

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS BİNALARI İÇİN AYDINLATMA ENERJİSİ TASARRUF
POTANSİYELLERİ HESAPLAMA AMAÇLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Emre ERKİN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

EKİM 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS BİNALARI İÇİN AYDINLATMA ENERJİSİ TASARRUF
POTANSİYELLERİ HESAPLAMA AMAÇLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Emre ERKİN
(301042003)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

EKİM 2012

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301042003 numaralı Doktora Öğrencisi **Emre ERKİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“OFİS BİNALARI İÇİN AYDINLATMA ENERJİSİ TASARRUF POTANSİYELLERİ HESAPLAMA AMAÇLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Rengin ÜNVER**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Önder GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ramazan ÇAĞLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Nisan 2012**
Savunma Tarihi: **19 Ekim 2012**

Bilge 'me,

ÖNSÖZ

Doktora tezi uzun bir maraton ve bu uzun maratonda öncelikle birlikte ilerlediğim Sayın Hocam Prof. Dr. Sermin Onaygil'e, gerek tezime yaptığı katkılardan gerekse bana olan güvenini esirgemeyerek verdiği manevi destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım. Slovak Teknik Üniversitesi'nde araştırmacı olarak bulunduğum süre içinde tez çalışmasının alt yapısını oluşturmama büyük katkı sağlayan Doç. Dr. Dionyz Gasparovsky'ye de sonsuz teşekkürler ederim. Bunun yanında, özellikle tez çalışmamın son zamanlarında yaşanan yoğun tempoda daima yanımda olarak manevi açıdan yeri doldurulamayacak katkı sağlayan başta Ebru Acuner ile M. Berker Yurtseven olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim. Türk Philips Aydınlatma'dan sevgili Sevim Kösem'e değerli bilgilerini ve tezimde birçok hesabı yapmamda büyük kolaylık sağlayan Philips Photometrics yazılımını paylaştığı için ayrıca teşekkür ederim.

Değerleri hocam ve çalışma arkadaşlarım bir yana, bana büyük bir sabır, anlayış ve sevgi göstererek en büyük manevi katkıyı sağlayan eşime ne kadar teşekkür etsem azdır. Onunla birlikte, küçücük yaşında anlayış göstermeyi becerebilen ve mesai saatleri dışında sürdürdüğüm çalışmalarına sabırla izin veren biricik oğluma da ayrıca kocaman teşekkürler ediyorum. Onlar olmasa bu çalışma çok daha zor ve yorucu olurdu. Ve son olarak tabii ki, tüm eğitim hayatım boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen anne ve babama kucaklar dolusu sevgi ve saygılarımı sunuyorum.

Hepiniz iyi ki varsınız...

Ekim 2012

Emre ERKİN
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. AVRUPA BİRLİĞİ VE TÜRKİYE’DE KONU İLE İLGİLİ YASAL VE TEKNİK DÜZENLEMELER.....	9
2.1 Avrupa Birliği’nde Yasal Süreç	11
2.2 Türkiye’deki Yasal Süreç ve Teknik Düzenlemeler	13
2.2.1 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.....	14
2.2.2 Aydınlatma enerji performansı hesap yöntemi	16
2.2.3 AESG hesaplama yönteminin uygulanması ile ilgili tespit edilen sorunlar ve çözüm önerileri.....	22
3. OFİS BİNALARINDA AYDINLATMA.....	25
3.1 Aydınlatma Tasarım Kriterleri	29
3.1.1 Aydınlık düzeyi.....	31
3.1.2 Düzgünlük.....	32
3.1.3 Parıltı dağılımı.....	33
3.1.4 Kamaşma.....	34
3.1.5 Renksel özellikler.....	39
3.1.5.1 Renk sıcaklığı.....	40
3.1.5.2 Renksel geriverim endeksi	41
3.1.6 Ofis hacimleri için aydınlatma tasarım kriterleri	42
3.2 Aydınlatma Sistemleri.....	44
3.2.1 Işık kaynakları (Lambalar).....	44
3.2.1.1 Enkandesen ve tungsten halojen lambalar	46
3.2.1.2 Tüp flüoresan lambalar (TF)	47
3.2.1.3 Kompakt flüoresan lambalar (KFL).....	48
3.2.1.4 Metal halojen lambalar.....	49
3.2.1.5 LED lambalar	50
3.2.2 Yardımcı elektriksel elemanlar	51
3.2.3 Armatürler	52
3.2.4 Kontrol sistemleri.....	60
3.3 Aydınlatma Sistemlerinde Performans ve Verimlilik Göstergeleri	64
3.3.1 Kurulu güç yoğunluğu (KGY)	65
3.3.2 Normalize güç yoğunluğu (NGY).....	65
3.3.3 Armatür verimlilik faktörü.....	66

