

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

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE BAKIM KATSAYISI TESPİTİNE YÖNELİK
YENİ BİR ALGORİTMA YAPISININ GELİŞTİRİLEREK, AKTİF BAKIM ve
İŞLETME YAKLAŞIMLARININ OLUŞTURULMASI**

SERHAT ÖZENÇ

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET UZUNOĞLU**

**EŞ DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖNDER GÜLER**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE BAKIM KATSAYISI TESPİTİNE YÖNELİK YENİ BİR
ALGORİTMA YAPISININ GELİŞTİRİLEREK, AKTİF BAKIM ve İŞLETME
YAKLAŞIMLARININ OLUŞTURULMASI**

Serhat ÖZENÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 08.08.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Tez İkinci Danışmanı

Doç. Dr. Önder GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan HOCAOĞLU
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Doç. Dr. Bülent VURAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nazmi EKREN
Marmara Üniversitesi

Günümüzde enerji talebinin karşılanmasıdaki sıkıntılar nedeniyle, hemen hemen tüm sektörlerde enerji verimliliğine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Enerji ile ilgili problemlerin çözümünde; mühendisliğin en trend konusu olan verimlilik günümüzde öncelikle malzeme ve teknoloji odaklı düşünülmekte olup, belirli bir teknolojik ve/veya ticari doyum noktasına kadar bu şekilde devam edeceği öngörülmektedir. Fakat verimlilik konusunun; uygulama, mühendislik ve işletme konularındaki eksiklikleri öngörmeden, sadece malzeme ve teknoloji odaklı yaklaşımlar ile oluşturulması tek başına yeterli olmamaktadır.

Güncel malzeme teknolojileri, sistem verimliliklerinin büyük oranda iyileştirilmesine olanak sunabilmektedir. Fakat uygulama ve mühendislik hataları, birçok uygulamada malzeme ve teknolojinin sunduğu kazanımların ötesinde kayıpların oluşmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu doğrultuda en doğru yaklaşım; malzeme teknolojilerinin sunduğu avantajların, mühendislik yaklaşımlarıyla daha ileriye taşınmasına olanak sunacak şekilde bir bütün olarak ele alınmasıdır. Bu tez; aydınlatma sistemlerinde verimlilik konusunda akademik ve sektörel çalışmalarımın bir kesişim noktası olarak, hocalarım ve birlikte çalıştığım dostlarımla yoğun destekleri sayesinde hazırlanmıştır. Bu doğrultudaki tüm çalışmalar, uygulama ve hesaplama süreçlerinde tespit ettiğimiz problem teşkil eden konulara yeni bir bakış açısı ve çözüm getirebilmesi amacıyla yapılmıştır. Elde edilen çıktıların aydınlatma mühendisliği için etkin bir araç ve yeni bir metot olması hedeflenmiştir.

Tüm araştırma-geliştirme ve akademik çalışmalarımı destekleyen Sayın İsmail MERAL ve değerli hocalarım Prof.Dr. Mehmet UZUNOĞLU ve Doç. Dr. Önder Güler'e, deneysel çalışmalarda laboratuvar imkanlarını paylaşan ve ortak çalışmalarımıza daima destek olan Sayın Mustafa Cemil ARLI'ya, algoritmanın modellenmesi ve dosya formatlarının oluşturulması sürecinde desteğini esirgemeyen Ersan DORU'ya ve yüksek öğrenim sürecinde daima yapıcı olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Temmuz, 2014

Serhat ÖZENÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Bulgular	5
BÖLÜM 2	
BAKIM FAKTÖRÜ HESAPLAMALARI için STANDART ÖNERİLER	7
2.1 Sayısal Doğruluk.....	8
2.1.1 Aydınlatma Hesaplama Algoritmaları	8
2.1.2 Fotometrik Doğruluk.....	9
2.1.3 Modelleme ve Projelendirme Başarısı.....	10
2.1.4 Bakım Katsayısı ve Eskime Tespiti.....	10
2.2 CIE'ye göre Bakım Katsayısı Hesaplama Yöntemleri.....	11
2.3 IESNA'ya Göre Bakım Katsayısı Hesaplama Yöntemi.....	18

BÖLÜM 3

GERİ KAZANILABİLİR ve GERİ KAZANILAMAYAN ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 21

3.1 Geri Kazanılabilir Etkilerin Değerlendirilmesi	23
3.1.1 LSF Etkisinin Değerlendirilmesi	24
3.1.1.1 Anahtarlamamanın LSF Eğilimi Üzerine Etkisi.....	26
3.1.1.2 Yardımcı Bileşen Yapısının LSF Eğilimi Üzerine Etkisi.....	28
3.1.1.3 LSF Etkisinin Geçersiz Olduğu Durumlar.....	30
3.1.2 LLMF Etkisinin Değerlendirilmesi.....	32
3.1.2.1 Anahtarlamamanın LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi.....	33
3.1.2.2 Yardımcı Bileşen Yapısının LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi.....	34
3.1.2.3 Sıcaklığın LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi	37
3.1.3 LMF Etkisinin Değerlendirilmesi	38
3.1.4 RSMF Etkisinin Değerlendirilmesi	39
3.2 Geri Kazanılmayan Etkilerin Değerlendirilmesi.....	41
3.2.1 Kaynak Toleransı	43
3.2.2 Elektriksel Toleranslar	45
3.2.3 Akım Toleransı	49
3.2.4 Balast Faktörü (BF)	52
3.2.5 Termal Toleranslar	55
3.2.6 LMF Bileşeninde Geri Kazanılmayan Etkilerin Analizi	64

BÖLÜM 4

IŞIK KAYNAĞI ve ARMATÜRÜN KARAKTERİZE EDİLMESİ 70

4.1 Armatür ve Kaynak Kimlik Dosyalarının Oluşturulması	70
4.1.1 Işık Kaynağı Kimlik Dosyası.....	71
4.1.2 Genişletilmiş Eulumdat Dosyası (LDT+)	84
4.2 Dimmerlemeye Bağlı Işık ve Güç Eğilimleri.....	93
4.2.1 Örnek Değerlendirme	97

BÖLÜM 5

YENİ BİR BAKIM VE DEĞER DÜŞÜMÜ MODELLEME YAKLAŞIMI..... 103

5.1 Bakım ve Değer Düşüm Denklemleri	104
5.1.1 Değer Düşüm Sabitinin (A) Hesaplanması	106
5.1.2 LLMF “ Bt ” Değerinin Hesaplanması.....	108

5.1.3	LSF " <i>Ct</i> " Değerinin Hesaplanması	108
5.1.4	LMF " <i>Dt'</i> " Değerinin Hesaplanması	108
5.1.5	RSMF " <i>Et'</i> " Değerinin Hesaplanması	109
5.1.6	LMF- " <i>Fx, t'</i> " DEĞERİNİN HESAPLANMASI	109
5.2	Bakım Faktörü Modelleme Yazılımı	109
5.3	Maksimum Eskime Noktası	114
5.4	Analizler	117
5.4.1	Örnek Analiz-1.....	117
5.4.2	Örnek Analiz-2.....	124
5.4.2.1	LMF- Etkisinin Değerlendirilmesi.....	128
5.4.3	Örnek Analiz 3	129
5.5	Eskimeyi Kompanze Edecek İşletme Yaklaşımı	136
5.5.1	Örnek Uygulama	137
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		140
KAYNAKLAR.....		143
ÖZGEÇMİŞ.....		147

SİMGE LİSTESİ

x	İşletme Ömrü (Yıl)
t	Yıllık çalışma süresi (Saat)
t'	Bakım Periyodu (Ay)
MF	Bakım Faktörü (Maintenance Factor)
LLMF	Lamba Lümen Bakım Faktörü (Lamp Lumen Maintenance Factor)
LSF	Lamba Çalışma Faktörü (Lamp Survival Factor)
LMF	Armatür Bakım Faktörü (Luminary Maintenance Factor)
RSMF	Oda Yüzeyleri Bakım Faktörü (Room Surface Maintenance Factor)
u	Devrede kalma süresi
dT	Isı Artışı
A	Amper
V	Volt
L ₇₀	LED'ler için %70 lümen kararlılığına ulaşılan süre
T _c	LED paket sıcaklığı

KISALTMA LİSTESİ

BF	Balast Faktörü
CIE	Commission Internationale de L'éclairage
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
EN	European Norms
IESNA	The Illuminating Engineering Society of North America
IP	Ingress Protection
LDT	Eulumdat yapısındaki armatür veri dosyası
LDT+	Genişletilmiş LDT dosyası
LIF	Işık Kaynağı Kimlik Dosyası (Light Source Identification File)
LLMF	Lamba Lümen Bakım Faktörü (Lamp Lumen Maintenance Factor)
LMF	Armatür Bakım Faktörü (Luminary Maintenance Factor)
LSF	Lamba Çalışma Faktörü (Lamp Survival Factor)
MF	Bakım Faktörü (Maintenance Factor)
RSMF	Oda Yüzeyleri Bakım Faktörü (Room Surface Maintenance Factor)
UV	Ultraviyole
YB	Yüksek Basınçlı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	LDT dosyalarından türetilen 3D ışık dağılımları	9
Şekil 2.2	3D aydınlatma modelleri	10
Şekil 2.3	CIE'ye göre temiz bir tesis yapısında görülebilecek eskime eğilimi	12
Şekil 2.4	IES'e göre LMF eğilimleri	19
Şekil 3.1	Farklı tip ve güçteki metal halide ışık kaynaklarına ait LSF Eğilimleri	24
Şekil 3.2	150W ve 250W seramik metal halide ışık kaynaklarının LSF Eğilimleri.....	25
Şekil 3.3	T5 floresan ışık kaynaklarının anahtarlamaaya bağlı LSF eğilimleri	27
Şekil 3.4	T8 ışık kaynaklarının anahtarlamaaya bağlı LSF eğilimleri (Elektromanyetik)	29
Şekil 3.5	T8 ışık kaynaklarının anahtarlamaaya bağlı LSF eğilimleri (Elektronik)	29
Şekil 3.6	T5 ışık kaynaklarının farklı ateşleme tekniklerine bağlı LSF eğilimleri	30
Şekil 3.7	Uygulama Modeli	30
Şekil 3.8	Quartz metal halide ışık kayanağı için gerçek zamanlı saha testi.	34
Şekil 3.9	G12 Duyulu seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılık verileri .	35
Şekil 3.10	CREE XR-E LED çipin jonksiyon sıcaklığına bağlı LLMF eğilimi	37
Şekil 3.11	Farklı LED paket sıcaklığı için TM-21 sonuçları	38
Şekil 3.12	Örnek ışık dağılım karakteristikleri	41
Şekil 3.13	Beyan edilen ışık akısı ile gerçek değer arasındaki sapma noktaları.....	42
Şekil 3.14	Farklı HID ışık kaynaklarının giriş gerilimine bağlı karakteristik eğilimleri	46
Şekil 3.15	Philips SON-TTP lambanın gerilime bağlı ışık akısı değişimi.....	47
Şekil 3.16	18W T8 ışık kaynağının gerilime bağlı ışık akısı değişimi.....	47
Şekil 3.17	Örnek bir uygulamaya ait saha ölçüm sonuçları	49
Şekil 3.18	LED için jonksiyon sıcaklığına bağlı ışıksal çıkış	55
Şekil 3.19	T5 ışık kaynağının sıcaklığa bağlı performans değişimi	56
Şekil 3.20	Değerlendirmelerde kullanılan armatür tipleri	58
Şekil 3.21	Testlerin gerçekleştirildiği döner aynalı gonyofotometre sistemi	60
Şekil 3.22	Standart ve amalgam katkılı T5 ışık kaynaklarının termal karakteristikleri....	62
Şekil 3.23	Örnek-1 ve Örnek-2 için kayıp oranları	67
Şekil 4.1	Dimmerlemeye bağlı güç eğilimi	90
Şekil 4.2	Floresan ve LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı güç tüketimi .	94
Şekil 4.3	Floresan ve LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı verimlilik değerleri	95
Şekil 4.4	4x14W T5 ve 46W LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı performans değişimi	96

Şekil 4.5	Örnek açık ofis modeli	97
Şekil 4.6	14 saatlik sürekli kullanım için armatür bazında tüketim değerleri	97
Şekil 4.7	Örnek bir ofis alanı için aydınlatma senaryosu (21 Mart)	98
Şekil 4.8	Armatür bazında günlük tüketim değerleri	98
Şekil 4.9	Örnek hastane koridoru	100
Şekil 4.10	Armatür bazında günlük tüketim değerleri	101
Şekil 5.1	Kaynağın karakteristik özellikleri ve buna etki eden unsurlar	103
Şekil 5.2	Yazılım çalışma adımları - verilerin yüklenmesi	111
Şekil 5.3	Program arayüzü	113
Şekil 5.4	Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-1	115
Şekil 5.5	Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-2	115
Şekil 5.6	Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-3	116
Şekil 5.7	Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-4	116
Şekil 5.8	Galeri alanı geometrisi ve kullanılan armatürün polar diyagramı	117
Şekil 5.9	Örnek-1, Senaryo-1 için eskime modeli	120
Şekil 5.10	Örnek-1, Senaryo-2 için eskime modeli	120
Şekil 5.11	Örnek-1, Senaryo-3 için eskime modeli	121
Şekil 5.12	Örnek-1, Senaryo-4 için eskime modeli	122
Şekil 5.13	Örnek-1, Senaryo-5 için eskime modeli	122
Şekil 5.14	Örnek-1 için 10 yıllık maliyet projeksiyonu	123
Şekil 5.15	Endüstriyel tesis geometrisi ve kullanılan armatürün polar diyagramı	124
Şekil 5.16	Örnek-2, Senaryo-1 için eskime modeli	127
Şekil 5.17	Örnek-2, Senaryo-2 için eskime modeli	127
Şekil 5.18	Örnek-2, Senaryo-2 için LMF- etkisinin analizi	129
Şekil 5.19	Örnek-3, Senaryo-1 için eskime modeli	130
Şekil 5.20	Örnek-3, Senaryo-2 için eskime modeli	130
Şekil 5.21	Örnek-3, Senaryo-3 için eskime modeli	131
Şekil 5.22	Örnek-3, Senaryo-4 için eskime modeli	131
Şekil 5.23	Örnek-3, Senaryo-5 için eskime modeli	132
Şekil 5.24	Örnek-3, Senaryo-6 için eskime modeli	132
Şekil 5.25	Örnek-3, Senaryo-7 için eskime modeli	133
Şekil 5.26	Örnek-3, Senaryo-8 için eskime modeli	133
Şekil 5.27	Örnek-3, Senaryo-9 için eskime modeli	134
Şekil 5.28	Örnek 3 için bakım senaryolarının 10 yıllık maliyet projeksiyonları	136
Şekil 5.29	Örnek eskime eğilimi	138

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	CIE 97:1992'ye göre LLMF değerleri	13
Çizelge 2.2	CIE 97:2005'e göre LLMF değerleri	13
Çizelge 2.3	CIE 154:2003'e göre LLMF değerleri	13
Çizelge 2.4	CIE 97:1992'ye göre LSF değerleri	14
Çizelge 2.5	CIE 97:2005'e göre LSF değerleri	14
Çizelge 2.6	CIE 154:2003'e göre LSF değerleri	14
Çizelge 2.7	CIE 154:2003'e göre LMF değerleri	15
Çizelge 2.8	CIE 97:1992 ve CIE 97:2005'e göre LMF değerleri	16
Çizelge 2.9	CIE 97:1992'ye göre RSMF değerleri (T:Temiz, N:Normal, K:Kirli)	16
Çizelge 2.10	CIE 97:2005'e göre k=2,5 ve direkt ışık dağılımı için RSMF değerleri.....	17
Çizelge 3.1	Farklı tip ve güçteki metal halide ışık kaynaklarına ait LSF Değerleri	24
Çizelge 3.2	150W ve 250W CDM-T ışık kaynaklarının LSF Değerleri	25
Çizelge 3.3	Farklı çalışma periyodları için ömür çarpanları	26
Çizelge 3.4	T5 ışık kaynaklarının anahtarlama bağlı ömür değişimleri	27
Çizelge 3.5	Farklı direklerdeki armatürlerin ortalama parıltı değeri üzerine etkisi	31
Çizelge 3.6	Farklı çalışma koşullarına ait performans değerleri	31
Çizelge 3.7	7 çipten oluşan LED modül için birikimli arıza oranları	32
Çizelge 3.8	Seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılık verileri.....	33
Çizelge 3.9	Seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılık verileri.....	35
Çizelge 3.10	X-Lamp MTG Led için LM80 test raporu	36
Çizelge 3.11	XR-E LED çipin jonksiyon sıcaklığına bağlı LLMF değerleri	37
Çizelge 3.12	LED yol aydınlatma armatürü için LMF değerleri	39
Çizelge 3.13	RSMF etkisini değerlendirmeye yönelik simülasyon sonuçları	40
Çizelge 3.14	LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri	44
Çizelge 3.15	LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri	44
Çizelge 3.16	LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri	45
Çizelge 3.17	Yüksek basınçlı sodyum lambaların toplam ışık akısı testleri.....	45
Çizelge 3.18	18W T8 ışık kaynağının gerilime bağlı ışık akısı değişimi.....	48
Çizelge 3.19	250W HPS lamba balastı için farklı üreticilere ait akım değerleri	51
Çizelge 3.20	Multiwatt özellikli bir elektronik balast için BF değerleri.....	52
Çizelge 3.21	2 Adet 18W gücünde TC-L lambanın farklı balastlarla elde edilen ışık akısı değerleri.....	53

Çizelge 3.22 2 Adet 18W gücünde T8 lambanın farklı balastlarla elde edilen ışık akısı değerleri.....	53
Çizelge 3.23 Armatür performansının BF değerine bağlı değişimi	54
Çizelge 3.24 T5 ve T8 ışık kaynaklarının sıcaklığa bağlı performans değişimi	56
Çizelge 3.25 Simülasyon sonuçları	58
Çizelge 3.26 Ölçüm setleri.....	59
Çizelge 3.27 Işık kaynağı ölçümleri-1	60
Çizelge 3.28 Ölçüm-1 Standart T5 ışık kaynakları ile gonyofotometrik ölçüm sonuçları	61
Çizelge 3.29 Işık kaynağı ölçümleri -2	61
Çizelge 3.30 Ölçüm-2 Amalgamlı T5 ışık kaynakları için gonyofotometrik ölçümler.....	62
Çizelge 3.31 Global bir üreticiye ait T5 armatürler için verim değerleri	63
Çizelge 3.32 Test Adımları.....	65
Çizelge 3.33 Deneye tabi örneklerle ilişkin veriler.....	66
Çizelge 3.34 Test Adımları ve Sonuçlar	67
Çizelge 4.1 LIF dosyası genel yapı	71
Çizelge 4.2 Philips MASTERCOLOUR CDM-T ELITE 150W_930 için kimlik dosyası	77
Çizelge 4.3 Philips MASTER TL-D Super 80 36W_840 için kimlik dosyası	78
Çizelge 4.4 Philips Master TL5 HO 54W_840 için kimlik dosyası	79
Çizelge 4.5 Philips Master TL5 HO 54W_840 TOP için kimlik dosyası	80
Çizelge 4.6 Philips Master TL5 HE 14W_840 için kimlik dosyası	81
Çizelge 4.7 Philips Master TL5 HO 24W_840 için kimlik dosyası	82
Çizelge 4.8 Philips MASTERCOLOUR CDM-T 70W_830 için kimlik dosyası.....	83
Çizelge 4.9 MASTER Colour CDM-T 150W_830 için kimlik dosyası	84
Çizelge 4.10 Eulumdat dosya formatı yapısı	86
Çizelge 4.11 4x54W T5 floresan yüksek tavan armatürü için LDT+ ek satırları	90
Çizelge 4.12 46W LED genel aydınlatma armatürü için LDT+ ek satırları	91
Çizelge 4.13 1x36W T8 floresan bant tipi armatür için LDT+ ek satırları.....	91
Çizelge 4.14 3x24W T5 floresan genel aydınlatma armatürü için LDT+ ek satırları	92
Çizelge 4.15 150W metal halide spot armatürü için LDT+ ek satırları.....	92
Çizelge 4.16 150W metal halide spot armatürü için LDT+ ek satırları.....	93
Çizelge 4.17 Enerji modellemelerinde görülebilecek sapma değerleri-1	99
Çizelge 4.18 Gündüz zaman dilimi yüksek ve düşük modda çalışma oranları.....	100
Çizelge 4.19 Akşam zaman dilimi yüksek ve düşük modda çalışma oranları.....	101
Çizelge 4.20 Enerji modellemelerinde görülebilecek sapma değerleri-2	102
Çizelge 5.1 Örnek-1 için bakım senaryoları.....	119
Çizelge 5.2 Örnek-1 için değerlendirme sonuçları	121
Çizelge 5.3 Örnek-1 için alternatif bakım senaryoları.....	122
Çizelge 5.4 Tüm senaryolar için maliyet analizi	123
Çizelge 5.5 Tüm senaryolar için 5 ve 10 yıllık toplam işletme giderleri.....	124
Çizelge 5.6 Örnek-2 için bakım senaryoları.....	126
Çizelge 5.7 Örnek-2 için değerlendirme sonuçları	128
Çizelge 5.8 Örnek-3 için bakım senaryoları.....	129
Çizelge 5.9 Örnek-3 için değerlendirme sonuçları	134
Çizelge 5.10 Tüm senaryolar için maliyet analizi	135
Çizelge 5.11 Tüm senaryolar için 5 ve 10 yıllık toplam işletme giderleri.....	135
Çizelge 5.12 5 yıl boyunca uygulanacak ışık seviyeleri (%)	138

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE BAKIM KATSAYISI TESPİTİNE YÖNELİK
YENİ BİR ALGORİTMA YAPISININ GELİŞTİRİLEREK, AKTİF BAKIM ve
İŞLETME YAKLAŞIMLARININ OLUŞTURULMASI**

Serhat ÖZENÇ

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Eş Danışman: Doç. Dr. Önder GÜLER

Aydınlatma sistemleri tasarlanırken; zaman içerisinde çevresel etkiler ve malzemenin doğası sebebiyle oluşacak azalmalardan ötürü, belirli bir eskime öngörüsünde bulunulur. Bu noktadaki amaç, zaman içerisinde görülebilecek olası kayıplar kompanze edilerek, kurulan altyapının işletme sürecinde performans sürekliliğinin sağlanmasıdır. Uluslararası otoriteler tarafından belirlenen bakım katsayısı tespit metotları, ağırlıklı olarak geri kazanılabilir etkiler üzerine yoğunlaşmaktadır. Günümüzde belirli genellemeler doğrultusunda oluşturulan “Lamba Çalışma Faktörü” (LSF-Lamp Survival Factor) ve “Lamba Lümen Bakım Faktörü” (LLMF-Lamp Lumen Maintenance Factor) gibi etkiler günümüz üretim ve ürün çeşitliliği içerisinde dramatik farklılıklar gösterebilmektedir. Genellemenin ötesinde hesaplamalarda kullanılan; LSF, LLMF ve “Armatür Bakım Faktörü” (LMF-Luminary Maintenance Factor) gibi gerikazanılabilir etkilerin ürün ve teknoloji çeşitliliğinin ötesinde, birçok parametreye bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bilinen bu eksikliğe standartlar içerisinde değinilse bile nasıl bir yaklaşımla ele alınması konusunda halen bir çözüm önerisi bulunmamaktadır. Kaldı ki bu çalışma süresince; LMF gibi geri kazanılabilir etkilerin dahi yer yer küçümsenmeyecek ölçüde geri kazanılmayan değer düşümleri içerdiği görülmüş olup, bu konudaki değerlendirmelerin daha detaylı olarak yeniden ele alınması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Tez süresince gerçekleştirilen endüstriyel araştırmalar ve deneysel çalışmalar doğrultusunda, LSF ve LLMF karakteristiklerine etkileyen parametreler incelenmiş ve bu etkilere bağlı karakteristik eğilimleri içeren kaynak kimlik dosyası oluşturulmuştur.

Aydınlatma sistemleri için mevcut bakım katsayısı tespit metotlarının ağırlıklı olarak ele aldığı geri kazanılabilir etkilerin yanışra, geri kazanılamayan etkiler olarak gruplayabileceğimiz değer dūřumları de söz konusu olabilmektedir. Kaynağın ışıksal çıkışında yardımcı bileşen, sıcaklık ve üretim toleransları gibi faktörlere bağlı olarak görülen değişimler göz ardı edilemeyecek mertebelerdedir. Bu nedenle bu etkilerin de hesaplama süreçlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Tez süresince yapılan deneysel çalışmalar ve endüstriyel araştırmalar doğrultusunda, geri kazanılamayan faktörlerin görüldüğu noktalar değerlendirilmiştir. Bu noktada elde edilen bulgular, hesaplama algoritmasına dahil edilmek için oluşturulan kaynak kimlik dosyası içerisinde karakterize edilmiştir. Bu etkilerin önemli bir kısmı, armatür yapıları içerisinde kullanılan yardımcı bileşenlere ve armatürün termal özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda armatürlerin fotometrik karakteristiklerinin tanımlandığı “eulumdat” (LDT) dosya formatının işlerliğini bozmayacak bazı eklentiler ve bu süreçte elde edilen karakteristik eğilimlerin, armatür fotometrik dosyası ile ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede; hesaplama sürecinde en etkin iki bileşen olan ışık kaynağı ve armatürün karakteristik özelliklerini barındıran, kimlik dosyalarını referans alan yeni bir hesaplama algoritması/yaklaşımı oluşturulmuştur. Bunlar; LIF olarak tanımlayacağımız ışık kaynağı kimlik dosyası ile LDT dosya formatının genişletilmiş bir hali olan, LDT+ geliştirilmiş armatür kimlik dosyalarıdır.

Tez süresince geliştirilen yaklaşım sayesinde; bir aydınlatma tesisatının malzeme ve kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde ne yönde bir performans eğilimi göstereceği çok daha net modellenebildiğinden, modern adaptif aydınlatma tekniklerinin uygulanması için imkân sağlanmıştır. Tezin ilgili bölümlerinde ise, örnek işletmeler için bu yaklaşımların sunduğu kazanımlar değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, bakım katsayısının bir sabit olarak hesaplandığı klasik metodların yerine, etkileri tez içerisinde değerlendirilen tüm parametreleri esas alarak zamana bağlı eskime eğilimini modelleyen ve bunun üzerinden adaptif dimmerleme senaryoları oluşturabilen bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakım Katsayısı, Deđer Dūřümü, Eskime, Adaptif Bakım/Aydınlatma, ışık Kaynağı

ABSTRACT

MODELLING of ACTIVE MAINTENANCE and OPERATING METHODS by DEVELOPING A NEW LIGHTING SYSTEM MAINTENANCE FACTOR CALCULATION ALGORITHM

Serhat ÖZENÇ

Department of Electrical Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Önder GÜLER

During the design of lighting systems, an aging estimation is performed due to the reductions in the course of time caused by environmental impacts and nature of the material. The aim in this regard is to ensure the performance continuity during the operation period of the constructed infrastructure by compensating the possible losses that can be observed in time. The maintenance coefficient determination methods decided by the international authorities generally focus on recoverable impacts. The effects such as Luminary Maintenance Factor (LMF), Lamp Survival Factor (LSF) and Lamp Lumen Maintenance Factor (LLMF) that are provided by certain generalizations can result in dramatic differences within the production and product diversity of today. Apart from generalization; the recoverable effects such as LSF, LLMF and Luminary Maintenance Factor (LMF) can differ related to many parameters beyond product and technology diversity. Even this known deficiency is also mentioned within standards, there is any solution offer for on which method can be used to deal with it. Moreover; as it was observed that even recoverable effects during operating such as LMF include a portion of irreversible reductions, the necessity of re-evaluation of assessments on this topic in a more detailed way occurred. Towards the industrial researches and

experimental studies, the parameters affecting LSF and LLMF characteristics and resource identity file is provided including the characteristics related such impacts.

Beyond the recoverable impacts that are more strongly evaluated by currently existing maintenance coefficient determination methods, other reductions that can be grouped as irreversible impacts can also occur. The variations in lighting output of the source that are considered to be related to factors such as the auxiliary components, temperature and production tolerances are at a non-negligible levels. Due to this, it is required to integrate these impacts within calculation procedures. Through the experimental studies and industrial researches realized within the concept of the thesis, the points that irreversible factors were observed are discussed. The findings at these points are characterized within the resource identity file that is provided to insert into the computational algorithm. Most of these impacts vary related to auxiliary components used within the luminaire structures and the thermal specification of luminaire. It is provided to associate to luminaire photometric file some additions that will not influence negatively the operability of the eulumdat (LDT) file format where the photometric characteristics are defined and characteristic tendencies derived in this duration. Thus, a new calculation algorithm/approach is provided that includes the characteristic specifications of two components as lighting source and luminaire and takes the identity files as reference. Here they are lighting source identity file that will be defined as LIF and LDT+ luminaire identity files that are extended versions of LDT file format.

With the approach developed during the thesis; as it can be modeled more clearly how a lighting infrastructure will perform in time related to the material and utilization, it is enabled to apply modern adaptive lighting techniques. The benefits that these approaches provide are discussed for sample enterprises in the relevant sections of the thesis.

As the result of the study, an approach that models the aging tendency in time based on all the parameters whose impacts are evaluated within the thesis is developed instead of classical methods where maintenance coefficient is calculated as a constant.

Key Words: Maintenance Coefficient, Capacity Reduction, Aging, Adaptive Maintenance/Lighting, Light Source.

1.1 Literatür Özeti

Mevcut literatür havuzundaki güncel çalışmalar incelendiğinde, Işık Yayan Diyotlar (LED- Light Emitting Diode), hibrid sistemler ve gün ışığı kontrol sistemleri üzerine yoğunlaşıldığı, fakat bakım katsayısı ve işletme yaklaşımları konularına çok daha sınırlı sayıda çalışmaya yer verildiği görülmüştür. Genel olarak ışığın niteliği, niceliği ve aydınlatma sistemlerinin performansı üzerine de birçok çalışma yapılmıştır. Aydınlatma teknolojilerinde son 10 yıldaki gelişimi ve günümüz teknolojik imkânlarının sunduğu yeni işletme teknikleri, bu tezin çalışma motivasyonlarından biri olarak görülmüştür. Geçmişten günümüze bakım, eskime ve buna paralel alanlarda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Siminovitch vd. [1], ve Lewin ve McFarlane Jr [2] özellikle floresan sistemlerde balast-ışık kaynağı kombinasyonları ve sıcaklığın etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Franconi ve Berkeley [3], iyileştirme projelerinde ortam sıcaklığının floresan sistemler üzerine etkilerini değerlendiren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sıcaklık; özellikle floresan gibi ısı duyarlılığı yüksek olan ışık kaynaklarında, öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken bir konu başlığıdır. Bu noktada Hammer [4], Clancy [5], ve Ouellet vd. [6] floresan sistemlerde termal etkiler üzerine farklı çalışmalarda bulunmuşlardır. LED sistemler, floresan ışık kaynakları gibi termal duyarlılığı yüksek olan ışık kaynaklarıdır. Bu sistemler için sıcaklık; ışıksal çıkışın yanısıra LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) ve LSF (Lamp Survival Factor) eğilimlerini etkilediğinden, ömür ve ışıksal kararlılığın modellenmesi açısından çok daha detaylı incelenmelidir. Li vd. [7] ve Fan vd. [8] çalışmalarında bu konulara da yer vermişlerdir.

Bakım konusunun temelini oluşturan ışıksal kararlılık ve ömür karakteristiği, günümüzdeki teknolojik çeşitlilik ve ışık kaynaklarının genel yapıları nedeniyle en kritik konu başlıklarından biridir. Philips Lamba Geliştirme Laboratuvarı uzmanlarından Jummings Tu, basit üretim tekniği farklılıklarının ışıksal kararlılık ile malzeme ömründe ne denli farklar oluşturabileceğini gösteren ve sektörel önemine vurgu yapan bir çalışma gerçekleştirmiştir [9]. Bu çalışma; özellikle "metal halide" gibi çok değişken ışıksal kararlılığa sahip ışık kaynaklarının bu durumlarının, sistem tasarımı ve bakım faktörü tespitinde ne denli önemli olabileceğini göstermektedir.

Malzemenin karakteristik özelliklerinin doğru tanımlanması sayesinde, gelecekte yeni teknolojilere ve uygulama tekniklerine yön verilebilecektir. Navaratana ve Naetiladdanon [10], çalışmalarında floresan ışık kaynaklarının temel karakteristik özelliklerinden faydalanarak, otomatik ışık kaynağı tespitine olanak sunan bir algoritma yapısı sunmuştur. Bu durum doğrudan bakım faktörü ile ilişkilendirilemese de, malzeme karakterizasyonu ve özellikle ışık kaynağının karakteristik verilerinden faydalanılarak, farklı tekniklerin geliştirilebileceğini gösteren bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

Tetri [11], çalışmasında dimmerlemenin ışıksal kararlılık ve ömür üzerine etkilerini incelemiştir. Yan [12] ise çalışmasında HID ışık kaynaklarının karakteristik özelliklerini değerlendirmiş ve giriş gerilimine bağlı olarak ışıksal çıkışın kontrol edildiği merkezi bir kontrol sisteminin etkisini incelemiştir. Dimmerleme konusu, özellikle aktif bakım takibi ve buna paralel olarak yapılması planlanan bakım dimmerlemesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda özellikle TridonicAtco, Vossloh Schwabe, Osram ve Philips gibi global üreticilerin üretmiş oldukları ve yaygın olarak kullanılan dimmerlenebilir balast teknolojileri ile bunların karakteristik özelliklerinin yanısıra performans eğilimleri de referans olarak değerlendirilebilir [13-16].

Gasparovsky D.; 2012 yılında yaptığı çalışmasında; bakım katsayısı analizi kapsamında LMF çarpanının değerlendirilmesinde CIE'nin yaklaşımlarının eksikliklerini dile getirmiş ve bu konuda deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir [17].

Tezin literatür değerlendirmesinin büyük bir kısmında CIE, IES gibi aydınlatma mühendisliğine yön veren organizasyonların çalışmaları incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu kapsamda CIE 154 "The maintenance of outdoor lighting system" yayınında, dış aydınlatma tesislerinde bakım katsayısının tespitine yönelik yaklaşımlar tanımlanmıştır

[18]. CIE 97 nolu yayının 1992 ve 2005 versiyonlarında ise, iç aydınlatma sistemlerinde bakım katsayısının hesaplanmasına yönelik yaklaşımlar bulunmaktadır [19,20]. Mevcut standardın tanımladığı tablolara bağlı bakım katsayısı tespiti, daha önce de belirttiğimiz unsurlar sebebiyle günümüz teknolojik çeşitliliğini ve gerçek saha koşullarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Standartlarda, hızlı sektörel değişim ve ürün çeşitliliği nedeniyle üretici verilerinin kullanılmasının daha sağlıklı olduğuna değinse de, bu noktadaki yaklaşımların nasıl olması gerektiği ile ilgili yol gösterilmemiştir.

Bakım katsayısı tespitiyle ilgili günümüzde en kapsamlı yaklaşımın, IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) tarafından gerçekleştirildiği görülmüştür [21]. "IESNA Lighting Handbook" içerisinde; bakım katsayısının belirlenmesinde geri kazanılabilir etkiler kadar geri kazanılamayan faktörlerin de önemine değinilmiş ve balast faktöründen çevre sıcaklığına, şebeke koşullarından ekipman kombinasyonuna kadar her faktörün sistem performansına üzerine etkisine vurgu yapılmıştır [22]. IES kaynaklarında geri kazanılabilir etkiler CIE yayınlarıyla birebir benzerlik taşıırken, en temel farklılık LMF eğilimleri için önerilen tablolarda görülmektedir. IES yaklaşımlarında da, LLMF ve LSF çarpanlarının üretici verileri esas alınarak belirlenmesi gerektiğine vurgu yapılmaktadır.

Aydınlatma modelleme yazılımları, kaynak dosyası olarak CIE 'nin 102 "Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data", yayını içerisinde tanımlanmış LDT formatındaki dosyaları kullanmaktadır [23]. Bu sayede; aydınlatma hesaplamalarında armatürlerin test edilmiş ve sayısallaştırılmış optik karakteristikleri kullanılarak, daha detaylı ve güvenilir analizler yapılabilmektedir.

IES tarafından 2005 yılında yayınlanan IESNA LM-74-05 "Standard File Format for the Transfer of Luminaire Component Data" çalışması, armatür bileşen verilerinin transferi için geliştirilen/önerilen fakat yaygınlaşmamış bir örnek olarak gösterilebilir [24]. Bileşene ilişkin veri transferinin ötesinde, bakım analizleri için eskime ve değer düşüm yaklaşımlarını kapsayan temel bir yapının oluşturulması gerekmektedir. Tez sürecinde ışık kaynağı için yeni bir format ve armatür ek verileri için ise LDT dosya formatına ek tanımların oluşturulması yeni bir yaklaşım olarak öngörülmüştür.

Günümüzde en yaygın kullanıma sahip aydınlatma simülasyon programlarından Dialux, LDT dosyalarının yanı sıra ışık kaynağı üreticileri tarafından yayınlanan kütüphaneleri de

kullanılmaktadır [25]. Bu kütüphaneler; ışık kaynaklarına ilişkin ışık akısı, güç ve spektral özellik gibi hesaplama ile modellemede kullanılan temel verileri içermektedir. Program, detaylı bakım analizlerinde CIE Pub 97'nin 1992 versiyonunu referans almaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde kullanılan aydınlatma tasarım yazılımları %1-2 gibi hata ile modelleme yapabilirken, göz ardı edilen geri kazanılmayan değer düşüm faktörleri ve genelleme ile oluşturulan bakım katsayısı tespiti nedeniyle uygulamada (sahada) %30'ları aşan sapmalar görülebilmektedir.

Bakım katsayısı tespitine yönelik hesaplama yöntemleri esas alındığında, ağırlıklı olarak geri kazanılabilir etkiler üzerine yoğunlaşıldığı ve geri kazanılmayan değer düşüm faktörlerinin sadece yüzeysel olarak değerlendirilip yeterince karakterize edilmediği görülmektedir. Bu nedenle öncelikli olarak; geri kazanılmayan değer düşüm etkileri, bunların sebepleri ve ulaştığı limitlerin çok iyi araştırılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Mevcut yöntemlerde; bakım katsayısı tespitindeki geri kazanılabilir temel etkiler çok büyük ölçüde genelleme ve öngörüye dayalı olarak türetildiğinden, büyük oranda hata içermesi kaçınılmazdır. Bu noktada görülen en büyük eksiklik ise, standartlaşan bu yöntemlerin güncel teknolojilerle aynı hızda değişmediği ve bu noktada bileşen karakteristiklerinin gösterdiği çeşitlilik ile parametrik değerler nedeniyle standartlaştırılamaması olarak değerlendirilebilir. Nitekim uluslararası standartlarda ana karakteristik farklılıklarına göre gruplandırılan ışık kaynakları, 1980'li yıllardan farklı olarak günümüzde onlarca üretici tarafından çok farklı modellerde üretilmektedir. Aynı yapıdaki ışık kaynaklarının ışıksal ve ömür kararlılıkları, üreticiden üreticiye farklılık gösterebildiği gibi, aynı üreticinin farklı güçteki ışık kaynakları arasında dahi büyük farklılıklar görülebilmektedir [15,16,26,27]. Yapılan çalışmalar ve üretici raporları göstermektedir ki; uygulama tipi ve bileşen özellikleri dahi, bu farklılıklar üzerine etkiyebilmektedir. Bu konu, tezin ilgili bölümlerinde önemli oranda irdelenecektir.

Aydınlatma sektöründe görülen hızlı gelişimin etkisiyle; malzeme özellikleri ve sistem performansını etkileyen unsurlar hem farklılaşmakta, hem de teknik açıdan çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle mevcut standart bakım katsayısı tespit yöntemlerinin, yeni

yaklaşımlar doğrultusunda, günümüz teknolojik çeşitliliği ile gelişimini karşılayacak ve modern işletme teknolojilerine atıfı oluşturacak şekilde modernize edilmesi gerekmektedir. Zira günümüz endüstrisinin malzeme çeşitliliği, tablolastırılmayacak ve genelleştirilemeyecek kadar çeşitli ve dinamiktir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasının temel amacı, tüm bu bahsedilen gerekçeler doğrultusunda bakım katsayısı hesaplama yöntemleri ve bu konudaki yaklaşımları yeniden ele alarak, bu noktalarda görülen eksikliklerin deneysel çalışmalarla analiz edilmesi ve olası tüm parametrelerin ilişkilendirilerek bir çözüm yaklaşımının sunulmasıdır.

1.3 Bulgular

Eskime ve değer düşümü, ilk bakışta düşünülenin çok daha ötesinde sistem verimliliğini etkileyen konu başlıkları olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla başlangıçta tablolar ve sabitler üzerinden değerlendirmeye tabi olan aydınlatma hesaplama yöntemleri; nasıl ki günümüzde gelişmiş algoritma yapıları içerisinde ve ölçümler sonucu elde edilen karakteristik veriler üzerinden hesaplanan sistemlere dönüştüyse, bakım katsayısının tespiti ve malzeme karakterizasyonu konusunda da bu tip bir değişimin gerekliliği söz konusudur. Bu doğrultuda aydınlatma hesaplamaları ve projelendirmelerine yönelik bakım katsayı tespitinin; tablo ve basit formülizasyonların çok daha ötesinde bir algoritmaya kavuşturularak, çok daha iyi bir bakım karakterizasyonu yapılmasına olanak sunulması amaçlanmıştır. Hesaplama doğruluğu ile malzeme yönetiminin iyileştirilmesi, gelişmiş adaptif aydınlatma modellerinin oluşturulması için gerekli koşulların başında gelmektedir.

Eskime ve değer düşümünün modellenmesine imkân veren bir algoritma sayesinde; yeni işletme yöntemlerinin uygulanabilmesi için zemin oluşturulmuş, bakım ve adaptif dimmerleme gibi konularda gelişmiş metotların uygulanması mümkün hale gelmiştir. Bu sayede, aydınlatma sistemlerine yönelik planlı bakım ve yenileme senaryolarının maksimum verimlilikte gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır.

Günümüzde kullanılan ışık kaynaklarına ait LSF, LLMF, termal karakteristik, anahtarlama duyarlılığı vb. birçok karakteristik özellik, üreticiler tarafından teknik dokümanlarda deklare edilmektedir. Bu doğrultuda fotometrik veri formatı olarak kullanılan LDT ve IES

gibi, ışık kaynakları için de kaynağın bakım analizlerinde kullanılacak, tüm karakteristik özelliklerini barındıran bir veri formatı oluşturulmuştur. Bu sayede, sanayideki her malzeme için bakım katsayısı değerlendirmelerinde kullanılmak üzere bir kimlik yapısı meydana getirilmiştir. Yardımcı bileşen, termal etkiler ve LMF gibi armatüre has etkilerin çeşitlendirilmesi adına varolan “eulumdat” dosya formatı geliştirilerek, tez aşamasında elde edilen etkilerin hesaplanmasına imkân verecek bir yapıya kavuşturulmuştur. Bu sayede; varolan dosya formatının genel yapısı bozulmadan, sadece temel bazı eklentiler ile daha fazla karakteristik özellik barındıracak şekilde modernize edilmiştir.

Geliştirilen hesaplama yaklaşımı doğrultusunda kullanılan temel bileşenlerin karakteristik özellikleri bir arada değerlendirilerek, genellemeden öte malzeme özelliğine bağlı bir eskime analizi yapılması mümkün olmuştur. Bu doğrultuda elde edilen eskime ve değer düşüm eğilimleri daha net belirlenerek, planlı bakım uygulamaları ve adaptif aydınlatma yaklaşımları oluşturulmuştur. Sonuç olarak; daha az genelleme, daha çok modelleme ile eskime ve değer düşüm analizlerinin daha detaylı yapılabildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın sonucunda, uygulanabilecek yeni işletme teknikleri kurgulanarak potansiyel kazanımlar değerlendirilmiştir

BAKIM FAKTÖRÜ HESAPLAMALARI için STANDART ÖNERİLER

Işık doğal yaşamın temel bir parçası olup, dünya üzerindeki hemen hemen tüm canlılar için doğrudan veya dolaylı olarak hayati önem taşımaktadır. Günümüzde gelişen ve değişen yaşam standartları doğrultusunda, doğal ışığın ötesinde fonksiyonel olarak veya özel amaçlarla yapay aydınlatma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çoğu zaman iş veya sosyal hayatımızın sürekliliğini sağlayan bu altyapıların üretim, mühendislik ve genel tasarım süreçleri de ayrı bir uzmanlık alanı olarak gelişimini sürdürmektedir.

Enerji kullanımının diğer alanlarında olduğu gibi, aydınlatma sistemleri için de verimlilik adına yapılan yaklaşımlar büyük önem arz etmektedir. Bu aşamada, ulusal ve uluslararası organizasyonların 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 ile zamanla görülen kayıpların sağlıklı değerlendirilememesi, bu yöndeki kayıpların çok yüksek seviyelerde gerçekleşmesine neden olabilmektedir.

Aydınlatma sistemlerinin tasarımı; 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 hâkim olması gerekmektedir. Aydınlatma sistemleri konusunda iyi bir tasarımcı olabilmenin temelinde, malzeme bilgisinin yanı sıra uygulama ve ekipmana ait parametreler ile 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 göstermemektedir ve parametrik etkilerin sonuçları, diğer faktörlerin etkilerine göre büyük farklılıklar meydana getirebilmektedir. Özellikle aydınlatma sistem bileşenleri arasında performans ve karakteristik özellikler, alışılmışın ötesinde bir çeşitliliğe sahiptir. Genel olarak teknolojinin odağında, daha verimli ve daha uzun ömürlü çözümler bulunmaktadır. Bu nedenle de kalite ve verimlilik konularının ön planda olduğu uygulamalarda, güncel teknolojilerin yer alması kaçınılmaz olacaktır.

Aydınlatma sistemlerine yönelik verimlilik yaklaşımları "malzeme", "projelendirme", "işletme" ve "sayısal doğruluk" gibi 4 farklı aşamada değerlendirilebilir. Günümüzdeki yaklaşımlar her ne kadar "malzeme" ve "projelendirme" detayları üzerine yoğunlaşsa da, "işletme" ve "sayısal doğruluk" konularının sistem verimliliği üzerine ne derece etkili olduğu unutulmamalıdır. Malzeme ve projelendirme konularında; teknolojik altyapıdaki değişimlere paralel olarak hızlı bir gelişim görülse de, ne yazık ki işletme ve sayısal doğruluk konularında aynı hızda bir gelişim olduğu söylenemez.

2.1 Sayısal Doğruluk

Bir aydınlatma projesinin sayısal doğruluğunun, temelde aşağıda verilen dört girdiye bağlı olduğu söylenebilir:

- Hesaplama algoritması,
- Fotometrik doğruluk,
- Modelleme ve projelendirme başarısı,
- Bakım katsayısı ve eskime tespiti.

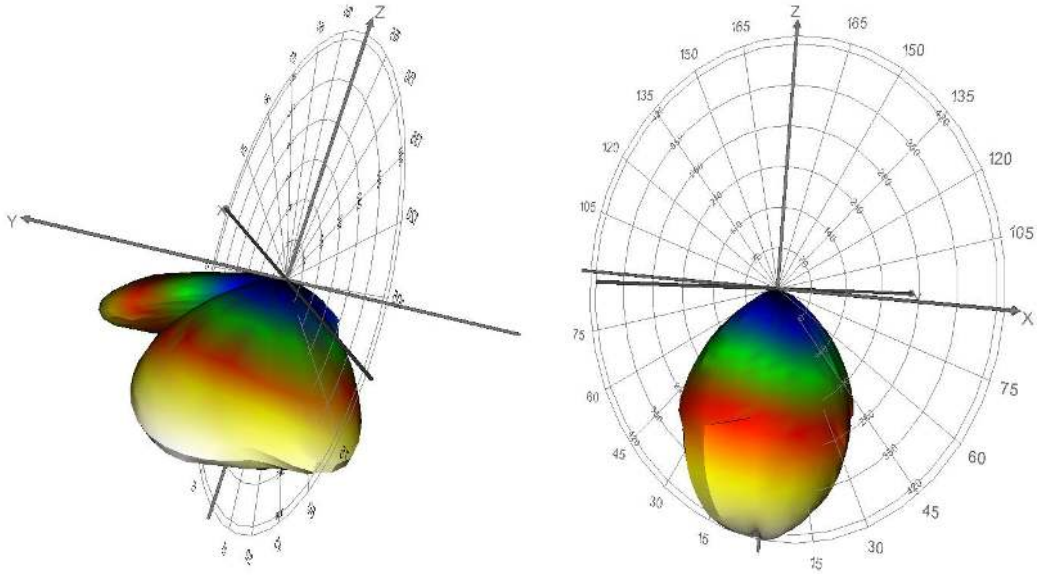
2.1.1 Aydınlatma Hesaplama Algoritmaları

1930'lu yılların başından itibaren farklı araştırmacılar tarafından birçok hesaplama yöntemi geliştirilmiştir ve 2000'li yılların başına kadar, ağırlıklı olarak tablolar ile büyük ölçüde kabullere dayalı bu hesaplama metodları kullanılmıştır. Günümüzde ise neredeyse tamamen bilgisayar tabanlı hesaplama yöntemleri ve gelişmiş yazılım

çözümleri kullanılarak, bu noktada sayısal doğruluk adına büyük bir gelişim yaşanmıştır. Bu yazılımlar [25,28]; yüzeylerin radyometrik ve fotometrik karakteristiklerini, hacmin geometrisi ile armatürlerin fotometrik özelliklerini karakterize ederek yüksek çözünürlükte hesaplama yapabilmektedir. Günümüzde bilgisayar algoritmaları, yapay aydınlatma modellerinde mükemmel yakın sonuçlar vermektedir. Bu noktada yazılım güvenilirliği ve hesaplama algoritması konusunda hata payı çok düşüktür [29,30].

2.1.2 Fotometrik Doğruluk

Günümüzde kullanılan aydınlatma hesaplama yazılımları, LDT ve/veya IES gibi standartlaşmış fotometrik veri formatlarını kullanmaktadır. Binlerce noktadan yapılan ölçümler sonucu elde edilen bu veri formatı sayesinde tasarlanan armatürler, yazılım tabanlı modellenerek yüksek çözünürlükte hesaplama ve simülasyon yapılabilmektedir (Şekil 2.1).

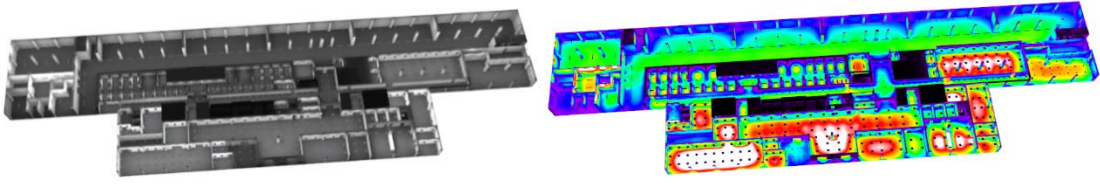


Şekil 2.1 LDT dosyalarından türetilen 3D ışık dağılımları [31]

Fotometrik ölçümler sonucu elde edilen fotometrik verilerin doğruluğu, ölçüm cihazının ve laboratuvarın yapısına bağlı olarak %1,5-%5 hata payıyla gerçekleştirilebilmektedir [32-35]. Fotometrik doğruluk konusundaki limitler, üretim toleranslarındaki sapmaları kapsamamaktadır.

2.1.3 Modelleme ve Projelendirme Başarısı

Günümüz yazılım çözümleri, özellikle projelendirme ve modelleme sürecinde birçok parametreyi de hesaplara katabilecek seviyededir. Tasarımcı, projenin tüm detaylarını doğru modellediği sürece hata payı sınırlı kalmaktadır. Tasarım sürecinde yazılımların sunduğu girdi çeşitliliği her geçen gün artmakta ve projelendirme başarısı adına daha fazla katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla bu faktör, büyük ölçüde modelleme hassasiyetine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan bir aydınlatma modelleme ve hesaplama yazılımına ilişkin görüntüler Şekil 2.2'deki gibidir [25].



Şekil 2.2 3D aydınlatma modelleri [25]

2.1.4 Bakım Katsayısı ve Eskime Tespiti

Aydınlatma sistemleri tasarlanırken, zaman içerisinde çevresel etkiler ve malzemenin doğasından kaynaklı görülebilecek azalılar nedeniyle belirli bir eskime öngörüsünde bulunulur. Bu noktadaki amaç; zaman içerisinde gerçekleşebilecek olası kayıpların kompanse edilmesi sayesinde, kurulan altyapının işletme sürecinde belirlenen performans sürekliliğini sağlamasıdır.

Hesaplama sürecinin ana girdilerinden biri olan bakım faktörünün tespiti, CIE ve IESNA gibi organizasyonların öngördüğü sabitler ile ampirik formüller çerçevesinde belirlenmektedir. Bu noktada; LLMF, LSF, LMF ve Oda İç Yüzey Bakım Faktörü (RSMF- Room Surface Maintenance Factor) ilgili tablo ve grafiklerle tanımlanmış da olsa ciddi oranda bir genellemeye tabidir. Bakım katsayısının tespiti çok büyük ölçüde genelleme ve öngörüye dayalı olarak türetildiğinden, en büyük hata payının bu aşamada oluşması kaçınılmazdır. Bu noktada görülen en büyük eksiklik ise, standartlaşan bu yöntemlerin güncel teknolojilerle aynı hızda değişmemesi ve bu noktada bileşen karakteristiklerinin gösterdiği çeşitlilik ile parametrik değerler nedeniyle standartlaştırılamaması olarak değerlendirilebilir. Nitekim uluslararası standartlarda ana karakteristik farklılıklarına göre gruplandırılan ışık kaynakları, 1980'li yıllardan farklı olarak günümüzde onlarca

üretici tarafından binlerce farklı modelde üretilmektedir. Bu noktada görülen farklılıklar üreticinin yanısıra, kaynağın gücü, renk sıcaklığı, modeli ve üretim teknolojisine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir. [15,16,26,27].

