**T.C.**
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DOĞRUDAN AYDINLATMALI LED ARKA IŞIK SİSTEMİ TASARIMLARINA SAHİP TELEVİZYONLARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE FAYDA MALİYET AÇISINDAN İNCELENMESİ

**Olcay SARIBIYIK**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ

Şubat, 2025

**T.C.**
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DOĞRUDAN AYDINLATMALI LED ARKA IŞIK SİSTEMİ TASARIMLARINA SAHİP TELEVİZYONLARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE FAYDA MALİYET AÇISINDAN İNCELENMESİ

Olcay SARIBIYIK tarafından hazırlanan tez çalışması 12.02.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. İsmail NAKİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Önder GÜLER, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Doğrudan Aydınlatmalı LED Arka Işık Sistemi Tasarımlarına Sahip Televizyonların Enerji Verimliliği ve Fayda Maliyet Açısından İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Olcay SARIBIYIK

İmza

*Aileme*
*ve*
*eşime*

# TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında katkıları olan herkese içtenlikle teşekkür ederim.

Öncelikle, sevgili eşim Tuba Sarıbıyık'a sonsuz teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bu süreçte bana gösterdiğin sabır, anlayış ve destek olmasaydı, bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı. Senin sevgin ve desteğin, bu zorlu yolculukta en büyük motivasyon kaynağım oldu.

Sevgili oğlum Alperen Sarıbıyık, henüz sadece 1 yaşında olsan da varlığınla bana her gün yeni bir umut ve enerji verdin. Senin gülümsemen, yorgun olduğum anlarda bile bana güç verdi. Bu çalışmayı senin geleceğin için daha iyi bir dünya yaratma umuduyla tamamladım.

Anne ve babam, Aysel ve Mehmet Sarıbıyık, sizlere de minnettarım. Hayatım boyunca bana gösterdiğiniz sevgi, destek ve verdiğiniz değerlerle bugünlere geldim. Her zaman arkamda duran ve beni yüreklendiren sizlere sonsuz teşekkürler.

Ayrıca, çalışmakta olduğum Arçelik A.Ş. ailesine teşekkür etmek istiyorum. Çalışma ortamımda bana sağladığınız esneklik ve destek sayesinde akademik çalışmalarımı sürdürebildim. Sizlerin yardımıyla bu tezi tamamlayabildim.

Son olarak, tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Ramazan Ayaz'a teşekkür etmek istiyorum. Kendisinin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstermesi ve desteği, bu tezin başarılı bir şekilde tamamlanmasında büyük rol oynadı. Her türlü yardımı ve rehberliği için minnettarım.

Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (YTUBAPK-FYL-2023-5681) bu çalışma süresince sağladıkları destek için teşekkür ediyorum.

Olcay SARIBIYIK

# İÇİNDEKİLER

**SİMGE LİSTESİ** vii

**KISALTMA LİSTESİ** ix

**ŞEKİL LİSTESİ** xi

**TABLO LİSTESİ** xiii

**ÖZET** xv

**ABSTRACT** xvii

**1 GİRİŞ** 1

1.1 Literatür Özeti . . . . . 1

1.2 Tezin Amacı . . . . . 4

1.3 Hipotez . . . . . 4

**2 FOTOMETRİK ve RADYOMETRİK BÜYÜKLÜKLER** 5

2.1 Işık ve Eletkromanyetik Spektrum . . . . . 5

2.2 Fotometri ve Radyometri . . . . . 6

2.2.1 Radyometrik Büyüklükler . . . . . 6

2.2.2 Fotometrik Büyüklükler . . . . . 8

**3 LED TV ARKA AYDINLATMA SİSTEMLERİ ve REGÜLASYONLARI** 12

3.1 Led Arka Aydınlatma Teknolojileri ve Unsurları . . . . . 12

3.1.1 Kenar aydınlatmalı arka aydınlatma sistemleri . . . . . 12

3.1.2 Doğrudan Aydınlatmalı Arka Aydınlatma Sistemleri . . . . 13

3.2 Elektronik Görüntü Cihazlarında Enerji Regülasyonları . . . . . 17

3.3 Görsel Değerlendirme Ölçümü . . . . . 24

3.4 Parıltı Homojenlik Ölçüm Standartları . . . . . 25

3.4.1 VESA FPDM Standardına Göre Parıltı Düzgünlük Ölçümü . 25

3.4.2 ISO Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü . . . . . 26

3.4.3 TCO Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü . . . . . 28

3.4.4 SPWG Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü . . . . . 29
3.5 Gamut . . . . . 30

**4 LOŞLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI 31**
4.1 Led Sürücüler . . . . . 31
4.1.1 Analog Loşlaştırma . . . . . 32
4.1.2 PWM Loşlaştırma . . . . . 33
4.2 Loşlaştırma Yöntemlerinin Etkilerinin Karşılaştırılması . . . . . 34
4.2.1 Ölçüm Düzeneği . . . . . 34

**5 DOĞRUDAN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ARKA AYDINLATMA GÖRÜNTÜ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 37**
5.0.1 Düzgünlük Faktörü Ölçüm Düzeneği . . . . . 37
5.1 Görüntü Kalitesini Subjektif Değerlendirilmesi . . . . . 43
5.1.1 Ölçüm Düzeneği . . . . . 57

**6 Parametre Optimizasyon Analizleri 60**
6.1 Konfigürasyon Listesi . . . . . 60
6.1.1 Konfigürasyonların Maliyet Karşılaştırılması . . . . . 63
6.1.2 Konfigürasyonların Renk Gamutuna Göre Karşılaştırılması . 64
6.1.3 Konfigürasyonların Parıltı ve Güç Tüketimine Göre Karşılaştırılması . . . . . 68
6.1.4 Konfigürasyonların Görüntü Kalitesine Göre Karşılaştırılması 72
6.1.5 Konfigürasyonların Genel Puan Değerlendirilmesi . . . . . 75
6.1.6 Ağırlıklandırma Senaryoları . . . . . 77

**7 SONUÇ 83**

**KAYNAKÇA 85**

**TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 88**

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| W/sr.m2 | Birim Uzay Açısındaki Işınım Akısı Birimi |
| $\theta$ | Düzlem açı |
| s | Düzlem açının gördüğü yayın uzunluğu |
| e | Işınım Akısı |
| J/nm | Işınım Enerjisi |
| Q | Işınım Enerjisi |
| W/sr | Işınım Şiddeti Birimi |
| J | Joule |
| cd | Kandela |
| Aak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film |
| Bak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Prizma Film+Difüzör Film |
| Cak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film+Prizma Film |
| Dak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Dikey Prizma Film+Difüzör Film+Prizma Film |
| Eak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Fak | KSF (Analog Loşlaştırma) - DP+Core/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Apk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film |
| Bpk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Prizma Film+Difüzör Film |
| Cpk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film+Prizma Film |
| Dpk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Dikey Prizma Film+Difüzör Film+Prizma Film |
| Epk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |

| | |
|---|---|
| Fpk | KSF (PWM Loşlaştırma) - DP+Core/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Lmax | Maksimum Parıltı |
| Lmin | Minimum Parıltı |
| Lv | Parıltı |
| W/nm | Spektral Işınım Akısı |
| Ω | Uzay Açı |
| Aay | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film |
| Bay | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Prizma Film+Difüzör Film |
| Cay | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film+Prizma Film |
| Day | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Dikey Prizma Film+Difüzör Film+Prizma Film |
| Eay | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Fay | YAG (Analog Loşlaştırma) - DP+Core/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Apy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film |
| Bpy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Prizma Film+Difüzör Film |
| Cpy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film+Prizma Film |
| Dpy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Dikey Prizma Film+Difüzör Film+Prizma Film |
| Epy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Difüzör Film/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| Fpy | YAG (PWM Loşlaştırma) - DP+Core/Yatay Prizma Film/Dikey Prizma Film |
| R | Yarıçap |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| AL | Analog Loşlaştırma |
| BEF | Brightness Enhancement Film (Parlaklık Arttırıcı Film) |
| CCD | Charge-Coupled Device (Yük Bağlaşımlı Cihaz) |
| CCFL | Cold Cathode Fluorescent Lamp (Soğuk Katot Floresan Lamba) |
| CIE | Uluslararası Aydınlatma Komisyonu |
| CRI | Color Rendering Index (Renksel geriverim) |
| CRT | Cathode Ray Tube (Katot Işınlı Tüp) |
| DBEF | Double Brightness Enhancement Film (Çift Parlaklık Arttırıcı Film) |
| EEI | Enerji Verimliliği Endeksi |
| EU | European Union (Avrupa Birliği) |
| HDR | Yüksek Dinamik Aralık |
| ISO | International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) |
| KSF | Potasyum Silikon Florit |
| LGP | Light Guide Plate (Işık Klavuz Levhası) |
| LCD | Liquid Crystal Display(Likit Kristal Ekran) |
| LED | Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot) |
| NTSC | Ulusal Televizyon Sistemi Komitesi |
| PWM | Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu) |
| PET | Polietilen Tereftalat |
| PS | Polistiren |
| RGB | Kırmızı yeşil mavi |
| SDR | Standart Dinamik Aralık |

| | |
|---|---|
| TV | Television (Televizyon) |
| YAG | Itriyum Alüminyum Garnet |

# ŞEKİL LİSTESİ


**Şekil 2.1** Elektromanyetik spektrum . . . . . 5
**Şekil 2.2** Düzlemdeki açı ve uzaydaki açı . . . . . 7
**Şekil 2.3** Yüzeye giren ve yüzeyden çıkan ışınım . . . . . 8
**Şekil 3.1** Kenardan aydınlatmalı sistem gösterimi . . . . . 12
**Şekil 3.2** Işık yönelendirme plakası . . . . . 13
**Şekil 3.3** Doğrudan aydınlatmalı arka ayndınlatma sistemleri . . . . . 13
**Şekil 3.4** VESA FPDM standard 306-1'e göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü . . . . . 25
**Şekil 3.5** ISO standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü . . 27
**Şekil 3.6** TCO standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü . . 28
**Şekil 3.7** SPWG standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü . 29
**Şekil 4.1** Analog loşlaştırmali led sürücü devresi . . . . . 32
**Şekil 4.2** Analog loşlaştırma akım-gerilim grafiği . . . . . 33
**Şekil 4.3** Darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemine sahip led sürücü . . . . . 33
**Şekil 4.4** Darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemi . . . . . 34
**Şekil 4.5** Ölçüm düzeneği . . . . . 35
**Şekil 4.6** Farklı led markalarına ait örneklerle kurulan sistemin analog ve darbe genişliği loşlaştırma yöntemi ile ölçülen parıltı değerleri . . 36
**Şekil 5.1** Düzgünlük ölçüm düzeneği . . . . . 37
**Şekil 5.2** CCD kamera ölçüm sonucu örnek parıltı haritası görüntüsü . . . . 38
**Şekil 5.3** Doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem örneği . . . . . 39
**Şekil 5.4** Doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem beyaz ekran CCD kamera görüntü örneği . . . . . 39
**Şekil 5.5** Parıltı değişim eğrisi örneği . . . . . 40
**Şekil 5.6** Orta bölgeden köşeye doğru gittikçe parıltının değişim grafiği . . 41
**Şekil 5.7** Parıltı değerinin değişim hızı grafiği . . . . . 42
**Şekil 5.8** Kenardan aydınlatmalı sistemde parıltı değişim hızı grafiği . . . . 43
**Şekil 5.9** Kullanıcı değerlendirme ekranı kontrast ve parıltı kalibrasyon değerlendirmesi . . . . . 44
**Şekil 5.10** Değerlendirmeye sunulan farklı beyaz ekranlar . . . . . 45
**Şekil 5.11** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonlar 50

**Şekil 5.12** Daraltılmış anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonlar . . . . . 54
**Şekil 5.13** Hesap sıralaması ile daraltılmış kullanıcı sıralamaları arasında ki korelasyon dağılımı . . . . . 57
**Şekil 5.14** Ledbar ve reflektör teknik resimleri . . . . . 58
**Şekil 5.15** Ölçüm düzeneği . . . . . 59
**Şekil 6.1** Konfigürasyonların maliyet karşılaştırılması . . . . . 64
**Şekil 6.2** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda parıltı değerlerinin karşılaştırılması . . . . . 69
**Şekil 6.3** Konfigürasyonların 200 cd/m$^2$ parıltı değerinde güç tüketim karşılaştırılması . . . . . 71
**Şekil 6.4** Konfigürasyonların 300 cd/m$^2$ parıltı değerindeki kamera görüntüleri . . . . . 73
**Şekil 6.5** Konfigürasyonların parıltı değişimi ve parıltı değişim hızı . . . . . 74

# TABLO LİSTESİ


**Tablo 3.1** 1062/2010/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları . . . . . 18
**Tablo 3.2** 2019/2013/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları . . . . . 19
**Tablo 3.3** 2019/2013/EU'ya göre $P_{measured}$ değerinin ölçülmesi . . . . . 20
**Tablo 3.4** 2019/2013/EU'ya göre $corr_l$ değerinin hesaplanması . . . . . 20
**Tablo 3.5** 2019/2021/EU'ya göre enerji verimliliği endeksi limitleri . . . . 22
**Tablo 3.6** 2021 öncesi (1062/2010 Direktifine Göre) Enerji Sınıfları . . . . 23
**Tablo 3.7** 2021 Sonrası (2019/2013/EC Direktifine Göre) Enerji Sınıfları . . 23
**Tablo 3.8** Üretilebilirlik Limitleri Tablosu . . . . . 24
**Tablo 4.1** Ölçüm sonuçlarına göre ortaya çıkan maksimum, minimum ve ortalama parıltılar . . . . . 35
**Tablo 5.1** Parıltı Değişim Datası . . . . . 40
**Tablo 5.2** Televizyonların iyiden, kötüye sıralama sonuçları . . . . . 46
**Tablo 5.4** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları 49
**Tablo 5.5** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları 52
**Tablo 5.6** Daraltılmış anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları . . . . . 53
**Tablo 5.7** 4, 5, 11, 14 ve 9 numaralı televizyonların görüntü kalitesi değerlendirmesi sonuçları . . . . . 54
**Tablo 5.8** Hesap sıralaması ile kullanıcı sıralamaları arasında ki korelasyon sonuçları . . . . . 56
**Tablo 6.1** Konfigürasyon listesi ve maksimum parıltılar . . . . . 60
**Tablo 6.2** Konfigürasyonların maliyet karşılaştırılması . . . . . 63
**Tablo 6.3** Konfigürasyonların beyaz ve kırmızı renk ölçümleri . . . . . 65
**Tablo 6.4** Konfigürasyonların Yeşil ve Mavi renk ölçümleri . . . . . 66
**Tablo 6.5** Konfigürasyonların NTSC renk gamut ölçümleri . . . . . 67
**Tablo 6.6** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda parıltı değerleri . . . 68
**Tablo 6.7** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda güç tüketimi . . . . 70
**Tablo 6.8** Konfigürasyonların görüntü kalitesi puanı . . . . . 75
**Tablo 6.9** Konfigürasyonların farklı parametrelere göre değerlendirme puanları . . . . . 76
**Tablo 6.10** Konfigürasyonların görüntü kalitesi puanı . . . . . 77

**Tablo 6.11** Konfigürasyonların eşit ağırlıklandırma ile oluşturulmuş normalleştirilmiş performans skorları . . . . . 78
**Tablo 6.12** Maliyet parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları . . . . . 79
**Tablo 6.13** Maliyet ve güç tüketiminin parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları . . . . . 80
**Tablo 6.14** Maliyet ve görüntü kalitesi parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları . . . . . 82

# ÖZET

## Doğrudan Aydınlatmalı LED Arka Işık Sistemi Tasarımlarına Sahip Televizyonların Enerji Verimliliği ve Fayda Maliyet Açısından İncelenmesi

Olcay SARIBIYIK

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ

Tüketici elektroniği sektöründeki hızlı büyüme sektör içerisindeki rekabetin artmasını ve maliyetlerin düşmesine neden olmuştur. Bu sayede tüketici elektroniği ürünlerinin ulaşılabilirliği kolaylaştırmıştır. Bu gelişimin doğal sonucu olarak dünya üzerinde ciddi sayıda tüketici elektroniği ürünü kullanılmakta ve bu ürünlerin tükettiği enerji miktarı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda ciddi miktardaki enerji tüketiminin kontrol altına alınma ihtiyacı doğmuştur ve her bir ürün için farklı üretilebilirlik limitleri ve enerji verimliliği sınıfları tanımlanmıştır. Böylece satışa sunulması düşünülen her bir ürünün maliyet, kalite ve enerji verimliliği konularında optimizasyonunun sağlanması önemli hale gelmiştir.

Her tüketici elektroniği ürününde olduğu gibi televizyonların enerji tüketimi de uluslararası regülasyonlarla sınırlandırılmış ve sınıflandırılmıştır. Televizyon sektöründe bulunan bu regülasyonların getirdiği zorunlulukla enerji verimliliği noktasında çeşitli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir ancak sektörün rekabet düzeyinin çok yüksek olması yapılacak bu iyileştirmelerin maliyet arttırımına etkisinin minimumda olmasını ve kaliteden ödün verilmeden yapılmasını gerektirmektedir.

Televizyonların güç tüketim birimleri genel anlamda bir aydınlatma birimi, anakart, güç kaynağı, ekran ve ses sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Bu birimlerin arasında güç tüketimine en yüksek etkisi bulunan birim aydınlatma birimidir.

Aydınlatma birimi genel anlamda ledler, lensler, optik filmler ve led sürücülerden oluşur. Her bir malzemenin seçimi maliyet, kalite ve enerji tüketimi üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bunların değerlendirilmesi için farklı led tiplerinden ve farklı optik filmlerden oluşan sistemlerin parıltılarının spektroradyo metre ile ölçülmesi gereklidir. Bu ölçüm sonucunda belirlenen eko mod parlaklığının sağlanması için gerekli led sürme akımı belirlenmelidir. Yapılan tüm bu ölçümlerin görüntü kalitelerinin değerlendirilmesi için parıltı kamerasıyla ölçümleri alınarak ekranın parıltı düzeyinin ekranın her bölgesindeki homojenliği değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, doğrudan aydınlatmalı sisteme sahip LED televizyonlarda enerji verimliliği fırsatları değerlendirilerek fayda-maliyet ve görüntü kalitesi analizleri yapılmıştır. Yag, KSF ve fosforsuz ledlere sahip aydınlatma sistemleri gerçekleştirilerek farklı optik filmler ve kombinasyonları ile parıltı ölçümleri alınmış ve enerji tüketimleri ölçülmüştür. Belirlenen akım değerleri darbe genişlik modülasyonu ile loşlaştırma ve analog loşlaştırma yöntemleri ile elde edilerek iki yöntemin verimlilik analizi yapılmıştır. Tüm kombinasyonlar ile gerçekleştirilen sistemlerin parıltı kamerasıyla görüntü kalitesi analizi yapılmış ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma sonucunda doğrudan aydınlatmalı sistemlere sahip LED televizyonlarda optimum maliyet, kalite ve enerji verimliliğine sahip kombinasyonları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LED,Televizyon, enerji verimliliği, doğrudan arka aydınlatma, görüntü kalitesi

# ABSTRACT

## Investigation Of Televisions With Direct Lit Led Backlight System Designs In Terms Of Energy Efficiency And Cost Benefits

Olcay SARIBIYIK

Department of Electrical Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ramazan AYAZ

The rapid growth in the consumer electronics sector has led to an increase in competition within the sector and a decrease in costs, thus facilitating the accessibility of consumer electronics products. As a natural result of this development, a significant number of consumer electronics products are used in the world and the amount of energy consumed by these products is increasing day by day. In this context, the need to control the significant amount of energy consumption has arisen and different manufacturability limits and energy efficiency classes have been defined for each product. Thus, it has become important to optimize each product considered for sale in terms of cost, quality and energy efficiency.

As with every consumer electronics product, the energy consumption of televisions is limited and classified by international regulations. Due to the necessity of these regulations in the television industry, various improvements have to be made in terms of energy efficiency, but the high level of competition in the industry requires that the effect of these improvements on the cost increase is minimal and that they should be made without any decrease in quality.

Power consumption units of televisions can be broadly classified as a lighting unit, mainboard, power supply, display and sound systems. Among these units, the unit with the highest impact on power consumption is the lighting unit. The lighting unit generally consists of leds, lenses, optical films and led drivers. The selection of each

material has effects on cost, quality and energy consumption. For the evaluation of these, the luminance of the systems consisting of different led types and different optical films should be measured with a spectroradio meter. In order to evaluate the image quality of all these measurements, it is necessary to evaluate the uniformity of the luminance level of the screen in every region of the screen by taking the measurements with the CCD camera.

In this study, benefit-cost and quality analyzes will be made by evaluating energy efficiency opportunities in televisions that having direct-lit backlight system. Backlight systems with Yag, KSF and phosphor-free LEDs will be realized and energy consumption measurements will be made by taking luminance measurements with different optical film combinations. Determined current values will be obtained by pulse width modulation dimming and analog dimming methods, and efficiency analysis of the two methods will be compared. Image quality analysis and cost analyzes will be made with the CCD camera of the systems realized with all combinations. As a result of the whole study, optimum cost, quality and energy efficiency combinations will be determined for televisions with direct-lit backlight systems.

**Keywords:** LED,Television, Energy efficiency, Direct-lit backlight system, picture quality

# 1
# GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

Tarihsel olarak televizyon teknolojisinde çok büyük gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin temeli görüntü sisteminin değişimine dayanmaktadır. Literatürde tarihsel olarak arka ışık sistemlerinin gelişimi ve çeşitli parametrelere göre karşılaştırılması yer almaktadır.

Televizyon ilk olarak 1930'lu yıllarda ticarileşerek üretimi yapılıp, satışı başlamıştır. Bu yıllarda literatürde CRT (Katot Işınlı Tüp) tipi televizyonlar hakkında analizler ve teknolojinin ticarileştirilmesine yönelik maliyet azaltılması ve televizyon boyutlarının küçültülmesine yönelik yayınlar yapılmıştır [1]. CRT televizyonların çalışma prensibi genel anlamda şöyledir: Ekranın arkasında yer alan bir elektron tabancası, elektron ışınlarını yayar. Bu elektron ışınları, elektron tabancasının yerleştirildiği katot (kırmızı renkli) elemanından çıkar ve ekranın içine yönlendirilir. Elektron ışınları, ekranın içinde yer alan odaklama elemanı tarafından yönlendirilir. Bu odaklama elemanı, elektron ışınlarını ekranın ön tarafında yer alan görüntü tabakasına ulaştırır. Görüntü tabakası, elektron ışınlarının çarpması sonucu ısınır ve fosfor tabakasını aydınlatarak görüntüyü oluşturur. Fosfor tabakası, ışık yayan bir maddedir ve elektron ışınlarının çarpması sonucu ısınır ve ışık saçar. Bu ışık, ekranın ön tarafından geçer ve görüntüyü oluşturur. Ekranın arkasında yer alan bir tarama sistemi de bulunur. Bu tarama sistemi, ekranın ön tarafında yer alan görüntü tabakasını satır satır tarar ve bu sayede görüntünün her bir pikselini aydınlatır. Bu tarama sistemi, görüntüyü hareket ettirebilir ve görüntüleri gösterebilir [2–4].

1960'lı yıllarda CRT teknolojisinin ucuzlaması ile televizyon daha ulaşılabilir hale gelmiştir ve hızla her ülkede yaygınlaşmaya başlamıştır ve insanların evlerinde vazgeçilmez bir iletişim aracı haline gelmiştir. Bu da hem estetik olarak daha güzel gözükmesi, hem de transportasyon maliyetlerinin azaltılması amacıyla televizyonun daha ince ve hafif tasarlanması ihtiyacı doğurmuştur. Bu bağlamda 1964 yılında

plazma televizyon konsepti ortaya çıkmıştır. Plazma televizyonlar, gaz ısıtılıp parçalanarak ışık yayan bir ekrana sahiptir. Bu ekran üzerinde milyonlarca minik hücrelerden oluşur ve her bir hücrenin içinde, iki adet cam tabaka arasında yer alan bir gaz bulunur. Bu gaz, genellikle neon ve/veya helyum oksit gazıdır. Görüntü gösterimi sırasında, bu gazın parçalanması için elektrik akımı uygulanır. Bu elektrik akımı, gazın iyonlaşmasına neden olur ve bu iyonlar, ekranın önünde yer alan fosfor tabakasını ısıtır. Fosfor tabakası, ısıtıldığında ışık yayar ve bu ışık, ekranın önündeki gaz ile birleştirilerek görüntü oluşur. Plazma televizyonlar çalışma mantığı gereği yüksek kalitede görüntüler oluşturabilmektedir ancak enerji tasarrufu konusunda iyi performans gösterememektedir [5].

Plazma teknolojisi ile birlikte televizyonlar artık insanların hayatında çok büyük yer kaplamaya başlamıştır ve dünya üzerinde televizyonların tükettiği toplam enerji çok ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu da literatürde enerji verimliliği özelinde çalışmalara ağırlık verilmesine sebep olmuştur [6]. Plazma televizyonlardan daha az enerji tüketimine sahip LCD televizyonlar ortaya çıkmıştır. LCD (Liquid Crystal Display) televizyonlar, ışığı geçiren veya bloke eden camdan yapılmış pikseller aracılığıyla görüntü oluştururlar. Bu pikseller, bir tüp içinde sıkıştırılmış sıvı kristal maddesiyle doludur ve pikseller elektrik akımına göre açılıp kapanır. Piksellerin açık veya kapalı olması, ışığın geçip geçmeyeceğini belirler. Örneğin, ekranın arka planından gelen ışık, piksellerin açık olduğu yerlerden geçerek ekrana ulaşır ve görüntü oluşur. Eğer pikseller kapalıysa, ışık geçemez ve bu alandaki pikseller siyah görünür. LCD televizyonlar çalışma prensibi gereği bir ışık kaynağına ihtiyaç duymaktadır. İlk olarak literatürde CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) türü aydınlatmalara sahip LCD televizyonlar ortaya çıkmıştır [7]. Bu televizyonlar, ışık yayan fluoresan lambaları kullanarak görüntü oluştururlar. Bu lambalar çok yüksek parıltı seviyesine çıkabilse de enerji verimliliği açısından iyi performansa sahip değildir. Bu nedenle daha yüksek verimliliğe sahip led tabanlı LCD televizyonlar ortaya çıkmıştır [8].

LED tabanlı LCD televizyonların ortaya çıkmasıyla birlikte enerji verimliliği konusunda çok büyük ilerleme kaydedilmiştir. Bu bağlamda hem görüntü kalitesini hem de enerji verimliliğini daha da arttırmak amacıyla çeşitli lokal loşlaştırma yöntemleri ortaya çıkmıştır. LCD TV'lerin ışık yayan diyot (LED) arka aydınlatma sistemi için X-Y kanallı yeni bir uyarlamalı loşlaştırma tekniği önerilmiştir. Bireysel bölme bloğunun parıltısını kontrol etmek için sıra ve sütun anahtarlarına sahip matris yapılı LED modüllere sahiptir [9]. Ancak bu önerilen yöntemler yeterince küçük alanlarda lokal loşlaştırma yapmadığı için zorlayıcı içeriklerde lokal loşlaştırma yapılan bölge ile yapılmayan bölge arasındaki kontrast farkı çok fazla olmaktadır ve görüntü kalitesine negatif etkileri

bulunmaktadır. Bu bozulma etkilerini azaltacak çeşitli çalışmalar yapılmıştır, [10] bu çalışmalara göre laboratuvarda yapılan ölçümler, arkadan aydınlatma sisteminin güç dağılımını ortalama %48 oranında azalttığını ve sabit arkadan aydınlatma sistemine kıyasla görünür bir bozulma sergilemediğini göstermektedir [11]. Lokal loşlaştırma yöntemleri led tabanlı LCD televizyonlarda enerji verimliliğini arttıran yöntemler olmuştur ancak bu yöntem toplam arka aydınlatma maliyetini çok yükseltmektedir bu nedenle lokal loşlaştırma yöntemine sahip televizyonlar çok düşük pazar payına sahip olmuştur. Teknolojinin enerji verimliliğine pozitif etkisi olmasına rağmen maliyet etkisi nedeniyle toplam televizyon enerji tüketimine etkisi çok az olmaktadır. Bu durum maliyeti çok fazla arttırmadan enerji verimliliği arttırma yöntemlerini araştırma ihtiyacı ortaya doğurmuştur. 2015 yılında yapılan bir araştırma ile televizyon özelinde çeşitli enerji verimliliği iyileştirme fırsatlarını araştırması yapılmıştır. Bu çalışmaya göre LED-LCD TV'lere geçiş ve LCD televizyonlardaki teknolojik geliştirmenin bir sonucu olarak LED-LCD televizyonların %80'inden, toplam televizyonların ise %50'sinden fazlası Energy Star 5 ve 6 gerekliliklerini karşılayabileceğini ve 2015 yılında enerji tasarrufunun 23,5 TW saate çıkabileceği öngörülmüştür [12]. Bu enerji tasarrufu fırsatlarını değerlendirmek için optik filmler geliştirilme çalışmaları yapılmaya başlanmıştır.Bir TV'de kullanılan optik filmlerin, işlevlerini (örneğin, ışık homojenliğini) koruyarak daha fazla ışık geçişine izin verecek şekilde geliştirilmesi, aynı parıltı seviyesini elde etmek için gereken arka aydınlatma miktarını azaltır. Bu durum, LCD TV'lerin enerji tüketiminde belirgin bir düşüş sağlar. Optik filmler, yalnızca malzeme maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda verimliliği artırmak için farklı şekillerde birleştirilir. Bu filmler arasında, 3M'in Vikuiti™ Dual Brightness Enhancement Film (DBEF) [13] gibi yansıtıcı polarizörler, optik film verimliliği açısından üreticiler tarafından en etkili seçeneklerden biri olarak görülmektedir. Bu tür yansıtıcı polarizörler, LCD arka aydınlatma performansını genellikle %30-50 oranında artırırken, TV'nin toplam enerji verimliliğini %20-30 civarında iyileştirebilir [14].3M'in yaptığı son testlere göre, DBEF teknolojisi CCFL-LCD TV'lerde enerji tüketimini %20, LED-LCD TV'lerde ise %24 oranında azaltmıştır [15]. Bununla birlikte, DBEF'in enerji tasarrufuna katkısı büyük olsa da, bazı üreticiler bu tescilli teknolojiyi, yalnızca üretim maliyetlerini azaltmaya odaklanan bir yaklaşım nedeniyle gereksiz olarak değerlendirmektedir. Örneğin, 2010 yılında, 40 inçlik bir LED-LCD TV ve CCFL-LCD TV için DBEF'in arka aydınlatma birimi maliyetine katkısı sırasıyla %12 ve %33 olarak hesaplanmıştır [15]. LCD panel geçirgenliğinin ve LED verimliliğinin ilerlemesiyle birlikte, üreticilerin gelecekte yansıtıcı polarizör yerine farklı film kombinasyonlarını tercih edebileceği öngörülmektedir.

## 1.2 Tezin Amacı

Yapılan araştırmalara göre piyasadaki televizyonların boyutuna bağlı olarak ortalama güç tüketimleri 10W-117W aralığında değişmektedir. Tekil olarak güç tüketim aralığının çok yüksek boyutlarda gözükmese de televizyonlar küresel elektrik tüketiminin %3 veya %4' ünü kapsadığı tahmin edilmektedir [12]. Bunun sebebi çok fazla sayıda televizyonun kullanılması ve her geçen yıl kullanım oranının artmasıdır. Bu nedenle televizyon tasarımlarında sağlanacak küçük ölçekteki enerji tüketimi azaltılması bile küresel ölçekte çok büyük enerji tasarrufuna sebep olacaktır.

