli markalarda farklı güç oranlarına sahip 12 LED ve 2 CFL lambanın karakteristikleri analiz etmek için güç kalitesi analizörü ile test yapmışlar, bu farklı güç değerlerinde ve farklı markalara ait lambaların her türlü kombinasyonunu incelemişlerdir. Amacı en düşük THD değerine sahip kombinasyonu bulmak olan deneyin sonucunda, LED lambaların ve CFL lambaların birlikte kullanımı, yalnızca LED ve CFL lambaların kullanıldığı aydınlatma sistemlerine göre daha düşük harmonik üretimine sebep olduğu ortaya koyulmuştur [19].

S. Uddin ve arkadaşları, loşlaştırılmalı LED uygulamaların harmonik üretimini araştırmışlardır. Çeşitli LED lambaların laboratuvar ortamında testleri yapmışlar ve çeşitli şartlarda yük akımı davranışlarını incelemişlerdir. Daha sonra üretilen harmoniklerin frekans domenindeki analizlerini yapmışlardır. Farklı watt

değerlerinde, farklı markalarda loşlaştırılabilir ve loşlaştırmaz LED lambaların ile loşlaştırılabilir kompakt flüoresan lambaların harmonik seviyeleri deneysel olarak değerlendirilmişler ve karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, tüm LED lambaların dilmeme operasyonu sırasında AC şebekenin güç kalitesini etkileyebilecek seviyede oldukça yüksek harmonik ürettiğini göstermişlerdir [20].

H. Omar ve arkadaşları, Malezya hükümetinin ülkede CO<sub>2</sub> emisyonlarının ciddi bir problem olduğu ve bu emisyonların en aza düşürülmesi için başlatılan programda Malezya Teknoloji Üniversitesi kampüsünde bir çalışma başlatmışlardır. Bu çalışmada güç kalitesi ve enerji tasarrufu için kampüsteki cadde aydınlatmalarına odaklanılmıştır. Enerji tasarrufu temelli cadde aydınlatmasında, elektronik balastlar akıllı aydınlatma sisteminin bir parçası olarak kullanılmış, bu balastlar HPS (yüksek basınçlı sodyum) lambalarla birlikte kullanıldığı sistemde ise enerji tüketimi %50 oranında düştüğü görülmüştür. Buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonu da aynı oranda düşmektedir [21].

Yine aynı çalışmada HPS lambaları için tasarımı yapılan elektronik balastlar incelendiğinde, tam köprülü ve yarım köprülü inverterlerin kullanıldığı sistemler, diğer elektronik balast sistemlerine göre %39.5 oranında daha az THD üretmiştir. Manyetik balast kullanılan sistemlerle karşılaştırıldığında enerji tüketimi ve maliyeti %37.7 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektronik balast kullanılan sistemin CO<sub>2</sub> emisyonunun ise ayda 6.1 ton düştüğünü tespit etmişlerdir [21].

A.G. Castro ve arkadaşları, cadde aydınlatmalarında ana aydınlatma türü olan yüksek basınçlı sodyum lambaları yerine LED aydınlatmalar kullanılması halinde hem uzun ömürleri hem sağlıkları hem de aydınlatma kontrolü yapılabilmeleri açısından büyük enerji tasarrufları sağlayacaklarını öngörmüşler bu kapsamda her iki aydınlatma türüne ilişkin güç kalitesi incelemeleri yapmışlardır. Yapılan laboratuvar ölçümlerinde cadde aydınlatmalarında kullanılan LED lambaların harmonik emisyon değerlerinin HPS lambalardan daha düşük olduğunu görmüşlerdir [22].

Yukarıda verilen çalışmalardan anlaşıldığı üzere aydınlatmada enerji tasarrufu ve



enerji verimliliği sağlamak için yeni nesil flüoresan ve LED ışık kaynakları ile yeni nesil elektronik balastların kullanılması genel anlamda ciddi faydalar sağlamaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, artan aydınlatma aygıtı ömrü gibi yan ve olumlu çıktılar da mevcuttur. Ancak çalışmalarda varılan ortak nokta tasarruf ve verimlilik çalışmalarında özellikle loşlaştırmalı sistemlerde ortaya çıkan en büyük negatif etki harmonikler ve bileşenleridir. Bu sıkıntının ortadan kaldırılması için yapılabilecekler mutlaka araştırılmalıdır.

## 2.2. Elektriksel Bozunumların Görsel Şartlara Etkisi Üzerine Çalışmalar

A. Sivaji ve arkadaşları, ışık rengi ve renk sıcaklığının ofis çalışanları üzerinde önemli etkileri olduğunu, özellikle sıcak beyaz renkli yapay aydınlatma cihazları altında çalışan ofis çalışanlarının dikkat ve algı seviyelerinin daha yüksek olduğunu yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir [23].

Wei ve arkadaşlarının yapmış olduğu ankete dayalı ofis çalışanlarının memnuniyetin araştırılmasına dair çalışmada yüksek renk sıcaklığındaki yapay aydınlatma aygıtları ile aydınlatılmış ofislerde aydınlık düzeyi yüksek olduğu durumlarda dahi görsel konforun, düşük renk sıcaklıklarındaki aydınlatma aygıtları ile aydınlatılmış ofislere göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu yüzden ışık rengi seçimi yapılırken 3500 K renk sıcaklığına sahip armatürler tercih edilmiştir [24].

Linhart ve Scartezzini'nin İsviçre'de yapmış olduğu bir araştırmada aynı ışık renginde aydınlatma aygıtlarına sahip 2 farklı test odası kurulmuş, bunlardan etkinliği yüksek aydınlatma aygıtları ile aydınlatılmış olanın daha fazla aydınlık düzeyine sahip olması sağlanmıştır, ancak sözü geçen test odasının kamaşma yapma olasılığı daha fazladır. Çalışma neticesinde enerji verimi daha yüksek olan aygıtlarla aydınlatılmış test odasında görsel konforun daha yüksek olduğu ve deneklerin bu odayı kamaşma olasılığı daha yüksek olsa da çalışmak için tercih ettikleri saptanmıştır [25].

M. Islam ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, ofis çalışanlarının aynı aydınlık düzeyini sağlayabilen flüoresan ve LED lambalı armatürlerden hangisi altında daha konforlu ve

görme algısını yüksek hissettiklerini, daha düşük renk sıcaklığındaki LED lambalı armatürleri tercih ettikleri ortaya koymuşlardır [26].

Charness ve Dijkstra'nın araştırmalarında gençlerin görsel algılarının daha düşük aydınlık düzeylerinde yaşlılara göre daha yüksek olduğunu deneysel yollarla tespit etmişlerdir [27].

Chung ve Burnett yapmış oldukları geniş katılımlı deneysel saha çalışması sonucunda ofis kullanıcılarının yüksek aydınlık düzeylerinde çalışmayı tercih ettiklerini saptamışlardır [28].

Philips firması tarafından, aydınlık düzeylerinin üretim performansını aynı zamanda çalışan psikolojisi ve biyolojisini nasıl etkilediğine dair yapılan bir saha araştırmasında, farklı sektörlerde çalışan insanların ihtiyacı olan aydınlık düzeyleri belirlenmiş, yükseltilmiş aydınlık düzeyleri ile çalışma sağlandığında iş veriminin gözle görülür artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca düşük aydınlık düzeylerinde uyku hormonlarındaki yükselişe de değinilmiştir [29].

K. Tetlow' un yaptığı çalışmada, yaş gruplarına göre aydınlık düzeyi ihtiyaçlarının farklılaştığı ortaya konulmuştur. Yapılan araştırmada 60-70 yaş arası aydınlık düzeyi ihtiyacının, 20li yaşlara oranla %250 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır [30].

B.M.T Shamsul ve arkadaşları, Malezya Putra Üniversitesi tıp fakültesi öğrencileri ile yaptıkları deneysel çalışmada, doğal gün ışığı, soğuk beyaz ve sıcak beyaz aydınlatmanın çalışma performansına ve görsel konfora etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçlarında en iyi görsel konfor yüksek aydınlık düzeyinin sağlandığı günışığı şartlarında yakalanmıştır [31].

S.A. Samani'nin yaptığı çalışmada, iyi bir aydınlatmanın, öğrenme performanslarını arttırdığını dolayısıyla aydınlatma ve öğrenme arasında direk bir ilişki olduğuna değinmiştir. Aynı çalışmada yaş ile daha yüksek aydınlık ortamda çalışma ihtiyacı arasında da doğru orantı olduğuna dikkat çekilmiştir [32].

S.M.B. Jamian tarafından yapılan tez çalışmasında, loşlaştırılmış aydınlatmanın çalışanların üretkenliğini düşürdüğü ayrıca göz yorgunluğu ve baş ağrısı gibi olumsuz sonuçlara yol açtığını dile getirmiştir. Aynı çalışmada loşlaştırma uygulanmayan normal bir aydınlatmanın çalışanların motivasyonunu arttırdığı, göz konforu ve sağlığı açısından daha uygun olduğu sonuçlarının deneysel çalışma sonucunda ortaya konulduğuna değinilmiştir [33].

TMMOB makine mühendisleri odası İzmir şubesinin Ocak 2015 de İlk ve orta okullarda İç Çevre Kalitesi Eğitimi Projesi kapsamında, görsel konforun eğitimcilerin ve öğrencilerin motivasyonunu ve çalışma performanslarının nasıl etkilediğine dair çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada vardıkları sonuçlar şu şekilde sıralanabilir. Renk Geriverim İndeksi (Ra-CRI) istenilen değerden düşük olan bir lamba seçildiğinde iç hacimdeki renkler gerçek renklerinden farklı görünür. Yetersiz olan aydınlık düzeyi eylemlerin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesine engel olur. Örneğin, okumanın yavaşlaması, konsantrasyon kaybı, uzun vadede görmenin zayıflaması gibi sonuçlara neden olur. Kontrol sistemleri kullanılarak yapay aydınlatma ile doğal aydınlatma sistemleri bütünleşik olarak tasarlanmalıdır. Böylece hem görsel konfor koşullarının sağlanması hem de enerjiden tasarruf edilmesi mümkün olabilir [34].

A.B. Hayta, yaptığı çalışmada iş kazaları ve işçi sağlığı gibi sorunların önemine değinerek iş ortamı koşulları ile işçi verimliliği arasındaki yakın ilişkiyi irdelemiştir. İyi bir aydınlatmanın hem üretimi hızlandırmakta hem de işçinin sağlığı, güvenliği ve etkinliği için temel bir faktör oluşturduğunu, iyi aydınlatılmamış bir ortamda gerçekleştirilen bir çalışma neticesinde, göz bozuklukları, kazalar ve malzeme kayıplarının meydana geldiğini ve üretimin yavaşladığını, özellikle hassas iş yapılan yerlerde yetersiz aydınlatma çalışanın verimliliğini azalttığını ortaya koyan çalışmada verimli bir çalışma ortamı için gerekli aydınlık düzeyi standart değerleri verilmiş ve ışık kaynağının renklerinin de önemi vurgulanmıştır [35].

Sınırlı sayıdaki yukarıdakine benzer çalışmalar, görsel performansın düşük aydınlık düzeylerinde azaldığını, insan yaşı arttıkça ihtiyaç duyulan aydınlık düzeylerinin yükseldiğini, ışık renklerinin çalışma performansı ile ilişkili olduğunu, renk

sıcaklığının görsel ve konfor ve algı noktasında önem arz ettiğini ve ortam görülebilirliğinin önemli bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında benzer ya da aynı çalışma ortamlarında, farklı aydınlık düzeyleri altında, farklı ışık renkleriyle ve farklı enerji tüketim seviyelerinde çalışma yapan kullanıcıların tepkilerinin ölçülmesine ve bunların elektriksel bozunumlarla ilişkilendirilmesine karar verilmiştir.

## BÖLÜM 3. LED IŞIK KAYNAKLARININ FARKLI AÇILARDAN İNCELENMESİ

### 3.1. LED'lerin Yapısı ve Çalışma Prensibi

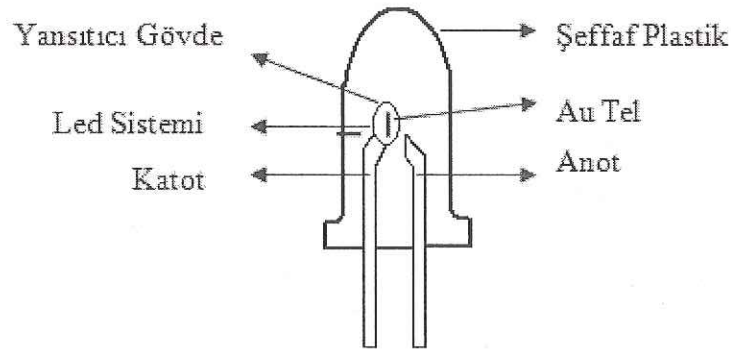
Light Emitting Diode (LED) veya "Işık Yayan Diyot" olarak bilinen LED'ler, Galyum-Arsenur, Galyum-Fosfit ve Galyum-Nitrit gibi yarı-iletken maddeler kullanılarak üretilen elektronik devre elemanlarıdır. LED'ler, konvansiyonel ısı ile ışık üreten malzeme olan filaman yerine yarı-iletken materyaller kullanarak ışık üretirler. LED'leri oluşturan bu yarı-iletkenlerdeki elektronların hareketi, küçük bir aydınlatmaya neden olur.

LED'ler Galyum-Arsenit (GaAs), Galyum Arsenit-Fosfat (GaAsP) ya da Galyum Fosfat'tan (GaP) yapılmış p-n bağlantı yapılarıdır. LED'teki eklem noktaları ileri-akım yapıldığında ve elektronlar n-bölgesinden p-bölgesine doğru geçtiğinde, elektron-hol (boşluk) yeniden birleşimi işlemi gerçekleştirerek kızılötesinde ya da görünür foton üretir. Bu olaya elektriksel ışımaya denir. LED'e ileri yönlü gerilim uygulandığında elektronlar holler yardımıyla n-bölgesi ile p-bölgesi arasında aktif bölgede hareket ettirilir, bu da enerjinin IR veya görünür ışığa dönüşmesine neden olur. Bu elektron-hol çiftinin daha kararlı bir bağ yapısına ulaşması ve elektron volt (eV) seviyesindeki enerjinin foton yayması anlamına gelir. LED'ler polariteli olduklarından, pozitif ve negatif terminallerinin doğru bağlanması gereklidir. Polarite ters olursa LED çalışmayacak ve ışık vermeyecektir. Eğer ters gerilim kesilme-bozulma geriliminden büyük olursa bu durumda LED'in yapısı bozulacak ve kullanılamaz hale gelecektir. LED'ler yarı-iletken yapıları nedeniyle üzerinden geçirdikleri akım sonrasında ışık yayılmasına neden olurlar. Yayılan ışık spektrumu genellikle çok dardır. Elektromanyetik spektrumda yayılan her ışık genellikle bir dalga boyu ile belirtilir. Bu nedenle yayılan ışık spektrumun seçimini sınırlar. Bilinen ışık renkleri kırmızı, yeşil, kehribar, sarı, mavi ve beyazdır. Bunlardan kırmızı, yeşil, kehribar ve sarı

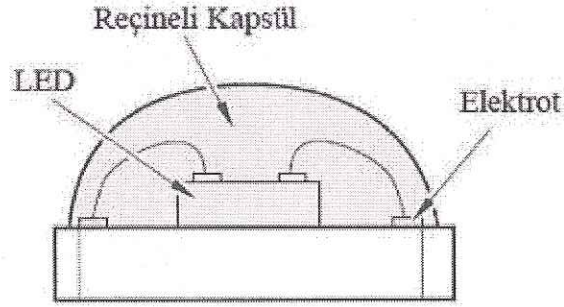
renklerin çalışma gerilimleri yaklaşık olarak 1.8V'tur. Bunun yanında çalışma gerilimi yapılarında kullanılan yarı iletken materyallerin kesilme-bozulma gerilimlerine göre belirlenir [36].

LED'li devrelerde dikkat edilmesi gereken en önemli konu, LED üzerinden geçen akımdır. LED'lerin birçoğu herhangi bir hasara neden olmadan sürekli olarak üzerlerinde 20mA'lık bir akım geçirebilirler. Ama her zaman nominal akım kullanmaya gerek yoktur. Bir LED daha az akım ile ışık verebilir. Nominal akım ile düşük akım arasındaki fark LED'in parlaklığını verir. LED'lerde akımı sınırlamak için seri bir direnç bağlanmalıdır.

Basit yapılı bir LED zar ve bu zarı kaplayan kurşun çerçeve ve tüm bunları çevresel etkilere karşı koruyan ve ışığı dağıtan epoksi denilen bir plastik yapıdan oluşmaktadır. Bu zar iletken epoksi yardımıyla, örs olarak adlandırılan kurşun çerçevenin bir yarım çerçevesinin içine gömülür. Bu nedenle örsün içine gömülme yapıldığından ışınım ileri doğru olmaktadır [37].



Şekil 3.1. LED Yapısı



Şekil 3.2. LED aydınlatmalı panellerde kullanılan LED kesiti

### 3.2. LED Çeşitleri

LED'ler yapıldığı parçalara göre ayırık (discrete), paket (packaged) veya yüksek şiddetli ışık kaynaklı olarak tasarlanırlar.

#### 3.2.1. Geleneksel LED'ler

Ayrık-LED: "Standart LED" olarak da bilinmektedirler. Epoksi maddesi kullanılarak ve genellikle küçük silindirik kubbe şeklindedirler. En bilinenleri 5 mm çaplı olanlardır. Metal kurşun-levha üzerine yerleştirilen zar ve çevresi yine kurşun çevre ile kaplanarak yapılırlar.

Alpha-Nümerik LED Göstergeler: 7 veya daha fazla LED içerirler. Genellikle göstergelerde ve 7 segment uygulamalarında çokça kullanılmaktadırlar.

LED-Kümeleri (LED Cluster): Modern tekli LED'ler bilinen akkor lambalar kadar parlak olmayabilmektedir. Bu nedenle birçok LED'i bir araya getirerek LED kümeleri oluşturulup daha parlak ışık kaynakları yapılır. Bu LED-küme yapılarının bir avantajı olarak tek bir LED veya LED'lerde herhangi bir sorun meydana geldiğinde geriye kalan diğer LED'ler ışık vermeye devam edecektir.

Yüzey-Montajlı LED: Bunlar genellikle küçük boyutlu zarrın bir yonga yapının içine monte edilmesiyle yapılmaktadırlar. Geniş açılı bir görüş ve rahat bir montaj sunmaktadır.

Güç (Power) LED'ler: Yüksek ışık verimi olan LED'lerdir. En parlak LED'lerdir. Yapılarında birden fazla zar bulundurabilir.

C.O.B (Chip on Board) LED: Düşük maliyetli olup büyük hacimli uygulamalarda, özellikle içerdikleri yüksek koruma yapılarından dolayı tercih edilmektedir. Bu LED'lerde zarlar reçine benzeri bir madde ile kaplanarak daha yüksek bir koruma sağlamaktadır [38].

### 3.2.2. Luxeon LED'ler

Philips şirketinin bir alt kuruluşu olan Philips Lumileds Lighting Company adlı şirketin LED piyasasına sunduğu Luxeon LED'ler yüksek güç performanslı LED'lerdir. Bu LED'ler Standard LED'lerden 4-5 kat fazla ışık ortaya çıkarabilmektedirler. Üstün ısı ve renk kararlılığı konusunda normal LED'lere göre üstünlük sağlamaktadırlar. Üstelik CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltarak küresel ısınmaya ve enerji sistemlerinin küçülmelerine neden olduklarından çevreye çok faydaları vardır. Ayrıca cıva veya kurşun içermediklerinden ve ışık demetleriyle çevreye ısı yaymadıklarından günümüzde aydınlatma sorununa karşı tam bir ışık kaynağı görevi görmektedirler. Örnek olarak bazı avantajları;

- Çevre dostu teknolojidirler.
- Düşük maliyet ve düşük enerji tüketimleri vardır.
- En güçlü ışık kaynaklarından biridir.
- Filtrelemeye ihtiyaç olmadan renk kararlılıkları yüksek ve verimlidirler.
- Düşük gerilime gereksinim duyarlar.
- Standard LED'lere göre çok uzun ömre sahiptirler.

### 3.2.3. Quantum dot LED'ler (QD-LED)

Ampulün varisi olarak lanse edilen Quantum dot LED'ler yoğun mavi ışık veren LED'lerin ince, özel mikroskobik düzeyde boncuklardan (quantum dot) oluşan tabaka ile kaplanması ile oluşurlar. Nano kristallerin boyutuna göre birçok renk meydana



getirilebilirler. Bu uygulamalar daha önce biyomedikal uygulamalarda çok kullanılırdı. Günümüzde ise kendiliğinden geniş (tam) spektrum oluşturabilen beyaz ışık verebilen versiyonları çıkmasıyla güneş ışığına yakın kalite elde edilmiştir. Renk filtrelemesi gerekmediğinden daha az enerji harcamaktadırlar. Geleneksel LCD uygulamalarda ışık arkadan verilebilmesine karşın QD-LED'ler kendi ışığını kendileri üretebiliyor. Dot denilen boncukların boyutları, gökkuşağından herhangi bir rengi yaymaları için ayarlanabilir. Yaydıkları ışık doygunluğu diğer ışık kaynaklarından daha yoğundur. Olağandışı incelikte kullanıldıklarında parlak-düz-ekran uygulamalarında kullanılabildikleri gibi bilimsel amaçlarla dalga boylarını kalibre etmek için veya sadece robotların görebileceği dalga boyları üretmede kullanılabilir [38].

#### 3.2.4. Organik LED'ler (OLED)

OLED'ler ucuz olmalarına rağmen, yüksek çözünürlük isteyen ekranlarda veya taşınabilir bilgisayardaki gibi bütünleşme sorunları gibi nedenler, kullanımlarını bir ölçüde kısıtlamaktadırlar. Buna karşın dev reklam panoları ve geniş ekranlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yukarıda bahsedilen geleneksel LED'lerin karşılaştığı bu soruna karşı çözüm olarak, günümüzde Organik LED'ler (Organic LEDs-OLEDs), yüksek çözünürlük gerektiren alanlara entegre edilebilmek için kullanılmaktadır.

OLED'lerin çalışmaları elektriksel ışımaya olarak bilinen doğa olayı prensibiyledir. Bu prensip, elektriksel enerjiyi ışığa dönüştürmeyle olur. Yine temelinde ışığı emen organik materyallerden oluşur. Bir OLED iki adet ışıldayabilen plakadan oluşur. Bu iki plaka iki elektrot arasında sıkıştırılmış olarak durur. Elektrik akımı bu iki elektrot arasından geçtiği zaman ışık emen organik levhalar ışık saçmaya başlar. Işığın OLED tarafında emildiğini görebilmek için en azından bir elektrot saydam olmak zorundadır. OLED'ler düz-panel-ekranlarda piksel olarak kullanıldıkları zaman, daha geniş görme açıları, hafif ve hızlı tepkime verebilme gibi avantajları vardır. Bundan dolayı en verimli OLED'lerin mevcut olduğu günümüzde, aslında ekranın sadece bir parçası aydınlatıldığından dolayı OLED'ler daha az güç harcamaktadırlar.

Kendi kendilerine ışık-saçan olduklarından dolayı LCD'lerdeki gibi arka ışıklandırma gerektirmezler. Çok az güç gerektirdikleri gibi parlak ve verimlidirler. OLED'ler kristal düzene gerek duymadıkları gibi, organik materyalleri, hem molekül hem de polimerik maddelerden oluştuklarından sıradan inorganik yarıiletken LED'lere göre daha ucuz depo edilebilirler ve rahat şekil verilebilme özellikleri vardır.

OLED'ler geniş ekran uygulamaları için tasarlandıklarından büyütülmüş mikro-ekranlar (micro displays), giydirilebilir, montajlanabilir ekranlı bilgisayarlar, dijital kameralar, akıllı-çağrı cihazlarında, sanal gerçeklikteki oyunlarda, cep telefonlarla birlikte tıbbi cihazlarda, otomotiv sektörü ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

### 3.2.5. AMOLED (Active Matrix Organic LED)

Sony'nin de bu teknolojiyi kullanan ilk televizyonu duyurmasından sonra mevcut teknolojinin daha gelişmiş bir sürümü ile kullanımı hızlanan AMOLED'ler sayesinde üreticiler, tüketiciye çok daha aydınlık görüntüler, daha iyi renkler, daha kısa tepki süreleri ve daha düşük enerji tüketimi vaat edebilmektedir. Normal bir LCD ekrana göre AMOLED'li ekranlar 1.5 kat daha parlaklık sağlayabilmektedir. AMOLED'de her piksel aktif bir matris tarafından yönetilir. Her piksel kendine has bir elektrik bağlantısına sahiptir ve bu sayede ışıldarlar. AMOLED'lerin kendisi ışık gönderebildiği için LCD-TV ve monitörlerde olduğu gibi arka aydınlatmaya gerek kalmaz. Bu da muazzam bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Arka aydınlatmaya gerek kalmamasının faydası sadece bu değildir. Ekran bu sayede birkaç milimetre kalınlığında olabilmektedir. Siyah renk de çok daha doygun ve daha iyi bir biçimde canlandırılır. Tüm piksellerin tamamen kapatılmasıyla siyaha ulaşılır. Güncel LCD ekranlarda sadece piksellerin önü kapatılır. AMOLED'ler neredeyse her maddeye basılabildiği için bükülebilir ekranlar yapmak veya bunları kıyafetlere entegre etmekte mümkündür. Tüm bu avantajlarına karşı ve OLED'lere göre daha uzun ömürlü olmasından dolayı AMOLED'lerin de bir dezavantajları vardır. OLED'ler gibi organik maddelerden yapıldıklarından dolayı havadaki oksijenle tepkimesinden dolayı aşınabilmektedirler.