2.2 CIE'ye göre Bakım Katsayısı Hesaplama Yöntemleri

Günümüzde bakım katsayısı hesaplamalarında CIE Pub 97 ve CIE Pub 154 no'lu yayınları esas alınmaktadır [18-20]. Gelişmiş aydınlatma simülasyonları da, bakım katsayısı hesaplamalarında bu standartlardan faydalanmaktadır.

Güncel bakım katsayısı hesaplama yaklaşımları ağırlıklı olarak, tozlanma dolayısıyla armatür kayıpları (LMF) ve iç yüzeylerde (RSMF) görülen performans kayıpları ile ışık kaynağının zaman içerisinde ışık çıkışının azalması (LLMF) veya arıza sonucu devre dışı kalması (LSF) gibi unsurlar nedeniyle oluşan kayıpları esas almaktadır. Bakım katsayısının (MF-Maintenance Factor) hesaplanmasında iç ortamlar için eşitlik (2.1), dış ortamlar için ise eşitlik (2.2) esas alınmaktadır.

$$MF = LLMF \times LSF \times RSMF \times LMF \quad (2.1)$$

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (2.2)$$

Burada;

- MF: Bakım faktörü (Maintenance Factor),
- LLMF: Işık kaynağı Lümen faktörü (Lamp Lumen Maintenance Factor),
- LSF: Işık kaynağının ömür faktörü (Lamp Survival Factor),
- RSMF: Oda yüzeyleri bakım faktörü (Room Surface Maintenance Factor),
- LMF: Armatür bakım faktörüdür (Luminary Maintenance Factor).

CIE'ye göre temiz bir tesis yapısında, endüstriyel reflektörlü floresan armatürlerden oluşan ve arıza durumunda birebir lamba değişimi yapılması öngörülen aydınlatma sistemine ait eskime eğilimi Şekil 2.3'deki gibidir.

Bu grafikte;

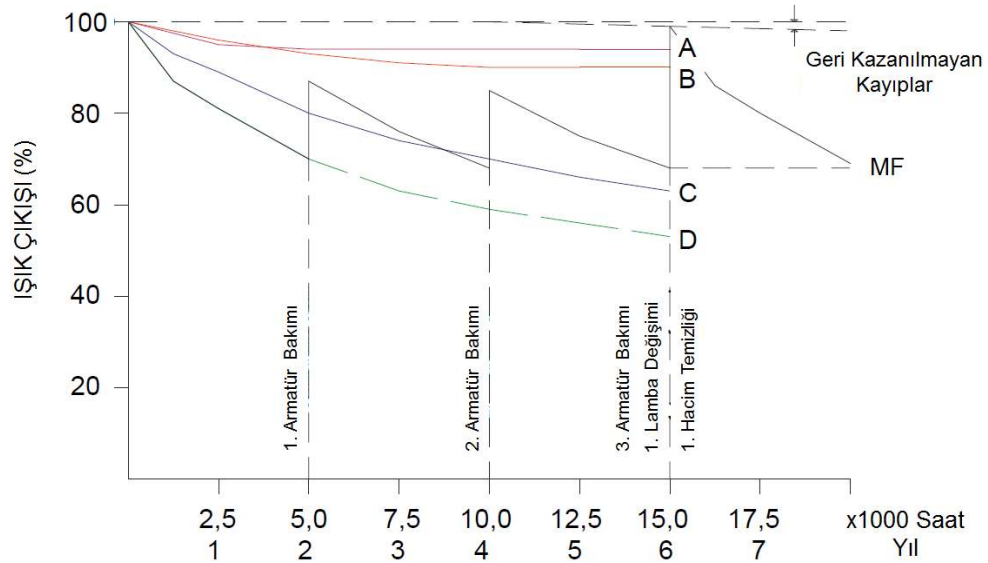
A: 70/50/20 iç yüzey çarpanları, temiz ortam ve direkt dağılımlı aydınlatma armatürü için RSMF eğilimi,

B: Lineer trifosfor floresan ışık kaynağı için LLMF eğilimi,

C: Temiz ortam ve C tip armatür için LMF eğilimi,

D: Bakım yapılmamış sistem için performans eğilimi,

MF: İşletme süresince görülen sistem ışıksal çıkışında görülen performans eğilimine karşılık gelmektedir.



Şekil 2.3 CIE'ye göre temiz bir tesis yapısında görülebilecek eskime eğilimi [20]

Bir tesisin ışık çıkışındaki azalış, belirli bir süreç içerisinde artarak oluşmaktadır. Genel olarak; RSMF, LMF, LLMF ve LSF gibi tüm çarpanların sonucu olarak görülecek kayıp oranı, bakım katsayısı olarak belirlenir. CIE'nin tanımlamalarında eskime sürecinde geri kazanılamayan etkilerin görülebileceği, fakat bunların çoğunlukla düşük seviyelerde ($\%3<$) olacağı öngörüsüyle değerlendirmeye alınmamaktadır.

CIE 154'ün 2003 versiyonu ile CIE 97'nin hem 1992 hem de 2005 yıllarında yayınlanmış versiyonlarında, LLMF ve LSF çarpanlarının tespitinde kullanılan değerler Çizelge 2.1-2.6'daki gibidir. LSF ve LLMF çarpanlarının belirlenmesinde kaynağın tipi ve lamba değişim periyodu esas alınmaktadır. CIE'nin yayınları arasında, yayınlanma tarihine bağlı olarak kapsam ve sayısal değerlerde farklılıklar söz konusudur.

Çizelge 2.1 CIE 97:1992'ye göre LLMF değerleri [19]

IŞIK KAYNAĞI	x1000 Saat															
	0,1	0,5	1,0	1,5	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Enkandesen	1	0,97	0,93	0,89	-	-	-	-	-	-	-					
Floresan Trifosfor/Multifosfor	1	0,98	0,96	0,95	0,94	0,91	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81				
Floresan Halofosfor	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,83	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70				
Civa	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,87	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,61	0,58	0,55	0,53	0,52
Metal Halide	1	0,96	0,93	0,90	0,87	0,78	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60	0,56	0,52			
Yüksek Basıncılı Sodyum	1	1	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80

Çizelge 2.2 CIE 97:2005'e göre LLMF değerleri [20]

IŞIK KAYNAĞI TİPİ	ÇALIŞMA SÜRESİ (1000 saat)											
	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20	30
Enkandesen	1	0,97	0,93									
Halojen	1	0,99	0,97	0,95								
Floresan Trifosfor	1	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Floresan Trifosfor	1	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90		
Floresan Halofosfor	1	0,98	0,96	0,95	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75		
Kompakt Floresan	1	0,98	0,97	0,94	0,91	0,39	0,87	0,85				
Civa Buharlı	1	0,99	0,97	0,93	0,85	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	
Metal Halide 250/400W	1	0,98	0,95	0,90	0,87	0,83	0,79	0,65	0,63	0,58	0,50	
Seramik Metal Halide 50-150W	1	0,95	0,87	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56			
Yüksek Basıncılı Sodyum 250-400W	1	1	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,90
LED	Ürün özellikleri çok hızlı değişim gösteriyor.											

Çizelge 2.3 CIE 154:2003'e göre LLMF değerleri [18]

IŞIK KAYNAĞI	ÇALIŞMA SÜRESİ (x1000 Saat)				
	4	6	8	10	12
Yüksek Basıncılı Sodyum	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Metal Halide	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
Yüksek Basıncılı Civa	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Alçak Basıncılı Sodyum	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Floresan (Trifosfor)	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Floresan (Halofosfat)	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Kompakt Floresan	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Çizelge 2.4 CIE 97:1992'ye göre LSF değerleri [19]

IŞIK KAYNAĞI	x1000 Saat														
	0,5	1,0	1,5	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Enkandesen	0,98	0,50	0,03												
Floresan Trifosfor/Multifosfor	1	1	1	1	1	0,99	0,95	0,85	0,75	0,64	0,50				
Floresan Halofosfor	1	1	1	1	1	0,99	0,95	0,85	0,75	0,64	0,50				
Civa	1	1	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,68	0,59	0,50
Metal Halide	1	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,87	0,83	0,77	0,70	0,60	0,50			
Yüksek Basıncılı Sodyum	1	1	1	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,85	0,80	0,75	0,69	0,60	0,50

Çizelge 2.5 CIE 97:2005'e göre LSF değerleri [20]

IŞIK KAYNAĞI TİPİ	ÇALIŞMA SÜRESİ (1000 saat)											
	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20	30
Enkandesen	1	0,98	0,50									
Halojen	1	1	0,78	0,50								
Floresan Trifosfor	1	1	1	1	1	0,99	0,98	0,98	0,97	0,94	0,50	
Floresan Trifosfor	1	1	1	1	1	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50		
Floresan Halofosfor	1	1	1	1	1	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50		
Kompakt Floresan	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,86	0,50				
Civa Buharlı	1	1	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,86	0,79	0,69	0,50	
Metal Halide 250/400W	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,92	0,86	0,80	0,73	0,66	0,50	
Seramik Metal Halide 50-150W	1	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,95	0,80	0,50			
Yüksek Basıncılı Sodyum 250-400W	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,92	0,50
LED	Ürün özellikleri çok hızlı değişim gösteriyor.											

Çizelge 2.6 CIE 154:2003'e göre LSF değerleri [18]

IŞIK KAYNAĞI	ÇALIŞMA SÜRESİ (x1000 Saat)				
	4	6	8	10	12
Yüksek Basıncılı Sodyum	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Metal Halide	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Yüksek Basıncılı Civa	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Alçak Basıncılı Sodyum	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Floresan (Trifosfor)	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
Floresan (Halofosfat)	0,99	0,98	0,93	0,86	0,70
Kompakt Floresan	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50

CIE 154:2003, CIE 97:1992 ve CIE 97:2005 yayınlarına göre; armatürün yapısı, 3 farklı kirlilik kategorisi (T:Temiz, N:Normal, K:Kirli veya Yüksek, Orta, Düşük) ve bakım periyodu esas alınarak belirlenen LMF değerleri Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'deki gibidir.

CIE 154 dış aydınlatma sistemlerine ilişkin olduğundan, armatürler IP (Ingress Protection) seviyelerine bağlı olarak 3 farklı kategoride (IP20, IP54 ve IP65) tanımlanmıştır. CIE 97 ise iç aydınlatma sistemlerine yönelik hazırlandığından, armatürler genel fiziksel yapılarına bağlı olarak aşağıdaki gibi 7 farklı kategoride tanımlanmıştır:

- A: Bant tipi armatürler,
- B: Üst kısmı açık armatürler (doğal havalandırmalı),
- C: Üst kısmı kapalı armatürler (havalandırmaz),
- D: Kapalı armatürler IP2X,
- E: Toz geçirmez armatürler IP5X,
- F: Kapalı indirekt armatürler,
- G: Zorlanmış havalandırmalı armatürler .

Çizelge 2.7 CIE 154:2003'e göre LMF değerleri [18]

OPTİK BÖLÜM IP DEĞERİ	KİRLİLİK KATEGORİSİ	KULLANIM SÜRESİ (YIL)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP2X	Yüksek	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Orta	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Düşük	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP5x	Yüksek	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Orta	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Düşük	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP6X	Yüksek	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Orta	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Düşük	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

RSMF değeri, sadece iç aydınlatma sistemleri için geçerli bir çarpandır. Bu nedenle sadece CIE 97'de RSMF değerinin belirlenmesine ilişkin tablolar tanımlanmıştır. CIE Pub 97'nin 1992 yılındaki versiyonda RSMF değeri; armatürün ışık dağılım karakteristiği, odanın geometrik yapısına göre belirlenen oda indeksi, ortam kirlilik kategorisi ve oda

bakım periyoduna göre belirlenirken, 2005 yılında güncellenen yayında oda iç yüzey çarpanları da belirleyici unsurlardan biri haline gelmiştir. CIE Pub 97 tarafından 1992 ve 2005 versiyonlarda önerilen RSMF çarpanları, Çizelge 2.9 ve Çizelge 2.10'daki gibidir.

Çizelge 2.8 CIE 97:1992 ve CIE 97:2005'e göre LMF değerleri [19],[20]

BAKIM PERİYODU (YIL)	0,5			1,0			1,5			2,0			2,5			3,0		
ORTAM / ARMATÜR TİPİ	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K
A	0,95	0,92	0,88	0,93	0,89	0,83	0,91	0,87	0,80	0,89	0,84	0,78	0,87	0,82	0,75	0,85	0,79	0,73
B	0,95	0,91	0,88	0,90	0,86	0,83	0,87	0,83	0,79	0,84	0,80	0,75	0,82	0,76	0,71	0,79	0,74	0,68
C	0,93	0,89	0,83	0,89	0,81	0,72	0,84	0,74	0,64	0,80	0,69	0,59	0,77	0,64	0,54	0,74	0,61	0,52
D	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,85	0,79	0,73	0,83	0,77	0,71	0,81	0,75	0,68	0,79	0,73	0,65
E	0,96	0,93	0,91	0,94	0,90	0,86	0,92	0,88	0,83	0,91	0,86	0,81	0,90	0,85	0,80	0,90	0,84	0,79
F	0,92	0,89	0,85	0,86	0,81	0,74	0,81	0,73	0,65	0,77	0,66	0,57	0,73	0,60	0,51	0,70	0,55	0,45

Çizelge 2.9 CIE 97:1992'ye göre RSMF değerleri (T:Temiz, N:Normal, K:Kirli) [19]

	BAKIM PERİYODU (YIL)	0,5			1,0			1,5			2,0			2,5			3,0		
	ORTAM / ARMATÜR TİPİ	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K	T	N	K
ODA BOYUTU K	ARMATÜR IŞIK DAĞILIMI																		
KÜÇÜK 0,7	DİREKT	0,97	0,96	0,95	0,97	0,94	0,93	0,96	0,94	0,92	0,95	0,93	0,90	0,94	0,92	0,89	0,94	0,92	0,88
	DİREKT/ ENDİREKT	0,94	0,88	0,84	0,90	0,86	0,82	0,89	0,83	0,80	0,87	0,82	0,78	0,85	0,80	0,75	0,84	0,79	0,74
	ENDİREKT	0,90	0,84	0,80	0,85	0,78	0,73	0,83	0,75	0,69	0,83	0,73	0,66	0,77	0,70	0,62	0,75	0,68	0,59
ORTA 2,5	DİREKT	0,98	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	DİREKT/ ENDİREKT	0,95	0,90	0,86	0,92	0,88	0,85	0,90	0,86	0,83	0,89	0,85	0,81	0,87	0,84	0,79	0,86	0,82	0,78
	ENDİREKT	0,92	0,87	83	0,88	0,82	0,77	0,86	0,79	0,74	0,84	0,77	0,70	0,81	0,74	0,67	0,78	0,72	0,64
BÜYÜK 5,0	DİREKT	0,99	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,97	0,96	0,93	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	DİREKT/ ENDİREKT	0,95	0,90	0,86	0,94	0,88	0,85	0,90	0,86	0,83	0,89	0,85	0,81	0,87	0,84	0,79	0,86	0,82	0,78
	ENDİREKT	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,86	0,79	0,74	0,84	0,77	0,70	0,81	0,74	0,68	0,78	0,72	0,65

Çizelge 2.10 CIE 97:2005'e göre k=2,5 ve direkt ışık dağılımı için RSMF değerleri [20]

Yansıtma Çarpanları Tavan/Duvar/Zemin	YIL	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	ÇEVRE KOŞULLARI	RSMF DEĞERLERİ												
0,80/0,70/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	TEMİZ	1	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	NORMAL	1	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	KİRLİ	1	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
0,80/0,50/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	TEMİZ	1	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	NORMAL	1	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	KİRLİ	1	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
0,80/0,30/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	TEMİZ	1	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	NORMAL	1	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	KİRLİ	1	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
0,70/0,70/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	TEMİZ	1	0,94	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	NORMAL	1	0,89	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	KİRLİ	1	0,83	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
0,70/0,50/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	TEMİZ	1	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	NORMAL	1	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	KİRLİ	1	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
0,70/0,30/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	TEMİZ	1	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	NORMAL	1	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	KİRLİ	1	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,50/0,70/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	TEMİZ	1	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	NORMAL	1	0,91	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
	KİRLİ	1	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
0,50/0,50/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	TEMİZ	1	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	NORMAL	1	0,94	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	KİRLİ	1	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
0,50/0,30/0,20	ÇOK TEMİZ	1	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	TEMİZ	1	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	NORMAL	1	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	KİRLİ	1	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

CIE'nin 2005 yılında güncellediği 97 nolu yayını; RSMF değerinin hesaplanmasında daha çok parametreyi esas alırken, ışık kaynaklarını çok daha fazla grupta değerlendirmektedir. LSF ve LLMF eğilimlerinin yardımcı bileşen tipine göre değişebileceğine değinen standart tablolar yerine, üretici verilerinin kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır. 97 nolu yayının hem 1992 hem de 2005 yılında yayınlanan versiyonları LMF tespitinde aynı verileri kullanmaktadır.

2.3 IESNA'ya Göre Bakım Katsayısı Hesaplama Yöntemi

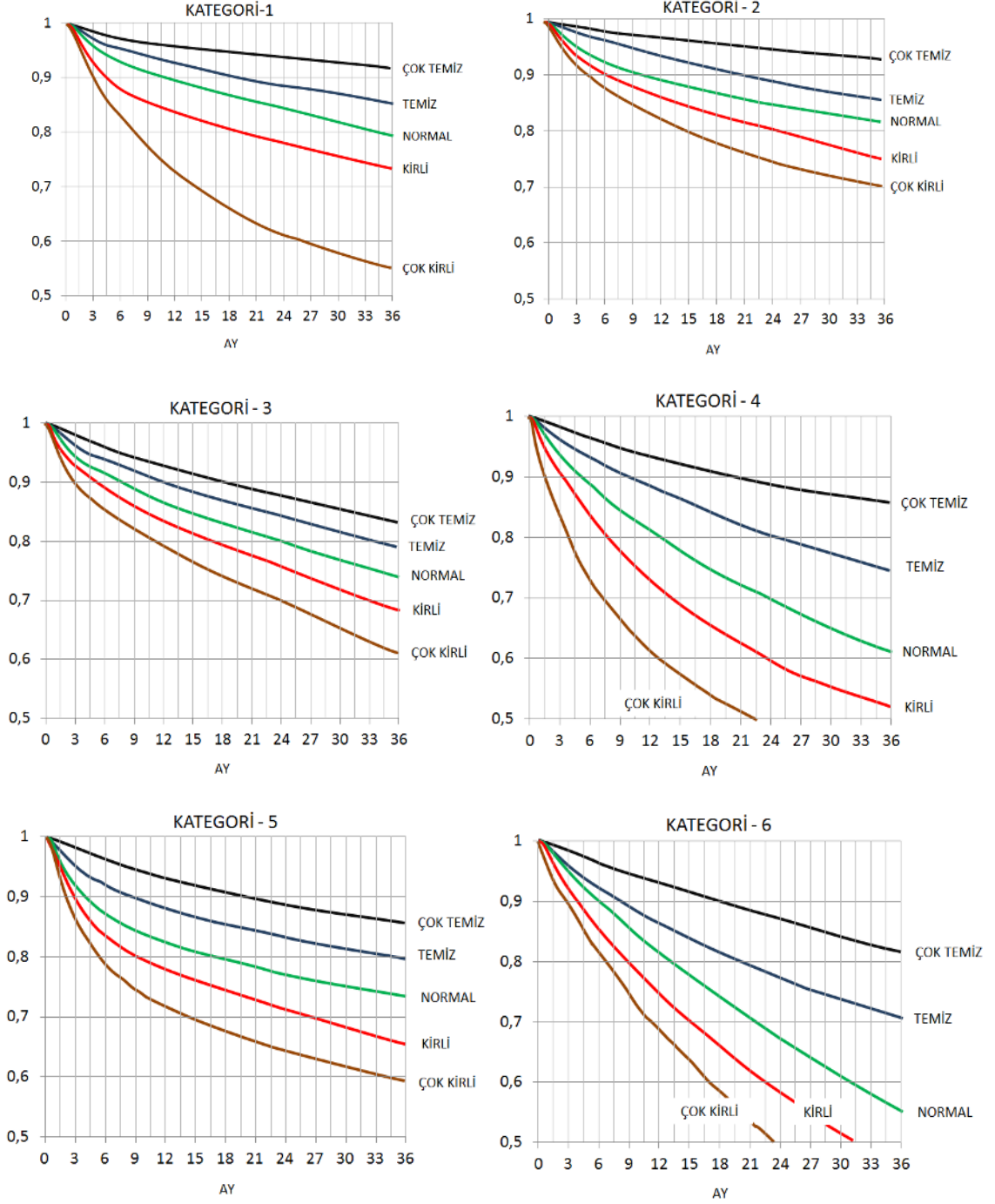
IESNA; LLF (Light Loss Factor) olarak tanımladığı toplam değer düşümünü, geri kazanılabilir ve geri kazanılamayan olarak nitelendirdiği tüm faktörlerin çarpımı sonucu ortaya çıkan bir değer olarak tanımlamaktadır. Bu doğrultuda IESNA'nın ilgili dokümanlarında belirttiği geri kazanılabilir (recoverable) ve geri kazanılamayan (non-recoverable) etkiler aşağıdaki gibidir [22].

Geri Kazanılamayan Etkiler:

- Armatür iç ortam sıcaklığı etkisi,
- Havalandırmalı armatürler için havalandırmaya bağlı termal faktör,
- Besleme gerilimi etkisi,
- Balast faktörü,
- Balast-lamba fotometrik faktörü,
- Ekipman faktörü,
- Lamba yanma pozisyonu faktörü.

Geri Kazanılabılır Etkiler:

- Kaynağın ışıksal kararlılık etkisi,
- Kaynağın ömür faktörü,
- Armatür kirlilik faktörü,
- Oda yüzeyleri kirlilik faktörü.



Şekil 2.4 IES'e göre LMF eğilimleri [21]

IESNA bakım katsayısının tespitinde; geleneksel geri kazanılabilir etmenlerin yanı sıra ortam sıcaklığı, elektriksel bileşenlerin etkileri ve benzeri birçok sabit etkiye sahip geri kazanılamayan unsurun da değerlendirme sürecine dâhil edilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Burada tanımlanan geri kazanılamayan faktörler, kaynağa ilişkin kararlılık ve ömür faktörlerinin “IES Lighting Handbook” içerisinde kısmen genelleştirmesine rağmen, üretici verilerinin kullanılmasını önermektedir. Geri

kazanılmayan değer dūřūmleri için ise etki limitleri ne yazık ki tanımlanmamış olup, bu konudaki değerlendirmeler tasarımcının malzeme bilgisi ışığında hesaplamalara dâhil edilebilmektedir. IES Armatür tozlanma faktörünün tanımlanması konusunda CIE'den daha detaylı olarak, 6 farklı kategoride 5 farklı ortam koşuluna karşılık 3 yıllık eskime değerleri tanımlanmaktadır. IES tarafından tanımlanan bu eğilimler, şekil 2.4'deki gibidir.

GERİ KAZANILABİLİR ve GERİ KAZANILAMAYAN ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aydınlatma sisteminin ışık çıkışı; malzeme eskimesi, çevresel ve elektriksel koşullar gibi birçok parametreye bağlı olarak zaman içerisinde belirli bir azalış göstermektedir. Dolayısıyla aydınlatma sistemlerinin tasarımında, performans kaybına sebebiyet verecek tüm faktörler hesaplamalara dahil edilerek belirli bir yaklaşımda bulunmaktadır.

Sağlıklı bir bakım senaryosunun temelinde eskimenin doğru tespiti yatmaktadır. Bu tespitin yapılmasındaki problem ise, öngörü ve genellemelerin hata payını arttırmasıdır. Bu kapsamda en sağlıklı bakım katsayısı tespiti, genellemelerin ötesinde malzeme karakterizasyonuna bağlı metotların kullanımıyla olacaktır. Eskimenin tespiti konusunda; etki eden her kriterin değerlendirmeye alınması ve mümkün olduğunca genellemeden uzaklaşılması, doğruluk oranının iyileştirilmesi açısından büyük önem taşıyacaktır. Bu kapsamda en büyük problem, parametrik farklılıklar ve endüstrideki malzeme çeşitliliği olmaktadır. İşin en uç noktasında ise, birçok bileşenden oluşan aydınlatma sisteminin her bir parçasına ait üretim toleranslarının değişkenliği yer almaktadır.

Bakım konusunda, özellikle ışık kaynağının üretim ve teknolojik çeşitliliği ile dış etmenlere olan hassasiyeti nedeniyle farklılaşan karakteristik özellikleri belirleyici olmaktadır. Dolayısı ile bakım katsayısının tespiti yönündeki önceliğimiz ve yaklaşımlarımız, ışık kaynakları ve kaynağın performansını etkileyen unsurlar üzerine olacaktır.

Işık kaynakları, aydınlatma sisteminin performansını belirleyen en önemli bileşendir. Zira her ışık kaynağı, kendine has ışıksal kararlılık ve arıza karakteristiği taşımaktadır. CIE ve IES gibi ulusal otoriteler LSF ve LLMF eğilimlerinin tespitinde üretici verilerinin kullanılmasını önerse de, günümüzde en gelişmiş analiz programları dahi hesaplamalarında bu standartların önerdiği değerleri kullanmaktadır.

Uluslararası aydınlatma komisyonu CIE'nin yayınları incelendiğinde; ışık kaynağı kökenli eskime çarpanları konusunda mevcut malzeme çeşitliliği içerisinde doğru bir genelleme yapılamayacak olmasına karşın, belirli bir kabul doğrultusunda ilgili katsayıların tespiti yapılmaktadır [18,20]. Ne yazık ki 1980'li yıllardaki eş üretim kalitesinden çok daha farklı olan günümüz aydınlatma endüstrisinin, üretim ve teknolojik farklılıkları genellenemeyecek seviyededir. Her ne kadar ilgili teknik raporlarda üretici verilerinin kullanılmasının doğruluğundan bahsedilse de, bu noktada yaklaşımın bir bütün olarak ele alınması gerekliliği söz konusudur. Zira girdilerin çeşitliliği ve değişkenliği klasik yöntemlerin hata payını arttırmaktadır. Işık kaynaklarının ışıksal, elektriksel ve ömür karakteristikleri 2 eksenli bir grafikten çok daha ötede ve birçok farklı parametrenin etkisiyle şekillenebilen, çok boyutlu bir veri niteliğindedir. Bu nedenle de, bakım tespiti konusundaki geleneksel yöntemlerin algoritma yapısının geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Daha kesin eskime analizleri yapılabilmesinin sonucunda; yeni işletme tekniklerinin oluşturulması, malzeme ve enerji ekonomisi konusunda ciddi kazanımların elde edilmesi mümkün olabilecektir. Gelişmiş bir algoritma; malzemeye ait ömür ve performans kimliklerinin oluşturularak, yenilikçi işletme modellerinin uygulanmasına da imkan sunabilecektir.

Mevcut bakım yaklaşımları ağırlıklı olarak geri kazanılabilir (recoverable effects) etkiler üzerine yoğunlaşmaktadır. Oysaki günümüzde malzeme çeşitliliği ve endüstriyel koşullar sonucunda, geri kazanılamayan etkiler (non-recoverable effects), en az geri kazanılabilir etkiler kadar sistemi etkileyebilmektedir. Günümüzde aydınlatma yazılımları %1 hata ile işlem gerçekleştirirken, uygulama sonuçlarında görülen büyük sayısal sapmaların en temel sebebi, değerlendirmeye alınmayan geri kazanılamayan etkilerdir. Sürekli işletme koşullarında ise, doğru değerlendirilememiş bakım yaklaşımları nedeniyle 5 yıllık sistemlerin dahi limit aydınlık seviyelerini sağlayamadığı ya da yanlış bakım katsayısı tespitleri nedeniyle nominalin üzerinde enerji tükettikleri görülmektedir. Sonuç olarak

bakım katsayısının tespitinde kullanılan yaklaşımların yeterliliği, aydınlatma hesaplarında kullanılan modern metod ve araçların çok gerisindedir. Günümüzde çok ciddi projelerde dahi ürün ve malzeme karakterizasyonu yapılmadan genel kullanım özelliklerine göre belirlenen bakım katsayısı değerleri (genellikle 0,8) ya performans ya da enerji kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mevcut yaklaşımlar değerlendirildiğinde ortaya iki temel eksiklik çıkmaktadır. Bunlar, geri kazanılamayan etkilerin veya etki limitlerinin tanımlanmamış olması ile geri kazanılabilir etkilerin büyük ölçüde genellemeye tabi olmasıdır. Bu noktada öncelikle genellemelerin oluşturduğu sapmalar değerlendirilmiş ve bu konudaki genel tespitler yapılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları ile endüstriyel analizler üzerinden de geri kazanılamayan etkilerin ve bu etkilerin limitlerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bakım analizlerinde düşünülmesi gereken iki unsur söz konusudur. Bunlar; zaman içerisinde görülen ve belirli bakım uygulamalarıyla ortadan kaldırılabilecek geri kazanılabilir etkiler ile, herhangi bir bakım işlemi ile ortadan kaldırılamayacak etkilerdir. Bu etkilerin önemli bir kısmı malzeme, çevre ve elektriksel koşullar nedeniyle sistemin kurulduğu ilk anda görülen kayıplardır. Geri kazanılamayan kayıpların bir kısmı da, zaman içerisinde armatürün optik bileşenlerinin (reflektör, refraktör) eskimesi sonucu oluşan kayıplardır.

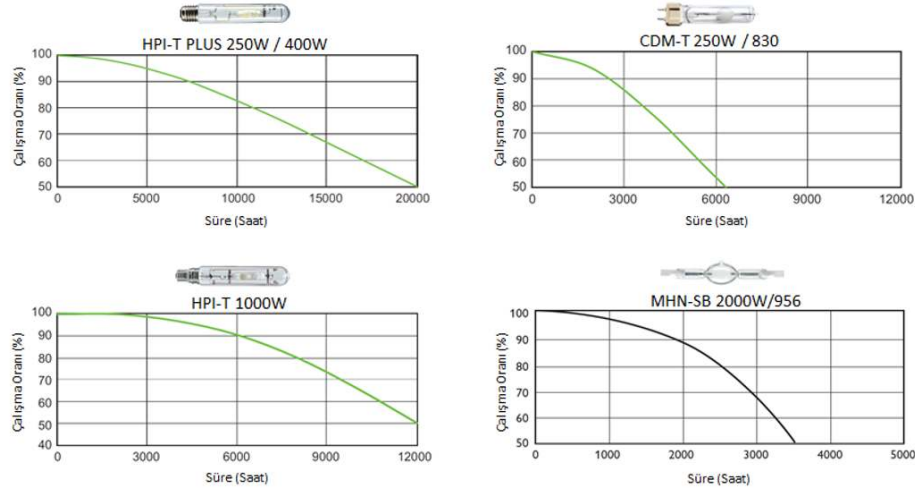
3.1 Geri Kazanılabilir Etkilerin Değerlendirilmesi

Mevcut yaklaşımlar sadece armatür, ışık kaynağı ve ikincil ışık kaynağı olarak kabul edilebilecek iç yüzeylerde zaman içerisinde görülecek performans kayıplarını esas almaktadır. Dolayısıyla mevcut yaklaşımlar eskime olarak tanımlayacağımız geri kazanılabilir etkiler üzerine yoğunlaşırken, değer düşümü olarak tanımlayabileceğimiz geri kazanılamayan etkileri hesaplamalara dahil etmemektedir.

Mevcut standartlarda geri kazanılabilir etkiler için genelleme yaparak belirli sabitler önerilirken, üretici verilerin kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Fakat üretici verilerindeki çeşitlilik ve verileri etkileyen parametrelerin çokluğu nedeniyle, pratikte standartların önerdiği sabitler kullanılmaktadır.

3.1.1 LSF Etkisinin Değerlendirilmesi

LSF eğilimi, her ışık kaynağı için çok büyük ölçüde ürünün teknolojisine ve üretim kalitesine bağlı olarak farklılık gösterir. Bununla birlikte yardımcı elektriksel ekipmanların yapısı başta olmak üzere, birçok teknoloji ve uygulama çeşitliliği de LSF karakteristiklerinde önemli düzeyde farklılıklar görülmesine sebep olmaktadır. Günümüzde üretim ve teknoloji çeşitliliği sebebiyle, global bir üreticiye ait aynı tip ışık kaynaklarının farklı modellerinin LSF eğilimleri arasında Şekil 3.1'deki gibi büyük farklılıklar görülebilmektedir. Bu farklılıkların mevcut CIE yaklaşımlarından ne boyutta sapma gösterdiği Çizelge 3.1'den incelenebilir.



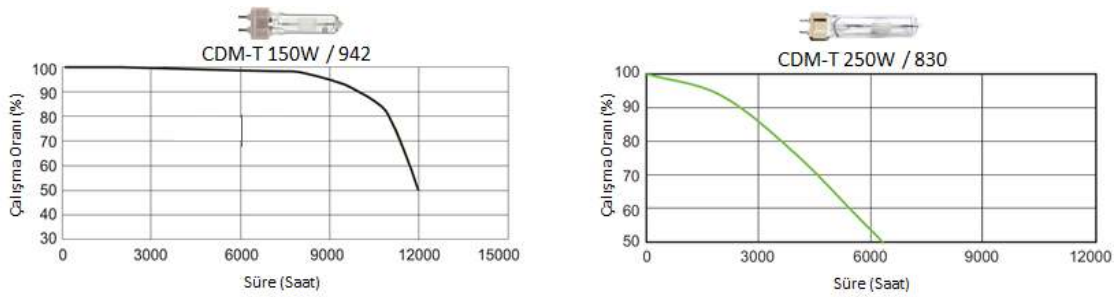
Şekil 3.1 Farklı tip ve güçteki metal halide ışık kaynaklarına ait LSF Eğilimleri [16]

Çizelge 3.1 Farklı tip ve güçteki metal halide ışık kaynaklarına ait LSF Değerleri [16]

LAMBA TİPİ	ÇALIŞMA SÜRESİ (Saat)							
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
HPI-T Plus 250W	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88
HPI-T Plus 1000W	0,99	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,85	0,8
CDM-T 250W/830	0,97	0,94	0,86	0,75	0,64	0,54	--	--
CDM-T Elite 70W/942	1	1	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95
MHN-SB 2000W	0,97	0,88	0,68	--	--	--	--	--
CIE Pub 97:2005 Seramik M.H 50-150W	0,87	0,75		0,72		0,68		0,64
CIE Pub 97:2005 M.H 250-400W	0,99	0,98		0,97		0,92		0,86
CIE Pub 97:1992 Metal Halide	0,97	0,95	--	0,93	--	0,91	--	0,87
CIE Pub 154:2003 Metal Halide				0,98		0,97		0,94

LSF eğilimleri, ışık kaynağının modeline bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu eğilimlerde görülen farklılıklar sadece ürün modeline bağlı olarak değil, aynı zamanda bir modelin farklı güçteki alternatiflerinde dahi çeşitlilik gösterebilmektedir. CIE 97:2005 en güncel standart olması sebebiyle bu konuda en detaylı gruplamaya sahiptir [20].

Özellikle seramik metal halide ışık kaynakları için aynı ürün modelinin farklı güçteki versiyonlarında dahi büyük karakteristik farklılıklar görülebilmektedir. Bu konuyla ilgili olarak, global bir üreticiye ait seramik metal halide ışık kaynaklarının 150W ve 250W versiyonlarının Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2’de verilen ömür karakteristikleri incelenebilir.



Şekil 3.2 150W ve 250W seramik metal halide ışık kaynaklarının LSF Eğilimleri [16]

Çizelge 3.2 150W ve 250W CDM-T ışık kaynaklarının LSF Değerleri [16]

LAMBDA TİPİ	ÇALIŞMA SÜRESİ (Saat)							
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
CDM-T 150W	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97
CDM-T 250W	0,97	0,94	0,86	0,75	0,64	0,54	--	--

Şekil 3.2’de verilen örneklerden de görülebileceği gibi LSF değerlerindeki farklılıklar sadece aynı ürün grubunun değil, aynı ürün modelinin farklı güçlerdeki opsiyonları için bile ciddi boyutta değişimler taşıyabilmektedir. Aynı üreticinin 150W seramik metal halide ışık kaynağı için 6000 saate karşılık gelen LSF değeri 0,98 iken, 250W için bu değer 0,54 olabilmektedir.

Sağlıklı bir değerlendirme yapabilme adına üretici verilerinin kullanılması, ürün teknolojisi ve üretici farklılıklarının da değerlendirmeye alınabilmesi açısından kesinlikle doğru olacaktır. Fakat üreticiler tarafından tanımlanan değerlerin, nominal işletme koşulları ve ideal bileşen tipleri için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Gerçek işletme şartlarında hem çevresel şartlar hem de işletme yapısı farklılık arz edebildiğinden, LSF karakteristiklerini sadece kaynağın verileri üzerinden değerlendirmek sağlıklı olmayacaktır. Kaynağın LSF karakteristiği, anahtarlama ve beraberinde kullanılan elektriksel devre elemanının yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

3.1.1.1 Anahtarlamanın LSF Eğilimi Üzerine Etkisi

Rejim ve ateşleme süreci gaz deşarjlı lambaların elektrod yapılarındaki yıpranmayı ciddi boyutta etkilediğinden, anahtarlama sayısı doğrudan ömür karakteristiğini etkilemektedir. Bu noktada üreticiler için tanımlanan ömür karakteristikleri ideal anahtarlama periyotları için geçerlidir. Floresan ışık kaynakları gibi iç aydınlatmada kullanılan ve kullanıma göre anahtarlama periyodu büyük değişkenlik gösteren ışık kaynakları için, bu etkinin dikkate alınması zaruridir. Zira bir ofis uygulamasında 3-8 saatlik anahtarlama periyodunda kullanılan bir floresan armatür, endüstriyel uygulamada 12 saatlik anahtarlama periyodunda kullanılabilir. IEC, floresan sistemler için 3 saatlik çalışma periyodunu 165 dakika açık, 15 dakika kapalı olarak tanımlamaktadır [36]. Bu tanımın dışında yapılacak herhangi bir anahtarlama sıklığı, lamba ömrü üzerine doğrudan etki edebilmektedir.

80'li yıllarda yapılan çalışmalarda floresan sistemlerin anahtarlamaya bağlı ömür eğilimleri (3.1) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir [37,38].

$$f(u) = 1.71 \times \left(1 - e^{\left(\frac{u}{3.89}\right)}\right)^{0.505} \quad (3.1)$$

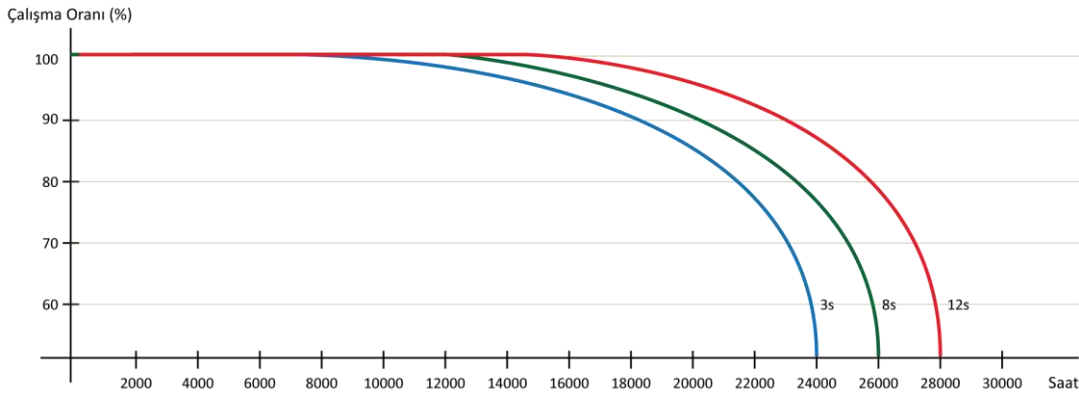
Bu eşitlikte ifade edilen u değeri çalışma döngüsüne, yani anahtarlama sonrası ışık kaynağının açık kaldığı süreye karşılık gelmektedir. Bu durumda gerçek ömür, ışık kaynağı için beyan edilen ömür değerinin (3.1) eşitliğinden elde edilen katsayı ile çarpımı sonucu elde edilmektedir. (3.1) eşitliği kullanılarak 1, 3, 8 ve 12 saat için elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Farklı çalışma periyotları için ömür çarpanları

Çalışma Süresi (Saat)	1	3	8	12	24
f(u) değeri	0,677	0,999	1,305	1,418	1,571

İlgili çalışma elektromanyetik balastlı ateşleme düzenekleri için geçerlilik taşıırken, günümüzde farklı ateşleme tekniklerini kullanan elektronik balast düzenekleri için anahtarlamanın etkisi çok daha düşük olabilmektedir. Global bir üretici tarafından

üretile T5 floresan ışık kaynaklarının anahtarlama sıklığına bağlı LSF eğilimleri Şekil 3.3’deki gibidir.



Şekil 3.3 T5 floresan ışık kaynaklarının anahtarlama sıklığına bağlı LSF eğilimleri [16]

Günümüzde elektronik balast devreleri, farklı ateşleme teknikleri ile ateşleme esnasında elektrotlarda görülen yıpranmayı minimize edebilmektedir. Bu doğrultuda anahtarlamanın ömür üzerine etkisi, elektromanyetik sistemlerden çok daha az olabilmektedir. Güncel teknolojilerden T5 ışık kaynaklarından birine ait, anahtarlama sıklığına bağlı lamba ömür değişim değerleri Çizelge 3.4’deki gibidir.

Çizelge 3.4 T5 ışık kaynaklarının anahtarlama sıklığına bağlı ömür değişimleri [16,39]

ANAHTARLAMA SIKLIĞI	ÇALIŞMA PERİYODU (dk) AÇIK /KAPALI	LAMBA ÖMRÜ
12 Saatlik Döngü	690 /30	% 115
8 Saatlik Döngü	450/30	% 110
3 Saatlik Döngü	165/15	% 100
1 Saatlik Döngü	45/15	% 80

HID sistemler genellikle 8/11 saat üzeri veya sürekli kullanımın esas olduğu (yol, endüstriyel tesis vb) alanlarda kullanıldığından, günlük tek anahtarlama yapıldığı kabul edilebilir. Günümüz aydınlatma endüstrisi, sık anahtarlamanın HID sistemlerin ömürleri üzerine ciddi olumsuz etkileri olduğunu belirtmektedir. Fakat bu noktada değişken anahtarlama periyotlarına bağlı olarak, üreticiler ve literatür tarafından tanımlanmış net bir LSF eğilim çalışması bulunmamaktadır. Bu doğrultuda; zaten uzun süreli yahut sürekli kullanım esaslı bu ışık kaynakları için, LSF eğiliminin anahtarlama sıklığına bağlı etkisinin incelenmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

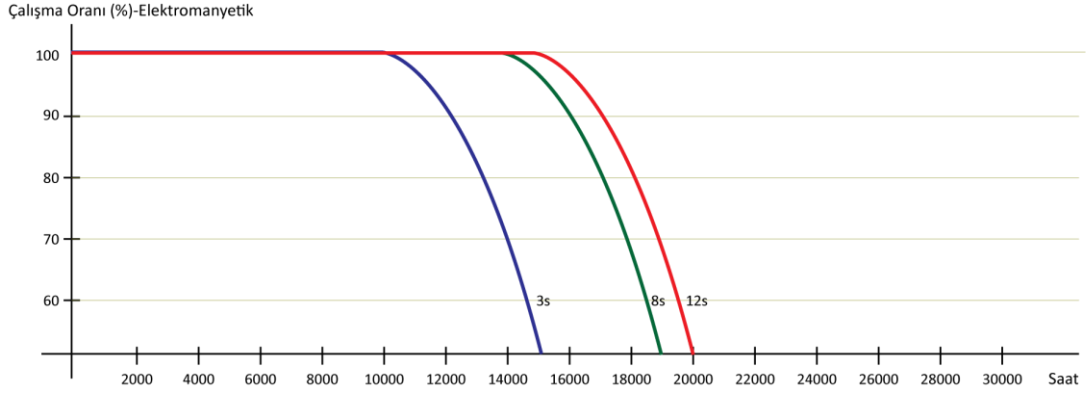
LED sistemler ise yarı iletken yapıda olduğundan, anahtarlamanın LSF eğilimi üzerine etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu etki sadece floresan sistemler açısından incelenmiştir.

3.1.1.2 Yardımcı Bileşen Yapısının LSF Eğilimi Üzerine Etkisi

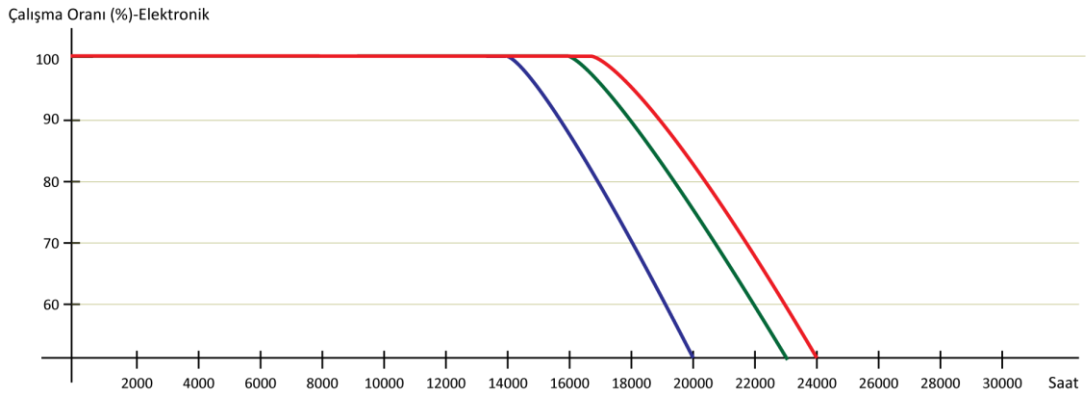
Sadece elektronik balastlarla çalışabilen ürün modelleri dışındaki tüm ışık kaynakları için tanımlanan LSF ve LLMF değerleri, elektromanyetik devre elemanları için geçerli olmaktadır. Kontrollü ateşleme teknolojilerinin kullanımı, LSF ve LLMF karakteristiklerinin iyileşmesi yönünde etki edebilmektedir. Üreticiler tarafından beyan edilen sonuçlar göstermektedir ki; floresan sistemlerde bu özelliğe sahip elektronik bileşen kullanımı, özellikle sık anahtarlamanın olduğu noktalarda LSF karakteristiği üzerine ciddi etki oluşturabilmektedir.

Daha önceden değinildiği üzere LSF, anahtarlama periyoduna bağlı olarak ciddi farklılıklar gösterebilmektedir. Fakat anahtarlamanın etkisi, elektromanyetik ve elektronik bileşen kullanımına bağlı olarak farklı seviyelerde gerçekleşebilmektedir. Bu farklılık genel olarak ateşleme tekniğine bağlı olarak gerçekleşmektedir [14]. Bilindiği üzere deşarj lambaları, ilk ateşleme süreçlerinde elektrot yapılarında belirli bir aşınmaya maruz kalmaktadırlar. Elektronik balast devreleri, ateşleme sürecinde farklı teknikler kullanarak deşarjın başlamasını sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan elektronik balast devreleri, gelişmiş ateşleme tekniklerini kullanarak elektrot arızası nedeniyle oluşan devre dışı kalma olasılığını azaltmaktadır [13, 14, 16]. Sonuç olarak, elektronik bileşen kullanımı özellikle ateşleme ile ilgili pozitif bir teknoloji içeriyor ise, LSF üzerine olumlu etki oluşturabilmektedir. Tüm bu nedenlerle anahtarlama etkisi çok büyük ölçüde yardımcı bileşene bağlı olarak şekillendiğinden, bu etkinin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

Global bir üreticiye ait trifosfor kaplı 36W 4000K T8 ışık kaynağının, elektromanyetik ve elektronik balast kullanımı için 3, 8, 12 saat anahtarlama periyoduna karşılık gelen LSF eğilimleri, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'deki gibidir.

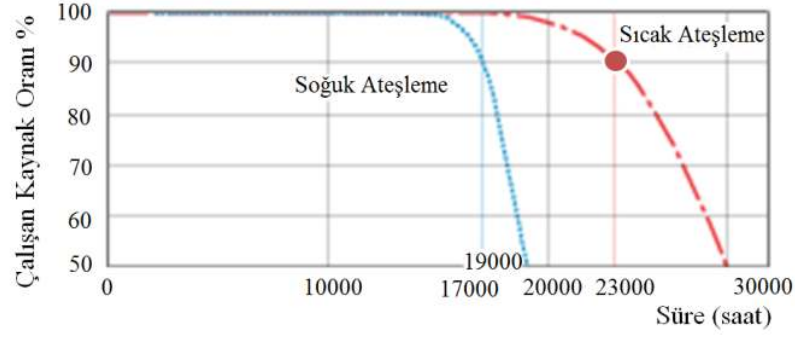


Şekil 3.4 T8 ışık kaynaklarının anahtarlama bağı LSF eğilimleri (Elektromanyetik) [16]



Şekil 3.5 T8 ışık kaynaklarının anahtarlama bağı LSF eğilimleri (Elektronik) [16]

Kullanılan yardımcı bileşenin elektronik ve elektromanyetik olmasının ötesinde, kullandığı ateşleme tekniği de LSF eğilimini çok ciddi oranda etkileyebilmektedir. Örnek olarak; 12 saatlik anahtarlama periyodundaki bir uygulamada kullanılan T5 floresan ışık kaynağının ömrü, elektronik bileşenin ateşleme tekniğine bağı olarak farklılık gösterecektir. Global bir üreticiye ait T5 floresan ışık kaynaklarının Şekil 3.6'daki ömür eğilimleri incelendiğinde; soğuk ateşleme özellikli bir bileşenle %10'luk arızaya 17.000 saatte ulaşılırken, sıcak ateşleme özelliğindeki bir ürünle bu sürenin 23.000 saate kadar çıkabildiği görülecektir.

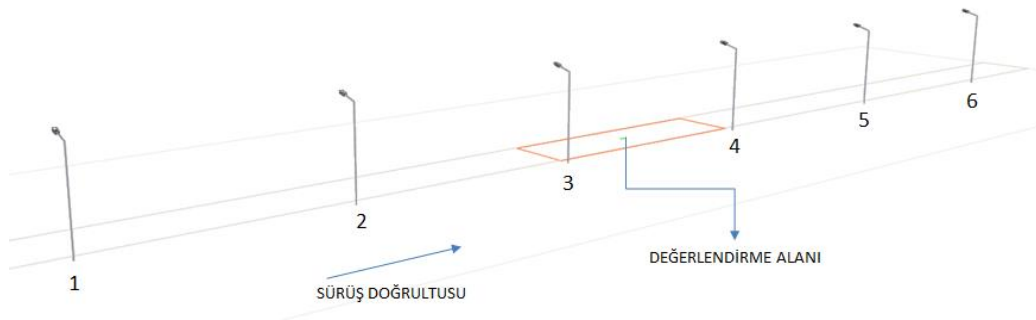


Şekil 3.6 T5 ışık kaynaklarının farklı ateşleme tekniklerine bağlı LSF eğilimleri [16]

3.1.1.3 LSF Etkisinin Geçersiz Olduğu Durumlar

Günümüzde birçok uygulamada arıza durumunda birebir değişim yapılsa da, uzun ömürlü aydınlatma ekipmanlarının kullanıldığı altyapılarda grup yenileme uygulamaları, teknik ve ekonomik açıdan daha uygun olabilmektedir. Grup lamba değişiminin yapıldığı ve birçok ışık kaynağı tarafından yapılan hacim aydınlatmalarında, bakım periyoduna kadar devre dışı kalacak aydınlatma ekipmanlarının oluşturacağı etkiyi kompanze edebilmek için LSF çarpanı belirlenir.

Fakat LSF etkisinin, özellikle lineer ürün montajının yapıldığı uygulamalarda veya yol aydınlatmalarında ne derece uygun bir sabit olduğu tartışılmalıdır. Zira bu tip uygulamalarda armatürlerin fiziksel konumlandırımları esas alındığında, herhangi bir lamba arızasının doğuracağı etkiler ve değer kaybı kabul edilemeyecek mertebelere ulaşabilmektedir. Dolayısıyla bu durum bir eskime değil, doğrudan arıza olarak değerlendirilmelidir. Bu konudaki değerlendirmemizi daha iyi tanımlamak adına, Şekil 3.7'deki gibi bir yol aydınlatma modelinde olası bir lamba arızasının etkileri incelenmiştir.



Şekil 3.7 Uygulama Modeli

Örnek uygulamada; 30m direk aralığı, 1m konsol boyu, 15 derece konsol açısı ile yerleştirilmiş 150W gücünde ve uygun fotometrik karakteristiğe sahip yol aydınlatma armatürleri kullanılmıştır. Asfalt kaplama sınıfı R3'tür. 3 ve 4 nolu direkler arasında tanımlanmış değerlendirme alanının elde edilen 1,2 cd/m²'lik ortalama parlıtlı değerinde, her bir direktteki armatürün etkisi Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Farklı direklerdeki armatürlerin ortalama parlıtlı değeri üzerine etkisi

	1 No'lu Direk	2 No'lu Direk	3 No'lu Direk	4 No'lu Direk	5 No'lu Direk	6 No'lu Direk
DEĞERLENDİRME ALANINA ETKİSİ	% 0,00	% 0,83	% 31,67	% 68,33	% 4,17	% 0,00

Örnek uygulamada elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, değerlendirme alanında elde edilen parlıtlı değerinin %95'i, 3 ve 4 nolu direkler tarafından oluşturulmaktadır. Herhangi bir şekilde bu direkler üzerinde konumlandırılmış armatürlerde olacak arızanın doğurduğu sonuçlar, performans gerilemesi olarak tanımlanamayacak kadar yüksektir.

