

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İŐIK KAYNAKLARINDA FLİKER ETKİSİ VE VERİMLİLİK İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH KUŞ

TEZ DANIŐMANI  
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2023  
10588311

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İŐIK KAYNAKLARINDA FLİKER ETKİSİ VE VERİMLİLİK İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH KUŞ

TEZ DANIŐMANI  
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2023

10588311

## BEYAN

“Işık Kaynaklarında Fliker Etkisi ve Verimlilik İlişkisi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>		<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	<b>X</b>
<b>Destek alındı ise;</b>			
<b>Destekleyen kurum;</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		Proje Numarası	
<b>1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</b>			
<b>2-TÜBİTAK</b>			
<b>Diğer;.....</b> .....			
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı:</b>		...../..... .....	

**Öğrenci Adı ve Soyadı**

**Fatih Kuş**

**Tarih**

.....

**İmza**

.....

## ÖN SÖZ

Çalışmalarında her türlü desteğini ve emeğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Dr.Öğr.Üyesi Nazım İMAL hocama çok teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Yüksek lisans eğitimim süresince emeği geçen başta çok değerli hocalarımız olmak üzere, her zaman aile sıcaklığı gördüğüm üniversitemizde görev yapan tüm personelimize teşekkürlerimi sunarım. Her an manevi desteklerini hissettiğim isimlerini bu satırlara sığdıramadığım tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Son söz olarak hayatım boyunca desteklerini yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkür ediyorum.

**Fatih Kuş**

**2023**

## ÖZET

### IŞIK KAYNAKLARINDA FLİKER ETKİSİ VE VERİMLİLİK İLİŞKİSİ

Işık enerjisinin fiziksel değişim özellikleri, yapısal esaslı ve ışığı oluşturan enerji kaynağı esaslı olmak üzere iki ayrı kapsamda ele alınır. Yapısal özelliklerinden kaynaklı ışınım değişimleri; tanecik ve dalgacık esaslı olmak üzere incelenen, ışınımın türünü, rengini ve enerji boyutunu belirleyen temel özellikleridir. Işığın yapısal frekansına ya da dalga boyuna bağlı olarak ışınım türleri; ultraviyole, görünür ışıklar, kızıl ötesi, radyo dalgaları v.b. olarak adlandırılırlar. Işınımın enerji esaslı titreşimi ise, ışığa dönüşen enerji kaynağındaki titreşime ya da frekansa bağlı olan, ışığın kesintili olarak mevcut olması ya da olmaması prensibi ile açıklanabilen görsel etkileşimlerdir. Işığın, enerji kaynağına bağlı ve kesintili olarak mevcut olması ya da olmaması durumu, aydınlatmada fliker etkisi ya da stroboskopik olay olarak tanımlanan bir kavram olup, burada ışık kaynaklarına bağlı olarak incelenmiştir. Aydınlatma amaçlı kullanılan lambaların enerji kaynaklı fliker etkileri ele alınarak, ışık etkinlikleri ve verimlilikleri analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde, ışık kaynaklarından elde edilen ışık enerjisinin fliker titreşimleri ayrı ölçülerek, her birinin birim periyotta ışıklılık ve ışıksızlık sonuçları elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise ışık kaynakları için aydınlatma verimlilikleri, elde edilen ışıklılık ve ışıksızlık analizleri ile tekrar ele alınmıştır. Böylece, bazı ışık kaynaklarının anlık değerlendirmede yüksek lümen verimliliğine sahip oldukları gözükse de fliker esaslı ışıklılık ve ışıksızlık değerlendirmesine tabi tutulduklarında daha düşük verim değerlerinde olabildikleri görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Işık, Fliker, Verimlilik, Aydınlatma

## **ABSTRACT**

### **FLICKER EFFECT AND EFFICIENCY RELATIONSHIP IN LIGHT SOURCES**

The physical change properties of light energy are considered in two different contexts: structural-based and light-generating energy source-based. Radiation changes originating from its structural features which are investigated based on particles and waves determine the type, color, and energy size of the radiation are the main features. Types of radiation depend on the structural frequency or wavelength of the light; they are called ultraviolet, visible lights, infrared, radio waves, etc. The energy-based vibration of the radiation which are visual interactions that can be explained by the principle of intermittent presence or absence of light, on the other hand, depends on the vibration or frequency in the energy source that turns into light. The presence or absence of light, depending on the energy source and intermittently, is a concept defined as the flicker effect or stroboscopic phenomenon in lighting, and it is examined here depending on the light sources. The energy-induced flicker effects of the lamps used for lighting purposes were discussed and their luminous efficacy and efficiency were analyzed. In the analyzes carried out, the flicker vibrations of the light energy obtained from the light sources were measured separately, and the luminance and opacity results were obtained for each of them in a unit period. In the next step, the lighting efficiencies for light sources are reconsidered with the obtained luminance and opacity analyzes. Thus, although some light sources seem to have high lumen efficiency in the instantaneous evaluation, it has been observed that they may have lower efficiency values when subjected to flicker-based luminance and non-luminous evaluation.

**Keywords:** Light, Flicker, Efficiency, Lighting

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür İncelemesi .....	3
2. IŞIK VE GÖRÜNTÜ KALİTESİ.....	12
2.1. Işık Kavramı .....	12
2.1.1. Işık Şiddeti .....	14
2.1.2. Işık Akısı.....	15
2.1.3. Parlıltı .....	16
2.1.4. Aydınlık Düzeyi .....	16
2.2. Görme ve Görsel Algılama.....	16
2.2.1. Görme Kalitesini Bozan Etkiler .....	18
2.2.2. Görme ve Algılamada Süreklilik .....	19
2.3. Fliker Etkisinin Görme Sağlığına Etkileri .....	20
2.4. Fliker Etkisinin Kamera Algılamalarına Etkileri .....	20
3. ELEKTRİKSEL DALGALANMALAR VE FLİKER ETKİSİ.....	21
3.1. Elektrik Güç Kaynaklarında Besleme Dalga Formları .....	22
3.2. Periyot ve Frekans .....	24
3.3. Besleme Kaynağı Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu.....	25
3.4. Işıklılık Oranı ( $n_{\phi}$ ) .....	26
4. IŞIKLILIK ORANI ESASLI FLİKER UYGULAMALARI.....	29
4.1. Besleme Kaynağı Esaslı Fliker Oluşumları.....	30
4.1.1. Sinüs Tam Dalga Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu .....	30
4.1.2. Sinüs Yarım Dalga Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu .....	31

4.1.3. Kare Dalga Formlu Beslemede Fliker Etkisi Oluşumu .....	32
4.2. Işıklılık Oranı Uygulama Verileri .....	33
4.2.1. Enkandesan Esaslı Fliker Uygulamaları.....	34
4.2.2. LED Esaslı Fliker Uygulamaları.....	36
4.3. Uygulama Verilerinin Değerlendirilmesi .....	37
4.4. Işıklılık Oranı Esaslı Aydınlatmanın Etki Verileri .....	38
5. SONUÇ.....	43
KAYNAKÇA .....	45

## TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 4.1.</b> Veriler Tablosu.....	<b>34</b>
<b>Tablo 4.2.</b> Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı Aydınlatma Anketi ( $f=40$ Hz).....	<b>39</b>
<b>Tablo 4.3.</b> Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı Aydınlatma Anketi ( $f=60$ Hz).....	<b>39</b>
<b>Tablo 4.4.</b> Yüzdelik Bazlı Fliker Etkisi Aydınlatma Anketi ( $f=40$ Hz) .....	<b>40</b>
<b>Tablo 4.5.</b> Yüzdelik Bazlı Fliker Etkisi Aydınlatma Anketi ( $f=60$ Hz) .....	<b>40</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Işınım Yapılarına Ait Renk Sıcaklığı ve Dalga Boyu Bazlı Enerji Değişimleri.....	14
Şekil 2.2. Işık Akısı ve Lümenin Gösterimi.....	15
Şekil 2.3. Görsel Kalite Bozulması.....	19
Şekil 3.1. Işık Kaynağı Bazlı Fliker Etkisi.....	21
Şekil 3.2. Doğru Akım Formu .....	23
Şekil 3.3. Alternatif (Sinüsoidal) Akım Dalga Formu .....	23
Şekil 3.4. Kare Dalga Formu .....	23
Şekil 3.5. Üçgen Dalga Formu.....	24
Şekil 3.6. Alternatif Akım/Gerilim-Zaman Grafiği .....	25
Şekil 3.7. $t_{on}$ ve $t_{off}$ Zaman Aralıklarının Değişebilirliği .....	27
Şekil 4.1. Fliker Etkisi Oluşturma Özellikli Elektriksel Dalga Formları.....	29
Şekil 4.2. Sinüs Tam Dalga $t_{off}$ Gösterimi .....	31
Şekil 4.3. Sinüs Yarım Dalga $t_{off}$ Gösterimi.....	32
Şekil 4.4. Kare Dalga Periyodu ve $t_{on}$ ve $t_{off}$ Zaman Aralıkları.....	33
Şekil 4.5. $t_{on}$ ve $t_{off}$ Zaman Aralıklarının Değişiminden Bir Kesit .....	33
Şekil 4.6. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulama Devresi.....	35
Şekil 4.7. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulaması (Açık Devre).....	35
Şekil 4.8. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulaması (Kapalı Devre).....	35
Şekil 4.9. LED Lamba Uygulama Devre Modelleri .....	36
Şekil 4.10. Çalışmaya Ait LED Lamba Uygulama Devresi (Açık Devre) .....	36
Şekil 4.11. Çalışmaya Ait LED Lamba Uygulama Devresi (Kapalı Devre) .....	36
Şekil 4.12. Kare Dalga Osilatör Devresi.....	37
Şekil 4.13. Kare Dalga Osilatör Devresinin Ayrıntılı Devre Modeli.....	37
Şekil 4.14. Algılama Grafiği .....	38

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<b><math>n_{\phi}</math></b>	: Işıklılık oranı
<b><math>t_{on}</math></b>	: Devrede olma süresi (Açıklılık süresi)
<b><math>t_{off}</math></b>	: Devrede olmama süresi (Kapalılık süresi)
<b>E</b>	: Aydınlik şiddeti
<b>I</b>	: Işık şiddeti
<b><math>\phi</math></b>	: Işık Akısı
<b>L</b>	: Parıltı
<b>A</b>	: Alan
<b>cd</b>	: Candela
<b>lx</b>	: Lüks
<b>r</b>	: Yarıçap
<b><math>E_p</math></b>	: P noktasındaki aydınlık düzeyi
<b>CFL</b>	: Kompakt floresan lamba
<b>HVD</b>	: Hızlı voltaj değişimi
<b>d</b>	: Mesafe
<b>p</b>	: p noktası
<b>DC</b>	: Doğru akım
<b>AC</b>	: Alternatif akım
<b>E<sub>f</sub></b>	: Foton enerjisi
<b>h</b>	: Planck sabiti
<b>c</b>	: Işık hızı
<b><math>\lambda</math></b>	: Dalga boyu
<b>T</b>	: Periyot

## 1. GİRİŞ

Elektriksel tetikleme, ışık kaynaklarında fliker etkisine yol açtığı gibi, lambaların ışıklılık verimlilikleri üzerinde de etki eder. Işık kaynaklarındaki fliker, esas olarak alternatif akım (AC) kaynağının neden olduğu ışık çıkışının modülasyonundan kaynaklanmaktadır. 60 Hz alternatif akımın olduğu yerlerde ışık yoğunluğu saniyede 120 kez değişmektedir (60 döngü pozitif ve negatif voltaj). 50 Hz AC olan bölgelerde salınım saniyede 100 kez meydana gelmektedir. Fliker, ışık kaynağının ışık şiddetindeki periyodik değişim olup, insan gözü ve sağlığı için rahatsız edici ve zararlı olabilir. Görünür fliker, bu dalgalanmalara duyarlı kişilerde rahatsızlık, göz yorgunluğu, baş ağrısı ve diğer sorunlara neden olabilir. Ayrıca okuma, bilgisayarda çalışma veya TV izleme gibi görsel odaklanma gerektiren etkinlikleri de etkileyebilir. Flikerin oluşmasının başlıca nedenleri arasında alternatif akımın periyodik değişimi, sürücü devrelerin anahtarlama özellikleri ve armatür dizilimi sayılabilir. LED aydınlatmanın yaygınlaşmasıyla daha büyük bir sorun haline geldiğini söyleyebileceğimiz fliker, bazı düşük kaliteli LED'ler veya kötü tasarlanmış LED sürücüleri, eşit olmayan voltaj regülasyonu nedeniyle gözle görülür titreme yaşayabilmektedir. Fliker etkisini azaltmak için elektriksel tetikleme yöntemleri kullanılabilir. Elektriksel tetikleme, ışık kaynağının başlatılması veya çalıştırılması için gerekli olan çalışma voltajını sağlayan bir devredir. Elektriksel tetikleme yöntemleri arasında elektronik balastlar, çok fazlı besleme, yüksek frekanslı sürücüler ve doğru akım ile besleme sayılabilir. Elektriksel tetikleme yöntemleri flikeri azaltmanın yanı sıra ışık kaynaklarının verimliliğini de artırabilir. Verimlilik, ışık kaynağının ürettiği ışık miktarının harcadığı güce oranı olarak tanımlanır. Elektriksel tetikleme yöntemleri, ışık kaynağının harcadığı enerjiyi azaltarak, çalışma sıcaklığını düşürdüğünden lamba ömrünü uzatan bir etkiye sahiptir. Diğer bir ifade ile sürekli güç çekişi gerçekleştirilmeyen lambaların tetiklemeli enerjilendirilmesi, enerji tüketimini düşürerek ısı kaybını azaltırken diğer taraftan lambaların enerji kullanım maliyetini düşürür. Burada ışık kaynaklarının enerji verimliliğini arttıran besleme kaynağı esaslı elektriksel tetikleme yöntemlerinin görsel bakımdan nasıl etkiler oluşturduğu ele alınarak, insanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Günlük hayatta aydınlatmamızı sağlamak için kullandığımız ışık hem doğal olarak hem de yapay olarak üretilen türleriyle hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Doğal ışık kaynağı olarak güneş, ay ve yıldızlardan kaynaklanan ışıktan bahsedilirken, yapay ışık kaynakları olarak bahsedilen kaynaklar ise lambalardır. Yapay ışık kaynakları ile istenilen yeri istendiği zaman ve istendiğimiz seviyede aydınlatma imkanı mevcut olsa da, bu imkan enerji kullanımı

ile sağlanabilir. Günümüz teknolojilerinde üretilen ışık kaynaklarının hem insan sağlığını koruması hem de enerji açısından verimli olması çok önemlidir.

Aydınlatma uygulamalarında, doğru akıma göre daha yaygın olarak kullanılan alternatif akımın yapısından kaynaklanan frekansa bağlı olarak bir titreşim de meydana gelir. Şebekeden kaynaklanan bu titreşim esaslı fliker etkisi veya stroboskopik etkide, enerji transferi alternatif akımın iki yarı alternansında gerçekleşiyorsa görsel kalite daha az etkilenirken, enerji transferi alternatif akımın tek yarı alternansında gerçekleşiyorsa görsel kalite daha çok etkilenmektedir ve görsel kalite azalmaktadır.

Çalışma konumuza ait olan fliker (titreşim) etkisi, insan gözü tarafından bazen fark edilebilir seviyede iken, bazen de fark edilemeyecek seviyede oluşabilir. Bu fark edilip fark edilememe durumu, ışık kaynağının ürettiği ışığın, lambayı besleyen enerji kaynağının frekansına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalarda sağlıklı bir insan gözünün 25 Hz'e kadar olan frekans titreşimlerini algılayabildiği, bu frekansın üzerinde ise süreklilik yanılığının olduğu bilimsel olarak ortaya çıkartılmıştır. İnsan gözü tarafından hissedilebilir seviyede oluşan bu fliker etkisi bazı sağlık sorunlarına ve iş kazalarına sebebiyet verebilmektedir. Öte yandan belli bir seviyede oluşan ve süreklilik algısını bozmayan fliker etkisi ise enerji verimliliği açısından kazanç sağladığından dolayı önem arz etmektedir. Burada, fliker etkisinin enerji verimliliği ve görsellik etkilerinin optimum bir noktada buluşturulmaya çalışıldığı bir çalışma gerçekleştirilerek, sonuçlarının analizleri ele alınmıştır.

Elektronik ve lamba teknolojilerindeki artış ile birlikte önce floresan lambalar, sonrasında da LED lambalar aydınlatma tasarımlarında yerlerini almışlardır. Bu lambalarda kullanılan elektronik sürücülerin türleri ve kalitesi, aydınlatma verimliliklerinde önemli bir etki meydana getirirler. Sürücülerden lambalara yönlendirilen gerilim ve akımın sürekli ya da kesintisiz DC akım olması, ışık etkilerinde fliker oluşturmama bakımından avantajlı olsa da; enerji verimliliği, lamba sıcaklığının artması, sürücü sıcaklığının artması nedenleriyle tercih edilmezler. Yukarıda belirtilen sakıncalara maruz kalmamak için günümüzde kullanılan floresan lamba ve LED teknolojilerinde anahtarlamalı sürücü devreleri yoğun olarak kullanılmaktadırlar.

Anahtarlamalı sürücülerle enerjilendirilen lambalarda; enerji verimliliğinde artış, lamba sıcaklığında düşüş, sürücü devre sıcaklığında düşüş gibi avantajlar olsa da; fliker etkisi, lamba renk sıcaklıklarında bozulma ve ışık akılarında azalma gibi dezavantajları da oluşturmaktadır.

Bu çalışmada elektronik bir simülatör sürücü ile lambaların anahtarlama çalışmaları ele alınarak, anahtarlama etkilerinin; ışık akılarına, sürücü sıcaklığına, lamba sıcaklığına ve fliker oluşumuna etkileri araştırılmıştır.