### 3.2.6. Transparan (şeffaf) OLED'ler

Technical University of Braunschweig'den araştırmacıların geliştirdiği teknoloji olan transparan-OLED'lerden, TFT (ince-film transistörler) oluşan 100 nanometre kalınlıktaki çinko-kalay-oksitten yapılmaktadırlar.

Bunun sayesinde görünür ışığın % 90'nını geçirebilmektedirler. Transparan-OLED'ler sadece substrat, katot ve anottan oluşmaktadır ve bu yapının % 85'i olan substrat, organik maddeden oluşmaktadır. Ekran açıldığında her iki yönde ışık geçirmektedir [38].

Ekranın yapısına göre şeffaf-OLED'ler aktif veya pasif (ekranın çerçevesi gibi) matris olabilirler. Bundan dolayı üstteki OLED'ler mat veya yansıtıcı özelliğe sahiptirler. KIA otomobil üreticisi ürettikleri elektrik arabalarda bu teknolojiyi kullanmaktadır. Hız, şarj ve birçok bilgi direksiyonun önüne yerleştirilen ekran sayesinde sürücüye yansıtılmaktadır. Aynı şekilde Samsung firmasının ürettiği fotoğraf makinesi ve kameralarda makine ile ilgili bilgileri veren (şarj, metrik görüntü ayarları gibi) ekran kullanılmaya başlanmıştır.

### 3.3. LED'lerde Renk

Kimyasal değişiklikler yaparak LED'lerde renk ayarlanabilir. LED'lerde bant aralığı (energy gap) ayarlanmasıyla çoklu renk elde etmek mümkündür. Örneğin, düşük akımlar kırmızı ışık veren LED'ler, akımın arttırılmasıyla birlikte renkleri sırasıyla turuncu, sarı ve son olarak yeşile dönüşür. Aşağıda bazı renklerin karakteristiği ile kullanım alanlarında kısaca söz edilmiştir.

#### 3.3.1. Morötesi (ultraviyole) ve mavi LED'ler

Genellikle kırmızı ve yeşil renkli LED'lerin beyaz ışık etkisini yok etmek için kullanılırlar. Buna karşı, keşfedildikleri ilk zamanlarda, arabalardaki uzun huzme gösterge ışıkları için kullanılıyorlardı. Sonra, yarıiletkenlerdeki doplama (doping) teknolojisi vasıtasıyla yüksek parlaklıktaki mavi LED'ler bulundu. Günümüzde

istenilen dalga boylarında ayarlanabilir olmasında dolayı tıbbi alanlarda bile mavi LED ışıklarında yararlanılıyor. Örneğin mavi LED ışıkları akneye meyilli ciltlere maruz bırakılarak cildin yağ üretimini dengeler ve anti bakteriyel etki gösterir (LED tedavisi).

### 3.3.2. Beyaz LED'ler

Birincil renklerin kırmızı, mavi ve yeşil renkli üç LED yongasını (çipini) aynı kılıf içinde çalıştırarak renklerin birleşiminden beyaz ışık üretilmektedir. Bunun yanında mavi LED yongasından (çipinden) çıkan ışığın bir fosfor tabakasını uyararak beyaz ışık yayılması elde edilmektedir.

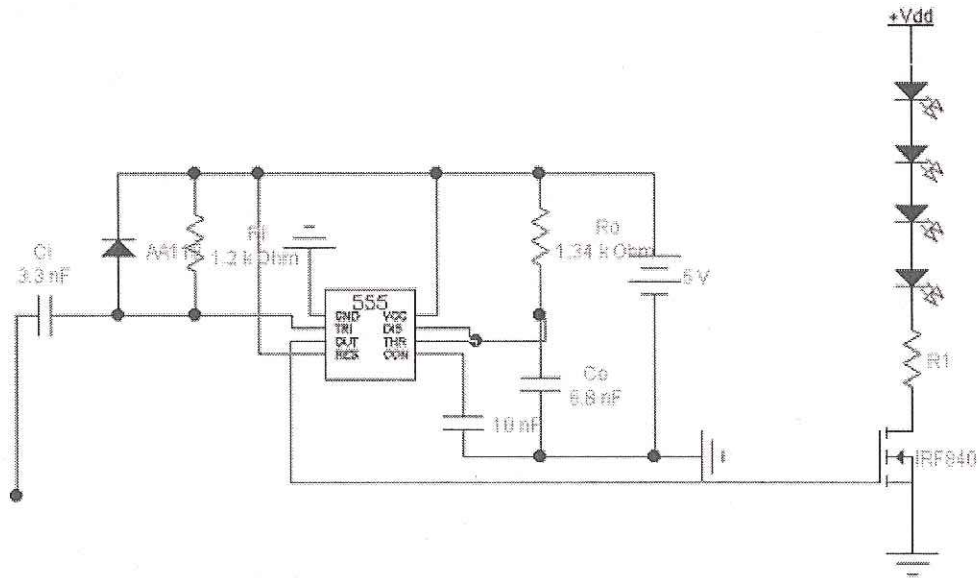
Ülkemizde Bilkent Üniversitesi'nde Nano teknoloji Araştırma Merkezi'nde nano kristallerin boyutlarını değiştirerek beyaz ışık tonunun ve kalitesinin değiştirmesi sağlanmıştır. Çok renkli beyaz LED'lerin çeşitli türleri vardır: İkili, üçlü ve dörtlü-kromatik beyaz LED'ler. Bu çeşitliliğe renk kararlılığı, renk verme kapasitesi ve aydınlık etkisi neden olmaktadır. Çoğu zaman yüksek aydınlık etkisi düşük renk kararlılığına neden olmaktadır. Örneğin ikili-kromatik beyaz LED2ler en iyi parlaklığa sahip olmakla beraber renk (color-rendering) verme etkisi çok düşüktür.

### 3.3.3. Fosforlu LED'ler

Bu LED'ler bir renkten oluşan tabakadan oluşmasına karşın (genellikle mavi renkli) fosforun değişik renklerinden dolayı beyaz ışığı şekillendirirler. LED'in orijinal renginden dolayı fosforun değişik renkleri ortaya çıkar. Bunun yanında renk tabakası çeşitliliğinin artması LED'in renk verme etkisini artırır. Yapısından ve fosfor kaplamalarının sayısına bağlı olarak ısı kayıpları yaşandığından dolayı normal LED'lere göre düşük verimlidirler. Buna rağmen fosfor metodu hala beyaz LED'lerde yüksek şiddet elde etmek için kullanılır. Tek renkli-yayıcı (emitter) fosfor çevirici kullanılarak yapılan ışık kaynağı tasarımı veya üretimi karmaşık kırmızı-yeşil-mavi (RGB) sistemlere göre daha basit ve ucuzdur. Piyasadaki beyaz LED'lerin çoğunluğu fosfor ışık çevirici kullanılarak yapılmaktadır.

### 3.4. LED Sürücü Devreleri

LED'ler devrelerde kullanılırken üzerlerinden geçen akımı sınırlamak gerekir. Aksi takdirde LED üzerinden geçen fazla akıma dayanamayıp bozulacaktır. Ayrıca LED'lerin düşük gerilimde çalışmaları LED'lerin ömrünü uzatacaktır. En basit LED sürücüsü LED'e seri bağlı bir dirençle yapılabilir. Sıcaklığın olumsuz etkisi, iyi tasarlanmamış devrelerde kendini gösterir. LED sürücü devreleri LED'in ilk açılışındaki demeraj akımlarını da azaltarak LED'lerin zarar görmesini de engeller [39].



Şekil 3.3. LED sürücü devresi [39]

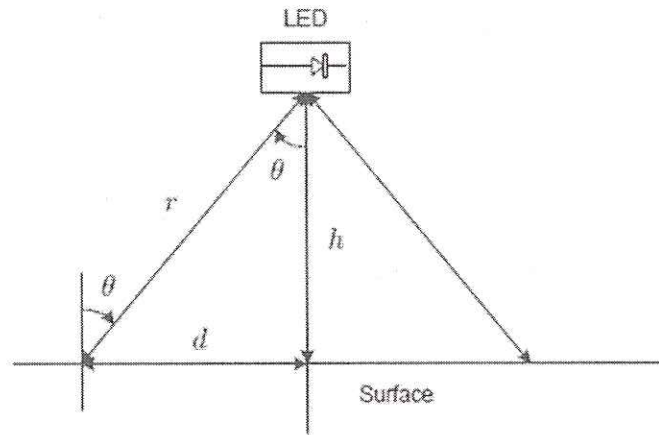
Yukarıdaki şekilde incelenen LED sürücü devresi gösterilmiştir [39]. Devreye enerji verildiğinde LED'lerden akım geçer. Zaman geçtikçe LED'ler ısınmaya başlar (iç direnç yükselir) ve LED'lerin ileri yön gerilimi düşer. Bu durumda "Ohm Yasası" gereğince devreden geçen akım artar. Akımın artışı LED'in daha çok ısınmasına neden olur ve önlem alınmazsa, LED bir süre sonra bozulabilir. Bu durumu önlemek için "akım kaynağı" olarak bilinen sürücü devrelere başvurulur. LED'lerin gövde sıcaklığı yükselse bile akım değişmez. Böylece LED'in sıcaklıktan olumsuz etkilenmesi önlenmiş olur. Bu devrenin olumsuz yanı devredeki gerilim regülâtörü entegresinin aşırı ısınmasıdır. Giriş geriliminin 2V olması durumunda regülâtörde harcanan güç 4

W olur. Bu da devrenin veriminin çok düşük olduğunu gösterir. LED'lerin beslemelerinde iki farklı güç kaynağı tipi kullanılmaktadır. LED'lerin, akım sınırlamalı, gerilim sınırlamalı, yükseltici, buck ve buck-boost gibi farklı alanlarda ve amaçlarda kullanılmak üzere farklı çeşitleri bulunmaktadır.

### 3.5. LED'lerin Matematiksel Modeli

#### 3.5.1. Genelleştirilmiş Lambert modeli

LED'lerde en yaygın kullanılan matematiksel model, genelleştirilmiş Lambert modelidir. Bu modeli incelerken, tek bir LED'in yüzeyden uzaklığının oluşturduğu aydınlatma etkileri dikkate alınmalıdır. İncelenen bu model, çok sayıdaki LED'lerin aydınlatması çalışmaları gibi analitik çalışmalar için kolaylık sağlayacaktır [40].



Şekil 3.4. LED ve aydınlatılan düz zemin arasındaki geometri [40]

Şekil 3.4.'de LED ve aydınlatılan düz zemin arasındaki geometri resmedilmiştir [40]. Aydınlatılan yer ve LED arasındaki mesafe  $r$ ,  $r$ 'nin düz zemin üzerindeki projeksiyon mesafesi  $d$ , LED ile yüzey arasındaki dikey mesafe ise  $h$  ile adlandırılmıştır. Kutup açısı  $\theta$ , yani ışığın yere geliş açısı  $\theta$ 'dır.

Genelleştirilmiş Lambert modelini yazacak olursak [40];

$$f(\theta) = \frac{\mu+1}{2\pi} f_0 \cos^\mu(\theta) \quad (3.1)$$

Burada  $f_0$  LED'in toplam ışık akısı,  $\mu$  ise Lambert mod sayısıdır,  $\mu > 0$  için. Mod sayısı ışık ışınının yönlendirilmesini bir ölçüsüdür ve yarı güçte ışık ışınının yarı açısı ile ilgilidir [40].

$$\Phi_{1/2}, \mu = -\ln(2) / \ln(\cos(\Phi_{1/2})) \quad (3.2)$$

Denklemdaki  $f(\theta)$ 'nin değerini,  $d$ 'nin bir fonksiyonu olarak, düz bir zeminden uzaklık  $h$  ise, birim alan başına ışık akısı olarak açıklayabiliriz. Aydınlık yayılımı ise  $f_L(d; h)$  ile gösterilir [40].

$$\begin{aligned} f_L(d; h) &= \frac{\mu+1}{2\pi} f_0 \cos^\mu(\theta) \frac{\cos(\theta)}{r^2} = \frac{\mu+1}{2\pi} f_0 \frac{h^{\mu+1}}{(d^2+h^2)^{\frac{\mu+3}{2}}} \\ &= \frac{(\mu+1)f_0}{2\pi h^2} \left(1 + \frac{d^2}{h^2}\right)^{\frac{-\mu+3}{2}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

### 3.5.2. Gauss yaklaşımı

Çoklu LED'lerin aydınlatma etkileri için analitik kolaylıklar sağlayacak, yaklaşık bir  $f_L(d; h)$  modeli kullanılabilir. Örneğin iki boyutlu R fourier dönüşümü [40]

$$F_L(u, v; h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_L(x; y; h) \exp(-j2\pi(ux + vy)) dx dy \quad (3.4)$$

Analitik formu [40];

$$F_L(u, v; h) = \left\{ \frac{(-2)^{\mu/2} f_0 h^{\mu+1}}{(\mu-1)!} \left(\frac{\partial}{\partial \xi}\right)^{\mu/2} \left[ \frac{1}{\sqrt{\xi}} \exp(-2\pi \sqrt{\xi} \sqrt{u^2 + v^2}) \right] \right\} \quad (3.5)$$

$$F_L(u,v;h) = \begin{cases} \frac{(-2)^{\mu/2} f_0 h^{\mu+1}}{(\mu-1)!} \left( \frac{\partial}{\partial \xi} \right)^{\mu/2} \left[ \frac{1}{\sqrt{\xi}} \exp(-2\pi \sqrt{\xi v^2 + v^2}) \right] \\ \\ \frac{(-2)^{\frac{\mu+1}{2}} f_0 h^{\mu+1}}{(\mu-1)!} \left( \frac{\partial}{\partial \xi} \right)^{\frac{\mu+1}{2}} \left[ K_0(2\pi \sqrt{\xi v^2 + v^2}) \right] \end{cases} \quad (3.6)$$

### 3.6. LED'in Isıl Yapısı

LED'e uygulanan elektriksel güç jonksiyonda ısı ve optik güç olarak ortaya çıkar. LED'in verimi düşüktür ve LED'e uygulanan elektriksel gücün ancak % 1 - % 5 kadarı optik güce (Bhattacharya,1997), geriye kalan büyük bölümü ise ısıya dönüşür. Şekil 1.4'de bir GaAs LED'in (CQY11C) jonksiyondan kılıfa kadar olan ısıl empedansının LED'e uygulanmış olan darbeli gücün darbe süresine göre değişimi verilmiştir. Burada darbe süresinin periyoda oranları (td /T) parametre alınmıştır ve 1, 0.5, 0.2 ve 0.1 parametre değerleri için dört farklı değişim gösterilmiştir. En üstteki (td/T)=1 doğrusu, LED'e zamanla değişmeyen bir DC gücün uygulanması durumunda görülen ısıl dirence karşılık gelmektedir. Bu ısıl direnç ısıl empedansın alabileceği maksimum değerdir (söz konusu LED için jonksiyondan kılıfa kadar olan bu ısıl direncin değeri 0.22 oC/mW'tır). Uygulanan gücün doğrusal değil de darbeli olması durumunda LED'in gösterdiği ısıl empedans td ve (td /T) oranı küçüldükçe azalmaktadır. Yani uygulanan güç sabit tutularak (td /T) oranı küçüldükçe LED daha az ısınacaktır. Ya da diğer bir deyişle (td /T) oranı küçüldükçe LED'e daha fazla güç uygulanabilecektir. LED'in verdiği ışığın şiddeti uygulanan elektriksel güç ile artmakta fakat jonksiyon sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Bu durumda ışık şiddetini fazla arttırmak ancak darbeli çalışmada mümkün olmaktadır [41].

LED'e uygulanan güç t = 0'da başlayıp t = t2'de biten dikdörtgen biçiminde bir darbe ise (u(t) birim basamak fonksiyonu olmak üzere bu güç darbesi [41],



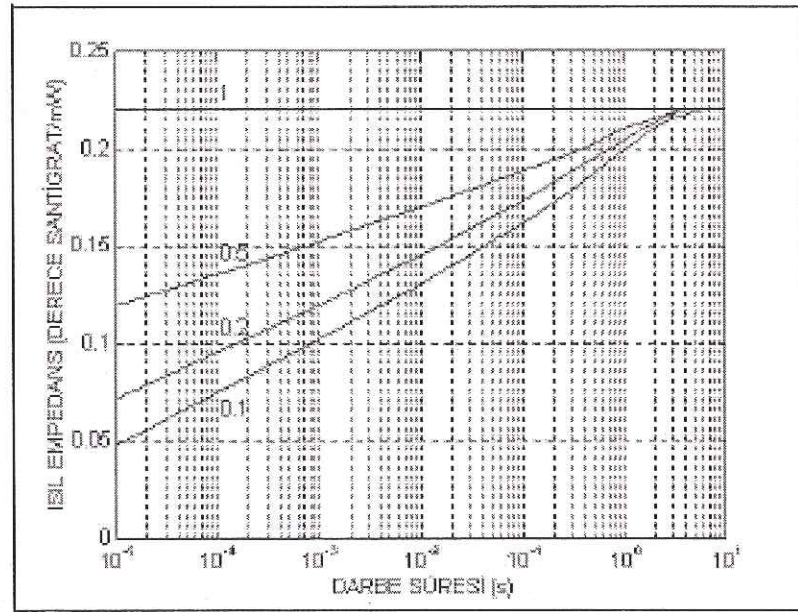
$$P(t) = Pd [u(t)-u(t-t_2)] \quad (3.7)$$

olarak ifade edilebilir. Jonksiyon sıcaklığı [41],

$$T_j(t)=Pd[Z(t)-Z(t-t_2)]+T_a \quad (3.8)$$

olur [41].

LED'e uygulanan ve hemen hemen tamamı ısıya döñüşen (optik güç ihmal) güç darbesinin genliği,  $T_a$  ise çevre sıcaklığını göstermektedir.  $Z(t)$  jonksiyondan çevreye kadar olan ısı empedanstır ve jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı empedandan kılıftan çevreye kadar olan ısı empedans kadar daha büyüktür (söz konusu LED için jonksiyondan çevreye kadar olan bu ısı empedansın en büyük değeri jonksiyondan çevreye kadar olan ısı dirence eşittir ve değeri 0.6 oC/mW'tır). Isıl empedansta yer alan  $t_2$  süresi genellikle güç darbesinin darbe süresi  $t_d$ 'ye eşit olmaktadır. Ancak darbe süresi içerisinde bu süreden küçük herhangi bir anda ( $t_x$ ) jonksiyonun ulaştığı sıcaklığı bulmak mümkündür. Bunun için yukarıdaki ifadeye  $t_2 = t_x$  yapmak gerekmektedir [41].



Şekil 3.5. Bir GaAs LED'in (CQY11C) jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı empedansının LED'e uygulanmış olan darbeli gücün darbe süresine göre değışimi (Philips Semiconductors Data Book)

Yukarıdaki şekilde bir GaAs LED'in ısı empedansı ile LED'e uygulanan darbeli güç arasındaki değişim gösterilmiştir [41].

### 3.7. LED ve Harmonik İlişkisi

#### 3.7.1. Elektrik güç sistemlerinde harmonikler

Elektrik sistemlerinde enerjinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtımı sırasında, akım ve gerilimin 50 Hz frekansta salınan ve sinüs eğrisine çok benzer bir biçimde olması istenir. Bu koşul, elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Ancak işletmedeki cihazların lineer olmayan elemanlarından gelen etkilerden dolayı akım ve gerilim, sinüs formundan uzaklaşır. Bu anlamda harmonik; Güç sistemlerinde akım ve/veya gerilimin dalga şeklinde meydana gelen periyodik sürekli hal bozulmaları olarak tanımlanabilir. Harmonikler, enerji kalitesini bozan en büyük etkenlerden birisidir. Doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonik bileşenleri, sistemde harmonik gerilimlerin oluşmasına neden olur. Böylece, kendileri harmonik üretmeyen elemanlar da harmonik kirlenmeye maruz kalabilirler [42],[43].

Sinüzoidal olmayan dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüzoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüzoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüzoidal dalgalara "harmonik bileşen" adı verilir.

Güç sistemindeki sinüzoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7., 11. gibi tek harmonik bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler bulunmaz.

Harmonikler, genel olarak nonlineer elemanlar ile nonsinüzoidal kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin sistemde bulunmasından meydana gelirler. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması sinüzoidal dalganın bozulması anlamına gelir [44].

### 3.7.2. Akım harmonikleri ile gerilim harmonikleri arasındaki ilişki

Harmonikler akım harmonikleri olarak oluşur ve olumsuzlukların çoğu da bu akımların etkisi ile ortaya çıkmaktadır; bu nedenle, enerji tesislerinde harmonikler söz konusu olduğunda akım harmonikleri anlaşılmalıdır. Harmonik içeren bir akım, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akarsa, gerilimde harmonik bileşenler içermeye başlar. Bu, dolaylı bir etkidir. Akım harmoniklerinin doğrudan etkisi, akım yolundaki elemanlarda ek ısınma ve kayıplara yol açmasıdır. Sistemin herhangi bir yerinde oluşan harmonik akımlarının her zaman sorunlara neden olacağı söylenemez. Güç sistemi herhangi bir sorun oluşturmadan önemli miktarda harmonik akımı taşıyabilir. Bir sorunun ortaya çıkması için harmonikli akımın yüksek bir empedans yolunda veya iletişim devrelerinde akması gerekir.

Güç sisteminde gerilim, harmonik bileşenler içerdiğinde bundan tüm yükler etkilenir. Harmonik içeren bir akım ise sadece harmonik akımı üreten bir yüke etki edebilir. Gerilimdeki harmoniklerin nedeni sistem empedansında akan harmonikli bir akım olduğundan, gerilim harmoniklerini önlemenin yolu, harmonik akımlarının akışını kontrol ederek gerilim harmoniklerine neden olabilecekleri yerlerden uzak tutmaktır [45].

### 3.7.3. Harmonik hesabı

Periyodik olan fonksiyonların Fourier serisi açılımları ve bu açılım için kullanılan katsayıların hesabı şu şekildedir.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cdot \cos(nwt) + b_n \sin(nwt)] \quad (3.9)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(wt) \cdot dwt \quad (3.10)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(wt) \cdot \cos(nwt) \cdot dwt \quad (3.11)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \cdot \sin(n\omega t) \cdot d\omega t \quad (3.12)$$

u periyodik fonksiyonun çift ya da tek olmasına göre sırası ile sadece  $a_n$  ya da  $b_n$  katsayılarının, fonksiyonda çeyrek dalga simetrisi varsa sadece tek dereceli katsayıların olduğu ve diğer bütün harmonik katsayılarının sıfır olduğu unutulmamalıdır.

akım harmoniği hesabı için gerekli formüller ise [45];

$$I = I_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t)) \quad (3.13)$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_1(t) d\omega t = 0 \quad I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_1(t) d\omega t = 0 \quad (3.14)$$

Fourier serisinin  $A_n$  bileşeni [45];

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_1(t) \cos(n\omega t) d\omega t \quad (3.15)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_1(t) \cos(n\omega t) d\omega t$$

$B_n$  bileşeni [45];

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_1(t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad (3.16)$$

#### 3.7.4. LED'lerin harmonik etkileri

Her türden aydınlatma aygıtları birer harmonik kaynağıdır. Günümüzde LED ışık kaynağı yaygın kullanılmaya başlandığından şebekeye olan harmonik etkileri de incelenmeye başlanmıştır. Yapılan bazı araştırmalarda farklı aydınlatma aygıtlarının her birinin şebekeye etkileri incelenmiş bir diğer araştırmada da farklı LED üretici

firmalarının ürünleri incelenmiş her birinin etkilerinin farklı düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

Ülkemizdeki önemli çalışmalardan biri olan E. Göçmen ve Ş. Özdemir'in yapmış olduğu çalışmada farklı aydınlatma kaynaklarının şebekedeki harmonik etkileri araştırılmıştır [46].

Bu çalışmada ilk olarak 60W'lık akkor flamanlı lambanın çalışması incelenmiş, akımdaki toplam harmonik bozulmayı %1,2 olarak belirlemişlerdir.

Akkor flamanlı lambalı aydınlatma aygıtının devreden çıkartılıp 18W kompakt flüoresan lambalı aydınlatma aygıtı devreye alındığında, akımdaki THD miktarı % 111,8'dir.

Kompakt flüoresan lamba aydınlatma aygıtının devreden çıkartılıp LED lamba aydınlatma aygıtının devreye alındığında, akımdaki THD miktarını %159 olarak ölçmüşlerdir.