4. AYDINLATMA VE KURULU GÜÇ HESAPLARI.....	71
4.1 Verim Yöntemi ile Aydınlatma Hesabı.....	71
4.1.1 Verim faktörünün belirlenmesi	73
4.1.1.1 CIBSE verim faktörü yöntemi.....	76
4.1.1.2 LiTG verim faktörü yöntemi	76
4.1.1.3 UTE verim faktörü yöntemi	77
4.1.1.4 İskandinav verim faktörü yöntemi	77
4.1.1.5 CIE verim faktörü yöntemi	77
4.1.2 Bakım faktörünün belirlenmesi	80
4.2 Verim Faktörü Yöntemi ile Kurulu Güç Hesabı	83
5. ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	89
5.1 Ofis Binası Hacimlerinin Gruplandırılması.....	93
5.2 Hacim Gruplarına Göre Armatür Tiplerinin Belirlenmesi	95
5.2.1 G1 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi	97
5.2.2 G2 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi	101
5.2.3 G3 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi	104
5.2.4 G4 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi	107
5.3 Aydınlatma Hesapları.....	110
5.3.1 Kamaşma analizleri	120
5.4 Referans Oda Verim Faktörü Eğrilerinin Belirlenmesi.....	126
5.5 Referans Oda Verim Faktörü Polinomlarının Eldesi.....	132
5.6 Tasarruf Hesaplarında Kullanılacak Kurulu Güç Denklemlerinin Eldesi	133
5.6.1 Kurulu güç denklemlerinin doğruluk analizi	136
5.7 Tasarruf Hesaplarının Ekonomik Analizi.....	140
6. TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA YÖNTEMİNİN	
AYDINLATMA ENERJİ PERFORMANSI HESAPLAMA YÖNTEMİNE	
ENTEGRASYONU: bep/ETA YAZILIMI ve ÖRNEK UYGULAMA	143
6.1 Veri Girişi.....	144
6.2 Tasarruf Hesapları ve Yazılım Çıktıları	148
6.3 Örnek Uygulama: Kadıköy Belediye Binası	151
7. SONUÇLAR	157
KAYNAKLAR.....	161
EKLER.....	169
ÖZGEÇMİŞ.....	185

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABF	: Armatür Bakım Faktörü
AESG	: Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi
AETG	: Aydınlatma Enerji Tasarrufu Göstergesi
BEE	: Building Environmental Efficiency
BEP	: Binalarda Enerji Performansı (Building Energy Performance)
BF	: Bakım Faktörü
BİB	: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	: Comprehensive Assessment Systems for Built Environment Efficiency
CCT	: Correlated Color Temperature
CELMA	: Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires
CEN	: Comité Européen de Normalisation
CIBSE	: Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage
CRI	: Color Rendering Index
CU	: Coefficient of Utilization
DOE	: Department of Energy
EEA	: European Environmental Agency
EEI	: Energy Efficiency Index
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVK	: Enerji Verimliliği Kanunu
GR	: Glare Rating
HK-BEAM	: Hong Kong Building Environmental Assessment Method
IEA	: International Energy Agency
IES	: Illumination Engineering Society
IESNA	: Illumination Engineering Society of North America
IP	: Ingress Protection
KFL	: Kompakt Flüoresan Lamba
LED	: Light Emitting Diode
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LEF	: Luminaire Efficiency Factor
LiTG	: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
LLBF	: Lamba Lümen Bakım Faktörü
NGY	: Normalize Güç Yoğunluğu
OBF	: Oda Bakım Faktörü
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
OÖF	: Ortalama Ömür Faktörü
R_{SH}	: Spacing to Height Ratio

TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
TUİK : Türkiye İstatistik Kurumu
UGR : Unified Glare Rating
UTE : Union Technique de l'Electricité