Özellikle fliker etkisini azaltma uygulamalarında; yarı alternanslı enerjilendirme, çok fazlı sürüm uygulamaları ve anahtarlama yarı iletken uygulamaları gibi çözümler üzerinde çalışılmıştır. Bu uygulamalar ile klasik lambalar ve yeni teknoloji lambalarda; lambaların, enerji verimliliği, sıcaklıkları ve sağladıkları aydınlatma kaliteleri ele alınmıştır.

Çalışmada, insanların görsel algılamalarındaki kaliteyi düşürmeyecek ve psikolojik olarak rahatsızlık verici aydınlatmaların sağlanmaması gerekliliği; aynı zamanda enerji verimliliği açısından da en uygun seviyelerin sağlanması amacıyla yardımcı olması açısından ışıklılık oranı ( $n_{\phi}$ ) tanımlanmıştır.

### **1.1. Literatür İncelemesi**

Bu çalışma konusu olan ışık kaynaklarında fliker etkisi ve verimlilik ilişkisi ile ilgili aşağıdaki çalışmalar faydalı bulunmuştur.

İmal (2016) çalışmasında, yol aydınlatmasında aydınlatma düzeyi ve kullanılan ışığın rengi kadar önemli olan bir diğer aydınlatma kriterinin de fliker etkisi olduğundan bahsetmiştir. Fliker etkisinin genel olarak alternatif akım veya kontrol devrelerinin anahtarlama özelliklerindeki periyodik değişikliklerden kaynaklandığı belirtmiştir. Yol aydınlatılmasında direklerin ve armatür yerleşimlerini, fliker etkisini de dikkate alarak uygun bir yapısal modelleme uygulamıştır. Hızla bağlantılı oluşabilecek fliker etkisini önlemek için uygun direk aralıkları araştırılmış ve analiz sonuçları gerçekleştirmiştir. Bu tez çalışmasında, fliker etkisinin yanı sıra ışıklılık oranı kavramı da ele alınarak ekstra bir farklılık sağlanmaktadır.

Barros (2016) çalışmasında, hızlı voltaj değişimlerinin (HVD), uluslararası güç kalitesi standartlarında yeterince dikkate alınmamış bir güç kalitesi bozukluğu türü olduğunu ve HVD'lerin “fliker” a neden olabileceği veya katkıda bulunabileceğini tespit etmiştir. Kısa süreli titreşim şiddet indeksi  $P_{st}$  ile HVD olayının parametreleri arasında bir korelasyon bulunmamasından dolayı bu çalışmada HVD olaylarının anlık titreşim hissi  $P_{inst}$  ile bir korelasyonu olduğunu göstermiştir. Çalışmasının, hem HVD'leri içeren simüle edilmiş dalga formlarının hem de düşük gerilimli ve orta gerilimli konumlarda kaydedilen dalga formlarının analizine dayanmakta olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, fliker etkisinin yanı sıra ele alınan ışıklılık oranı ile birlikte enerji verimliliğinin incelenmesi üzerine bir yaklaşım getirilmeye

çalışılmaktadır.

Bucci (2008) çalışmasında, fliker etkisinin değerlendirilmesi ile ilgili dijital bir araç geliştirmiş ve diğer ölçüm araçları ile fliker şiddeti indeksi (Pst) sonuçlarını karşılaştırarak incelemiştir. Çalışma şekli olarak, elde edilen voltajın dijital örneklerinin işlenerek ışık değişimi algılama fonksiyonunun hesaplanmasına dayandığını belirtmiştir. Geliştirdiği tekniğin seçimi, titreşim ölçer uygulamasını basitleştirme ve donanım gereksinimlerini azaltma amacından kaynaklandığından bahsetmiştir. Cihazın bir prototipi ile uygulama yapmış ve performansı, standart titreşim ölçerlerle doğrudan karşılaştırma yoluyla değerlendirilmiştir. IEC 61000-4-15 standardının gerekliliklerini karşılamak üzere geliştirilmiştir. Ayrıca geleneksel fliker ölçerlerden farklı olarak, ara harmonik bileşenlerin fliker üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için de kullanılabileceğini belirtmiştir. Ana avantajlarının, analog uygulamaya kıyasla daha basit donanım mimarisi, düşük işlem kaynakları ve giriş voltajı frekans titreşimine karşı bağışıklığının olması olduğunu belirtmiştir.

Collin (2019) çalışmasında, piyasa bulunan çeşitli LED lambaların performansını iki ek önemli özelliği olan ışık titremesi ve güç faktörünü referans alarak, karşılaştırmak için kapsamlı bir deneysel tabanlı etiketleme metodolojisi oluşturmuştur. Bunların ışık titremesi ve güç faktörü olduğunu belirtmiştir. Yeni etiketleme metodolojisi, farklı devre topolojilerine sahip farklı LED lambalar arasında ve aynı zamanda farklı tasarım seçeneklerine sahip belirli bir topoloji için ise yüksek çeşitlilik olduğunu ortaya koyduğundan bahsetmektedir. Genel tüketicilerin ve tasarım mühendislerinin, LED lamba performansını karşılaştırırken karşılaştırmalı etiket setinin sunduğu basit ve net bilgilerden yararlanabileceklerini belirtmiştir.

Gallo (2001) çalışmasında, gerilimin harmonik ve ara harmonik analizi yoluyla fliker tahmininin nasıl elde edilebileceği ile ilgili bir çalışma hazırlamıştır. Spektral bileşenlerin titreşim algılanabilirlik eşiğiyle ters orantılı olarak ağırlıklandırılması, aynı zamanda IEC tarafından tanıtılan ara harmonik gruplamanın kullanımından da yararlanan böyle bir yaklaşımın ana konsepti olduğundan bahsedilmektedir. Bu sayede limit tanımı ve uygunluk açısından daha kapsamlı sonuçların elde edilebileceğini belirtmektedir.

Drapela (2005) çalışmasında, fliker sorunları açısından, ışık kaynaklarının “zayıf noktalarını” bulmak, farklı üreticiler tarafından üretilen aynı tip floresan lambalar (balastlar) arasındaki maksimum farkı bulmak ve sorunları tahmin etmek için bir analiz yapmıştır. Ara

harmoniklerin neden olduğu voltaj dalgalanmalarının bir analizini ve bunun, kullanılan floresan lamba ve balast kombinasyonlarının ışık akısı dalgalanmaları üzerindeki etkisini sunmuştur. Analiz sonuçlarından biri, frekans bileşenlerinin kullanımına dayalı olarak ışık kaynaklarının bu tür rahatsız edici türlere duyarlılığını belirleyen bir kavram olduğundan bahsetmiştir. Floresan lambalar ve balastların ölçülen ve karşılaştırılan kombinasyonları arasında çeşitli floresan lamba türleri, çeşitli watt değerleri, balastın çalışma modları ve özel tasarımları ve devre elemanlarının boyutlandırması vb. yer aldığını belirtmiştir. Bir ışık kaynağının harmonik-titreşim eğrisi, her bir harmonik frekans için, insan gözüyle hiçbir ışık titreşiminin algılanamayacağı, kabul edilebilir maksimum ara harmonik büyüklüğünü belirlediğini belirtmiştir.

Keppler (2003) çalışmasında, ışık titreşiminin meydana geldiği koşulları niteliksel olarak türetilmiş, UIE/IEC titreşim ölçerin gerçekleştirilmesine dayanan bilgisayar simülasyonları daha sonra nicel veriler üretmek için bir çalışma yapmıştır. Güç kalitesi alanındaki ana sorunlardan birinin, akkor ampullerin titreşimine neden olan, ortalama karekök (RMS) voltajındaki bir değişiklik olan voltaj titreşimi olduğunu belirtmiştir. Değişen yükler, besleme voltajında bu tür dalgalanmalara yol açabileceği ve tarihsel nedenlerden dolayı, bu tür bozulmalar, ışık titreşiminin temel nedeni olarak görüldüğünü söylemiştir. Güç elektroniği cihazları kullanan uygulamaların sürekli artmasıyla birlikte, güç sistemlerinde alt ve ara harmonikler daha yaygın hale geldiğini ve bunların aynı zamanda akkor lambalara sağlanan anlık gücü de çarparak değiştirebileceğini ve dolayısıyla görünür ışıkta flikera neden olabileceğini belirtmiştir.

Lodetti (2019) çalışmasında, modern aydınlatma teknolojilerini hızlı voltaj değişimi duyarlılığını değerlendirmek için, başta LED olmak üzere 27 modern lambayı gerçek hızlı voltaj değişimine tabi tutmuş ve tepkilerini değerlendirmiştir. Hızlı voltaj değişimlerinin tespiti IEC 61000 4-30 tespit yöntemine göre gerçekleştirilirken, lambaların tepkisi bir ışık titreşim ölçer ile ölçülmüş ve IEC 61000-4'de tanımlandığı gibi anlık titreşim algısı kullanılarak karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ise, akkor lambaya göre daha düşük bir hassasiyete sahip olmasına rağmen, modern aydınlatma teknolojilerinin tepkisinde yüksek bir dağılım ve yüksek titreşim algısı değerleri gösterdiğini belirtmiştir. Sonuçlar, yeni üretilen lambaların şebeke kullanıcıları üzerinde sınırlı tahrişe neden olmasını sağlamak için IEC TR-61547-1 lamba bağışıklık protokolüne eklenecek yeni bir bağışıklık testi tanımını önermelerine yol açtığını belirtmiştir.

Ni (2011) çalışmasında, video akışındaki gürültü ve bulanıklık titreşiminin algısal etkisi, kalite değişikliklerinin genlik ve frekanslarındaki varyasyonları değerlendirmek üzerine bir çalışma yapmıştır. Video ölçeklendirme gerektiğinde frekansın, titreşim bozukluklarının yarattığı rahatsızlığı giderecek şekilde ayarlanabilirken genliğin, tatmin edici video kalitesi sağlamada rollerinden bahsetmiştir.

Weitch (1995) çalışmasında, floresan ışık kaynaklarının modülasyonunda, görsel performans ve konfor üzerine fliker oranı ve ışık kaynağı etkilerini incelemiştir. Floresan ışığın spektral bileşimi ve titreşim oranının görsel performans ve görsel konfor üzerindeki etkileri, 48 lisans öğrencisi üzerinde iki farklı titreşim oranı kullanılarak incelenmiştir. Görsel performans ve görsel performans görevindeki süreler değerlendirilmiştir. Görsel rahatlık, zor metinlerin okunduğu bir sürenin ardından kişisel raporla değerlendirilmiştir. 18-24 yaş arası erkek ve kadın üniversite öğrencilerinin görsel performans puanları, yüksek frekanslı fliker durumunda, düşük frekanslı fliker durumuna göre anlamlı derecede yüksek olduğu belirtilmiştir. Floresan lambaların enerji açısından verimli çalıştırılmasının görsel performansı da geliştirebileceğinden bahsedilmiştir.

Yao (2020) çalışmasında, 40 Hz olan ışık titreşiminin beyinsel hastalıklarla ilgili olan ilişkileri arasında bir deneysel çalışma yapmıştır. Alzheimer hastalarının genellikle hastalık başlangıcından önce parçalanmış uyku ile birlikte bozulmuş sirkadiyen ritim sergilediğinden bahsedilmiştir. Alzheimer bir fare modelinde 40 Hz'lik ışık titreşiminin sirkadiyen ritim üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere çalışma tasarlamıştır. Veriler, 40 Hz'lik bir ışık titreşiminin alzheimer ile ilişkili sirkadiyen ritim bozukluklarını iyileştirebileceğini ve alzheimerın neden olduğu ritim bozuklukları için yeni bir terapötik tedavi türü sunduğunu öne sürmektedir.

Yoshimoto (2020) çalışmasında, flikerden kaynaklanan görsel rahatsızlıkların, ışık seviyesi ve kontrastın etkilerini içeren bir inceleme yapmıştır. Kare dalga fliker en rahat görünürken, genlik spektrumunun eğiminin azaldıkça rastgele flikerden kaynaklanan rahatsızlığın monoton bir şekilde arttığını belirtmiştir. Uyarıların etkili parlaklık kontrastındaki değişikliklerle veya farklı ışık seviyeleri altındaki zamansal dürtü yanıtlarına dayanan doğrusal bir modelden alınan yanıtlarla açıklanamayacağını belirtmiştir.

Peretto (2005) çalışmasında, insanın belirli bir ışıklı uyarana tepkisini ve dolayısıyla duyusunu tahmin etmek için göz-beyin zincirini modellemeyi amaçlayan bir çalışma yapmış

olup, oluşturulan model, mevcut fliker ölçerleri deneysel olarak test etmiştir. Model, mevcut titreşim ölçerlerin test edilmesi için önerilen standart giriş sinyalleriyle deneysel olarak test edilmiştir. Sunulan teorik modelin, göz-beyin sisteminin bilinen spektrum ve modülasyondaki genel ışık akılarına tepkisini tahmin etmek için genel bir matematiksel modeli tanımlamak için bir çekirdek görevi görebileceğinden bahsedilmiştir.

Frater (2007) çalışmasında, güç kalitesi bozukluklarından olan fliker etkisi üzerine kompakt floresan lambalar ile akkor lambalar arasında bir karşılaştırma yapmış, insanların yaşadığı gerçek algılamalar arasındaki farklılıkları vurgulamıştır. Bu yüksek verimli lambaların yaygın şekilde benimsenmesi, AS/NZS 61000-4-15 standardına göre ölçülen fliker seviyeleri ile insanların deneyimlediği gerçek seviyeler arasındaki tutarsızlıkları ortaya çıkardığını belirtmiştir. Bir fliker algılama yöntemi kullanılarak, bir lambanın ürettiği gerçek anlık ışık seviyeleri analiz etmiştir. Flikerla ilişkilendirilmeyen ara harmonikler, faz değişimleri, voltajdaki düşüşler ve yükselmeleri gibi güç sistemi bozukluklarının varlığında kompakt floresan lambaların ürettiği ışığın hassasiyetini göstermek için kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kim (2008) çalışmasında, akkor, kompakt floresan ve LED (ışık yayan diyot) lambaları fliker tepkilerini, ara harmonik fliker istasyonu ve bir foto dedektör kullanılarak incelenmiştir. Mevcut IEC fliker ölçer standardı yalnızca akkor lambaların ışık flikerini dikkate aldığını belirtmiştir. Bu nedenle, standart fliker ölçerin, özellikle ara harmoniklerin varlığında, akkor lamba dışındaki lamba türlerinin titreşimini değerlendirme konusunda sınırlamaları vardır. Çeşitli lambaların (örneğin, akkor lamba, kompakt floresan ve LED (ışık yayan diyot) lambalar) fliker tepkileri, laboratuvarında bir ara harmonik titreşim istasyonu ve bir foto detektör kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, LED lambaların, tek sıralı harmoniklere yakın konumdaki yüksek frekanslı ara harmoniklere duyarlı olan kompakt floresan lambalara benzer fliker tepkisi sergilediğini göstermektedir. Analiz, hem kompakt floresan hem de LED lambalar için AC'yi DC'ye dönüştüren bir diyot köprü doğrultucunun, yüksek frekanslı ara harmonikler nedeniyle bir fliker kaynağı olduğunu gösterdiğini belirtmiştir.

Slezingr (2012) çalışmasında, fliker çalışmaları için tipik kompakt floresan lambaların (KFL) ışık akısının modellenmesi üzerine çalışma yapmış olup 25 W'a kadar giriş gücüne sahip elektronik balastlı basit bir tipik KFL modeli tasarlamıştır. Model performansını sayısal simülasyonların sonuçları ve deneysel ölçümlerle karşılaştırmıştır. 25 W'a kadar giriş gücüne sahip bütünleşmiş elektronik balasta sahip basit bir tipik KFL modeli önerilmiştir. Çeşitli

besleme gerilimi değişimlerinden dolayı KFL'lerin fliker özelliklerini incelemek amacıyla, lamba çıkış ışık gücünün (ışık akısı) anlık değerini, besleme geriliminin anlık değerinin bir fonksiyonu olarak modellemiştir. Geliştirdiği modelin performansı, ara harmonikler tarafından bozulan besleme gerilimi için doğrulandığından bahsetmiştir.

Drapela (2014) çalışmasında, modern binalarda genel aydınlatma için aydınlatma teknolojilerinde kullanılan lambaların dönüştürücü tasarımlarını incelemiş ve harmonik akım emisyonları hakkında bir çalışma yapmıştır.

Molina (2014) çalışmasında, kompakt floresan lambaların (KFL) harmonik akım emisyonlarını hesaplamak için bir KFL modeli parametrelerini belirlemek için bir tahmin algoritması oluşturmuştur. KFL'ler doğrusal olmayan harmonik enjeksiyon yükleri olduğundan bu durum sistemin güç kalitesine zarar verebileceğini belirtmiştir. Bu nedenle, ağlara harmonik akım emisyonlarını tahmin etmek için KFL modellemesi üzerinde çalışmıştır. Bu emisyonları hesaplamak için bir KFL modelinin yanı sıra deneysel ölçümlerden model parametrelerini belirlemek için basit bir tahmin algoritması oluşturmuştur. Bu verilerin laboratuvar ortamında verileri test ederek doğrulandığını belirtmiştir.

Miller (2023) çalışmasında, insanların zamansal ışık modülasyonuna karşı duyarlılıkta geniş farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. İnsanların ışık modülasyonundan oluşan rahatsızlıklarına, sağlık etkilerine veya üretkenliğin azalmasına ne derece savunmasız olduğunu araştıran çalışmalar yapmıştır. Konfor ve sağlığı koruyacak ölçümler için kriterler oluşturması gerektiğini belirtmiştir. Fliker, yüzyılı aşkın bir süredir aydınlatma sistemi açısından önemli bir konu olduğundan bahsetmiştir. Aydınlatma teknolojisi geliştikçe farklı süreksiz ışık modülasyonu biçimleri ortaya çıktığını ve bunlara yönelik yanıtlar da ortaya çıktından bahsetmiştir. Bugün, LED'i, sürücüyü ve kontrolü kapsayan bazı LED sistemleri süreksiz ışık modülasyonunun ciddi istenmeyen etkilere neden olmasına neden olurken, diğer LED sistemleri hiçbir istenmeyen etki yaratmadığını belirtmiştir. LED sistemleri, geleneksel aydınlatma sistemlerine göre çok daha geniş bir aralıkta ışıklı dalga biçimleri sunabileceğini; bazıları çok yüksek modülasyon derinliklerine sahip olduğunu belirtmiştir. Yaklaşık 80 Hz'den daha düşük modülasyon frekanslarında doğrudan fliker etkileri ve 80 Hz'den daha büyük frekanslarda stroboskopik etkiyi araştırmıştır.