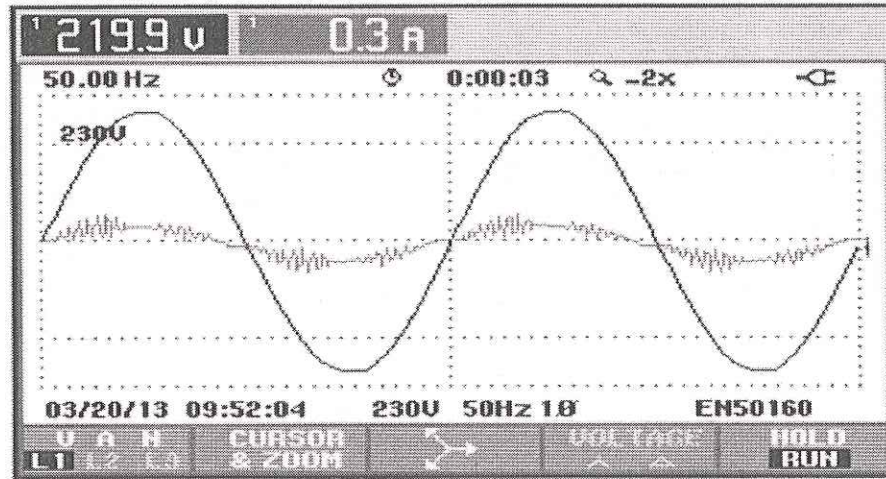
HARMONICS TABLE		
Amp	L1	N
THD%f	159.0	53.1
H3%f	93.0	9.9
H5%f	80.4	8.6
H7%f	64.4	9.5
H9%f	47.8	8.6
H11%f	33.8	8.9
H13%f	24.4	8.0
H15%f	19.8	7.8
03/20/13 09:49:31 230V 50Hz 1Ø EN50160		
U	W	BACK TREND HOLD RUN

Şekil 3.6. 11W LED aydınlatma aygıtının şebeke akım harmonik dağılımı [46]

Yukarıda ki şekilde LED'in şebeke akım harmonik dağılımı gösterilmiştir [46]. LED aydınlatma aygıtının devreden çıkartılıp 18W endüktif balastlı flüoresan lambalı aydınlatma aygıtı devreye alındığında (Şekil 3.6.)'daki ölçüm sonuçlarını elde

etmişlerdir. Akımdaki THD miktarı %9,6 olarak ölçülmüştür. Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi akım ve gerilim arasındaki faz farkı büyüktür.

Endüktif balastlı flüoresan lambalı aydınlatmanın devreden çıkartılıp 18W elektronik balastlı aydınlatma devreye alındığında, akımdaki THD miktarını %7,8 olarak ölçmüşlerdir.



Şekil 3.7. 18W Elektronik balastlı flüoresan lamba aydınlatma aygıtının akım-gerilim dalga şekli [46]

Tablo 3.1. Aydınlatma aygıtlarının güç kalitesi sonuçları [46]

Lamba tipi	Güç (W)	PF	Cos $\theta$	THD(%)
Akkor flamanlı lamba	60	1,00	1,00	1,2
Kompakt flüoresan lamba	18	0,59	0,92	111,8
LED lamba	11	0,51	0,98	159
Endüktif balastlı flüoresan lamba	18	0,35	0,35	9,6
Elektronik balastlı flüoresan lamba	18	0,91	0,97	7,8
Tüm lambalar devrede	125	0,83	0,85	18,8

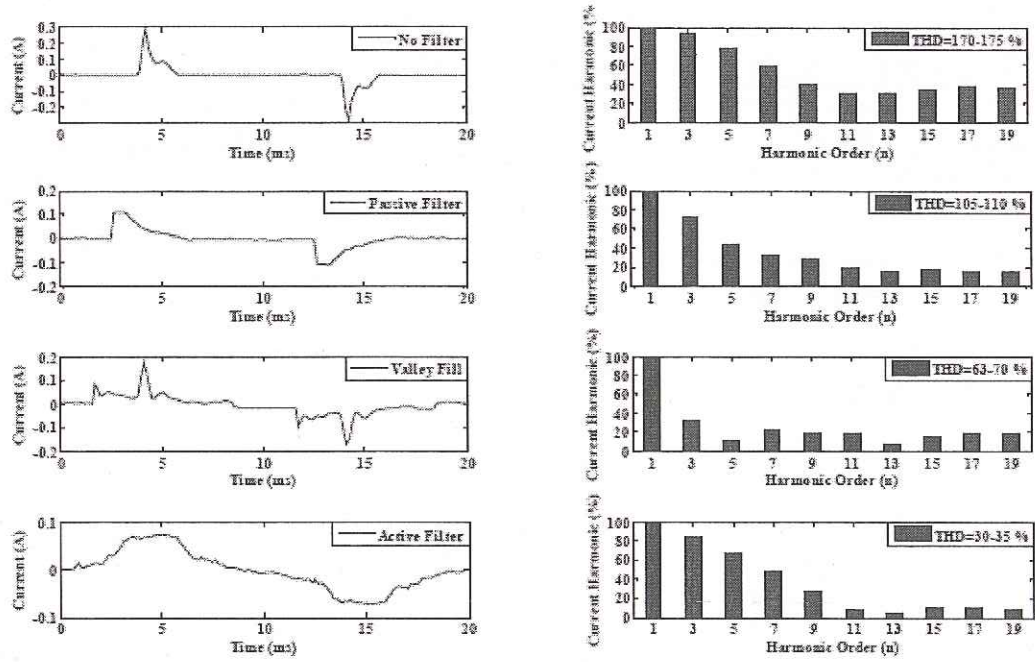
Yukarıda verilen tabloda farklı tip aydınlatma aygıtlarının güç kalitesi sonuçları gösterilmiştir [46]. Enerji verimliliği açısından önerilen kompakt flüoresan lamba ve LED lamba tek başına çalıştırıldıklarında harmonikleri diğer aydınlatma aygıtlarına

göre oldukça yüksektir. Buna karşın, kompakt floresan lambanın  $\text{Cos}\phi$  değeri 0.92 ve LED lambanın 0.98 iken endüktif balastlı floresan lambanın  $\text{Cos}\phi$  değeri 0.35 gibi çok küçük bir değerdedir. Tüm lambalar devrede iken toplam harmonik bozulma değeri %18.8 ve  $\text{Cos}\phi$  değeri 0.85 olarak ölçülmüştür [46].

Yapılan bir diğer çalışmada S. Uddin ve arkadaşları, farklı LED üretici firmaların ürünlerinin harmonik etkileri incelemiştir.

Yapılan testlerin amacı, LED balast devrelerinde kullanılan harmonik filtrelerin tiplerini ve bütün testleri yapılan lambaların harmonik emisyonlarını incelemektir. Testlerde, aynı markalı farklı güç değerli lambaların ve farklı markalı aynı aktif güç değerine sahip lambaların harmonik seviyeleri incelenmiştir [19].

Aşağıda verilen (Şekil 3.8.)'de , testleri yapılan farklı lambaların tipik akım dalga formları gösterilmiştir. Akım dalga formları sinüsoidal değildir. Bunun anlamı güç sistemine harmonik enjekte edilmiş olmasıdır. Buna ilaveten farklı marka LED lambalarda farklı filtre metodları uygulanmıştır. Örneğin Philips marka LED lambaların çoğunda valley-filled devresi, Toshiba 5.5W lambada pasif filtre, osram 8W örneğinde aktif filtre kullanılmış ve bazı testi yapılan lambalarda hiç filtre tekniği kullanılmamıştır.



Şekil 3.8. Farklı marka LED lambaların akım dalga formları [19]

Yukarıdaki tabloda ilgili çalışmada aynı marka ve aynı güç değerindeki lambaların sayıları arttığında harmonik değerlerinde ne gibi değişiklikler olduğu araştırılmıştır [19]. Tek lamba kullanımında 174.38 olan THD değerlerinin, 3 lambaya çıktığında 172.85'e düştüğü gözlemlenmiştir. İki farklı marka için aynı test yapılmıştır. Farklı güç değerlerindeki X marka lambanın kombinasyonundaki THD değerleri %64.3'den %63.7'ye çıktığı gözlemlenmiştir.

### 3.7.8. LED aydınlatmalardaki standartlar

Tek faz yükler için (600 V ve 40 A kadar) IEEE tarafından akım harmoniği ve THD değerleri belirlenmiştir.

Aydınlatma yükleri ve motor sürücülerinin akım thd limitleri %15, ve tüm flüoresan aydınlatma sistemlerinin akım THD limitleri %30 olmalıdır.

Avrupa Birliği'nde geçerli olan TS EN 61000-3-2 standardı, üreticilerin ürünlerindeki harmonik akım tüketimine sınırlama getiren yaklaşımı benimsemiştir. Bu standart, faz başına akımı 16A'den küçük tek fazlı veya üç fazlı bütün yükleri kapsamaktadır. Standart, elektriksel yükleri Tablo3.2.'de gösterildiği gibi sınıflandırmaktadır. Her bir



sınıftaki donanım için geçerli olan harmonik akım sınırları, (Tablo3.2.) ve (Tablo 3.3.) 'de gösterilmiştir [48]. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bu sınırların her bir harmonik derecesi için ayrı ayrı verilmiş olmasıdır.

Tablo 3.2. TS EN 6100-3-2 yük sınıfları [48]

TS EN 6100-3-2- Harmonik İçeren Yüklerin Sınıfları	
A sınıfı	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dengelenmiş üç fazlı donanım</li> <li>• D sınıfında belirlenmiş donanımların dışındaki ev aletleri</li> <li>• Taşınabilir aletlerin dışındaki aletler</li> <li>• Ses donanımı</li> </ul>	
diğer üç sınıfın herhangi birinde tanımlanmayan donanım A sınıfı olarak düşünölmelidir.	
B sınıfı	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taşınabilir aletler</li> </ul> mesleki olmayan ark kaynak donanımı	
C sınıfı	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aydınlatma sınıfı</li> </ul>	
D sınıfı	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kişisel bilgisayarlar ve kişisel bilgisayar monitörleri</li> <li>• Televizyon alıcıları</li> </ul>	

Tablo 3.3. A sınıfı donanım için harmonik sınır değerler [48]

Harmonik derecesi (n)	İzin verilen maksimum harmonik akımı (A)
Tek harmonikler	
3	2,3
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$2,25/n$
Çift harmonikler	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$1,84/n$

Tablo 3.4. C sınıfı donanım için harmonik sınır değerleri [48]

Harmonik dercesi (n)	Temel frekanstaki giriş akımının yüzdesi olarak ifade edilen izin verilen maksimum harmonik akımı (%)
2	2
3	30×devrenin güç faktörü
5	10
7	7
9	5
11≤n≤39 (yalnız tek harmonikler)	3

Yukarıda verilen tablolarda farklı sınıf yüklerin harmonik sınır değerleri gösterilmiştir [48].

TEDAŞ'ın LED ışık kaynaklı yol aydınlatması için yayınlamış olduğu, standartlar aşağıda belirtilmiştir;

LED'li armatürlerde LED modülleri çalıştırmak için sabit akım sürücülerini kullanılacaktır. Sürücü akımı 700 mA'den büyük olmayacaktır. Sürücülerin güç faktörü ( $\cos\phi$ )  $\geq 0,95$  olacaktır.

LED'li armatürlerde kullanılan sürücülerin verimliliği; armatür anma gücü  $\geq 70$  W ise %95, armatür anma gücü  $< 70$  W ise %92 olacaktır.

LED'li armatür sürücülerinin toplam harmonik distorsiyonu (THD) %10'dan fazla olmayacaktır [49].

## BÖLÜM 4. TEST VE DENEY ODALARI, TEÇHİZATLAR, ÖLÇÜM SONUÇLARI

### 4.1. Deney Odaları

Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü tarafından bu çalışma ve deney için 3 adet test ve deney odası atanmış olup ayrıca Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Aydınlatma laboratuvarı da tez kapsamında sadece flüoresan lamba veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Odalar 4 katlı Mühendislik Fakültesi binasının, M-6, 3. katında bulunmaktadır. Odaların tam koordinatları, 40° 74' kuzey enlemi ve 30 ° 33' doğu boylamıdır. Odaların yüzey alanı 24 m<sup>2</sup>'dir ve odaların her birinin kuzey batısında 1 adet pencere bulunmaktadır. Pencereye gümüşüğünden kaynaklanan parıltıları engellemek için ince bir film tabakası uygulamıştır. Bu sebeple pencerelerden %100 direk gün ışığı gelmemektedir. Pencerelerin ışık geçirgenliği %67 olarak ölçülmüştür. Kuzey batı yönündeki pencere ebatları 1,5m \* 1,2m ve toplam alanı 1,8 m<sup>2</sup>'dir. IEA rapor 21 bölümüne göre efektif pencere yüzeyi 1,2 m<sup>2</sup>; benzer olarak, efektif pencere yüksekliği 1,5 m'dir [50]. Aydınlatma Laboratuvarı ise 40° 74' Kuzey enlemi ve 30 ° 33' Doğu boylamı koordinatlarında, M-4 Mühendislik Fakültesi binasının zemin katında bulunmaktadır. Batı - kuzeybatı yönüne bakmakta olan odanın asıl tavan yüksekliği 3,80 m olmasına karşın odada asma tavan kuruludur ve mevcut tavan yüksekliği 2,85 m'dir. Odanın pencere boyutları 2,45 m x 1,75 m'dir ve toplam pencere alanı 4,29 m<sup>2</sup>'dir.

Tez çalışmasının en önemli test ve deney odası olan test ve deney odası 3'ün (TR3) eski yapay aydınlatma sistemi (6 adet 4\*18 flüoresan lamba, çift parabolik ayna panjurlu), 1\*41W orta sınıf LED panelleriyle (6 adet 60cm\*60cm LED paneli) donatılmış LED sistemiyle değiştirilmiştir. Test odası 1'deki (TR1) eski sistemin balastları, elektronik loşlaştırıcı DALI balastlarla değiştirilmiştir. Her iki odanın da sistemi loşlaştırma özelliğindedir. TR3'te Philips'in DALI özellikli LED sürücüleri (92%

eff,  $pf=0,95$ ) ve TR1’de OSRAM DALI RC BASIC aydınlatma otomasyon sistemi kullanılmıştır. TR2 bir hibrit oda olarak tasarlanmış 3 flüoresan lambalı armatürün konvansiyonel balastları DALI balast ile değiştirilirken, 3 armatür TR3’de de kullanılan DALI balastlı LED armatürler ile değiştirilmiştir. TR2 ve TR1’de kullanılan flüoresan armatürler 4x18W’lık armatürlerdir. TR3’de yapay aydınlatma sistemi ile %100 lük kullanımda 510 lux, TR1’deki sistem ile 275 lux ve TR2’deki hibrit sistemle 400 lux bir aydınlık düzeyi sağlanmıştır. Test Odası 4 ise (TR4) 8 adet 2x58W’lık flüoresan armatürle donatılmış olup DALI RC BASIC aydınlatma otomasyon sistemi ile kontrol edilmektedir.



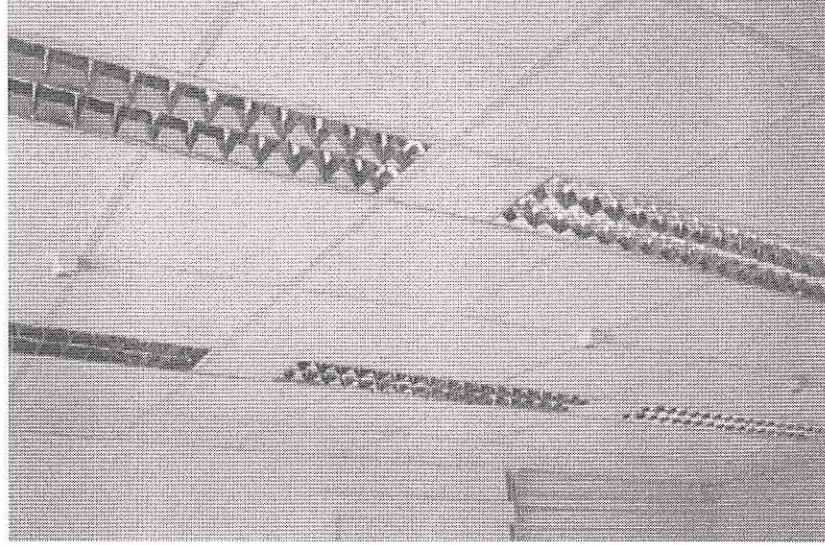
Şekil 4.1. Test ve Deney odası 1 (Flüoresan)



Şekil 4.2. Test ve Deneş odası 2 (Hibrit)



Şekil 4.3. Test ve Deneş Odası 3 (LED)



Şekil 4.4. Test odası 4 (Flüoresan)

#### 4.2. Flüoresan ve LED Işık Kaynaklı odaların Loşlaştırma Sonuçları

Gerilim, lamba akımları, aktif-reaktif güçler, toplam harmonik bozunum (THD, THD<sub>n</sub>) ve güç faktörü gibi elektriksel parametreler, saniyelik, 10 saniyelik, 15 saniyelik, 30 saniyelik, 1 dakikalık ve 5 dakikalık periyotlarda ayrı ayrı defalarca kez, sistemlerin girişine bağlanmış olan bir elektrik enerji analizörü (Janitza UMG 503) ile ölçülmüştür.

Deney odalarında gerçekleştirilen deneyler boyunca Aydınlatma Laboratuvarı'nda mevcut bulunan 2 adet Janitza UMG 503 enerji analizörü değişimli olarak kullanılmıştır. TR1 ve TR3'de gerçekleştirilen deneylerde, 2 analizör aydınlatma sistemlerinin girişine 30/5'lik akım trafoları üzerinden bağlanması ile veri toplama gerçekleştirilmiştir.

TR2 ve TR3'te loşlaştırma el ile sistem uzaktan kumandası, manuel anahtar ve armatür tedarikçisi Arlight firmasının tedarik ettiği yazılım ile gerçekleştirilirken, TR1 ve TR4'te DALI RC BASIC üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Toplam enerji tüketimi %100'lük bir işletimde TR3 için 250.2Wh, TR1 için 444 Wh, TR2 için 346 Wh, TR4 için 1030 Wh olarak ölçülmüştür. Her dört aydınlatma sisteminde 5 farklı loşlaştırma seviyesi uygulanmıştır.

Tablo 4.1. Aydınlatma Sisteminde Loşlaştırma Seviyeleri

Seviye Adı	Loşlaştırma seviyesi (%)	Armatürlerin Çalışma Seviyesi (%)
DL1	0	100
DL2	25	75
DL3	50	50
DL4	75	25
DL5	95	5

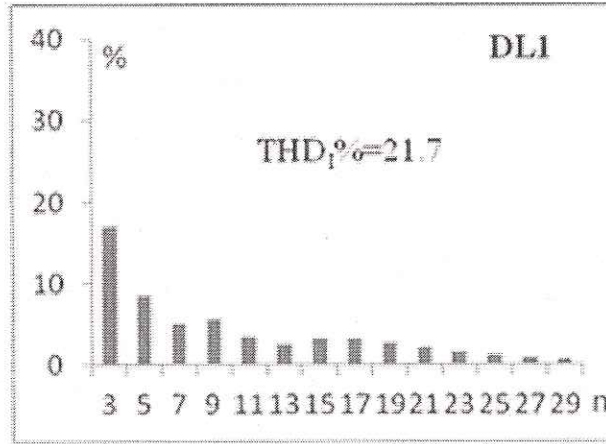
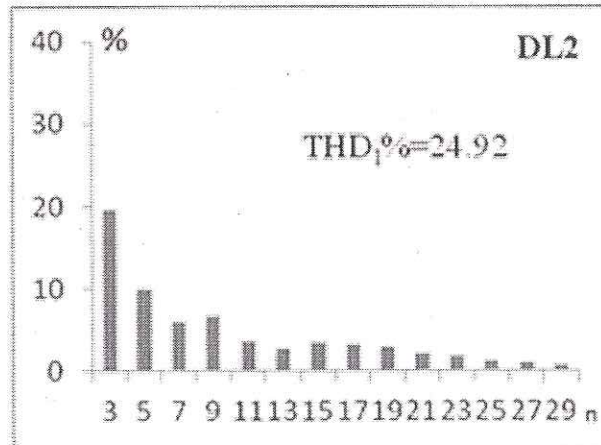
Yukarıda verilen tabloda farklı loşlaştırma seviyeleri gösterilmiştir. Test planlamasında TR1 ve TR3 ana ölçüm odaları olarak planlanmışken TR2 ve TR4 kontrol odaları olarak saptanmıştır. TR2 hibrit oda olarak harmonik seviyesinin TR1 ve TR3 değerlerinin arasında kalıp kalmayacağını kontrol amaçlı, TR 4 ise farklı güçteki flüoresan lambalı armatürlerin harmonik değerlerinin TR1'deki değerlerle uyuşup uyuşmayacağını kontrol amaçlı kullanılmıştır.

Test süresince enerji analizörü UMG 503 ile ölçümler kaydedilmiştir. Bu ölçümler kullanılarak her odanın  $THD_1$  ve güç faktörü değerleri ölçülmüş ve hesaplanmıştır (Şekil 3.5-9) Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi LED panellerin enerji kalitesi sonuçları flüoresan aydınlatmanın sonuçlarından çok daha iyi çıkmıştır. Özellikle  $THD_1$  değerleri oldukça tatminkârdır.

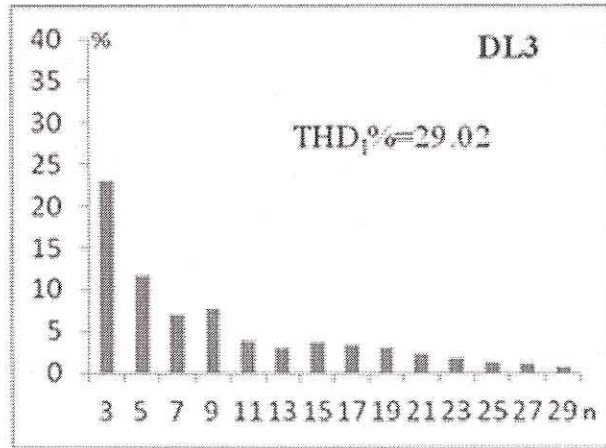
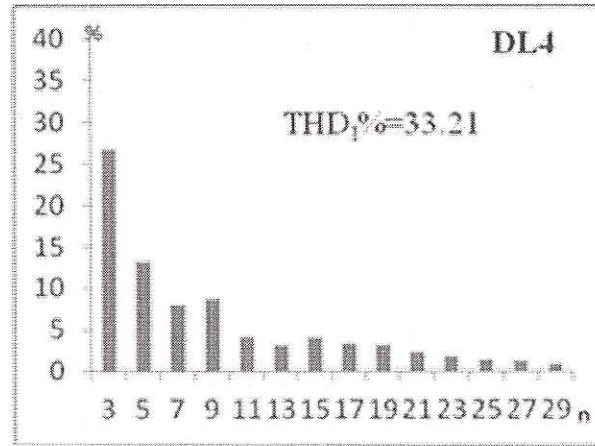
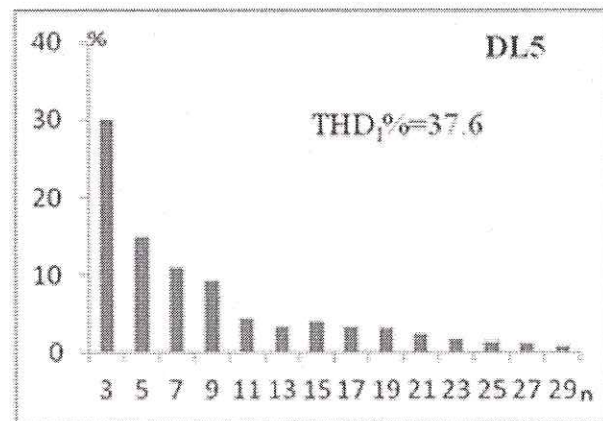
Tablo 4.2. Test Sonuçları

Seviye Adı	Loşlaştırma Seviyeleri (%)	Aydınlık seviyeleri (%)	TR3 LED THD <sub>1</sub> (%)	TR3 LED PF	TR1 FL THD <sub>1</sub> (%)	TR1 FL PF
DL1	0	100	21.7	0.94	24.6	0.98
DL2	25	75	24.92	0.89	30.99	0.91
DL3	50	50	29.02	0.84	36.35	0.83
DL4	75	25	33.21	0.79	42.73	0.77
DL5	95	5	37.60	0.75	49.05	0.68

Yukarıdaki Tablo 4.2.'de farklı loşlaştırma seviyelerinde ölçülen THD değerlerine yer verilmiştir.

Şekil 4.5. TR3-DL1 senaryo THD<sub>1</sub>% sonuçlarıŞekil 4.6. TR3-DL2 senaryo THD<sub>1</sub>% sonuçları



Şekil 4.7. TR3-DL3 senaryo THD<sub>1</sub>% sonuçlarıŞekil 4.8. TR3-DL4 senaryo THD<sub>1</sub>% sonuçlarıŞekil 4.9. TR3-DL5 senaryo THD<sub>1</sub>% sonuçları

Yukarıdaki şekillerde farklı loşlaştırma seviyelerinde değişen THD değerlerinin grafiksel görünümü gösterilmiştir.