Normal çalışma koşulları ve farklı arıza durumu için EN13201-2: Yol aydınlatması Bölüm-2: Performans Özellikleri [40] standardı içerisinde tanımlı ortalama parlıtlı, ortalama düzgünlük ve boyuna düzgünlük değerlerinin değişimi Çizelge 3.6'daki gibidir.

Çizelge 3.6 Farklı çalışma koşullarına ait performans değerleri

	Ortalama Parlıtlı (cd/m ²)	Ortalama Düzgünlük	Boyuna Düzgünlük
Normal Çalışma Koşulları	1,20	0,64	0,88
3 No'lu Direk Arızası	0,88	0,25	0,37
4 No'lu Direk Arızası	0,38	0,44	0,24

Sonuçlar göstermektedir ki değerlendirme alanındaki en etkin role sahip 3 ve 4 nolu direklerde görülecek bir arıza durumunda, ilgili standartların belirlediği limitlerin çok altında oluşacak performans değerleri nedeniyle, yol aydınlatması ve benzeri uygulamalarda kaynağa ait LSF değeri bir eskime etkisi olarak kabul edilmemelidir.

LED sistemler, geleneksel sistemlerden daha farklı yapıda olduklarından ömür karakteristikleri daha farklı ele alınmalıdır. Üzerinde herhangi bir komponent ya da entegre bir sürücü devresi barındırmayan LED dizgisi veya tekil LED ışık kaynağı için belirlenecek LSF değeri, tamamen çipe ait arıza oranları referans alınarak oluşturulabilir.

Örnek olarak; global bir üreticiye ait 5 çipli bir LED ışık kaynağının 700mA sürme akımı, 77°C LED lehim noktası, 85°C jonksiyon noktası sıcaklığına karşılık birikimli arıza oranları Çizelge 3.7'deki gibi olmaktadır.

Çizelge 3.7 7 çipten oluşan LED modül için birikimli arıza oranları [41]

Çalışma Süresi (Saat)	Arıza Oranı
48	% 0,032
96	% 0,045
500	% 0,075
1.000	% 0,088
6.000	% 0,120
10.000	% 0,130
20.000	% 0,142
30.000	% 0,150
40.000	% 0,155
50.000	% 0,159

50.000 saat için dahi %0,159 arıza oranı, LSF değerinin bu tip ışık kaynakları için esas alınmayacak kadar etkisiz olduğu anlamına gelmektedir. Fakat bu durum, üzerinde herhangi ikincil bir devre elemanı bulunan veya entegre sürücülü LED lamba veya modüller için geçerli olmayacaktır. Zira genel olarak LED sistemler ile birlikte kullanılan elektronik komponentlerin ömür karakteristikleri çok daha farklı olacağından, LED lamba veya entegre sürücülü LED modüller için LSF değeri mutlaka değerlendirmeye alınmalıdır.

3.1.2 LLMF Etkisinin Değerlendirilmesi

CIE'nin yaklaşımlarında ışık kaynakları enkandasen, kompakt floresan, floresan-trifosfor, floresan-halofosfor, yüksek basınçlı civa, metal halide, seramik metal halide, alçak basınçlı sodyum, yüksek basınçlı sodyum gibi genel tip gruplamasıyla kategorize edilmiş ve her tip için genellenmiş bir katsayı dizisi belirlenmiştir. Günümüz aydınlatma endüstrisinde ise; aynı tip ışık kaynaklarının onlarca farklı üretici tarafından üretilmekte olan yüzlerce farklı model tasarımı için bu tip bir genelleme yapılması, bakım katsayısı tespitinde büyük sapmaların görülmesine sebebiyet vermektedir. Zira teknik, teknoloji ve üretici farklılıkları nedeniyle, aynı tip ışık kaynaklarının ışıksal kararlılıkları arasında farklılıklar görülmesi kaçınılmazdır. Bu noktada görülen sapmalar, LSF eğilimlerinde görülen sapmalardan çok daha yüksektir. Elbetteki tüm ışık kaynakları için bu boyutta bir sapma söz konusu değildir. Lineer floresan ışık kaynaklarında bu durum minimum

mertebelerde iken, metal halide ışık kaynaklarındaki fark sonuçları doğrudan etkileyecek mertebelerdedir.

Işıksal kararlılık, aynı tipteki ürünlerin farklı üretici veya modellerinin ötesinde, tek bir ürün modelinin farklı güçlerdeki alternatiflerinde dahi farklılık taşıyabilmektedir. Dolayısıyla ışıksal kararlılık çarpanının (LLMF), genellemelerden kaçınılarak doğrudan ürün verileri referans alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Zira tablolarda genellenmiş katsayılar ile gerçek değerler arasında %30'u aşan fark mevcuttur. Global bir üretici tarafından üretilmekte olan seramik tüplü ürünlerin farklı güçlerine ait LLMF değerleri Çizelge 3.8'deki gibidir.

Çizelge 3.8 Seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılık verileri [16]

LAMBA TİPİ	3000 Saat	6000 Saat	9000 Saat	12000 Saat
CDM-T 35W / 830 (Elektromanyetik)	0,70	0,62	0,49	0,40
CDM-T 70W / 830 (Elektromanyetik)	0,82	0,73	0,64	0,56
CDM-T 70W / 942 (Elektromanyetik)	0,80	0,67	0,58	0,50
CDM-T 150W / 830 (Elektromanyetik)	0,71	0,62	0,53	0,45
CDM-T 150W / 942 (Elektromanyetik)	0,81	0,73	0,67	0,61
CIE PUB-97 Seramik Metal Halide (50-150W)	0,73	0,68	0,62	0,56

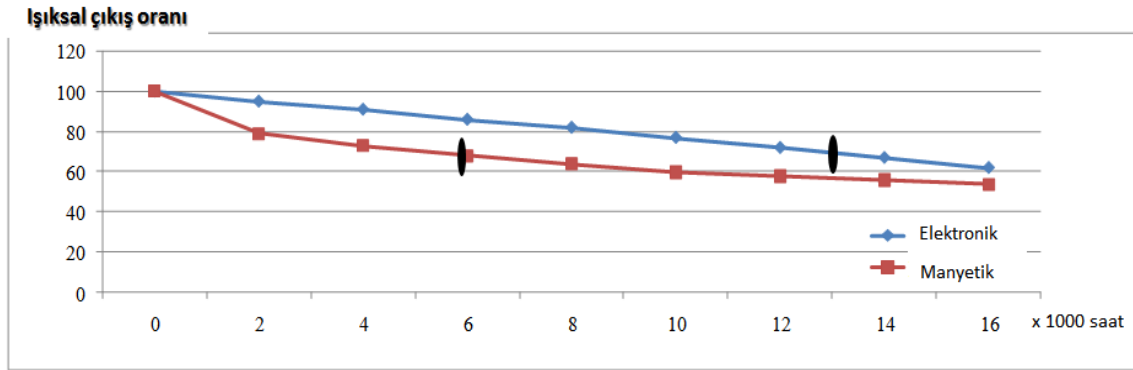
Üretici tarafından tanımlanan ışıksal kararlılık eğilimi, nominal işletme koşulları ve standart yardımcı ekipman (aksi belirtilmedikçe manyetik sistem ile kullanım) yapısı için geçerli olan karakteristiği temsil eder. Dolayısıyla ışıksal kararlılığı değerlendirirken; kullanılan yardımcı bileşenin yapısı, işletme şartları ve bu yönde sapma yapacak tüm etkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.1.2.1 Anahtarlamamanın LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi

Anahtarlama periyodu daha çok floresan sistemler için geçerli bir kriter olup, çoğu üretici tarafından anahtarlamamanın LLMF eğilimi üzerine etkisi çok düşük olduğundan tanımlanmamaktadır. Etkinin çok düşük olması ve birçok üretici tarafından anahtarlama periyodu ve/veya bileşen tipine bağlı LLMF karakteristiklerinin çeşitlendirilmemesi nedeniyle, bu konu üzerine yoğunlaşılması uygun görülümüştür.

3.1.2.2 Yardımcı Bileşen Yapısının LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi

Özellikle metal halide ışık kaynaklarında kullanılan yardımcı ekipmanların yapısı, kaynağın ışıksal kararlılığı üzerine ciddi bir etki oluşturmaktadır. Global bir balast üreticisinin laboratuvarlarında, 250W quartz tüplü metal halide ışık kaynağının elektromanyetik ve elektronik balast devreleriyle gerçekleştirilen gerçek zamanlı testlere ait sonuçlar Şekil 3.8'deki gibidir.



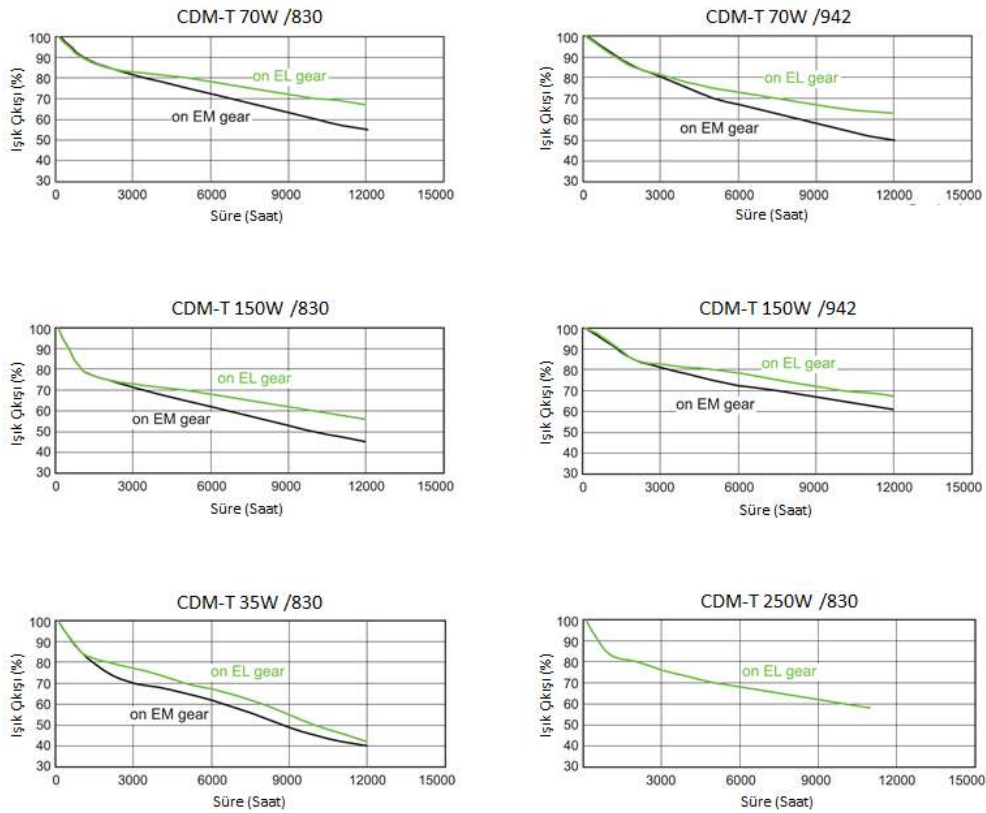
Şekil 3.8 Quartz metal halide ışık kaynağı için gerçek zamanlı saha testi. [42]

Sonuçlar göstermektedir ki; elektronik balast devrelerinin kontrollü ateşleme yapması ve kaynağı düşük frekanslı kare dalga ile çalıştırmasının pozitif etkileri sonucunda, LLMF eğilimlerinde ciddi bir iyileşme söz konusu olmaktadır [42]. Söz konusu saha testinde kullanılan quartz tüplü metal halide ışık kaynağı; elektromanyetik balast kullanımında yaklaşık 6000 saat sonunda %30'luk ışıksal kayba uğrarken, elektronik balast kullanımında bu kayıp daha geç (13.000 saatte) oluşmaktadır. Referans bir değerlendirme adına; 6000 saat için LLF faktörü elektromanyetik sistem için 0,70 iken, elektronik bileşen kullanımı durumunda 0,88'e çıkmaktadır.

Işıksal kararlılık eğilimlerinde görülen farklılıklar bileşen tipinin yanı sıra, aynı ürün grubunun farklı güç ve renk sıcaklığındaki ürünlerinde dahi büyük farklılıklar taşıyabilmektedir. Global bir üreticiye ait seramik metal halide ışık kaynaklarının farklı güç ve renk sıcaklığındaki modellerinin bileşen tipine bağlı LLMF eğilimleri Şekil 3.9 ve Çizelge 3.9'daki gibidir.

Çizelge 3.9 Seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılıkları verileri [16]

LAMBA TİPİ	3000 Saat	6000 Saat	9000 Saat	12000 Saat
CDM-T 35W / 830 (Elektromanyetik)	0,70	0,62	0,49	0,40
CDM-T 35W / 830 (Elektronik)	0,77	0,68	0,55	0,42
CDM-T 70W / 830 (Elektromanyetik)	0,82	0,73	0,64	0,56
CDM-T 70W / 830 (Elektronik)	0,83	0,78	0,73	0,68
CDM-T 70W / 942 (Elektromanyetik)	0,80	0,67	0,58	0,50
CDM-T 70W / 942 (Elektronik)	0,81	0,73	0,67	0,63
CDM-T 150W / 830 (Elektromanyetik)	0,71	0,62	0,53	0,45
CDM-T 150W / 830 (Elektronik)	0,73	0,68	0,62	0,56
CDM-T 150W / 942 (Elektromanyetik)	0,81	0,73	0,67	0,61
CDM-T 150W / 942 (Elektronik)	0,83	0,78	0,72	0,68
CDM-T 250W / 830 (Elektronik)	0,76	0,68	0,62	--
CIE PUB-97 Seramik Metal Halide (50-150W)	0,73	0,68	0,62	0,56



Şekil 3.9 G12 Duyulu seramik metal halide ışık kaynaklarının ışıksal kararlılık verileri [16]

Sonuçlar incelendiğinde; günümüzde kullanılan metal halide ışık kaynaklarının LLMF eğilimlerinin kendi içinde çok değişkenlik gösterebildiği, bu nedenle de üretici verileri dışındaki genellemelerin büyük ölçüde sapmalara neden olacağı görülmektedir.

LED sistemlerde ise bileşen yapısı, daha çok sürme akımının etkisiyle LLMF eğiliminde farklılaşmaya sebebiyet vermektedir. Günümüzde LED çipler, tasarım gereksinimlerine (termal ve optik) bağlı olarak geniş bir akım aralığında sürülebilmektedir. Farklı sürme akımları için gerekli farklı termal tasarım ihtiyaçlarının ötesinde, LED çiplerin LLMF eğilimlerinde de farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenledir ki; LED sistemlerin kullanıldığı armatürlerde kaynağın LLMF eğiliminin tespiti için kullanılan sürücü yapısının, diğer bir deyişle sürme akımının bilinmesi gerekecektir. Global bir üreticiye ait LM80 (Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources) [43] test raporlarına ait sonuçlar Çizelge 3.10'deki gibidir.

Çizelge 3.10 X-Lamp MTG Led için LM80 test raporu [41]

Gövde Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Sürme Akımı	6000 saat sonundaki ortalama ışıksal kararlılığı	6000 saat sonundaki kromatiklik sapması ($\Delta u'v'$)	Rapor edilmiş TM-21 ömürleri
55	55	2000mA (6V) 333mA (36V)	97,2	0.0028	L90(6k) = 25.500 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat
85	85	2000mA (6V) 333mA (36V)	95,5	0.0027	L90(6k) = 15.900 saat L80(6k) = 35.000 saat L70(6k) > 36.300 saat
105	105	2000mA (6V) 333mA (36V)	94,0	0.0022	L90(6k) = 14.300 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat
55	55	3000mA (6V) 500mA (36V)	95,8	0.0024	L90(6k) = 23.500 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat
85	85	3000mA (6V) 500mA (36V)	92,7	0.0021	L90(6k) = 13.200 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat
105	105	3000mA (6V) 500mA (36V)	92,5	0.0019	L90(6k) = 11.800 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat
105	105	4200mA (6V) 700mA (36V)	91,5	0.0020	L90(6k) = 14.000 saat L80(6k) > 36.300 saat L70(6k) > 36.300 saat

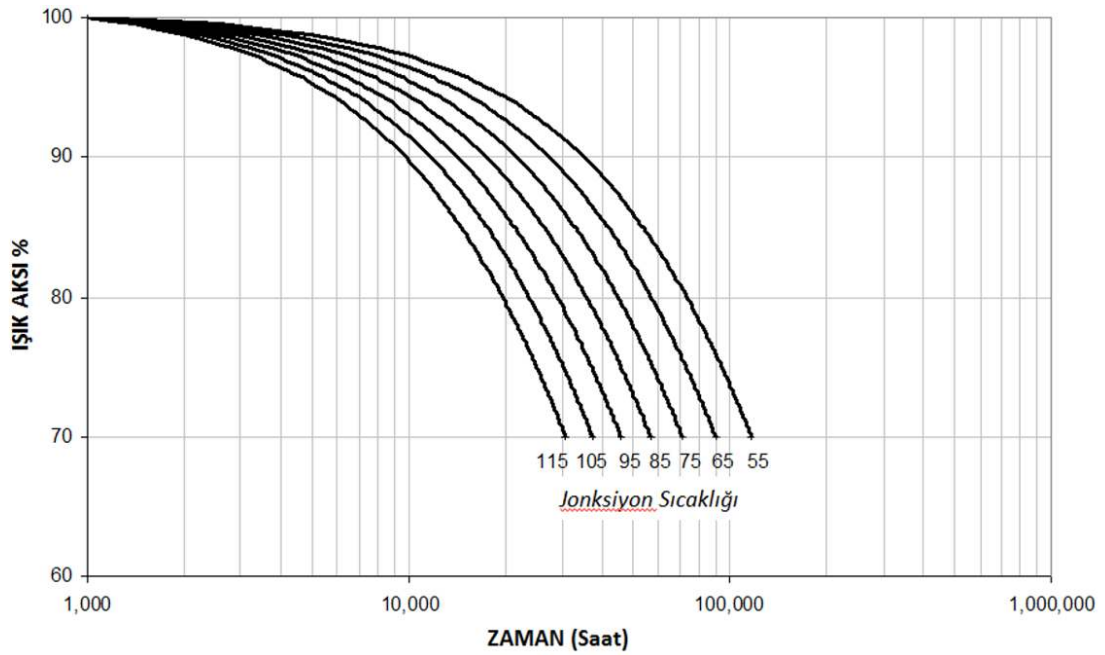
İlgili ürüne ait LM80 test raporuna göre; 105 °C ortam sıcaklığında 6000 saat sonunda görülecek LLMF değeri, 333mA için 94,0, 500mA için 92,5 ve 700mA için 91,5 olarak ölçülmüştür. LED sistemler için sürme akımına bağlı olarak görülecek sapmalar küçümsenmeyecek boyutlarda oluşurken, sıcaklık bu değerlerde değişime sebebiyet verebilmektedir.

3.1.2.3 Sıcaklığın LLMF Eğilimi Üzerine Etkisi

Birçok ışık kaynağı için LLMF ve LSF karakteristikleri geniş bir sıcaklık aralığında sabit kalabilirken, LED sistemlerde ışıksal kararlılık çok büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Dolayısıyla geleneksel sistemler için çoğu zaman etkisiz olan bu durum, günümüzde giderek kullanımı artan LED sistemler için temel parametrelerden biri olmaktadır. Dolayısıyla jonksiyon sıcaklığı ve kullanılan LED çipin özelliği, LLMF eğiliminin tespitindeki temel girdiler olacaktır. Şekil 3.10 ve Çizelge 3.11’de global bir üreticiye ait LED ışık kaynaklarının 700 mA sürme akımı için farklı jonksiyon sıcaklığına bağlı LLMF eğilimleri incelenebilir.

Çizelge 3.11 XR-E LED çipin jonksiyon sıcaklığına bağlı LLMF değerleri [41]

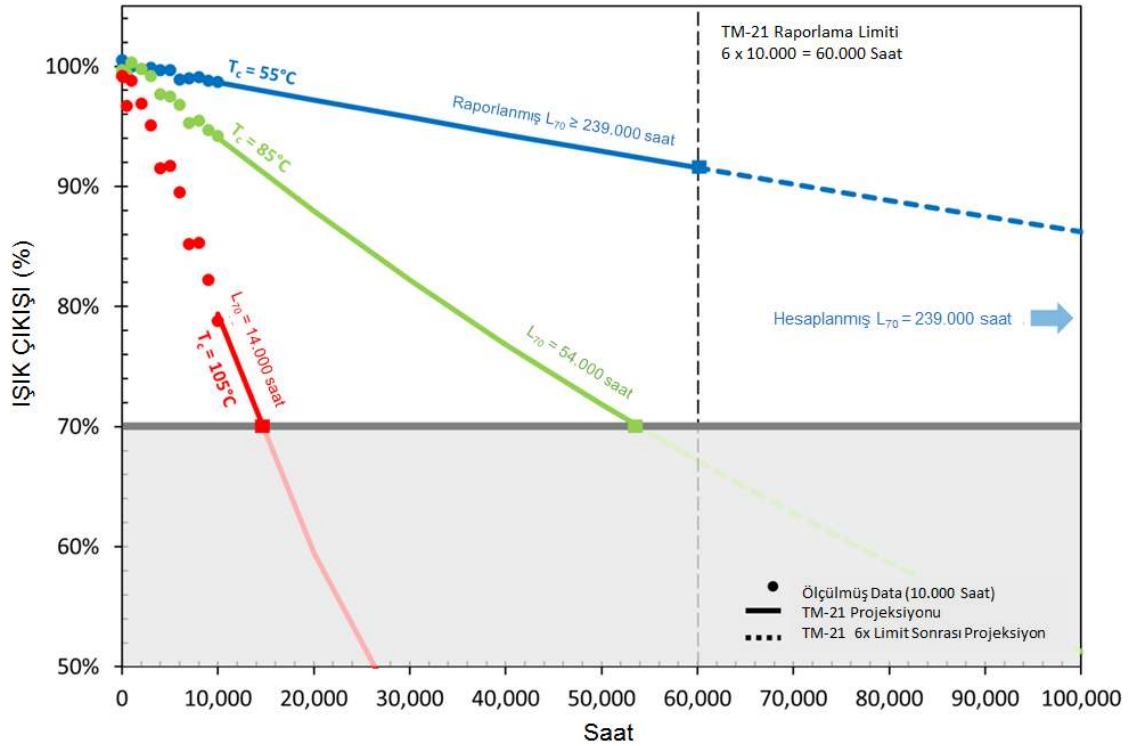
JONKSİYON SICAKLIĞI	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	105°C	115°C
10.000 Saat için Işıksal Kararlılık	0,975	0,965	0,955	0,945	0,930	0,915	0,900
20.000 Saat için Işıksal Kararlılık	0,945	0,925	0,91	0,885	0,860	0,830	0,800



Şekil 3.10 CREE XR-E LED çipin jonksiyon sıcaklığına bağlı LLMF eğilimi [41]

LED sistemlerde elde edilen jonksiyon sıcaklığı, armatürün ve PCB’nin termal tasarımına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Geleneksel sistemlerden farklı olarak LED armatürlerde, ışık kaynağı ve armatür, çoğu durumda bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla aynı çip yapısı kullanılsa da, normal işletme koşullarında jonksiyon noktasında

oluşan ısı değerin bilinmesi doğru bir yaklaşım için önem taşımaktadır. Bir LED çipe ait farklı paket sıcaklıkları için TM-21-11 (Projecting long term lumen maintenance of LED light sources) raporları [44], Şekil 3.11'deki gibidir.



Şekil 3.11 Farklı LED paket sıcaklığı için TM-21 sonuçları [45]

3.1.3 LMF Etkisinin Değerlendirilmesi

Bir armatüre ait LMF değeri armatürün fiziksel yapısı, bakım periyodu ve ortam şartlarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Mevcut yaklaşımlarda LMF değeri, belirli özelliklerine göre gruplanmış armatür tipleri için geçmişte yapılmış çalışmalar doğrultusunda türetilmiştir. CIE'nin 97 nolu yayınında iç aydınlatma armatürleri fiziksel yapılarına göre 6 farklı katagoride ele alınıp, farklı çevre koşullarında zaman ekseninde öngörülen değer düşüm çarpanları tanımlanmıştır. CIE'nin 154 nolu yayını ise, dış aydınlatma armatürlerini, IP sınıflarına göre 3 kategoride değerlendirmiştir.

Esasında her armatür malzeme ve fiziksel özellikleri doğrultusunda kendine has bir LMF eğilimi gösterirken, bu eğilimler arasındaki farklılıklar özellikle zorlu endüstriyel şartlarında veya dış aydınlatma uygulamalarında küçümsenmeyecek mertebelere ulaşabilmektedir. Dolayısıyla, bu noktada yapılan genellemelerin de yeniden ele alınması gerekliliği söz konusudur. Fakat bu konudaki karakterizasyon çalışmaları ne yazık ki ışık

kaynakları kadar ileri durumda değildir. Zira ışık kaynağına ait karakteristik özelliklerin tamamına yakını zaten üretim ve laboratuvar süreçlerinde kontrol edilen tasarım detayları iken, armatür endüstrisi için LMF eğilimlerinin karakterize edilmesi yeni bir konudur.

Günümüzde global üreticiler, geliştirdikleri aydınlatma armatürlerinde kullanmış oldukları materyal ve tasarım özellikleri doğrultusunda kendi LMF eğilimlerini de beyan edebilmektedirler. Global bir üreticinin LED yol aydınlatma armatürleri için beyan ettiği LMF değerleri ile CIE'nin önerdiği LMF değerleri Çizelge 3.12'deki gibidir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, üretici verileri ile CIE kabulleri arasındaki farklılıkların %10 seviyelerine kadar ulaşabildiği görülecektir.

Çizelge 3.12 LED yol aydınlatma armatürü için LMF değerleri

BAKIM PERİYODU (Yıl)	1			2			3			4		
KİRLİLİK DERECESESİ	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
OPTİK BÖLÜM IP DERECESESİ												
IP 5X (Üretici)	0,99	0,96	0,96	0,97	0,92	0,91	0,95	0,88	0,82	0,94	0,85	0,75
IP 5X (CIE)	0,92	0,90	0,89	0,90	0,86	0,84	0,88	0,82	0,76	--	--	--
IP 6X (Üretici)	1	0,98	0,98	0,98	0,95	0,95	0,97	0,93	0,90	0,96	0,92	0,86
IP 6X (CIE)	0,93	0,92	0,91	0,91	0,89	0,88	0,90	0,87	0,83	--	--	--

3.1.4 RSMF Etkisinin Değerlendirilmesi

Bilindiği gibi iç aydınlatma uygulamalarında; çalışma düzlemine gelen ışık akısının bir kısmı doğrudan kaynaktan gelirken, belirli bir kısmı da oda iç yüzeylerinden yansarak çalışma düzlemine ulaşmaktadır. Bu noktada oda iç yüzeylerinin eskime, tozlanma gibi etkiler sebebiyle yansıtma özelliğinin zayıflaması sonucunda dolaylı olarak gelen ışık miktarında düşüş gözlenecektir. RSMF değeri ise tam olarak bu durumu değerlendirmek üzere belirlenmiş bir sabittir.

RSMF değeri kirlilik faktörü, armatürün ışık dağılım karakteristiği ve hacmin yapısına bağlı olarak farklılık taşıyabilmektedir. Bu aşamada fotometrik verileri bilinen bir armatürün, oda indeksine bağlı olarak iç yüzey yansıma oranlarının türetilmesi ve

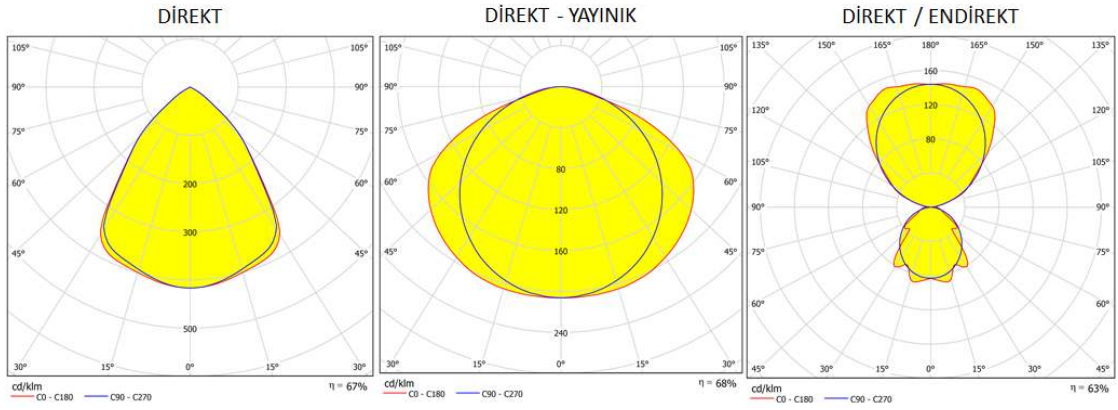
türetilen bu değerden RSMF değerinin elde edilmesi daha sağlıklı olacaktır. Günümüz aydınlatma yazılımları LDT veya IES formatındaki ışık dağılımlarını kullanarak aydınlatma analizlerini gerçekleştirmektedir. Yazılımlar aynı zamanda oda iç yüzeylerinin tüm geometrik yapısını ve yansıtma karakteristiklerini içerdiklerinden, RSMF değerinin aydınlatma analiz yazılımı tarafından elde edilecek veriler üzerinden değerlendirilmesi çok daha sağlıklı olacaktır.

Aydınlatma analiz yazılımları, hesaplama yüzeyine direkt ve dolaylı olarak gelen ışık akısı miktarlarını yüksek hassasiyetle hesaplayabilmektedir. RSMF değerinin etkisi tam olarak dolaylı ışık oranıyla alakalı olduğundan, aydınlatma analiz sürecinde elde edilen direkt ve dolaylı ışık oranları en önemli veri olacaktır.

100 m² ölçülerindeki 2 farklı oda geometrisi üzerinde, Şekil 3.12'deki gibi farklı ışık dağılım karakteristiklerine sahip aydınlatma armatürleri ile simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve Çizelge 3.13'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.13 RSMF etkisini değerlendirmeye yönelik simülasyon sonuçları

HACİM ÖLÇÜLERİ EN x BOY x YÜKSEKLİK (m)	AYDINLATMA TİPİ	ODA YANSITMA ORANLARI %	ÇALIŞMA DÜZLEMİNE YANSIMASIZ GELEN IŞIK ORANI	ÇALIŞMA DÜZLEMİNE İÇ YÜZEYLERDEN YANSIYARAK GELEN IŞIK ORANI
20x5x3	DİREKT	70/50/20	% 85,4	% 14,6
20x5x3	DİREKT-YAYINIK	70/50/20	% 77,5	% 22,5
20x5x3	DİREKT/ENDİREKT	70/50/20	% 38,2	% 61,8
10x10x3	DİREKT	70/50/20	%86	%14
10x10x3	DİREKT-YAYINIK	70/50/20	%80	%20
10x10x3	DİREKT/ENDİREKT	70/50/20	%38,2	% 61,8



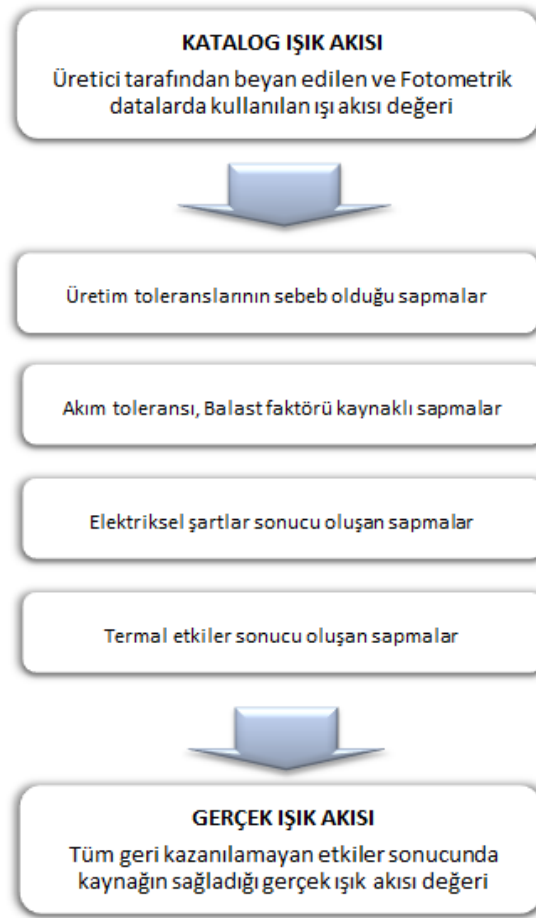
Şekil 3.12 Örnek ışık dağılım karakteristikleri

Sonuçlar göstermektedir ki, doğrudan ve dolaylı olarak düzleme ulaşan ışık miktarında özellikle armatürün ışık dağılım karakteristiği etkili olmaktadır. Bu noktada; kirlilik faktörü bilinen bir ortam için yapılan aydınlatma analiz sonuçlarından doğrudan RSMF değerinin türetilmesi, dolaylı ve doğrudan çalışma düzlemine ulaşan ışık akılarının değerlendirilmesiyle net olarak elde edilebilecektir. Bu nedenle de RSMF değerinin; oda indeksi, 3 farklı yapıyla sınırlandırılmış ışık dağılım özelliği ve yüzey yansıtma çarpanları ile sınırlandırılmış tablolar yerine simülasyon programlarının ilgili çıktılarından türetilmesi çok daha pratik ve sağlıklı olacaktır. Geliştirilen algorithmada şu aşamada RSMF etkisinin hesaplanması için yeni bir yaklaşım yapılmamış olup, bu konuda CIE97:2005 içerisinde tanımlı değerler referans alınmıştır.

3.2 Geri Kazanılamayan Etkilerin Değerlendirilmesi

CIE'nin tanımlamalarında eskime sürecinde geri kazanılamayan etkilerin görülebileceği, fakat bunların çoğunlukla düşük seviyelerde (<%3) olacağı öngörüsüyle değerlendirmeye alınmadığı vurgulanmaktadır. Geri kazanılamayan etmenlerin tamamına yakın bir kısmı zamanla değil, doğrudan sistem kurulumunun başında oluşmaktadır. Bu nedenle bu etmenlerin doğru tespiti, sayısal doğruluk açısından çok daha önemlidir. IESNA'nın yaklaşımları geri kazanılamayan etkilerin hesaplamalara dahil edilecek seviyede olduğunu belirtmesine karşın, hesaplama yaklaşımları konusunda mutlak bir çözüm üretmemektedir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi; bu denli çeşitlendirilmiş parametrelerin hesaplama sürecine dahil edilmesinden, yeni yöntemlerin geliştirilmesinin daha sağlıklı olacağı kesindir. Bunun da ötesinde, geri kazanılamayan

etmenlerin mevcut malzeme çeşitliliği içerisinde nasıl karakterize edileceği ve nasıl değerlendirme sürecine dahil edileceği çözülmesi gereken bir konu başlığıdır.



Şekil 0.13 Beyan edilen ışık akısı ile gerçek değer arasındaki sapma noktaları

Değer düşüm faktörü olarak tanımladığımız geri kazanılamayan etkiler; ışık kaynağı, işletme şartları ve kullanılan yardımcı bileşenlerin etkileri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda değerlendirmeye aldığımız etkiler, aşağıda tanımlanan 5 başlık altında incelenmiş ve etki limitleri tanımlanmıştır:

- Kaynak toleransı,
- Elektriksel tolerans,
- Balast akım toleransı,
- Balast faktörü,
- Termal toleranslar.

Bir ışık kaynağının üretici tarafından beyan edilen katalog ışık akısı değeri ile gerçek ışık akısı değeri arasındaki farklılığa sebep olan çarpanlar Şekil 3.13'deki gibidir.

3.2.1 Kaynak Toleransı

Toleranslar; üretim, tasarım ve uygulama süreçlerinin tamamı için geçerli ve malzemenin doğasında olan bir durumdur. Üretilen her ışık kaynağı kendisine ait fotometrik, radyometrik, fiziksel ve performans karakteristiğini taşıırken, bütün bu tanımlar için tanımlı bir tolerans değeri mevcuttur. Konu, değer düşümünün analizi olduğundan aydınlatma tasarımında kullanılan ışık kaynağının üretim toleransının, yani gerçek ışık akısı değerinin tanımlı katalog değerinden ne ölçüde ve ne doğrultuda sapma gösterdiği büyük önem taşımaktadır. Seri üretim sürecindeki tüm ışık kaynaklarının beyan edilen katalog değerlerinde imal edilmesi teknolojik olarak imkansız olup, malzeme doğası gereği belirli farklar yaşanılması kaçınılmazdır.

Her üretici üretmiş olduğu ürüne ait nominal ışık akısı değerlerini belirtmiş olsa da, en ideal çalışma koşullarında dahi üretim toleransının etkisiyle bu değerlerin elde edilmesi mümkün değildir. Aydınlatma hesaplamaları ve raporlamalarında kullanılan fotometrik dosya formatlarında, ışık kaynağına ait ışık akısı değeri olarak ölçüm sürecinde elde edilen değerler yerine üretici tarafından beyan edilen katalog değerleri kullanılmaktadır. Yani mevcutta kullanmış olduğumuz hesaplama yazılımlarında, en sağlıklı yaklaşım varsıyılarak üreticinin katalog verileri girilir. Özünde doğru bir yaklaşım olsa da üretim toleranslarının göz ardı edilmesi durumunda, ihmal edilemeyecek ölçülerde hata yapılmasına sebep olabilecek bir durum sözkonusudur.

Kimi ışık kaynakları, üretim altyapılarının kararlı olması ve üretim teknolojisi sebebiyle oldukça düşük bir toleransla üretilmektedir. Bazı ışık kaynakları ise, üretim teknolojilerinin karmaşıklığı sebebiyle çok daha geniş bir toleransta üretilmektedir. Tüm bu etmenlerin dışında üretim altyapısı ile üreticinin kalite limitleri ve teknolojisi de bu toleranslarda belirleyici olabilmektedir. Bu kapsamda, farklı ışık kaynakları farklı tolerans aralıklarında salınım yapacaktır. Günümüzde kullanımı yaygınlaşan LED ışık kaynakları ile daha çok gündeme gelen bu konu, esasında tüm ışık kaynakları için de geçerlidir. Genel olarak LED ışık kaynakları için tipik ve minimum ışık akısı ifadeleri tanımlanmaktadır.

Aydınlatma sektörünün yakın geleceği olarak değerlendirilen LED sistemler, özellikle akı toleransı konusunda öncelikli olarak ele alınması gereken ışık kaynaklarının başında gelmektedir. Zira “Bin” ayırımına bağlı olarak, ürünlerin minimum ve tipik ışık akısı değerleri arasında büyük farklılıklar görülebilmektedir. Kullanılan çipin “Bin” yapısına bağlı olarak tipik ışık akısı ile minimum ışık akısı arasındaki fark %20’lerin üzerine çıkabilirken, bu denli bir sapma tolerans olarak değerlendirilemeyecek seviyededir (Çizelge 3.14-3.16).

Çizelge 3.14 LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri [48]

SERİ	MODEL	MINİMUM	TİPİK	SAPMA
LUXEON REBEL	LXM3-PW81	65	73	10,96
LUXEON REBEL	LXM8-PW27	70	80	12,50
LUXEON REBEL	LXM8-PW30	75	85	11,76
LUXEON REBEL	LXM3-PW71	66	77	14,29
LUXEON REBEL	LXML-PW71	50	66	24,24
LUXEON REBEL	LXM3-PW61	67	80	16,25
LUXEON REBEL	LXML-PW51	90	105	14,29
LUXEON REBEL	LXM3-PW51	75	85	11,76
LUXEON REBEL	LXML-PW31	90	105	14,29
LUXEON REBEL	LXML-PW21	90	105	14,29
LUXEON REBEL	LXML-PW11	90	105	14,29
LUXEON REBEL	LXML-PWC1-0090	90	95	5,26
LUXEON REBEL	LXML-PWC1-0100	100	105	4,76
LUXEON REBEL	LXML-PWN1-0090	90	95	5,26
LUXEON REBEL	LXML-PWN1-0100	100	105	4,76
LUXEON REBEL	LXML-PWW1-0050	50	55	9,09
LUXEON REBEL	LXML-PWW1-0060	60	65	7,69
LUXEON REBEL ES	LXLW-PWC2	200	225	11,11
LUXEON REBEL ES	LXLW-PWN2	200	220	9,09
LUXEON C	LXCL-EYW4	60	85	29,41

Çizelge 3.15 LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri [49]

BİN	MINİMUM	TİPİK	SAPMA
S1	51,2	58,8	12,93
S2	58,8	66,5	11,58
T1	66,5	70	5,00
T2	70	80	12,50
T3	80	86,5	7,51
U1	86,5	90	3,89
U2	90	100	10,00
U3	100	112,5	11,11
V1	112,5	129,4	13,06
V2	129,4	146,2	11,49
W1	146,2	168,1	13,03
W2	168,1	190	11,53
X1	190	218,6	13,08

Çizelge 3.16 LED ışık kaynakları için minimum ve tipik ışık akısı değerleri [14]

<i>BIN</i>	<i>BIN</i>	<i>MİNİMUM</i>	<i>TİPİK</i>	<i>SAPMA</i>
VS-PowerEmitter –XR-E-W	P4	80,6	87,4	7,78
VS-PowerEmitter –XR-E-W	Q2	87,4	93,9	6,92
VS-PowerEmitter –XR-E-W	Q3	93,9	100	6,10
VS-PowerEmitter –XR-E-W	Q4	100	107	6,54
VS-PowerEmitter –XR-E-W	Q5	107	114	6,14
VS-PowerEmitter –XR-E-W	P2	67,2	73,9	9,07
VS-PowerEmitter –XR-E-W	P3	73,9	80,6	8,31
VS-PowerEmitter –XR-E-W	P4	80,6	87,4	7,78

Geleneksel ışık kaynaklarındaki sapmalar, kullanılan ışık kaynağının tipi ve teknolojisine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak HID sistemler için bu sapmanın çok daha değişken olduğu söylenebilir. Bu konuda çok geniş kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştirmek adına, 2010-2012 yılları arasında alımı yapılan yüksek basınçlı sodyum buharlı ışık kaynaklarının kabul testlerinden bazılarına ilişkin test sonuçlarının özeti Çizelge 3.17’deki gibidir.

Çizelge 3.17 Yüksek basınçlı sodyum lambaların toplam ışık akısı testleri [50]

TEST GRUBU	İŞIK KAYNAĞI TİPİ	ÖRNEK ADEDİ	ORTALAMA SAPMA
1	50 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-6,36
2	50 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-6,34
3	70 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	6	+0,25
4	100 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-0,45
5	250 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	8	-7,88
6	100 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-3,70
7	400 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	6	-7,03
8	250 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-1,38
9	250 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	6	-4,70
10	250 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-3,18
11	250 W Dıştan Ateşlemeli Y.B. Sodyum	14	-8,33

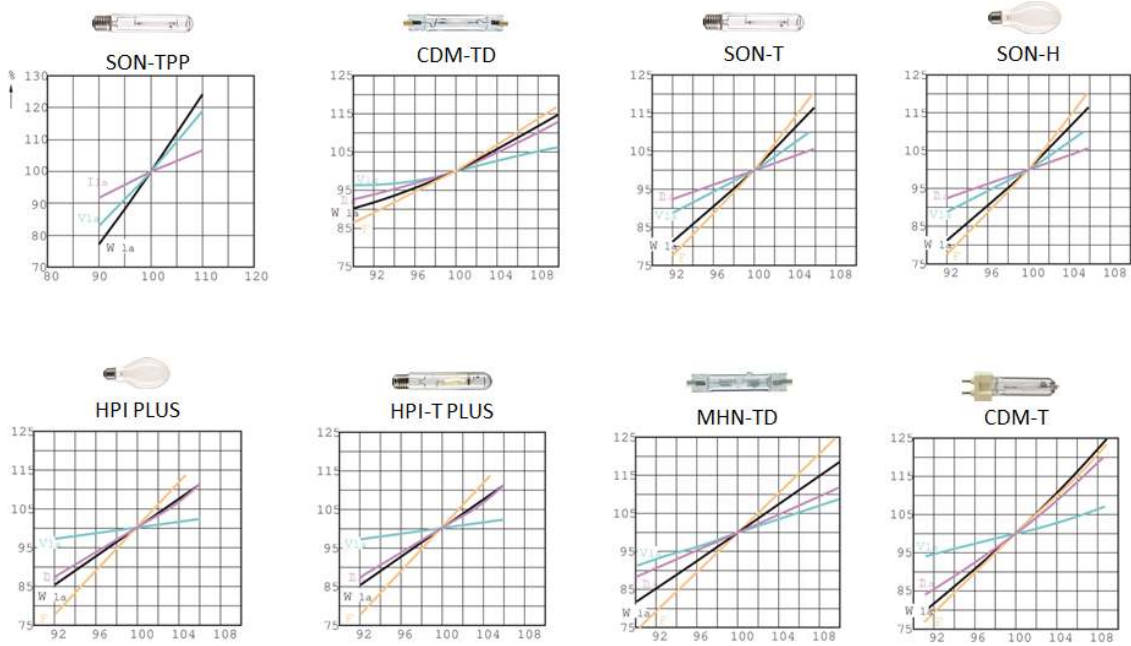
Türkiye’de dış aydınlatma tesislerinde kullanılmak üzere alımı yapılan yüzbinlerce dıştan ateşlemeli sodyum buharlı lambayı kapsayan kabul testlerinde, büyük çoğunlukla negatif yönde ölçülen tolerans değerleri 124 ışık kaynağı için ortalama -%4,42 olarak hesaplanmıştır.

3.2.2 Elektriksel Toleranslar

Işık kaynakları, optimum çıkışlarını ancak nominal elektriksel koşullar sağlandığı sürece yerine getirebilmektedir. Dolayısıyla balastın performans üzerine etkilerinin dışında,

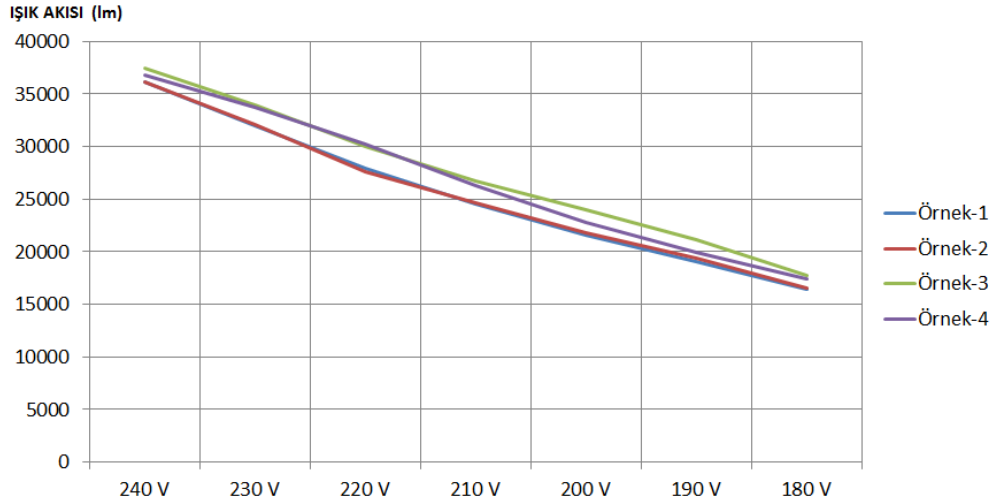
nominal elektriksel şartların da sistem performansı üzerine doğrudan etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Sıfır toleranslı bir ürün de üretilmiş olsa, bu tolerans değeri ancak nominal şebeke koşulları için geçerli olacaktır. Özellikle elektromanyetik sistemlerde; şebeke tarafındaki en küçük bir değişim dahi doğrudan lamba akımını ve gerilimini etkileyeceğinden, kaynağın ışık çıkışında ciddi farklılıkların görülmesi kaçınılmaz olacaktır [13,16,26,27].

Her ışık kaynağı, besleme geriliminde görülecek değişimlere karşı farklı bir karakteristik gösterebilmektedir. Bu aşamada, özellikle elektromanyetik sistemler için görülecek salınımlar çok daha ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Yüksek çoğunlukta elektromanyetik balast devrelerinin kullanıldığı HID grubu ışık kaynaklarından bazı modellerin, giriş gerilimine bağlı karakteristik değişimleri Şekil 3.14'deki gibidir.



Şekil 3.14 Farklı HID ışık kaynaklarının giriş gerilimine bağlı karakteristik eğilimleri [16]

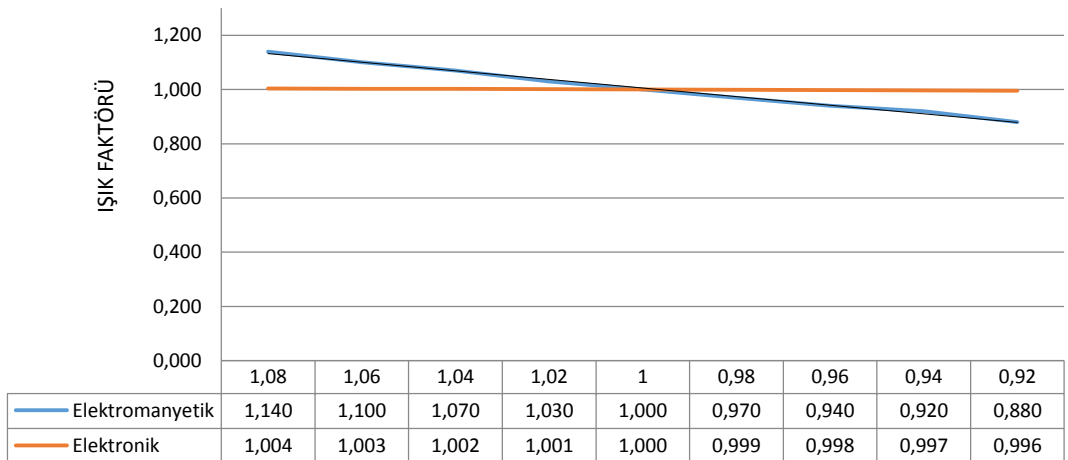
Deneyisel amaçlı olarak tez dönemi başında gerçek zamanlı yaşlandırmaya tabi tutulan yüksek basınçlı sodyum buharlı ışık kaynakları, ilk 100 saatlik yaşlandırmadan sonra elektriksel ve fotometrik teste tabi tutulmuştur. Bu noktada değerlendirmeye alınan 4 Adet 250W Philips SON-TPP yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın ışık akısının gerilime bağlı değişimi Şekil 3.15 de verilmiştir (Referans gerilim: 230V).



Şekil 3.15 Philips SON-TTP lambanın gerilime bağlı ışık akısı değişimi

Esasında ışık kaynağının gerilim toleransı, kaynaktan ziyade kullanılan balast devresine bağlı olarak duyarlılık gösterir. Zira elektromanyetik sistemler; şebeke geriliminde görülen değişimleri doğrudan kaynağa yansıttığından görülecek karakteristik sapmalar çok büyük ölçüde kaynağın özelliğine bağlı iken, sabit ışık çıkışı özelliğine sahip elektronik balast devreleri için bu durum çok daha farklıdır. Bu tip elektronik balast devreleri belirli bir aralıkta gerilimden bağımsız olarak kararlı ışık çıkışı sağlayabildiklerinden, gerilime bağlı karakteristik değişim çok daha sınırlı olmaktadır. Bu konuda iç aydınlatmada yaygın kullanımı olan 18W/840 T8 floresan ışık kaynağının gerilime bağlı ışık çıkışı değerleri, elektromanyetik ve elektronik balast devreleri için ayrı ayrı test edilmiş olup sonuçlar, Şekil 3.16 ve Çizelge 3.18'den incelenebilir.

ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİK



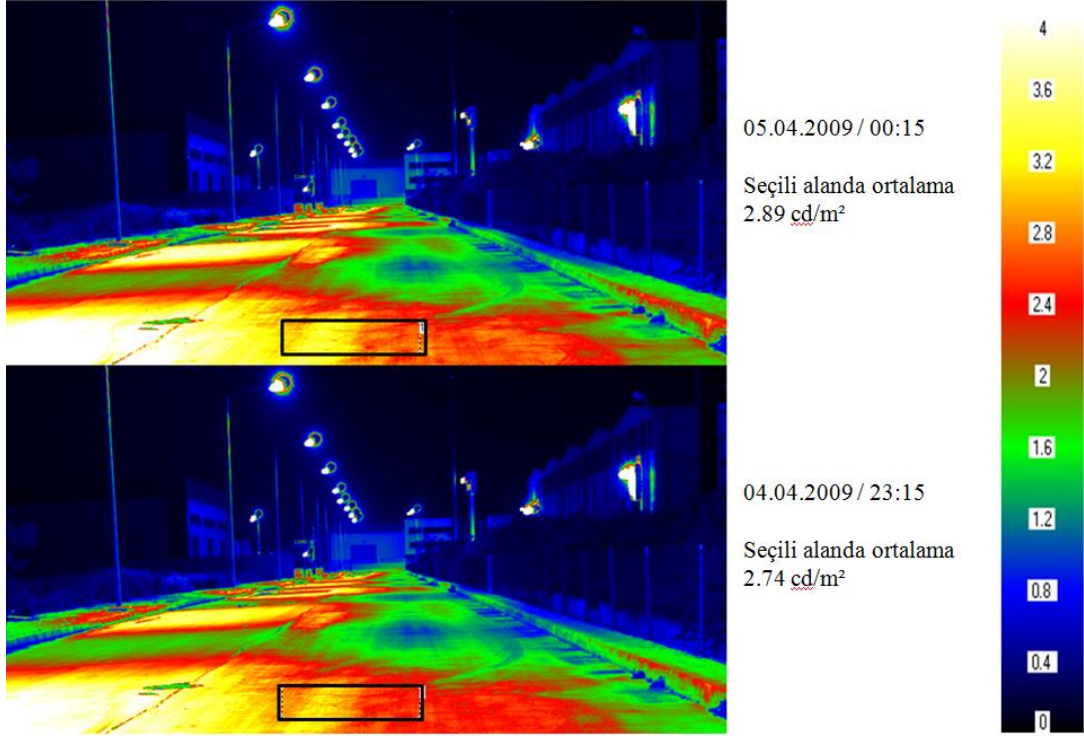
Şekil 3.16 18W T8 ışık kaynağının gerilime bağlı ışık akısı değişimi

Çizelge 3.18 18W T8 ışık kaynağının gerilime bağlı ışık akısı değişimi

	ELEKTROMANYETİK BALAST <i>TRIDONIC EC18 C501K</i>		ELEKTRONİK BALAST <i>OSRAM QUICKTRONIC QTP8 3x18 4x18</i>	
	İŞIK AKISI	SAPMA	İŞIK AKISI	SAPMA
240V	1349,88	+ % 3,85	1323,04	+ % 0,16
230V (Nominal)	1299,82	--	1321,25	--
220V	1237,68	- % 5,02	1319,79	- % 0,11
210V	1181,49	- % 9,10	1319,60	- % 0,12
200V	1128,06	- % 13,21	1318,20	- % 0,23
190V	1068,57	- % 17,79	1317,95	- % 0,24

Nominal değerlerde görülen sapmalar önemsizmiş gibi gözükse de, elektromanyetik balast çözümlerinin kullanıldığı birçok uygulamada sonuçlar düşünüldenden çok daha etkin olabilmektedir. Birçok uygulama noktası için ideal gerilim seviyesi her noktada erişilebilir bir değer olamadığı gibi, %5'lik sapmalar dahi birçok ışık kaynağında %10'a varan değer düşümü anlamına gelebilmektedir.