Vuckovic (2022) çalışmasında, enkandesan, floresan ve LED lambaların oluşturduğu fliker etkisi üzerine çalışmalar yapmış olup, ışık titremesinin sağlık açısından önemli olduğunu ve

potansiyel biyolojik etkiler nedeniyle aydınlatma tasarımı sırasında bu hususun dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Elektrikli ışık kaynakları biyolojik etkilere sahip olabilecek ışık flikeri ürettiğinden bahsetmiştir. Işık flikeri her zaman insan gözüyle görülme de insan sağlığını etkileyebildiğini belirtmiştir. Göz yorgunluğu, baş ağrıları, migren, görme bozukluğu ve hassas kişilerde foto epilepsi, ışık flikerinin olumsuz etkilerinden sadece birkaçı olduğundan bahsetmiştir.

Drapela (2018) çalışmasında, bir lambanın ışık akısını zaman alanında simüle edebilen yeni bir geliştirilmiş lamba modeli sunulmuştur. Düşük güçlü lambalara (25 W'a kadar) atıfta bulunmuştur. Geliştirilmiş lamba modeli, lambanın elektrik devresinin bir modeli ve ampulün kendisinin bir modelinden oluşmakta ve yalnızca üç giriş parametresinin kullanımına dayanmaktadır. Voltaj dalgalanmaları durumunda bir lambanın frekans davranışını analiz etmek için kullanılmıştır.

Atasal (2000) çalışmasında, güç kalitesi sorunu olan flikerin güç kalitesi içerisindeki yerini incelemiştir. Sonuç olarak flikerin geçici olaylar, kısa ve uzun süreli değişimler gibi belli süreler boyunca oluşmadığı, dalga şekli bozukluklarında olduğu gibi yüksek frekansa sahip olmadığı, dengesiz veya güç frekansındaki değişim olmadığını belirtmiştir. Flikerin 0-25 Hz arası bir frekansta olduğu, genliğinin yüzde yediden küçük olmasının beklendiği sonucuna varıldığını belirtmiştir.

Brundrett (1974) çalışmasında, ofis araştırmalarında önemli sayıda insanın titreşim gördüğünü ve bu özelliğin aydınlatmanın 'yetersiz' derecelendirmesiyle ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bazı baş ağrıları ve göz yorgunluğu görme titreşimiyle ilişkili olduğunu belirtmiştir. Floresan lambalarda 50 ve 100 Hz'deki ışık modülasyonu ölçülmüş ve 50 Hz bileşeninin zamanla büyümesi incelenmiştir. Lamba özelliklerinin, 50 Hz modülasyonunda ilk 7-8000 saatlik çalışma boyunca düşük bir değerde kaldığını, daha sonraki çalışma saatleriyle birlikte daha hızlı yükseldiğini göstermektedir. Görme titreşiminin sorun olmaması için planlı lamba değişiminin çok önemli olduğundan bahsetmiştir.

Morcos (2002) çalışmasında, flikerin günlük hayatımızı etkileyen bir güç kalitesi sorunu olduğundan bahsetmiştir. Tek bir ışık yoğunluğu değişikliği, voltaj dalgalanmasının genliğine ve frekansına bağlı olarak son derece rahatsız edici olabileceğinden bahsetmiştir. Flikerin her zaman yalnızca akkor lambalar için bir güç kalitesi sorunu olarak düşünüldüğünü, ancak ara harmoniklerle artan sistem kirliliği nedeniyle bu olayın artık floresan lambalarda da fark

edilebilir hale geldiğinden bahsetmiştir. Gerilim dalgalanmalarının güç sisteminden kaynaklanabileceği gibi çoğunlukla sisteme bağlı ekipman veya yükten de kaynaklandığından bahsetmiştir. Gerilim dalgalanmasının sebebinin ana jeneratörler, ark ocaklar, kaynak makineler, alternatörler ve motorlar olduğunu söylemiştir. Fliker etkisini azaltabilecek bazı basit önlemlerin mevcut olduğunu ve hiçbir önlemin uygulanamaması durumunda çözümün, yardımcı ekipmana veya elektrik sistemi değişikliklerine büyük yatırım yapılması veya güç kullanılabilirliğinde büyük bir sınırlama yapılması gerektireceğinden bahsetmiştir.

Barros (2017) çalışmasında, hızlı voltaj değişimini (HVD) tanımlama ve karakterize etme yönteminin, IEC 61000-4-30 standardında tanımlandığını belirtmiştir. IEC 61000-3-7, IEC 61000-2-12 veya EN 50160 gibi diğer standartların, orta ve alçak gerilim kamu besleme sistemlerinde uyumluluk düzeyi veya planlama düzeyleri için HVD'lerin sayısını ve büyüklüğünü sınırladığını belirtmiştir. Bu sınırların, HVD'lerin fliker üzerindeki etkisini kontrol ettiğini belirtmiştir. Çalışmasında ise, bir IEC fliker ölçer aracılığıyla elde edilen titreşim algısının incelenmesi yoluyla, HVD'lerin voltaj değişim büyüklüğünün ve hızının ışık flikeri üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Simüle edilmiş HVD dalga formları kullanılarak alçak gerilim dağıtım ağında kaydedilen gerçek voltaj dalga formları kullanılarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, HVD'lerinin subjektif testlere dayanan önceki çalışmalardaki bildirilenlerden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu gösterdiğini belirtmiştir. Standartların belirlediği sınırların ise, HVD'lerin rahatsız edici olacak kadar fliker üretmesine izin verdiğinden bahsetmiştir.

Cai (2009) çalışmasında, altı tip lambanın fliker tepkilerini ölçmüştür. Fourier analizi, farklı lamba türlerinin titreşim tepkilerinin ölçüm verilerini analiz etmek için kullanılmıştır. Fliker tepkilerinin analiz sonuçları, farklı lamba türlerinin farklı fliker tepkilerine sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü çalışma prensipleri farklı olduğundan bahsetmiştir. Modülasyonlu voltaj frekansının ( $\omega_m$ ) bağlı aydınlatma değişimi, tüm lamba tipleri için ilgilenilen fliker frekansı aralığı (0,5-25 Hz) içindeki modülasyonlu voltaj genliğiyle doğrusal orantılı olduğundan bahsetmiştir. Bu doğrusal ilişkinin, doğrusal sistem tanımlama yöntemini kullanarak farklı lamba türleri için ağırlıklandırma filtresini geliştirmek amacıyla lamba yanıt filtresinin parametrelerini tanımlamak için kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu iyileştirilmiş ağırlıklandırma filtresi kullanılarak fliker ölçerin farklı lamba türleri için iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

Çoğu çalışmada periyodik olarak tekrarlı dalga yapılarına ait fliker etkileri ele

alınmışken bizim çalışmamızda ise  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sürelerinin değişkenlikleri ayrıca ele alınarak fliker incelemelerine farklı bir yaklaşım getirilmiştir.

## 2. IŞIK VE GÖRÜNTÜ KALİTESİ

Işık aydınlatılan bir ortamda bulunan kullanıcıların görsel ihtiyaçlarına cevap verecek bir aydınlatma sağlanmalıdır. Bu ihtiyaçları karşılamak için aydınlatma tasarımı, aydınlatmanın miktarı ve kalitesi ile ilgili tüm koşulları gözden kaçırmamak gerekmektedir. Dikkate alınması gereken diğer bir koşulun ise görüş alanındaki ışıklılık dağılımının olduğunu söyleyebiliriz. Görme alanındaki ışıklılık dağılımı, ideal bir görmeyi etkileyen gözün ortama uyum sağlama durumunu belirlemektedir. Görme keskinliğini, kontrast duyarlılığını ve gözün işlevini artırmak için dengeli bir ışıklılık gereklidir. Aydınlatmamızı üreten ışık kaynaklarının yapı ve türlerinin frekans ve dalga boylarının, ışın yayılımı oluşturan enerji etkisi ve dalgacık bazlı fiziksel özellikleriyle ilişkili olduğu söylenebilir. Işığa dalgacık bazlı fiziksel özellikleriyle bakıldığında görünür sınırlar dahilindeki farklı renk tanımlarına, görünmeyen sınırlara ise farklı ışınım türleri denir. Işığı, enerjinin etkisinden kaynaklanan frekansla ilişkilendirerek tanımlandığımızda, enerji aktarımındaki harmoniklerden ve salınımlardan kaynaklı olarak titreşimler üretir. Işığın üretimindeki enerjisinden kaynaklanan bu titreşim ve salınımlara fliker etkisi (kırpışma) denilmektedir.

Fliker, göz sağlığı ve görme açısından önemli bir aydınlatma sorunu olmasının yanında, fiziksel yapıları gereği insan gözleri 25 Hz üzeri frekanstaki titreşimleri algılayamaz ve kırpışması olmayan süreklilik algısı oluşturan bir görüntü şeklinde görürler. Dünyamızda elektrik enerji frekansı olarak 50 veya 60 Hz frekanslarını kullandığından, aydınlatma kaynakları ile süreklilik algısı yaratacak aydınlatmayı sağlamak kolaydır. DC gerilim kullanılan aydınlatma uygulamalarında olağan durumlarda enerji kaynaklı titreşim etkileri oluşmaz. Floresan lambaların ve LED lambaların sürücüleri nedeniyle anahtarlama fonksiyonlarından dolayı titreşim etkileri oluşabilir. Bu çalışmada enerji verimliliği açısından, alternatif akım frekansının neden olduğu fliker etkisi ve doğru gerilimde anahtarlama bazlı fliker etkileri incelenmiştir. Ayrıca lambaların ve sürücülerin donanımlarının soğutulmasına destek olan fliker etkisine ait faydalı taraflar vurgulanmıştır.

### 2.1. Işık Kavramı

Işığı, elektromanyetik dalga kavramı ile tanımlarken, enerjinin taşındığı parçacıklara ise foton denilmektedir. Dalgalar şeklinde ilerlediğini düşündüğümüz ışın türleri dalga boylarının özelliklerine göre isimlendirilmektedir. Işın (radyasyon) türlerinin diğer dalgalardan değişik olan kısımlarını incelediğimizde foton enerjisinin etkileşiminin elektrik alanı ve manyetik alandan kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Manyetik alan ile elektrik alanın birbirinin içine geçmiş halde düşünebileceğimiz ışığa ait diğer bir tanımlamayı ise elektromanyetik radyasyon şeklinde yapabiliriz. Işığa ait en önemli özellik sahip oldukları dalga boylarıdır. Işık enerjisi seviyesini ise sahip oldukları dalga boyu uzunluğu belirlemektedir. Dalga boyu kısa olan ışığın enerji seviyesi yüksek seviyede iken, dalga boyu uzun olan ışığın enerji seviyesi ise daha düşüktür. Bu enerji seviyesi değişimlerinin gözlerimiz ile algılayabildiğimiz kısma renk denir. Örnek verecek olursak; mor olarak gördüğümüz bir nesne, üstüne düşen ışınım vektörleri tarafından yansıtılan nesneye ait dalga boyunun, kameralara veya göze gönderilen mor renge ait kısa dalga boyunda olduğunu açıklamaktadır.

Kırmızı rengin dalga boyunun mor rengin dalga boyundan daha uzun olduğunu, kırmızı rengin enerjisinin ise mor rengin enerjisinden daha düşük olduğunu söyleyebiliriz. Gördüğümüz her renklerin kendisine özgü bir dalga boyları vardır ve bu dalga boylarına ait farklı enerji düzeyleri mevcuttur. Dalga boylarının renk dağılım modellerinin toplamına "elektromanyetik spektrum" adı verilmektedir. Ancak gördüğümüz renkler dev ışık dalgasının sadece çok kısıtlı bir bölümüdür. Çünkü insan gözleri güneşten gelen bazı ışıkları görmektedir. Işığa ait dalga boyu, gözün görebildiğinden biraz kısa ise biz bu ışığa ultraviyole radyasyon demekteyiz. Bu ışıktan daha da kısa dalga boyu olan ışığa röntgen ışını (x-ray) demekteyiz. İnsanoğlunun bildiği en kısa dalga boyuna sahip ışınlar gama ışınları demekteyiz. Veyahut gözün görebildiğinden az uzun bir dalga boyundaki ışına kızılötesi demekteyiz. Daha uzun olan dalga boyundaki ışına mikrodalga diyoruz. En uzun dalga boyuna sahip olan ışına ise radyo dalgası olarak adlandırmaktayız. Işığın dalga boyu ile enerjisinin ters orantıya sahip oldukları bilinmektedir. Buradan hareketle en yüksek enerjinin bulunduğu ışınların gama ışınlarında mevcut olduğunu söyleyebilmekteyiz. Enerjisi en düşük ışınların ise radyo dalgalarına ait olduğunu söyleyebiliriz.

Işık, foton olarak isimlendirilen paketler halinde taşınmaktadır ve enerjisi de dalga boyuna göre değişmektedir. Bir fotonun taşıdığı enerji hesaplanırken ışığın dalga boyu dikkate alınmalıdır.

Fotonların taşıdığı enerjinin miktarı ise şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$E_f = \frac{h.c}{\lambda} \quad (2.1)$$

$E_f$  :Foton enerjisi (Joule-J)

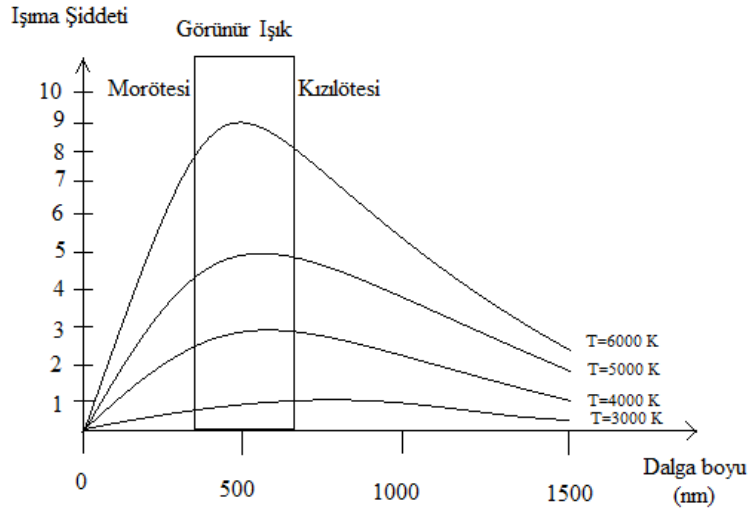
c :Işık hızı ( $3.10^8$  metre/saniye - m/s)

$\lambda$  :Dalga boyu (Nanometre - nm)

h :Planck sabiti ( $6.62607 \times 10^{-34}$  Joule.saniye – J.s) veya

( $4.13566751(91) \times 10^{-15}$  Elektronvolt.saniye – eV.s) birimlerini ifade eder.

Işık enerjisi, ışınların kaynağına ve ışınım yapısına göre ele alınırsa, yüksek renk sıcaklığında ışınım yayabilen aydınlatma kaynaklarının diğerlerine göre daha çok foton enerjisi içermektedir. Dalga boyuna göre daha ayrıntılı bir inceleme yapılırsa, ışığın enerjisinin miktarı ışığa ait fiziksel özelliklere bağlı olarak frekans ile doğru orantılı olduğu ve ışığın dalga boyu ile de ters orantıya sahip olduğu anlaşılacaktır. Işınımına ait renk sıcaklıklarına ve dalga boylarına bağlı olarak değişiminin fonksiyonel grafiği Şekil 2.1.'de görülmektedir.



**Şekil 2.1.** Işınım Yapılarına Ait Renk Sıcaklığı ve Dalga Boyu Bazlı Enerji Değişimleri

### 2.1.1. Işık Şiddeti

Işık şiddeti vektörel bir büyüklük olup, bir aydınlatma kaynağının çevresinde bulunan herhangi bir bölgeye ilettiği ışığın miktarını belirtir. Başka bir tanım olarak ise bir ışık kaynağının ışık şiddeti birim zamanda yayılan ışık enerjisinin bir ölçüsünü ifade etmektedir. Işık kaynağına göre değişen bu temel büyüklük fotometre denilen cihazlar ile ölçülmektedir. Birimi ise candela (cd) dir ve "I" harfi ile gösterilmektedir.

1 candelayı belirtirken monokromatik (tek renkli) ışık (yeşil), yani frekansı 5 Hz frekansında ve dalga boyu 550 nm olan ışık kullanılmaktadır.

$$I = \frac{\phi}{4\pi} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir.