Harmonik ölçümleri direk olarak Janitza UMG 503 cihazından çekilmiş olup kayıt altına alınan elektriksel parametrelerle THD<sub>1</sub> ve PF hem 3. Bölüm 'de verilen hem de aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir.

$$THD(\%) = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad [45] \quad (4.1)$$

$$PF = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad [45] \quad (4.2)$$

TR1'de harmonik değerlerinin yaklaşık olarak %23 ile %44 arasında değiştiği, TR4'de harmonik değerlerinin ise %20 ile %50 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Bu da tüm odalardaki harmonik ölçüm sonuçlarının anlamlı ve kaynak veri olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.3. Hibrit Odanın Loşlaştırma Sonuçları

TR1 sadece flüoresan TR3 ise sadece LED ışık kaynaklarından oluşurken TR2 3 adet flüoresan 3 adet LED ışık kaynağının kullanıldığı hibrit oda olarak belirlenmiştir. TR1 ve TR3 harmonik kıyaslaması dışında bu odanın da harmonik sonuçlarının ölçülmesi hem değerlerin karşılaştırılması hem de 6. Bölüm'de sözü edilen ışık spektrumu ile ilgili incelemenin anlamlandırması açısından gereklidir. Aşağıda verilen Tablo 4.3.'te, 5 farklı loşlaştırma seviyesinde TR2'deki harmonik değerleri paylaşılmıştır.

Tablo 4.3. TR2 için Test Sonuçları

Seviye Adı	Loşlaştırma seviyesi (%)	TR2'deki THD <sub>1</sub> (%)
DL1	0	23.40
DL2	25	28.07
DL3	50	34.14
DL4	75	38.87
DL5	95	44,46

Yapılan test ve ölçüm sonuçlarına göre TR2 için harmonik bozunum yüzdeleri beklendiği üzere TR1 ve TR3 için elde edilen değerlerin arasında çıkmıştır. Sadece LED ışık kaynaklı aydınlatma yükünün harmonik bozunum değerlerinin sadece flüoresan ışık kaynaklı aydınlatma yükünün ilgili değerlerine göre daha küçük olması loşlaştırmalı sistemlerde gaz deşarj lambaları yerine LED lambaların kullanılmasının enerji kalitesi bakımından daha doğru bir tercih olduğunu göstermektedir.

## **BÖLÜM 5. AYDINLATMA KALİTESİNİ OLUMSUZ**

### **ETKİLEYEN HARMONİKLER İÇİN AKTİF FİLTRE ÖNERİSİ**

4. Bölüm’de yapılan test ve ölçüm sonuçları doğrultusunda, loşlaştırılmalı sistemlerde harmonik bozunumların loşlaştırma özelliğine sahip olmayan sistemlere göre çok daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bu bağlamda bu sorunu bertaraf etmek için aydınlatma yüklerine bireysel ya da toplu olarak nasıl müdahale edileceği konusu üzerinde düşünülmesi gereken kritik bir konudur. Her ne kadar bu tez çalışması loşlaştırılmalı sistemlerin olumsuz etkilerinin tespiti ve bunların kullanıcıları nasıl etkilediği üzerine yoğunlaşmış olsa da, harmonik bozunumların bertaraf edilmesi konusunun gerek yakın geçmişte vurgulanmış olması gerekse günümüzde halen etkili bir çözüm yöntemi ortaya konulmamış olması nedeniyle göz ardı edilemeyecek bir konu olduğu kanaatine varılmıştır.

Bu bağlamda 5. Bölüm önceki akademik çalışmalarda bir çözüm yolu olabileceği üzerinde durulmuş “Aktif Filtreleme” yöntemi ekseninde yapılmış araştırma ve önerilere ayrılmıştır.

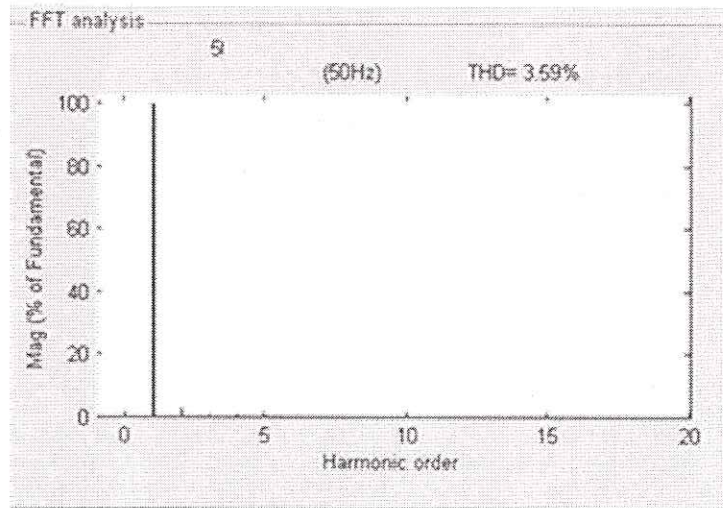
#### **5.1. Aktif Filtre**

C. Yavuz ve arkadaşları tarafından yapılan son çalışmalarında, aktif filtrenin, aydınlatma sistemlerinde güç kalitesi parametrelerinin bozunumunun giderilmesi adına bir çözüm olabileceği vurgulanmıştır [13]. Bu tez çalışmasında bu fikirden hareketle 5. Bölüm kapsamında, pratik anlamda gerçekleştirilmesi çok büyük ekonomik imkânlar ve kapsamlı bir Ar-Ge laboratuvarı gerektiren aktif filtrenin modellenmesi üzerinde durulmuş, bu modelleme için kullanılacak veriler kurulmuş olan test ve deney odalarından çekilmiş ve modelleme bu verilerle test etmiştir. Yavuz ve arkadaşlarının önerileri ışığında Matlab/Simulink ‘te [14] farklı aktif filtre

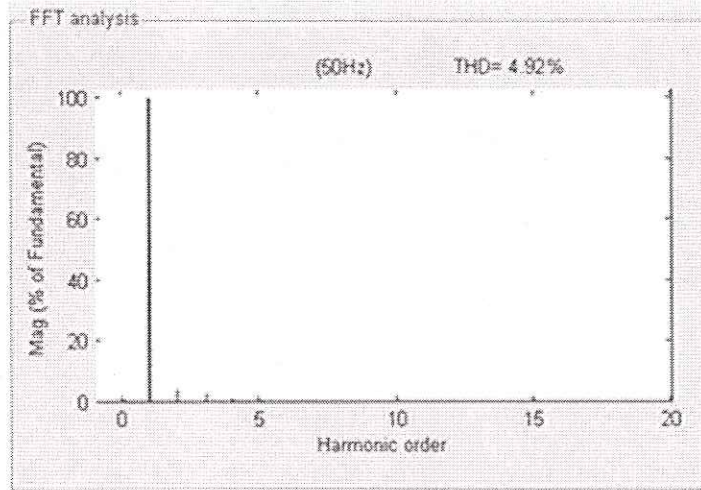
modellemeleri yapılarak, IEC standartlarında akım harmonikleri için belirlenen %5 limitinin yakalanması için en uygun modelin hangi model olabileceği tartışılmıştır.

Aktif filtre, aydınlatma sistemlerindeki harmonikler ve güç faktörü bozunumunun eliminasyonunda mantıklı bir çözüm olarak gözükmektedir. Balast ve sürücü tasarımı araştırmaları aktif filtrelerin ebatlarının nasıl küçültülebileceği ve bunları LED sürücüler ve/veya balastlara nasıl entegre edilebileceği konusunda yapılmalıdır. İç mekânlar için LED aydınlatma günden güne daha ucuzlamakta, bu çalışmalarda sürat, enerji tasarrufu, yüksek ışık akısı, aydınlık seviyesi ve daha iyi harmonik ve güç faktörü seviyeleri açısından avantaj sağlamaktadır. LED'lerin ve aktif filtrelerin entegrasyonu, daha güvenilir ve verimli elektrik ağı için önemli bir adım olabilir. Aşağıda 2 farklı yöntem kullanarak yapılan aktif filtre modellemesi, kullanılan yöntemler de detaylı olarak anlatılarak verilmiştir.

TR3'teki LED paneller diyot ağırlıklı endüktif sistem ve TR1'de flüoresan aydınlatma da endüktif olarak modellenmiştir. LED panellerde elde edilen en kötü %THD<sub>1</sub> değeri %3.59 ve PF değeri de 0.97'dir. Flüoresan aydınlatma sistemi için sonuçlar ise sırasıyla %4.92 ve 0.93'tür.



Şekil 5.1. TR3-DL1 senaryo aktif filtre simülasyonundan önce THD<sub>1</sub>% değerleri



Şekil 5.2. TRI-DLI aktif filtre simülasyonundan önce THD<sub>1</sub>% değerleri

Görüldüğü üzere herhangi bir loşlaştırma söz konusu değilken IEC standartları rahatlıkla yakalanmaktadır.

## 5.2. PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) Modeli

Günümüzde endüstrinin birçok alanında kullanılan inverterlerin çıkış geriliminin bazı durumlarda kontrol edilmesi istenir. Bu durumlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz.

DC Giriş Geriliminin Kontrolü

İnverterlerin Gerilim ayarı

Sabit V / F Kontrolünde

Bu sayılanların sağlanması için çeşitli teknikler kullanılır. Bu tekniklerin en etkililerinden biri Darbe Genişlik Modülasyonu ( PWM ) tekniğidir.

PWM tekniği kullanılan inverterler ana akım devresi itibariyle klasik altı basamaklı inverterlerle aynı yapıya sahiptir. Ama kontrol devrelerinde yapılan değişikliklerle avantajlar sağlanmaktadır. PWM temel elektronik devre elemanlarıyla gerçekleştirildiği gibi son yıllarda gelişme gösteren mikro işlemciler yardımıyla da gerçekleştirilmektedir. Mikro işlemcilerin kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda referans

sinyali mikro işlemciden sağlanıp, operasyonel amplifikatörlü bir devreyle elde edilen taşıyıcı sinyali ile karşılaştırılarak PWM sinyali elde edilirdi. Daha sonraki gelişmelerde PWM sinyallerin açıları daha önceden hesaplanıp bir hafıza elemanında toplandı ve mikro işlemci yardımıyla da PWM sinyali elde edilmiştir. Mikro işlemcilerin hızlarının çok fazla artmasıyla bu hesaplama işlemi aynı anda yapılarak (On Line) PWM sinyalleri elde edilmeye başlanmıştır [45].

İnverterlerde gerilim kontrolü inverter çıkış gerilimi dalga şeklinin kontrolü ile sağlanır. Dolayısıyla inverterlerin beslenmesi için girişinde kontrollü bir doğrultucuya gerek duyulmamaktadır.

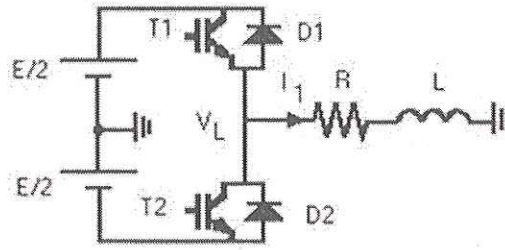
PWM de amaç ana kare dalgada darbeler oluşturmak ve bu darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının temel bileşenini değiştirmektir. Darbelerin yarı periyottaki sayıların değiştirilmesiyle başlıca anahtarlama harmoniklerinin frekansını yükseltmek suretiyle, motor endüktansının harmonik akımların sınırlanması sağlanır. Anahtarlama frekansının yükselmesi anahtarlama kayıplarının artmasına da sebep olur.

Çıkış frekansının kontrolü için inverterdeki elemanlarının faz değiştirme zamanlarının değiştirilmesi yeterli olacaktır. Böylece çıkış gerilimi ve frekansı aynı anda inverterden kolayca ayarlanabilecektir. Bu özellik, PWM inverterlerin, altı basamaklı inverterlere göre bir üstünlüğüdür.

Üç fazlı inverterin çıkış dalga şekillerinde ise birbirinden 120 derece faz farkı olmalıdır. Bu yüzden PWM sinyalleri arasında da 120 derece faz farkı bulunmalıdır. Bu tek darbe modülasyonunu ve bununla birlikte faz değişiminin kayması önlenecektir. Genel olarak PWM sinyalleri yüksek frekanslı bir üçgen taşıyıcı dalga ile düşük frekanslı modülasyon dalgasının bir komparatörde karşılaştırılmasından elde edilir. Taşıyıcı dalganın frekansının referans dalganın frekans oranı üç fazlı sistemlerde üç ve üçün katları olmalıdır, böylece fazlar arası denge sağlanır. Sinüs dalgasının genliğinin taşıyıcı dalganın genliğine oranına modülasyon indeksi denir. Modülasyon indeksinin değiştirilmesiyle çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği ayarlanır.

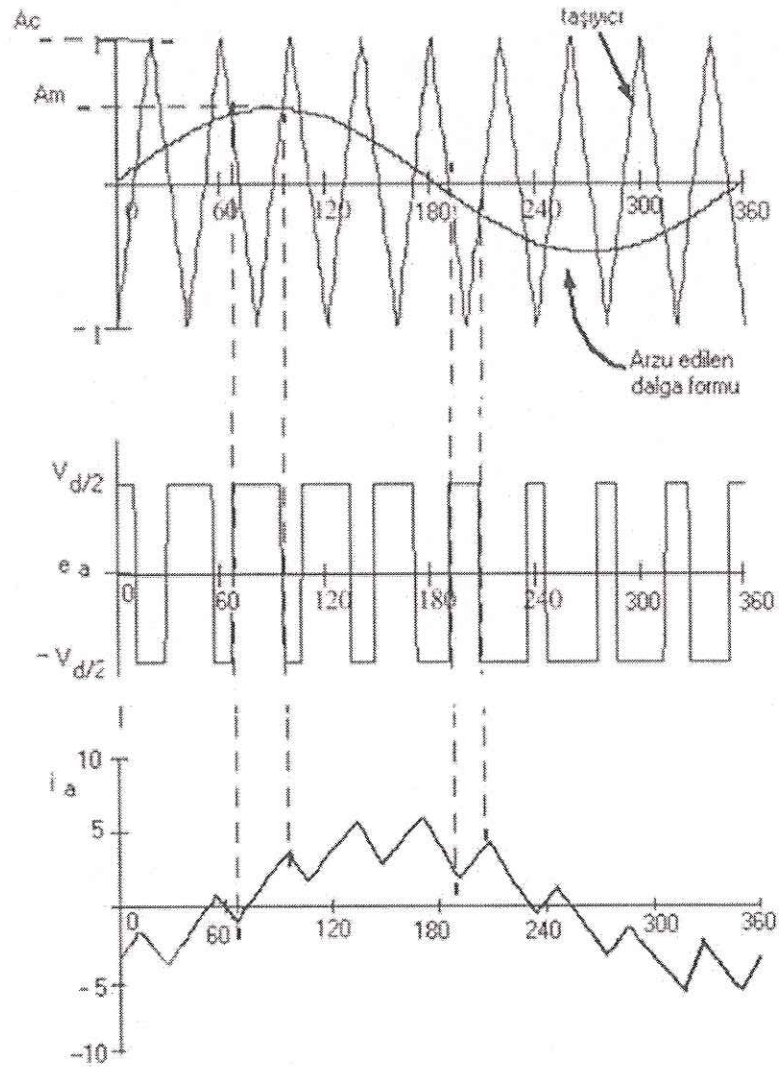
İnverter (DA/AA) dönüştürücülerinin çalışma prensibinde sistemde anahtarlamalara gerek vardır. Basit yaklaşımla doğru akımı alternatif akıma dönüştürmede her periyotta anahtarlamalara gerek vardır. Uygun anahtarlamalalarla kare dalga elde edilir. Sürekli yapılan anahtarlamalar sonucunda, elde edilen dalgada birçok harmonikler bulunur.

İnverterde ana amaç, çıkış gerilimi değişiminin sinüs dalgasına uymasdır. Uygun tetikleme acıları ile kıyılmış kare dalga, tam kare dalgaya göre daha az harmonik içerir. Aşağıdaki (Şekil 5.4.)'de PWM'in çalışma prensibi sonucu ortaya çıkan sonuç dalga şekli görülebilir [45].

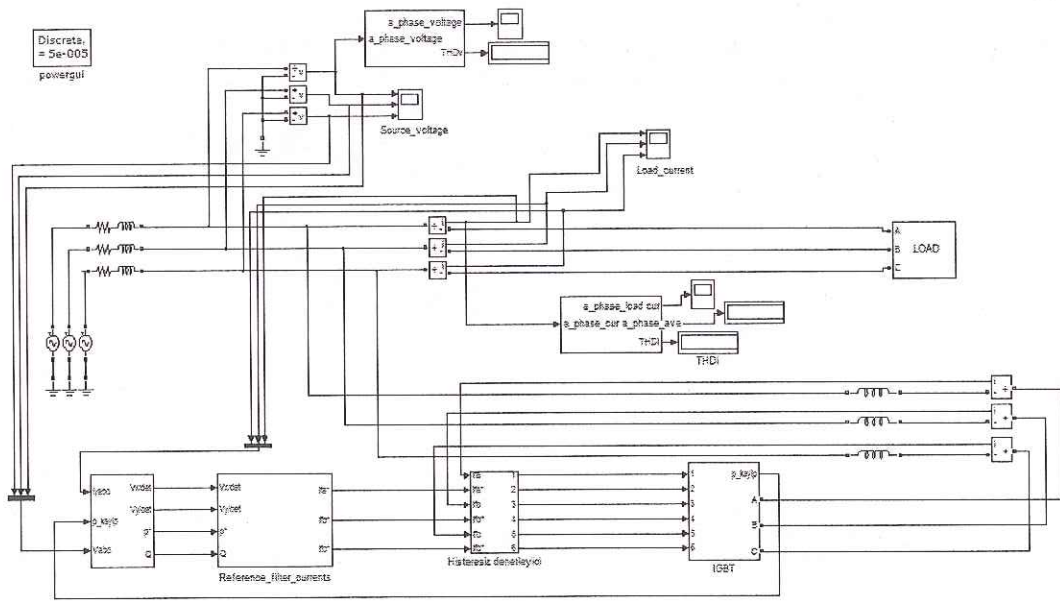


Şekil 5.3. Basit invertere ait prensip şeması[45]





Şekil 5.4. Dalga şekilleri [45]



Şekil.5.5. Pwm filtre tasarımı

Yukarıdaki şekilde tasarlanan PWM filtre devresi gösterilmiştir.

### 5.3. SRF (Senkron referans tabanlı) Filtre

Harmonik içeren bir akım, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akarsa, gerilimde harmonik bileşenler içermeye başlar. Akım harmoniklerinin doğrudan etkisi, akım yolundaki elemanlarda ek ısınma ve kayıplara yol açmasıdır. Güç sisteminde gerilim, harmonik bileşenler içerdiğinde bundan tüm yükler etkilenir [51]. Genel olarak LC filtreler AC yüklerin güç faktörünü iyileştirmede ve harmonikleri düşürmede kullanılırlar. Bunun yanında geleneksel filtrelerin, büyük yapı ve rezonans problemleri gibi pek çok dezavantajı bulunmaktadır [52]. Güç ağındaki harmonik kirliliğin artışı aktif güç filtrelerinin gelişimini sağlamıştır. Modern aktif güç filtreleri, üstün filtreleme performansları, küçük ebatları ve daha fazla esnek uygulama alanları ile geleneksel filtrelerin çok önüne geçmiştir [53].

IEEE 519 standardına sahip birkaç aktif güç filtre topolojisi vardır. Paralel aktif güç, aktif güç hibrit serisi ve paralel aktif güç filtreleri ile diğer filtreler arasında detaylı olarak maliyet ve performans karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak paralel aktif güç filtre sistemi en iyi harmonik filtreleme çözümü sunmuştur [54].

Paralel aktif güç filtresi iki ana bloktan oluşmaktadır. Bunlardan biri harmonik akım referans jeneratörü bir diğeri ise akım kontrolörüdür. Harmonik referans jeneratör bloğu, üç faz gerilim kaynağı invertöründeki yük akımının harmonik bileşenlerini seçen, aktif güç filtresinin ana bileşenidir. Akım kontrol bloğu, inverterde oluşan anahtarlama sinyallerini ve referans sinyalini almaktadır. Oluşan bu sinyallerin histerizis band metodu gibi farklı kontrol teknikleri vardır [55,56].

Bu tez çalışmasında LED aydınlatma yükleri tarafından oluşturulan harmonik bozulmayı azaltmak için, SRF temelli üç fazlı şönt aktif güç filtresinin MATLAB programında modellenmesi ve simülasyonu yapılmıştır. Aktif güç filtresinde, üç faz akım kontrollü gerilim kaynağı invertörü (VSI) ve DC bağlantı kapasitörü kullanılmıştır. İnverterdeki pulslar, histerizis bant akım kontrolü tekniği (HBCC) ile üretilmiştir. Şönt aktif filtre ile THD değeri %2,52 ölçülmüştür ki bu değer kabul edilen harmonik limit değeri içindedir.

### 5.3.1. Harmonik akım referans jeneratörü

Şönt aktif güç filtresi yük harmonik akımı ile eşit değerde, PCC noktasındaki gerilimle aynı fazda dengeli bir akım üretir. Referans harmonik akım üretiminin performansı, şönt aktif filtrenin hassaslığına bağlıdır. Bunun yanında şönt aktif güç filtresinin ürettiği referans akımı, akım kontrolü uygulamasındaki kontrol algoritmasının kritik kısmıdır.

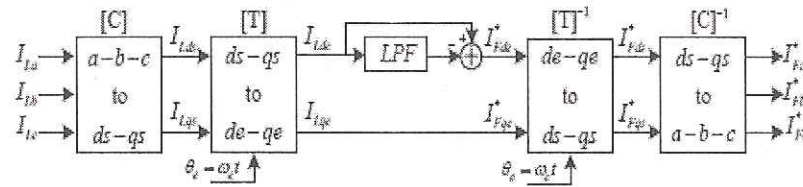
Referans harmonik akımı üretim metodu, frekans ve zaman domen metodu olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Frekans domen metodu, ayrık fourier transform (DFT) ve hızlı fourier transform (FFT) metodu gibi ayrık sinyal metodu temeline dayanmaktadır. Zaman domen metodu, daha az sayıda hesaplamaları ve hızlı yanıt geçişleri sayesinde daha çok tercih edilen yöntemdir. Çalışmamızda en çok bilinen zaman domen yöntemi olan SRF (senkron referans taban) teorisi kullanılmıştır

### 5.3.2. SRF (senkron referans taban ) teorisi

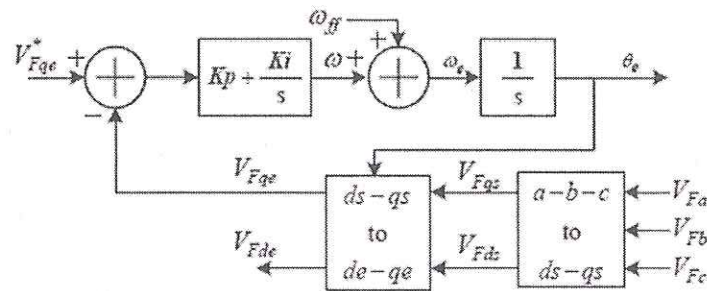
(Şekil 5.6.)’da şönt aktif güç filtresi sistemi için temel SRF kontrolör şeması gösterilmiştir. A-b-c olarak ölçülen yük akımları C matrisi ile “ds-qs” tabanına çevrilmiştir. Akım tabanı T matrisi ile “de-qe” tabanına dönüşmüştür.

Burada T matrisinin, PLL devresindeki faz açısı  $\theta$  ya gereksinimi vardır. PLL devresi AC şebeke faz açısını üretir. “de-qe” referans tabanı kullanan ve girişleri üç fazlı AC şebeke gerilimi olan PI denetleyici (Şekil 5.8.)’de gösterilmiştir. “de-qe” tabanında temel pozitif bileşenler DC büyüklükler olarak ortaya çıkarken, temel negatif akım bileşenleri ve diğer frekanstaki akım bileşenleri (harmonikler) 50 Hz’lik bir frekans kayması ile AC büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır.

Alçak geçiren filtreler temel pozitif akım bileşenleri ve dc büyüklükler, yüksek geçiren filtre de yük akımının AC bileşenleri ve AC büyüklükleri seçer. Filtrelemeden sonra, harmonik referans sinyali ters transform matrisi  $T^{-1}$  ile “ds-qs” tabanına dönüştürülür. (Denklem 5.3) Sonuçta, ters transform matrisi  $C^{-1}$  istenen üç faz referans akımlarını  $I_{fa}^*$ ,  $I_{fb}^*$ ,  $I_{fc}^*$  içerir.