2007 yılında İzmir'de bir organize sanayi bölgesinin yeni parsellerinde yaptığımız saha ölçümleri, şebeke gerilimine bağlı olarak ne denli bir ışıksal çıkış farklılığı olabileceğinin incelenebilmesi adına iyi bir örnek olacaktır. Şekil 3.17'de sonuçları gösterilen ilgili saha testinde belirli bir yol kesiti, birer saat arayla ölçülerek sonuçlar kayıt edilmiştir. Bu doğrultuda ölçümlerin yapıldığı bir saatlik zaman dilimi içerisinde sıcaklık, nem ve rüzgar şiddetinde kayda değer değişimler görülmemesine karşın, ışık çıkışında ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan zaman diliminde tüm koşullar sabit olmasına karşın, görülen değişimlerin temel kaynağı şebeke gerilimindeki dalgalanmalardır. Saat 12 itibariyle yük atan fabrikalar nedeniyle sistem uç geriliminde +%2 fark görülmüştür.



Şekil 3.17 Örnek bir uygulamaya ait saha ölçüm sonuçları [51]

Sonuç olarak tüm ışık kaynakları, nominal elektriksel değerlerdeki değişimlere karşı refleks gösterebilmektedir. Bu noktada değişen, her ne kadar ışık kaynağının ışıksal ve elektriksel değerleri de olsa, bunu belirleyen ve/veya sınırlayan yardımcı elektriksel devre elemanının yapısı olmaktadır.

3.2.3 Akım Toleransı

Bilindiği üzere deşarj lambaları, negatif direnç karakteristikleri sebebiyle ancak bir durultucu devre (balast) ile birlikte çalıştırılabilmektedir. Bu doğrultuda balast olarak tanımlanan devre elemanı basit bir elektromanyetik yapıda olabildiği gibi, üzerinde birçok fonksiyonu barındıran çok gelişmiş elektronik sistemlerden de meydana gelebilmektedir. Akım toleransı olarak ele alınan etki, ağırlıklı olarak elektromanyetik sistemler için geçerlidir. Elektronik sistemler için değerlendirmeye alınan balast faktörü (BF) tanımından farklı olan bu etki, tamamen üretim toleransları sonucu oluşmaktadır.

Balastın genel çalışma fonksiyonlarının ötesinde performans üzerine etkisi de oldukça fazladır. Işık kaynağı optimum ışık çıkışına ancak ideal akım ve gerilim değerleri altında ulaşabilmektedir. HID-Elektromanyetik balast devrelerinin akım tolerans değerleri EN 60923 standartlarının ilgili maddelerinde tanımlandığı üzere %10 ile sınırlandırılmıştır

[52]. Dolayısıyla standartlara göre üretilmiş bir ürünün akım toleransları %10'lara ulaşabilmektedir. Bazı üreticiler ise kendi kalite limitleri doğrultusunda bu toleransları %5 - %1,5 gibi limitlerde sınırlandırabilmektedir [13,14].

1A nominal akıma sahip 70W yüksek basınçlı ışık kaynağı için üretilecek bir elektromanyetik balast, standartların limitleri doğrultusunda 0,9 – 1,1 A aralığında imal edilmelidir. Genel olarak toleranslar her iki yön için tanımlansa da; elektromanyetik balast üretimi söz konusu olduğunda bu toleransın, teknik kolaylık ve ekonomik kazanımlar nedeniyle eksi yönde olması kaçınılmazdır. Tezin deneysel çalışmaları içerisinde, yerli ve yabancı üreticilerin ürünleri kullanılarak balast akım toleranslarının tespitine yönelik testler gerçekleştirilmiştir.

Bir ışık kaynağının nominal akım değeri yerine 1,1 değerinde bir akımla çalıştırılması, belirli ölçüde yüksek ışık akısı üretilmesine karşılık ışık kaynağının ömrünün belirli ölçülerde azalmasına sebep olacaktır. Bunun yanısıra balast açısından değerlendirildiğinde kesit ölçüleri arttırılmadığı sürece, kayıp değerlerinin de I^2R (%21) oranında artmasıyla sonuçlanacaktır. Üretici açısından değerlendirildiğinde, bu durumun teknik etkilerinden ziyade ekonomik etkileri daha büyük önem taşımaktadır. Birçok durumda balastlara ilişkin kayıplar sınırlandırılmaktadır. Daha yüksek akım daha büyük kayıp anlamına geleceğinden, birçok durumda balast içerisinde kullanılan bakır kesitinin büyümesi ve dolayısıyla üretim maliyetlerinin artmasıyla üreticinin rekabet şansının azalmasına sebep olacaktır. Benzer şekilde balastlarla ilgili olarak belirlenen ısı artışı oranlarının (dT) sağlanması konusunda da sıkıntı oluşturabilmektedir.

Negatif toleransta üretim ise, ekonomik ve üretim avantajları sebebiyle tercih edilen bir yaklaşımdır. Işık kaynağı açısından nominalden %10 daha düşük bir akım, belirli ölçüde daha düşük ışıksal çıkış anlamına gelecektir. Bunun yanısıra, birçok durumda ışıksal kararlılık ve lamba ömrü üzerine olumsuz etki yapabilecektir.

Balast ve üretici açısından ise sonuçlar pozitif yönde olacaktır. Lamba nominal akım değerine göre %10 daha düşük akımdaki (0,9 değerindeki) bir balast için kayıp değerleri, iletken kesitinin aynı olması durumunda %19 daha düşük olacaktır. Bu durum kayıp sınırlarının sağlanması açısından oldukça uygun olmaktadır. Bu durumda üretici balast kayıp limitlerinde kalıcak ölçüde kesiti küçülterek ekonomik avantaj sağlayabilmektedir. Benzer şekilde düşük balast akımı, ısı artışı (dT) değerlerinin sağlanması konusunda

avantaj sunarak üreticinin limitleri aşmadan kesiti küçültmesi yönünde bir avantaj sunabilecektir. Sonuç olarak üretici açısından ekonomik karlılık birincil öncelik olduğundan, elektromanyetik balastlar için akım toleransı büyük ölçüde negatif yönde tercih edilmektedir.

Büyük ve belirli bir standart kalitesini yakalamış üreticiler; akım toleransının sistem performansı üzerine etkilerinin bilindiği gerçeğiyle, standardın tanımladığı sınırların ötesinde negatif yönde %5 - %1,5 aralığında üretim yapmaktadır. Standart dahilinde üretilen yerli ürünler için bir genelleme yapılacak olursa, negatif yönde %8 seviyelerinde bir tolerans değeri söz konusudur. Ne yazık ki pazarda kullanılan birçok ürün için akım toleransının negatif yönde %10-20 arasında değiştiği ve hatta standart dışı üretimlerde %30'ları aştığı görülmüştür.

Yakın dönemde kamu ihalelerinde yüksek adetlerde alımı yapılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için üretilmiş bakır iletkenli elektromanyetik balastlar test edilerek bu konudaki eğilimler gözlenmiştir. Bu testler kapsamında 250W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için üretilmiş, 3A nominal akım değerindeki elektromanyetik balastlar incelenmiştir. Deneylerde A, B, C ve D olarak tanımlanan 4 farklı üreticiye ait toplam 5 farklı model test edilmiştir. Testler piyasadan tedarik edilen yerli ve ithal ürünler üzerinden gerçekleştirilirken sonuçlar, Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19 250W HPS lamba balastı için farklı üreticilere ait akım değerleri

ÖRNEK	A1	A2	B	C	D
1	2,77 A	2,71 A	2,85 A	2,51 A	2,85 A
2	2,75 A	2,68 A	2,88 A	2,43 A	2,88 A
3	2,85 A	2,72 A	2,80 A	2,44 A	2,83 A
4	2,89 A	2,65 A	2,78 A	2,60 A	2,84 A
5	2,80 A	2,74 A	2,83 A	2,56 A	2,87 A
6	2,75 A	2,71 A	2,75 A	2,40 A	2,82 A
7	2,81 A	2,73 A	2,76 A	2,45 A	2,89 A
8	2,76 A	2,73 A	2,84 A	2,50 A	2,85 A
9	2,74 A	2,77 A	2,85 A	2,41 A	2,84 A
10	2,79 A	2,68 A	2,86 A	2,48 A	2,84 A
ORTALAMA AKIM	2,79 A	2,71 A	2,82 A	2,48 A	2,85 A
ORTALAMA SAPMA	% 6,96	%9,66	%6,00	%17,16	%4,83

3.2.4 Balast Faktörü (BF)

Elektronik balast devreleri, sabit çıkış özellikleri sayesinde ışık kaynağı için gerekli nominal koşulları çok geniş bir aralıkta sağlayabilmektedir. Bu sayede, şebeke gerilimindeki farklılıklara ve üretim sürecindeki akım toleransı değerlerine bağlı sapma kavramları bu balast devreleri için çok sınırlı olduğundan etkisiz olarak kabul edilmektedir. Fakat günümüz malzeme çeşitliliği, üretim teknolojileri, sürme teknikleri ve en önemlisi çoklu lamba çalıştırabilme özellikleri nedeniyle elektronik balastlar için balast faktörü “Ballast Factor” veya “Luminous Factor” tanımlamasının yapılması gerekliliğini oluşturmuştur [13], [14], [21].

Her ne kadar elektromanyetik sistemler için karşılaşılan bir durum olmasa da çoklu lamba çalıştırma özelliği, bazı düşük güçlü floresan sistemler için kullanılan elektromanyetik balastlar için de geçerlidir. Bu kapsamda sabit bir akım sınırlayıcı olan elektromanyetik balast devresi, her lamba için farklı sonuçlar elde edilmesine sebebiyet verebilmektedir.

Yapılan değerlendirmeler göstermektedir ki, sektörde kullanılmakta olan elektronik balast devreleri için farklı BF değerleri söz konusu olabilmektedir. Sektördeki çeşitliliğin üretici kısmında maksimum stok çeşitliliğiyle çözümlendirilebilmesi için, günümüzde elektronik balast devreleri birden farklı lamba tipi ve geniş bir güç aralığında çözüm sağlayacak şekilde de üretilmektedir. Özellikle çoklu lamba çalıştırabilme (Multiwatt) özelliği olan balast devreleri, ışık kaynaklarının nominal ışık akıları üzerine doğrudan etkiyebilmektedir.

Çizelge 3.20 Multiwatt özellikli bir elektronik balast için BF değerleri

ÜRETİCİ MODEL	GÜÇ	KAYNAK TİPİ	REFERANS BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER (lm)	ÖRNEK BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER(lm)	BALAST FAKTÖRÜ
ELXc 213.870	9W	TC-SEL	580	597	102,9
	2x9W	TC-SEL	1165 (580+585)	1199	102,9
	10W	TC-DEL	583	578	99,2
	2x10W	TC-DEL	1168 (583+585)	1154	98,8
	11W	TC-SEL	858	945	110,1
	2x11W	TC-SEL	1720 (858+862)	1997	116,1
	13W	TC-DEL	863	888	102,9
	2x13W	TC-DEL	1728 (863+865)	1916	110,9

Çizelge 3.21 2 Adet 18W gücünde TC-L lambanın farklı balastlarla elde edilen ışık akısı değerleri

	GÜÇ	KAYNAK TİPİ	REFERANS BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER (lm)	ÖRNEK BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER(lm)	BALAST FAKTÖRÜ
ELXc 240.863	2x18 W	TC-L	(1142 +1148) 2250	2369	105,3
ELXd 218.719	2x18 W	TC-L	(1142 +1148) 2250	2251	100,0
ELXd 218.616	2x18 W	TC-L	(1142 +1148) 2250	2253	100,0
ELXc 242.837	2x18 W	TC-L	(1142 +1148) 2250	2346	104,3
ELXc 142.872	2x18 W	TC-L	(1142 +1148) 2250	2205	98,0

Çizelge 3.22 2 Adet 18W gücünde T8 lambanın farklı balastlarla elde edilen ışık akısı değerleri

	GÜÇ	KAYNAK TİPİ	REFERANS BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER (lm)	ÖRNEK BALASTLA ÖLÇÜLEN DEĞER(lm)	BALAST FAKTÖRÜ
ELXc 236.202	2x18 W	T8	(1293 +1300) 2593	2704	104,3
ELXc 236.208	2x18 W	T8	(1293 +1300) 2593	2748	106,0
ELXc 136.217	2x18 W	T8	(1293 +1300) 2593	2634	101,6
ELXd 218.719	2x18 W	T8	(1293 +1300) 2593	2592	100,0

BF değeri günümüz endüstrisinde temel bir değişkendir. Bu doğrultuda Avrupa pazarındaki bazı ürünlere ait BF değerleri Çizelge 3.20 – 3.22’deki gibidir.

BF değeriHID sistemlerde kullanılan elektronik balast devreleri için de geçerli bir tanımdır. Buna ek olarak farklı tipteki HID lambaları çalıştırma özelliği olan balastlarda,

BF faktörü lamba tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Dolayısıyla lamba balast kombinasyonu ve BF faktörü için daha derin bir değerlendirme yapılması söz konusu olacaktır.

BF etkisinin bakım katsayısı üzerine etkisi, gerçek uygulamalarda şu şekilde gerçekleşmektedir. Bilindiği üzere üreticiler armatürlerin gonyofotometrik ölçümlerini, genel olarak kullandıkları lamba balast kombinasyonuna göre gerçekleştirirler. Yapılan bu ölçümler, ürünlerde temel bir optik veya termal tasarım değişikliği olmadığı sürece tekrarlanmamaktadır. Küre ve gonyofotometre ölçümlerinde verimin doğru hesaplanması için aynı balast devresi kullanıldığından, BF değeri armatürün optik verimliliği üzerine doğrudan etkimemektedir. Fakat bu durum, net ışık akısı miktarı üzerine doğrudan ve %15'lere varan bir farkla etki edebilmektedir. Bu konuyu değerlendirebilmek için termal etkilerin minimize edildiği, tamamen açık 1x28W gücündeki bir bant tipi aydınlatma armatürü, 2 farklı BF değerine sahip balast ile test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3.23'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.23 Armatür performansının BF değerine bağlı değişimi [53]

	KATALOG DEĞERİ	GONYOFOTOMETRİK ÖLÇÜM	KÜRE ÖLÇÜMÜ	VERİM
ATS 1X28W BF:0,98	2600	2510	2698	%93
ATS 1X28W BF:1,05	2600	2689	2891	%93

Birinci ve ikinci örnekte ölçülen ürünlerin verimleri aynı olsa da, net ışık akıları arasında %7,15'lik bir fark söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla kullanılan armatürün içerisindeki balastın BF değerinin, ölçüm yapılan üründen farklı olması durumu için mutlaka bir düzeltme faktörünün uygulanması gerekecektir.

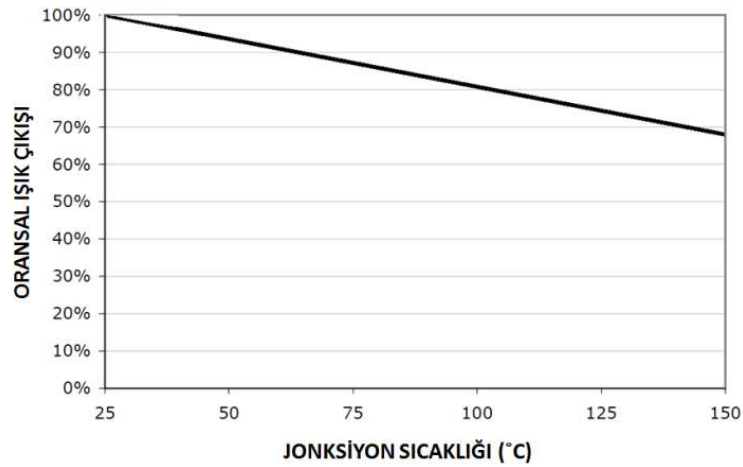
Bu etkinin hesaplamalarda değer düşümü olarak değerlendirilebilmesi için, LDT dosya formatında ölçüm kriterleri içerisine BF değerinin de eklenmesi yeterli olacaktır. Üretim ve/veya tasarım süreçlerinde görülebilecek malzeme farklılıkları durumunda, belirli bir değer düşüm çarpanı uygulanması bu etkileri ortadan kaldıracabilecektir.

3.2.5 Termal Toleranslar

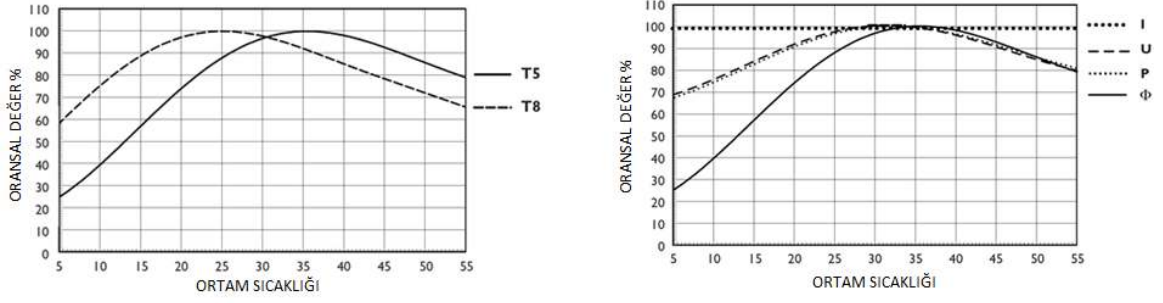
Işık kaynaklarına ait ışıksal güç değerleri nominal sıcaklık değerleri için geçerli olup sıcaklık farklılıkları, nominal ışık akılarında ciddi farklılıklar görülmesine sebep olabilmektedir. Elbette ki tüm ışık kaynakları aynı hassasiyette değildir. Birçok yüksek basınçlı ışık kaynağı, belirli sınırlar içerisindeki sıcaklık değişimlerine karşı neredeyse kararlı bir ışık çıkışı sağlayabilmektedir. Günümüzün en popüler ışık kaynakları olan floresan ve LED sistemler, çok ciddi oranda ısıl etkileşimi olan teknolojilerdir. Dolayısıyla bu ışık kaynaklarının performansları, çok ciddi oranda sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu kapsamda sıcaklık-ışık akısı değerlendirmelerine gerek tasarım gerekse hesaplama süreçlerinde gerekli önem gösterilmelidir.

LED sistemlerde sıcaklık, nominal çıkış performansının ötesinde yarı iletken sistemlerin ömrü konusunda da çok ciddi bir etki oluşturmaktadır. LED armatürlerin tasarım sıcaklıklarından farklı ortam sıcaklıklarında çalıştırılması durumunda, jonksiyon sıcaklığındaki değişimin sonucu olarak ışıksal çıkışta farklılıklar görülmesi kaçınılmazdır. Global bir LED çip üreticisinin XR-E model LED ışık kaynağının jonksiyon sıcaklığına bağlı oransal ışık çıkışı eğilimi Şekil 3.18'deki gibidir.

Bu kısımda, sıcaklığın sadece nominal ışık çıkışı üzerinden oluşturduğu değer düşümü etkileri incelenmiştir. Sıcaklığın özellikle SSL ışık kaynaklarında performansın ötesinde, LLD ve LSF faktörleri üzerine ne derece etkili olabildiği üzerine değerlendirmeler daha önceki kısımlarda irdelenmiştir.



Şekil 3.18 LED için jonksiyon sıcaklığına bağlı ışıksal çıkış [41]



Şekil 3.19 T5 ışık kaynağının sıcaklığa bağlı performans değişimi [16]

Günümüzün modern altyapılarında en yaygın kullanılan T5 floresan sistemler termal açıdan en duyarlı ışık kaynaklarının başında gelmektedir. Hem düşük hem yüksek ortam sıcaklıkları bu ışık kaynaklarının termal performansı üzerine ciddi etki yaratabilmektedir. Global bir üreticiye ait lineer T5 ve T8 floresan ışık kaynaklarının termal karakteristiği Şekil 3.19 ve Çizelge 3.24'deki gibidir.

Çizelge 3.24 T5 ve T8 ışık kaynaklarının sıcaklığa bağlı performans değişimi [16]

ORTAM SICAKLIĞI	IŞIK AKISI DEĞİŞİMİ		25C de TANIMLI KATALOG DEĞERİ DEĞİŞİMİ	
	T8	T5	T8	T5
5	%58	%26	%58	%29
10	%75	%39	%75	%44
15	%88	%57	%88	%65
20	%96	%74	%96	%84
25	%100	%88	%100	%100
30	%97	%96	%97	%110
35	%93	%100	%93	%105
40	%85	%97	%85	%113
45	%78	%93	%78	%105
50	%72	%85	%72	%96
55	%66	%79	%66	%90

3.2.5.1 Floresan Sistemlerde Termal Karakteristiğın Armatür Verimi Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

SSL çözümlerinin günümüzde artan popülaritesi ve yüksek teknolojik gelişim hızına rağmen, floresan ışık kaynakları genel aydınlatma uygulamalarında halen en yaygın kullanıma sahip ışık kaynağı grubudur. Her ne kadar SSL grubundaki gelişimle kıyaslanamayacak ölçüde de olsa, gerek ışık kaynağı gerekse yardımcı bileşenlerde

performans artışı ve teknik gelişimler görülmektedir. Güncel olarak 114 lm/W değerlerine ulaşan kaynak verimleri, oldukça iyi olan ışıksal kararlılıkları, göreceli olarak yüksek ömürlü olmaları, düşük erken arıza oranları, yüksek CRI'da ve farklı spektral özellikte ışık çıkışı sağlamaları ve belki de en önemlisi standartlaşmış ve ekonomik bir alternatif olmaları nedeniyle hem genel hem profesyonel uygulamalarda kullanılmaya devam etmektedir. Floresan ışık kaynakları ve beraberinde kullanılan yardımcı bileşenlerde görülen teknolojik gelişimler doğrultusunda, hem performans hem de servis ömürlerinde ciddi gelişimler görülmüştür. Dolayısıyla floresan ışık kaynakları, genel aydınlatmanın ötesinde endüstriyel aydınlatma uygulamalarında da halen yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel bir armatür tasarımında elektriksel ve optik tasarım kadar fiziksel tasarım da önemlidir. Zira endüstriyel işletmelerdeki olumsuz çevre şartlarına karşı performans sürekliliğinin sağlanabilmesi için, armatürlerin yüksek IP sınıfında olması gerekmektedir. Fakat bu durum; koruma sınıfı yüksek armatürlerdeki iç ortam sıcaklıklarının, düşük IP'li geleneksel aydınlatma armatürlerine kıyasla çok daha yüksek değerlerde olmasına sebebiyet vermektedir. Floresan ışık kaynaklarının en temel eksikliği olan bu hususun tasarım süreçlerinde değerlendirmeye alınmaması durumunda ciddi performans kayıplarının görülmesi kaçınılmazdır.

Endüstride kullanılan optik tasarım yazılımları, kullanılan ışık kaynaklarının ve reflektör veya refraktör amaçlı kullanılacak tüm malzemelerin fotometrik özelliklerini barındıran kütüphanelere sahiptir. Tasarım sürecinde optik modelleme yapılarak, tasarımların optik performansları üretim öncesinden değerlendirilebilmektedir. Işık dağılım karakteristiği olarak çok yüksek bir doğruluk söz konusu olsa da, termal etkiler bu programlarda değerlendirilmediğinden toplam sistem performansının özellikle LED ve floresan ışık kaynaklarında farklılıklar göstermesi mümkündür.

Isıl duyarlılığı yüksek ışık kaynaklarının kullanıldığı armatürlerde verim, optik dizaynın yanı sıra ortam sıcaklığından da çok ciddi oranda etkilenmektedir. Bu amaçla, lineer floresan ışık kaynaklarının termal etkilere bağlı performans ve verim sapmalarının değerlendirilmesi için örnek bir endüstriyel armatür grubu üzerinden testler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.20’deki gibi floresan tabanlı bir endüstriyel yüksek tavan armatürünün 2x54W ve 4x54W gücündeki versiyonlarının, hem IP20 hem de IP65 alternatifleri için Optiworks yazılımı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları Çizelge 3.25’de verilmiştir. Simülasyonlar oluşturulurken ışık kaynağı ve materyal karakterizasyonu kullanılan yansıtıcı alüminyum malzeme üreticisinin orijinal kütüphane verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, diğer yansıtıcı yüzeyler ise kullanılan boya kaplamasının RAL kodu üzerinden karakterize edilmiştir. IP20 ve IP65 ürünlerde kullanılan malzeme yapıları aynı olup performansa çok etkisi olmayan küçük fiziksel tasarım farklılıkları mevcuttur.



Şekil 3.20 Değerlendirmelerde kullanılan armatür tipleri [53]

Çizelge 3.25 Simülasyon sonuçları [54]

ARMATÜR	VERİM (Simülasyon)
2x54W IP20	% 89
2x54W IP65	% 87
4x54W IP20	% 87
4x54W IP65	% 88

Simülasyon sonuçları ile gerçek ölçümler arasındaki sapmaların analiz edilmesi için bu 4 adet ürünün gonyofotometrik ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen test prosedürü aşağıdaki gibidir.

Testler, ürünlerin üreticisi olan lokal bir aydınlatma firmasının akredite optik laboratuvarlarında ve firmanın laborantlarından destek alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler EN13032-1:2004 “Light and lighting measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaries – Part 1: Measurement and file format” , CIE PUB 121:1996 “The photometry and goniophotometry of luminaries” standartları limitlerinde gerçekleştirilmiştir [33,55]. Bu doğrultuda izlenen test adımları aşağıdaki gibidir:

Yaşlandırma: Gonyofotometrik ölçüm süreçlerinde kullanılacak ışık kaynaklarının tamamı aynı üreticiden tedarik edilmiş olup, ışık kaynakları CIE Pub 121 içerisinde tanımlı döngü limitlerinde (24 saatlik periyotta 8 kez 10 dakika kapalı) 100 saatlik yaşlandırma sürecine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma sonrası ışık kaynağı setlerinin toplam ışık ölçümü “ulbricht” küresinde gerçekleştirilmiştir.

Toplam Işık Akısı Ölçümleri: Hem 2x54W hem de 4x54W armatürlerde 2 lambalı balast yapısı kullanıldığından, ışık akısı ölçümleri 2x54W balast ve buna bağlı 2 adet ışık kaynağından oluşan setler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 4’ü standart 4’ü ise amalgam içerikli olmak üzere, toplam 8 ışık kaynağından oluşan 4 farklı ışık kaynağı seti kullanılmıştır. Yardımcı bileşen etkisine bağlı farklılıkları ortadan kaldırmak için, farklı ışık kaynağı setleri ve armatürler için aynı balast devreleri ile testler gerçekleştirilmiştir. Toplam ışık akısı ve gonyofotometrik ölçümlerde kullanılan setler ve tanımlamaları Çizelge 3.26’daki gibidir.

Çizelge 3.26 Ölçüm setleri

SET	BALAST	LAMBA NO	LAMBA TİPİ
Set-1	Ballast No:1	Lamba No:1+ Lamba No:2	T5 HO + T5 HO
Set-2	Ballast No:2	Lamba No:3+ Lamba No:4	T5 HO + T5 HO
Set-3	Ballast No:1	Lamba No:5+ Lamba No:6	T5 HO AM + T5 HO AM
Set-4	Ballast No:2	Lamba No:7+ Lamba No:8	T5 HO AM + T5 HO AM

Işık akısı ölçümleri süresince ortam sıcaklığı 25 ± 1 °C limitlerinde korunmuştur. Testlerde kullanılan güç kaynakları için gerilim dalgalanması $\pm 0,2$, frekans dalgalanması $\pm \%0,5$ limitlerinin altında tutulmuştur. Kullanılan balast devreleri 220-240V girişli olup, testler 230V 50 Hz nominal gerilim değerinde gerçekleştirilmiştir. Işık akısı ölçümleri termal ve elektriksel kararlılık sağlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Kararlılığa ulaşan ışık kaynaklarının toplam ışık akısı ölçümleri tekrarlanarak $\pm \%2$ ’nin altında sonuçlar elde edilmiştir. Işık kaynağı setleri için yapılan testlere ilişkin toplam ışık akısı sonuçları Çizelge 3.27’deki gibidir.

Çizelge 3.27 Işık kaynağı ölçümleri-1

SET	KAYNAK TİPİ	IŞIK AKISI (Küre25C)	KATALOG DEĞERİ (25C)
Set-1	Standart T5 HO	8775	2x4450
Set-2	Standart T5 HO	8834	2x4450

Gonyofotometrik Ölçümler: Toplam ışık akısı ölçümleri yapılan setler, test yapılacak armatür yapıları içerisine monte edilerek gonyofotometrik ölçüm süreci gerçekleştirilmiştir. Gonyofotometrik ölçümler $f'1,5$ dedektörler ve Şekil 3.21'deki gibi döner aynalı tip gonyofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hassas klima sistemlerinin bulunduğu gonyofotometre odasında ölçüm süresince armatürün hareket düzleminde görülen sıcaklık değişimi ± 1 'den düşüktür. Gonyofotometrik testler ilgili standartlar doğrultusunda 25 ± 1 °C'lik kararlı (stabil) sıcaklığa sahip ortamda gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan güç kaynakları, 230V 50Hz ve %0,2'den küçük gerilim dalgalanmasında çıkış sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.21 Testlerin gerçekleştirildiği döner aynalı gonyofotometre sistemi

Gonyofotometrik ölçüm dizisi tamamlanan armatürlerin termal ölçümleri de yapıldıktan sonra üzerlerindeki ışık kaynağı seti demonte edilerek, bir sonraki test armatürüne monte edilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen verim

değerleri ve bu değerlerin optik simülasyon sonuçlarına göre ne derece sapma gösterdiği Çizelge 3.28’den incelenebilir.

Simülasyon analizlerinde elde edilen optik verim değerleri ile gonyofotometrik ölçüm sonuçları arasında +%3,37 ile -%18,60 mertebelerinde sapma görülmüştür. Simülasyon sonuçları ile fotometrik ölçüm sonuçları arasındaki sapmanın, özellikle optik bölüm sıcaklığının yüksek olduğu ürünlerde daha fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.28 Ölçüm-1 Standart T5 ışık kaynakları ile gonyofotometrik ölçüm sonuçları

ÜRÜN TİPİ	IŞIK KAYNAĞI SETİ	SİMÜLASYONA GÖRE VERİM	ÖLÇÜM SONUCUNA GÖRE VERİM	SAPMA	OPTİK BÖLÜM SICAKLIĞI
2x54 IP20	1	% 89	% 92	% +3,37	47
2x54 IP65	1	% 87	% 75	% -13,79	59
4x54 IP20	1+2	% 88	% 86	% -2,32	52
4x54 IP65	1+2	% 86	% 70	% -18,60	64

Termal etkilerin kaynak karakteristiğine bağlılığının öneminin değerlendirilebilmesi için, Tablo 3.28’de sonuçları gösterilen gonyofotometrik ölçümler farklı termal karakteristikteki aynı tip ışık kaynakları kullanılarak (Set-3 ve Set-4) tekrarlanmıştır. Tekrar yapılan testler, sadece yüksek sapmaların görüldüğü IP65 ürün versiyonları için gerçekleştirilmiştir. Tekrarlanan testlerde, aynı üreticiye ait eş güç ve optik karakteristikteki ışık kaynaklarının geniş bir sıcaklık aralığında çok daha kararlı ışık çıkışı sağlayan versiyonları kullanılmıştır. Testlerde kullanılan ışık kaynakları ve armatürlere ait fotometrik ölçüm sonuçları Tablo 3.29 ve Tablo 3.30’daki gibidir.

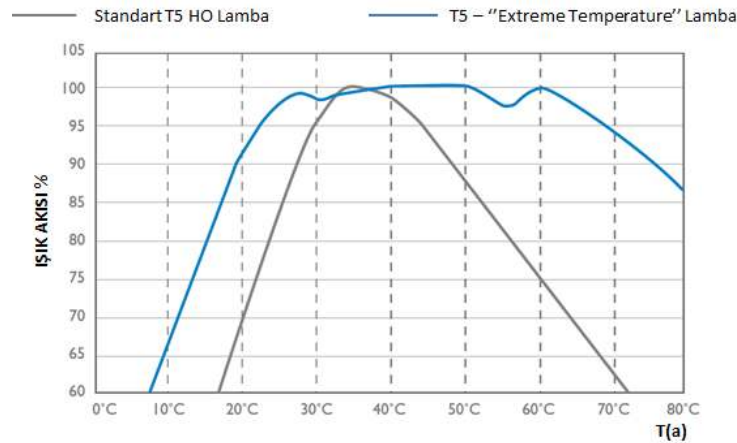
Çizelge 3.29 Işık kaynağı ölçümleri -2

SET	TANIMLAMA	IŞIK AKISI (Küre25C)	Katalog (25C)
Set-3	Amalgam T5 HO	9215	2x4750
Set-4	Amalgam T5 HO	9244	2x4750

Çizelge 3.30 Ölçüm-2 Amalgamlı T5 ışık kaynakları için gonyofotometrik ölçümler

ÜRÜN TİPİ	IŞIK KAYNAĞI SETİ	SİMÜLASYON SONUCU	ÖLÇÜM SONUCU	SAPMA	OPTİK BÖLÜM SICAKLIĞI
2x54 IP65 (AM)	3	% 87	% 89	%,2,29	60
4x54 IP65 (AM)	3+4	% 86	% 88	%,2,27	65

Standart yüksek çıkışlı floresan ışık kaynakları ile yapılan testlerin aksine, amalgamlı yüksek optik bölüm sıcaklığına rağmen fotometrik verimde görülen sapmalar %,2,3'den küçük olarak elde edilmiştir. Bu iki farklı test sürecinde görülen farklılıkların daha sağlıklı değerlendirilebilmesi adına, her iki ışık kaynağına ait karakteristik özelliklerin incelenmesi faydalı olacaktır. Şekil 3.22'de ilgili ışık kaynağı üreticisinin, standart ve amalgam katkılı ışık kaynaklarının sıcaklığa bağlı ışık çıkışı eğilimlerini gösteren grafikler yer almaktadır.



Şekil 3.22 Standart ve amalgam katkılı T5 ışık kaynaklarının termal karakteristikleri [16]

Şekil 3.22'den de görüleceği üzere standart yüksek çıkışlı T5 floresan ışık kaynağı, sıcaklığa bağlı çok değişken bir performans gösterirken, aynı ışık kaynağının amalgam katkılı versiyonu çok geniş bir sıcaklık bandında kararlı bir performansta çalışabilmektedir. Bu nedenledir ki aynı ürünün yüksek IP'li versiyonlarında oluşan yüksek iç hacim sıcaklığından kaynaklanan ve standart lambalı versiyonlarda görülen ciddi akı kayıpları nedeniyle %18'lere varan sapmalar görülmektedir. Aynı armatürlerde geniş bir sıcaklık bandında kararlı ışık çıkışı sağlayan ışık kaynaklarının kullanılması durumunda ise, sıcaklığın performans ve verim üzerine etkisi ortadan kaldırılabilir.

Esasında bu durum, sadece yüksek IP'li endüstriyel ürünler için geçerli olan bir durum değildir. Tüm T5 floresan armatür gruplarında ısı etkileri nedeniyle performans sapması görülebilmektedir. Bu kapsamda Avrupa menşeli bir üreticiye ait ürünlerin optik verim değerlerindeki değişim Çizelge 3.31'deki gibidir.

Çizelge 3.31 Global bir üreticiye ait T5 armatürler için verim değerleri [56]

	<i>ÜRÜN MODELİ</i>	<i>IŞIK KAYNAĞI</i>	<i>ARMATÜR VERİMİ</i>
1	<i>RXXX D 1x35W FHE</i>	<i>1x35W T5</i>	<i>% 90,26</i>
2	<i>RXXX D 1x49W FHO</i>	<i>1x49W T5</i>	<i>% 82,94</i>
3	<i>RXXX D 1x80W FHO</i>	<i>1x80W T5</i>	<i>% 81,03</i>

Tüm ürünlerde kullanılan reflektör materyali ve tasarımı (odak, lamel yapısı vb.) aynı olup, ürünlerde aynı fiziksel ölçülerde fakat farklı ışık çıkışı ve elektriksel güce sahip 35W, 49W ve 80W T5 ışık kaynakları kullanılmaktadır. Her ne kadar söz konusu ışık kaynaklarının genel optik özellikleri aynı da olsa, termal yükler ve dolayısıyla sürekli çalışma koşullarında armatürlerde farklı sıcaklık değerlerine ulaşılması nedeniyle armatür verimliliklerinde farklılıklar görülmektedir.

CIE PUB 121 kısım 6.4 içerisinde yapılan LOR (Light Output Ratio) armatür geriverimi tanımlarında, bu değer değişkenlik göstereceği durumların başında ortam sıcaklığının etkisiyle lamba ışık akısında görülecek sapma yer almaktadır. Bu doğrultuda bu etkinin düzeltilmesine yönelik genel yaklaşımlar yapılsa da, esasında bu durum büyük ölçüde armatürün termal karakteristiği ile lambanın termal karakteristiği arasındaki ilişki ile alakalıdır.

Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip floresan ışık kaynaklarının, termal hassasiyetlerinin yüksek olması ve farklı hassasiyete sahip alternatiflerin mevcudiyeti nedeniyle çok farklı sonuçların elde edilmesi veya fotometrik verimlerin termal etkiler nedeniyle ciddi oranda sapması kaçınılmazdır. Bu nedendir ki, armatür tasarımında fotometrik tasarım kadar termal tasarım konusu da büyük önem arz etmektedir. Tasarım sürecinde en yüksek yansıtıcılık değerine sahip malzemeler kullanılarak, en optimum performans çıktısını sağlayacak optik tasarımlar yapılsa dahi, bu tercihlerle kazanılan performans artışı 10-20°C'lik sıcaklık fazlalığı karşısında kaybedilebilmektedir. Bu

kayıpların önüne geçilebilmesi adına, ya termal tasarımların iyileştirilmesi ya da termal duyarlılığı düşük ışık kaynaklarının kullanılması gerekmektedir.

Termal etkilerin tasarım sürecine olan etkilerinin yanısıra, hesaplama ve bakım katsayısı analizleri üzerine etkileri de ayrı bir konu başlığıdır. Özellikle eş optik fakat farklı termal karakteristiğe sahip armatürler için verim farklılıkları ya da diğer bir bakışla geri kazanılamayan değer düşümleri, endüstrinin karakterize etmesi gereken konu başlıklarındandır. Bu doğrultuda; armatürlerin iç ortam sıcaklıklarının ve gonyofotometrik ölçümlerde kullanılan ışık kaynaklarının bu sıcaklığa karşılık gelen performanslarının fotometrik raporlarla ilişkilendirilmesi, bu konudaki problemlerin önüne geçilebilmesi adına uygulanabilecek en temel yöntemdir.

3.2.6 LMF Bileşeninde Geri Kazanılamayan Etkilerin Analizi

Bu noktaya kadar ele alınan konuları değerlendirdiğimizde; standartlar LMF'in sadece tozlanma sonucu oluşan geri kazanılabilir yönüyle ilgilense de, sürekli işletme şartlarında reflektör ve refraktörde görülen yansıtma ve geçirgenlik değerlerindeki düşüş ile birlikte geri kazanılamayan bir etki de oluşabilmektedir. Malzeme eskimesi sonucu görülen geri kazanılamayan değer düşümleri, özellikle zorlu çevresel şartların yaşandığı endüstriyel ve dış aydınlatma projelerinde daha yüksek olmaktadır. Özellikle dış aydınlatma sistemlerinde kullanılan refraktör malzemesinde, Ultraviyole (UV) etkisi sonucu görülen ciddi boyutlardaki geçirgenlik düşüşü, işletmeler için sıkıntı yaşatmaktadır. Esasında kullanılan plastik malzemenin UV dayanımları, güneş ışığına maruz kalma süresi ve kullanılan ışık kaynağının UV ışınım enerjisi bilindiğinden bu eskimenin boyutları önceden tahmin edilebilmektedir. IES'in bakım yaklaşımlarında, armatürlerde geri kazanılamayan etkilerin görülebileceği ve bu konuda kullanılan malzemenin özelliği ile sıcaklık, UV vb. çevresel etkilerin temel unsurlar olduğuna değinilmektedir. Bu nedenle, özellikle dış aydınlatma ekipmanlarında kullanılan akrilik, polikarbon ve benzeri termoplastiklere ait UV etkileri de eskime analizlerinde değerlendirmeye katılmalıdır. Zira günümüzde bu noktadaki bilinçsiz malzeme kullanımı nedeniyle, 1 yıllık süreçlerde malzeme geçirgenliklerinin %50 seviyelerine kadar gerilediği saha testleriyle görülmüştür.

Çizelge 3.32 Test Adımları

A	Armatüre hiçbir bakım yapılmadan elde edilen toplam ışık akısı ölçümü
B	Reflektör malzemesi uygun şekilde temizlendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü
C	Refraktör temizlendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü
D	Işık kaynağı temizlendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü
E	Işık kaynağı yenilendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü
F	Refraktör yenilendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü
G	Reflektör yenilendikten sonraki toplam ışık akısı ölçümü

Armatürlerde görülen eskimenin geri kazanılamayan boyutlarının analizi için, belirli süredir kullanılan armatür grupları üzerinde tersten eskime testleri gerçekleştirilmiştir. Bu konuda yapılacak test süreçleri çok uzun süreli olacağından (2-5 yıl) alternatif bir test prosedürü izlenmiştir. Bu prosedür kapsamında kullanım alışkanlıkları bilinen yapılar içerisinde belirli bir süredir kullanılan armatürler Çizelge 3.32'deki gibi birbirini takip eden test süreçlerine tabi tutularak, her bir adıma karşılık gelen eskime etkisinin sonuçları gözlemlenmiştir. Malzemeler arası olası tolerans farklılıkları değerlendirmeye alınmamıştır.

Deneyler, hali hazırda kullanılan ürünlerin bakım amaçlı bulundurulmuş kullanılmamış yedekleri üzerindeki reflektör ve refraktör parçaları ile birebir malzeme değişimi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bileşenlerin her biri (reflektör, refraktör, ışık kaynağı) üzerindeki kayıpların ayrı ayrı analiz edilebilmesi için birçok kez toplam ışık akısı ölçümü yapılmıştır.

Işık kaynağının kararlılığındaki düşüşün (LLMF) tahmini için 100 saat yaşlandırılmış ve katalog ışık akısı değerlerinden sapması %2'den az olan aynı modeldeki ışık kaynakları kullanılmıştır. Armatürler içerisindeki ışık kaynaklarının başlangıç ışık akıları bilinmediğinden, deneyde kullanılan düşük toleranslı ışık kaynaklarıyla aynı çıkışa sahip oldukları kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu aşamada elde edilen değerler, ışık kaynakları arasındaki olası toleransları da içermektedir.

Deneyde esas olan toplam ışık akısındaki değişimlerin gözlemlenmesi olduğundan, "Integrating Sphere" düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir [46,47]. Işık akısı ölçümleri

süresince ortam sıcaklığı 25 ± 1 derece limitlerinde korunmuştur. Testlerde kullanılan güç kaynakları için gerilim dalgalanması $\pm 0,2$, frekans dalgalanması $\pm \%0,5$ limitlerinin altında tutulmuştur. Deneye tabi armatürlerdeki balast devreleri 220-240V AC girişli olup testler, 230V 50 Hz gerilim değerinde gerçekleştirilmiştir.

Bahsi geçen etkilerin değerlendirilmesi için, kullanım alışkanlıkları genel olarak bilinen biri fabrika diğeri ise yönetim ofisi olmak üzere iki farklı yapıdaki aydınlatma armatürleri üzerinde Çizelge 3.32'deki sırayla toplam ışık akısı ölçümleri yapılmıştır. Değerlendirmeye tabi örnek armatür ve tesislere ilişkin veriler Çizelge 3.33'deki gibidir.

Çizelge 3.33 Deneye tabi örneklere ilişkin veriler

	ÖRNEK-1	ÖRNEK-2
Bina Tipi	Ofis	Fabrika
Armatür Tipi	Cam difüzörlü gömme downlight spot	T5 Endüstriyel yüksek tavan
Armatür Yaşı	4 Yıl	3 Yıl
Armatür IP	IP 20	IP 20
Işık Kaynağı	2x18W 4 pinli CFL	4x80W T5 Yüksek çıkışlı
Yıllık Kullanım	2500 Saat	2000 Saat
Detaylar	Düşük reflektör kalitesi, zayıf termal tasarım, 55C'yi aşan armatür iç sıcaklığı ofis alanı için yeterli IP derecesi	Yüksek kaliteli anodize reflektör, termal olarak kararlı, kullanım alanına göre yetersiz IP değeri, yetersiz IP nedeniyle aşırı tozlanma

Genel olarak temiz atmosferik koşulların geçerli olduğu ofis binasında (Örnek-1) genel aydınlatma amacıyla difüzör camlı (kumlu camlı) downlight armatürler kullanılmaktadır. A2 sınıfı elektronik balast ile yapılandırılmış olup, içerisinde kullanılan ışık kaynakları 2x18W çift tüplü kompakt floresan ışık kaynaklarıdır.

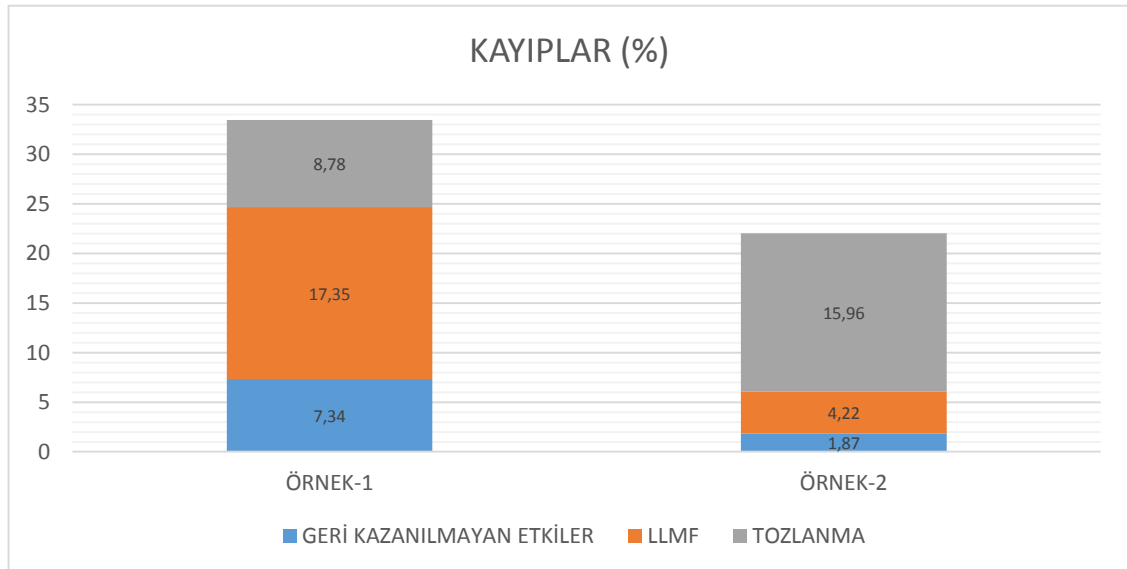
Birinci örneğe kıyasla daha kirli işletim koşullarının olduğu fabrika örneğinde ise (Örnek-2), 4x80W gücünde IP20 T5 high Bay armatürler kullanılmaktadır. Armatür, elektronik balastlı olup kullanılan ışık kaynakları standart yüksek çıkışlı 80W T5 ışık kaynaklarıdır. Her iki örneğe ilişkin ölçüm sonuçları Çizelge 3.34'deki gibi elde edilmiştir.

Bu sıralamayla yapılan ölçümler sonrasında D ile A aşamaları arasında görülen farkın tamamı tozlanma sebebiyle oluşmaktadır. D ile E aşamaları arasında tamamen

temizlenmiş bir armatür içerisindeki ışık kaynağı yenisi ile değiştirilerek ölçüm yapıldığından, burada görülen değer düşümü kaynağın ışıksal kararlılığına (LLMF) karşılık gelmektedir. F ve G aşamalarında armatürlere ilişkin reflektör ve refraktör malzemeleri yenileriyle değiştirildiğinden, E ve G aşamaları arasında görülen fark da armatürde görülen geri kazanılamayan etkilere karşılık gelmektedir. G ile A aşmaları arasındaki fark ise armatürlerde görülen toplam ışık kaybına karşılık gelecektir.

Çizelge 3.34 Test Adımları ve Sonuçlar

		ÖRNEK-1 2x18W Downlight		ÖRNEK-2 4x80W IP20 T5 Yüksek Tavan	
		Işık Akısı	Değişim	Işık Akısı	Değişim
A	Armatüre bakım yapılmadan	970	---	16.298	---
B	Reflektör temizlendikten sonra	1.060	+ %9,27	19.232	+ %18,00
C	Cam temizlendikten sonra	1.078	+ %1,66	---	---
D	Işık kaynağı temizlendikten sonra	1.098	+ %1,85	19.636	+ %2,10
E	Işık kaynağı yenilendikten sonra	1.351	+ %23,04	20.520	+ %4,50
F	Cam yenilendikten sonra	1.356	+ %0,37	---	---
G	Reflektör yenilendikten sonra	1.458	+ %7,52	20.910	+ %1,90



Şekil 3.23 Örnek-1 ve Örnek-2 için kayıp oranları

- Değerlendirmeye tabi armatürlerden birinci örnek için 4 yıllık işletme sürecinde görülen toplam değer düşümü %33,47 olurken, 3 yıldır işletilen ikinci örnek için bu değer %22,05 mertebelerindedir.
- Temiz olarak tanımlanan ofis ortamındaki 4 yıllık işletme karşılığında birinci örnek için %8,78'lik değer düşümü görülürken, çok daha kirli fabrika ortamında 3 yıllık işletme sürecinde tozlanma sebebiyle görülen değer kaybı % 15,96 seviyelerindedir.
- Ofis örneğinde kullanılan 4 pinli CFL ışık kaynağının ışıksal kararlılığında 7500 saat kullanım sonrasında görülen değer düşümü yaklaşık %17,35 olarak ölçülmüştür. Üretici tarafından 8000 saat için beyan edilen değer düşümü %16 mertebelerindedir. Bu değer tozlanma sebebiyle görülen değer düşümünün yaklaşık 2 katıdır.
- Fabrika örneğinde kullanılan yüksek çıkışlı T5 ışık kaynağının ışıksal kararlılığında yaklaşık 6000 saat sonrasında görülen değer düşümü yaklaşık %4,22 olarak ölçülmüştür. Üretici tarafından 6000 saat için beyan edilen değer düşümü % 6 mertebelerindedir.
- Armatür optik kısımlarında görülen ve temizleme süreciyle geri kazanılamayan etkiler birinci örnekte %7,34, ikinci örnekte ise %1,87 mertebelerindedir. Temizleme periyotları, uygulanan tekniklerin doğruluğu veya yanlışlığına bağlı olarak bu değerlerde artış görülmesi de mümkündür.

Örnek değerlendirmede, 3 yıllık işletim süresinde %7 mertebelerindeki geri kazanılamayan etkinin 10 yılı bulan servis ömrü boyunca çok daha yükseleceği ya da daha zorlu şartlardaki uygulamalarda ciddi boyutlu artışlar göstereceği unutulmamalıdır. Bu nedenledir ki birçok endüstriyel tesis, ister planlı bakım uygulansın isterse uygulanmasın belirli bir servis ömrü sonunda yetersiz aydınlatma problemiyle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu noktada üreticiler tarafından karakterize edilecek LMF eğilimlerinin yanısıra, kullanılan reflektör ve refraktör malzemesinin malzeme özellikleri ve işletme koşulları esas alınarak geri kazanılamayan etkilerin karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, işletme ömrü boyunca görülebilecek geri kazanılamayan etkilerin karakterize edilmesi ve malzeme seçimlerinin de buna göre yapılması uygun olacaktır.