### 2.1.2. Işık Akısı

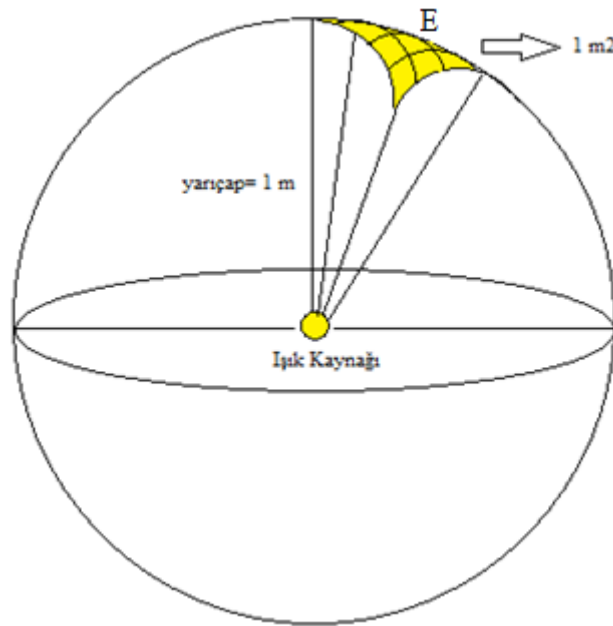
Işık akısı hem insan gözünün özelliğine hem de ışık kaynağının gücüne bağlı olan bir fiziksel nicelik olup gözün algıladığı ışık gücü miktarı olarak ifade edilebilir. Bir ışık kaynağının birim zamanda yaydığı ışık ışınlarının toplamı olarak da ifade edilir. 1 metre yarıçapında bir kürenin merkezindeki 1 candela'lık ışık şiddetinde olan noktasal bir ışık kaynağının bu kürenin yüzeyinde bulunan herhangi  $1 \text{ m}^2$  'lik bir alanda oluşturduğu ışık akısı 1 lümen olarak tanımlanabilir. Işık akısının birimi Lümen olarak ifade edilir ve "φ" harfi ile gösterilir. Işık akısı veya yoğunluğu, fotometre denilen ölçüm cihazlarıyla belirlenir.

$$\phi = I(4\pi) \quad (2.3)$$

$$\phi = I \left( \frac{A}{r^2} \right) \cos\theta \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir.

Işık akısı ve lümen arasındaki bağlantı şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Işık Akısı ve Lümenin Gösterimi

### 2.1.3. Parıltı

Cismin yüzeyindeki birim alandan belirli bir yönde yayılan ışığın şiddeti ile ilgili bir kavramdır ve ışığın insan gözünün görmesini sağlayan boyutudur. Cisimleri aydınlatan ışık akısı miktarına göre değişen gözün görme derecesi olarak adlandırılabilir. Bir cismin yüzeydeki birim alandan belirli bir doğrultu üzerinde yayılan ışığın şiddeti olarak ifade edebiliriz. Başka bir ifadeyle aydınlatılan nesneden yansıyan ve doğrudan ışık kaynağından gelen ışığın şiddetinin, bakış yönündeki yüzeyin izdüşümüne oranıdır. Gözümüzde aydınlık algısı oluşturan bu durumun sebebine parıltıdır diyebiliriz.

Birimi  $\text{cd/m}^2$  veya nit olarak ifade edilir ve “L” harfi ile gösterilir.  $1 \text{ m}^2$ 'lik bir alan 1 nit ( $\text{cd/m}^2$ ) parlaklığa sahiptir.

Parıltı değerinin gözlerin etraftaki cisimleri göremez hale gelmesi durumunu ise kamaşma olarak adlandırabiliriz.

### 2.1.4. Aydınlık Düzeyi

Işık kaynağından çıkan ışık ışınlarının farklı yüzeylere çarptığında meydana gelen aydınlatma olarak tanımlanır. Bir ışık kaynağının oluşturduğu toplamdaki ışığı ölçmekte kullanılan birim lümenidir. Aynı ışığın belirli bir yüzeyde meydana getirdiği aydınlatmayı ölçmek için lüks birimi kullanılır. 1 candela (cd)'lık ışık kaynağından çıkan ışık ışınları, 1 metre uzakta bulunan  $1 \text{ m}^2$  lik yüzeye düşen ışık akısı miktarına aydınlık düzeyi denilmektedir. Bu değer 1 lüks olarak ifade edilir ve birimi “E” harfi ile gösterilir (Şekil 2.2). Matematiksel ifade ile;  $d$  mesafedeki  $p$  noktasına dik olarak gelen toplam ışık akısından meydana gelen aydınlık düzeyi ise;

$$E_p = \frac{I}{d^2} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilir.

E:Aydınlık düzeyi (lüks - lx)

I:Işık şiddeti (kandela - cd)

d:Mesafe (metre – m)

## 2.2. Görme ve Görsel Algılama

Dünyanın görsel olarak algılanmasında önemli rol oynayan gözün beynin bir uzantısı olduğu söyleyebiliriz. Her insan gözü ışığa duyarlı yaklaşık 125 milyon nörona sahiptir. Bu

özel hücrelere fotoreseptörler denilmektedir. Beynin bir görüntü oluşturabilmesi için beyne elektrik sinyalleri gönderirler. Gözün üç ayrı birimi vardır. Bunlar; retina (ağ tabaka), sklera (sert tabaka) ve damar tabakasıdır. Kornea denilen saydam mercek ise sert tabakanın gözün ön kısmındaki uzantısıdır. İris kasları adı verilen kaslar karanlıkta ve ışıktaki kasılıp gevşeyerek göz bebeğinin büyümesini ve küçülmesini sağlarlar. Göz merceği, göze giren ışık ışınlarının fotoreseptörlerin (makula) en yoğun olduğu bölgeye düşmesini sağlar.

Göze giren ışınlar kornea ve mercek tarafından kırılarak sarı nokta üzerine düşerler. Bu kırılmanın boyutunu 63 diyoptridir olarak söyleyebiliriz. Bir diyoptri, merceğin kırılma gücünün bir ölçüsüdür. Fotoreseptörler, ışığı algılayan nöronlar olarak ifade edilebilir. Çevremizdeki nesnelere görebilmemiz için ortamda bir ışık kaynağının olması gerekir. Bir cismin gözümüzle algıladığımız özellikleri aslında cisimden yansıyan ışığın özelliklerini göstermektedir. Kırmızı bir nesne, sadece kırmızı dalga boyuna sahip ışık ışınlarını geri yansıtmaktadır. Bu sebepten dolayı, nesneyi kırmızı olarak görüyoruz. Yeşil bir yaprak, güneşten gelen tüm ışık ışınlarının yalnızca yeşil dalga boylarını yansıtır. Bu yüzden yaprağı yeşil görmekteyiz. Cam gibi şeffaf cisimleri renksiz olarak görürüz. Çünkü cam ışığı neredeyse hiç yansıtmamaktadır. Yüzeylerine çarpan ışığın tamamen arkalarından geçmesine izin vermektedirler.

Nesnelerden yansıyan ışık, gözümüze düz bir çizgi şeklinde ulaşmaktadır. Işığın gözümüzde izlediği yol ise; kornea, gözbebeği ve mercek şeklindedir. Gözün kornea ve merceği ışığı kırar ve retinanın sarı noktasına odaklamaktadır. Sarı noktanın ışığa duyarlı fotoreseptörleri tarafından ışık elektrik akımına dönüştürülürler. Oluşan bu elektrik akımı ise optik sinirler vasıtasıyla beyne ulaştırılmaktadır. Beynin görme merkezi sinyalleri işler ve bir görüntü oluşumunu sağlamaktadır. Bu görsel işlem, beynin arka tarafında olan görme merkezinde gerçekleşmektedir. Gözümüze giren ışığın elektrik akımına dönüşme durumu şu şekilde olmaktadır. Işık ışınları, foton adı verilen parçacıklardan oluşurlar. Fotonlar retinadaki duyu hücrelerine çarptığında, bu hücrelerde bir dizi kimyasal reaksiyonu tetiklerler. Oluşan bu reaksiyonlar neticesinde elektriksel sinir iletimi gerçekleşir. Bu İleti ise, tıpkı elektrik kablolarından bir akım geçer gibi optik sinir aracılığıyla beyne iletilmektedir. Görme merkezine ulaşan bu akımlar beyinde işlenerek görüntüye dönüştürülmektedir. 586 megapiksel görme çözünürlüğüne sahip olan gözümüzde, görme olayı bu şekilde gerçekleşmektedir. Karanlıkta çok iyi görememekteyiz. Çünkü görme olayı cisimlerin yansıttıkları ışık ışınlarının gözümüze ulaşması ile gerçekleşmektedir.

### 2.2.1. Görme Kalitesini Bozan Etkiler

Görme kalitesini bozan etkileri incelerken tıbbi sorunları ve fiziki şartlardaki olumsuzluklar olmak üzere iki farklı durumun bulunduğunu söyleyebiliriz. Bu çalışmada fiziksel şartlardaki olumsuzluklardan olan aydınlatma ile ilgili olan durumları incelemekteyiz.

Aydınlatma uygulamalarında istenilen sonuçları elde edebilmek için birçok etkenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Işık rengi, yön ve şiddeti gibi etkenlerden bahsedebiliriz. Diğer önemli olan bir hususun ise, aydınlatılan yüzey yapısı olduğunu söyleyebiliriz. Koyu renkli ve kirli olan yüzey, üzerine düşen ışığı daha az yansıtırken, açık renkte ve temiz yüzey daha fazla ışık yansıtılmaktadır.

Kullanılacak ortamın özelliklerine göre aydınlatma şiddetinin uygun bir şekilde saptanması gerekmektedir. Aksi takdirde ortamda istenilen aydınlatma etkisi yaratılmamış olacaktır. Yeterli kontrast oranının sağlanması da diğer bir önemli etki olduğu söylenebilmektedir. Nesnelere ışığı mevcut yüzeylerinin yapısına ve renklerine göre değişen derecelerde yansıtılmaktadırlar. Nesnelere ayırt edilmesine olanak sağlayan kontrast, ışığın yansımadaki bu farklar sebebiyle oluşmaktadır. Detayların belirgin hale getirilmesi istenildiğinde kontrastın artırılması gerekmektedir. Kontrastın artırılması için ise aydınlatma şiddetini artırmak gerekmektedir. Ayrıca ortamın özelliğine uygun bir renk kalitesi seçilmesi de gerekmektedir.

Aydınlatmanın, görme olayını zorlaştıracak derecede parlak olması ve yayılma yönünün göze direkt olarak ulaşarak kamaştırması da görme kalitesini bozan diğer etkenlerden olduğunu söyleyebiliriz. Görme kalitesini bozan hususlardan birisi de ışığın parlaklığıdır. Parlaklık etkisi direkt olarak veya yansıma şeklinde olabilir. Gözü kamaştıran bir ışığın ışık kaynağını yüzeyden direkt olarak göze yansıtmasıyla da oluşabilir. Şekil 2.3.'de görme kalitesinde gerçekleşebilecek bozulmalara ait bir örnek gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Görsel Kalite Bozulması

Görme kalitesini bozan diğer bir durum ise AC gerilimlerde oluşan fliker olduğunu söyleyebiliriz. Alternatif akımın doğası gereği olan frekanstan kaynaklanan bir durum olan fliker, gözün algılayabildiği durumlarda çeşitli problemler ortaya çıkarabilmektedir.

### **2.2.2. Görme ve Algılamada Süreklilik**

Alternatif akımın doğasından kaynaklanan durumdan dolayı AC ile çalışan bütün aydınlatma kaynaklarında titreşimler oluşmaktadır. İnsan gözünün algılayabileceği bu titreşimler 25 Hz'e kadar olan titreşimlerdir. Bu titreşimler insan gözünü yorabilir ve baş ağrısına da sebep olabilirler. Alternatif akımdan kaynaklanan bu titreşimler fliker veya stroboskopik etki olarak adlandırılırlar. Ortamda böyle bir durumun olması durumunda gözümüz etraftaki nesnelere veya hareketleri kesintili olarak algılamaktadır. Bu etki tehlikeli durumların oluşmasına sebep olabilir. Döner hareket eden makineler hareket etmiyormuş gibi veya ters yönde hareket ediyormuş gibi algılanmasına sebebiyet verebilir. Bu durumun sebebi ise, ışığın frekansı ile döner hareket eden makinenin frekansının aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Işığın frekansı döner hareket eden makinenin frekansından fazla olduğu takdirde, makine ters yönde dönüyormuş gibi görünmektedir. Çünkü makine bir tam turunu tamamlayamadan ışık makinayı daha önce aydınlatmış bulunmaktadır. Işığın süreksizliğinden kaynaklanan bu tehlikeli durum, sanayide kullanılan harmonik hareket yapan makinalarda büyük kazalara sebep olabilir.

Bu durumun engellenmesi için armatür beslemelerinin üç ayrı fazdan yapılması gerekmektedir. Bu tekniğin ismi üç faz ile aydınlatma olarak bilinmektedir. İki lambalı floresan aydınlatmalarında ise, balastlarına kondansatör bağlantısı yaparak akım fazını 90°

kaydırmak da bir çözüm yöntemidir. Diğer bir yöntem DC kaynaktan besleme yapmak olacaktır. Hangi çözüm yöntemi seçilirse seçilsin amacımız gözün karanlık ortamda kalmaması ve ışık şiddetinin uygun olarak ayarlanması ile gözde yorgunluk hissinin oluşmaması sağlanmalıdır.

### **2.3. Fliker Etkisinin Görme Sağlığına Etkileri**

Aydınlatmanın temel görevi, insan faaliyetlerinin güvenli, doğru, hızlı ve rahat bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yeterli görsel koşulları sağlayarak görsel performansı ve konforu desteklemektir.

Aydınlatmalarda kullanılan mevcut teknolojiler bazen sağlık açısından olumsuz etkiler yaratabilecek frekanslarda flikera neden olmaktadır. Her ne kadar insan gözüyle her zaman açıkça görülemezse de, bazı frekanslarda fark edilebilecek seviyelerde olabilmektedir. Bu titreşimin yani flikerin sağlık üzerinde zararlı etkiler yaratma potansiyeli vardır. Özellikle günümüzde daha sık kullanım alanı bulunan elektronik sürücü devreleri olan LED ve floresan lambalardan kaynaklanan fotometrik fliker etkisinin çeşitli sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Flikerin çeşitli olumsuz etkileri arasında göz yorgunluğu, yorgunluk, baş ağrısı, migren, bulanık görme ve hassas bireylerde ise fotoepilepsi olarak sıralayabiliriz.

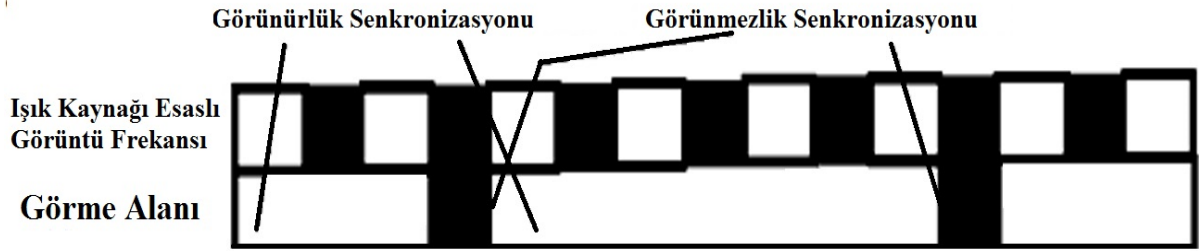
### **2.4. Fliker Etkisinin Kamera Algılamalarına Etkileri**

Yapay aydınlatma kaynaklarından kaynaklanan fliker, enerjilendirme frekansına bağlı olarak insan gözüyle fark edilebilen bir etki olmasının yanında gözle fark edilemeyen durumlarda bile birçok alanda kullanılan kameraların algılamalarında belirgin bir şekilde fark edilmektedir. Doğal aydınlatma kaynağı olan güneş ışığının sağladığı aydınlatmalarda ise fliker oluşmamaktadır. Yapay ışık kaynaklarının oluşturduğu ışığın frekansı ile kameranın saniyede oluşturduğu kare sayısının uyumsuz olması sonucu istenmeyen titreşimli bir görüntü oluşmaktadır. Fliker etkisinin olduğu bir ortamdaki fotoğraf veya video görüntüsü, ışığın ya da ışığın aydınlattığı bölgenin dalgalanması şeklinde oluşmaktadır. Bu durum floresan veya LED teknolojili ışık kaynaklarının kullanıldığı aydınlatmalarda daha sık karşılaşılan bir durumdur.

### 3. ELEKTRİKSEL DALGALANMALAR VE FLİKER ETKİSİ

Işık, alternatif gerilim nedeniyle frekansa bağlı olarak tanımlandığında, elektrik enerjisinin salınımlarından ve harmoniklerinden kaynaklanan titreşimler üretmektedir. Işığın oluşmasını sağlayan enerji ile ilişkili olarak meydana gelen bu titreşim ve salınımlardan kaynaklı etkiye, fliker etkisi (kırpışma) denilmektedir.

Aydınlatmanın önemli bir konusu olan fliker, insanların görme yeteneğini ciddi şekilde etkilemektedir. İnsan gözü 25 Hz frekansın üzerindeki frekanslarda oluşan fliker oluşumunu hissetmezler. Aynı zamanda görüntüler titreşimsiz olarak süreklilik şeklinde algılanır. Dünyadaki ülkeler elektrik enerji frekansı olarak 50 veya 60 Hz frekanslarını kullandığından, aydınlatma kaynaklarıyla süreklilik algısının oluşabileceği aydınlatma ortamı kolaylıkla sağlanabilmektedir. Güç kalitesi sorunları içerisindeki sorunlardan bir tanesi olan flikerin, güç kalitesini olumsuz etkileyen diğer sorunlardan farklı olmasının sebebi ise genlik ve frekans özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Güç kaynağına bağlı olarak oluşan fliker etkisi, güç transferi esnasında elektrik enerjisinin kesintili bir şekilde besleme yapacağından dolayı enerjiden tasarruf etme amaçlı olarak da kullanılması mümkündür. Fliker etkisini tüm güç sorunları arasından farklı yapan durum ise, algılayıcı kameralar ve insanlar üzerinde oluşturduğu olumsuz etki olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 3.1.'de ışık kaynağı bazlı frekansa ait görünürlük ve görünmezlik senkronizasyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Işık Kaynağı Bazlı Fliker Etkisi

Doğru akım (DC) kullanılarak oluşturulan aydınlatma çalışmalarında olağan durumlarda enerjiden kaynaklanan fliker etkisi oluşmamaktadır. Fakat elektrik enerji kullanımından tasarruf etme amacı ile anahtarlama bazlı sürücüler ile çalıştırılan DC beslemeli ışık kaynaklarında fliker etkisi ortaya çıkmaktadır. Günümüz dünyasında direkt olarak alternatif akım (AC) şebekesi ile enerjilendirilen lamba çeşitleri gitgide daha da azalırken, ışık kaynakları AC/DC, AC/AC şeklindeki elektronik sürücüler vasıtasıyla enerjilendirilmektedir. Günümüze ait teknolojilere sahip olan aydınlatma kaynaklarının beslemelerinde kullanılan elektronik sürücü anahtarlamalarının sönüm periyotları ne kadar

süre uzun tutulursa lambanın da aynı seviyede ekonomik ve daha verimli olduklarını söyleyebiliriz. Bununla birlikte enerjinin etkisiyle oluşacak olan ısı kayıpları, fliker etkisinden kaynaklı olarak azalacağını söyleyebiliriz. Fliker etkisi sebebine bağlı olarak ısı kayıplarının azalma seviyesi ise sürücülerde ve lamba gövdelerinde fark edilebilmektedir. Fliker etkisinin faydalı olan bir durumuna bakıldığında ise en önemli kazancın enerji tasarrufunun sağlanması ile beraber az miktarda ısı enerjisi ortaya çıkması sebebiyle lamba ve elektronik sürücülerin sıcaklığa daha kısa sürelerde maruz kalmasından dolayı daha uzun ömürlü olmaları sağlanabilmektedir. İlave olarak ise soğutucu donanımlarının küçülmesiyle birlikte daha basit yapıda üretileceğinden dolayı maliyetlerin daha az olacağı ortaya çıkabilmektedir. Yani enerji verimlerinde artış sağlanırken üretim maliyetlerinde de azalma sağlanabilecektir.