Şekil 5.6. SRF kontrolör şeması



Şekil 5.7. PI denetleyici

$$\begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad [58] \quad (5.1)$$

$$\begin{bmatrix} I_{de} \\ I_{qe} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_e) & -\cos(\theta_e) \\ \cos(\theta_e) & \sin(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} \quad [58] \quad (5.2)$$

$$\begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} I_{deh} \\ I_{qe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) \\ -\cos(\theta_e) & \sin(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{deh} \\ I_{qe} \end{bmatrix} \quad [58] \quad (5.3)$$

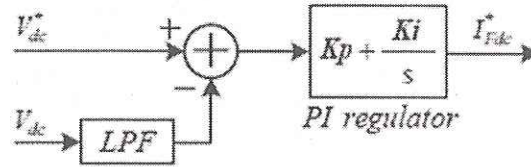
$$\begin{bmatrix} I_{fa}^* \\ I_{fb}^* \\ I_{fc}^* \end{bmatrix} = C^{-1} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{-1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} \quad [58] \quad (5.4)$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^* \\ I_{fb}^* \\ I_{fc}^* \end{bmatrix} = C^{-1} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{-1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} \quad [58] \quad (5.5)$$

### 5.3.3. DC Bus gerilim kontrolörü

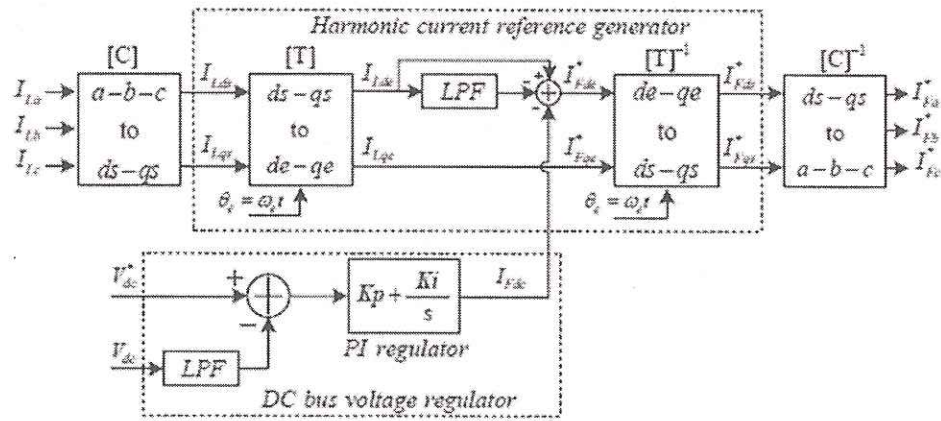
Dc bus gerilim kontrolörü, dc bus gerilimi referans değeri için ana referans akımını ayarlar ve inverter kayıpları için bu değeri eşitler. (Şekil 5.9.)'da DC bus gerilim kontrolörü olarak PI regülatörün kullanıldığı gösterilmektedir. DC bus gerilimi filtre akımının baskın olan 5. ve 7. Harmonik bileşenleri, 300Hz DC bileşenlerinden AC bus gerilimdeki dalgalanmalara dönüşür.

Burada 5. harmonik negatif bileşenleri ve 7. harmonik pozitif bileşenleri mevcuttur bu yüzden DC gerilimin filtre edilmesi gerekir [40,43].



Şekil 5.8. PI regülatör[57]

DC gerilim değeri 650V -750 V değeri arasındadır. 380Vrms hat-hat gerilim değeri için bus gerilim değeri 700V seçilir. PI regülatörün tasarımı ile bu gerilim değeri ile yapılan LPF ve diğer ilgili sistem parametreleri bu çalışmada oluşturulmuştur.



Şekil 5.9. DC Bus gerilim kontrolörü blok şeması [57]

Yukarıdaki şekilde DC bus gerilim kontrol şeması gösterilmiştir [57].

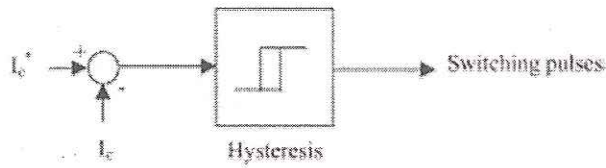
### 5.3.4. Akım kontrolörü

SAPF'nin bir parçası olan akım kontrolünde anahtarlama sinyali üretilir. SAPF'nin performansı, akım kontrolöründeki anahtarlama sinyallerinin kesinliği ile tam olarak belirlenir. Aktif güç filtresi uygulamalarında farklı kontrol metotları mevcuttur. Bu çalışmada akım kontrol tasarımı için histerizis bant akım kontrolü metodu kullanılmıştır.

### 5.3.5. Hysterizis bant kontrolü

Hysterizis bant akım kontrol tekniği, hızlı tepki, doğruluk ve denge sebebiyle genellikle sık tercih edilen aktif güç uygulamalarındandır [56].

(Şekil 5.10.)’da tek faz VSI için HBCC tekniği şeması gösterilmiştir. Harmonik referans jeneratörü ile referans hat akımı  $I_c^*$  ve aktif güç filtresinin gerçek hat akımı  $I_c$  Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



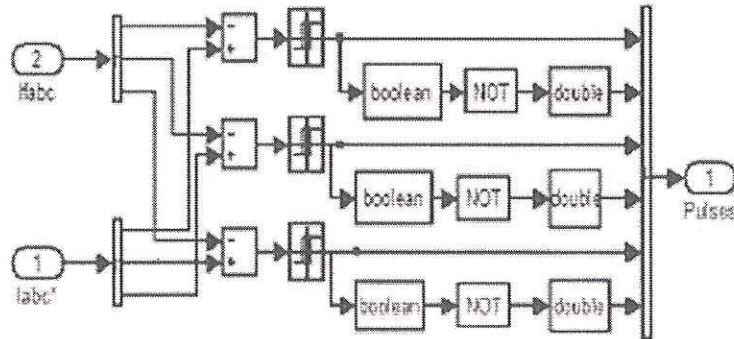
Şekil 5.10. HBCC tekniği şeması [56]

Anahtarlama sinyali basit bir formülle üretilir. A fazı için anahtarlama fonksiyonu SA belirlenir [57].

$i_{ca} < (i_{ca}^* - HB)$  ise üst anahtar kapalı, alt anahtar açık (SA=1)

$i_{ca} > (i_{ca}^* + HB)$  ise üst anahtar açık, alt anahtar kapalı (SA=0)

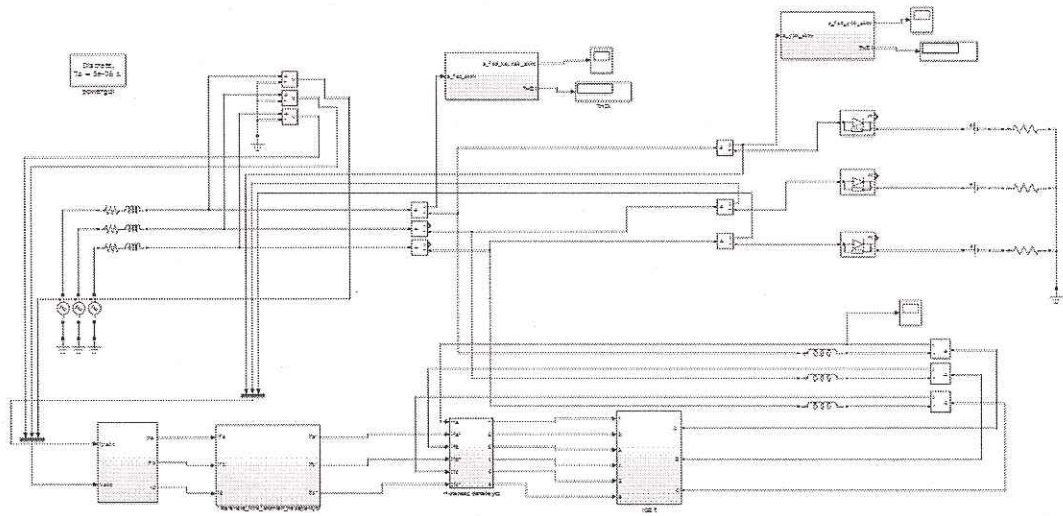
B ve C fazları için anahtarlama fonksiyonları SB, SC referans hat akımı ve gerçek hat akımı ile tamamen aynıdır. (Şekil 5.11.)’de üç faz için HBCC blok diyagramı gösterilmiştir [58].



Şekil 5.11. HBCC blok diyagramı [58]

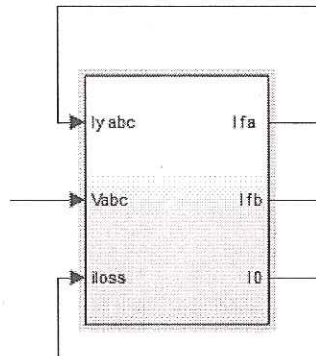
Bu kontrol metodunda anahtarlama frekansı sabit kalmaz. Anahtarlama frekansı, aktif güç filtresinin hat akımlarının histerezis bant üst ve alt limitlerindeki değişiklikler ile direk olarak etkilenir. Bu nedenle aktif güç filtresinin hat akımlarının değişim oranını belirlemek için kapasitör gerilimi ve hat induktans değeri önemli büyüklükler haline gelmektedir [56].

Aşağıda gösterilen Şekil 5.12.'de doktora tezi için Matlab programında tasarlanan SRF modelinin blok diyagramına yer verilmiştir.



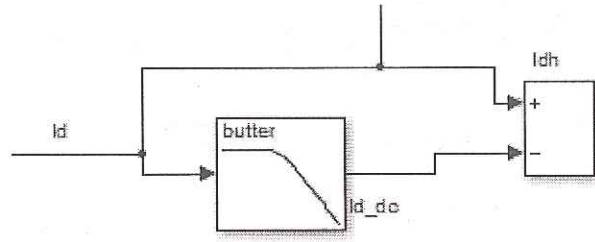
Şekil 5.12. SRF Metodu kullanılarak tasarlanan Aktif Filtre Matlab/Simulink Modeli

Aşağıdaki şekillerde, tasarımı yapılan SRF modelini oluşturan bloklar ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

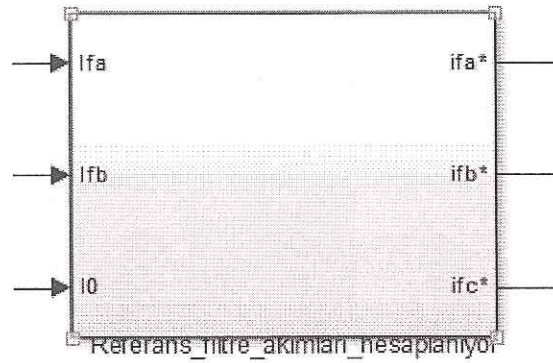


Şekil 5.13. Ide akımının harmonikli bileşeninin alındığı ana blok

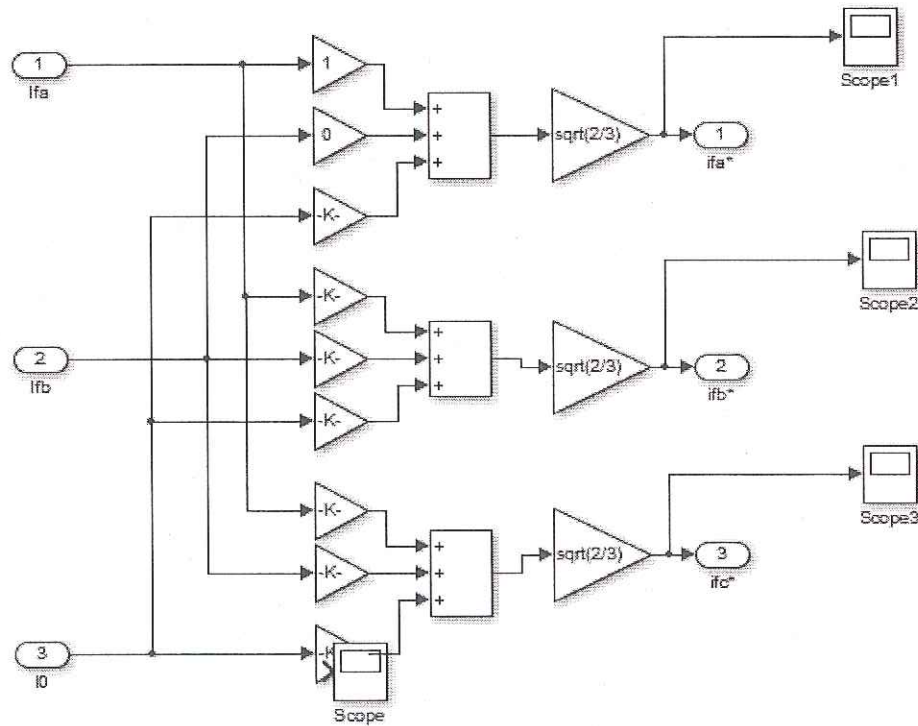




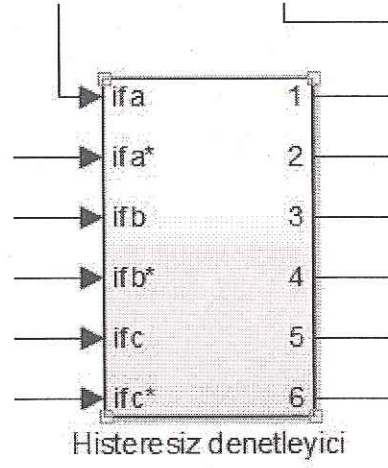
Şekil 5.14. Id akımının harmonikli bileşeninin alındığı alt blok



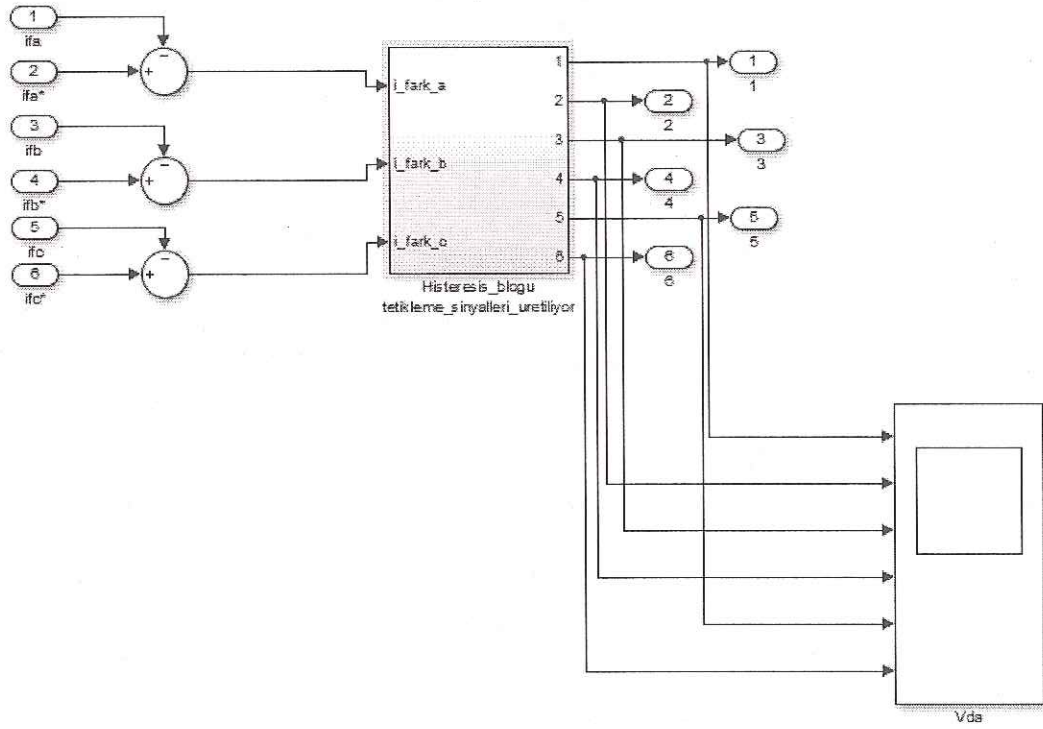
Şekil 5.15. Ds-qs koordinatlarından a-b-c koordinatlarında referans akımlarının oluşturulduğu ana blok



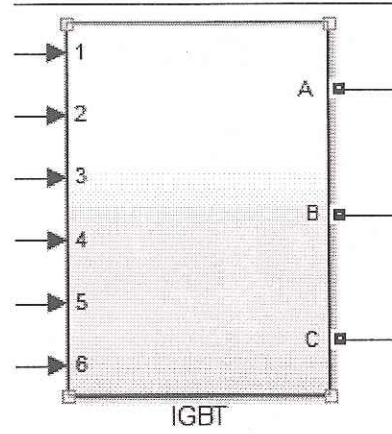
Şekil 5.16. Ds-qs koordinatlarından a-b-c koordinatlarında referans akımlarının oluşturulduğu alt bloklar



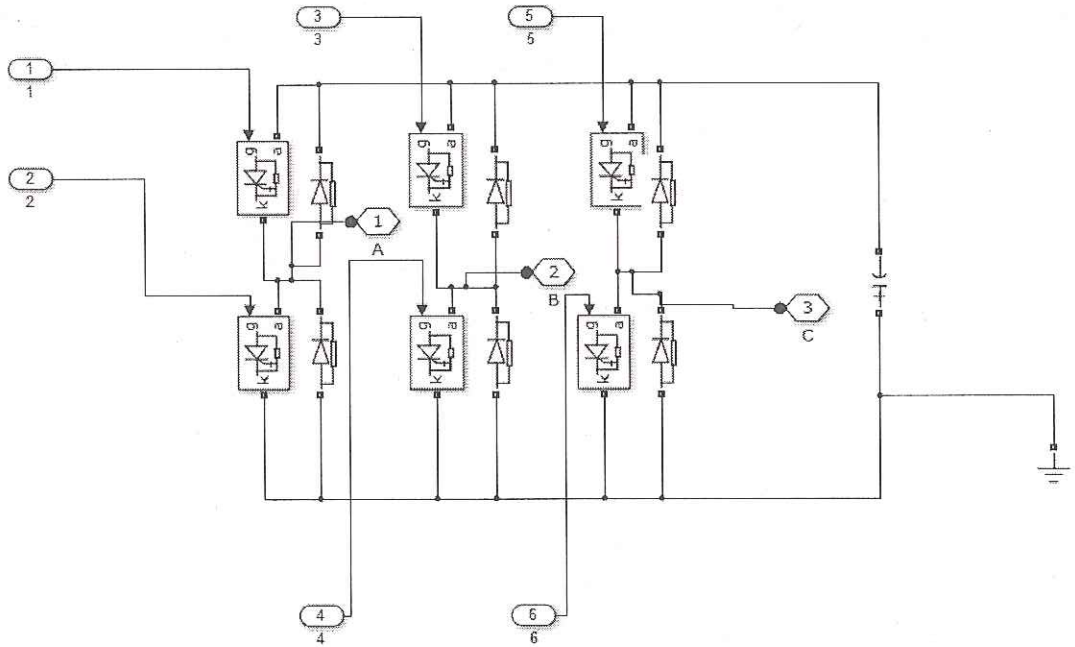
Şekil 5.17. Histeresis ana denetleyici bloğu



Şekil 5.18. Histeresis ana denetleyici bloğunun içi



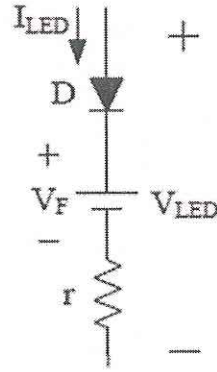
Şekil 5.19. Filtre akımının oluşturulduğu akım kontrollü gerilim kaynağı invertör (VSI) ana bloğu



Şekil 5.20. Filtre akımının oluşturulduğu akım kontrollü gerilim kaynağı invertör (VSI) ana bloğunun içi

### 5.3.6. Simülasyon sonuçları

Üç faz aktif güç sisteminin harmonik akımlarını eşitlemek için şönt aktif güç filtresi modellenmesi yapılarak kullanılmıştır. R.L. Lin ve Y.F. Chen tarafından önerilen LED modeli sisteminde LED non-lineer yük olarak seçilmiş ve bu simülasyonda da aynı şekilde kullanılmıştır (Şekil 5.21.) [57]. Bütün sistem parametreleri tabloda verilmiştir.

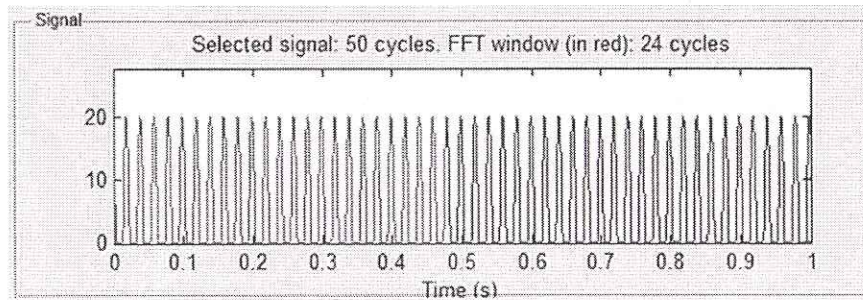


Şekil 5.21. LED modeli [57]

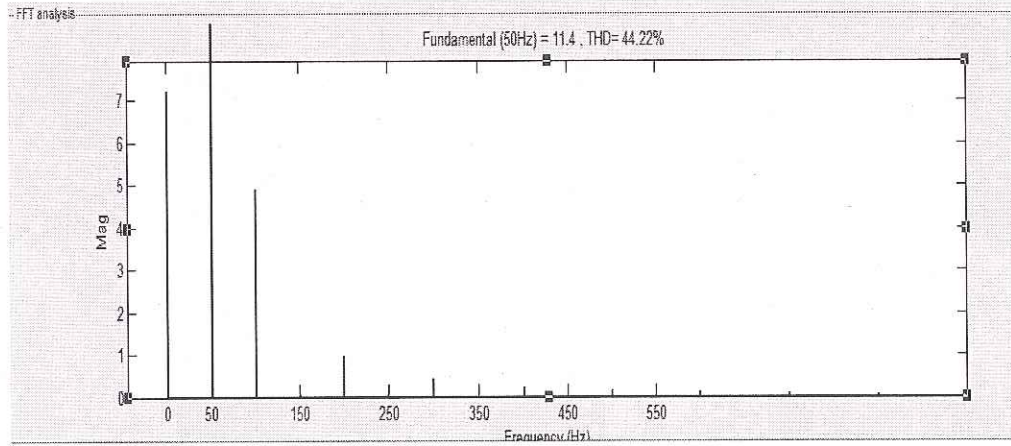
Tablo 5.1. Sistem parametreleri

Parametreler	Değer
Hat Gerilimi	380Vrms
DC Bus Gerilimi	700V
Hat Endüktansı	1mH
Filtre Endüktansı	0.1mH
DC Kapasitör	1000uF
$V_F$	3.1V
$r$	13.38 $\Omega$

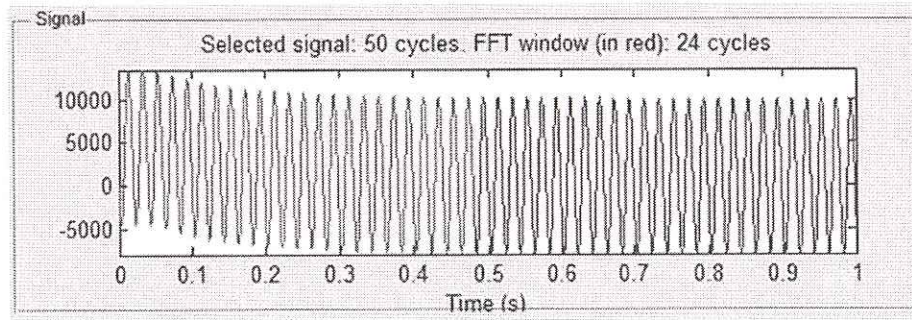
Filtreleme olmadan sistem davranışı Şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Sistemin ölçülen toplam harmonik distorsiyon değeri (THD) %44.30 dur (Şekil 5.23). Tasarlanan şönt aktif filtre kullanımından sonra sistemin simülasyonu (Şekil 5.24.-5.25.) aşağıda gösterilmiştir. Yeni sistemin THD değeri %2.52 ölçülmüştür.



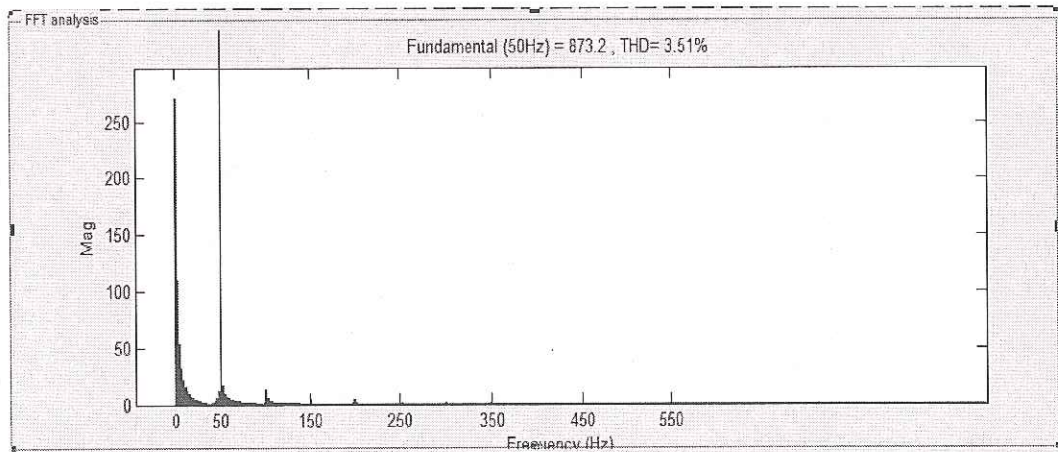
Şekil 5.22. Filtre olmadan sistem davranışı



Şekil 5.23. Aktif filtre simülasyonu öncesi DL5 senaryosu THD değeri



Şekil 5.24. Aktif filtre kullanımdan sonra sistem davranışı (a)



Şekil 5.25. Aktif filtre simülasyonu sonrası DL5 senaryosu THD değeri (b)

Bu yeni aktif filtreleme yöntemi tez çalışmasında ilk teklif edilen PWM yöntemi ile modellenen aktif filtreleme yöntemine göre çok daha kararlı ve doğru çalışan bir

yöntemdir. PWM yöntemi ile yapılan aktif filtrelemede harmonik bozunumları her ne kadar limitler dâhilinde tutuluyor olsa da kaynak akımı ve gerilim doğrultma gibi konularda filtrenin kararsız çalıştığı tespit edilmiştir. Oysaki SRF yöntemi ile geliştirilen SAPF özellikle doğru gerilimle çalışan LED lambaların karşı karşıya kalabileceği gerilime dayalı sorunları da çözmekte ve kararlı bir çalışma sağlamaktadır. LED lambalar bilindiği üzere sürücüleri vasıtasıyla Alternatif akım şebekelerine bağlanabilmekte ve doğru gerilim ile beslenmektedirler. Yukarıda modellenen SRF tabanlı aktif filtre PWM tabanlı aktif filtre tasarımına göre daha kararlı ve yüzde olarak daha düşük THD çıktısı vermekte olup, büyük aydınlatma sistemlerinde kullanımının faydalı olacağı simülasyon sonuçlarından anlaşılmaktadır.

