

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE KALİTE, ENERJİ  
VERİMLİLİĞİ VE MODELLEME**

Elektrik Müh. Serhat ÖZENÇ

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Yrd. Doç. Dr. Adem ÜNAL

İSTANBUL, 2007

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE KALİTE, ENERJİ  
VERİMLİLİĞİ VE MODELLEME**

Elektrik Müh. Serhat ÖZENÇ

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:**

Yrd. Doç. Dr. Adem ÜNAL

*A. Ünal*

**Jüri Üyesi:**

Doç. Dr. Osman KILIÇ

*O. Kılıç*

**Jüri Üyesi:**

Yrd. Doç. Dr. Nazmi EKREN

*N. Ekren*

İSTANBUL, 2007

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ.....	1
ÖZET .....	2
ABSTRACT .....	3
1. GİRİŞ.....	4
2. AYDINLATMA SİSTEMLERİ .....	6
2.1 Işık kaynakları .....	6
2.1.1 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim).....	7
2.1.2 Işıksal Güç .....	8
2.1.3 Ömür .....	9
2.1.4 Lümen Kararlılığı (LLD).....	11
2.1.5 Renksel Özellikler .....	12
2.1.6 Isıl Faktörler .....	15
2.1.7 Boyut .....	16
2.1.8 Yanma Konumu.....	17
2.1.9 Devre Yapısı .....	18
2.1.10 Şebeke Hassasiyeti .....	19
2.1.11 Ateşleme ve Rejim Süreci .....	21
2.1.12 UV-IR Işınımalar .....	23
2.2 Balastlar .....	24
2.2.1 Manyetik Balast Devreleri.....	25
2.2.1.1 Enerji Kayıpları .....	26
2.2.1.2 Termal Yapı ve Çalışma Ömrü.....	28
2.2.1.3 Isıl Koruma .....	30
2.2.1.4 Tolerans Değerleri .....	32
2.2.1.5 İzolasyon yapısı .....	33
2.2.1.6 Ses Faktörü .....	33
2.2.1.7 Gerilim kademesi.....	33
2.2.2 Elektronik Balastlar .....	34
2.2.2.1 Ömür ve Etkin Faktörler.....	34
2.2.2.2 Ateşleme Yapıları .....	39
2.2.2.3 Enerji Sınıfları .....	40
2.2.2.4 Güvenlik Fonksiyonları ve Elektriksel Değerler .....	41

2.2.2.5	Dimmerlenebilirlik .....	41
2.2.2.6	Çalışma Gerilimi.....	41
2.2.3	Elektronik Balastların Avantajları .....	42
2.3	Transformatörler .....	47
2.3.1	Manyetik ve Elektronik Transformatörlerin Dimmerlenebilirliği.....	47
2.3.2	Elektronik Transformatörler .....	48
2.3.3	Elektromanyetik Transformatörler .....	49
2.4	Ateşleyiciler .....	50
2.4.1	Ateşleme gerilimleri .....	50
2.4.2	Ateşleyici Tipleri .....	50
2.4.2.1	Superimposed (Seri Tip).....	50
2.4.2.2	Pulse Ateşleyiciler .....	51
2.4.2.3	Ani Ateşleyiciler .....	52
2.4.3	Yük Kapasitansı.....	53
2.4.4	Ses Faktörü .....	53
2.4.5	Arıza Koşulları .....	54
2.4.6	Otomatik Kesme .....	54
2.4.7	Dijital Ateşleme Tekniği .....	55
2.4.8	Ömür .....	57
2.5	Kapasitörler .....	58
2.5.1	Kapasitör Tipleri.....	58
2.5.1.1	IEC 61048-A2 uyumlu A tipi Kapasitörler (kontak kesicisiz) .....	59
2.5.1.2	IEC 61048 A2 uyumlu B tipi Kapasitörler (kontak kesicili).....	59
2.5.2	Kullanım Alanları .....	61
2.5.3	Yük Değişimi.....	61
2.6	Duyular .....	62
2.7	Armatürler .....	64
2.7.1	Optik Yapı .....	64
2.7.1.1	Fotometrik Eğri.....	64
2.7.1.2	Optik Verim .....	65
2.7.1.3	Işık Dağılım Karakteristiği .....	66
2.7.2	IP Sınıfları ve Gereklilikleri .....	67
2.7.3	Elektriksel güvenlik .....	69
2.7.4	Termal Tasarım.....	69
3.	VERİMLİLİK YAKLAŞIMLARI ve MODELLEMELER .....	72
3.1	Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Kayıplar .....	72
3.1.1.1	Etkinlik Farklılıkları .....	74
3.1.1.2	Lümen Kararlılığı (LLD).....	76
3.1.1.3	Işıksal Güç .....	78
	Işıksal Güç ile İlgili Sayısal Örnek.....	78
3.1.2	Elektriksel Ekipman Kayıpları .....	85
3.1.3	Armatür Yapıları ve Verimliliği Etkiyen Faktörler .....	88
3.1.3.1	Optik Verimlilik .....	88
3.1.3.2	Işıksal Dağılım Uygunluğu.....	89
	Uygulama -1 .....	89
	Uygulama -2 .....	93

3.1.3.3	Armatür Kirlenme Faktörü (LDD) .....	97
3.1.4	İç Yüzey Kayıpları.....	99
3.2	Bakım ve Yenilemenin Sistem Verimliliği Üzerine Etkisi .....	113
3.3	Kontrol Sistemleri.....	116
3.3.1	Dimmerleme .....	116
3.3.2	Güç Anahtarlamaı .....	117
	Kademeli Aydınlatmaya İlişkin Örnek Uygulama .....	123
3.4	Projelendirme ve Modelleme.....	131
4.	SONUÇLAR.....	133
	KAYNAKLAR.....	134
	ÖZGEÇMİŞ.....	135

## SİMGE LİSTESİ

$\emptyset$	Işık akısı [lm]
$P$	Elektriksel güç [W]
$V_m$	Şebeke gerilimi [V]
$\gamma$	Gama açısı [derece]
$\lambda$	Hata oranı
$t$	Süre (saat)
$tw$	Sargı sıcaklığı [°C]
$k$	Isı iletim çarpanı [W/m <sup>2</sup> .K]
$R_t$	Çalışan balast oranı
$ta$	Çevre sıcaklığı [°C]
$tc$	Gövde sıcaklığı [°C]
$\Delta t$	Isı farkı [°C - Kelvin]
$R_1$	Soğuk sargı sıcaklığı
$R_2$	Sıcak sargı sıcaklığı
$t_2$	Soğuk sargı sıcaklığı ölçümü esnasındaki çevre sıcaklığı
$t_1$	Sıcak sargı sıcaklığı ölçümü esnasındaki çevre sıcaklığı
$t_c$	Bakır sıcaklığı
$R_c$	Renk sıcaklığı [Kelvin]
$R_a$	Renksel geriverim indeksi
$T_1$	Kabin iç sıcaklığı (°C)
$T_U$	Kabin çevre sıcaklığı (°C)
$P_s$	Kabin yüzeyinin radyasyon (ışınım) gücü (W)
$A$	Toplam kabin yüzeyi
$k$	Kabin materyalinin ısı iletim çarpanı

## KISALTMA LİSTESİ

Lm	Lümen
LLD	Lamp Lumen Depreciation (Lümen kararlılığı)
LDD	Luminaire Dirt Depreciation (Armatür değer düşümü)
HID	High Intensity Discharge (Yüksek yoğunluklu deşarj)
UV	Ultraviolet (Morötesi)
IR	Infrared (Kızılötesi)
EEl	Energy Efficiency Index (Enerji etkinliği indeksi)
VDE	Verband Der Elektrotechnik elektronik informastionstechnik
THD	Total Harmonic Distortion (Toplam harmonik distorsiyon)
PF	Power Factor (Güç faktörü)
SH	Self Healing (Kendinden iyileştirme özelliği)
IP	Ingress Protection (Koruma sınıfı)
PA	Polyamide (Poliamit)
PC	Polycarbonate (Polikarbon)
PBT GF	Polybuteneterephtalate glass fibre reinforced (Cam elyaf katkılı polibüretan-PBT)
PET GF	Polyethyleneterephthslate, glass fibre reinforced (Cam elyaf katkılı PET)
PPS	Polyphenol sulphide
LCP GF	Liquid crystal polymer , glass fibre reinforced (Cam elyaf katkılı sıvı kristal polimer)
DALI	Digital Addresable Lighting Interface (Dijital adreslenebilir aydınlatma arayüzü)
EMC	Electromagnetic Compability (Elektromanyetik uyumluluk)
A.B.	Alçak Basınçlı
Y.B.	Yüksek Basınçlı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Işık kaynakları .....	6
Şekil 2.2 Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri [5] .....	7
Şekil 2.3 Bazı ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri [5].....	8
Şekil 2.4 Ekonomik ömür .....	9
Şekil 2.5 Servis ömrü .....	10
Şekil 2.6 Servis ömrünün anahtarlama ve elektriksel eleman yapısına bağlı değişimi [6] .....	11
Şekil 2.7 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba (E40) için lümen kararlılığı [5] .....	12
Şekil 2.8 Yüksek basınçlı civa buharlı lamba için lümen kararlılığı [5] .....	12
Şekil 2.9 Renk sıcaklığı .....	14
Şekil 2.10 Bazı ışık kaynaklarının spektral özellikleri .....	14
Şekil 2.11 T5 ve T8 ışık kaynaklarının ısı ışık ilişkisi [6].....	15
Şekil 2.12 Amalgam destekli kompakt floresan için rejime ve sıcaklık karakteristiği [8].....	16
Şekil 2.13 T12 – T8 ve T5 ışık kaynaklarına ait boyutlar [6] .....	17
Şekil 2.14 Metal halide ışık kaynaklarında boyut farklılıkları [5] .....	17
Şekil 2.15 Yanma konumu sembolizasyonu .....	18
Şekil 2.16 Şebeke gerilimindeki değişimlerin ışıksal ve elektriksel değerler üzerine etkileri [9] (a) Civa-Buharlı (b) Metal-Halide (c) Alçak Basınçlı Sodyum (d) Yüksek Basınçlı Sodyum .....	21
Şekil 2.17 Rejime girme karakteristikleri [9] (a) Y.B. civa (b) A.B. sodyum .....	23
Şekil 2.18 Amalgam destekli kompakt floresan için rejime girme süreci [8]. .....	23
Şekil 2.19 IR ve UV ışık kaynaklarına örnek [5] .....	24
Şekil 2.20 Ampul- balast karakteristiği .....	25
Şekil 2.21 Manyetik balast devreleri [11] a) HID b) Floresan .....	25
Şekil 2.22 Farklı boyutlardaki manyetik balast devreleri [11] .....	26
Şekil 2.23 Balast ömrünün sargı sıcaklığına bağlı değişimi [9].....	29
Şekil 2.24 Lamba akımı ve gerilimindeki doğrultma etkisi .....	31
Şekil 2.25 Termal kesme devreleri .....	32
Şekil 2.26 Termal korumalı ve termal korumasız balastların anormal koşullardaki çalışma karakteristikleri [9].....	32
Şekil 2.27 Elektronik balast ömür ve hata karakteristikleri [6].....	36
Şekil 2.28 Hata oranının tc değerine bağlı değişimi [6].....	37
Şekil 2.29 Balast ömrünün tc sıcaklık değerlerine bağlı değişimi [6].....	37
Şekil 2.30 Sabit çıkışlı elektronik floresan balast devresinin gerilim-ışık karakteristiği [6] ...	42
Şekil 2.31 Sabit çıkışlı elektronik balast devresinin gerilim ışık çıkışı karakteristiği [6].....	43
Şekil 2.32 Floresan devrelerinde elektronik ve manyetik balast devrelerinin kıyaslanması..	45
Şekil 2.33 Elektronik ve manyetik balastlar için ağırlık kıyaslaması.....	46
Şekil 2.34 Elektronik balastlar [11].....	47
Şekil 2.35 Bazı düşük gerilimli halojen ışık kaynakları [5] .....	47
Şekil 2.36 Dimmerleme uyumluluğu .....	48
Şekil 2.37 Kısa devre koruma sembolizasyonu.....	49
Şekil 2.38 Örnek ani ateşleme devresi [11].....	52
Şekil 2.39 Ani ateşlemeye uygun duy yapıları Rx7s, Fc2, K12s-7 [10] .....	52
Şekil 2.40 Dijital kontrollü ateşleme örneği [10] .....	56
Şekil 2.41 Dijital ateşleme modeli – İlk çalışma [10] .....	56
Şekil 2.42 Dijital ateşleme modeli – Sıcak ateşleme [10].....	57
Şekil 2.43 Dijital ateşleme modeli – Tekrar sıcak ateşleme [10].....	57
Şekil 2.44 Sıcaklığın ateşleyici devreleri üzerine etkileri [9].....	58
Şekil 2.45 Termal korumalı kapasitör devresindeki termik anahtar yapısı .....	59
Şekil 2.46 Kontak kesme özellikli kapasitör devre yapısına örnek [10] .....	60

Şekil 2.47 Aydınlatma sisteminin lamba gerilimine bağlı yük değişimi [9].....	62
Şekil 2.48 Farklı duyu yapıları .....	62
Şekil 2.49 Fotometrik eğrilerde eksen tanımlamaları [14].....	65
Şekil 2.50 Örnek bant tipi tekli armatür ve fotometrik özellikleri .....	65
Şekil 2.51 Işık dağılım özellikleri [14].....	66
Şekil 2.52 Farklı yapıdaki armatürlere ait ışık dağılım karakteristikleri.....	67
Şekil 3.1 Farklı ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri [5].....	74
Şekil 3.2 Aynı güçteki ışık kaynaklarının ışıksal güç farklılıklarına ilişkin örnekler [5] .....	74
Şekil 3.3 Modellemede kullanılan direk ışık dağılımlı armatür (2x58W).....	75
Şekil 3.4 Modelleme sonuçları a)58W/765 b) 58W/865.....	75
Şekil 3.5 765 ve 865 renk kodlu 58W T8 ışık kaynakları için lümen kararlılığı grafikleri [6] a) 765 b) 865 .....	76
Şekil 3.6 Aydınlatma sisteminde sadece lümen kararlılığı sebebiyle görülen zamana bağlı değişim.....	77
Şekil 3.7 Devre gücüne bağlı verimlilik değişimi .....	78
Şekil 3.8 Örnek modele ilişkin geometrik yapı ve 3D modeller .....	79
Şekil 3.9 14W ve 24W T5 ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri .....	80
Şekil 3.10 kullanılan armatür modellerinin ışık dağılım karakteristikleri [17].....	81
Şekil 3.11 3x14W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği .....	82
Şekil 3.12 4x14W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği .....	82
Şekil 3.13 3x24W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği .....	83
Şekil 3.14 4x24W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği .....	83
Şekil 3.15 Balast kayıplarının toplam sistem gücüne oranı – T8 floresan [12].....	85
Şekil 3.16 Balast kayıplarının toplam sistem gücüne oranı – Kompakt floresan [12].....	86
Şekil 3.17 Manyetik balast – elektronik balast enerji tüketim değerlendirmesi.....	87
Şekil 3.18 Manyetik balast – elektronik balast enerji tüketim değerlendirmesi-2 .....	87
Şekil 3.19 Optik yapı – verimlilik değerlendirmesi [17].....	88
Şekil 3.20 Uygulama-1 genel modeli (tabela uygulaması).....	89
Şekil 3.21 Örnek tabela uygulamasında kullanılan armatür yapıları ve ışıksal karakteristikleri [19] (a) 400W simetrik projektör (b) 150W rotasyonel projektör .....	90
Şekil 3.22 Uygulama sonuçları a) Model-1 (2 Adet 400W simetrik projektör) b) Model-2 (2 Adet 150W Rotasyonel projektör).....	91
Şekil 3.23 Yardımcı paneller .....	91
Şekil 3.24 Kaçak ışık oranlarını gösteren sonuçlar a) Model-1 (2 Adet 400W simetrik projektör) b) Model-2 (2 Adet 150W rotasyonel projektör).....	92
Şekil 3.25 Uygulama-2 genel modeli (iç mekan uygulaması).....	93
Şekil 3.26 Modellerde kullanılan armatürler ve ışık dağılım karakteristikleri a) Tip-1 dar ışıksal dağılıma sahip armatür yapısı b) Tip-2 Geniş ışıksal dağılıma sahip armatür yapısı.....	94
Şekil 3.27 Aygıt tipi-1 'e ilişkin 3D model .....	95
Şekil 3.28 Aygıt tipi-2 'ye ilişkin 3D model .....	95
Şekil 3.29 Aygıt tipi-1 'e ve aygıt tipi-2'ye ilişkin 3D modeller .....	96
Şekil 3.30 Aygıt tipi-1 'e ve aygıt tipi-2'ye ilişkin değerler[17].....	97
Şekil 3.31 Uygulamada kullanılan geometrik modeller .....	100
(a) 1 birim alan (19,44 m <sup>2</sup> ) (b) 4 birim alan (77,76 m <sup>2</sup> ) (c) 16 birim alan (311,04 m <sup>2</sup> ).....	100
Şekil 3.32 Modellerle ilişkin yansıtma çarpanları .....	101
Şekil 3.33 Kullanılan armatürlerin ışık dağılım özellikleri [17] (a) Direk (b) Genel yayınlık (c) Endirek.....	101
Şekil 3.34 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü.....	102
Şekil 3.35 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma	

faktörü .....	103
Şekil 3.36 Sonuçlar a)Yüksek yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü.....	104
Şekil 3.37 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	105
Şekil 3.38 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	106
Şekil 3.39 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	107
Şekil 3.40 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	108
Şekil 3.41 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	109
Şekil 3.42 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü .....	110
Şekil 3.43 Direk dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtmalarına bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks) .....	111
Şekil 3.44 Endirek dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtmalarına bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks) .....	111
Şekil 3.45 Genel yayınlık dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtmalarına bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks).....	112
Şekil 3.46 Kirli ortam koşullarında armatürlerde görülen değer düşümünün bakım periyoduna bağlı değişimi [1] .....	114
Şekil 3.47 Bakım periyoduna bağlı kurulu güç değişimi (IP2X) .....	115
Şekil 3.48 Bakım periyoduna bağlı kurulu güç değişimi (IP5X armatür).....	115
Şekil 3.49 Örnek proje .....	119
Şekil 3.50 Güç anahtarları kontrol yapıları [10].....	120
Şekil 3.51 Kış döneminde uygulama süreci .....	121
Şekil 3.52 Yaz döneminde uygulama süreci .....	121
Şekil 3.53 Sayısal sonuçlar .....	121
Şekil 3.54 Kablosuz, enerji hattı üzerinden haberleşebilen sistem yapısına örnek [21] .....	122
Şekil 3.55 Sistem bileşenleri .....	123
Şekil 3.56 Sistem genel yapısı [21] .....	123
Şekil 3.57 Genel model ve uygulama planı .....	124
Şekil 3.58 Uygulama planı .....	126
Şekil 3.59 Uygulama modeli ve aydınlık seviyesi skalası.....	127
Şekil 3.60 Aydınlık seviyeleri (Saat 20:00) .....	127
Şekil 3.61 Aydınlık seviyeleri (Saat 00:00) .....	128
Şekil 3.62 Aydınlık seviyeleri (Saat 01:00) .....	128
Şekil 3.63 Aydınlık seviyeleri (Saat 02:00) .....	129
Şekil 3.64 Enerji tüketim ve tasarruf oranları.....	130

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri .....	7
Çizelge 2.2 Renk kodu etkinlik faktörü ilişkisi .....	7
Çizelge 2.3 Güç etkinlik faktörü ilişkisi .....	8
Çizelge 2.4 Renksel geriverim sınıflandırması .....	13
Çizelge 2.5 Işık kaynaklarına ait renk sıcaklığı ve renksel geriverim değerleri [4] .....	14
Çizelge 2.6 HID sistemlerde balast kayıp oranları [10] .....	26
Çizelge 2.7 EEI sınıflandırması [12] .....	27
Çizelge 2.8 TC-D ve TC-DE ışık kaynakları için EEI sınıflandırması [12] .....	28
Çizelge 2.9 (T26) Lineer Fluoresan devreleri için EEI sınıflandırması [12] .....	28
Çizelge 2.10 Bakır sargı izolasyon sınıfları [10] .....	29
Çizelge 2.11 Dimmerlemenin tc ve hata oranları üzerine etkisi [6] .....	38
Çizelge 2.12 T5 ışık kaynaklarına ilişkin EEI sınıflandırması [12] .....	40
Çizelge 2.13 T5 ışık kaynaklarına ilişkin EEI sınıflandırması [12] .....	40
Çizelge 2.14 Bakır sarımlara ilişkin izolasyon sınıfları [10] .....	49
Çizelge 2.15 Seri tip ateşleyici devrelere ait iç kayıplar [10] .....	51
Çizelge 2.16 Seri ateşleyici yapılarında gürültü seviyeleri [10] .....	54
Çizelge 2.17 Gerilim değerinin servi ömrü üzerine etkisi [10] .....	60
Çizelge 2.18 Kapasitör tiplerinin kullanım alanları [10] .....	61
Çizelge 2.19 Duy yapılarında kullanılan materyaller [10] .....	63
Çizelge 2.20 İç iletken olarak kullanılan materyal yapıları [10] .....	63
Çizelge 2.21 IP tanımlama tablosu .....	67
Çizelge 3.1 Sistem değerlendirme .....	80
Çizelge 3.2 Sonuç değerlendirme tablosu .....	84
Çizelge 3.3 Kademeli aydınlatmaya ilişkin ışıksal ve elektriksel değerler .....	118
Çizelge 3.4 Uygulama sonuçları .....	119

## ÖNSÖZ

Etkin enerji ve kaynak kullanımı mühendislik ve tasarım bilimlerinin her dönem en popüler konu başlıklarından biri olmuştur. Verim konusu elbette ki sadece enerjinin kullanım boyutu için geçerli bir kavram değildir. Bu noktada tüm kaynakların daha verimli kullanılması ve teknik yeterlilik konuları da verimlilikle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilidir. Bu nedenle de kalite ve teknik yeterlilik kavramları da verimlilik konusundan bağımsız olarak düşünülemeyecektir.

Enerji kullanımının her alanında etkin enerji kullanımına yönelik yapılan yaklaşımlar aydınlatma sistemleri için de aynı önemi ve güncelliği taşımaktadır. Bu aşamada ulusal ve uluslararası kuruluşların direktifleri ve yeni teknolojilerin genel trendi bu yöndeki eğilimin göstergesidir. Fakat tüm bu yaklaşımlara rağmen çoğu zaman uygulama aşamasındaki hatalar, çevresel ve ekipman karakteristiklerinin iyi etüt edilememesi ve zamanla görülen kayıpların değerlendirilememesi bu yöndeki kayıpların çok yüksek seviyelerde gerçekleşmesine neden olabilmektedir.

Bu tezin hazırlık sürecinde ve kişisel gelişimim de desteklerini esirgemeyen hocalarım Dr. Adem ÜNAL ve Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, akademik ve mesleki araştırmalarımla ilgili desteklerinden dolayı sayın. Suha CEM'e, teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Aydınlatma sistemleri ışık kaynağından elektriksel ekipmanlara, optik tasarımdan modellemeye, kontrol çözümlerinden bakım ve yenileme konularına kadar birçok konu başlığını bünyesinde barındıran geniş bir değerlendirme alanına sahiptir. Sistem tasarımı bütün bu konu başlıklarını içereceğinden tasarımcının tüm detaylara ve bu detayların sistem üzerine etkilerine hakim olması gerekmektedir.

Aydınlatma sistemleri konusunda iyi bir tasarımcı olabilmenin temelinde malzeme bilgisinin yanı sıra uygulama ve ekipmana ait parametrelerin ve sistem üzerine etkilerinin iyi bilinmesi yatmaktadır. Verimlilik en basit anlamıyla bir ekipman ya da ekipmanların meydana getirdiği sistemlerin etkinlik faktörü olarak tanımlanabilir. En basit sistemlerde bile sistem verimliliği tek bir parametreye bağlı olarak değişim göstermeyecek ve parametrik etkilerin sonuçları diğer faktörlerin etkilerine göre büyük farklılıklar gösterebilecektir. Özellikle aydınlatma sistem bileşenleri arasında büyük boyutlarda kalite ve verimlilik farklılıkları görülebilmektedir. Genel olarak güncel teknolojilerin tamamı daha verimli ve daha uzun ömürlü bir altyapı kurulmasına yönelik olarak gelişim göstermektedir. Bu nedenle de kalite ve verimlilik konularının ön planda olduğu uygulamalarda güncel teknolojilerin yer alması kaçınılmaz olacaktır.

Verimli bir sistem alt yapısının beraberinde uzun ömürlü bir alt yapı kurulumunun temelinde ekipmanların çevresel uyumlulukları ve kaliteleri de büyük önem taşıyacaktır. Bu konu sistem verimliliğinin sürekliliğinin sağlanması konusundaki en temel faktördür. Verimliliğin sürekliliği zaman, çevresel ve diğer faktörlerin etkilerine bağlı olarak büyük farklılık gösterebilmektedir. Verimlilik konusu içerisinde elbette ki kayıplar ve tasarruf konuları da yer almaktadır. Bakım ve yenileme konularında yapılacak yaklaşımlar sonucu bu noktada görülen kayıpların minimize edilmesi ve sonuç olarak daha verimli ve uzun ömürlü bir altyapı kurulması mümkün olabilecektir. Kontrol sistemleri ve tasarruf konuları da tasarımın önemli ana maddelerindedir. Fakat doğru sistem tasarımının ilk aşamasını verimli bir alt yapı kurulumu oluşturmaktadır. Tasarruf ancak verimli bir sisteme yönelik tüketimin sınırlanması amacıyla kullanıldığı zaman bir anlam taşıyacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Aydınlatma sistemleri, enerji verimliliği, kalite, bakım

**ABSTRACT**

Lighting systems have a large field of evaluation in several terms from light sources to electrical equipments, from optical designing to modeling, from control solutions to maintenance and renewing. The designer should be aware of all the details and the effects of these details on the system since system design covers all of these topics.

To be a good designer of lighting systems, a great knowledge is necessary on equipment and material sciences as well as the equipment parameters and their effects on the overall system. Basically, efficiency can be explained as the efficacy factor of equipment or systems including several equipments. Even in the simplest system, efficiency is not a function of a sole parameter and the results of parametric effects may vary according to the effects of other factors. Especially in lighting systems, there exist great differences among the components. Generally, up-to-date technologies are developed to build more efficient and long life infrastructures. Hence, applications with regard to the quality and efficiency will include up to date technologic trends.

The peripheral compability and quality of components play an important role on the long lived and efficient system infrastructures. This issue is the most fundamental factor to provide the sustainability of the system efficiency. The sustainability of the efficiency may vary according to the duration of operation, peripheral and other factors. The topic of efficiency absolutely includes the loss and saving issues. Maintenance and renewing approaches losses can be minimized resulting in a more efficient and long-lived infrastructures. Control systems and saving issues are also the basic items of designing. However, the first step to build an efficient system is to create an efficient infrastructure. Saving issues are valuable if only they are used to limit the consumption of an efficient system.

**Key words:** Lighting systems. Energy efficiency, quality and maintenance

## 1. GİRİŞ

Aydınlatma sistemlerinin tasarımındaki en temel 3 değer kalite, verimlilik ve yeterlidir. Verimlilik en temel anlamıyla enerjinin etkin kullanımını incelemektedir ve her dönem mühendislik biliminin en popüler konu başlıklarından biri olmuştur. Bu noktada kalite ve yeterlilik konularının da belirli ölçüde verimliliği etkilediği ve verimliliğin sistem ömrü kaynak kullanımı ve teknik yeterlilik konularıyla da doğrudan alakalı olduğu unutulmamalıdır. Kalite konusu sistem ömrünü dolayısıyla kaynak kullanımı ve işletme bakım giderleri gibi çoğu zaman planlanmayan tüketim alanları üzerine etkimektedir. Yeterlilik konusu bu noktada ilgili uygulamanın teknik açıdan uygunluğunu değerlendirecektir. Amacına ulaşmamış bir uygulamada yapılan tasarruf ve verimli bir alt yapının da değeri olmayacaktır. Modelleme süreci bu aşamada yeterliliğin değerlendirilmesinde ve ileri analizlerin gerçekleştirilmesinde önem taşıyacaktır.

Aydınlatma sistemleri sadece bir armatür yapısında çok daha ötede birde fazla bileşenden meydana gelen ve çevresel ve teknik parametrelere bağlı olarak performans farklılıkları gösterebilen önemli bir konu başlığıdır. En basit sistemlerde bile sistem verimliliği tek bir parametreye bağlı olarak değişim göstermeyecek ve parametrik etkilerin sonuçları diğer faktörlerin etkilerine göre büyük farklılıklar gösterebilecektir. Bu noktalarda görülen farklılıklar bu konuyu çok daha önemli hale getirmektedir.

Her ne kadar yeni teknolojilerin pahalı olduğu düşünülse de enerji tüm değerlerden daha pahalı olabilmektedir. Bu nedenle kurulum maliyetlerinden ziyade işletme maliyetlerine bakmak daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Genel bir değerlendirme yapıldığında bir aydınlatma sisteminin yıllık enerji tüketiminin çoğu zaman sistemin kurulum bedelinin çok daha üstünde gerçekleştiği görülmektedir. Bu da ekonomik değerlendirmelerin enerji ve işletme giderleri baz alınarak gerçekleştirilmesi zorunluluğunun bir göstergesidir.

Kayıplar zamana, çevresel koşullara ve uygulama yapısına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilecektir. Elbette ki zamanla görülen kayıpların malzeme karakteristiğinin iyi bilinmesi ve uygun bakım altyapısının oluşturulması ile minimize edilmesi mümkündür. Bu noktada yapılacak yaklaşımların kurulum, işletme ve dönemsel ekipman giderleri konusunda artı değer oluşturacağı unutulmamalıdır.

Kontrol sistemleri aydınlatma sistemlerine yönelik verimlilik yaklaşımlarının en son aşamasıdır. Ancak verimli bir alt yapıya sahip uygulamada yapılacak tasarruf yaklaşımları tam anlamıyla bir değer taşıyacaktır. Tasarruf denilince akla ilk gelen teknik yeterlilikten

feragattir. Oysaki yeterliliği olmayan bir oluşunun etkinliğinden bahsedilemez ya da yeterlilikleri eşdeğer olmayan sistemlerin etkinlikleri karşılaştırılmaz.

Aydınlatma sistemleri birçok bileşen ve faktörden meydana geldiği ve belirli ölçüde tasarımın da söz konusu olduğu bir uygulama olduğundan projelendirme ve mühendislik yaklaşımlarının da büyük faktörü olabilmektedir. Modelleme ve analiz sürecinde güncel analiz ve hesaplama yazılımlarının sunduğu avantajlar verimlilik ve yeterlilik yaklaşımlarının yapılması konusunda tasarımcıya ilgili doneleri fazlasıyla sağlayabilmektedir. Elbette ki tüm tasarım sürecinin yazılım destekli olması düşünülemez. Bu noktada tasarımın büyük bir bölümünde yazılımların sunmuş olduğu çözüm ve değerlendirmelerin yetersiz kalması durumunda yapılacak yaklaşımlar da büyük önem taşıyacaktır.

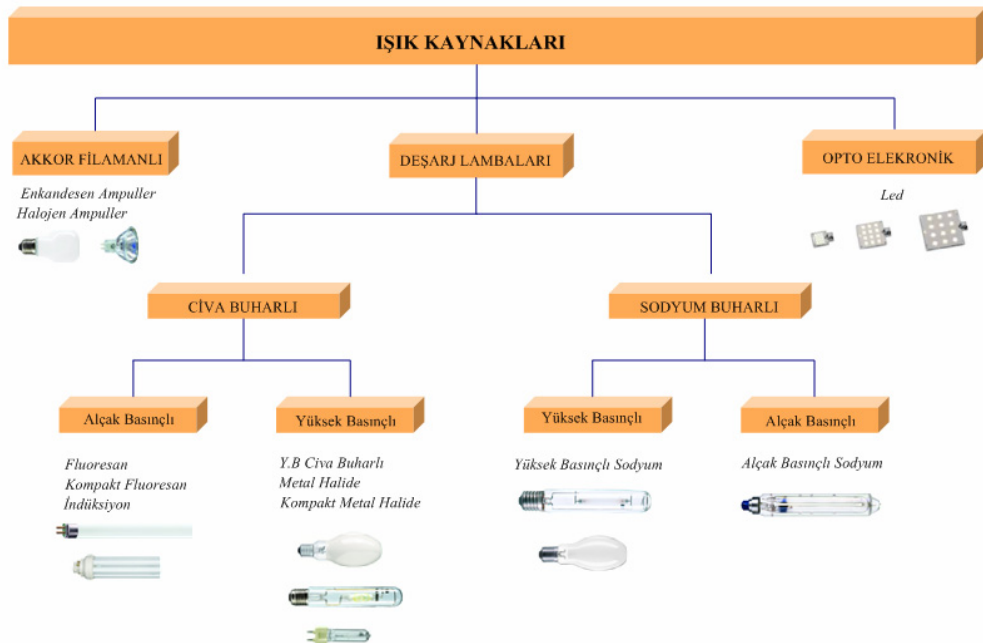
Genel olarak hiçbir aydınlatma yazılımı bir aydınlatma sistemini tamamen karakterize edememektedir. Bu noktada yazılım programlarının öncelikli olarak değerlendirmeye aldığı konu başlığı teknik yeterlilik olmaktadır. Oysaki tasarımın diğer yarısı da verimlilik ve kalite konularından ibaret olmaktadır. Modern yazılım çözümleri her ne kadar bakım yenileme ve işletme giderleri konusunda da tasarımcıya belirli boyutta done sağlasa da bu verilerin ne oranda tatmin edici olduğu tartışma konusudur. Bakım ve değer düşün konularındaki sayısal belirlemelerde tüm yazılımlar CIE [1] ve IESNA [2] gibi oluşumların genel yaklaşımlarını referans alarak değerlendirmeleri yapmaktadır. Oysaki bu yaklaşımlar genel bir değerlendirme sağlamakla birlikte aydınlatma sektörünün sunmuş olduğu güncel teknolojileri aynı hızda takip edememektedir. Zaten mevcut yapı bileşen çeşitliliği düşünıldüğünde böyle bir yapının kurulması da mantıksız olacaktır. Bu nedenle özellikle değer düşün, genel işletme giderleri ve benzeri değerlerin tespit ve genel değerlendirmelerinin yapılmasında tüm yaklaşımların tasarımcı tarafından değerlendirilmesi gerekmektedir. Elbette ki bu noktadaki tespitlerin doğru yapılabilmesi için tasarımcının tüm sistem bileşenlerinin teknik karakteristiklerini bilmesi ve ilgili boyutta değerlendirebilecek yetkinliğe sahip olması gerekmektedir [3].

## 2. AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Aydınlatma sistemleri ışık kaynağından elektriksel ekipmanlara, optik tasarımdan modellemeye, kontrol çözümlerinden bakım ve yenileme konularına kadar birçok konu başlığını bünyesinde barındıran geniş bir değerlendirme alanına sahiptir. Sistem tasarımı bütün bu konu başlıklarını içereceğinden tasarımcının tüm detaylara ve bu detayların sistem üzerine etkilerine hakim olması gerekmektedir. Bu nedenle de malzeme bilgisinin ötesinde ışık kaynaklarının, elektriksel bileşenlerin ve optik malzemenin genel performans ve tercih kriterlerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle de öncelikli olarak bu ana bileşenlerin genel tercih kriterleri incelenmiş, verimlilik ve kayıplar konu başlığı altında da bu faktörlerin etkileri değerlendirilmiştir [3].

### 2.1 Işık kaynakları

Işık kaynağı, görünür bir ışınım üretmek üzere tasarlanmış cihaz olarak tanımlanmaktadır. Uygun bir tasarım için öncelikle ortam ihtiyaçları ve geometrisini iyi analiz edip, ışık rengi, renksel geri verim, lamba verimi, lamba ömrü, cihaz boyutları, bakım\_kurulum gibi birçok teknik ve ekonomik parametreyi göz önünde bulundurarak, doğru ışık kaynağını tercih edilmesi gerekir. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinin kalbini oluşturan bu ekipmanlara ilişkin değerlendirme ve kıyaslamaların yapılabilmesi için bu parametrelerin ve kalite-verimlilik değeri üzerine etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir [4].



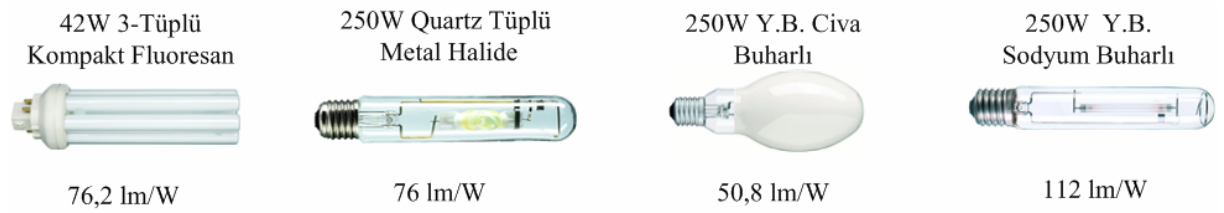
Şekil 2.1 Işık kaynakları

### 2.1.1 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim)

Bir lambadan yayımlanan ışık akısının, kaynağın harcadığı güce bölünmesi ile elde edilen değer, lambanın etkinlik faktörü olarak tanımlanır. Lambanın ışıksal verimliliğini lm/w cinsinden ifade eden bu parametre verimlilik konusunda öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken en temel kriter olmalıdır [4].

Çizelge 2.1 Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri


LAMBA TÜRÜ	ETKİNLİK FAKTÖRÜ lm/w
Akkor Lambalar	8 - 16
Halojen Lambalar	12 - 26
Floresant Lambalar	45 - 100
YB Civa Buharlı Lambalar	36 - 70
Metal Halide Lambalar	71 - 98
YB Sodyum Buharlı Lambalar	66 - 142
AB Sodyum Buharlı	100 - 198




Şekil 2.2 Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri [5]

Aynı tip ve yapıdaki ışık kaynaklarında dahi kullanılan üretim tekniğine ve üreticinin teknolojisine bağlı olarak farklılık görülebilmektedir. Bu nedenle standartlaşmış ürün grupları dışındaki ışık kaynaklarına ilişkin değerlendirmeler yapılırken üreticilerin teknik verileri kontrol edilmelidir Genel olarak aynı modeldeki ışık kaynaklarının farklı güçteki versiyonları için farklı ışıksal etkinlik değerleri gözlemlenebilmektedir. Bu noktada tercihler ve tespitler yapılırken bu kriterde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu konuyla ilgili olarak çizelge 2.2 ve çizelge 2.3 iyi birer referans olacaktır.

Çizelge 2.2 Renk kodu etkinlik faktörü ilişkisi

	Renksel Kodu	Işıksal Gücü	Etkinlik Faktörü
 T8 Lineer Floresan 58W	765 (54)	4000 lm	69 lm/W
	865	5000 lm	86 lm/W
	840	5200 lm	90 lm/W

Çizelge 2.3 Güç etkinlik faktörü ilişkisi

	Elektriksel Gücü	Işıksal Gücü	Etkinlik Faktörü
 T8 Lineer Fluoresan (840)	18 W	1200 lm	66.6 lm/W
	36 W	3350 lm	93.1 lm/W
	58W	5200 lm	89.6 lm/W

Her lamba modeli kullandığı ışığa şekline ve teknolojisine bağlı olarak farklı ışıksal verime sahiptir. Bununla birlikte

- Dış ortam ısısı,
- Balast özellikleri,
- Lambanın yanma konumu,
- Şebeke gerilimindeki değişimler,
- Kullanım süresi gibi etmenler lamba veriminde değişimlere neden olabilir.

Projelendirmede, ışık kaynağı tercihi yapılırken, istenilen şartları sağlayan en yüksek etkinlik faktörüne sahip olan kaynağı seçmek, sistemi verimli kılmak için yapılacak en temel kriterdir.

### 2.1.2 Işıksal Güç

Işık kaynakları model ve güçlerine bağlı olarak farklı boyutta ışık çıkışı sağlamaktadır. Bir ışık kaynağının ışıksal gücünün değerlendirilmesinde lümen (lm) ölçü birimi kullanılmaktadır. Bununla birlikte bazı kendinden reflektörlü ışık kaynaklarında parlaklık değerleri de verilebilmektedir. (Örn. Kendinden reflektörlü metal veya halojen ampuller) Fakat bu değerlendirme yapılırken ışık kaynağının ışık dağılım karakteristiğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ışıksal gücün değerlendirilmesinde lümen cinsinden ışık çıkışı değeri üzerinden bir kıyaslama yapmak daha kolay olacaktır.

36W Lineer Fluoresan (840)



3350 lm

93 lm/W

100W Klasik Akkor Lamba



1380 lm

13,8 lm/W

1000W  
Y.B. Sodyum Buharlı

130000 lm

130 lm/W

Şekil 2.3 Bazı ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri [5]

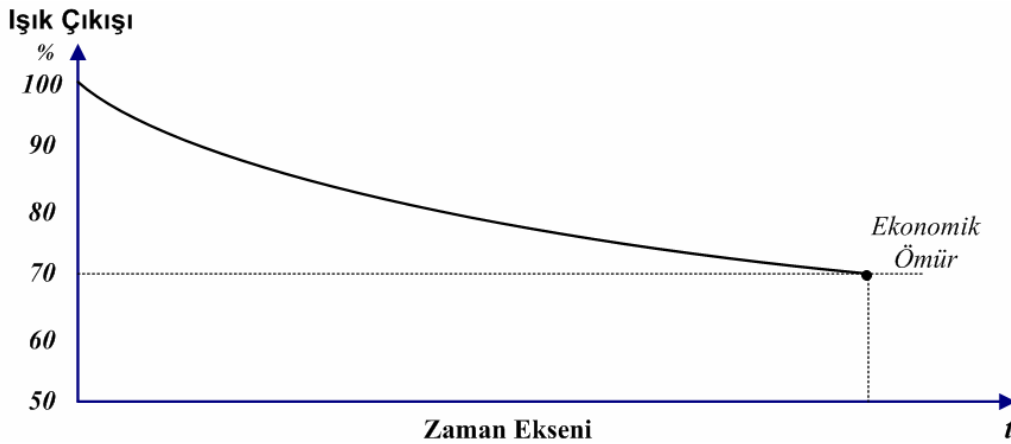
Özellikle büyük alanların aydınlatılmasında uygulamanın el verdiği sınırlar içerisinde (dağılım düzgünlüğü – kamaşma vs) mümkün olabildiğince en yüksek ışıksal güce sahip kaynakların kullanılması projelendirme maliyeti ve genel işletme giderleri açısından en ekonomik çözüm olacaktır. Tabii bu tercih yapılırken ışık kaynağının etkinlik faktörü yani verimliliği de göz ardı edilmemelidir.

### 2.1.3 Ömür

Lamba Ömrü, belirtilen standart çalışma koşullarında lambanın ortalama kaç saat kullanılabileceğini gösterir. Şebeke gerilimindeki aşırı dalgalanmalar, toz\_nem\_sarsıntı gibi olumsuz dış etmenler, açma kapama sıklığı ve ortam sıcaklığı lamba ömrünü olumsuz yönde etkileyen faktörler arasında sıralanabilir. Ayrıca lambayla birlikte kullanılan ateşleyici starter ve balast gibi elemanların kalite ve özellikleri lamba ömrü üzerine doğrudan etkilidir.

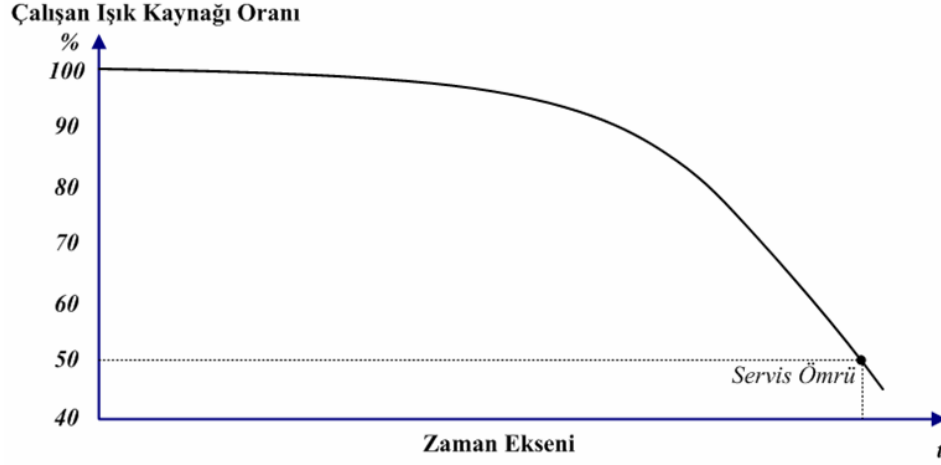
Lamba ömrü, belirtilen çalışma koşullarında ışık kaynaklarının kullanılabilirlik sürelerini göstermektedir. Bu noktada lamba ömrüne ilişkin olarak ekonomik ömür ve servis ömrü olmak üzere iki farklı tanım yapılmaktadır.

**Ekonomik ömür:** Işık kaynaklarının ışık çıkışlarında zamana bağlı olarak belirli bir azalma görüldüğünden ve bu azalmanın karakteristiğinin lümen kararlılığı olarak ifade edildiğinden bahsetmiştik. İşte bu ifadeden hatırlanan doğrultusunda bir ışık kaynağının ışıksal çıkışının % 70 oranına düştüğü süre ekonomik ömür olarak tanımlanmaktadır [6].



Şekil 2.4 Ekonomik ömür

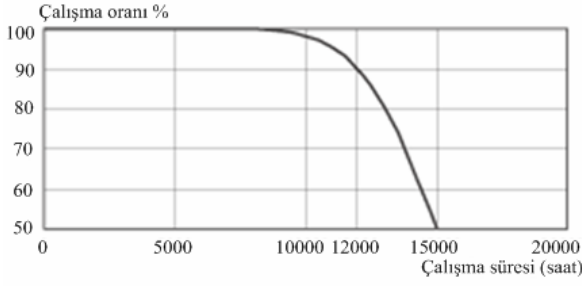
**Servis Ömrü:** söz konusu ışık kaynaklarının % 50 sinin fonksiyonunun kaybettiği süre servis ömrü olarak tanımlanmaktadır [6].



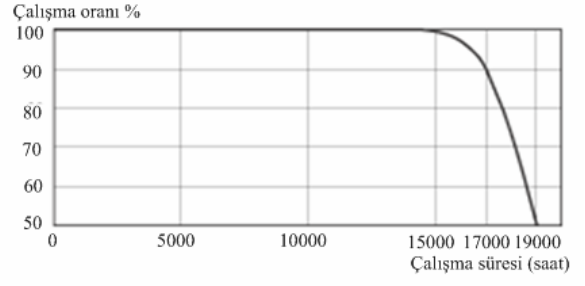
Şekil 2.5 Servis ömrü

Işık kaynağı üreticilerinin tanımlamış oldukları ömür süreleri ideal komponent ve ideal çalışma koşulları için geçerli olmaktadır. Sadece elektronik balastla kullanılabilen ışık kaynağı modelleri hariç diğer tüm modeller için belirtilen ampul ömürleri manyetik balast kullanılması durumu için geçerlidir. Deşarj ampulleriyle birlikte elektronik balast kullanılmasının ampul ömrü üzerine olumlu etkilerin görüleceği kesindir.

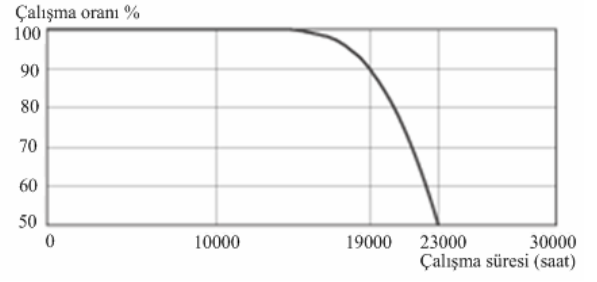
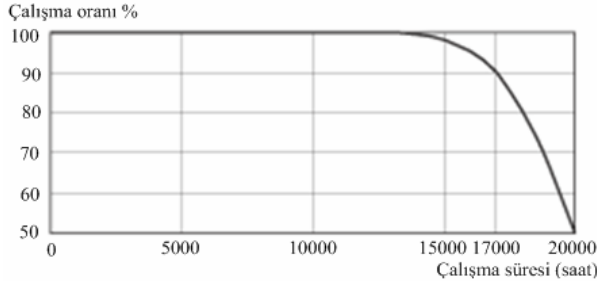
**Anahtarlama** (Açma-kapama) da birçok ışık kaynağı yapısında ömrü etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Akkor filamanlı ışık kaynakları veya LED'ler açma kapama sıklığından etkilenmezken özellikle deşarj ampulleri (flüoresan ve HID ışık kaynakları) ateşleme karakteristikleri nedeniyle açma kapama sıklığından olumsuz etkilenir. Bu nedenle deşarj ampulleri için tanımlanan ömür değerleri belirlenen açma kapama sıklığı değerleri içerisinde geçerlidir. Örnek olarak bir flüoresan lamba için tanımlanan ömür süresi 3 saatlik anahtarlama süresini ön görürken, HID ışık kaynaklarında bu süre 8-11 saat civarındadır. Genel olarak bu değerlerden daha sık açma kapama lamba ömrünü azaltırken, daha seyrek anahtarlama lamba ömrünün uzamasını sağlayacaktır. Bu durumun etkilerine yönelik olarak şekil 2.6'daki grafik yapısı incelenebilir.



Manyetik balast ile 3 saatlik anahtarlama



Elektronik balast ile 3 saatlik anahtarlama

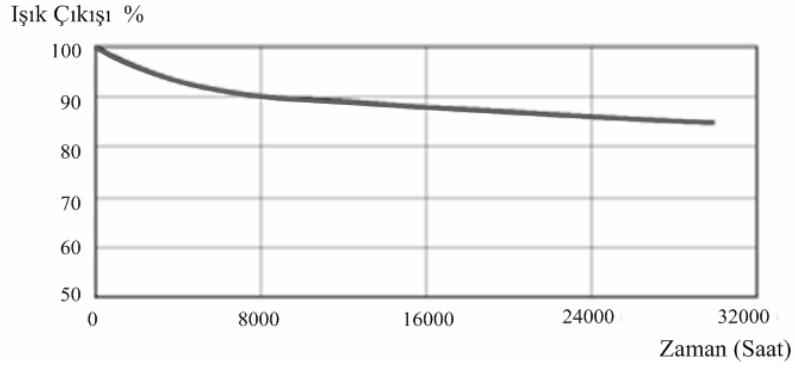


Şekil 2.6 Servis ömrünün anahtarlama ve elektriksel eleman yapısına bağlı değişimi [6]

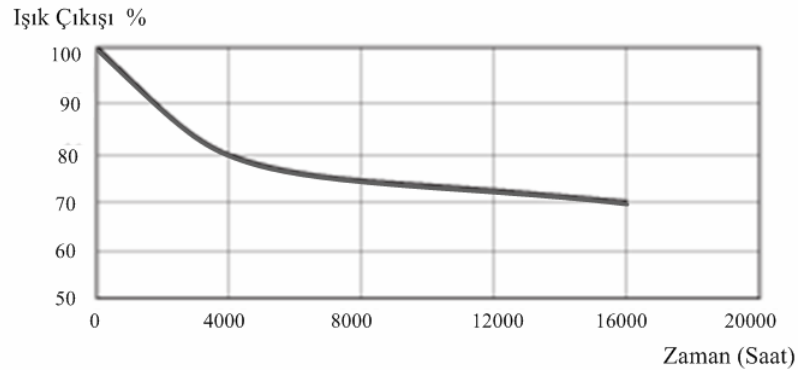
#### 2.1.4 Lümen Kararlılığı (LLD)

Işık kaynaklarının yayımladıkları ışık miktarı elektriksel ve çevresel etkilere bağlı olarak zamanla belli bir azalma gösterecektir. Lümen kararlılığı olarak da adlandırılan bu değer düşümü, hesaplama ve tercihlerde değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir [7].

Lümen kararlılığı bir lambanın kullanım ömrü süresince sabit ışık verimi özelliğini ölçer. Bu nedenle daha verimli sistemlerin yapılandırılabilmesi için yüksek lümen kararlılığına sahip ekipmanların tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Aydınlatma sistemlerinin tasarımında ışık kaynaklarının yapısına bağlı olarak farklılık gösteren bu karakteristik özellik de hesaplamalara katılır. Aydınlatma sistemlerinde yayımladıkları ışık akısında zamanla ciddi azalmalar yaşayan ışık kaynaklarının kullanılması, kurulu gücün artmasına ve gereksiz enerji sarfiyatı nedeniyle işletme giderlerinin artması anlamına gelmektedir [7]. Bu noktada görülebilecek farklılıklarla ilgili olarak standart yüksek basınçlı civa ve yüksek basınçlı sodyum buharlı ışık kaynaklarının lümen kararlılığını gösteren Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'deki grafiklerden incelenebilir.



Şekil 2.7 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba (E40) için lümen kararlılığı [5]



Şekil 2.8 Yüksek basınçlı civa buharlı lamba için lümen kararlılığı [5]

Yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı gibi yüksek basınçlı sodyum lamba çalışma ömrü boyunca yaydığı ışık miktarında ciddi azalmalar yaşamazken, standart civa buharlı lamba da ise bu değer düşümü daha belirgin niteliktedir. Buna benzer farklılıklar aynı tipteki ışık kaynaklarının farklı modelleri arasında da görülebilir. Bu nedenle de bu değerler üreticinin verilerinden kontrol edilmelidir. Lümen kararlılığının sistem verimliliği üzerine etkisi 3. bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

### 2.1.5 Renksel Özellikler

Işık kaynaklarına ait en önemli tercih kriterlerinden bir diğeri de kaynağın renksel özellikleridir. Burada tercih edilecek renk kriterlerini belirleyen unsur, aydınlatılacak mekânın hangi amaçla kullanılacağıdır. Renksel ayırımın önemli olduğu mekânlarda yapılacak projelerdeki ışık kaynağı tercihlerinde öncelikli olarak ele alınması gereken parametre, kaynağın renksel özellikleridir. Bu noktada sınırları yine mekânın kullanıma amacı, yapısı ve mimari detaylar belirleyecektir [4].

Işık kaynaklarıyla ilgili olarak değerlendirilmesi gereken renksel kriterler, kaynağın renksel geriverimi ( $R_a$ ) ve Renk Sıcaklığı ( $R_c$ ) olacaktır.

**Renksel geriverim**, bir ışık kaynağının aydınlattığı nesnelerin, renk türü ile ilgili görünüşleri üzerindeki etkisi olarak tanımlanır ve  $R_a$  ifadesi ile temsil edilir. Renksel geriverimi yüksek olan ışık kaynaklarıyla yapılan aydınlatmada, cisimlerin gerçekte (gün ışığında) sahip oldukları renkler ile ışık kaynağı altında göründükleri renkler arasındaki fark azalacaktır. Bu nedenle renksel ayrımların önemli olduğu projelerde, (Müze, sanat galerileri kalite kontrol noktaları vb) renksel geriverimi yüksek olan lambaların kullanılması kaçınılmazdır. Renksel geriverimin önemsiz olduğu projelerde (sokak\_cadde aydınlatmalarında) ise renksel verimi düşük, ışıksal etkinliği yüksek ışık kaynakları kullanılmalıdır [4].

### Renksel Geriverim Sınıflandırması

**1A** ve **1B** sınıfı lambalar hassas renk eşleme, renkli baskı, müze ve sanat galerileri gibi renk ayırım ve vurgularının çok önemli olduğu yerlerde kullanılırlar.

**2A** ve **2B** sınıfı lambalar doğru renk görmenin önemli olduğu veya sürekli kullanımın sözü konusu olduğu hacimlerde kullanılır.

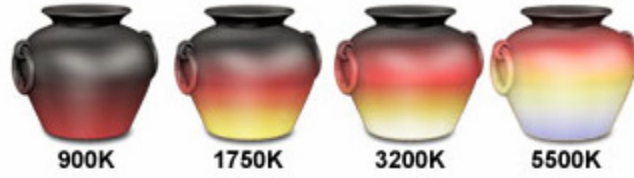
**3.** sınıf renksel geriverime sahip lambalar, doğru renk görmenin önemli olmadığı fakat belirgin renk dönmelerinin istenmediği ortamlara kullanılır.

**4.** sınıf lambalar doğru renk görmenin önemli olmadığı ve renk dönmelerinin kabul edilebildiği ortamlarda kullanılırlar.