Yüksek kalite standartlarındaki optik malzemelerin çok uzun süre yansıtma ve/veya geçirme karakteristiklerini koruduğu bilinmektedir. Birçok üst segment yansıtıcı malzeme, uygun kullanım şartlarında yansıtma özelliklerini uzun süre çok büyük oranda koruyabilmektedir. Buna karşın düşük kaliteli materyallerin normal atmosferik koşullarda dahi çok hızlı bir şekilde yansıtıcılıklarını kaybedebildikleri ve 3-5 yıllık süreçlerde ciddi performans kaybı gösterdiği aydınlatma sektöründe bilinen bir durumdur. Bu durumda, armatürlerin LMF değerlerindeki geri kazanılamayan etkinin büyük ölçüde kullanılan malzeme kalitesine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği söylenebilir. Bu nedenledir ki iki farklı örnek üzerinde yapılan değerlendirmelerde %1,87 ile %7,34 arasında değişim gösteren farklar ölçülmüştür. Genel dış aydınlatma uygulamaları ve/veya yüksek IP'li armatürler için ise reflektör kadar refraktör malzemesi de belirleyici olmaktadır. Genel olarak ortalama 10 yıl ve üzeri işletme süresi öngörülen yol aydınlatma armatürlerinde kullanılan Polikarbon (PC) ve türevi refraktör malzemeler, güneş ve/veya ışık kaynağı kökenli UV, yüksek sıcaklık ve diğer çevresel etkiler sebebiyle geçirgenliklerinde ciddi düşüş gösterebilmektedir.

Planlı bakım ve/veya hassas işletme senaryoları için optik malzemenin özelliklerine bağlı olarak görülebilecek geri kazanılamayan etkilerin zaman ekseninde tanımlanması, bakım katsayısı hesaplamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen algorithmada, bu etkilerin de karakterize edilmesi için gerekli altyapı öngörülmüştür.

IŞIK KAYNAĞI ve ARMATÜRÜN KARAKTERİZE EDİLMESİ

Eskime eğiliminin doğru karakterize edilmesi, enerji verimliliği veya sistem yeterliliği açısından en önemli noktalardan biridir. Bunun için ışık kaynağının karakterizasyonu, çalışılması gereken konuların başında gelecektir. Kaynağın karakterize edilmesi kapsamında nominal, LSF ve LLMF eğilimlerinin yanısıra dimmerlemeye bağlı tüketim profillerinin de oluşturulması mümkündür.

Bu durumda ışık kaynağının karakterizasyonu sadece bakım analizlerinde değil, aynı zamanda bina enerji analizlerinde de önemli bir başlık olacaktır. Tez sürecinde yapılan karakterizasyon çalışmalarında; güncel olarak en yaygın kullanıma sahip olan LED ve floresan ışık kaynaklarının dimmerleme karakteristikleri de analiz edilerek, bina enerji modellemelerindeki önemi üzerine analizler de gerçekleştirilmiştir.

4.1 Armatür ve Kaynak Kimlik Dosyalarının Oluşturulması

Bu noktaya kadar değindiğimiz yaklaşımların uygulanabilmesi adına öngörülen yapılanmada; her ışık kaynağının LLMF, LSF, termal, elektriksel karakteristikleri ile üretim toleranslarının, sıcaklık, anahtarlama periyodu, kullanılan bileşen yapısı gibi tüm diğer etkilere bağlı olarak karakterize edildiği bir kimlik dosyası oluşturulması gerekli görülmüştür. Bu sayede; üretilen her ürünün bir opto-elektriksel kimliği olup, bu kimlik dosyalarının mevcut aydınlatma yazılımları ile entegrasyonu sağlanabilecektir. Dolayısıyla tıpkı armatüre ait fotometrik dosya formatları gibi ışık kaynakları için de karakteristik eğilimlerin denklem formunda bulunduğu bir dosya formatı oluşturulmuştur.

İkinci aşamada; bileşen yapısına bağlı olarak oluşan balast faktörü, akım toleransı ve armatüre ait termal karakteristikler ile yine armatüre özgü değer olan LMF eğilimlerinin mevcut fotometrik dosya formatlarıyla (ldt) ilişkilendirilmesi gerekli görülmüştür. Bu doğrultuda, oluşturulması öngörülen ışık kaynağı kimlik dosyası ve geliştirilmiş “eulumat” dosyasına ilişkin yapı, ilerleyen bölümlerde detaylandırılmaktadır.

4.1.1 Işık Kaynağı Kimlik Dosyası

Işık kaynağı kimlik dosyası (LIF), her bir ışık kaynağının tez içerisinde irdelenen karakteristik eğilimlerinin ve genel özelliklerinin bir kısmını veya tamamını içerecektir. Burada bahsi geçen karakteristik eğilimler ve veriler aşağıdaki verilmiştir:

- Ömür karakteristiğinin anahtarlama, yardımcı bileşen ve sıcaklığa bağlı eğilimi,
- Işıksal kararlılığın anahtarlama, bileşen, sıcaklık vb. etkilere bağlı eğilimi,
- Işık çıkışının elektriksel limitlere ve yardımcı bileşen yapısına bağlı eğilimi,
- Işık çıkışının sıcaklığa bağlı eğilimi,
- Kaynağın tolerans, genel fotometrik, radyometrik ve elektriksel özellikleri.

Çizelge 4.1 LIF dosyası genel yapı

Sıralama	Tanım	Veri Tipi
1	Işık kaynağı tanımı	Metin
2	Üretici	Metin
3	Ürünün üretici tarafından adlandırılan modeli	Metin
4	Işık akısı (lümen)	Sayı
5	Renk sıcaklığı (K)	Sayı
6	Renksel geriverim (CRI)	Sayı
7	Güç (W)	Sayı
8	-	-
9	ILCOS kodu veya LED'ler için tasarım kodu	Metin
10	Üretim toleransı	Sayı
11	Balast/sürücü tipi uyumluluğu	Metin
12	Tanımlı anahtarlama periyodu	Metin
13	LLMF ve LSF tanımlı sıcaklık değerleri	Sayı
14	-	-
15	Termal karakteristik denklemi (nominal çıkış)	Denklem
16(a-z)	Bileşen tipi (a-z) için elektriksel denklem	Denklem
17(a-z)	Anahtarlama, bileşen ve sıcaklığa bağlı LSF eğilimleri	Denklem
18a-z)	Anahtarlama, bileşen ve sıcaklığa bağlı LLMF eğilimleri	Denklem

LIF dosyasında 3 farklı veri tipi bulunmaktadır. Bunlar kaynağa ilişkin genel veriler, kaynağının hesaplamalarda referans olarak alınacak tanımlama bilgileri ve termal, elektriksel, LSF ve LLMF gibi karakteristik eğilimleridir. Bir LIF dosyasının genel yapısı Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1'deki yapısına göre LIF dosyası satır tanımlamaları aşağıdaki gibidir:

- **Satır- 1:** Işık kaynağının genel tanımı.
- **Satır-2:** Üretici bilgisi.
- **Satır-3:** Üreticinin kullanmış olduğu kendine ait ürünün model ve kodu.
- **Satır-4:** Lümen cinsinden ışık akısı değeri/değerleri. Bu değer; eğer ki ışık kaynağı 11'inci satırda tanımlı olarak birden farklı balast veya sürücü devresiyle uyumlu olarak çalışıyor ise, "/" ile ayrılmış birden fazla değerden oluşacaktır. Işık akısı değerleri, 11'inci satırda tanımlı bileşen tipi sayısı kadar olacaktır. Genel olarak; bazı ışık kaynaklarının ışık çıkışlarının sürücü/balast tipine bağlı değişimi söz konusu olduğundan, bu tip bir tanımlama yapılmıştır.
- **Satır-5:** Kelvin cinsinden renk sıcaklığı değeri.
- **Satır-6:** Renksel geriverim değeri.
- **Satır-7:** Kaynağın elektriksel gücü/güçleri. Bu değer; eğer ki ışık kaynağı 11'inci satırda tanımlı birden farklı balast veya sürücü devresiyle uyumlu olarak çalışıyor ise, "/" ile ayrılmış birden fazla değerden oluşacaktır. Genel olarak; çoğu ışık kaynağının elektriksel güçlerinde sürücü/balast tipine bağlı değişimi söz konusu olduğundan, bu tip bir tanımlama yapılmıştır.
- **Satır-8:** Tanımsız.
- **Satır 9:** Ürünün ILCOS veya özel kodu. Geleneksel ışık kaynakları için ILCOS kodu kullanılırken; LED ışık kaynakları için bu yönde bir tanımlama yapılamayacağından, ürünün ilişkilendirilecek armatür tipiyle uyumluluğunu denetlemede o ürüne ait özel kod kullanılacaktır.

- **Satır-10:** Üretici tarafından ürün modeli için tanımlanan üretim toleransı aralığı. Bu değer X/Y formatında olacaktır. X negatif tolerans değerinin % cinsinden karşılığını gösterirken, Y pozitif toleransın % cinsinden karşılığını tanımlayacaktır. Örnek olarak, 5/2 şeklinde tanımlı değer satırı -%5 ila +%2 arasında bir tolerans salınımı olduğu anlamına gelmektedir.
- **Satır-11:** Kaynağın uyumlu olduğu balast/sürücü tipleri bu satırda tanımlanacaktır. Işık kaynağı birden farklı balast veya sürücü devresi ile çalışabiliyorsa, bu alternatifler de “/” ifadesi ile ayrıştırılacaktır. Elektromanyetik balast devreleri EM1 ve EM2 olarak tanımlanmıştır. EM1 floresan sistemler için standart elektromanyetik sistem ve standart “starter” kullanımı için tanımlıdır. EM2 ise floresan sistemlerde standart elektromanyetik balast ve elektronik “starter” kullanımı için geçerlidir. Her ne kadar elektronik starterli kullanım için üreticiler tarafından güncel olarak oluşturulmuş veriler olmasa da, tanımlamalara koyulmasında fayda görülmüştür. HID sistemler için ise EM1, standart elektromanyetik sistem ve seri veya paralel standart ateşleyici devresi anlamına gelmektedir. EM2 ise günümüzde lamba ömrüne pozitif etkisi bilinen (%30-%50) dijital ateşleyiciler ile standart elektromanyetik balast devrelerinin kullanıldığı durumlar için geçerlidir. E1 tanımı çok yaygın bir kullanımı olan ve üreticiler tarafından LSF, LLMF eğilimlerinin tanımlamalarında kullanılan sıcak ateşlemeli sabit ışık çıkışlı elektronik balast devrelerini tanımlamaktadır. Günümüzde sınırlı da olsa kullanılan soğuk ateşleme özellikli, sabit çıkışlı elektronik balastlar ise E2 ifadesi ile tanımlanmaktadır. HID sistemlerde elektronik bileşen çeşitliliği, şu aşamada sadece E1 ile tanımlanmıştır. E1 ifadesi belirli elektriksel sınırlar dahilinde sabit ışık çıkışına sahip, içerisinde ateşleme devresinin de bulunduğu elektronik balast çözümleridir. LED sistemler için tanımlama “AXXX” ve “VXX” kodlarıyla yapılacaktır. A sabit akım sürücü, “V” ise sabit gerilimli sürücü manasına gelmektedir. Örnek olarak; “A350” 350 mA sabit akım sürücü manasına gelirken, “V24” 24V sabit gerilim sürücüleri tanımlamaktadır.
- **Satır-12:** Tanımlı anahtarlama periyodu. Özellikle floresan sistemler için LMF ve/veya LSF eğilimlerinin tanımlandığı anahtarlama periyotları olabildiğinden,

ilgili ışık kaynağının tanımlı anahtarlama periyodları bu satırda belirtilmektedir. Örnek olarak; 3, 8 ve 12 saatlik anahtarlama periyotlarına bağlı olarak farklı karakteristik eğilim gösterebilen bir floresan ışık kaynağı için, bu satır "3/8/12" şeklinde tanımlanacaktır. Eğer ışık kaynağının eğilimleri sadece tek bir standart anahtarlama periyodu için geçerliyse, bu durumda ifade tek bir sayıdan oluşacaktır. Örnek olarak, genellikle 11 saatlik anahtarlama periyodundaki eğilimleri tanımlanan yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba için bu satırın karşılığı "11" şeklinde ifade edilecektir. LED gibi anahtarlama periyodunun eğilimler üzerine etkisi söz konusu değilse, bu durumda ilgili satırın karşılığı "-" olarak tanımlanacaktır.

- **Satır-13:** Floresan ve HID sistemler için sıcaklığın LLMF ve LSF eğilimleri üzerine ciddi bir etkinliği olmadığı kabul edilmektedir. Zaten endüstriyel olarak üreticiler tarafından farklı sıcaklık değerleri için LSF ve LLMF eğilimlerinin karşılıkları tanımlı değildir. Fakat LED sistemler için, çok geniş bir sıcaklık aralığında LLMF ve LSF eğilimleri tanımlıdır. Bu durumda, tanımlı LSF ve LLMF denklemlerinin farklı sıcaklıklara bağlı olarak tanımlanmasında bu satırdaki ifadelerden faydalanılacaktır. Örnek olarak, LLMF ve LSF eğilimleri üzerine sıcaklığın çok etkin olmadığı ve/veya etki limitleri tanımlanmadığı HID ve floresan ışık kaynakları için bu satırın karşılığı "-" olacaktır. Bu ifade, ilgili LLMF ve LSF satırlarında sıcaklığa bağlı denklem çeşitlendirmesinin bulunmadığı anlamına gelecektir. Eğer sıcaklığın LLMF ve LSF eğilimleri üzerine etkisi bilinen ve karakterize edilmiş bir ışık kaynağı söz konusu ise, bu durumda üretici tarafından tanımlı sıcaklık değerleri X/Y formatında tanımlanacaktır. Örneğin; 55, 65, 75, 85, 95 ve 105 derece için, LLMF ve LSF eğilimleri tanımlı bir LED için bu satırın karşılığı 55/65/75/85/95/105 şeklinde olacaktır. Burada tanımlı sayılar; LED sistemler için jonksiyon sıcaklığına, geleneksel ışık kaynakları için ise optik kısımdaki ortam sıcaklığına karşılık gelmektedir.
- **Satır-14:** Tanımsız.
- **Satır-15:** Termal karakteristik denklemi bu satırda ifade edilmektedir. Nominal çıkışı sıcaklığa bağlı olarak karakterize edilmeyecek mertebede sıcaklığa duyarsız veya bu etkisi bilinmeyen ışık kaynakları için " $y = 1$ " olarak ifade edilmektedir.

Eğer LED veya floresan gibi hassas termal karakteristiğe sahip bir ışık kaynağı söz konusu ise, bu durumda bu satırın karşılığı bir denklem olacaktır.

- **Satır-16 (a-z):** Bileşen tipleri için tanımlı olan ve kaynağın giriş gerilimine bağlı olarak gösterdiği ışıksal çıkışı karakterize eden elektriksel denklemler bu satırlarda yer alacaktır. Bu doğrultuda; 11 no'lu satırda tanımlı tüm uyumlu bileşen tipleri için kaynağın elektriksel denklemi, bu satırdan itibaren tanımlanacaktır. Örnek olarak; 11 no'lu satırda EM1/E1 şeklinde tanımlanmış bir bileşen uyumluluğuna sahip bir floresan ışık kaynağına ait kimlik dosyası, standart elektromanyetik balast ve sıcak ateşlemeli elektronik balast ile uyumlu olduğu manasını taşıyacaktır. Bu durumda, her iki bileşen tipi için de farklı elektriksel denklem tanımlanacaktır. Genel olarak elektronik sistemler için “ $y = 1$ ” veya çok sınırlı salınım yapan lineer bir denklem tanımlı iken, elektromanyetik sistemlerde çok daha geniş skalada salınım yapan lineer bir denklem tanımlıdır.
- **Satır-17 (a-z):** Işık kaynağının bileşen tipi, anahtarlama ve sıcaklığa bağlı LSF eğilimleri bu satırlarda yer alacaktır. Toplam LSF denklemi satırı; tanımlı bileşen çeşidi, tanımlı anahtarlama periyodu ve tanımlı sıcaklık değerlerinin çarpımı kadar satırdan oluşacaktır. Örnek olarak; 11'nolu satırda “EM1/E1” şeklinde iki farklı bileşen uyumluluğu ve 12'nolu satırda “3/8/12” şeklinde 3 farklı anahtarlama periyodu tanımlı olan, 13'nolu satırda ise “-” şeklinde sıcaklığın LSF ve LLMF eğilimlerine etkisi tanımlı olmayan bir ışık kaynağı için toplam 6 farklı LSF eğilimi tanımlanacaktır.
- **Satır-18 (a-z):** Işık kaynağının bileşen tipi, anahtarlama ve sıcaklığa bağlı LLMF eğilimleri bu satırlarda yer alacaktır. Toplam LLMF denklemi satırı; tanımlı bileşen çeşidi, tanımlı anahtarlama periyodu ve tanımlı sıcaklık değerlerinin çarpımı kadar satırdan oluşacaktır. Örnek olarak; 11'nolu satırda “EM1/E1” şeklinde iki farklı bileşen uyumluluğu ve 12 no'lu satırda “3/8/12” şeklinde 3 farklı anahtarlama periyodu tanımlanmış olan, 13 no'lu satırda ise “-” şeklinde sıcaklığın LSF ve LLMF eğilimlerine etkisi tanımlı olmayan bir ışık kaynağı için toplamda 6 farklı LLMF eğilimi tanımlanacaktır.

15, 16, 17 ve 18'inci satır serilerindeki karakteristik eğilim denklemleri, genel olarak tanım aralığının ve karakteristik eğilimin tanımlandığı iki parçadan oluşmaktadır. 36W/840 T8 ışık kaynağı için termal karakteristiğin tanımı eşitlik (4.1)'deki gibidir.

$$\underbrace{5 \leq x \leq 70}_{\text{TANIM ARALIĞI}} ; \underbrace{(0.0000105409 * x^3 - 0.00154341 * x^2 + 0.0590044 * x + 0.316783) * 100}_{\text{KARAKTERİSTİK EĞİLİM}} \quad (4.1)$$

Karakteristik denklemler, bazı durumlar için iki parçadan oluşabilmektedir. Bu durumda, denklem formatı tanımlama aralığı ve iki ayrı aralık için geçerli 2 parçalı eğilim denkleminde oluşan 3 parçalı bir yapıda olacaktır. Bu yapı, özellikle LSF gibi belirli bir aralıkta sabit fonksiyona sahip eğilimleri karakterize etmek için kullanılmıştır. Zira belirli bir noktadan sonra belirgin farklılık gösteren eğilimlerin her iki aralıkta ayrı olarak tanımlanması, sapmaların minimize edilmesi açısından çok daha uygundur. Örnek olarak 54W/840 T5 ışık kaynağının LLMF eğiliminin tanımlaması eşitlik (4.2)'deki gibidir.

$$\underbrace{2000 \leq x \leq 20000}_{\text{TANIM ARALIĞI}} ; \underbrace{x > 16000, y = 0,9}_{\text{KARAKTERİSTİK EĞİLİMİ KISIM-1}} \quad \& \quad (4.2)$$

$$\underbrace{x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813}_{\text{KARAKTERİSTİK EĞİLİMİ KISIM-2}}$$

Bu tanıma göre kaynağın LSF eğilimi 2.000 ila 20.000 saat aralığında geçerli olmaktadır. Eğilim denklemi ise $x > 16000$ ve $x \leq 16000$ için iki farklı eşitlik ile tanımlanmaktadır. Bu sistematikte aşağıdaki 8 ürün için

- Philips MASTER TL-D Super 80 36W_840
- Philips MASTERCOLOUR CDM-T 70W_830
- Philips MASTERColour CDM-T 150W_830
- Philips MASTERCOLOUR CDM-T ELITE 150W_930
- Philips Master TL5 HE 14W_840
- Philips Master TL5 HO 24W_840
- Philips Master TL5 HO 54W_840
- Philips Master TL5 HO 54W_840 TOP

Çizelge 4.2 – 4.9'daki gibi örnek ışık kaynağı kimlik dosyaları oluşturulmuştur. Oluşturulan kimlik dosyalarında, öncelikli olarak üreticinin ilgili ürüne ait temel verileri

referans alınmıştır. Veri serilerindeki ara değerler, üretici tarafından beyan edilen diğer notlar ve grafiklerden derlenmiştir. Veri serilerinin dışında kalan alanlar için, genel karakteristiğin eğilimi referans alınmıştır. Anahtarlama periyoduna bağlı LSF eğilimlerinde, öncelikli olarak üretici verileri referans alınmıştır. Üretici tarafından beyan edilmemiş periyodlar için ise, konuyla ilgili tanım ve formüllerden faydalanılarak veri serileri tamamlanmıştır. Ürünlerle ilgili olarak üreticiler tarafından her karakteristik tamamlanmamış olup eksik karakteristik eğilimler, en yakın benzer ürün modelinin değerleri referans alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2 Philips MASTERCOLOUR CDM-T ELITE 150W_930 için kimlik dosyası [16]

1	<i>Kompakt Seramik Metal Halide (G12)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>MASTERColour CDM-T Elite 150W/930</i>
4	<i>15000</i>
5	<i>3000</i>
6	<i>92</i>
7	<i>150</i>
8	
9	<i>MT-150/30/1A-H-G12</i>
10	<i>5/3</i>
11	<i>E1</i>
12	<i>11</i>
13	<i>-</i>
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = 100$
16	$-8 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17	$0 \leq x \leq 12000;$ $x < 5950, y = 100$ $x \geq 5950, y = (-6.66629 * 10^{-10}) * x^3 + (0.0000156657) * x^2 - (0.122113) * x + 412.39$
18	$2000 \leq x \leq 19000;$ $y = (-1.3986 * 10^{-11}) * x^3 + (3.72627 * 10^{-7}) * x^2 - (0.00471029) * x + 99.5604$

Çizelge 4.3 Philips MASTER TL-D Super 80 36W_840 için kimlik dosyası [16]

1	Lineer Tüp Floresan Işık Kaynağı (26mm)
2	PHILIPS
3	MASTER TL-D Super 80 36W/840
4	3350/3350
5	4000
6	82
7	36/32
8	
9	FD-36/40/1B-E-G13-26/1200
10	5/3
11	EM1/E1
12	3/12
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = (0.0000105409 * x^3 - 0.00154341 * x^2 + 0.0590044 * x + 0.316783) * 100$
16a	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 0.00961419 * x + 0.95349$
16b	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 15000;$ $x < 9190, y = 100\&$ $x \geq 9190, y = (1.4 * 10^{-10}) * x^3 - (7.07 * 10^{-6}) * x^2 + 0.10093 * x - 345.5$
17b	$0 \leq x \leq 20000;$ $x < 14188, y = 100\&$ $x \geq 14188, y = (3.6089 * 10^{-10}) * x^3 - (2.0415 * 10^{-5}) * x^2 + 0.3710421 * x - 2091.5$
17c	$0 \leq x \leq 19000;$ $x < 14118, y = 100\&$ $x \geq 14118, y = (-4.168 * 10^{-10}) * x^3 + (1.739 * 10^{-5}) * x^2 - 0.2406905 * x + 1204.2$
17d	$0 \leq x \leq 23000;$ $x < 17057, y = 100\&$ $x \geq 17057, y = (-7.11 * 10^{-11}) * x^3 + (3.441 * 10^{-6}) * x^2 - 0.052289 * x + 370.258226$
18a	$2000 \leq x \leq 20000;$ $y = (-7.29124 * 10^{-13}) * x^3 + (3.42108 * 10^{-8}) * x^2 - (0.000764541) * x + 97.4501$
18b	$2000 \leq x \leq 20000;$ $y = (-7.29124 * 10^{-13}) * x^3 + (3.42108 * 10^{-8}) * x^2 - (0.000764541) * x + 97.4501$
18c	$2000 \leq x \leq 20000;$ $y = (-7.29124 * 10^{-13}) * x^3 + (3.42108 * 10^{-8}) * x^2 - (0.000764541) * x + 97.4501$
18d	$2000 \leq x \leq 20000;$ $y = (-7.29124 * 10^{-13}) * x^3 + (3.42108 * 10^{-8}) * x^2 - (0.000764541) * x + 97.4501$

Çizelge 4.4 Philips Master TL5 HO 54W_840 için kimlik dosyası [16]

1	<i>Yüksek Çıkışlı Lineer Tüp Floresan Işık Kaynağı (16mm)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>TL5 HO 54W/840</i>
4	<i>4450</i>
5	<i>4000</i>
6	<i>85</i>
7	<i>54</i>
8	
9	<i>FDH-54/40/1B-L/P-G5-16/1149</i>
10	<i>4/2</i>
11	<i>E1</i>
12	<i>3/8/12</i>
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = (0.000564377) * x^3 - (0.117009) * x^2 + (6.38526) * x - 8.996$
16	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 30000;$ $x < 14000, y = 99\&$ $x \geq 14000, y = ((2.13507 * 10^{-13} * x^3) - (1.42628 * 10^{-8} * x^2) + 0.000272745 * x - 0.61318) * 100$
17b	$0 \leq x \leq 33000;$ $x < 15500, y = 99\&$ $x \geq 15500, y = ((1.60411x * 10^{-13} * x^3) - (1.17874 * 10^{-8} * x^2) + 0.00024795 * x - 0.61318) * 100$
17c	$0 \leq x \leq 35000;$ $x < 16000, y = 100\&$ $x \geq 16000, y = ((1.40384 * 10^{-13} * x^3) - (1.07847 * 10^{-8} * x^2) + 0.000237169 * x - 0.61318) * 100$
18a	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18b	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18c	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$

Çizelge 4.5 Philips Master TL5 HO 54W_840 TOP için kimlik dosyası [16]

1	<i>Yüksek Çıkışlı Amalgamlı Lineer Tüp Fluoresan Işık Kaynağı (16mm)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>TL5 HO 54W/840 TOP</i>
4	<i>4750</i>
5	<i>4000</i>
6	<i>85</i>
7	<i>54</i>
8	
9	<i>FDH-54/40/1B-L/P-G5-16/1149</i>
10	<i>3/2</i>
11	<i>E1</i>
12	<i>3/8/12</i>
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = (0.000636364) * x^3 - (0.0946703) * x^2 + (4.46638) * x + 33.1119$
16	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 30000;$ $x < 14000, y = 99\&$ $x \geq 14000, y = ((2.13507 * 10^{-13} * x^3) - (1.42628 * 10^{-8} * x^2) + 0.000272745 * x - 0.61318) * 100$
17b	$0 \leq x \leq 33000;$ $x < 15500, y = 99\&$ $x \geq 15500, y = ((1.60411x * 10^{-13} * x^3) - (1.17874 * 10^{-8} * x^2) + 0.00024795 * x - 0.61318) * 100$
17c	$0 \leq x \leq 35000;$ $x < 16000, y = 100\&$ $x \geq 16000, y = ((1.40384 * 10^{-13} * x^3) - (1.07847 * 10^{-8} * x^2) + 0.000237169 * x - 0.61318) * 100$
18a	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18b	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18c	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$

Çizelge 4.6 Philips Master TL5 HE 14W_840 için kimlik dosyası [16]

1	<i>Yüksek Verimli Lineer Tüp Fluoresan Işık Kaynağı (16mm)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>TL5 HE 14W/840</i>
4	<i>1250</i>
5	<i>4000</i>
6	<i>85</i>
7	<i>14</i>
8	
9	<i>FDH-14/40/1B-L/P-G5-16/550</i>
10	<i>4/2</i>
11	<i>E1</i>
12	<i>3/8/12</i>
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = (0.000564377) * x^3 - (0.117009) * x^2 + (6.38526) * x - 8.996$
16	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 30000;$ $x < 14000, y = 99\&$ $x \geq 14000, y = ((2.13507 * 10^{-13} * x^3) - (1.42628 * 10^{-8} * x^2) + 0.000272745 * x - 0.61318) * 100$
17b	$0 \leq x \leq 33000;$ $x < 15500, y = 99\&$ $x \geq 15500, y = ((1.60411x * 10^{-13} * x^3) - (1.17874 * 10^{-8} * x^2) + 0.00024795 * x - 0.61318) * 100$
17c	$0 \leq x \leq 35000;$ $x < 16000, y = 100\&$ $x \geq 16000, y = ((1.40384 * 10^{-13} * x^3) - (1.07847 * 10^{-8} * x^2) + 0.000237169 * x - 0.61318) * 100$
18a	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18b	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18c	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$

Çizelge 4.7 Philips Master TL5 HO 24W_840 için kimlik dosyası [16]

1	Yüksek Çıkışlı Lineer Tüp Fluoresan Işık Kaynağı (16mm)
2	PHILIPS
3	TL5 HO 24W/840
4	1750
5	4000
6	85
7	24
8	
9	FDH-24/40/1B-L/P-G5-16/550
10	4/2
11	E1
12	3/8/12
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = (0.000564377) * x^3 - (0.117009) * x^2 + (6.38526) * x - 8.996$
16	$-12 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 30000;$ $x < 14000, y = 99\&$ $x \geq 14000, y = ((2.13507 * 10^{-13} * x^3) - (1.42628 * 10^{-8} * x^2) + 0.000272745 * x - 0.61318) * 100$
17b	$0 \leq x \leq 33000;$ $x < 15500, y = 99\&$ $x \geq 15500, y = ((1.60411x * 10^{-13} * x^3) - (1.17874 * 10^{-8} * x^2) + 0.00024795 * x - 0.61318) * 100$
17c	$0 \leq x \leq 35000;$ $x < 16000, y = 100\&$ $x \geq 16000, y = ((1.40384 * 10^{-13} * x^3) - (1.07847 * 10^{-8} * x^2) + 0.000237169 * x - 0.61318) * 100$
18a	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18b	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$
18c	$2000 \leq x \leq 20000;$ $x > 16000, y = 0.9\&$ $x \leq 16000, y = (2.22474 * 10^{-14}) * x^3 - (5.11797 * 10^{-10}) * x^2 - (1.45551 * 10^{-6}) * x + 0.962813$

Çizelge 4.8 Philips MASTERCOLOUR CDM-T 70W_830 için kimlik dosyası [16]

1	<i>Kompakt Seramik Metal Halide (G12)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>MASTERCOLOUR CDM-T 70W/830</i>
4	<i>6600/6600</i>
5	<i>3000</i>
6	<i>84</i>
7	<i>71/73</i>
8	
9	<i>MT-70/30/1B-H-G12</i>
10	<i>7/3</i>
11	<i>EM1/E1</i>
12	<i>11</i>
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = 100$
16a	$-8 \leq x \leq 8;$ $y = (2.7 * x + 100)/100$
16b	$-8 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 14890;$ $x < 8436, y = 100$ $x \geq 8436, y = (1.60334 * 10^{-10}) * x^3 - (7.07151 * 10^{-6}) * x^2 + (0.0901061) * x - 253.138$
17b	$0 \leq x \leq 14890;$ $x < 8436, y = 100$ $x \geq 8436, y = (1.60334 * 10^{-10}) * x^3 - (7.07151 * 10^{-6}) * x^2 + (0.0901061) * x - 253.138$
18a	$2000 \leq x \leq 10700;$ $y = (-5.32071 * 10^{-11}) * x^3 + (9.43689 * 10^{-7}) * x^2 - (0.00858118) * x + 99.3206$
18b	$2000 \leq x \leq 12000;$ $y = (-7.34266 * 10^{-11}) * x^3 + (1.24825 * 10^{-6}) * x^2 - (0.00855944) * x + 99.1189$

Çizelge 4.9 MASTER Colour CDM-T 150W_830 için kimlik dosyası [16]

1	<i>Kompakt Seramik Metal Halide (G12)</i>
2	<i>PHILIPS</i>
3	<i>MASTERCOLOUR CDM-T 150W/830</i>
4	<i>14000/14000</i>
5	<i>3000</i>
6	<i>88</i>
7	<i>147/150</i>
8	
9	<i>MT-150/30/1B-H-G12</i>
10	<i>7/3</i>
11	<i>EM1/E1</i>
12	<i>11</i>
13	-
14	
15	$5 \leq x \leq 70;$ $y = 100$
16a	$-8 \leq x \leq 8;$ $y = (2.7 * x + 100)/100$
16b	$-8 \leq x \leq 8;$ $y = 1$
17a	$0 \leq x \leq 12000;$ $x < 5950, y = 100$ $x \geq 5950, y = (-6.66629 * 10^{-10}) * x^3 + (0.0000156657) * x^2 - (0.122113) * x + 412.39$
17b	$0 \leq x \leq 12000;$ $x < 5950, y = 100$ $x \geq 5950, y = (-6.66629 * 10^{-10}) * x^3 + (0.0000156657) * x^2 - (0.122113) * x + 412.39$
18a	$2000 \leq x \leq 9800;$ $y = (-9.22605 * 10^{-11}) * x^3 + (1.76278 * 10^{-6}) * x^2 - (0.0131843) * x + 96.6968$
18b	$2000 \leq x \leq 12700;$ $y = -(7.43331 * 10^{-11}) * x^3 + (1.5904 * 10^{-6}) * x^2 - (0.0118114) * x + 95.807$

4.1.2 Genişletilmiş Eulumdat Dosyası (LDT+)

Günümüzde profesyonel aydınlatma tasarımlarının neredeyse tamamı, gelişmiş aydınlatma tasarım yazılımlarıyla yapılmaktadır. Yapılan araştırmalardaki değerlendirme sonuçları göstermektedir ki, günümüz aydınlatma tasarımları %1 gibi düşük değerlerde aydınlatma modellemesi yapabilmektedir. Modelleme sonuçlarının doğruluğu açısından iki temel unsur bulunmaktadır. Bunlardan birincisi uygulamanın doğru modellenmesi, ikincisi ise ışık kaynağının doğru karakterize edilmesidir. Günümüzde standartlaşan yaklaşımlar doğrultusunda armatür tasarımlarının fotometrik karakteristikleri, yapılan gonyofotometrik ölçümler sonucu ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan fotometrik karakteristik ve armatürün genel özellikleri, IES veya LDT dosya formatlarında

oluşturularak bilgisayar yazılımları tarafından da kullanılabilir hale gelmektedir. CIE'nin 102 nolu yayınında, genel yapısı tanımlanan bir "Eulumdat" dosyasındaki veriler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

"Eulumdat (LDT)" dosya formatı içerisindeki satır adedi, C düzlem sayısı ve her C düzlemindeki "gama" açısının sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aydınlatma tasarım yazılımları, dosya formatı içerisindeki belirli satırları referans alarak armatüre ait elektriksel, fiziksel ve fotometrik yapısını modeller. Yani bir aydınlatma yazılımı; mevcut LDT formatı içerisinde dikkate alacağı limitleri, yeni LDT dosyası içerisindeki diğer verilere bakarak belirler. Bu kapsamda; LDT dosyasının tanımlı limitlerinin ötesinde ek satır tanımlamalarının yapılmasının, dosya formatında herhangi bir değişikliğe sebebiyet vermediği anlaşılmıştır. Bu imkan sayesinde genişletilmiş armatür fotometrik dosyası oluşturularak; armatüre ve armatür içerisindeki bileşenlere has parametrelerin de LDT dosyasına eklenecek ek satırlar ile tanımlanması mümkündür. LDT+ dosyası içerisinde sadece temel ışık dağılım karakteristiklerinin ötesinde, bakım katsayısı ve değer düşümüne etki edecek karakteristik ve/veya bileşen özellikleri tanımlanabilmektedir.

Balast faktörü ve akım toleransı tamamen armatür yapısına bağlı olarak değişkenlik içereceğinden, armatür fotometrik verisi ile ilişkilendirilmesi öngörülmektedir. Termal etkinin doğru analiz edilebilmesi için, mutlaka fotometrik ölçüm sürecinde kullanılan kaynağın karakteristiği ve armatür iç ortam sıcaklığının ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, özellikle bu konuda hassasiyet gösteren LED ve floresan ışık kaynaklarının kullanıldığı armatürlerde kullanılabilecek farklı ışık kaynağı modellerinin doğuracağı termal hassasiyet kaynaklı sapmaların da bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle de, armatür iç ortam sıcaklığı ve kullanılan ışık kaynağının o sıcaklık değerine bağlı performans çarpanı da tanımlanmalıdır. Bu sayede, armatür fotometrik verisinin hazırlandığı ışık kaynağından farklı bir ürün modeli kullanılması durumunda görülecek sapmaların da karakterize edilmesi mümkün olacaktır.

Çizelge 4.10 Eulumdat dosya formatı yapısı [23]

1	Max 78 karakterlik tanımlama satırı
2	Tip indisi
3	Simetri indisi
4	0-360 derece arasındaki C düzlemi sayısı
5	C düzlemler arasındaki mesafe
6	Her C düzlemindeki ışık şiddeti değeri
7	Her bir C düzlemindeki ışık şiddeti değerleri arasındaki mesafe (gama açısı)
8	Ölçüm raporu numarası
9	Armatür ismi
10	Armatür numarası
11	Dosya adı
12	Tarih / Kullanıcı
13	Armatürün boyu/çapı (mm)
14	Armatürün genişliği b (mm) (b = 0 dairesel armatür için)
15	Armatürün yüksekliği(mm)
16	Işıyan düzlemin boyu/çapı (mm)
17	Dairesel olmayan armatürler için armatürün eni
18	Işıklı yüzey yüksekliği C0-düzlemi (mm)
19	Işıklı yüzey yüksekliği C90-düzlemi (mm)
20	Işıklı yüzey yüksekliği C180-düzlemi (mm)
21	Işıklı yüzey yüksekliği C270-düzlemi (mm)
22	Alt yarı düzleme yönelendirilmiş ışık oranı (%)
23	Armatür ışık çıkış oranı (%)
24	Işık şiddeti değerleri için düzeltme çarpanı
25	Ölçüm esnasında armatürün eğimi (Genellikle sokak armatürleri için)
26	Standart lamba seti sayısı
26a	Lamba sayısı
26b	Lambanın tipi
26c	Lümen cinsinden toplam ışık akısı değeri
26d	Lamba renksel özelliği / renk sıcaklığı
26e	Renksel geriverim grubu / renksel geriverim indeksi
26f	Watt cinsinden balast kayıpları dahil armatür gücü
27	Verim metodu gibi usüllerinde k= 0.6-5 için DR değeri
28	C düzlem açıları
29	Gama açıları
30	Işık şiddeti yoğunluğu değerleri (candela / 1000 lümen)

Armatürlerin LMF eğilimleri konusunda, CIE tanımlamalarının ötesinde üretici deklarasyonlarına da yer verilebilmelidir. Bunun ötesinde, armatürlerde görülecek geri kazanılmayan malzeme eskimesi etkilerinin de karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle LDT+ dosyası, standart LDT dosyasında herhangi bir bozulmaya sebebiyet vermeden bu karakteristiklerin eklenmesine olanak sunacak bir çözüm olmaktadır. LDT+ dosyası, genel simülasyon yazılımlarında da LDT dosyası gibi kullanılabilir. LDT+ dosyasının oluşturulması için mevcut fotometrik dosya formatında öngörülen eklentiler aşağıdaki gibidir:

Satır+1 ILCOS kodu: Seçilen ışık kaynağı kimlik verisinin, teknik açıdan LDT dosyası bulunan armatür yapısı ile uygunluğunun değerlendirilmesi için ILCOS kodu üzerinden bir eşleme yapılacaktır. Burada tanımlı ILCOS kodu, ilgili armatürün hangi tip ışık kaynakları ile çalıştırılabildiğini tanımlayan bir kod görevi üstlenmektedir.

Satır+2 Kullanılan yardımcı bileşen tipi: Işık kaynağı kimlik dosyasında ışık kaynağının bileşen uyumluluğu tanımlanmıştır. Armatür içerisindeki devre yapısının da benzer şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, ışık kaynağı kimlik dosyasındaki aynı sistematiğe tanımlama yapılmaktadır. Buradaki tanımlar EM1, EM2, E1 ve E2 olacaktır. EM1, floresan sistemler için standart elektromanyetik sistem ve standart "starter" kullanımı için tanımlıdır. EM2 ise floresan sistemlerde standart elektromanyetik balast ve elektronik "starter" kullanımı için geçerlidir. HID sistemler için ise EM1, standart elektromanyetik sistem ve seri veya paralel standart ateşleyici devresi anlamına gelmektedir. EM2 ise, günümüzde lamba ömrüne pozitif etkisi bilinen (%30-%50) dijital ateşleyiciler ile standart elektromanyetik balast devrelerinin kullanıldığı durumlar için geçerlidir.

Satır+3 Akım toleransı veya balast faktörü: Bu satırda tanımlanan sayısal değer; eğer kullanılan yardımcı eleman elektromanyetik ise akım toleransı, devre elemanı elektronik ise balast faktörü değerini tanımlayacaktır. Bu endeks, geri kazanılamayan değer düşümünün belirlenmesinde doğrudan kullanılacak girdilerden biridir.

Satır+4 Termal çarpan: X/Y formatında oluşturulan termal indeks, armatür iç ortam sıcaklığı ile içerisinde kullanılan ışık kaynağının bu değere karşılık gelen performans değerini tanımlar. Bu durumda; birinci bileşen armatür iç ortam, yani ışık kaynağının bulunduğu bölgenin normal işletme koşullarındaki sıcaklık değerini, ikinci bileşen ise

armatür fotometrik ölçümlerinde kullanılan ışık kaynağının armatür iç sıcaklığı değerine gelen performans çarpanını temsil eder. Bu endeks, özellikle fotometrik ölçümlerde kullanılan ışık kaynağından daha farklı termal karakteristiğe sahip ışık kaynaklarının kullanıldığı durumlarda hesaplanacak düzeltme çarpanlarından biri olacaktır.

Satır+5 Kirlilik kategorileri: Oluşturulacak LMF denklemlerinin kirlilik kategorileri burada tanımlanacaktır. Bu tanımlama, üretici veya CIE tarafından LMF eğilimleri tanımlanmış ortam koşulları içindir. Örnek olarak; “Temiz/Normal/Kirli” formatındaki ifade ürüne ait temiz, normal ve kirli işletme şartlarında 3 farklı LMF ve LMF- grafiği bulunduğu anlamına gelecektir. Üretici tarafından daha farklı tanımlamalar söz konusu ise, format üretici beyanına uygun olarak girilebilecektir.

Satır+6 (a-z) LMF Eğilimi: Armatürün üretici tarafından tanımlanmış veya CIE sınıflandırmasına karşılık gelen LMF eğiliminin denklemi bu satırlarda yer alacaktır. Bu kısımda tanımlı olacak LMF eğilimi sayısı, tanımlı kirlilik kategorisi kadar olacaktır. Eğilim denkleminin baş kısmında, “;” ifadesi ile ayrılmış eğilim tanımlama aralığı bulunmaktadır. Noktalı virgül ifadesinden sonra ise eğilim denkleminin kendisi bulunmaktadır. Örnek bir aydınlatma armatürünün 0,5 ila 3 yıl aralığında geçerli olan LMF eğilimi eşitlik (3.3)’deki gibidir.

$$0.5 \leq t \leq 3;$$

(4.3)

$$y = (1.13616 * 10^{-16}) * 7t^3 - (1.26346 * 10^{-15}) * t^2 - (0.04) * t + 0.97$$

Satır+7 Armatür değer düşümü (LMF-): Eğer armatüre ait üretici tarafından beyan edilen geri kazanılamayan etkiler varsa, denklem formatında karakterize edilecektir. Bu denklem yapısı da LMF ile aynı formatta olacaktır. Esasında hesaplanan LMF değeri içerisinde, geri kazanılmayan faktörlerin etkileri de bulunmaktadır. Fakat; hesaplama algoritması içerisinde tercihen bu etkilerin ayrıştırılarak, uzun soluklu işletme yaklaşımlarında (5-15 yıl) oluşacak tüm etkilerin modellenmesi amacıyla bu tip bir tanımlama yapılması öngörülmüştür. Üreticiler tarafından bu konuda herhangi bir deklarasyon bulunmadığından, genel malzeme özellikleri referans alınarak örnek eğilimler oluşturulmuştur.

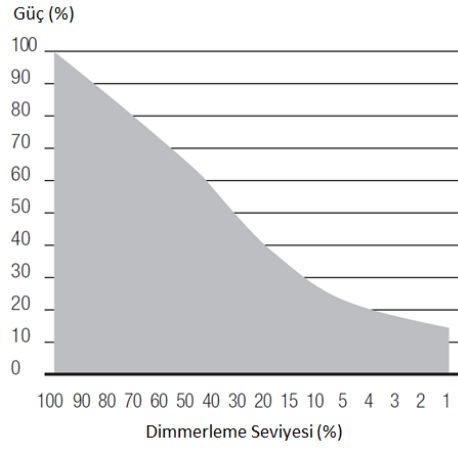
LMF-etkisi genel olarak sıcaklık ve UV (Ultraviyole) odaklı oluşacağından, burada tozlanma ve kirlilik kategorisinin etkisinin az olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle, örnek

yaklaşımında tek bir denklem oluşturulması yeterli görülmüştür. Fakat burada LMF eğiliminden farklı olarak, duruma göre yıllık ışık kaynağı kullanım süresi de etkili olabilmektedir. Zira yüksek ısı ve/veya UV çıkışının söz konusu olduğu durumlarda, normal zaman etkisinin ötesinde bu etkileri yüksek oranda oluşturabilecek ışık kaynağının yıllık kullanım süresinin de denklemlerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Genel olarak; LLMF ve LSF denklemlerinde “x” ile ifade edilen yıllık kullanım süresine karşılık, LMF ve LMF- grafiklerinde “t” ifadesi kullanılmaktadır. Sıcaklığın ve kaynağın UV çıkışının etkinliği ise, kullanım yılının yanı sıra yıllık lamba kullanım süresine bağlı olacaktır. Dolayısıyla (yüksek içi ısıya sahip armatürler ve/veya yüksek UV çıkışı olan lambaların kullanıldığı armatürler için) genel kullanım yılının yanı sıra, yıllık ışık kaynağı kullanım süresi de denklemle ilişkilendirilmiştir. Yüksek iç sıcaklığın oluşmadığı ve UV etkisinin çok düşük olduğu durumlar için, kaynağın yıllık kullanım süresinin etkinliği gözardı edilecek şekilde denklem çeşitliliği oluşturulabilecektir.

SATIR+8 Işık dağılım karakteristiği: RSMF katsayısının hesaplanmasında armatürün ışık dağılım karakteristiği esas alındığından, armatürün fotometrik karakteristiğine karşılık gelen indeks bu satırda tanımlanmaktadır. 0:Direkt, 1:Direkt/endirekt ve 2:Endirekt ışık dağılım karakteristiğine karşılık gelmektedir.

Satır+9 Dimmerlemeye bağlı güç eğilimi: Lambanın güç tüketim eğilimi aynı zamanda balastın özelliğine bağlı olarak farklılık göstereceğinden, armatür kimlik dosyası içerisinde tanımlanmıştır. İleriki kısımlarda etkisi deneysel çalışmalar ile analiz edilen bu eğilimler, günümüzde balast üreticileri tarafından da beyan edilmektedir. Bu kapsamda eğer ki armatür dimmerlenebilir özellikte ise, LDT+ dosyasının bu satırı dimmerlemeye bağlı güç eğilimine karşılık gelecektir. Bakım analizlerinde kullanılmayacak bu veri, işletme modelleri ve enerji analizleri için önemli bir girdidir. Dimmerlenebilir olmayan armatür tesisatları için bu kısımda bir veri bulunmayacaktır.

Örnek olarak, global bir üreticinin 2xT5 ışık kaynakları ile kullanılan DALI [57] tabanlı dimmerlenebilir elektronik balastları için tanımladığı güç eğilimleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Oluşturulan LDT+ dosyalarından sadece 4x54W gücündeki armatür dimmerlenebilir özelliktedir. Çalışma kapsamında oluşturulan örnek LDT+ dosyalarının ek satırları Çizelge 4.11-4.16’daki gibidir.



Şekil 0.1 Dimmerlemeye bağlı güç eğilimi [13]

Çizelge 4.11 4x54W T5 floresan yüksek tavan armatürü için LDT+ ek satırları

+1	FDH54/40/1B-L/P-G5-16/1149
+2	E1
+3	0.95
+4	50/0,85
+5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
+6a	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00298368) * t^3 + (0.0261072) * t^2 - (0.0839161) * t + 0.992727$
+6b	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00261072) * t^3 + (0.026014) * t^2 - (0.0990676) * t + 0.972727$
+6c	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00671329) * t^3 + (0.0568765) * t^2 - (0.175012) * t + 0.983636$
+7	$0 \leq t \leq 10; 0 \leq x \leq 8760;$ $y = \left(\frac{x}{4000}\right) * ((0.0000474716) * t^3 - (0.0000670795) * t^2 + (0.00363983) * t - 0.000422085)$
+8	0
+9	$1 \leq x \leq 100;$ $y = (4.479 * 10^{-5}) * x^3 - 0.0101544 * x^2 + 1.42834633 * x + 13.9804$

Çizelge 4.12 46W LED genel aydınlatma armatürü için LDT+ ek satırları

+1	AR-L46-V11
+2	A350
+3	1
+4	45/0.97
+5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
+6a	$0.5 \leq x \leq 3;$ $y = (-0.00696193) * t^3 + (0.046993) * t^2 - (0.142222) * t + 0.981212$
+6b	$0.5 \leq x \leq 3;$ $Y = (-0.0106915) * t^3 + (0.0712354) * t^2 - (0.190474) * t + 0.948485$
+6c	$0.5 \leq x \leq 3;$ $y = (-0.0133023) * t^3 + (0.0810256) * t^2 - (0.212758) * t + 0.909394$
+7	$0 \leq t \leq 10;$ $y = (-0.0000629515) * t^3 + (0.00143344) * t^2 + (0.00251522) * t - 0.000682147$
+8	0
+9	-

Çizelge 4.13 1x36W T8 floresan bant tipi armatür için LDT+ ek satırları

1	FD-36/40/1B-E-G13-26/1200
2	EM1
3	0.97
4	25/1
5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
6a	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (1.13616 * 10^{-16}) * 7t^3 - (1.26346 * 10^{-15}) * t^2 - (0.04) * t + 0.97$
6b	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00049728) * t^3 + (0.00261072) * t^2 - (0.0527428) * t + 0.93697$
6c	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00808081) * t^3 + (0.0526807) * t^2 - (0.157514) * t + 0.939394$
7	$0 \leq t \leq 10;$ $y = (0.0000134159) * t^3 - (0.000150671) * t^2 + (0.00315248) * t - 0.000178535$
8	0
9	-

Çizelge 4.14 3x24W T5 fluoressan genel aydınlatma armatürü için LDT+ ek satırları

1	FDH-24/40/1B-L/P-G5-16/550
2	E1
3	0.96
4	40/0,97
5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
6a	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00957265) * t^3 + (0.0616317) * t^2 - (0.166931) * t + 0.987576$
6b	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.0106915) * t^3 + (0.0689977) * t^2 - (0.182642) * t + 0.939394$
6c	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.0160373) * t^3 + (0.0955711) * t^2 - (0.234406) * t + 0.916364$
7	$0 \leq t \leq 10;$ $y = (-0.0000653595) * t^3 + (0.00147523) * t^2 + (0.00228801) * t - 0.000306502$
8	0
9	-

Çizelge 4.15 150W metal halide spot armatürü için LDT+ ek satırları

1	MT-150/30/1A-H-G12
2	EM1
3	0.97
4	70/1
5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
6a	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00445066) * t^3 + (0.0291841) * t^2 - (0.0816845) * t + 0.99197$
6b	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (0.00037296) * t^3 + (0.00760839) * t^2 - (0.0659254) * t + 0.958727$
6c	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00681274) * t^3 + (0.0561119) * t^2 - (0.170693) * t + 0.98103$
7	$0 \leq t \leq 10; 0 \leq x \leq 8760;$ $y = \left(\frac{x}{5000}\right) * ((-0.0000199518) * t^3 + (0.00132663) * t^2 + (0.00729936) * t - 0.0000815273)$
8	0
9	-

Çizelge 4.16 150W metal halide spot armatürü için LDT+ ek satırları

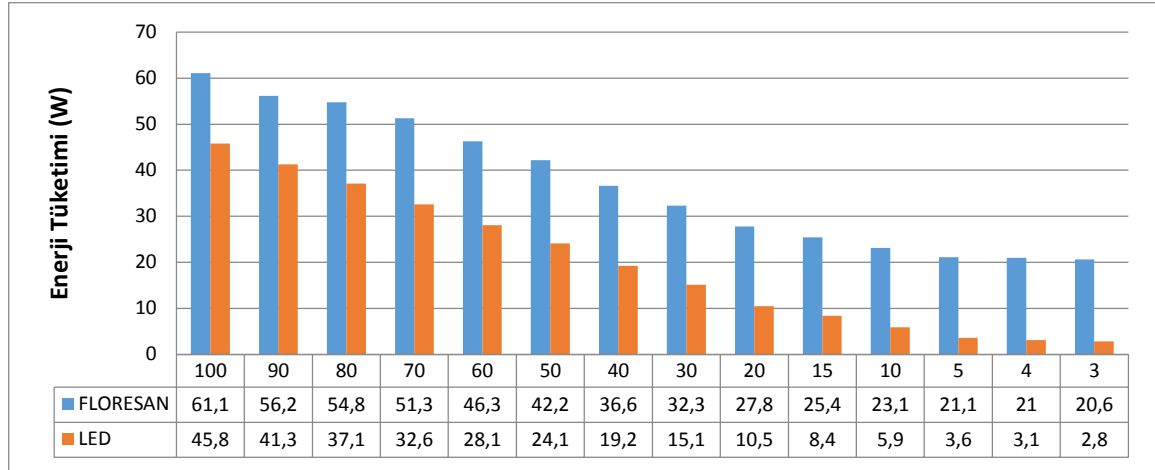
1	MT-150/30/1A-H-G12
2	E1
3	0.97
4	68/1
5	TEMİZ/NORMAL/KİRLİ
6a	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00445066) * t^3 + (0.0291841) * t^2 - (0.0816845) * t + 0.99197$
6b	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (0.00037296) * t^3 + (0.00760839) * t^2 - (0.0659254) * t + 0.958727$
6c	$0.5 \leq t \leq 3;$ $y = (-0.00681274) * t^3 + (0.0561119) * t^2 - (0.170693) * t + 0.98103$
7	$0 \leq t \leq 10; 0 \leq x \leq 8760;$ $y = \left(\frac{x}{5000}\right) * ((-0.0000199518) * t^3 + (0.00132663) * t^2 + (0.00729936) * t - 0.0000815273)$
8	0
9	-

4.2 Dimmerlemeye Bağlı Işık ve Güç Eğilimleri

Genel olarak dimmerleme seviyeleri için; ışık kaynağı teknolojilerinin performans ve tüketim eğilimleri üzerine çok fazla çalışma yapılmadığından ve/veya bilinmediğinden, genel olarak dimmerlemeye eş veya yakın değerlerde bir eğilim gösterdiği ve ışık ile güç tüketim oranlarının eş olduğu kabul edilerek modelleme yapılmaktadır. Bu durum aydınlatma yazılımları için de benzerlik taşımakta ve dimmerleme oranına eş oranda bir güç azalımı olduğu kabul edilmektedir. Oysa ki, kullanılan ışık kaynağının tipine ve elektronik bileşen/ışık kaynağı kombinasyonuna bağlı olarak eğilimlerin büyük farklılıklar göstermesi söz konusu olabilmektedir. Bu noktada; ışık akısı ile güç denkleminin tüm koşullarda eş oranda değişim gösterdiğini kabul etmek, enerji modellerinin gerçek işletme koşullarıyla büyük ölçüde farklılık taşımasına sebep olabilecektir.