## BÖLÜM 6. KULLANICI ANKETİ VE IŞIK SPEKTRUMU İLİŞKİSİ

Aydınlatma tasarımı yaparken en önemli hedeflerden biri tasarruf sağlayacak, enerji verimli fikirler ortaya koymak olsa da hiçbir şart altında görsel performans ve konfor seviyeleri kötü şekilde etkilenmemelidir [60]. Görsel konfor, görsel performansın artırılması, göz sağlığının korunması ve bunların sürekliliğinin sağlanarak kullanıcıların gerek fizyolojik, gerekse psikolojik ihtiyaçları karşılanarak artırılabilir. Bu nedenle yapay aydınlatmanın miktarı ve kalitesi onu kullanacak kişiler tarafından kabul edilebilir seviyede olmalıdır [61]. Eğer bir aydınlatma tasarımının ekonomikliği ve enerji verimliliği üzerine bir yorum yapılacak ise öncelikle kullanıcı memnuniyeti ve görsel konfor araştırması yapılmalıdır [62].

Kullanıcı memnuniyeti ve görsel konforun ne düzeyde olduğunu araştırmak amacıyla literatürdeki çalışmalara bakılır ve bunlardan hareketle bir sentez ve araştırma yöntemi ortaya konulabilir. Manav [63], Reinhardt ve Fitz [64], Barlow ve Fiala [65], Moore ve arkadaşları [66], Zinzi [67], Boyce ve arkadaşları [68], Moore ve arkadaşları [69], Maarwe ve Carter [70], Erdem ve Enarun [71] ile Yavuz'un [72] daha önce yapmış olduğu görsel konfor ve enerji tasarrufu/verimliliği ekseninde şekillenen ankete dayalı araştırma çalışmaları bu tez çalışmasındaki anketin oluşturulmasına kaynak rolü üstlenmişlerdir.

Bireylerin bir konudaki görüş, düşünce veya tutumlarını belirlemeye yarayan ölçü araçlarına tutum ölçeği adı verilmektedir. Bir tutum ölçeği, araştırılan konudaki olumlu ve olumsuz görüş, düşünce veya tutumları yansıtan bir dizi maddeden oluşmaktadır [73]. Bu tez çalışmasında kurulu olan deney odalarındaki aydınlatma şartlarının kullanıcı memnuniyet ve görsel konfor belirleme anketi tutum ölçeği olarak, önceki çalışmaların incelenmesi ve farklı tutum ölçeklerinin değerlendirilmesi sonucunda, Likert Ölçeğinin kullanılmasına karar verilmiştir. Likert Ölçeği, 5'lik skala

üzerindedir. Likert ölçeğine ilişkin cevaplar “kesinlikle katılıyorum, katılıyorum, kararsızım, katılmıyorum ve kesinlikle katılmıyorum” ya da buna eşdeğer parametreler arasında değişen tutum ölçeğidir. Her cevaba sayısal bir karşılık atanmıştır. Likert ölçeği dünya çapında yüksek geçerliliğe sahip ve güvenilirliği yüksek bir ölçektir.

Oluşturulan anket toplamda 2 kısımdır. 1. kısım demografik sorulardan oluşan “Kişisel Bilgiler”i sorgulamakta, 2. kısım “Deney Odasında görsel konfor ve görsel algı” üzerine kullanıcıların tepkilerini ölçmektedir. Anket sorularının tamamı EK-1’de paylaşılmıştır. 40 gönüllü katılımcı ile anket gerçekleştirilmiş olup, anketlerin sonuçları, SPSS 16.0 istatistiksel veri analizi paket programında irdelenmiştir [73].

Anket katılımcıları 3 farklı deney odasında ankete tabi tutulmuşlardır. İlk oda 4x18 Watt gücünde toplam 6 adet 4000 K ışık renginde konvansiyonel tip flüoresan armatürün bulunduğu Deney odasıdır. İkinci Deney odasında 3 adet 4x18 Watt gücünde 3000 K ışık renginde 3 çift parabolik flüoresan armatür ve 3 adet 3000 K ışık renginde, her biri 41 W gücünde olan LED armatür bulunmaktadır. Üçüncü deney odasında ise 6 adet 3000 K ışık renginde, her biri 41 W gücünde olan LED armatür bulunmaktadır.

Anket katılımcıları 1. odada 20 diğer odalarda yaklaşık 30 dakika geçirmişlerdir. 2. ve 3. odalarda aydınlatmalar % 100 ve % 50 oranlarında açıkken katılımcıların hem odalardaki görsel şartları hem de oda içindeki farklı aydınlatma şartlarını değerlendirmeleri istenmiştir.

Anket cevaplanmadan önce, katılımcıların deney için buldukları odaya alışmaları için 15 dakika süre tanınmış, anketlerin daha sonra cevaplandırılması istenmiştir. Bu 15 dakikalık süre zarfında katılımcıların kendilerine tahsis edilen bilgisayarlarda istediklerini yapabilecekleri söylenmiş, kendilerinden sadece önlerine konmuş olan kitaplardan istedikleri herhangi 2 sayfayı belirleyip okumaları istenmiştir.

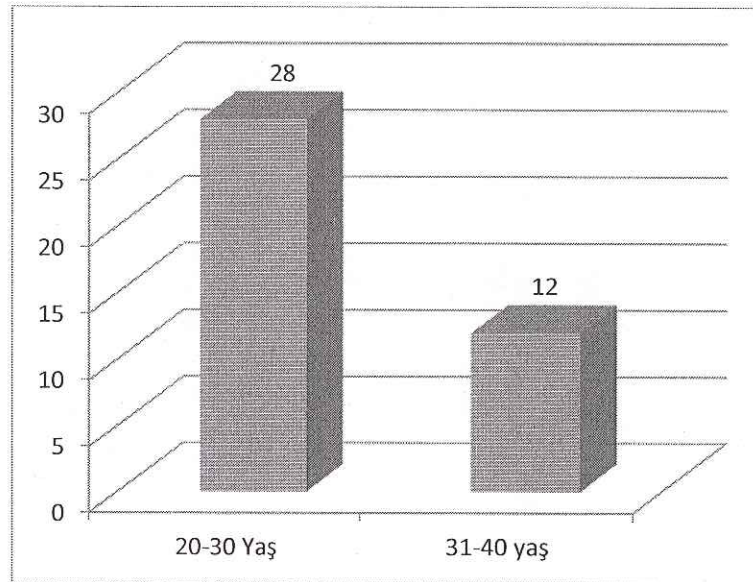


15 dakika sonunda kullanıcıların deney odalarının daha önceden belirlenmiş noktalarına bakmaları, kendilerine tahsis edilen bilgisayarların masaüstündeki istenen belgeleri açarak bu belgelerdeki yazıları okuması istenmiştir. Katılımcılardan, bu işlemleri yaptıktan sonra, 1. oda hariç, aydınlatmaları ellerindeki kumandaları kullanarak %50'ye ayarlamaları ve 2 dakika sonra aynı işlemleri tekrarlamaları talep edilmiştir.

Anket karşılaştırmalı olup katılımcıların aydınlatma şartlarından kişisel memnuniyetleri ve görsel konforları üzerine belirleyici sorular içermektedir.

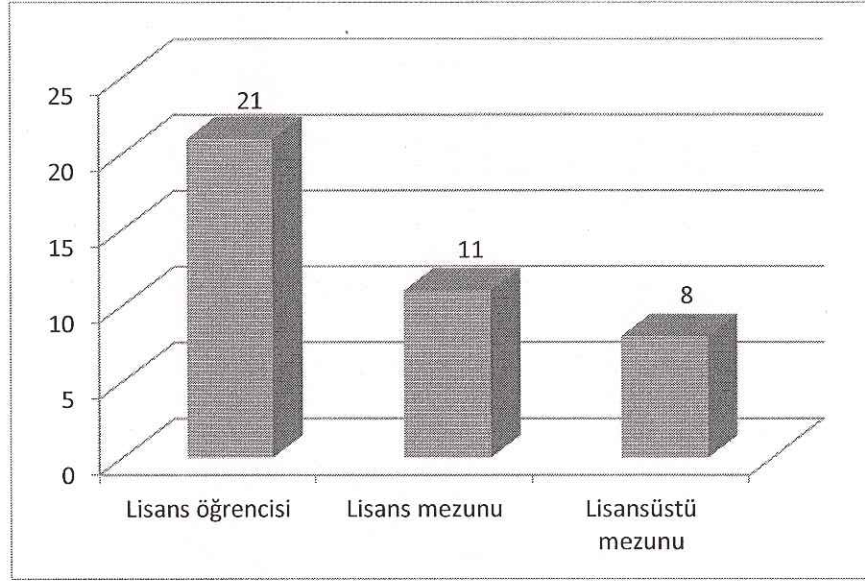
### 6.1. Anket Çözümlemesi

Anket çalışması 7 Mart ve 29 Nisan tarihleri arasında 40 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların 29'u erkek 11'i kadındır. Önceki çalışmalarda genç bireylerin görme performanslarının yaşlı bireylere göre daha yüksek olduğunun dile getirilmesi dolayısıyla [27] anket katılımcıları 40 yaş altındaki bireylerden seçilmiştir.



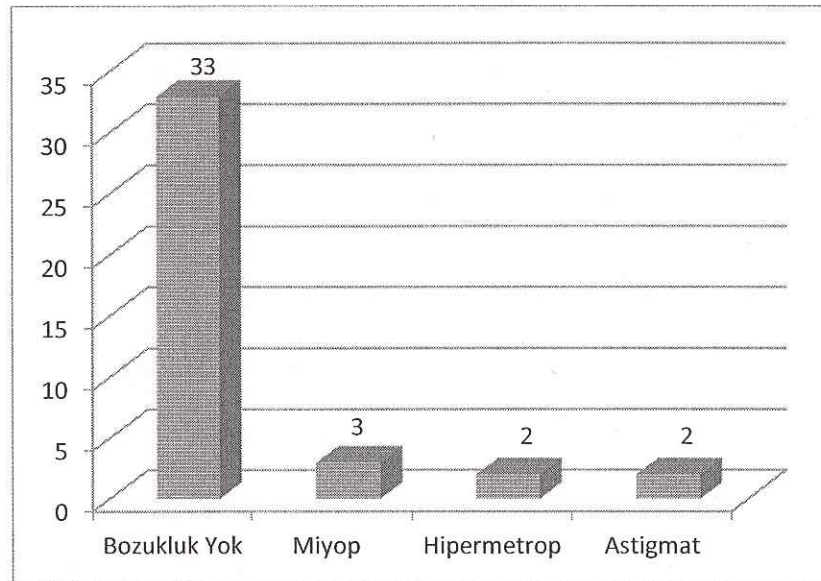
Şekil 6.1. Anket/Deney katılımcılarının yaş aralıkları

Tüm katılımcılar en az lise mezunu, lisans öğrencisi veya mezunu ve lisansüstü mezunudur.



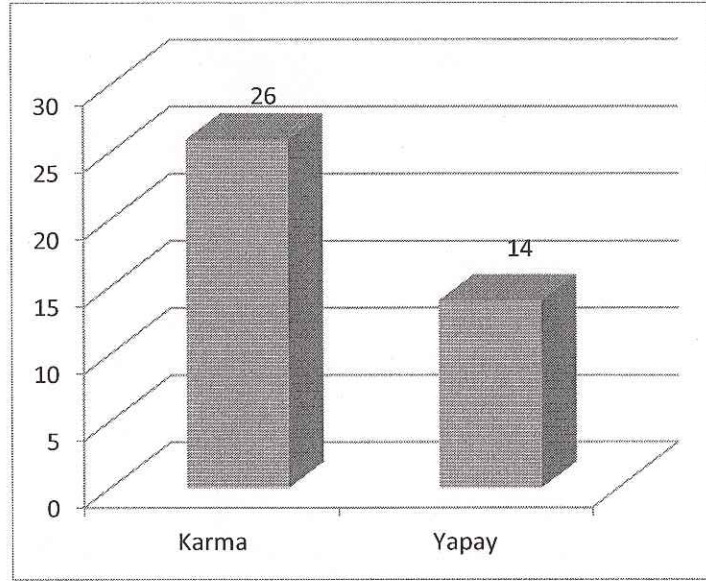
Şekil 6.2. Anket/Deney katılımcılarının eğitim durumları

Katılımcıların göz rahatsızlıkları durumu aşağıdaki gibidir. 6 katılımcı gözlük ya da lens kullanmaktadır.



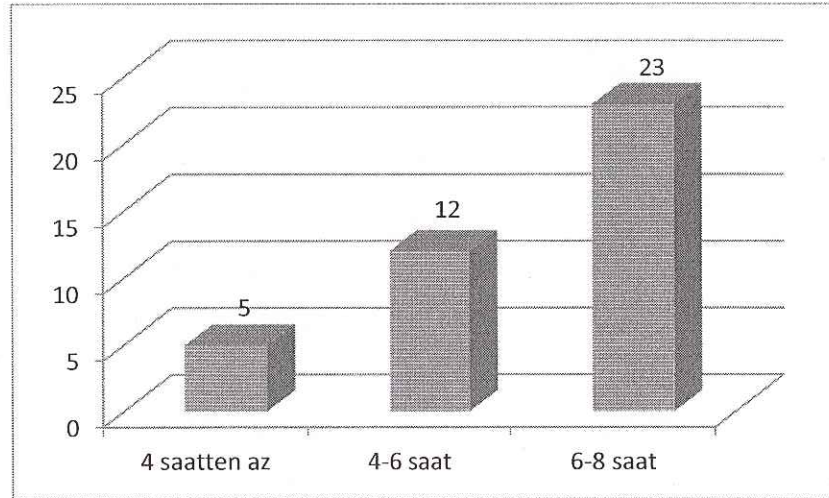
Şekil 6.3. Anket/Deney katılımcılarının göz rahatsızlıkları durumu

Katılımcıların 3'ü sahada 37'si ofiste çalışmakta olan katılımcıların çalışma mekânlarındaki aydınlatma şartları Şekil 6.4.'de paylaşılmıştır.



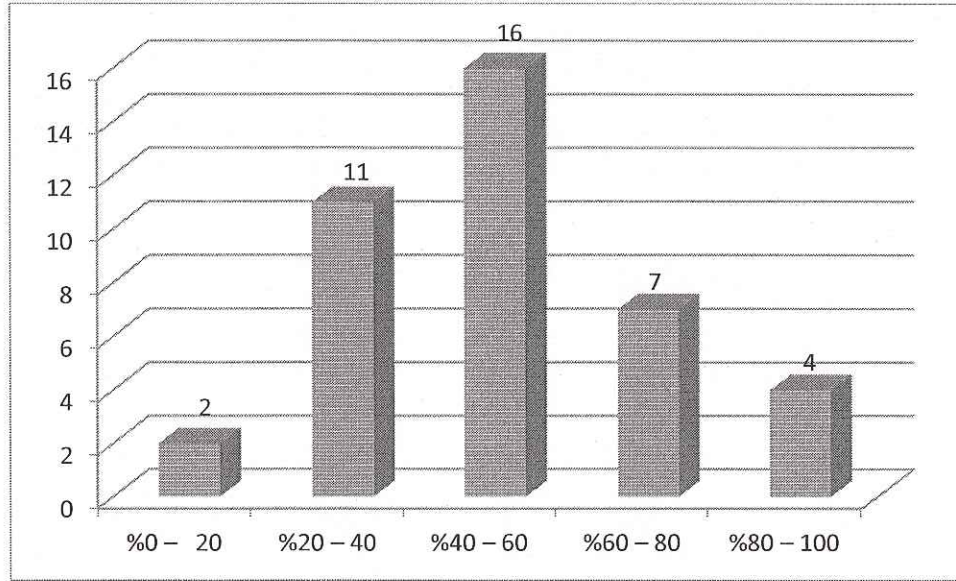
Şekil 6.4. Anket/Deney katılımcılarının göz rahatsızlıkları durumu

Katılımcıların çalışma mekânlarındaki çalışma süreleri Şekil 6.5.'de verilmiştir.



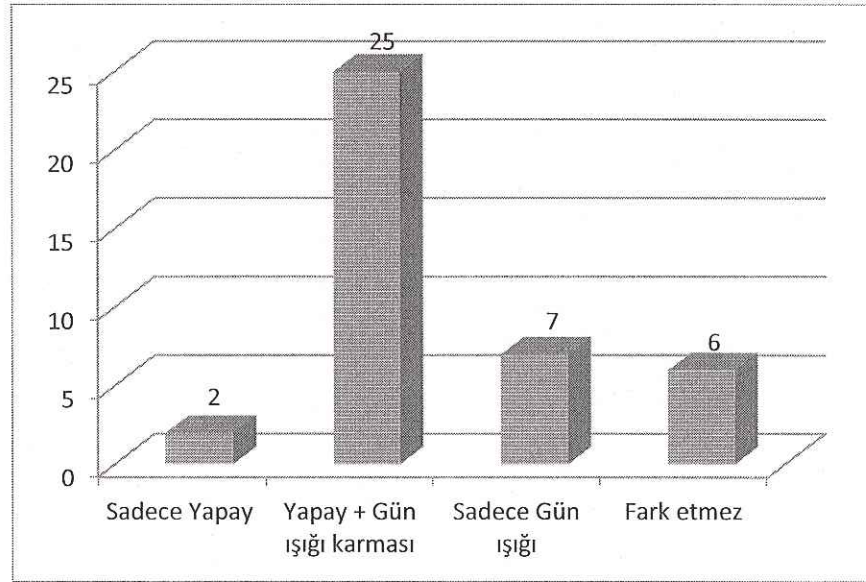
Şekil 6.5. Anket/Deney katılımcılarının çalışma mekânlarında günlük geçirdiği süreler

Katılımcıların bilgisayar karşısında geçirdikleri günlük süre yüzdesi Şekil 6.6.'da paylaşılmıştır.



Şekil 6.6. Anket/Deney katılımcılarının çalışma mekanlarında bilgisayarda geçirdiği süreler

Katılımcıların tercih ettikleri çalışma mekânı aydınlatma şartları Şekil 6.7.'de verilmiş olup genel itibariyle yapay aydınlatmanın pencereden giren gün ışığıyla desteklendiği çalışma ortamlarının daha fazla tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 6.7. Anket/Deney katılımcılarının tercih ettikleri aydınlatma şartları

Anket/Deney katılımcılarının anket uygulamasının 1.kismini doldurduktan sonra istenilen sürelerde test ve deney odalarında bulunup kendilerinden istenilenleri yapması ve anketin 2. kısmındaki ilgili soruları cevaplaması talep edilmiştir. Ek 1'de

verilen anket sorularına katılımcılar tarafından verilen cevaplar aşağıdaki tablolarda sırasıyla paylaşılmıştır.

Tablo 6.1. Katılımcıların çalışma düzeni görme performansları

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok iyi</i>		31	24	34	26
<i>İyi</i>	6	7	10	6	12
<i>Normal</i>	29	2	6		2
<i>Kötü</i>	5				
<i>Çok Kötü</i>					

Tablo 6.2. Katılımcıların odanın görsel konforu ile ilgili değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Konforlu</i>		31	22	34	26
<i>Konforlu</i>	5	7	11	6	10
<i>Normal</i>	30	2	7		4
<i>Konforsuz</i>	5				
<i>Çok Konforsuz</i>					

Tablo 6.3. Katılımcıların odadaki ışık dağılımı ile ilgili değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok iyi</i>		28	19	34	20
<i>İyi</i>	4	10	13	6	15
<i>Normal</i>	28	2	8		5
<i>Kötü</i>	8				
<i>Çok Kötü</i>					

Tablo 6.4. Katılımcıların görsel atmosferden memnuniyetleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Memnunum</i>		30	20	38	24
<i>Memnunum</i>		8	14	2	9
<i>Normal</i>	17	2	6		7
<i>Pek Memnun Değilim</i>	20				
<i>Hiç Memnun Değilim</i>	3				

Tablo 6.5. Katılımcıların odadaki ışık rengine ilişkin memnuniyetleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Memnunum</i>		11	10	11	11
<i>Memnunum</i>	14	5	7	6	6
<i>Normal</i>	10	10	9	10	10
<i>Pek Memnun Değilim</i>	12	14	14	13	13
<i>Hiç Memnun Değilim</i>	4				

Pek memnun değilim veya hiç memnun değilim şıklarını seçtiyseniz nasıl olmasını isterdiniz

Tablo 6.6. Katılımcıların ışık rengi tercihi

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2	Deney Odası 3
<i>Daha Beyaz</i>		14	13
<i>Daha Sarı</i>	16		

Tablo 6.7. Katılımcıların odadaki aydınlatmanın biyolojik saatlerine etkisi ile ilgili değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2	Deney Odası 2	Deney Odası 3	Deney Odası 3
		(1.durum)	(2.durum)	(1.durum)	(2.durum)
<i>Fazlasıyla Canlılık veriyor</i>		28	18	34	26
<i>Biraz canlandırıyor</i>	10	11	15	6	10
<i>Herhangi bir etki yapmadı</i>	14	2	7		4
<i>Biraz Yoruyor</i>	9				
<i>Fazlasıyla Yoruyor</i>	7				

Tablo 6.8. Katılımcıların odadaki aydınlatma şartlarının çalışma performanslarına etkisi ile ilgili değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2	Deney Odası 2	Deney Odası 3	Deney Odası 3
		(1.durum)	(2.durum)	(1.durum)	(2.durum)
<i>Algım bir hayli arttı</i>		31	22	36	27
<i>Algım biraz arttı</i>	4	7	11	4	10
<i>Herhangi bir etki yapmadı</i>	20	2	7		3
<i>Algım biraz azaldı</i>	9				
<i>Algım bir hayli azaldı</i>	7				

Tablo 6.9. Katılımcıların odanın aydınlatma şartlarına ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2	Deney Odası 2	Deney Odası 3	Deney Odası 3
	(1.durum)	(1.durum)	(2.durum)	(1.durum)	(2.durum)
<i>Çok Konforlu</i>		30	21	35	27
<i>Konforlu</i>	4	7	12	5	8
<i>Normal</i>	31	3	7		5
<i>Konforsuz</i>	5				
<i>Çok Konforsuz</i>					

Tablo 6.10. Katılımcıların çalışma düzlemindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça çok fazla ışık</i>		4		6	
<i>Çok fazla ışık</i>	2	4	1	7	4
<i>Yeterli ışık</i>	22	30	31	27	30
<i>Çok az ışık</i>	16		8		4
<i>Oldukça çok az ışık</i>					

Tablo 6.11. Katılımcıların kapı pervazındaki renk ve desenleri seçebilmelerine ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça Net Seçiliyor</i>		1		3	
<i>Net Seçiliyor</i>	1	7	2	6	3
<i>Seçiliyor</i>	15	30	32	31	26
<i>Net Seçilmiyor</i>	24		6		11
<i>Renkler Hiç Seçilmiyor</i>					

Tablo 6.12. Katılımcıların sol duvardaki renkleri seçebilmelerine ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça Net Seçiliyor</i>		23		29	26
<i>Net Seçiliyor</i>	2	12	19	10	10
<i>Seçiliyor</i>	24	5	27	1	3
<i>Net Seçilmiyor</i>	14		4		1
<i>Renkler Hiç Seçilmiyor</i>					



Tablo 6.13. Katılımcıların karşı duvardaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça çok fazla</i>					
<i>ışık</i>		4		4	
<i>Çok fazla ışık</i>	2	4	5	6	2
<i>Yeterli ışık</i>	22	30	27	30	36
<i>Çok az ışık</i>	16		8		2
<i>Oldukça çok az ışık</i>					

Tablo 6.14. Katılımcıların bilgisayarda okudukları belgeye ilişkin değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Tüm yazılar kolayca okunuyor</i>					
	3	25	17	28	23
<i>Yazılar okunuyor</i>	20	12	8	10	6
<i>Bazı renkler zorlukla okunuyor</i>					
	11	3	10	2	11
<i>Yazılar zorlukla okunuyor</i>	6		5		
<i>Yazılar hiç okunmuyor</i>					

Tablo 6.15. Okuma problemi yaşayan katılımcıların değerlendirmeleri

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Mor</i>	16	1	8	2	3
<i>Mavi</i>	11	1	6		9
<i>Yeşil</i>	8	3	6		7
<i>Sarı</i>					6
<i>Turuncu</i>					
<i>Kırmızı</i>					

## 6.2. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Anketin 2. kısmı deney odasına ilişkin memnuniyet ve görsel konfora ilişkin ölçütlerin ölçülmesini amaçlayan sorulardan oluşmaktadır. Dolayısıyla 2. kısımdaki soruların güvenilirliği anketimizin güvenilirliğini verecektir. Aşağıda SPSS programı tarafından hesaplanan 10 soruya göre anket güvenilirliği görülmektedir ve değeri % 87,4 olarak gerçekleşmiştir. Bu da bize ankete katılan kullanıcıların hem yüksek oranda ilgi ile anket sorularını cevaplandıklarını hem de anket sorularının doğru hedefler gözetilerek hazırlandığını gösteren bir bilgidir.