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye’de yer alan enlemler için hesaplanmış $F_{D,S}$ değerleri.....	19
Çizelge 2.2 : Farklı günışığı etkilerindeki yapay aydınlatma kontrol tipine bağlı değişken ($F_{D,C}$) değerleri.....	19
Çizelge 2.3 : Aydınlatma kontrol tipine göre $F_{O,C}$ değerleri.....	20
Çizelge 2.4 : AESG değerinin hesaplanması için gerekli veri grupları.....	21
Çizelge 3.1 : Ofis binalarında kullanılan lamba tiplerinin oranları.....	26
Çizelge 3.2 : Ticari binaların aydınlatma enerji tüketim karakteristikleri	26
Çizelge 3.3 : Türkiye’de ofis binaların aydınlatma enerji tüketim karakteristikleri.....	27
Çizelge 3.4 : Değişik lamba parıltıları için tanımlanan minimum perdeleme açıları.....	35
Çizelge 3.5 : T5 flüoresan lambalı bir armatüre ait UGR tablosu ($R_{SH}=0.25$).....	38
Çizelge 3.6 : Işık kaynakları için tanımlanmış renk sıcaklıkları ve ışık renkleri.....	40
Çizelge 3.7 : Renksel geriverim kademeleri ve R_a değerleri.....	42
Çizelge 3.8 : Ofis binalarında bulunan hacimler için aydınlatma tasarım kriterleri.....	43
Çizelge 3.9 : Ofis binalarında genel aydınlatma amaçlı kullanılabilen lambaların teknik özellikleri.....	46
Çizelge 3.10 : Ofis aydınlatmasında kullanılan tüp flüoresan lambaların teknik özellikleri.....	48
Çizelge 3.11 : Ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan KFL’lerin özellikleri.....	49
Çizelge 3.12 : CELMA Balast sınıflandırması.....	52
Çizelge 3.13 : Farklı balast sınıfları için izin verilen lamba-balast toplam gücü.....	52
Çizelge 3.14 : Uluslararası koruma sınıfları.....	57
Çizelge 3.15 : Kontrol stratejilerin karşılaştırılması.....	64
Çizelge 3.16 : Armatür verimlilik sınıfları.....	68
Çizelge 4.1 : 2x28 W T5 flüoresan lambalı, parabolik lamelli armatüre ait verim faktörü tablosu ($\eta_{arm}=0.92$).....	74
Çizelge 4.2 : Armatür bakım faktörü tablosu.....	82
Çizelge 4.3 : Direkt aydınlatma yapan bir armatür için oda bakım faktörü tablosu.....	83
Çizelge 5.1 : Ofis binalarının hacimlerinin kullanım amacına göre gruplandırılması.....	94
Çizelge 5.2 : Hacim grupları için tanımlanan armatür tipleri.....	97
Çizelge 5.3 : G1 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.....	100
Çizelge 5.4 : G1 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.....	101
Çizelge 5.5 : G2 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.....	103

Çizelge 5.6 : G2 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.....	104
Çizelge 5.7 : G3 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.....	106
Çizelge 5.8 : G3 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.....	107
Çizelge 5.9 : G4 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.....	109
Çizelge 5.10 : G4 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.....	110
Çizelge 5.11 : G1 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_c=0,8$ m).....	112
Çizelge 5.12 : G2 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_c=0$ m).....	112
Çizelge 5.13 : G3 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_c=0.8$ m).....	112
Çizelge 5.14 : G4 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_c=0$ m).....	113
Çizelge 5.15 : Hacim grupları için yapılacak aydınlatma hesaplarına ait bilgiler.....	114
Çizelge 5.16 : G1 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri	117
Çizelge 5.17 : G2 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri.....	118
Çizelge 5.18 : G3 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri.....	119
Çizelge 5.19 : G4 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri.....	119
Çizelge 5.20 : 2x28W gücünde T5 flüoresan lambalı bir armatüre ait UGR tablosu ($R_{SH}=1$ için).....	121
Çizelge 5.21 : Hacim grupları için aydınlatma hesaplarında karşılaşılan minimum R_{SH} (R_{SHmin}), maksimum R_{SH} (R_{SHmaks}) değerleri ile $R_{SH}=1$ için sağlanması istenilen maksimum UGR değerleri (UGR_{maks}).....	122
Çizelge 5.22 : Kamaşma değerleri UGR_{max} değerinin altında kalan armatürler.....	125
Çizelge 5.23 : G1 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı referans oda verim faktörü polinomları.....	132
Çizelge 5.24 : G2 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.....	132
Çizelge 5.25 : G3 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.....	133
Çizelge 5.26 : G4 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.....	133
Çizelge 5.27 : Kurulu güç hesaplarında referans olarak kullanılacak maksimum armatür geriverimi, etkinlik faktörü ve armatür gücü değerleri.....	134
Çizelge 5.28 : Hacim grupları için tanımlanan kurulu güç denklemleri.....	134
Çizelge 5.29 : Hacim grupları için tanımlanan normalize kurulu güç denklemleri.....	135
Çizelge 5.30 : Tanımlanan her durum için hesaplanan bağıl hata değerleri.....	139
Çizelge 6.1 : bep/ETA yazılımı ile enerji performans ve tasarruf hesaplarına ait özet sonuçlar.....	154