Energy Star verilerine göre değerlendirilen televizyonların %94'ü LED televizyon ve bu televizyonların %89'u doğrudan aydınlatmalı televizyonlardır [16]. Bu çalışmada doğrudan aydınlatmalı televizyonların farklı led, optik film ve led sürme tekniklerine göre enerji verimliliği değerlendirilmeleri yapılarak, maliyet, görsel kalite ve enerji verimliliği konusundaki optimum tasarım kombinasyonlarının belirlenerek, satış ve pazar payı kaybı yaşanmadan televizyon enerji tüketiminin azaltılarak karbon emisyonunun azaltılması amaçlanmaktadır.

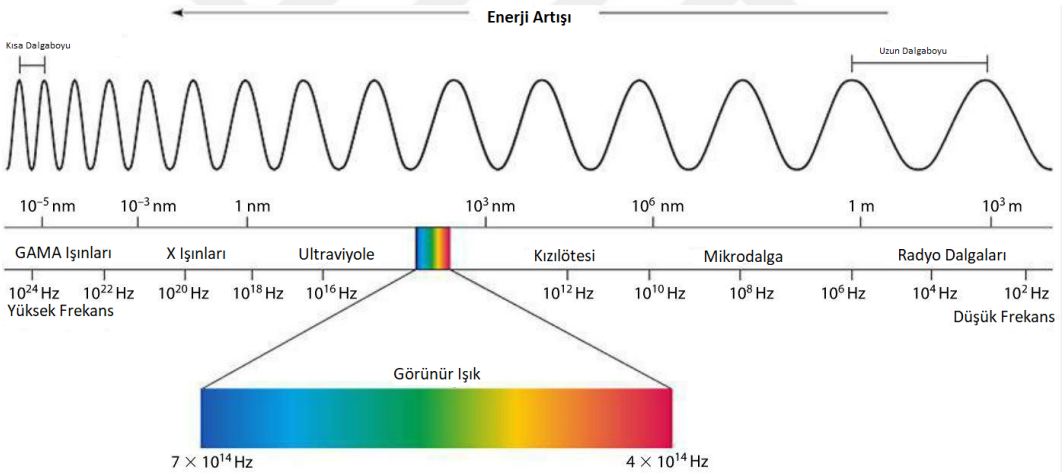
## 1.3 Hipotez

Doğrudan aydınlatmalı arka ışık sistemlerinde reflektör ve difüzör plaka her uygulamada sabit olarak kullanılırken, üstündeki optik film konfigürasyonu ve varyasyonları tasarım isterlerine göre seçilmelidir. Bu bağlamda da farklı optik film konfigürasyonlarına sahip doğrudan aydınlatmalı sistemlerin performansı, maliyet, güç tüketimi, görüntü kalitesi ve renk gamutu gibi temel parametreler dikkate alındığında anlamlı farklılıklar göstermektedir. Literatürde bu bağlamda farklı optik filmlerin, farklı fosfor türleri ve loşlaştırma yöntemleri ile karşılaştırılması konusunda net bir çalışma bulunmamaktadır. Fosfor türüne göre KSF ürünler renk gamutu açısından YAG fosforlu ürünlerden daha geniş renk sunmaktadır. Güç tüketimi açısından bakıldığında analog loşlaştırma ile sürülen konfigürasyonlar PWM loşlaştırma yöntemine göre daha avantajlı olmaktadır. Ayrıca optik filmlerin özellikle güç tüketiminde ve görüntü kalitesinde büyük etkileri olmakta ve bu durum maliyet parametresi değerlendirilerek optimum çözüm önerilmektedir.

# 2
# FOTOMETRİK ve RADYOMETRİK BÜYÜKLÜKLER

## 2.1 Işık ve Eletkromanyetik Spektrum

Işık insan gözü ile algılanan elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanabilir. Ancak gördüğümüz görünür ışık elektromanyetik spektrumun bir alt kümesidir. Şekil 2.1, elektromanyetik spektrumu göstermektedir.




**Şekil 2.1** Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum ışığı dalga olarak tanımlar. Işığın dalga olarak tanımlanması 1800'lerin başında Thomas Young ve Augustin Jean Fresnel tarafından yapılan ışık hüzmeleri deneyleri ile kabul görmüştür. Ancak 1800'lü yılların sonunda ışıtılan cisimlerden yayılan ışığın dalga boylarını ölçen deneyler, dalga tabanlı denklemler ile açıklanamamıştır. Bu çelişki 1900'lü yıllarda Planck, ışığın ayırt edilemez enerji unsurlarından veya bir enerji miktarından oluştuğunu öne sürmüştür. Einstein ise bu enerji miktarlarını doğru şekilde ayırt etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ışık, foton olarak isimlendirilen enerji paketleri olarak tanımlanmıştır [17, 18].

## 2.2 Fotometri ve Radyometri

Optimum bir arka ışık sistemi tasarlamak için kullanılan ışık kaynaklarının özelliklerini ve kullanılan optik filmlerle etkileşimini iyi bilmek gerekmektedir. Bu konulardaki hakimiyeti arttırmak için bazı fotometrik ve radyometrik terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Fotometrik büyüklükler radyometrik büyüklüklerin bir alt kümesi olarak düşünülebilir. Fotometri, insan gözünün hassaslığına bağlı olarak ışığın parıltısını ifade eder yani görünür ışık spektrumunda yer alan bölge ile ilgilenir. Radyometri ise elektromanyetik spektrumun tamamı ile ilgilenir. Bu bölümde arka ışık sistem tasarımında kullanılan radyometrik ve fotometrik kavramlar, yaygın kullanılan temel büyüklükler çerçevesinde ele alınacaktır.

### 2.2.1 Radyometrik Büyüklükler

#### 2.2.1.1 Işınım Gücü ve Enerjisi

Elektromanyetik radyasyon şeklinde yayımlanan toplam enerji miktarı, ışınım enerjisi (Q) olarak adlandırılır ve birimi Joule (J) olarak belirtilir. Elektromanyetik ışınımın özelliği gereği, hem ışık parçacıklarıyla aktarılan toplam enerji hem de elektriksel ve manyetik alanlardan kaynaklanan dalga enerjisi, kaynağın yaydığı toplam enerji miktarını tanımlar.

Örneğin bir lamba gibi bir ışık kaynağı, çevresine eşit şekilde ışık yaydığında, bu tür bir kaynak izotropik kaynak olarak adlandırılır. Bir kaynağın belirli bir süre içinde yaydığı toplam ışınım enerjisi miktarı ise ışınım akısı ($\Phi_e$) olarak ifade edilir [19].

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt} \tag{2.1}$$

Işınım akısı, ışınım enerjisinin zamanla oranlanmasıyla tanımlanır ve bu nedenle aynı zamanda ışınım kuvveti olarak da anılır. Diğer radyometrik büyüklükler, ışınım kuvveti kavramına dayandığından, bu büyüklük özel bir öneme sahiptir.

Devamlı ve değişmeyen ışık veren kaynaklar için ışınım akısını ölçmek uygunken, kesintili veya darbeli kaynaklar için enerji ölçümleri gereklidir [19].

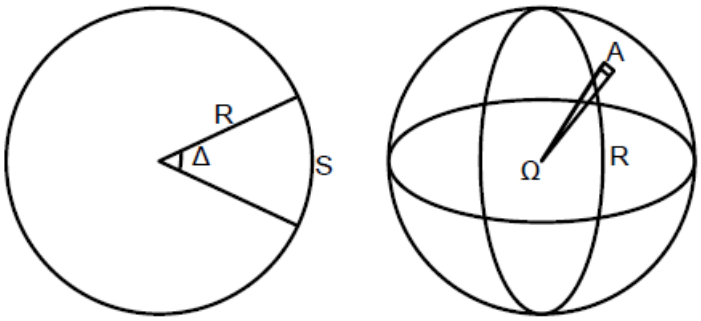
Enerji kaynağından belirli bir dalga boyu aralığında yayımlanan enerji miktarı "spektral enerji akısı" olarak adlandırılır ve birimi Joule/nanometre (J/nm) şeklindedir. Aynı şekilde, dalga boyu başına düşen ışınım akısına "spektral akı" denir ve birimi Watt/nanometre (W/nm) olarak ifade edilir."

#### 2.2.1.2 Işınım Şiddeti

Işınımın yoğunluğunu ($I_e$) belirtmek için öncelikle düzlem açı ve uzay açısı terimlerini anlamamız gerekmektedir. Şekil 2.2'deki örnekte iki farklı şekil verilmiştir. Düzlem açı ($\theta$), dairede görülen yay uzunluğunun (s), yarıçapa (R) oranı olarak tanımlanır.

$$\theta = \frac{s}{R} \tag{2.2}$$

Dairenin çevresinin $2\pi$R olarak hesaplandığından, dairenin düzlem açısı $2\pi$ olarak hesaplanır. Düzlem açısı boyutsuzdur ve genellikle radyan cinsinden ifade edilir.




**Şekil 2.2** Düzlemdeki açı ve uzaydaki açı

Şekil 2.2, düzlem açı ve uzay açısını göstermektedir.

Eğer bir küre üzerinde durumumuzu değerlendirecek olursak, uzay açısı ($\Omega$) kürenin yüzey alanı (A), küre yarıçap (R) karesine oranlanarak ifade edilir (2.3). Bu büyüklüğün birimi steradyan (sr) olarak belirlenir.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \tag{2.3}$$

Işınım şiddeti, bir kaynaktan belirli bir yönde yayılan ışınım gücünün, o yöndeki birim uzay açısına bölünmesiyle tanımlanır (2.4). Birimi W/sr (watt/steradyan) olarak belirtilir. Bu büyüklük, kaynağın uzaklığından bağımsızdır. Farklı iki uzaklığa sahip iki detektör, aynı uzay açısını görüyorsa, her ikisi de aynı ışınım akısını alacaktır ve bu nedenle ışınım şiddetleri eşit olacaktır [20].

$$I_e = \frac{d\theta}{d\Omega} \tag{2.4}$$

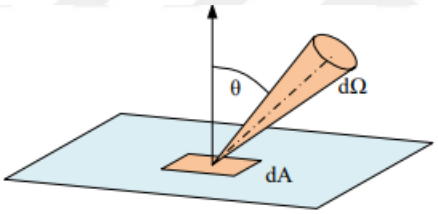
#### 2.2.1.3 Işıma

Bir yüzeyden yayılan veya üzerine gelen konik şeklindeki bir ışınım durumunda (Şekil 2.3), ışık yönünde dik olan birim alandaki birim uzay açısındaki ışınım akısı söz konusudur. Bu büyüklüğün birimi W/sr·m$^2$'dir.

$$L_e = \frac{d^2\Phi}{d\Omega\, dA \cos\theta} \tag{2.5}$$

Özel bir durum olarak, yüzeyin belirtilen yöne dik olduğu durumda (2.5), denklem aşağıdaki gibi ifade edilir (2.6).

$$L_e = \frac{d^2\Phi}{d\Omega\, dA} \tag{2.6}$$




**Şekil 2.3** Yüzeye giren ve yüzeyden çıkan ışınım

Şekil 2.3, yüzeyden çıkan ve yüzeye gelen ışınımı göstermektedir. [21]

### 2.2.2 Fotometrik Büyüklükler

Gözün spektral duyarlılığını hesaba katarak ışığın yayılma özelliklerini inceleyen optik alanına fotometri denir. Işık, gözün spektral hassasiyetini dikkate alarak, elektromanyetik spektrumun 380 ila 780 nm arasındaki bir dizi dalga boyunu içeren bir ışımadır. Bu sebeple, benzer radyometrik büyüklüklerin ışık için de kullanılması uygun değildir ve bu durum yeni büyüklüklerin tanımlanmasını zorunlu kılar.

#### 2.2.2.1 Işı Akısı

Bir ışık kaynağının gözün spektral duyarlılık eğrisiyle değerlendirilen birim zamanda yaydığı toplam enerji akısıdır (2.7). Bu büyüklüğün birimi lümen (lm) olarak adlandırılır.

$$L_e = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda)\, d\lambda \tag{2.7}$$

Bu özel birim, standart atmosfer koşullarında 555 nm dalga boyunda monokromatik bir ışık kaynağının 1/683 W ışıma gücüne karşılık gelen ışık akısını temsil eder. Başka bir ifadeyle, 555 nm dalga boyunda monokromatik bir kaynak, 1 W ışıma gücünde 683 lümen ışık akısı üretir. Bu tanımla, $K_m$ sabiti gözün fotopik (gündüz) görme duyarlılığına karşılık gelen V($\lambda$) fonksiyonunun 555 nm dalga boyundaki maksimum değerine, yani 683 lm/W'ye denk gelir.

Gece görme (skotopik) koşullarında, insan gözünün spektral hassasiyeti V$'(\lambda)$ daha fazla ve gözün en yüksek duyarlılığı 555 nm'den 510 nm'ye kayar. Bu durum nedeniyle, K′m sabiti 1700 lm/W olarak belirlenmiştir. Öte yandan, gözün 650 nm'deki duyarlılığı oldukça düşüktür (V($\lambda$) = 0,107), bu da 1 W ışıma gücüne sahip monokromatik bir kaynağın 0,107 x 650 = 73,1 lm ışık akısı üretmesine neden olur. Özetle, fotopik görme için 555 nm dışındaki dalga boyları ve skotopik görme için 510 nm dışındaki dalga boyları, 1 W ışıma gücünün sırasıyla 683 ve 1700 lm'den daha düşük ışık akıları üretmesine yol açar [22].

#### 2.2.2.2 Işık Şiddeti

Işık şiddeti, uzay açıda yayılan ışık akısı olarak ifade edilebilir (2.8). Bu yönüyle, ışınım şiddetinin fotometrik bir karşılığı olarak kabul edilebilir.

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \tag{2.8}$$

Bu büyüklüğün birimi lm/sr (lümen/steradyan) olup, kandela (cd) olarak adlandırılır ve fotometrik ölçümler için temel birimdir. Işık şiddeti, bir kaynaktan belirli bir yönde yayılan ışık akısının yoğunluğunu tanımlar. Kaynağın tüm yönlerdeki ışık şiddetlerini bir vektör olarak ele aldığımızda, kaynaktan çıkan ışığın dağılımının değişimini belirtmiş oluruz. Armatürlerde ise ışık şiddeti genellikle cd/klm (kandela/lümen) birimiyle belirtilir; bu, armatürün belirnenen yöndeki ışık şiddetinin, toplam ışık akısının 1000'e oranlanmasıyla hesaplanır.

Işık şiddeti, yalnızca noktasal ışık kaynakları için değerlendirilen bir kavramdır. Çünkü noktasal olmayan bir kaynaktan çok sayıda farklı yönde yayılan ışık bulunur ve bu durumda ışık şiddetinin tanımlanması mümkün olmamaktadır. Ancak, noktasal olmayan bir ışık kaynağında, belirli bir mesafenin ötesinde ışık akısı ölçülebilir. Bir ışık kaynağının noktasal olarak tanımlanabilmesi için, bu kaynağın

boyutunun yaklaşık 10 katı kadar bir mesafeye kadar ışık akısının ölçülmesi gerekmektedir [23].

#### 2.2.2.3 Parıltı

Parıltı (Lv), bir yüzeyin belirli bir yönden bakıldığında yaydığı veya yansıttığı ışığın fotometrik parıltısını belirtir. Başka bir deyişle, belirlenen yönden bir yüzeyden yayılan veya yansıyan ışık akısını belirtir. Birimi kandela/metrekare (cd/m$^2$) olarak belirtilir.

Yüzeyin üzerindeki dA olarak tanımlanan diferansiyel yüzey elemanı, diferansiyel uzay açısı dΩ yönünde yayılan ışık akısı,

$$d\Phi_v = L_v \cos\theta \, dA \, d\Omega \tag{2.9}$$

Burada $d\Phi_v/d\Omega$ ifadesi yerine ışık şiddeti yazılırsa, parıltı şu şekilde ifade edilir:

$$L_v = \frac{dI}{dA\cos\theta} \tag{2.10}$$

Bu ifade,ışık akısı çıkışı olan yüzeylerin belirli noktalarının, yüzeyin normalleri ile $\alpha$ açısını yapan yönde ki parıltıyı temsil eder. Bu parıltı, ilgili yüzey üzerindeki (dA) belirli bir yönde oluşturulan ışık şiddetinin (dI$\alpha$), dA'nın bu yöne dik olan düzlemdeki (dAcos$\theta$) alanına oranının limiti olarak tanımlanmaktadır:

$$L_a = \lim_{dA\cos\theta \to 0} \frac{dI_a}{dA\cos\theta} = \frac{dI_a}{dA\cos\theta} \tag{2.11}$$

Parıltı hakkında konuşurken, dikkate almamız gereken önemli bir nokta, ilgili yüzeylerin hangi bölgesine ve hangi yönde ışığın yayıldığıdır. Çevremizdeki nesneleri görebilmemiz, bu nesnelerden gözümüze yansıyan parıltı ile mümkün olur.

Farklı büyüklükte yüzeylere sahip bir ışık kaynağının aynı ışık şiddetini yaydığını varsaydığımızda, daha küçük yüzeylerin daha fazla parıltıya neden olduğunu söyleyebiliriz. Yüzey alanı küçüldükçe, ışığın birim alana düşen miktarı artar, bu da gözümüzde daha güçlü bir parıltı etkisi yaratır. Bu etki, daha küçük yüzeyler ışığı daha yoğun bir şekilde yaydığı için, gözün aldığı uyarıyı da artırır. Örneğin, bir ışık kaynağının yüzeyi küçüldükçe, bu kaynağın parıltısı daha fazla hissedilir hale gelir. Bunu en basit şekilde açıklamak gerekirse, bir lambayı

doğrudan gözlemlediğimizde ve aynı lambayı etrafı yarı saydam bir malzeme ile kaplayarak gözlemlediğimizde farkı net bir şekilde gözlemleyebiliriz. İlk durumda, lambanın filamanları çok küçük olduğundan gözümüze parlak ve kamaştırıcı bir etki yaparken, ikinci durumda lambanın etrafını saran yarı saydam malzeme ışık yayan yüzeyi genişleterek parıltı değerini sınırlar ve gözlemi daha hoş hale getirir [24].

# 3
# LED TV ARKA AYDINLATMA SİSTEMLERİ ve REGÜLASYONLARI

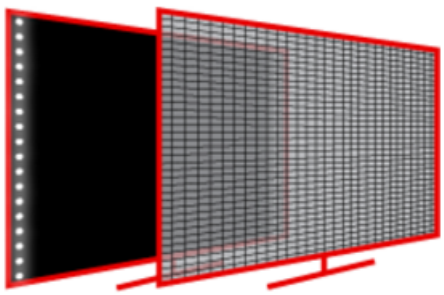
## 3.1 Led Arka Aydınlatma Teknolojileri ve Unsurları

Televizyon teknolojisinin tarihsel gelişiminde CCFL (Soğuk katot floresan lamba) yerini LED teknolojisi almıştır. Böylece daha enerji verimli ve ince televizyonlar yapılabilinmiştir. Bunun yanında doğrudan aydınlatmaya alternatif olarak kenar aydınlatmalı ve arka aydınlatma türleri ortaya çıkmıştır [25].

### 3.1.1 Kenar aydınlatmalı arka aydınlatma sistemleri

Kenar aydınlatmalı sistemlerde led yerleşimleri genellikle televizyonun alt veya yan kenarlarında ekran yüzeyine 90 derece duracak şekilde yerleştirilir. Bu tarz sistemlerde ışık yönlendirici plaka kullanıları fotonların izleyici yönüne gönderilmesi sağlanır [26].

Şekil 3.1, kenardan aydınlatmalı sistem gösterimini göstermektedir.

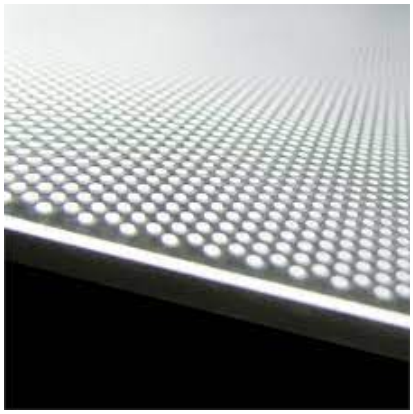


**Şekil 3.1** Kenardan aydınlatmalı sistem gösterimi

#### 3.1.1.1 Işık Yönlendirici Plaka (LGP)

“Light Guide Plate” (LG) veya ışık kılavuzu levhası, kenar aydınlatmalı arka aydınlatma sistemlerinde kullanılan bir bileşendir [27].

Şekil 3.2, ışık yönelendirme plakasını göstermektedir.



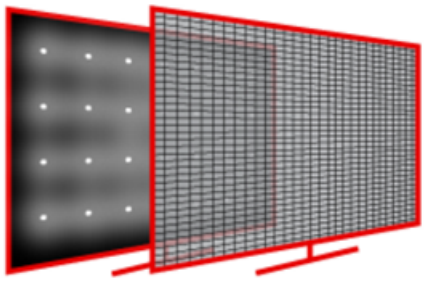
**Şekil 3.2** Işık yönelendirme plakası

Kenar aydınlatmalı sistemlerde, ekranın kenarlarına yerleştirilen LED'ler veya lambalar kullanılarak ışık üretilir. Bu ışık daha sonra "Light Guide Plate" adı verilen bir optik levha boyunca yönlendirilir ve ekranın arka tarafına eşit bir şekilde dağıtılır. Işığın bu şekilde dağıtılması, ekranın homojen bir şekilde aydınlatılmasını sağlar.

### 3.1.2 Doğrudan Aydınlatmalı Arka Aydınlatma Sistemleri

Doğrudan aydınlatma sistemi (Direct Backlighting System), LCD (Liquid Crystal Display) ekranların arkadan aydınlatılması için kullanılan bir teknoloji türüdür. Bu sistemde, ekranın arkasında yer alan LED dizileri veya lambalar, ekran panelinin tüm yüzeyini aydınlatır. Doğrudan aydınlatma sistemi, daha geleneksel bir aydınlatma yöntemidir ve genellikle televizyonlarda ve monitörlerde kullanılır [28].

Şekil 3.3, doğrudan aydınlatmalı arka ayndınlatma sistemlerini göstermektedir.



**Şekil 3.3** Doğrudan aydınlatmalı arka ayndınlatma sistemleri

Bu çalışmada karşılaştırılma yapılacak televizyonlar piyasada daha çok pazar payına sahip olan doğrudan aydınlatmalı sistemlere sahip olacaktır.

Doğrudan aydınlatmalı sistemler aşağıdaki unsurlardan meydana gelmektedir.

- Işık kaynağı(led)
- Reflektör
- Difüzör plaka
- Çeşitlik özelliklere sahip optik filmler
- LCD ekran

Bir sonraki aşamada bu unsurların detayları paylaşılacaktır.

#### 3.1.2.1 LED (Light Emitting Diode)

LED çipi, p-tipi ve n-tipi yarıiletken katmanların bir araya gelmesiyle oluşur. Bu katmanlar, p-tipi yarıiletken katman pozitif yüklü iyonlarla, n-tipi yarıiletken katman ise negatif yüklü iyonlarla katkılanmıştır. Yeterli bir gerilim uygulandığında, bu katmanlar arasında elektrik akımı oluşur. Bu uygulama sonucunda negatif ve pozitif yükler (elektron ve boşluk) bir araya gelir, bu da rekombinasyon olarak adlandırılır ve bu süreç sırasında ortaya enerji çıkar. Bu enerji, foton adı verilen ışık parçacıkları şeklinde açığa çıkar. Bu olaya elektrolüminesans denir ve LED'in çalışma prensibini temsil eder [29].

LED çipleri ile beyaz ışık oluşturmak için iki temel yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem, RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) renkli LED çiplerinin bir araya getirilmesiyle beyaz ışık üretmeyi içerir. Bu yaklaşım, renk sıcaklığını kolayca ayarlamayı mümkün kılar; ancak, renksel geriverim (CRI - Color Rendering Index) ve verimlilik düşük olabilir [30].

Diğer bir yöntem ise, mavi ışığın üzerine fosfor kaplanmasıdır. Bu yöntem, genellikle genel aydınlatma uygulamalarında sıkça kullanılır [31]. Tek bir LED çipi kullanımı, kolay kontrol edilebilirlik, ikincil optiklerle ışığın kolayca yönlendirilebilmesi, yüksek renk geriverimi ve etkinlik faktörü gibi avantajlar sunar.

Her iki yöntemin de kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. RGB yaklaşımı renk sıcaklığını ayarlama esnekliği sunarken, renk geriverimi ve etkinlik faktörü düşük olabilir. Fosfor kaplama yöntemi ise daha yüksek renk geriverimi ve etkinlik faktörü sağlar, bu nedenle genellikle tercih edilen bir yöntemdir.Bu çalışmada da mavi led üzerine fosfor kaplamaya sahip ledler kullanılacaktır. Şu anda piyasada yaygın olarak iki farklı fosfor kullanılmaktadır.

Bu çalışmada da KSF ve YAG olmak üzere iki farklı fosfor türüne sahip led paketleri kullanılacaktır.

#### 3.1.2.2 Reflektör

Reflektör malzemesi doğrudan aydınlatmalı sistemlerin asli unsurlarındandır. Reflektör genellikle üstte bulunan difüzör plaka ve prizma içerikli optik filmlerden geri dönen ışığı geri kazandırmaktır [32]. Reflektör yapısal olarak basit ancak arka aydınlatma sistemleri için kritik öneme sahip bir malzemedir.

Bu çalışmada kullanılan reflektör PET'dir (Poli Etilen Tereftalat). Yansıtma katsayısı, GB/T 3979-2008 ölçüm yöntemine göre %94,5, parıltı katsayısı GB/T 9754-2007 ölçüm yöntemine göre 28'dir.

#### 3.1.2.3 Difüzör Plaka

Difüzör plaka doğrudan aydınlatma sistemlerinde kullanılan ana unsurlardan bir diğeridir. Asli işlevi, ışığı ekran yüzeyine eşit olarak dağıtarak eşit parıltı sağlamak ve düzensiz aydınlatmayı azaltmaktır. Esasen, difüzör plaka ekranın görsel performansını optimize etmek için çok önemlidir [33]. Böylece genel kullanıcı memnuniyetine katkıda bulunur.

Bu çalışmada kullanılan difüzör plakası kalınlığı 1mm olup hammade PS (Polistiren)'dir. Geçirgenliği JIS K7361'e göre %3 iken, pusluluk oranı JIS K7361'e göre %99'dur.

#### 3.1.2.4 Prizma Tabanlı Işık Arttırıcı Filmler

BEF (Brightness Enhancement Film/ parıltı arttırıcı film) ve DBEF (Dual Brightness Enhancement Film/ Çift parıltı arttırıcı film) tabakaları, LCD (Liquid Crystal Display/ Sıvı kristal ekran) teknolojisinde ekranın parıltısını ve verimliliğini artırmak için kullanılan bileşenlerdir.

parıltı Artırma Filmi (BEF): BEF tabakaları, LCD ekranın parıltısını artırarak çalışan optik filmlerdir. Tipik olarak ekranın arka ışık ünitesinin önüne yerleştirilirler. BEF tabakaları, arka ışık tarafından yayılan ışınlar yeniden yönlendirmeye ve odaklamaya yardımcı olan mikro yapılı bir yüzey içerir. Işığın bu şekilde yeniden yönlendirilmesi, ışık kullanım verimliliğini artırarak ekranın genel parıltısını artırır [34].

Çift parıltı Artırma Filmi (DBEF): DBEF tabakaları, BEF tabakalarının gelişmiş bir versiyonudur. Adından da anlaşılacağı gibi, DBEF tabakaları parıltı geliştirme açısından çift işlevsellik sağlar. Aksi takdirde ekran sistemi içinde kaybolacak ışığı hem yeniden yönlendirmek hem de geri dönüştürmek için tasarlanmıştır. DBEF tabakaları, ışığı verimli bir şekilde yansıtmalarını ve iletmelerini sağlayan farklı optik özelliklere sahip çoklu katmanlardan oluşur. Bu, geleneksel BEF tabakalarına kıyasla daha da fazla parıltı artışı sağlar.

Hem BEF hem de DBEF tabakaları LCD ekranlarda, özellikle de TV'ler, monitörler, dizüstü bilgisayarlar ve diğer elektronik cihazlar gibi yüksek parıltı ve enerji verimliliğinin istendiği uygulamalarda önemli bileşenlerdir. Ekranın görsel kalitesini artırmaya yardımcı olurken aynı zamanda güç tüketimini azaltarak modern ekran teknolojileri için vazgeçilmez hale gelmektedirler.

## 3.2 Elektronik Görüntü Cihazlarında Enerji Regülasyonları

Yapılan araştırmalara göre piyasadaki televizyonların boyutuna bağlı olarak ortalama güç tüketimleri 10W-117W aralığında değişmektedir. Tekil olarak güç tüketim aralığının çok yüksek boyutlarda gözükmese de televizyonlar küresel elektrik tüketiminin %3 veya %4'ünü kapsadığı tahmin edilmektedir [35]. Bunun sebebi çok fazla sayıda televizyonun kullanılması ve her geçen yıl kullanım oranının artmasıdır. Bu nedenle televizyon tasarımlarında sağlanacak küçük ölçekteki enerji tüketimi azaltılması bile küresel ölçekte çok büyük enerji tasarrufuna sebep olacaktır.

Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması bu kaynakların daha verimli şekilde kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu bağlamda çeşitli organizasyonlar tarafından çeşitli kriterler ve regülasyonlar ortaya çıkmıştır. Bu kriterlerden birisi de eko dizayn kriterleridir [36]. Eko dizayn kriterleri bir ürünün daha tasarım sürecinde çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Böylece ürünün tasarımından başlayarak üretim, bakım ve atık yönetim süreçlerinde tüm yaşam döngüsünü kapsayacak şekilde çevresel etkileri düşürülerek ürünün daha sürdürülebilir olması sağlanabilir.

Tüketici elektroniği için eko dizayn kriterleri ilk olarak Avrupa Birliği tarafından 2002 yılında ortaya çıkarılmıştır. Bu kriterler 2009/125/EC sayılı direktifi ve 2010/30/EU sayılı tüketici elektroniği direktifi ile belirlenmiştir. Bu çatı yönetmeliklerinin altında farklı ürün grupları için detay yönetmelikler de oluşturulmuştur. Elektronik ekranlar için tanımlanan yönetmeliklerde enerji tüketim ölçüm metadolojisi ve hesaplama yöntemleri ve enerji sınıflarının limitleri detaylı olarak tanımlanmıştır.

Elektronik görüntü cihazları özelinde enerji etiketlerinin tanımlanması ilk olarak 2010 yılında 1062/2010/EU direktifi ile belirlenmiştir. Bu direktifte enerji sınıflarının belirlenmesi için kullanılan hesaplama yöntemi ve enerji sınıfları belirtilmiştir [37].

Tablo 3.1'de 1062/2010/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları verilmiştir.

**Tablo 3.1** 1062/2010/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları

| **Enerji Verimliliği Sınıfları** | **Enerji Verimliliği Endeksi** |
|---|---|
| A+++ (en verimli) | EEI < 0,10 |
| A++ | 0,10 $\leq$ EEI < 0,16 |
| A+ | 0,16 $\leq$ EEI < 0,23 |
| A | 0,23 $\leq$ EEI < 0,30 |
| B | 0,30 $\leq$ EEI < 0,42 |
| C | 0,42 $\leq$ EEI < 0,60 |
| D | 0,60 $\leq$ EEI < 0,80 |
| E | 0,80 $\leq$ EEI < 0,90 |
| F | 0,90 $\leq$ EEI < 1,00 |
| G (en az verimli) | 1,00 $\leq$ EEI |

1062/2010/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları Tablo 3.1'de paylaşıldığı gibi enerji verimliliği endeksine göre belirlenir. Enerji verimliliği indeksinin ölçüm yöntemi de standartlarca belirlenmiştir.