Bir genel aydınlatma armatürünün floresan ve LED versiyonlarının dimmerlemeye bağlı performans değişimlerinin izlenmesi için, farklı dijital dim seviyelerindeki ışık çıkışlarının ve elektriksel tüketimlerinin ölçümleri yapılmıştır. Deneye tabi armatürün floresan versiyonu içerisinde, 4 adet 14W gücünde 16mm çaplı Lineer T5 ışık kaynağı ve 1 adet

4x14W gücünde A1 sınıfı DALI tabanlı elektronik balast kullanılmaktadır. Floresan tabanlı model, normal işletme şartlarında (230V besleme gerilimi, %100 ışık seviyesi) 61,1W tüketerek 2217 lümen net ışık çıkışı sağlamaktadır. Armatürün LED versiyonu içerisinde ise, düşük güçlü SMD LED’lerin kullanıldığı 4 adet modül ve 1 adet DALI tabanlı sabit akım sürücü devre kullanılmaktadır. LED tabanlı model normal işletme şartlarında (230V, %100 ışık seviyesi) 45,8W tüketerek 2180 lümen net ışık çıkışı sağlamaktadır [58].



Şekil 4.2 Floresan ve LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı güç tüketimi [58]

Şekil 4.2’deki sonuçlardan da görülebileceği üzere, dimmerlemeye bağlı güç tüketimi konusunda armatür tipine de bağlı olarak ciddi farklılıklar görülmesi mümkündür. Özellikle floresan sistemler için, lineer bir yapıdan çok daha farklı bir karakteristik eğilim söz konusudur. Deneye tabi 4x14W gücündeki floresan sistem; dimmerlemenin yapılmadığı tam yüklü durumda 61,1W enerji tüketirken, %3 gibi düşük dimmerleme seviyesinde 20,6 W enerji tüketmektedir. LED sistem için ise, enerji tüketimi %100 - %3 dimmerleme aralığı için 45,8 ile 2,8 W arasında ve belirli bir seviyeye kadar daha doğrusal bir eğilim göstermektedir. Her iki armatür tipi için %3 - %100 çalışma seviyelerinde geçerli olan enerji eğilimleri (4.4) ve (4.5)’deki eşitliklerdeki “i” gibi elde edilmiştir. Denklemler “LibreOffice Calc-CorelPolyGui Add-On” kullanılarak 6. Derece polinoma yakınsama olarak hesaplanmıştır [59].

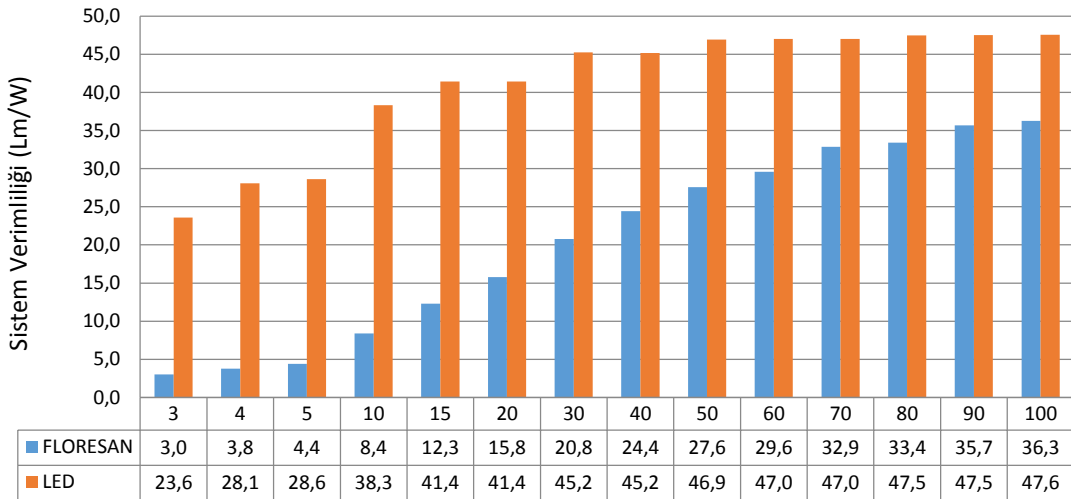
Floresan armatür için dimmerleme seviyesine “(x)” bağlı enerji tüketim “(y_{FL})” denklemi: (Yakınsama doğruluğu 0,99972)

$$\begin{aligned}
 y_{FL} = & (0.00000000113156350858644 * x^6) - (0.000000321194190016263 * x^5) + \\
 & (0.0000341345785761498 * x^4) - (0.00171155599110154 * x^3) + \\
 & (0.0420089779451644 * x^2) - (0.00907653461615145 * x) + 20.3557587922132
 \end{aligned} \quad (4.4)$$

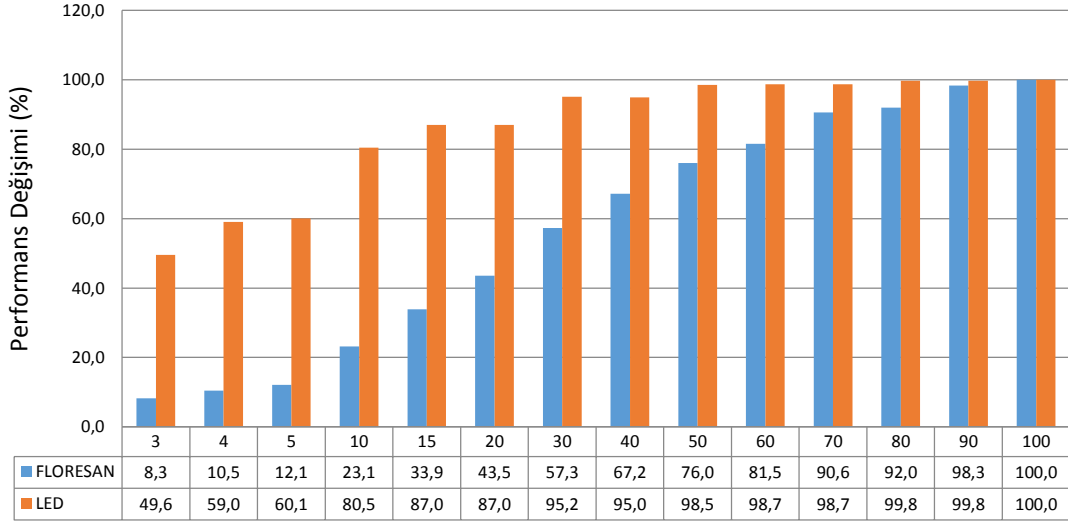
LED armatür için dimmerleme seviyesine “(x)” bağlı enerji tüketim “(y_{LED})” denklemi: (Yakınsama doğruluğu 0,99993)

$$y_{LED} = (0.0000000000682582383358975 * x^6) - (0.0000000199307995766669 * x^5) + (0.00000214775022153381 * x^4) - (0.000101517354538948 * x^3) + (0.00168675617454179 * x^2) - (0.453851011115255 * x) + 1.3337191308007 \quad (4.5)$$

Armatür ışık çıkışının dimmerlenmesi durumunda farklı oranlarda değişen elektriksel tüketim, aynı zamanda armatürün sistem verimliliğinin de (armatürün ışık çıkışının armatür gücüne oranı) ciddi seviyede farklılıklar göstermesine sebebiyet vermektedir. Bu noktada; deneye tabi armatürlerin farklı dimmerleme seviyeleri için farklı yük eğilimleri gösterdiği gözlemlenirken, bu değişimlerin armatürlere ait sistem verimliliğini de ciddi oranda değiştirdiği görülmektedir. Enerji tüketiminin dimmerlemeye bağlı olarak gösterdiği değişim; aynı zamanda dimmerlemeye bağlı verimlilik değişimine neden olmakta, diğer bir bakış açısıyla sistemlerde normal çalışma koşullarına göre performans değişimleri görülmesi anlamına gelmektedir. Şekil 4.3’de armatürlerin farklı dimmerleme seviyeleri için toplam sistem verimliliği gösterilirken, Şekil 4.4’de bu değişim yüzdesel olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Floresan ve LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı verimlilik değerleri [58]



Şekil 4.4 4x14W T5 ve 46W LED armatürün dimmerleme kademelerine bağlı performans değişimi [58]

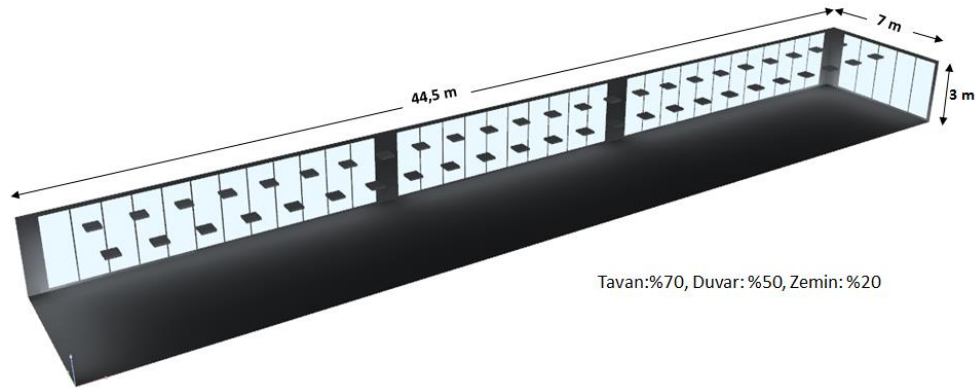
Sonuçlardan da görülebileceği üzere; farklı ışık kaynağı teknolojilerinin dimmerlemeye bağlı enerji tüketim karakteristikleri, etkinlik faktörleri ve performans kayıpları büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Deneye tabi 4x14W floresan armatür için %50 dimmerleme seviyelerinde performans kaybı %24 iken, %10 dimmerleme seviyesi için performans kaybı %77 mertebelerindedir. %10 seviyesinin altındaki dimmerleme oranları için ise performans kayıpları %90'ı aşabilmektedir.

Deneye tabi 46W LED armatür için ise %50 dimmerleme seviyesinde performans kaybı %2'den küçük iken, %10 dimmerleme seviyesi için bu değer %20'den küçüktür. Bu değer altındaki dimmerleme seviyeleri için sistem performansı %50'lere kadar gerileyebilmektedir. Bu sonuçlara dayanarak; LED sistemlerin dimmerlemeye karşı enerji verimliliği açısından daha uygun olduğu ve verimlilik açısından floresan sistemlerin bariz bir performans kaybı gösterdiği sonucuna varılabilecektir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, enerji modellemesi açısından özellikle ışık kaynağı yapısına bağlı olarak farklı karakteristikler görülebildiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda; buradaki karakteristiğin ışık kaynağı teknolojisinin yanısıra, kullanılan yardımcı bileşen ve devre kombinasyonuna bağlı olarak da belirli ölçüde farklılık göstermesi de söz konusu olabilmektedir.

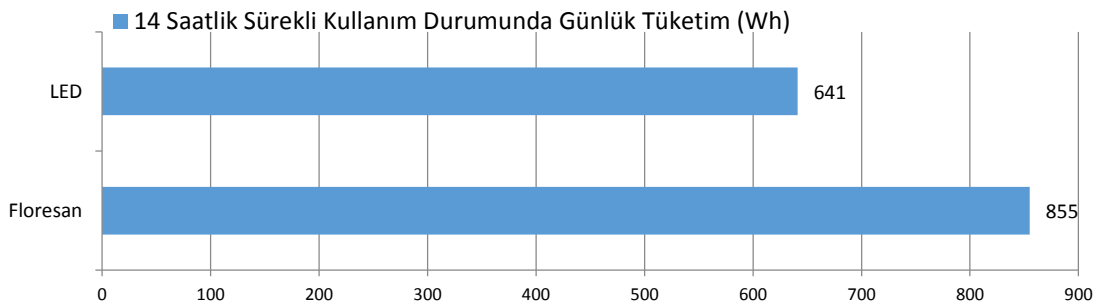
4.2.1 Örnek Değerlendirme

Yapılan deneysel çalışmalarda etkisi gözlemlenen performans farklılıklarının sürekli işletme koşullarında sistem verimliliğini ne boyutta etkilediğinin analiz edilebilmesi için, ilk olarak Şekil 4.5’deki yapıda 310 m²’lik yüksek günışığından faydalanma oranına sahip bir açık ofis yapısı üzerinden enerji analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Örnek açık ofis modeli [58]

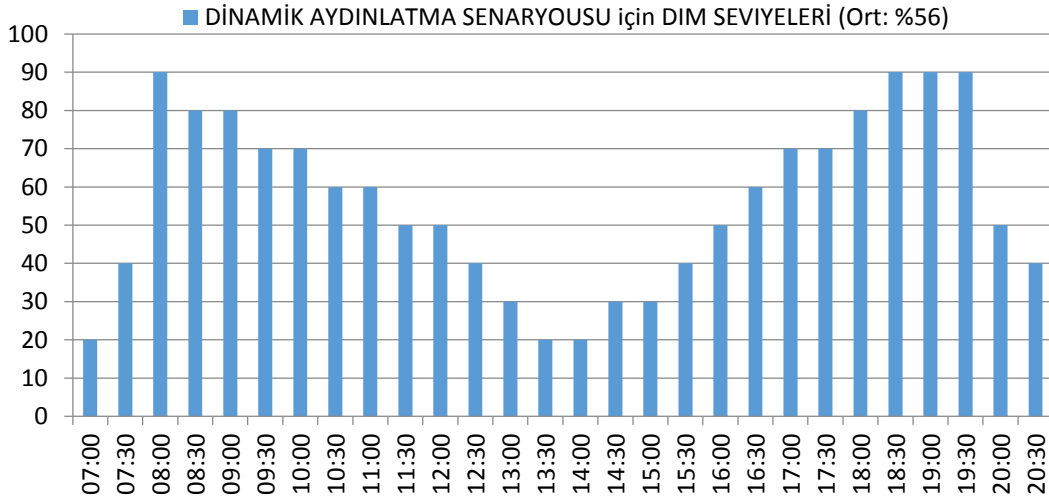
Deneye tabi LED veya floresan armatürlerden 48 adet kullanılarak, çalışma düzleminde ortalama 500 lüks elde edilebilmektedir. Saat 7:00 – 21:00 saatleri arasında aydınlatma sistemlerinin çalışma programının tanımlandığı ve 8:00-20:00 saatleri arasında etkin mesai süresi tanımlı olan bir ofis alanının aydınlatılması için kullanılacak her bir armatürün, herhangi bir otomasyon altyapısı olmadan kullanılması durumunda yıllık tüketim miktarı Şekil 4.6’daki gibidir.



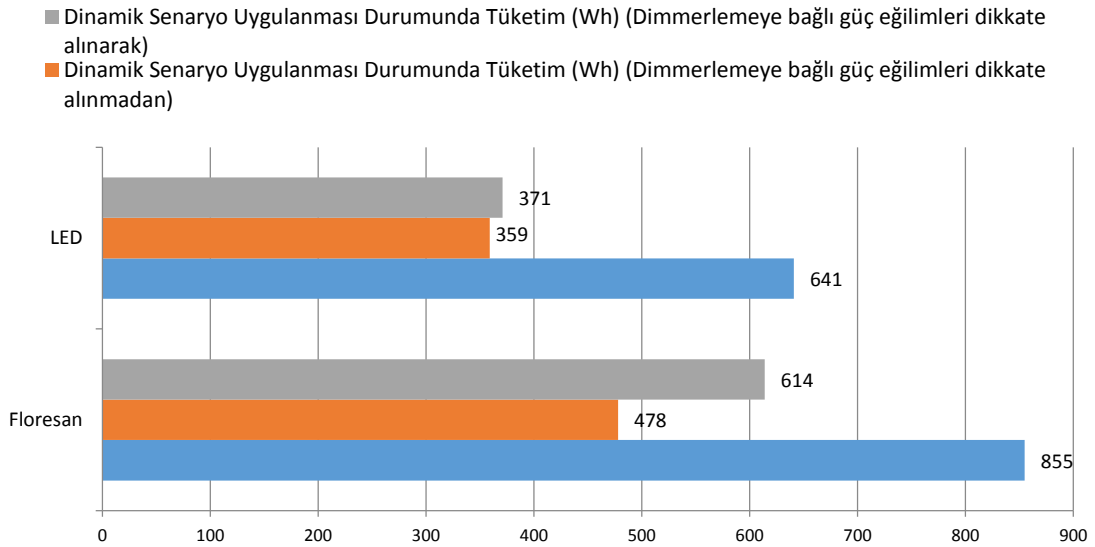
Şekil 4.6 14 saatlik sürekli kullanım için armatür bazında tüketim değerleri [58]

Günümüzde modern altyapıların neredeyse tamamında; günışığı potansiyeli, kullanım gereksinimleri ve işletme senaryoları doğrultusunda ışığın dimmerlenmesine olanak sunan kontrol teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Bu tip bir altyapı kullanılarak örnek

yapı için oluşturulan aydınlatma senaryosu Şekil 4.7’deki gibidir. Örnek uygulamada saat 08:00 ile 20:00 saatleri dışında kalan sürelerde genel ve güvenlik amaçlı aydınlatma yapıldığından ötürü armatürler %20 ve %50 seviyelerinde çalıştırılmaktadır. Tanımlı mesai süresi içerisinde armatürler için, mola saatleri ve günışığı potansiyelinin de etkisiyle (21 Mart) %90 ile %20 arasında değişen kademelerde bir kullanım söz konusudur.



Şekil 4.7 Örnek bir ofis alanı için aydınlatma senaryosu (21 Mart) [58]



Şekil 4.8 Armatür bazında günlük tüketim değerleri [58]

Şekil 4.7’deki tanımlı aydınlatma senaryosunun kullanılması durumunda, genel kabullere dayalı olarak elde edilen tüketimler ile deneysel çalışma sürecinde elde edilen güç eğilimleri kullanılarak elde edilen tüketim değerleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir.

Şekil 4.8’den de görülebileceği üzere, dimmerleme seviyesine eş oranda bir enerji tüketim değişimi olduğunu kabul edilerek senaryo oluşturulması durumu ile ürünlere ait gerçek enerji profillerini kullanılması durumu için farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Örnek işletme modeli için görülen sapma oranları Çizelge 4.17’deki gibidir.

Çizelge 4.17 Enerji modellemelerinde görülebilecek sapma değerleri-1 [58]

	Dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri dikkate alınmadan elde edilen değer (tahmin edilen)	Dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri dikkate alınarak elde edilen değer (karakterize edilen)	Sapma
(Floresan Versiyon)	478	614	+%28,45
(LED Versiyon)	359	371	+%3,34

Örnek uygulama için; ürüne ait karakteristik profillerin kullanılmaması durumunda, floresan sistemlerde %28,45 mertebelerinde sapma görülebilmektedir. LED sistemler ise dimmerlemeye bağlı daha orantılı bir karakteristik gösterdiğinden, sapma %3,34 seviyelerindedir. Bunun sebebi, ilgili senaryolardaki dimmerleme aralıklarında LED sistemlerin çok büyük ölçüde dimmerleme seviyesine paralel ölçüde bir güç eğilimi göstermesidir. Fakat bu eğilimin daha düşük dimmerleme seviyelerinde daha büyük farklılık göstereceği Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’den anlaşılabilir.

Daha düşük dimmerleme seviyelerinin esas alındığı durumlarda görülecek sapmaların değerlendirilmesi adına ikinci bir model oluşturularak, varlığa bağlı kontrolün yapıldığı bir hastahane koridorunun enerji analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bilindiği üzere hastanelerde koridor gibi genel mahaller; EN12464-1 standardı gereğince gündüz zaman diliminde ortalama 200 lüks, akşam zaman diliminde ise ortalama 50 lüks sağlanacak şekilde projelendirilmektedir. Genel olarak, günışığı potansiyeli olmayan bu alanlarda varlık kontrolü ile dimmerleme yapılması oldukça popülerdir.



Şekil 4.9 Örnek hastane koridoru [58]

Şekil-4.9'daki gibi günışığından yararlanılmayan 62 m²'lik (23m boyunda) bir hasta odası kat koridorunda, varlığa duyarlı sensörler ile oluşturulan otomasyon senaryosu aşağıdaki gibidir.

Gündüz: 07:00 – 19:00

- Varlık algılandığı durumlarda: ~200 lüks (%90 dijital dim seviyesi)
- Varlık algılanmayan durumlar: ~75 lüks (%40 dijital dim seviyesi)

Gece: 19:00 – 07:00

- Varlık algılandığı durumlarda: ~50 lüks (%25 dijital dim seviyesi)
- Varlık algılanmayan durumlar: ~30 lüks (%15 dijital dim seviyesi)

Varlığa duyarlı senaryoda senaryonun kısık moda geçmesi için öngörülen gecikme süresi 2 dakika olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda ortalama çalışma süreleri Tablo-4.18 ve Tablo-4.19'daki gibidir.

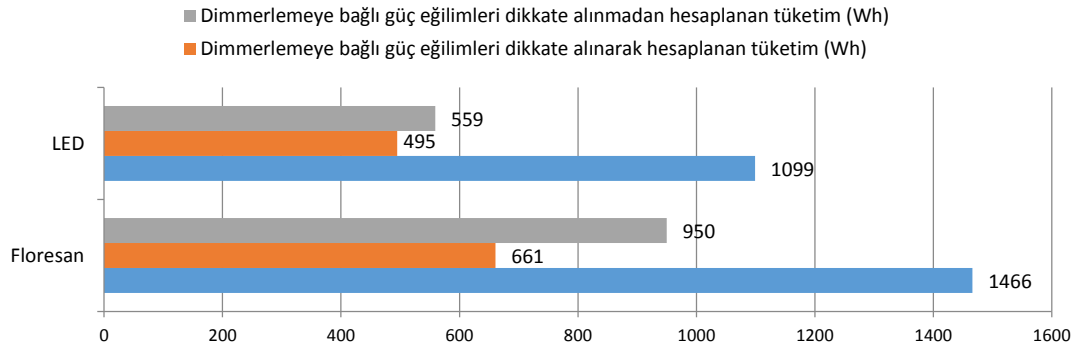
Çizelge 4.18 Gündüz zaman dilimi yüksek ve düşük modda çalışma oranları [58]

ZAMAN DİLİMİ	SAAT		ÇALIŞMA SÜRESİ (Dakika)		TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ (Dakika)	
			Yüksek Mod (%25)	Düşük Mod (%15)	Yüksek Mod (%90)	Düşük Mod (%40)
GÜNDÜZ	07:00	08:00	40	20	547	173
	08:00	09:00	55	5		
	09:00	10:00	31	29		
	10:00	11:00	37	23		
	11:00	12:00	48	12		
	12:00	13:00	54	6		
	13:00	14:00	55	5		
	14:00	15:00	50	10		
	15:00	16:00	42	18		
	16:00	17:00	40	20		
	17:00	18:00	48	12		
	18:00	19:00	47	13		

Çizelge 4.19 Akşam zaman dilimi yüksek ve düşük modda çalışma oranları [58]

ZAMAN DİLİMİ	SAAT		ÇALIŞMA SÜRESİ (Dakika)		TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ (Dakika)	
			Yüksek Mod (%25)	Düşük Mod (%15)	Yüksek Mod (%25)	Düşük Mod (%15)
GECE	19:00	20:00	32	28	239	481
	20:00	21:00	30	30		
	21:00	22:00	20	40		
	22:00	23:00	25	35		
	23:00	00:00	22	38		
	00:00	01:00	13	47		
	01:00	02:00	15	45		
	02:00	03:00	14	46		
	03:00	04:00	11	49		
	04:00	05:00	15	45		
	05:00	06:00	17	43		
	06:00	07:00	25	35		

Örnek işletme senaryosu için ortalama dimmerleme seviyesi %45,1 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, hasta ve ziyaretçi yoğunluğuna bağlı olarak farklılık gösterebilir. Öngörülen işletme senaryosu için armatür bazında elde edilen günlük tüketim değerleri Şekil-4.10'daki gibidir. Örnek işletme modeli için görülen sapma oranları ise Tablo 4.20'deki gibidir.



Şekil 4.10 Armatür bazında günlük tüketim değerleri [58]

Yapılan deneyler ve analizler göstermektedir ki; dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri, çok büyük oranda ışık kaynağının karakteristiğine bağlı olarak eğilim göstermektedir. Floresan ışık kaynakları gibi deşarj lambaları için dimmerleme ciddi oranda performans kaybı anlamına gelirken, LED sistemler bu konuda çok daha başarılıdır. Yapılan modellemelerde LED sistemler için görülen %3-%12 arasındaki sapma ile floresan sistemler için görülen %28 - %43 oranlarındaki sapma, bina enerji modellemelerinde

küçümsenmeyecek oranda yanılırlara sebebiyet verebilmektedir. Bu noktada görülen sapma, düşük dimmerleme oranları için çok daha yüksek olabilmektedir. Birinci örnekte referans alınan binanın aydınlatma kurulu gücünün yaklaşık %32'sine karşılık gelen 2326 armatür için sapmanın günlük enerji karşılığı floresan sistemler için 316kWh iken, LED sistemler için 27,9kWh mertebelerinde olacaktır. İkinci örnekte referans alınan binanın aydınlatma kurulu gücünün yaklaşık %55'ine karşılık gelen 1510 armatür için sapmanın günlük enerji karşılığı floresan sistemler 436kWh iken, LED sistemler için 96,6kWh mertebelerinde olacaktır.

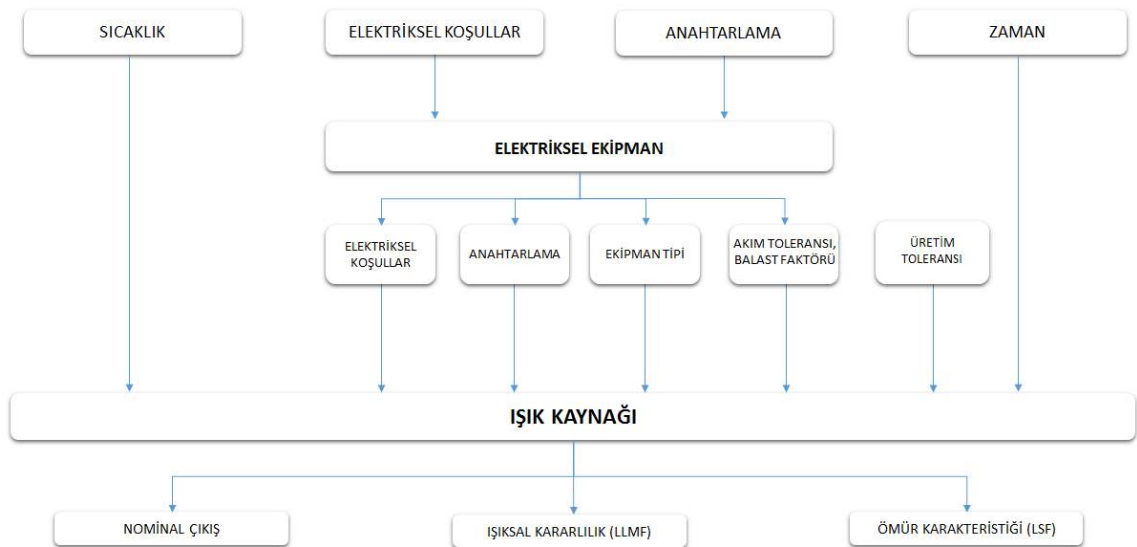
Çizelge 4.20 Enerji modellemelerinde görülebilecek sapma değerleri-2 [58]

	Dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri dikkate alınmadan elde edilen değer (tahmin edilen)	Dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri dikkate alınarak elde edilen değer (karakterize edilen)	Sapma
Floresan	661	950	+43,67%
LED	495	559	+12,83%

YENİ BİR BAKIM VE DEĞER DÜŞÜMÜ MODELLEME YAKLAŞIMI

Tez sürecinde literatür, endüstri limitleri ve laboratuvar sonuçları değerlendirilerek, özellikle ışık kaynağına ait LSF ve LLMF eğilimleri ile nominal ışık çıkışına etki eden parametreler üzerine çalışılmıştır. Anahtarlama, yıllık kullanım süresi, yardımcı bileşen tipi (balast, ateşleyici veya sürücü), sıcaklık vb. etkilerin kaynağın nominal ışık çıkışı ile LSF ve LLMF eğilimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin limitlerinin ise; ürün ve üretim teknolojilerine bağlı olarak ciddi farklılıklar taşıması sebebiyle tablollaştırılması veya genellenmesi mümkün olmayacağından, tezin ilgili kısımlarında tanımlandığı şekliyle ışık kaynağı kimlik dosyaları oluşturulmuştur. Işık kaynağı kimlik dosyasından türetilcek nominal çıkış, LLMF ve LSF eğilimleri ve bu eğilimlere etki eden faktörler Şekil 5.1'deki gibidir.

Şekil 5.1 Kaynağın karakteristik özellikleri ve buna etki eden unsurlar



5.1 Bakım ve Değer Düşüm Denklemleri

Bileşen tipi ve armatür ortam sıcaklığı; LSF, LLMF eğilimleri ile nominal çıkışta görülen sapmaların hesaplanmasında gerekli temel parametrelerdir. Bu parametreler, armatürün kendisi ve beraberinde kullanılan yardımcı elektriksel ekipmanlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, aydınlatma ilgili parametreler LDT dosya formatını bozmadan yapılan ilave tanımlar üzerinden tanımlanmış ve LDT+ formatı geliştirilmiştir. RSMF değerinin hesaplanmasında esas alınan ışık dağılım tipi ile LMF değerinin hesaplanmasında esas alınan ortam koşulları ve bakım periyoduna bağlı eskime eğilimleri de bu dosya formatı içerisinde tanımlanmıştır. Benzer şekilde; dimmerlemeye bağlı güç eğilimleri büyük ölçüde balast devresi üzerinden tanımlandığından, dimmerlemeye bağlı güç denklemleri de LDT+ dosyası ile ilişkilendirilmiştir.

Endüstrinin sürekli gelişen ve değişen çeşitliliği içerisinde, birçok parametreye bağlı onlarca denklemi içeren eğilimler üzerinden ampirik metodlar kullanılarak bir bakım analizi yapılması pratikte mümkün değildir. Bu nedenle, tez sürecinde tanımlı tüm parametrelere bağlı karakteristik eğilimleri içeren LDT+ ve LIF dosyalarını kullanarak eskime analizi yapabilen bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım; tanımlı işletme süresi boyunca sistemde görülecek eskime eğilimini aşağıdaki veriler eşliğinde 10 saatlik çözünürlükte modelleyebilmektedir,

- Kullanılan ışık kaynağının tüm termal, optik ve elektriksel özellikleri,
- Kullanılan armatürün termal ve fiziksel özellikleri,
- Kullanılan bileşen tipi,
- Elektriksel koşullar,
- Yıllık kullanım süresi,
- Anahtarlama periyodu,
- Lamba yenileme sıklığı ve metodu,
- Armatür bakım periyodu,
- Oda bakım periyodu,

- Ortam kirlilik kategorisi,
- Oda indeksi ve iç yüzey çarpanları.

LDT+ ve LIF dosyaları içerisinde tanımlı karakteristiklerin bakım katsayısı hesaplamalarında kullanılabilmesi için, kullanıcı tarafından aşağıda verilen belirli bazı parametrelerinde işletme şekline uygun olarak tanımlanması gerekmektedir:

- Anahtarlama periyodu (LSF ve LLMF hesaplamaları için),
- Işık kaynağı yenileme periyodu (LSF ve LLMF hesaplamaları için),
- Lamba değişim tekniği (LSF hesaplamaları için),
- Armatür/oda bakım periyodu (RSMF, LMF hesaplamaları için),
- Ortam kirlilik kategorisi (RSMF ve LMF hesaplamaları için),
- Oda indeksi/iç yüzey çarpanları (RSMF hesaplamaları için).

Bunların dışında, değer düşüm çarpanının ve işletme ömrü boyunca görülecek eskime eğiliminin hesaplanması için aşağıdaki ek tanımlamaların yapılması gerekmektedir:

- Yıllık kullanım süresi (eskime eğiliminin modellenmesi için),
- Işık kaynağı toleransı (üretim toleransına karşılan gelen değer düşümünün hesaplanması için),
- Elektriksel koşullar (işletme koşullarındaki nominal gerilim ile yardımcı bileşenin gerilim seviyesi arasındaki sapma sonucu görülen değer düşümünün hesaplanabilmesi için),
- İşletme ömrü (yıllar boyunca görülecek eskime eğiliminin modelleme süresinin ve LMF- değerinin hesaplanması için),

Tez sürecinde yapılan yaklaşımlar sonucunda oluşturulan, eskime ve değer düşümünü esas alan bir bakım modellemesinde kullanılacak formülüzasyon en basit haliyle eşitlik (5.1)'de görüldüğü gibidir.

$$MF(t, t') = A * B(t) * C(t) * D(t') * E(t') \quad (5.1)$$

Denklemden kullanılan t ifadesi bileşenlerin çalışma süresine karşılık gelen zaman indisini tanımlar iken, t' ifadesi armatür ve oda bakım periyodlarına karşılık gerçek zaman ifadesidir.

Bunun dışında armatürlerde görülen geri kazanılmayan etkilerin de hesaplandığı durumlar için ise, (5.2)'deki eşitlik esas alınmaktadır.

$$MF(t, t', x) = A * B(t) * C(t) * D(t') * E(t') * F(x, t') \quad (5.2)$$

Burada tanımlanan x değeri ise sistemin işletme yaşını temsil etmektedir.

Mevcut yaklaşımda; belirli çözünürlükte sistem performansı modellenerek, tanımlı işletme süresi içerisinde görülen en yüksek kayıp noktası referans alınmaktadır. Bu durum, mevcut uluslararası yaklaşımların tüm çarpanların en üst değerlerinin çarpımı sonucunda elde edildiği durumdan daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu konuyla ilgili detaylı değerlendirmelere ilerleyen kısımlarda yer verilmiştir. Geliştirilen sistem algoritması, 10 saatlik çözünürlükte tüm eskime çarpanlarını tek tek hesaplamakta ve buna bağlı olarak daha gerçekçi bir analiz gerçekleştirmektedir.

5.1.1 Değer Düşüm Sabitinin (A) Hesaplanması

BF denkleminin “A” ile tanımlanan çarpanı, tez sürecinde eskimeden farklı olarak tanımlanan değer düşümüne karşılık gelmektedir. Denklem içerisinde “A” ile belirtilen sabit değer düşümleri zamana bağlı olmadığından, eğilimin $t=0$ anındaki değeri bu değere eşit olacaktır. Geliştirilen yazılım altyapısında, A ile tanımlı değer düşümünü oluşturan çarpanlar aşağıdaki adımlarla tanımlanmaktadır.

$$A = A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (5.3)$$

Değer düşüm sabiti Eşitlik (5.3)'de tanımlandığı üzere 5 farklı sabitin çarpımından oluşup bunlar aşağıda tanımlandığı gibidir.

- A1: Üretici tarafından ilgili ışık kaynağı modeline ait tanımlanmış tolerans aralığıdır. Bu değer üretim partilerine göre farklılık gösterebildiğinden, olası tolerans aralığı LIF dosyasının ilgili satırında tanımlıdır. Hesaplama sürecinde kullanıcı, tanımlı aralıkta uygun bir değeri esas alarak katsayıyı belirlemektedir. Genel olarak, ışık kaynaklarında negatif yönde bir tolerans olduğunu öngörerek

bir tercih yapılması çok daha uygun olacaktır. Tercih, kullanıcı tarafından ürün özellikleri gözetilerek yapılacaktır.

- A2: Armatür içerisinde kullanılan yardımcı bileşene ait akım toleransı veya balast faktörü değeridir. Akım toleransı veya balast faktörü, LDT+ dosyasının ilgili ek satırında tanımlanan değerdir.
- A3: Elektriksel tolerans - İşletmenin elektriksel koşulları nedeniyle ışık çıkışında görülen sapmadır. Elektriksel tolerans değerinin hesaplandığı denklemler, LIF dosyasının ilgili satır veya satırlarında tanımlıdır. LIF dosyasında farklı bileşen tiplerine bağlı olarak birden çok denklem bulunabildiğinden, uygun olan denklem hesaplamada kullanılan armatürün bileşen tipine uygun olarak seçilmektedir. İşletme koşulları kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır.
- A4: Termal düzeltme çarpanı - Armatürün nominal işletme koşullarındaki iç ortam sıcaklığı ve fotometrik ölçümde kullanılan ışık kaynağının bu sıcaklığa karşılık gelen performans değeri, LDT+ dosyasının ilgili satırında tanımlanmıştır. Güncel olarak bir armatürde birçok farklı üreticinin aynı tipteki ışık kaynağının farklı modelleri kullanılabildiğinden, her ışık kaynağı tipine bağlı olarak bir termal çarpan hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda yazılım, LDT+ dosyası içerisinde yer alan X/Y formatındaki termal indeksi esas almaktadır. Bu formatta X değeri armatür iç ortam sıcaklığı iken, Y değeri ışık kaynağının bu sıcaklığa karşılık gelen performans değeridir. Armatür termal indeksinin iç ortam sıcaklığına karşılık gelen X değeri esas alınarak, bakım analizinde kullanılacak ışık kaynağına ait LIF dosyasında termal karakteristik denklemi üzerinden yeni bir performans değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer, armatür termal indeksi içerisinde lamba performans değerine karşılık gelen Y değeriyle oranlanır. Elde edilen değer termal düzeltme çarpanıdır.
- A5: Işık akısı düzeltme çarpanı - Günümüzde ışık kaynaklarının ışık akıları; marka, model ve hatta renk sıcaklığına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu kapsamda, fotometrik ölçümde kullanılan ışık kaynağı ile bakım analizinde kullanılan ışık kaynağı arasındaki farklılığın tanımlanması gerekmektedir. Bu sapmanın hesabı için, LDT+ dosyası içerisinde testte kullanılan ışık kaynağının

toplam ışık akısı değeri ile analiz için seçilen ışık kaynağının LIF dosyasında tanımlanan ışık akılarının birbirine oranı esas alınır.

5.1.2 LLMF “ $B(t)$ ” Değerinin Hesaplanması

LLMF değeri; yıllık kullanım süresi, anahtarlama periyodu, sıcaklık ve armatürün bileşen tipine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle LIF dosyası içerisinde; farklı bileşen tipi, anahtarlama periyodu ve ortam sıcaklığı değerlerine karşılık gelen birçok denklem bulunmaktadır.

Yazılım; LDT+ dosyası içerisinde tanımlı bileşen tipi, işletme alışkanlıklarına göre belirlenecek anahtarlama periyodu ve yine LDT+ dosyası içerisinde tanımlı armatür iç ortam sıcaklığı değerlerine uygun LLMF denklemini kullanarak, tanımlı yıllık kullanım süresine karşılık gelen LLMF değerini ve işletme sürecindeki eğilimini hesaplamaktadır.

5.1.3 LSF “ $C(t)$ ” Değerinin Hesaplanması

LSF değeri; yıllık kullanım süresi, anahtarlama periyodu, sıcaklık ve armatürün bileşen tipine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle LIF dosyası içerisinde; farklı bileşen tipi, anahtarlama periyodu ve ortam sıcaklığı değerlerine karşılık gelen birçok denklem bulunmaktadır.

Yazılım; LDT+ dosyası içerisinde tanımlı bileşen tipi, işletme alışkanlıklarına göre belirlenecek anahtarlama periyodu ve yine LDT+ dosyası içerisinde tanımlı armatür iç ortam sıcaklığı değerlerine uygun LSF denklemini kullanarak, tanımlı yıllık kullanım süresine karşılık gelen LSF değerini ve işletme sürecindeki eğilimini hesaplamaktadır.

5.1.4 LMF “ $D(t')$ ” Değerinin Hesaplanması

LMF değerleri ise armatüre has olup, ilgili ürüne ait üretici tarafından beyan edilmiş bir veri olmadığı sürece ilgili CIE yayınlarında tanımlanan LMF eğilimleri kullanılmıştır. Oluşturulan örnek LDT+ dosya örneklerinden bazılarında; CIE-97 içerisinde tanımlı olmayan IP65 koruma sınıflı iç aydınlatma armatürleri de bulunduğundan, bu noktalarda üretici beyanları referans alınmıştır.

5.1.5 RSMF “ $E(t')$ ” Değerinin Hesaplanması

Program, iç ortam projelerindeki RSMF değerinin hesaplanmasında CIE Pub 97 [19,20] tarafından tanımlı değerleri kullanmaktadır. Bu konuda yayının 1992 ve 2005 yılları arasında kullandığı yaklaşımlar arasında belirgin farklılıklar olup, geliştirilen yazılımda daha güncel olması ve oda iç yüzeylerini de değerlendirmeye dahil etmesi nedeniyle 2005 versiyonundaki hesaplama tabloları esas alınmıştır.

5.1.6 LMF- “ $F(x, t')$ ” DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Sektörel olarak üreticiler tarafından tanımlı bir LMF- değeri kavramı sözkonusu değildir. Fakat reflektör ve refraktör malzemelerine ait performans düşüşleri mutlak olarak bilinmektedir. Bu noktada; üreticiler ile yapılan değerlendirmeler, saha testleri ve tez sürecindeki testler sonucunda elde edilen ve her armatür için malzeme karakteristiğini yakın bir şekilde yansıtan denklemler eklenmiştir. Bu denklemler; şu aşamada sadece sistemin işleyişini sağlamak amacıyla saha testleri ve üretici beyanlarından türetilmiş olup, bu konuda zaman içerisinde çok daha sağlıklı verilerin türetilmesi hedeflenmektedir.

5.2 Bakım Faktörü Modelleme Yazılımı

“Visual Studio” uygulama geliştirme platformunda C# dili kullanılarak, tez içerisinde değinilen hususlar doğrultusunda eskime ve değer düşümlerini analiz ve modellemesini gerçekleştirebilen bir yazılım geliştirilmiştir [60]. Yazılım; LDT+ ve LIF dosyaları içerisinde karakterize edilmiş değer düşümleri, LSF, LLMF, LMF, RSMF ve LMF- değerleri ile bu değerlerin zaman içerisindeki eğilimlerini analiz etmektedir.

LDT+ ve LIF dosyaları içerisinde yer alan denklemlerin, denklem içerisinde yer alan t , t' ve x parametrelerine göre hesaplanmasında “NCALC-Mathematical Expressions Evaluator for .Net” kütüphanesi ve “.Net” içerisindeki “Regex” kütüphaneleri kullanılmaktadır [61]. Standart LDT dosyasındaki satır yapısı belli olduğu için buna uygun satır belirleme kütüphanesi oluşturulmuş, buna ek olarak tanımlanan LDT+ satırları da kütüphaneye eklenmiştir.

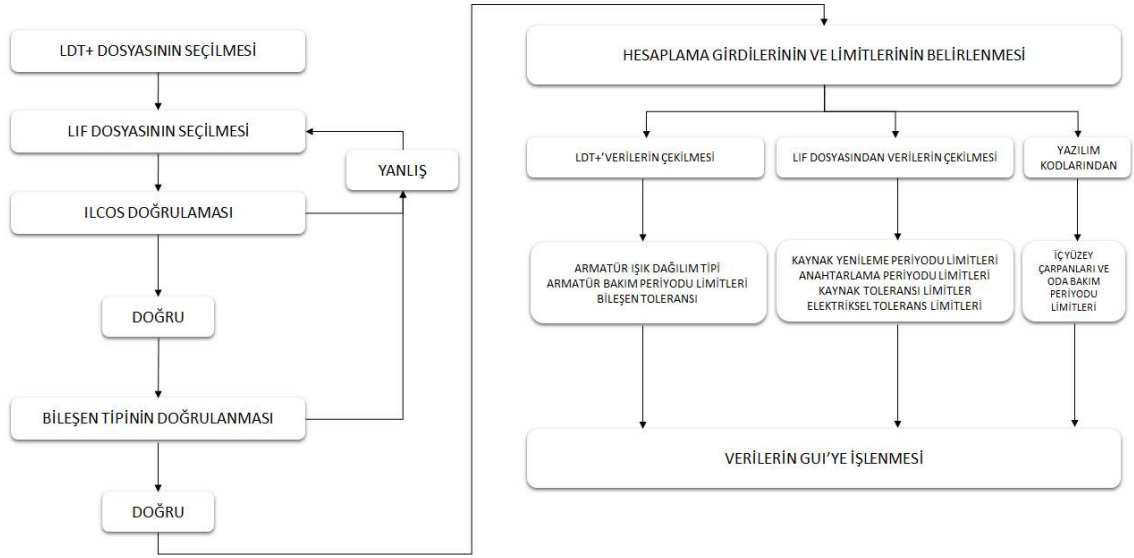
Program, analizi yapılacak aydınlatma sistemi içerisindeki armatüre ait LDT+ dosyasının ve bu armatür ile birlikte kullanılacak ışık kaynağı varyasyonlarının bulunduğu veri

kütüphanelerine ihtiyaç duymaktadır. Tez sürecinde farklı armatür tipleri ve bunlara uyumlu ışık kaynaklarına ait kütüphaneler oluşturulmuştur.

Eskime ve değer düşüm analizleriyle ilgili gerekli parametrelerin tanımlanması için, öncelikle armatür ve ışık kaynağı kombinasyonu esas alınarak limitlerin tanımlanması gerçekleştirilmektedir. Bu noktada izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- 1) Yazılım kütüphanesinden LDT+ dosyasının seçilmesi ve ilgili verilerin dosyadan çekilmesi,
- 2) Yazılım kütüphanesinden LIF dosyasının seçilmesi ve ilgili verilerin dosyadan çekilmesi,
- 3) LIF dosyası ile LDT+ dosyasının ILCOS kodlarının ve bileşen tipi uyumluluğunun karşılaştırılması,
- 4) LDT+ dosyası içerisindeki verilerin tanımlı alanlara işlenmesi: Tanımlı LMF eğilimlerine uygun olarak armatür ışık dağılım tipi, kirlilik kategorileri, armatür bakım periyodu ve bileşen toleransına ait limitlerin arayüze işlenmesi,
- 5) LIF dosyası içerisindeki verilerin tanımlı alanlara işlenmesi: Kaynağın tanımlı kullanım sürelerinin, ışıksal ve elektriksel tolerans limitlerinin arayüze işlenmesi,
- 6) RSMF değerinin hesaplanması için oda bakım periyodu ve iç yüzey çarpan limitlerinin arayüze işlenmesi.

Yukarıda tanımlandığı şekliyle armatür ve ışık kaynağına ait kimlik dosyalarının seçilmesinin ardından, program tarafından tüm hesaplama parametreleri ve kullanıcı tarafından yapılacak tercihlerin skalalandırılması tamamlanmış olmaktadır. Bu süreci tanımlayan akış diyagramı Şekil 5.2'deki gibidir.



Şekil 5.2 Yazılım çalışma adımları - verilerin yüklenmesi

Bu noktadan sonra, kullanıcı tarafından tanımlanması gereken ve sisteme özgü birçok parametre ile bakım sürecinde izlenecek bakım ve yenileme periyodlarının tercihleri gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

- Uygun oda iç yüzey çarpanlarının seçilmesi (CIE 97:2005 kaynaklı limitler esas alınır),
- Oda bakım periyodunun belirlenmesi (CIE 97:2005 kaynaklı limitler esas alınır),
- Armatür bakım periyodunun belirlenmesi (Limitler otomatik olarak LDT+ dosyasının LMF denklem satırında tanımlı denklem aralığı referans alınarak belirlenir),
- Kirlilik kategorisinin seçilmesi (Limitler otomatik olarak LDT+dosyasından alınır),
- Lamba yenileme tekniğinin belirlenmesi (Grup veya birebir değişim seçeneklerinden biri seçilir. Birebir değişim için LSF eğilimi hesaplara dahil edilmez),
- Lamba yenileme periyodunun belirlenmesi (Limitler otomatik olarak LIF dosyasının uygun LLMF ve LSF denklem satırlarından en kısa tanım aralığı referans alınarak belirlenir),
- Yıllık kullanım süresinin seçilmesi (1000-8700 saat arası, 100 saatlik çözünürlükle),

- Anahtarlama periyodunun seçilmesi (Limitler otomatik olarak LIF dosyası içerisindeki tanımlı anahtarlama periyodları esas alınarak belirlenir),
- İşletme ömrünün seçilmesi (5, 10 veya 15 yıl),
- Işık kaynağı toleransının seçilmesi (Limitler otomatik olarak LIF dosyasının toleransın tanımlandığı satır referans alınarak belirlenir),
- Elektriksel tolerans limitlerinin seçilmesi (Limitler otomatik olarak LIF dosyası içerisindeki tanımlı elektriksel denklem tanım aralığı referans alınarak belirlenir),
- LMF- dâhil edilip edilmeyeceğinin seçilmesi (Seçilmesi durumunda hesaplamalarda, seçilen işletme ömrü boyunca armatürde görülecek geri kazanılmayan etkiler de eklenir. Bu eğilimin hesaplanmasında, LDT+ dosyası içerisinde tanımlı olan LMF- denklemi esas alınır),

Bunun dışında bazı parametreler sabit olup, LDT+ dosyası içerisindeki ilgili satırlarda tanımlanmaktadır. Bu parametreler aşağıdaki gibidir:

- Armatür ışık dağılım tipi ,
- Bileşen toleransı.

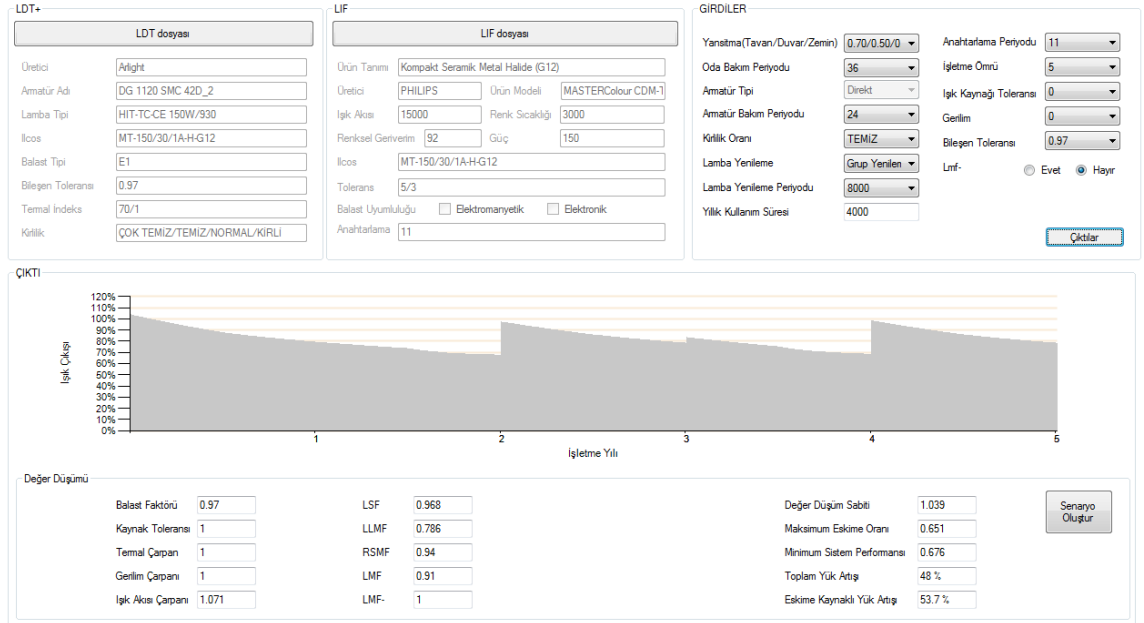
Limitleri oluşturulan tüm değerler, armatür ve kaynağa ilişkin tanımlı karakteristik eğilimler esas alınarak belirlenmektedir. Bu sayede, kullanıcının kaynağın ve/veya ekipmanların ideal tanımlı kullanım limitleri dışında bir seçim yapması engellenmiştir.

Şekil 5.3'deki gibi bir arayüzden yapılan tercihler doğrultusunda program, aşağıdaki parametreleri 10 saatlik (bu değer değiştirilebilir) çözünürlükte hesaplamaktadır:

- Maksimum LSF değeri ve LSF eğilimi,
- Maksimum LLMF değeri ve LLMF eğilimi,
- Maksimum RSMF değeri ve RSMF eğilimi,
- Maksimum LMF değeri ve LMF eğilimi,
- Maksimum LMF- değeri ve LMF- eğilimi.

Bunun dışında; malzeme kaynaklı toleranslar, termal etkiler veya şebeke koşulları sonucu görülebilecek değerler de hesaplanmakta ya da ilgili kimlik dosyalarından alınmaktadır. Bu değerler aşağıdaki verilmiştir:

- Bileşen toleransı,
- Kaynak toleransı,
- Termal çarpan,
- Gerilim çarpanı,
- Işık akısı çarpanı.