Çizelge 2.4 Renksel geriverim sınıflandırması

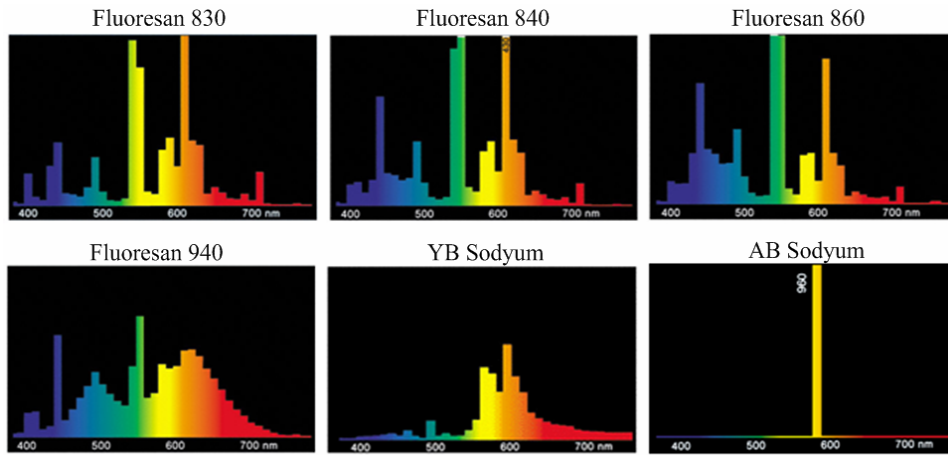
RENKSEL GERİVERİM SINIFI		$R_a$
ÇOK İYİ	1A	$R_a > 90$
	1B	$80 < R_a < 90$
İYİ	2A	$70 < R_a < 80$
	2B	$60 < R_a < 70$
ORTA	3	$40 < R_a < 60$
KÖTÜ	4	$20 < R_a < 40$

**Renk sıcaklığı:** Işınımı, verilmiş bir renk uyartısı ile aynı türsellikte bulunan kara cismin sıcaklığı renk sıcaklığı olarak tanımlanır ve  $T_c$  ile gösterilir [1]. Bir başka deyişle, bir lambanın renk sıcaklığı, kara cismin renginin, lambanın yayımladığı ışık ile aynı olduğu sıcaklığın Kelvin (K) cinsinden değeridir. Renk sıcaklığının yükselen değerleri için ışık rengi; şekle 2.9'daki gibi kırmızı\_sarı\_beyaz\_mavi şeklinde değişim gösterir.



Şekil 2.9 Renk sıcaklığı

En saf ışık bile tek bir dalga boyunu değil de, belirli bir aralıktaki dalga boyu bileşenlerini içerir. Spektral grafikler, ışığın hangi dalga boyunu ne oranda içerdiğini gösteren grafik yapısıdır. Günışığı görünür aralıktaki dalga boylarını hemen hemen eşit miktarda içerir. Işık kaynaklarının renk spektrumlarının gün ışığına yakın olması istenir.



Şekil 2.10 Bazı ışık kaynaklarının spektral özellikleri

Işık kaynağına ait renk spektrumlarındaki belli dalga boylarının zayıf olması kaynağın zayıf olduğu dalga boylarını barındıran renkleri iyi yansıtamayacağı anlamına gelir. Örnek olarak sodyum buharlı ışık kaynakları incelendiğinde belli dalga boylarında ne derece zayıf olduğu ve renksel geriverim indeksinin ne denli düşük olduğu anlaşılacaktır.

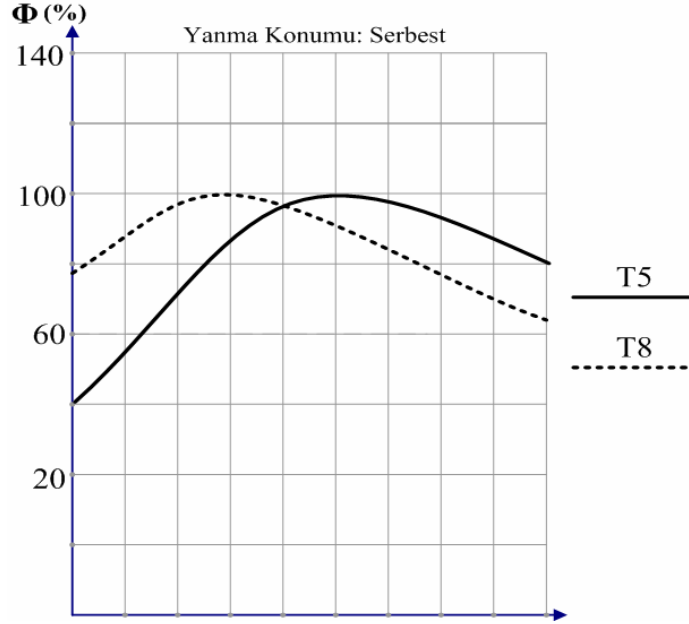
Çizelge 2.5 Işık kaynaklarına ait renk sıcaklığı ve renksel geriverim değerleri [4]

LAMBA TÜRÜ	RA	Tc
Akkor Lamba	1A	2700
Tungsten Halojen Lambalar	1A	3000
YB Civa Buharlı Lambalar	3	5500
Metalik Halojenürlü Lambalar	1A - 2	3000-6000
YB Sodyum Buharlı Lambalar	1B - 4	2000-3000
FLORESAN		
Colour 93 Deluxe 930 vb.	1A	3000
Colour 82 Polylux 827 vb.	1B	2700
Deluxe Wharmwhite 29 vb.	2	3000
Daylight 54	2	5400
Colour29 Wharmwhite 29 vb.	3	2900

### 2.1.6 Isıl Faktörler

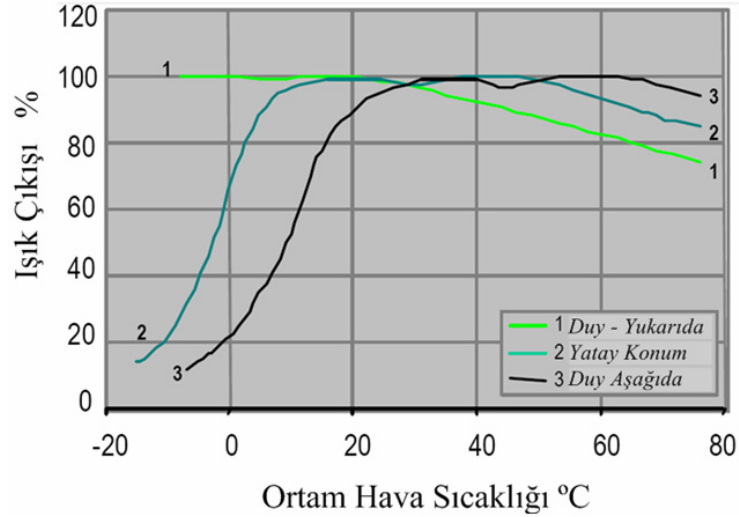
Ortam sıcaklığı bazı ışık kaynaklarında etkinlik faktörünün düşmesine, lamba ömrünün azalmasına, çok düşük ortam sıcaklıklarında deşarj lambalarının ateşlenmemesine yol açabilir. Değişken veya kritik ortam sıcaklıklarının olduğu yerlerde bu durumdan en az etkilenen lambalar tercih edilmelidir. Çevresel ısıl faktörlerin söz konusu olduğu projelerde kullanılan ışık kaynağının ısıl karakteristiği de değerlendirilmelidir.

Genel olarak HID sistemler çevre sıcaklıklarından ciddi boyutta etkilenmezlerken lineer fluoressan ve amalgam yapısını barındırmayan diğer fluoressan ışık kaynakları çevresel sıcaklık değişimlerinden ciddi boyutta değişebilirler. Şekil 2.11'den de değerlendirilebileceği gibi lineer fluoressan gruplarında 10 derecelik ısıl değişim bile ışık çıkışında ciddi değişimlerin görülmesine neden olabilir.



Şekil 2.11 T5 ve T8 ışık kaynaklarının ısı ışık ilişkisi [6]

Kompakt flüoressan ışık kaynaklarının özellikle park bahçe aydınlatmalarında uygulanmaya başlamasıyla birlikte dış aydınlatma projeleri gibi yüksek ısıl değişimlerin görülebildiği projelere yönelik olarak üretilmiş modelleri de mevcuttur. Standart modellerden farklı olarak amalgam destekli olan bu ışık kaynakları çok geniş ısı aralıklarında dahi ışıksal çıkışlarını koruyabilmektedir. Bu ışık kaynakları amalgamsız alternatiflerine oranla çok daha geç rejime girebilmekte ve dimmerlemeye pek de uygun olamamaktadır.



Şekil 2.12 Amalgam destekli kompakt floresan için rejime ve sıcaklık karakteristiği [8]

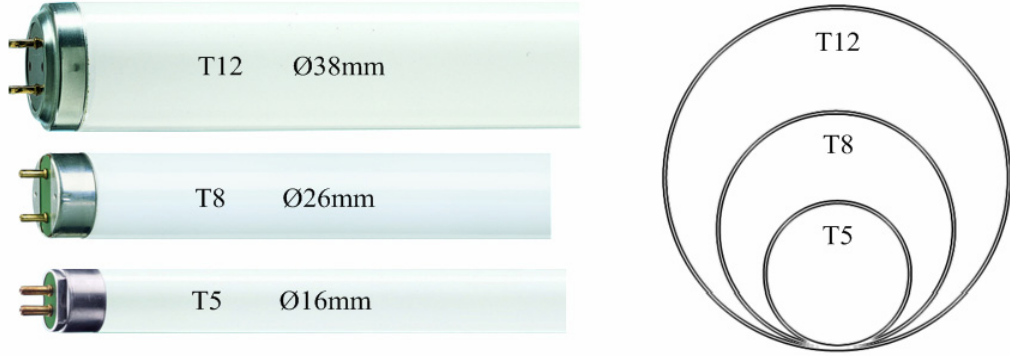
Çevre ısısının yanı sıra ışık kaynağının ürettiği ısının boyutu da tercihlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Isı oluşumunun yüksek olduğu noktalarda yüksek boyutta ısı yayan ışık kaynaklarının kullanılması istenmeyen etkilerin oluşmasına neden olabilmektedir. Örnek olarak yüksek basınçlı deşarj ampulleri ve halojen spotlar çalışırken yüksek sıcaklık değerlerine ulaşırken alçak basınçlı cıva buharlı ışık kaynakları çok daha az ısı oluştururlar. Kaynağının ısınmasının yanı sıra ışık kaynağının yayımladığı ışığında ısı taşınması bir problem teşkil etmektedir. Özellikle halojen spot ışık kaynaklarının yayımladıkları ışık akılarında bol miktarda IR ışınım bulunması nedeniyle rahatsız edici etkilerin oluşması mümkün olabilmektedir. Bu ışık kaynaklarının bu yöndeki etkilerini azaltmaya yönelik olarak ampul çeperi üzerine IR kaplanarak, yayılan IR ışınımın azaltılması ve verimliliğin artırılmasına yönelik gelişmelerin uygulandığı üst tip modelleri de mevcuttur.

Işık kaynağının ısıl oluşumu çok büyük ölçüde armatürün termal tasarımını boyutunu ve genel yapısının etkileyecek değerlerde olabilmektedir. Bu nedenle armatürler yapısı içerisinde kullanılacak maksimum ampul gücüne ilişkin sınırlayıcı değerler belirtilmektedir.

### 2.1.7 Boyut

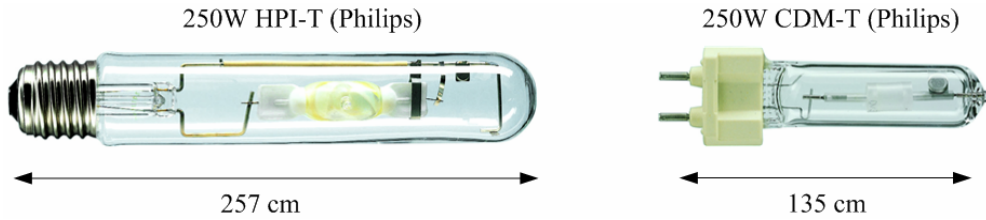
Armatürlerin fiziksel yapısı büyük ölçüde üretilen ışık kaynağı ve komponent teknolojisine paralel olarak gelişim göstermektedir. Genel anlamda küçük boyutlu ışık kaynakları optik kontrol ve armatür tasarımı açısından ciddi avantajlar getirmektedir. Bu avantajlar sonucunda daha küçük boyutlu, estetik ve yüksek verimli armatürlerin imal edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Konuyla ilgili örnek olarak Linear T8 ve T5 ışık kaynakları değerlendirilebilir. T5 ışık kaynakları T8 ışık kaynaklarıyla hemen hemen aynı uzunlukta da olsa ampul çapı çok daha küçük olduğundan daha iyi bir optik performansın sağlanmasına ve daha estetik ürünlerin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.13 T12 – T8 ve T5 ışık kaynaklarına ait boyutlar [6]

Buna benzer şekilde standart metal-halide ışık kaynakları iç aydınlatma projelerinde kullanılsa da yüksek renksel ve ışıksal performansa sahip yeni nesil kompakt metal halide ışık kaynakları iç aydınlatma projelerinde üst düzey optik tasarımlara olanak sağlamakta ve mağazacılık sektörüne yönelik estetik ürün grupları içerisinde kullanılabilir. Ağırlıklı olarak seramik tüp yapısında olan ürün grupları eşdeğer güçteki standart modellere kıyasal çok daha küçük boyutlu, yüksek verimlilikli ve üst düzey renksel standartlarda olabilmektedir.



Şekil 2.14 Metal halide ışık kaynaklarında boyut farklılıkları [5]

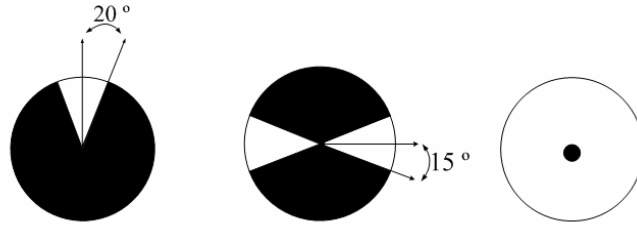
Küçük boyutlu ışık kaynakları çok daha küçük boyutlu armatürlerin yapılmasına ve daha az hammadde kullanımına olanak sunmaktadır. Bundan önemlisi küçük boyutlu ışık kaynaklarına yönelik olarak yapılacak olan optik tasarımlar çok daha verimli ve kolay bir yapıda gerçekleştirilebilmektedir.

### 2.1.8 Yanma Konumu

Akkor, flüoresan ve bazı yüksek basınçlı deşarj lambaları her konumda yanabilirken, bazı lamba modellerinin ideal olarak çalışması için belirlenmiş yanma konumları vardır. Yanma

konumları farklı lamba modelleri için belirli açılarla sınırlandırılmıştır. Bu lambaların belirlenen konumlarının dışında çalıştırılmaları durumunda tüp içerisinde bulunan farklı gazların ayrışması nedeniyle renk bozulmaları görülecektir. Buna ek olarak belirtilen konumdan farklı pozisyonlarda çalıştırılması, lamba ömrünün azalmasına ve dolayısıyla erken arıza riskinin ortaya çıkmasına neden olabilecektir [9].

Lambaların yanma konumu aşağıdaki şekil 2.15 teki semboller ile gösterilir. Dairenin beyaz alanları lambanın sorunsuz olarak çalışabildiği konumları tanımlarken siyah bölgeler izin verilmeyen konumları gösterir.



Şekil 2.15 Yanma konumu sembolizasyonu

Üniversal konumda (Her konumda) yanabilen ışık kaynakları farklı yanma pozisyonları için farklı karakteristikler gösterebilirler. Termal tasarım ve genel değerlendirmelere yapılırken yanma konumunda bağlı olarak farklılık gösterebilecek olan duyu ve ampul camı sıcaklıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Yanma konumu özellikle metal halide ve çift uçlu halojen ışık kaynakları için oldukça hassas olan bir konudur ve tasarım noktasında göz önünde bulundurulmalıdır.

### 2.1.9 Devre Yapısı

Akkor ışık yapan lambalar doğrudan şebekeye bağlanabilirken gazda elektriksel boşalmayla ışık yayan lambalar, şebekeye doğrudan bağlanarak çalıştırılmaz. Kendinden balast devresine sahip (integrated) kompakt floresan ışık kaynakları hariç diğer tüm deşarj lambaları bir balast devresiyle birlikte kullanılmaktadır.

Yüksek basınçlı civa buharlı ışık kaynakları yardımcı elektrot yapısına sahip olduklarından dolayı ek bir ateşleyici devresine ihtiyaç duymazlar. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ve metal Halide lambalarında ise sadece şebeke tarafından sağlanan gerilim ateşlemenin gerçekleşmesi için tek başına yeterli değildir. Bu nedenle sistemin çalışabilmesi için balast devresiyle birlikte ateşleyici devresinin de kullanılması söz konusudur.

Deşarj ampulleriyle birlikte kullanılan balast devreleri endüktif karakteristikte olduklarından tükettikleri reaktif enerjinin kompanze edilmesi gerekmektedir. Genel olarak aydınlatma sistemlerinin reaktif yükünün kompanzasyonu için paralel bağlı kondansatör devrelerinden faydalanılır. Kompanzasyon devresi armatürün içerisinde olabildiği gibi tüm aydınlatma sistemini kapsayacak şekilde tek bir blok halinde de olabilir.

Bu noktada sözü geçen tüm bu yardımcı elemanların da belirli bir ömrü, maliyeti ve güç tüketimi söz konusudur. Bu nedenle yardımcı elemanlarının özellikleri de göz ardı edilemeyecek bir tercih kriteridir. Bu ekipmanların genel yapıları ilgili konu başlığı altında detaylı olarak değerlendirilecektir.

### **2.1.10 Şebeke Hassasiyeti**

Akkor filamanlı ve halojen ışık kaynakları çok ciddi oranda gerilim farklılıklarından etkilenirler. Gerilimdeki çok ufak bir yükseliş bile lamba ömründe ciddi oranda azalma görülmesine neden olabilmektedir. Deşarj ampulleri ise bu tip değişimlere karşı çok daha dirençlidirler. Fakat şebeke gerilimindeki değişimlerin bu ışık kaynakları üzerine de olumsuz etkileri söz konusudur. Bu noktadaki belirleyici unsur kullanılan balast devresinin genel yapısıdır. Örnek olarak manyetik balastlı devrelerde şebeke gerilimindeki dalgalanmalara karşı ekstra bir dayanım söz konusu değilken elektronik balast devreleri belli sınırlar içerisindeki dalgalanmaları tolare edebilecek niteliktedir.

Deşarj ampulleriyle birlikte kullanılan balast devresinin gerilim kademesi bu konudaki belirleyici unsurdur. Şebeke geriliminde belirtilen sınırların üzerindeki bir artış veya azlık görülmesi ışık kaynağı diğer komponentler üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

Şebeke geriliminin belirlenen değerden düşük olması durumunda

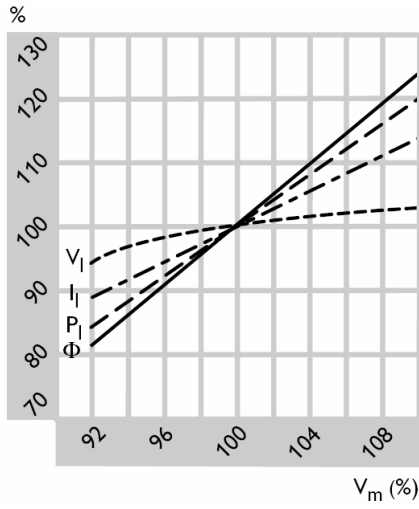
- Lambanın ışık çıkışının azalması
- Işığın renginin değişmesi
- Olumsuz sıcaklık koşullarında ateşleme sorunu yaşanması
- Lümen kararlılığının kötüleşmesi gibi sorunlarla karşılaşılabilir.

Şebeke geriliminin belirlenen değerden yüksek olması durumunda ise

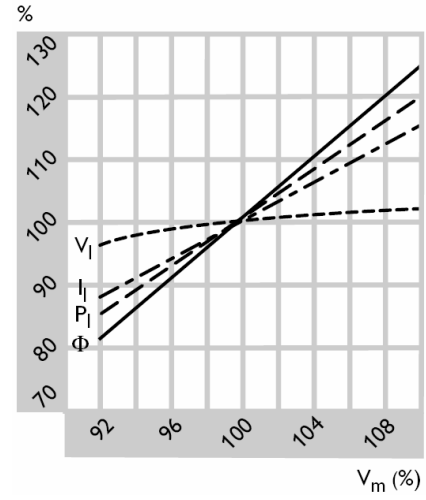
- Lamba ömrünün azalması
- Yardımcı ekipmanların ömrünün azalması
- Işığın renginin değişmesi
- Enerji tüketiminin artması
- Güvenlik problemlerinin yaşanması
- Lümen kararlılığının kötüleşmesi

gibi sonuçlar ortaya çıkabilecektir.

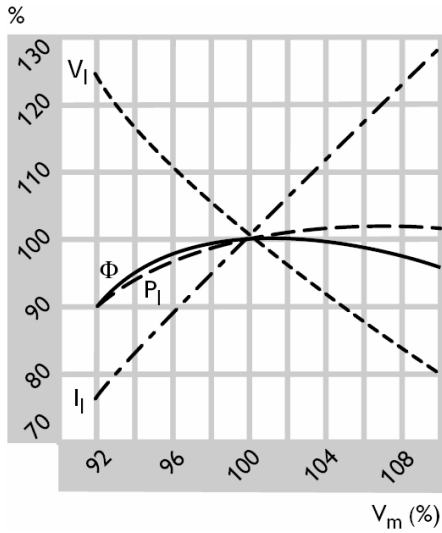
Şekil 2.16'dan da incelenebileceği gibi ışık kaynaklarının gerilim dalgalanmalarına karşı gösterdikleri karakteristik özellikleri farklılık arz etmektedir. Genel olarak dalgalanan gerilim değeri lamba akımı, gerilimi ve ışık çıkışında farklılıkların doğmasına neden olabilecektir. Bununla birlikte bazı ışık kaynaklarının renk sıcaklıklarının ve renksel geriverim değerlerinin değişmesi gibi sonuçlarda ortaya çıkabilecektir. Özellikle metal Halide ışık kaynaklarında şebeke geriliminde görülen dalgalanmalar ışık kaynağında renksel bozulmaların görülmesine ve/veya görünür ışık titremlerinin oluşmasına neden olabilecektir.



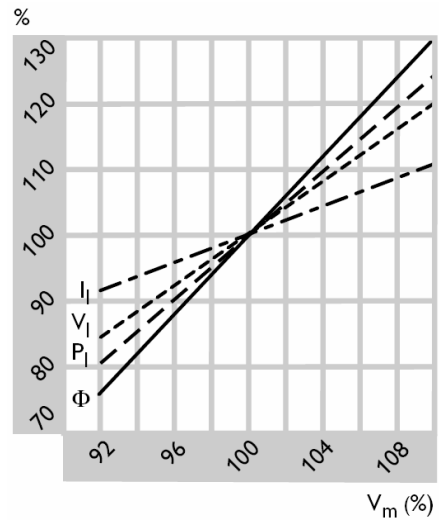
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.16 Şebeke gerilimindeki değişimlerin ışıksal ve elektriksel değerler üzerine etkileri [9]  
 (a) Civa-Buharlı (b) Metal-Halide (c) Alçak Basınçlı Sodyum (d) Yüksek Basınçlı Sodyum

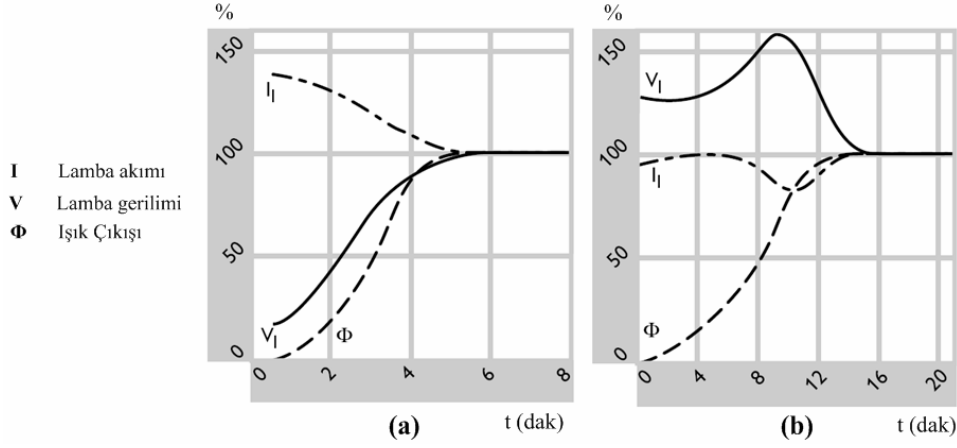
### 2.1.11 Ateşleme ve Rejim Süreci

**Ateşleme:** Lamba elektrotlarında herhangi bir ön ısıtmaya gerek duyulmadan, deşarj lambalarında ilk ateşlemeye yönelik gerilimsel atlamalar olarak ateşleme tanımlanır. Metal halide ve sodyum buharlı ışık kaynakları ilk çalışma anında şebeke geriliminin çok daha üstünde bir ateşleme gerilimine ihtiyaç duyar. İhtiyaç duyulan bu yüksek gerilim ateşleyici

devresi tarafından ışık kaynağının ateşlenebilmesi için darbeler şeklinde uygulanır. Bir ışık kaynağının ateşleme süresi ışık kaynağına, ateşleyici yapısına ampulün yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Örneğin ani ateşleyici devreleri 1-5 sn içerisinde lambayı ateşleyebilirken standart ateşleyicilerde normal bir ışık kaynağının ateşlenmesi 30 sn kadar sürebilmektedir. (Ömrünün sonuna gelmiş ışık kaynakları şebeke gerilimindeki düşüşler ve dış ortam koşulları bu sürelerin artmasına ve çoğu zaman ateşlemenin gerçekleşmemesine neden olabilmektedir [10]).

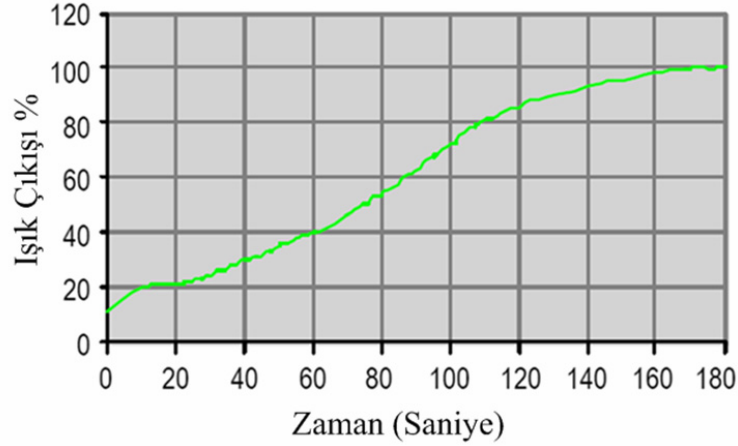
**Rejime Girme:** Işık kaynağının tam olarak ışık yayabilmeleri için ampul içerisindeki sıcaklık ve basınç değerlerinin ideal seviyeye ulaşması gerekmektedir. Rejime girme süreci olarak da tanımlayabileceğimiz bu sürecin uzunluğu, ışık kaynağının tipine, ateşleyicinin yapısına ve çevresel etmenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Ledler ve akkor filamanlı ışık kaynakları çalıştırıldıkları ilk andan itibaren normal ışık çıkış gücünde veya bu değere çok daha yakın değerlerde ışık yayarlar. Flüoresan ışık kaynakları için ise çok kısa bir rejim süresi tanımlansa da ilk yandıkları anda maksimum ışık çıkışı sağlamazlar. (Flüoresan ışık kaynakları için rejim süresi HID ışık kaynaklarına kıyasla çok kısa olduğundan flüoresan ışık kaynakları da hemen yanan ışık kaynakları arasında değerlendirilebilir.) Yüksek basınçlı ışık kaynakları ise çalıştırıldıkları anda maksimum güçte ışık yayamazlar ve ateşleme periyodunun devamında deşarj tüpünün sıcaklık ve basınç değerlerinin ideal seviyesine ulaşması (rejime girmesi) gerekmektedir.

HID ışık kaynakları için rejime girme süresine benzer olarak tekrar rejime girme süresi de tanımlanmaktadır. Tekrar rejime girme süresi çalışma esnasında herhangi bir nedenle sonen bir ışık kaynağının yeniden rejime girmesi için gerekli olan süre olarak tanımlanmaktadır. Işık kaynağının ateşlenebilmesi için deşarj tüpü içerisindeki şartların normal ısı ve basınç değerlerine ulaşması gerektiğinden bu süre rejim süresinde çok daha uzun olacaktır. Bu boyutta bir rejime girme ve/veya tekrar rejime girme süresinin güvenlik problemi oluşturacağı noktalarda tekrar rejime girme süresi beklenmeden lambanın ateşlenmesine olanak sağlayan ateşleme teknolojileri mevcuttur. (Örn. Ani ateşleyici devreleri)



Şekil 2.17 Rejime girme karakteristikleri [9] (a) Y.B. civa (b) A.B. sodyum

Daha önce de belirttiğimiz gibi flüoresan ışık kaynaklarının çok kısa surede tam yükte ışık çıkışı sağlayabildiklerinden dolayı herhangi bir rejim süresi tanımlanmasına gerek yoktur. Fakat amalgam destekli ürün gruplarında bu sürenin standart modellere kıyasla daha uzun olabildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 2.18’de amalgam yapıli 32 W gücünde bir kompakt fluoresan ışık kaynağının rejim karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2.18 Amalgam destekli kompakt fluoresan için rejime girme süreci [8].

### 2.1.12 UV-IR Işınımlar

Işık kaynaklarından yayılan ışık akısı belirli bir dalga boyunda dağılım gösterir. Bu dağılım

- IR (Infrared- Kızılötesi)
- U.V (Ultraviolet – Morötesi)
- Ve görünür bölge olmak üzere 3 grup içerisinde değerlendirilebilir.

Işık kaynağının ana fonksiyonu görünür bölgede ışık üretmektir. Sadece bazı özel uygulamalarda ışık kaynağının özellikle IR ve UV ışınım yapması gerekir. (Kimya tekstil

madencilik, endüstriyel uygulamalarda, tıbbi tedavi, solaryum uygulamaları vb) UV çıkışlı ampuller örnek Solaryum ampulleri. IR çıkışlı ampuller: IR ısıtma ve tıbbi uygulama ampulleri vb)



Şekil 2.19 IR ve UV ışık kaynaklarına örnek [5]

Elbette ki ana görevi görünür ışınım elde etmek olan bir cihazın istenilen sınırların dışarısında oluşturduğu bu ışınımların bazı olumsuz etkileri söz konusudur. Bu nedenle aydınlatma amaçlı ışık kaynaklarının UV ve IR ışınım oranlarının belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir.

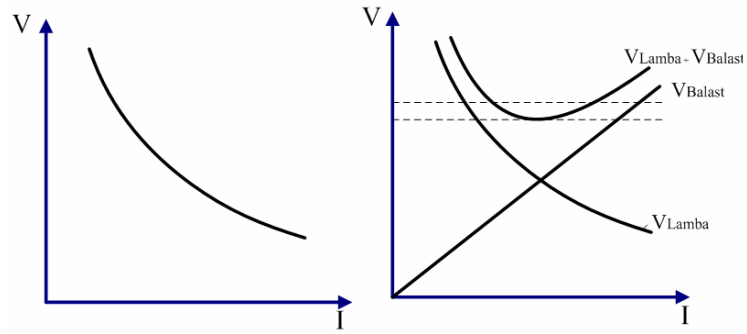
U.V ışınımlar bu noktada hassasiyeti olan materyaller ve belli oranların aşılması durumunda insan sağlığı için olumsuz etkiler doğurabilmektedir. UV ışınımların en bilinen etkisi soldurma etkisi olmaktadır. Bu noktada bu etkinin gücü ışık kaynağının UV ışınım oranına ve ampulün ışıksal gücüne bağlı olarak değişim gösterecektir. Çoğu ampul UV çıkışını sınırlamak için özel filtre yapılarıyla kaplanır.

**IR:**Infraed ısı yükü taşıyan kızılötesi ışınımları temsil eder. Özellikle akkor filamanlı ışık kaynaklarının spektral özellikleri nedeniyle yüksek oranda IR ışınım yapmaları söz konusudur. Bu durum özellikle insanları rahatsız edebilen bir etmen haline gelebilmektedir. Bu noktada bu tip ışık kaynaklarının IR ışınım çıkışını sınırlamak amacıyla IR-Coating olarak adlandırılan özel kaplamalar kullanılmaktadır. Bu sayede IR ışınımın sınırlandırılmasının yanında ışıksal etkinlik değerinin de artırılması mümkün olacaktır

## 2.2 Balastlar

Deşarj lambaları negatif direnç karakteristiğindedir ve bu nedenle bir akım sınırlayıcıyla birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Endüktans, kapasite veya direnç yardımıyla deşarj lambalarının akımını sınırlamaya veya ayarlamaya yarayan lamba ile şebeke arasına bağlanan cihaz balast olarak tanımlanmaktadır. Balastlar sadece direnç, endüktans elemanlarından herhangi birinden üretilebileceği gibi bu elemanların birkaçını ve transformator, flicker

önleyici, soğuk ateşleyici, parazit hafifletici vb gibi yardımcı elemanların birçoğunu içinde barındıran yapıda da olabilir [4].

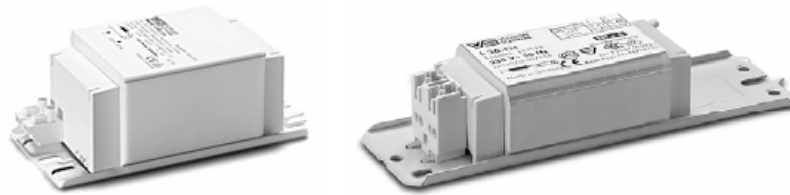


Şekil 2.20 Ampul- balast karakteristiği

Balast devreleri, üretim teknolojilerine, enerji kayıplarına, devre yapısına ve kullanılan ışık kaynağının yapısına bağlı olarak büyük farklılıklar taşıyabileceğinden dolayı farklı gruplar içerisinde değerlendirilmelidir. Genel olarak balast devreleri devre yapılarına göre magnetik ve elektronik olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Buna benzer şekilde balast devreleri kullanım alanlarına göre floresan ve HID balastlar olmak üzere iki ayrı uygulama alanı içerisinde değerlendirilmelidir.

### 2.2.1 Manyetik Balast Devreleri

Her ne kadar standart bir yapı olarak gözüksün de manyetik balast devrelerinde de farklı verimlilik ve kalite standartları söz konusudur. Genel olarak verimlilik ve kalite farklılıkları üretim ve teknolojik değerlere bağlı olarak değişim göstermektedir.



Şekil 2.21 Manyetik balast devreleri [11] a) HID b) Floresan

Bu bölümde değinilen konular üretim ve genel standartlar konusunda magnetik balast devrelerinde görülen temel farklılıkları içermektedir. Bunun da ötesinde farklı üretim tekniklerinin ve yeni teknolojilerin sunduğu özel çözümlerde söz konusu olabilmektedir. Armatür üretim sektörünün taleplerini karşılamak amacıyla amaca hizmet eden farklı ürün çözümleri yerine göre kalite ve verimlilik konularında farklı çözümler ve uygulama avantajları sunabilmektedir.

### 2.2.1.1 Enerji Kayıpları

Manyetik balast devreleri üzerinde oluşan kayıplar bakır ve demir kayıplarından oluşmaktadır. Bakır kayıpları balastın akımına ve kullanılan bakırın toplam omajına (yani kesitine ve uzunluğuna) bağlı olarak değişim gösterir. Demir kayıpları ise demir plakaların adedine ve kalınlığına bağlı olarak değişim gösterecektir. Sonuç olarak daha düşük kayıplı bir balast için daha fazla bakır ve demir kullanılacaktır. Düşük kayıplı bir balast aynı teknikte üretilecekse muhtemelen daha büyük daha ağır ve daha pahalı olacaktır. Teknik olarak balastları farklı boyutlarda imal edebilmek mümkündür fakat genellikle pazarlama sürecinde sıkıntı yaşatabileceğinden özellikle ürünün montaj noktaları ve yükseklik değerlerine sadık kalınmaya çalışılır. Manyetik balast devrelerinde genel olarak ölçülerin çok büyük oranda standart olduğu söylenebilir. Buna ilaveten bazı uygulamalar için tasarlanmış normalden daha basık ya da ince yapıda üretimler de yapılabilmektedir. Daha önce de değindiğimiz gibi bu ürünlerde de montaj noktalarına ve maksimum yükseklik değerlerine mümkün olduğunca sadık kalınır [10].



Şekil 2.22 Farklı boyutlardaki manyetik balast devreleri [11]

Genel olarak deklare edilen balast kayıpları soğuk kayıplardır. Bakırın sürekli çalışma esnasındaki ısı değerine ulaşması durumunda rezistans değeri % 25 lik bir artış gösterecektir. Bu durumda kayıp değerleri deklare edilen değerlerden %10-30 daha yüksek olacaktır.

Enerji kayıpları konusunda yüksek basınçlı ışık kaynaklarında oldukça floresan sistemlere kıyasla daha sınırlı boyutlarda farklılık görülmektedir. Bunun nedeni olarak balast kayıplarının HID sistemlerde toplam devre gücünün daha düşük bir oranını temsil etmesi ve çalışma frekansının floresan sistemlerdeki seviyelerde gerçekleşmemesi gösterilebilir.

Çizelge 2.6 HID sistemlerde balast kayıp oranları [10]

Işık Kaynağı	Devre Gücü	Balast Kayıp Oranı
1000 W Y.B. Sodyum	1072 W	% 6.7
400 W Y.B. Sodyum	432 W	% 7.4
250 W Y.B. Sodyum	276 W	% 9.4
150 W Y.B. Sodyum	170 W	% 11.8

### EEI (Energy Efficiency Index) Sınıflandırması

Dünya üzerinde üretilen ışığın %70 'inin floresan ışık kaynakları tarafından üretilmekte ve buda toplam aydınlatma tüketiminin % 50 lik kısmını karşılamaktadır. Bu yüksek kullanım oranının yanı sıra balast kaybının toplam devre gücüne oranı HID sistemlere kıyasla oldukça yüksektir.

EEI sınıflandırmasının temel amacı aydınlatmaya yönelik olarak tüketilen enerjideki balast kayıp oranları elektronik ve alternatif olarak düşük kayıplı manyetik balast devrelerinin kullanımına doğru yönlendirerek bu noktada görülen kayıpları düşürmektir. EEI sınıflandırması floresan devrelerinde kullanılan balast devrelerini enerji tüketim değerlerine bağlı olarak çizelge 2.7'deki şekilde sınıflandırmaya tabi tutar. HID sistemler için şuan bu yönde bir sınıflandırma söz konusu değildir.

Çizelge 2.7 EEI sınıflandırması [12]

<b>A1</b>	Dimmerlenebilir Elektronik Balastlar
<b>A2</b>	Düşük Kayıplı Elektronik Balastlar
<b>A3</b>	Elektronik Balastlar
<b>B1</b>	Ekstra Düşük Kayıplı Manyetik Balastlar
<b>B2</b>	Düşük Kayıplı Manyetik Balastlar
<b>C</b>	Normal Kayıplı Manyetik Balastlar
<b>D</b>	Yüksek Kayıplı Manyetik Balastlar


Geçmiş dönemlerde yapılan kısıtlamalarla önce D sonra ise C sınıfı manyetik balastların kullanıma yasaklanmıştır. Bunun sonucu olarak da sadece B2 ve B1 sınıfı düşük kayıplı manyetik balastlar ve elektronik balastlar kullanılabilir. B1 ve B2 sınıfı manyetik balastlar her ne kadar elektronik balastlar kadar verimli olmasalar da C ve D sınıfı balastlara kıyasla çok daha düşük kayıp oranlarına sahiptirler [12].

C ve D sınıfı manyetik balastların satışı sonlandırılmış olsa da bu dönemecin yakın geçmişte gerçekleştiği düşünüldüğünde hala mevcut tesislerde bu sınıftaki balast devreleri yüksek oranda mevcuttur. Bir manyetik balast devresinin 10 yıllık çalışma ömrü değerlendirildiğinde bazı revizyon ve iyileştirmelerin hali hazırda kullanılan C ve D sınıfı sistemler üzerinde gerçekleşmesinin işletmeci tarafından ne boyutta karlı olduğunun değerlendirilmesi gereklidir. Çizelge 2.8 ve çizelge 2.9'da kompakt ve lineer floresan ışık kaynaklarının farklı balast sınıflarına ilişkin devre güçleri verilmiştir.

Çizelge 2.8 TC-D ve TC-DE ışık kaynakları için EEI sınıflandırması [12]

TC-D, TC-DE 	Lamba Çıkışı		EEI Sınıflandırması						
	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Ilcos designation	W	W	W	W	W	W	W	W	W
FSQ-10-E-G24q-1 FSQ-10+G24d-1	10	9.5	6.5	11	13	14	16	18	> 18
FSQ-13-E-G24q-1 FSQ-13+G24d-1	13	12.5	8	14	16	17	19	21	> 21
FSQ-18-E-G24q-2 FSQ-18+G24d-2	18	16.5	10.5	19	21	24	26	28	> 28
FSQ-26-E-G24q-3 FSQ-26+G24d-3	26	24	14.5	27	29	32	34	36	> 36

Çizelge 2.9 (T26) Lineer Floresan devreleri için EEI sınıflandırması [12]

T 	Lamba Çıkışı		EEI Sınıflandırması						
	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Ilcos Kodu	W	W	W	W	W	W	W	W	W
FD-15-E-G13-26/450	15	13.5	9	16	18	21	23	25	> 25
FD-18-E-G13-26/600	18	16	10.5	19	21	24	26	28	> 28
FD-30-E-G13-26/900	30	24	16.5	31	33	36	38	40	> 40
FD-36-E-G13-26/1200	36	32	19	36	38	41	43	45	> 45
FD-38-E-G13-26/1047	38	32	20	38	40	43	45	47	> 47
FD-58-E-G13-26/1500	58	50	29.5	55	59	64	67	70	> 70
FD-70-E-G13-26/1800	70	60	36	68	72	77	80	83	> 83

### 2.2.1.2 Termal Yapı ve Çalışma Ömrü

Manyetik balastlar üzerinde görülen enerji kayıpları doğrultusunda belli oranda ısı üretmektedirler. Üretilen bu ısı normal koşullarda sadece enerji kaybı olarak değerlendirilirken belli sınırların aşılması durumunda balastın ömrünü olumsuz etkileyen bir bileşen haline alabilmektedir.

Bir balast devresinin çalışma ömrünü belirleyen ana faktör sargı sıcaklığıdır. Genel olarak balastlar için ifade edilen ömür değerleri maksimum sargı sıcaklığı (tw) değerleri için geçerlilik taşımaktadır. Bunu değerlerin aşılması durumunda ekipmanın ömrünün ciddi boyutlarda azalacağı kesindir.

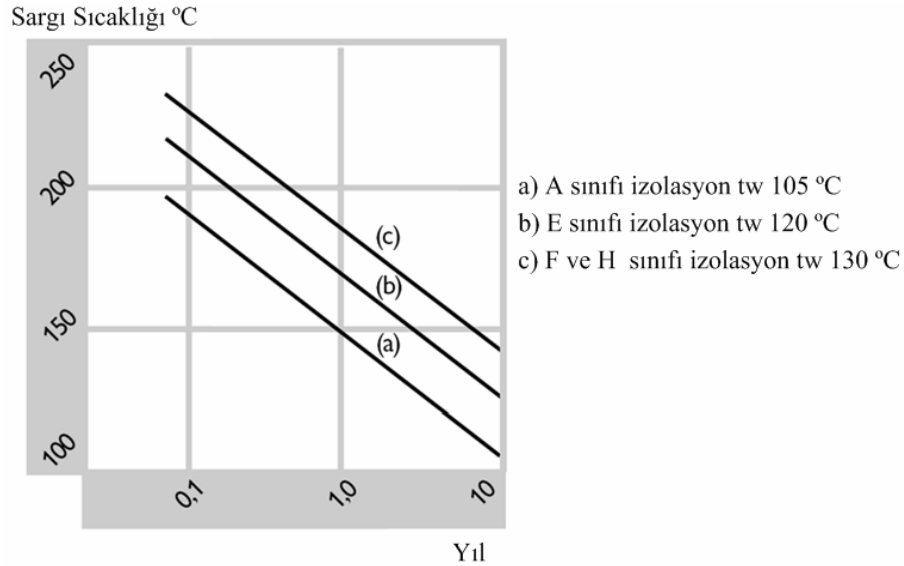
Balastın sargı sıcaklığı içerisinde kullanılan bakır iletkenin yapısına (emaye izolasyon

yapısına) bağı olarak farklılık göstermektedir. Uluslararası normlarda balast devrelerinde kullanılabilir sargı yapıları çizelge 2.10'daki gibi 5 sınıfta değerlendirilmektedir.

Çizelge 2.10 Bakır sargı izolasyon sınıfları [10]

	A	E	B	F	H
Normal koşullardaki (1.06 UN) Maksimum Sargı sıcaklığı	100 °C	115 °C	120 °C	140 °C	165 °C
Aşırı yüklenme veya Kısadevre durumunda Maksimum Sargı sıcaklığı	200 °C	215 °C	225 °C	240 °C	260 °C

Genel olarak manyetik balast devreleri için maksimum sargı sıcaklığının aşılması durumunda 10 yıllık kullanım süresi tanımlanmaktadır.



Şekil 2.23 Balast ömrünün sargı sıcaklığına bağlı değişimi [9]

Şekil 2.23 değerlendirildiğinde sargı sıcaklığının sargının izolasyon ömrünün dolayısıyla balastın ömrünü belirleyen en temel faktör olduğu görülebilecektir. Genel olarak 10 derecelik ısı artışı balast ömrünün yarı değerine inmesine neden olabilmektedir. Daha düşük sargı sıcaklığı değerlerinde izolasyon ömrü uzayacağından balastın ömründe de ciddi artışlar gözlemlenecektir. Balastlara ilişkin hızlandırılmış ömür testleri de bu ısıl karakteristikler üzerinden değerlendirilerek gerçekleştirilebilmektedir. (Yaklaşık test sıcaklığı 200C de 30-60 günlük test periyodu bu değerler sargı tipine göre farklılık gösterir.)

Sargı sıcaklığı değerinin ekipman ömrü üzerine bu denli etkili olması sonucunda ekipmanın çevre sıcaklığı ve çalışma esnasında görülecek ısı artışı değerleri de önem taşıyacaktır. Bu da balast devresinin armatür yapısı içerisinde oluşturabileceği ısı değerlerinin tasarım ve tercih

aşamalarında belirlenmesi zorunluluğunu ortaya koyacaktır. Standart ürün gruplarında yüksek ısı problemleri yaşanmaz iken özellikle yüksek güçlü ürün gruplarında ve/veya yüksek koruma sınıflı muhafaza yapıların içerisine konumlandırılmış balast devreleri gibi standart ürünlerle çözüme ulaşılamayan noktalarda sargı sıcaklığı konusunda termal bir tasarım gerekebilecektir.

Manyetik balast devreleri için ısı değişim miktarını tanımlamak için dt ifadesi kullanılır. Ve çalışma esnasındaki ısı yükselişinin hesaplanması için soğuk ve sıcak anlardaki nüvenin omik direnci ölçülerek aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanabilir.

$$\Delta t = \left[ (R_2 - R_1) / R_1 \right] \times (234,5 + t_1) - (t_2 - t_1) \quad (2.1)$$

veya

$$\Delta t_C = R_2 / R_1 \times (t_1 + 234,5) - 234,5 \quad (2.2)$$

$$\Delta t = t_c - t_2 \text{ (Kelvin cinsinden)} \quad (2.3)$$

$R_1$  : Soğuk sargı sıcaklığı (ilk ölçüm)

$R_2$  : Sıcak sargı sıcaklığı (son ölçüm)

$t_2$  :  $R_2$  ölçümü esnasındaki sargı sıcaklığı

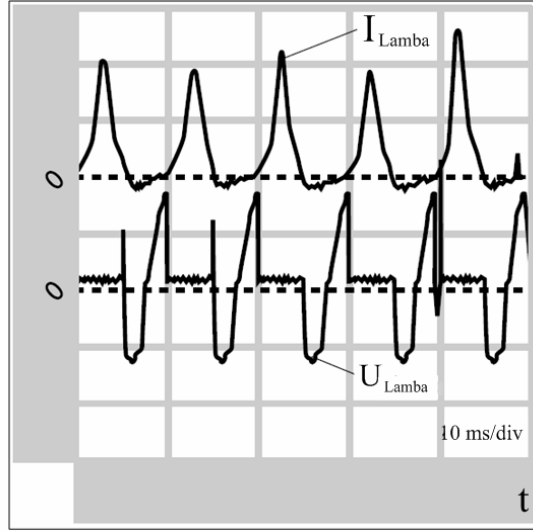
$t_1$  :  $R_1$  ölçümü esnasındaki sargı sıcaklığı

$t_c$  : Derece cinsinde ölçülen bakır sıcaklığı (sıcak haldeki)

Sabit değer olarak bakır için 234,5 alüminyum için 229 kullanılmalıdır.

### 2.2.1.3 Isıl Koruma

Çoğu yüksek basınçlı ışık kaynağının özellikle ömrünün sonuna gelmesi veya elektrot yapısı, deşarj tüpü gibi fiziksel yapılarında görülebilecek deformasyonlar sonucunda doğrultucu etkisi görülmesi mümkün olabilmektedir [9].



Şekil 2.24 Lamba akımı ve gerilimindeki doğrultma etkisi

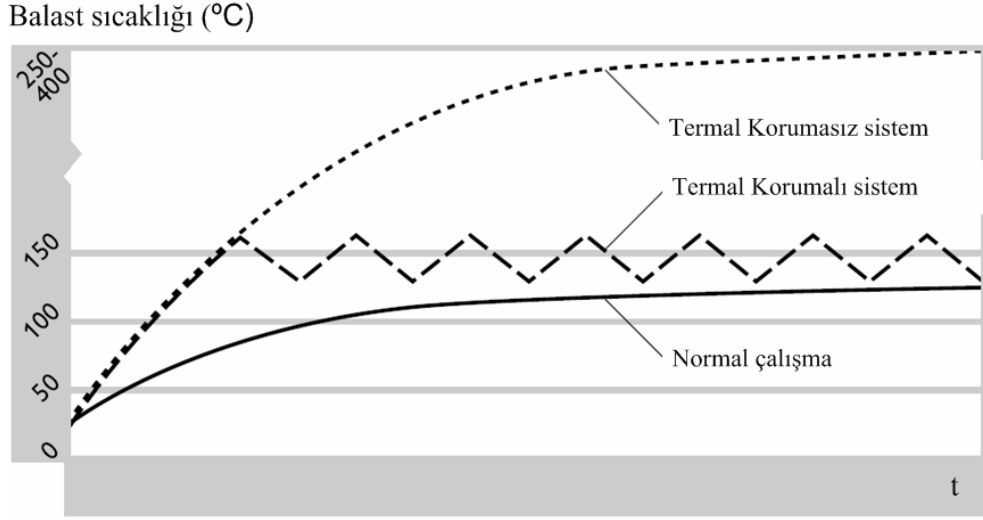
Doğrultma etkinin sonucunda bir dc bileşen oluşmakta ve bu dc bileşen değeri sadece balast sargısının direnci ile sınırlandırılmaktadır. Bu noktada herhangi bir kontrol olmaması durumunda akım değeri hızlı bir artış göstererek ekipmanın zarar görmesine neden olacaktır. Sınırlandırılmayan bu akım önce balast sargı sıcaklığının çok hızlı bir şekilde artmasına izolasyon yapısının bozulmasıyla da balastın kısa devre olmasıyla sonuçlanacaktır. Standart hat kesicilerin bu tip bir etkiyi algılaması çoğu zaman pek mümkün olmamaktadır.

Özellikle bu riski taşıyan ışık kaynaklarında balast devresinin kabul edilebilir bir koruma yapısına sahip olması bir güvenlik gerekliliğidir. Bu tip arızaları engellemek için en uygun koruma yöntemi olarak resetlenebilir bir termal anahtar devresini kullanmak olacaktır. Bu noktada sistemi ideal seviye de kullanmak için ateşleyici devresinin de zaman kontrollü ya da programlı ateşleme yapısına sahip olması uygun olacaktır. Termal koruma yapısı özellikle seramik tüp yapısındaki deşarj ampullerine ilişkin modellerde mevcuttur. Floresan ışık kaynaklarına ait balast devrelerinde bu noktada problemlerin görülmemesi nedeniyle bu tip koruma fonksiyonlarına yer verilmemektedir.

Termal koruma devresinin kesme sıcaklığı kullanılan sarım malzemesinin sınıfına bağlı olarak belirlenmektedir. Termal kesici görevini üstlenen ekipmanlar üreticinin tercihine bağlı olarak balast sargısının içerisine veya uygun klemens yapısı üzerinde konumlandırılabilir.



Şekil 2.25 Termal kesme devreleri



Şekil 2.26 Termal korumalı ve termal korumasız balastların anormal koşullardaki çalışma karakteristikleri [9]

Şekil 2.26'dan incelenebileceği gibi doğrultma etkisi balastın sargı sıcaklığında ciddi bir artışın görülmesine neden olacaktır. Yükselen ısı değeri termal bir koruma devresi tarafından sınırlandırılmazsa çok daha yüksek sıcaklık değerlerine ve izolasyon yapısının bozulmasıyla da kısa devrenin görülmesine neden olabilecektir.

#### 2.2.1.4 Tolerans Değerleri

Balast devrelerine ilişkin önemli fakat büyük ölçüde göz ardı edilen önemli bir kalite kriteri de balastın endüktif değerinde görülen tolerans değeri olacaktır. Büyük ölçüde üretim tekniğine (hava boşluklarına) ve kullanılan materyallerin tolerans değerlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kaliteli bir sistem tasarımı için düşük tolerans değerleri büyük önem taşımaktadır. Genel olarak lider üreticilerde bu değer  $\pm$  %1.5 değerine kadar geriletilmiştir. Düşük standartlarda üretilen ürün gruplarında ise bu değer  $\pm$  % 10 değerini bile aşabilmektedir [10].

Yüksek tolerans değerine sahip ekipmanların kullanılması durumunda

- Işıksal çıkış farklılıklarının görülmesi
- Hassas ışık kaynaklarında renk bozulmalarının yaşanması
- Enerji kayıplarında farklılıkların görülmesi
- BF (balast faktörü) değerinde görülecek farklılıklar

nedeniyle projelendirme sürecinde hataların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında bu balast devrelerinde kayıp değerlerini sınırlar içerisinde tutabilmek için akım değerlerinin düşük tutulduğu gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak daha düşük ışık çıkışı ve hassas ışık kaynakların renk bozulmaları gözlemlenmiştir.

#### **2.2.1.5 İzolasyon yapısı**

Genel olarak sargının izolasyonu ile ilgili olarak farklı izolasyon materyalleri kullanılabilir. Bu konuyla ilgili olarak ekipmanın kapak ve klemens gibi ek materyallerinin de ağır çalışma koşullarına (ısı, akım, gerilim vs) dayanım gösterir nitelikte olması gerekmektedir. HID sistemlerde pulse ateşleme sisteminin kullanılması durumunda ise ateşleme geriliminin üretilmesi için balast devresinin sargısı kullanılacağından bu tip balast yapılarının izolasyon yapıları daha üst seviye de olması gereklidir. İlk kullanım aşamasında sorunlar yaşanmasa da sürekli çalışma koşullarında arızalar kaçınılmaz olabilecektir [10].

#### **2.2.1.6 Ses Faktörü**

Balastın sargısı üzerinden geçen akım bir manyetik alanın oluşmasına sebep olmaktadır. 100 Hz lik bir frekansla tekrarlanan bu olay manyetik alanın içerisindeki metal yapıların ve hava boşluklarının da etkisiyle 100 hz ve üstü harmoniklerde belirli bir sesin oluşmasına neden olabilmektedir. Genel olarak balastın tasarımı bu oluşacak sesi büyük ölçüde bastırarak niteliktedir. Bu noktada balast içerisinde boşluk yapısının bırakılmaması (örneğin vakumlama tekniği) balastın giydirmeye yapısı bu etkiyi azaltıcı etmenler olabilmektedir. Olası ses oluşumunun önüne geçebilmek için balast ve manyetik alanı içerisinde girebilecek metaller ile arasında mesafe bırakılmalı, yapı içerisinde iyi sıkıştırılmamış metal parçalar bulundurulmamalı ve balast sıkı bir biçimde doğrudan bağlanmalıdır.