Enerji Verimliliği Endeksi (EEI) (2.12)'de tariflendiği gibi hesaplanır:

$$EEI = P/Pref(A) \tag{3.1}$$

- Pref(A) = Pbasic + A $\times$ 4,3224 Watts/dm$^2$
- Pbasic = Bir tunere sahip ve hard disk olmayan televizyonlar için 20 W
- Pbasic = Hard disk içeren televizyonlar için 24 W
- Pbasic = İki veya daha fazla tunere sahip olan televizyonlar için 24 W
- Pbasic = İki ve daha fazla tunere sahip ve hard disk olan televizyonlar için 28 W
- Pbasic = Monitör televizyonlar için 15 W

A dm$^2$ cinsinden görünür ekran alanını temsil eder.

2010 yılında paylaşılan bu direktif 2017 yılında çıkarılan 2017/1369 direktifi ile yürürlükten kaldırılmıştır. Daha sonra ise 2019 yılında 2017/1369 direktifine destekleyici olmak adına 2019/2013 direktifi yayınlanmıştır. Bu yeni direktiflerle enerji sınıflarının hesaplanma yöntemleri daha kapsamlı ele alınarak enerji sınıflarının limitleri güncellenmiştir. Böylece daha verimli ürünler elde edilerek sürdürülebilirlik arttırılmaya çalışılmıştır.

2019 yılında güncellenmiş son haline göre enerji sınıflarının limitleri Tablo 3.2'de verilmiştir [38].

**Tablo 3.2** 2019/2013/EU'ya göre enerji verimliliği sınıfları

| **Enerji Verimliliği Sınıfları** | **Enerji Verimliliği Endeksi** |
|---|---|
| A | $EEI_{label} < 0{,}30$ |
| B | $0{,}30 \leq EEI_{label} < 0{,}40$ |
| C | $0{,}40 \leq EEI_{label} < 0{,}50$ |
| D | $0{,}50 \leq EEI_{label} < 0{,}60$ |
| E | $0{,}60 \leq EEI_{label} < 0{,}75$ |
| F | $0{,}75 \leq EEI_{label} < 0{,}90$ |
| G | $0{,}90 \leq EEI_{label}$ |

$EEI_{label}$ değeri regülasyona göre (2.13)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$EEI_{label} = \frac{(P_{measured} + 1)}{3 \times [90 \times \tanh(0,025 + 0,0035 \times (A - 11)) + 4] + 3 + corr_l} \quad (3.2)$$

A $dm^2$ cinsinden görüntüleme yüzey alanını belirtir.

$P_{measured}$ normal konfigürasyonda ve Tablo 3.3'te gösterildiği gibi ayarlanmış Watt cinsinden ölçülen gücü belirtir.

$corr_l$ Tablo 3.4'te gösterildiği gibi ayarlanan düzeltme faktörünü belirtir.

Tablo 3.3'te 2019/2013/EU'ya göre $P_{measured}$ değerinin ölçülmesi açıklanmıştır.

**Tablo 3.3** 2019/2013/EU'ya göre $P_{measured}$ değerinin ölçülmesi

| **Dinamik Aralık Seviyesi** | **$P_{measured}$** |
|---|---|
| Standart Dinamik Aralık (SDR): $P_{measuredSDR}$ | Açık modda dinamik yayın içeriğinden türetilmiş test içerikleri görüntülenirken oluşan Watt cinsinden güç talebini belirtir. Eğer test edilen cihazda otomatik parıltı fonksiyonu belirtilen şartları sağlıyorsa $P_{measured}$ değerinden belirtilen ölçüde düşülmelidir. |
| Yüksek Dinamik Aralık (HDR): $P_{measuredHDR}$ | Açık modda SDR modda olduğu gibi ancak standartlaştırmış HDR test sekanslarında HDR işleviyle oluşan Watt cinsinden güç talebini belirtir.Eğer test edilen cihazda otomatik parıltı fonksiyonu belirtilen şartları sağlıyorsa $P_{measured}$ değerinden belirtilen ölçüde düşülmelidir. |

**Tablo 3.4** 2019/2013/EU'ya göre $corr_l$ değerinin hesaplanması

| **Elektronik Ekran Tipi** | **$corr_l$ Değeri** |
|---|---|
| Televizyon | 0,0 |
| Monitör | 0,0 |
| Dijital Bilgi Ekranı | 0,00062 $\times$ (lum-500) $\times$ A |

Tablo 3.4'te 2019/2013/EU'ya göre corrl değerinin hesaplanması açıklanmıştır.

lum ifadesi ekranın en parlak mod konfigürasyonunda cd/$m^2$ cinsinden en yüksek beyaz parıltısını ifade eder. A ise $dm^2$ cinsinden ekran alanıdır.

2019/2013/EU'ya göre $EEI_{label}$ hesabında ayarlamalar ve müsaadeler:

Bu regülasyona göre otomatik parıltı kontrolüne sahip elektronik ekranlar aşağıda sıralanan özelliklerin tümünü sağlıyorsa $P_{measured}$ değerinden %10'luk bir azalmaya hak kazanacaktır. Bu şartlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Otomatik parıltı kontrolü ekranın normal modunda (müşterinin hiçbir değişiklik yapmadan kullandığı fabrika çıkış modu) etkinleştirilir ve son kullanıcı için mevcut olan herhangi bir diğer standart dinamik aralık konfigürasyonunda devam eder.

$P_{measured}$ değeri normal modda otomatik parıltı kontrolü devre dışı bırakılarak veya

eğer devre dışı bırakılamıyorsa, otomatik parıltı kontrol sensöründe 100 lüks ortam ışığı oluşturacak ortam koşullarında ölçülür.

Eğer uygulanabilirse, otomatik parıltı kontrolü devre dışıyken ölçülen $P_{measured}$ değeri, sensörde 100 lüks ölçülen ortam koşulunda otomatik parıltı kontrolü açık olarak ölçülen $P_{measured}$ değerine eşit veya daha yüksek olmalıdır.

Otomatik parıltı kontrolü açıkken, sensörde ölçülen ortam ışığı 100 lüks'ten 12 lüks'e düşürüldüğünde ölçülen güç değeri %20 veya daha fazla azalmalıdır.

Otomatik parıltı kontrolü sensöründe ölçülen ortam ışığı durumu değiştiğinde, ekran parıltısı ayarlanması aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

60 lükste ölçülen ekran parıltısı, 100 lükste ölçülen ekran parıltısının %65 ile %95'i olmalıdır.

35 lükste ölçülen ekran parıltısı, 100 lükste ölçülen ekran parıltısının %50 ile %80'i olmalıdır.

12 lükste ölçülen ekran parıltısı, 100 lükste ölçülen ekran parıltısının %35 ile %70'i olmalıdır.

Ayrıca regülasyon detaylı olarak ölçüm metadolojilerini de tanımlamıştır, 2019/2013/EU'ya göre güç talebinin ölçülmesi aşağıdaki şekilde olmalıdır:

Elektronik ekranlar normal konfigürasyonda ölçülecektir.

Ölçüm 23 °C +/- 5 °C ortam koşullarında yapılacaktır.

Ölçümler standart dinamik aralıktaki (SDR) elektronik ekranlar için tipik yayın içeriğini temsil eden bir dinamik yayın video sinyali kullanılarak yapılacaktır. Ölçüm 10 dakika boyunca tüketilen ortalama güç olacaktır.

Ölçümler, elektronik ekran en az 1 saat standby konumunda bekletildikten hemen sonra, en az 1 saat açık modda çalıştırıldıktan sonra yapılmalıdır ve açık modda en fazla 3 saat bekletilmelidir.İlgili video sinyali, tüm açık mod süresi boyunca görüntülenecektir.

Yine 2021 yılında 2019/2021/EU revize regülasyonu yayınlanmıştır. Bu regülasyonda elektronik ekranların enerji sınıflandırılmasının yanında artık üretilebilirlik sınırı tanımlanmıştır. Bu sınır ile birlikte en kötü verimlilik sınıfının da üst limiti belirlenmiştir ve o üst limiti aşan ürünlerin satışı yasaklanmıştır [39].

2019/2021/EU regülasyonuna göre üretilebilirlik sınırı hesabı ve değerlendirilmesi Tablo 3.5'te belirtilmektedir.

**Tablo 3.5** 2019/2021/EU'ya göre enerji verimliliği endeksi limitleri

| | **HD çözünürlüğe kadar olan elektronik ekranlar için EEImax** | **HD çözünürlükten yüksek ve UHD çözünürlüğe kadar olan elektronik ekranlar için EEImax** | **UHD ve üstü çözünürlüğe sahip elektronik ekranlar ve MicroLed ekranlar için EEImax** |
|---|---|---|---|
| 1 Mart 2021 | 0,90 | 1,10 | n.a. |
| 1 Mart 2023 | 0,75 | 0,90 | 0,90 |

Tablo 3.5'te 2019/2021/EU'ya göre enerji verimliliği endeksi limitleri verilmektedir. Bir elektronik ekranın EEI'si belirtilen tarihlerden itibaren bu değerleri aşmayacaktır.

2019/2021/EU regülasyonuna göre enerji limitleri için tanımlanan hesaplama:

$$\mathrm{EEI}_{\mathrm{label}} = \frac{(P_{\mathrm{measured}} + 1)}{3 \times [90 \times \tanh(0,02 + 0,004 \times (A - 11)) + 4] + 3 + \mathrm{corr}_l} \tag{3.3}$$

A $dm^2$ cinsinden ekran alanını belirtmektedir.

$P_{measured}$ normal konfigürasyonda standart dinamik aralıkta (SDR) ölçülen watt cinsinden gücü ifade etmektedir.

2019/2021/EU revize regülasyonunda tanımlanan bir diğer kısıtlama ise maksimum beyaz parıltısı ile normal moddaki beyaz parıltı oranını tanımlamaktadır,Regülasyona göre;

Elektronik ekranın parıltısı normal modda tepe parıltısından daha düşük ayarlanmışsa, ayarlanan değer tepe değerinden %65'inden az olmamalıdır.

Güç ölçümleri normal moddaki parıltı ile yapılmaktadır. Bu kısıtla birlikte normal modun parıltısı çok düşük tutularak enerji sınıfları ve üretilebilirlik limitleri konusunda avantaj sağlanmasının önüne geçilmektedir.

Yukarıda elektronik ekranların enerji sınıflarını ve üretilebilirlik limitlerini belirleyen regülasyonları tarihsel olarak paylaşılmıştır. Bu regülasyonların içeriğinde bulunan hesaplama yöntemlerine göre örnek boyutlarda enerji sınıfı limitleri ve üretilebilirlik limitlerinin watt cinsinden karşılığı sırasıyla Tablo 3.6, 3.7, 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 3.6** 2021 öncesi (1062/2010 Direktifine Göre) Enerji Sınıfları

| **Ekran Boyutu (inch)** | **Alan ($dm^2$)** | **A+++** | **A++** | **A+** | **A** | **B** | **C** | **D** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 49 | 65 | 30,5 | 48,8 | 70,1 | 91,5 | 128,1 | 183 | 244 |
| 50 | 67,5 | 31,6 | 50,5 | 72,6 | 94,7 | 132,6 | 189,5 | 252,6 |
| 55 | 82,3 | 38 | 60,8 | 87,3 | 113,9 | 159,5 | 227,8 | 303,8 |
| 58 | 92,6 | 42,4 | 67,9 | 97,6 | 127,3 | 178,2 | 254,6 | 339,4 |
| 65 | 115 | 52,1 | 83,4 | 119,8 | 156,3 | 218,9 | 312,6 | 416,9 |
| 75 | 153,08 | 68,6 | 109,7 | 157,7 | 205,7 | 288 | 411,4 | 548,5 |
| 86 | 202 | 89,7 | 143,5 | 206,3 | 269,1 | 376,8 | 538,3 | 717,7 |
| 98 | 262,2 | 115,7 | 185,2 | 266,2 | 347,2 | 486,1 | 694,4 | 925,9 |

**Tablo 3.7** 2021 Sonrası (2019/2013/EC Direktifine Göre) Enerji Sınıfları

| **Ekran Boyutu (inch)** | **Alan ($dm^2$)** | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 49 | 65 | 20,6 | 27,8 | 35 | 42,1 | 52,9 | 63,7 | >F Class |
| 50 | 67,5 | 21,3 | 28,7 | 36,1 | 43,5 | 54,6 | 65,8 | >F Class |
| 55 | 82,3 | 25,2 | 33,9 | 42,7 | 51,4 | 64,5 | 77,6 | >F Class |
| 58 | 92,6 | 27,9 | 37,5 | 47,1 | 56,8 | 71,2 | 85,6 | >F Class |
| 65 | 115 | 33,5 | 45 | 56,5 | 68 | 85,3 | 102,5 | >F Class |
| 75 | 153,08 | 42,3 | 56,8 | 71,2 | 85,7 | 107,3 | 129 | >F Class |
| 86 | 202 | 52,1 | 69,8 | 87,5 | 105,2 | 131,8 | 158,4 | >F Class |
| 98 | 262,2 | 61,7 | 82,6 | 103,5 | 124,4 | 155,7 | 187,1 | >F Class |

**Tablo 3.8** Üretilebilirlik Limitleri Tablosu

| **Ekran Boyutu (inch)** | **Alan ($dm^2$)** | **FHD (2021) (w)** | **UHD (2021) (w)** | **FHD (2023) (w)** | **UHD (2023) (w)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 49 | 65 | 68,8 | 84,3 | 57,2 | 68,8 |
| 50 | 67,5 | 71,1 | 87,1 | 59,1 | 71,1 |
| 55 | 82,3 | 84,4 | 103,4 | 70,2 | 84,4 |
| 58 | 92,6 | 93,5 | 114,5 | 77,7 | 93,5 |
| 65 | 115 | 112,2 | 137,4 | 93,3 | 112,2 |
| 75 | 153,08 | 141 | 172,5 | 117,3 | 141 |
| 86 | 202 | 171,7 | 210 | 142,9 | 171,7 |
| 98 | 262,2 | 200,1 | 244,7 | 166,5 | 200,1 |

Yukarıdaki tablolardan da anlaşılacağı üzere belirlenen enerji sınıfları limitleri ve üretilebilirlik limitleri gün geçtikçe zorlayıcı seviyelere gelmiştir. Televizyon sektöründeki çok büyük maliyet rekabeti tasarımlarda kalite ve maliyet optimizasyonu yapılması konusunda kısıt oluşturmaktaydı, ancak enerji regülasyonu kısıtları bu optimizasyona bir değişken daha eklemiştir. 2023 yılında devreye giren üretilebilirlik limitleri bu faktörü daha da zorlayıcı hale getirmiştir. Bu nedenle yeni tasarımlarda maliyet, kalite ve enerji verimliliği konularda optimizasyon yapılması zorunluluğu oluşmaktadır.

Led televizyonların güç tüketimi incelendiğinde en yüksek güç tüketimine sebep olan birim arka ışık birimidir. Bu çalışma kapsamında farklı tasarımlara sahip doğrudan aydınlatmalı arka aydınlatma sistemlerine sahip televizyonların maliyet, kalite ve görüntü kalitesi konusunda karşılaştırmaları yapılarak optimum tasarımlar önerilecektir.

## 3.3 Görsel Değerlendirme Ölçümü

Arka aydınlatma sistemlerinin kalitesi ekranın her bölgesinde homojen bir parıltıya sahip olması kriteri ile değerlendirilir. Doğrudan aydınlatma sistemleri doğası gereği her bölgede eşit bir parıltıya sahip olamaz, özellikle ledlerin uzak olduğu kenar ve köşe bölgelerde bir miktar parıltı kaybı oluşmaktadır.

Doğrudan aydınlatma sistemlerinde arka ışık tek düze bir görünüme sahip olmadığında ekranda görüntülenen kareler düzgün olmayan bir görüntü oluşturacak

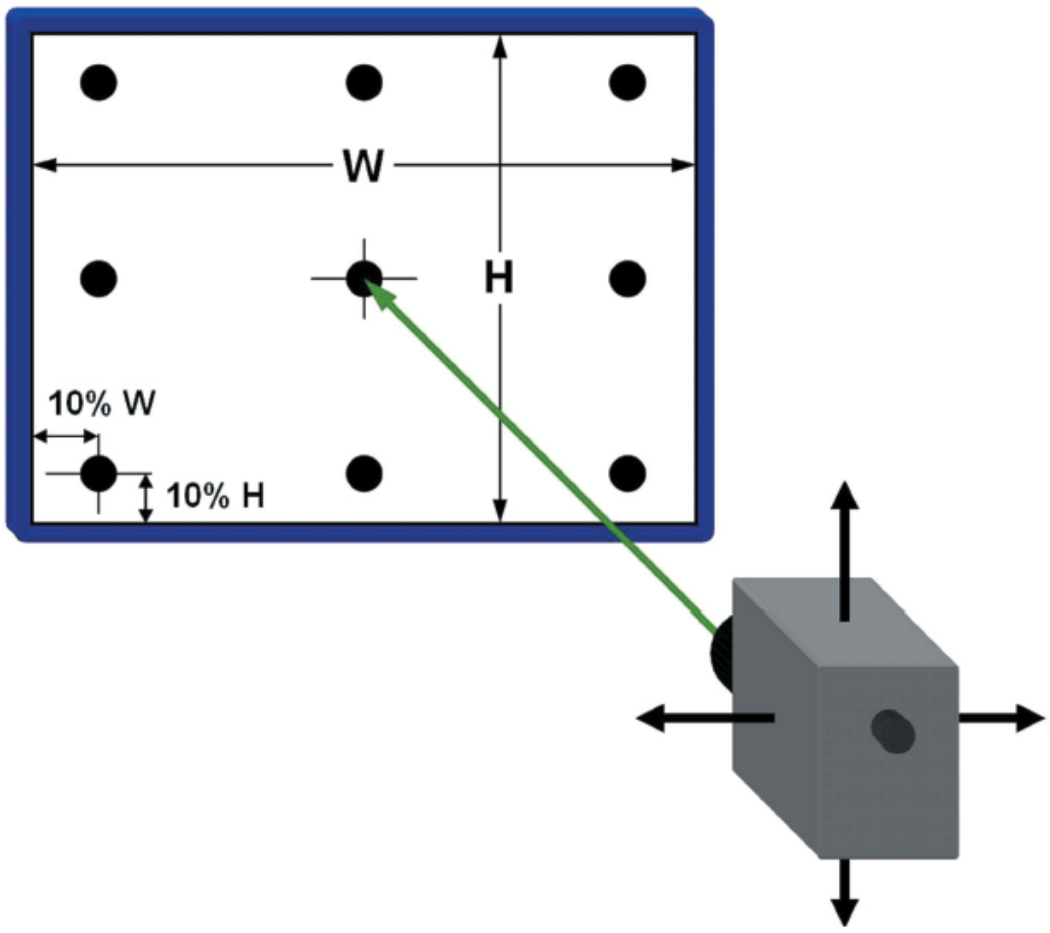
ve bu da kullanıcının algısal kalitesini etkileyecektir. Doğrudan aydınlatma sistemlerinde kullanılan led sayısı , yerleşimi, lens tipi, optic mesafe ve optik katmanlar bu düzgünlüğü etkileyecektir. Bu nedenle yapılacak karşılaştırmada görsel kalite önemli bir faktör olacaktır.

Geleneksel olarak düzgünlük ölçümü farklı uluslararası standartlarca, farklı yöntemlerde tanımlanmıştır.

## 3.4 Parıltı Homojenlik Ölçüm Standartları

### 3.4.1 VESA FPDM Standardına Göre Parıltı Düzgünlük Ölçümü

VESA (Video Elektronik Standartlar Birliği) tarafından LED panellerin parıltı düzgünlüğü ölçümü 306-1 başlığı altında açıklanmıştır. Standart ışık ölçüm cihazının ekrana dik olacak şekilde 5 veya isteğe bağlı olarak 9 noktadan konumlandırmasını içerir. VESA düzgünlük ölçüm yönteminin konumlandırma görseli Şekil 3.4'de gösterilmiştir [40].




**Şekil 3.4** VESA FPDM standard 306-1'e göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü

Ölçüm noktaları merkezdeki noktadan ekran genişlik değerinin %10'u kadar uzaklıktaki 4 veya 8 nokta olarak belirlenmiştir. Bu standartta sadece ölçüm yöntemi tanımlanmıştır herhangi bir başarılı/başarısız kriteri uygulanmamaktadır.

Bu standarta göre düzgünsüzlük faktörü basitçe (3.1) eşitliği ile tanımlanır.

$$\text{Düzgünsüzlük} = 100\% \left[1 - (L_{\text{min}} - L_{\text{max}})\right] \tag{3.4}$$

Burada $L_{\text{min}}$ ölçülen minimum parıltıyı, $L_{\text{max}}$ ise ölçülen maksimum parıltıyı belirtir, eğer $L_{\text{min}}$ = $L_{\text{max}}$ ise burada düzgünsüzlüğün sıfır olduğu ve homojen bir ekrana sahip olduğu söylenir. Eğer $L_{\text{min}}$ = 0,8 $\times$ $L_{\text{max}}$ ise düzgünsüzlük %20 aynı zamanda düzgünlük %80 olarak tanımlanır.

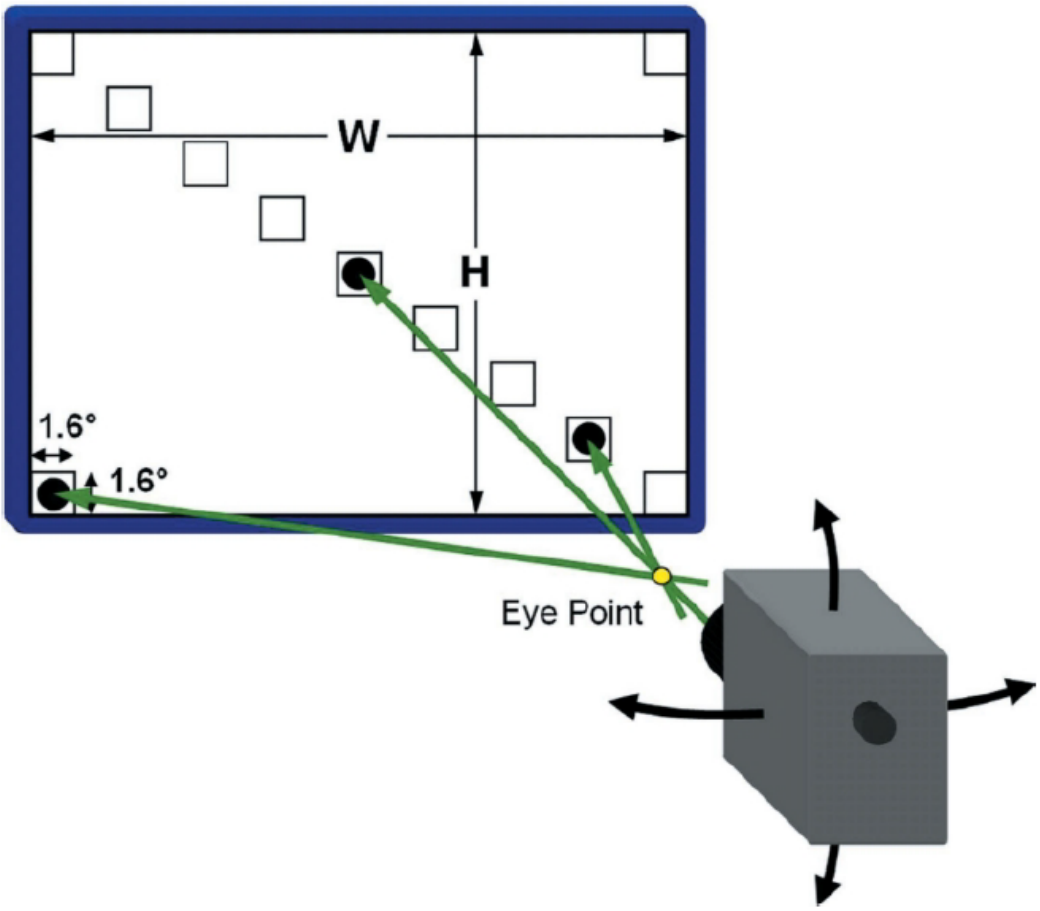
### 3.4.2 ISO Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü

ISO standardında düzgünlük ölçüm tanımı madde 8.7.19 " Parıltı Düzgünlüğü" başlığı ile başlar ve 7.19 "düzgünlük Tasarım Gereklilikleri", 7.2 "Tasarım Görüntüleme Yönü", 8.4.1 "Test Yönleri" ve 8.4.2 "Standard Ölçüm Yerleri" başlıklarında verilmiştir [41]. Basit olarak tasarımda belirlenen göz noktası aracılığıyla ekran yüzeyindeki merkez noktası ve 11 standart noktada seçilen diğer 2 nokta olmak üzere 3 nokta hedeflenir. ISO standardına göre düzgünlük ölçüm konumlandırması Şekil 3.5'de paylaşılmıştır.

Düzgünlük değeri basitçe bu üç noktadan ölçülen maksimum parıltı ve minimum parıltı oranı olarak 3.2 eşitliği ile tanımlanabilir.

$$\text{Düzgünlük} = \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{min}}} \tag{3.5}$$

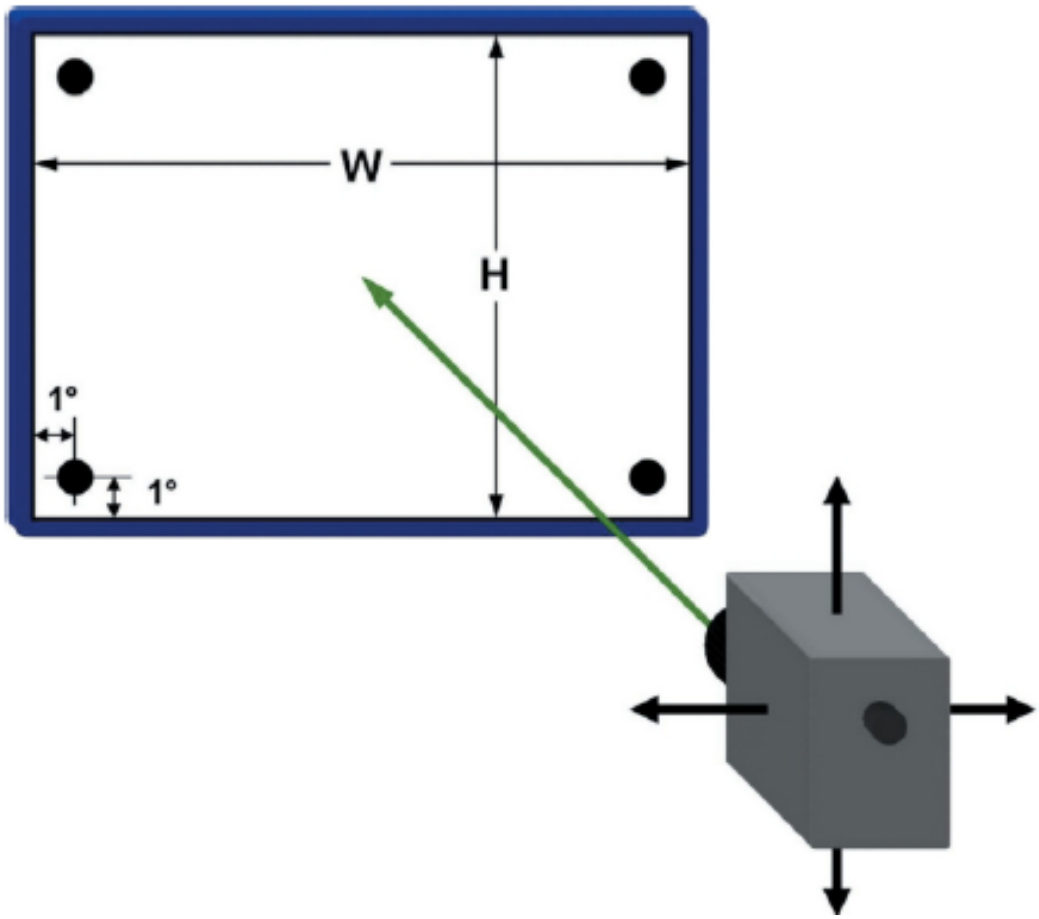
ISO standartı bilgisayar monitörleri gibi ofis alanı uygulamalarını kapsamaktadır.




**Şekil 3.5** ISO standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü

### 3.4.3 TCO Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü

TCO (Tjänstemännens Centralorganisation) parıltı düzgünlük ölçümü standartın B.2.3.2 paragrafında tanımlanmıştır [42]. Basit olarak ekrana dik ölçümler yanlızca ekranın dört köşesinden yapılır. Ölçüm yapılacak konumlar kenardan 1 derecelik açılarla belirlenir. Ölçüm düzeneği Şekil 3.6'te paylaşılmıştır.



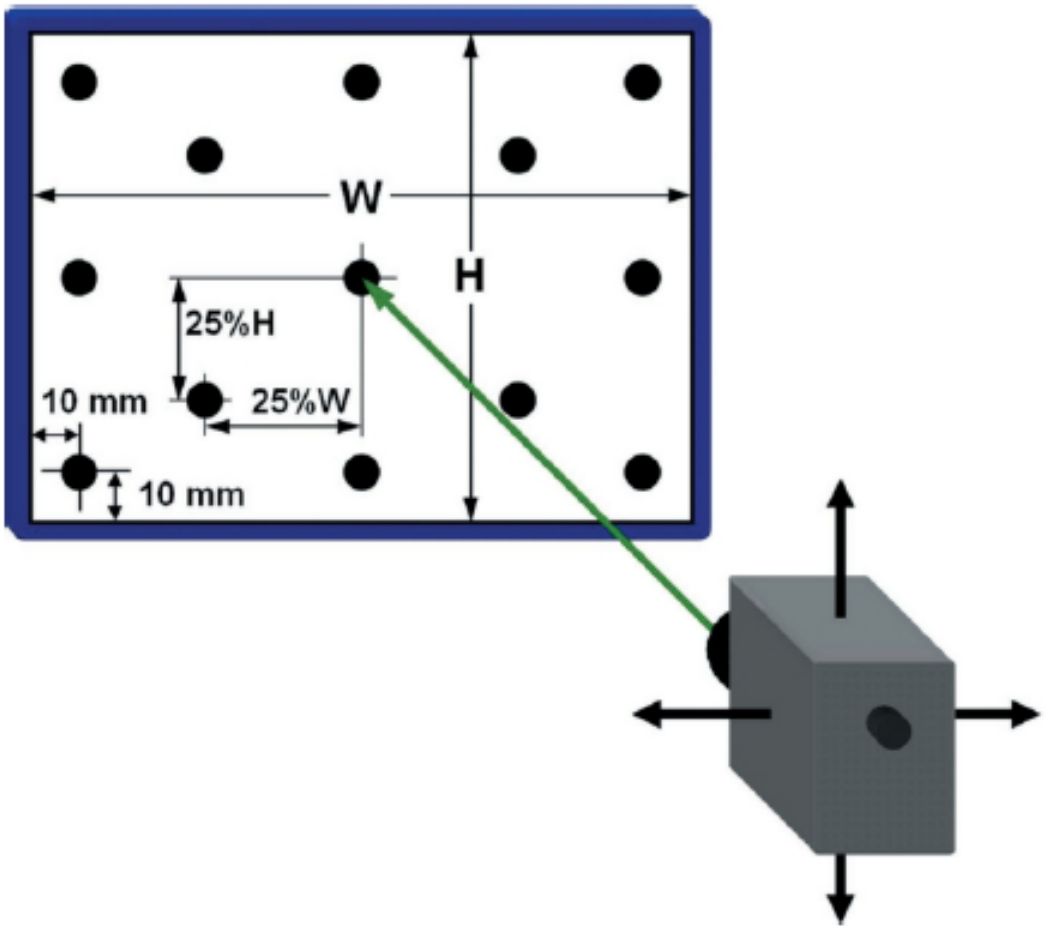

**Şekil 3.6** TCO standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü

TCO standartı ISO standartında olduğu gibi ölçülen 4 noktadan maksimum ve minimum parıltı oranını parıltı değişimi olarak tanımlar ve bu değerin uygunluk eşik değerini 1,5 olarak öngörür. parıltı değişim oranı (3.3) eşitliği ile tanımlanmıştır.

$$\text{Parıltı Değişimi} = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \tag{3.6}$$

### 3.4.4 SPWG Standardına Göre Düzgünlük Ölçümü

SPWG (Standard Panel Working Group) parıltı eşitliği ölçümü standartın 6.4 başlığı altında tanımlanmıştır [43]. Bu teste göre ekrana dik ölçümler, ekranın 13 ayrı bölgesinde yapılır, bu noktalar merkez ve kenarlardan 10mm uzaklıktaki sabit noktalarda seçilen 8 adet bölgeye ek olarak merkezden ekran eninin ve boyunun $\pm\%25$'i uzaklıkta ek 4 noktadan oluşur. Ölçüm test düzeneğini Şekil 3.7'te gösterilmiştir.