Şekil 5.3 Program arayüzü

Analizlerde öngörülen işletme süresince sisteme ait tüm eskime etkileri, malzeme özellikleri ve bakım/yenileme periyodları esas alınarak bir eğilim hesaplandığından çok daha sağlıklı ve detaylı analizler yapılmaktadır. Eğilimin taban değeri, standartlar gereğince işletmede izin verilen minimum ortalama aydınlık seviyesi değerine karşılık geldiği kabul edilerek eğilim üzerinden bakım kaynaklı yük artışı da hesaplanmaktadır. Eskime eğilimleri üzerinden yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

- **Değer Düşüm Sabiti:** Elektriksel ve termal etkiler ile üretim toleransları nedeniyle $t=0$ anında oluşan sabit değer düşümü

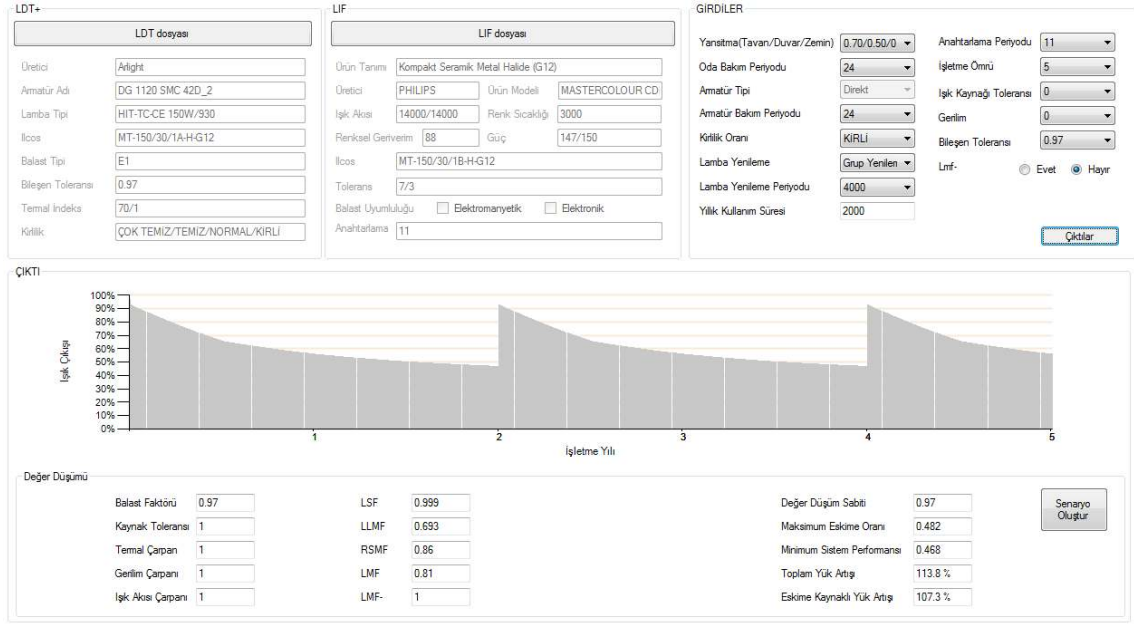
- **Maksimum Eskime Oranı:** Tanımlı işletme süresince görülen eskime çarpanlarının (LSF, LLMF, RSMF ve LMF) etkisi ile oluşan kayıplar. Analizlerde, LMF- etkisinin hesaplara dahil olduğu durumlar için LMF- sonucu oluşan eskime de bu orana dahil edilmektedir. Bu değere sabit değer düşümleri dahil değildir.
- **Minimum Sistem Performansı:** Sistemin işletme ömrü boyunca sabit değer düşümleri ve eskime nedeniyle erişeceği en düşük sistem performansı
- **Toplam yük artışı:** Değer düşümleri ve eskime kaynaklı kayıplar nedeniyle sistem kurulu gücünde görülecek yük artışı
- **Eskime Kaynaklı Yük Artışı:** Sadece eskime etkileri nedeniyle sistem kurulu gücünde görülecek yük artışı

5.3 Maksimum Eskime Noktası

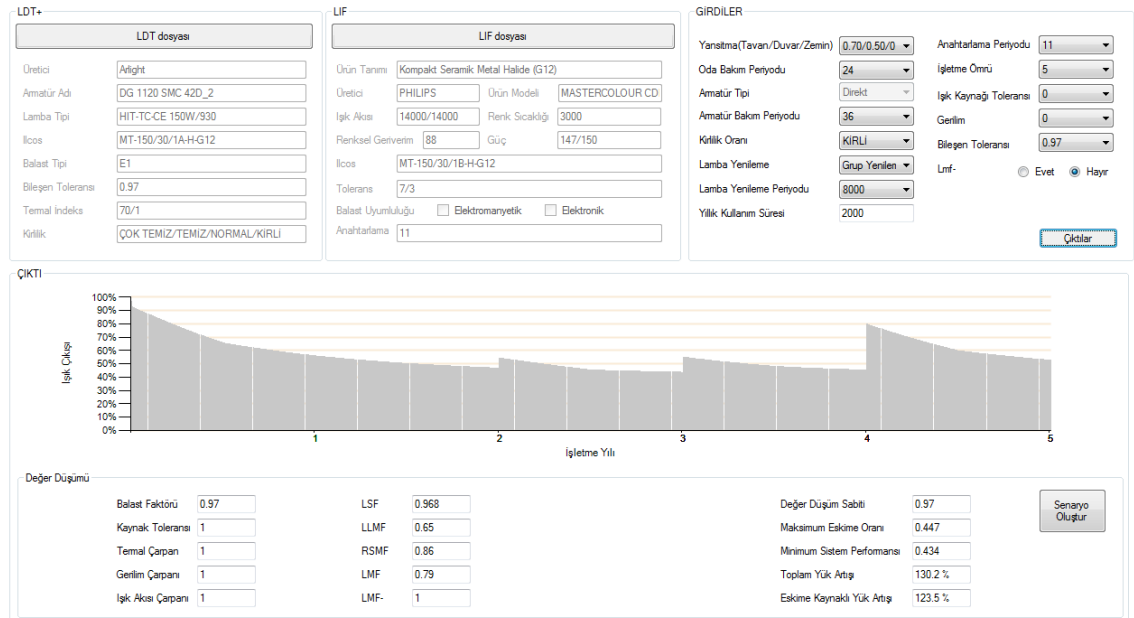
Mevcut bakım katsayısı yaklaşımlarında eskime (kapalı ortamlar için) LSF, LLMF, RSMF ve LMF değerlerinin çarpımı iken, bu değer ancak tüm bakım ve yenileme periyotlarının eş zamanlı olması durumunda geçerlidir. Yani; 3 yılda bir oda yüzeylerine bakım yapılan, 2 yılda bir armatürlerin temizlendiği ve dört yılda bir ışık kaynaklarının değiştirildiği bir proje için ancak 12. yılda ortak katların en küçüğü elde edilecektir. Sistemin en düşük performans göstereceği zaman dilimi ise; 12. yılda armatür bakımı, oda temizliği ve ışık kaynağı yenilemesinin yapılacağı bakım döneminin hemen öncesinde görülecektir. Dolayısıyla 10 yıl işletme ömrü öngörülen bir tesis için tüm eskime değerlerinin çarpımı üzerinden elde edilen bu maksimum değer, 10 yıllık zaman diliminde görülmeyeceği için elde edilen bakım katsayısı hata payı içerecektir.

Bu durum nedeniyle; mevcut algoritmada belirli çözünürlükte sistem performansı modellenerek, tanımlı işletme süresi içerisinde görülen en yüksek kayıp noktası referans alınarak bir bakım katsayısı (maksimum eskime oranı) hesaplanmaktadır. Şekil 5.4'deki gibi bir uygulamada; ışık kaynaklarının değişimi ile iç yüzey ve armatür bakımlarının 2 yılda bir toplu olarak yapılması durumu için, tüm LSF, LLMF, LMF ve RSMF değerlerinin çarpımı görülecek maksimum eskime oranını verecektir. Genel olarak tüm azalımların maksimum değeri bakım periyodunun aynı olması sebebiyle eş zamanlı olarak görüleceğinden, klasik olarak tüm faktörlerin çarpımı üzerinden elde edilen 0,482'lik

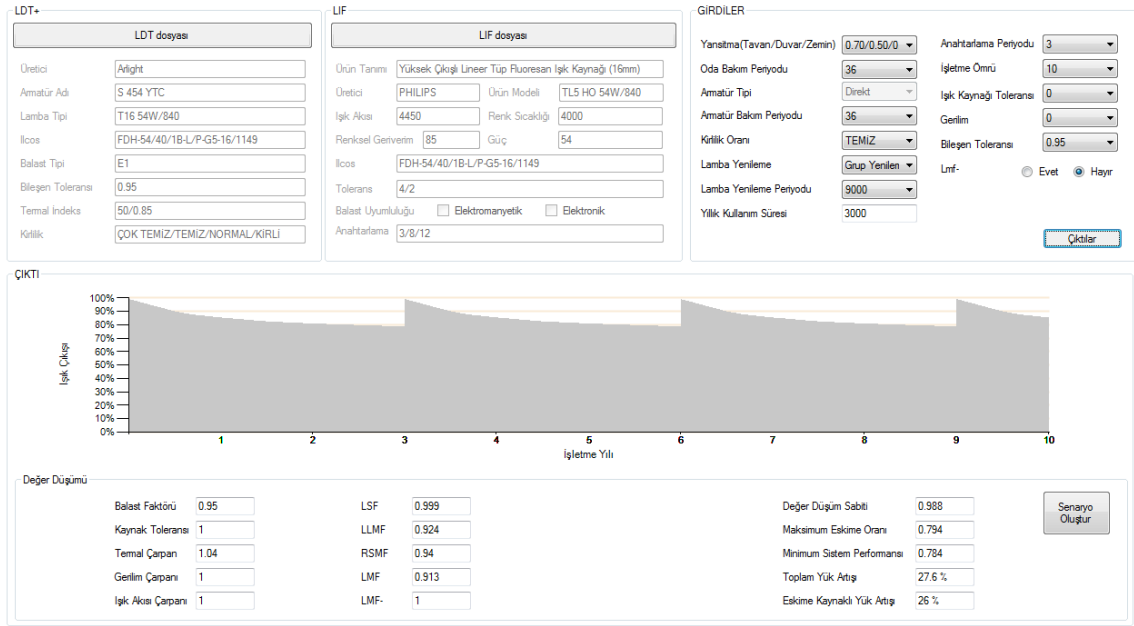
değer, analiz sonucunda elde edilen maksimum eskime oranına eşittir. Şekil 5.5'deki gibi armatür bakımlarının 3, oda bakımlarının 2 yılda bir ve ışık kaynağı değişimlerinin 4 yılda bir yapıldığı durumda ise; tüm faktörlerin çarpımı esas alınarak hesaplanan 0,428'lik değer, eskime analizinden elde edilen 0,447'lik maksimum eskime oranından %4,25 daha düşüktür.



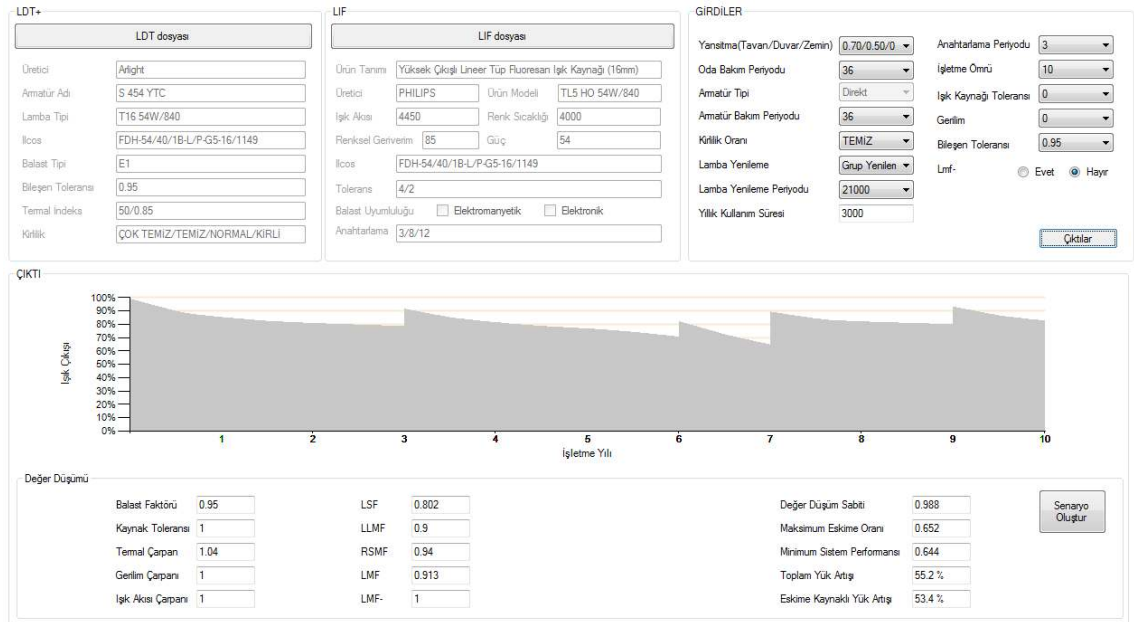
Şekil 5.4 Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-1



Şekil 5.5 Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-2



Şekil 5.6 Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-3



Şekil 5.7 Maksimum eskime analizi için örnek uygulama-4

Tüm bakımların 3 yılda bir yapıldığı ve 4x54W gücünde endüstriyel yüksek tavan armatürlerinin kullanıldığı bir uygulama için 10 yıllık eskime eğilimi Şekil 5.6'daki gibidir. Tüm bakımların eş zamanlı olarak yapılması durumunda; tüm faktörlerin çarpımı olarak elde edilen 0,79'luk değer, analiz sonucunda elde edilen maksimum eskime oranına eşit olmaktadır. Aynı armatür ve ışık kaynağı kombinasyonu için; oda ve armatürlerin 3 yılda bir, ışık kaynaklarının ise 7 yılda bir toplu olarak değiştirildiği durumda elde edilen sonuçlar, Şekil 5.7'deki gibidir. Bu durumda tüm faktörlerin çarpımı esas alınarak

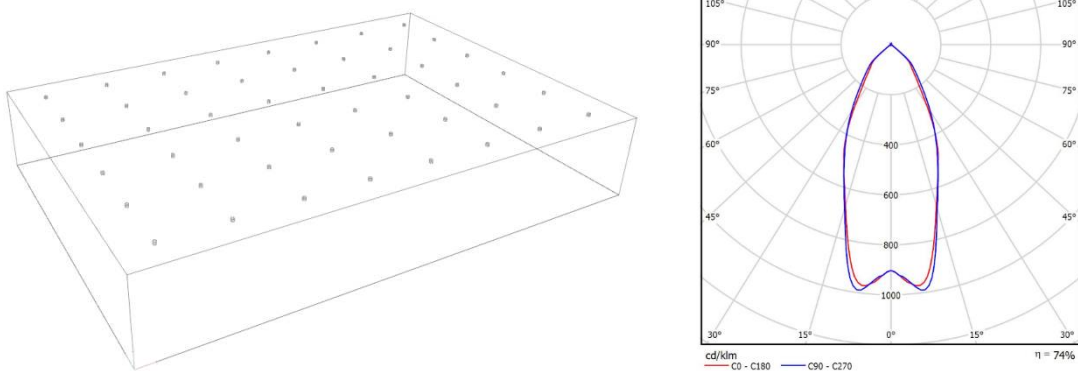
oluşturulan 0,620'lik değer, eskime eğiliminden elde edilen 0,652 değerinden %4,91 daha düşüktür.

5.4 Analizler

Eskime eğilimlerine yönelik analizler yapmak ve yazılım algoritmasının sınama testlerini gerçekleştirmek adına; floresan, metal halide ve LED ışık kaynakları ve bu ışık kaynakları ile uyumlu armatürler için geliştirilen formatlarda kimlik dosyaları (LIF ve LDT+) oluşturulmuştur. Oluşturulan dosyalar üzerinden, farklı bakım senaryoları ve kaynak kombinasyonları esas alınarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu analizlerde; hem standartların tanımladığı veriler ile üretici verilerinden kaynaklı sapmalar, hem de tez sürecinde karakteristik eğilimlerde değişime sebep olan parametrelerin etkileri incelenmiştir.

5.4.1 Örnek Analiz-1

Işıksal kararlılığın çok ciddi boyutlarda düşüş gösterdiği ve lamba bakım periyotlarının hem işletme hem de enerji maliyetlerini çok etkileyebilirdiği durumlardan birini modellemek adına, Şekil 5.8'deki gibi 30x20x5m (600m²) ölçülerindeki bir galeri alanı modellenmiştir. Hacmin aydınlatmasında, tavana (5m) monte edilmiş 150W metal halide spot armatürler kullanılmıştır. Armatürler IP54 koruma sınıfındadır. Armatürün ışık dağılım karakteristiği yapıya uygun olup polar diyagramı Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Galerinin alanı geometrisi ve kullanılan armatürün polar diyagramı

Söz konusu hacim için, aydınlatma tasarımı konusunda en yaygın kullanıma sahip Dialux Programı ile (Versiyon 4.12) genel aydınlatma hesapları yapılmıştır [25]. Eskime ve değer düşümlerinin gözardı edilmesi durumunda (BF=1.0), çalışma düzleminde ortalama 870

lüks elde etmek için 48 adet aydınlatma armatürü kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. Bakım katsayısının hesaplanması için ise; hem CIE Pub 97:1992, hem CIE Pub 97:2005, hem de tez sürecinde geliştirilen eskime analiz yazılımı/algoritması kullanılmıştır.

Koşullar;

- Hacim iç yüzey çarpanları tavan, duvar ve zemin yüzeyleri için sırasıyla %70, %50 ve %20'dir.
- Armatürlerin koruma sınıfı IP54'tür.
- İç yüzey bakımları, 3 yılda bir anahtarlama periyodu işletme koşulları esas alınarak 11 saat olarak belirlenmiştir.
- Ortam kirlilik derecesi "temiz" olarak dikkate alınmıştır.
- İç yüzey temizleme periyodu 36 aydır.
- Yıllık işletme süresi 4000 saattir.
- Lamba yenileme 2 yılda bir gerçekleşecektir.
- Armatür bakımları 2 yılda bir gerçekleşecektir.
- Hesaplamalarda şebeke koşulları kararlı ve lamba toleransı 0 kabul edilmiştir.

Dialux ve benzeri aydınlatma modelleme yazılımları tarafından kullanılan standart bakım katsayısı sabitleri aşağıdaki gibi olup, günümüzde bakım analizleri yapılmadığı durumlar için iç ortamlarda 0.8'lik bir katsayı alınmaktadır. Genel yaklaşımlarda standart olarak belirlenen bu bakım katsayısı değerleri ise aşağıdaki gibidir:

- Çok temiz oda ve düşük yıllık kullanım: 0,8
- Temiz oda ve 3 yıllık bakım döngüsü: 0,67
- Dış ortam 3 yıllık bakım döngüsü: 0,57
- Yüksek kirliliğe sahip iç veya dış ortam: 0,50

CIE Pub 97:2005'e göre;

- RSMF: 0,94 (70/50/20 yansıtma, orta oda indeksi, direkt ışık dağılımı, temiz ortam koşulları, 3 yılda bir bakım)

- LMF: 0,91 (IP54 (Tip-E), temiz ortam koşulları, 2 yılda bir bakım)
- LLMF: 0,64 (Seramik metal halide, 2 yılda bir (8.000 saat) değişim)
- LSF: 0,86 (Seramik metal halide, 2 yılda bir (8.000 saat) değişim)

$MF = 0,94 * 0,91 * 0,64 * 0,86 = 0,471$ olarak hesaplanmaktadır. Birebir kaynak değişimi durumunda ise 0,548 olarak elde edilmektedir.

CIE Pub 97:1992'ye göre;

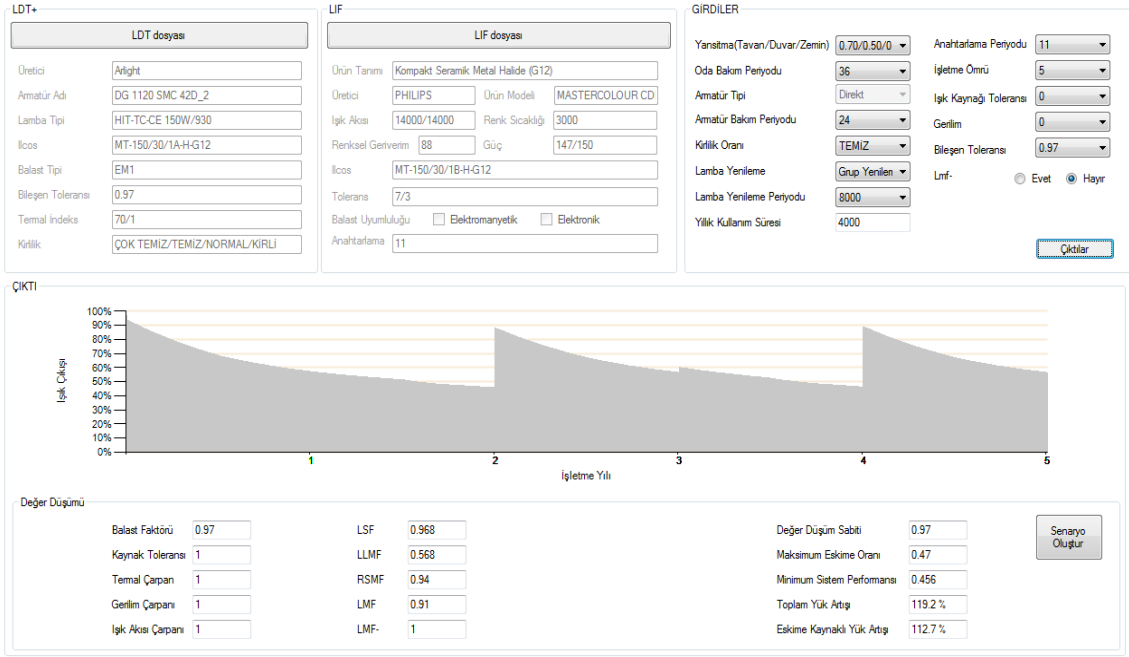
- RSMF: 0,96 (Orta oda indeksi, direkt ışık dağılımı, temiz ortam koşulları, 3 yılda bir bakım)
- LMF: 0,91 (IP54 (Tip-E), temiz ortam koşulları, 3 yılda bir bakım)
- LLMF: 0,69 (Seramik metal halide, 2,5 yılda bir (10.000 saat) değişim)
- LSF: 0,87 (Seramik metal halide, 2,5 yılda bir (10.000 saat) değişim)

$MF = 0,96 * 0,91 * 0,69 * 0,87 = 0,524$ olarak hesaplanmaktadır. Birebir kaynak değişimi durumunda ise 0,603 olarak elde edilmektedir.

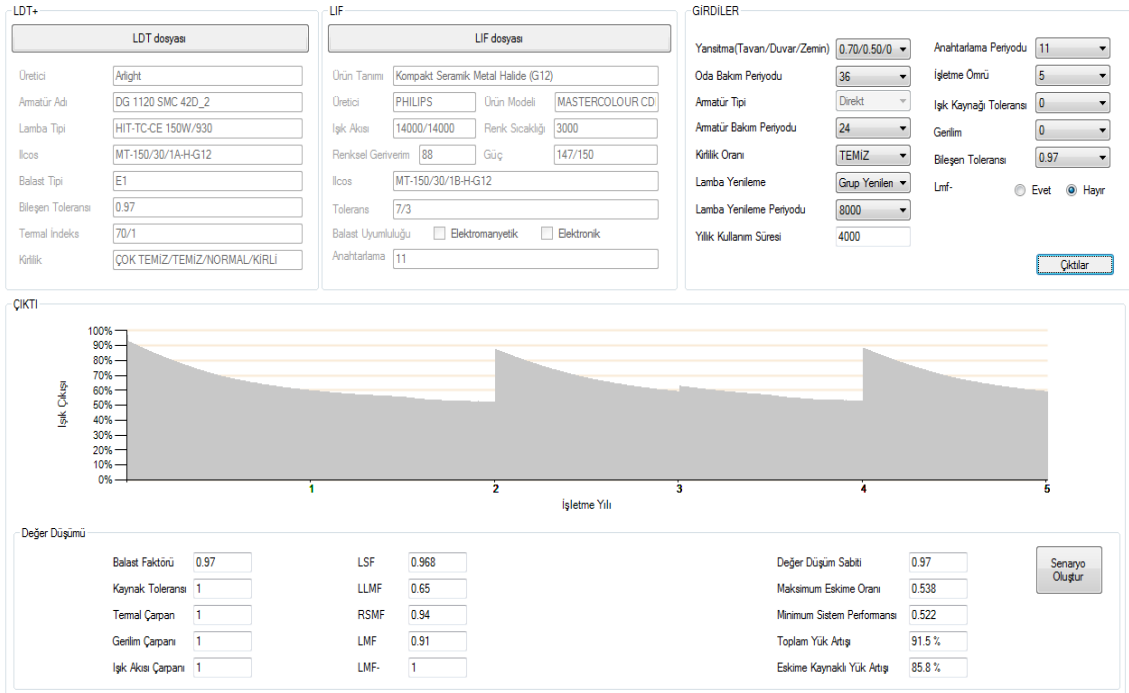
Eskime Modelleme Yaklaşımına Göre; Tezin araştırma ve deneysel süreçlerinde; özellikle seramik metal halide ışık kaynaklarının marka, model, bileşen tipi vb. birçok unsurlara bağlı olarak çok değişken eğilimler gösterebildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle de etki sınırlarının tanımlanması için; aynı güçte ve modeldeki seramik metal halide ışık kaynaklarının farklı versiyonlarının, farklı bileşen tipleriyle kombinasyonları sonucu oluşan eskime etkileri Çizelge 5.1'deki gibi çeşitlendirilmiştir.

Çizelge 5.1 Örnek-1 için bakım senaryoları

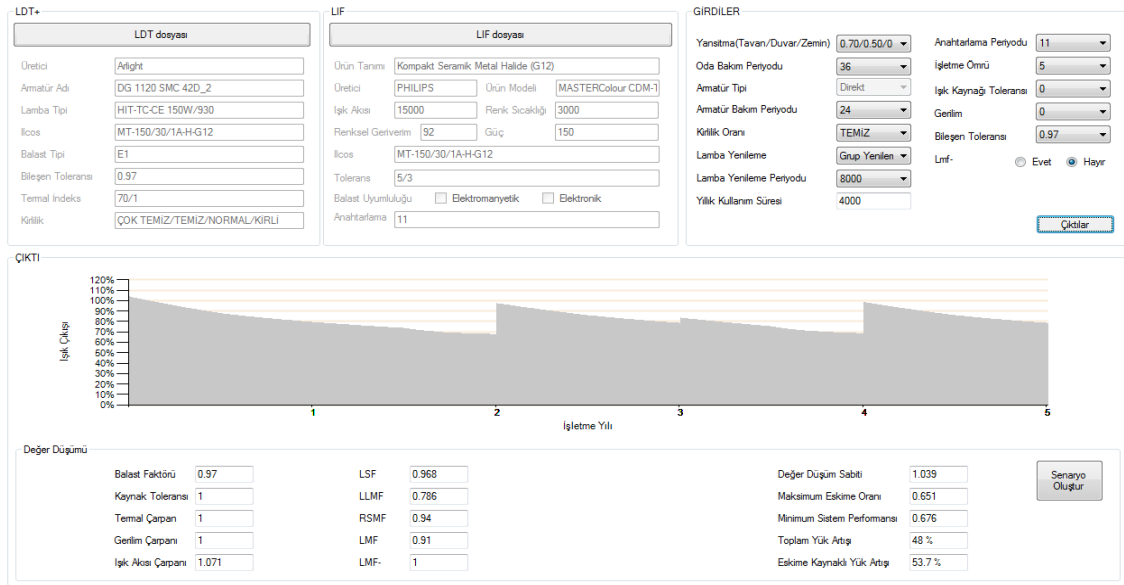
	Bileşen	Işık Kaynağı	Lamba Değişim Periyodu (Yıl)	Armatür Bakım Periyodu (Yıl)
Senaryo-1	Elektromanyetik	CDM-T 150W	2	2
Senaryo-2	Elektronik	CDM-T 150W	2	2
Senaryo-3	Elektronik	CDM-T 150W ELITE	2	2



Şekil 5.9 Örnek-1, Senaryo-1 için eskime modeli



Şekil 5.10 Örnek-1, Senaryo-2 için eskime modeli



Şekil 5.11 Örnek-1, Senaryo-3 için eskime modeli

Şekil 5.9- 5.11'deki eğilimler ve Çizelge 5.2'deki özet sonuçlar değerlendirildiğinde, eskime ve değer düşümünün kullanılan ışık kaynağı modeline ve hatta bileşen tipine bağlı olarak ciddi farklılıklar taşıdığı görülebilecektir. Söz konusu örnekte; ışık kaynağı modeli ve bileşen tipine bağlı olarak LLMF değerinin 0,568 ile 0,786 arasında olduğu, buna bağlı olarak da elde edilen BF değerinin değer düşüm etkileri dahil olarak 0,456 ile 0,676 arasında değiştiği görülmüştür.

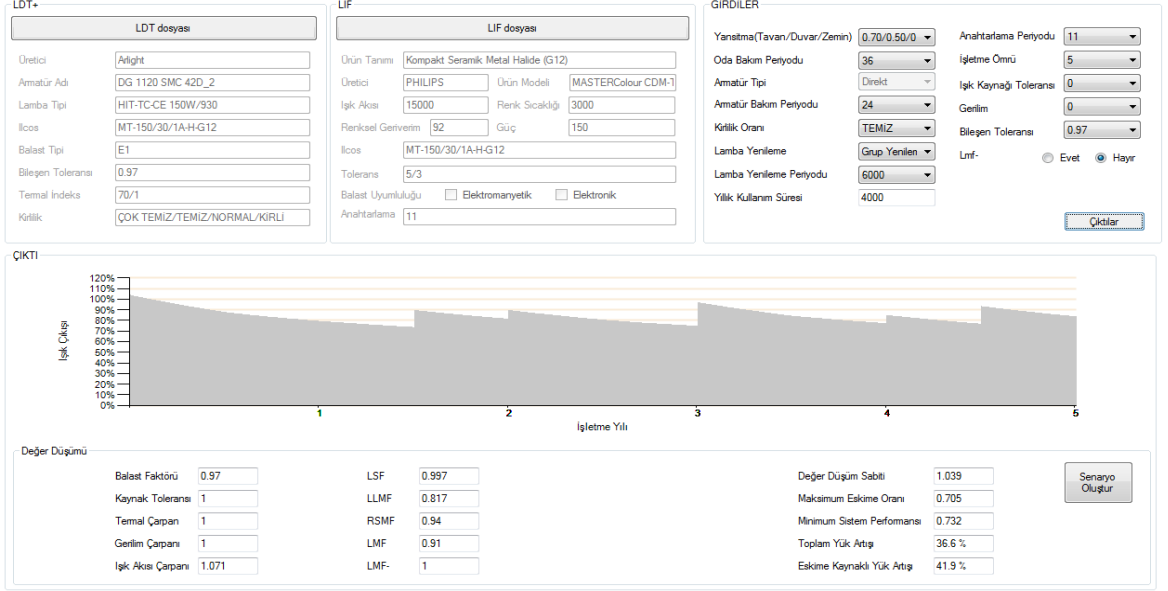
Çizelge 5.2 Örnek-1 için değerlendirme sonuçları

	CIE-97:1992	CIE-97:2005	Yazılım Senaryo-1	Yazılım Senaryo-2	Yazılım Senaryo-3
LSF	0,87	0,86	0,968	0,968	0,968
LLMF	0,69	0,64	0,568	0,65	0,786
LMF	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
RSMF	0,96	0,94	0,94	0,94	0,94
DEĞER DÜŞÜMÜ	--	--	0,97	0,97	1,039
MF	0,524	0,471	0,47	0,538	0,651
MF (değer düşümü dahil)	--	--	0,456	0,522	0,676

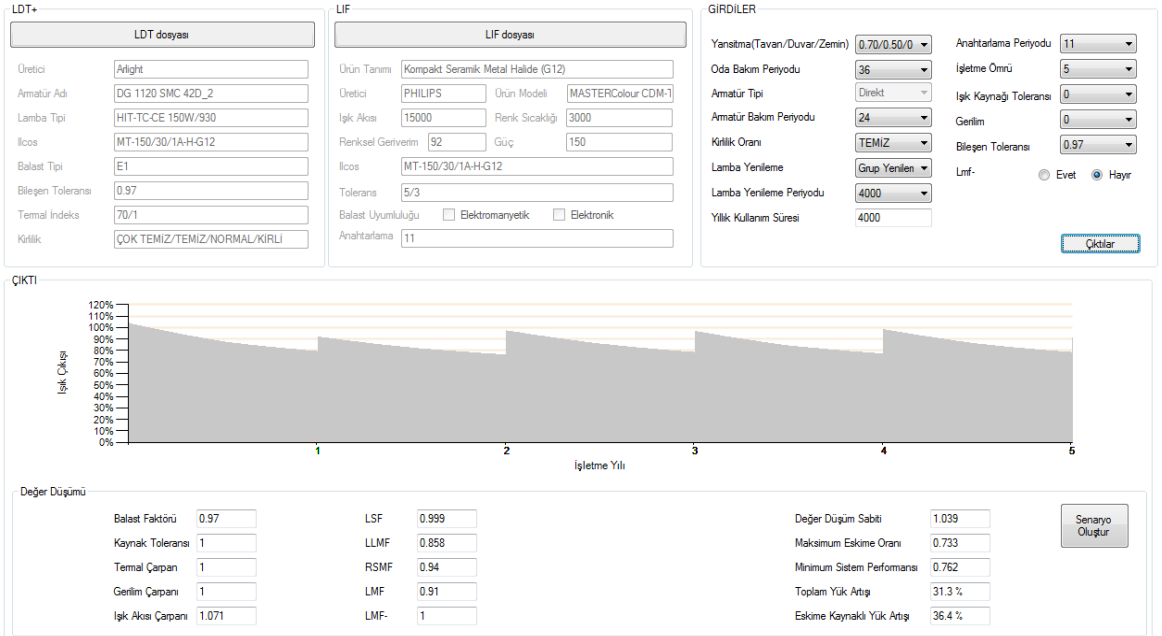
Sonuçlar incelendiğinde; bu örnek için LLMF değerinin oluşan eskimede belirleyici olduğu, bu nedenle de bakım katsayısının dolayısıyla sistem kurulu gücündeki artış miktarının değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bu amaçla; senaryo-3'teki bileşen ve ışık kaynağı kombinasyonunun LLMF değerini iyileştirmeye yönelik olarak Çizelge 5.3'deki bakım senaryoları üzerinden örnekler çoğaltılarak, her durum için kurulu güç, kurulum maliyeti, enerji maliyeti ve bakım maliyeti değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 5.3 Örnek-1 için alternatif bakım senaryoları

	Bileşen	Işık Kaynağı	Lamba Değişim Periyodu (Yıl)	Armatür Bakım Periyodu(Yıl)
Senaryo-4	Elektronik	CDM-T 150W ELITE	1,5	2
Senaryo-5	Elektronik	CDM-T 150W ELITE	1	2



Şekil 5.12 Örnek-1, Senaryo-4 için eskime modeli

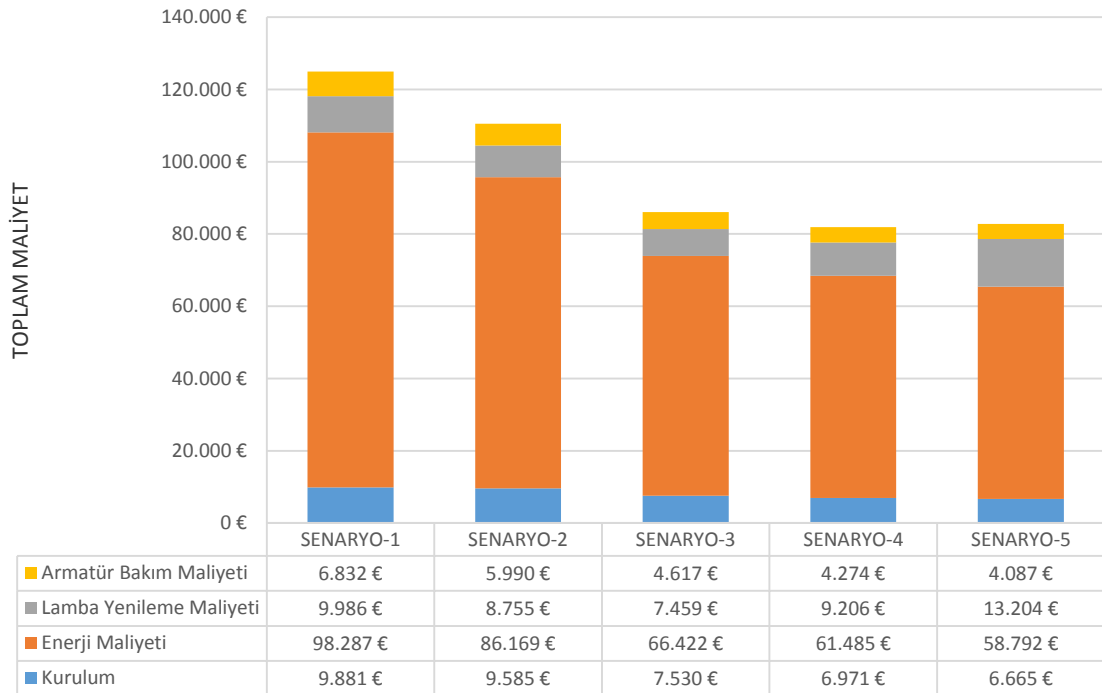


Şekil 5.13 Örnek-1, Senaryo-5 için eskime modeli

Şekil 5.9-5.13'deki 5 farklı uygulama senaryosu için elde edilen toplam yük artışı, gerekli aydınlatma ekipmanı ve tüm maliyetler Çizelge 5.4'de özetlenirken, paranın zaman değeri gözardı edilerek hesaplanan 5 ve 10 yıllık toplam işletme giderleri, Çizelge 5.5'de verilmiştir. 10 yıllık toplam işletme giderleri içerisindeki kurulum, enerji maliyeti, lamba yenileme maliyeti ve armatür bakım maliyetlerinin payları Şekil 5.14'deki gibi olmaktadır. Hesaplamalarda elektrik tarifi 0,11€/kWh değeri ve işçilik için ise Türkiye koşullarındaki Kamuda kabul gören adam-saat değerleri referans alınmıştır. Armatür ve ışık kaynağı fiyatlarında, 2014 Haziran ayındaki üretici fiyatları esas alınmıştır.

Çizelge 5.4 Tüm senaryolar için maliyet analizi

	TOPLAM YÜK ARTIŞI	LAMBA YENİLEME PERİYODU	ARMATÜR TEMİZLİK PERİYODU	ARMATÜR ADEDİ	KURULUM	YILLIK İŞLETME MALİYETİ	YILA İNDİRGENMİŞ LAMBA DEĞİŞİM MALİYETİ	YILA İNDİRGENMİŞ ARMATÜR BAKIM MALİYETİ
SENARYO-1	2,19	2,0	2,0	105	9.881 €	9829	998,6 €	683,3 €
SENARYO-2	1,92	2,0	2,0	92	9.585 €	8617	875,5 €	599,0 €
SENARYO-3	1,48	2,0	2,0	71	7.530 €	6642	745,9 €	461,8 €
SENARYO-4	1,37	1,5	2,0	66	6.971 €	6149	920,6 €	427,4 €
SENARYO-5	1,31	1,0	2,0	63	6.665 €	5879	1.320,5 €	408,7 €



Şekil 5.14 Örnek-1 için 10 yıllık maliyet projeksiyonu

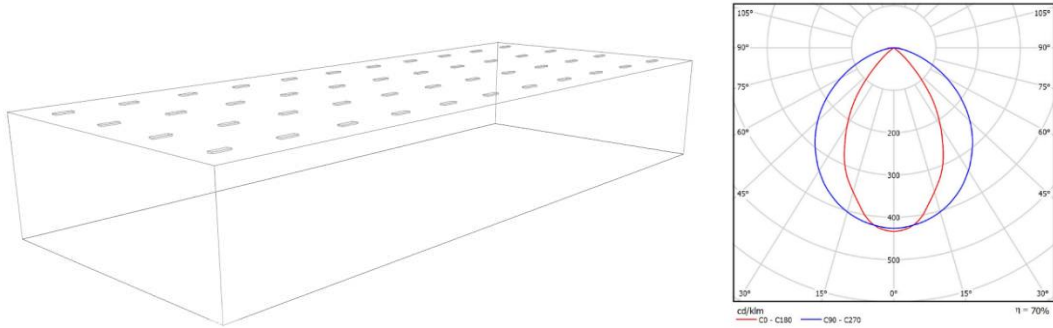
Çizelge 5.5 Tüm senaryolar için 5 ve 10 yıllık toplam işletme giderleri

	5 YILLIK	10 YILLIK
SENARYO-1	67.434 €	124.988 €
SENARYO-2	60.042 €	110.500 €
SENARYO-3	46.780 €	86.029 €
SENARYO-4	44.454 €	81.937 €
SENARYO-5	44.708 €	82.750 €

Kullanılan bileşen tipi, ışık kaynağının karakteristik özelliği ve bakım yaklaşımları, sistemin kurulum, enerji ve işletme maliyetlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Aynı tipteki ışık kaynaklarının farklı modeldeki alternatiflerinin, bileşen kombinasyonları ve değişik bakım senaryolarına bağlı olarak 10 yıllık toplam maliyetlerinde % 34,4'lük farklılıklar görülebilmektedir. azalma görülebilmektedir. Bu rakamlar, farklı üreticilere ait modellerin değerlendirilmesi durumunda daha büyük farklılıklar taşıyabilecektir. Örnek uygulama için en ideal çözüm; düşük enerji ve bakım maliyetleri nedeniyle elektronik bileşen ve CDM-T Elite lamba kombinasyonu için 1,5 yılda bir ışık kaynağı değişiminin uygulandığı Senaryo-4 için elde edilmiştir.

5.4.2 Örnek Analiz-2

İkinci örnek değerlendirme için, Şekil 5.15'deki gibi 50x20x8m (1000m²) ölçülerindeki bir endüstriyel tesis referans alınmıştır. Hacmin aydınlatmasında, tavana (8m) monte edilmiş endüstriyel 4x54W T5 yüksek tavan armatürleri kullanılmıştır. Armatürler IP65 koruma sınıfındadır. Armatürün ışık dağılım karakteristiği yapıya uygun olup, polar diyagramı Şekil 5.15'deki gibidir.



Şekil 5.15 Endüstriyel tesis geometrisi ve kullanılan armatürün polar diyagramı

Söz konusu hacim için aydınlatma tasarımı konusunda, en yaygın kullanıma sahip Dialux Programı ile (Versiyon 4.12) genel aydınlatma hesapları yapılmıştır [25]. Eskime ve değer düşümlerinden arındırılmış (BF:1.0), çalışma düzleminde ortalama 520 lüks elde etmek için 44 adet aydınlatma armatürü kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. Bakım katsayısının hesaplanması için ise; hem CIE Pub 97:1992, hem CIE Pub 97:2005, hem de tez sürecinde geliştirilen eskime analiz yazılımı/algoritması kullanılmıştır.

- Hacim iç yüzey çarpanları tavan, duvar ve zemin yüzeyleri için sırasıyla %70, %50 ve %20'dir.
- Armatürlerin koruma sınıfı IP65'dir.
- Armatürün genel olarak zorlu işletme şartlarının olduğu fabrika tesislerinde kullanılması nedeniyle kirli ortam koşulları öngörülmüştür.
- Armatür bakım periyodu 36 aydır.
- İç yüzey temizleme periyodu 36 aydır.
- Anahtarlama periyodu işletme koşulları esas alınarak 8 saat olarak değerlendirilmiştir.
- Yıllık işletme süresi 3000 saattir.
- Lamba yenileme 5 yılda bir (15.000 saat) yapılmaktadır.
- Hesaplamalarda şebeke koşulları kararlı ve lamba toleransı sıfır kabul edilmiştir.

CIE Pub 97:2005'e göre

- RSMF: 0,86 (70/50/20 yansıtma, orta oda indeksi, direkt ışık dağılımı, kirli ortam koşulları, 3 yılda bir bakım)
- LMF: 0,79 IP65'e yakın ürün IP54 (Tip-E), kirli ortam koşulları, 3 yılda bir bakım
- LLMF: 0,90 Tirifosfor lamba 5 yılda bir (15.000 saat) değişim
- LSF: 0,94 Tirifosfor lamba 5 yılda bir (15.000 saat) değişim

$BF = 0,86 * 0,79 * 0,90 * 0,94 = 0,575$ olarak hesaplanmaktadır.

CIE Pub 97:1992'ye göre

- RSMF: 0,94 Orta oda indeksi, direkt ışık dağılımı, kirli ortam koşulları, 3 yılda bir bakım
- LMF: 0,79 IP65'e yakın ürün IP54 (Tip-E), kirli ortam koşulları, 3 yılda bir bakım
- LLMF: 0,82 Trifosfor lamba 5 yılda bir (15.000 saat) değişim
- LSF: 0,54 Trifosfor lamba 5 yılda bir (15.000 saat) değişim

$BF = 0,94 * 0,79 * 0,82 * 0,54 = 0,329$ olarak hesaplanmaktadır.

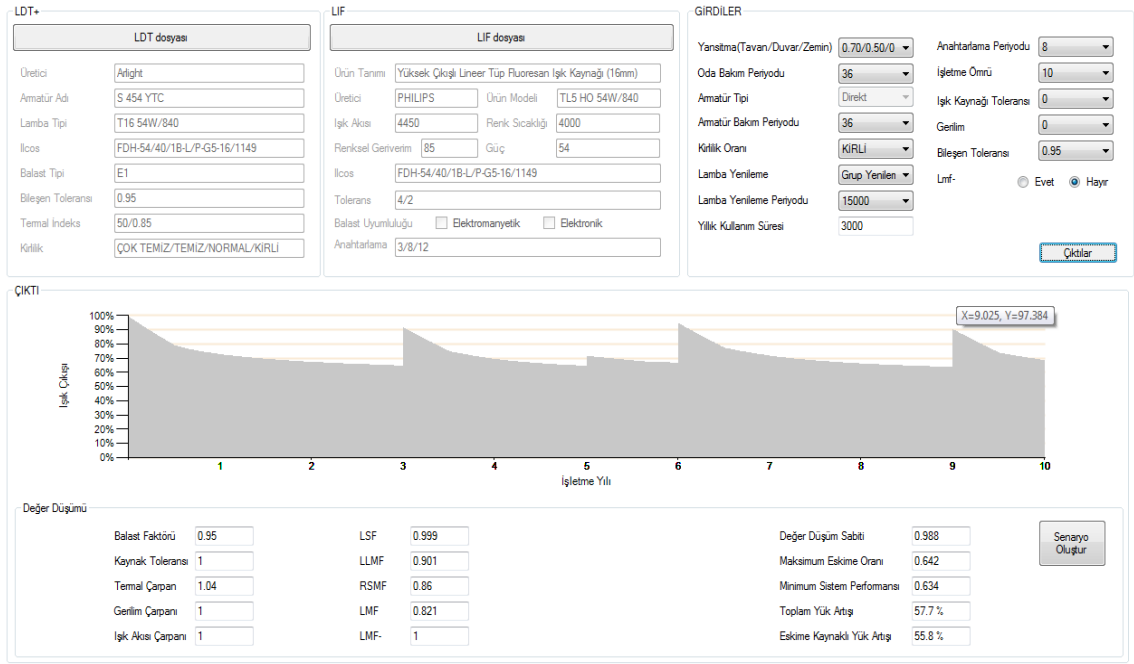
Eskime Modelleme Yaklaşımına Göre; Örnek armatürler için iç ortam sıcaklığının performans üzerine etkilerinin ışık kaynağının termal karakteristiğine bağlı olarak ciddi farklılıklar gösterdiği bilindiğinden; eskime modellemeleri hem standart yüksek çıkışlı T5 ışık kaynağı, hem de bu ışık kaynağının amalgam katkılı versiyonu kullanılarak tekrarlanmıştır. Modellemede şebeke koşulları kararlı, lamba toleransı 0, anahtarlama periyodu 8 ve işletme süresi 10 yıl olarak belirlenmiştir. Bu limitlere göre uygulanan senaryolar Çizelge 5.6'deki gibidir.

Çizelge 5.6 Örnek-2 için bakım senaryoları

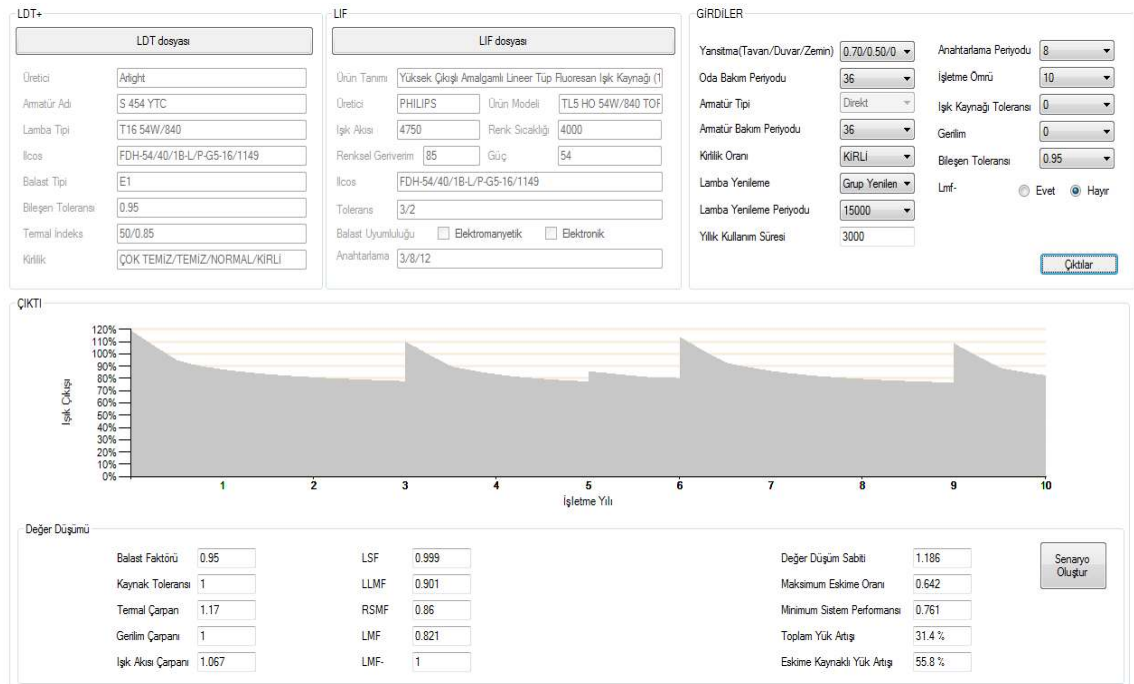
	Bileşen	Işık Kaynağı	Lamba Değişim Periyodu (Yıl)	Armatür Bakım Periyodu (Yıl)
Senaryo-1	Elektronik	T5-HO	5	3
Senaryo-2	Elektronik	T5-HO- AMALGAM	5	3

Senaryo-1 esas alınarak yapılan hesaplamalarda maksimum eskime oranı 0,642 olarak elde edilmiştir. Değer düşüm etkilerinin de hesaba katıldığı durumlar için, hesaplanan bakım katsayısı ise 0,634 olmaktadır (Şekil 5.16).

Geniş sıcaklık bandında ışık çıkışı kararlı olan amalgam katkılı T5 ışık kaynağı ile yapılan eskime modeli Şekil 5.18'deki gibidir. Senaryo-2 için elde edilen LSF, LLMF gibi bakım çarpanları, ışık kaynağının benzer ömrü karakteristiğinde olması nedeniyle Senaryo-1 ile aynıdır. Fakat ışık kaynağının nominal ışık çıkışı ve termal karakteristiği farklıdır. Bu nedenle de eskime aynı oranda 0,642 olarak görülürken, sistem performansı 1,186'lık değer düşüm sabiti nedeniyle 0,761 değerinin altına inmemektedir. Bu durumda, bakım katsayısı ve dolayısıyla değer düşümü ve eskime sebebiyle oluşan toplam yük artışı çok daha düşük olmaktadır. (Şekil 5.17). Senaryo-1 ve Senaryo-2 ye ait sonuçlar Çizelge 5.7'de özetlenmiştir.