Tablo 6.16. Anketin güvenilirlik değerlendirmesi

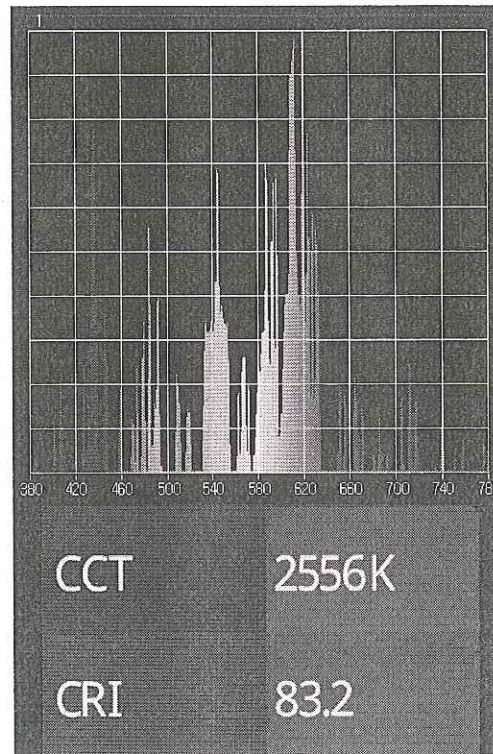
Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0,874	11

Anketten elde edilen cevaplar irdelendiğinde ışık rengi soğuk beyaz olan deney odasının kullanıcılar tarafından aydınlatmasından en az memnuniyet duyulan ve görsel konforu en düşük olarak nitelendirilen oda olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Hibrit olarak nitelendirebileceğimiz Deney Odası 2'nin memnuniyet ve görsel konfor anlamında 2. Sırada olduğu, görsel konfor ve kullanıcı memnuniyetinin en yüksek olduğu Deney odasının Deney Odası 3 olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar aydınlatmanın %100 oranında devrede olduğu durumlar için geçerlidir. Aydınlatmanın %50 oranına düşürüldüğü 2. durumda da Deney Odası 3'de görsel konforun daha yüksek olduğu görülmektedir.

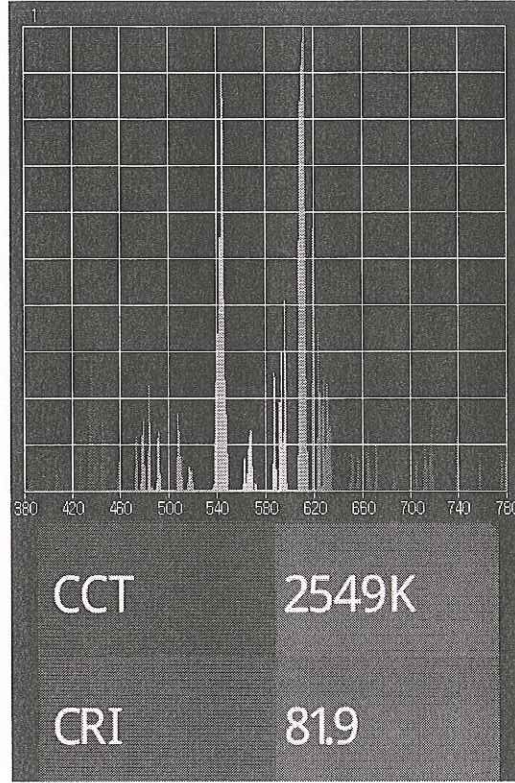
Anket katılımcıları genel olarak aydınlatmalar tam kapasiteyle çalışırken görsel konforlarının yüksek olduğunu ve algılarının daha yüksek olduğunu paylaşmışlardır. Aydınlatmanın %50 oranında azaltıldığı 2. durumda hem Deney Odası 2 hem de 3'teki anket sonuçları bazı renklerin seçilmesinin zorlaştığını ve algı düzeyi ile görsel konforun gerilediğini ortaya koymaktadır. Önceki çalışmalar hatırlanacak olursa daha yüksek aydınlık düzeylerinde ofis çalışanlarının algı ve görsel konfor düzeylerinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla düşen aydınlık düzeyleri kullanıcı

memnuniyetini de aşağı çekmektedir. Ancak bu çalışmanın en önemli ayrıştırıcı noktası dūřen aydınlık dūzeylerinin yanı sıra DALI balastlarla loşlaştırılan flūoresan ve LED armatürlerin ışık spektrumlarında kayıplarının meydana geldiğinin ispat edilmesidir. Literatürde daha önce bu konu üzerinde ağırlıklı durulmamış olması şaşırtıcıdır. Keza ışık spektrumunda kayıplar meydana gelen bir ışık kaynağının Renk Geri Verim İndeksi de bazı renkler özelinde azalmaktadır. Bu çalışmada daha dūřük gūlü bir lamba kullanımını yapılmış aydınlatmanın %50 seviyesine çekilmesi DALI balastlı kontrol sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Anketten elde edilen görsel konfor ve görsel algıya ilişkin sonuçları ışık spektrumu grafikleriyle birlikte inceleyecek olursak, spektrumdaki kayıpların özellikle mor, mavi ve yeşil renklerin okunmasında ortaya çıkan zorlukla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Aşağıda şekil 6.8. ve şekil 6.9.'da Deney Odası 2'de, aydınlatma %100 ve %50 seviyesinde çalışırken ölçü aleti tespit edilen belirli tayflardaki ışık spektrumlarına ait grafikler paylaşılmıştır. Ölçümler UPRTEK MK350S lü aleti ile gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde flūoresan lambanın %100 ve %50 çalışma durumlarında spektrumları gösterilmiştir.

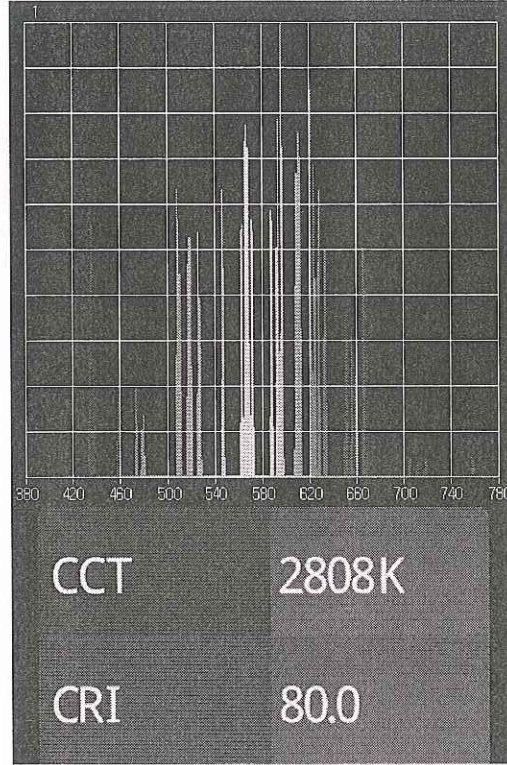


řekil 6.8. Deney Odası 2'de Aydınlatma %100 iken flūoresan lamba spektrumu

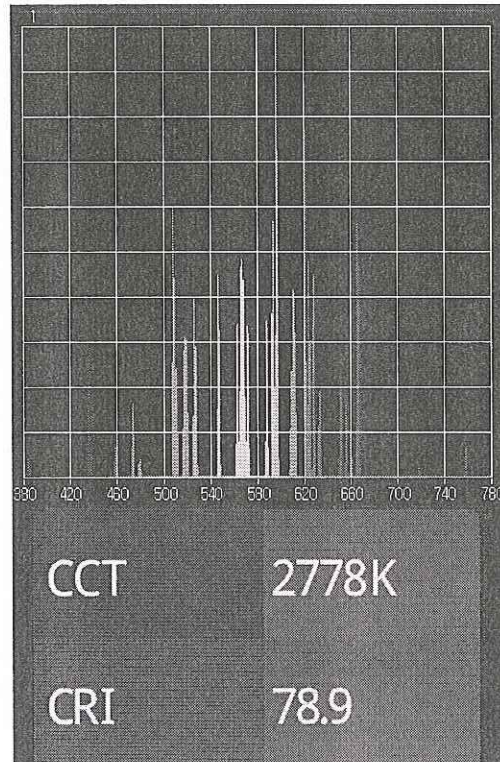


Şekil 6.9. Deney Odası 2’de Aydınlatma %50 iken flüoresan lamba spektrumu

Deney Odası 2 yani hibrit odadaki flüoresan armatüre ilişkin incelemelerde ışık spektrumundaki ciddi kayıpların mor, mavi ve yeşil renklerde ortaya çıktığı görülmektedir. DALI balastlı sistem kullanılarak yapılan loşlaştırmanın görsel konfor şartlarına ve görsel algıya zarar verdiğini göstermekte, anket sonuçları da bunu desteklemektedir. Ankete cevap veren katılımcılardan Deney Odası 2’de renk seçiminde zorlananların özellikle mor ve mavi renklerin seçiminde sorun yaşadığı görülmektedir. Defalarca kez yapılan ölçümlerden hep aynı sonuç alınmış, en doğru ölçümün yapılabilmesi için aydınlatmanın en az 30 dakika çalıştıktan sonra ölçümlerin yapılması sağlanmıştır. Renk Geri Verim İndeksi (CRI) flüoresan armatürde %100 çalışmada 83,2 olarak ölçülmüş değerin aydınlatma %50’ye indiğinde 81,9 seviyesine gerilemiş olduğu görülmüştür. Belli tayflarda ışık kaybı söz konusuysen tüm renklerin görülebilirliğinde de ciddi sayılabilecek bir azalma tespit edilmiştir. Aşağıdaki şekilde LED lambanın %100 ve %50 çalışmada spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Deney Odası 3'te Aydınlatma %100 iken LED lamba spektrumu



Şekil 6.11. Deney Odası 3'te Aydınlatma %50 iken LED lamba spektrumu

Deney Odası 3 incelendiğinde, spektrum grafiklerinde de net bir şekilde görüldüğü üzere LED Armatürün ışık spektrumunda yine mor, mavi ve yeşil renk tayflarında bir azalma dikkat çekmektedir. Sarı, turuncu ve kırmızı renklerde bu kayıp minimum seviyededir. Deney Odası 3'te görme ve okuma zorluğu çeken anket katılımcılarının mavi, yeşil ve sarı renkte sorun yaşamaları bu spektrum kaybının görsel algıya etkisinin bir kanıtıdır. Yapılan renk geriverim indeksi (CRI) ölçümünde %100 çalışmada 80 olarak ölçülmüş değerin aydınlatma %50'ye indiğinde 78,9 seviyesine gerilemiş olması spektrumdaki kaybın görmeyi zorlaştırdığının başka bir kanıtı olarak sunulabilir.

Göz bozuklukları minimal seviyede olan 40 kişilik bir değerlendirme grubu tarafından gerçekleştirilen bu anket çalışması aydınlatmada enerji verimliliği için yapılan loşlaştırmanın her ne kadar enerji sarfiyatını azaltıyor olsa da görsel koşullara belli oranda zarar verdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Deney Odası ve Deney Odası 3'te loşlaştırma sonrası görme problemi yaşayanlarının 2'sinin 20-30 yaş aralığında, 9'unun 31-40 yaş aralığında olması ilerleyen yaşlarda görme performansının azaldığına dair önemli bir veri olarak önceki çalışmalarla örtüşmektedir. %50 seviyesinde loşlaştırma yapıldığında TR2'de aydınlık düzeyi 200 lux, TR3'te 255 lux civarında olmasına karşın, tamamı LED lambalardan oluşan TR3'teki aydınlatma tesisatı altında daha fazla renk ile ilgili görsel sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu Flüoresan aydınlatmanın Renk Geri Verimi konusunda halen LED aydınlatmanın önünde olduğunu ve loşlaştırma ile meydana gelen elektriksel bozulumlardan LED lambaların daha fazla etkilendiğinin bir göstergesidir.

Loşlaştırma esnasında meydana gelen elektriksel parametre değişimlerinden hangilerinin buna sebep olduğu ve hangi oranda loşlaştırma yapılırsa ışık spektrumundaki kaybın hangi oranda gerçekleşeceği irdelenmesi gereken önemli bir konudur. Önceki bölümlerde özellikle loşlaştırma ile ortaya çıkan harmonik bozunumların enerji kalitesine ciddi zararlar verdiği üzerine sayısal bilgi ve ölçüm sonuçları paylaşılmış, bu harmonik bozunumları ortadan kaldırmak için aktif filtre kullanılması tavsiye edilmiş ve öneri bazında bir aktif filtre tavsiyesinde bulunulmuştu. Aktif filtre kullanımı olmaksızın loşlaştırma yapıldığında ortaya çıkan

ışık spektrumundaki belli dalga boylarındaki tayf kaybının ortaya çıkan harmonik bozunumlarla ilişkisi olduğu elde edilen veriler ve ölçümler ışığında aşikârdır. Bu noktada harmonik bozunumların ortadan kaldırılması ile spektrumdaki kayıpların ortadan kaldırılıp kaldırılamayacağı sorusu akıllara gelmektedir. Günümüzde aydınlatma ekipmanları için tasarım, prototiplendirme ve üretim maliyetleri çok yüksek olan aktif filtrenin, ilerleyen dönemlerde ilgili maliyetlerinin düşürülerek aydınlatma sistemleri entegrasyonu ile bu konu açığa kavuşturulabilir. Bu tez çalışması sonrasında amaç bu konunun araştırılması için ulusal bir proje desteği almaktır.

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

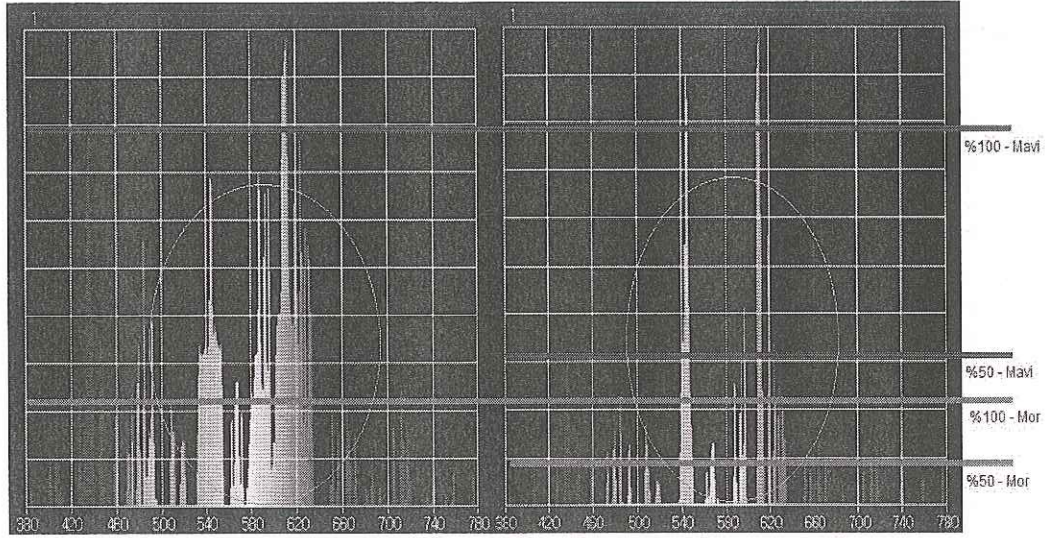
Bu tez çalışmasında, aydınlatma kontrolünde kullanılan loşlaştırmalı sistemlerin neden olduğu elektriksel bozunumların getirdiği, sayısal ve nicel olarak herhangi bir ölçümle ilişkilendirilemeyen ancak yapay aydınlatma altında yapılan işleri ve bunların sonuçlarını aynı zamanda kullanıcıların performanslarını etkileyen faktörleri ortaya koymak için gayret gösterilmiştir. Ayrıca aydınlatmada yüksek enerji tasarrufu sağlayan flüoresan ve LED sistemlerinin enerji kalitesi bakımından çıktılarını karşılaştırılmış ve özellikle ortaya çıkan harmonik bozunumları elimine ederek aydınlatma kalitesini arttırmak amacıyla bir filtreleme modeli önerilmiştir. Daha fazla enerji tasarrufu sağlamak için loşlaştırmalı aydınlatma kontrolü uygulanan sistemler bu talebe cevap verirken ne yazık ki birçok farklı soruna sebep olmaktadır. Görme kalitesinde düşme, görsel performansta azalma, dikkat kayıpları, renklerin yanlış görülmesi gibi problemler, 2. Bölümde de bahsedildiği üzere, önceki bilimsel çalışmalarda da aydınlatma şartları ile ilişkilendirilmiş problemlerdir.

Loşlaştırmalı sistem mantığı aydınlatmanın yüksek seviyede ihtiyaç olmadığı anlarda ya da dinlenme ve/veya çalışma sahasının terkedilmesi gibi durumlarda aydınlık düzeyleri ve dolayısıyla enerji tüketimini aşağıya çekmektir. Bu bağlamda mevcut sistemlerde balast değişikliği, yeni kurulacak sistemlerde de bu amaca uygun elektronik devre ve balastlar kullanılması tercih edilen yoldur. Günümüzde uluslararası anlaşmalara bağlı olarak işin çeşidine göre ister ofiste ister fiziksel çalışmalarda çalışma saatlerinin 8 saatin üzerinde olmadığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla işte geçirilen sürenin büyük bir kısmında aktif çalışma yapılması beklenmektedir. Düşük aydınlık düzeylerinde uyku hormonun artışı geçtiği bilgisi, ilerleyen yaşlarda aydınlığa duyulan ihtiyacın yükseldiği bilgisi ile birleştiğinde loşlaştırma işleminin sorgulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

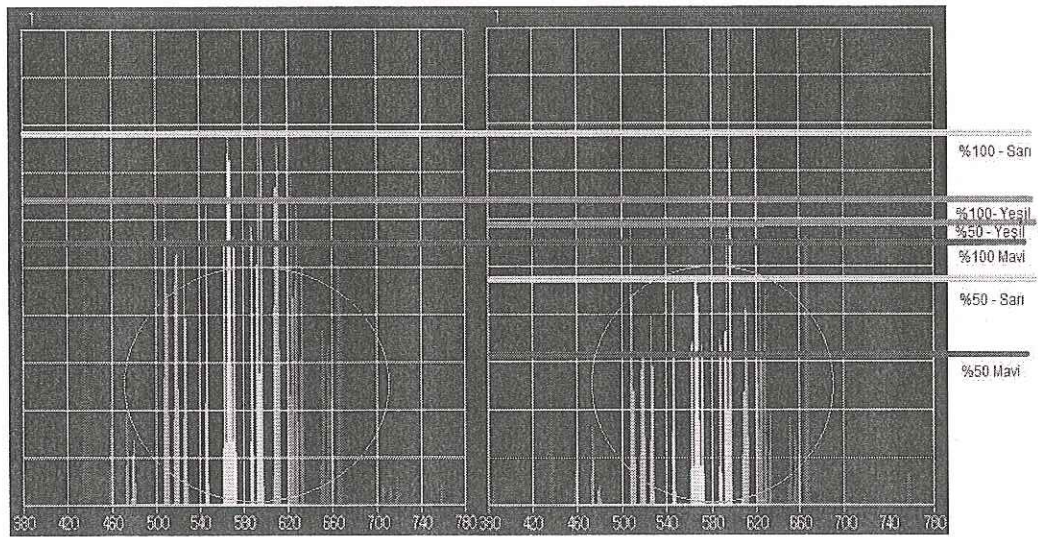


Bu zamana kadar yapılmış olan bilimsel çalışma ve araştırmalarda loşlaştırma sonrası görsel performans ve ilişkili parametreler araştırılmış olsa da loşlaştırma uygulanan aydınlatma aygıtlarının dışarıya vermiş olduğu işığın spektrumun detaylı incelenmesi üzerinde durulmamıştır. Bu alışma kapsamında kurulan deney odalarından alınan elektriksel veriler 40 katılımcı ile gerçekleştirilen anket sonuçlarıyla birlikte incelendiğinde ortaya çıkan sonuç son derece anlamlıdır. Loşlaştırma esnasında enerji tknetimi, çekilen akım, çekilen aktif güç tasarruf anlamında azalırken, harmonikler artmakta, g faktörü değerleri aşağıya düşmektedir. Aynı anda ofiste bulunan bireylerin görme performansları incelendiğinde, renklerin seçilememesi ve okumada zorlanma gibi, gözlemlenen ciddi dşuş, ister istemez loşlaştırma sonucu ortaya çıkan elektriksel bozunumların görsel konularla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu noktada anket verileri görsel performansı düşen katılımcılar bakımından incelediğinde 31-40 yaş arasında oranın daha yüksek olduğu görülmektedir.

Renk Geri Verim İndeksi lamba seçiminde önemli bir kriter olduğu gibi yapılan işin niteliğine göre renk algısını direk olarak etkilediği için yüksek olması tercih edilir. Ancak özellikle bu doktora tezinde rneği verildiği şekilde DALI balastların kullanıldığı loşlaştırmalı sistemlerde loşlaştırma yapılmasıyla birlikte Renk Geri Verim İndeksinin de belli oranda azaldığı görülmektedir. Loşlaştırma sonrası özellikle mor, mavi ve yeşil renklerin okunmasında zorluk çekilmesi bunun önemli bir ispatıdır. Şekil 6.8. ve Şekil 6.9. ile Şekil 6.10. ve Şekil 6.11. bir arada incelenecek olursa loşlaştırma sonucu işık spektrumundaki tayf kayıpları daha net görülebilir. %100 çalışma ve %50 loşlaştırmada belli renklerdeki tayf kayıpları ve spektrumun geniş tayfa yayıldığı 460-660 nm arasındaki yoğunluk farkları her iki Şekilde de işaretlenmiştir. Flüoresan lamba loşlaştırmasıyla özellikle Mor, Mavi ve Yeşil renkler, LED lamba loşlaştırması ile özellikle mavi, yeşil ve sarı renk tayflarında ciddi kayıplar göze çarpmaktadır.



Şekil 7.1. %50 oranında Loşlaştırma uygulanmış Flüoresan armatürün ışık spektrumundaki tayf kayıpları



Şekil 7.2. %50 oranında Loşlaştırma uygulanmış LED armatürün ışık spektrumundaki tayf kayıpları

DALI balastlı loşlaştırılabilir bir aydınlatma sisteminin hiç loşlaştırma yapılmadığında bile harmonik bozunumun %20'ler seviyesinde olduğu, loşlaştırma arttıkça bunun % 40-50 seviyelerine doğru arttığı göz önüne alındığında, enerji tasarrufu ya da enerji verimliliği yolunda çalışırken farkında olmadan hem görme ve iş performansının olumsuz etkilendiği hem de uluslararası standartlara uymayacak nitelikte bir çalışmanın yapıldığı ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda vurgulandığı üzere mevcut elektriksel bozunum ya da başka bir deyişle güç kalitesi problemlerini çözmek amacıyla bu tez kapsamında iki farklı metotla simüle edilmiş aktif filtre tavsiyesinde bulunulmuştur. Aydınlatma sistemindeki DALI balasta entegre edilmesi fikriyle önerilen aktif filtre tasarımı, harmonikleri ve güç faktörü bozulmalarını elimine etmekte MATLAB/Simulink simülasyonlarında başarılı olmuştur. İlk olarak PWM yöntemi ile tasarlanmış olan aktif filtre için simülasyonlar yapılmış neticede THD değerinin standartlar tarafından istenilen değere indirilmesi sağlanmıştır. Ancak PWM ile gerçekleştirilen filtreleme sisteminde, harmonik bozunumları her ne kadar limitler dâhilinde tutuluyor olsa da kaynak akımı ve gerilim doğrultma gibi konularda filtrenin kararsız çalıştığı tespit edilmiştir. Ayrıca PWM yönteminde kullanılan anahtarlama uygulamalarının olası hatalı tetiklemelere ve bazı kayıplara sebep olabileceği öngörülerek yeni bir tasarım arayışına girilmiştir.

İkinci aktif filtre tasarımı ise SRF yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan SRF filtrenin simülasyonu neticesinde THD değerlerinin, PWM filtresine sonuçlarına göre oldukça aşağıda olduğu gözlemlenmiştir. Gerek uygulama kolaylığı gerekse güç kalitesi parametrelerindeki başarılı sonuçları oldukça tatmin edici olan SRF tekniği, yakın gelecekte aydınlatma sistemlerindeki güç kalitesi problemlerini en aza indirecek bir çözüm yöntemi olma potansiyeli ile ön plana çıkan tasarım olmuştur.