**Şekil 3.7** SPWG standardına göre led panellerin parıltı tek düzelik ölçümü

13 noktadan elde edilen parıltı değerlerinden parıltı eşitliği değeri (3.4) eşitliğinde belirtilmiştir.

$$\text{Parıltı \% Düzgünlük} = 100\% \left[ \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{L_{\text{max}}} \right] \tag{3.7}$$

Dört farklı standarta göre düzgünlük tanımları ve ölçüm yöntemleri paylaşılmıştır. Burada standartlar arasındaki farklılıklar genelde farklı özel uygulamalara yönelik olmalarından ve farklı tüzük kurallarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. VESA standartı kullanıcı bağımsız bir ölçüm yöntemi tanımlamak üzere yola

çıkmıştır. Dikey tanımlama kararları ve ekran yüzeyine oransal olarak yerleştirilen parıltı ölçümleri, ekipman kurulumunu basitleştiren ve kolayca tekrar edilebilen ölçüm yöntemi oluşturmak için yapılmıştır.

ISO standartı kullanıcının gerçek deneyimine odaklanmıştır. Bu bağlamda kurulumu daha zor olan göz noktası gereksinimini tanımlamıştır. Ölçümler tanımlanan göz noktasından alınacaktır böylece kullanıcının izleme açısı etkisi ile oluşan düzgünlük sorunlarını da hesaba katmaktadır. Diğer yöntemler de farklı noktalar ve tanımlamalarla bu düzgünlük kavramını tanımlamıştır.

Yukarıda paylaşılan 4 farklı ölçüm standartının da farklı yöntemlere sahip olmasına rağmen ürün üzerinde 9, 13, 4 gibi değişken noktalardan alınan ölçümlerden maksimum ve minimum ölçüm değerlerinin oranları ile değerlendirme yapılmaktadır. Ancak bu seçilen noktaların parıltılarının tek tip olması ve diğer noktaların parıltısının bu noktalara göre tutarsız olması muhtemeldir. Bu nedenle bu çalışmada bu önerilen düzgünlük ölçümleri dışında bir düzgünlük ölçüm yöntemi tanımlanmıştır.

Tanımlanan düzgünlük ölçümü için 9 noktasal bölge yerine, CCD kamera ile alınan ekran görüntüsü analiz edilmiştir böylece ürünün çok daha sayıda ölçüm noktası ile analiz edilmesi mümkün olmuştur.

## 3.5 Gamut

Gamut, televizyonun üretebileceği renklerin tamamını tanımlayan bir terimdir. Renk gamutu, genellikle renk uzaylarında grafiksel olarak temsil edilir ve belirli bir renk modelinde (örneğin, CIE 1931 renk uzayı) mümkün olan renklerin bir alt kümesini gösterir. Gamut ölçümü, yukarıda belirtildiği üzere televizyonun renk üretim kapasitesini belirlemek için yapılan bir süreçtir ve genellikle birkaç temel adım izlenir. İlk olarak, cihazın beyaz, kırmızı, yeşil ve mavi renklerdeki x, y ve u, v değerleri gibi renk koordinatları ölçülür. Bu ölçümler, cihazın üretebileceği renklerin sınırlarını belirleyen bir üçgen çizmek için kullanılır. Bu üçgen, renk uzayında cihazın renk üretim kabiliyetini gösterir ve bu işlem "gamut üçgeni" olarak adlandırılır. Son olarak, cihazın gamut alanı, referans bir gamut (örneğin, NTSC) ile karşılaştırılarak yüzde olarak ifade edilir. Bu yüzde, cihazın referans gama oranla ne kadar geniş bir renk yelpazesine sahip olduğunu gösterir.

# 4
# LOŞLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

## 4.1 Led Sürücüler

Led sürücüler, ledleri verimli bir şekilde sürmek için akım ve gerilimlerini anahtarlama elemanları ile ayarlayan elektronik devrelerdir. Bu ayarlamaları açma-kapama yapabilen yarı iletken bir anahtarlama elemanı yardımıyla yapabilmektedir. Farklı topolojik yapılara sahip olan led sürücüler bulunmaktadır ancak bu çalışmada, boost topolojisine sahip led sürücü devresi kullanılacaktır.

Led sürücü devreleri farklı koruma devreleri ve özelliklere sahiptir. İyi bir led sürücü devresinde, giriş aşırı gerilim koruma devresi, giriş düşük gerilim koruma devresi, açık devre koruma devresi, kısa devre koruma devresi ve loşlaştırma özellikleri bulunmalıdır. Aşağıda bir led sürücünün karakteristiğini belirten özellikler sıralanmıştır.

Yüksek güvenirlik: Televizyon gibi nispeten pahallı ürünlerin garanti süreçleri içerisinde bozuluyor olması özellikle garanti giderini ve marka algısını etkileyen bir etkendir. Bu nedenle led sürücü devresinin yüksek güvenirliğe sahip olması gerekmektedir.

Yüksek verimlilik: LED teknolojisinin televizyonda kullanılması ile enerji verimliliği konusunda büyük gelişme sağlanmıştır, ancak bunu sağlayabilmek için ledlerin verimli bir şekilde sürülmesi gereklidir.

Yüksek güç faktörü: Güç faktörü televizyon gibi tüketici elektroniği ürünlerinde regülasyon tarafından kontrol edilen bir değerdir. 75 W üstü güç tüketimine sahip her üründe özel güç faktörü düzeltme devreleri gerekmektedir.

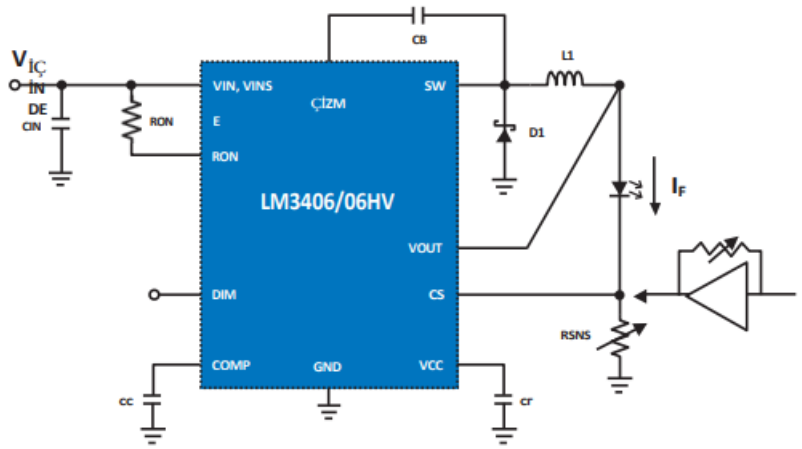
Sürme modu: Bir LED sürücü devresi sabit akım ve sabit gerilim olmak üzere iki ayrı modda çalışabilir. Genelde sabit gerilim modunda her bir led ayrı ayrı sabit

bir gerilim ile sürülerek ayrı ayrı kontrol edilebilir. Diğer bir sürme modu ise sabit akım modudur. Bu modda ise tüm ledler seri halinde aynı sabit akım geçmektedir ve bu akımdan tüm ledler etkilenir. Bu projede de led sürücü sabit akım modunda çalışmaktadır.

Loşlaştırma Modları: Led aydınlatma teknolojisinin katlanarak büyümesi ile birlikte, ledlere kontrollü bir güç verme ihtiyacı doğmuştur, bu nedenle çok çeşitli alanlarda kullanılan led aydınlatma ürünlerinde ayarlanmış akımların hassas kontrolü gerekmektedir ve led aydınlatma çıkış yoğunluğu ayarlanması gerekmektedir. Bu işleve genelde loşlaştırma kontrolü denmektedir. loşlaştırma kontrolleri analog loşlaştırma ve darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma modu olarak ikiye ayrılmaktadır [44].

### 4.1.1 Analog Loşlaştırma

Analog loşlaştırma yöntemi ledlerin akımının döngüsel olarak ayarlanabilmesi olarak ifade edilebilir. Led akım seviyesinin ayarlanması ile led çıkışının kontrol edilmesi yöntemidir. Şekil 4.1'de basit bir analog loşlaştırma devresi verilmiştir.

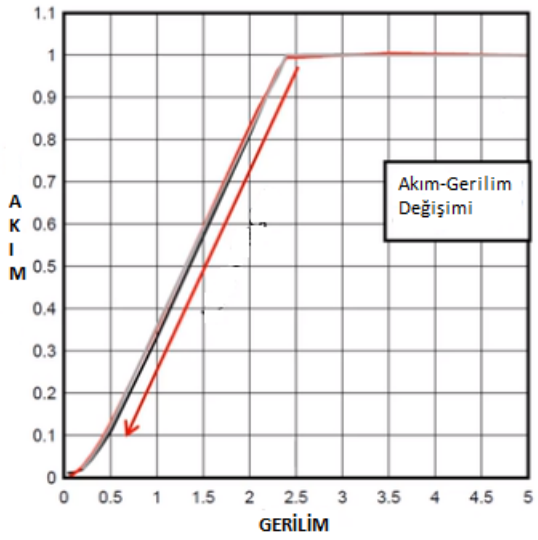



**Şekil 4.1** Analog loşlaştırmali led sürücü devresi

Şekil 4.1, analog loşlaştırmalı led sürücü devresini göstermektedir.

Analog loşlaştırma yönteminde led çıkış parıltısı Rsns direnci değiştirilerek ayarlanabilir ya da entegrenin DİM pinine verilecek analog bir gerilim ile de ayarlanabilir.

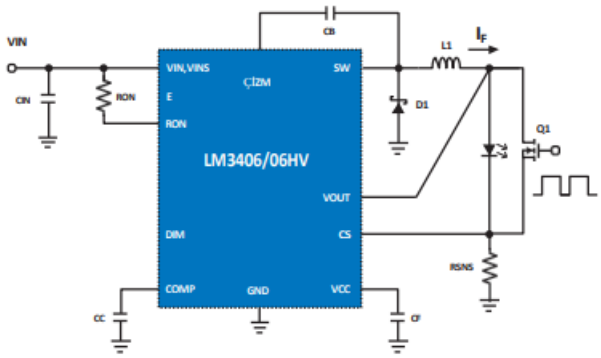
Şekil 4.2'de de gösterildiği üzere analog loşlaştırma yönteminde gerilim değiştirilerek, akım ayarlanabilmektedir.




**Şekil 4.2** Analog loşlaştırma akım-gerilim grafiği

### 4.1.2 PWM Loşlaştırma

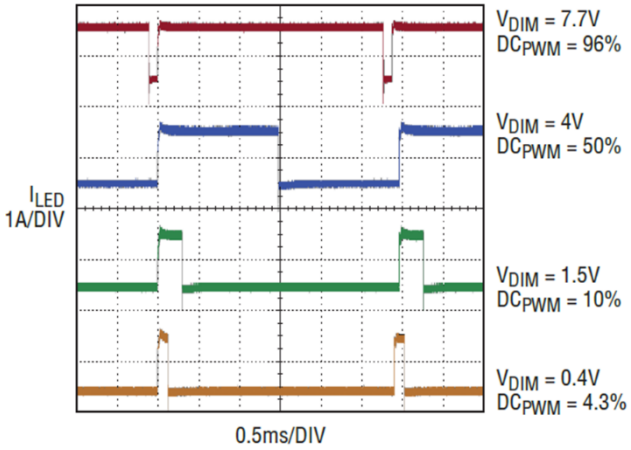
Darbe genişliği modülasyonu yöntemi ile led akımın belirli frekanslarda akımının fiilen başlatılması ve kapatılması sistemi üzerine kuruludur. Bu kapanma ve tekrar başlama frekansı insan gözünün algılayabileceğinin daha üstünde seçilerek titreme efekti olmadan led çıkış gücünün ayarlanması sağlanmaktadır. Şekil 4.3'da darbe genişlik modülasyonuna sahip bir led sürücü devre şeması gösterilmiştir.




**Şekil 4.3** Darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemine sahip led sürücü

Şekil 4.3, darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemine sahip led sürücü devresini göstermektedir. Şekil 4.3'da da gözüktüğü üzere darbe genişliği modülasyonu ile loşlaştırma, led çıkış akımının harici bir şönt Mosfet ile anahtarlanması ile sağlanır, bu mosfetin anahtarlama frekansı, karatma frekansını belirlemektedir.

Şekil 4.4, darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemini göstermektedir. Şekil




**Şekil 4.4** Darbe genişliği modülasyonu loşlaştırma yöntemi

4.4'da da gözüktüğü üzere darbe modülasyonu yöntemi ile loşlaştırma seviyesine göre loşlaştırma frekansının belirli süresinde ledlere akım uygulanırken, geri kalan sürede akım uygulanmaz, böylece loşlaştırma uygunlanmış olur.

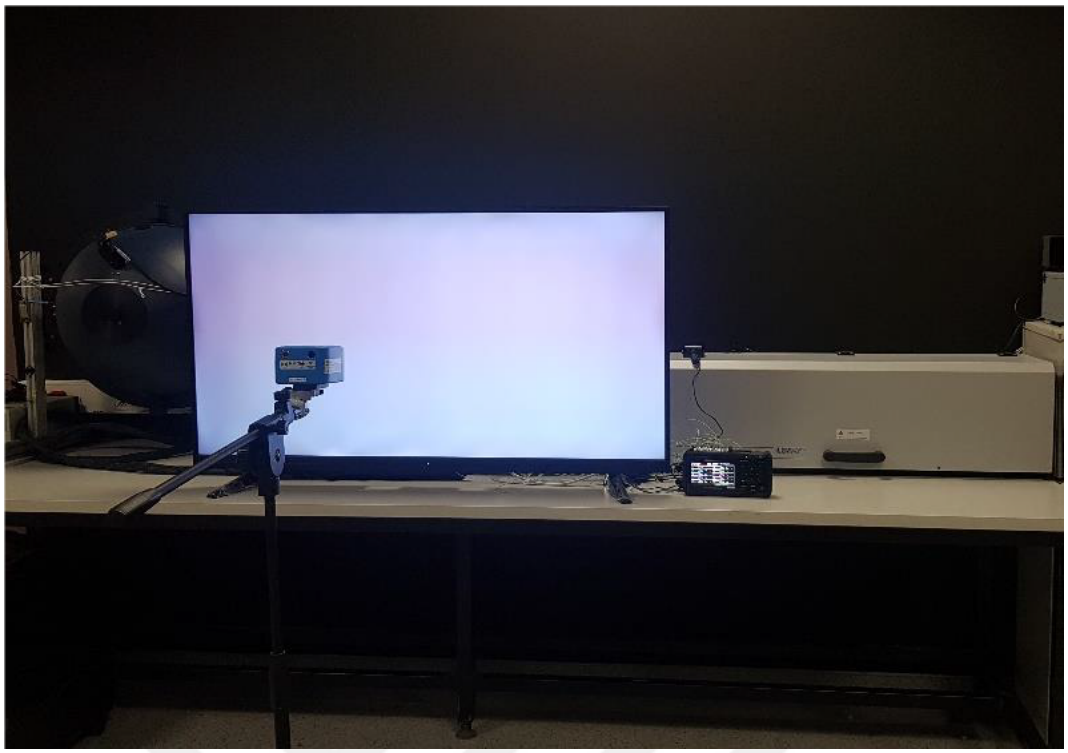
## 4.2 Loşlaştırma Yöntemlerinin Etkilerinin Karşılaştırılması

Yukarıda detayları verilen loşlaştırma yöntemlerinin, aynı görev döngüsü değerinde alınan parıltı değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı optik yapıya sahip bir televizyon, hem analog loşlaştırma hem de pwm loşlaştırma yöntemi ile yüzde 5'lik loşlaştırmaler uygulanarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm hatalarının minimize edilmesi için ölçüm üç farklı led markası ile tekrarlanmıştır.

### 4.2.1 Ölçüm Düzeneği

Bu çalışmada Şekil 4.5'de görüleceği üzere, optik tasarımı sabit olan bir televizyonda hem analog loşlaştırma hem de darbe genişlik modülasyonu loşlaştırma yöntemi uygulanarak spektroradyometre (Spectraval1521) cihazı ile her bir %5'lik loşlaştırma adımında renk ve parıltı ölçümü alınmıştır. Bu ölçümler 5 mA akım değeri ile başlayarak her yüzde beşlik görev döngüsü artışları ile 500 mA maksimum akım olacak şekilde tekrarlanmıştır.

Ölçüm sonuçlarına göre ortaya çıkan maksimum, minimum ve ortalama parıltılar Şekil **??**'de gösterilmiştir. AD ile başlayan ölçümler analog loşlaştırma yöntemini, PWM ile başlayan ölçümler darbe genişlik modülasyon loşlaştırma yöntemini göstermektedir.



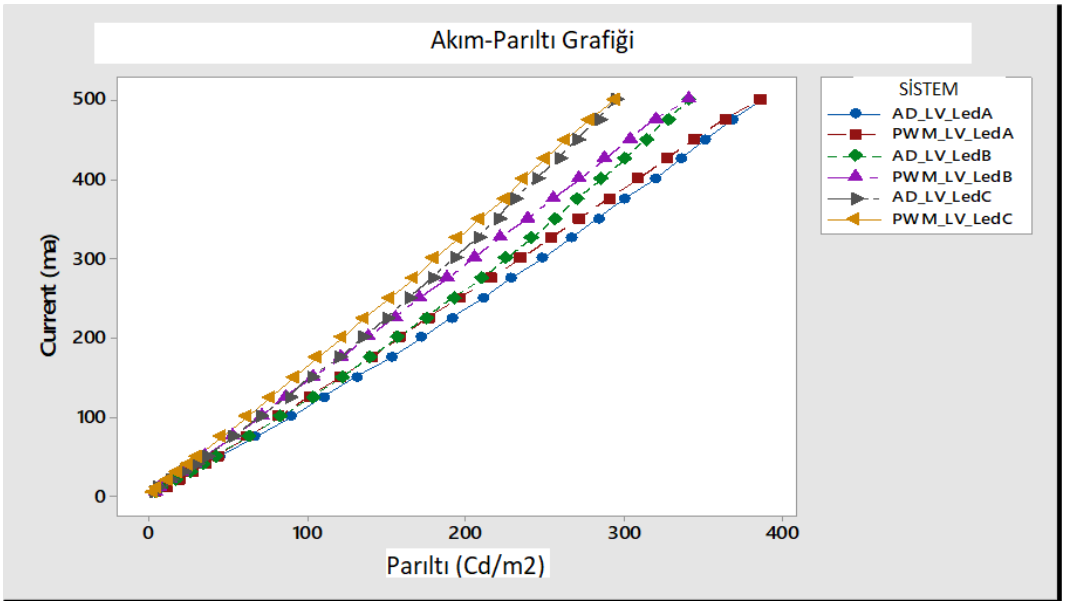
**Şekil 4.5** Ölçüm düzeneği

**Tablo 4.1** Ölçüm sonuçlarına göre ortaya çıkan maksimum, minimum ve ortalama parıltılar

| **Sistem** | **Ortalama (cd/m$^2$)** | **Minimum (cd/m$^2$)** | **Medyan (cd/m$^2$)** | **Maksimum (cd/m$^2$)** |
|---|---|---|---|---|
| Analog LedA | 181 | 4 | 181,5 | 385,2 |
| PWM LedA | 173,5 | 3,8 | 167 | 385 |
| Analog LedB | 163,8 | 4 | 166 | 340,1 |
| PWM LedB | 151,5 | 4 | 146,5 | 339,9 |
| Analog LedC | 140,5 | 3 | 142,5 | 294,2 |
| PWM LedC | 132,7 | 3 | 129 | 293,8 |

Farklı led markalarına ait örneklerle kurulan sistemin analog ve darbe genişliği loşlaştırma yöntemi ile ölçülen parıltı değerleri, Şekil 4.6'de verilmiştir.

4.6'de görüldüğü gibi, beklenildiği üzere, her iki karatma yönteminde maksimum parıltı değerleri %1'lik ölçüm töleransı içerisinde kalarak aynı seviyelerde olduğu görülmüştür. Ancak loşlaştırma seviyesi arttıkça yani akım seviyesi azaldıkça




**Şekil 4.6** Farklı led markalarına ait örneklerle kurulan sistemin analog ve darbe genişliği loşlaştırma yöntemi ile ölçülen parıltı değerleri

analog loşlaştırma yönteminde aynı görev döngüsü değerinde daha yüksek parıltılar ölçüldüğü görülmüştür. Tüm ölçüm sonuçlarının ortalaması alındığında analog loşlaştırma yönteminin ortalama olarak %6 daha parlak seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum da analog loşlaştırma yönteminin, darbe genişliği loşlaştırma yöntemine göre daha verimli olduğunu göstermektedir [45].

# 5
# DOĞRUDAN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ARKA AYDINLATMA GÖRÜNTÜ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.0.1 Düzgünlük Faktörü Ölçüm Düzeneği

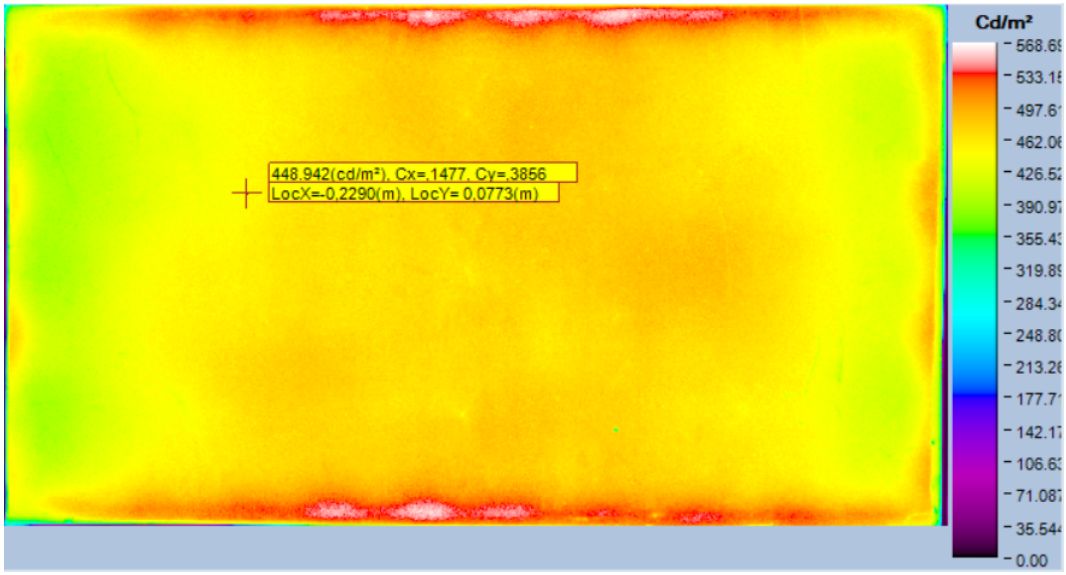
Düzgünlük ölçümü Bölüm 3'te paylaşılan standartlardan farklı olarak noktasal ölçüm yapılacak şekilde spektroradyometre kullanılmamıştır. Test edilen örnekler CCD kamera ile ölçülmüştür. Böylece daha yüksek çözünürlükte bir parıltı haritası çıkarılmıştır.



**Şekil 5.1** Düzgünlük ölçüm düzeneği

Şekil 5.1'te düzgünlük ölçüm düzeneği verilmiştir. Ölçüm Şekil 5.1'te görüldüğü üzere karanlık bir ortamda Radiant Zemax ProMetric I2 Colorimeter cihazı ile %100 beyaz ekranda alınmıştır. Ölçüm sonucunda ekranın bir parıltı haritası çıkarılmıştır.

Şekil 5.2'da CCD kamera ölçüm sonucu örnek parıltı haritası gösterilmiştir. Şekil 5.2'da paylaşıldığı üzere ölçümler sonucunda tüm ekranın bir parıltı haritası çıkarılmış, ve sağ tarafta gözüken ekran parıltısına göre düzenlenen bir renk

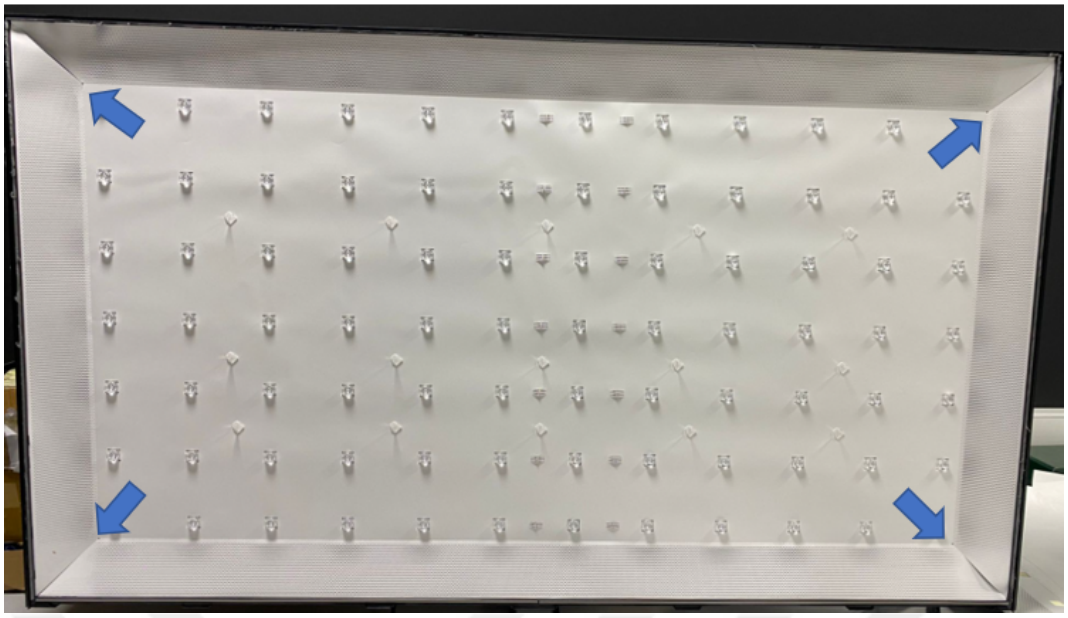



**Şekil 5.2** CCD kamera ölçüm sonucu örnek parıltı haritası görüntüsü

segmentine göre parıltı haritası ortaya çıkmıştır. Renk segmenti en parlak noktayı beyaz en karanlık noktayı mor/siyah olarak göstermektedir. Ayrıca şekil üzerindeki imleçte gözüktüğü üzere her bir x ve y koordinatında ekran üzerindeki parıltı değeri ve renk değeri belirlenmiştir. Düzgünlük ölçümü için çok daha fazla sayıda parıltı değeri elde edilmiş olur.

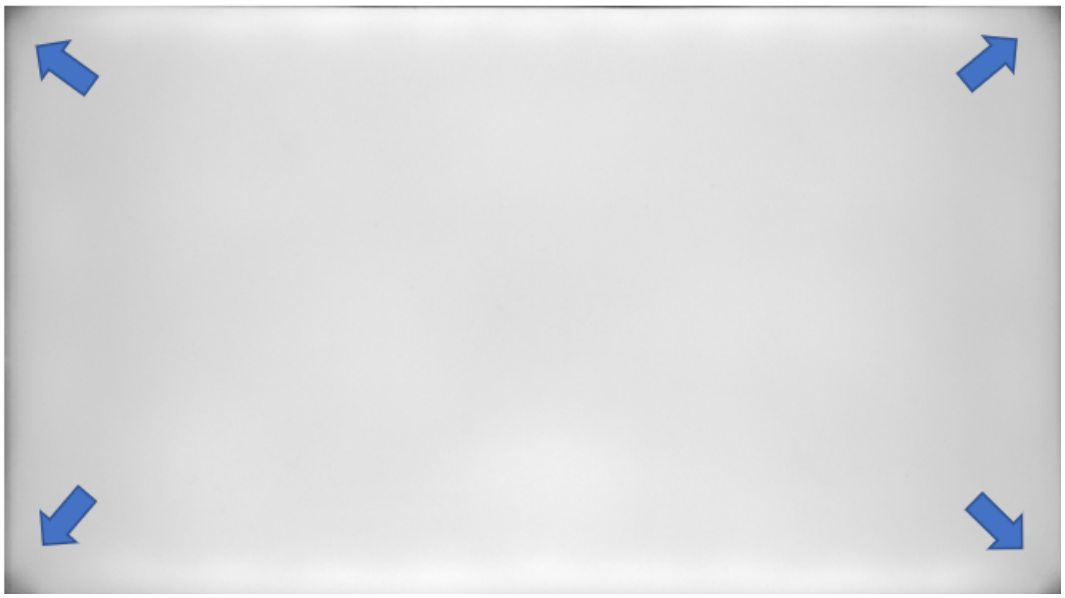
Doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistemlerin doğası gereği düzgünlüğün en az olduğu bölgeler, ışık kaynaklarına en uzak olan köşe bölgelerde oluşmaktadır.

Şekil 5.3'de doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem örneği gösterilmiştir. Şekil 5.3'de gösterildiği üzere arka aydınlatma sistemlerinde en çok gölgelenmenin olduğu bölgeler ışık kaynağına en uzak bölgeler olan köşe bölgeler gösterilmiştir.