Şekil 5.16 Örnek-2, Senaryo-1 için eskime modeli



Şekil 5.17 Örnek-2, Senaryo-2 için eskime modeli

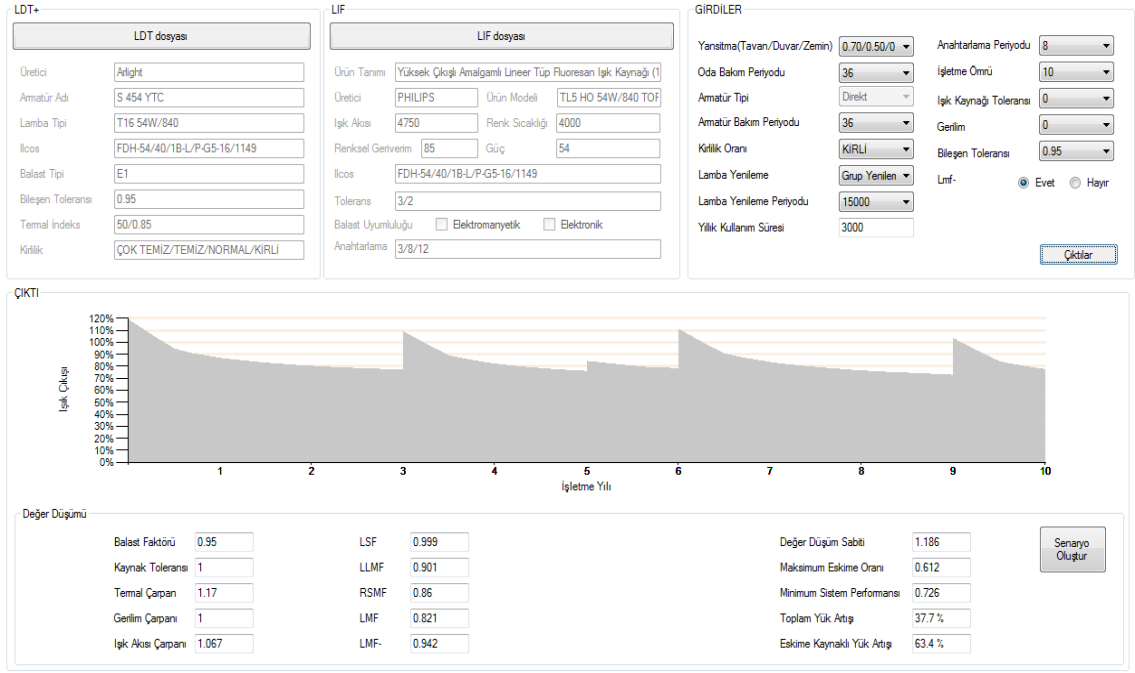
Çizelge 5.7 Örnek-2 için değerlendirme sonuçları

	97:1992	97:2005	Yazılım Senaryo-1	Yazılım Senaryo-2
LSF	0,54	0,94	0,999	0,999
LLMF	0,82	0,90	0,901	0,901
LMF	0,79	0,79	0,821	0,821
RSMF	0,94	0,86	0,86	0,86
DEĞER DÜŞÜMÜ	--	--	0,988	1,186
MF	0,329	0,575	0,642	0,642
MF (değer düşümü dahil)	--	--	0,634	0,761

5.4.2.1 LMF- Etkisinin Değerlendirilmesi

Örnekteki armatür için tanımlanan 10 yıllık işletme süresi esas alındığında, armatürde görülecek geri kazanılamayan etkilerin de hesaplamalara dahil edilmesi sağlıklı olacaktır. Bu konuda üreticiler tarafından mutlak veriler sunulmasa da, geliştirilen sistem bu tip eğilimlerin de etkilerini analiz edebilmektedir.

Söz konusu armatür için oluşturulan LDT+ üzerinden, 10 yıllık süreçte 0,942’lik bir geri kazanılamayan değer kaybı hesaplanmıştır (Şekil 5.18). Bu da sistem kurulu gücünde yaklaşık %6 oranında artış manasına gelmektedir. Buradaki eğilim hesabı, üreticilerle görüşülerek oluşturulan genel varsayımlar üzerinden ve tezin araştırma sürecinde yapılan deneysel çalışmalar esas alınarak oluşturulmuştur.



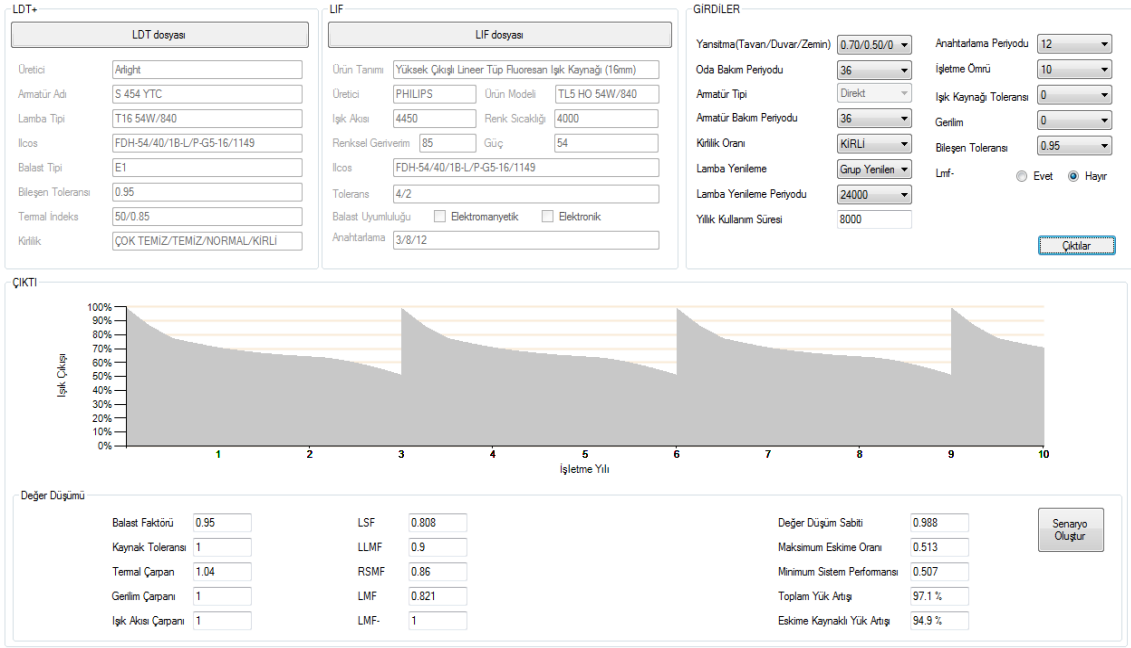
Şekil 5.18 Örnek-2, Senaryo-2 için LMF- etkisinin analizi

5.4.3 Örnek Analiz 3

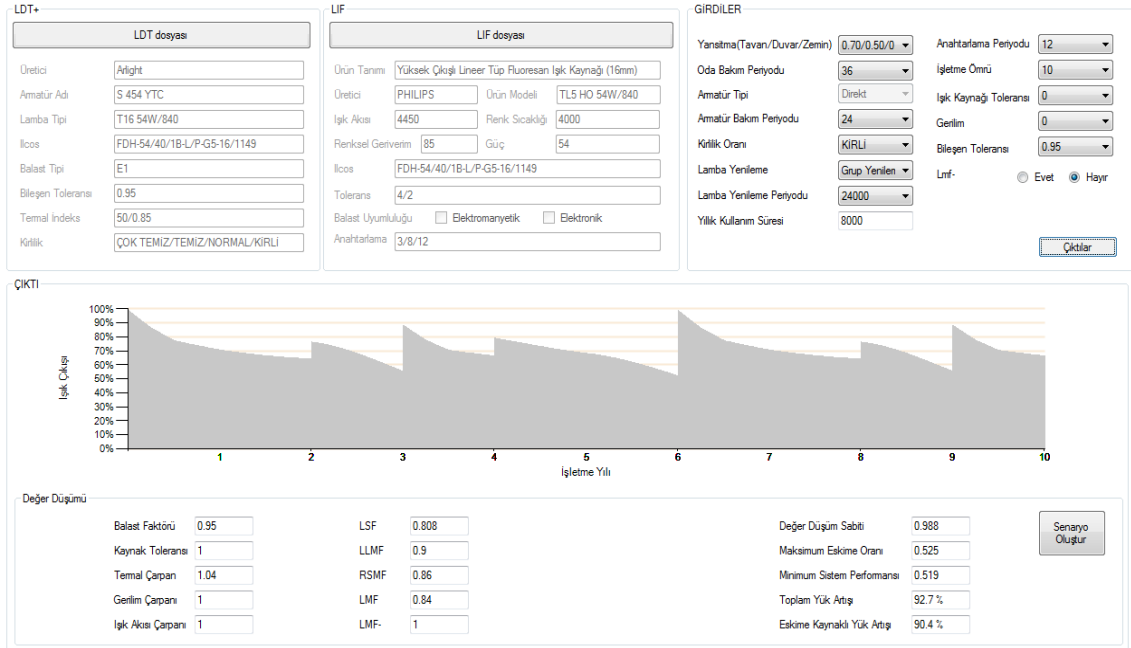
Örnek -2 ile aynı yapıda, fakat 3 vardiya çalışan ve yıllık işletme süresi 8000 saat olan bir tesis için farklı ışık kaynağı ve bakım periyotları referans alındığında, sistemin genel işletme maliyetlerinin değişimi modellenmiştir. Analizlerde kullanılan senaryo detayları Çizelge 5.8’deki gibi olup, her bir senaryoya ait eskime eğilimleri Şekil 5.19 – 5.27’deki gibidir.

Çizelge 5.8 Örnek-3 için bakım senaryoları

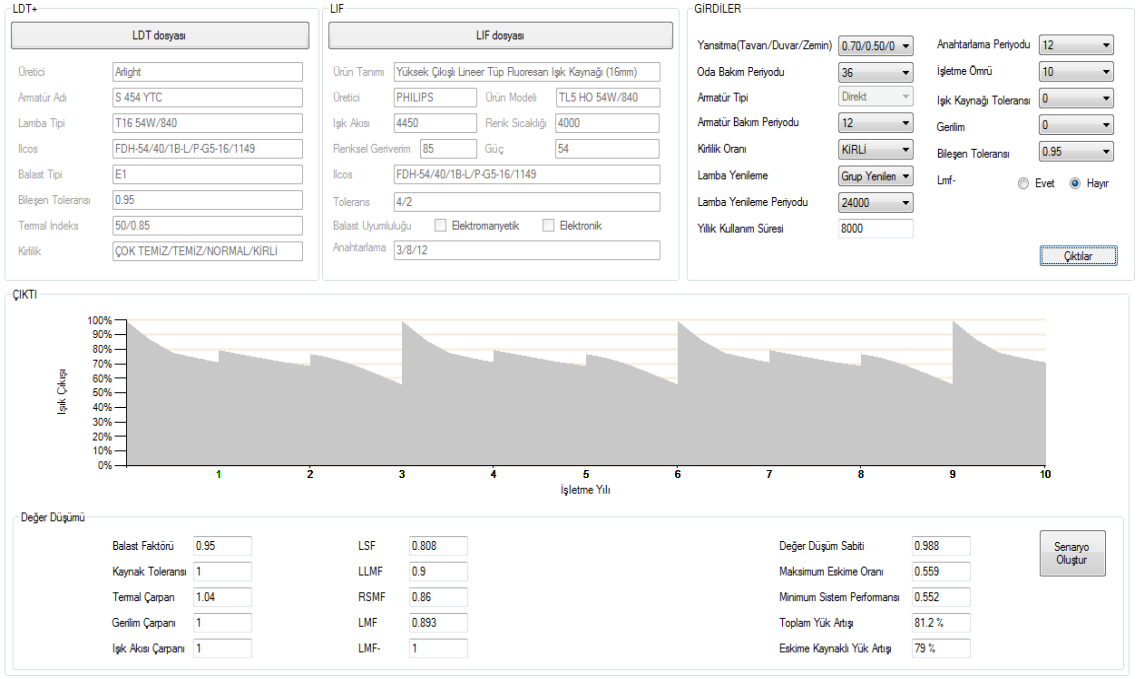
	Bileşen	Işık Kaynağı	Lamba Değişim Periyodu (Yıl)	Armatür Bakım Periyodu (Yıl)
Senaryo-1	Elektronik	T5-HO	3	3
Senaryo-2	Elektronik	T5-HO	3	2
Senaryo-3	Elektronik	T5-HO	3	1
Senaryo-4	Elektronik	T5-HO	2	3
Senaryo-5	Elektronik	T5-HO	2	2
Senaryo-6	Elektronik	T5-HO	2	1
Senaryo-7	Elektronik	T5-HO	1	3
Senaryo-8	Elektronik	T5-HO	1	2
Senaryo-9	Elektronik	T5-HO	1	1



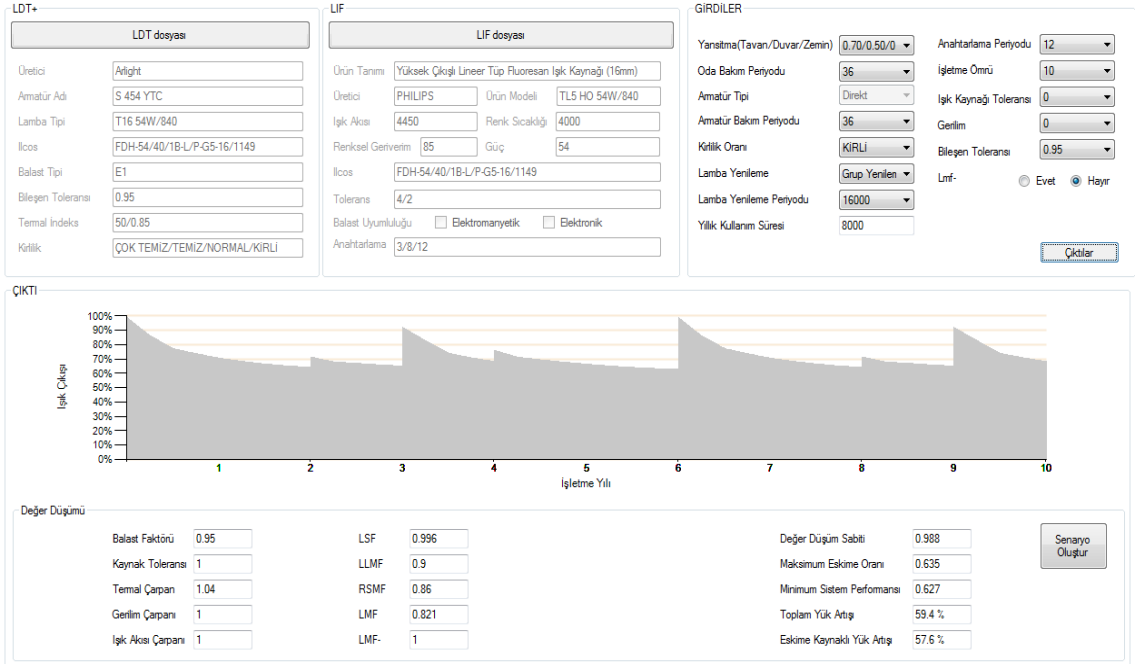
Şekil 5.19 Örnek-3, Senaryo-1 için eskime modeli



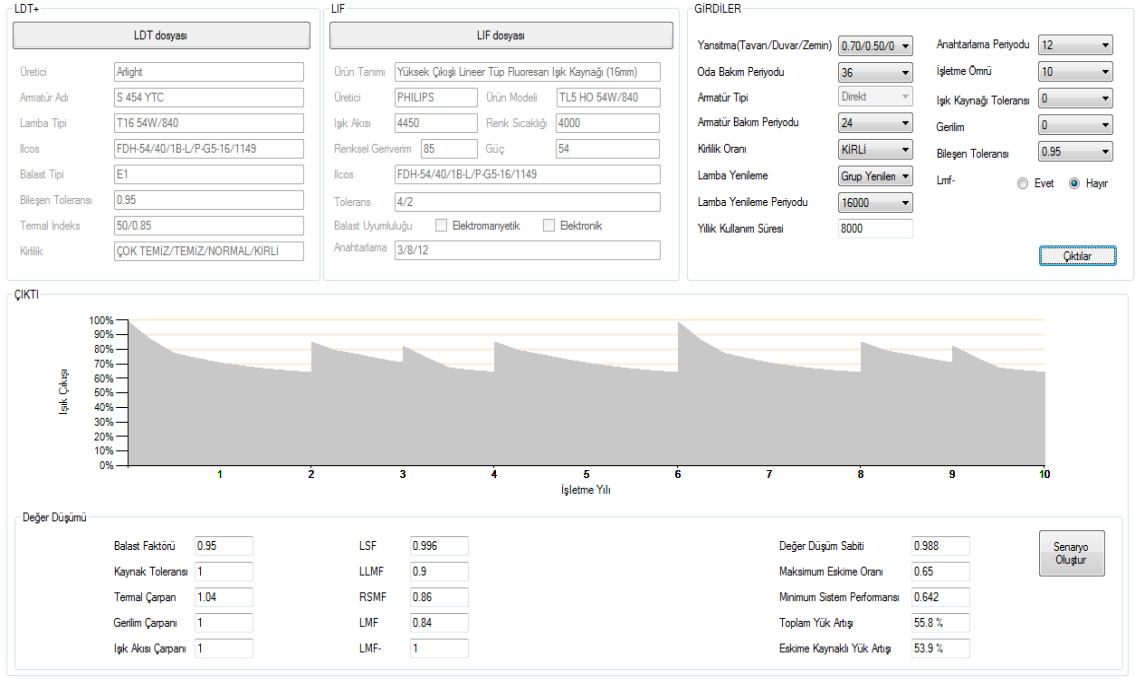
Şekil 5.20 Örnek-3, Senaryo-2 için eskime modeli



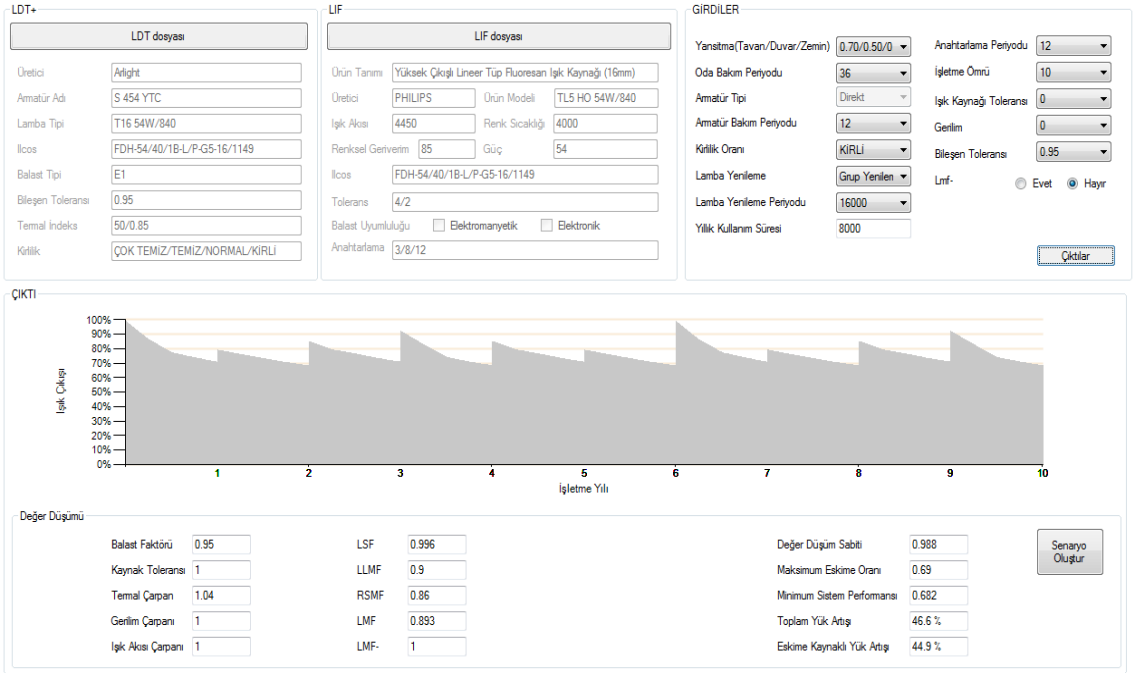
Şekil 5.21 Örnek-3, Senaryo-3 için eskime modeli



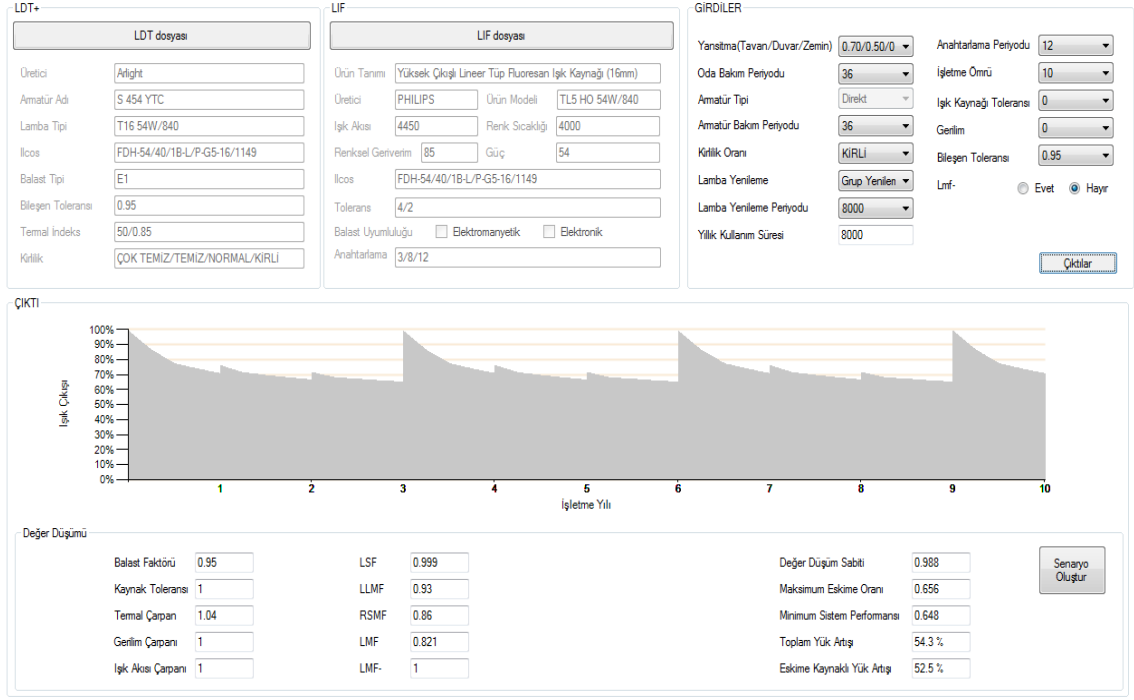
Şekil 5.22 Örnek-3, Senaryo-4 için eskime modeli



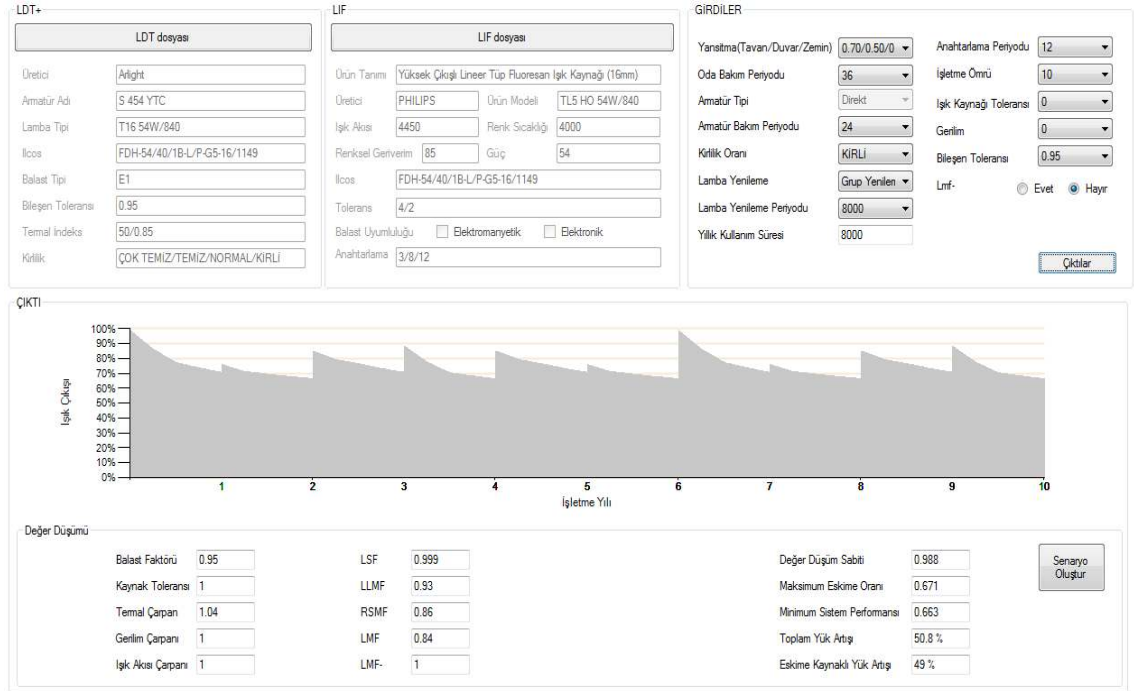
Şekil 5.23 Örnek-3, Senaryo-5 için eskime modeli



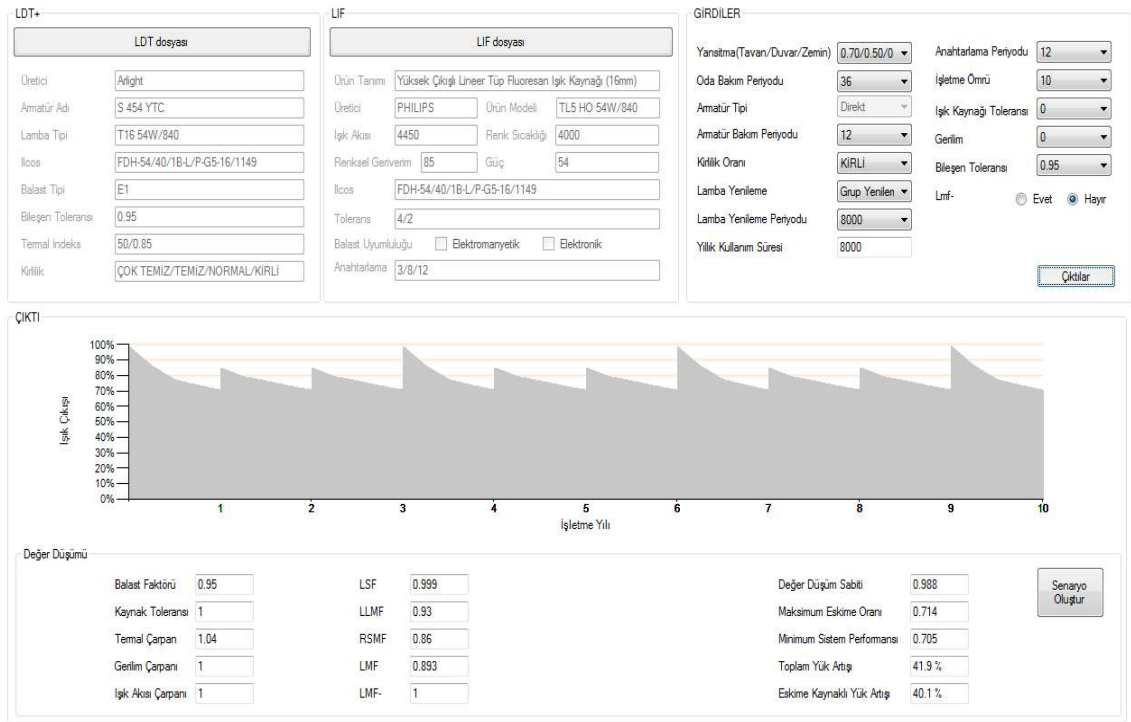
Şekil 5.24 Örnek-3, Senaryo-6 için eskime modeli



Şekil 5.25 Örnek-3, Senaryo-7 için eskime modeli



Şekil 5.26 Örnek-3, Senaryo-8 için eskime modeli



Şekil 5.27 Örnek-3, Senaryo-9 için eskime modeli

Tüm senaryolar için elde edilen bakım analizi sonuçları ve bunlara ilişkin maliyet değerlendirmeleri Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Örnek-3 için değerlendirme sonuçları

	LSF	LLMF	LMF	RSMF	DEĞER DÜŞÜMÜ	BAKIM FAKTÖRÜ	BAKIM FAKTÖRÜ (DEĞER DÜŞÜMÜ DAHİL)
SENARYO-1	0,808	0,900	0,821	0,86	0,988	0,513	0,507
SENARYO-2	0,808	0,900	0,840	0,86	0,988	0,525	0,519
SENARYO-3	0,808	0,900	0,893	0,86	0,988	0,559	0,552
SENARYO-4	0,996	0,900	0,821	0,86	0,988	0,627	0,635
SENARYO-5	0,996	0,900	0,840	0,86	0,988	0,642	0,650
SENARYO-6	0,996	0,900	0,893	0,86	0,988	0,682	0,690
SENARYO-7	0,999	0,930	0,821	0,86	0,988	0,648	0,656
SENARYO-8	0,999	0,930	0,840	0,86	0,988	0,664	0,671
SENARYO-9	0,999	0,930	0,893	0,86	0,988	0,705	0,714

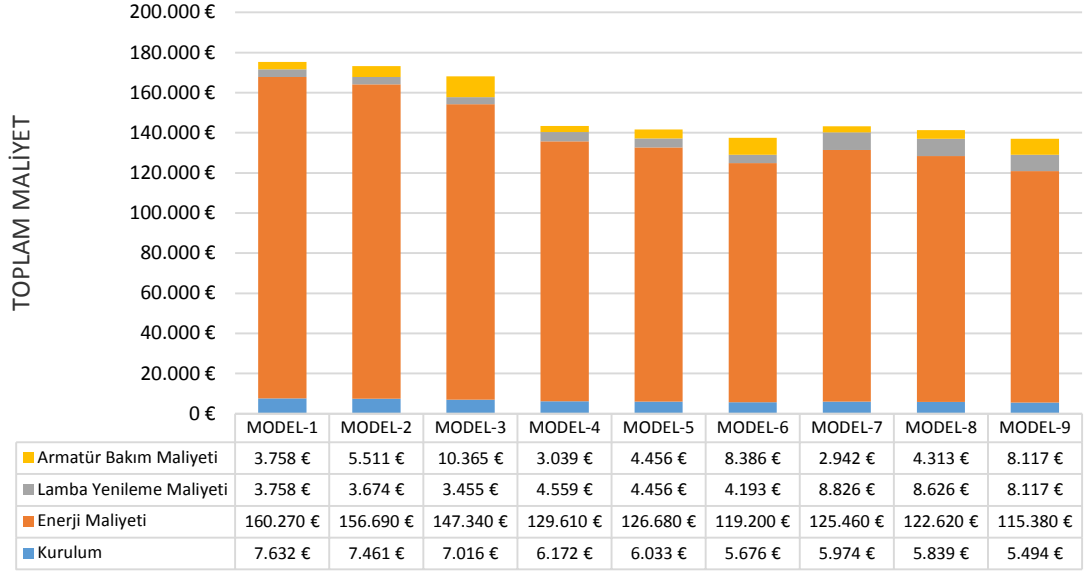
Çizelge 5.10 Tüm senaryolar için maliyet analizi

	TOPLAM YÜK ARTIŞI	LAMBA YENİLEME PERİYODU	ARMATÜR TEMİZLİK PERİYODU	ARMATÜR ADEDİ	KURULUM	YILLIK İŞLETME MALİYETİ	YILA İNDİRGENMİŞ LAMBA DEĞİŞİM MALİYETİ	YILA İNDİRGENMİŞ ARMATÜR BAKIM MALİYETİ
SENARYO-1	1,97	3,0	3,0	87	7.632 €	16.027 €	375,8 €	375,8 €
SENARYO-2	1,93	3,0	2,0	85	7.461 €	15.669 €	367,4 €	551,1 €
SENARYO-3	1,81	3,0	1,0	80	7.016 €	14.734 €	345,5 €	1.036,5 €
SENARYO-4	1,59	2,0	3,0	70	6.172 €	12.961 €	455,9 €	303,9 €
SENARYO-5	1,56	2,0	2,0	69	6.033 €	12.668 €	445,6 €	445,6 €
SENARYO-6	1,47	2,0	1,0	65	5.676 €	11.920 €	419,3 €	838,6 €
SENARYO-7	1,54	1,0	3,0	68	5.974 €	12.546 €	882,6 €	294,2 €
SENARYO-8	1,51	1,0	2,0	66	5.839 €	12.262 €	862,6 €	431,3 €
SENARYO-9	1,42	1,0	1,0	62	5.494 €	11.538 €	811,7 €	811,7 €

Her bir senaryoya ilişkin 5-10 yıllık toplam maliyet analizleri için Çizelge 5.11'deki değerler incelenmelidir. 10 yıllık işletme modeli için armatür bakım maliyeti, lamba yenileme maliyeti, enerji maliyeti ve kurulum maliyeti değerleri Şekil 5.28'deki gibidir.

Çizelge 5.11 Tüm senaryolar için 5 ve 10 yıllık toplam işletme giderleri

	5 YIL	10 YIL
SENARYO-1	91.523 €	175.414 €
SENARYO-2	90.398 €	173.335 €
SENARYO-3	87.594 €	168.173 €
SENARYO-4	74.777 €	143.381 €
SENARYO-5	73.831 €	141.628 €
SENARYO-6	71.567 €	137.458 €
SENARYO-7	74.591 €	143.207 €
SENARYO-8	73.618 €	141.396 €
SENARYO-9	71.302 €	137.109 €



Şekil 5.28 Örnek 3 için bakım senaryolarının 10 yıllık maliyet projeksiyonları

Sonuçlar değerlendirildiğinde, 10 yıl işletme sürecinde en düşük işletme giderlerinin sırasıyla Senaryo-9, Senaryo-6, Senaryo-8 ve Senaryo-5 için elde edildiği görülmektedir. Ayrıca; 3 yıldan 2 yıla indirilen değişim periyodu sistem performansının iyileştirirken, 2 yıldan 1 yıla indirilmiş lamba değişim periyodunun ciddi bir kazanım sağlamadığı görülmektedir. Bu kapsamda; sürekli işletme koşullarındaki bir tesis için en düşük işletme maliyetine sahip fakat her yıl bakım isteyen Model-9 gibi bir işletme modeli yerine %3,3'lük bir ek işletme maliyetini kabul edilerek, 2 yılda toplu lamba ve armatür değişimin yapıldığı Senaryo-5'in kabul edilmesi çok daha uygun olacaktır. 3 yıllık bakım senaryoları ise yüksek işletme maliyetleri ve sistem performans kayıpları nedeniyle uygun görülmemektedir.

5.5 Eskimeyi Kompanze Edecek İşletme Yaklaşımı

Aydınlatma bakım katsayısı, bir tesiste tanımlı minimum ortalama değerin en olumsuz koşulda dahi sağlanması üzerine kurulmaktadır. Bu nedenle sistem tasarımı, eskime ve değer düşümlerini kompanze edecek derecede daha yüksek ışık çıkışı sağlayacak şekilde kurgulanır.

Bu sayede sistem zamanla değer kaybına uğrarken, işletme süresince tanımlı limit değerlerin altına düşülmemiş olmaktadır. Fakat eskime ve değer düşümünün seviyesine bağlı olarak, çok büyük boyutlarda enerjinin boşa harcandığı ve kimi tesislerde ilk işletme

süreçlerinde normal seviyelerin iki katına varan mertebelerde aydınlık seviyeleri oluşturulması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle de sistemlerin bakım kaynaklı yük artışları, sistem verimliliğini düşüren en temel etki olabilmektedir. Özellikle yüksek bakım katsayılarının olduğu uygulamalarda, bu yönde görülen kayıpları minimize edecek yeni işletme tekniklerinin kullanılması önerilmektedir/gerekmektedir.

Günümüzde kontrol teknolojileri; günışığına veya belirlenmiş sabit bir ışık seviyesine göre aydınlatma sistemlerini, sürekli aynı seviyede çıkış verecek şekilde dimerleyerek kontrol edebilmektedirler. Böylece; bu tip teknolojilerin kullanıldığı noktalarda sürekli olarak sabit ışık seviyesi sağlanmasına imkân veren sensörler sayesinde, bakım kaynaklı yük artışının etkisi minimize edilebilmektedir. Fakat her projede veya uygulamada; bazen teknik, bazen ise ekonomik sebepler doğrultusunda bu tip kontrol ve geribildirim altyapılarının kullanılması mümkün olmamaktadır.

Mevcut algoritma ve yazılım ile işletme ömrü boyunca görülecek eskime eğiliminin modellenmesi sayesinde; bu durumla ilişkilendirilmiş bir aydınlatma işletme senaryosu oluşturularak, sensörler veya diğer geri bildirim ekipmanlarından gelecek veriler olmadan da bakım kaynaklı yük artışının minimize edilmesine olanak sunulmaktadır. Sistemin eskime eğilimi bilindiğinden, her adımda görülecek kayıpları ve bakım önlemlerini esas alarak oluşturulacak dimmerleme senaryosu ile bakım kaynaklı yük artışının azaltılması ve ciddi boyutlarda enerji tasarrufu sağlanması mümkündür.

5.5.1 Örnek Uygulama

Endüstriyel veya sürekli işletilen yapılarda, çoğu durumda bakım ve yenileme periyodları çok uzun tutulur. Bu durumda da; sistemin bu uzun süre boyunca ilgili standartların tanımladığı limitlerin korunması amacıyla, çoğu zaman kurulu gücün 2 katına çıkarılması gerekmektedir. Örnek 2'deki yapıda 3 yılda bir armatür değişimi ve 3 yılda bir lamba değişimi (24.000saat) için 5 yıllık işletme süresince görülecek eğilim Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.29 Örnek eskime eğilimi

Geliştirilen yazılım algoritması üzerinden, sistemin değer düşümü yaşamadığı periyotlarda hangi dimerleme seviyesinde çalıştırılması gerektiğini önermektedir. Örnek uygulamadaki işletme için önerilen 5 yıllık otomasyon senaryosu Çizelge 5.12'deki gibidir.

Çizelge 5.12 5 yıl boyunca uygulanacak ışık seviyeleri (%)

	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	7.Ay	8.Ay	9.Ay	10.Ay	11.Ay	12.Ay
1.YIL	52,56	55	57,65	59,76	61,96	64,35	65,49	66,53	67,6	68,69	69,72	70,71
2.YIL	71,58	72,46	73,19	79,93	74,68	75,36	76,04	76,56	77,08	77,52	77,97	78,41
3.YIL	78,91	79,58	80,42	81,44	82,83	84,42	86,07	88,18	90,47	92,98	95,74	98,9
4.YIL	52,92	55,42	58,02	60,38	62,66	65,06	66,78	67,84	68,92	70,03	71,16	72,16
5.YIL	73,18	74,16	74,91	75,66	76,43	77,2	77,9	78,61	79,23	79,77	80,23	80,69

Mevcut uygulama için aydınlatma sistemleri %52,56 ile %98,9 aralığında farklı dimerleme seviyelerinde çalıştırılarak, işletme ömrü boyunca büyük ölçüde kararlı bir aydınlık seviyesi elde edilebilmektedir. Mevcut uygulama senaryosu için ortalama dimerleme seviyesi %73,5 olarak hesaplanmaktadır. İlgili armatür için LDT+ dosyası içerisinde tanımlanmış dimerlemeye bağlı güç eğilimi, eşitlik (5.4)'de verilmiştir.

$$1 \leq x \leq 100; y = (4.479 * 10^{-5}) * x^3 - 0.0101544 * x^2 + 1.42834633 * x + 13.9804 \quad (5.4)$$

Ortalama %73,5 lik dimerleme oranı için elde edilen tüketim, nominal yükün % 81,89'u olarak elde edilmektedir. Bu durumda elde edilecek tasarruf, ortalama %18,11 olarak

hesaplanmaktadır. LED gibi dimerlemeye bağlı güç eğilimi çok daha lineer olan ışık kaynakları için bu değer çok daha yüksek olabilecektir [58].

SONUÇ VE ÖNERİLER

Aydınlatma sistemleri için eskime, mevcut yaklaşımların önerdiği gibi sabit bir çarpan olmanın ötesinde, malzemeye, zamana, bakım tekniklerine ve işletme koşullarına göre analiz edilmesi gereken bir konu olarak değerlendirilmelidir. Günümüzde en gelişmiş aydınlatma modelleme yazılımları dahi bakım hesaplamalarında halen standartların sabitler üzerinden oluşturduğu ampirik yaklaşımları referans almaktadır. Dolayısıyla çok yüksek hassasiyetle ve üreticilerin fotometrik dataları kullanılarak yapılan yüksek hassasiyetli aydınlatma analizlerine karşın, değer düşüm ve eskimenin büyük hata payı içerecek şekilde genellenmesi sebebiyle uygulama noktasında çok büyük oranda sapmaların görülmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Geri kazanılabilir etkiler ürün, üretici ve teknoloji gibi faktörlere bağlı olarak çeşitlilik gösterirken birçok parametrenin de bu faktörler üzerinde dramatik farklılıklar oluşturabildiği bilinmektedir. Dolayısıyla geri kazanılabilir etkiler olarak tanımlanan LLMF, LSF ve LMF gibi eğilimler, ürüne has ve birçok parametreye bağlı olarak çeşitlilik taşıyacak şekilde karakterize edilmelidir.

Aydınlatma sistemleri için mevcut bakım katsayısı tespit metodlarının ağırlıklı olarak ele aldığı geri kazanılabilir etkilerin ötesinde, geri kazanılamayan etkiler olarak gruplayabileceğimiz değer düşümleri de söz konusu olabilmektedir. Kaynağın ışıksal çıkışında yardımcı bileşen, sıcaklık ve üretim toleransları gibi faktörlere bağlı olarak görülen değişimler göz ardı edilemeyecek mertebelerdedir. Standartlar, çoğunlukla bu etkilerin limitlerinin düşük olduğu gerekçesiyle gözardı etse de tez içerisinde değinilen başlıklar altında her bir parametrenin etki limitlerinin hiç de küçümsenemeyecek

boyutta olduğu görülmüştür. Bu nedenle tüm bu etkilerin, mutlak suretle daha detaylı olarak ele alınması gerekmektedir. Tez süresince yapılan deneysel çalışmalar ve endüstriyel araştırmalar doğrultusunda geri kazanılamayan faktörlerin görüldüğü noktalar detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Bahsi geçen tüm faktörlerin hesaplama algoritmasına dahil edilebilmesi için LIF olarak tanımlanan ışık kaynağı kimlik dosyası oluşturulmuştur. Aynı zamanda söz konusu etkilerin önemli bir kısmı, armatür yapısı içerisinde kullanılan bileşenler ve armatürün termal özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Armatürlerin fotometrik karakteristiklerinin tanımlandığı “eulmdat (LDT)” dosya formatının işlerliğini bozmayacak bazı eklentiler ile bu süreçte elde edilen karakteristik eğilimlerin, armatür fotometrik dosyası ile ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Tez sürecinde LIF olarak tanımlanan ışık kaynağı kimlik dosyası ile LDT dosya formatının genişletilmiş bir hali olan, LDT+ dosya formatları geliştirilerek bu yaklaşım için gerekli altyapı hazırlanmıştır. Bu sayede hesaplama sürecinde en etkin iki bileşen olan ışık kaynağı ve armatürün karakteristik özelliklerini barındıran, kimlik dosyalarını referans alan bir hesaplama algoritması/yaklaşımı oluşturulmuştur.

Mevcut bakım katsayısı yaklaşımlarında eskime; LSF, LLMF, LMF ve RSMF (kapalı ortamlar için) değerlerinin çarpımı olarak hesaplanır iken, bu değer ancak tüm bakım ve yenileme periyotlarının eş zamanlı olması durumunda geçerlidir. Gerçek işletme koşullarındaki durumların daha sağlıklı modellenmesi adına mevcut algorithmada belirli çözünürlükte sistem performansı modellenerek, tanımlı işletme süresi içerisinde görülen en yüksek kayıp noktası referans alınarak bir bakım katsayısı (maksimum eskime oranı) hesaplanmaktadır.

Tez süresince geliştirilen yaklaşım sayesinde; bir aydınlatma tesisatının malzeme ve kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde ne yönde bir performans eğilimi göstereceği çok daha net modellenebildiğinden, modern adaptif aydınlatma tekniklerinin uygulanması için imkân sağlanmıştır. Geliştirilen yaklaşım ile bakım katsayısının bir sabit olarak belirlenmesinden farklı olarak eskimenin çok daha detaylı ve gerçekçi modellendiği bir analiz gerçekleştirilmektedir. Mevcut algoritma ve yazılım ile işletme ömrü boyunca görülecek eskime eğiliminin modellenmesi sayesinde; bu durumla ilişkilendirilmiş bir aydınlatma işletme senaryosu oluşturularak, sensörler veya diğer geri bildirim

ekipmanlarından gelecek veriler olmadan da bakım kaynaklı yük artışının minimize edilmesine olanak sunulmaktadır. Sistemin eskime eğilimi bilindiğinden, her adımda görülecek kayıpları ve bakım önlemlerini esas alarak oluşturulacak dimerleme senaryosu ile bakım kaynaklı yük artışının azaltılması ve ciddi boyutlarda enerji tasarrufu sağlanması mümkündür. Yaklaşık 0,496'lık bakım katsayısının hesaplandığı bir uygulama için bu teknikle elde edilen tasarruf oranı %18,11 gibi değerlere ulaşabilmektedir.

Geliştirilen sistemin mevcut profesyonel aydınlatma simülasyon yazılımlarına ve benzeri mühendislik araçlarına entegrasyonu mümkündür. Aydınlatma sistemlerine yönelik enerji analizlerinin gerçekleştirilmesi konusundaki en temel eksikliklerden biri olan bakım konusunun analiz edilmesi sayesinde tam anlamıyla bir enerji modellemesi yapılabilecektir. Bu yaklaşım aynı zamanda bina enerji modelleme yazılımları için de bir eklenti olabilecektir. DALI gibi çift yönlü haberleşebilen kontrol sistemleri ile entegrasyon sağlanması durumunda hem aktif bakım dimerlemesi hem de endirekt enerji tüketim modellemesi doğrudan gerçekleştirilebilecektir.

- [1] Siminovitch, M.J., Rubinstein F.M., ve P.R. Verderber, (1984). "An Experimental Methodology for Determining the System Performance of Fluorescent Lamp, Ballast Fixture Combinations Operating Under Realistic Application Conditions", Report No: LBL-18683.
- [2] Lewin, I. ve McFarlane Jr, J.A. (1983). "Performance Characteristics of Fluorescent Lamp and Ballast Combinations", Journal of the Illuminating Engineering Society, 13:162-173.
- [3] Franconi, E. ve Berkeley, L., (1993). "Considering Lighting System Performance and HVAC Interactions in Lighting Retrofit Analyses", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 4-9 October 1992, Houston, TX.
- [4] Hammer, E., (1989). "Effects of Ambient Temperature on the Performance of Bent Tube Fluorescent Lamps", IEEE Transactions on Industry Applications, 25:216-223.
- [5] Clancy, E., (1993). "Thermal Characterization of Fluorescent Fixtures", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2-8 October 1993, Toronto, Ont.
- [6] Ouellet, M., Collins, B. ve Treado, S., (1993). "The Effect of Temperature on Starting and Stabilization of Compact Fluorescent Systems", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2-8 October 1993, Toronto, Ont.
- [7] Li, X.P., Chen, L. ve Chen, M. (2011). "An Approach of LED Lamp Lifetime Prediction", IEEE International Conference on Quality and Reliability, 14-17 September 2011, Bangkok, Thailand.
- [8] Fan, H.B., Li, X.P., Shen, J.X. ve Chen, M., (2012). "An Effective Prediction Method for LED Lumen Maintenance", 13th International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP), 13-16 August 2012, Guilin.
- [9] Tu, J. (2008). "Influence of Mount Structure on Performance of Ceramic Metal Halide Lamps", IEEE Transactions on Industry Applications, 44:1987-1992.
- [10] Navaratana, P. ve Naetiladdanon S., (2009). "Automatic Fluorescent Lamp Detection Technique for Electronic Ballasts", International Conference on Robotics and Biomimetics, 22-25 February 2009, Bangkok, Thailand.

- [11] Tetri, E., (2001). "Effect of Cathode Heating on Lamp Life in Dimming Use" IEEE Industry Application Conference, 30 September – 4 October 2001, Chicago, IL, USA.
- [12] Yan, W., (2006). "Dimming Characteristics of Large-scale High-Intensity-Discharge (HID) Lamp Lighting Networks using a Central Energy-Saving System, IEEE Industry Applications Conference, 8-12 October 2006, Tampa, FL.
- [13] Tridonic GmbH&Co KG, <http://www.tridonic.com/com/en/>, 15 Temmuz 2014.
- [14] Vossloh-Schwabe Deutschland GmbH, <http://www.vossloh-schwabe.com/home.html>, 15 Temmuz 2014.
- [15] Osram Licht AG, http://www.osram.com/osram_com/company/index.jsp, 15 Temmuz 2014.
- [16] Koninklijke Philips Electronics N.V., <http://www.lighting.philips.com.tr/>, 15 Temmuz 2014.
- [17] Gasparovsky, D., Smola, A., Macha, M. ve Janiga, P., (2012). "New Approach to Determination of Luminaire Maintenance Factor Curves for Various Conditions", Light & Engineering, 20:17-26.
- [18] CIE 154, (2003). The Maintenance of Outdoor Lighting Systems.
- [19] CIE 97, (1992) Guide on the Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems.
- [20] CIE 97. (2005). Guide on the Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems.
- [21] IES The Illuminating Society of North America, <http://www.ies.org/>, 18 Temmuz 2014.
- [22] Di Laura, D., Houser, K., Mistrick, R. ve Steffy, G., (2011). The Lighting Handbook, Tenth Edition, Illuminating Engineering Society (IES), North America.
- [23] CIE 102, (1993). Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data.
- [24] IESNA LM-74-05, (2005). Standard File Format for the Transfer of Luminaire Component Data.
- [25] Dialux GmbH, <http://www.dial.de/DIAL/>, 15 Temmuz 2014.
- [26] General Electric Lighting, <http://www.gelighting.com/>, 15 Temmuz 2014.
- [27] Osram Sylvania, <https://www.sylvania.com/en-us/Pages/default.aspx>, 15 Temmuz 2014.
- [28] Relux Lighting, http://www.relux.biz/index.php?option=com_content&view=article&id=226&Itemid=211&lang=en, 15 Temmuz 2014.
- [29] Maamari, F. ve Fontoynt, M., (2003). "Reliable Datasets for Lighting Programs Validation Benchmark Results", Innovation in Building Envelopes and Environmental Systems (CISBAT'03), 8 October 2003, Lausanne.

- [30] Maamari, F., Fontoynt, M. ve Adra, N., "Application of the CIE Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs", Energy and Buildings, 38:869-877.
- [31] TechnoTeam 3D LDT Viewer Software, <http://www.technoteam.de/>, 18 Temmuz 2014.
- [32] CIE 70, (1987). The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distribution.
- [33] CIE 121, (1996). The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
- [34] Sirel, O., Fotometrik Ölçmeler, Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, İstanbul, Eylül 2004.
- [35] Krüger, U. ve Sauter, G., "Comprasion of Methods for Indicating The Measurement Uncertainty of Integral Parameters on the Basis of Spectral Data by Means of the Measurement of the f1 Value". 2nd Expert Symposium on Measurement Uncertainty, June 2006, Braunschweig, Germany.
- [36] International Electrotechnical Commission (IEC), <http://www.iec.ch/>, 15 Temmuz 2014.
- [37] Nelson, W.B., (1983). "Basics of Product Fife Data Analysis", General ElectricCo., Rep. 83CRF017, p. 9. Feb. 1983.
- [38] Carriere, L.A. ve Rea, M.S., (1988). "Economics of Switching Fluorescent Lamps" IEEE Transactions on Industry Applications, 24:370-379.
- [39] Philips Master TL5 Lamps Provisional Document, <http://www.lighting.philips.com>, 18 Temmuz 2014.
- [40] EN13201-2, (2003). Road Lightening - Section-2: Performance Requirements.
- [41] CREE, <http://www.cree.com>, 18 Temmuz 2014.
- [42] ELTAM EIN HASHOFET <http://www.eltam-eh.com>, 18 Temmuz 2014.
- [43] LM-80 Approved Method, (2008). Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources.
- [44] TM-21-11, (2011). Projecting long term lumen maintenance of LED light sources. New York, NY: The Illuminating Engineering Society of North America.
- [45] US Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy. Lumen Maintenance and Light Loss Factors Consequences of Current Design Practices for LEDs
- [46] EN13032-1, (2004). Light and Lighting – Measurment and presentation of photometric data of lamps and luminaries – Part 1: Measurement and file format.
- [47] CIE 84, Measurement of LuminuousFlux. 1989.
- [48] Philips Lumileds, <http://www.philipslumileds.com/>, 15 Temmuz 2014.
- [49] Edison Light Globes, <http://edisonlightglobes.com/>, 15 Temmuz 2014.
- [50] Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş., <http://www.tedas.gov.tr/Sayfalar/Anasayfa.aspx>, 15 Temmuz 2014.

- [51] Serhat, O., Güler, B., (2007). “Kent Aydınlatma sistemlerinde elektronik bileşen kullanımının önemi”, EBITO 2007
- [52] EN 60923, Auxiliaries for lamps - Ballasts for discharge lamps (excluding tubular fluorescent lamps) - Performance requirements
- [53] Arlight Aydınlatma A.Ş, <http://www.arlight.net/>, 15 Temmuz 2014.
- [54] OPTISWORKS Optical Software, <http://www.optis-world.com/index.html/>, 15 Temmuz 2014.
- [55] EN13032-1, (2004). Light and Lighting: Measurement and Presentation of Photometric Data of Lamps and Luminaires - Measurement and File Format.
- [56] Havells Sylvania Ltd, http://www.havells-sylvania.com/en_INT/about-us/company-profile-home.html, 15 Temmuz 2014.
- [57] DALI-AG, <http://www.dali-ag.org/>, 18 Temmuz 2014.
- [58] Ozenc, S., Uzunoglu, M. ve Guler, O., (2014). “Experimental Evaluation of the Impacts of Considering Inherent Response Characteristics for Lighting Technologies in Building Energy Modeling”, Energy and Buildings, 77:432-439.
- [59] LibreOffice, <http://tr.libreoffice.org>, 18 Temmuz 2014.
- [60] Visual Studio, <http://msdn.microsoft.com/tr-tr/vstudio>, 15 Temmuz 2014.
- [61] NCalc - Mathematical Expressions Evaluator for .NET, <https://ncalc.codeplex.com/>, 15 Temmuz 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Serhat Özenç
Doğum Tarihi ve Yeri	:17.08.1981 Bandırma
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:serhat.ozenc@vendeka.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	YTÜ	2007
Lisans	Elektrik Mühendisliği	YTÜ	2004
Lise	Fen	Y.Y.A.L	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010- DEVAM	VENDEKA	Yönetici
2011- DEVAM	VENESCO	Yönetici
2006-2010	CEMDAĞ	Müdür
2004-2005	VEKSAN	AR&GE Mühendisi