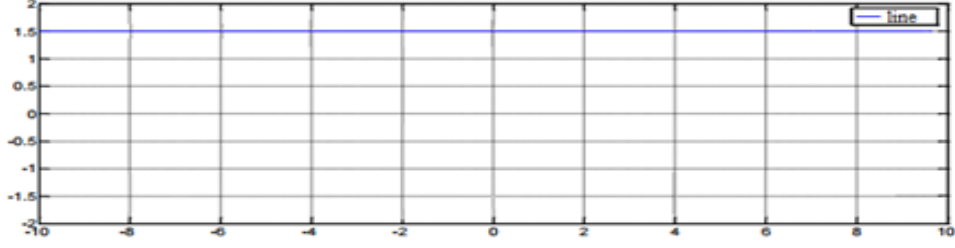
Fliker etkisinin oluşturduğu olumsuz durumlarını inceleyecek olursak, asıl önemli olan sorunun insanların ve kameraların görsel algılamalarında oluşabilecek zorlukların yanında süreklilik algısındaki kesintili durumun ortaya çıkması olarak sadeleştirilebiliriz.  $t_{on}$  ışıklılık süresi açısından yetersizlik durumu oluşması insan beyninde ve elektronik sistemler için yeterli olacak görsel algılamının oluşmasını engellediğinden algılama ve görme sorunları ortaya çıkacaktır. 25 Hz ve altındaki frekanslarda enerji kaynağının özellikleri ile bağlantılı olarak oluşan fliker sebebiyle, insan gözlerindeki görsel açıdan süreklilik algısının ortadan kalktığını söyleyebiliriz. Ayrıca algılayıcı kameralarda oluşacak görsellerin kesintili olarak algılanması 50 Hz değerinde oluşabileceğinden dolayı, aydınlatma kaynaklarının anahtarlamalı olarak çalışmalarındaki frekanslar seviyelerinin 100 Hz ve üstü olacak şekilde tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

### **3.1. Elektrik Güç Kaynaklarında Besleme Dalga Formları**

Elektrik güç kaynaklarının birbirinden farklı besleme dalga şekilleri kullanılmaktadır ve dalga formunun şekline göre isimlendirilirler. Bunlar ise doğru akım, kare dalga, sinüsoidal dalga ve üçgen dalga olarak söylenebilirler. Bahsedilen dalga formlarına ait açıklamalar ve görsel ifadeler aşağıda gösterilmektedir.

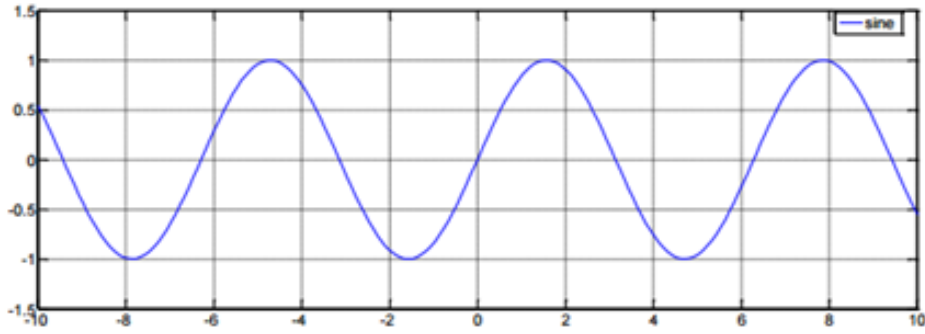
#### **3.1.1. Doğru Akım Formundaki Besleme**

Bilindiği üzere doğru akım, zamana göre yönü ve şiddeti değişmeyen tek yönlü elektron akışı olan bir akım türüdür. Daha çok elektronik uygulama alanlarında ve düşük voltaj ile aydınlatma teknolojilerinde kullanılmaktadır. Doğru akım formu şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



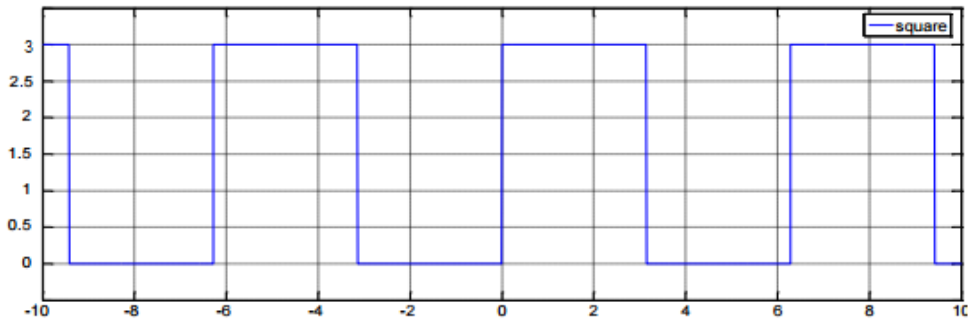
Şekil 3.2. Doğru Akım Formu

**3.1.2. Alternatif (Sinüsoidal) Akım Formundaki Besleme Dalgası:** Belli bir frekansta olan, yönü ve genliği değişen dalga formudur. Zamana bağlı olarak, miktarında ve yönünde değişkenlikler meydana gelir. Günümüzde yaygın olarak ev ve iş yerlerinde kullanılan alternatif akım dalga formu şekil 3.3.'te gösterilmektedir.



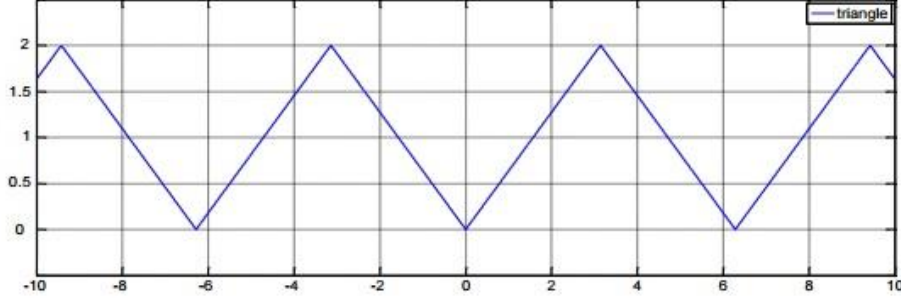
Şekil 3.3. Alternatif (Sinüsoidal) Akım Dalga Formu

**3.1.3. Kare Dalga Formundaki Besleme Dalgası:** Sinüsoidal dalga formundan farklı olarak sadece sabit değerde ve sabit genlikte olan dalga formudur. Sadece minimum ve maksimum değerlere sahiptir ve bu iki değer arasındaki geçişin anlık olarak gerçekleşmesi ideal bir kare dalga formunun oluşması anlamına gelmektedir. Elektronik uygulamalarında kullanılan kare dalga formu şekil 3.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kare Dalga Formu

**3.1.4. Üçgen Dalga Formundaki Besleme Dalgası:** İsmi üçgen olan şekli alan ve sinüsoidal olmayan bu dalga formu lineer ve periyodik bir yapıdadır. Elektronik uygulamalarda kullanılan üçgen dalga formu şekil 3.5.'te gösterilmektedir.

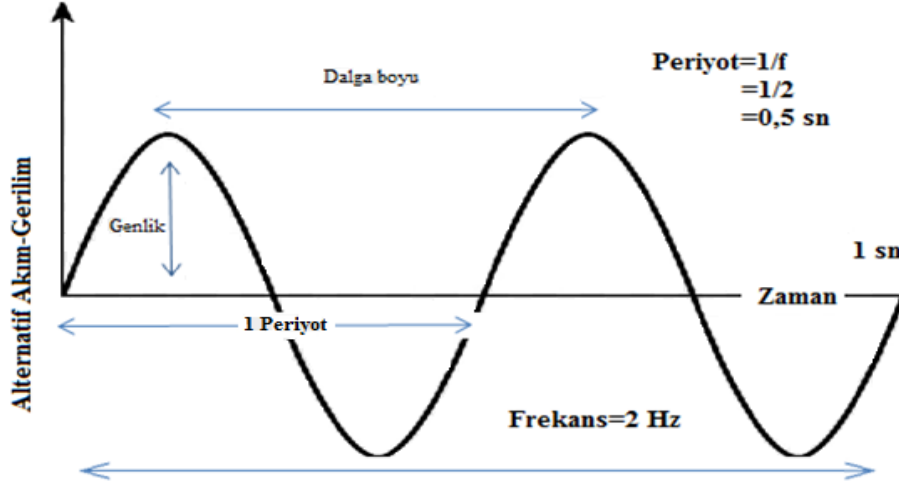


**Şekil 3.5.** Üçgen Dalga Formu

### **3.2. Periyot ve Frekans**

Saykıl, bir tam döngü oluşturacak şekilde meydana gelen dalga formu olarak adlandırabiliriz. Periyot ise tekrarlanan hareketin yani bir saykılın oluşması için geçen süreye denilmektedir. Başka bir deyişle ifade edecek olursak sadece bir tam döngünün kaç saniyede tamamlandığını göstermektedir. Periyodun birimi saniye (sn) olmakla birlikte gösterimlerde “T” harfi ile ifade edilmektedir.

Frekans, birim zamanda (genellikle 1 sn olarak alınır) gerçekleşen bir tam döngünün kaç defa tekrar ettiğinin tespit edilmesini ifade etmektedir. Birimi ise elektromanyetik dalgaların varlığını kesin olarak ispatlayan bilim insanı Heinrich Hertz’in soyismi ile ifade edilmektedir. Yani Hz (Hertz)’dir. Literatürde ise “F” harfi ile ifade edilmektedir. Sinüsoidal, kare ve üçgen şekilli dalgalar için de geçerli olan bir tanımlamadır. Dünya ülkelerinde şehir şebekelerinde şebeke frekansı 50 Hz veya 60 Hz olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde elektrik şebekesinde kullanılan frekans değerimiz ise 50 Hz dir. Şekil 3.6.’da ise frekans ile periyot arasındaki bağlantıyı gösteren grafik gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Alternatif Akım/Gerilim-Zaman Grafiği

Frekans ve periyot arasında ters orantısal bir bağıntı bulunmakla birlikte, aralarındaki matematiksel bağıntı;

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilmektedir.

### 3.3. Besleme Kaynağı Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu

Genel anlamda güç kalitesindeki sorunlar, güç sistemlerine bağlanmış durumdaki cihazları olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Güç kalitesindeki yüksek seviyedeki bozulmalar, cihazların istenilen hassasiyette ve amacına yönelik olarak çalışmasını engellemektedir. Güç sistemlerinde meydana gelebilecek ani gerilim yükselişi durumunda, o an için sistemden enerjilenen cihazların zarar uğramasına sebep olmaktadır. Gerilimdeki yükseklik seviyesine bağlı olarak, bu enerjiden beslenen cihazların izolasyonları zayıflayabilir ya da tamamen bozulabilirler.

Fakat, güç kalitesindeki sorunlardan olan flikerı göz önüne aldığımızda ise başka bir durumdan bahsetmemiz gerekmektedir. Enerji sistemi içerisinde flikerın varlığından bahsettiğimizde, enerji sistemine bağlanmış durumda bulunan aydınlatma aygıtları ile aynı ortam içerisinde mevcut durumdaki insanların görsel algılarını olumsuz olarak etkilemekte olan güç kalitesi sorunu olan flikerın varlığı anlamına gelmektedir.

Bir örnekle açıklamak gerekirse; devamlı olarak görsel kontrolün sağlanmasına ihtiyaç duyulan bir iş ile çalışıyor olan kişilerin fliker varlığından etkilenme seviyesinin, sadece kas

gücüne bağlı olarak çalışmakta olan insanlara nazaran daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Fabrikadaki bir vinç operatöründe meydana gelebilecek olan bir dikkat dağınıklığı ya da basınçlı sıkıştırma makinaları ile çalışıyor olan teknisyendeki görme algısı bozulmaları neticesinde hem maddi ve hem de manevi kayıpların büyük seviyede oluşabileceği kazalar meydana gelebilecektir.

Işık ışımadaki dalgalanmalardan kaynaklanan ve kişilere göre değişik seviyede bazı olumsuz etkiler oluşturan fliker etkisi, ölçüm yapılabilmesi aynı zamanda yok edilebilmesi oldukça zor olan bir güç kalite sorunudur. Güç sistemleri içerisinde fliker etkisinin olduğunun fark edilmesini sağlayacak iki tane farklı durumdan bahsedebiliriz. Birinci durum; aydınlatma aygıtlarının beslenmesini sağlayan sistem voltajındaki dalgalanmalardır. İkinci durum ise, ışığın parlaklığının değişimdeki hızın insanların gözünü rahatsız edici düzeyde oluşmasıdır. Gerilimdeki değişim sonucu olarak parlaklıkta değişim meydana geleceğinden ve bu parlaklıktaki değişimin insan gözü tarafından algılanabilecek seviyede olması durumunda ise fliker etkisinin var olduğundan söz edebiliriz. Bu sebeplerden dolayı; gerilim, ışık parlaklığı ve algılama arasındaki ilişki, ortamda flikerin var olduğunu ya da olmadığını belli eden önemli konular içerisinde gösterilebilir.

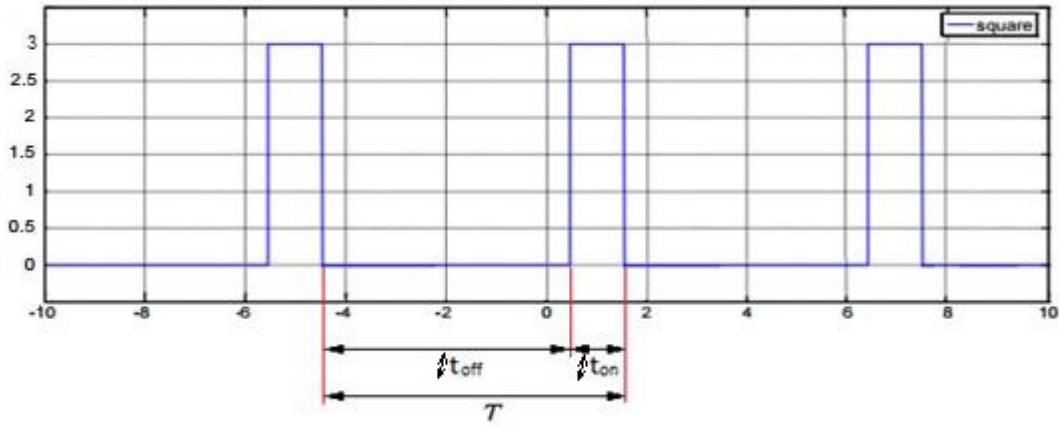
Fliker, bazı tanımlamalarda yanıp sönen ışık anlamında kullanılmaktadır. Böyle bir tanım frekans, akım veya voltaj kullanılarak yapılmış olan geleneksel güç kalitesi tanımlamalarından farklıdır. Tanıma bakıldığında fliker etkisi, güç kalitesinin sorunlarından biri olmadığı, aydınlatmadaki bir sorun olduğu yanlışlığı oluşturmaktadır. Işımadaki şiddet veya etki, aydınlatmalar için kullanılan armatürlerin yapısına göre değişkenlik gösterdiğinden dolayı bu şekilde bir yanlışlığı oluşabilmektedir.

### **3.4. Işıklılık Oranı ( $n_{\phi}$ )**

Bir cismin görünürlüğünü sağlayan faktörün parlaklık olduğunu söyleyebiliriz. Görüş alanına etki eden koşullardan bir tanesi de görme alanındaki parlaklığın dağılımıdır. Görme alanındaki parlaklığın dağılımı, gözün ortamda bulunan ışığa uyum sağlamasını belirleyerek görmedeki verimi direkt olarak etkilemektedir. Göz fonksiyonlarının etkinliğini artırmak için kontrast duyarlılığı ve görme keskinliğini barındıran dengeli bir parlaklığın olması gerekmektedir. Işığın dağılımı da görsel alan içindeki görsel konforu direkt olarak etkilemektedir. Bu sebepten dolayı, gözdeki kamaşmalara neden olabilecek yüksek seviyedeki parlak aydınlatmalar yapılmasından aynı zamanda da insan gözünün ortam ışığına devamlı

olarak uyum sağlamaya çalışmasını sağlayacak ve bu nedenden dolayı yorgunluğa sebebiyet verecek parlaklık farklarından kaçınılması gerekmektedir.