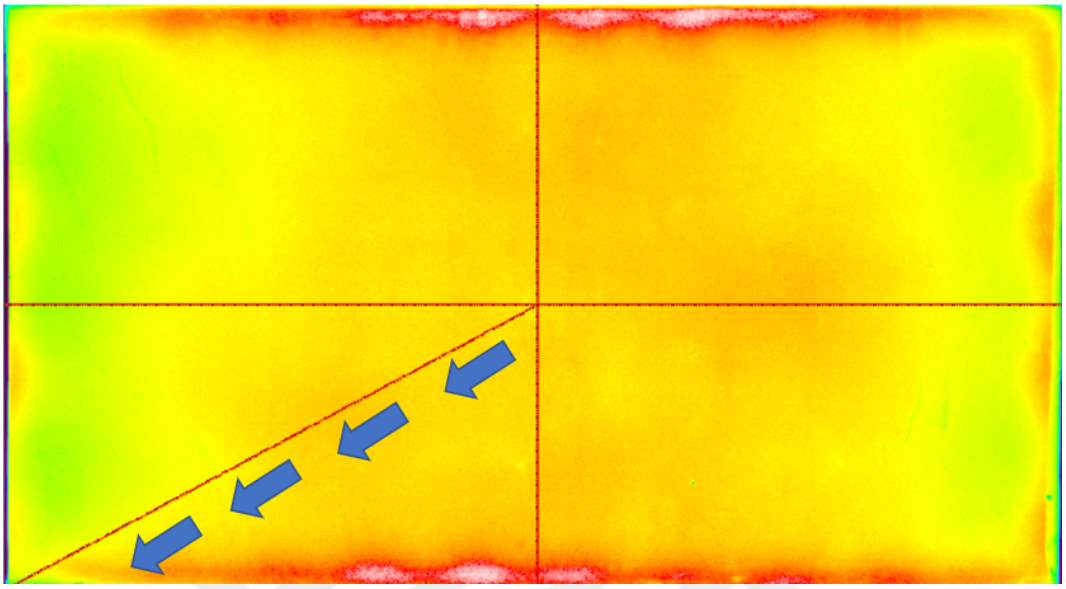
**Şekil 5.3** Doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem örneği

Şekil 5.4'de doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem beyaz ekran CCD kamera görüntü örneği gösterilmiştir. Şekil 5.4'de örnek bir doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sisteminin %100 beyaz kamera görüntü örneği bulunmaktadır. Görüntüden de anlaşılacağı üzere düzgünlüğün en çok bozulduğu noktalar köşe bölgeler olmaktadır. Bu nedenle düzgünlük ölçümünün değerlendirilmesi ekranın orta bölgesinden, köşe noktalara gittikçe parıltı değişiminin analiz edilmesi ile yapılacaktır.



**Şekil 5.4** Doğrudan aydınlatmalı led arka ışık sistem beyaz ekran CCD kamera görüntü örneği

Şekil 5.5'da parıltı değişim eğrisi örneği gösterilmiştir. Şekil 5.5'da gözüktüğü üzere ok yönünde ekranın tam orta noktasından köşe bölgeye Doğru uzayan Doğru boyunca parıltı değişiminin orta nokta 0 kabul edilerek orta noktaya olan uzaklığına göre datası alınmıştır.

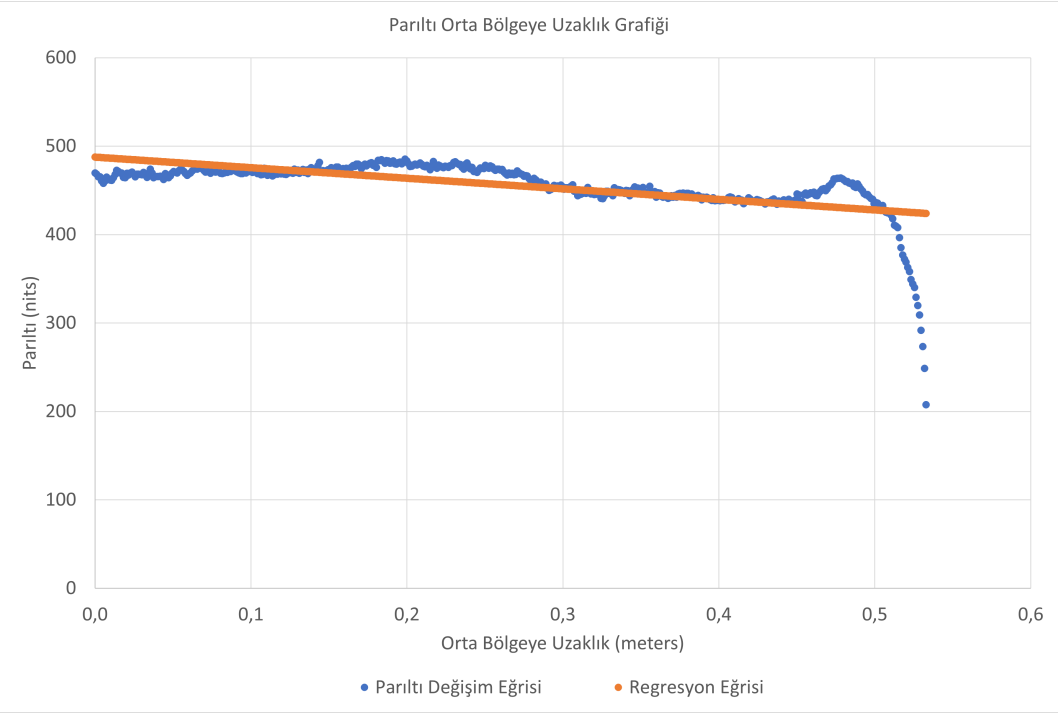


**Şekil 5.5** Parıltı değişim eğrisi örneği

**Tablo 5.1** Parıltı Değişim Datası

| **Orta Noktaya Uzaklık (m)** | **Her Noktada Ölçülen Parıltı (cd/m$^2$)** |
|---|---|
| 0 | 500 |
| 0,001 | 500,783 |
| 0,0021 | 499,4927 |
| 0,0031 | 499,7216 |
| 0,0042 | 499,5981 |
| 0,0052 | 500,4183 |
| 0,0062 | 500,05 |
| 0,0073 | 500,9444 |
| 0,0083 | 498,6881 |
| 0,0094 | 498,8222 |
| 0,0104 | 498,2147 |
| 0,0114 | 497,8404 |
| 0,0125 | 497,1113 |
| . | . |
| . | . |
| . | . |

Tablo 5.1'de paylaşılan örnek parıltı değişim datası orta noktaya uzaklığa göre analiz edilerek grafik çizdirilmiştir.



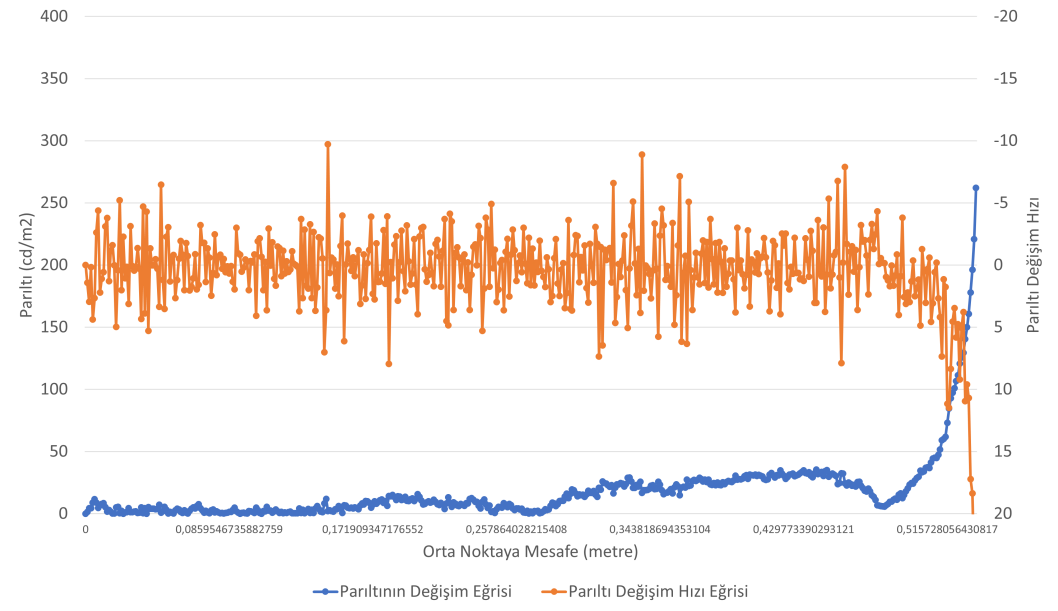

**Şekil 5.6** Orta bölgeden köşeye doğru gittikçe parıltının değişim grafiği

Şekil 5.6'da orta noktadan köşe bölgeye gittikçe parıltının değişim grafiği verilmiştir. Ayrıca grafikte bir regresyon eğrisi de çizilmiştir. Bu parıltı değişim eğrisinin %100 düzgün bir ekranda hiç değişime uğramadan -azalım eğiliminde olmadan- ilerlemesi gerekmektedir. Ancak doğrudan aydınlatmalı sistemin doğası gereği, bu azalım eğilimi olacaktır. Bu nedenle düzgünlüğün değerlendirilmesi bu eğrinin eğiminin karşılaştırılması ile yapılabilir. Bu eğrinin eğimi ne kadar büyükse ekranın köşe noktalara gittikçe o kadar orta noktanın parıltısından uzaklaştığını gösterir. Bir ekranın düzgünlüğünü etkileyen en büyük parametre regresyon eğrisinin eğimidir. Ancak sadece bu faktör ile değerlendirmek bazı noktalarda eksik kalacaktır.

Parıltının orta noktadan azalma eğrisinin, genel ağırlıklı eğimi köşelerdeki kararma etkisini belirtirken bu eğimin detaylarında değişimlerin ne kadar ani olup olmadığı bölgesel düzgünlük sorunlarını da gösterecektir. Bu nedenle değişim eğrisinde ard arda alınan iki ölçüm noktasının uzaklık farkı ile parıltı değeri farkının oranı o noktadaki parıltının değişim hızını verecektir. Eşitlik 3.5'de parıltının değişim hızının nasıl hesaplandığı paylaşılmıştır.

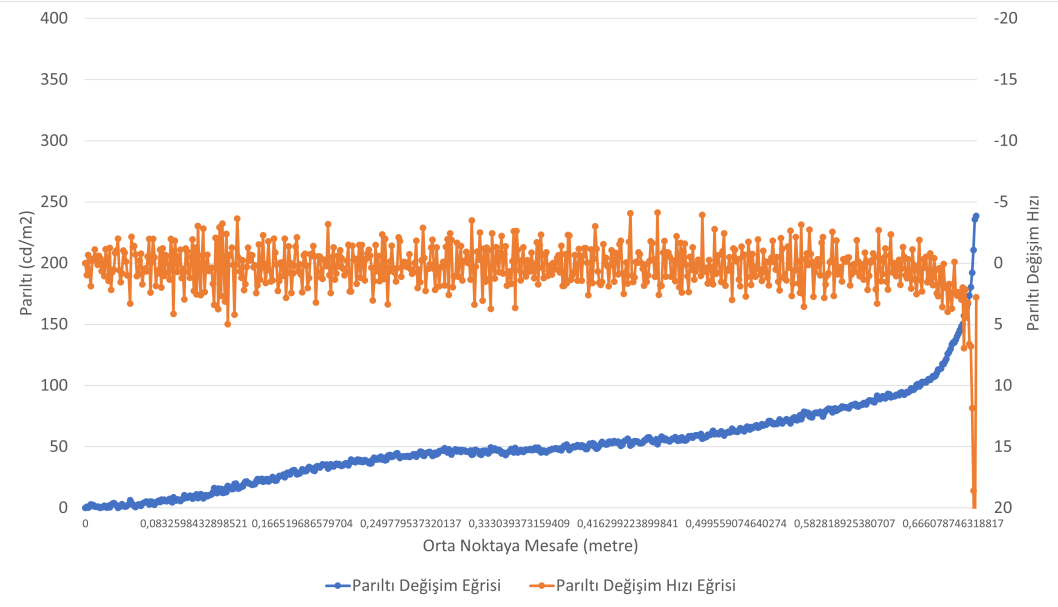
$$\text{Parıltı Değişim Hızı} = \frac{\text{L}_n - \text{L}_{n+1}}{\text{Uzaklık}_n - \text{Uzaklık}_{n+1}} \tag{5.1}$$

Şekil 5.7'de parıltının değişim hızını gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikte turuncu renk ile gösterilen grafik değerleri noktasal olarak parıltının değişim hızını belirtmektedir. Mavi ile gösterilen grafik değerleri ise parıltı değişimini göstermektedir. Görsel olarak daha anlaşılabilir olması için parıltı değerlerinin orta nokta parıltısı ile farkı gösterilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında da grafiklerde parıltının orta nokta ile olan farkı gösterilecektir.




**Şekil 5.7** Parıltı değerinin değişim hızı grafiği

Parıltının değişim hızının belli sınırlar içerisinde kalıp, noktasal olarak yüksek değerlere çıkmaması ideal durumdur ancak gerek tasarımsal sorunlar gerekse montaj kaynaklı hatalar nedeniyle bu değişim hızlarının sınır değerler dışına çıktığı gözlemlenmektedir. Bu sınır değerler dışına ne kadar fazla çıkan nokta olursa, düzgünlük faktörünün düşük olması gerekecektir. Burada değişim hızının sınır değerini belirleyen bir uluslararası standard veya regülasyon bulunmamaktadır. Bu nedenle bu sınır değeri belirleyebilmek için doğası gereği düzgünlük faktörleri doğrudan aydınlatmalı sistemlere göre çok daha yüksek olan kenardan aydınlatmaya sahip bir ekran üzerinden alınan ölçümlerle belirlenmiştir. Şekil 5.8'de gösterilen grafik ile bir kenardan aydınlatmalı sisteme ait grafik paylaşılmıştır. Grafikten de gözükeceği üzere parıltı değişim hızları $\pm 5$ sınır değerleri arasında kalmıştır. Bu nedenle düzgünlük faktörü değerlendirilmesinde parıltının değişiminin eğimi ile birlikte değişim hızının $\pm 5$ sınır değerinin kaç defa geçtiği de bir değerlendirme kriteri olarak kullanılacaktır.




**Şekil 5.8** Kenardan aydınlatmalı sistemde parıltı değişim hızı grafiği

Doğrudan aydınlatmalı sistemlerde parıltı orta bölgeden uzaklaştıkça azalan bir trende sahiptir ve en köşe bölgeye yaklaştıkça noktasal olarak az sayıdaki ölçüm noktasında parıltı hızlı bir düşüşe uğramaktadır. Bu nedenle değişim hızı değeri bu bölgelerde belirlenen sınır değerin dışına çıkmaktadır. Bu durum olağan olarak kabul edilebilir. Ancak orta bölgeye yakın noktalarda yaşanan hızlı parıltı değişimi düzgünlük faktörünü etkileyecek diğer bir faktör olmaktadır.

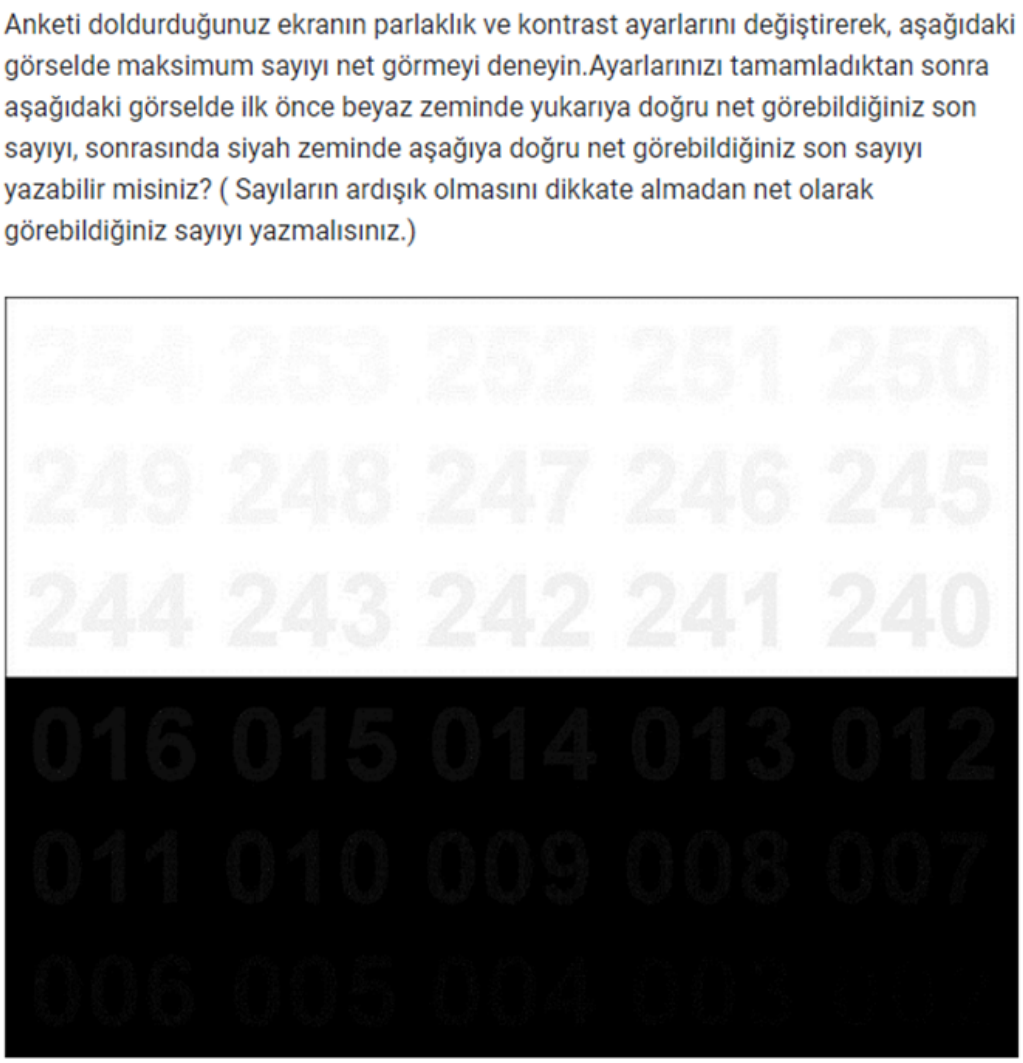
$$\text{Parıltı Değişim Hız Başlangıcı} = 1 - \frac{\pm\%5 \text{ sınır ilk geçiş noktası}}{\text{Ölçüm Sayısı}} \times 100 \quad (5.2)$$

Yukarıda verilen 3 ayrı parametreye göre kamera görüntüsü alınan örneğin parıltı düzgünlüğü değerlendirilmesi yapılmaktadır. Böylece parıltı düzgünlüğü puanı belirlenerek, örnekler arasında karşılaştırılması yapılabilecektir.

## 5.1 Görüntü Kalitesini Subjektif Değerlendirilmesi

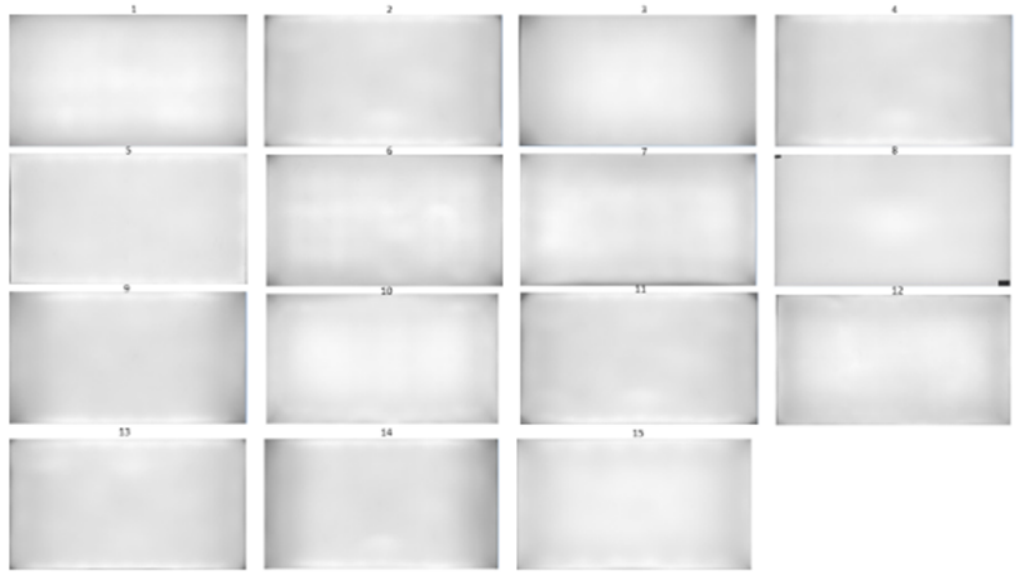
Parıltı düzgünlüğü son kullanıcı tarafından subjektif olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin objektif olarak belli bir formülizasyona oturtulmasının genel mantığı yukarıda detaylı olarak incelenmiştir. Ancak bu değerlendirmenin son kullanıcı tarafından da benzer şekilde değerlendirilip değerlendirilmediğini analiz ederek bir doğrulama yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda farklı parıltı düzgünlüğüne sahip 15 adet televizyon kullanıcıların değerlendirilmesine sunulmuştur. Değerlendirme öncesinde kullanıcıların değerlendirme yaptıkları

ekranı kendi görme kabiliyetine göre bir kalibrasyona tabii tutulmuştur.




**Şekil 5.9** Kullanıcı değerlendirme ekranı kontrast ve parıltı kalibrasyon değerlendirmesi

Şekil 5.9'te paylaşılan değerlendirme görselinde beyaz zemin üstünde gri tonla yazılan sayılar ekranın kontrast oranını belirleyecek tonda seçilmiştir. Eğer değerlendirme yapılırken ekranın kontrast oranı çok yüksek olursa beyaz zeminde daha az sayı görülecektir. Siyah zemin üstünde belirlenen sayılar ise parıltı düşük olduğunda azalacaktır. Kontrast değeri optimum değerde değilse ekran üzerindeki gölgelerin belirlenmesi zor olabilir ve TV olduğundan daha iyi değerlendirilebilir. Düşük parıltıda değerlendirilen televizyonda ise gölgeler olduğundan daha fazla gözükebilir ve olduğundan daha kötü değerlendirilebilir. Bu değerlendirme sonucunda her kullanıcı optimize edilmiş ekranında en son sayıları anket sonucuna eklemesi talep edilmiştir buna göre kullanıcıların ortalama değerlerinin dışında kalan kullanıcıların sonuçları değerlendirme dışı tutulmuştur.




**Şekil 5.10** Değerlendirmeye sunulan farklı beyaz ekranlar

Şekil 5.10'te değerlendirmeye sunulan farklı beyaz ekranlar gösterilmiştir ve paylaşılan görsellerin iyiden kötüye doğru sıralaması kullanıcılardan talep edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir.

**Tablo 5.2** Televizyonların iyiden, kötüye sıralama sonuçları

| **Kullanıcı** | **Kalibrasyon** | **1. TV** | **2. TV** | **3. TV** | **4. TV** | **5. TV** | **6. TV** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Kullanıcı | 254 016 | 8 | 5 | 1 | 4 | 10 | 15 |
| 2. Kullanıcı | 252 009 | 5 | 8 | 15 | 1 | 10 | 13 |
| 3. Kullanıcı | 253 007 | 15 | 1 | 10 | 14 | 9 | 12 |
| 4. Kullanıcı | 254 008 | 8 | 5 | 1 | 15 | 7 | 4 |
| 5. Kullanıcı | 247 008 | 5 | 8 | 15 | 10 | 13 | 12 |
| 6. Kullanıcı | 254 003 | 5 | 8 | 4 | 15 | 1 | 7 |
| 7. Kullanıcı | 253 009 | 15 | 1 | 10 | 12 | 5 | 4 |
| 8. Kullanıcı | 252 008 | 1 | 10 | 6 | 7 | 11 | 13 |
| 9. Kullanıcı | 250 016 | 5 | 8 | 1 | 4 | 15 | 10 |
| 10. Kullanıcı | 253-007 | 8 | 5 | 1 | 15 | 4 | 10 |
| 11. Kullanıcı | 253 006 | 8 | 5 | 15 | 10 | 1 | 12 |
| 12. Kullanıcı | 254 012 | 5 | 15 | 10 | 8 | 12 | 13 |
| 13. Kullanıcı | 253 008 | 8 | 5 | 15 | 12 | 10 | 7 |
| 14. Kullanıcı | 253 008 | 5 | 8 | 15 | 1 | 4 | 12 |
| 15. Kullanıcı | 252-009 | 5 | 8 | 15 | 1 | 4 | 12 |
| 16. Kullanıcı | 253-007 | 8 | 1 | 5 | 4 | 15 | 13 |
| 17. Kullanıcı | 253-003 | 5 | 8 | 15 | 4 | 1 | 12 |
| 18. Kullanıcı | 254-004 | 5 | 15 | 8 | 11 | 13 | 10 |
| 19. Kullanıcı | 252-014 | 5 | 1 | 15 | 4 | 10 | 12 |
| 20. Kullanıcı | 253 007 | 5 | 8 | 1 | 12 | 10 | 7 |
| 21. Kullanıcı | 252 009 | 5 | 15 | 8 | 1 | 10 | 2 |
| 22. Kullanıcı | 254-012 | 5 | 4 | 15 | 1 | 12 | 10 |
| 23. Kullanıcı | 253 009 | 5 | 8 | 1 | 4 | 15 | 13 |
| 24. Kullanıcı | 249-008 | 8 | 5 | 12 | 10 | 9 | 1 |
| 25. Kullanıcı | 254-009 | 1 | 6 | 10 | 15 | 12 | 13 |

Tablo 5.2 Televizyonların iyiden kötüye sıralama sonuçları (devamı)

| **7. TV** | **8. TV** | **9. TV** | **10. TV** | **11. TV** | **12. TV** | **13. TV** | **14. TV** | **15. TV** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 12 | 7 | 13 | 3 | 14 | 9 | 6 | 11 |
| 7 | 14 | 12 | 4 | 9 | 2 | 6 | 11 | 3 |
| 6 | 13 | 11 | 2 | 4 | 3 | 5 | 7 | 8 |
| 12 | 10 | 13 | 6 | 2 | 3 | 9 | 11 | 14 |
| 4 | 1 | 7 | 2 | 6 | 11 | 3 | 9 | 14 |
| 13 | 12 | 10 | 11 | 6 | 14 | 2 | 3 | 9 |
| 6 | 7 | 9 | 3 | 2 | 14 | 13 | 11 | 8 |
| 15 | 2 | 4 | 9 | 3 | 12 | 5 | 14 | 8 |
| 7 | 2 | 12 | 9 | 14 | 3 | 6 | 13 | 11 |
| 12 | 7 | 3 | 6 | 9 | 13 | 14 | 6 | 11 |
| 4 | 7 | 13 | 2 | 9 | 6 | 14 | 3 | 11 |
| 4 | 2 | 7 | 1 | 6 | 9 | 3 | 11 | 14 |
| 4 | 13 | 1 | 9 | 2 | 6 | 14 | 11 | 3 |
| 10 | 7 | 14 | 2 | 13 | 3 | 9 | 6 | 11 |
| 10 | 7 | 14 | 9 | 13 | 2 | 3 | 6 | 11 |
| 2 | 3 | 11 | 9 | 2 | 10 | 7 | 6 | 12 |
| 10 | 2 | 13 | 7 | 9 | 14 | 6 | 3 | 11 |
| 2 | 4 | 7 | 1 | 6 | 9 | 12 | 3 | 14 |
| 7 | 2 | 9 | 13 | 6 | 2 | 3 | 11 | 8 |
| 2 | 4 | 13 | 9 | 11 | 15 | 3 | 14 | 9 |
| 12 | 7 | 4 | 3 | 6 | 13 | 9 | 11 | 14 |
| 13 | 2 | 7 | 6 | 9 | 11 | 3 | 14 | 8 |
| 2 | 7 | 10 | 12 | 6 | 11 | 9 | 3 | 14 |
| 2 | 4 | 7 | 15 | 14 | 13 | 11 | 3 | 6 |
| 11 | 14 | 9 | 7 | 2 | 4 | 3 | 5 | 8 |

Tablo 5.2'de kullanıcıların hem kalibrasyon görselinde gördükleri sayıları hem de televizyonların iyiden kötüye doğru sıralaması paylaşılmıştır. Kullanıcıların yaptığı sıralama ile yukarıda detayları paylaşılan hesaplama yöntemi sıralaması arasında

Spearman korelasyonu hesaplanmıştır ve Tablo 5.4'te paylaşılmıştır.