#### **2.2.1.7 Gerilim kademesi**

Manyetik balast devreleri tek gerilim kademeli olabildiği gibi çoklu gerilim kademesinde çalıştırılabilir yapıda da üretilmektedir. İlgili aydınlatma sistemiyle birlikte kullanılacak balast devresinin gerilim kademesi işletme gerilimiyle bütünlük arz etmelidir. Manyetik balast

devreleri için yaklaşık olarak %10'luk tolerans değeri tanımlansa da gerilim seviyesinde görülebilecek farklılıkları balasttan ziyade ampulün akımı gerilim, ışık ve renksel özelliklerinde problemlerin yaşanmasına neden olabilecektir.

### **2.2.2 Elektronik Balastlar**

Elektronik balast devreleri manyetik modellerden farklı olarak yapısından yarı iletken devrelerin bulunduğu, üretim teknolojisine de bağlı olarak bünyesinde birçok güvenlik ve kontrol fonksiyonlarını barındıran elektronik çözümlerdir. Genel olarak temel fonksiyonu ışık kaynağının akımını sınırlamaktır. Bunun ötesinde sistem lambanın ateşleme fonksiyonunu da üstlenir bu nedenle sistem ek bir ateşleyici veya starter devresine ihtiyaç duymaz.

#### **2.2.2.1 Ömür ve Etkin Faktörler**

Manyetik balast devrelerinin yapısı nedeniyle sıcaklık ömür konusundaki en etmen faktördür. Fakat elektronik devrelerin yapısının çok daha kompleks olması nedeniyle ekipman ömrünü etkileyen faktörler çok daha fazladır.

Elektronik balast devrelerinin ömürleri

- Vibrasyon
- Çalışma sıcaklığı
- Sıcaklık değişimleri
- Elektriksel bileşenler (akım gerilim değişimleri)
- Nem ve
- Yükün yapısı

gibi birçok parametreye bağlı olarak değişim gösterebilmektedir.

Sistem içerisinde birden çok bileşen olduğundan toplam arıza riskinin ve ortalama ömür ifadesinin bulunmasında tüm bu bileşenlerin birlikte değerlendirilmesi gerekecektir. Bu durum tek bir bileşenin arıza riskinin ve ortalama ömrünün değerlendirilmesinden çok daha komplike olacaktır. Elektronik ekipmanların ömür tanımlarının yapılmasında ekipmanların %10 luk kısmının arızalanmasına kadar geçen ve sabit hata oranının gözlemlendiği süre kullanılmaktadır. Genel olarak elektronik balast devrelerinin çalışma ömrünün tanımlanmasına yönelik olarak 50.000 saatlik kulanı süresi tanımlanır. Bunun dışında

özellikle düşük güçlü sistemler için tasarlanmış olan bazı elektronik balast devrelerinde bu değer 30.000 – 40.000 saat olabildiği gibi bazı endüstriyel ürün gruplarında bu süre 100.000 saat seviyesine kadar ulaşabilmektedir.

**Hata Oranı:** Elektronik balast devreleri belirli zaman aralığında sabit hata oranında çalışmaya devam ederler. Genel olarak 50.000 saat içerisinde sabit bir hata oranı taşıyan bu devrelerde 50.000 saat sonunda normal koşullarda balastların %90 nı çalışmaya devam edeceklerdir. Bu limit sürenin devamında bu devrelerde görülen hata oranında dramatik artışların görülmesi kaçınılmaz olacaktır [6].

İzin verilen maksimum tc gövde sıcaklığında balast devrelerinde görülen hata oranı ve çalışan balast oranı aşağıdaki bilindik ifadelerle hesaplanabilmektedir [6].

$$R_t = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.4)$$

veya

$$\ln R_t = -\lambda \cdot t \quad (2.5)$$

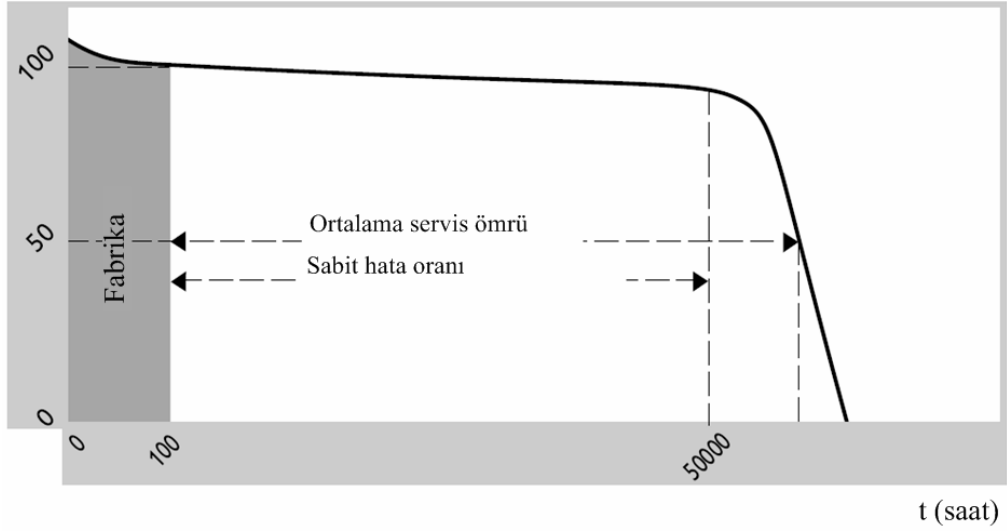
$R_t$  : t süresi sonucunda çalışan balast oranı

$\lambda$  : 5000 saatlik süreçte görülen arıza oranı

$t$  : kullanım süresi

(Birçok elektronik balast için 1000 saatlik kullanım süreci için 0,2 lik hata oranı ifade edilmektedir. 5000 saatlik kullanım süresi için bu değer %1 dir.)

Bu ifadeler değerlendirildiğinde 52.680 saat sonunda balastların %90 oranında çalışmaya devam edeceği görülebilmektedir. Bu mantıkla değerlendirilecek olursa 346.000 saat sonunda balastların %50 sinin devam etmesi gerekirken pratikte bu değerler geçekçi değildir. 50. 000saatlik sürecin sonucunda diğer bileşenlerde görülen eskimeler sonucunda balastların hata oranlarında ciddi artışlar görülecektir. Bunun başlıca nedenleri olarak elektrolitik kapasitörlerin zamanla kuruması ve lehimli kontakların zamanla ayrışması gösterilebilir. Bu artışın ne zaman olacağı ortam sıcaklığı ve anahtarlama yapısı gibi birçok faktöre bağlı olarak farklılık gösterebilecektir.



Şekil 2.27 Elektronik balast ömür ve hata karakteristikleri [6]

**Çalışma Sıcaklığı Ömür İlişkisi:** Sıcaklığın etkisi tanımlanan hata oranları üzerinde doğrudan etkili olabilecektir. Yüksek sıcaklık oranlarında sabit hata oranlarında da artış görülebilecektir. Bu nedenle elektronik balast devrelerinde de  $t_c$  ile ifade edilen maksimum gövde sıcaklığı değerinin aşılması gerekmektedir.  $t_c$  değeri balastın gövde materyaline devre yapısına ve kullanılan ara bileşenlerin kalitesine bağlı olarak değişim gösterir. Üretici firmalara balast devrelerinin ürünlerine ilişkin  $t_c$  değerini balast devresi üzerinde belirtmek zorundadır.

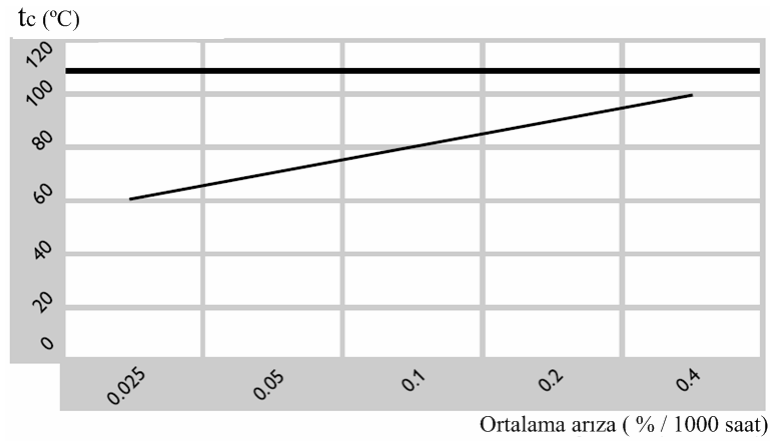
Balastın gövde sıcaklığı ortam sıcaklığına ve kendi ürettiği iç ısı değerine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu noktada ısı değerlendirme yapılırken ürünün  $t_a$  ortam sıcaklığı ve  $t_c$  gövde sıcaklığı değerleri baz alınmalıdır.

**$t_a$ : (ambient) Ortam Sıcaklığı:** Balastın çalıştırılması için uygun görülen sıcaklık değerleri genellikle  $t_a -15 + 55$  değerlerindedir. Bu noktada sınırlar üreticiye ve ürün teknolojisine bağlı olarak değişim gösterebilir. Elektronik balastlar yarı iletken malzemenin genel özellikleri nedeniyle  $-25$  derecenin altındaki sıcaklıklarda çalıştırılmamaktadır. Bu nedenle elektronik balast devreleri çok düşük çevre sıcaklıklarının söz konusu olduğu uygulamalarda sınırlı bir kullanıma sahiptir.

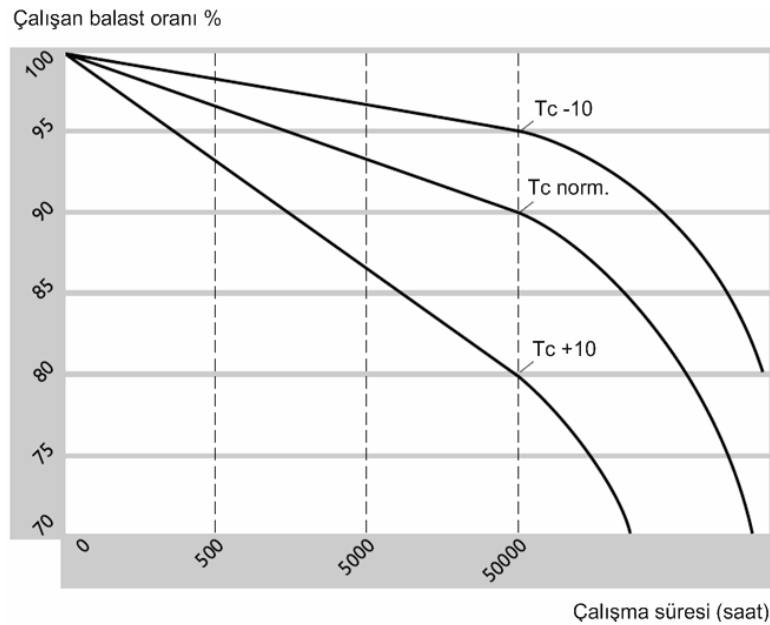
**$t_c$ : Gövde Sıcaklığı:**  $t_c$  ifadesi balast üzerinde izin verilen maksimum sürekli çalışma değerini göstermektedir. Bu noktadaki kontrol ve ölçmelerin bu sembolün bulunduğu noktadan yapılması uygun olacaktır. Ölçülen  $t_c$  değerinin izin verilen maksimum değeri aşması durumunda ekipman ömrünün kısalması ve ekipman ömrünün artması gibi sonuçlar kaçınılmaz olacaktır.

Genel olarak floresan ışık kaynaklarına yönelik elektronik balast devreleri için çalışma sıcaklıkları  $-20 + 50$  seviyelerindedir.  $t_c$  değerleri ise  $60 - 70$  dereceleri arasında değişmektedir. Bu değerler HID sistemlerde biraz daha farklılık gösterebilmektedir. Bu noktada genel olarak minimum çalışma sıcaklıklarının  $-25$  derece ve maksimum gövde sıcaklıklarının  $80 - 85$  derece seviyelerine ulaştığı görülebilir.

$t_c$  maksimum değerinin ölçümü bu sembol ile işaretlenmiş noktadan gerçekleştirilir. Bu noktada genellikle balast üzerinde sıcaklıktan en çok etkilenen kapasitör devresinin hemen üzerinde yer alır. Şekil 2.28 ve şekil 2.29'daki grafiklerden de değerlendirilebileceği gibi  $t_c$  değerindeki artış doğrudan hata oranındaki artış anlamına geleceğinden sistemin ömrünü çok ciddi boyutlarda zayıflatacaktır.



Şekil 2.28 Hata oranının  $t_c$  değerine bağlı değişimi [6]



Şekil 2.29 Balast ömrünün  $t_c$  sıcaklık değerlerine bağlı değişimi [6]

**Dimmerlemenin Gövde Sıcaklığı ve Hata Oranı Üzerine Etkisi:** Dimmerlenebilir elektronik balast devrelerinde farklı dimm seviyeleri için farklı balast sıcaklıklarıyla karşılaşılmaktadır. Genel olarak ışık kaynağının daha düşük ışık seviyelerinde çalıştırılması durumunda balast devresinin sıcaklığı düşeceğinden arızalanma oranı da düşüş gösterecektir.

Çizelge 2.11 Dimmerlemenin tc ve hata oranları üzerine etkisi [6]

<b>Işık seviyesi</b>	<b>Ortalama balast sıcaklığı</b>	<b>Ortalama hata oranı</b>
<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>
0	20	0.001
20	30	0.01
50	50	0.02
75	75	0.13
100	80	0.18

**Anahtarlama Sayısı :** Genel standartlarda lehim kontakları -20 +100C sıcaklık aralığında 2500 3000 açma kapama yapabilecek niteliktedir. Fakat pratikte sıcaklık aralığı bu değer çok daha altında olacağından açma kapama sayısı çok daha fazla olacaktır. Belirlenen sıcaklık aralığında gerçekte yapılabilecek anahtarlama sayısının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten faydalanılabilir [6].

$$A = 2500 \times (120 / \Delta t)^2 \quad (2.6)$$

Burada

$A$  : Anahtarlama sayısı

$\Delta t$  : Sıcaklık aralığını ifade etmektedir.

Bir iç aydınlatma projesinde +15 + 55 aralığında değişim gösterecek sıcaklık değerleri için anahtarlama;

$$A = 2500 \times (120 / 40)^2 = 22500$$

kez gerçekleştirilebilecektir. Sıcak ateşleme özelliği taşıyan balastlar için bu değerler geçerliken soğuk ateşlemeli balast devrelerinde bu sayı daha düşük olacaktır. (Yaklaşık 10.000 kez)

### 2.2.2.2 Ateşleme Yapıları

Elektronik balastlar manyetik balastların akım sınırlama fonksiyonlarına ek olarak ateşleme fonksiyonunu da üstlenirler. Balastların ateşleme özellikleri model ve yapılarına bağlı olarak farklılık taşıyabilmektedir. Tüm deşarj ampulleri belirli bir ateşleme sürecine maruz kalmaktadır ve ateşleme bu ışık kaynaklarının ömür değerleri üzerine doğrudan etkili en önemli faktördür. Ateşlemenin sıklığı ve ateşleme tekniğine bağlı olarak lamba elektrotlarında farklı süreçlerde eskime-aşınma gerçekleşeceğinden bu konudaki tercihler büyük önem taşıyacaktır.

Fluoresan ışık kaynaklarında balast devreleri ateşleme yapılarına göre sıcak ateşlemeli (rapid start) veya soğuk ateşlemeli (instant start) olmak üzere iki farklı yapıda olabilmektedir. HID sistemlerde ise ateşleyici fonksiyonu seri tip (superimposed) ateşleme sistemlerdeki yapıyla benzer özelliktedir [10].

**Rapid Start – Sıcak Ateşleme:** Sıcak ateşleme olarak da tanımlanan bu teknikte ışık kaynağının elektrotlarına belirli bir süreçte ideal değerlerde akım geçirilerek ön ısıtma gerçekleşir. Ön ısıtmanın pozitif etkisi nedeniyle elektrotlar üzerinde starter sistemlerine kıyasla çok daha düşük oranda bir aşınma gerçekleşecektir. Bu nedenle de sıcak ateşlemeli balast devreleri yüksek anahtarlama frekansının olduğu uygulamalarda öncelikli olarak tercih edilmelidir. (Anahtarlama sayısı > 20.000) Ön ısıtmalı ateşleme sistemlerinde floresan ışık kaynakları için yanma süresi yaklaşık olarak 1.5 saniye seviyesindedir. Sıcak ateşlemenin lamba elektrotu üzerine olumlu etkisi sonucunda ampul ömründe de büyük ölçüde artışlar söz konusu olacaktır.

**Instant Start – Soğuk Ateşleme:** Soğuk ateşleme olarak da tanımlanan sistemde lamba elektrotlarında herhangi bir ön ısıtma süreci yoktur. Ateşleme lamba uçlarına göreceli olarak daha yüksek bir gerilim (~1500V) değeri uygulanarak gerçekleşir. Bu tipte bir ateşleme çok kısa sürede (0.5s) ön ısıtma yapmadan ateşlediğinden soğuk ateşleme olarak tanımlanır. Bu tip bir ateşlemede lambaya uygulanan ateşleme geriliminin sık anahtarlama durumunda elektrot yapısı üzerine olumsuz etkisi olacağından sık anahtarlama uygun yapıda değildir.

Elektrotlarda bir ısıtma olmadığı için toplam sistem gücünün daha düşük olması söz konusu olacaktır. Fakat soğuk ateşlemenin lamba ömrü üzerine olumsuz etkisi nedeniyle sadece düşük anahtarlama sıklığındaki projeler için uygun tercih olacaktır. ( Anahtarlama sayısı ~10.000)

**HID :** HID sistemlerde ateşleme fonksiyonu floresan balastlarında olduğu gibi elektronik yapıdadır. Uygun ateşleme tekniği ve kontrol özellikleri yüksek basınçlı ışık kaynağının

ateşleme sürecinin daha hızlı gerçekleşmesi ve ampul ömrünün uzaması gibi pozitif etkiler doğurur.

### 2.2.2.3 Enerji Sınıfları


Daha öncede bahsettiğimiz gibi HID sistemlerde balast kayıp değerlerinin toplam devre gücüne oranla düşük seviyelerde olması nedeniyle floresan devrelerinde olduğu boyutta enerji sınıf çeşitliliği söz konusu değildir. Fakat yinede materyal kalitesi ve üretim teknolojisi bu noktada değişken değerlerin görülmesine sebep olabilmektedir.

EEl direktifleri, enerji fiyatlarının yükselmesi, elektronik komponent fiyatlarının düşmesi ve diğer teknik üstünlükleri nedeniyle elektronik balast devrelerinin kullanımı özellikle floresan grubunda çok hızlı bir artış göstermektedir. Genel olarak manyetik balastlara oranla çok daha düşük enerji kayıplarının olmasının yanı sıra birçok teknik avantajı da beraberinde getirmektedir. Elektronik balastlar teknik özelliklerine ve enerji kayıplarına göre A1, A2 ve A3 grubunda değerlendirilmektedir.

Çizelge 2.12 T5 ışık kaynaklarına ilişkin EEl sınıflandırması [12]

<b>A1</b>	Dimmerlenebilir Elektronik Balastlar
<b>A2</b>	Düşük Kayıplı Elektronik Balastlar
<b>A3</b>	Elektronik Balastlar

Çizelge 2.13 T5 ışık kaynaklarına ilişkin EEl sınıflandırması [12]

<b>T-5E</b> 	<b>Lamba Çıkışı</b>	<b>EEl Sınıflandırması</b>		
		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
<b>Ilcos Kodu</b>	W	W	W	W
FDH-14-G5-L/P-16/550	14	9.5	17	19
FDH-21-G5-L/P-16/850	21	13	24	26
FDH-24-G5-L/P-16/550	24	14	26	28
FDH-28-G5-L/P-16/1150	28	17	32	34
FDH-35-G5-L/P-16/1450	35	21	39	42
FDH-39-G5-L/P-16/850	39	23	43	46
FDH-49-G5-L/P-16/1450	49	29	55	58
FDH-54-G5-L/P-16/1150	54	31.5	60	63
FDH-80-G5-L/P-16/1150	80	47.5	88	92

#### 2.2.2.4 Güvenlik Fonksiyonları ve Elektriksel Değerler

**Güç Faktörü (PF-Power Factor):** Genel olarak elektronik balast devreleri 0,9c ve 0,98c güç faktörü değerindedir. Bu genel tanımın dışında düşük güçlü ampuller için tasarlanmış bazı ürün gruplarında bu değer 0,5 (kapasitif) gibi düşük bir değerde olduğu görülebilmektedir. Bu ürünlerin sınırlı sayıda kullanımı alanlarının sınırlı olması nedeniyle elektriksel problem oluşturmayacağı gibi aynı yapı içerisinde çok sayıda bu tipteki devre elemanlarının kullanılması sorun oluşturabilmektedir.

**THD:** (Toplam Harmonik Distorsiyon): Elektronik balast devrelerinde belli oranda harmonik distorsiyon oluşturmaktadır. Genel olarak bu değerler uluslar arası standartların koyduğu sınırlar çerçevesinde farklılık gösterebilmektedir.

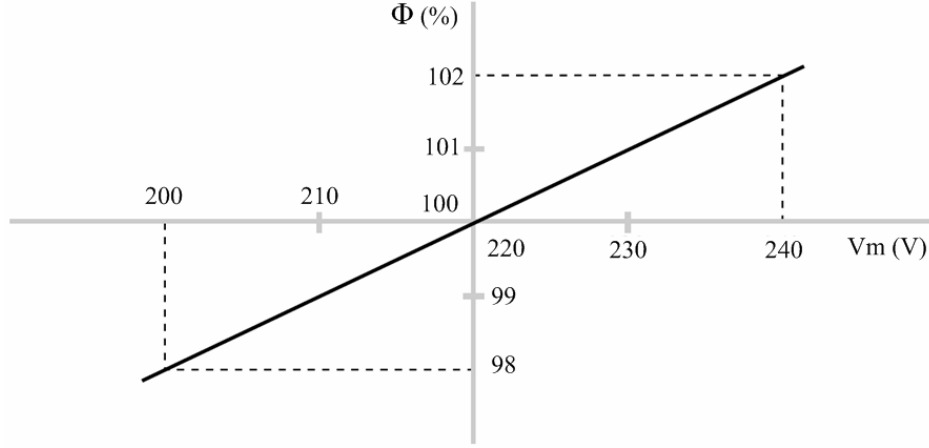
Bunun dışında şebeke uzun süreli yüksek gerilimler oluşabilecektir. Elektronik balast devreleri bu tarz bir probleme karşı belirli bir süre dayanım gösterebilmektedir. Pikler ve transienler balast devrelerine zarar verebilecek elektriksel oluşumlardır. Bu noktada da elektronik balast yapısının uluslararası normların tanımladığı minimum sınırlar içerisinde ne boyutta bir koruma sağladığı önemlidir.

#### 2.2.2.5 Dimmerlenebilirlik

Daha önceden değindiğimiz gibi ışık kaynaklarının dimmerlenebilmesi için ışık kaynağının yanında kullanılan elektriksel ekipmanın da buna uyumlu olması gerekmektedir. A1 sınıfı floresan elektronik balastları floresan ışık kaynaklarının farklı arayüzler ile dimmerlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun dışında sınırlı oranda da olsa HID sistemler için dimmerlenebilir elektronik balast çözümleri söz konusu olabilmektedir. Bu noktada bu sistemlerin sunduğu çözümler saha sınırlı bir uygulama yapısına sahiptir. HID sistemlerde floresan sistemlerde olduğu gibi -10V ve DALI gibi arayüzlerinin kullanılması mümkün olabilecektir. HID ışık kaynakları dimmerlenebilir elektronik balast kullanılması durumunda dahi % 50'nin altında bir dimmerleme yapılmasına uygun yapıda değildir.

#### 2.2.2.6 Çalışma Gerilimi

Manyetik sistemlerde şebeke dalgalanmaları doğrudan balast ve dolayısıyla ampul akımını etkilediğinden bu tip konularda daha hassas bir yapıdadır. Elektronik devreler ise belirli sınırlar içerisinde ampulün ışık çıkışının hemen hemen sabit tutulmasına olanak sağlayabilecek yapıdadır.



Şekil 2.30 Sabit çıkışlı elektronik floresan balast devresinin gerilim-ışık karakteristiği [6]

### 2.2.3 Elektronik Balastların Avantajları

Her ne kadar manyetik balast kullanımı yaygın olsa da gerek EEI direktifleri gerekse enerji fiyatları nedeniyle daha düşük kayıp oranına sahip olan elektronik balast kullanımı ağırlık kazanmaktadır. Elektronik balast fiyatları mekanik balastlara oranla daha yüksek olsa da enerji tüketimi ve diğer işletme maliyetlerinde sağladığı ciddi avantajlar sayesinde teknik ve ekonomik açıdan çok daha uygun bir alternatif olmaktadır. Elektronik balast kullanımıyla ilgili olarak sadece yetersiz oranda enerji tüketim konuları akla gelse de, kalite ve güvenlik konularında da sunduğu avantajlar göz ardı edilmemelidir. Elektronik balast devrelerinin sunduğu yeni özellikler sayesinde deşarj ışık kaynakları çok daha kullanışlı bir yapıya sahip olmuşlardır. Elektronik balast kullanımı enerji verimliliği, elektriksel güvenlik, ışık kalitesi, sistem ömrü ve aydınlatma kontrolü konularında ciddi avantajlar sunmaktadır.

**Enerji Tüketimi:** Projelendirme esnasında çoğu zamana enerji tüketimine ilişkin yeterli değerlendirme yapılmamasına karşın projelendirmenin önemli bir adımını enerji yönetimi oluşturmaktadır. Genel olarak ülke şartlarında bir armatürün yıllık enerji tüketim bedelinin armatürün fiyatından çok daha fazla olduğu düşünülürse enerji kayıplarının boyutu armatürün ya da komponentin fiyatından çok daha önemli olduğu anlaşılabilir. Elektronik balast kullanımı özellikle floresan gruplarında çok ciddi boyutlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle floresan armatür gruplarında elektronik balast kullanılması işletme açısından çok daha karlı olmakta ve geri ödeme süreleri ürünün yapısına bağlı olarak 1 yıldan kısa sürelerde bile gerçekleşebilmektedir.

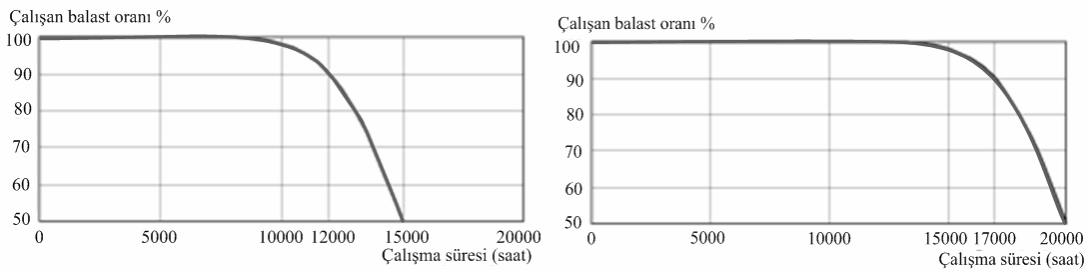
Halı hazırda bulunan birçok tesiste C ve hatta D sınıfı yüksek kayıplı manyetik balastlar kullanılmaktadır. Avrupa'da nispeten daha düşük kayıplı B2 balastlar ile elektronik

sistemlerin değişimin karlılığından bahsedilirken C ve D sınıfı gibi daha yüksek kayıplı balastlar için dönüşüm düşünmemek zarar anlamına gelecektir.

**Düşük Isıl Faktörler:** Aydınlatma sistemlerinin ısıl yükleri özellikle sürekli kullanımın olduğu ofis alanlarında, yüksek aydınlık seviyelerinin oluşturduğu (dolayısıyla çok sayıda armatürün kullanıldığı) mağaza ve alışveriş noktalarında sorun teşkil edebilmektedir. Elektronik balast devreleri üzerinde daha az kayıp gerçekteştiğinden dolayı manyetik sistemler kıyasla daha az ısınırlar. Bu sayede yüksek aydınlatma yüklerinin bulunduğu noktalarda aydınlatma sisteminin oluşturabileceği ısı yükü azaltılarak iklimlendirme maliyetlerinde de tasarruf edilebilmektedir.

**Daha Uzun Ampul Ömrü ve Lümen Kararlılığı:** Bir ışık kaynağının ömrü büyük ölçüde beraberinde kullanılan balast ve ateşleyici gibi yardımcı ekipmanların yapısına bağlı olarak artış veya azalış göstermektedir. Özellikler elektronik balast kullanımının sunduğu uygun ateşleme yapısı sonucunda deşarj ampullerinin daha uzun süreli kullanımına olanak sağlamaktadır. Bir armatür devresi içerisinde en sık sürkülasyon yaşıyan devre elemanın ışık kaynağının kendisi olduğu düşünülüğünde ampul ömrünün uzamasının servis ve genel bakım maliyetlerinde tasarruf sağlayacağı ve daha güvenilir (süreklilik taşıyan) bir alt yapı oluşturacağı kesindir.

Elektronik balast kullanılması durumunda lamba ömrüne paralel olarak lümen kararlılığının da daha iyi seviyelerde olacağı bilinmektedir. Bu sayede ışık kaynağı ömrünün sonuna kadar ışıksal verimliliğini koruyacaktır. Tüm bunların sonucunda da sistem uzun ömürlü ve daha verimli bir hal alacaktır.



Şekil 2.31 Sabit çıkışlı elektronik balast devresinin gerilim ışık çıkış karakteristiği [6]

**Daha İyi Işıksal Çıkışı :** Genel olarak şebeke sistemimizde görülen gerilim dalgalanmaları aydınlatma sistemlerinin ışık çıkışlarını doğrudan etkilediğinden hissedilebilmekte ve ileriki boyutlarda rahatsız edici seviyelerde olabilmektedir. Elektronik balastlar şebeke geriliminde görülen dalgalanmalara karşın sabit ışık çıkışı sağlarken belli sınırlar içerisindeki farklı

gerilim seviyelerinde bile sorunsuz çalışabilmektedir.

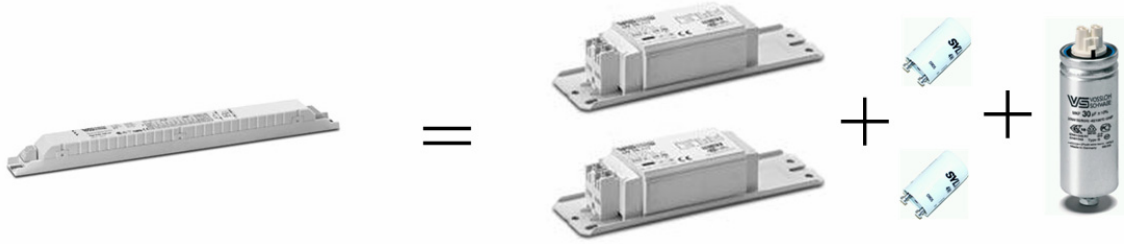
**Yüksek Frekanslı Işık:** Floresan ışık kaynakları saniyede 100 kez yanıp sönerek ışık yaymaktadır. Genel olarak gözümüzle hissedemediğimiz bu döngü uzun süreli kullanımlarda ve yüksek hızlı hareketlerin olduğu noktalarda gözü yorucu ve belli oranda rahatsız edici bir hal alabilmektedir. Özellikle sadece yapaya aydınlatmayla aydınlatılan bir yapıda uzun süreli bir kullanım söz konusu ise (örneğin ofis, büro vs) veya dikkat gerektiren ve görmenin öneme taşıdığı bir eylem yapılıyor ise(okuma çizim denetim vs) ışık kaynağının çalışma frekansı hissedilir ölçüde görsel kaliteyi etkileyecektir. Bu nedenle bu tip yerlerde yüksek frekansta sabit ışık çıkış özelliği nedeniyle elektronik balast devreleri tercih edilmelidir [13].

Floresan sistemlerde kullanılan elektronik balastlar yüksek frekanslı oldukları için lambanın çalışma frekansı 40 kHz in daha üstünde gerçekleşmektedir. Buda görsel performansı arttıran bir etmendir. HID sistemlerde ampul yapısının da etkisiyle yüksek frekanslı çalışma mümkün değildir. HID manyetik sistemlerde 100 hz olan çalışma frekansı HID elektronik sistemlerde 130 hz seviyelerindedir. Bu seviyede titreme ve benzeri birçok olumsuz etmenin engellenmesi için yeterli bir değerdir.

**Stroboskopik Etki:** Özellikle devinimsel (döner) hareketlerin olduğu yerlerde aydınlatma sisteminin çalışma frekansı nedeniyle oluşan görsel yanılmalar stroboskopik etki olarak tanımlanmaktadır. Özellikle üretim alanlarında bu tarz risklerin barındırıldığı yerlerde saniye 100 kez yanıp sonen manyetik bir balastlı aydınlatma sistemi kaza riski taşıyabilmektedir. Bunun la ilgili klasik çözümlerin mevcut olmasına karşın en uygun çözüm kHz ler mertebesinde ışık çıkışı sağlayan (saniyede yaklaşık 20.000 – 100.000 kez yanıp-sönme) elektronik balast devresi kullanmaktadır.) (HID sistemlerde çalışma frekansı 130 Hz seviyelerindedir.)

**Çevresel Uyumluluk:** Aslında pekte kabul edilebilir bir durum olmasa da manyetik devrelerin zamanla veya olumsuz çevresel şartlar sonucunda belli seviyede gürültü ürettiği görülebilmektedir. Elektronik balastlar ise yarı iletken devrelerden imal edildiği ve uluslararası ölçülerde elektromanyetik sınırlara uyumluluk taşıdığından ses sorunu oluşturmamaktadır. Bu konunun dışında elektronik balastlar EMC in gerektirdiği tüm elektromanyetik sınırlamalara göre üretilmekte ve dolayısıyla bu konularda herhangi bir parazit veya uyumsuzluk sorunu yaşanmamaktadır.

**Basit Sistem Yapısı:** Elektronik balast kullanarak birden çok ışık kaynağını tek bir balast devresiyle çalıştırmak mümkündür. Elektronik balast devreleri içinde kendi ateşleme yapılarını da barındırdıklarından dolayı ek bir starter veya ateşleyici devresine ihtiyaç yoktur. Bu sayede sistem daha az bileşenden oluşturularak montaj işçiliğinin süresi ve arıza olasılığı da azalacaktır. Buna ek olarak elektronik devre yapısı kullanılması sonucunda kompanzasyon amaçlı olarak kondansatör devresinin kullanılmasına gerek yoktur.



Şekil 2.32 Fluoresan devrelerinde elektronik ve manyetik balast devrelerinin kıyaslanması

Bir sistem yapısı içerisinde ne kadar çok bileşen varsa istem o denli arıza riski taşımaktadır. Bu nedenle elektronik balastların basitleştirdiği devre yapısı daha güvenilir sistemlerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Elektronik Balastlar için 5000 saatte %1 hata olasılığı ile 50.000 saat kullanım süresi öngörülmüştür. Buda 50.000 saatlik servis süresi sonunda ürünlerin %90 nın'dan fazlasının çalışacağı anlamına gelmektedir.

**Kontrol ve Dimmerlenebilirlik :** Elektronik balastlar ile birlikte floresan ışık kaynaklarının da kontrol edilmesi ve/veya dimmerlenmesi gibi konularında çözümler sunulabilmektedir. Uygun bir balast devresiyle floresan ışık kaynakları dimmerlenebilmekte, adreslenebilmekte veya hata kontrolü yapılabilmektedir. Yeni nesil mikrodenetleyici devreler ile genişletilmiş olan adreslenebilir balast devreleriyle her armatürün birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmesi, adreslenmesi hata denetimlerinin yapılması sonucunda kullanım ve tasarruf senaryolarının oluşturulması mümkün olabilmektedir. Aydınlatma tasarımı konusunda çığır açan bu teknolojik alt yapı floresan serisinin iç aydınlatmadaki payının artmasında etkin rol oynamaktadır. 1-10 V, veya DALI gibi mevcut kontrol sistemleri bina otomasyon sistemleriyle paralel veya bağımsız olarak kontrol edilebilmekte, kontrol ve enerji tasarrufu konularında üst düzey çözümler sunabilmektedir.

**Güvenlik Fonksiyonları:** Manyetik balastlar güvenlik konusunda pek fazla özellik barındırmazken elektronik sistemler ürün ve çevresel sistemler konusunda üstün özellikler taşımaktadır. Manyetik sistemlerde şebekede görülen tüm dalgalanmalar doğrudan ışık kaynağına iletildiğinden ışık kaynağının ömrü ve ışık çıkışı konusunda eksiklikler

yaşanmasına neden olabilmektedir. Bir çok elektronik balast modeli belirli sınırlar içerisinde değişen besleme gerilimlerinde koruyucu görev üstlenir.

Herhangi bir sebeple sadece temassızlık nedeniyle ateşlenemeyen floresan ışık kaynağı sürekli olarak ateşlenmeye çalışılacak ve bir süre sonra elektrotlar aşındığından dolayı ışık kaynağı tamamen arızalanacaktır. Elektronik balast devrelerinde herhangi bir sebeple çalışmayan ışık kaynağı sürekli ateşlemeye maruz kalmayacak ve belli bir denem sonrasında otomatik olarak enerjiyi kesecektir. Benzer şekilde ömrünün sonuna gelen ışık kaynakları çalışmasalar da sürekli ateşlemeye maruz kalırlar. Bu durumda olası güvenlik sorunlarının yanı sıra gereksiz yere enerji tüketilmekte ve şebekeye parazit oluşturulmaktadır. Elektronik balast kullanılması durumunda ömrünün sonuna gelen ışık kaynağı otomatik olarak devre dışı bırakılacaktır. Bu özellik sayesinde ışık kaynağının tamamen arızalanmasının, gereksiz enerji tüketilmesinin veya herhangi bir elektriksel riskin önüne geçilmektedir.

Elektronik balast devreleri olası aşırı ısınmaların sistem üzerine olumsuz etkilerini ve olası güvenlik problemlerini engellemek üzere aşırı ısınmaya karşı koruma özelliğini de taşıyabilmektedir. (Bu özelliği barındırmayan elektronik balast devreleri de mevcuttur)

**Boyut ve Ağırlık:** Elektronik balastlar yarı iletken devrelerden imal edildiğinden dolayı manyetik sistemlere kıyasla çok daha hafiftir [11].



Şekil 2.33 Elektronik ve manyetik balastlar için ağırlık kıyaslaması

Manyetik sistemlerde devre tamamen manyetik bir prensibe göre yapılandırıldığından boyut ve tasarım üzerinde sınırlı değişimler gerçekleştirilebilmektedir. Elektronik devre teknolojisinde ise sistemler giderek küçülmekte ve giderek daha minimal boyutlarda sistemlerin tasarımına olanak sunmaktadır. Mekanik sistemlerde ise tamamen manyetik bir yapı olduğundan boyutlar ve tasarım üzerinde pek fazla oynama seçeneği yoktur.



Şekil 2.34 Elektronik balastlar [11]

Sonuç olarak elektronik balast endüstrisi günümüz aydınlatma sistemlerinin çok daha güvenli, kaliteli ve verimli olmasına olanak sağlayan çözümler sunmaktadır. Elektronik devrelerin sunduğu yenilikçi çözümler, artan enerji fiyatları ve gelişen kalite anlayışı sonucunda elektronik balast kullanımına yönelim giderek artış göstermektedir. Ampul teknolojileriyle paralel bir gelişim gösteren balast teknoloji deşarj ampullerinin kullanılabilirliğini arttıran en önemli etmenlerden biri haline gelmiştir

### 2.3 Transformatörler

Düşük gerilimli halojen ampullerin çalıştırılması için şebeke geriliminden çok daha düşük çalışma gerilimine (genellikle 12V) ihtiyaç vardır. Bu nedenle bu ışık kaynakları şebeke gerilimini düşük gerilime dönüştüren yardımcı ekipmanlar ile birlikte kullanılmaktadır. Bu ışık kaynaklarının çalıştırılması için kullanılan dönüştürücü devreler (trafolar) manyetik yapıda olabildiği gibi elektronik devrelerden (konvertör) de imal edilebilmektedir



Şekil 2.35 Bazı düşük gerilimli halojen ışık kaynakları [5]

#### 2.3.1 Manyetik ve Elektronik Transformatörlerin Dimmerlenebilirliği

Transformatörler yapılarına bağlı olarak potansiyometre, dijital arayüz ya da faz kesme (yükselen kenar - alçalan kenar) özellikli dimmer yapıları ile kontrol edilebilmektedir. Bu noktada kullanılan dimmerin hangi tip kontrol ile uyumlu olduğu büyük önem taşımaktadır.

Elektronik DALI uyumlu transformatörler DALI arayüzü veya push kontrol fonksiyonu ile kontrol edilebilirler. ( Bu sistemler diğer dimmer yapılarıyla kontrol edilmeye uygun

değildir.)

Elektronik transformatörler farklı yapıdaki dimmerler ile kontrol edilebilir. Bu noktada cihazın hangi tip kullanıma uygun olduğu kontrol edilmelidir. Devre yapısı üzerinde görülen şekil 2.36'daki L, C ve LC etiketli semboller konvertörün hangi tip dimmerler ile uyumlu olduğunu belirtir [11].



Şekil 2.36 Dimmerleme uyumluluğu

### 2.3.2 Elektronik Transformatörler

Elektronik konvertörlerde manyetik trafoların yapılarından farklı olarak yarı iletken devrelerden üretilen ve beraberinde birçok güvenlik fonksiyonunu barındıran komponentlerdir. Elektronik balast devrelerinde de olduğu gibi çalışma esnasında arıza ve güvenlik sorunlarının yaşanma olasılığı büyük oranda belirtilen maksimum gövde sıcaklığına bağlıdır. Tc ürünün kasa yapısı üzerinde belirtilen ve ideal çalışma koşulları için izin verilen maksimum sıcaklık değeridir. Ekipmanların ömrünün kısalması veya çalışma kalitesinde sorunlar görülmemesi için gövde sıcaklık değerlerinin gövde üzerinde belirtilen tc değerini aşmaması gerekmektedir.

Elektronik transformatör devreleri aşırı ısınma, kısa devre ve aşırı yüklenme gibi durumlara karşı gerekli koruma fonksiyonlarını barındıran özelliklerde olabilmektedir.

**Aşırı ısınmaya karşı koruma:** Aşırı yüksek sıcaklık değerlerinde ısı koruma devresi devreyi keserek koşulların normale dönmesiyle tekrar devreyi çalıştırır.

**Kısa devreye karşı koruma:** Çıkış (sekonder) bölümünde oluşacak kısa devre durumunda devre elektronik olarak devre dışı kalacaktır. Söz konusu kısa devre durumunun ortadan kalkması durumunda sistem tekrar çalışacaktır.

Aşırı yüklenme durumunda yüklenmenin boyutuna bağlı olarak termal koruma ya da kısa devre koruması devreye girerek ilgili güvenlik fonksiyonunu yerine getirebilmektedir. Elektriksel yüklenme durumlarına yönelik anormal durumlar için EN 61547 'in tanımladığı

sınırlar içerisinde transient ve aşırı yüklenmelere karşı koruma özellikleri bulunabilmektedir. Bu özellikler filamanlı ışık kaynaklarının şebeke hassasiyeti göz önünde bulundurulduğunda çok daha büyük önem taşıyacaktır.

### 2.3.3 Elektromanyetik Transformatörler

Elektromanyetik transformatör yapıları basit dönüştürücü yapısındadır ve elektronik devrelere kıyasla daha yüksek enerji tüketimi ve daha düşük elektriksel güvenlik özellikleri taşımaktadır. Elektromanyetik transformatörler sahip oldukları düşük iç empedansları nedeniyle kısa devre durumlarında yüksek arıza akımlarının görülmesi söz konusudur. IEC 61588'e göre transformatörler kısa devre koruma özelliklerine göre 3 grupta değerlendirilmektedir. [10]

- Kısa Devre Korumasız
- Sınırlı Kısa Devre Koruma (Sınırlı) özellikli transformatörler
- Kısa Devre Koruma (Sınırsız) özellikli transformatörler



Kısa-devre Korumasız



Sınırlı Kısa-devre Koruma

Şekil 2.37 Kısa devre koruma sembolizasyonu

Çizelge 2.14 Bakır sarımlara ilişkin izolasyon sınıfları [10]

	A	E	B	F	H
Normal koşullardaki (1.06 UN) Maksimum Sargı sıcaklığı	100 °C	115 °C	120 °C	140 °C	165 °C
Aşırı yüklenme veya Kısa devre durumunda Maksimum Sargı sıcaklığı	200 °C	215 °C	225 °C	240 °C	260 °C

Armatür yapısının materyal ve tasarım özelliklerine bağlı olarak farklı termal yapıda olabilmektedirler. Bu nedenle de armatür içerisinde görülen sargı sıcaklığı doğal olarak açıkta çalışma koşullarında oluşan sargı sıcaklığından farklı olacaktır. Bununla ilgili olarak ölçümler uygulamadaki çalışma koşullarında gerçekleştirilmelidir. ( Bununla ilgili değerlendirmelerde ta: Ortam sıcaklığı değeri de göz önünde bulundurulmalıdır.

## 2.4 Ateşleyiciler

Elektrotlarda herhangi bir ön ısıtmaya gerek duyulmadan, deşarj lambalarında ateşlemeye yönelik gerilimsel atlama sağlayan aygıtlar ateşleyici olarak tanımlanır. Metalik halojenürlü lambalar ve sodyum buharlı lambalarda deşarjın başlaması için gerekli olan gerilim değeri şebeke geriliminden daha yüksek olduğu için bu lambaların bir ateşleyici devresiyle birlikte kullanılması gerekmektedir. Ateşleyici devreleri ateşleme tekniklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bununda ötesinde ateşleyici devreleri üretim teknolojilerine bağlı olarak ekstra güvenlik ve teknik özellikleri de bünyelerinde barındırabilmektedirler. Genel olarak sodyum veya metal Halide ışık kaynakları için tek tip ateşleyici kullanılması mümkün olabilmektedir.

### 2.4.1 Ateşleme gerilimleri

E27 duylu 35, 50 ve 70W gücündeki sodyum ampuller için ateşleme gerilimi 1.8 - 2.3 kV'dur. Diğer sodyum buharlı ve metal halide ışık kaynakları için ateşleme gerilimi 4-5kV 'dur. Bu grubun dışındaki bazı ürün grupları da 700 -5000V arasında değişim gösteren seviyelerde ateşleme gerilimlerine ihtiyaç duyarlar [10].

### 2.4.2 Ateşleyici Tipleri

Ateşleyici tipleri ateşleme tekniklerine ve üretim teknolojisine bağlı olarak farklı özellikler taşıyabilmektedir. Bu noktada tercihler ve genel özellikler uygulamanın yapısına bağlı olarak tercih edilmelidir.

#### 2.4.2.1 Superimposed (Seri Tip)

Bu tip ateşleyicilerde yüksek gerilim darbesi, ateşleyicinin iç yapısında bulunan gerilim transformatörü tarafından üretilir ve bu nedenle balast devresinin ateşleme fonksiyonu yoktur. Yüksek gerilime maruz kalmaması ve ateşleyici kademesinin gerekmemesi nedeniyle balast yapısı daha basit ve ucuzdur fakat toplam sistem maliyeti pulse (yarı-paralel, paralel) sistemlere kıyasla daha pahalı olabilmektedir. Ateşleyici devreye seri konumdadır.

Superimposed ateşleme sisteminde maksimum yük kapasitans değerinin ufak olması nedeniyle elektriksel ekipmanla ışık kaynağı arasındaki mesafe birkaç metre ile sınırlıdır. Bu nedenle bu tip ateşleyiciler ampule yakın konumlandırılmalıdır. Yinede standart dışındaki bazı modeller için çok daha uzak mesafelerde konumlandırma yapılması mümkün olabilmektedir. (Örneğin yüksek güçlü bazı ışık kaynakları için tasarlanmış ateşleyici devreleri için yük kapasitansı normalden daha yüksek değerlerde olabilmektedir.)

Çizelge 2.15 Seri tip ateşleyici devrelere ait iç kayıplar [10]

V/ Hz	Model	Maks. Lamba Akımı	Güç Kaybı	İç Isınma	Ateşleme Gerilimi	Maks. Yük Kapasitesi
		A	W	K	kV	pF
220-240/ 50-60	<b>Z 70 S</b>	2	< 0.6	< 5	1.8-2.3	200
	<b>Z 70 K</b>	2	< 0.6	< 5	1.8-2.3	200
	<b>Z 70 S A20</b>	2	< 0.6	< 5	1.8-2.3	200
	<b>Z 70 K A20</b> <b>Z 70 K D20</b>	2	< 0.6	< 5	1.8-2.3	200
	<b>Z 250 S</b>	3.5	< 1.8	< 20	4.0-5.0	100
	<b>Z 250 K</b>	3.5	< 1.8	< 20	4.0-5.0	100
	<b>Z 250 S A20</b>	3.5	< 1.8	< 20	4.0-5.0	100
	<b>Z 250 K A20</b> <b>Z 250 K D20</b>	3.5	< 1.8	< 20	4.0-5.0	100
	<b>Z 400 S</b>	5	< 3.0	< 25	4.0-5.0	100
	<b>Z 400 M</b> <b>Z 400 M VS-Power</b> <b>Z 400 M S</b>	5	< 3.0	< 35	4.0-5.0	50
	<b>Z 400 M K</b> <b>Z 400 M K VS-Power</b>	5	< 3.0	< 35	4.0-5.0	50
	<b>Z 400 S A20</b> <b>Z 400 S D20</b>	5	< 3.0	< 25	4.0-5.0	100
	<b>Z 400 M S A20</b>	5	< 3.0	< 35	4.0-5.0	50
	<b>Z 400 M K A20</b> <b>Z 400 M K D20</b>	5	< 3.0	< 35	4.0-5.0	50
	<b>Z 750 S</b>	8	< 3.0	< 20	4.0-5.0	100
	<b>Z 1000 S</b> <b>Z 1000 TOP</b>	12	< 6.0	< 35	4.0-5.0	100
	<b>Z 1000 S D20</b>	12	< 6.0	< 35	4.0-5.0	100
	<b>Z 1000 L</b>	12	< 6.0	< 35	4.0-5.0	2000
	<b>Z 1200/2,5</b>	15	< 7.5	< 40	2.0-2.5	200
	<b>Z 1200/9</b>	15	< 10.0	< 40	7.0-8.0	50
<b>Z 2000 S</b>	20	< 6	< 30	4.0-5.0	100	
380-420/ 50-60	<b>Z 1000 S/400V</b>	6	< 3.3	< 28	4.0-5.0	2000
	<b>Z 2000 S/400V</b>	12	< 5.0	< 32	4.0-5.0	2000
	<b>Z 3500 S/400V</b>	20	< 7.0	< 35	4.0-5.0	100

#### 2.4.2.2 Pulse Ateşleyiciler

Pulse ateşleme sistemi olarak bilinen ateşleme sisteminde lambanın ateşlemesi için gerekli olan gerilim balast devresinin sargısı tarafından üretilmektedir. Ateşleyicinin genel yapısı yarı paralel veya paralel yapıda olabilir. Bu noktada yarı paralel sistemlerde kullanılacak balast üzerinden ateşleme bağlantısı için ekstra bir bağlantı klemensi mevcuttur. Bu nedenle yarı paralel tip ateşleyiciler bu ateşleme sistemine uyumlu balast devreleriyle kullanılabilir. Paralel yapıdaki pulse sistemlerde de balast sargısından faydalanılmaktadır. Fakat balast sargısının tamamı kullanıldığından yarı paralel sistemlerden farklı olarak balast devresi üzerinde ateşleyici için bir gerilim kademesi gerekmemektedir.

Her iki yapıda da kullanılan balastlar yüksek gerilim değerlerine maruz kalması nedeniyle uygun izoleli yapıda olmaları gerekmektedir. Pulse ateşleme sistemlerinde maksimum yük kapasitans değerinin yüksek olması nedeniyle elektriksel ekipman ışık kaynağından uzak mesafelere konumlandırılabilir.

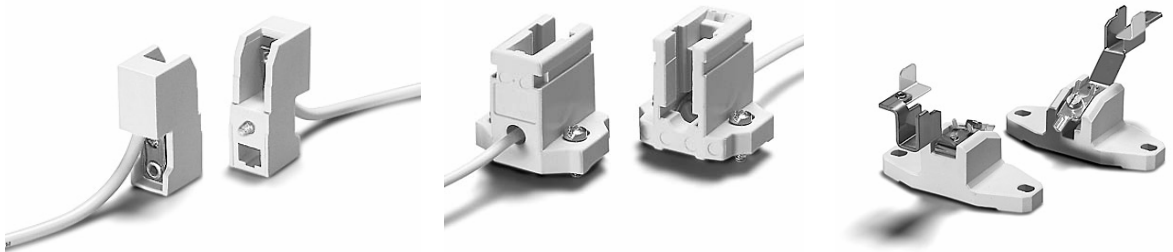
### 2.4.2.3 Ani Ateşleyiciler

Bilindiği üzere sıcak bir HID ışık kaynağının normal ateşleme devrelerle tekrar ateşlenebilmesi için HID ışık kaynaklarının saniyeler içerisinde ateşlenmesine ve/veya sıcak bir ampulün soğuma periyodunu beklemeden hemen tekrar ateşlenmesine olanak sağlayan ateşleme devreleri ani ya da sıcak ateşleyiciler olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.38 Örnek ani ateşleme devresi [11]

Ani ateşleme devreleri ışık kaynağına 20-30 kV'luk bir ateşleme gerilimi uygulayarak sıcak veya soğuk bir ampulün birkaç saniye içerisinde ateşlenmesine olanak sağlamaktadır. Ani ateşleme sistemlerinde ateşleme gerilimi oldukça yüksek değerlerde olduğu için ampulün ve duy yapısının bu tarz bir uygulamaya uygun olması gerekmektedir. Genel olarak şekil 2.39'daki gibi çift uçlu duy yapısı olan ışık kaynakları bu tarz uygulamalara uygunken diğer ampul tipleri duy yapılarındaki pin mesafeleri nedeniyle bu tarz ateşleyici devreleriyle kullanılamazlar.



Şekil 2.39 Ani ateşlemeye uygun duy yapıları Rx7s, Fc2, K12s-7 [10]

### 2.4.3 Yük Kapasitansı



Ateşleyici tipine dolayısıyla ateşleme tekniğine bağlı olarak ateşleyici-balast devresi ile ışık kaynağı arasındaki mesafenin belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bu noktada belirleyici unsur ateşleyici devresini maksimum yük kapasitesi ve de kullanılan kablonun kapasitif değeri olacaktır [10]. Kablonun kapasitif değeri kablonun kesitine, damar yapısına, damar sayısına, ve izolasyon malzemesine (malzemenin dielektrik sabitine) bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bunun dışında kablonun kullanım şeklide eşdeğer kapasite değerinin değişmesine neden olabilmektedir. ( kablounun ekranlı olup olmaması, iletkenlerden birinin toprak için kullanılması vb.) Kablo kapasitesi düşürmek için iki ayrıık iletkenin birbirinden en az 20 cm lik mesafelerde konumlandırıp kablo kapasitesi düşürülerek uygulama mesafeleri arttırılabilmektedir. Bu noktada en sağlık veriler elbette ki üreticinin tanımladığı değerler olacaktır. (rnek: normal PVC kablo 3x2.5 100pF/m)

rnek olarak 200pF maksimum yük kapasitesine sahip bir ateşleyici devresi üzerine 100pF/m lik bir kablo yapısı ancak 2 metrelik mesafelerde sağlıklı olarak çalıştırılabilmektedir. Bu mesafeden daha uzak bir uygulama yapabilmek için daha düşük kapasiteye sahip bir kablo yapısı tercih edilmelidir. Daha uzak mesafelerde konumlandırılması hedeflenen tipte uygulamalarda pulse ateşleme sistemini tercih etmek uygun olacaktır.