Işıқта meydana gelen, enerji kaynakları sebebiyle oluşmuş olan fliker etkilerini incelemek için, lamba beslemelerinde elektrik enerji kaynakları tarafından oluşturulan dalgalanmaların incelenmesi gerekir. Alternatif gerilim şebekelerinin oluşturduğu sinüs dalgası, lambaların doğrudan veya manyetik balastları vasıtası ile enerjilendirilmelerinde kullanılabilen bir enerji dalga formu iken, kare ve üçgen dalgalar ise çoğunlukla elektronik tasarımı lambaları enerjilendirmelerde kullanılabilen dalga formlarıdır. Bu türlerdeki dalga formlarında, lambaları besleyen elektriksel enerjinin periyodik aralıkları oranında ışık akısında azalma ve artma durumu meydana gelecektir.



Şekil 3.7.  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  Zaman Aralıklarının Değişebilirliği

Üçgen ve sinüs dalgasına ait dalga formlarının yapısından dolayı artma ve azalma sürelerinin homojen bir şekilde dengeli olarak dağıldığı ortaya çıkmaktadır. Üçgen dalga veya alternatif gerilim (sinüs) ile aydınlatma kaynaklarının enerjilendirmesi, kare dalga ile enerjilendirmeye kıyasla farklıları  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  ışıklılık sürelerinde eşitliğin olmasıdır. Işık kaynaklarını kare dalga formundaki enerjilendirmede ise  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  ışıklılık sürelerinin ayarlanabiliyor olması önemli bir fırsat oluşturmaktadır.

Kare dalga formunda oluşan eşitlik 3.2'de ifade edilen periyot, açıklılık süresi ( $t_{on}$ ) ve kapalılık süresinin ( $t_{off}$ ) toplamına eşittir. Işıklılık oranı ( $n_{\phi}$ ), kare dalga formunda oluşan bir periyottaki açıklılık süresinin ( $t_{on}$ ) periyot süresine olan oranı ifade edilmektedir.

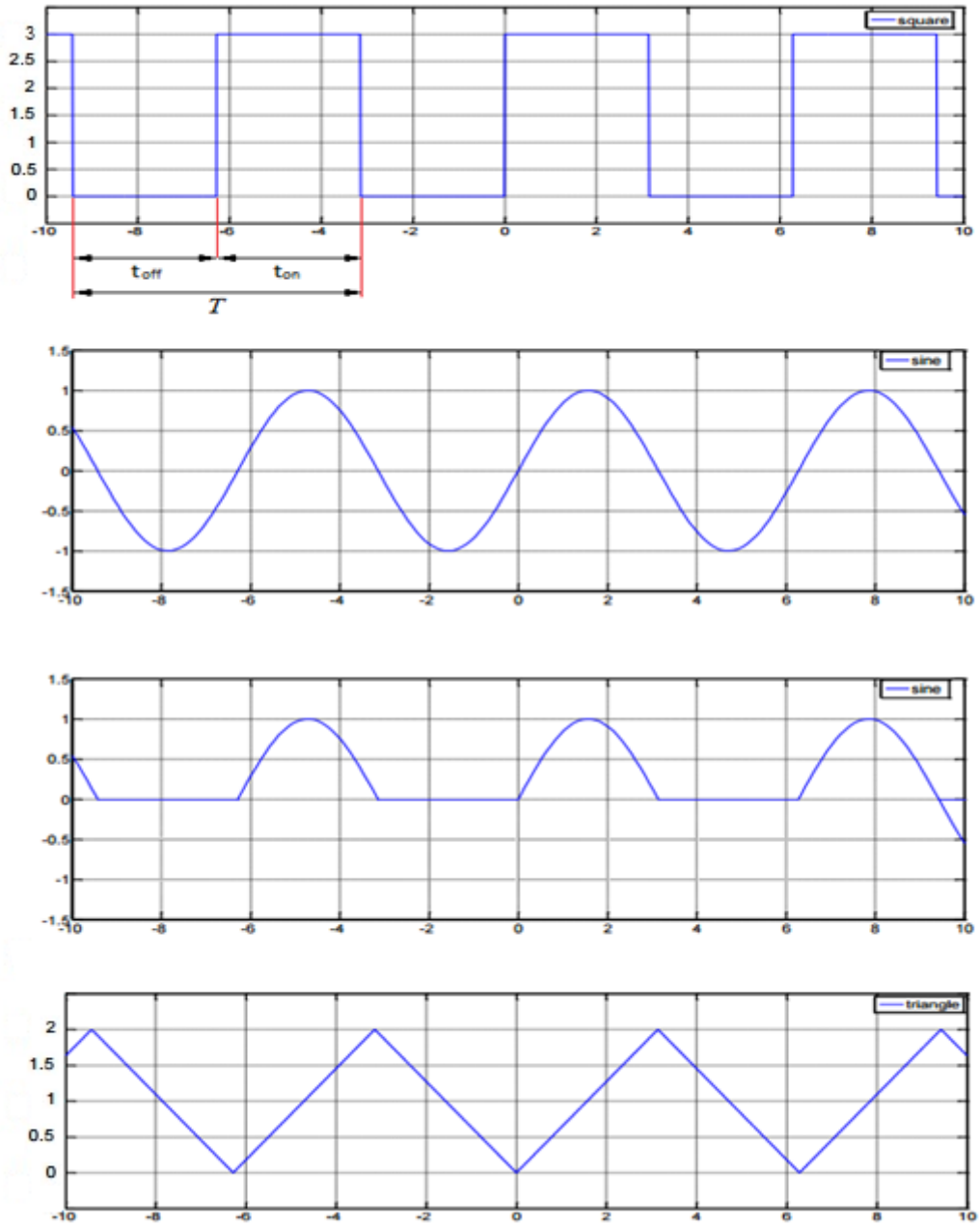
$$T = t_{on} + t_{off} \quad (3.2)$$

$$n_{\phi} = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.3)$$

Burada  $n_{\phi}$  olarak eşitlik 3.3'de ortaya konulan kavram, enerji transferindeki değişkenlik esaslı fliker oluşumunun yanı sıra, literatürdeki diğer çalışmalardan da farklı olarak, bu değişim esnasındaki enerji transfer oranını da dikkate alan bir yaklaşım ortaya konulmasını sağlamaktadır. Fliker etkisini oluşturan enerji transferindeki frekans esaslı değişkenlik ve bu değişim esnasındaki enerji transfer oranı olarak bu çalışmada literatüre kazandırılan  $n_{\phi}$  ışıklılık oranı esaslı olarak çıkarım ve uygulamalar tezin ileri aşamalarında ele alınmaktadır.

#### 4. IŞIKLILIK ORANI ESASLI FLİKER UYGULAMALARI

Işıklılık oranı ( $n_\phi$ ) bakımından fliker prensipleri ele alındığında, ışığı oluşturan elektriksel güç kaynağına ait gerilim ve akım dalga formlarının ele alınmaları gerekecektir. Elektriksel güç kaynağının lambaya transfer etmiş olduğu gücün zamana bağlı değişim sıklığı ve fiziksel genliğine bağlı olarak oluşan ışık titreşimleri ya da fliker etkileri üzerinde, burada durulmaktadır. Fliker etkisi oluşturma özelliğine sahip elektriksel dalga formları şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fliker Etkisi Oluşturma Özellikli Elektriksel Dalga Formları

#### 4.1. Besleme Kaynağı Esaslı Fliker Oluşumları

Gerilim kaynağına bağlı olarak sinüs tam dalga, sinüs yarım dalga ve kare dalga formundaki beslemelerde, lambalara güç transferi sürekli olamadığından, ışık etkisi oluşumunda da kesintiler oluşmaktadır. Işığın, renksel yapısını etkileyici esaslı olmayan, sadece görsel ve algısal olarak, kesinti oluşturan bu etkinin ele alınabilmesi için elektriksel dalga formlarının öncelikle ele alınmaları gerekir. Bu amaçla, fliker etkisi oluşturma özellikli elektriksel dalga formları şekil 4.1’de gösterilmiştir. Farklı dalga formları kaynaklı fliker etkisi oluşturma biçimleri aşağıdaki alt başlıklar altında incelenmiştir.

$n_\phi$  ışıklılık oranı efektif olarak gerçekleşen güç transferi ile benzer biçimde, sinüsoidal form için;

$$e = E_m \times 0,707 \quad (4.1)$$

sinüsoidal yarım dalga ve üçgen dalga form için;

$$e = E_m \times 0,5 \quad (4.2)$$

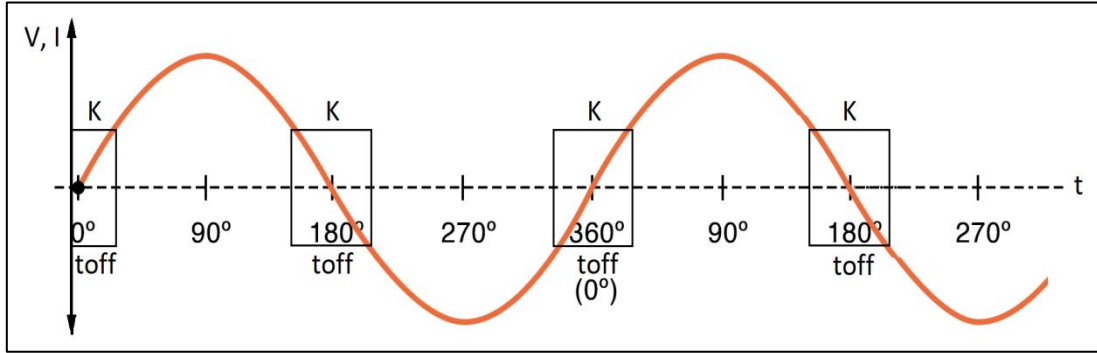
olarak yazılabilir.

Gerilim değişimlerinde efektiflik etkisi ile benzer biçimde, sinüsoidal dalga formu için eşitlik 4.1’de görüldüğü gibi  $n_\phi$  ışıklılık oranının değiştirilemez yapıda %70,7 ve sinüsoidal yarım dalga formu ile üçgen dalga formu için eşitlik 4.2’de görüldüğü gibi  $n_\phi$  ışıklılık oranının değiştirilemez yapıda %50 oldukları görülmüştür.  $n_\phi$  ışıklılık oranı değerlerinin sabit olmaları nedenleriyle bu dalga formları kontrol edilebilir olmadıklarından dolayı uygulamada ayrıca ele alınmamıştır. Sinüsoidal yarım dalga formunda ise elektronik olarak  $n_\phi$  ışıklılık oranını değiştirebilmek teorik olarak mümkün olsa bile hem bu formda uygulama güçlüğü, hem de kare dalga formu ile yapılan çalışmalardan efektif olarak büyük bir farklılığı olamayacağından bu form da uygulamada ayrıca ele alınmamıştır.

##### 4.1.1. Sinüs Tam Dalga Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu

Gerilim kaynağı esaslı, fliker etkilerinin incelenmesinde şebekenin temel dalgası olan sinüs formu ele alındığında, gerilimin sıfır ile maksimum arası değişimler göstermesinin ışık oluşumunu etkileyeceği ortaya çıkmaktadır. Tam dalga sinüs formunun fliker etkileri özellikle enkandesan esaslı lambalar için ele alındığında, lamba rezistansında gerçekleşen sıcaklık artışı ve azalmasının ışık oluşumunda temel belirleyici olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.2.’de sinüs tam dalga formuna ait  $t_{off}$  süresi boyunca gerilimin sıfır olduğu noktalar gösterilmiştir.

Lambayı besleyen sinüsoidal şebeke frekansının yetersiz olması ve lamba rezistans termodinamik katsayısının yüksek olması, enkandesan lambalarda flaman sıcaklığının kayıp oranını arttırdığından fliker etkisi oluşturabilmektedir. Fakat çoğu uygulamada gerek besleme frekansının (50 veya 60 Hz) yeterince büyük olması ve gerekse lambaların termodinamik katsayısının düşüklüğü, büyük ölçüde bu riski ortadan kaldırmaktadır. Lambaların termodinamik katsayılarının düşük olmasının sebepleri ise; lamba besleme kablo kesitlerinin düşüklüğü, plastik esaslı armatür yada avizelerin kullanımı v.b. olarak sıralanabilir.

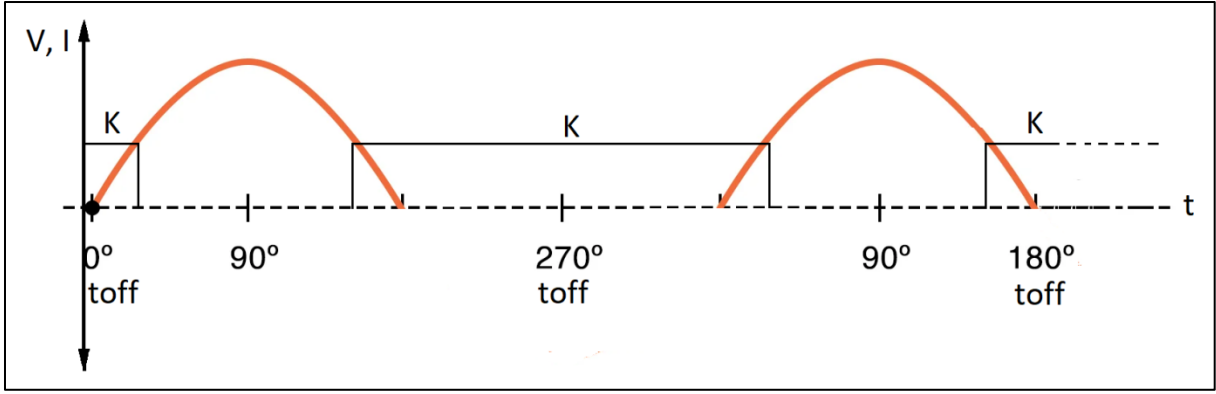


**Şekil 4.2.** Sinüs Tam Dalga  $t_{off}$  Gösterimi

Lamba düşük termodinamik özellikli olmaları ise özellikle enkandesan lambalarda fliker etkisini azaltma bakımından önem taşımaktadır. Floresan ve deşarj lambalarında ise sıcaklığın korunması, ark esaslı ışımının sürekliliğine önemli katkılar sağlamaktadır. LED yapılarında ise sıcaklığın korunumu ile fliker esaslı önemli bir katkı gözlemlenemese de, yardımcı kimyasal renk sağlayıcılarda sıcaklığın korunumu, renk sıcaklığının sağlanması bakımından önem taşımaktadır.

#### 4.1.2. Sinüs Yarım Dalga Esaslı Fliker Etkisi Oluşumu

Gerilim kaynağı esaslı olarak, sinüs yarım dalga beslemeyi incelediğimizde, gerilimin sıfır ile maksimum arasında değişim gösterirken eksi yöndeki alternansın olmamasından dolayı, yani yarım periyotluk bir zamanda, gerilimin sıfır olmasından sebepli olarak, ışık oluşumu da gecikecektir. Bu durum, enerji verimliliği açısından olumlu kabul edilse bile gerilimin yarım periyotluk zamanda sıfır olmasından kaynaklı, ışığın oluşturduğu görsel konfor açısından olumsuz bir durum oluşacaktır. Bu sebeplerden dolayı, sinüs yarım dalga beslemelerde oluşabilecek olan fliker etkisi, aynı frekansta olan sinüs tam dalga beslemelerde oluşabilecek fliker etkisine göre daha belirgin olacaktır. Şekil 4.3.'te sinüs yarım dalga formuna ait  $t_{off}$  süresi boyunca gerilimin sıfır olduğu noktalar gösterilmiştir.



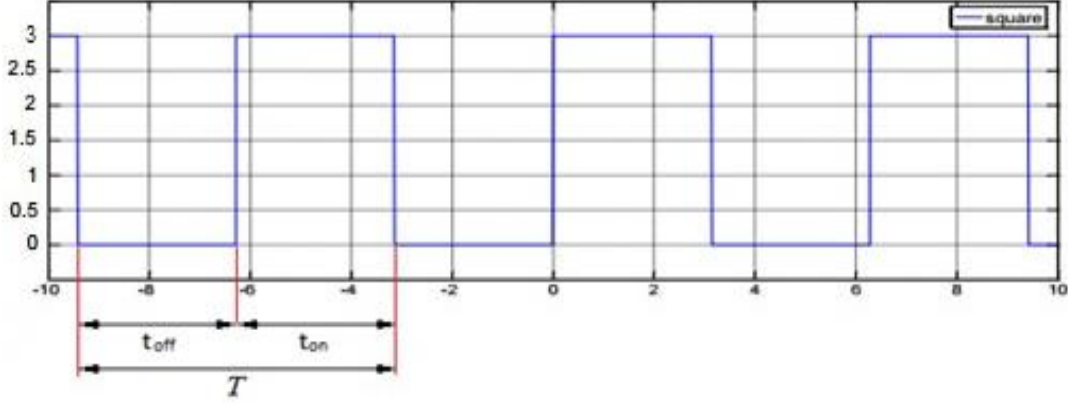
**Şekil 4.3.** Sinüs Yarım Dalga  $t_{off}$  Gösterimi

Lambayı besleyen sinüsoidal şebeke sinyalinin yarım dalga olması, besleme frekansına da bağlı olmakla birlikte enkandesan lambalarda flaman sıcaklığının korunmasını bir miktar güçleştirebilecektir. Fakat çoğu uygulamada besleme frekansının (50 veya 60 Hz) yeterince büyük olması, büyük ölçüde bu riskin daha az olarak sorun çıkarmasına yol açmaktadır.

#### 4.1.3. Kare Dalga Formlu Beslemede Fliker Etkisi Oluşumu

Genişliği, minimum ve maksimum ( $t_{on}$ ,  $t_{off}$ ) olarak iki değer arasında eşit sürelerde değişen ve frekansı sabit olan kare dalga formu beslemelerde, minimum değer için kapalılık süresi olan  $t_{off}$  süresinin artırıldığında  $t_{on}$  açıklık süresi azalacağından dolayı insan gözünün algılayamayacağı, fakat kameraların algılayabileceği bir fliker etkisinden söz edebiliriz. Şekil 4.4.'te kare dalga formuna ait  $t_{off}$  süresi boyunca gerilimin sıfır olduğu bölge gösterilmiştir.