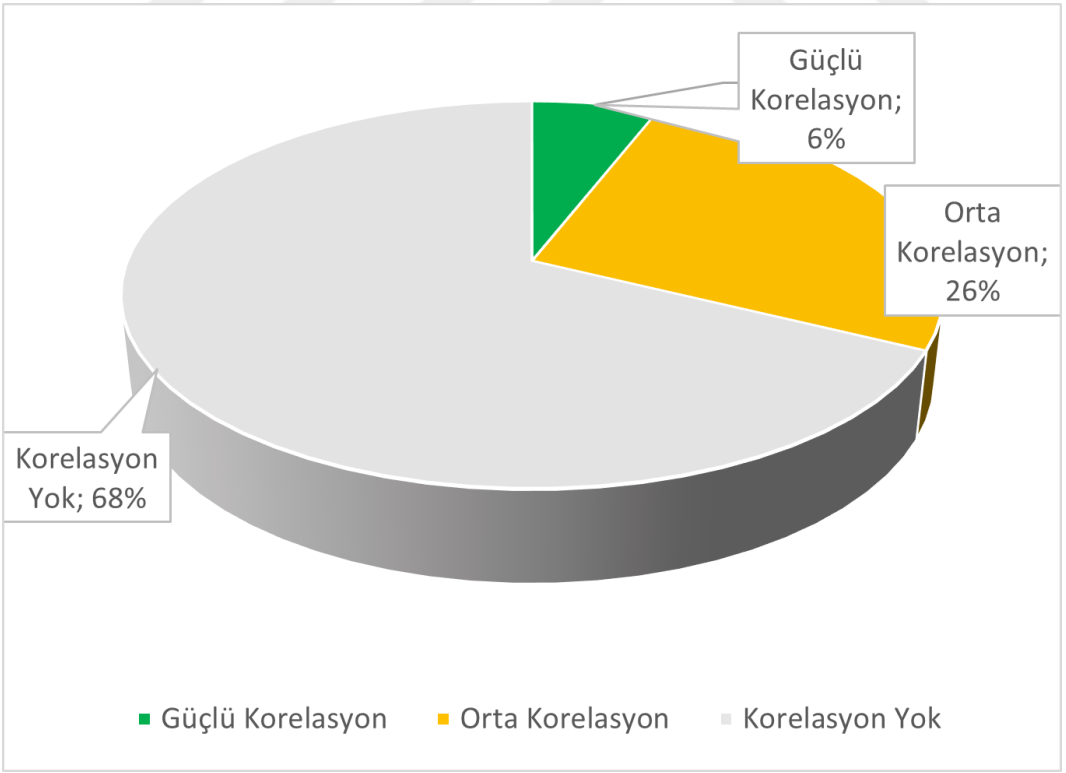
**Tablo 5.4** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları

| | **1. Kişi** | **2. Kişi** | **3. Kişi** | **4. Kişi** | **5. Kişi** | **6. Kişi** | **7. Kişi** | **8. Kişi** | **9. Kişi** | **10. Kişi** | **11. Kişi** | **12. Kişi** | **13. Kişi** | **14. Kişi** | **15. Kişi** | **16. Kişi** | **17. Kişi** | **18. Kişi** | **19. Kişi** | **20. Kişi** | **21. Kişi** | **22. Kişi** | **23. Kişi** | **24. Kişi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. Kişi | -0,143 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Kişi | 0,004 | 0,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Kişi | -0,064 | -0,296 | 0,371 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Kişi | -0,046 | 0,068 | 0,139 | -0,171 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. Kişi | 0,111 | -0,421 | 0,004 | 0,311 | -0,211 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Kişi | 0,014 | -0,3 | 0,411 | 0,282 | 0,079 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. Kişi | 0,107 | -0,082 | -0,389 | -0,011 | 0,339 | 0,086 | -0,214 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Kişi | 0,046 | 0,104 | -0,229 | 0,1 | 0,132 | -0,4 | -0,479 | 0,25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. Kişi | 0,17 | -0,663 | -0,005 | 0,291 | -0,148 | 0,408 | 0,34 | 0,113 | -0,247 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Kişi | -0,146 | 0,193 | 0,368 | -0,011 | 0,225 | -0,082 | 0,318 | -0,471 | -0,307 | 0,138 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12. Kişi | -0,011 | 0,104 | -0,036 | -0,111 | 0,839 | -0,243 | -0,171 | 0,429 | 0,314 | -0,197 | 0,046 | | | | | | | | | | | | | |
| 13. Kişi | 0 | 0,179 | 0,271 | -0,079 | -0,021 | -0,286 | 0,368 | -0,107 | -0,514 | -0,018 | 0,079 | -0,211 | | | | | | | | | | | | |
| 14. Kişi | -0,336 | 0,611 | 0,043 | -0,193 | 0,196 | -0,275 | -0,239 | -0,171 | 0,15 | -0,293 | 0,636 | 0,189 | -0,311 | | | | | | | | | | | |
| 15. Kişi | -0,254 | 0,575 | -0,025 | -0,246 | 0,143 | -0,093 | -0,493 | -0,096 | 0,236 | -0,502 | 0,364 | 0,118 | -0,407 | 0,846 | | | | | | | | | | |
| 16. Kişi | 0,674 | -0,05 | 0,229 | 0,05 | 0,425 | -0,22 | 0,186 | 0,15 | 0,334 | -0,079 | 0,066 | 0,254 | -0,079 | -0,073 | -0,034 | | | | | | | | | |
| 17. Kişi | -0,061 | 0,061 | -0,207 | -0,35 | 0,375 | 0,232 | -0,004 | 0,121 | -0,171 | -0,025 | 0,521 | 0,221 | -0,425 | 0,6 | 0,596 | 0,12 | | | | | | | | |
| 18. Kişi | 0,089 | -0,168 | -0,043 | -0,014 | 0,575 | -0,211 | -0,029 | 0,029 | 0,082 | 0,118 | 0,307 | 0,686 | -0,029 | 0,075 | -0,189 | 0,236 | 0,082 | | | | | | | |
| 19. Kişi | -0,021 | 0,375 | 0,129 | -0,134 | 0,357 | -0,34 | -0,177 | 0,261 | 0,356 | -0,458 | 0,041 | 0,113 | 0,084 | 0,282 | 0,538 | 0,447 | 0,214 | -0,295 | | | | | | |
| 20. Kişi | 0,197 | -0,313 | -0,157 | 0,147 | 0,225 | 0,197 | 0,091 | 0,184 | 0,454 | 0,037 | -0,284 | 0,259 | -0,361 | -0,359 | -0,265 | 0,283 | -0,054 | 0,063 | -0,05 | | | | | |
| 21. Kişi | -0,096 | -0,104 | -0,543 | -0,039 | 0,211 | -0,129 | -0,036 | 0,386 | 0,05 | -0,021 | -0,289 | 0,407 | -0,179 | 0,068 | -0,096 | -0,157 | 0,096 | 0,314 | -0,322 | -0,027 | | | | |
| 22. Kişi | -0,193 | 0,354 | -0,179 | -0,354 | 0,518 | -0,318 | -0,061 | 0,568 | 0,271 | -0,322 | -0,161 | 0,343 | -0,107 | 0,336 | 0,382 | 0,207 | 0,386 | -0,2 | 0,613 | 0,046 | 0,329 | | | |
| 23. Kişi | 0,789 | -0,171 | -0,171 | -0,039 | 0,182 | -0,057 | -0,275 | 0,121 | 0,432 | 0,002 | -0,121 | 0,254 | -0,286 | -0,139 | -0,071 | 0,751 | 0,014 | 0,443 | 0,057 | 0,29 | 0,039 | -0,129 | | |
| 24. Kişi | -0,039 | -0,371 | -0,329 | -0,407 | -0,032 | -0,021 | 0,129 | -0,371 | -0,129 | 0,011 | 0,071 | -0,332 | 0,139 | -0,221 | -0,129 | 0,029 | 0,121 | -0,007 | 0,02 | 0,202 | -0,189 | -0,096 | 0,075 | |
| 25. Kişi | 0,05 | 0,282 | 0,464 | 0,321 | 0,221 | 0,357 | -0,225 | 0,221 | -0,143 | -0,046 | 0,021 | 0,121 | 0,236 | -0,025 | 0,071 | 0,091 | -0,107 | 0,089 | 0,204 | -0,148 | -0,282 | -0,039 | 0,057 | -0,389 |

Spearman korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkiyi ölçen parametrik olmayan bir istatistiksel yöntemdir. Bu korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki monoton ilişkiyi değerlendirir. Spearman korelasyon katsayısı $r_s$ ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında bir değer alır. Bu katsayının nasıl değerlendirileceği aşağıda özetlenmiştir:

- Pozitif Korelasyon ($0 < r_s \leq 1$):
  - 0 ile 0,2 arası: Korelasyon yok
  - 0,20 ile 0,5 arası: Orta düzeyde pozitif korelasyon.
  - 0,50 ile 1,0 arası: Güçlü korelasyon.

- Negatif Korelasyon ($-1 \leq r_s < 0$):
  - -0,2 ile 0 arası: Korelasyon yok
  - -0,5 ile -0,20 arası: Orta düzeyde negatif korelasyon.
  - -1,0 ile -0,50 arası: Güçlü korelasyon.




**Şekil 5.11** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonlar

Korelasyon analizi sonucuna göre 15 adet televizyonun 25 kişi tarafından değerlendirmesinde, kullanıcıların kendi arasında önemli oranda bir korelasyon oluşmamıştır. Burada değerlendirilen 15 televizyonun içerisinde farklı boyutlarda,farklı optik mesafelere ve farklı parıltı düzgünlüğü performansına sahip televizyonlar da bulunuyordu. Yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre insanların tamamen farklı özelliklere sahip televizyonları karşılaştırırken anlamlı bir korelasyon ile değerlendirme yapamadığı görülmüştür. Bu televizyonlar arasında 4, 5, 9 ve 11 numaralı televizyonlar aynı optik mesafeye sahip ve aynı metalin kullanılarak, sadece led konfigürasyonu ve konumu , reflektör kesimi değiştirilerek farklı parıltı düzgünlüğü sorunları oluşturularak kullanıcıların değerlendirilmesine sunulmuştur. Bu değerlendirme sonuçları Tablo 5.5'te paylaşılmıştır.

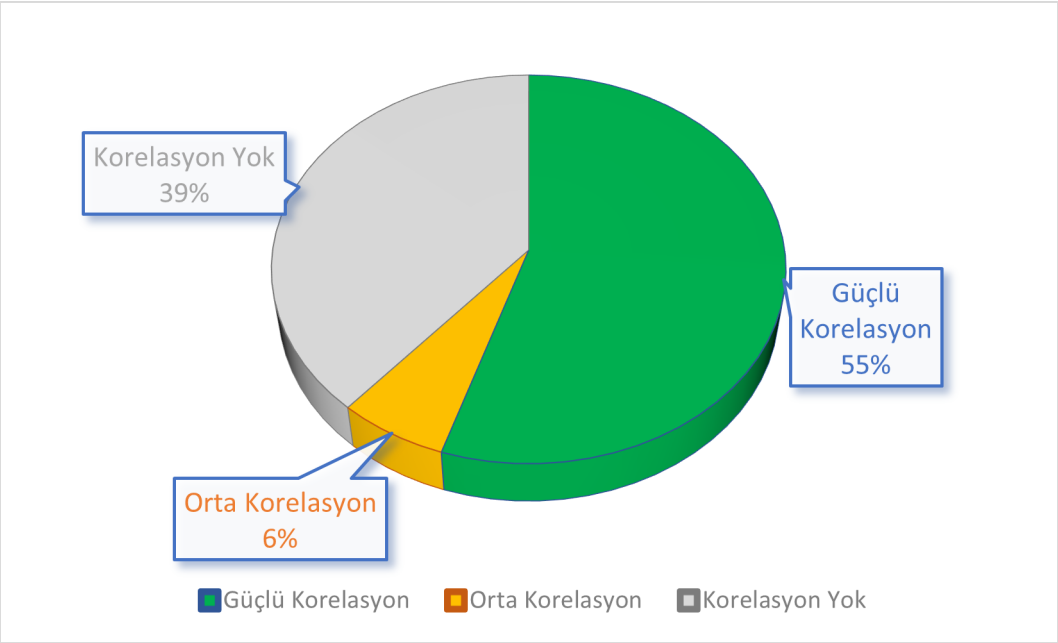
Kullanıcıların sıralamalarına göre yine spearman korelasyon analizi yapılmıştır ve analiz sonuçları Tablo 5.6 te paylaşılmıştır.

**Tablo 5.5** Anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları

| **1. Kişi** | **2. Kişi** | **3. Kişi** | **4. Kişi** | **5. Kişi** | **6. Kişi** | **7. Kişi** | **8. Kişi** | **9. Kişi** | **10. Kişi** | **11. Kişi** | **12. Kişi** | **13. Kişi** | **14. Kişi** | **15. Kişi** | **16. Kişi** | **17. Kişi** | **18. Kişi** | **19. Kişi** | **20. Kişi** | **21. Kişi** | **22. Kişi** | **23. Kişi** | **24. Kişi** | **25. Kişi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 14 | 5 | 5 | 5 | 5 | 11 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 11 |
| 4 | 14 | 9 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 11 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 9 | 14 |
| 14 | 4 | 11 | 9 | 11 | 11 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 14 | 14 | 11 | 9 | 4 | 9 | 11 | 9 | 9 | 11 | 4 | 9 |
| 9 | 9 | 4 | 11 | 9 | 14 | 14 | 5 | 14 | 14 | 14 | 11 | 14 | 9 | 9 | 9 | 14 | 9 | 2 | 14 | 11 | 11 | 9 | 14 | 4 |
| 11 | 11 | 5 | 14 | 14 | 9 | 11 | 14 | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | 11 | 11 | 2 | 11 | 14 | 11 | 9 | 14 | 14 | 14 | 11 | 5 |

**Tablo 5.6** Daraltılmış anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonları

| | **1. Kişi** | **2. Kişi** | **3. Kişi** | **4. Kişi** | **5. Kişi** | **6. Kişi** | **7. Kişi** | **8. Kişi** | **9. Kişi** | **10. Kişi** | **11. Kişi** | **12. Kişi** | **13. Kişi** | **14. Kişi** | **15. Kişi** | **16. Kişi** | **17. Kişi** | **18. Kişi** | **19. Kişi** | **20. Kişi** | **21. Kişi** | **22. Kişi** | **23. Kişi** | **24. Kişi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.kişi | -0,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.kişi | -0,1 | -0,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.kişi | 0,7 | -0,1 | -0,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.kişi | 0,9 | -0,3 | -0,3 | 0,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.kişi | 0,7 | -0,5 | -0,5 | 0,7 | 0,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.kişi | 0,5 | -0,3 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1 | 0,3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.kişi | 0,7 | -0,1 | -0,6 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | | | | | | | | | | | | | |
| 13.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 1 | 0,9 | | | | | | | | | | | | |
| 14.kişi | 1 | -0,6 | -0,1 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | | | | | | | | | | | |
| 15.kişi | 1 | -0,6 | -0,1 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 1 | | | | | | | | | | |
| 16.kişi | 0,4 | -0,8 | 0,2 | -0,1 | 0 | 0,6 | 0,2 | -0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | -0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | | | | | | | | | |
| 17.kişi | 0,6 | -0,2 | -0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 1 | 0,9 | 1 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | | | | | | | | |
| 18.kişi | -0,3 | 0,9 | -0,6 | 0,3 | 0,1 | -0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -0,3 | -0,3 | -0,9 | 0,1 | | | | | | | |
| 19.kişi | 0,6 | -0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | -0,1 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,6 | 0,6 | -0,3 | 0 | 0,1 | | | | | | |
| 20.kişi | 0,7 | -0,5 | -0,5 | 0,7 | 0,6 | 1 | 0,9 | 0,1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | -0,3 | -0,1 | | | | | |
| 21.kişi | 0,7 | -0,1 | -0,6 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | -0,1 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | | | | | |
| 22.kişi | 0,7 | -0,1 | -0,6 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | -0,1 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 1 | | | | |
| 23.kişi | 0,9 | -0,3 | -0,3 | 0,9 | 1 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | | |
| 24.kişi | -0,2 | 0,6 | -0,9 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | -0,1 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | -0,2 | -0,2 | -0,4 | 0,6 | 0,7 | -0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | |
| 25.kişi | -0,6 | 0,2 | 0,7 | -0,9 | -0,7 | -0,9 | -1 | -0,3 | -1 | -1 | -1 | -0,9 | -1 | -0,6 | -0,6 | -0,2 | -1 | -0,1 | 0 | -0,9 | -0,9 | -0,9 | -0,7 | -0,6 |




**Şekil 5.12** Daraltılmış anket sonucuna göre kullanıcıların kendi arasındaki korelasyonlar

Korelasyon sonuçlarına göre %55 oranında güçlü korelasyon olduğu görülmüştür. Yani kullanıcılar benzer özelliklere ve karakteristiğe sahip televizyonların değerlendirmesini daha benzer değerlendirebildiği gözlemlenmiştir. 4, 5, 11, 14 ve 9 numaralı televizyonların görsel kalite değerlendirme sonuçları Tablo5.7'da verilmiştir.

**Tablo 5.7** 4, 5, 11, 14 ve 9 numaralı televizyonların görüntü kalitesi değerlendirmesi sonuçları

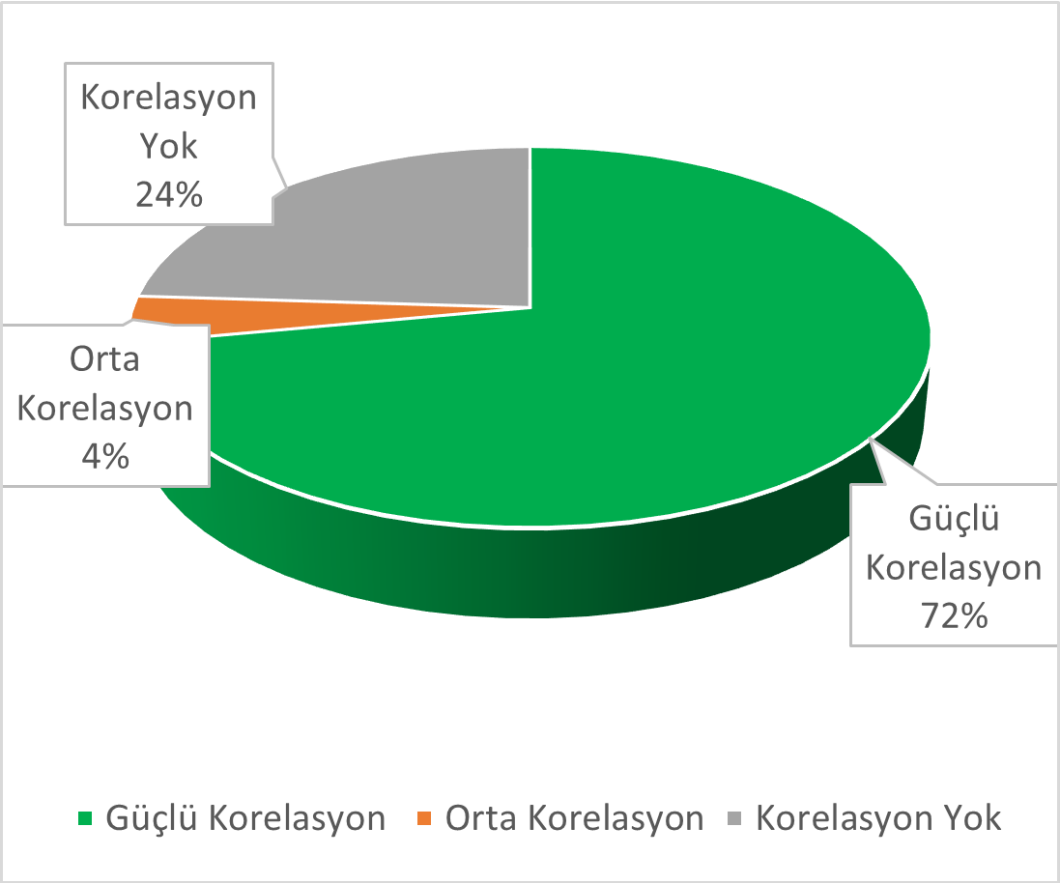
| **Tele-vizyon** | **+/-5 sınır geçiş adedi** | **+/-5 sınır ilk geçiş yeri** | **+/-5 sınır geçiş puanı** | **+/-5 sınır ilk geçiş yeri puanı** | **Regresyon Puanı** | **Görsel Kalite Değer-lendirme** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5. TV | 37 | 20 | 7,444668 | 95,97586 | 119,4826 | 222,9032 |
| 4. TV | 10 | 103 | 1,808318 | 81,37432 | 193,4326 | 276,6152 |
| 11. TV | 19 | 42 | 3,435805 | 92,40506 | 228,9054 | 324,7463 |
| 14. TV | 15 | 189 | 2,74223 | 65,4479 | 315,7106 | 383,9007 |
| 9. TV | 14 | 78 | 2,527076 | 85,92058 | 300,6257 | 389,0733 |

5.7'de 3 adet puanlama yapılmıştır. Bu puanlamaya göre parıltının değişiminin eğimi, değişim hızı ve değişimin hızlı değişime başladığı yerin orta noktaya uzaklığı değerlendirilmiştir. Değişimin eğimi ne kadar azsa, parıltı değişimi o kadar azdır diyebiliriz ve bu görüntü kalitesi açısından daha iyi olarak değerlendirilmelidir. +/-5 sınır geçiş puanı ise parıltının ne kadar hızlı değiştiğini göstermektedir, değişim ne kadar yavaş olursa görsel olarak bu etkiyi görmek o kadar zor olacağı için

daha düşük olması görsel kalite açısından iyi olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca hızlı düşüşler genelde ekranın en köşelerinde oluşmaktadır, bu doğal durumdur yani hızlı düşüşler orta noktadan ne kadar uzakta olursa o kadar iyi denilebilir. Bu da bu puan ne kadar düşük olursa o kadar iyi olduğu anlamına gelmektedir. Değerlendirme sonuçlarına göre iyiden kötüye doğru televizyonlar 5,4,11,14 ve 9 numaralı televizyon olarak belirlenmiştir. Bu sıralamaya göre, kullanıcıların sıralaması ile puanlama sistemine göre oluşan sıralama arasındaki korelasyon analiz edilerek, ölçüm yönteminin kullanıcı değerlendirmesini ne kadar temsil ettiğini belirlenecektir. Hesaplama sıralaması ile kullanıcıların sıralaması arasındaki korelasyon analiz sonucu Tablo 5.8'da verilmiştir.

**Tablo 5.8** Hesap sıralaması ile kullanıcı sıralamaları arasında ki korelasyon sonuçları

| | **1. Kişi** | **2. Kişi** | **3. Kişi** | **4. Kişi** | **5. Kişi** | **6. Kişi** | **7. Kişi** | **8. Kişi** | **9. Kişi** | **10. Kişi** | **11. Kişi** | **12. Kişi** | **13. Kişi** | **14. Kişi** | **15. Kişi** | **16. Kişi** | **17. Kişi** | **18. Kişi** | **19. Kişi** | **20. Kişi** | **21. Kişi** | **22. Kişi** | **23. Kişi** | **24. Kişi** | **25. Kişi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hesap Sırala-ması | 0,7 | -0,5 | -0,5 | 0,7 | 0,6 | 1 | 0,9 | 0,1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | -0,3 | -0,1 | 1 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | -0,9 |



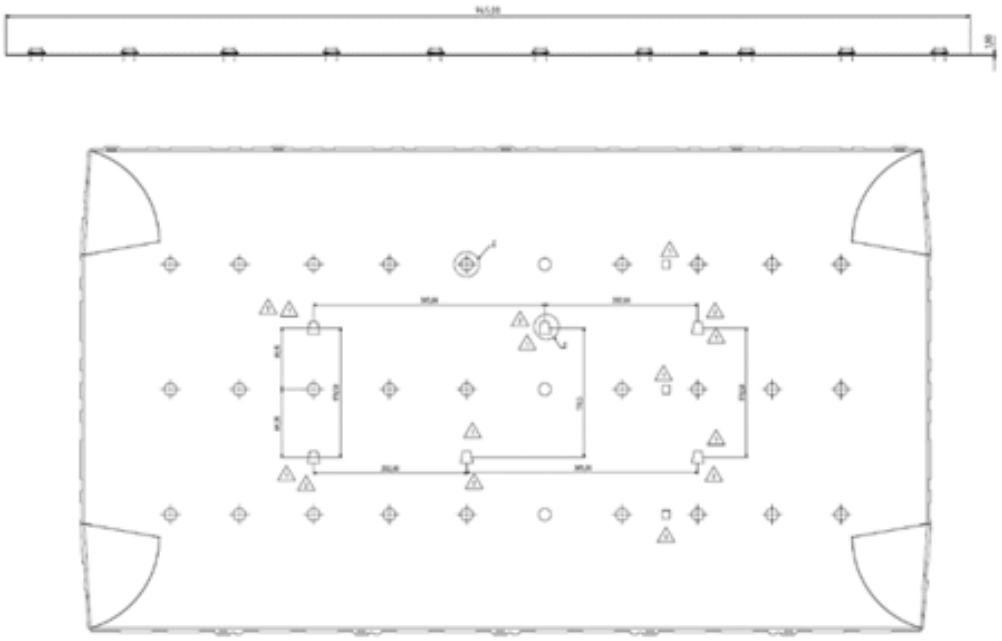

**Şekil 5.13** Hesap sıralaması ile daraltılmış kullanıcı sıralamaları arasında ki korelasyon dağılımı

Korelasyon dağılımına göre hesaplama sıralaması ile kullanıcıların %72'si arasında güçlü korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Bu da bu yöntem ile değerlendirilen televizyonların kullanıcıların yorumlarını temsil edeceğini göstermektedir.

### 5.1.1 Ölçüm Düzeneği

Bu çalışmada 50" boyutunda bir ekran referans alınarak farklı optik film ve sürme tekniklerinin kombinasyonları kullanılarak parıltı ve enerji tüketim ölçümleri alınmıştır. Ölçümde kullanılacak ekranda homojen bir ekran yakalamak ve ölçümlerin daha doğru olmasını sağlamak adına 3 adet özdeş ledbar kullanılımıştır. Her bar üzerinde 10 adet led bulunmaktadır. Sistem üzerinde toplam 30 adet led kullanılmıştır. Seçilen ledbarlara uygun olarak bir reflektör tasarlanmıştır. Test düzeneğinde kullanılan ledbar ve reflektör malzemelerinin çizimleri Şekil5.14' de verilmiştir.

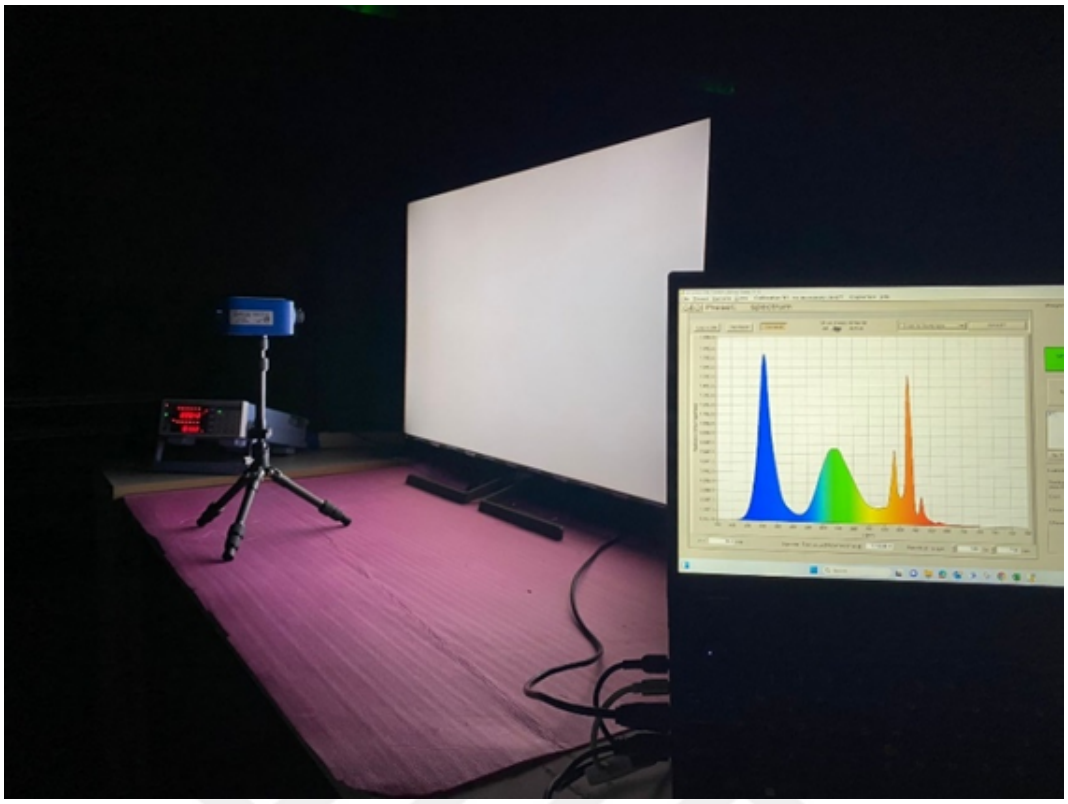
Yukarıda çizim detayları paylaşılan reflektör ve ledbar yapılarının üstünde 1,2mm'lik difüzör plakası kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan referans arka aydınlatma sisteminde ledbar, reflektör ve difüzör plakası sabit tutulmuştur. Farklı



**Şekil 5.14** Ledbar ve reflektör teknik resimleri

optik film kombinasyonları ile oluşturulan sistemler hem analog loşlaştırma hem de pwm loşlaştırma yöntemi kullanılarak enerji ve parıltı ölçümleri alınarak karşılaştırılmıştır.

Sistemlerin parıltı ve güç ölçümleri karanlık ortamda alınmıştır. Parıltı ölçümü için spektroradyometre (Jeti Spectraval 1501) cihazı kullanılmıştır. Güç ölçümü için ise güç analizörü (Yokogawa WT310E) cihazı kullanılmıştır. Ölçüm düzeneği Şekil5.15'da verilmiştir.



**Şekil 5.15** Ölçüm düzeneği

# 6
# Parametre Optimizasyon Analizleri

## 6.1 Konfigürasyon Listesi

Bu çalışmada, farklı optik film konfigürasyonları ve loşlaştırma yöntemlerinin (PWM ve Analog) LED ışık kaynakları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hem YAG hem de KSF fosforlu LED'ler kullanarak çeşitli optik filmlerle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, her konfigürasyon için elde edilen parıltı güç tüketimi, renk gamı ve görüntü kalitesi sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan ölçüm konfigürasyonları, çalışmanın devamında Tablo6.1'de paylaşılan sistem kodlamalarıyla adlandırılacaktır.

**Tablo 6.1** Konfigürasyon listesi ve maksimum parıltılar

| **Sistem** | **Fosfor** | **Loşlaştırma Yöntemi** | **Film Konfigürasyonu** | **Maks. Akım (mA)** | **Maks. Parıltı (cd/m$^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Aay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör Film | 550 | 202,7 |
| Aak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör Film | 550 | 186,7 |
| Apy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör Film | 550 | 202,7 |
| Apk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör Film | 550 | 186,7 |
| Bay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | 550 | 295,4 |
| Bak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | 550 | 277,7 |

Tablo 6.1 Konfigürasyon listesi ve maksimum parıltılar (devamı)

| **Sistem** | **Fosfor** | **Loşlaştırma Yöntemi** | **Film Konfigürasyonu** | **Maks. Akım (mA)** | **Maks. Parıltı (cd/m$^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Bpy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | 550 | 295,4 |
| Bpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | 550 | 277,7 |
| Cay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör/Prizma Film | 550 | 262 |
| Cak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör/Prizma Film | 550 | 226,6 |
| Cpy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör/Prizma Film | 550 | 262 |
| Cpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör/Prizma Film | 550 | 226,6 |
| Day | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | 550 | 359 |
| Dak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | 550 | 307,4 |
| Dpy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | 550 | 359 |
| Dpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | 550 | 307,4 |
| Eay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | 550 | 344,1 |
| Eak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | 550 | 315,9 |

Tablo 6.1 Konfigürasyon listesi ve maksimum parıltılar (devamı)

| **Sistem** | **Fosfor** | **Loşlaştırma Yöntemi** | **Film Konfigürasyonu** | **Maks. Akım (mA)** | **Maks. Parıltı (cd/m$^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Epy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | 550 | 344,1 |
| Epk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | 550 | 315,9 |
| Fay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | 550 | 443,1 |
| Fak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | 550 | 434,4 |
| Fpy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | 550 | 443,1 |
| Fpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | 550 | 434,4 |
| Gay | Yag | Analog Loşlaştırma | DP+ parıltı Arttırıcı Film | 550 | 445,1 |
| Gak | Ksf | Analog Loşlaştırma | DP+ parıltı Arttırıcı Film | 550 | 409,2 |
| Gpy | Yag | PWM Loşlaştırma | DP+ parıltı Arttırıcı Film | 550 | 445,1 |
| Gpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | DP+ parıltı Arttırıcı Film | 550 | 409,2 |

6.1' da A,B,C,D,E,F ve G 7 farklı optik film konfigürasyonunu ifade etmektedir. Alt indisteki a; analog loşlaştırmai, p; PWM loşlaştırmai, y; YAG fosforu, k; KSF fosforu, ifade etmektedir. Devam eden bölümde, her bir konfigürasyonun maliyet, loşlaştırma yöntemleri, fosfor türleri ve görüntü kalitesi açısından detaylı

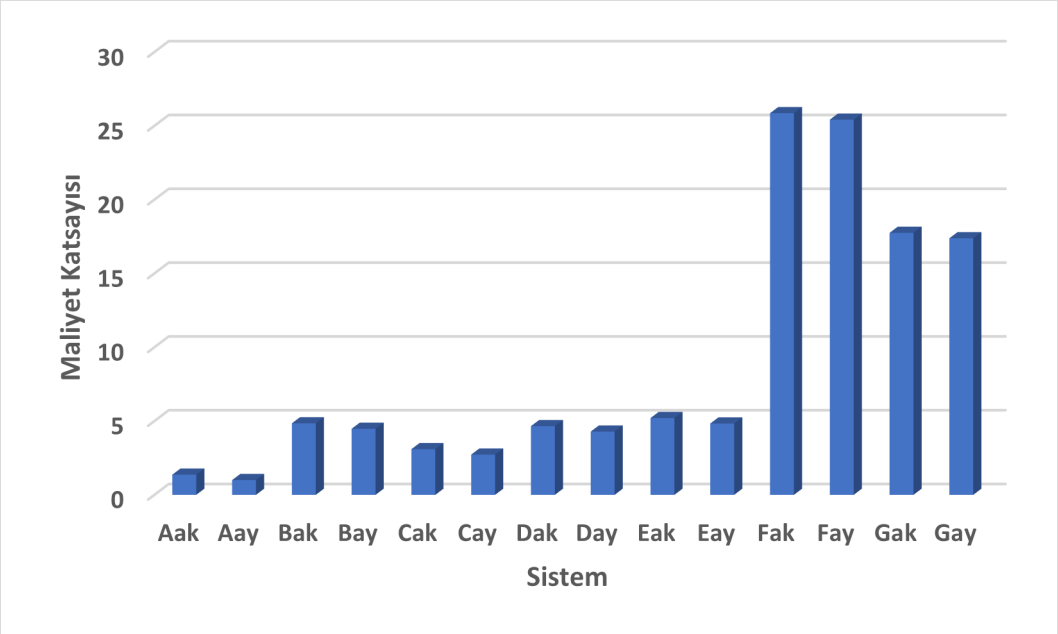
analizleri yapılmıştır. Her başlık altında elde edilen veriler sunulmuş ve sonuçlar güç tüketimleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

### 6.1.1 Konfigürasyonların Maliyet Karşılaştırılması

Konfigürasyonlar kurgulanırken, LED bar, reflektör ve difüzör plakası sabit tutularak yalnızca optik filmler değiştirilmiştir. Bu yaklaşım, maliyet karşılaştırmalarında yalnızca optik film değişikliklerine odaklanılmasını sağlamaktadır. Maliyetlerin zamana ve sipariş adedine bağlı değişkenliklerini ortadan kaldırmak amacıyla, A konfigürasyonunun Yag versiyonu baz olarak kabul edilmiştir. Diğer konfigürasyonların maliyetleri, A konfigürasyonunun maliyetinin katları şeklinde belirlenmiştir. Böylelikle, her bir konfigürasyonun maliyet farklılıkları daha net bir şekilde değerlendirilebilmiştir. Tüm konfigürasyonların maliyet katsayıları Tablo 6.2'de sunulmuştur.