### 2.4.4 Ses Faktri

Seri tip ateşleyici devreleri ateşleme bobinin kendi iç yapılarında olmaları nedeniyle ilk ateşleme esnasında ses üretebilmektedir. Yarı paralel ve paralel tiplerden farklı olarak üzerlerinde sürekli aktif enerji olduğundan bu sistemlerden daha yüksek ses oluşumu söz konusu olabilecektir. Seri tip ateşleyicilerde sesin boyutu ateşleme bobini mıknatıs yapısı ve bu yapının boşluksuz yapısına bağlı olarak farklılık gösterir. Özellikle i uygulamalarda kullanılan seri tip ateşleyiciler ses in çok daha önemli olması nedeniyle farklı özelliklerde (mıknatıs yapısının birbirine yapıştırılma tekniği) retilmektedir. Bu nedenle içi uygulamalarda ve harici uygulamalarda kullanılan seri tip ateşleyiciler farklılık taşımaktadır. Bunla birlikte kullanılan izolasyon malzemesi ve diğer üretim kriterleri de bu noktadaki diğer belirleyici unsurlar olacaktır.

Çizelge 2.16 Seri ateşleyici yapılarında gürültü seviyeleri [10]

Lamba Tipi		Ses (dB)	
		Standart mühürleme tekniği (25°C)	Özel mühürleme tekniği (80°C)
	PHILIPS CDM- T70W/830	30	26
	PHILIPS CDM- T70W/942	45	30
	OSRAM HCI-T70/NDL Powerball	47	33

#### 2.4.5 Arıza Koşulları

Genel olarak ateşleyici devreleri içerisinde görülecek kısa devre problemleri büyük oranda ampulün ateşlenmemesi gibi problemler doğuracaktır. Normal koşullarda seri tip ateşleyici üzerinde görülen arızaların balast devresi üzerine olumsuz bir etkisi olmayacaktır. Fakat devrenin sürekli ateşleme çalışması ateşleyicinin ömrünün kılmasına ve şebekede parazit oluşumuna neden olabilecektir [9]. (Zaman kontrollü devrelerle bu problemin önüne geçilebilmektedir.)

Yarı paralel ateşleyici devreleri ateşleme için gerekli olan gerilim darbelerinin üretilmesi için balast devresinin bobininden faydalanır. Balast devresinin kısa devre olması durumunda gerekli olan gerilim üretilmeyeceğinden lamba ateşlenmeyecek ve sürekli olarak ateşlemeye çalışması sonucunda ateşleyici devresinin de bozulmasına neden olabilecektir. Bununla birlikte ateşlemenin gerçekleşmediği durumlarda sürekli ateşleme uygulanması diğer elektriksel komponentlerin arızalanmasına ve izolasyon problemlerinin yaşanmasına neden olabilmektedir.

#### 2.4.6 Otomatik Kesme

Ateşleyici devreleri lambanın ateşleme sürecinde ihtiyaç duyduğu ateşleme gerilimini darbe gerilimi şeklinde ampule uygular. Bir ışık kaynağının ömrünün sonuna gelmesi, temassızlık veya benzeri durumlarda ışık kaynağı ateşlenememesi nedeniyle enerji verildiği sürece ateşleme darbelerine maruz kalacaktır. Bu durumda sürekli ateşleme geriliminin uygulanması nedeniyle elektriksel güvenlik ve izolasyon problemlerinin yanı sıra, balast - ateşleyici devresinin de ömrünün kılmasına neden olacaktır. Zaman kontrollü kesme özelliğine sahip

ateşleyicilerde ışık kaynağı ateşlenmese de belirli bir süre sonucunda lambaya ateşleme gerilimi uygulanması kesilecektir. Bu sayede olası güvenlik problemlerin yaşanmasının ve ampul ömrünün optimum değerlerde kullanılmasına olanak sağlanacaktır.

Sonuç olarak bu tarz bir kontrol sürekli ateşleme sonucunda

- Elektriksel güvenlik problemlerinin yaşanması
- Şebekede parazitlerin oluşması
- Balast üzerinde DC akım bileşenin görülmesi
- İzolasyon delinmelerinin görülmesi
- Ateşleyici ömrünün kısılması
- Pulse ateşleme sistemlerinde balastın da zarar görmesi

gibi istenmeyen sonuçlar doğabilecektir.

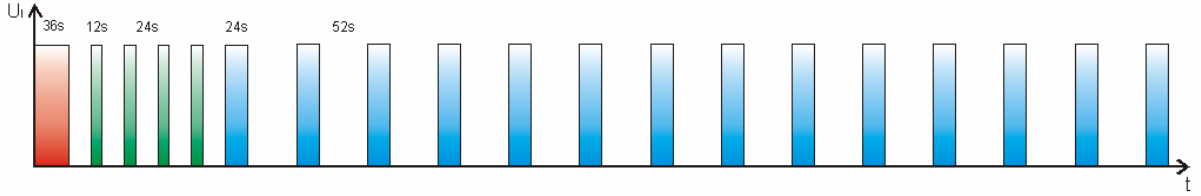
Özellikle metal halide ışık kaynakları için kullanılan ateşleyici devrelerinde ampul tipinin de risk taşıması nedeniyle zaman kontrollü ateşleyici devrelerinin kullanılması kalite ve güvenlik kriterleri açısından büyük önem taşımaktadır.

#### **2.4.7 Dijital Ateşleme Tekniği**

Ateşleme süreci ışık kaynağının ömrü açısından büyük önem taşıdığından ateşleyici sistemleri için lamba ömrünün ve güvenlik faktörlerini artırılmasına olanak sağlayan yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Modern ateşleyici devrelerinde ateşleme sistemi dijital olarak kontrol edilerek en uygun ateşleme süreci uygulanabilmekte ve eskimiş ışık kaynaklarının veya olası diğer faktörlerin doğurabileceği olumsuz etkilerin önüne geçilebilmektedir. Dijital sistemlerde ateşleme süreleri çok daha kısa olacağından sistemler ateşleme süreçlerinde çok daha az parazit oluşumuna neden olacaktır [10].

### Programlanmış dijital ateşleme sistemine ilişkin örnek (Üretici Vossloh-Schwabe, [10])

Genel olarak dijital sistemlerde ateşleme paketleri belirli zaman aralıklarında (pulse –pause) programlı olarak uygulanmaktadır. Bu yapıdaki bir sistem ampule sürekli ateşleme gerilimi uygulamadığından ampul ömrü ve soğuma periyodu konusunda avantaj sağlanabilmektedir.



Şekil 2.40 Dijital kontrollü ateşleme örneği [10]

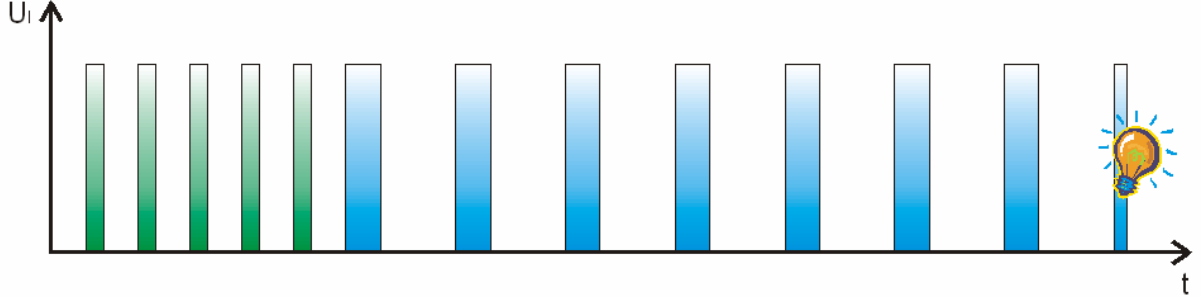
Ateşleme Periyodu: Genel olarak HID sistemlerin ateşleme süreci ampulün yaşına, çevresel etmenlere, ışık kaynağının tipine ve ampulün soğuk ya da sıcak olmasına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Soğuk bir ışık kaynağının ateşlenmesi ilk paket içerisinde gerçekleşecek ve bu paketin sonunda tekrar bir ateşleme gerilimi uygulanmayacaktır.



Şekil 2.41 Dijital ateşleme modeli – İlk çalışma [10]

Tekrar ateşleme : HID sistemlerde çalışma esnasında oluşan yüksek ısı ve basınç değerleri nedeniyle belirli bir soğuma sürecini yaşamaktadır. Normal koşullarda kısa süre içerisinde ateşlenen ışık kaynağı (< 36s) belirli bir soğuma sürecinin de gereksinimi nedeniyle ampulün yaşına da bağlı olarak 15- 20 dakikayı da aşabilen sürelerde gerçekleşmektedir. Analog sistemlerde bu soğuma sürecinde ışık kaynağına sürekli olarak ateşleme gerilimi uygulanmaktadır.

Dijital sistemlerde programlı ateşleme fonksiyonunun yanı sıra ışık kaynağının karakteristik özellikleri de tespit edilebilmektedir. Söz konusu teknoloji de lambanın ilk ateşleme denemesinde gerçekleşen ateşleme süresi tespit edilmektedir. Bu sürenin öncesinde ampul içerisindeki ısı ve basınç koşulları ateşlemenin gerçekleşeceği seviyeye inemediğinden bu süre içerisinde uygulana ateşleme geriliminin bir etkisi olmayacaktır.



Şekil 2.42 Dijital ateşleme modeli – Sıcak ateşleme [10]

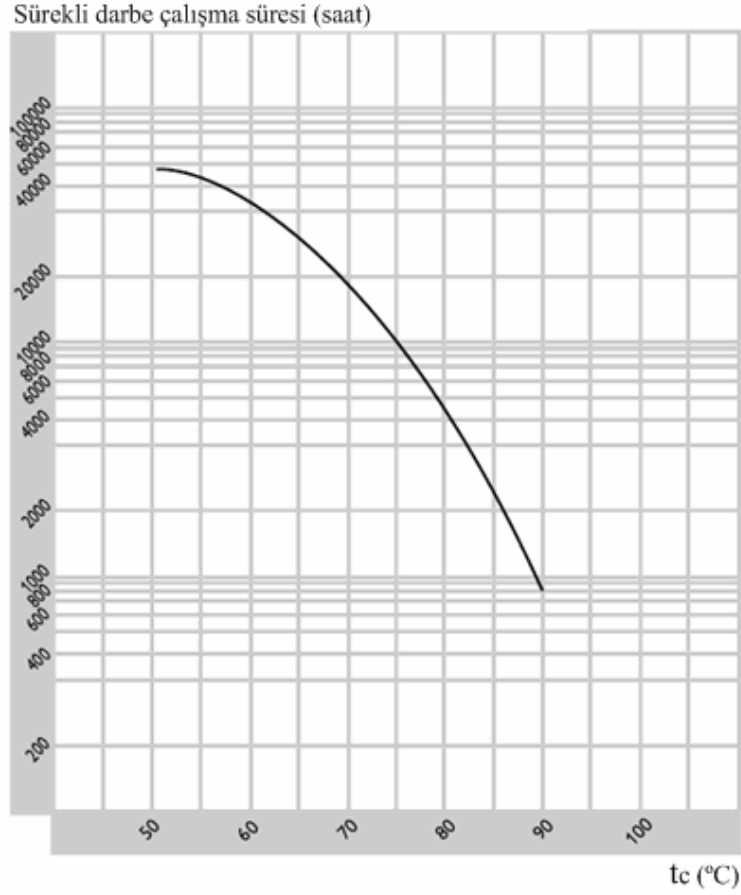
Işık kaynağının sıcak ateşleme süresinin tespit edilmesi sonrasında gerçekleştirilecek sıcak ateşleme de bu süreye kadar ateşleme gerilimi uygulanmayacak dolayısıyla ışık kaynağı daha kısa süreli olarak ateşleme gerilimine maruz kalacaktır.



Şekil 2.43 Dijital ateşleme modeli – Tekrar sıcak ateşleme [10]

### 2.4.8 Ömür

Diğer elektriksels ekipmanlarda da olduğu gibi sıcaklık ateşleyici devreleri içinde önemli bir arıza faktörüdür. Norma l şartlarda bir ateşleyici devresinin gün içerisinde bir ya da 2 kez ateşleme yapacaktır. Fakat sürekli çalışma yüksek sıcaklıklarında görülmesi durumunda malzemenin ömründe ciddi kısılmalara neden olabilecektir. Normal çalışma koşullarında bir ateşleyicinin gövde sıcaklığı yaklaşık olarak armatürün çevre sıcaklığından 15 derece daha fazla olacaktır bu durumda gövde sıcaklığının 90 derece olduğu düşünülecektir. 90 C sıcaklıkta çalışan ateşleyici devresinin gördüğü yıpranma çok daha yüksek olacaktır. Şekil 2.44 deki grafik bir ateşleyici devresinin ömrünün sıcaklık değerine bağlı olarak sürekli darbe çalışma süresini göstermektedir.



Şekil 2.44 Sıcaklığın ateşleyici devreleri üzerine etkileri [9]

## 2.5 Kapasitörler

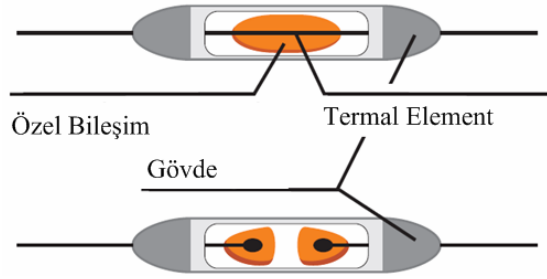
Günümüzde kullanılan tüm manyetik balastlar endüktif karakteristikte olduklarından dolayı şebekeden aktif güçle birlikte reaktif güçte çekmektedirler. Bir balast devresinin tükettiği reaktif gücün kompanze edilmesi için uygun kapasitede bir kondansatör devresi kullanılmalıdır. Kullanılacak olan bu kondansatörün değeri kullanılan ışık kaynağının tipine ve gücüne bağlı olarak değişim göstermektedir.

### 2.5.1 Kapasitör Tipleri

IEC 610842 A2 ye göre aydınlatma sistemlerinde kullanılan kompanzasyon kapasitörleri yapısal özelliklerine göre A ve B tipi olmak üzere iki farklı yapıdadır. Standartlar gereğince her iki kapasitör ailesi enerjinin kesilmesinin ardından 60 sn içerisinde gerilim seviyesini 50V'un altına kadar indirebilen bir deşarj direncine sahip olmalıdır. Genel olarak kapasitör uçlarındaki bu gerilimin öldürücü etkisi olmasa da servis esnasında oluşturacağı panik etkisiyle dolaylı kazalara neden olabilecektir.

### 2.5.1.1 IEC 61048-A2 uyumlu A tipi Kapasitörler (kontakt kesicisiz)

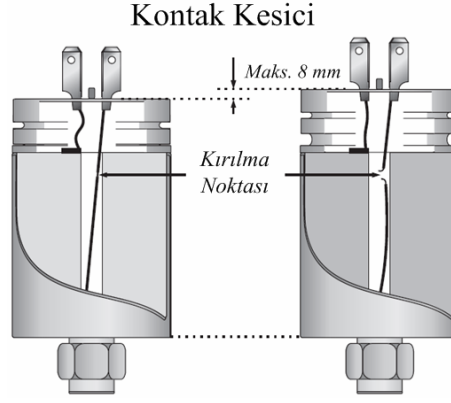
IEC 61048 A2 uyumlu A tipi Kapasitörler SH özelliğine sahip olup normal çalışma koşulları için kısa devre koruması gerektirmezler. A tipi kapasitörler B tipi kapasitör gibi üst güvenlik fonksiyonlarına sahip olmasalar da uygun çalışma koşullarında ideal servis ömrü süresince güvenli çalışmaya olanak sağlarlar. Buna rağmen aşırı yüklenme veya cihazın ömrünün sonunda düzensiz karakteristikler görülebilir. Bunun nedenle bu tip kapasitörler kritik çevresel etkilerin yaşanmayacağı armatür yapıları içerisinde konumlandırılmalıdır. Armatürler armatür içerisinde veya dışarısında ikincil bir hasar oluşumuna karşı korunumlu olmalıdır. A tipi modeller ek olarak elektriksel veya ısıl aşırı yüklenmeler karşı koruma sağlayan şekil 2.45'deki gibi termal korumalı yapıda da olabilmektedir



Şekil 2.45 Termal korumalı kapasitör devresindeki termik anahtar yapısı

### 2.5.1.2 IEC 61048 A2 uyumlu B tipi Kapasitörler (kontakt kesicili)

SH özellikli kapasitörler otomatik olarak rejenere olabildiklerinden dolayı kısa devre koruması gerekmemektedir. Bununla beraber aşırı yüklenme (gerilim, akım ve sıcaklık) gibi etmenler nedeniyle çok sık rejenerasyon oluşması veya kapasitörün ömrünün sonuna gelmesi durumlarında kapasitör içerisinde yüksek basınç değerleri oluşması söz konusu olabilecektir. A tipi kapasitörlerin kullanım alanlarından daha yüksek güvenlik faktörünün gerektiği uygulamalar da kullanılmak üzere tasarlanmış B tipi kapasitörler, hermetik gövde yapıları içerisinde şekil 2.46'daki gibi yüksek basınç kontak kesici devreler ile yapılandırılır. Kontakt kesicili B tipi ateşleyiciler alüminyum gövde yapısında üretilmektedir. Bu tip kontak kesicili - yüksek basınç korumalı kapasitörler diğer anlamda kesme mekanizmalı yangın ve patlama korumalı kapasitörler olarak da tanımlanır.



Şekil 2.46 Kontak kesme özellikli kapasitör devre yapısına örnek [10]

### 2.5.2 Ömür

Akım gerilim sıcaklık ve şebeke harmoniklerinin sınırlar içerisinde olması durumunda [11]

- Yaklaşık 75.000 saat (aşırı basınç korumalı paralel kapasitörler için)
- Yaklaşık 50.000 saat (aşırı basınç koruması olmayan (A Tipi) paralel kapasitörler için (plastik ya da alüminyum gövdeli)
- Yaklaşık 50.000 saat ( aşırı basınç korumalı seri kapasitörler için)

Değerleri referans alınabilir. Bu değerler üreticiye, üretim tekniğine ve genel kalite farklılıklarına bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir. Bununla birlikte kapasitörlerin ömürleri boyunca %3-10 oranında değer düşümü görülebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Belirtilen çalışma koşullarında hata Oranı: 1% 10000 saat seviyelerinde olacaktır. Diğer elektriksel devre elemanlarında olduğu gibi kondansatörlerde yüksek sıcaklık değerlerinden olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle bu ekipmanların yüksek ısı oluşan noktalardan daha uzak konumlandırılması gerekmektedir. Benzer şekilde kondansatör devrelerinin uzun süreli olarak nominal değerinin üzerinde bir çalışma gerilimine maruz kalmaları ömürleri üzerine olumsuz etkiyecektir.

Çizelge 2.17 Gerilim değerinin servi ömrü üzerine etkisi [10]

Gerilim Oranı	Servis Ömrü
1.0 x $U_n$	100 %
1.1 x $U_n$	42 %
1.15 x $U_n$	28 %
1.2 x $U_n$	19 %
1.3 x $U_n$	9 %

### 2.5.2 Kullanım Alanları

Armatür yapısı içerisinde kullanılacak olan kapasitörün hangi yapıda olacağı uygulamanın tipine bağlı olarak farklılık gösterecektir. Bu noktada tercihler için çizelge 2.18 incelenebilir.

Çizelge 2.18 Kapasitör tiplerinin kullanım alanları [10]

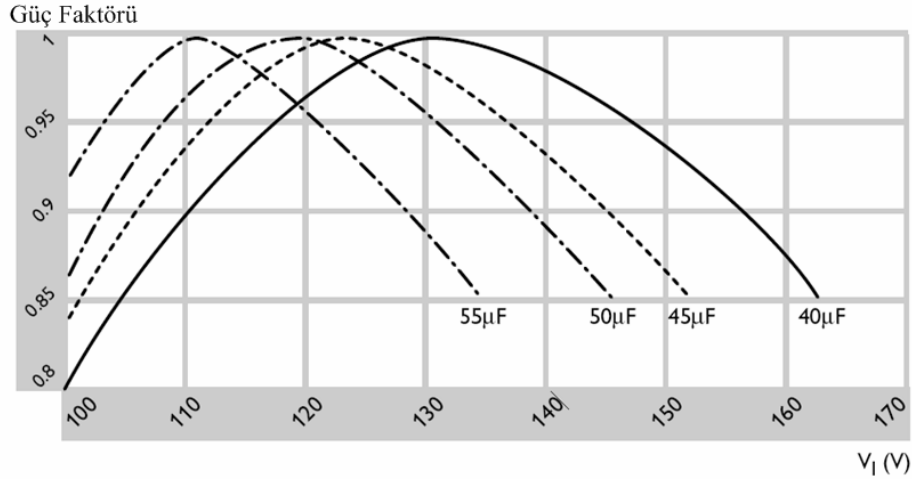
Uygulamanın Tipi / Özel Etmenler	Önerilen Kapasitör Tipi
230 – 240 V'luk besleme geriliminde seri kompanzasyon yapılacak armatürler	B tipi seri kapasitörler, 480V
Sera ve benzeri yapılarda kullanılacak armatürler (Yüksek nem)	Doldurulmuş (yağlı) B tipi kapasitörler, Doldurulmuş (yağlı) A tipi termal korumalı kapasitörler
Dış aydınlatma armatürleri (Isı değişimi – nem)	B tipi kapasitörler
Ankastre, üst bölümü açık ve benzeri yapıdaki armatürlerde (olası kondansatör arızasında iç ve dış kısımlarda hasar oluşumuna karşı yapısal korumanın olmadığı armatürlerde)	B tipi kapasitörler, A tipi termal sigortalı kapasitörler
Yüksek ısı yüklerine maruz kalabilecek armatürler	B tipi kapasitörler, (tc maks. 100 °C), A tipi termal sigortalı kapasitörler (tc maks. 85 °C, alüminyum gövdeli)
Şebeke açısından yüksek risk taşıyan armatürler (şebeke kalitesinin düşük olduğu, harmonik problemlerinin görülebildiği ya da şebeke kalitesinin bilinmediği uygulamalarda)	B tipi kapasitörler, (Mümkünse nominal değerden (250V) daha yüksek gerilim kademesinde), A tipi termal sigortalı kapasitörler (Mümkün olan maksimum nominal gerilim değeri = 250V)
Yüksek duyarlılıklı ortamlarda kullanılacak armatürler. (okul, hastane vb. gibi yüksek yangın duyarlılığı olan ortamlar, sıvı dolguların talep edilmediği ortamlarda)	Kuru tip B tipi kapasitörler (Mümkün olan maksimum nominal gerilim değeri = 250V) A tipi termal sigortalı kapasitörler
Orta seviyeli ısı yüklerinin görülebileceği ve olası kondansatör arızasında iç ve dış kısımlarda hasar oluşumuna karşı yapısal korumanın olduğu armatürlerde	A tipi termal sigortalı kapasitörler, A tipi termal sigortasız kapasitörler. (kritik olmayan ortamlarda ve normal şebeke koşullarında)

### 2.5.3 Yük Değişimi

Ateşleme ve rejime girme sürecinde ampul akım değeri nominal değerden çok daha üstünde olacağından güç faktörü ortalama 0.25'lik bir endüktif yük yapısında olacaktır. Rejim sürecinin tamamlanmasıyla birlikte nominal değerlere ulaşan akım değeriyle birlikte güç faktörü tasarlanan değerler ulaşacaktır. (0.85-0.9)

Birçok ışık kaynağı tipinde artan kullanım süresiyle birlikte lamba geriliminin artması ve dolayısıyla çekilen akım değerinin düşmesi karşılaşılan bir durumdur. Bu durumda azalan akım değeri lamba kısmında endüktif yükün azalmasına neden olmaktadır. Bununla eş zamanlı olarak kapasitenin akımı azalmadığından şekil 2.47'deki değişime benzer şekilde toplam sistem yükünün güç faktörü öncelikli artacak ve sonrasında kapasitif bir yapı alacaktır. Grup ampul değişimlerinde toplam yükün karakteristiğinin değişmesi gibi sonuçların görülmesi

mümkündür. Bu nedenle bu noktada aktif bir takip veya kontrol sistem için gerekli olabilecektir.

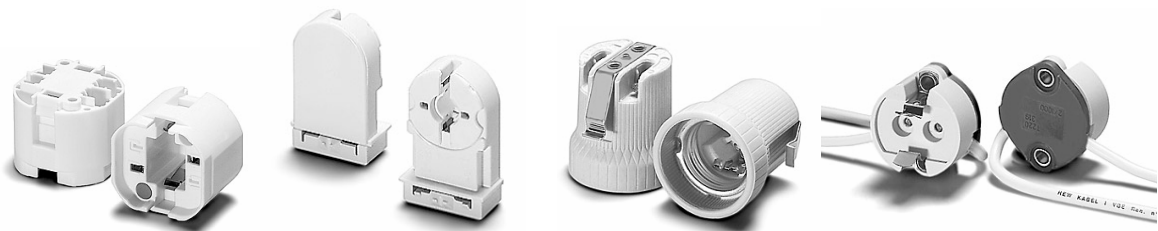


Şekil 2.47 Aydınlatma sisteminin lamba gerilimine bağlı yük değişimi [9]

Genel olarak hangi balast devresinin ne kadar lık bir kapasitöre ihtiyaç duyduğuna ilgili dokümanlardan erişilebilir. Bu noktada uygun boyutta bir değer bulunmaması durumunda % 20'yi aşmayacak boyutta bir üst seviyede kondansatör devresinin kullanılmasına izin verilebilir.

## 2.6 Duylar

Bir ışık kaynağının elektriksel bağlantısını ve armatürler olan irtibatını sağlayan ve farklı malzemelerden imal edilmiş ekipman duy olarak tanımlanmaktadır. Duyun yapısı, kullanılan malzeme ve diğer özellikleri hangi ışık kaynağı ile kullanılacağına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Duy, çalışma esnasında maruz kalacağı elektriksel değerlere (ateşleme gerilimi, nominal çalışma akımı vb.) ve olası ısı değerlerine dayanması gerekir. Aksi takdirde olası elektriksel ve fiziksel arızaların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle çoğu zaman önemsizmiş gibi gözüken bu malzeme önemli arızaların doğmasına neden olabilecek ve sistemin tamamını etkileyebilecek niteliktedir.



Şekil 2.48 Farklı duy yapıları

Duy yapısı her ne kadar basit bir yapı olarak gözükse de belli oranda arızaların ana kaynak noktası olarak görülebilir. Bu nedenle duyun imalatında kullanılan materyalin yapısı büyük ölçüde ısı sınırlarına bağlıdır. Kullanılan materyalin “T Rating” olarak tanımlanan ısı dayanım özelliği büyük önem taşıyacaktır. Floresan gruplarında PC veya PBT kullanılabilirken halojen ya da HID sistemlerde PPS, LCP veya porselen gibi çok daha yüksek ısı dayanıma ‘T-Rating’ sahip malzemeler kullanılmaktadır.

Çizelge 2.19 Duy yapılarında kullanılan materyaller [10]

MATERYAL	ISIL DAYANIM	KULLANIM ALANI
PA	/	Aksesuarlar
PC	T110	Floresan
PBT GF	T140 / T180	Floresan, Edison
PET GF	T210	Edison
PPS	T240	Edison, 12V Halojen, Deşarj
LCP GF	T270	Edison, 12V Halojen, 220V Halojen, Deşarj
LCP GF	T300	Edison, 12V Halojen, 220V Halojen, Deşarj
LCP GF	T330	Edison, 12V Halojen, 220V Halojen, Deşarj
Seramik	/	Edison, 12V Halojen, 220V Halojen, Deşarj

Duyun gövde yapısının dışında kullanılan iç iletken materyallerinin özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Özellikle HID sistem yapılarında kontaklar arası mesafe değeride büyük önem taşımaktadır. E27 duy yapısına sahip HID armatür tasarımlarında kullanılan E27 duyun 5kV’luk ateşleme gerilimine dayanımlı olduğunu temsil eden “5 kV” luk işaretin varlığı kontrol edilmelidir.

Çizelge 2.20 İç iletken olarak kullanılan materyal yapıları [10]

MATERYAL		UYGULAMA
Nikel Gümüş / Paslanmaz Çelik	CuNi18Zn20 – 9RU10	12V Halojen
Nikel Gümüş	CuNi18Zn20	12V Halojen
Nikel	Ni99,6	12V / 230V Halojen - Deşarj
Paslanmaz Çelik – Nikel Kaplı	X12 CrNi18 8 – Ni 20µm	230V Halojen
Bakır -Gümüş	Cu Ag	230V Halojen
Pirinç	CuZn30	Edison - Floresan
Paslanmaz Çelik - Pirinç	X12 CrNi17 7 – CuZn30	Edison - Deşarj

## 2.7 Armatürler

Bir veya birden fazla ışık kaynağının, ışık dağılımını istenilen şekilde düzenlemeye süzme ya da dağıtmaya yarayan ve de lamba için gerekli olan tüm donanımlarla şebeke bağlantılarını barındıran yapı armatür olarak tanımlanır [4]. Armatür yapısının tasarımında

- Işığın yönlendirilmesi
- Işığın verimliliğinin artırılması
- Dış etmenlere karşı koruma
- Bütünlük oluşturma
- Kamaşmayı sınırlama
- Estetik kaygılar

gibi temel konuların bazıları ya da tamamı önem taşıyabilmektedir. Mimari bir ürün tasarlarırken estetik kaygılar öncelik taşırken, endüstriyel bir tasarımda dış etmenlere karşı koruma ve optik kriterler öncelikli olarak değerlendirilebilecektir.

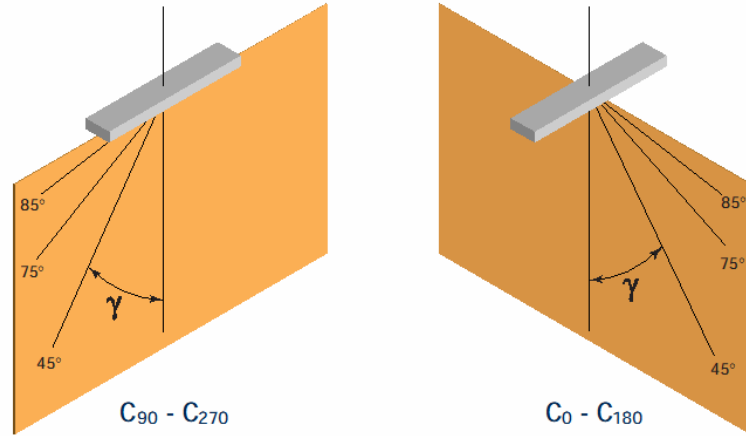
Bu bölümde armatür yapısına ilişkin kalite ve tercih kriterlerinin değerlendirilmesinde özellikle optik yapı, çevresel uyumluluk ve termal kriterler üzerinde durulacaktır.

### 2.7.1 Optik Yapı

Armatür tasarımındaki en temel kriterlerin başında optik yapı yer almaktadır. Armatürün optik yapısı ışığın dağılım karakteristiğini ve armatür verimliliğini belirleyeceğinden iyi etüd edilmesi gereken önemli bir konu başlığı olarak yorumlanmalıdır.

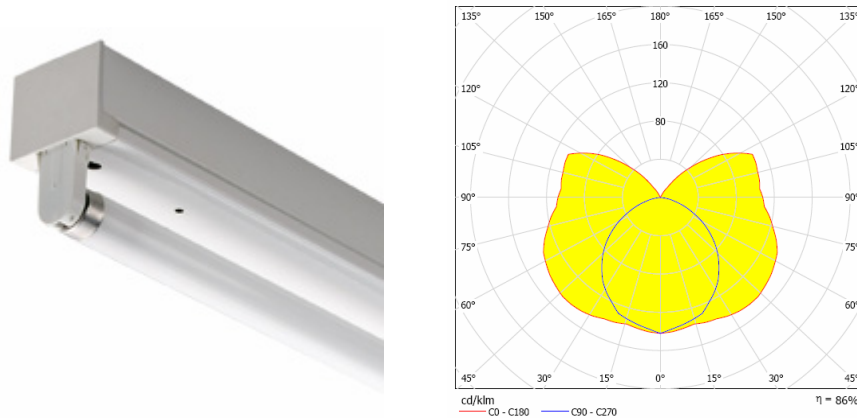
#### 2.7.1.1 Fotometrik Eğri

Fotometrik eğri bir ışık kaynağı veya armatürün ışık dağılım karakteristiğini ifade eden grafik yapısıdır. Fotometrik eğrilerin grafiksel gösteriminde C0 – C180 ve C90 – C270 eksenleri öncelikli olarak değerlendirilir. Bu sayede armatürün yatay ve dikey eksenlerdeki ışık dağılım karakteristikleri genel olarak incelenebilir. Grafik tablosunda tüm eksenlerin aynı anda gösterilmesi mümkün olmadığından bu en temel 2 eksen üzerindeki ışık dağılımları gösterilir. Diğer eksenleri üzerindeki ışık dağılımlarının değerlendirilmesinde detaylı tablolar veya çok daha pratik olarak bilgisayar tabanlı çözümlerden yararlanılabilmektedir.



Şekil 2.49 Fotometrik eğrilerde eksen tanımlamaları [14]

Fotometrik eğrilerin genel gösteriminde şekil 2.49'daki yapıdaki gibi temel iki eksen (C0 – C180 ve C90 – C270) üzerinde farklı  $\gamma$  açılarında oluşan ışık şiddetleri gösterilmektedir. Bu değerler üzerinde armatürün hangi doğrultuda ne oranda ışık yaydığı incelenebilir. (Grafik tabloları cd/klm cinsindedir. Gerçek değerler kullanılan ışık kaynağının gücüne bağlı olarak değerlendirilir [15])



Şekil 2.50 Örnek bant tipi tekli armatür ve fotometrik özellikleri

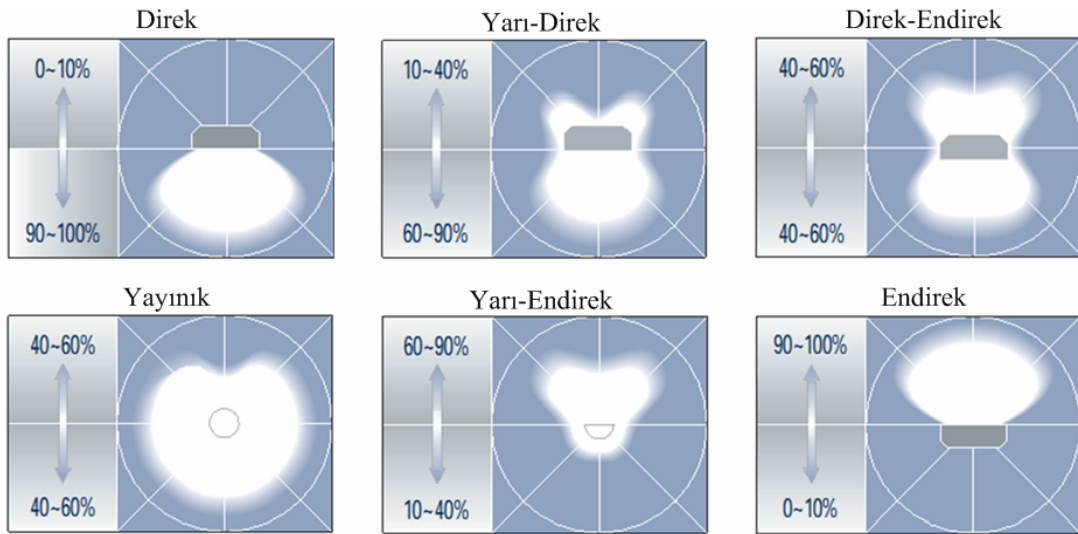
### 2.7.1.2 Optik Verim

Bir armatürün verimliliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak temel kriter optik verimlilik değeri olacaktır. Optik verimlilik değeri armatürün içerisinde kullanılan ışık kaynağından yayılan ışığı ne oran da dışarı yansıttığının göstergesidir. Bir armatürün verimlilik değeri ışık dağılım karakteristiğine gövde yapısına kamaşma sınıfı ve benzeri bazı etmenlere bağlı olarak %30 - %98 arasında değişim gösterebilmektedir.

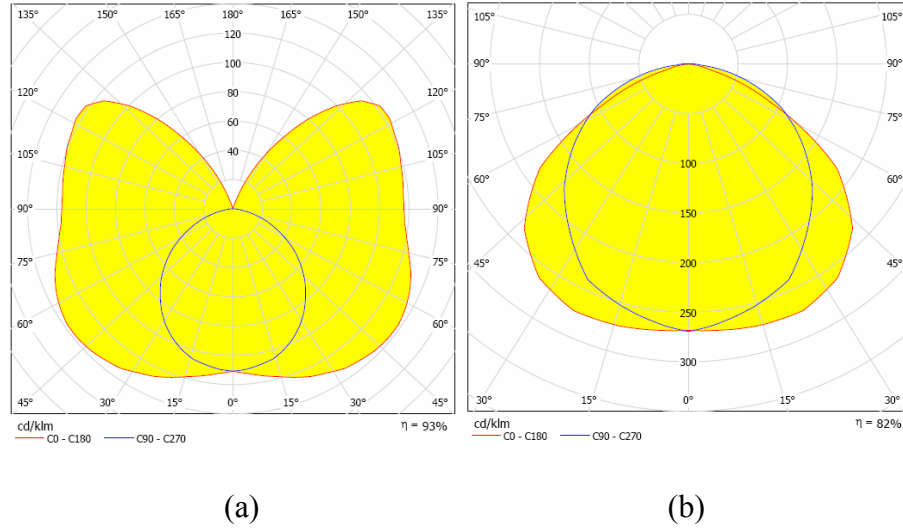
Armatür yapısına ilişkin optik verimlilik ve ışık dağılım karakteristikleri gonyofotometrik ölçmeler sonucunda elde edilen fotometrik eğriler üzerinden değerlendirilmektedir. Farklı formatlarda olabilen bu veriler armatüre ilişkin optik karakteristiklerin bilinerek manüel ya da bilgisayar ortamında ileri boyutta projelendirmelerin gerçekleştirilmesinde olanak sağlamaktadır. Fotometrik verilerin elde edilmesi ve projelendirmenin iyi etüd edilmesi sonucunda yüksek doğruluklu proje tasarımlarının yapılması mümkün olacaktır.

### 2.7.1.3 Işık Dağılım Karakteristiği

Genel olarak aydınlatmanın verimliliğinin değerlendirilmesinde sadece optik verimlilik değerinin değerlendirilmesi yeterli olmayacaktır. Bu noktada ışık dağılım karakteristiğinin de uygulamaya uygunluğu büyük önem taşımaktadır. Armatürün optik verimlilik değeri ne kadar yüksek olursa olsun ışık dağılım karakteristiğinin uygun olamaması da düşük verimli tasarımların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu nedenle armatürün ışık dağılım karakteristiğinin uygulamaya uygun nitelikte olması da en az verimlilik değeri kadar önem taşımaktadır. Armatürlerin ışık dağılım karakteristikleri üst ve alt yarı düzleme yaydıkları ışıksal oranlara bağlı olarak 6 grup içerisinde değerlendirilmektedir.



Şekil 2.51 Işık dağılım özellikleri [14]



Şekil 2.52 Farklı yapıdaki armatürlere ait ışık dağılım karakteristikleri

Şekil 2.52b'deki reflektörlü bant tipi ürün her ne kadar daha düşük verimlilikte olsa da ışığının tamamının alt yarı düzleme yansıtılması nedeniyle uygulama sonucunda sistem verimliliğinin reflektörsüz alternatifine kıyasla daha yüksek olmasına olanak sağlayabilmektedir. Işık kaynaklarının ışık dağılım karakteristiklerinin sistem verimliliği üzerine etkisi verimlilik bölümünde detaylı olarak değerlendirilecektir.

## 2.7.2 IP Sınıfları ve Gereklilikleri

IP sınıfı bir ekipmanın dış etmenlere karşı korunurluğunu ifade etmektedir. IP tanımlamalarından kullanılan ikili rakam kodlaması armatürün sırasıyla toz ve nem e karşı korunurluğunu ifade etmektedir.

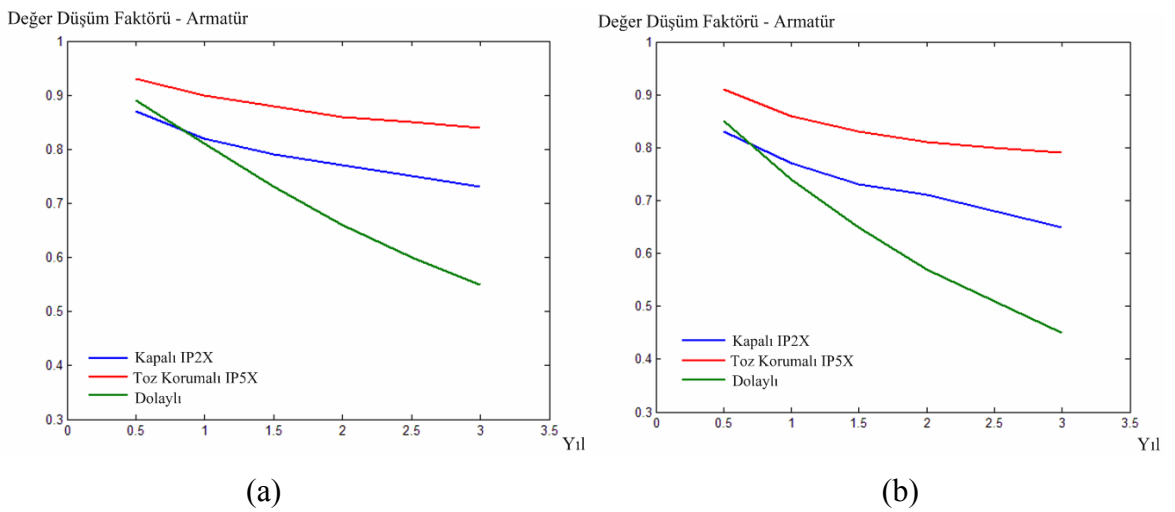
Çizelge 2.21 IP tanımlama tablosu

	<b>0</b>	Korumasız	<b>0</b>	Korumasız	
	<b>1</b>	50'mm den büyük cisimlere karşı korumalı	<b>1</b>	Dik açıyla gelen damlayan sıvılara karşı korumalı	
	<b>2</b>	12'mm dden büyük katı cisimlere karşı korumalı	<b>2</b>	15 ° açıyla damlayan sıvılara karşı korumalı	
	<b>3</b>	2.5 mm'den büyük cisimlere karşı korumalı	<b>3</b>	Dikeyden 60 ° ye kadar serpinti şeklinde gelen sıvılara karşı korumalı	
	<b>4</b>	1 mm'den büyük cisimlere karşı korumalı	<b>4</b>	Tüm yönlerden gelen sıçrayan sıvılara karşı korumalı	
	<b>5</b>	Toza karşı korumalı	<b>5</b>	Herhangi bir yönden gelen fişkıran suya karşı korumalı	
<b>6</b>	Toz geçirmez	<b>6</b>	Basıncılı suya karşı korumalı		
<b>7</b>		<b>7</b>	Su altında belirli bir süre, belirli bir basınç altında kullanıma karşı korumalı		
<b>8</b>		<b>8</b>	Su altında kullanıma uygun (detaylar üretici tarafından belirlenir)		

Armatür yapısı içerisindeki ekipmanların neredeyse tamamı nemden olumsuz şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle nem faktörünün olduğu noktalarda armatürlerin neme karşı korunumluluk önem taşıyacaktır. Tozlanma ise özellikle optik verimlilik üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek IP seviyesindeki ürünlerde optik yapı yüzeysel tozlanmaya karşı korunumun sağlanması nedeniyle daha düşük oranda kayıp yaşarlar.

Ürünlere ilişkin IP seviyelerinin belirlenmesinde öncelikli kriter çevresel etmenlerdir. Standart işletme koşullarına sahip yapılarda düşük IP seviyesi tercih edilebilirken ağır işletme koşullarına sahip yapı ve dış alan uygulamalarında yüksek IP seviyesinde ürünler tercih edilmelidir. IP seviyesinin boyutu tamamen işletme şartlarına bağlı olarak farklılık gösterecektir. Yüksek IP seviyesi dış etmenlere karşı yüksek koruma sağlamaktadır. Bu durum armatür tasarımında termal tasarım konusunda da büyük önem taşımaktadır. Genel olarak yüksek IP sınıfın sahip ürünlerde termal tasarım düşük IP li modellere kıyasla daha büyük önem taşımaktadır.

**IP sürekliliği:** Özellikle yüksek IP seviyelerindeki (>IP 65 ) ürünlerde IP zayıflamalarının teknik ve güvenlik sorunlarının yaşanmasına neden olabileceğinden sürekliliğin büyük önemi olacaktır. Yüksek IP seviyelerinin elde edilebilmesi için bir conta yapısının kullanılması kaçınılmazdır. Bu noktada sıcaklık, nem, ısı değişimleri, basınç, vb ağır işletme şartları bu yapıda zayıflamaların görülmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle kullanılan conta yapısının ve üretim tekniğinin bu sürekliliği sağlar yapıda olması gerekmektedir.



Şekil 2.53 Farklı yapıdaki armatürlere ait değer düşümleri [1], a) normal b) kirli ortam

### 2.7.3 Elektriksel güvenlik

Armatürlerle ilgili olarak elektriksel güvenlik tanımları ilgili EN normları içerisinde detaylı olarak tanımlanmıştır. Bu noktada armatür yapısı ve içerisinde kullanılan elektriksel ekipmanlar kullanım alanının ve de armatür yapısının gerektirdiği güvenlik fonksiyonlarını yerine getirecek nitelikte olmalıdır.

### 2.7.4 Termal Tasarım

Armatürler ışık kaynağının ve beraberinde kullanılan tüm elektriksel düzeneği de bünyesinde barındıran bir yapıda olduğundan termal yapısı bazı ürün gruplarında temel kriterlerden bir haline gelebilmektedir.

Genel olarak kullanılan tüm elektriksel ekipmanların ömürleri sıcaklık değerine bağlı olarak değişmektedir. Bununa birlikte ısı en önemli güvenlik kriterlerinden biridir. Genel olarak düşük koruma sınıflı (Düşük IP seviyeli) ürün gruplarında ısı problem teşkil etmezken yüksek koruma sınıflı ve yüksek ısı üreten ışık kaynaklarının kullanıldığı armatürlerde termal tasarım büyük önem taşımaktadır. Termal yapının iyi değerlendirilmemesi yüksek ısı oluşumunun söz konusu olduğu ürün gruplarında erken sistem arızalarına, ekipmanların ömrünün kısılmasına ve güvenlik problemlerinin yaşanmasına neden olabilmektedir.

Isı elektriksel ekipmanların ömrüne etkileyen en önemli faktördür ve bu noktada termal tasarım büyük önem taşımaktadır. Isı üreten ekipmanlar mümkün olduğunca iyi ısı ileten metal yüzeylere monte edilmelidir. Isısına havanın yükselmesinden yola çıkılmalı ve en yüksek ısı oluşturan ekipmanlara en üstte dışık ısı gücüne sahip ekipmanlar ise altta yer almalıdır. Bu durumda sıralama

- Balastlar
- Filtre bobinler
- Kapasitörler
- İgnitörler
- Terminal ve sigortalar şeklinde olmalıdır [6], [9].

Yüksek ısı oluşumunun en iyi kontrolü belirli bir hava akımı oluşturmaktır. Bu nedenle koruma sınıfının el verdiği boyutta havalandırma delikleri açarak kabin içi hava sirkülasyonu oluşturulmalıdır. Balast ve diğer bobin yapıları gibi yüksek ısı üreten nesnelerin daha az ısınan ateşleyici ve kondansatör devrelerinden uzak konumlandırılmalarına dikkat edilmelidir.

Belirli bir yapı içerisinde aynı tipte yüksek ısı üreten komponentler (örn. Balast) arasında uygun boşluklar bırakılmalıdır. Armatür yapısı içerisinde veya ayrı olarak yer alan ve kapasitör, ateşleyici ve balast gibi bileşenleri içeren bölümün sıcaklığının hesaplanmasına ilişkin olarak aşağıdaki 2 eşitlik kullanılabilir.

$$T_1 = T_U + \Delta T \quad (2.6)$$

ve

$$P_S = \Delta T \cdot A \cdot k \quad (2.7)$$

$T_1$ : Kabin iç sıcaklığı (°C)

$T_U$ : Kabin çevre sıcaklığı (°C)

$\Delta T$ : İzin verilen maksimum kabin içi ve kabin çevre sıcaklığı farkı (K)

$P_S$ : Kabin yüzeyinin radyasyon (ışınım) gücü (W)

A: Toplam kabin yüzeyi

k: Kabin materyalinin ısı iletim çarpanı

**Örnek:** emayeli çelik 5-6, plastik 3.5 (W/m<sup>2</sup>.K)

$T_1$  ile ifade edilen izin verilen kabin sıcaklığı ifadesi, kabin içerisinde yer alan ateşleyici kondansatör ya da balast gibi ekipmanlar için belirlenen maksimum sıcaklık değerleriyle alakalı olarak sınırlandırılacaktır. Bu noktada izin verilen sınırın belirlenmesinde bu değerler dikkate alınmalıdır.

**Örnek:** 25m'lik aydınlatma direği üzerinde 10 adet 1000W lık projektörün yer aldığı bir aydınlatma sisteminin balast ve diğer kontrol devreleri zeminde yapılandırılacak bir kontrol kutusu içerisinde yapılandırılacaktır.

Balast üzerindeki kayıp değerleri: 80W / birim

Toplam sistem gücü: 800W

Kullanılan materyal plastik gövde yapısı

Isı değişimleri  $\Delta T$  60-20 = 40K

Bu durumda gerekli kabinin yüzey hacmi plastik malzeme kullanılması durumunda ( $k=3$ )

$$A = P_s / (k \cdot \Delta T)$$

$$A = 80 \cdot 10 / (3 \cdot 40) = 6.66 \text{ m}^2$$

Metal malzeme kullanılması durumunda ( $k=5$ )

$$A = P_s / (k \cdot \Delta T)$$

$$A = 80 \cdot 10 / (5 \cdot 40) = 4 \text{ m}^2 \text{ lik yüzey alanına ihtiyaç vardır.}$$

Havalandırma deliklerinin kullanılması ve bu ölçülere sadık kalınması durumunda ek bir vantilasyona gerek yoktur. Eğer daha küçük boyutlu bir sistem tasarlanacaksa vantilasyon gerekmektedir. Bu noktada gerekli olan vantilasyon gücünün hesaplanmasında aşağıdaki bilindik eşitlikten faydalanılabilir [6], [9].

$$V = 3,1 \cdot (P_v / \Delta T - (A \cdot k)) \quad (2.8)$$

$P_v$  : Toplam sistem gücü

Örnek olarak metal gövde tapısında 3 m<sup>2</sup> lik bir sistem tasarlanacaksa hava akımı:

$$V = 3,1 \cdot (800 / 40 - (3 \cdot 5)) = 15.5 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ değerinde olmalıdır}$$

Elbette ki hesapladığımız değerlerin pratikte yapı içerisindeki ekipmanların yerleşimi hacim içerisinde ısının homojen dağılmaması gibi olumsuz etmenler nedeniyle daha olumsuz koşullarla karşılaşılacağı bilinmelidir. Bu nedenle tercihler yapılırken özellikle havalandırma fanı için hesaplanan değer yaklaşık iki katı gücünde bir cihaz seçilmesi daha sağlıklı olacaktır.

### 3. VERİMLİLİK YAKLAŞIMLARI ve MODELLEMELER

Verimlilik en basit anlamıyla bir ekipman ya da ekipmanların meydana getirdiği sistemlerin etkinlik faktörü olarak tanımlanabilir. Bu noktada verimlilik sistemin ve de ekipmanın yapısında yer alan birçok parametreye bağlı olarak farklılık gösterecektir. Verimlilik konusu ve enerjinin etkin kullanımı çoğu mühendislik dalının temel konularından biri olmuştur. Isıyı, elektriği, ışığı veya diğer enerji ögelerini etkin kullanmak günümüzün en popüler konularından biri haline gelmiştir. Verimlilik konusu içerisinde elbette ki kayıplar ve tasarruf konuları da yer almaktadır. Fakat doğru sistem tasarımının ilk aşaması verimli bir alt yapı kurmak oluşturmaktadır. Tasarruf ancak verimli bir sistemin iyileştirilmesi için kullanıldığı zaman tam bir anlam taşıyacaktır.

Günümüzde artan enerji fiyatları ve yaşanan kaynak sıkıntısı, enerjinin daha verimli kullanılmasıyla ilgili yeni yaklaşım ve çalışmaların doğmasına neden olmuştur. Yapılan tüm yaklaşım ve iyileştirmeye yönelik teknolojik gelişmelere rağmen, elektrik enerjisinin üretiminden son kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen süreçte tasarım ve uygulama aşamalarında yapılan hatalar nedeniyle ciddi kayıplar söz konusu olmaktadır. Bu kayıplar her alanda olabilmekle birlikte aydınlatma sistemlerinde çok yüksek oranlara ulaşabilmektedir. Uygulamanın her aşamasında yapılacak hatalar ciddi kayıplara neden olabileceği gibi her aşamada uygulamaya koyulacak yaratıcı yaklaşımlar ve iyileştirmeler de enerji tüketimi açısından ciddi tasarruf sağlanmasına olanak sağlayacaktır [16].

Aydınlatma sistemleri enerji verimliliği konusunda en değişken değerlere sahip konu başlıkları arasında yer almaktadır. Bunun başlıca nedeni kullanılan ekipmanlar arasında çok büyük boyutlu farklılıkların görülmesi ve sisteme etki eden çok fazla kriterin bulunması gösterilebilir. Ne yazık ki aydınlatma sistemlerinin verimli hale getirilmesinde ilk olarak akla gelen ışıktan tasarruf etme eylemi olmaktadır. Oysaki öncelikli olarak enerji etkin kullanılmalıdır. Daha sonra bu enerjinin ürettiği ışığı daha verimli kullanabilmek için tasarruf önlemleri uygulanabilir [16].

#### 3.1 Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Kayıplar

Bir aydınlatma sistemi yapılandırılan sistemin niteliğine bağlı olarak farklı sayıda bileşenden meydana gelebilmektedir. Toplam olarak sistemin verimliliği her bir bileşenin kalitesine ve yapılan tercihlerin doğruluğuna bağlı olarak farklılık gösterebilecektir. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinin tasarımının her aşamasında tüm kriterler değerlendirilmeli ve sistem için en uygun nitelikteki verimli bileşenler kullanılarak yüksek verimlilikli ve çevresel uyumluluk

taşıyan bir sistem tasarlanmalıdır.

Aydınlatma sistemlerindeki görülen kayıpların temel etmenleri malzeme, tasarım ve çevresel faktörler olarak sıralanabilir. Genel olarak bu yapıyı değerlendirecek olursak kayıpların sabit kayıplar ve zamanla görülebilen kayıplar olarak 2 farklı şekilde oluştuğu görülebilecektir.

Sabit kayıplar tasarım ve ekipman özelliklerine bağlıdır. Bu noktada görülen kayıplar

- Işık kaynağında görülen kayıplar
- Elektriksel ekipman kayıpları
- Armatür kayıpları
- Projelendirme kayıpları olarak sıralanabilir.

Zamanla görülen kayıplar ise sabit kayıp oranlarının, malzeme eskimesine, ısı ve tozlanma gibi çevresel etkilere, elektriksel değerler ve diğer çalışma koşullarına bağlı zamanla artış göstermesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

- Tozlanma ve malzeme eskimesi sonucu armatür kayıplarının artması
- Tozlanma etkisiyle iç yüzeylerin yansıtma oranlarının düşmesi
- Işık kaynağının ışıksal çıkışında zaman ve elektriksel etmenler sonucu görülen azalmalar bu yöndeki kayıplar arasında sıralanabilir.

### **3.1.1 Işık Kaynaklarında Verimliliğe Etkiyen Faktörler**

Işık kaynağı ışık üretim şekline bağlı olarak görünür ışınımın yanı sıra U.V ve I.R ışınımlarda oluştururlar. Tam anlamıyla yararsız olarak değerlendirilebilecek bu ışınımlar ışık kaynağında görülen kayıpları oluşturmaktadır. Kaynağın verimliliği doğrudan ışık kaynağının etkinlik faktörü üzerinden değerlendirilmektedir. Işık kaynağının verimliliği konusunda kaynak tipi ve ürün teknolojisine bağlı olarak çok büyük farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle de verimlilik konusundaki en temel bileşenlerin başında ışık kaynağının etkinlik faktörü gelmektedir.