Çizelge 6.2 : bep/ETA ve Dialux yazılımı hesap sonuçlarının karşılaştırılması.....	155
Çizelge B.1: Literatürde kullanılan temel aydınlatma terim ve büyüklükleri.....	173
Çizelge C.1 : G1 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri.....	175
Çizelge C.2 : G2 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri.....	177
Çizelge C.3 : G3 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu değerleri.....	178
Çizelge C.4: G4 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu değerleri.....	179

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : BEE oranı 2 olan bir binanın BEE diyagramında gösterilişi.....	10
Şekil 2.2 : AB Bilgi Dökümanı P90'da belirtilen CEN standardı adaptasyon yöntemi.....	13
Şekil 2.3 : BEP Yönetmeliği kapsamında tanımlanan enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu performans skalaları.....	16
Şekil 3.1 : Psikolojik kamaşmaya sebep olabilecek yüksek parlıtya sahip yüzeyler	34
Şekil 3.2 : Işık kaynağı ve penceler nedeniyle oluşabilecek yüksek parlıtyı değerlerinin perdelenmesi	35
Şekil 3.3 : Direkt ve endirekt kamaşma.....	36
Şekil 3.4 : Kamaşma hesapları için kullanılan parametreler	37
Şekil 3.5 : UGR tablolarında armatür yerleşimine göre gözlemci konumları (CIE, 1995)	39
Şekil 3.6 : Farklı ışık kaynaklarının tayfsal enerji dağılımları, renk sıcaklıkları ve renksel geriverimleri	41
Şekil 3.7 : Ofis hacimlerinde kullanılabilcek ışık kaynakları	45
Şekil 3.8 : Işık kaynaklarının etkinlik faktörlerinin zaman içinde gelişimi.....	45
Şekil 3.9 : Kompakt flüoöresan lamba tiplerinden örnekler.....	48
Şekil 3.10 : LED lamba ve direkt ışık dağılımlı yuvarlak tipte LED armatürlere örnekler	50
Şekil 3.11 : Üç boyutlu uzayda bir lambaya ait ışık dağılım yüzey ve açıları	53
Şekil 3.12 : CIE armatür sınıflandırması	54
Şekil 3.13 : 4x14W gücünde parabolik lamelli flüoöresan armatüre ait polar ve lineer ışık dağılım eğrileri	55
Şekil 3.14 : Kamaşmayı sınırlayabilen optik tasarıma sahip direkt aydınlatma yapan yuvarlak tipte armatür (Halonen ve diğ, 2010)	56
Şekil 3.15 : 2x26 W gücünde kompakt flüoöresan lambalı direkt ışık dağılımına sahip yuvarlak tip armatürlerin geriverimleri.....	57
Şekil 3.16 : Tüp flüoöresan lambalı tesisatların teknolojik gelişimi (Onaygil, 2011).	59
Şekil 3.17 : Klasik ofis hacimleri için önerilen armatür tipine örnekler	60
Şekil 3.18 : Bekleme holleri ve koridorlar için önerilen armatür tipine örnekler.....	60
Şekil 3.19 : Koruma sınıfı yüksek armatür tiplerine örnekler (IP65).....	60
Şekil 3.20 : İç aydınlatmada kontrol stratejileri.....	61
Şekil 3.21 : Farklı kontrol stratejileri ile Paris ve Nice için hesaplanan tasarruf oranları (DDE et DRE, 2005).....	63
Şekil 3.22 : Farklı armatürlere ait verim faktörlerinin kamaşma değerlerine göre dağılımı (Stockmar, 1997)	67
Şekil 3.23 : Örnek bir armatür için CELMA armatür verimlilik faktörü gösterimi ..	68
Şekil 4.1 : 2x28 W T5 flüoöresan lambalı, parabolik lamelli armatüre ait ışık dağılım eğrisi.....	74
Şekil 4.2 : Oda endeksi hesaplamasında kullanılan parametreler.....	75
Şekil 4.3 : Armatürden belli bir koni içinden alt yarı uzaya iletilen ışık akısı.....	78