**Tablo 6.2** Konfigürasyonların maliyet karşılaştırılması

| **Film Konfigürasyonu** | **Fosfor** | **Katsayı** |
|---|---|---|
| DP+Difüzör Film | Ksf | 1,369048 |
| DP+Difüzör Film | Yag | 1 |
| DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | Ksf | 4,845238 |
| DP+Prizma/Prizma Film+Difüzör Film | Yag | 4,476 |
| DP+Difüzör/Prizma Film | Ksf | 3,095238 |
| DP+Difüzör/Prizma Film | Yag | 2,726 |
| DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | Ksf | 4,654762 |
| DP+Dikey Prizma Film+Difüzör/Prizma Film | Yag | 4,286 |
| DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | Ksf | 5,202381 |
| DP+Difüzör/Yatay Prizma/Dikey Prizma Film | Yag | 4,833 |
| DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | Ksf | 25,85714 |
| DP+Core/Yatay Prizma/Dikey Prizma | Yag | 25,417 |
| DP+ parıltı Arttırıcı Film+ Yatay Prizma+ Dikey Prizma | Ksf | 17,75 |
| DP+ parıltı Arttırıcı Film+ Yatay Prizma+ Dikey Prizma | Yag | 17,381 |




**Şekil 6.1** Konfigürasyonların maliyet karşılaştırılması

6.1 maliyet grafiği, 6.2'deki verilerin görsel bir özetini sunarak, konfigürasyonlar arasındaki maliyet farklarını daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Grafikte, her bir konfigürasyonun maliyet katsayılarının yanı sıra YAG ve KSF fosforları arasındaki maliyet farkları da açıkça görülebilmektedir. F ve G konfigürasyonları maliyet açısından en yüksek olurken A ve C konfigürasyonları maliyet etkin çözümler olarak gözükmektedir. B, D ve E konfigürasyonları ise maliyet olarak birbirlerine çok benzer seviyede gözükmektedir.

### 6.1.2 Konfigürasyonların Renk Gamutuna Göre Karşılaştırılması

Bu çalışmada, farklı sistemlerin renk üretim kapasitesini değerlendirmek için beyaz, kırmızı, yeşil ve mavi renklerde x, y ve u, v değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, her bir sistemin renk gamutunu belirlemek için kullanılmıştır. Çeşitli sistemler üzerinde yapılan bu ölçümler, cihazların NTSC referans gamutu ile karşılaştırılarak, her bir sistemin renk üretim kapasitesinin ne kadar geniş olduğunu belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Tablo 6.3 , Tablo 6.4 ve Tablo 6.5 bu ölçümlerin sonuçlarını ve her bir sistemin NTSC referans gamutuna göre hesaplanan gamut yüzdesini içermektedir.

**Tablo 6.3** Konfigürasyonların beyaz ve kırmızı renk ölçümleri

| Sistem | Beyaz | | | | | Kırmızı | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | parıltı [cd/m$^2$] | x | y | u | v | parıltı [cd/m$^2$] | x | y | u | v |
| Aay | 202,7 | 0,2737 | 0,2742 | 0,1906 | 0,4297 | 32,4 | 0,6325 | 0,3285 | 0,4457 | 0,5208 |
| Aak | 186,7 | 0,28 | 0,2771 | 0,1942 | 0,4326 | 33,9 | 0,6627 | 0,3081 | 0,4934 | 0,5162 |
| Apy | 194,6 | 0,2748 | 0,2806 | 0,1889 | 0,4341 | 29,3 | 0,6269 | 0,3261 | 0,4431 | 0,5186 |
| Apk | 183,5 | 0,2802 | 0,2858 | 0,191 | 0,4382 | 31,2 | 0,6609 | 0,3071 | 0,4929 | 0,5153 |
| Bay | 295,4 | 0,2808 | 0,2868 | 0,191 | 0,439 | 48,1 | 0,6353 | 0,3302 | 0,4464 | 0,5221 |
| Bak | 277,7 | 0,2874 | 0,2905 | 0,1945 | 0,4423 | 51,1 | 0,6651 | 0,3092 | 0,4945 | 0,5172 |
| Bpy | 286,3 | 0,2814 | 0,2924 | 0,1893 | 0,4426 | 43,8 | 0,6315 | 0,3288 | 0,4445 | 0,5208 |
| Bpk | 265,2 | 0,2869 | 0,2965 | 0,1918 | 0,4459 | 45,9 | 0,6631 | 0,3082 | 0,4937 | 0,5164 |
| Cay | 262 | 0,2744 | 0,2758 | 0,1905 | 0,4309 | 42,2 | 0,632 | 0,33 | 0,4438 | 0,5214 |
| Cak | 226,6 | 0,2815 | 0,2796 | 0,1943 | 0,4345 | 41,6 | 0,6613 | 0,3078 | 0,4924 | 0,5158 |
| Cpy | 252,7 | 0,2754 | 0,2829 | 0,1885 | 0,4357 | 38,2 | 0,6293 | 0,3286 | 0,4429 | 0,5202 |
| Cpk | 213,8 | 0,2802 | 0,2844 | 0,1915 | 0,4374 | 36,6 | 0,6608 | 0,3071 | 0,4928 | 0,5153 |
| Day | 359 | 0,2813 | 0,2812 | 0,1936 | 0,4355 | 62,5 | 0,6375 | 0,3326 | 0,4461 | 0,5237 |
| Dak | 307,4 | 0,2852 | 0,2852 | 0,1949 | 0,4386 | 56,7 | 0,6645 | 0,309 | 0,4942 | 0,517 |
| Dpy | 358,3 | 0,2837 | 0,2854 | 0,1937 | 0,4385 | 51,7 | 0,6312 | 0,3296 | 0,4435 | 0,5211 |
| Dpk | 294 | 0,2842 | 0,2918 | 0,1916 | 0,4426 | 51 | 0,6625 | 0,308 | 0,4934 | 0,5161 |
| Eay | 344,1 | 0,2802 | 0,2871 | 0,1904 | 0,4391 | 55,1 | 0,6351 | 0,3298 | 0,4467 | 0,5219 |
| Eak | 315,9 | 0,2865 | 0,2886 | 0,1946 | 0,4409 | 58 | 0,6652 | 0,309 | 0,4947 | 0,5172 |
| Epy | 331,2 | 0,2804 | 0,2919 | 0,1887 | 0,4421 | 50,7 | 0,6323 | 0,3283 | 0,4457 | 0,5206 |
| Epk | 301,8 | 0,2852 | 0,2938 | 0,1916 | 0,444 | 51,9 | 0,663 | 0,3079 | 0,494 | 0,5161 |
| Fay | 443,1 | 0,2813 | 0,2912 | 0,1897 | 0,4418 | 71,5 | 0,6335 | 0,3307 | 0,4444 | 0,522 |
| Fak | 434,4 | 0,2878 | 0,2933 | 0,1937 | 0,4441 | 79,2 | 0,6643 | 0,3093 | 0,4936 | 0,5171 |
| Fpy | 433,2 | 0,2823 | 0,2967 | 0,1883 | 0,4454 | 64,9 | 0,6329 | 0,3293 | 0,4452 | 0,5213 |
| Fpk | 420,9 | 0,2866 | 0,3 | 0,1902 | 0,448 | 71,5 | 0,6622 | 0,3082 | 0,4928 | 0,5162 |
| Gay | 445,3 | 0,2848 | 0,2955 | 0,1906 | 0,445 | 72,8 | 0,6369 | 0,331 | 0,4471 | 0,5228 |
| Gak | 409,2 | 0,2921 | 0,298 | 0,195 | 0,4476 | 76,1 | 0,6666 | 0,3098 | 0,4951 | 0,5178 |
| Gpy | 422,1 | 0,2845 | 0,3004 | 0,1886 | 0,448 | 64,5 | 0,6343 | 0,3297 | 0,4461 | 0,5217 |
| Gpk | 393,1 | 0,2914 | 0,3044 | 0,192 | 0,4514 | 68,6 | 0,6645 | 0,3089 | 0,4942 | 0,517 |

**Tablo 6.4** Konfigürasyonların Yeşil ve Mavi renk ölçümleri

| Sistem | Yeşil | | | | | Mavi | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | parıltı [cd/m$^2$] | x | y | u | v | parıltı [cd/m$^2$] | x | y | u | v |
| Aay | 152,5 | 0,3129 | 0,6178 | 0,1279 | 0,5681 | 17,6 | 0,157 | 0,0446 | 0,195 | 0,1246 |
| Aak | 136,2 | 0,2814 | 0,6496 | 0,11 | 0,5714 | 15,7 | 0,1567 | 0,0446 | 0,1946 | 0,1247 |
| Apy | 150,6 | 0,3128 | 0,6167 | 0,128 | 0,5678 | 13,6 | 0,1576 | 0,0392 | 0,1998 | 0,1119 |
| Apk | 138,1 | 0,2815 | 0,6506 | 0,1099 | 0,5716 | 12,2 | 0,1574 | 0,0395 | 0,1993 | 0,1125 |
| Bay | 221,6 | 0,3145 | 0,6183 | 0,1285 | 0,5684 | 24,6 | 0,1566 | 0,0470 | 0,1927 | 0,1301 |
| Bak | 202,6 | 0,2825 | 0,6516 | 0,1102 | 0,5719 | 22,6 | 0,1565 | 0,0474 | 0,1924 | 0,1309 |
| Bpy | 220,5 | 0,3144 | 0,6184 | 0,1284 | 0,5684 | 19,3 | 0,1575 | 0,0414 | 0,1980 | 0,1171 |
| Bpk | 199,6 | 0,2824 | 0,6510 | 0,1102 | 0,5718 | 17,4 | 0,1570 | 0,0416 | 0,1972 | 0,1175 |
| Cay | 196,0 | 0,3113 | 0,6187 | 0,1270 | 0,5681 | 21,08 | 0,1571 | 0,0436 | 0,1959 | 0,1222 |
| Cak | 165,3 | 0,2810 | 0,6495 | 0,1098 | 0,5713 | 19,10 | 0,1568 | 0,0454 | 0,1941 | 0,1265 |
| Cpy | 195,5 | 0,3111 | 0,6191 | 0,1269 | 0,5681 | 16,09 | 0,1578 | 0,0382 | 0,2008 | 0,1095 |
| Cpk | 160,9 | 0,2810 | 0,6500 | 0,1098 | 0,5714 | 14,6 | 0,1572 | 0,0396 | 0,1990 | 0,1128 |
| Day | 263,4 | 0,3118 | 0,6194 | 0,1271 | 0,5683 | 27,20 | 0,1567 | 0,0408 | 0,1974 | 0,1156 |
| Dak | 224,0 | 0,2822 | 0,6508 | 0,1102 | 0,5717 | 25,30 | 0,1565 | 0,0462 | 0,1931 | 0,1284 |
| Dpy | 261,5 | 0,3124 | 0,6194 | 0,1274 | 0,5684 | 22,0 | 0,1576 | 0,0393 | 0,1998 | 0,1119 |
| Dpk | 221,1 | 0,2821 | 0,6512 | 0,1101 | 0,5718 | 19,60 | 0,1571 | 0,0409 | 0,1979 | 0,1158 |
| Eay | 257,4 | 0,3141 | 0,6193 | 0,1282 | 0,5686 | 28,60 | 0,1567 | 0,0468 | 0,1930 | 0,1297 |
| Eak | 230,4 | 0,2825 | 0,6513 | 0,1103 | 0,5718 | 25,90 | 0,1565 | 0,0471 | 0,1925 | 0,1304 |
| Epy | 258,4 | 0,3141 | 0,6194 | 0,1281 | 0,5686 | 22,3 | 0,1574 | 0,0408 | 0,1983 | 0,1156 |
| Epk | 226,8 | 0,2820 | 0,6510 | 0,1101 | 0,5717 | 20,0 | 0,1570 | 0,0411 | 0,1976 | 0,1165 |
| Fay | 333,7 | 0,3136 | 0,6188 | 0,1280 | 0,5684 | 37,2 | 0,1567 | 0,0485 | 0,1917 | 0,1336 |
| Fak | 316,2 | 0,2822 | 0,6514 | 0,1101 | 0,5718 | 35,3 | 0,1564 | 0,0483 | 0,1915 | 0,1330 |
| Fpy | 330,9 | 0,3137 | 0,6201 | 0,1279 | 0,5687 | 28,40 | 0,1572 | 0,0418 | 0,1973 | 0,1179 |
| Fpk | 313,6 | 0,2821 | 0,6516 | 0,1100 | 0,5718 | 27,30 | 0,1569 | 0,0424 | 0,1965 | 0,1194 |
| Gay | 335,0 | 0,3148 | 0,6200 | 0,1283 | 0,5688 | 36,3 | 0,1564 | 0,0486 | 0,1912 | 0,1338 |
| Gak | 298,4 | 0,2834 | 0,6521 | 0,1105 | 0,5721 | 32,7 | 0,1564 | 0,0492 | 0,1908 | 0,1350 |
| Gpy | 326,5 | 0,3145 | 0,6199 | 0,1282 | 0,5687 | 27,60 | 0,1571 | 0,0424 | 0,1967 | 0,1194 |
| Gpk | 295,7 | 0,2834 | 0,6518 | 0,1106 | 0,5720 | 25,10 | 0,1568 | 0,0430 | 0,1959 | 0,1208 |

**Tablo 6.5** Konfigürasyonların NTSC renk gamut ölçümleri

| Sistem | NTSC Gamut |
|---|---|
| Aay | 72,15 |
| Aak | 86,37 |
| Apy | 71,58 |
| Apk | 86,75 |
| Bay | 72,3 |
| Bak | 86,7 |
| Bpy | 72,19 |
| Bpk | 86,91 |
| Cay | 72,36 |
| Cak | 86,02 |
| Cpy | 72,5 |
| Cpk | 86,69 |
| Day | 73,62 |
| Dak | 86,63 |
| Dpy | 72,63 |
| Dpk | 86,93 |
| Eay | 72,48 |
| Eak | 86,71 |
| Epy | 72,61 |
| Epk | 87 |
| Fay | 71,95 |
| Fak | 86,44 |
| Fpy | 72,73 |
| Fpk | 86,77 |
| Gay | 72,64 |
| Gak | 86,76 |
| Gpy | 72,81 |
| Gpk | 87,05 |

Yukarıda paylaşılan tablodaki gamut ölçümlerine göre konfigürasyonlar arasında ciddi bir gamut farkı oluşmamıştır.Loşlaştırma yöntemi gamut üzerinde bir etki göstermemiştir. Beklenildiği üzere gamutu etkileyen tek faktör fosfor türü olmuştur. KSF fosforlu numuneler ile yapılan ölçümlerde gamut yaklaşık olarak %15 daha yüksek çıkmaktadır.

### 6.1.3 Konfigürasyonların Parıltı ve Güç Tüketimine Göre Karşılaştırılması

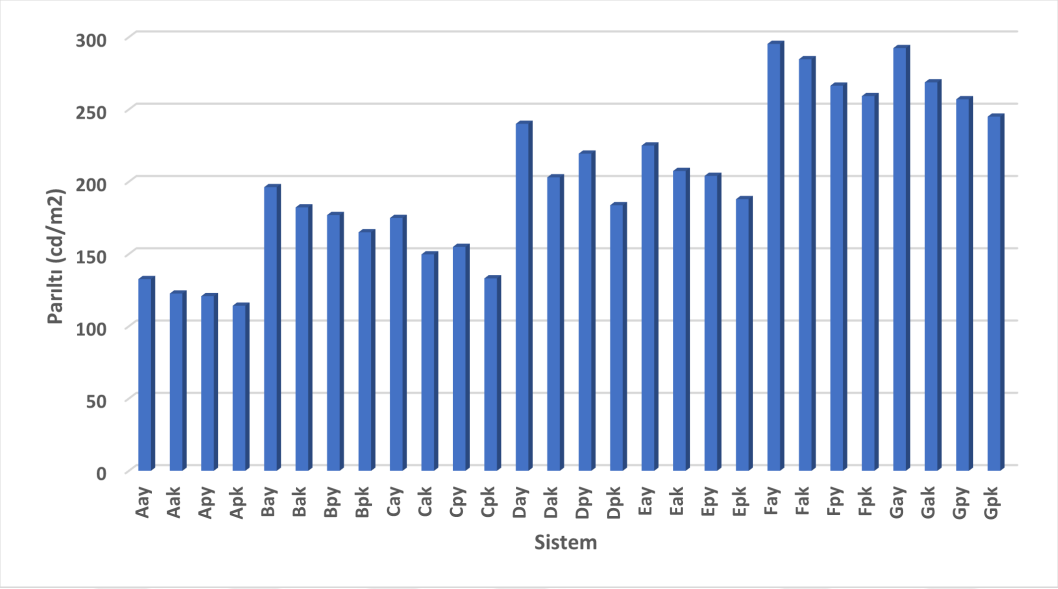
Farklı konfigürasyonların güç tüketimlerinin karşılaştırılması için öncelikle parıltı değerlerine olan etkisini incelemek adına her bir konfigürasyonun aynı akımda verdiği parıltı değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 6.6'de verilmiştir.

**Tablo 6.6** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda parıltı değerleri

| Sistem | Fosfor | Loşlaştırma Yöntemi | %60 Max Akım Parıltı [cd/m$^2$] |
|---|---|---|---|
| Aay | Yag | Analog Loşlaştırma | 132,6 |
| Aak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 122,6 |
| Apy | Yag | PWM Loşlaştırma | 120,8 |
| Apk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 114,2 |
| Bay | Yag | Analog Loşlaştırma | 196,2 |
| Bak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 182,2 |
| Bpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 176,9 |
| Bpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 165,0 |
| Cay | Yag | Analog Loşlaştırma | 174,9 |
| Cak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 149,7 |
| Cpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 154,9 |
| Cpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 133,1 |
| Day | Yag | Analog Loşlaştırma | 240,0 |
| Dak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 203,0 |
| Dpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 219,4 |
| Dpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 183,7 |
| Eay | Yag | Analog Loşlaştırma | 225,0 |
| Eak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 207,4 |
| Epy | Yag | PWM Loşlaştırma | 204,0 |
| Epk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 187,9 |
| Fay | Yag | Analog Loşlaştırma | 295,3 |
| Fak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 284,7 |
| Fpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 266,4 |
| Fpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 259,2 |
| Gay | Yag | Analog Loşlaştırma | 292,4 |

Tablo 6.6 Konfigürasyonların %60 maksimum akımda parıltı değerleri (devamı)

| Sistem | Fosfor | Loşlaştırma Yöntemi | %60 Max Akım Parıltı [cd/m$^2$] |
|---|---|---|---|
| Gak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 268,7 |
| Gpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 257,0 |
| Gpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 245,0 |




**Şekil 6.2** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda parıltı değerlerinin karşılaştırılması

Her bir konfigürasyon, fosfor türleri ve loşlaştırma yöntemleriyle farklı performans sergilediği gözlemlenmiştir. Özet olarak, YAG fosforlu LED'ler, KSF fosforlu LED'lere göre daha yüksek parıltı sağlamıştır. Bu durum, hem analog hem de PWM loşlaştırma yöntemlerinde tekrarlamıştır.

Örneğin, A konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile elde edilen parıltı 132,6 cd/m$^2$ iken, KSF fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile bu değer 122,6 cd/m$^2$ olarak ölçülmüştür. PWM loşlaştırma yöntemi kullanıldığında da benzer bir değişim gözlemlenmiştir; YAG fosforlu LED'ler 120,8 cd/m$^2$ parıltı sağlarken, KSF fosforlu LED'ler 114,2 cd/m$^2$ parıltı sağlamıştır. B konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile elde edilen parıltı 196,2 cd/m$^2$ olarak en yüksek parıltı değeri olurken, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile bu değer 165,0 cd/m$^2$ olarak en düşük seviyede ölçülmüştür. C ve D konfigürasyonlarında da benzer durum devam etmiştir. C konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 174,9 cd/m$^2$ parıltı elde edilirken, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 133,1 cd/m$^2$

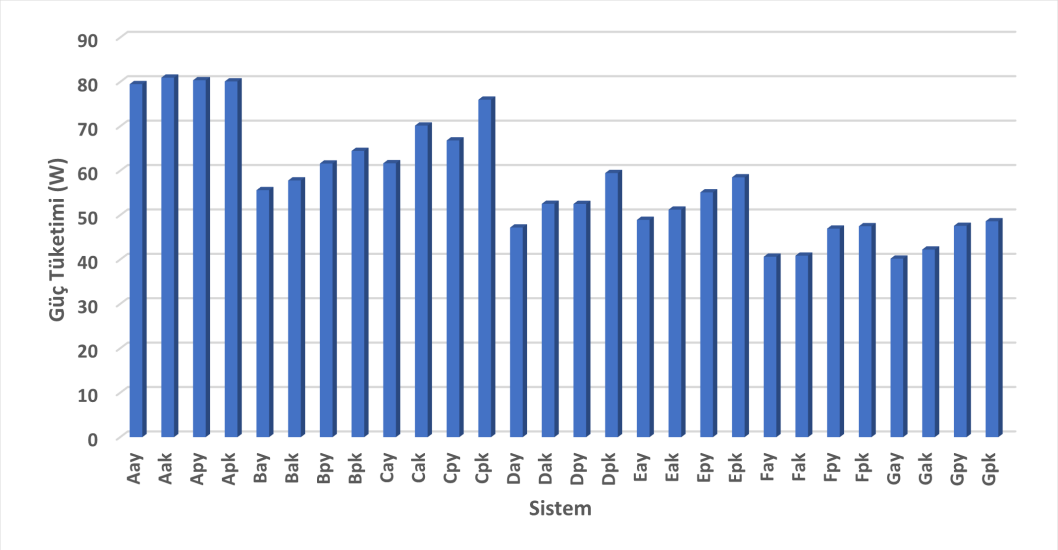
parıltı ölçülmüştür. D konfigürasyonunda ise YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 240 cd/m$^2$ parıltı sağlanırken, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile bu değer 183,7 cd/m$^2$ olmuştur. E, F ve G konfigürasyonlarında da YAG fosforlu LED'lerin genel olarak daha yüksek parıltı değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. E konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 225 cd/m$^2$, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 187,9 cd/m$^2$ parıltı elde edilmiştir. F konfigürasyonunda ise YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 295,3 cd/m$^2$, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 259,2 cd/m$^2$ parıltı sağlanmıştır. G konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 292,4 cd/m$^2$, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 245,0 cd/m$^2$ parıltı elde edilmiştir. Sonuç olarak, YAG fosforlu LED'lerin KSF fosforlu LED'lere göre daha yüksek parıltı değerleri sağlamıştır. Analog loşlaştırma yönteminin de genel olarak PWM loşlaştırma yöntemine göre daha verimli olduğu ve aynı pwm değerinde daha yüksek parıltı sağladığı gözlemlenmiştir. parıltı etkilerini karşılaştırılmasından sonra her bir konfigürasyon eşit 200 cd/m$^2$ parıltı verecek şekilde ayarlanarak güç ölçümü yapılmıştır. Aynı parıltıya sahip olan konfigürasyonların kendi arasında güç tüketimleri arasında farklılıklar oluşmaktadır. Ayrıca her bir konfigürasyon analog ve pwm loşlaştırma yöntemleri kullanılarak sürülmüş ve güç ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler Tablo 6.7'de ve devamında verilmiştir.

**Tablo 6.7** Konfigürasyonların %60 maksimum akımda güç tüketimi

| **Sistem** | **Fosfor** | **Loşlaştırma Yöntemi** | **Güç Tüketimi(w)** |
|---|---|---|---|
| Aay | Yag | Analog Loşlaştırma | 79,5 |
| Aak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 80,966 |
| Apy | Yag | PWM Loşlaştırma | 80,383 |
| Apk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 80,111 |
| Bay | Yag | Analog Loşlaştırma | 55,627 |
| Bak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 57,811 |
| Bpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 61,627 |
| Bpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 64,463 |
| Cay | Yag | Analog Loşlaştırma | 61,684 |
| Cak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 70,163 |
| Cpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 66,824 |
| Cpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 76,003 |

Tablo 6.7 Konfigürasyonların %60 maksimum akımda güç tüketimi (devamı)

| Sistem | Fosfor | Loşlaştırma Yöntemi | Güç Tüketimi(w) |
|---|---|---|---|
| Day | Yag | Analog Loşlaştırma | 47,204 |
| Dak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 52,551 |
| Dpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 52,523 |
| Dpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 59,481 |
| Eay | Yag | Analog Loşlaştırma | 48,934 |
| Eak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 51,24 |
| Epy | Yag | PWM Loşlaştırma | 55,125 |
| Epk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 58,516 |
| Fay | Yag | Analog Loşlaştırma | 40,635 |
| Fak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 40,873 |
| Fpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 46,965 |
| Fpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 47,496 |
| Gay | Yag | Analog Loşlaştırma | 40,2 |
| Gak | Ksf | Analog Loşlaştırma | 42,25 |
| Gpy | Yag | PWM Loşlaştırma | 47,59 |
| Gpk | Ksf | PWM Loşlaştırma | 48,623 |




**Şekil 6.3** Konfigürasyonların 200 cd/m$^2$ parıltı değerinde güç tüketim karşılaştırılması

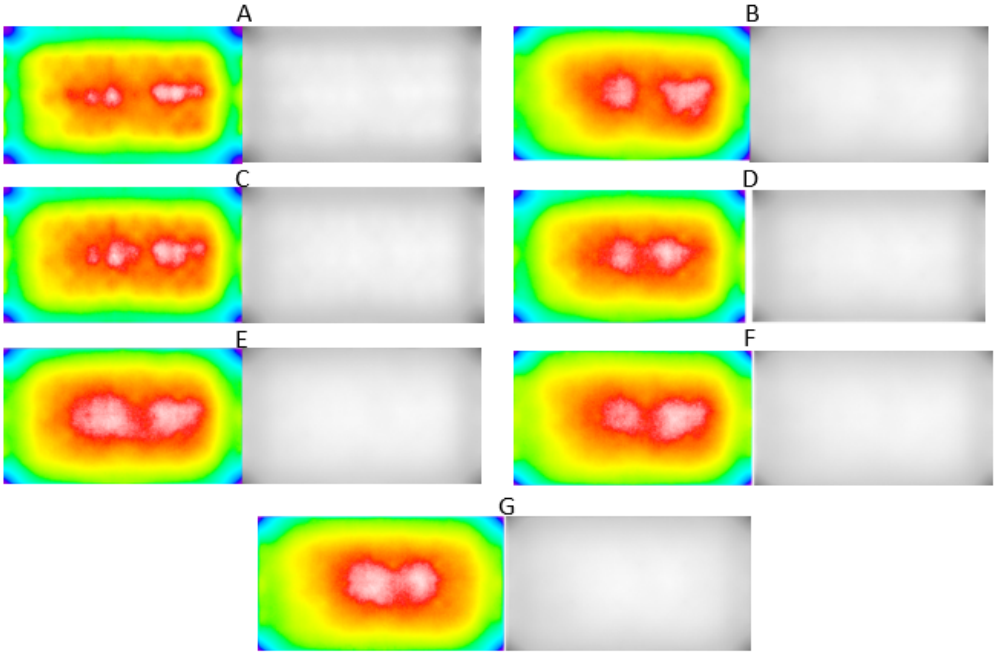
Genel olarak, YAG fosforlu LED'ler, KSF fosforlu LED'lere kıyasla daha düşük

güç tüketimi göstermektedir. Analog loşlaştırma yöntemi, çoğu durumda PWM loşlaştırma yöntemine göre daha düşük güç tüketimi sağlamaktadır. Örneğin, A konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile elde edilen parıltı 132,6 cd/m$^2$ ve güç tüketimi 79,5 W iken, KSF fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile bu değerler sırasıyla 122,6 cd/m$^2$ ve 80,966 W olarak ölçülmüştür. PWM loşlaştırma yöntemi kullanıldığında ise YAG fosforlu LED'ler 120,8 cd/m$^2$ parıltı ve 80,383 W güç tüketimi ile, KSF fosforlu LED'ler ise 114,2 cd/m$^2$ parıltı ve 80,111 W güç tüketimi ile performans sergilemiştir. B konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 196,2 cd/m$^2$ parıltı ve 55,627 W güç tüketimi elde edilirken, KSF fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile bu değerler 182,2 cd/m$^2$ ve 57,811 W olmuştur. PWM loşlaştırma yönteminde de benzer bir eğilim gözlemlenmiş ve YAG fosforlu LED'ler daha yüksek parıltı ve daha düşük güç tüketimi sağlamıştır. C ve D konfigürasyonlarında, YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi yine en yüksek parıltı ve en düşük güç tüketimi değerlerine ulaşmıştır. Örneğin, C konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 174,9 cd/m$^2$ parıltı ve 61,684 W güç tüketimi elde edilirken, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile bu değerler sırasıyla 133,1 cd/m$^2$ ve 76,003 W olmuştur. E, F ve G konfigürasyonlarında da benzer eğilimler devam etmiştir. E konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 225 cd/m$^2$ parıltı ve 48,934 W güç tüketimi, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 187,9 cd/m$^2$ parıltı ve 58,516 W güç tüketimi sağlanmıştır. F konfigürasyonunda ise YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 295,3 cd/m$^2$ parıltı ve 40,635 W güç tüketimi, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 259,2 cd/m$^2$ parıltı ve 47,496 W güç tüketimi elde edilmiştir. G konfigürasyonunda YAG fosforlu ve analog loşlaştırma yöntemi ile 292,4 cd/m$^2$ parıltı ve 40,2 W güç tüketimi, KSF fosforlu ve PWM loşlaştırma yöntemi ile 245,0 cd/m$^2$ parıltı ve 48,623 W güç tüketimi sağlanmıştır. Sonuç olarak, YAG fosforlu LED'lerin genel olarak daha yüksek parıltı değerlerine ulaşarak daha verimli çalıştığı ve güç tüketimini azalttığı, analog loşlaştırma yönteminin çoğu durumda PWM loşlaştırma yöntemine göre daha verimli olduğu görülmüştür. Özellikle parıltıyı arttıran optik film konfigürasyonlarında 200 cd/m$^2$ elde etmek için uygulanacak loşlaştırma oranı daha yüksek olduğunda analog loşlaştırma yönteminin verimliliği ön plana çıkmaktadır.