Kare dalga formu beslemede, sinüsoidal alternatif akımın enkandesan lambalar uygulamasında olduğu gibi çift yönlü bir enerji transferi söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple lamba türü fark etmeksizin, kare dalganın “1” formunda enerji transferi gerçekleşirken, “0” formunda enerji transferi gerçekleşmemektedir. Bu sebeplerden ötürü, kare dalga formu beslemelerde fliker etkisi incelenirken ve  $n_{\phi}$  ışıklılık oranı tespit edilirken “1” formu ve “0” formunun periyodik süreleri dikkate alınır.

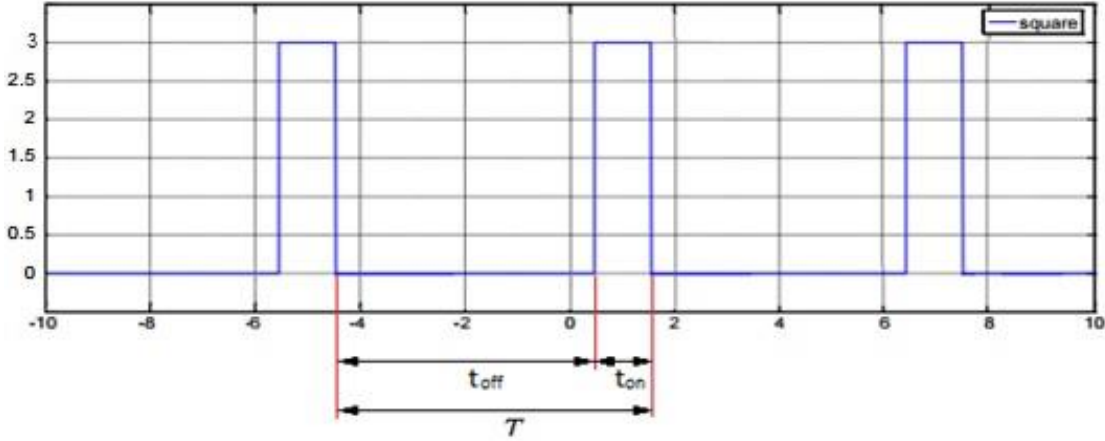


Şekil 4.4. Kare Dalganın Periyodu ve  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  Zaman Aralıkları

#### 4.2. Işıklılık Oranı Uygulama Verileri

Görsel algılamalardaki fliker etkisinin ortaya çıkarılmasını sağlayacak olan  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sürelerine ait verileri değiştirmeye yönelik olan çalışmalar burada ele alınmaktadır.  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  verilerinin değiştirilerek incelenmesinde kullanılan temel kare dalga modeli şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

Şekil 4.5.'de kare dalga formundaki  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sürelerinin değişikliklerinden bir kesit gösterilmiş olup, burada enerji verimliliğini artırma adına  $t_{on}$  süresinin kısaltıldığı, buna karşılık ise  $t_{off}$  süresinin arttırıldığı uygulamalar gösterilmiştir.



Şekil 4.5.  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  Zaman Aralıklarının Değişiminden Bir Kesit

$t_{on}$  ve  $t_{off}$  verilerini değiştirmeye yönelik uygulama devre modeli şekil 4.6.'da uygulamaya ait devre ise şekil 4.7'de gösterilmektedir. Kare dalga formunda bulunan beslemeleri incelediğimizde,  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  zaman aralıklarının elektronik sürücüler ile daha basit bir şekilde değiştirilebilmekte ve lambaların kaynaktan çekmiş oldukları enerjiyi ve gücü azaltabilecek kısıtlamalar yapılabilmektedir. Burada  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sürelerinin toplamı bir periyodu

(T) ifade etmektedir. Şebeke frekansının 50 yada 60 Hz olması nedenleri ile algılanan frekans değerinin 25 Hz'in üstünde olma durumu, kameralarda ve insanlarda görsel açıdan süreklilik algısı oluşmasını sağlamaktadır. İnsanlarda süreklilik algısı sağlansa bile  $t_{on}$ 'daki azalmaya karşılık  $t_{off}$ 'un artıyor oluşu, sağlanan ışığın ortalama değeri ve dolayısıyla etkinliği azaldığından görüntü kalitesinde düşmeye neden olmaktadır.

Çalışma içerisinde,  $t_{on}$  ışıklılık süresinin periyoda olan oranını ifade eden  $n_{\phi}$  ışıklılık oranı ve bu periyodik değişimin frekansları farklı lamba türleri için ele alınmış olup, elde edilen uygulama verileri tablo 4.1.'de görülmektedir.

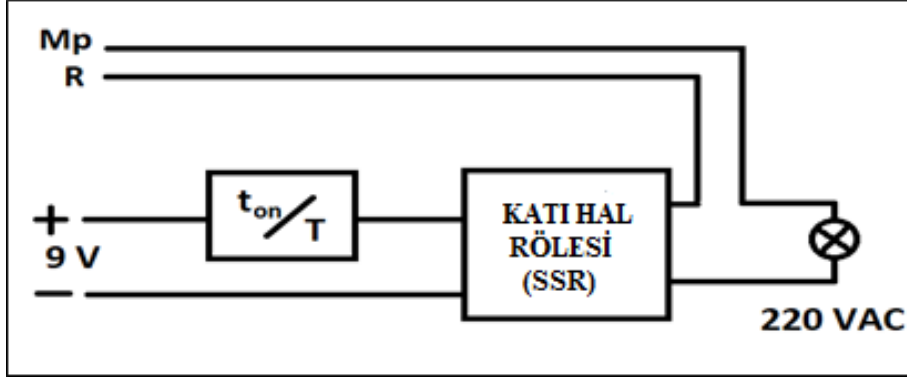
**Tablo 4.1.** Veriler Tablosu

$n_{\phi} = t_{on}/t_{off}$	f (Frekans) (Hz)	Lamba Türü	Lamba Gücü (W)	Işık Akısı (Lümen)	Ortalama Işık Akısı (Lümen)
0,2	40	Enkandesan	60	710	142
0,2	60	Enkandesan	60	710	142
0,5	40	Enkandesan	60	710	355
0,5	60	Enkandesan	60	710	355
0,2	40	LED	10	700	140
0,2	60	LED	10	700	140
0,5	40	LED	10	700	350
0,5	60	LED	10	700	350

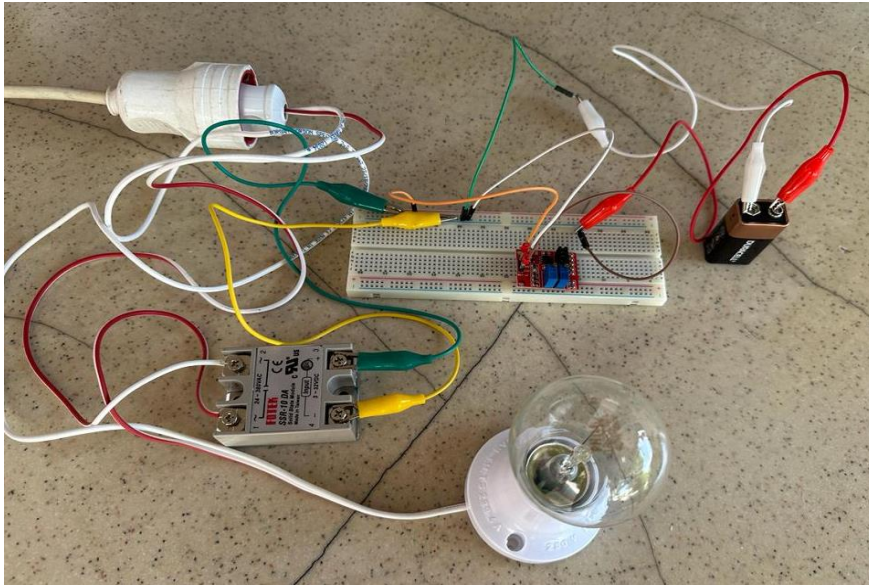
$n_{\phi}$  ışıklılık oranı esaslı farklı lamba türleri için gerçekleştirilmiş lamba aydınlatma uygulamalarına ait ele alınmış olup, elde edilen uygulama verileri tablo 4.1.'de detaylarıyla belirtilmiştir. Bu tabloda; 60 W enkandesan ve 15 W LED lambalara ait lamba güçleri, ışık akıları ve ortalama ışık akıları verilmiştir. Ortalama ışık akıları, lambanın normal ışık akısı ile  $n_{\phi}$  değerlerinin çarpımı olarak tabloda yer almıştır.

#### 4.2.1. Enkandesan Esaslı Fliker Uygulamaları

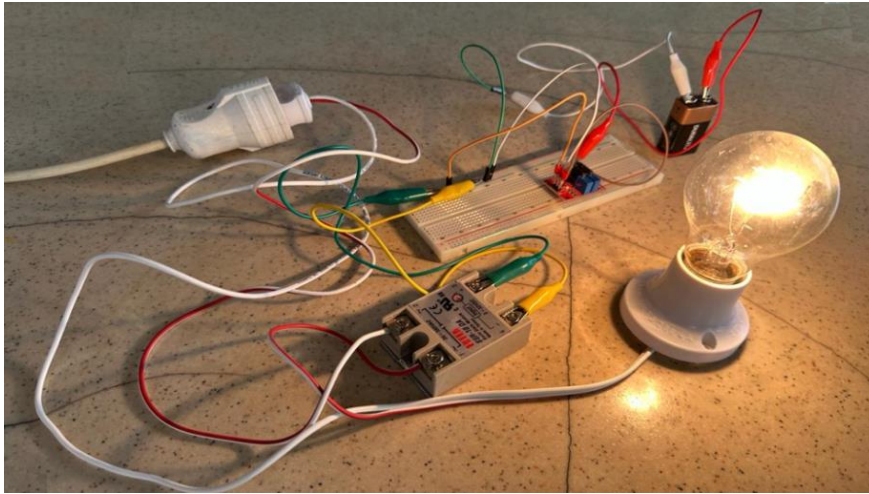
Şekil 4.6.'da gösterilen uygulama devresinde, osilatör devresi kullanılarak  $t_{on} / T$  oranını değiştirmek suretiyle katı hal rölesi ile sürülen 60 W enkandesan lambanın ışıklılık oranı ve fliker etkisi incelenmiştir. Şekil 4.7. ve şekil 4.8.'de ise enkandesan lamba ile yapılan uygulama çalışması görülmektedir.



Şekil 4.6. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulama Devresi



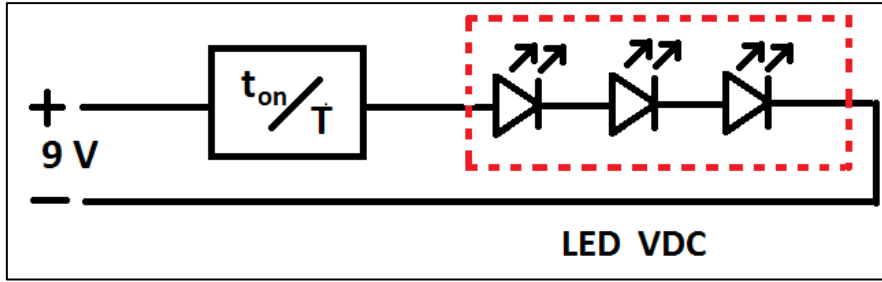
Şekil 4.7. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulaması (Açık Devre)



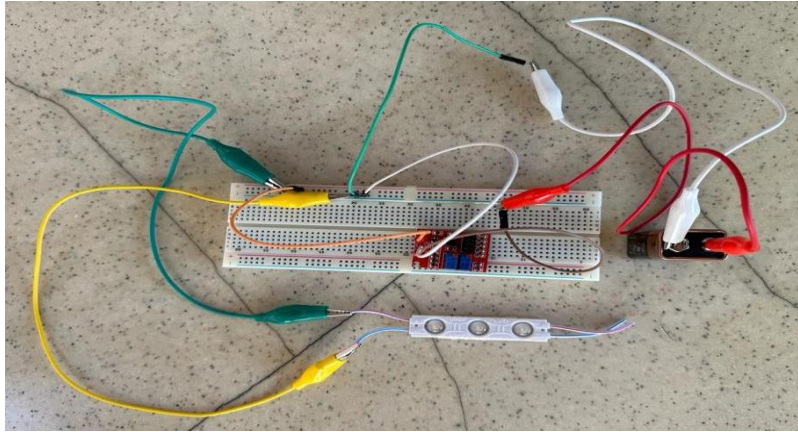
Şekil 4.8. Çalışmaya Ait Enkandesan Lamba Uygulaması (Kapalı Devre)

#### 4.2.2. LED Esaslı Fliker Uygulamaları

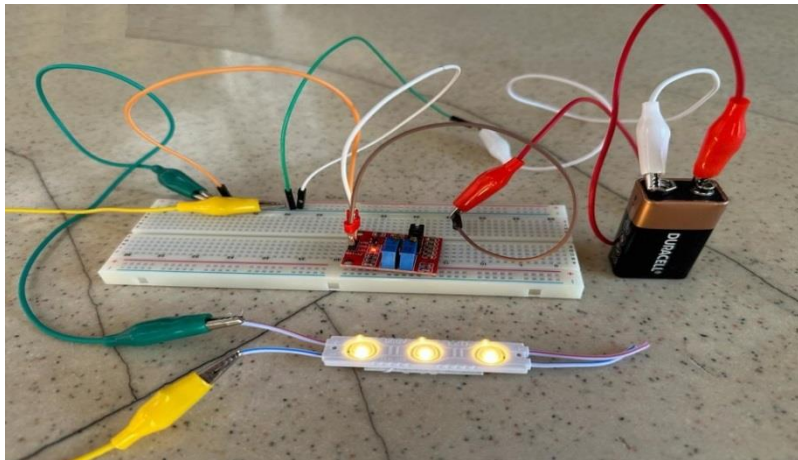
Şekil 4.9.'da gösterilen uygulama devresinde, kare osilatör devresi kullanılarak  $t_{on} / T$  oranını değiştirmek suretiyle LED lambanın ışıklılık oranı ve fliker etkisi incelenmiştir. Şekil 4.10. ve şekil 4.11.'de ise 15W LED lamba kullanılarak oluşturulan uygulama devresi görülmektedir.



Şekil 4.9. LED Lamba Uygulama Devre Modelleri



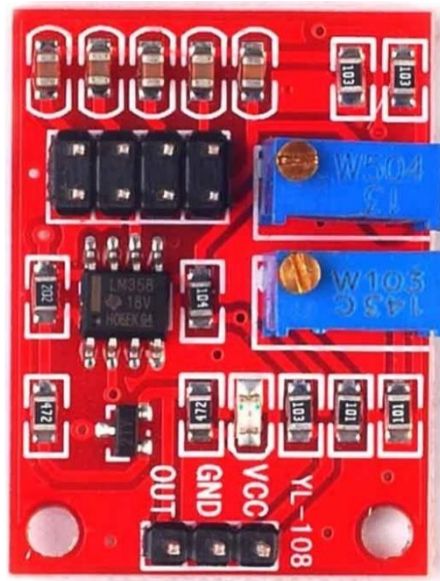
Şekil 4.10. Çalışmaya Ait LED Lamba Uygulama Devresi (Açık Devre)



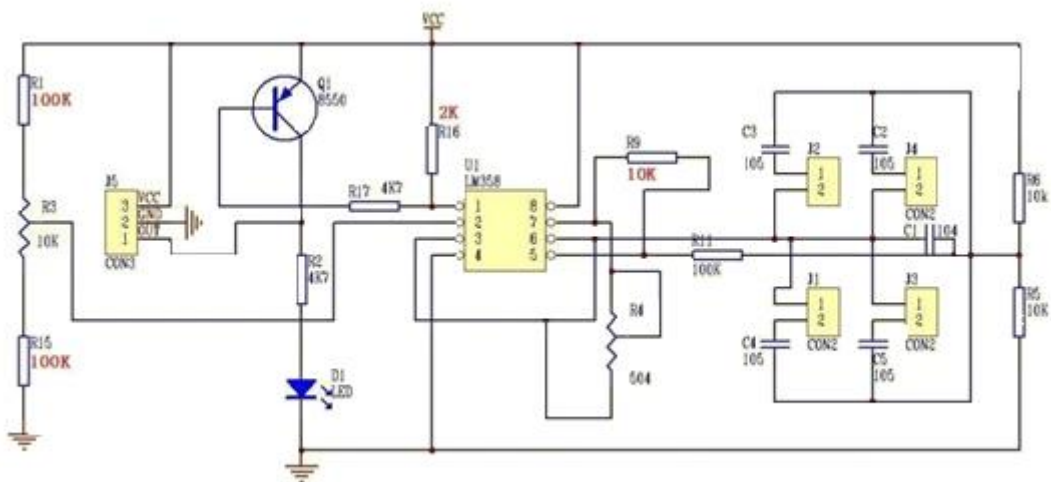
Şekil 4.11. Çalışmaya Ait LED Lamba Uygulama Devresi (Kapalı Devre)

### 4.3. Uygulama Verilerinin Değerlendirilmesi

Kare dalga formundaki beslemede  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  zaman aralıklarını değiştirmek için şekil 4.12.'de gösterilen LM358 Op-Amp entegreli kare dalga osilatör devresi kullanılmıştır. Kare dalga osilatör devresinin ayrıntılı devre modeli şekil 4.13.'de gösterilmiştir. Kare dalga osilatör devresi ile sürülen katı hal rölesinin (SSR) VAC anahtarlama çıkışına bağlanarak enerjilendirilen enkandesan lamba ile uygulama devresi oluşturulmuştur. Kare dalga osilatör devresi ile lambaları  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  değişken zaman aralıklarında enerjilendiren bu düzenek yardımıyla lambaların aktif çalışmasını belirleyen  $n_{\phi}$  ışıklılık oranı esaslı veriler elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Kare Dalga Osilatör Devresi



Şekil 4.13. Kare Dalga Osilatör Devresinin Ayrıntılı Devre Modeli

Günümüzde aydınlatma sistemlerinde kullanılan lambalarda besleme kaynağı esaslı  $t_{off}$  kesintileri enerji verimliliğini arttırmaya yönelik olarak yapılabilmektedir. Genel olarak yapılan analizler sonucunda, düşük güçlü enkandesan lambalarda ve yetersiz teknolojiye sahip olan LED lambalarında fliker etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Lamba gücü arttıkça, flaman yapının kütesel ve hacimsel artışı da söz konusu olduğundan, besleme kaynağı esaslı  $t_{off}$  kesintilerinde flaman soğuması daha geç gerçekleştiğinden fliker etkisi azalmaktadır. Benzer biçimde floresan ve LED esaslı lambalarda, besleme kaynağı esaslı  $t_{off}$  kesintilerinde düşük kaliteye sahip lamba türlerinde fosforik ışık regülasyonu yetersiz kalabilmektedir.