### 3.1.1.1 Etkinlik Farklılıkları

Üreticiler ürettikleri yeni teknolojiler doğrultusunda ışık kaynaklarının ışıksal verimliliklerini ve beraberinde renksel özelliklerinde yeni gelişimler gerçekleştirmektedir. Bunun sonucunda en geleneksel ürün gruplarında dahi ciddi verimlilik farklılıkları görülebilmektedir. Buna örnek olarak standart renk – 80 renk serisi arasındaki verimlilik farklılıkları ya da standart metal halide ile gelişmiş seramik tüplü modeller arasındaki ciddi farklılıklar gösterilebilir. Bu tip floresan ışık kaynakları aynı elektriksel özellikleri taşısalar da kullanılan fosfor kaplamanın farklılıkları sonucunda etkinlik faktörü, renksel geriverim ve lümen kararlılığı konularında farklı değerleri taşıyabilmektedir [4].

36W Lineer Floresan (840)	100W Klasik Akkor Lamba	1000W Y.B. Sodyum Buharlı
		
3350 lm	1380 lm	130000 lm
93 lm/W	13,8 lm/W	130 lm/W

Şekil 3.1 Farklı ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri [5]

Elbette ki ışık kaynaklarının tercih edilmesi konusundaki tercih kriterleri sadece kaynağın verimi ile sınırlı değildir. Bu noktada ömür ve radyometrik özellikler gibi birçok parametre de değerlendirilmelidir. Aynı tip ve yapıdaki ışık kaynaklarında dahi kullanılan üretim tekniğine ve üreticinin teknolojisine bağlı olarak ciddi farklılıklar görülebilmektedir.

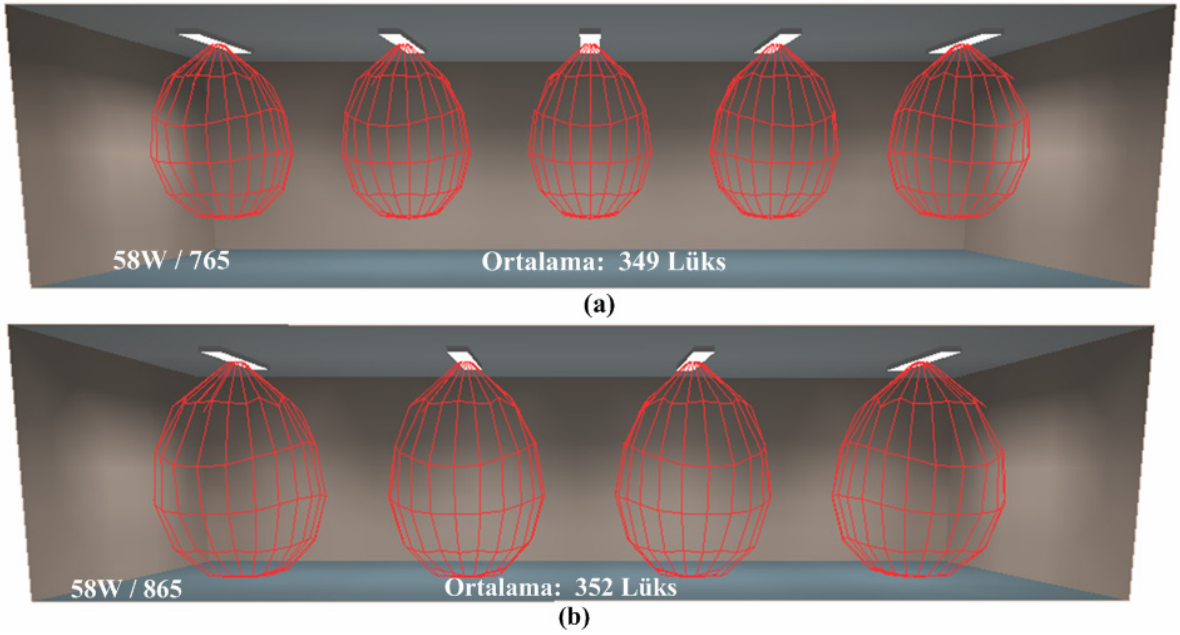
	Renksel Kodu	Işıksal Gücü	Etkinlik Faktörü
 T8 Lineer Floresan 58W	765 (54)	4000 lm	69 lm/W
	865	5000 lm	86 lm/W
	840	5200 lm	90 lm/W

Şekil 3.2 Aynı güçteki ışık kaynaklarının ışıksal güç farklılıklarına ilişkin örnekler [5]

Bu durumun genel verimlilik tanımlaması üzerine etkilerini şekil3.3deki armatür yapısı içerisinde şekil 3.2 deki gibi belirtilen yapıda ve farklı renksel özelliklere sahip ışık kaynaklarını kullanarak gerçekleştirelim.



Şekil 3.3 Modellemede kullanılan direk ışık dağılımlı armatür (2x58W)



Şekil 3.4 Modelleme sonuçları a)58W/765 b) 58W/865

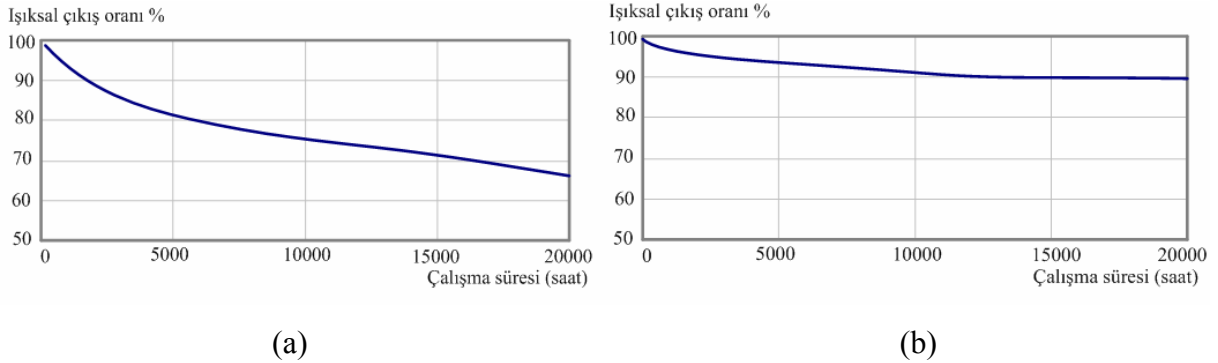
Şekil 3.4'teki sonuçlardan da incelenebileceği gibi armatürler içinde kullanılan ışık kaynaklarının ışıksal verimliliklerinde görülen farklılıklar doğrudan sistem verimliliği üzerine etkimektedir. Aynı yapı içerisinde düşük verimliliğe sahip 765 kodlu ışık kaynakları kullanıldığında 5 adet armatür kullanılması gerekirken, 865 kodlu lineer floresanların kullanılması durumunda 4 adet armatürler aynı aydınlık seviyesi değerleri oluşturulabilmektedir. Bu durumda sistem sadece ışık kaynağı sebebiyle armatürlerin ışık çıkışlarında görülecek %25 artış sonucunda %20 daha verimli bir sistem oluşturulabilecektir.

### 3.1.1.2 Lümen Kararlılığı (LLD)

Işık kaynakları üzerinde görülen diğer kayıplar ışıksal güçlerinin zamanla azalma göstermesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Lümen kararlılığı (LLD) olarak da tanımlanan bu karakteristik ışık kaynağının yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir [16].

Lümen kararlılığı bir lambanın kullanım ömrü süresince sabit ışık verimi özelliğini ölçer. Bu nedenle daha verimli sistemlerin yapılandırılabilmesi için yüksek lümen kararlılığına sahip ekipmanların tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Aydınlatma sistemlerinin tasarımında ışık kaynaklarının yapısına bağlı olarak farklılık gösteren bu karakteristik bakım faktörünün belirlenmesinde kullanılan temel çarpanların başında gelmektedir. Aydınlatma sistemlerinde yayımladıkları ışık akısında zamanla ciddi azalmalar yaşayan ışık kaynaklarının kullanılması, kurulu gücün artmasına ve gereksiz enerji sarfiyatı nedeniyle işletme giderlerinin artması anlamına gelmektedir [16].

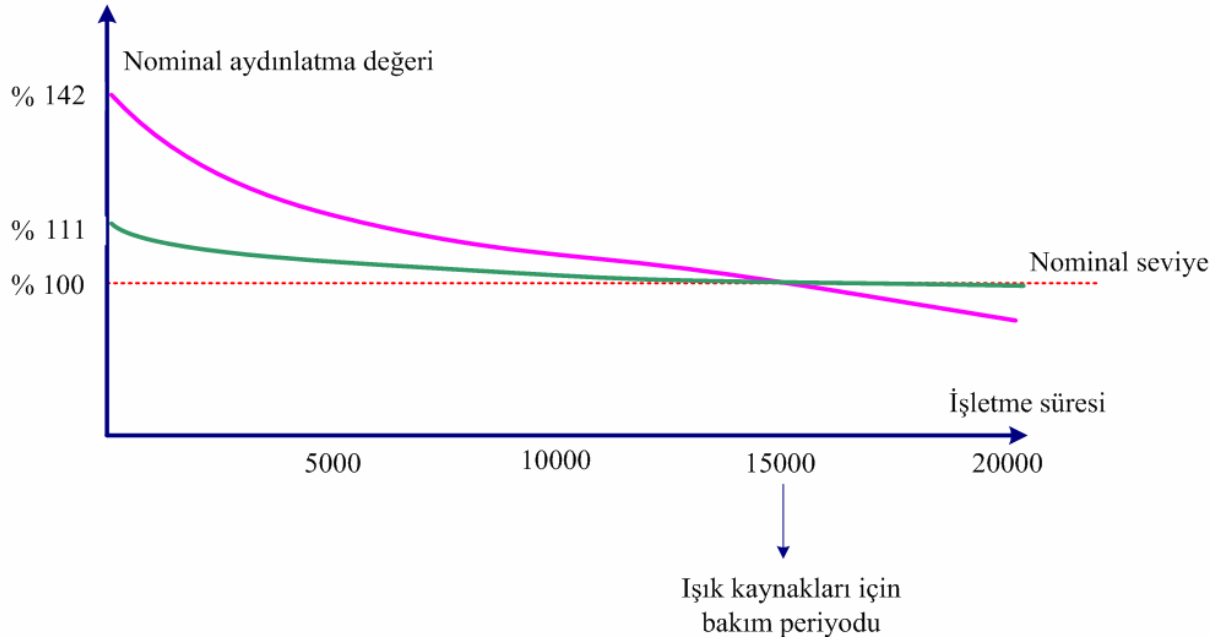
Bu noktada LLD lümen kararlılığı faktörünün sistem kurulu gücü ve toplam kayıplar anlamında sistem üzerinde ne boyutta etkili olduğunun değerlendirilebilmesi şekil 3.5 deki gibi standart renk serisinde ve 80 renk serisi T8 ışık kaynakları üzerinden değer düşüm gerçekleştirilmesi uygun bir değerlendirme oluşturacaktır.



Şekil 3.5 765 ve 865 renk kodlu 58W T8 ışık kaynakları için lümen kararlılığı grafikleri [6]

a) 765 b) 865

Şekil 3.6 da tanımlanan lümen kararlılıklarına sahip iki farklı ışık kaynağının sistem verimliliği üzerine kayıplarının değerlendirilmesinde şekil 3.7 deki grafikten faydalanılabilir. Söz konusu değerlendirmede sistem içerisinde söz konusu floresan ışık kaynakları kullanılarak ön değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde işletmenin ışık kaynaklarını 3 yılda bir (15000 saat) yenilemesi ön görülmüştür.



Şekil 3.6 Aydınlatma sisteminde sadece lümen kararlılığı sebebiyle görülen zamana bağlı değişim

Bu noktada genel bir verimlilik değerlendirmesi yapılacak olursa sadece lümen kararlılığının etkisi sonucu yüksek lümen kararlılığına sahip 58W/865 ışık kaynağı 58W/765 ışık kaynağına kıyasla % 21,83 daha verimli bir alt yapı kurulmasına olanak sunmaktadır.

1000 m<sup>2</sup> lik bir tesis ele alındığında ortalama 15 kW kurulu güç, 5000 saatlik kullanım ve 0,12 ytl/kWh baz değerleri için yıllık 1964 YTL'lik tasarruf ön görülmektedir. 3 yıllık kullanım süresi göz önünde bulundurulduğunda toplam 5892 YTL'lik tasarruf ön görülmektedir.

Söz konusu örnekte kullanılan yüksek lümen kararlılığına sahip 865 ışık kaynağının 58W/765 gibi düşük lümen kararlılığı gösteren modele kıyasla % 25 daha yüksek etkinlik faktörüne sahip olduğu düşünüldüğünde toplam sistem yapısı toplamda % 37 oranında verimli olacaktır.

Işık kaynaklarının lümen kararlılıkları projelendirme hesaplamaları aşamasında hesaplamaları dahil edilir. Genel anlamda lümen kararlılığı zayıf olan ürünler kullanılarak gerçekleştirilen projelendirmelerde bakım faktörü daha yüksek olacağından sistem kayıplarının da daha yüksek olması söz konusu olacaktır. Bunun sonucu olarak da sistem verimliliğinin daha düşük olması ve buna ek olarak genel işletmenin yanı sıra bakım giderlerinin de yükselmesi söz konusu olacaktır.

### 3.1.1.3 Işıksal Güç

Verimlilik yaklaşımı olarak çoğu zaman daha yüksek ışıksal güce sahip ışık kaynaklarını kullanmak sistemin daha verimli olarak yapılandırılmasına olanak sağlayabilmektedir. Genel olarak daha yüksek güçlü ışık kaynaklarını kullanmak daha az armatür ve daha düşük oranda elektriksel devre kaybı anlamına geleceğinden genel verimliliğin ötesinde işletme ve bakım maliyetleri açısından da avantaj sağlayabilmektedir.

Genel anlamda basit bir değerlendirme yapılacak olursa birbirine yakın ışıksal verimliliğe sahip ışık kaynakları üzerinden değerlendirilecek olursa aynı serinin farklı ışıksal güce sahip olan modelleri arasından yüksek güçlü olan modelin tercih edilmesi sistem verimliliğinin daha verimli olmasına olanak sağlayacaktır.

DEVRE TİPİ \ BALAST TİPİ	ENERJİ ETKİNLİĞİ	
	B2	A2
1x18W	51,9 lm/W	71,1 lm/W
2x18W	62,8 lm/W	71,1 lm/W
4x18W	62,8 lm/W	72,0 lm/W
1x36W	77,9 lm/W	93,1 lm/W
2x36W	77,9 lm/W	93,1 lm/W
1x58W	77,6 lm/W	94,5 lm/W
2x58W	77,6 lm/W	97,2 lm/W

**B2:** B2 Sınıfı Manyetik Balastlı Devre

**A2:** A2 Sınıfı Elektronik Balastlı Devre

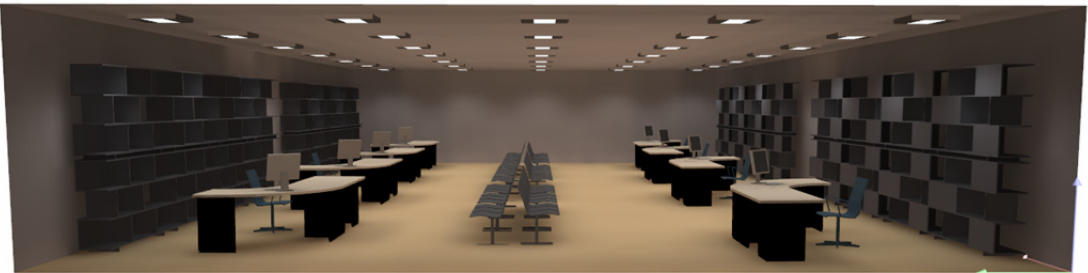
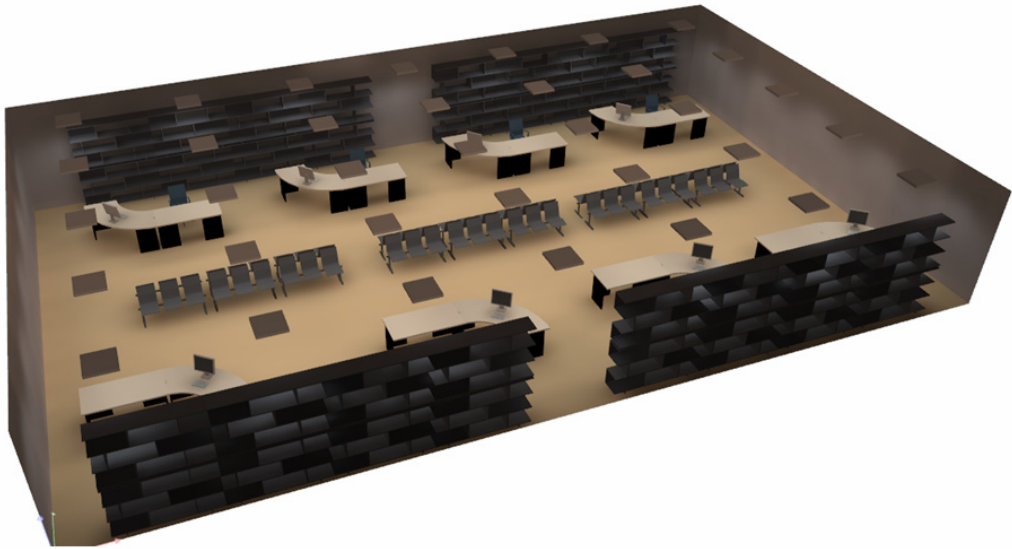
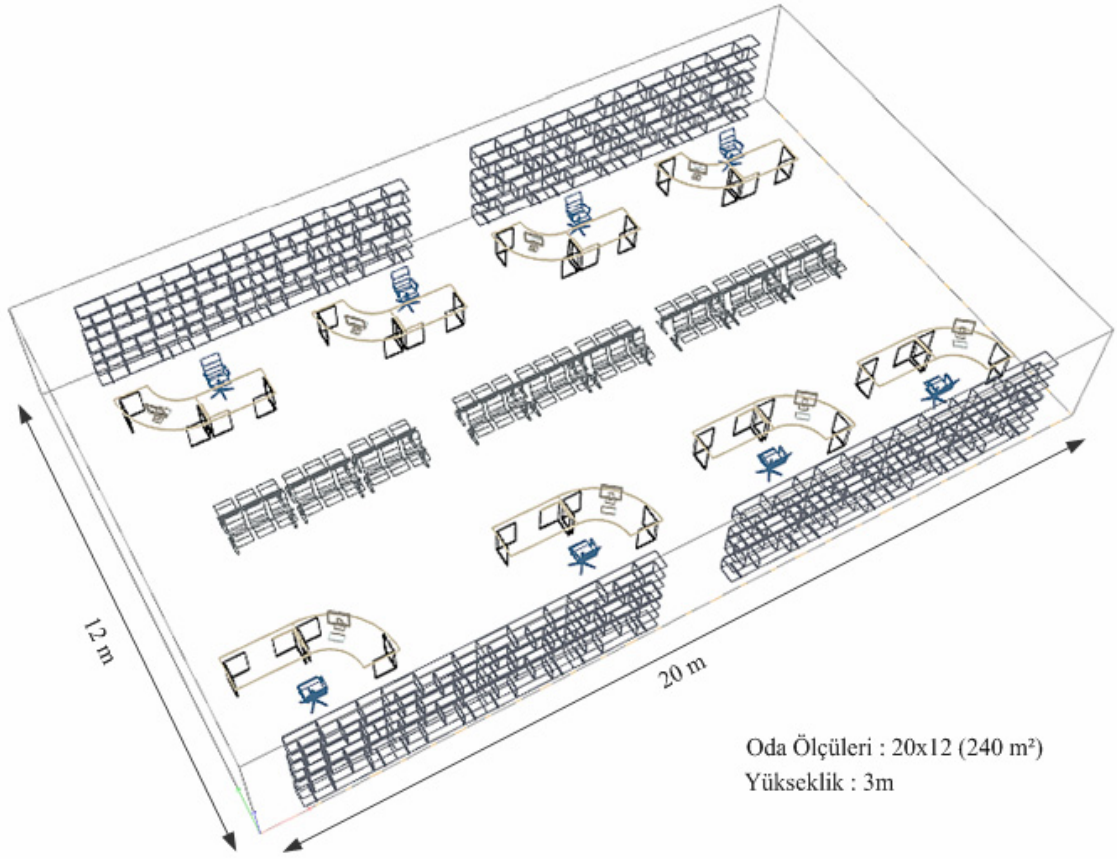
 T8 Linear Fluoresan (840)

Elektriksel Güç	Işıksal Güç	Etkinlik Faktörü
18 W	1200 lm	66.6 lm/W
36 W	3350 lm	93.1 lm/W
58W	5200 lm	89.6 lm/W

Şekil 3.7 Devre gücüne bağlı verimlilik değişimi

### Işıksal Güç ile İlgili Sayısal Örnek

Bu konuyla ilgili olarak ışıksal güç farklılıklarının toplam sistem yapısı üzerine etkisinin incelenmesine yönelik olarak 20x12x3 ölçülerindeki bir ofis alanı üzerinden modellemeler gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanının aydınlatılmasıyla ilgili olarak neredeyse tamamen benzer optik karakteristikte ve aynı optik verimlilikteki armatürlerin farklı güçlerdeki modelleri üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 Örnek modele ilişkin geometrik yapı ve 3D modeller

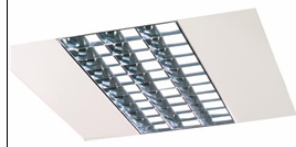
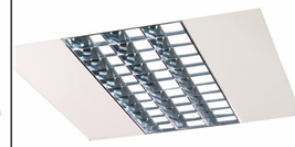
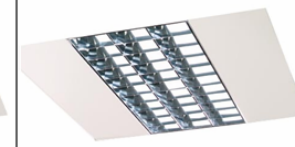
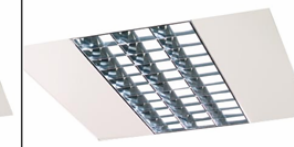
Söz konusu geometrik yapıya ilişkin değerlendirme 4 farklı güçteki armatür yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Armatürler içerisinde kullanılan ışık kaynaklarının boyutları ve ışık dağımı karakteristikleri aynı olması nedeniyle 4 armatür tipinde aynı ışık dağılımı karakteristiği taşımaktadır. Burada tek farklılık armatürlerin ışıksal çıkış güçlerinde ve enerji tüketim değerlerinde görülmektedir.

Şekil 3.9'daki değerlerden de anlaşılacağı gibi 14W gücünde yüksek verimlilikli (HE) lineer T5 ışık kaynakları 24W yüksek çıkışlı (HO) T5 ışık kaynaklarına kıyasla çok daha verimlidir. Bu noktada yüksek güçlü ışık kaynaklarının kullanılmasının sistem verimliliği üzerine etkilerinin değerlendirilmesi için iyi bir örnek teşkil edecektir.

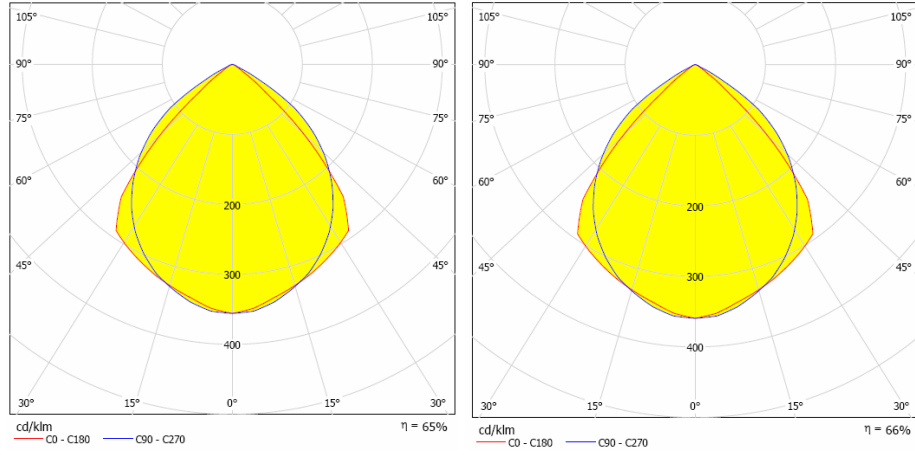


Şekil 3.9 14W ve 24W T5 ışık kaynaklarına ait ışıksal güç ve etkinlik faktörü değerleri

Çizelge 3.1 Sistem değerlendirmesi

3x14W	4x14W	3x24W	4x24W
			
3600 Lümen	4800 Lümen	5250 Lümen	7000 Lümen
2340 Lümen	3120 Lümen	3413 Lümen	4550 Lümen
51 W	65 W	76 W	95 W
45,88 lm/w	48,00 lm/w	44,90 lm/w	47,89 lm/w

Bu aşamada ön bir değerlendirme yapılacak olursa 14W gücündeki ışık kaynakları yüksek verimlilikli T5 ampul grubuna girdiklerinden bu ışık kaynaklarının kullanıldıkları armatürlerin 24W lık ışık kaynaklarının kullanıldıkları modellere kıyasla ışık kaynağının ışıksal etkinliğinin yüksek olması nedeniyle verimlilik konusunda daha avantajlı görülebilmektedir. Bu noktada balast kayıplarının toplam sistem gücüne oranlarının 24W lık sistemler de 14W'lık sistemlere kıyasla daha düşük olması sonucunda toplam sistem verimlilikleri birbirine yakın olacaktır.

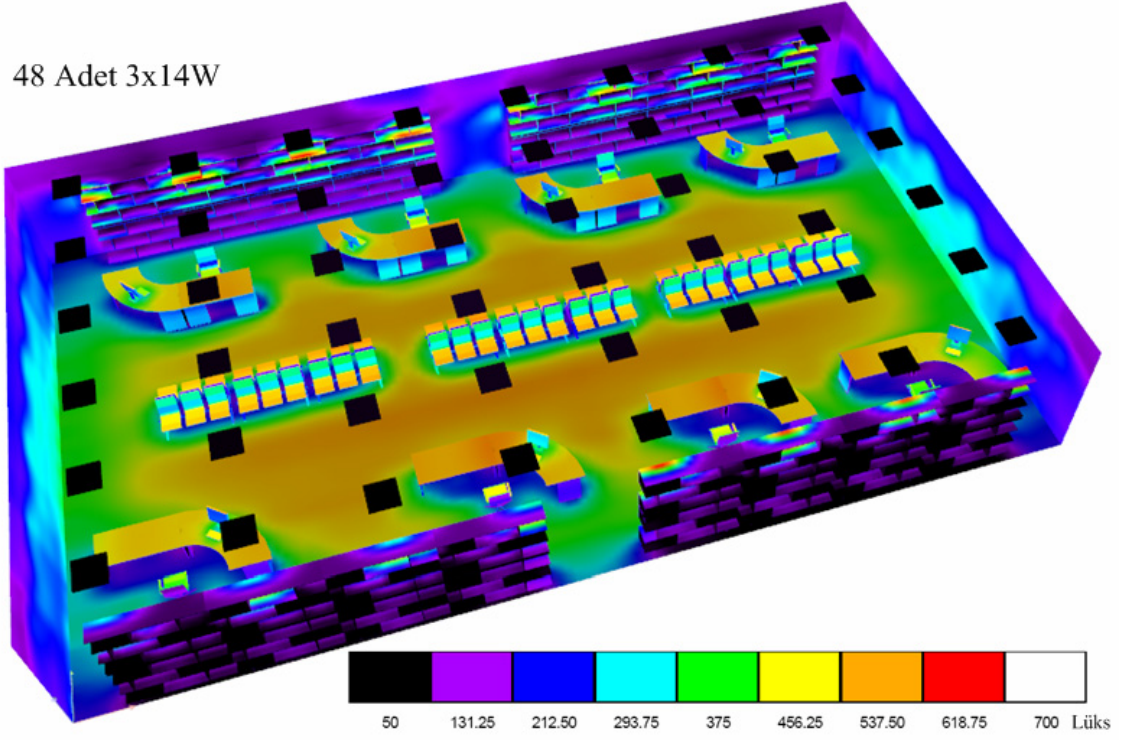


Şekil 3.10 kullanılan armatür modellerinin ışık dağılım karakteristikleri [17]

4 armatür modeli de aynı gövde yapısı, fotometrik verimlilik ve ışık dağılım karakteristiğine sahiptir. Bu noktada değerlendirme sonuçları doğrudan ışıksal güce yönelik olarak değerlendirilecektir.

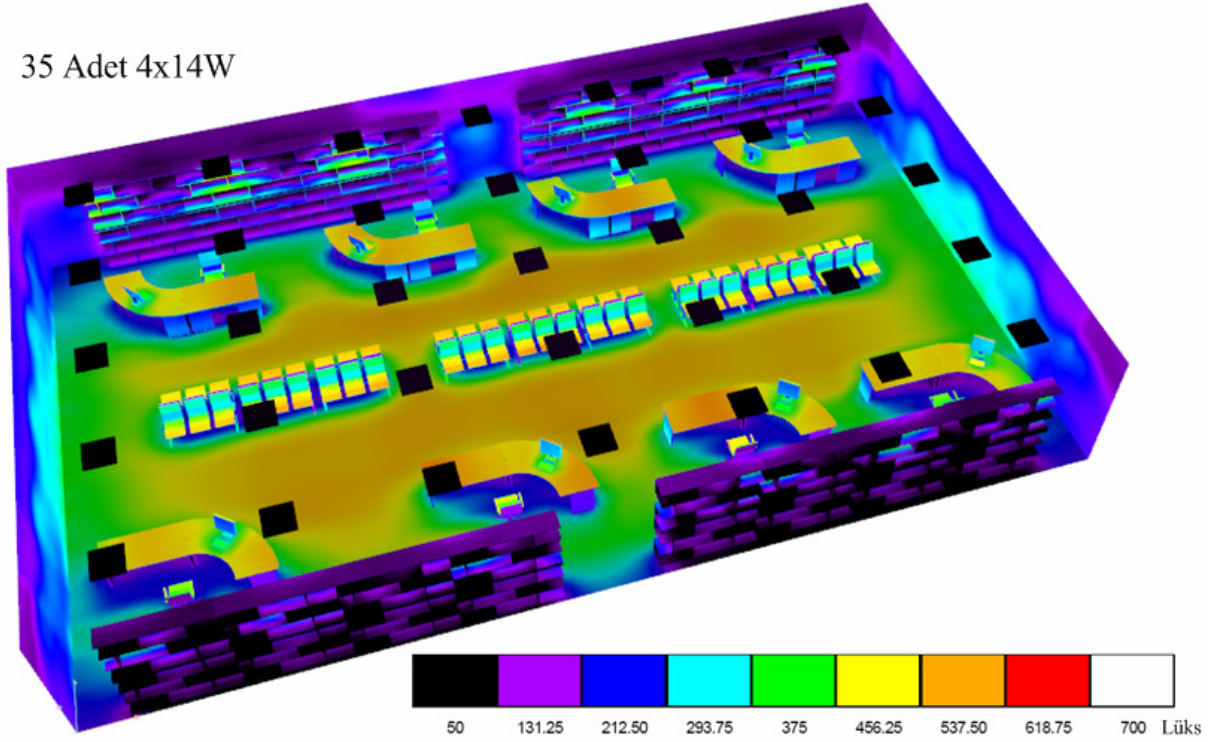
## Örneğe İlişkin Simülasyon sonuçları

48 Adet 3x14W



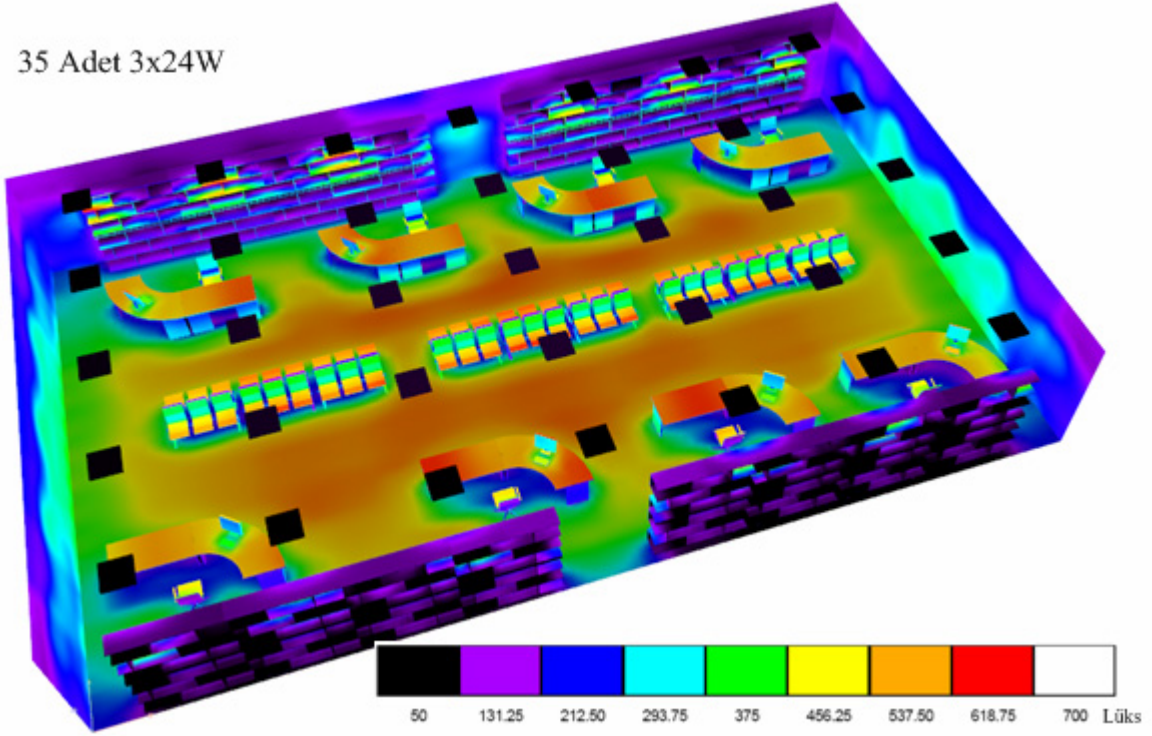
Şekil 3.11 3x14W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği

35 Adet 4x14W



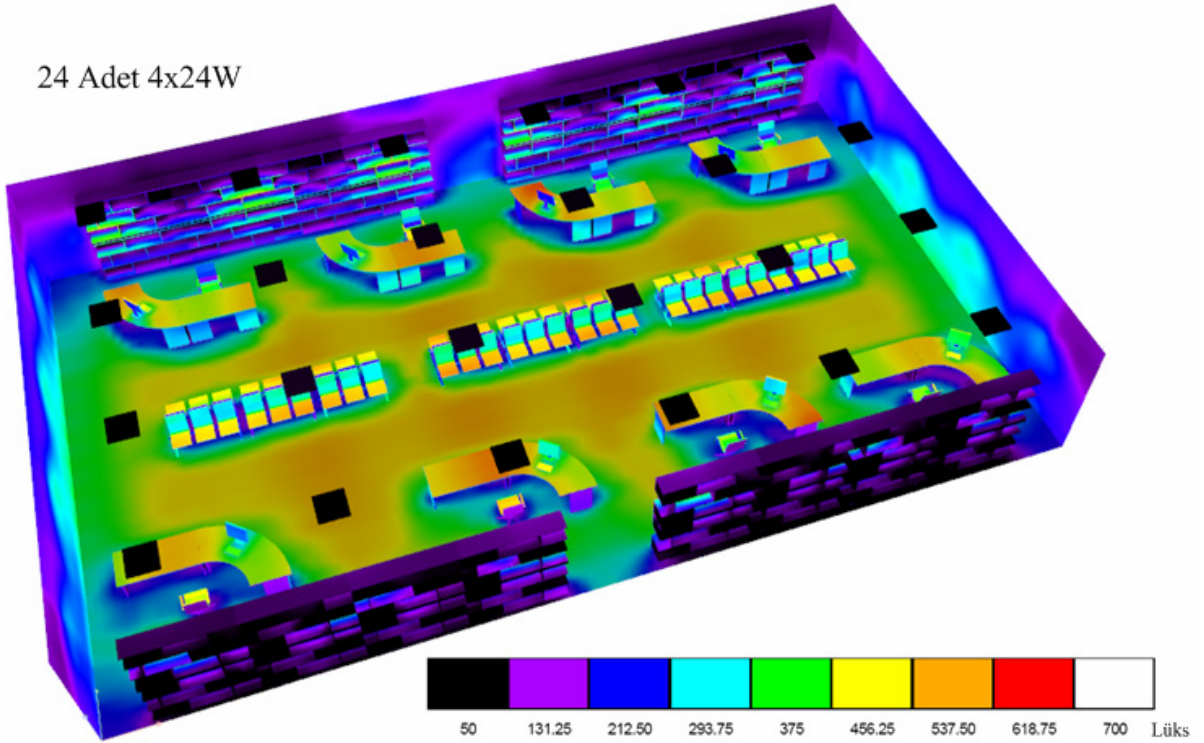
Şekil 3.12 4x14W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği

35 Adet 3x24W



Şekil 3.13 3x24W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği

24 Adet 4x24W



Şekil 3.14 4x24W sisteme ilişkin ışık dağılım grafiği

Ortalama 400 – 450 seviyesine odaklanmış modellerde elde edilen verimlilik değerleri birbirine oldukça yakın değerlerdedir. Toplam sistem verimliliğinin değerlendirilmesinde metrekarede 100 lüks aydınlık elde edebilmek için gerekli olan enerji değeri baz alındığından ortalama aydınlık seviyesindeki bu küçük farklılıklarının da bir değeri olmayacaktır.

Çizelge 3.2 Sonuç değerlendirme tablosu

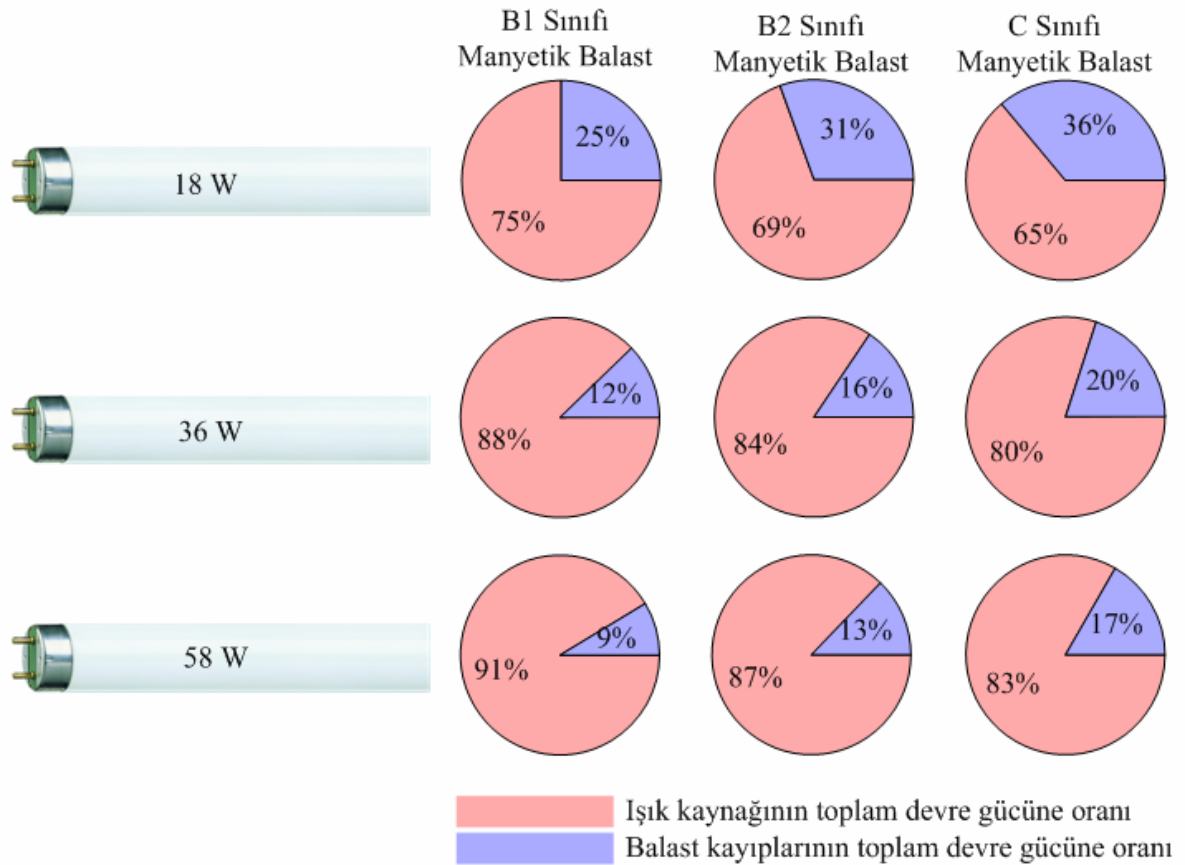
3x14W	4x14W	3x24W	4x24W
42 Adet	35 Adet	35 Adet	24 Adet
2,23 lm/m <sup>2</sup> /100 lüks	2,12 lm/m <sup>2</sup> /100 lüks	2,27 lm/m <sup>2</sup> /100 lüks	2,12 lm/m <sup>2</sup> /100 lüks

Çizelge 3.2 deki sonuç tablosu üzerinden değerlendirme yapılacak olursa yapı içerisinde 400 - 500 lüks gibi ortalama bir aydınlık seviyesinin yakalanabilmesi için 3x14, 4x14, 3x24, 4x24 güçlerindeki armatür yapılarından herhangi biri tercih edilebileceği görülmektedir. Bu noktada 4x14 ve 4x24 armatürlerin sistem verimliliklerinin eşit ve diğer alternatiflerinden daha iyi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada tercih yapılırken elbette ki 4x24W gücündeki modeli kullanımının doğuracağı avantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

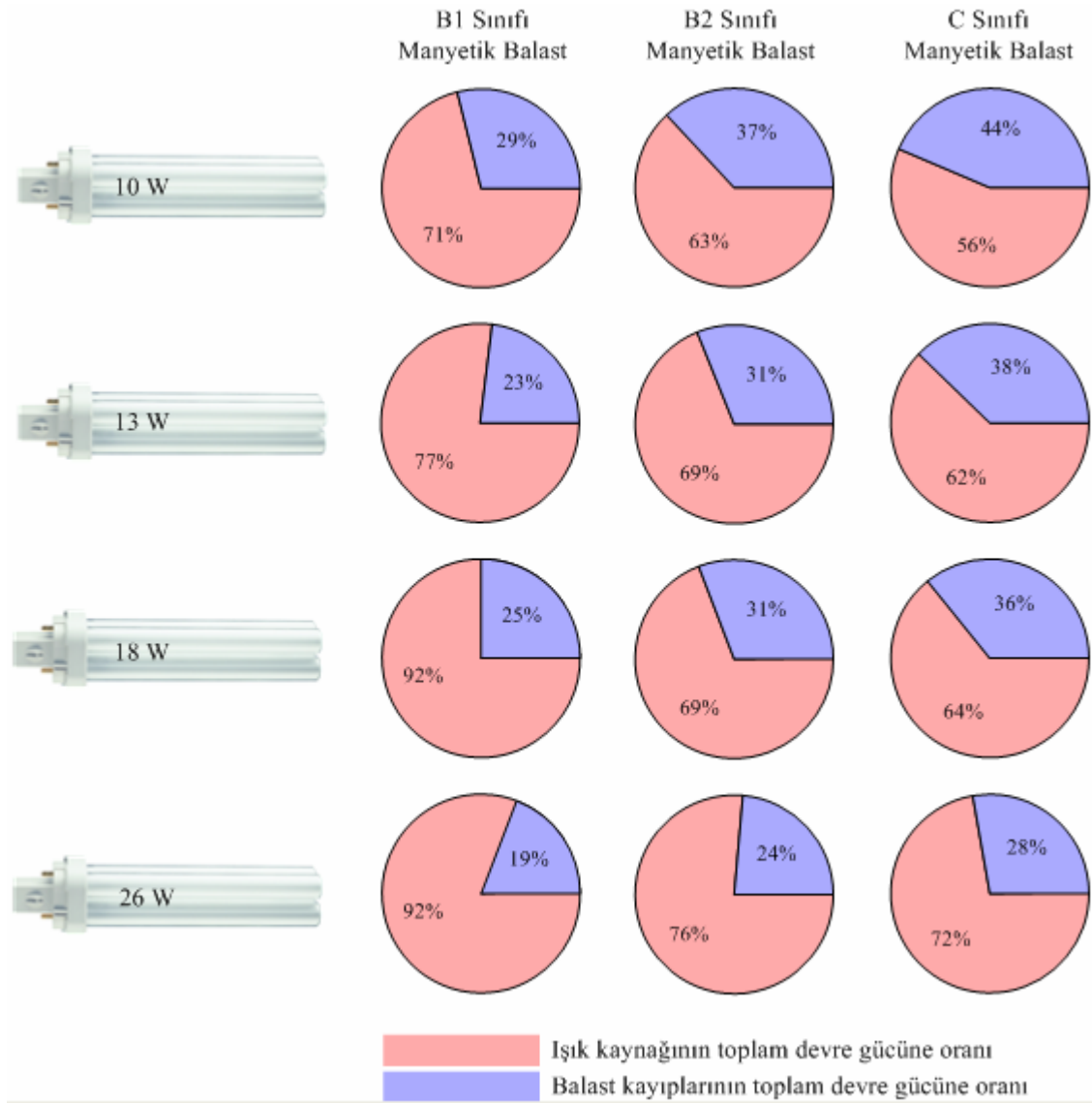
Sonuç olarak sistemler arasındaki en bariz farkların adetsel bazda olduğu gözlemlenebilmektedir. Verimli bir sistem tasarımının diğer bir ayağı daha düşük işletme ve bakım giderlerini sağlayabilmektir. Bu nedenle daha düşük adetlerle projelendirmenin gerçekleştirilebilmesi bu noktadaki verimliliği arttıracaktır. Elbette ki bu noktada gerçekleştirilen modelleme ve değerlendirmelerde ışığın dağılım düzgünlüğü ve kamaşma kriterleri de göz önünde bulundurulmuştur. Bu noktada 4x24 W gücündeki sistemin tercih edilmesi durumunda % 31 oranında daha az ekipmanın kullanımı mümkün olabilecektir. Bunun sonucu olarak toplam kurulum maliyetlerinin ve genel işletme – bakım giderlerinin de neredeyse bu oranda daha düşük olacağı kesindir. (Genel olarak 14W ve 24W lık sistemlerin ışık kaynakları ve balast devrelerinin maliyetleri arasında 1-2 € farklılık görülebilmektedir.) Sonuçlar değerlendirildiğinde 4x14 armatür sistemi çok daha verimlide olsa 4x24 armatürler daha yüksek elektriksel ve ışıksal güçte olması ve dolayısıyla daha az sayıda armatür kullanılarak projelendirme gerçekleştirilmiştir. Armatür adedinin az olması toplam elektriksel kayıplarında az olması anlamına gelmektedir. Bunun sonucu olarak da sistemin alternatifine kıyasla daha verimsiz olmasına rağmen sistemin toplam elektriksel kaybının az olması sonucunda daha verimli hale gelebilmektedir. Sistemlerin toplam verimlilikleri birbirine yakında olsa bakım işletme ve genel servis giderleri açısından daha düşük olacaktır. Her ne kadar 4x14 armatürler daha verimli olsa da bir sistemin verimliliği hiçbir zaman tek bir etmene bağlı olarak gerçekleşmemektedir.

### 3.1.2 Elektriksel Ekipman Kayıpları

Elektriksel ekipmanlarda görülen kayıplar ilgili ürünün üretim tekniği ve teknolojisine bağlı olarak farklılık gösterebilecektir. Bu noktada en temel farklılıklar elektronik ve manyetik devre elemanları arasında görülecektir. Özellikle floresan devrelerinde balast kayıp oranları sistemin enerji tüketimi üzerine ciddi boyutta etkilemektedir. Genel olarak sistem verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak çok daha düşük kayıplı elektronik balast devrelerinin tercih edilmesi çok daha verimli bir sistemin yapılandırılmasına olanak sunabilecektir. HID sistemlerde ise balast kayıp oranları floresan devreler kıyasla çok daha düşük kalmaktadır. Genel bir yaklaşım yapılacak olursa yüksek güçlü sistemlerde balast kayıp oranları daha düşük olacağından uygulamanın izin verdiği oranda yüksek güçlü sistemler kullanmak sistem verimliliği açısından avantaj sağlayacaktır.



Şekil 3.15 Balast kayıplarının toplam sistem gücüne oranı – T8 floresan [12]



Şekil 3.16 Balast kayıplarının toplam sistem gücüne oranı – Kompakt floresan [12]

3.15 ve 3.16' nolu şekillerden de değerlendirilebileceği gibi sistem yükünün artmasıyla kayıp oranlarında da bariz bir düşüş gözlemlenebilmektedir. Bu durumun ötesinde sistem kayıplarını azaltma yönünde elektronik ekipmanlar kullanmak en temel yaklaşımların başında gelecektir.

Elektronik sistemlerin manyetik alternatiflerine kıyasla çok daha pahalı olacağı kesindir. Fakat bu noktada unutulmaması gereken enerjinin birçok şeyden daha pahalı olduğu gerçeğidir. Şekil 3.17 ve 3.18' dende değerlendirilebileceği gibi armatürün yıllık enerji tüketim beldi armatürün bedelinden çok daha fazla olabilmektedir.



Şekil 3.17 Manyetik balast – elektronik balast enerji tüketim değerlendirmesi



Şekil 3.18 Manyetik balast – elektronik balast enerji tüketim değerlendirmesi-2

Genel olarak değerlendirildiğinde sistemlerin geri ödeme süreleri bir yılın çok daha altında gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle de kurulum aşamasındaki maliyet farklılıklarının bir önemi olmamaktadır.

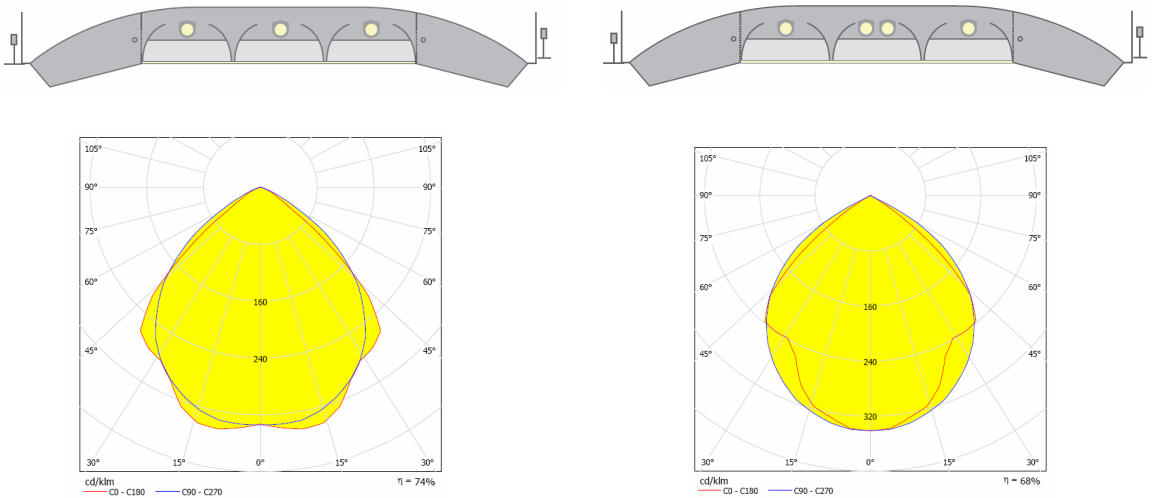
### 3.1.3 Armatür Yapıları ve Verimliliği Etkiyen Faktörler

Armatür yapısının optik verimliliği ışık dağılımı ve çevresel uyumluluğu sistem verimliliği etkileyen faktörler arasında sıralanmaktadır. Bu noktada yapılacak çok temel yanlışlar bile sistemin verimliliğinin ciddi oranlarda düşmesine neden olabilecektir.

#### 3.1.3.1 Optik Verimlilik

Optik verimlilik farklılıkları materyal ve tasarım kayıpları olmak üzere iki farklı noktada gerçekleşmektedir. Materyal kayıpları, ışığın yansıtılması, yöneltmesi veya süzülmesi esnasında tasarımda kullanılan materyalin yansıtma, geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir [15].

Optik tasarım kayıpları ise ışık kaynağının reflektör içerisindeki konumları, iç yansımaya ve kaçak ışık oranlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Optik tasarım yapısıyla ilgili olarak ışık kaynaklarının boyu ve konumları büyük önem taşımaktadır. Işık kaynağının reflektör yapısı içerisindeki konumları kaçak ışık ve iç yansımaya oranıyla doğrudan alakalı olduğundan sistem verimliliğini etkilemektedir. Özellikle tek reflektör yapısı içerisinde birden fazla ışık kaynağının olması gibi durumlarda kaynaklarının birbirlerinin ışıksal çıkışlarını sınırlaması ve çok daha fazla iç yansımaya neden olması nedeniyle ışıksal kayıplar görülebilmektedir.



Şekil 3.19 Optik yapı – verimlilik değerlendirmesi [17]

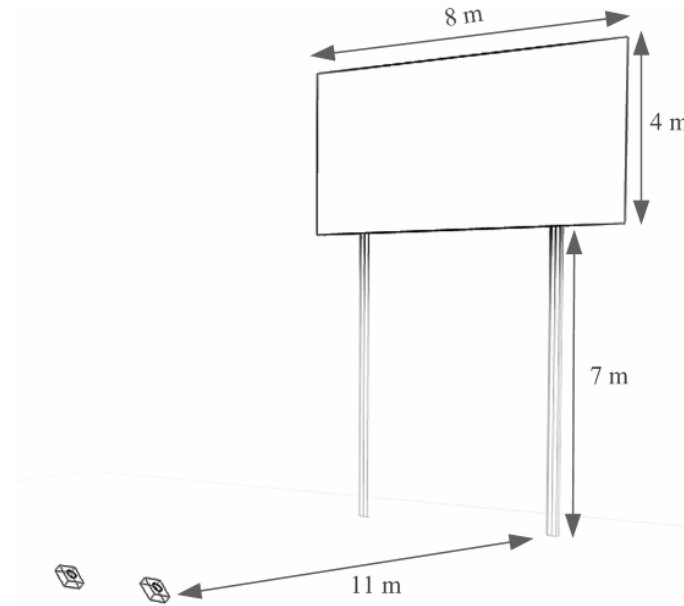
Şekil 3.19 daki örnek armatür yapısında 4 lambalı sistemde orta reflektör yapısındaki ışık kaynaklarının birbirlerinin ışığını ekranlaması ve reflektör yapısı üzerinde uygun yansıma yapılamaması nedeniyle verimlilik farklılıkları ortaya çıkmıştır.

### 3.1.3.2 Işıksal Dağılım Uygunluğu

Armatürlerin en temel fonksiyonlarından biri de içerisindeki ışık kaynağının ürettiği ışığı etkin ve uygun olarak yönlendirilmesini sağlamaktır. Her ne kadar verimlilik en temel kriter de olsa ışık dağılım yapısı ışığın etkin kullanılmasına olanak sağlamıyorsa bir önem taşımayacaktır. Armatürün ışık dağılım karakteristiği ışığın etkin kullanım oranını ve iç yüzeylerde görülecek ışık oranını belirleyen etmenlerden biridir. Bu nedenle verimlilik konusundaki temel kriterlerden biri de kullanılan ışık kaynağının ışık dağılım karakteristiğinin projelendirmeye olan uygunluğudur.