### 6.1.4 Konfigürasyonların Görüntü Kalitesine Göre Karşılaştırılması

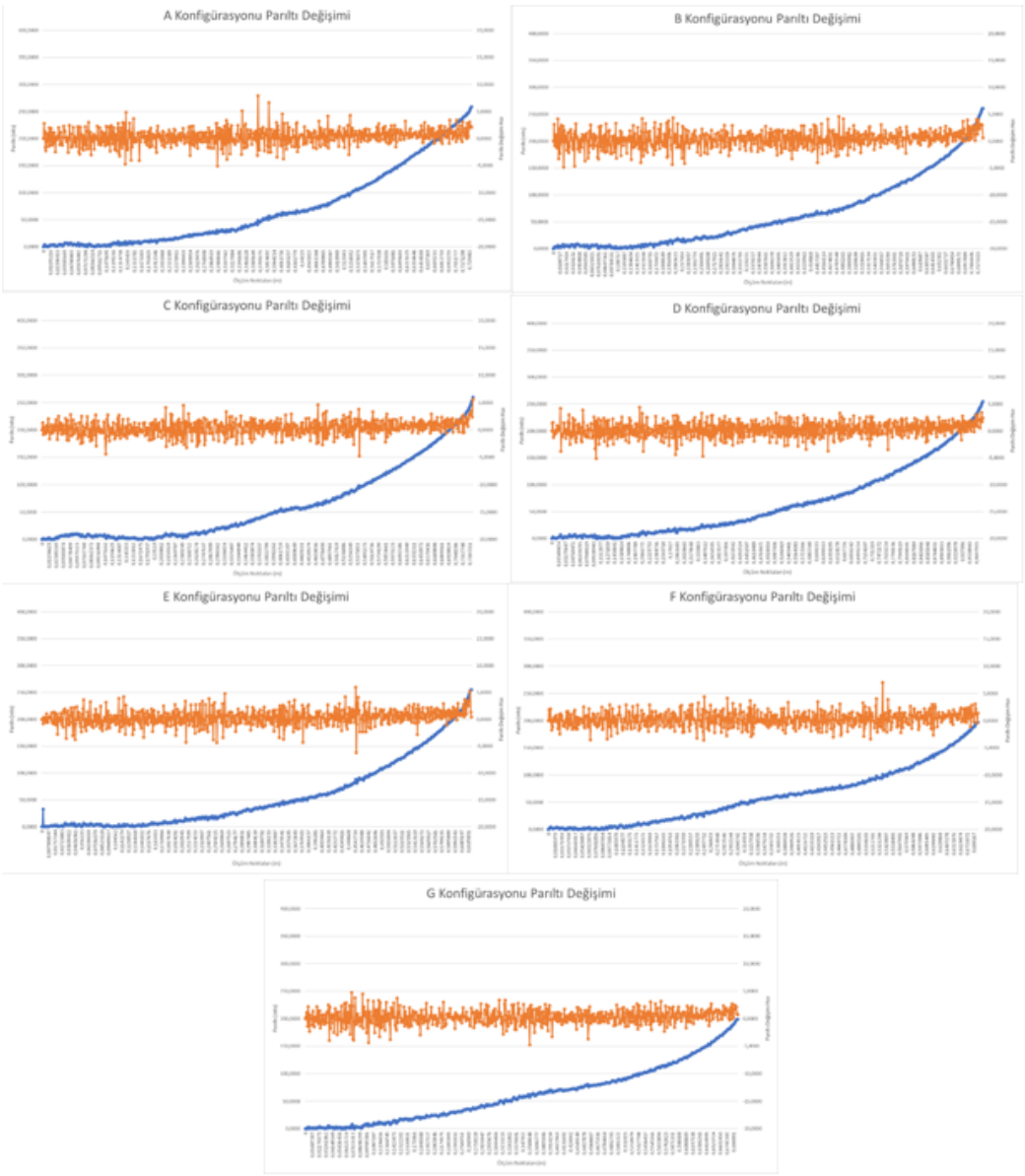
Konfigürasyonların parıltı düzgünlüğünü – arka aydınlatma görüntü kalitesi- değerlendirmek amacıyla CCD kamera ölçümleri alınmıştır. Detaylarının 3.1.5 bölümünde anlatıldığı görüntü kalitesi değerlendirilmesi yöntemiyle görüntü kalitesi puanı çıkarılmıştır. Alınan CCD kamera görüntüleri Şekil 6.4'de

paylaşılmıştır.




**Şekil 6.4** Konfigürasyonların 300 cd/m$^2$ parıltı değerindeki kamera görüntüleri

Arka aydınlatma sistemlerinin parıltı düzgünlüğünü etkileyen faktörler, kullanılan lens, ledlerin yerleşimi, ledlerin sayısı ve optik filmlerdir. loşlaştırma yöntemi ve fosfor türleri parıltı düzgünlüğünü etkileyen faktörler değildir. Bu nedenle görüntü kalitesi puanlaması sadece optik film konfigürasyonuna göre yapılmıştır. Ölçüm sonuçları A, B, C, D, E, F konfigürasyonları olarak paylaşılmış ve konfigürasyonlara ait alt parametrelerde aynı görüntü kalitesi puanı kullanılmaktadır. Yapılan kamera ölçümleri sonucunda konfigürasyonların tam ortadan köşeye gittikçe parıltı değişimi ve parıltı değişim hızı Şekil6.5'te verilmiştir.




**Şekil 6.5** Konfigürasyonların parıltı değişimi ve parıltı değişim hızı

Yapılan ölçümlere ve hesaplamalara göre oluşan görüntü kalitesi puanı Tablo 6.8'de verilmiştir. Detayları daha önce paylaşılan puanlama sisteminde, düşük olan puan daha iyi görüntü kalitesini ifade etmektedir.

**Tablo 6.8** Konfigürasyonların görüntü kalitesi puanı

| Sistem | +/-5 sınır geçiş adedi | +/-5 sınır ilk geçiş yeri | +/-5 sınır geçiş puanı | +/-5 sınır ilk geçiş yeri puanı | Regresyon Puanı | Görüntü Kalitesi Puanı |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 4 | 275 | 59,26 | 59,26 | 315,62 | 434,14 |
| B | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 288,62 | 288,62 |
| C | 1 | 677 | 14,77 | 0,00 | 299,82 | 314,59 |
| D | 1 | 84 | 12,41 | 89,58 | 218,45 | 320,44 |
| E | 3 | 519 | 42,25 | 26,90 | 326,70 | 395,85 |
| F | 1 | 496 | 15,70 | 22,14 | 248,02 | 285,85 |
| G | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 247,33 | 247,33 |

Görüntü kalitesi puanı açısından en iyi performansı 247,33 puan ile G konfigürasyonu göstermektedir. Bu konfigürasyon, en iyi ikinci performans gösteren B konfigürasyonuna (288,62 puan) göre yaklaşık %16 daha iyi performans sergilemiştir. Diğer konfigürasyonlar incelendiğinde, F konfigürasyonu 285,85 puan ile üçüncü sırada yer almakta olup, B konfigürasyonuna göre yaklaşık %1 daha iyidir. C konfigürasyonu ise 314,59 puan ile dördüncü sırada yer almakta ve F konfigürasyonuna kıyasla yaklaşık %10 daha kötü performans göstermektedir. D konfigürasyonu 320,44 puan ile beşinci sırada yer alırken, E konfigürasyonu 395,85 puan ile altıncı sırada bulunmaktadır. E konfigürasyonu, en kötü performansı gösteren A konfigürasyonuna (434,14 puan) göre yaklaşık %9 daha iyi performans sergilemiştir.

### 6.1.5 Konfigürasyonların Genel Puan Değerlendirilmesi

Burada, çeşitli optik film konfigürasyonları ile oluşturulan doğrudan aydınlatmalı arka ışık sistemlerinin performansları dört ana faktöre göre değerlendirilmiştir: Maliyet, güç tüketimi, görüntü kalitesi ve renk gamutu. Her bir faktör için farklı optik film konfigürasyonları (A, B, C, D, E, F, G) ve bu konfigürasyonların çeşitli loşlaştırma ve fosfor kombinasyonları kullanılarak ölçümler alınmıştır. Elde edilen bu veriler, sistemlerin farklı performans metriklerine göre karşılaştırılmasını sağlanmıştır. Bu değerlendirmeler ışığında, sistemlerin optimum performans seviyelerine ulaşabilmeleri için çeşitli ağırlıklandırma senaryoları oluşturulmuştur ve analiz edilmiştir. Alınan ölçüm ve değerlendirmelere göre konfigürasyonların genel sonuçları Tablo 6.9'da verilmiştir.

**Tablo 6.9** Konfigürasyonların farklı parametrelere göre değerlendirme puanları

| Sistem | Gamut Puanı | Maliyet | Güç Tüketimi | Görüntü Kalitesi Puanı |
|---|---|---|---|---|
| Aay | %72,15 | 1 | 79,5 | 434,1378214 |
| Aak | %86,37 | 1,369048 | 80,966 | 434,1378214 |
| Apy | %71,58 | 1 | 80,383 | 434,1378214 |
| Apk | %86,75 | 1,369048 | 80,111 | 434,1378214 |
| Bay | %72,30 | 4,476 | 55,627 | 288,6157004 |
| Bak | %86,70 | 4,845238 | 57,811 | 288,6157004 |
| Bpy | %72,19 | 4,476 | 61,627 | 288,6157004 |
| Bpk | %86,91 | 4,845238 | 64,463 | 288,6157004 |
| Cay | %72,36 | 2,726 | 61,684 | 314,5920608 |
| Cak | %86,02 | 3,095238 | 70,163 | 314,5920608 |
| Cpy | %72,50 | 2,726 | 66,824 | 314,5920608 |
| Cpk | %86,69 | 3,095238 | 76,003 | 314,5920608 |
| Day | %73,62 | 4,286 | 47,204 | 320,4399872 |
| Dak | %86,63 | 4,654762 | 52,551 | 320,4399872 |
| Dpy | %72,63 | 4,286 | 52,523 | 320,4399872 |
| Dpk | %86,93 | 4,654762 | 59,481 | 320,4399872 |
| Eay | %72,48 | 4,833 | 48,934 | 395,8499296 |
| Eak | %86,71 | 5,202381 | 51,24 | 395,8499296 |
| Epy | %72,61 | 4,833 | 55,125 | 395,8499296 |
| Epk | %87,00 | 5,202381 | 58,516 | 395,8499296 |
| Fay | %71,95 | 25,417 | 40,635 | 285,850872 |
| Fak | %86,44 | 25,85714 | 40,873 | 285,850872 |
| Fpy | %72,73 | 25,417 | 46,965 | 285,850872 |
| Fpk | %86,77 | 25,85714 | 47,496 | 285,850872 |
| Gay | %72,64 | 17,381 | 40,2 | 247,3317316 |
| Gak | %86,76 | 17,75 | 42,25 | 247,3317316 |
| Gpy | %72,81 | 17,381 | 47,59 | 247,3317316 |
| Gpk | %87,05 | 17,75 | 48,623 | 247,3317316 |

Tablo 6.7'den de görüleceği üzere her bir parametrede farklı aralıklarda sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bu sonuçların karşılaştırılabilir olması için tüm ölçümlere normalleştirme fonksiyonu uygulanmıştır. Bu sayede her bir performans metriği normalleştirilerek karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Normalleştirme, her faktörün minimum ve maksimum değerleri arasında ölçeklendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, her bir faktör 0 ile 1 arasında bir değer almış ve tüm faktörlerin etkileri eşitlenmiştir. Maliyet, güç tüketimi ve görüntü kalitesi performanslarının değerlendirilmesinde düşük olan puan daha iyi sonucu ifade

ederken, gamut puanında daha yüksek olan puan iyi sonucu ifade etmektedir. Bu nedenle normalleştirme formülü gamut ölçümünde farklı kullanılacaktır. Bu formüller sırasıyla (4.1) ve (4.2)'de verilmiştir.

Gamut ölçümü normalleştirme formülü:

$$\text{Normalleştirilmiş Değer} = \frac{(\text{Değerlendirilen Puan} - \text{Minimum Puan})}{(\text{Maksimum Puan} - \text{Minimum Puan})} \quad (6.1)$$

Maliyet, güç tüketimi ve görüntü kalitesi ölçümü normalleştirme formülü:

$$\text{Normalleştirilmiş Değer} = 1 - \frac{(\text{Değerlendirilen Puan} - \text{Minimum Puan})}{(\text{Maksimum Puan} - \text{Minimum Puan})} \quad (6.2)$$

Bu ölçümler her bir parametre için farklı ağırlıklandırma senaryolarına göre oluşturulacaktır. Böylece proje isteri hangi değerlendirme parametresine yönelikse ona göre bir ağırlaklındırma yapılarak sonuçlar bu senaryolara göre değerlendirilmiştir. Ölçümlerin minimum ve maksimum değerleri 6.10 'da verilmiştir.

**Tablo 6.10** Konfigürasyonların görüntü kalitesi puanı

| **Parametre** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|
| Gamut Puanı | 71,58 | 87,05 |
| Maliyet Puanı | 1 | 25,857 |
| Güç Tüketim Puanı | 40,2 | 80,966 |
| Görüntü Kalitesi Puanı | 247,331 | 434,137 |

### 6.1.6 Ağırlıklandırma Senaryoları

#### 6.1.6.1 Senaryo 1: Eşit Ağırlıklandırma

Bu senaryoda, tüm faktörler eşit ağırlıkla (0,25) değerlendirilmiştir. Her bir sistemin tüm faktörlere eşit derecede önem verdiği varsayılarak elde edilen sonuçlar 6.11'de verilmiştir. Her konfigürasyon yukarıda paylaşılan parametrelere göre her biri eşit ağırlıkta olacak şekilde puanları ölçeklendirilerek hesaplanmıştır. Her bir puan toplanarak konfigürasyonun genel puanı ortaya çıkmıştır. Böylece konfigürasyonlar iyiden kötüye doğru sıralanmıştır.

**Tablo 6.11** Konfigürasyonların eşit ağırlıklandırma ile oluşturulmuş normalleştirilmiş performans skorları

| Sistem | Toplam Performans Skoru |
|---|---|
| Gak | 0,814278 |
| Bak | 0,792420 |
| Dak | 0,782872 |
| Gpk | 0,779882 |
| Bpk | 0,755020 |
| Dpk | 0,745221 |
| Cak | 0,688518 |
| Eak | 0,685777 |
| Fak | 0,684464 |
| Cpk | 0,663532 |
| Fpk | 0,649181 |
| Epk | 0,645843 |
| Day | 0,609126 |
| Gay | 0,602378 |
| Bay | 0,576819 |
| Dpy | 0,560508 |
| Gpy | 0,559805 |
| Bpy | 0,538246 |
| Cay | 0,523480 |
| Apk | 0,496684 |
| Cpy | 0,494221 |
| Aak | 0,485299 |
| Eay | 0,473672 |
| Fay | 0,456187 |
| Epy | 0,437806 |
| Fpy | 0,429973 |
| Aay | 0,268202 |
| Apy | 0,253575 |

Tüm parametrelerin eşit olduğu koşulda Gak konfigürasyonu en iyi puana sahip olmaktadır.

#### 6.1.6.2 Senaryo 2: Maliyet Ağırlığının İki Katına Çıkarılması

Bu senaryoda, maliyetin ağırlığı iki katına çıkarılmış (0,5) ve diğer faktörlerin ağırlıkları eşit (0,1667) olarak bırakılmıştır. Bu, maliyetin daha kritik bir faktör

olduğu durumlar için uygun bir değerlendirmedir. Bu durumda elde edilen performans skorları 6.12'de verilmiştir.

**Tablo 6.12** Maliyet parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları

| Sistem | Toplam Performans Skoru |
|---|---|
| Bak | 0,820178 |
| Dak | 0,816905 |
| Bpk | 0,798416 |
| Dpk | 0,795284 |
| Cak | 0,780280 |
| Cpk | 0,767453 |
| Eak | 0,751195 |
| Epk | 0,728172 |
| Apk | 0,691844 |
| Aak | 0,683785 |
| Day | 0,675800 |
| Gak | 0,651781 |
| Bay | 0,649474 |
| Dpy | 0,643430 |
| Cay | 0,642306 |
| Gpk | 0,632080 |
| Bpy | 0,625975 |
| Cpy | 0,625203 |
| Eay | 0,583141 |
| Epy | 0,562042 |
| Aay | 0,512763 |
| Apy | 0,502145 |
| Gay | 0,484199 |
| Gpy | 0,459205 |
| Fak | 0,458705 |
| Fpk | 0,438602 |
| Fay | 0,281104 |
| Fpy | 0,267896 |

Maliyet etkin çözümlerde sıralama değişmektedir. Eğer projede maliyet faktörü ön plana çıkıyorsa 0,82 puanla Bak konfigürasyonu en iyi çözümü sunmaktadır.

#### 6.1.6.3 Senaryo 3: Maliyet ve Güç Tüketimi Ağırlıklarının Artırılması

Bu senaryoda, maliyetin ağırlığı 0,4, güç tüketiminin ağırlığı 0,3, gamut puanı ve görüntü kalitesinin ağırlıkları ise 0,15 olarak belirlenmiştir. Bu senaryo, maliyet ve güç tüketiminin diğer faktörlere göre daha önemli olduğu durumlar için uygundur. Bu senaryoda elde edilen sonuçlar 6.13' de verilmiştir.

**Tablo 6.13** Maliyet ve güç tüketiminin parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları

| Sistem | Toplam Performans Skoru |
|---|---|
| Dak | 0,787519 |
| Bak | 0,771978 |
| Dpk | 0,739430 |
| Eak | 0,728578 |
| Bpk | 0,725062 |
| Gak | 0,712560 |
| Day | 0,706655 |
| Cak | 0,681788 |
| Epk | 0,677846 |
| Gpk | 0,668473 |
| Dpy | 0,657913 |
| Bay | 0,654367 |
| Cpk | 0,645308 |
| Cay | 0,617678 |
| Eay | 0,613516 |
| Bpy | 0,609146 |
| Gay | 0,596674 |
| Cpy | 0,581210 |
| Epy | 0,569216 |
| Fak | 0,558201 |
| Apk | 0,547444 |
| Gpy | 0,543939 |
| Aak | 0,537468 |
| Fpk | 0,512661 |
| Fay | 0,426537 |
| Aay | 0,416315 |
| Apy | 0,404290 |
| Fpy | 0,387517 |

Maliyet ve güç tüketim parametrelerinin daha etkin olduğu tasarımlarda Dak konfigürasyonu en iyi performansı göstermektedir.

#### 6.1.6.4 Senaryo 4: Görüntü Kalitesi ve Maliyetin Ağırlıklaştırılması

Bu senaryoda, gamut puanının ağırlığı 0,1, maliyetin ağırlığı 0,4, güç tüketiminin ağırlığı 0,1 ve görüntü kalitesinin ağırlığı 0,4 olarak belirlenmiştir. Bu, gamutun ve güç tüketiminin daha az önemli olduğu ve maliyet ile görüntü kalitesinin ön plana çıktığı durumlar için uygun bir değerlendirmedir. Sonuçlar 6.14' te verilmiştir.

Maliyet ve görüntü kalitesinin daha etkin olduğu çözümlerde Gak konfigürasyonu öne çıkmaktadır.

**Tablo 6.14** Maliyet ve görüntü kalitesi parametresinin etki skoru ağırlıklaştırılmış durumda konfigürasyonların normalleştirilmiş performans skorları

| Sistem | Toplam Performans Skoru |
|---|---|
| Gak | 0,829778 |
| Fpk | 0,820893 |
| Epk | 0,817785 |
| Gpk | 0,812724 |
| Fpy | 0,809153 |
| Fak | 0,809046 |
| Epy | 0,807452 |
| Eak | 0,803246 |
| Fpy | 0,800341 |
| Eay | 0,799362 |
| Cpk | 0,787716 |
| Dpk | 0,786402 |
| Cak | 0,778746 |
| Dpy | 0,778451 |
| Cay | 0,772414 |
| Bay | 0,766612 |
| Cpy | 0,761807 |
| Dak | 0,760269 |
| Bak | 0,759297 |
| Aak | 0,755139 |
| Apk | 0,748763 |
| Apk | 0,744669 |
| Dpy | 0,743618 |
| Gak | 0,742126 |
| Fpk | 0,737584 |
| Gpy | 0,733632 |
| Fay | 0,729499 |
| Aay | 0,725416 |

# 7
# SONUÇ

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda, dört temel parametre olan maliyet, güç tüketimi, görüntü kalitesi ve renk gamutu için farklı ağırlıklar kullanılarak dört ayrı senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryoda, doğrudan aydınlatmalı arka aydınlatma sistemlerinin çeşitli optik film konfigürasyonları ve fosfor-loşlaştırma kombinasyonları altında performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan görüntü kalitesi değerlendirmesi için bir kullanıcı anketi yapılmıştır ve yapılan anket sonucu ile bizim belirlediğimiz hesaplama yönteminin bir korelasyona sahip olduğu gösterilmiştir. Loşlaştırma yöntemlerine göre de bir çalışma yapılarak analog loşlaştırma yönteminin her durumda enerji verimliliği sağladığı gösterilmiştir. Bu etkiler altında oluşturulan ilk senaryoda, tüm faktörler eşit ağırlıkla değerlendirilmiş ve bu durumda Gak sistemi en yüksek performans skorunu elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu sistemin maliyet, güç tüketimi, görüntü kalitesi ve renk gamutu açısından dengeli bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan, Apy sistemi bu senaryoda en düşük performansı göstererek tüm faktörlerin eşit derecede önemli olduğu durumlarda yetersiz kaldığını göstermiştir.

Maliyet faktörünün ağırlığının iki katına çıkarıldığı ikinci senaryoda ise Bak ve Dak sistemleri en yüksek performans skorlarına ulaşmıştır. Bu durum, maliyetin öncelikli olduğu senaryolarda bu sistemlerin avantaj sağladığını ortaya koymuştur. Buna karşın, Apy ve Aay sistemleri maliyetin ağırlıklı olduğu bu senaryoda da düşük performans göstermiştir. Üçüncü senaryoda maliyet ve güç tüketimi ağırlıklarının artırılmasıyla Dak ve Bak sistemleri yine en yüksek performansı sergilemiştir. Bu senaryo, enerji verimliliği ve maliyetin ön planda olduğu durumları simüle ederken, Apy ve Aay sistemleri düşük performanslarıyla dikkat çekmiştir. Bu sonuçlar, maliyet ve güç tüketiminin daha ağır bastığı koşullarda bazı konfigürasyonların zayıf kaldığını göstermektedir.

Görüntü kalitesi ve maliyetin ağırlıklandırıldığı dördüncü senaryoda ise Gak sistemi yine öne çıkarak, maliyet ve görüntü kalitesi açısından optimize edilmiş bir

çözüm sunduğunu göstermiştir. Fpk ve Epk sistemleri de bu senaryoda yüksek performans sergileyerek maliyet ve görüntü kalitesinin önemli olduğu durumlarda güçlü bir performans sergilemiştir. Genel olarak, bu çalışma farklı senaryoların karşılaştırılmasıyla her bir konfigürasyonun belirli kullanım koşullarına göre avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Özellikle maliyet odaklı senaryolarda ekonomik çözümler öne çıkarken, görüntü kalitesi ve renk gamutu gibi parametrelerin daha önemli olduğu senaryolarda bazı sistemlerin performansı düşmüştür.

Fosfor türü (YAG ve KSF) ve loşlaştırma yöntemlerinin (Analog ve PWM) kombinasyonlarının da sistemlerin performansını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, farklı optik film konfigürasyonlarının, fosfor türlerinin ve loşlaştırma tekniklerinin bir araya getirilerek çeşitli senaryolarda nasıl performans gösterdiğini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Sonuç olarak, farklı kullanım senaryolarına göre optimize edilmiş çözümler sunan sistemlerin tercih edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

# KAYNAKÇA


[1] O. K. K. Mitsuda K. Sugawara, S. Ashizaki, "107 cm screen diagonal 16:9 color crt for hdtv displays," *Conference Record of the 1991 International Display Research Conference*, 1991.

[2] McGraw-Hill, "K. b. benson, television engineering handbook," *NY, New York*, 1986.

[3] *The royalty of radio, television and hearing aids*. [Online]. Available: https://www.radiomuseum.org/dsp_multipage_pdf.cfm?pdf=zenith_story_radiomuseum_org.pdf (visited on 02/28/2024).

[4] *Manufacturing of crts in historic perspective*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/279447367_Manufacturing_of_CRTs_in_Historic_Perspective (visited on 02/29/2024).

[5] M. Aririguzo, O. K Felix, Chibiko, "Comparatıve analysıs and performance features of plasma, lcd and crt screens: Operatıng features, merıt and recommendatıons," *SAVAP Academic Research International*, 2012.

[6] C. Deppe, G. Sauerlander, "Realizing standby operation of a television with zero energy consumption: Options and issues of the ultimate energy saving standby mode on the example of a recent flat tv model," *2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2009.

[7] K. Yuasa, K. Nishimura, Y. Hara, Y. Dobashi, "A low power consumption fluorescent lamp for lcd backlighting," *IEEE Conference Record - Abstracts. 1996 IEEE International Conference on Plasma Science*, 1996.

[8] C.-C. Sun, I. Moreno, S.-H. Chung, W.-T. Chien, C.-T. Hsieh, T.-H. Yang, "Direct led backlight for large area lcd tvs: Brightness analysis," *Optical Engineering + Applications*, 2007.

[9] W.-S. Oh, K.-M. Cho, D. Cho, G.-W. Moon, B. Yang, T. Jang, "A novel adaptive dimming technique with x-y channels for led backlight system of lcd tvs," *7th Internatonal Conference on Power Electronics, ICPE'07*, 2007.

[10] S.-S. Zhou *et al.*, "Impacts of local dimming algorithms on the halo effect in lcd with local dimming mini-led backlights," *IEEE Photonics Journal*, 2024.

[11] S.-C. Hsia, M.-H. Sheu, J.-R. C. Chien, S.-K. Wang, "High-performance local dimming algorithm and its hardware implementation for lcd backlight," *Journal of Display Technology*, 2013.

[12] W. Y. Park, A. Phadke, N. Shah, V. Letschert, "Efficiency improvement opportunities in tvs: Implications for market transformation programs," *Energy Policy Volume 59, August 2013, Pages 361-372*, 2013.

[13] *3m™ dual brightness enhancement film (dbef)*. [Online]. Available: https://www.3m.com/3M/en_US/p/d/b5005047085/ (visited on 03/20/2024).

[14] E. P. S. "Televisions", "Task 6 technical analysis bat," *Fraunhofer IZM.*, 2007.

[15] DisplaySearch, "Ledccfl backlight cost report, first/second quarter," *DisplaySearch*, 2011.

[16] *Energy star® unit shipment and market penetration report calendar year 2016 summary*. [Online]. Available: https://www.energystar.gov/ia/partners/downloads/unit_shipment_data/2016_USD_Summary_Report.pdf?12be-ead3 (visited on 02/28/2024).

[17] M. Planck, "Zur theorie des gesetzes der energieverteilung im normalspectrum.," *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2, 237-245.*, 1900.

[18] A. Einstein, "Conversion of light," *Annalen der Physik*, 1905.

[19] D. alliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentals of Physics (10th ed.)* Wiley, 2013.

[20] E. Hecht, *Optics*. Pearson, 2001.

[21] R. A. Serway, J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning, 2013.

[22] G. R. Fowles, *Introduction to Modern Optics*. Dover Publications, 1975.

[23] J. Palmer, *The Art of Radiometry*. SPIE Press, 2004.

[24] CIE, *Guidelines for the Measurement of Brightness*. CIE Publication 126, 1997.

[25] L. E., T. Jr., *Flat Panel Display Technologies*. Springer, 1985.

[26] J.-H. Lee, D. N. Liu, S.-T. Wu, *Introduction to Flat Panel Displays*. Wiley, 2008.

[27] F.-l. Li, Z. Chen, Q. Ye, Z.-f. Tang, "Lcd backlight light-guide plate design," *2nd international Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies*, 2006.

[28] S. Kobayashi, S. Mikoshiba, S. Lim, *LCD Backlights*. Wiley, 2017.

[29] B. E. A. Saleh, M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics*. Wiley-Interscience, 1991.

[30] S. Cangeloso, *LED Lighting: A Primer to Lighting the Future*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012.

[31] C. C. Lin, W.-T. Chen, R.-S. Liu, "Phosphors for white leds," *In book: Handbook of Advanced Lighting Technology (pp.1-42)*, 2016.

[32] G. J. Leea *et al.*, "The effect of the reflective property of a reflection film on the performance of backlight units with quantum-dot films for lcd applications," *Journal of Information Display, 22(2), 55–61)*, 2020.

[33] L. Mingyan, W. Daming, Z. Yajun, Z. Jian, "Optimization and design of lcd diffuser plate with micro-semisphere structure," *Procedia Engineering*, 2011.

[34] G. Boyd, "Optical enhancement films," *Handbook of Visual Display Technology*, 2012.

[35] W. YoungPark, A. Phadke, N. Shah, V. Letschert, "Efficiency improvement opportunities in tvs:implications for market transformation programs," *Energy Policy Elsevier*, 2013.

[36] E. Union, "Regulation (eu) 2019/2021 laying down ecodesign requirements for electronic displays.," *Official Journal of the European Union, L 315*, 2019.

[37] E. Commission, "Commission regulation (eu) no 1062/2010 of 28 september 2010 implementing directive 2005/32/ec of the european parliament and of the council with regard to ecodesign requirements for televisions," *Official Journal of the European Union*, 2020.

[38] E. Commission, "Commission regulation (eu) 2019/2013 of 11 march 2019 laying down ecodesign requirements for electronic displays pursuant to directive 2009/125/ec of the european parliament and of the council and repealing regulation (ec) no 642/2009," *Official Journal of the European Union*, 2019.

[39] E. Commission, "Commission regulation (eu) 2019/2021 of 1 october 2019 laying down ecodesign requirements for energy-related products pursuant to directive 2009/125/ec of the european parliament and of the council," *Official Journal of the European Union*, 2021.

[40] VESA, "Vesa fpdm (flat panel display measurement) standard," *Video Electronics Standards Association*, 2018.

[41] ISO, "Iso 9241-307: Ergonomics of human-system interaction - part 307: Analysis and compliance test methods for electronic visual displays," *International Organization for Standardization*, 2008.

[42] TCO, "Tco certified displays: Requirements and test methods," *TCO development*, 2012.

[43] SPWG, "Measurement of luminance uniformity," *Standard Panel Working Group Standart Document*, 2006.

[44] *Led driver basics and its circuit design*. [Online]. Available: `https://www.power.com/sites/default/files/forum/files/LED%20Driver%20Circuits%20Design_0.pdf` (visited on 03/29/2024).

[45] O. SARIBIYIK, E. YOLACAN, "Comparison of the effects of dimming methods on direct-lit backlight systems," *6 TH International Congress On Engineering and Technology Management*, 2021.

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

## Makale

1. O. Saribiyik ve R. Ayaz, “Televizyonların Arka Işık Sistemlerinde Kullanılan LED Fosfor Teknolojilerinin Güvenirlik ve Renk Doğruluğu Üzerine Etkileri”, Müh.Bil.ve Araş.Dergisi, c. 6, sy. 2, ss. 236–245, 2024, doi: 10.46387/bjesr.1552661.

## Proje

1. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü YTUBAPK-FYL-2023-5681