Şekil 4.14. Algılama Grafiği

Çalışmada  $n_\phi$  ışıklılık oranı şeklinde tanımlanan bu değer 1'den düşük seviyelere inmesi, lambaların harcadığı enerjinin daha az olmasına neden olurken kameranın ve gözün algılama seviyesinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu kapsam içerisinde, 1 periyot süredeki  $n_\phi$  oranı 1'den 0'a doğru düşme durumunu gösteren grafik şekil 4.14.'de görülmektedir. Şu sonuca varabiliriz ki,  $t_{on}$  ışıklılık süresinin azaltılarak,  $t_{off}$  ışıksızlık süresindeki artış,  $n_\phi$  oranını azaltmakta olup kamera ve göz algılamalarını da azaltmaktadır.

#### 4.4. Işıklılık Oranı Esaslı Aydınlatmanın Etki Verileri

Konumuza ait düzenek kurularak toplam 40 kişilik ve 20-30 yaş aralığındaki erkek bireyler ile gerçekleştirilen, 40 ve 60 Hz frekanslı beslemeler ile yapılan çalışmaya ait kişi bazlı fliker etkisi esaslı aydınlatma memnuniyet verileri tablo 4.2. ve 4.3.'de gösterilmiştir. Yüzdelik bazlı fliker etkisi esaslı aydınlatma memnuniyet verileri ise tablo 4.4. ve 4.5.'de gösterilmiştir. Uygulama düzeneğindeki ışık kaynaklarının kişilerde oluşturduğu algılar hakkındaki görüşleri tablo haline getirilmiştir. Bu çalışma fliker etkisinin insanlar üzerinde

yarattığı görsel ve psikolojik durumları incelemek için oluşturulmuştur. Çalışmadaki anket, Şekil 4.14. algılama grafiğinde belirtilen  $n_\phi$  oranı dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen kişi bazlı olan tablo 4.2. ve 4.3. ile yüzdelik bazlı olan tablo 4.4. ve 4.5.'deki veriler incelendiğinde,  $n_\phi$  oranının azalması ile lambalarda daha az enerji tüketilmesinin gereği olarak enerji verimliliklerinde ve lambaların ömür sürelerinde iyileşme gerçekleşebileceği düşünülse dahi; kameraların algılamasında ve görme şartlarında oluşan zorlukların  $n_\phi$  oranının 0,8 seviyesine düşürülmesi halinde başlangıç seviyelerinde olduğu,  $n_\phi$  oranının 0,6 seviyelerine düşürülmesi durumunda daha da belirginleştiği,  $n_\phi$  oranının 0,4 seviyesine düşürülmesi halinde görme kalitesinin ve algılamanın yetersiz seviyelerde olduğu;  $n_\phi$  oranının 0,3 ve daha altı seviyelerine düşürülmesi durumunda ise kabul edilemeyecek seviyelerde gerçekleştiği anlaşılmıştır.

**Tablo 4.2.** Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı Aydınlatma Anketi (f=40 Hz)

No	Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı, Aydınlatma Memnuniyeti Anket Soruları	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim yok	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	28	4	8	0
2.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	0	0	30	10
3.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	29	5	6	0
4.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	0	0	32	8
5.	Lambaların $n_\phi=0,2$ oranlı aydınlatmalarında psikolojik olarak olumsuz olarak etkilendim.	0	0	4	32	4

**Tablo 4.3.** Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı Aydınlatma Anketi (f=60 Hz)

No	Kişi Bazlı Fliker Etkisi Esaslı, Aydınlatma Memnuniyeti Anket Soruları	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim yok	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	18	21	1	0	0
2.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	0	0	32	8
3.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	14	26	0	0	0
4.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	0	0	0	35	5
5.	Lambaların $n_\phi=0,2$ oranlı aydınlatmalarında psikolojik olarak olumsuz olarak etkilendim.	0	0	2	34	4

**Tablo 4.4.** Yüzdellik Bazlı Fliker Etkisi Aydınlatma Anketi (f=40 Hz)

No	Yüzdellik Bazlı Fliker Etkisi Esası, Aydınlatma Memnuniyeti Anket Soruları	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim yok	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%70	%10	%20	%0
2.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%0	%0	%75	%25
3.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%72,5	%12,5	%15	%0
4.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%0	%0	%80	%20
5.	Lambaların $n_\phi=0,2$ oranlı aydınlatmalarında psikolojik olarak olumsuz olarak etkilendim.	%0	%0	%10	%80	%10

**Tablo 4.5.** Yüzdellik Bazlı Fliker Etkisi Aydınlatma Anketi (f=60 Hz)

No	Yüzdellik Bazlı Fliker Etkisi Esası, Aydınlatma Memnuniyeti Anket Soruları	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim yok	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%45	%52,5	%2,5	%0	%0
2.	60 watt gücündeki enkandesan lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%0	%0	%80	%20
3.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,5$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%35	%65	%0	%0	%0
4.	15 watt gücünde olan LED lambanın $n_\phi=0,2$ oranlı enerjilenmesi gözümü rahatsız etmiştir.	%0	%0	%0	%87,5	%12,5
5.	Lambaların $n_\phi=0,2$ oranlı aydınlatmalarında psikolojik olarak olumsuz olarak etkilendim.	%0	%0	%5	%85	%10

Aydınlatma düzeneği kurularak kişilerin görsel algıları hakkındaki görüşlerini belirtmesi için oluşturulan kişisel bazlı tablolar 4.2. ve 4.3. ile yüzdellik bazlı tablolar 4.4. ve 4.5.'deki ölçüm aracına göre belirlenen istatistik sonuçlar ise;

40 Hz frekanslı besleme ile enerjilendirilen lambalarda;

Birinci maddeye göre, 60 watt enkandesan lambanın ışıklılık oranının  $n_\phi = 0,5$  olarak enerjilenmesi sonucunda 8 kişi ışığın gözünü rahatsız etmediğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %20 olarak belirlenmiştir.

İkinci maddeye göre, 60 watt enkandesan lambanın ışıklılık oranının  $n_\phi = 0,2$  olarak enerjilenmesi sonucunda 40 kişi ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

Üçüncü maddeye göre, 15 watt LED lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,5$  olarak enerjilenmesi sonucunda 6 kişi ışığın gözünü rahatsız etmediğini belirtmiştir. Kişilerin görüşlerinin oransal karşılığı ise %15 olarak belirlenmiştir.

Dördüncü maddeye göre, 15 watt LED lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,2$  olarak enerjilenmesi sonucunda 40 kişi ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

Beşinci maddeye göre, aydınlatma kaynaklarının 40 Hz frekanslı ve  $n_{\phi} = 0,2$  oranlı enerjilendirilmesi sonucundaki aydınlatmalarda 40 kişi psikolojik olarak olumsuz etkilendiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

60 Hz frekanslı besleme ile enerjilendirilen lambalarda;

Birinci maddeye göre, 60 watt enkandesan lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,5$  olarak enerjilenmesi sonucunda hiç kimse ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmemiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %0 olarak belirlenmiştir.

İkinci maddeye göre, 60 watt enkandesan lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,2$  olarak enerjilenmesi sonucunda 40 kişi ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

Üçüncü maddeye göre, 15 watt LED lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,5$  olarak enerjilenmesi sonucunda hiç kimse ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmemiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %0 olarak belirlenmiştir.

Dördüncü maddeye göre, 15 watt LED lambanın ışıklılık oranının  $n_{\phi} = 0,2$  olarak enerjilenmesi sonucunda 40 kişi ışığın gözünü rahatsız ettiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

Beşinci maddeye göre, aydınlatma kaynaklarının 60 Hz frekanslı ve  $n_{\phi} = 0,2$  oranlı enerjilendirilmesi sonucundaki aydınlatmalarda 40 kişi psikolojik olarak olumsuz etkilendiğini belirtmiştir. Kişi görüşlerinin oransal karşılığı ise %100 olarak belirlenmiştir.

Aydınlatma düzeneğine karşı kişilerin belirtmiş olduğu görüşlerinin sonucu olarak 60 Hz frekans ile enerjilendirilen lambalardaki  $n_{\phi}$  oranının 0,5 olduğu değere kadar görsel algılamada sorun yaşanmamaktadır. 40 Hz frekans ile enerjilendirilen lambalardaki  $n_{\phi}$  oranının 0,5 olduğu değere kadar görsel algılamada az sayıdaki kişiler sorun yaşamaktadır.

60 ve 40 Hz frekans ile enerjilendirilen lambalardaki ışıklılık oranı,  $n_\phi = 0,5$  oranından daha düşük değerlerde olduğu zaman görsel algılama sorunları giderek belirginleşmekte olup  $n_\phi = 0,2$  değerlerinde ise kabul edilemez seviyede olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca 60 veya 40 Hz frekansları ile  $n_\phi = 0,2$  ışıklılık oranına göre enerjilendirilen aydınlatma kaynaklarındaki görsel algılama sonucunda insan psikolojisinde olumsuz etkiler yarattığı tespit edilmiştir.

## 5. SONUÇ

Gerçekleştirilmiş olan çalışmada, armatür ve lambaların devrede olması veya olmaması sürelerini belirleyen  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  süreleri bazlı olarak enerjinin verimliliğine ait analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ortaya çıkmış olan verilere göre, kameralar ve insanlar algılayamasa dahi ortaya çıkmış olan ışık ve ışıksızlık etkisinin, görme sağlığı ve algılama kalitesi bakımından istenilen uygun şartlardan uzaklaştırmaya yönelik etkilerin oluştuğu gözlemlenmektedir.

Burada, istenilen uygun şartlardan uzaklaştıran etkilerin anlamı, anahtarlamasız doğru akımı kullanan yeni teknoloji lambalar veya flaman soğumasından dolayı ışık akısı kaybının oluşmadığı enkandesan lambalarla sağlanmış olan görme ve algılama kalitesinden uzaklaşma tanımlanmıştır.

Enerji kaynağının özelliklerine bağlı olarak oluşan fliker dalgalanmaları çalışmada incelenerek enerjideki verimlilikleri ve algılamalarda oluşturdukları sorunlar yönünden incelenmiştir. Yapılmış olan araştırma ve incelemelerin sonucunda; cisimlerin gözle görünürlüklerini sağlayan unsurun büyük ölçüde parlaklığa ait olduğu, ışık tarafından oluşturulmuş olan flikerin, lamba beslemelerinde kullanılmış olan elektriksel enerji kaynakları açısından incelenmesinin gerekli olduğu görülmüştür.

Lambalardaki elektriksel beslemelerde kullanılan dalga formları dikkate alındığında üçgen ve sinüs dalga formu kaynaklı beslemelerde yapılarının özelliği sebebiyle  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sürelerindeki eşitlik ortaya çıkmaktadır. Kare dalga formu ile aydınlatma kaynaklarının çalıştırılmasında ise  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  süreleri için ayarlanabilirlik hususu ortaya çıkmaktadır. Gerçekleştirilmiş olan uygulamalar ve analizlerin neticesinde  $t_{on} / T$  oranının küçültülmesi enerjideki verimliliği arttırırken, görsel algılamalarda sorunların oluştuğu meydana çıkmaktadır. Bu hususun tersi olarak ise,  $t_{on} / T$  oranındaki büyümenin enerjideki verimliliği azaltırken, görsel algılamalarda ise rahatlık ve kolaylık oluşturduğu meydana çıkmaktadır.

Yapılan anket sonuçlarına göre  $n_{\phi}$  ışıklılık oranının 0,5 değerinin altına düştüğü aydınlatma kaynağı enerjilendirmelerinde, insanların görsel algılama kalitelerinde olumsuz etkiler oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda insanları psikolojik olarak olumsuz etkilediği de belirlenmiştir. Aydınlatmalarda,  $n_{\phi}$  ışıklılık oranının 0,2 değerine düştüğü durumda ise insanlardaki görsel algılamadaki olumsuz etkilerin kabul edilemez seviyede olduğu ve psikolojik olarak da olumsuz etkilerin oluştuğu tespit edilmiştir.

Aydınlatmada kullanılan ışık kaynaklarında enerji verimliliğini daha yüksek değerlere ulaştırmak isterken, insanların görsel algılamalarındaki kaliteyi düşürmemek ve psikolojik olarak rahatsızlık verici aydınlatma tasarımlarının sağlanmaması gerekmektedir. Bu sebeple lambaları besleyen enerji kaynakları tasarımlarında  $n_{\phi}$  ışıklılık oranının 0,5 değerinden düşük seviyede tutulmaması önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

- İmal N., & Taşkan B.** (2016). Yol Aydınlatmasında Flicker Etkisi Esaslı Direk Açıklığı Tespiti, Düzce Üniversitesi, *Bilim ve Teknoloji Dergisi*.
- Kepler T. v.d.** (2003). "Theoretical assessment of light flicker caused by sub- and interharmonic frequencies," in IEEE Transactions on Power Delivery, 18(1), 329-333, doi: 10.1109/TPWRD.806690.
- Drapela J. v.d.** (2005). "Light flicker of fluorescent lamps with different types of ballasts caused by interharmonics," 2005 IEEE Russia Power Tech, 1-7, doi: 10.1109/PTC.4524419.
- Veitch J. A., & McColl S.L.** (1995). Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. International Journal of Lighting Research and Technology. ; 243-256, doi:10.1177/14771535950270040301
- Atasal M.** (2000). *Güç Kalitesi ve Fliker*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gallo D., Langella R., & Testa A.** (2001). "Light flicker prediction based on voltage spectral analysis," 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502), 6, doi: 10.1109/PTC.964629.
- Ni P. v.d.** (2011). Spatial flicker effect in video scaling. In 2011 Third International Workshop on Quality of Multimedia Experience. IEEE. s.55-60
- Collin A. J. v.d.** (2019). "Light Flicker and Power Factor Labels for Comparing LED Lamp Performance," in IEEE Transactions on Industry Applications, 55, 7062-7070, doi: 10.1109/TIA.2919643.
- Drapela J. v.d.** (2018). Generalized lamp model for light flicker studies. Electric Power Systems Research, 154, 413-422.
- Yao Y. v.d.** (2020). Non-invasive 40-Hz light flicker ameliorates Alzheimer's-associated rhythm disorder via regulating central circadian clock in mice. Frontiers in physiology, 294.
- Yoshimoto S. v.d.** (2020). Visual discomfort from flicker: Effects of mean light level and contrast.,173, 50-60.
- Bucci G., Fiorucci E., & Landi C.** (2008). "A Digital Instrument for Light Flicker Effect Evaluation," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 57(1), 76-84, doi: 10.1109/TIM.908115.

- Brundrett GW.** (1974). Human sensitivity to flicker. *Lighting Research & Technology*, 6(3), 127-143, doi:10.1177/096032717400600302
- Barros J. v.d.** (2016). "Rapid Voltage Changes in Power System Networks and Their Effect on Flicker," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(1), 262-270, doi: 10.1109/TPWRD.2452967.
- Morcos M. M., & Gomez J. C.** (2002). "Flicker Sources and Mitigation," in *IEEE Power Engineering Review*, 22(11), 5-10, doi: 10.1109/MPER. 1045561.
- Barros J. v.d.** (2017). "Minimum requirements for rapid voltage changes regulation based on their effect on flicker," 2017 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 1-5, doi: 10.1109/AMPS. 8078346.
- Lodetti S. v.d.** (2019). Flicker of Modern Lighting Technologies Due to Rapid Voltage Changes. *Energies* , 12, 865
- Cai R.R. v.d.** (2009). Flicker responses of different lamp types. *Iet Generation Transmission & Distribution*, 3, 816-824.
- Frater L. P., & Watson N. R.** (2007). "Light flicker sensitivity of high efficiency compact fluorescent lamps," 2007 Australasian Universities Power Engineering Conference, 1-6, doi: 10.1109/AUPEC.4548067.
- Peretto L. v.d.** (2005). "Theoretical Analysis of the Physiologic Mechanism of Luminous Variation in Eye-Brain System," 2005 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 128-133, doi: 10.1109/IMTC. 1604084.
- Kim T. v.d.** (2008). "LED Lamp Flicker Caused by Interharmonics," 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1920-1925, doi: 10.1109/IMTC.4547361.
- Slezingr J. v.d.** (2012). "A new simplified model of compact fluorescent lamps in the scenario of smart grids," 2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 835-841, doi: 10.1109/ICHQP. 6381237.
- Drapela J., & Langella R.** (2014). Lighting systems. Light sources in modern buildings: characterization, modeling and simulations (presentation). IEEE PES GM, Panel Session: New Harmonic Sources in Modern Buildings, Washington DC. 413-422.

**Molina J. & Sainz L.** (2014). "Model of Electronic Ballast Compact Fluorescent Lamps," in IEEE Transactions on Power Delivery, 29(3), 1363-1371, doi: 10.1109/TPWRD. 2284095.

**Miller, N. J. v.d.** (2023). Flicker: A review of temporal light modulation stimulus, responses, and measures. Lighting Research & Technology, 55(1), 5-35.

**Vučković, D. v.d.** (2022). Light Flicker and Potential Biological Effects. Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection. 137-148.