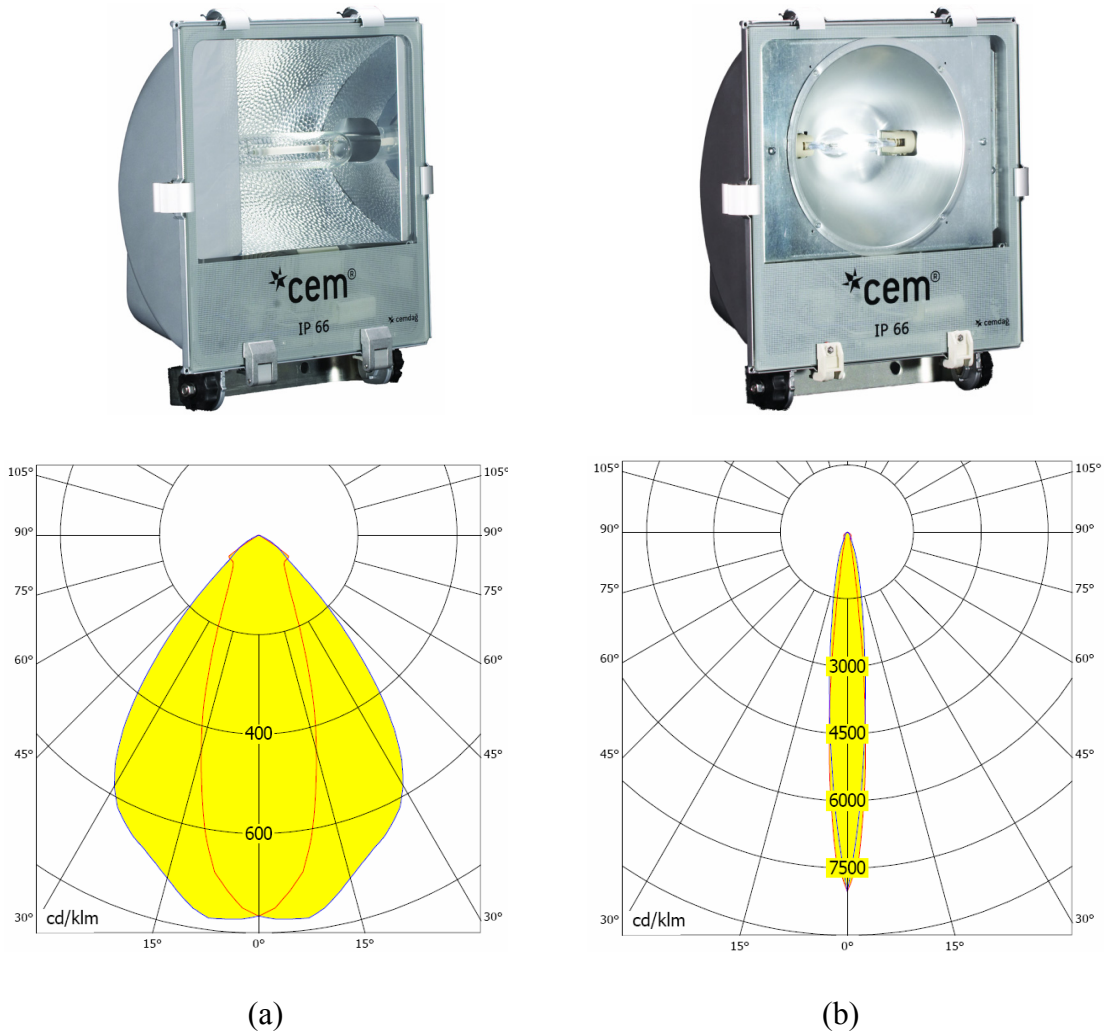
#### Uygulama -1

Özellikle tabela ve reklam aydınlatmaları gibi belirli bir mesafeden dikey düzlem aydınlatması şeklinde gerçekleştirilen uygulamalar da eğer cephe ile armatür arasındaki mesafe büyük olarak nitelendirilebilecek boyuttaysa ışık dağılım karakteristiği de büyük önem taşıyacaktır. Bu noktada yapılan yanlış tercihler nedeniyle ışığın çok büyük bir kısmı kaçak ışık olarak ışık kirliliğine neden olabilmekte ve verimsiz bir yapı oluşmasına neden olabilmektedir [18].

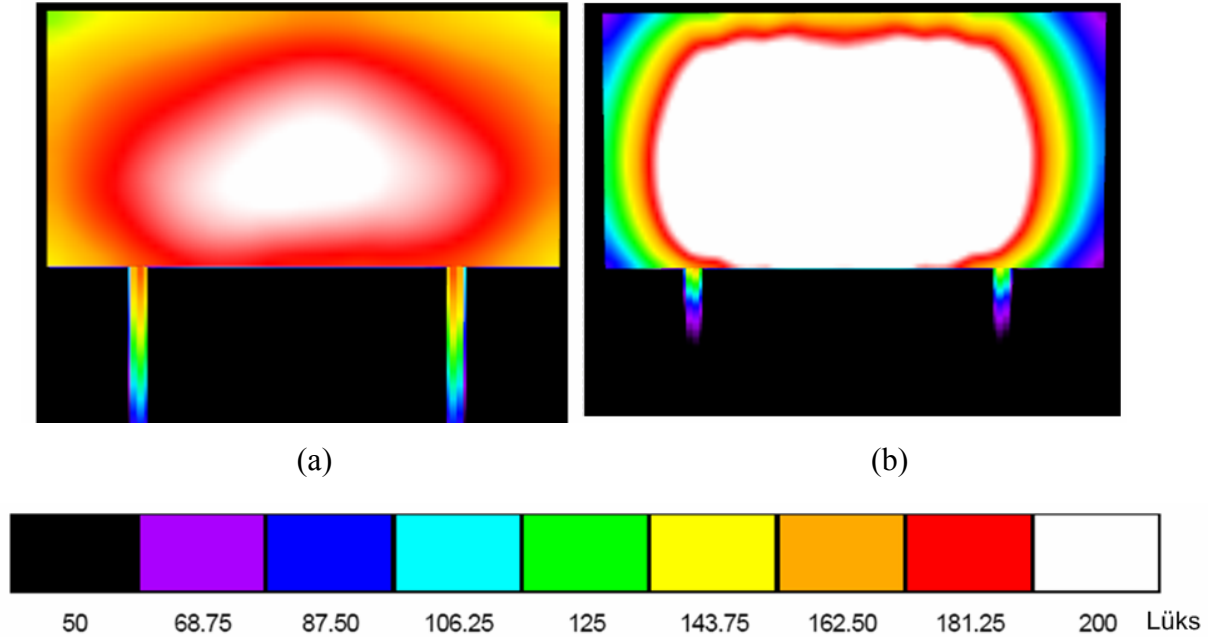


Şekil 3.20 Uygulama-1 genel modeli (tabela uygulaması)

Şekil 3.20 dE gösterilen yapıdaki örnek uygulamada zeminden 9m yükseklikte monte edilmiş ve 8 x 4 m boyutlarında bir tabela uygulamasının aydınlatılması düşünülmektedir. Armatür yapısının montajı uygulamanın yapıldığı noktada tabela üzerinde monte edilmiş 11 m yüksekliğinde armatürlere servis ve bakım aşamasında sorun teşkil edebileceğinden uygulama zeminden gerçekleştirilmiştir. Bu noktada uygulamanın gerçekleştirilmesine yönelik farklı ışık dağılım karakteristiğine sahip iki farklı projektör yapısı kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

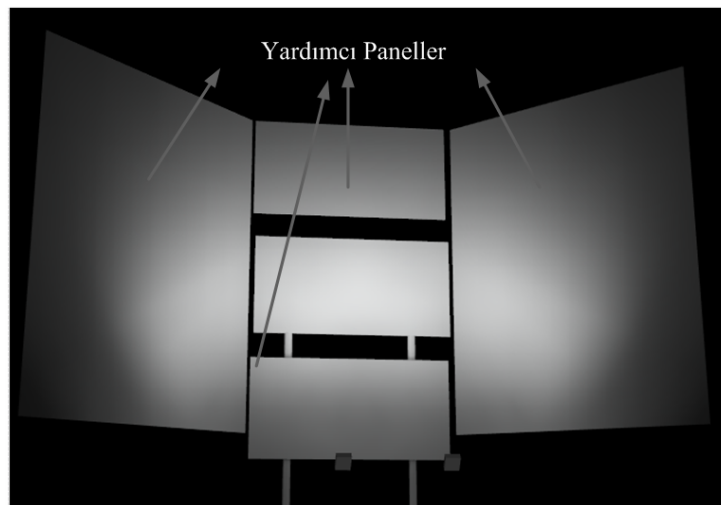


Şekil 3.21 Örnek tabela uygulamasında kullanılan armatür yapıları ve ışıksal karakteristikleri  
[19] (a) 400W simetrik projektör (b) 150W rotasyonel projektör

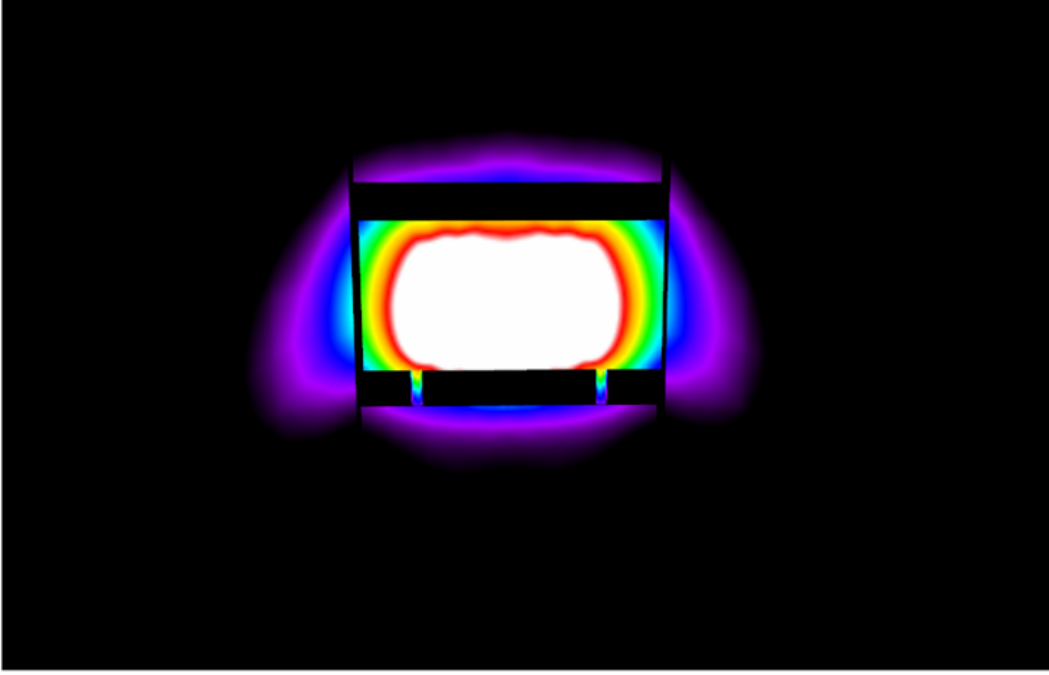


Şekil 3.22 Uygulama sonuçları a) Model-1 (2 Adet 400W simetrik projektör) b) Model-2 (2 Adet 150W Rotasyonel projektör)

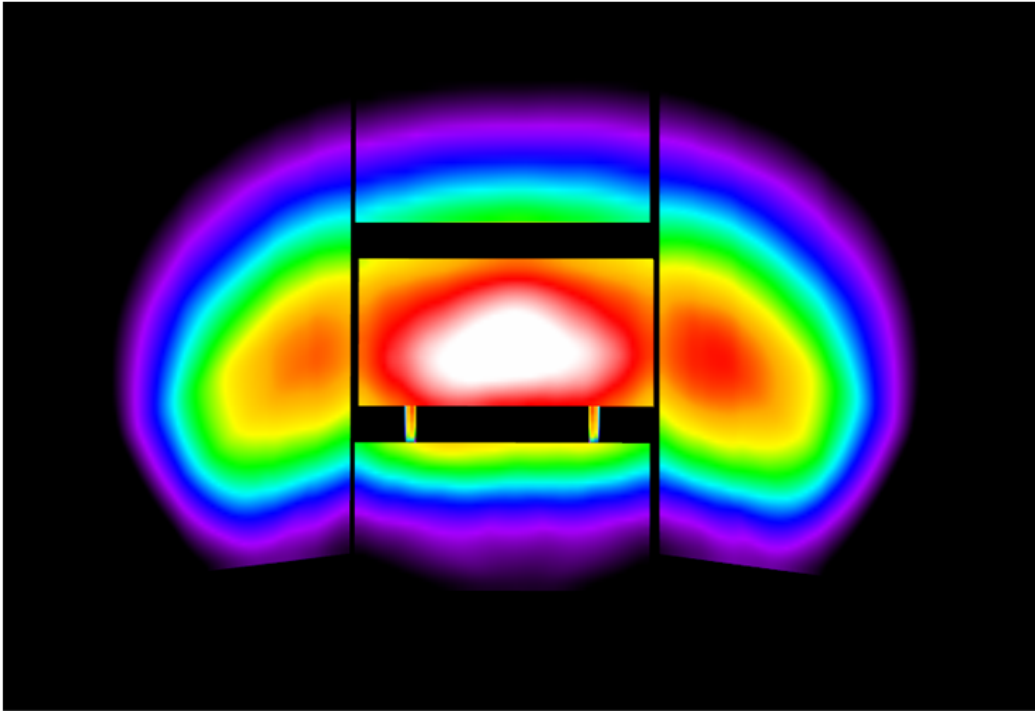
Model-1 de istenilen seviyede bir aydınlatma gerçekleştirebilmek için 2 adet 400W lık simetrik ışık dağılımına sahip projektör kullanılmıştır. Oysa aynı uygulama yapısında (model 2 de ) 2 adet 150W gücünde rotasyonel ışık dağılım özelliği taşıyan projektör kullanılarak aynı değerler elde edilmiştir. Ürünler arasında % 10 luk optik verimlilik farklılığı olmasına rağmen bu boyutta bir sistem verimliliği farkının nedeni armatürlerin ışık dağılım karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Bu noktada sonuçların bu denli farklı olmasına neden olan kaçak ışık oranlarını incelemek için tabela yapısını şekil 3.23 deki gibi yardımcı paneller ile çevreleyerek aynı modelleme tekrar gerçekleştirilmiştir.



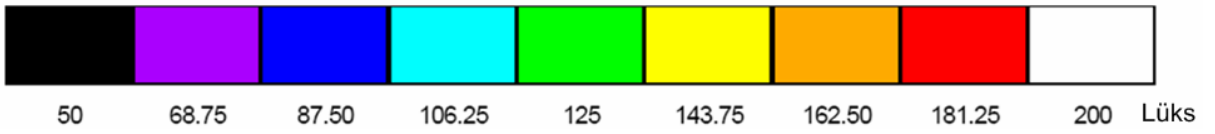
Şekil 3.23 Yardımcı paneller



(a)



(b)



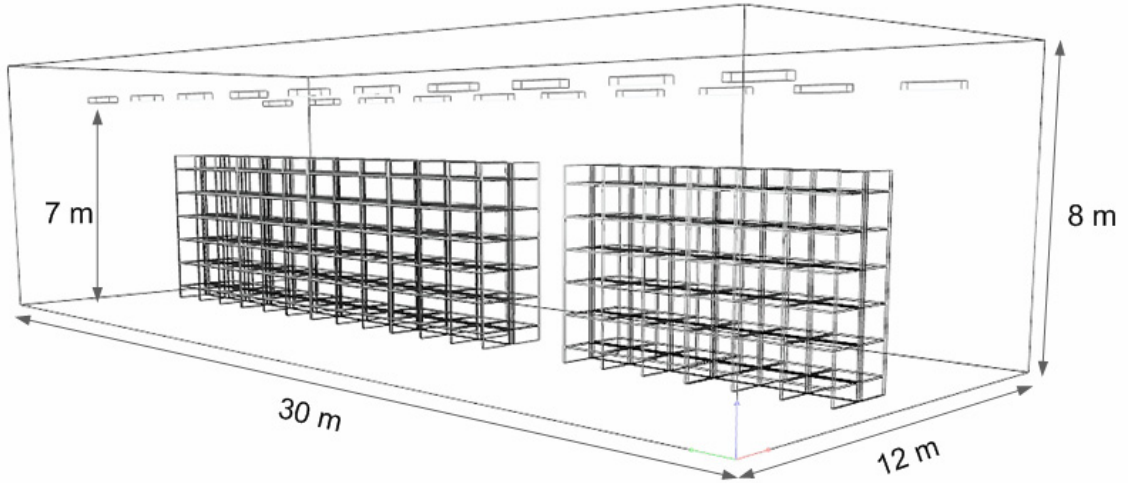
Şekil 3.24 Kaçak ışık oranlarını gösteren sonuçlar a) Model-1 (2 Adet 400W simetrik projektör) b) Model-2 (2 Adet 150W rotasyonel projektör)

Bu noktada şekil 3.24 incelendiğinde Model 1 de kullanılan armatürlerin yüksek ışıksal güçte olmalarına rağmen ışık dağılım karakteristiklerinin ilgili uygulamaya uygun olamaması nedeniyle kaçak ışık oranının çok yüksek olduğu görülebilmektedir. Model 2 de ise armatürün ışık dağılım karakteristiğinin daha uygun olması sonucunda kaçak ışık oranın çok daha düşük oranda olmaktadır. Bunun sonucunda sistemler arasında çok büyük verimlilik farklılıkları ortaya çıkabilmektedir.

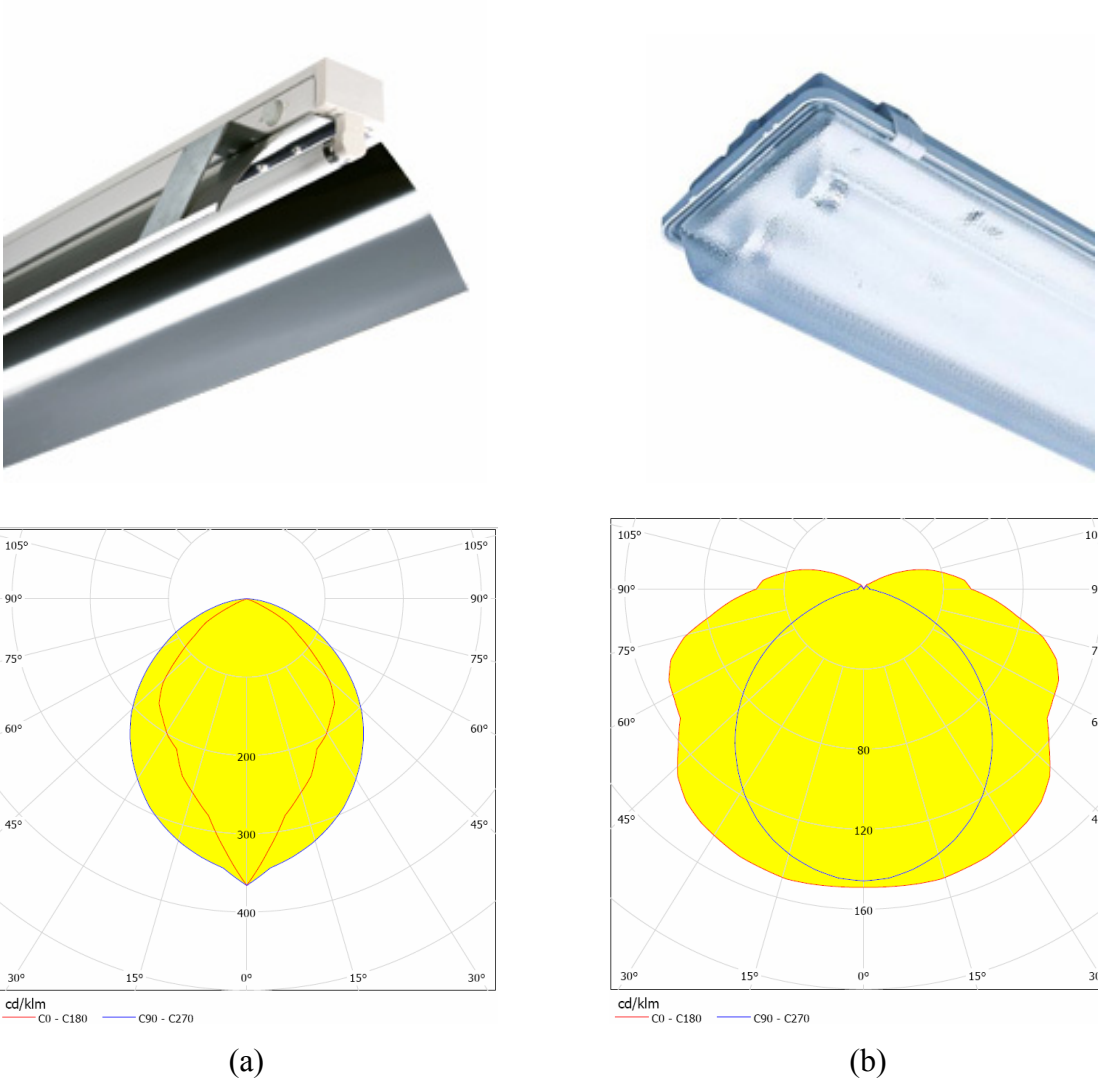
### Uygulama -2

Işık dağılımının projeye ve geometriye uygunluğu ışığın iç yüzeylerde ne oranda bir kayba uğrayacağıyla ışığın kullanım etkinliğini belirleyen temel etmenlerden biridir. Genel olarak geniş ışık dağılımı, yüksek tavan ya da dar geometrik yapılar gibi bu durumu artırıcı etmenlerin söz konusu olduğu uygulamalarda bu etki daha yüksek oranlarda gözlemlenebilmektedir.

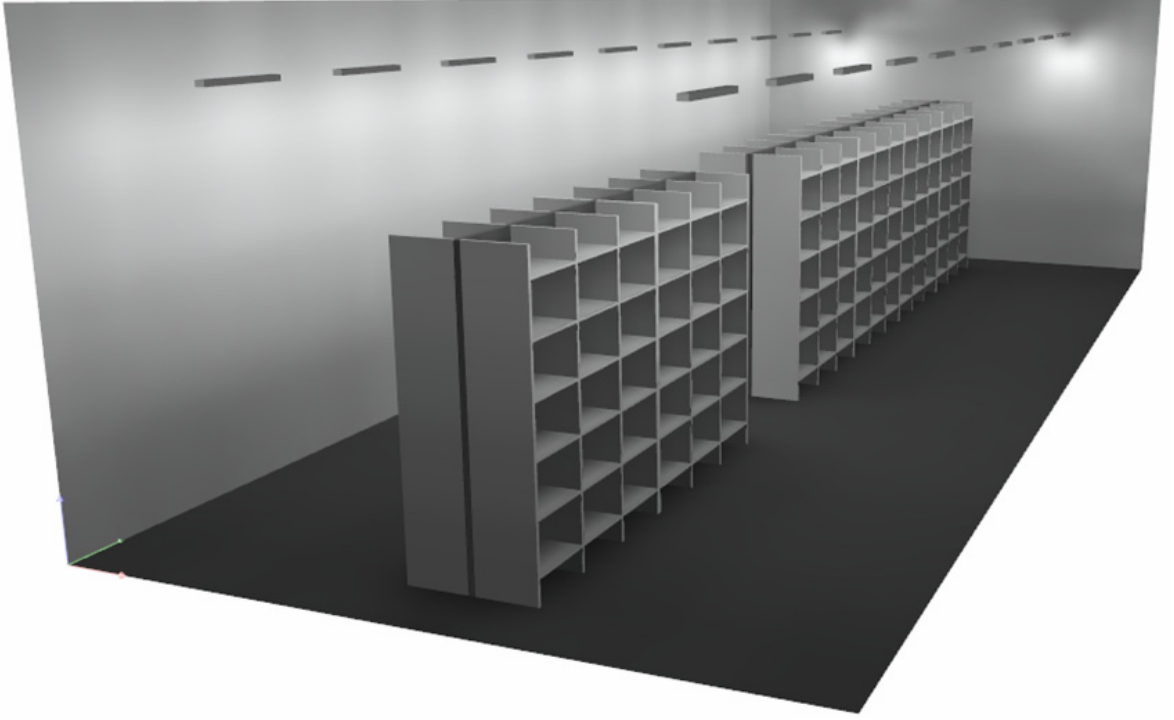
Bu noktada ilgili değerlendirmeleri gerçekleştirebilmek için eşit optik verimliliğe sahip (sadece ışık dağılım etkisi değerlendirilebilmesi için optik verimlilikler eşitlenmiştir.) fakat farklı ışıksal dağılım özelliği taşıyan şekil 3.26'daki armatürler ile 2 farklı modelleme gerçekleştirilmiştir.



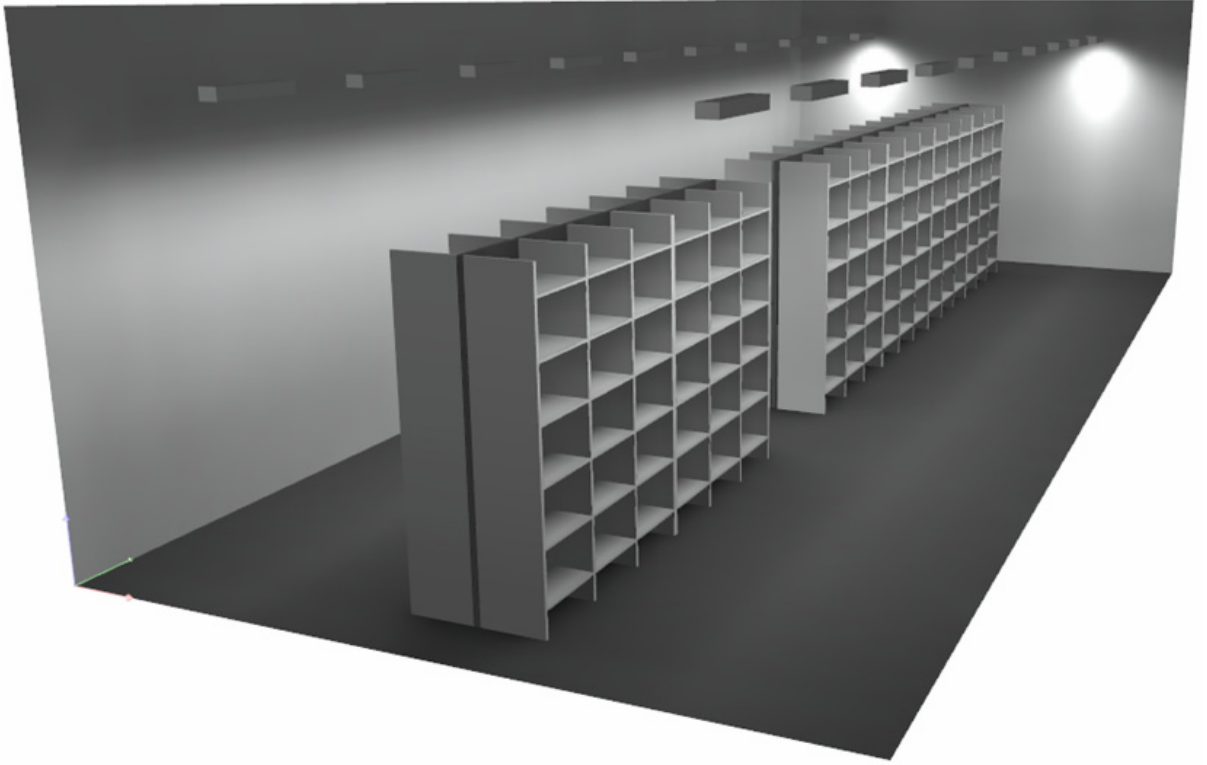
Şekil 3.25 Uygulama-2 genel modeli (iç mekan uygulaması)



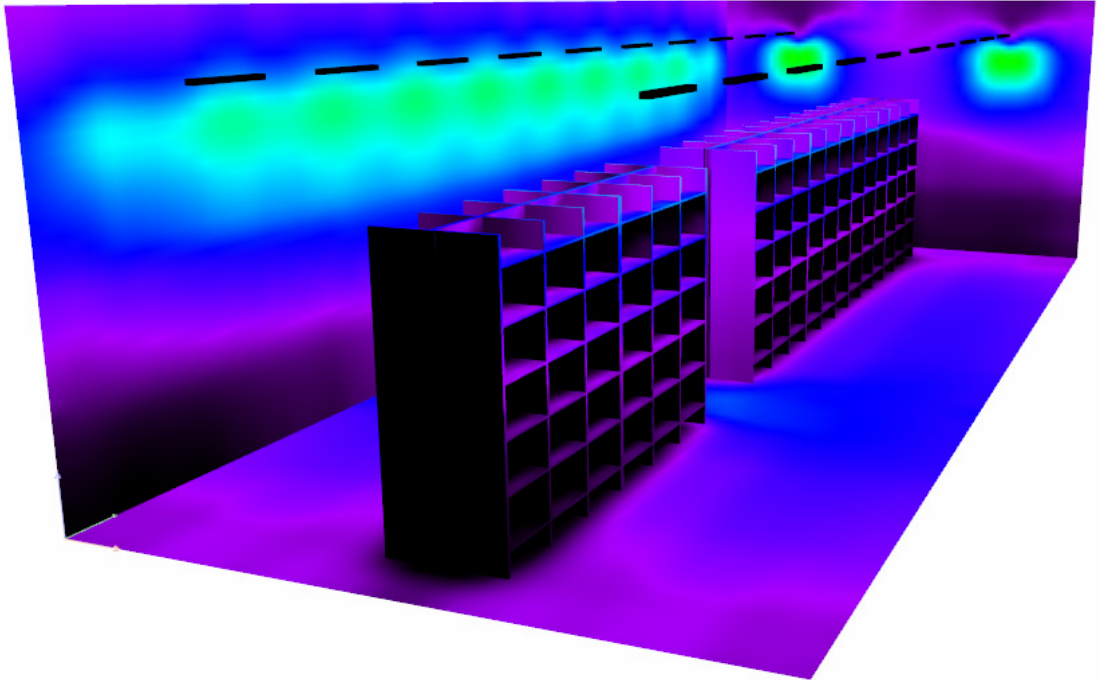
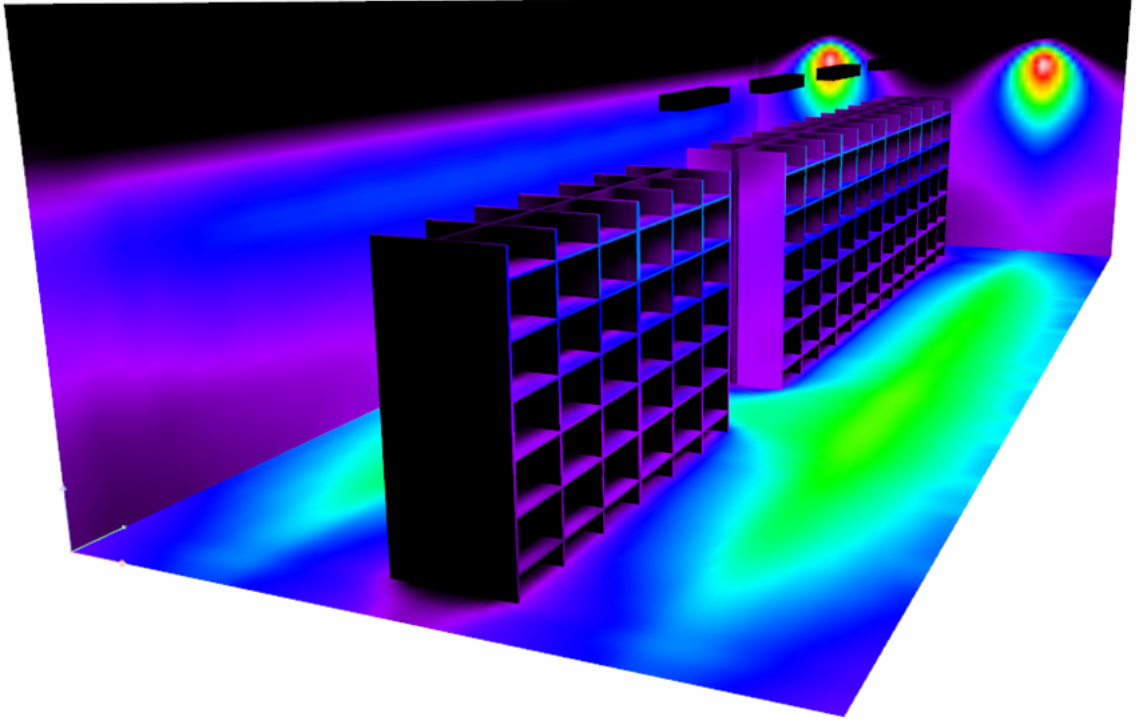
Şekil 3.26 Modellerde kullanılan armatürler ve ışık dağılım karakteristikleri a) Tip-1 dar ışıksal dağılıma sahip armatür yapısı b) Tip-2 Geniş ışıksal dağılıma sahip armatür yapısı



Şekil 3.27 Aygıt tipi-1 'e ilişkin 3D model

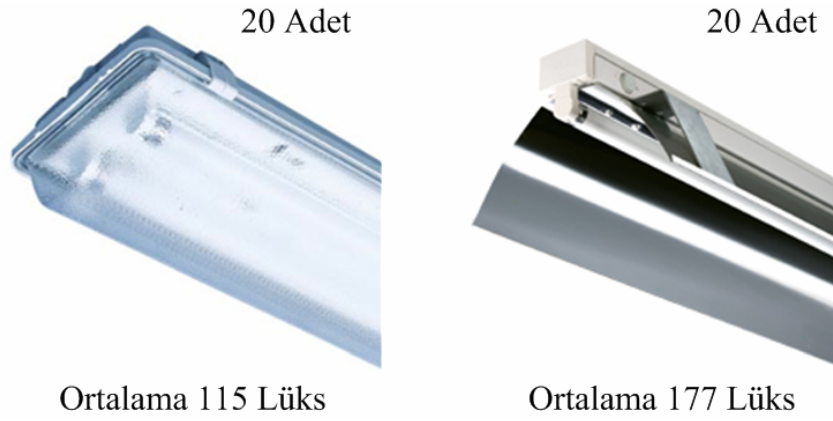


Şekil 3.28 Aygıt tipi-2 'ye ilişkin 3D model



Şekil 3.29 Aygıt tipi-1 'e ve aygıt tipi-2'ye ilişkin 3D modeller

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa geniş ışık dağılım özelliğine sahip armatür ile gerçekleştirilen modelde duvar yüzeylerindeki ışıksal kayıpların oldukça yüksek olduğu ve bu nedenle de çalışma alanı olarak tanımlanan koridor alanında daha düşük seviyede aydınlatmanın elde edildiği gözlemlenmektedir. Dar ışık dağılımına olanak sunan dar reflektör yapılı armatür de ise tavan ve yatay düzlemlerdeki ışıksal kayıp oranı çok daha düşüktür. Bunun sonucu olarak çalışma düzlemi olarak tanımlayabileceğimiz koridor alanında daha yüksek bir aydınlık seviyesi elde edilebilmektedir. Şekil 3.29 ve 3.30'dan bu sonucun etkileri değerlendirilebilecektir.



Şekil 3.30 Aygıt tipi-1 'e ve aygıt tipi-2'ye ilişkin değerler[17]

### 3.1.3.3 Armatür Kirlenme Faktörü (LDD)

Armatürün optik verimliliği zaman içerisinde materyal eskimesi ve tozlanma gibi diğer çevresel etkiler sebebiyle belirli bir oranda azalma gösterecektir. Bu nokta da azalmanın boyutu çevresel faktörlerin etkinliğine, materyal yapısına ve armatürün bu konudaki korunurluğuna bağlı olarak farklılık gösterecektir. Ağır çevresel faktörlerin bulunduğu noktalarda tercih edilecek armatür yapısı toplam sistem verimliliğinin sürekliliği konusunda ve projelendirme aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Aydınlatma armatürlerinde değer düşümünün görülmesinde

- Çevresel işletme şartları
- Bakım periyodu
- Materyal Özellikleri
- Armatür Yapısı
- IP derecesi doğrudan etkili olmaktadır.

**IP Derecesi:** Tozlanma özellikle optik verimlilik üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek IP seviyesindeki ürünlerde optik yapı yüzeysel tozlanmaya karşı korunumun sağlanması nedeniyle daha düşük oranda kayıp yaşarlar. Düşük IP li ürünlerde ise reflektör ve/veya ışık kaynağında görülebilecek yüzeysel tozlanma nedeniyle daha yüksek bir değer düşümü görülebilir.

**Materyal Özellikleri:** Armatürlerin optik yapıları reflektör ve difüzör malzemelerinden herhangi biri veya ikisinin bileşiminden meydana gelmektedir. Bu materyallerde de zamanın ve çevresel faktörlerin (U.V, ısı, vb) etkileriyle verimlilik konularında değer düşümü görülebilecektir.

Difüzör malzeme olarak büyük bir oranda polycarbon, akrilik veya cam gibi maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler genel olarak yüksek geçirgenliğe sahip olsalar da zamanın etkileriyle bu özelliklerinde düşüş gösterebilmektedirler. UV ışınımının malzemeler üzerinde oluşturduğu sararmalar, ısı değişimlerinin malzeme yapılarının şeffaflığını bozması, ısı faktörleri nedeniyle görülebilecek küçük deformasyonlar, kimyasal etkiler nedeniyle molekül yapılarının değişmesi gibi sebepler malzemenin geçirgenliğinde dolayısıyla verimliliğinde azalmaların görülmesine neden olabilecektir.

**Bakım Periyodu:** Çevresel faktörlere bağlı olarak değer düşümünün yaşanması kaçınılmazdır. Bu noktada bakım periyodu bu etkinin ne boyutuna yaşanacağına belirleyici faktör olacaktır. Bakım periyodunun sıklığı işletme şartlarının ağırlığına bağlı olarak belirlenmelidir. Bu yapının işletme ve bakım maliyetleri üzerine etkisi bakım faktörü konu başlığı altında değerlendirilecektir.

**Çevresel Faktörler:** Üst bölümde sıralanan maddelerin tamamını tetikleyen ana faktördür. Bu nedenle de bu düşümün yaşanmasında en etkin nedenlerden biri olmaktadır. İşletme koşullarının kirli olması durumunda armatür tipine de bağlı olarak çok ciddi boyutlarda azalmalar görülebilmektedir. Bakım periyodunun sıklığı çevresel faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Bu nedenle bakım periyodu ve çevresel işletme şartları tüm hesaplama tekniklerin de yer alan ana parametrelerden biridir.

**Armatür Yapısı:** IP derecesine benzer şekilde armatürün yapısı da değer düşümünün ne oranda görüleceğini belirleyen bir faktör olabilmektedir. Özellikle endirek yapıdaki armatürlerde doğrudan ışık yayan yüzeyler üzerinde daha yoğun tozlanma görülebileceğinden değer düşümü de daha yüksek oranda oluşacaktır.

Aydınlatma sistemleri içerisindeki her bir birim, zamanın ve çevresel koşulların etkisiyle belli bir değer düşümü yaşayacaktır. Proje hesaplamaları esnasında çevresel şartlara ve kullanılan malzemenin tipine bağlı olarak bir değer düşüm faktörü belirlenir. Bu faktör ne kadar düşüğe sistemin verimliliği de o kadar düşük olacağı şekilde yorumlanabilir. Bu yöndeki kayıpları azaltmak amacıyla çevre ve işletme koşullarına daha uygun ve performans sürekliliği taşıyan ürünler tercih edilmelidir.

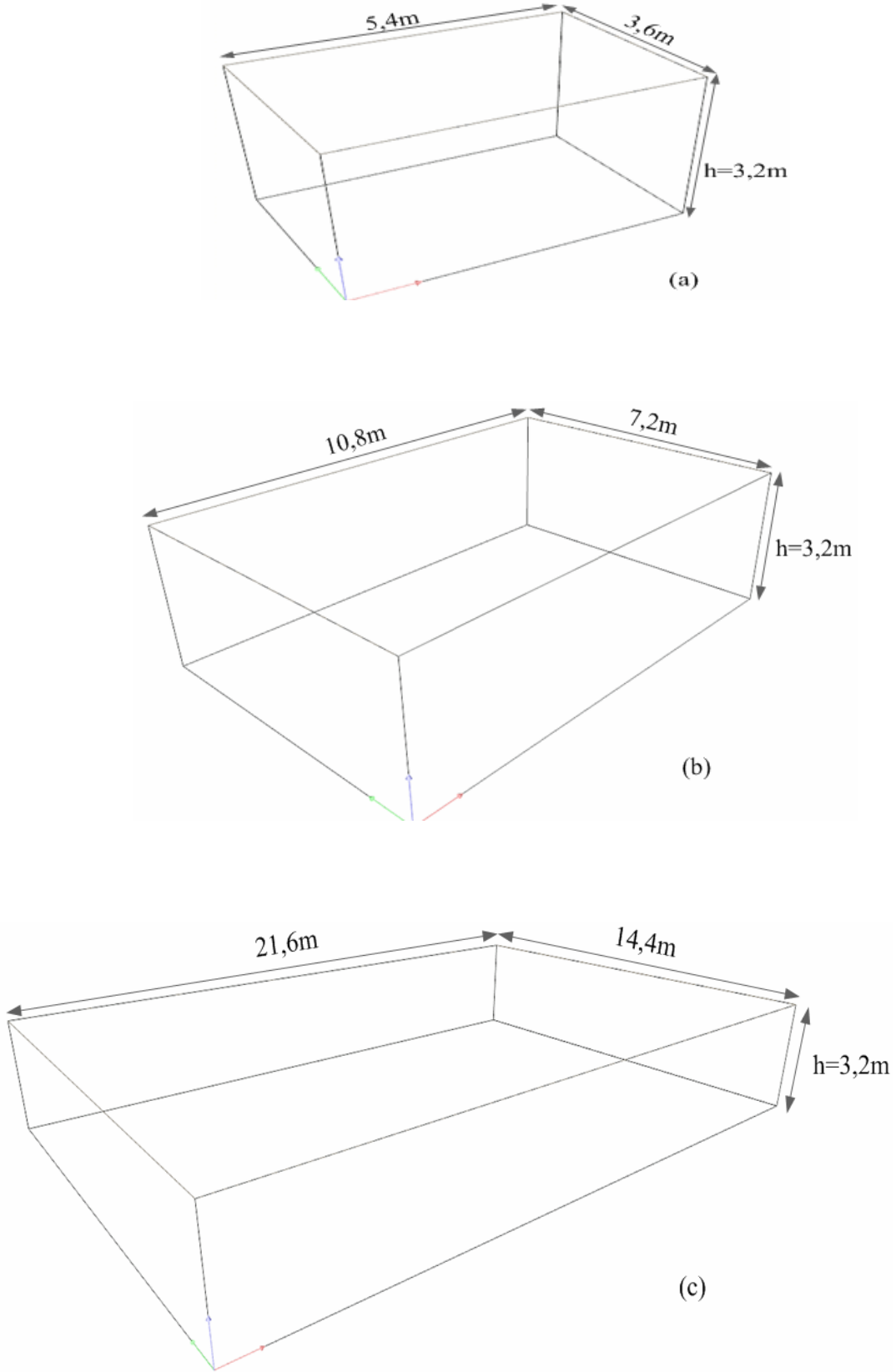
### 3.1.4 İç Yüzey Kayıpları

Aydınlatma sistemlerinde görülen kayıpların bir kısmı da ışığın hacim iç yüzeyleri tarafından yutulması sonucunda ortaya çıkmaktadır. İç yüzeylerde görülen bu kayıpların boyutu

- İç yüzeylerin yansıtma oranlarına
- Armatürün ışık dağılım karakteristiğine
- Geometrik yapıya bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilecektir.

İç yüzeylerin yansıtma oranları doğrudan yansıyan ışığın ne oranda kayba uğrayacağına belirlediğinden bu noktada değerlendirmelerin doğru yapılması büyük önem taşıyacaktır. Direk dağılım karakteristiğindeki uygulamalarda duvar yüzeylerinin etkisi göreceli olarak daha düşük olabilirken yayınık ve endirek dağılım karakteristiğindeki uygulamalarda çok ciddi oranlarda etkiyebilmektedir. Armatürün ışık dağılım karakteristiği ise ışığın ne oranda iç yüzeylerde yansıtılarak dağılım göstereceğini belirlemektedir. Geometrik yapı (en boy ve özellikle yükseklik değerlerine bağlı oda indeksi) ışığın dağılımı konusunda belirleyici diğer bir etmen olduğundan kayıp konusunda belirleyici bir fark yaratabilmektedir. Genel olarak yüksek tavan yapılı, ince uzun ya da küçük hacimli yapılarda kayıplar daha yüksek oranda gerçekleşebilecektir.

Bu parametrelerin toplam sistem verimliliği üzerindeki değerlendirmelerini gerçekleştirebilmek için 3 farklı geometrik özellikteki yapıları yine 3 farklı iç yüzey yansıtma yapısında modelleyerek direk, endirek ve kısmen yayınık armatürler kullanılarak farklı modellemeler gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 3.31 Uygulamada kullanılan geometrik modeller

(a) 1 birim alan ( $19,44 \text{ m}^2$ ) (b) 4 birim alan ( $77,76 \text{ m}^2$ ) (c) 16 birim alan ( $311,04 \text{ m}^2$ )

## MODEL-1 (YÜKSEK YANSITMA FAKTÖRÜ)

Alçı % 78

RAL 1014 (Fildişi) % 75

RAL 7045 (Uzak Gri-2) % 31

## MODEL-2 (NORMAL YANSITMA FAKTÖRÜ)

RAL 9018 (Papirüs Beyazı) % 61

RAL 6027 (Açık Yeşil) % 44

RAL 7046 (Uzak Gri) % 26

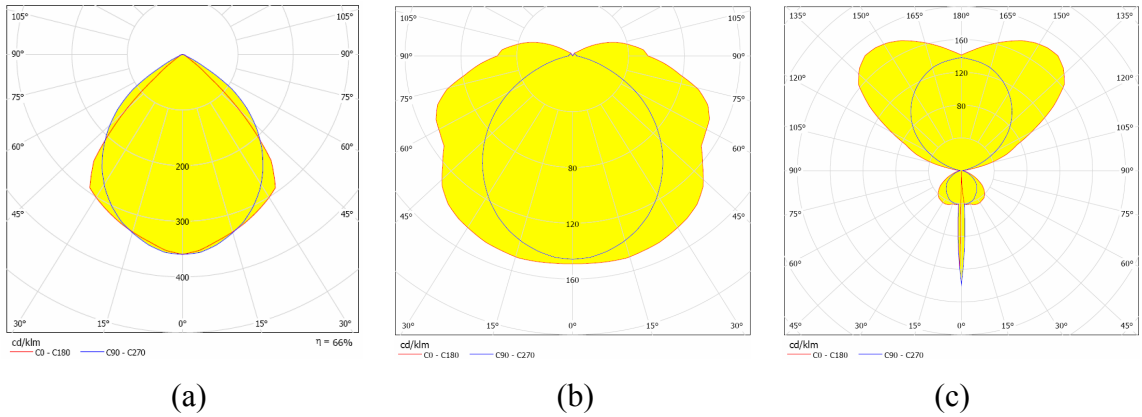
## MODEL-3 (DÜŞÜK YANSITMA FAKTÖRÜ)

RAL 7044 (İpek Grisi) % 48

RAL 7023 (Beton Grisi) % 27

RAL 7043 (Trafik Grisi-B) % 11

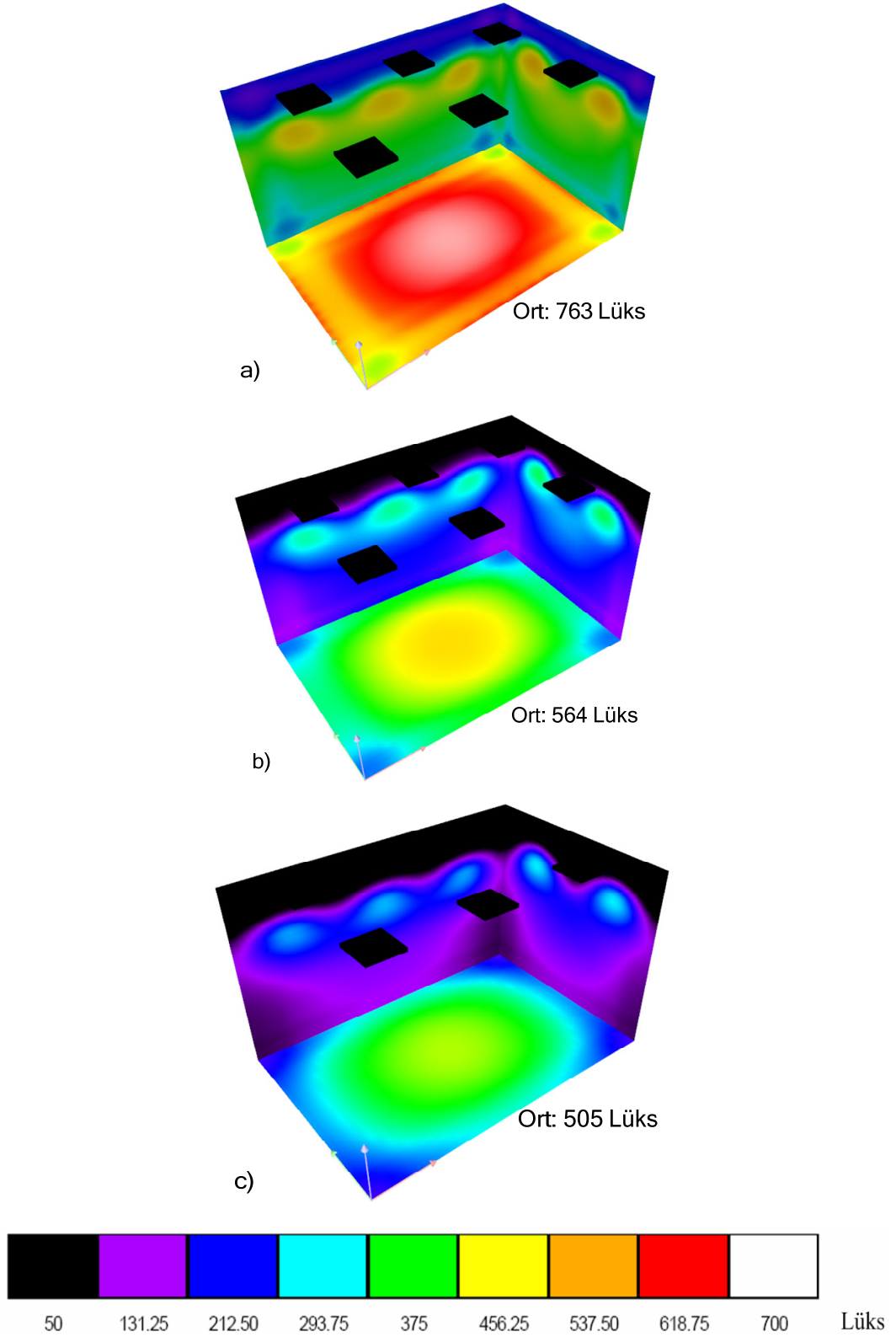
Şekil 3.32 Modellere ilişkin yansıtma çarpanları



Şekil 3.33 Kullanılan armatürlerin ışık dağılım özellikleri [17]

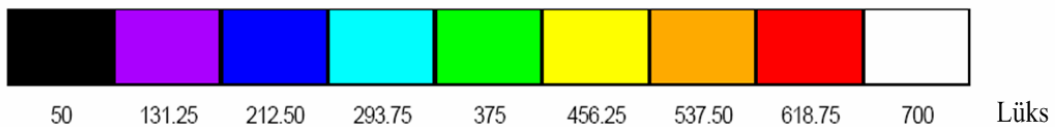
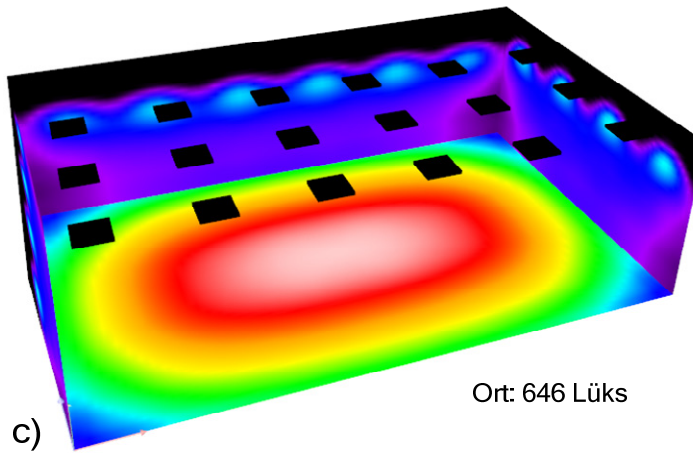
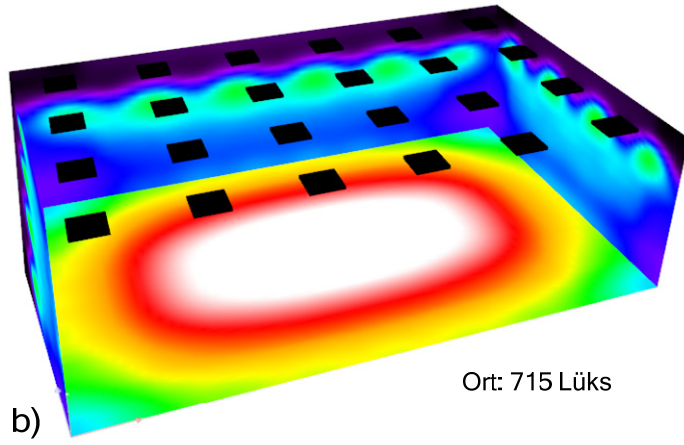
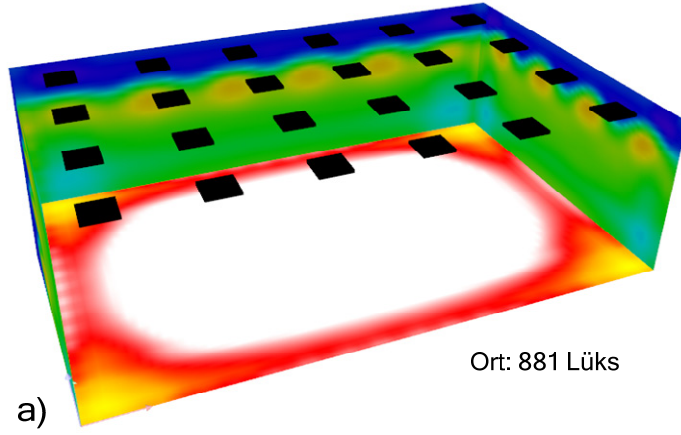
(a) Direk (b) Genel yayınlık (c) Endirek

Direk dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 5,4 x 3,6 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



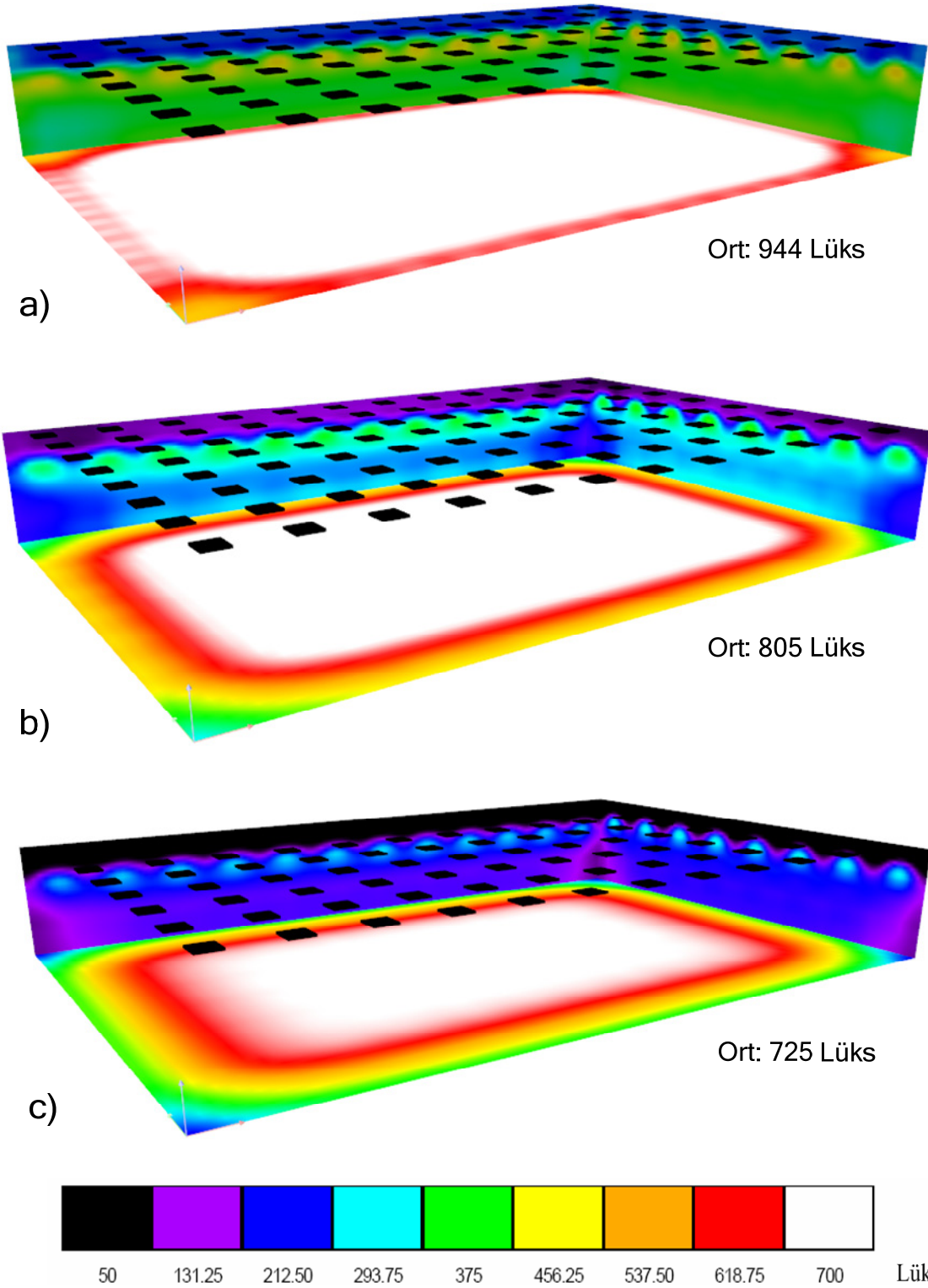
Şekil 3.34 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Direk dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 10,8 x 7,2 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir..