Tavsiye edilen SRF tabanlı aktif filtrenin fiziki ebatlarının büyük olması ve LED sürücü devrelerinin çıkışına uygulanan söz konusu filtrenin bireysel entegrasyonu zor gözükmeyle beraber, toplu yüklere merkezi bağlantı yapılarak güç kalitesi parametrelerine müdahale edilebileceği gözükmektedir. Aktif filtrenin boyutlarının küçültülerek her bir LED sürücü devresine ayrı ayrı entegrasyonu ise bundan sonra üzerinde çalışabilecek, araştırmaya açık bir konu olarak dikkat çekmektedir.

Ülkemizin toplam elektrik enerjisi tüketiminde son 15 yıllık süreçte %2 - %5 arası [74] bir paya sahip olan genel aydınlatmada (sokak ve yol aydınlatmaları) enerji tasarrufu sağlamak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca yoğun olarak yürütülen çalışmalar arasında, kolay uygulanabilir ve izlenebilir olduğu için LED’li armatürlerin

kullanılması konusu gündemdedir. Türkiye’de var olan 17 milyon adet sokak lambasının enerji tasarrufu sağlamak amacıyla ilk etapta 6-7 milyon adedinin LED’li sisteme dönüştürülmesi planlanmaktadır [74]. 3-4 milyar TL ye mal olması düşünülen bu değişimin, en yüksek enerji tasarruf değerlerine ulaşması amaçlanırken, yollardaki güvenlik ve konfor koşulları açısından gerekli olan aydınlatma kalitesinin de tehlikeye sokulmamasına dikkat edilmelidir. Zira LED’li sistemlerde tasarruf sağlamak amacıyla kullanılan loşlaştırma senaryolarının görsel algılama ve renk geri veriminde yaptığı tahribatlar ve kamaşma gibi problemler tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda da ortaya konulmuştur.

Öte yandan LED’li sistemlere geçişte göz ardı edilen en büyük problemlerden biri de LED aydınlatma aygıtlarının elektrik şebekesinin güç kalitesini bozucu etkisidir. En yüksek harmonik bozunum değerine sahip olan (%159’a kadar) LED armatürlerin, toplu olarak elektrik şebekesi sistemine dâhil olduklarında sebep olacakları tahribatı en aza indirgeyebilmek için filtre sistemleri uygulanması zaruridir. Her bir LED armatür için filtreleme yerine LED armatürleri gruplara ayırarak filtre sistemi uygulamak her ne kadar maliyeti düşürse de, gerek filtre sistemlerinin oldukça pahalı olması gerek Türkiye genelindeki 6-7 milyon sokak ve yol aydınlatması armatürü var olduğu düşünülecek olursa milli bütçeye yükü, elde edilmesi tasarlanan tasarrufa ciddi anlamda gölge düşürecek bir gerçektir.

Tez çalışması genelinde elde edilen bulgular, test ve deney sonuçları, kullanıcı geri bildirimleri ve elektriksel parametreler göz önüne alındığında bu tez çalışması özetle aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Loşlaştırma uygulanan aydınlatma sistemlerinde enerji sarfiyatı azalsa da başka elektriksel parametrelerde bozunumlar ortaya çıkmaktadır.
- Loşlaştırma sonucu en fazla toplam harmonik bozunum artmaktadır.
- Loşlaştırma sonucu ortaya çıkan harmonik bozunumlar ışığın spektrumunda tayf kaybına sebep olmaktadır.
- Loşlaştırma sonucu Renk Geri Verim İndeksi belli oranlarda azalmaktadır.

- Loşlaştırma sonucunda görsel performans düşmektedir.
- Görsel performanstaki düşüş algı düzeyini aşağı çekmektedir.
- İleri yaşlardaki çalışanlar için loşlaştırma, performans ve dikkat kaybına neden olabilmektedir.
- Harmonik bozunumların ortadan kaldırılması için aktif filtreleme yöntemi kullanılabilir. Ancak günümüz teknoloji şartlarında pahalı bir yöntemdir.
- Loşlaştırma amacıyla kullanılan elektronik bileşen miktarı arttıkça harmonik bozunumlar ve dolayısıyla spektrum kaybı da artmaktadır.
- Enerji verimli ve tasarruf oranı yüksek, konvansiyonel lambalara göre daha fazla aydınlık düzeyi sağlayabilen LED lambalarda loşlaştırma yapılmaması elektriksel bozunumların önüne geçebilecek bir seçenektir.
- Loşlaştırma yerine bir hacmin aydınlatma tasarımı yapılırken yapılacak işin gereği ve görsel algı seviyesinin ne olduğuna dikkat edilirse hem gereksiz fazla ışığın hem de gereksiz aydınlatma kontrolü ve elektriksel bozunumların önüne geçilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] EİE enerji verimliliği kanunu, [www.eie.gov.tr/EV\\_kanunu](http://www.eie.gov.tr/EV_kanunu), Erişim Tarihi: 14.09.2007.
- [2] Gökçay, G., Aydınlatmada Enerji Verimliliği Sempozyumu, 11/32, 2008.
- [3] Gençoğlu, M.T., Aydınlatmada enerji verimliliği yöntemleri, 3. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Ankara, 2005.
- [4] Perdahçı, C., Verimli aydınlatma yöntemleri, 3E Elektrotech, 2010.
- [5] Erol, Y., Aydınlatma sektöründe yeni nesil power LED teknolojileri, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu, 2011.
- [6] Perdahçı, C., Hanlı, U., "LED teknolojisi", Enerji Verimliliği Konferansı, 2009.
- [7] Erol, Y., Canbolat, T., aydınlatma sektöründe yeni nesil power LED teknolojileri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011.
- [8] Gencer, Ö., Öztürk, S., Alboyacı, B., Yeğın, M., Çeşitli aydınlatma aygıtlarının emtp/atp ile harmonik modellenmesi, Kocaeli Üniversitesi Dergisi, 2003.
- [9] Chiogna, M., Mahdavi, A., Albatici, R., Frattari, A., Energy efficiency of alternative lighting control systems, Lighting Res. Tecnology, 2011.
- [10] Kosir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Kristi, Z., automatically controlled daylighting for visual and non-visual effects, Lighting Res. Tecnology, 2011.
- [11] Rosillo, FG., Castejon, F., Egido, MA., Emissions and economic costs of cycling compact fluorescent lamps with integrated ballasts, Lighting Res. Tecnology, 2011.
- [12] Majithia, CA., Desai, AV., Panchal, AK., Harmonic analysis of some light sources used for domestic lighting, Lighting Res. Tecnology, 2011.

- [13] Yavuz, C., Yanikoglu, E., Guler, O., Determination of real energy saving potential of daylight responsive systems: a case study from Turkey, *LIGHT & ENGINEERING*, Vol. 18, pp. 99-105, ISSN : 0236-2945, June 2010.
- [14] Yavuz, C., Yanikoglu, E., Guler, O., evaluation of daylight responsive lighting control systems according to the results of a long term experiment, *LIGHT & ENGINEERING*, Vol. 20, ISSN : 0236-2945, December, 2012.
- [15] Albu, H.C., Halonen, L., Tetri, E., Pop, F., Beu, D., Luminous and power quality analysis of office building light sources, *Lighting Res. Tecnology*, 2012.
- [16] Logadottir, A., Christoffersen, J., Fotios, S.A., Investigating the use of an adjustment task to set the preferred illuminance in a workplace environment, *Lighting Res. Tecnology*, 2011.
- [17] Dugar, A.M., Donn, M.R., Tangible intervention: improving the effectiveness of lighting control systems, *Lighting Res. Tecnology*, 2011.
- [18] George, V., Bagaria, A., Prakash, S., Sankalp, R.P. and Swati, P., Comparison of CFL and LED lamp – harmonic disturbances, economics (cost and power quality) and maximum possible loading in a power system, *Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (ICUE)*, 2011.
- [19] Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, S., Hannan, M.A., Investigation of harmonic generation from dimmable LED lamps, *Przegląd Elektrotechniczny*, Issn 0033-209, 2013.
- [20] Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, S., Hannan, M.A., Investigation of harmonic generation from low wattage LED lamps”, *Journal of Applied Sciences Research*, 2012.
- [21] Omar, M.H., Rahman, H.A., Majid, M.S., Rosmin, N., Hassan, M.Y, Wan, Omar, W.Z., Design and simulation of electronic ballast performance for high pressure sodium street lighting, *Lighting Res. Tecnology*, 2013.
- [22] Castro, G., Munoz, M., Larsson, A., Rosa, J.J.G., Bollen, M.H.J., LED street lighting: a power quality comparison among street light technologies, *Lighting Res. Tecnology*, 2013.
- [23] Sivaji, A., Shopian, S., Mohd, Z., Chuan, N., Bahri, S., Lighting does matter: preliminary assessment on office workers, *Procedia-Social and Behavior Sciences*, 2013.

- [24] Wei, M., Houser, K., Lang, D., Ram, N., Sliminski, M., Bose, M., Field study of office worker responses to fluorescent lighting of different cct and lumen output, *Journal of Environmental Psychology*, 2014.
- [25] Linhar, F., Scartezzini, J., Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance?, *Building and Environment*, 2014.
- [26] Islam, MS., Dangol, R., Hyvarien, M., Bhusal, P., Puolakka, M., Halonen, L., User acceptance studies for LED office lighting: lamp spectrum, spatial brightness and illuminance, *Lighting Res. Technology*, 2015.
- [27] Charness, N., Dijkstra, K., Age, luminance and print legibility in homes, offices and public places”, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1999.
- [28] Chung, T.M., Burnett, J., Lighting quality surveys in office premises, *Indoor and Built Environment*, 2000.
- [29] Ir W.J.M. van Bommel, Ir G.J. van den Beld, Philips Lighting, The Netherlands, 2003.
- [30] Tetlow, K., Task lighting solution: their economic and ergonomic benefits, *Educational Advertising Section*, 2007.
- [31] Shamsul, B.M.T, Sia, C.C., Neg, Y.G, Karmegan, K., Effects of light’s colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students, *American Journal of Public Health Research*, Vol. 1, No. 7, 159-165, 2013.
- [32] Samani, S.A., The impact of indoor lighting on students learning performance in learning environments: a knowledge internalization perspective, *International Journal of Business and Social Science* Vol. 3 No. 24, 2012.
- [33] Siti, M.B.J., Employees perceptions on effect of lighting that affect employee performance in the workplace, *Faculty of Cognitive Sciences and Human Development University Malaysia*, 2015.
- [34] Atmaca, İ., Ekren, O., Kara, M., Karadeniz, Z.H., Kazanasmaz, T., Sayar, İ., Sofuoğlu, A., Sofuoğlu, S., Toksoy, M., Yüksel, H., Varlık, N., Okullarda aydınlatma ve görsel konfor, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü*, 2015.
- [35] Hayta, A.B., Çalışma ortamı koşullarının işletme verimliliği üzerine etkisi, *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, Sayı: 1, 2007.
- [36] Instrument systems GmbH, “Handbook of LED metrology”, 2008.



- [37] Bayram, H., Temel elektronik, Özkan Matbaacılık, 1998.
- [38] Boylestad, R., Nashelsky, L., Electronic devices and circuit theory, 7. Edition, 2009.
- [39] Özütürk, E., Atmalı yüksek akımlarda kullanılan LED sürücü devrelerinin incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2012.
- [40] Yang, H., Signal processing for LED lighting systems, Cıp-Data Library, Technische Universität Eindhoven, 2010.
- [41] Özütürk, E., LED'in elektriksel karakteristiklerinin optik karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2006.
- [42] Dugan, R., Mcgranaghan, M., Santoso, S., Beaty, W., Electrical power systems quality, McGraw Hill, New York, 2002.
- [43] Kocatepe, C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., Elektrik tesislerinde harmonikler, Birsen Yayınevi, 2003.
- [44] Şenyurt, Ö., Elektrik tesislerinde harmonikler, Yüksek Lisans Semineri, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [45] Adak, S., Enerji sistemlerinde harmonik distorsiyununun azaltılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E., 2003.
- [46] Göçmen, E., Özdemir, Ş., Farklı tip aydınlatma aygıtlarının harmonik etkilerinin karşılaştırılması, EVK, 2013.
- [47] Adak, S., Investigation of harmonic generation from low wattage LED lambs, Journal Of Applied Sciences Research, 2013.
- [48] Acarkan, B., Kılıç, O., İnan, A., Alçak gerilimde tek fazlı yükler için harmonik akım sınırları, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO, 2004.
- [49] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Teknik Şartnamesi, TEDAŞ-ARGEP/2010-057.B., 2013.
- [50] International energy agency, daylight in buildings a source book on daylighting systems and components, A Report of IEA SHC Task 21/ECBCS Annex 29, 2000.
- [51] Chapman, D., Güç kalitesi uygulama kılavuzu, Copper development association, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2001.
- [52] Singh, B., Al-Haddad, K., Chandra, A., A review of active filters for power quality improvement, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1999.

- [53] Akagi, H., Active harmonic filters, Proceedings of the IEEE, 2005.
- [54] Bhattacharya, S., Frank, T.M., Divan, D. M., Banerjee, B., Active filter system implementation, IEEE Industry Applications Magazine, 1998.
- [55] Zeng, J., Yu, C., Qi, Q., Yan, Z., Ni, Y., Zhang, B.L., Chen, S., Wu, F.F., A novel hysteresis current control for active power filter with constant frequency, Electric Power Systems Research, 2004.
- [56] Kale, M., Özdemir, E., An adaptive hysteresis band current controller for shunt active power filter, Electric Power Systems Research, 2005.
- [57] Özkaya, H., Parallel active filter design, control, and implementation, Master Thesis, Middle East Technical University, 2007.
- [58] Rejil, C., Anzari, M., Arun, Kumar R., Design and simulation of three phase shunt active power filter using SRF theory, Advance in Electronic and Electric Engineering, 2013.
- [59] Tırmıkçı, C.A., Yavuz, C., Design and simulation of three phase shunt active power filter to eliminate harmonics of LED lighting loads, Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO, 2015.
- [60] Bhusal, P., Tetri, E., Halonen, L., Quality and efficiency of office lighting, EPIC 2006 AIVC, Lyon, France, 2006.
- [61] Yener, A.K., Pencerelelere uygulanan gölgeleme araçlarının tasarımında iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla kullanılabilen bir yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [62] Erdem, L., ENARUN, D., Aydınlatmanın sübjektif analizinde kullanılan anket yöntemleri, EMO 5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 2009.
- [63] Manav, B., An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance, Building and environment, 42, 2, pp. 979-983, 2007.
- [64] Reinhardt, C., Fitz, A., Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design, Energy and Buildings, 38, 7, pp. 824-835, 2006.
- [65] Barlow, S., Fiala, D., Occupant comfort in UK offices – How adaptive comfort theories might influence future low energy Office refurbishment strategies, Energy and buildings, 39, 7, pp. 837-846, 2007.

- [66] Moore, T., Carter, D.J., Slater, A.I., A study of opinion in offices with and without user controlled lighting, *Lighting research and technology*, 36, 2, pp. 131-146, 2004.
- [67] Zınzı, M., Office worker preferences of electrochromic Windows: a pilot study, *Building and environment*, 41, 9, pp. 1262-1273, 2006.
- [68] Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C.M., Occupant use of switching and dimming controls in offices, *Lighting research and technology*, 38, 4, pp. 358-378, 2006.
- [69] Moore, T., Carter, D.J., Slater, A.I., A qualitative study of occupant controlled office lighting, *Lighting research and technology*, 35, 4, pp. 297-317, 2003.
- [70] Maarwae, M.A., Carter, D.J., A field study of tubular daylight guidance installations, *Lighting research and technology*, 38, 3, pp. 241-258, 2006.
- [71] Erdem, L., Enarun, D., Aydınlatmanın sübjektif analizinde kullanılan anket yöntemleri, EMO 5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 2009.
- [72] Yavuz, C., Günışığına bağlı aydınlatma kontrolü ile iç aydınlatmada enerji tasarrufunun ve ilişkili parametrelerin belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Doktora Tezi, 2010.
- [73] Eymen, E.U., SPSS 15.0, Veri analiz yöntemleri, [www.istatistikmerkezi.com](http://www.istatistikmerkezi.com), Erişim Tarihi: 14.09.2007.
- [74] Onaygil S., LED'li yol aydınlatması ve enerji verimliliği, 5. Enerji Verimliliği Sempozyumu, 2013.

## **EKLER**

### **EK A: ANKET SORULARI**

#### **Kişisel Bilgiler**

**1) Herhangi bir göz bozukluğunuz var mı?**

Diğer

Astigmat

Miyop

Hipermetrop

Yok

**2) Şu anda gözlük veya lens kullanıyor musunuz?**

Evet

Hayır

**3) Yaşınız:**

**4) Cinsiyetiniz**

Erkek

Kadın

**5) Eğitiminiz**

Lise veya altı

Önlisans – Lisans

Lisansüstü

**6) Mesleğiniz hangi ortamda daha çok bulunmanızı gerektiriyor?**

Ofis

Saha

**7) Ofisinizdeki günlük çalışma süreniz**

- 6 – 8 saat
- 4 – 6 saat
- 4 saatten az

**8) Günlük çalışmanızın yüzde kaçını bilgisayar ekranı önünde yapıyorsunuz?**

- %0 – 20
- %20 – 40
- %40 – 60
- %60 – 80
- %80 – 100

**9) Çalışma mekanınızdaki aydınlatma şartları nasıl?**

- Sadece Yapay
- Yapay + Gün ışığı karması
- Sadece Gün ışığı

**10) Hangi ortamda çalışmayı tercih edersiniz?**

- Sadece Yapay
- Yapay + Gün ışığı karması
- Sadece Gün ışığı
- Fark etmez

**11) Aylık geliriniz ne kadar?**

- 0-1300 TL
- 1300-2500 TL
- 2500-5000 TL
- 5000 üzeri

**Deney Odaları Aydınlatması Üzerine**

*Sayın Katılımcı;*

*Lütfen her bir deney odasında 15 dakika kaldıktan sonra soruları cevaplamaya başlayınız. 10.soruya ulaşmadan odanın aydınlatmasında herhangi bir değişiklik yapmayınız. 10 ve 11. Soruları cevaplandırdıktan sonra 1. Soruya geri dönerek 9. Soruya kadar Deney odası 2 ve 3 için 2.durum ibareleri sütunları doldurunuz.*

**1) Çalışma düzleminizdeki görme performansınızı nasıl değerlendiriyorsunuz? (Ne kadar iyi görebiliyorsunuz?)**

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok iyi</i>		31	24		
<i>İyi</i>	6	7	10		
<i>Normal</i>	29	2	6		
<i>Kötü</i>	5				
<i>Çok Kötü</i>					

2) Etrafınıza baktığımızda görsel konforunuz hangi seviyede olduğunu düşünüyorsunuz?

(Etrafınıza ne kadar iyi bakabiliyorsunuz? Yansıma, parlama v.b rahatsız ediyor mu?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Konforlu</i>					
<i>Konforlu</i>					
<i>Normal</i>					
<i>Konforsuz</i>					
<i>Çok Konforsuz</i>					

3) Çalışma Düzlemi ile odanın diğer noktaları arasındaki ışık dağılımı farklılıkları nasıl?

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok iyi</i>					
<i>İyi</i>					
<i>Normal</i>					
<i>Kötü</i>					
<i>Çok Kötü</i>					

4) Ortamdaki görsel atmosferden memnun musunuz? (Daha fazla veya az, farklı bir aydınlatma yapılabilir miydi?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Memnunum</i>					
<i>Memnunum</i>					
<i>Normal</i>					
<i>Pek Memnun Değilim</i>					
<i>Hiç Memnun Değilim</i>					

5) Işık renginden memnun musunuz? (Uygun mu, rahatsız mı ediyor?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Memnunum</i>					
<i>Memnunum</i>					
<i>Normal</i>					
<i>Pek Memnun Değilim</i>					
<i>Hiç Memnun Değilim</i>					

Pek memnun değilim veya hiç memnun değilim şıklarını seçtiyseniz nasıl olmasını isterdiniz

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2	Deney Odası 3
<i>Daha Beyaz</i>			
<i>Daha Sarı</i>			

6) Odanın aydınlatması biyolojik saatinizi nasıl etkiliyor? (Aydınlatma yoruyor ya da canlandırıyor mu?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Fazlasıyla Canlılık veriyor</i>					
<i>Biraz canlandırıyor</i>					
<i>Herhangi bir etki yapmadı</i>					
<i>Biraz Yoruyor</i>					
<i>Fazlasıyla Yoruyor</i>					

7) Odanın aydınlatması görsel algınızı nasıl etkiledi?

(Performansı düşürüyor ya da artırıyor mu?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Algım bir hayli arttı</i>					
<i>Algım biraz arttı</i>					
<i>Herhangi bir etki yapmadı</i>					
<i>Algım biraz azaldı</i>					
<i>Algım bir hayli azaldı</i>					

8) Sürekli bu odada çalıştığınızı varsayarak, lütfen odadaki aydınlatma koşullarını değerlendiriniz.

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Çok Konforlu</i>					
<i>Konforlu</i>					
<i>Normal</i>					
<i>Konforsuz</i>					
<i>Çok Konforsuz</i>					

9-11) Bu soruları cevaplandırırken aşağıda verilen noktalardaki aydınlatma seviyelerinin oranı nasıl? (Lütfen soruları odada en az 15 dakika geçirdikten sonra cevaplayınız )

a) Masa(Çalışma Düzlemi – Size bırakılan kitapta okuma yaparken)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça çok fazla ışık</i>					
<i>Çok fazla ışık</i>					
<i>Yeterli ışık</i>					
<i>Çok az ışık</i>					
<i>Oldukça çok az ışık</i>					

b) Kapı Pervazı (Pervazdaki desenler seçilebiliyor mu?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça Net Seçiliyor</i>					
<i>Net Seçiliyor</i>					
<i>Seçiliyor</i>					
<i>Net Seçilmiyor</i>					
<i>Renkler Hiç Seçilmiyor</i>					

c) Sol duvar (Duvarda asılı yazıdaki renkler seçilebiliyor mu?)

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça Net Seçiliyor</i>					
<i>Net Seçiliyor</i>					
<i>Seçiliyor</i>					
<i>Net Seçilmiyor</i>					
<i>Renkler Hiç Seçilmiyor</i>					

d) Karşı Duvar

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Oldukça çok fazla ışık</i>					
<i>Çok fazla ışık</i>					
<i>Yeterli ışık</i>					
<i>Çok az ışık</i>					
<i>Oldukça çok az ışık</i>					

10) Lütfen Bilgisayarın masaüstündeki “Okunacak belge” adlı docx uzantılı dosyayı açınız ve farklı renklerdeki yazıları okuyunuz. Deney Odası 2 veya 3’te iseniz bu okumadan sonra lütfen Aydınlatma Kontrol Kumandası üzerindeki 2 numaralı tuşa basınız. Bu durumda 5 dakika bekledikten sonra aynı belgedeki okuma performansınızı tuşa basmadan önceki performansınızla kıyas ederek anketi doldurunuz.



Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Tüm yazılar kolayca okunuyor</i>					
<i>Yazılar okunuyor</i>					
<i>Bazı renkler zorlukla okunuyor</i>					
<i>Yazılar zorlukla okunuyor</i>					
<i>Yazılar hiç okunmuyor</i>					

11) Deney Odası 1’de ve 2 numaralı tuşa bastıktan sonra Deney Odası 2 ve/veya 3’te herhangi bir okuma problemi yaşadığınız hangi renklerde yaşadığınızı işaretleyiniz.

Cevaplar	Deney Odası 1	Deney Odası 2 (1.durum)	Deney Odası 2 (2.durum)	Deney Odası 3 (1.durum)	Deney Odası 3 (2.durum)
<i>Mor</i>					
<i>Mavi</i>					
<i>Yeşil</i>					
<i>Sarı</i>					
<i>Turuncu</i>					
<i>Kırmızı</i>					

## **EK B: Katılımcıların Okuduğu Belge**

İçinde bulunduğunuz bina Mühendislik Fakóltesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne ait olan M-6 binasıdır.

Şu anda Araştırma Görevlisi Banu Tabak Erginöz'ün doktora tez çalışması kapsamında yapılan anketine iştirak etmektedir.

Bu anket sırasında sizden odanın aydınlığına ilişkin bazı soruları cevaplamamız istenecektir.

Lütfen aydınlığa ilişkin bu soruları cevaplamadan önce odada toplamda en az 15 dakika kaldıktan sonra anketi cevaplamaya başlayınız.

Anketine katıldığınız doktora tez çalışması farklı aydınlık düzeyleri ile görsel performans vb. konuların ilişkisini araştırmaktadır.

Bu ankete gönüllü olarak katılıp önemli bir bilimsel çalışmaya karşılıksız destek verdiğiniz için sizlere şükranlarımızı sunarız.

## ÖZGEÇMİŞ

Banu Erginöz, 14.09.1978 de Eskişehir' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 1995 yılında Ali Dilmen Lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında başladığı SAÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliğini bölümünü 2000 yılında bitirdi. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl yüksek lisans eğitimine de başladı. 2003 yılında bitirdiği yüksek lisans eğitiminin ardından, 2004 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde doktora çalışmasına başladı.