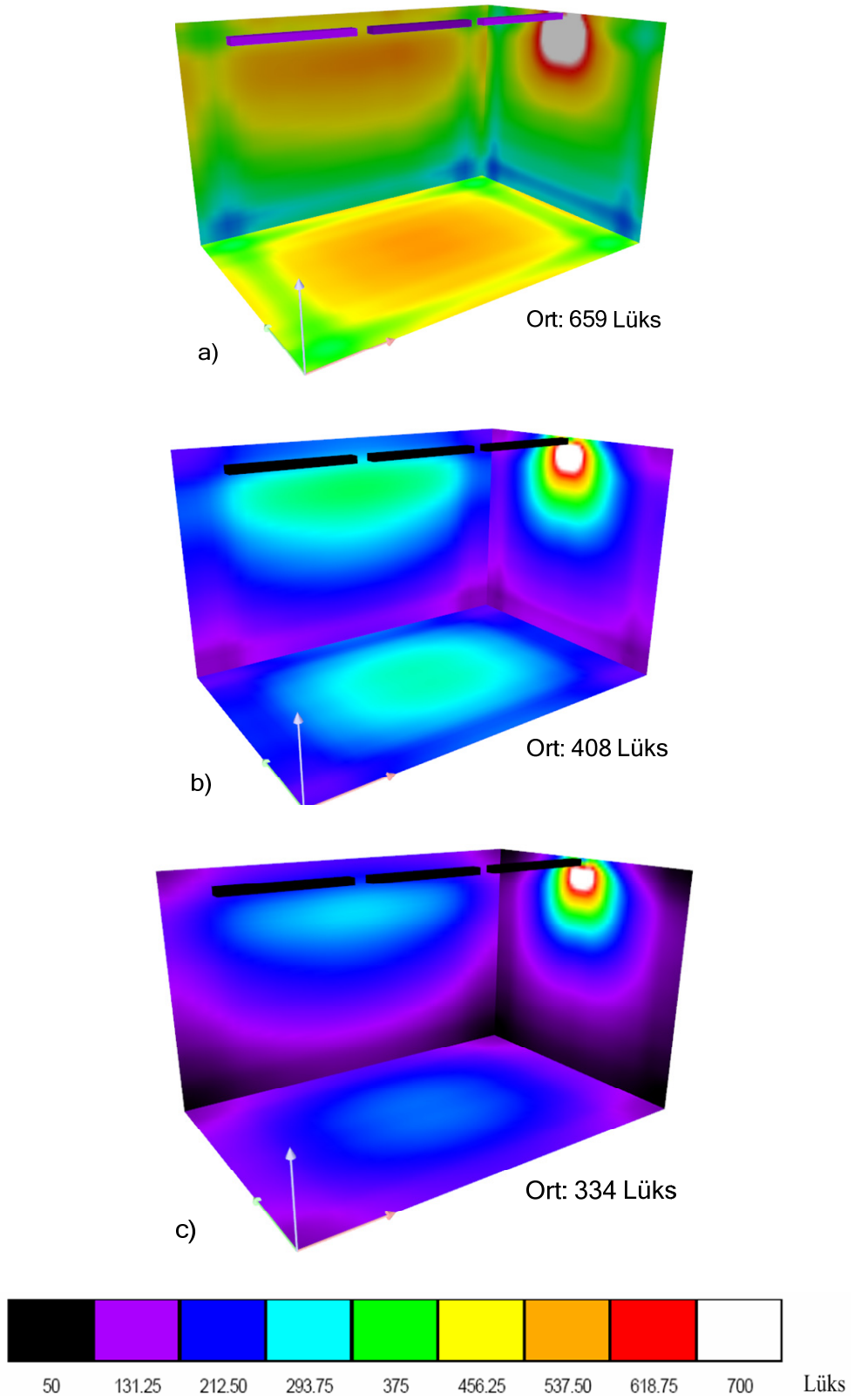
Şekil 3.35 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Direk dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 21,6 x 14,4 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir..



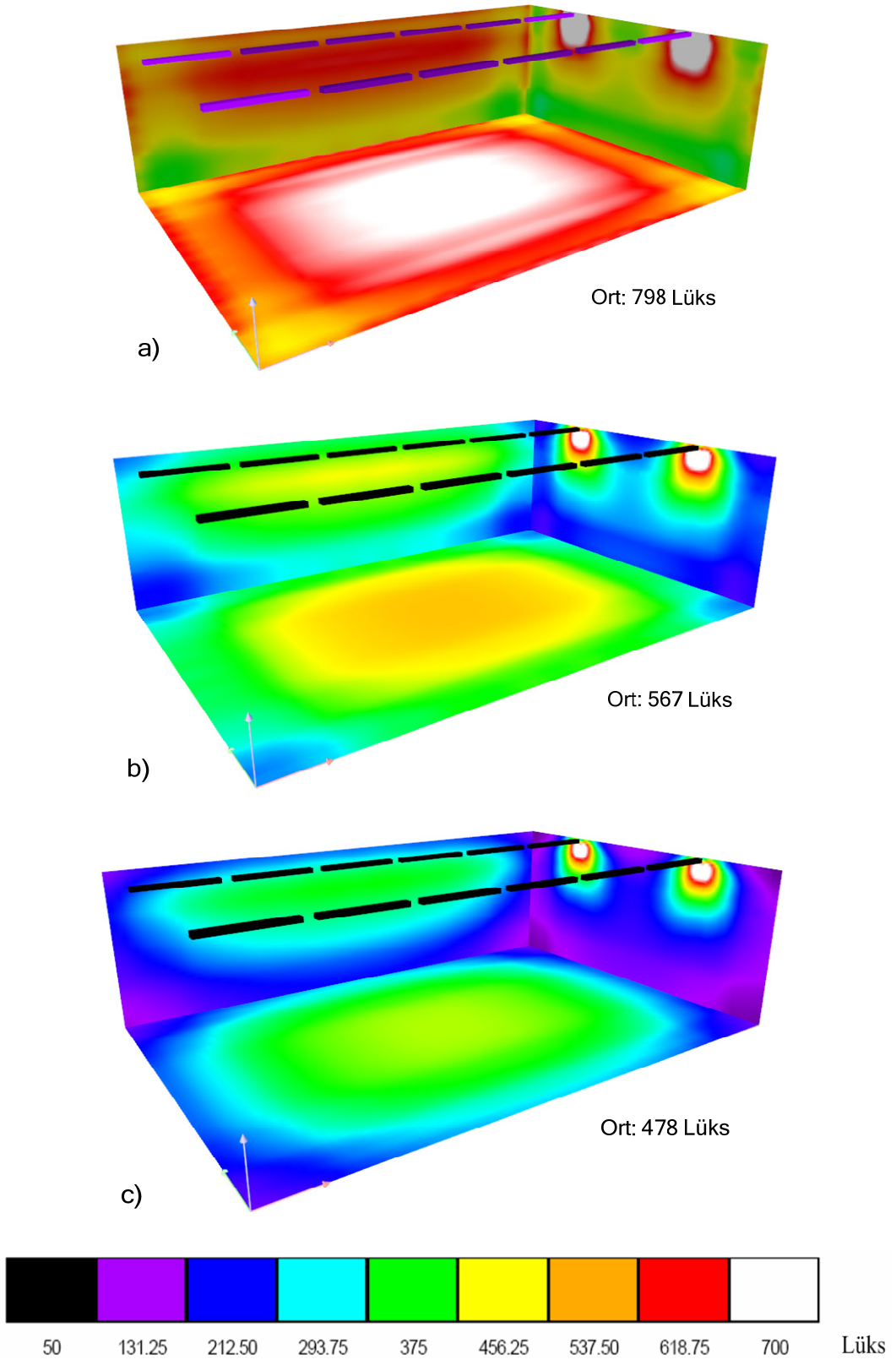
Şekil 3.36 Sonuçlar a)Yüksek yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Geniş dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 5,4 x 3,6 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



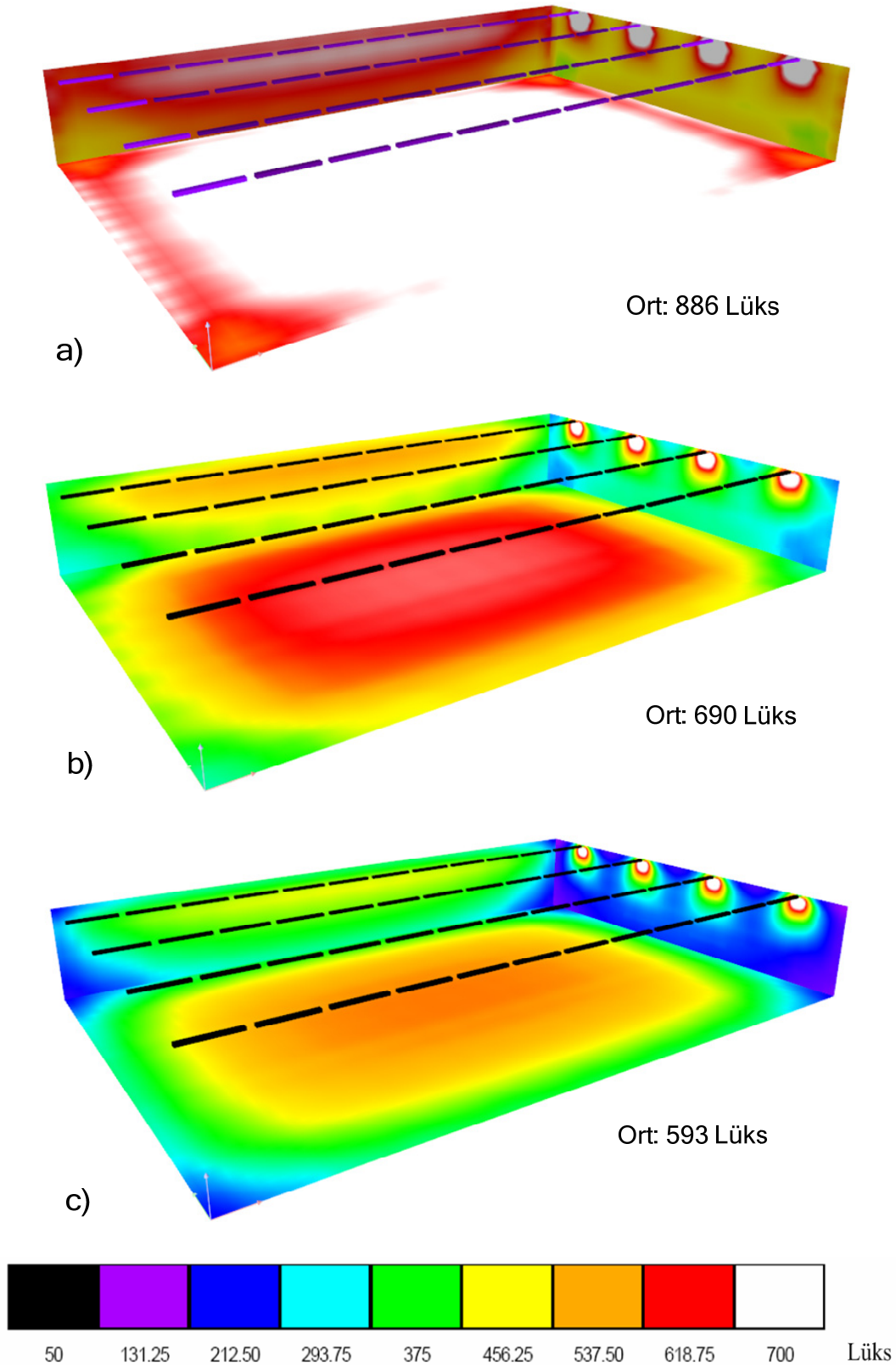
Şekil 3.37 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Geniş dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 10,8 x 7,2 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



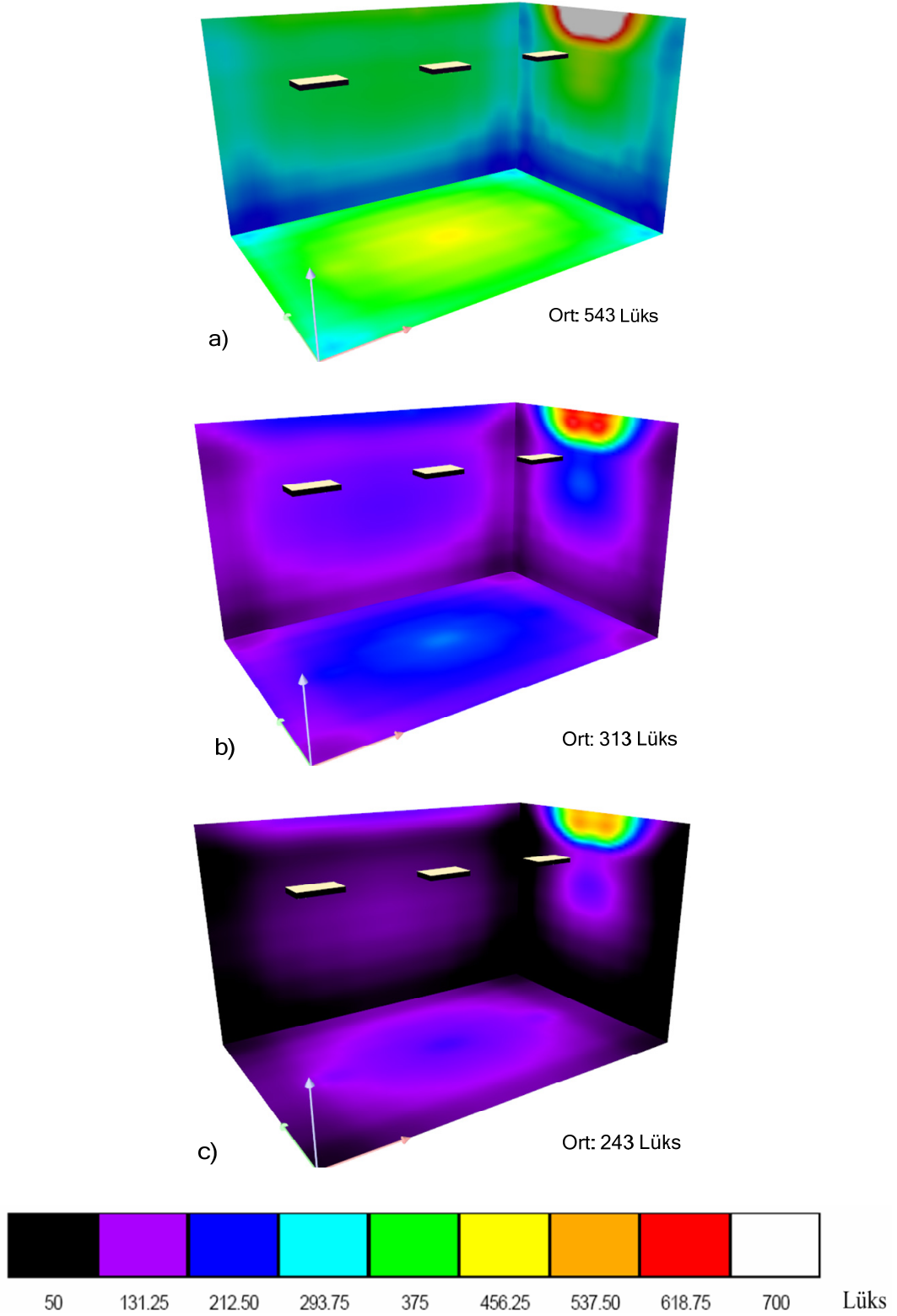
Şekil 3.38 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Geniş dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 21,6 x 14,4 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



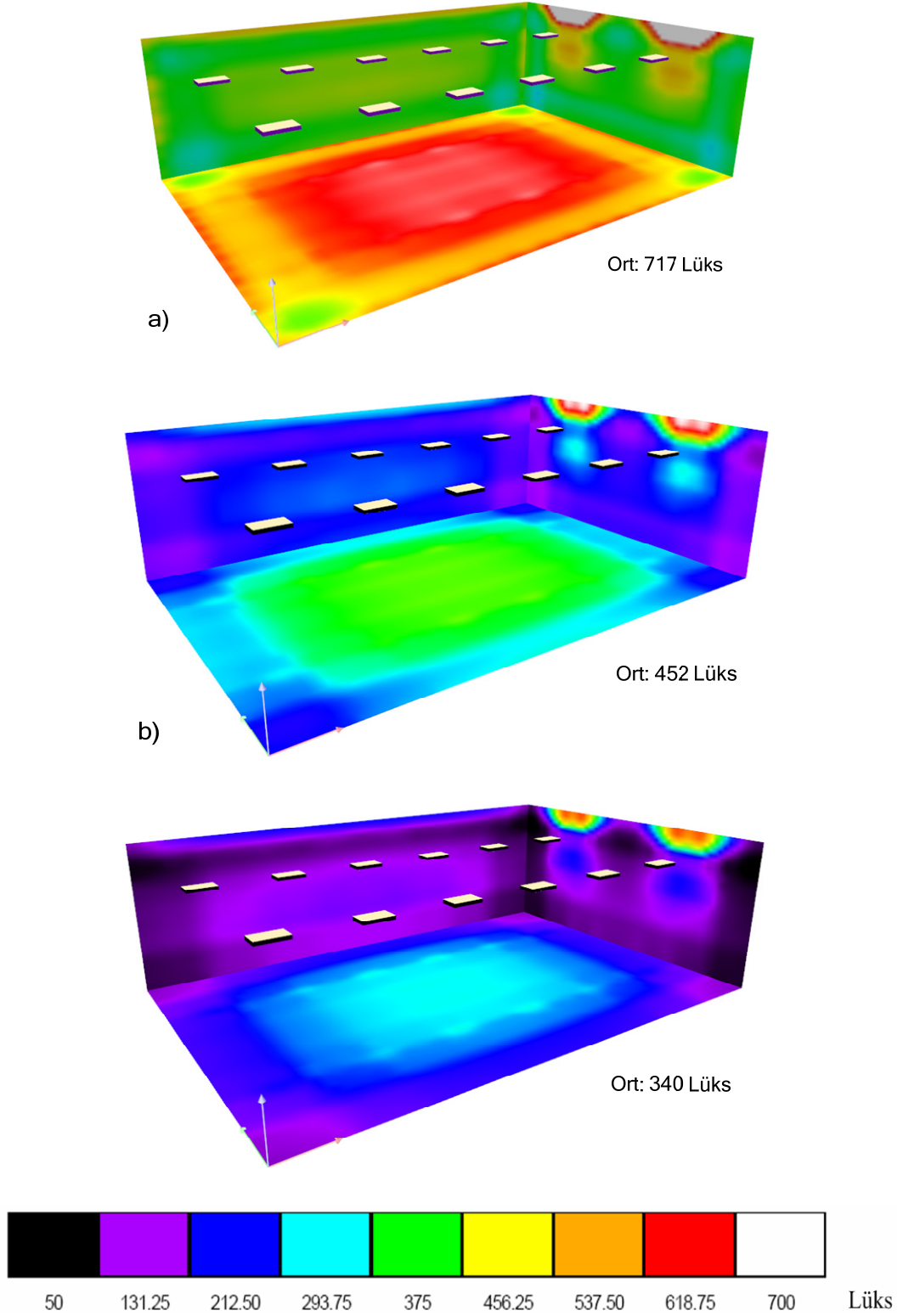
Şekil 3.39 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Endirek ışık dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 5,4 x 3,6 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı olarak aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



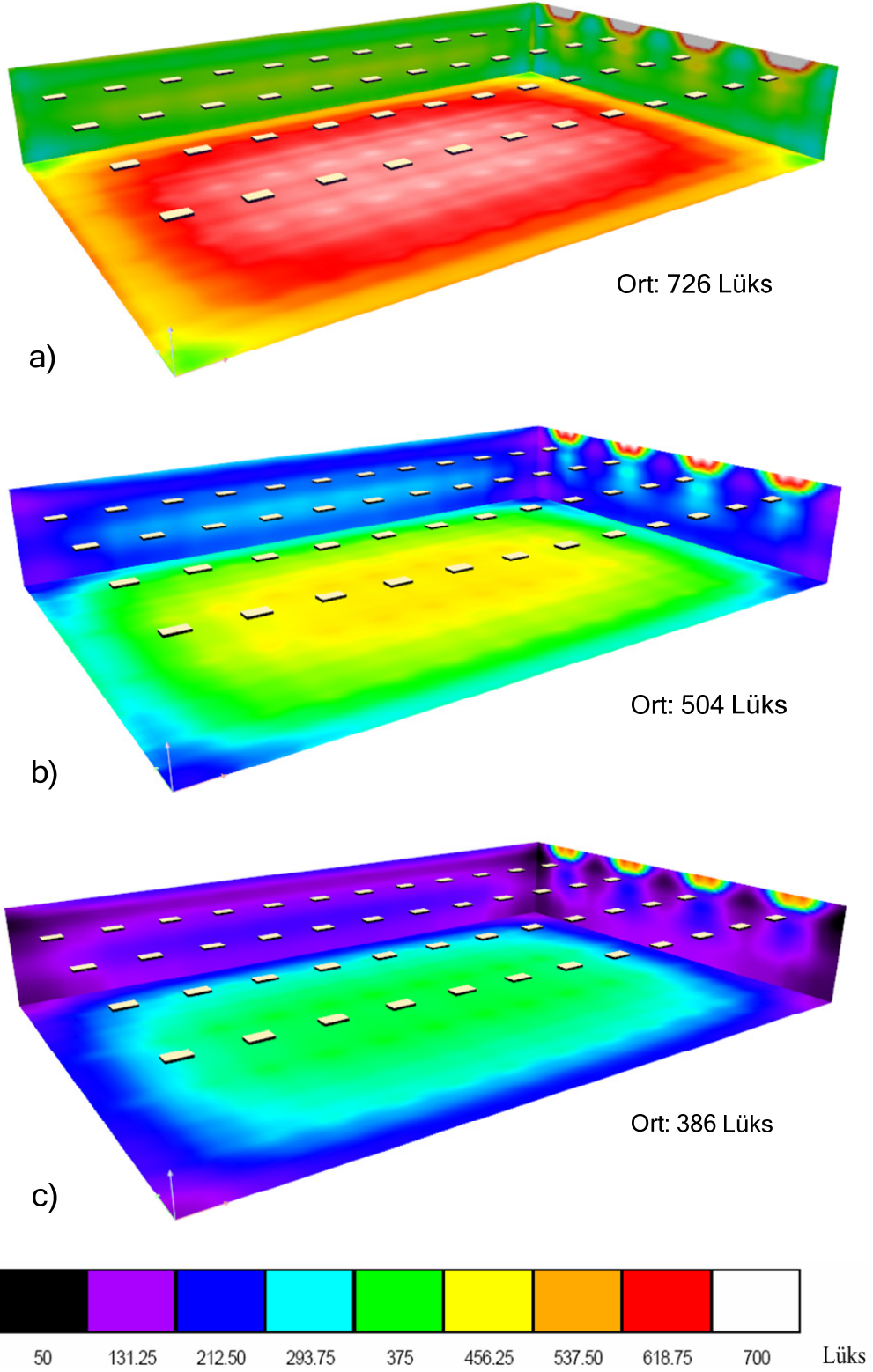
Şekil 3.40 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

Endirek ışık dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 5,4 x 3,6 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı olarak aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.

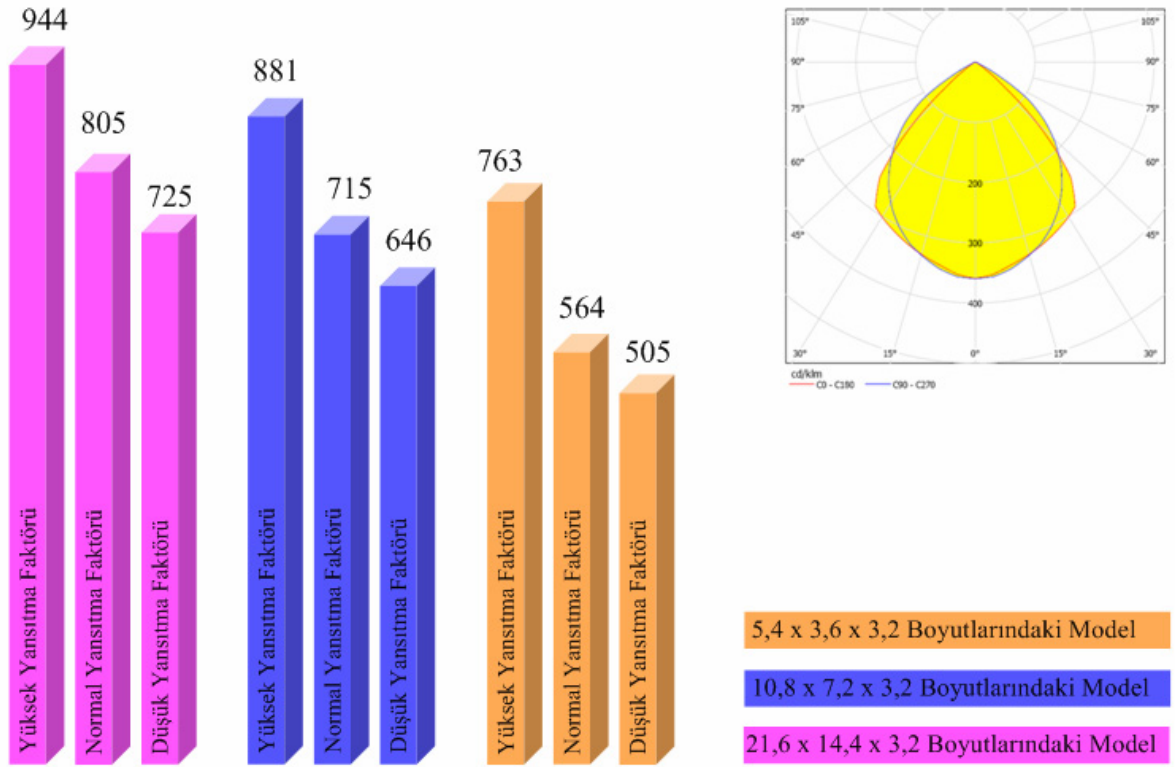


Şekil 3.41 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü

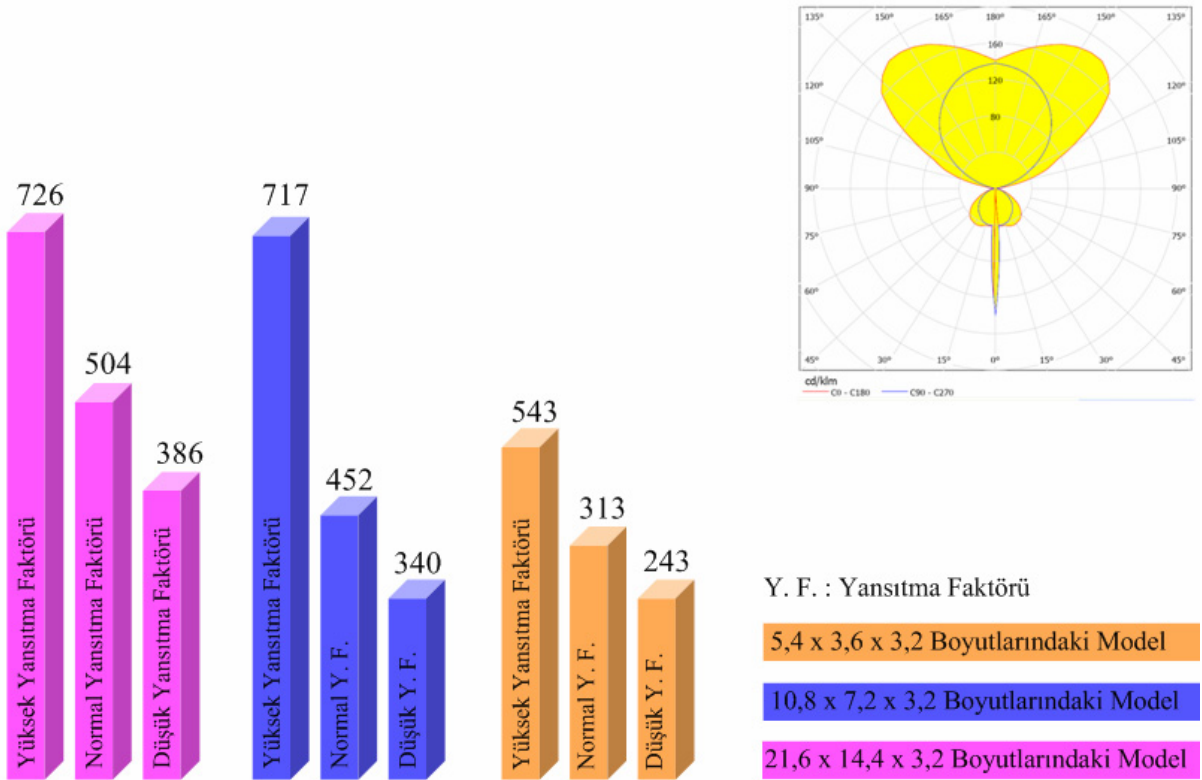
Endirek ışık dağılım özelliği taşıyan armatürlerin 21,6 x 14,4 x 3,2 boyutlarındaki hacim içerisinde kullanılması durumunda iç yüzey çarpanlarına bağlı olarak aşağıdaki değişimler gözlemlenmiştir.



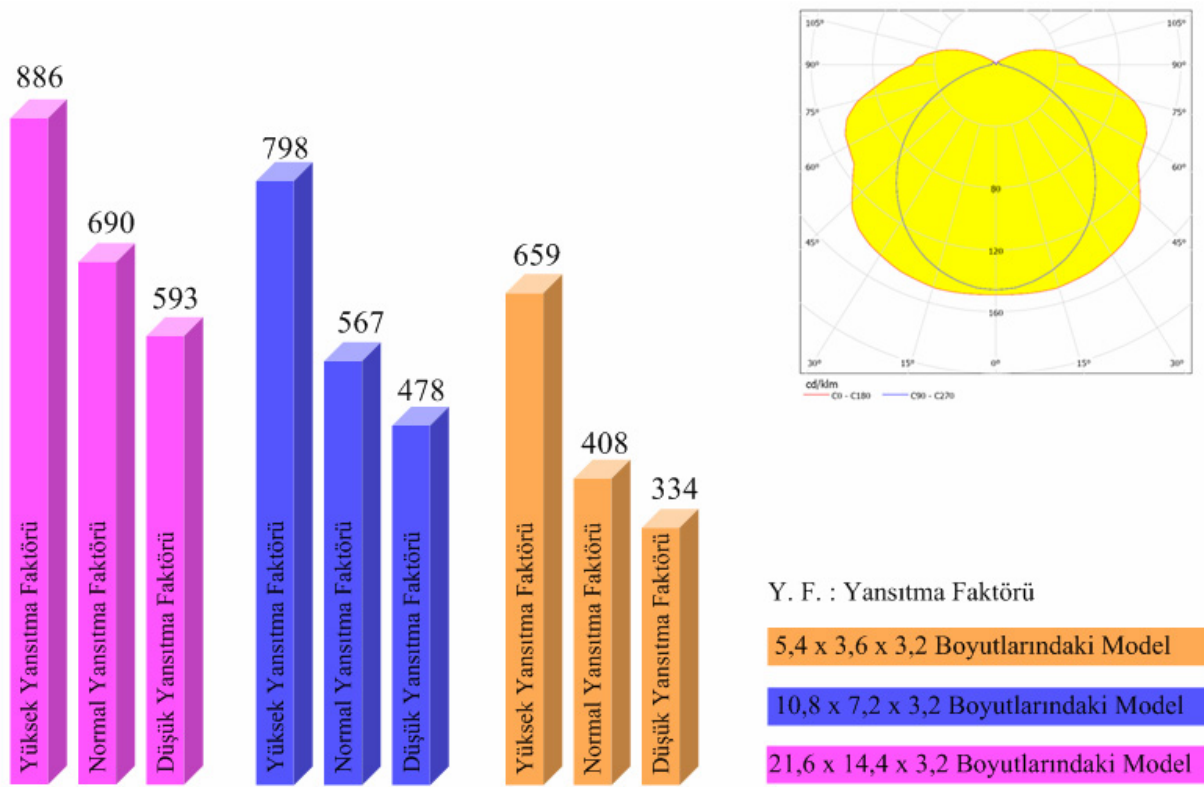
Şekil 3.42 Sonuçlar a)Yükse yansıtma faktörü b)Normal yansıtma faktörü c)Düşük yansıtma faktörü



Şekil 3.43 Direk dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtma faktörüne bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks)



Şekil 3.44 Endirek dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtma faktörüne bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks)



Şekil 3.45 Genel yayınlık dağılımda oda boyutu ve yüzey yansıtma faktörüne bağlı aydınlık seviyesi değişimleri ( Birim; Lüks)

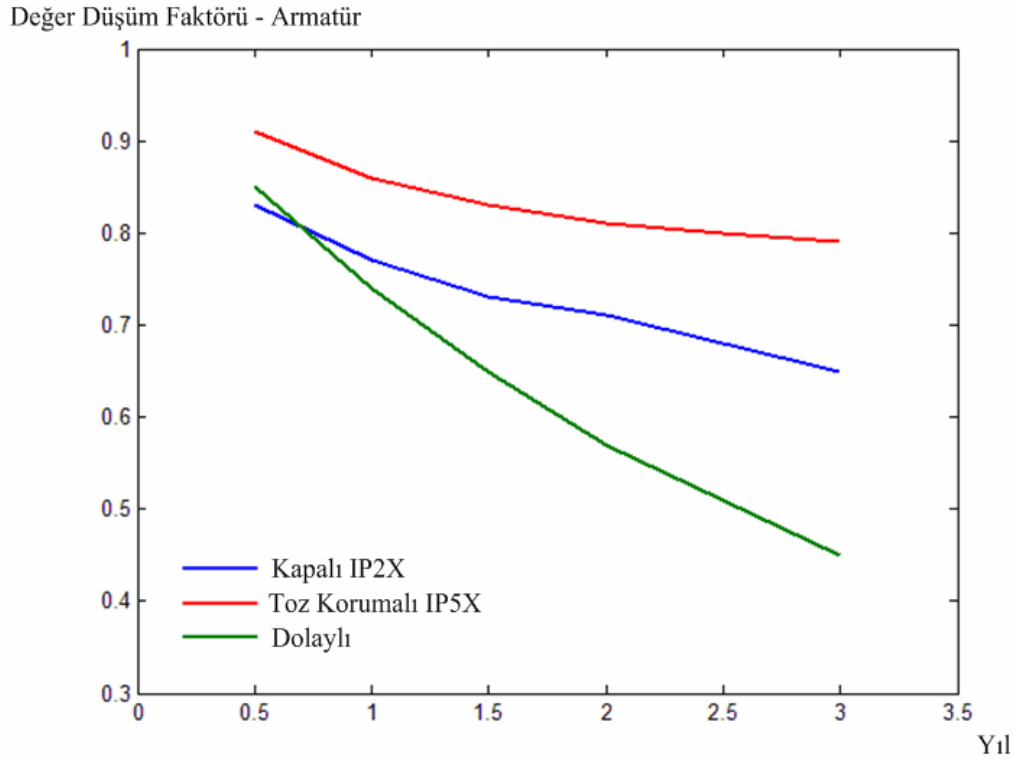
Şekil 3.43, 3.44 ve 3.45'den de değerlendirilebileceği gibi yayınlık ve endirekt aydınlatma modellerinde iç yüzey çarpanlarının sistem verimliliği üzerine etkisi oldukça yüksek olmaktadır. Bu nedenle bu tip aydınlatma uygulamalarında oda indisinin ve iç yüzey yansıtma faktörlerinin uygulamaya uygunluğu daha dikkatle ele alınmalıdır. Aksi taktirde sistem kayıpları büyük boyutlara ulaşabilecektir. Zaman içerisinde görülen kirlenmenin etkisiyle iç yüzey yansımalarının azalması ve dolayısıyla bu noktalarda görülen kayıpların artması söz konusu olacaktır. Bu durumun etkisi yayınlık ve endirekt gibi yansıtma faktörünün önem taşıdığı uygulamalarda daha büyük önem taşıyacaktır. Bununla birlikte daha büyük boyutlu oda hacimleri için elde edilen aydınlık seviyeleri ve sistem verimliliği daha yüksek olmaktadır. Yükselen tavan yüksekliği ya da iç yüzey yansımalarının yüksek olabileceği geometrik yapılarda (Uzun ince , dar yüksek vb) sistem verimliliği düşüş gösterecektir.

### 3.2 Bakım ve Yenilemenin Sistem Verimliliği Üzerine Etkisi

Aydınlatma sitemlerinde görülen kayıpları doğrudan ve zamanla görülen kayıplar olmak üzere iki grupta değerlendirdik. Doğrudan görülen kayıplar tamamen ürünün kalite ve verimliliğine bağlı olurken zamanla görülen etkiler büyük ölçüde zamanın ve diğer çevresel etkilerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bakım ve yenileme konusu da tam bu noktada görülen kayıpları sınırlayarak verimliliğin artmasına ve sürekliliğin sağlanmasına yönelik olarak yapılan çalışmalardır. Tam anlamıyla verimden bahsedebilmek için düzenli bir bakım ve yenileme programının oluşturulması gerekmektedir. Çoğu zaman bu konuyla ilgili herhangi detaylı bir çalışma yapılmadığı gibi yapılması gereken zaruri ihtiyaçlardan sayılabilecek dönemlik bakımların dahi yapılmaması, kayıpların ve enerji sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. İyi bir proje tasarımı ve hesaplaması için işletme koşulları ve ekipman yapısı değerlendirilerek planlı bir bakım ve yenileme programının oluşturulması gerekmektedir.

Bakım temelde sistemin kayıplarını sınırlamaya ve verimliliğin arttırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Bakım ve yenilemenin sıklığı çevresel koşullara ürün yapısına bağlı olarak değişim gösterir. Genel olarak sistemlerin verimliliğin arttırılmasına yönelik olarak sık bir bakım periyodunun uygulanması zamanla görülen kayıpları ve dolayısıyla hesaplamalarda değerlendirilecek bakım faktörünü iyileştirdiğinden çok daha verimli bir altyapı oluşturulmasına imkan verecektir. Uygun bir etüt doğrultusunda uygulanacak bir bakım programı, sistemin daha uzun ömürlü olarak yapılandırılmasına, düşük enerji tüketimine, daha düşük kurulum maliyetli ve verimli bir sistem oluşturulmasını sağlayacaktır. Ağır işletme şartlarının söz konusu olduğu kirli hacimlerde bakım konusu ve kullanılan ekipmanların bu yapıya olan uygunlukları çok daha büyük önem taşıyacaktır [7].

Kirliliğin sistem üzerine etkisi özellikle kirli ve/veya bakım periyodunun sık olmadığı ortamlarda ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle ortam koşullarını göz önünde bulundurarak ortam koşullarını etkilerini en aza indirecek yapıdaki armatürler seçilmelidir. Aksi takdirde sistem verimliliğindeki azalma çok daha hızlı olacaktır.

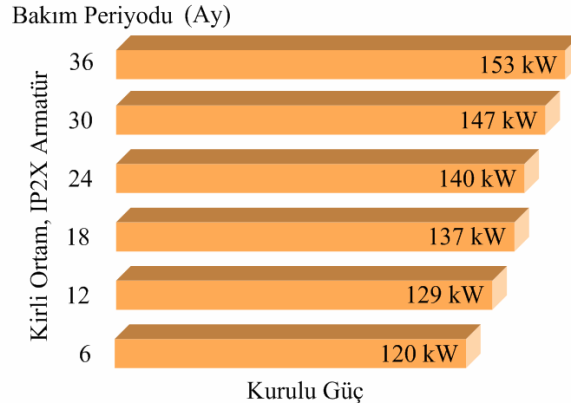


Şekil 3.46 Kirli ortam koşullarında armatürlerde görülen değer düşümünün bakım periyoduna bağlı değişimi [1]

Daha öncede ilgili bölümlerde bahsettiğimiz gibi armatürlerin optik verimlilik değerlerinde zamanla tozlanmanın etkisi farklı armatür gruplarında farklı boyutlarda görülebilmektedir. Bu noktada bakım konusu özellikle yüksek değer düşümüne sahip armatür grupları için büyük önem taşıyacaktır [7].

Büyük çaplı uygulamalarda bakım faktörünü iyileştirmek ve verimliliği arttırmak için bakım ve yenileme konusunda servis hizmeti almak işletme sürekliliği ve uygulamanın verimliliği açısından büyük önem taşıyacaktır. İlk aşmada büyük çaptaki bu işlem ek masraf anlamına gelse de, bu alanda belli periyotlarda yapılacak bakımın sistemin değer düşüm faktörünü iyileştireceğinden kurulu sistem gücünün ve işletme giderlerinin düşmesi anlamına gelecektir.

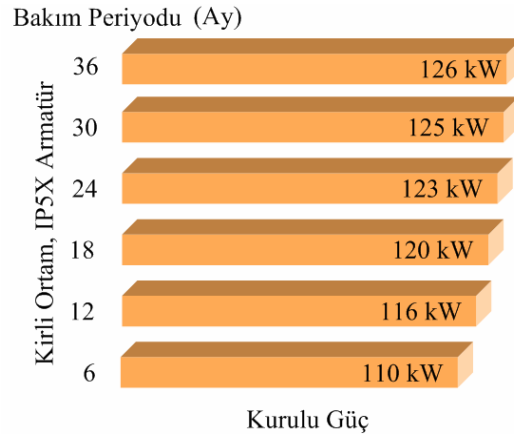
Örnek olarak 8000 metrekarelik bir alanın aydınlatılması için IP2X kapalı armatür grubunun kullanılması durumunda aydınlatma amaçlı kurulu gücün değişimi şekil 3.47'deki gibi olacaktır. ( referans farklılıklar şekil 3.46'dan da değerlendirilebilir.)



Şekil 3.47 Bakım periyoduna bağlı kurulu güç değişimi (IP2X)

Bu noktada genel bir değerlendirme yapılacak olursa 36 aylık bakım periyodunun 6 aya düşürülmesi durumunda söz konusu sistem %21,5 daha verimli hale gelecektir. Bu yaklaşım özellikle yüksek değer düşümünün görülebileceği armatür grupları için büyük önem taşımaktadır.

Şekil 3.48'den de değerlendirilebileceği gibi yüksek koruma sınıfına sahip armatür gruplarında bakım sıklığının sistem verimliliği üzerine etkisi elbette ki bu boyutta olmayacaktır. Aynı yapı içerisinde bakım periyodunun 36 aydan 6 aya düşürülmesi durumunda sistem % 12,7 daha verimli olacaktır.



Şekil 3.48 Bakım periyoduna bağlı kurulu güç değişimi (IP5X armatür)

Her iki değerlendirmede de elde edilen sonuçlar daha iyi işletme koşullarında daha düşük bir etki gösterecektir. Bu konuya benzer şekilde düşük lümen kararlılığı gösteren ışık kaynaklarının da ekonomik ömürleri sürecinden daha erken bir değişime tabi tutulması da sistem verimliliği açısından bir avantaj sağlayabilecektir. Yüksek lümen kararlılığına sahip ışık kaynaklarında erken yenileme uygulanmasının ise sistem verimliliği üzerine ciddi bir etkisi olmayacaktır.

### 3.3 Kontrol Sistemleri

Kontrol ışığın ve dolayısıyla enerjinin etkin kullanılmasıyla ilgili olan en son aşamadır. Günümüzde aydınlatma sistemlerinin kontrolüne yönelik olarak gelişmiş çözümlerin sunulabilmesi mümkündür. Nispeten yüksek maliyetli olan bu oluşum, projenin yapısına da bağlı olarak ciddi boyutlarda karlılık taşıyabilmektedir. Kontrol seçenekleri her proje için öncelik taşımamaktadır. Fakat sistemin genel yapısı ve kullanım şeklinin uygunluk taşıması durumunda kontrol sistemleri büyük oranlarda tasarruf sağlanmasına olanak sağlayacaktır [6], [9].

Aydınlatma sistemlerinde kontrolü ışık kaynaklarının dönemsel olarak anahtarlanması ve bunun da ötesinde dimmerleme olarak da tanımlanan ışığın şiddetinin ayarlanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu her iki yapının da uygulanmasında ışık kaynağının ve de devre elemanlarının bu yapıya uygunlukları büyük önem taşımaktadır.

Aydınlatma kontrol sistemleri, işlevsellik, güvenlik ve enerji verimliliği konularında alternatif çözümler oluşturmakta ve çok daha modern sistemlerin yapılandırılmasına imkan sunmaktadır. Gerçekçi bir yaklaşımla enerjinin tasarrufunun sadece insan inisiyatifine teslim edilmesi modern bir çözüm olmayacaktır. Profesyonel anlamda çok daha gelişmiş çözümler için modern otomasyon sistemlerinden ya da aydınlatma kontrolü için tasarlanmış DALI gibi aydınlatma kontrol sistemlerinden ve bu sistemlerin sunduğu kontrol seçeneklerinden faydalanılması gerekmektedir.

#### 3.3.1 Dimmerleme

Dimmerleme en basit anlamıyla bir ışık kaynağının ışık çıkışının değiştirilmesi eylemidir. Bu noktada değişken aydınlık seviyelerine ihtiyaç duyulabilen ve/veya ışık periyodik kullanım veya günışığı etkisi nedeniyle enerji tasarrufu yapılmak istenilen yerlerde etkin bir çözüm olabilecektir. Uygun bir yapı üzerinde dimmerleme ile basit bir ışık kontrolünün yapılması ile % 70'lere varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu noktada sistem maliyetlerinde ciddi farklılıklar yaratabileceğinden karlılık değerlendirilmesinin tam olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Dimmerlemenin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan ışık kaynağı ve diğer elektriksel ekipmanların bu tip bir yapıya uygunluk göstermesi gerekmektedir. Şebeke gerilimiyle çalışan (MV) halojen ve geleneksel akkor lambalar gibi filamanlı ışık kaynakları uygun dimmer yapısıyla doğrudan dimmerlenebilmektedir. Düşük gerilimli (LV) halojen ışık kaynakları ise beraberinde kullanılan transformatör ya da konvertör devresine uygun dimmer yapıları ile

kontrol edilebilirler. Floresan ışık kaynakları ancak dimmerlenebilir elektronik balast devreleriyle birlikte kullanılmaları durumunda uygun dimmerleme sistemleriyle birlikte kullanılabilir. LED devreleri ise dimmerleme konusunda en kolay uygulama seçeneğine sahip diğer ışık kaynaklarıdır [10].

Yüksek basınçlı ışık kaynaklarında ise dimmerleme biraz daha sınırlı ve birçok modelde uygulanması sınırlı ya da mümkün olmayan bir yapıdır. Genel olarak bu tip ışık kaynaklarında dimmerleme konusunda çok başarılı olamamalarının yanı sıra sistem karlılığı ve kurulum maliyetlerinin yüksekliği de olumsuz etmenler arasında sıralanabilir. Bunun dışında yüksek basınçlı ışık kaynaklarıyla ilgili olarak elektronik devre seçenekleri floresan gruplarına kıyasla çok daha sınırlı sayıdadır. Bununda ötesinde yüksek güçlü ışık kaynaklarının çoğu için üretilmiş elektronik devre seçenekleri de çok daha azdır. Bazı üreticiler sınırlı uygulamalar için dimmerlenebilir HID elektronik balast devrelerini üretmektedir. Yine de bu uygulamalarda ışık kaynaklarının yapılarının da nedeniyle çoğu zaman % 50'nin altında dimmerleme yapılamamaktadır. Bu tip ışık kaynaklarında dimmerlemenin etkisi sonucunda renk sıcaklıklarının değişmesi gibi sonuçlarla da karşılaşılabilir. Genel olarak elektronik sürekli dimm (cont-dimm) sistemler yerine daha düşük maliyetli ve basit sistem yapısındaki kademeli aydınlatma sistemleri tercih edilebilmektedir. Bu sistemler de sadece yüksek basınçlı civa ve yüksek basınçlı sodyum buharlı sistemler ile birlikte kullanılabilir [4], [9], [10].

### 3.3.2 Güç Anahtarlama

Yüksek basınçlı lambalar ateşleme yapıları nedeniyle sık anahtarlama yapılması uygun değildir. HID lambaların rejime girme sürelerinin uzun olması ve tekrar (sıcak) ateşleme durumunda bu sürenin daha da uzaması ile lamba ömrünün ciddi oranda azalmasına ve bu tarz bir kontrolün yapılmasına imkan vermemektedir. Bu nedenle tasarruf amacıyla koşullara göre ışık kaynaklarını devreye alıp, gerekliliğin azaldığı zamanlarda da devreden çıkarmak uygun olmayacaktır. Bununla birlikte kaynakların tamamen devre dışı bırakılması durumunda güvenlik ve fonksiyon sorunlarının ortaya çıkması da kaçınılmaz olacaktır.

HID ışık kaynaklarının çift kademeli bir balast aracılığıyla iki farklı enerji kademesinde çalıştırılmasına olanak sağlayan anahtarlama sistemi güç anahtarlama olarak tanımlanmaktadır. Güç anahtarlama uygulamaları civa buharlı ve Sodyum buharlı ışık kaynaklarıyla uygulanması mümkündür. Metal Halide ışık kaynakları ise bu tip bir anahtarlama uygun yapıda değildir.

Genel olarak HID dimmerleme sistemleri yüksek kurulum maliyetlerine sahipken güç anahtarlama sistemleri balast yapısının manyetik olabilmesinin ve anahtarlama modülünün basit yapısı sayesinde düşük kurulum maliyetine sahiptir. Bu faktör kademeli aydınlatma sistemlerini uygulanabilir kılan en temel faktörlerdendir.

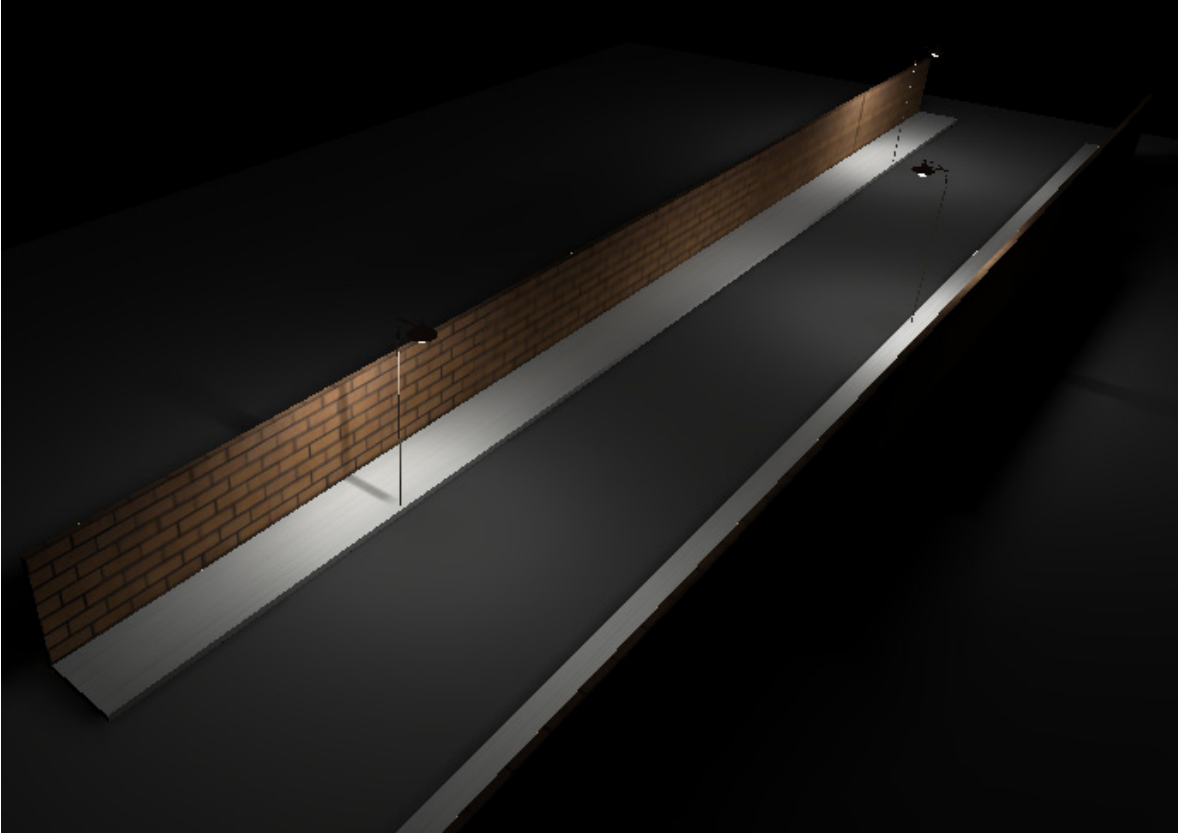
Çizelge 3.3 Kademeli aydınlatmaya ilişkin ışıksal ve elektriksel değerler

LAMBA TİPİ	Tam Yükte $P_L / W$	Düşük Kademede $P_L / W$	Düşük Kademede $I_L / A$	Güç Tasarrufu $P_L \%$
Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lambalar (HM)	80	50	0,62	37,5
	125	80	0,80	36,0
	250	150	1,30	40,0
	400	250	2,15	37,5
Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar (HS)	70	50	0,76	28,6
	100	70	1,00	30,0
	150	105	1,47	30,0
	250	155	2,65	38,0
	400	265	3,40	33,8

Güç Anahtarlama sistemlerinin yapısında klasik HID sistemlerden farklı olarak standart manyetik balast yerine çift kademeli manyetik balast kullanılmaktadır. Buna ek olarak anahtarlama yapan bir de güç anahtar devresi kullanılmalıdır. Güç anahtar devresi ateşleyici fonksiyonlarını da içeren bütünleşik bir yapıda da olabilir.

Güç anahtarlama uyumlu balastlar üzerinde 2 farklı enerji kademesi vardır. Balast üzerindeki kademe geçişleri güç anahtarlama elemanı tarafından yapılmaktadır. Çift kademeli aydınlatma sistemlerinin kontrol farklılıklarını kullanılan güç anahtarlama ünitesinin yapısı belirlemektedir. Konu başında da değindiğimiz gibi HID sistemler anahtarlama ile kontrol edilmeye uygun yapıda değildir. Bununla birlikte tasarruf amaçlı olarak birer atlamalı aydınlatma yapılması düzgünlük faktörü konusunda sorunlar yaşanmasına neden olabilmektedir [20].

Bu konuyla ilgili olarak şekil 3.49'daki gibi bir model üzerinde enerji tasarrufu yapmak amacıyla 2 farklı uygulama yapılması durumunda ne tip sonuçların elde edileceği değerlendirilebilir. Örnek değerlendirmede aydınlatma tasarımı min 2 cd/m<sup>2</sup> parlıltı seviyesinde ve min 0,7 min boyuna düzgünlük sağlanacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.49 Örnek proje

Örnek uygulama modeli 3 farklı yapıda gerçekleştirilmiştir.

**Standart Kullanım:** Standartlara uygun bir yapılandırma sonucunda normal çalışma koşullarında elde edilen sonuçlar.

**Atlamalı Kullanım:** Yerleşim aynı kalmak şartıyla armatürlerin birer atlamalı olarak kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar.

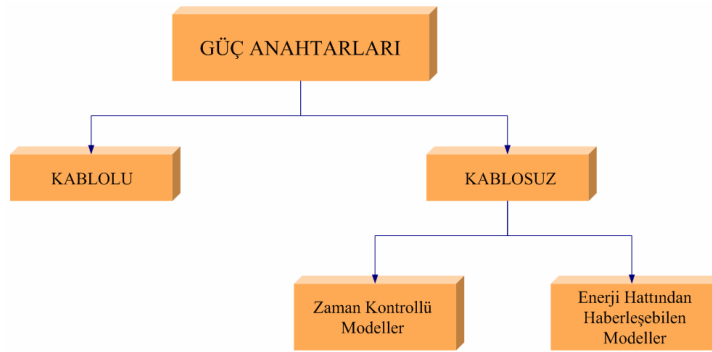
**Güç Anahtarlama:** Mevcut sistemdeki armatürler güç anahtarlama yapılarak yarım kademeli çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar.

Çizelge 3.4 Uygulama sonuçları

	ORTALAMA PARILTI SEVİYESİ $L_m = \text{cd/m}^2$	DÜZGÜNLÜK FAKTÖRÜ $U_0$	BOYUNA DÜZGÜNLÜK $U_1$
STANDART KULLANIM	2,1	0,7	0,8
ATLAMALI UYGULAMA	<u>1,1</u>	<u>0,3</u>	<u>0,1</u>
GÜÇ ANAHTARLAMASI	<u>1,1</u>	0,7	0,8

Çizelge 3.4'deki sonuçlar değerlendirilecek olursa atlamalı uygulamada amacı yoldaki parlıtlı seviyesini azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktır. Atlamalı uygulamada yol üzerindeki parlıtlı seviyesi azaltılmasının yanı sıra düzgünlük faktörlerinin de çok düşük seviyelere indiği görölmektedir. Düzgünlük faktörlerinin bu denli düşük olması en düşük yol sınıfında bile sürücüler için görsel konforsuzluk ve güvenlik problemi oluşturmaktadır [20]. Bu nedenle de teknik açıdan uygulanması sakıncalı olan bir yöntemdir. Güç anahtarlama uygulamasında ise armatürler yarım kademeli olarak çalıştırıldığından sadece yol parlıtlı seviyesinde bir azalma görölmektedir. Bu noktada düzgünlük faktörü değerlerinde herhangi bir azalma görölmemektedir. Buda tasarruf amaçlı olarak kabul edilebilir bir yöntemdir.

**Güç Anahtarlama Kontrol Yapıları:** Güç anahtarlarının temel yapısı kontrol kablolu ve kontrol kablosuz olmak üzere iki grupta değerlendirilebilir. Kontrol kablolu modellerde anahtarlama sinyali klasik olarak sinyal kablosu üzerinden iletilir. Kablosuz modeller ise zaman kontrollü ve enerji hattı üzerinden haberleşebilen modeller olmak üzere iki farklı yapıda olabilmektedir.

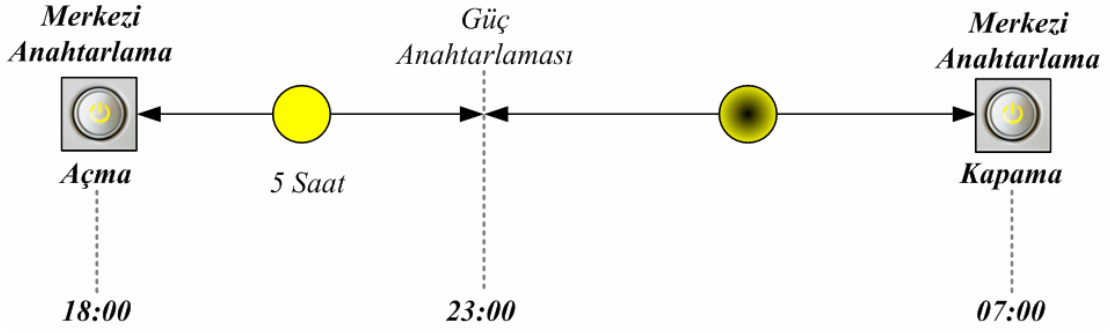


Şekil 3.50 Güç anahtarları kontrol yapıları [10]

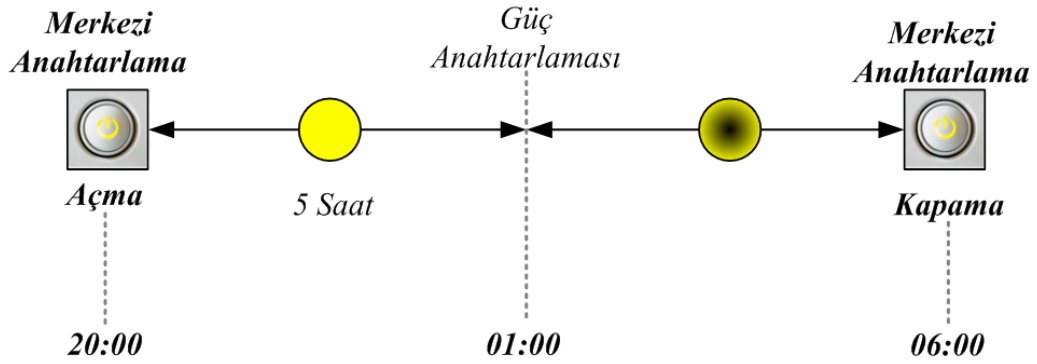
**Kablolu Sistemler:** Kontrol kablosu üzerinden erişim olanağı sağlayan sistemlerde fazlardan biri kontrol sinyalinin iletimine yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu sayede tüm hat üzerindeki armatürlerin güç anahtarlama tek merkezden yapılabilir.

**Kablosuz Sistemler:** Kontrol iletkensiz sistemlerde güç anahtarı çalıştırıldığı andan belli bir süre sonrasında (3-5 saat) anahtarlama noktası kabul ederek güç anahtarlama otomatik olarak yapmaktadır. Merkezi anahtarlama (Açma-Kapama) ise kontrol iletkenli modellerde olduğu gibi klasik olarak gerçekleşmektedir.

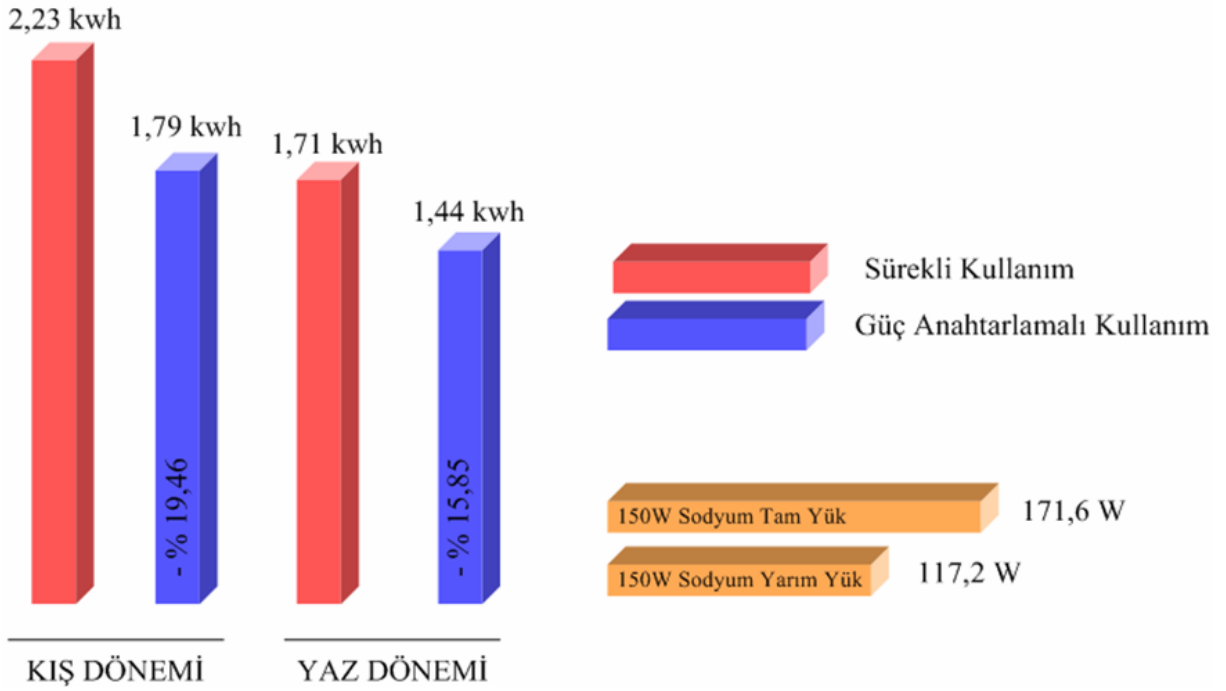
**Örnek Uygulama:** 5 saatlik gecikme süresine sahip bir kablosuz güç anahtarlama modülü kullanılarak gerçekleştirilen bir uygulamada çalışma süreci şekil 3.51 ve 3.52'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.51 Kış döneminde uygulama süreci



Şekil 3.52 Yaz döneminde uygulama süreci



Şekil 3.53 Sayısal sonuçlar

Bu tarz bir uygulamada Şekil 3.53'den de değerlendirilebileceği gibi kış döneminde %19,46, yaz döneminde ise % 15,85 tasarruf edilebilmektedir.

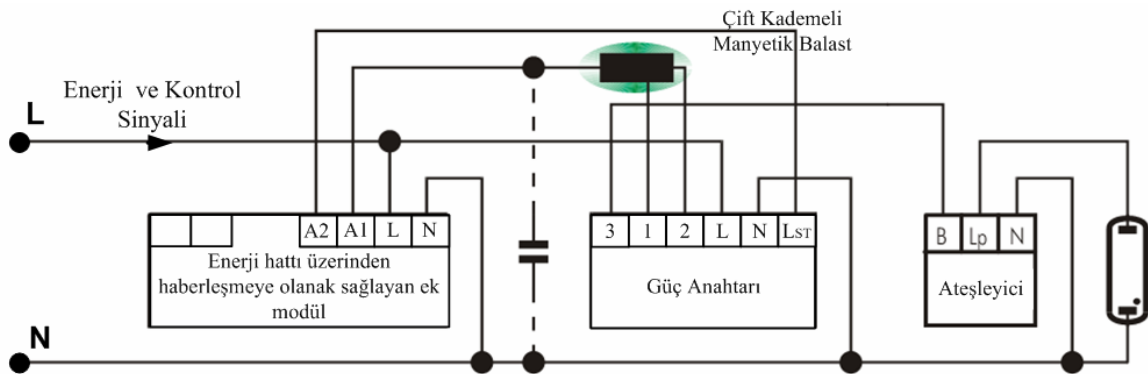
Güç anahtarlama sistemleriyle birlikte sistemin kullanımını kolaylaştıracak ve sınırsız erişim olanağı sunacak bir kontrol ve erişim çözümlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada talepleri karşılamak amacıyla projelere yönelik olarak kontrol sistemleri tasarlanabilmektedir.

Mevcut koşullar değerlendirildiğinde

- sorunsuz bir yapıya sahip olan
- kolay erişilebilir bir sistem çözümü sunan
- kurulum maliyeti düşük
- mevcut sistemlerle uyumluluk gösteren
- projelendirme alt yapısı gerektirmeyen
- modern bir kontrol sisteminin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Proje bazlı olarak özel kontrol sistemlerin tasarlanması maliyet açısından yüksek bedellerin yanı sıra hedeflenememiş problemler karşısında büyük sorunlar yaşanmasına ve sistem revizyonlarının ve genişlemelerin zor yapılandırılmasına neden olmaktadır. Bu nedendir ki, günümüz kent aydınlatma projelerinde üst seviyede kontrol ve erişim seçenekleri sunan gelişmiş kontrol çözümlerine ihtiyaç vardır [21].

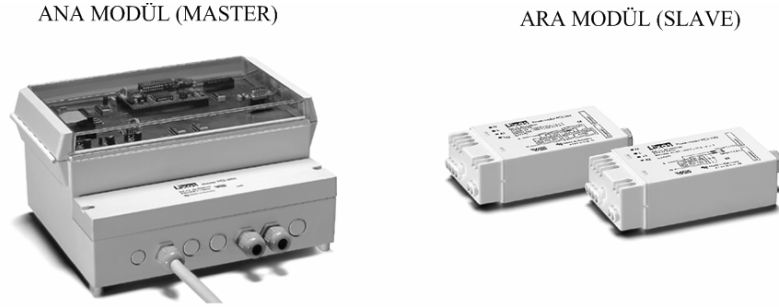
Kablosuz fakat tam kontrol edilebilir bir çözüm için enerji hattı üzerinden haberleşebilen şekil 3.54'deki gibi kontrol modülleri kullanılabilir. Bu yapıdaki bir sistem ek bir kontrol iletkenine gerek kalmadan armatürlerin manüel olarak ya da bir programa bağlı olarak anahtarlanmasına ve kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.54 Kablosuz, enerji hattı üzerinden haberleşebilen sistem yapısına örnek [21]

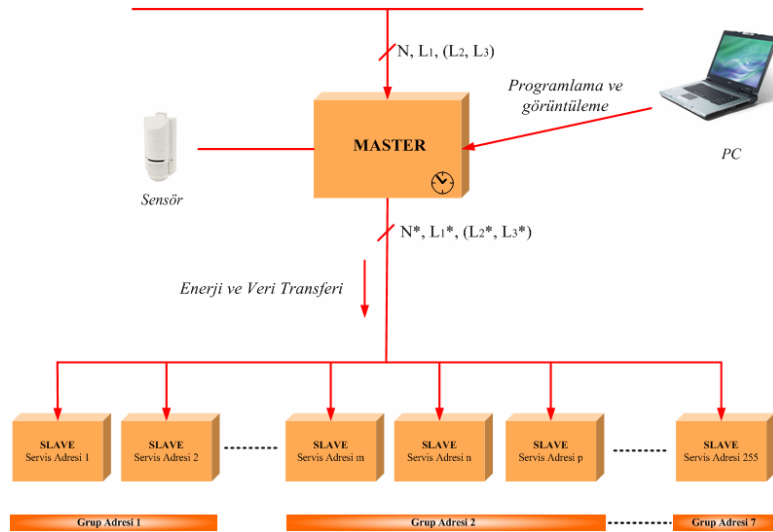
### Kademeli Aydınlatmaya İlişkin Örnek Uygulama

Örnek modelde kendi sistemi içerisindeki armatürlerin enerji hattı üzerinden kontrol edilebilmesine olanak sağlayan gelişmiş bir kontrol ve uzaktan erişim sistemi kullanılarak ilgili modelleme ve senaryolar gerçekleştirilmiştir. Sistemin genel yapısı etkin enerji kullanımının yanı sıra tam anlamıyla erişilebilir bir aydınlatma sisteminin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

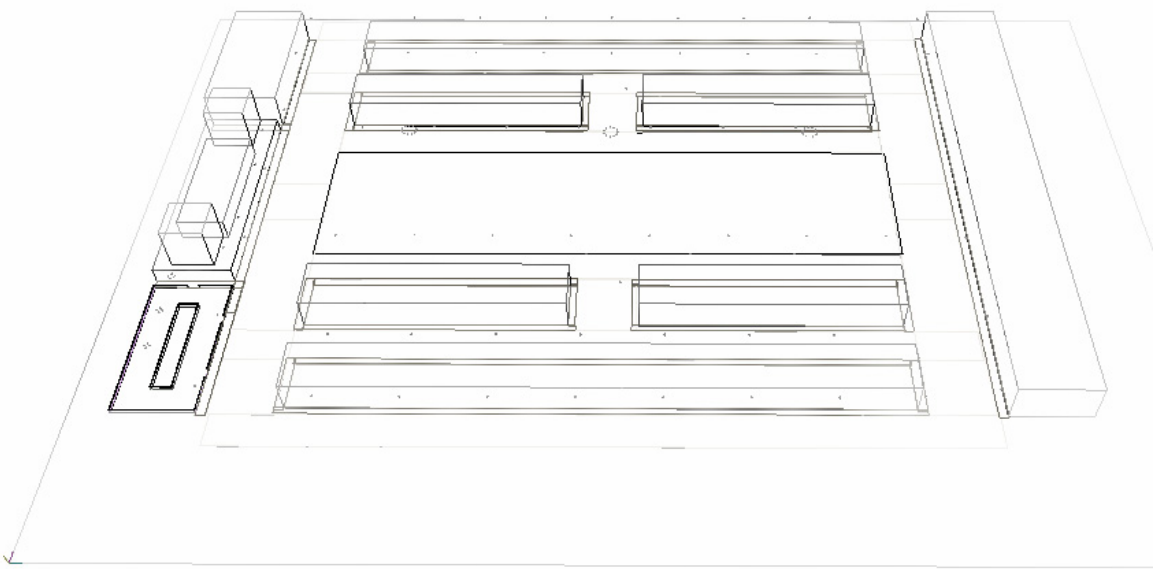
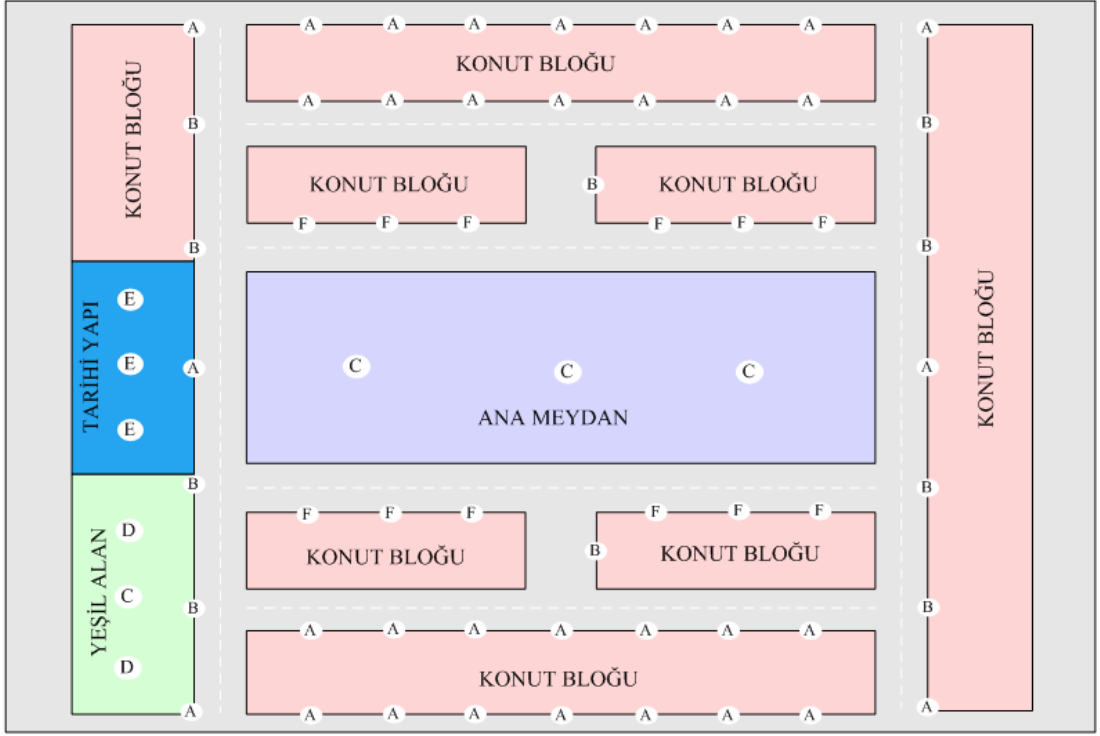


Şekil 3.55 Sistem bileşenleri

**Sistemin Genel Yapısı ve Bileşenler:** Sistem ana kontrol ünitesi ve armatür yapısı içerisinde yer alan ara ünitelerden ibarettir. Bu yapıya ek olarak gün ışığı sensörlerinin de sisteme entegre edilmesi mümkündür. Sistemin programlanması ise bir bilgisayar aracılığıyla yapılabilmektedir. Söz konusu uygulamada gerçekleştirilecek uygulama senaryoları için armatürlerin gruplanarak farklı dönemlerde güç anahtarlamasına ve/veya devre anahtarlamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nokta da kullanılan kontrol sistemi armatürlerin 7 farklı grup ve 255 adres üzerinden değerlendirebilmektedir. Bu sayede sistem için ön görülen senaryolar uygulanabilecektir.



Şekil 3.56 Sistem genel yapısı [21]



Şekil 3.57 Genel model ve uygulama planı

Söz konusu model içerisindeki kullanım alanları şekil 3.57'deki gibi

- Meydanlar,
- Meydan Yolları,
- Genel Ulaşım Yolları
- Kavşaklar
- Tarihi Yapılar
- Yeşil Alanlar
- 

olmak üzere 6 ana grupta değerlendirilmiştir.

- Yeşil alan ve meydanların aydınlatılmasıyla ilgili olarak uygun yükseklikteki direkler üzerinde 400W (sodyum) projektörler kullanılmıştır.
- Yolların aydınlatılmasıyla ilgili olarak 250W gücünde (sodyum) armatürler kullanılmıştır.
- Tarihi yapı yüzeylerinin aydınlatılmasıyla ilgili olarak ise 250 W gücünde (sodyum) projektörler kullanılmıştır.

Bu altı kentsel yaşam alanıyla ilgili kullanım senaryolarının aşağıdaki gibi değerlendirilmesi uygun görülmüştür.

**GENE YOL ALANLARI: *Armatür Grubu-A*** Genel yol alanlarının ağırlıklı kullanım dönemi olarak 20 – 01 saatleri belirlenmiştir. Bu saatler dışındaki sınırı kullanım nedeniyle 01- 07 saatleri arasında yarım kademeli aydınlatma uygun görülmüştür.

**KAVŞAKLAR: *Armatür Grubu-B*** Kavşak alanları öncelikli güvenlik unsuru taşıdığından bu alanlarda güç anahtarlama yapılmamış ve 19 – 07 saatleri arasında tam kademeli bir aydınlatma yapılması ön görülmüştür.

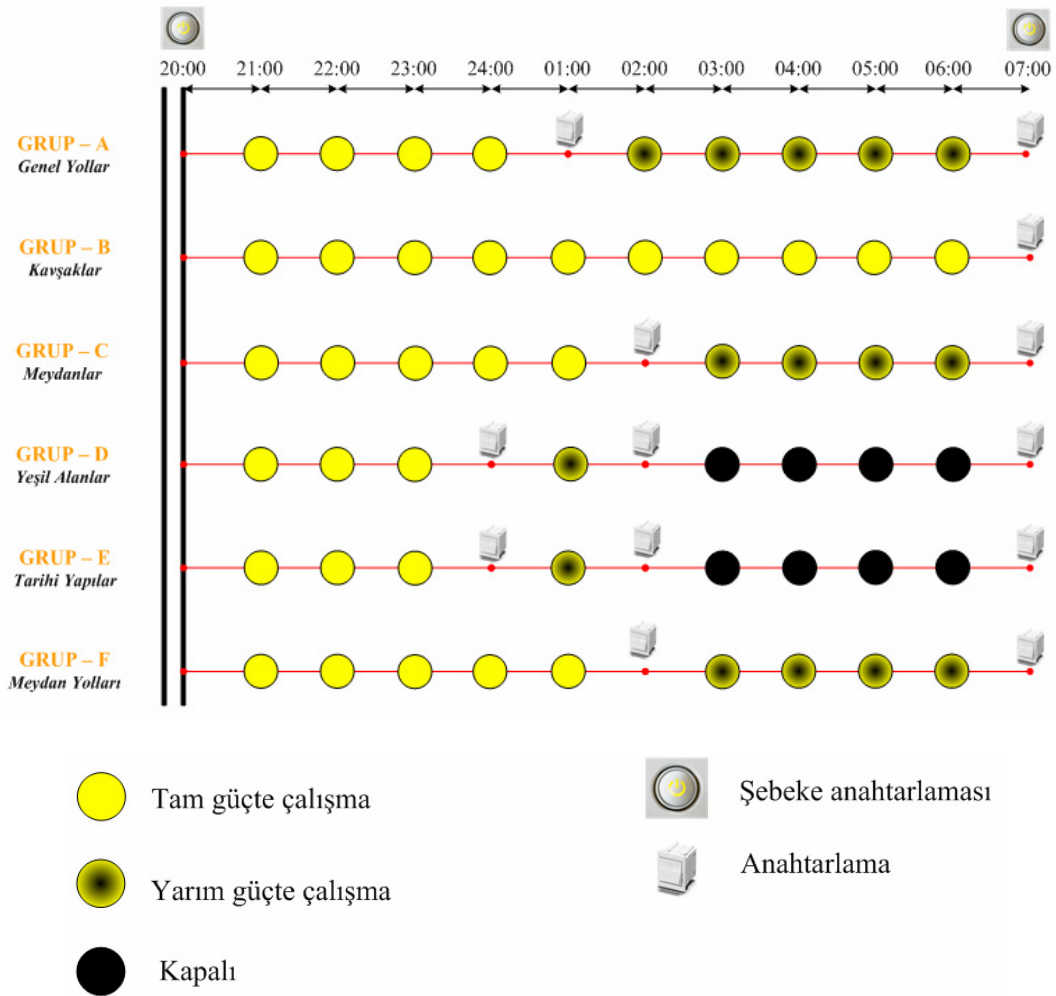
**MEYDANLAR: *Armatür Grubu-C*** Meydan alanları yoğun bir kullanıma ve hareketliliğe sahip olması nedeniyle yüksek seviyede bir aydınlatma uygulanması uygun görülmüştür. Hacmin bu kullanım yoğunluğunun 20 – 02 saatleri arasında gerçekleşmesi nedeniyle burada kullanılmakta olan C grubu armatürlerin 20 -02 saatleri arasında tam kapasiteli, 02 – 07 saatleri arasında yarım kademeli olarak çalıştırılması uygun görülmüştür.

**YEŞİL ALANLAR: *Armatür Grubu-D (C)*** Yeşil alanların aydınlatılmasında öncelikli kullanım süreci olarak 19-24 saatleri belirlenmiş ve bu saatlerde armatürlerin tam kademeli olarak çalıştırılması uygun görülmüştür.. 24 -02 saatleri arası sınırlı kullanım olduğu dönemler arasında değerlendirilerek bu süreçte yarım kademeli aydınlatma yapılması uygun

görülmüştür. Herhangi bir kullanım olmayacağı düşünülen süreçte ise 02 – 07 aydınlatma sistemlerinin büyük çoğunluğunu devre dışı bırakılarak sadece merkezi aydınlatma direği yarım kademeli olarak çalıştırılacak ve güvenlik için yeterli bir aydınlık seviyesinin oluşması sağlanacaktır.

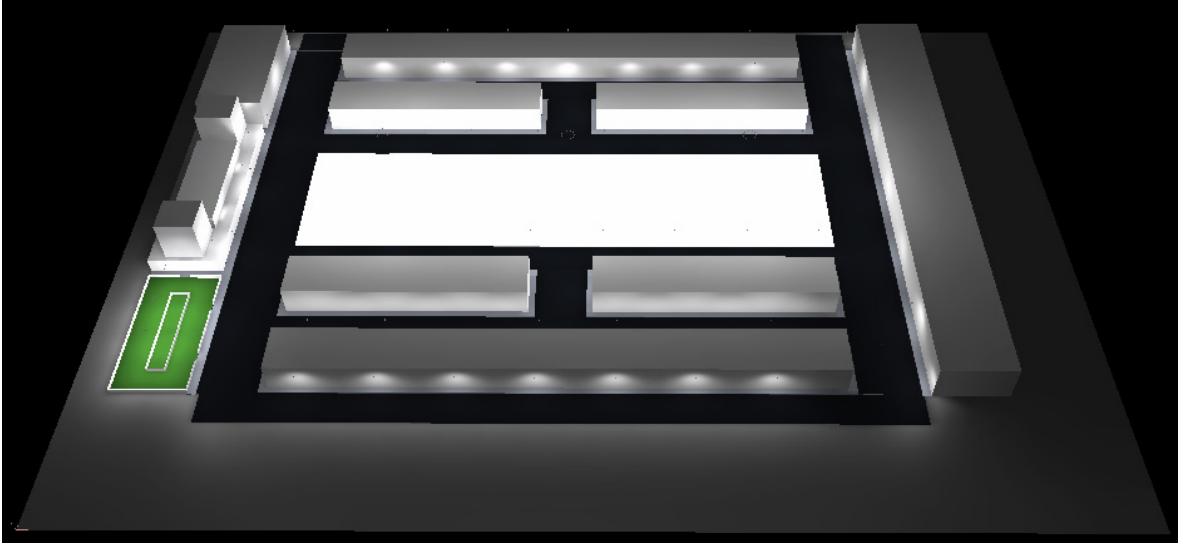
**TARİHİ YAPILAR: Armatür Grubu-E** Tarihi değer taşıyan yapıların, insanların meydanları ağırlıklı olarak kullandığı 07 – 24 saatleri arasında yoğun olarak aydınlatılması, 24 – 02 gibi sınırlı kullanım süreçlerinde yarım kademede çalıştırılması ve 023 – 07 gibi kullanımın olmadığı dönemlerde kapalı tutulması uygun görülmüştür.

**MEYDAN YOLLARI: Armatür Grubu-F** Ana meydan yolları genel olarak meydanın kullanımıyla paralellik göstereceğinden bu bölgelerdeki F grubu armatürlerin 20 – 02 saatleri arasında tam kademeli kullanım, 02- 07 saatleri arasında ise yarım kademeli olarak kullanımı uygun görülmüştür.

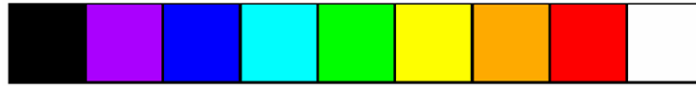


Şekil 3.58 Uygulama planı

## Sonuçlar

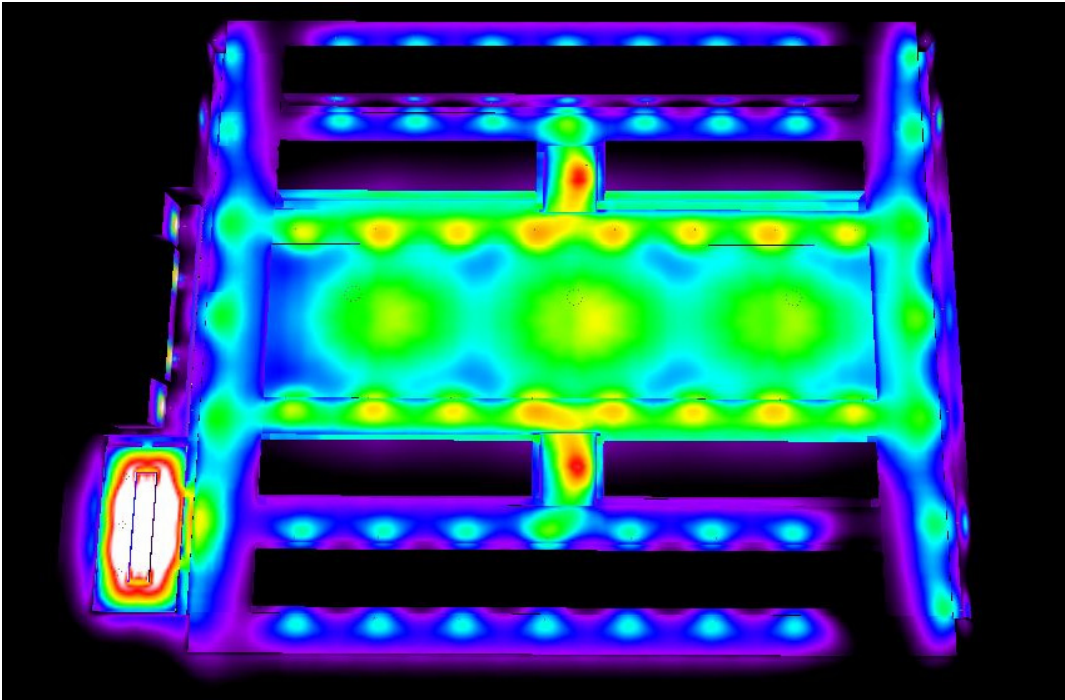


*DÜŞÜK* —————→ *YÜKSEK*



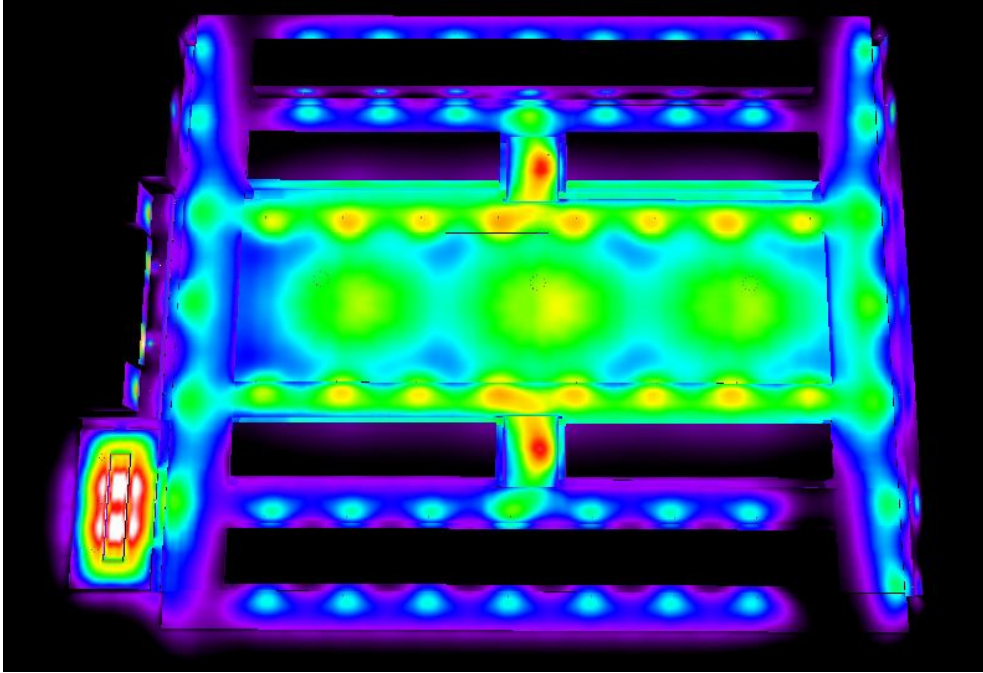
Şekil 3.59 Uygulama modeli ve aydınlık seviyesi skalası

**Saat 20:00** Tüm aydınlatma sistemleri tam kademeli olarak devrede. Mevcut tasarım içerisinde en yoğun aydınlatma spor alanları ve meydan için uygulanmakta.



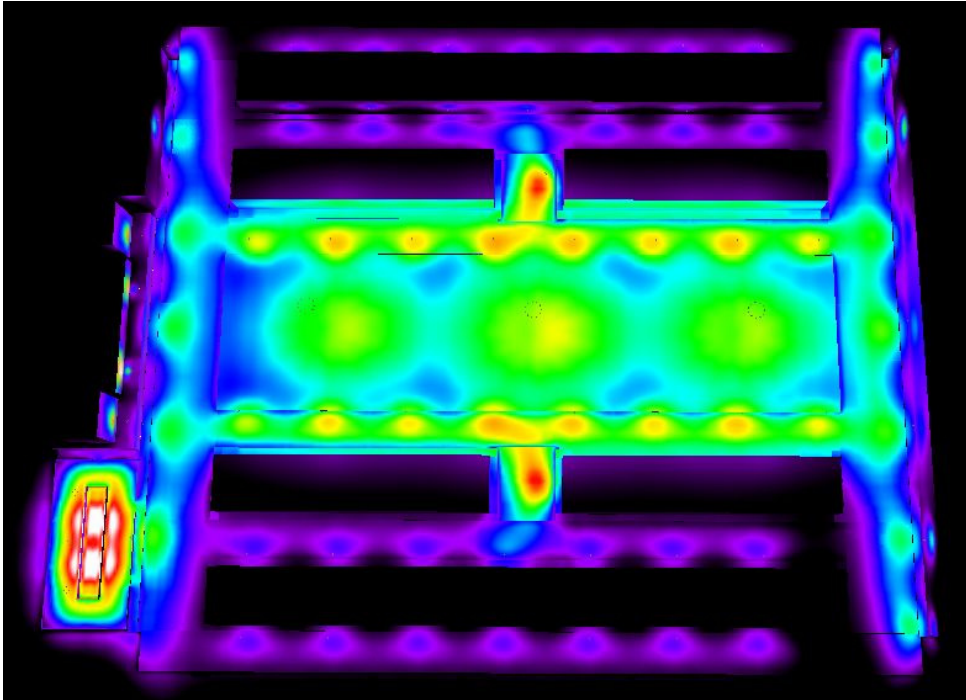
Şekil 3.60 Aydınlık seviyeleri (Saat 20:00)

**Saat 00:00** Yeşil alanlar ve tarihi yapıların kullanımıyla ilgili talebin azalması nedeniyle bu bölgelerdeki E ve D grubu armatürlerin yarım kademeli olarak anahtarlanmıştır.



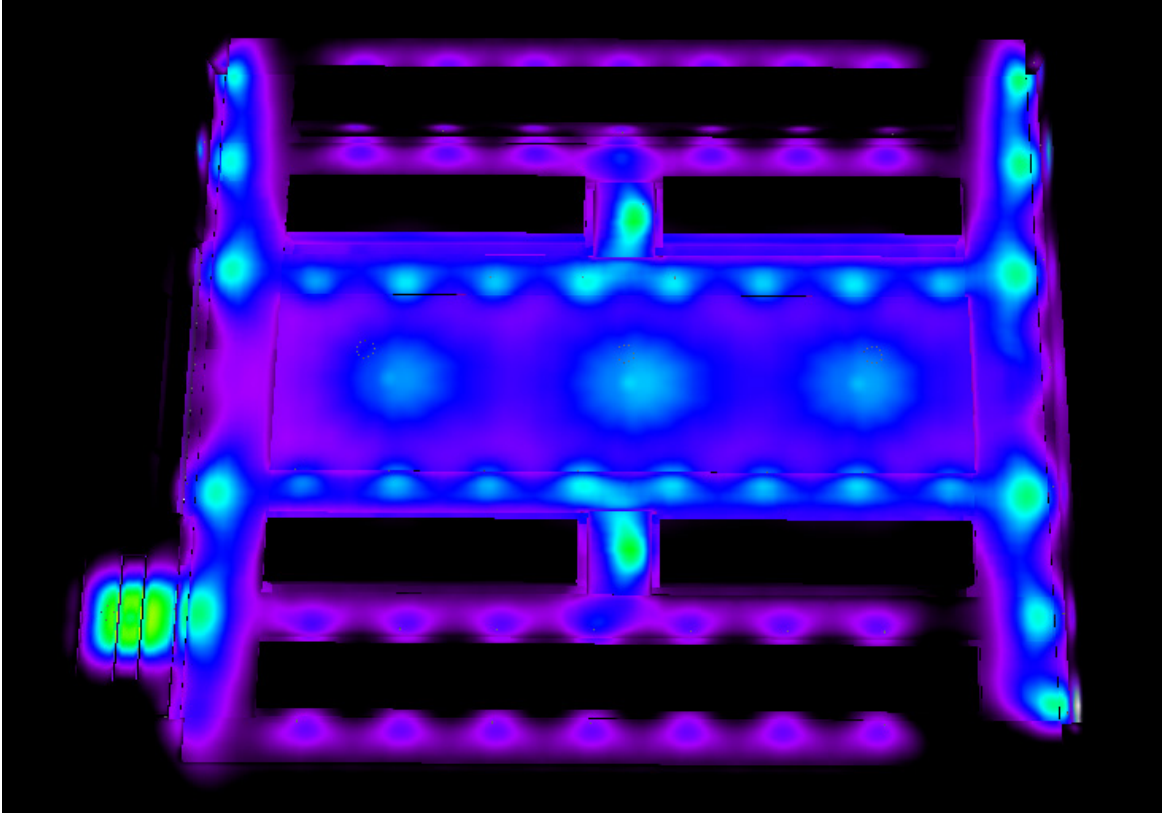
Şekil 3.61 Aydınlık seviyeleri (Saat 00:00)

**Saat 01:00** Genel ulaşım yolları kullanımının azalması ile birlikte bu noktalarda yer alan A Grubu armatürler yarım kademeli olarak anahtarlanmıştır.

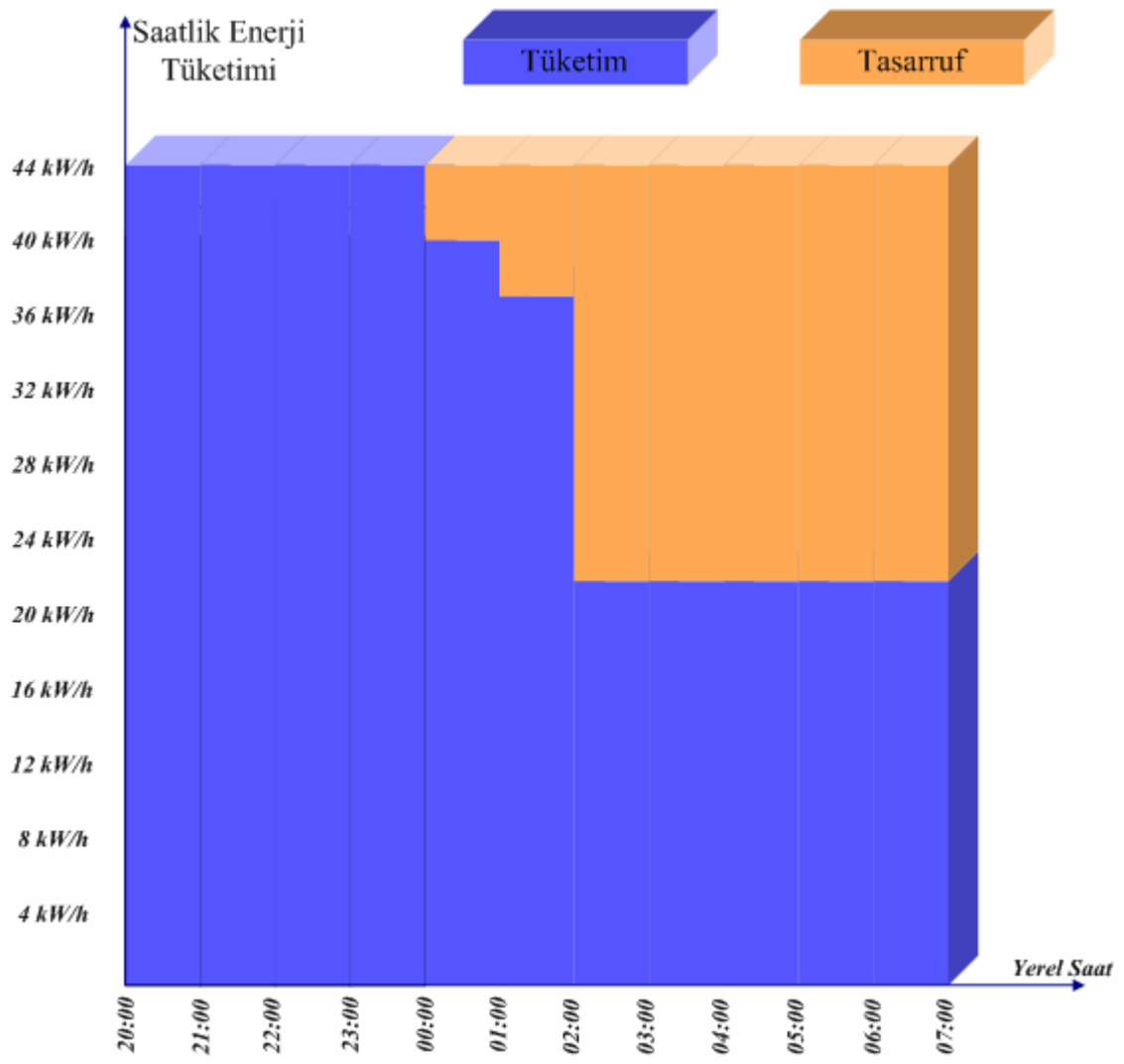


Şekil 3.62 Aydınlık seviyeleri (Saat 01:00)

**Saat: 02:00** Genel meydan alanlarının kullanım önceliğini kaybetmesiyle birlikte bu alanda bulunan C grubu armatürle yarım kademeli olarak anahtarlanmıştır. Buna paralel olarak bu alana ulaşım yollarının da yoğunluğunu kaybetmesi nedeniyle F grubu armatürler yarım kademeli olarak anahtarlanmıştır. Alanın yoğunluğunu kaybetmesiyle paralel olarak tarihi yapı yüzeylerinin aydınlatmaları da devre dışı bırakılmıştır. Bu zaman periyodunda yeşil alanlarda kullanımın olmaması nedeniyle D grubu armatürler tamamen devre dışı bırakılmıştır. Güvenlik aydınlatmasını sağlayabilmek için sadece merkez aydınlatma direğindeki C grubuna dahil armatürler yarım kademeli olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.63 Aydınlık seviyeleri (Saat 02:00)



Şekil 3.64 Enerji tüketim ve tasarruf oranları

### 3.4 Projelendirme ve Modelleme

Bir aydınlatma projesinin tam olarak amaca hizmet edebilmesi için öncelikli olarak ihtiyaçların tam ve doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede birçok kriter göz önünde bulundurularak gerekli olan en uygun çözümü oluşturacak bir alt yapının oluşturulmasına olanak sağlanabilecektir. Alt yapının oluşturulmasında sunulacak çözümlerin amaca hitap edebilmesi için, projelendirmeyi yapan veya yönlendiren kişinin konuyla ilgili altyapıya ve geniş bir malzeme bilgisine sahip olması gerekmektedir [3]. Tercih aşamasının sonrasında proje tasarımlarının etkinliğinin değerlendirilmesi ve sonuçların analiz edilmesi hesaplamaların doğruluğu sistemin verimliliği ve projelendirmenin uygunluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Her ne kadar doğru elektriksel ekipman, etkin ışık kaynakları ve verimli armatürler de kullanılsa projelendirme sürecindeki mühendislik yaklaşımları sistemin daha verimli olmasına olanak sağlayabilmektedir [7].

Bir ortamın aydınlatılması, ortamın en ekonomik ışık kaynağıyla ışıklandırılmasından daha öte bir çözüm olarak düşünülmeli ve işletme-yatırım maliyetlerinin yanı sıra istenilen görsel konfor kriterlerini yerine getirecek optimum çözüm aranmalıdır.

Bu nedenledir ki bir aydınlatma sisteminin tasarımında

- hacmin genel yapısı, (şekil ve boyut)
- yüzeyler
- kullanılacak olan ışık kaynağının yapısı
- kullanılacak armatürün ışık dağılım karakteristiği
- kamaşma faktörü
- hacmin kullanım amacı
- lokal aydınlatma söz konusu ise aydınlatılacak nesnenin yapısı ve boyutları
- kurulum maliyetleri
- işletme maliyetleri
- bakım ve yenileme programı
- otomasyon ve kontrol seçenekleri

gibi birçok kriter değerlendirilmeli ve bu doğrultuda en uygun tercihler yapılmalıdır [4]. Bu tercihlerin birçoğu tasarımcının teknik bilgisi ve tasarım yeteneği doğrultusunda yapılırken diğer bir kısmı ise hesaplama ve analiz sürecinde oluşmaktadır.

Tercihlerin devamında başlatılan analiz ve hesaplama sürecinde, yapılan tercihlerinin etkilerinin incelenmesi ve yeni alternatiflerin değerlendirilmesi süreci ortaya çıkacaktır. Bu noktadaki ilgili hesaplamaların gerçekleştirilmesine yönelik olarak farklı kurum ve kişiler tarafından geleneksel hesaplama teknikleri geliştirilmiştir. Tasarım sürecinde ortaya çıkacak onlarca parametrenin ve malzeme-ekipman karakteristiğinin geleneksel yöntemlerle hesaplanmaya çalışılması belli oranda bir hata payının kabul edildiği anlamına gelecektir. Genel olarak geleneksel hesaplama yöntemleri basit aydınlatma hesapları için kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar verse de, çok daha kompleks projelerde istenilen boyutlarda hesaplama yapılmasına imkan vermemektedir. Birçok yöntem hesaplarını belli kabuller doğrultusunda yaptığından tam olarak doğru kriterlerin ve detaylandırılmış tercihlerin yapılmasına da olanak sunmamaktadır. Bu aşamada çok daha kompleks tasarımların yapılabilmesi için geleneksel metotlar yerine bilgisayar destekli hesaplama ve modelleme programlarının kullanılması çok daha başarılı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Günümüz standartlarında kullanılan aydınlatma modelleme yazılımları bu noktada ihtiyaç duyulacak gereksinimleri fazlasıyla sağlayabilecek niteliktedir. Yapılan hesaplamaların doğruluğu aynı zamanda uygulamanın doğruluğu anlamına geleceğinden elde edilen veriler önem taşıyacaktır. Hesaplama sonuçlarının analiz edilmesiyle paralel olarak yeni sistem ve uygulama yaklaşımlarının da yapılması alternatiflerin üretilmesi için iyi bir zemin oluşturacaktır. Bu esnada unutulmaması gereken yazılımın sadece hesaplama sürecinin detaylandırarak daha gerçekçi analizlere olanak sağladığıdır. Bu süreç içerisinde veya devamında yazılımın da yetersiz kalabileceği noktalarda tasarımcının teknik yeterliliğini ortaya koyması gerekmektedir. Bu konuyla ilgili kullanılan yazılımlar CIE [1] veya IESNA [2] gibi kurumların standartları doğrultusunda hesaplamalarını gerçekleştirmektedir. Bu noktada kurumların belirlediği bazı parametrik değerlerin tanımlanmasındaki seçenekler her uygulama için geçerlilik taşıyamayabilmektedir. (Örneğin; bakım katsayısı, LLD değeri vs.) Bu aşamada tasarımcının teknik yeterliliği hesaplama sürecinde de etkili olabilmektedir.

Projelendirme her ne kadar ilk aşamada hesaplama süreci olarak algılsa da aslında sistemin tasarımından uygulanmasına kadar gerçekleşen tüm aşamaları içeren bir süreçtir. Modelleme sürecin en son aşamasında tercih ve tasarımların sonuçlarının analiz edilmesine ve sunumuna yönelik olarak yapılan çalışmalardır. Kontrol ve Bakım konusu ise bu süreçte sistemin karlılığının arttırılmasına yönelik olarak yapılması gereken en son adımları içermektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Aydınlatma sistemleri enerji verimliliği konusunda en değişken değerlere sahip konu başlıkları arasında yer almaktadır. Bunun başlıca nedeni kullanılan ekipmanlar arasında çok büyük boyutlu farklılıkların görülmesi ve sisteme etki eden çok fazla kriterin bulunması gösterilebilir. Ne yazık ki aydınlatma sistemlerinin verimli hale getirilmesinde ilk olarak akla gelen ışıktan tasarruf etme eylemi olmaktadır. Oysaki öncelikli olarak enerji etkin kullanılmalıdır. Daha sonra ışığın dönemsel yoğunluklu kullanımına yönelik tasarruf yaklaşımları yapılabilir. Ekipmanlara ilişkin kalite ve performans değerleri de doğrudan verimlilik üzerine etkidiğinden bu konudan ayrı olarak değerlendirilemeyecektir. Kalite ve uyumluluk konuları verimliliğin yanı sıra sistem ömrünü dolayısıyla işletme ve bakım giderlerini etkileyen temel faktörlerdir. Bu noktada etkin enerji kullanımının yanı sıra etkin kaynak kullanımı da önem taşıyacaktır.

Bu çalışmada aydınlatma sistemlerinin verimlilik ve kalite değerine etki eden temel faktörler üzerinden durulmuştur. Genel olarak sistem bileşenleri ve uygulamaya yönelik temel tercih kriterleri incelenmiş, bu kriterler ve diğer çevresel faktörlerin sistem ömrü, performans ve verimlilik faktörleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Verimlilik değerlendirmelerinde ilgili kriterin sistem verimi üzerine etkisini değerlendirebilmek için diğer parametreler sabit tutularak sadece ilgili parametrenin etkileri incelenmiştir. Sayısal sonuçlardan da değerlendirilebileceği gibi bir sistemin verimliliği birden fazla kritere bağlı olarak farklılık gösterebilmekte ve bir koşul için verimli kabul edilebilecek bir ürün diğer bir koşul için aynı değeri taşımayabilmektedir. Verimliliğin sürekliliği yani sistem bileşenlerinde görülebilecek değer düşümleri ve bakım konusu çoğu zaman göz ardı edilen fakat sistemin bütününe etkileyen en önemli konu başlıklarındandır. Bu nedenle de zamanın ve çevresel etkiler sonucu ortaya çıkan kayıpların sistem verimliliği üzerine etkileri de değerlendirilmiştir. Genel bir yaklaşım ile, yüksek verimlilikli elektriksel ekipman yapısı, fotometrik verimlilik, fotometrik uygunluk, kontrol çözümleri ve uygun projelendirme verimli bir sistemin temel bileşenlerini meydana getirmektedir. Söz konusu olan tüm değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda verimli bir alt yapının kurulabilmesi için uygun formasyonda uzmanların ve yeni teknolojilerin yer alması kaçınılmaz olacaktır.

**KAYNAKLAR**

- [1] International Commission on Illumination, [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)
- [2] Illumination Engineering Society of North America, [www.iesna.org](http://www.iesna.org)
- [3] Şerefhanoglu Sözen M., “Aydınlatma Tasarımında Mimarın ve Elektrik Mühendisinin Rolü, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Diyarbakır 2003.
- [4] Ünal, A., Özenç, S., “Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları”, Birsen Yayınevi, İstanbul 2004
- [5] [www.lighting.philips.com](http://www.lighting.philips.com)
- [6] Application Guide to Fluorescent Lamp Control Gear, Philips,  
<http://udf-cat.tstu.edu.ua/filesserver/Engeneering/Electrical%20Engineering/svitlotechn/Application%20guide%20to%20fluorescent%20lamp%20control%20gear.pdf>
- [7] Ünal A., Özenç, S., İzgi, E., “Aydınlatmada Enerji Verimliliği ve Kayıplar”, EVK’2005 Enerji Kalitesi ve Verimliliği Sempozyumu, Kocaeli 2005.
- [8] GE Product Leaflet,  
[http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/literature\\_library/sell\\_sheets/downloads/cfl/biax\\_32.pdf](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/literature_library/sell_sheets/downloads/cfl/biax_32.pdf)
- [9] Application Guide to HID Lamp Control Gear, Philips,  
<http://udf-cat.tstu.edu.ua/filesserver/Engeneering/Electrical%20Engineering/svitlotechn/Application%20guide%20to%20fluorescent%20lamp%20control%20gear.pdf>
- [10] Vossloh-Schwabe, Seminear and Lab. Notes on Lampholders, Ignitors, Ballasts, Capacitors
- [11] [www.vossloh-schwabe.com/eng](http://www.vossloh-schwabe.com/eng)
- [12] CELMA, National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires, [www.celma.org](http://www.celma.org)
- [13] Weigand, David E., Advanced Lihting Guidelines 2003, New Buildings Institute, Inc., [www.newbuildings.org](http://www.newbuildings.org)
- [14] Lighting Engineering Book 2002 Indalux  
<http://www.indalux.es/portal/docs/Documentación%20Técnica/Documentación%20Web%20Indalux/Luminotecnia/Luminotecnia%20ingles>
- [15] Sirel Osman, Fotometrik Ölçmeler, Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, İstanbul, Eylül 2004
- [16] Onaygil, S.: "Aydınlatmada Verimlilik ve Enerji Tasarrufu", İzmir Aydınlatma Sempozyumu, sayfa 6-12, İzmir, Kasım 2001
- [17] [www.whitecroflighting.com](http://www.whitecroflighting.com)
- [18] Aslan, Z., Onaygil, S.: "Işık Kirliliği ve Enerji Tasarrufu", Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, sayfa. 54-60, Ankara, Şubat 1999
- [19] Cemdağ Ürün Veritabanı, [www.cemdaglighting.com](http://www.cemdaglighting.com)
- [20] Onaygil, S., Güler, Ö., Çolak, N.: "İstanbul Kent İçi Yol Aydınlatmaları", 5. Ulusal Aydınlatma Kongresi", s. 31-37, İstanbul, Ekim 2004
- [21] LIXOS Power Control and Service System Documentation & Technical Notes, Vossloh-Schwabe, Elektrobau oschatz GmbH & Co. KG, [http://www.vossloh-schwabe.com/images/onecms/site/pdf/lixos\\_eng.pdf](http://www.vossloh-schwabe.com/images/onecms/site/pdf/lixos_eng.pdf)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 17.08.1981

Doğum yeri Bandırma

Lisans 2000-2004

Yıldız Teknik Üniversitesi,  
Elektrik-Elektronik Fak. Elektrik Müh. Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2007

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Mühendisliği. Anabilim Dalı

**Çalıştığı kurum(lar)**

	2004-2005	Veksan Aydınlatma A.Ş /Ar&Ge Mühendisi
	2005-2006	PROLUX Aydınlatma Sistemleri / Proje Müdürü
	2006- Devam Ediyor	CEMDAĞ Aydınlatma A.Ş / Proje ve Mühendislik
Danışmanı		