Şekil 4.4 : Bölgesel ışık akısının 4. dereceden fonksiyonu.....	78
Şekil 4.5 : Verim faktörü yöntemlerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.6 : Bakım planına bağlı olarak aydınlık düzeyinin zamana bağlı değişimi.....	81
Şekil 4.7 : Normalize güç yoğunluğunun farklı oda endeksleri için armatür etkinlik faktörüne bağlı eğişiimi.....	86
Şekil 4.8 : Oda ve armatür verim faktörünün (η_{oda} ve η), $\eta_{arm}=0.75$ ve $\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için oda endeksine bağlı değişimi.....	87
Şekil 5.1 : Enerji tasarrufu hesaplama yönteminin şematik gösterimi.....	89
Şekil 5.2 : Kare ve dikdörtgen formda sıva altı ve sıva üstü alternatifleri olan T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatürler (IP20).....	98
Şekil 5.3 : T5 ve T8 flüoresan lambalı kare ve dikdörtgen formunda, parabolik lamelli armatürlere ait geriverim değerleri.....	99
Şekil 5.4 : Direkt aydınlatma yapabilen kompakt flüoresan lambalı armatür örneği.....	102
Şekil 5.5 : 2x26 W gücünde kompakt flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan, altı açık, yuvarlak tipteki armatürlere ait geriverim değerleri.....	102
Şekil 5.6 : 2x26 W gücünde kompakt flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan, altı açık, yuvarlak tipteki armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.....	103
Şekil 5.7 : Kare ve dikdörtgen formda sıva altı ve sıva üstü alternatifleri olan T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatürler (IP54 ve IP65).....	105
Şekil 5.8 : Koruma sınıfı yüksek (IP54 veya IP65) T5 veya T8 flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan armatürlere ait geriverim değerleri.....	105
Şekil 5.9 : Koruma sınıfı yüksek (IP54 ve IP65) T5 veya T8 flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.....	106
Şekil 5.10 : Koruma kapaklı, T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatür (IP65).....	108
Şekil 5.11 : Direkt aydınlatma yapan, koruma kapaklı (IP65) armatürlere ait geriverim değerleri.....	108
Şekil 5.12 : Direkt aydınlatma yapan, koruma kapaklı (IP65) armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.....	109
Şekil 5.13 : Dialux yazılımı ile yapılan aydınlatma hesabına ait çıktı örneği.....	115
Şekil 5.14 : G1 grubu armatürleri için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.....	123
Şekil 5.15 : G2 grubu armatürleri için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.....	123
Şekil 5.16 : G3 grubu armatürler için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.....	124
Şekil 5.17 : G4 grubu armatürler için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.....	124
Şekil 5.18 : G1 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).....	127
Şekil 5.19 : G2 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).....	127

Şekil 5.20 : G3 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$)	127
Şekil 5.21 : G4 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$)	128
Şekil 5.22 : G1 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.....	129
Şekil 5.23 : G2 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.....	129
Şekil 5.24 : G3 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.....	130
Şekil 5.25 : G4 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.....	131
Şekil 5.26 : Farklı hacim grupları ve yüzey yansıtma faktörlerinin 0.70, 0.50, 0.20 olduğu durum için belirlenen referans oda verim faktörü eğrileri.....	130
Şekil 5.27 : G1 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	136
Şekil 5.28 : G2 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	137
Şekil 5.29 : G3 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	137
Şekil 5.30 : G4 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	138
Şekil 6.1 : bep/ETA yazılımı açılış ekranından örnek bir görüntü.....	143
Şekil 6.2 : bep/ETA yazılımı bina genel bilgileri veri giriş sayfasına ait örnek bir görüntü.....	144
Şekil 6.3 : bep/ETA yazılımında hacim grubu ve geometrik özelliklerin tanımlanmasına ilişkin veri giriş ekranı.....	145
Şekil 6.4 : bep/ETA yazılımında yüzey yansıtma faktörlerinin tanımlandığı veri giriş ekranı.....	146
Şekil 6.5 : bep/ETA yazılımında armatür bilgilerinin girildiği örnek Excel çalışma sayfası.....	147
Şekil 6.6 : bep/ETA yazılımında armatürlerin odalara göre dağılımını içeren örnek Excel çalışma sayfası.....	147
Şekil 6.7 : bep/ETA yazılımı “OUTPUT” sayfasında AESG hesapları için belirlenen değerlere ait örnek bir görüntü.....	148
Şekil 6.8 : bep/ETA yazılımı “OUTPUT” sayfasında enerji tasarrufu potansiyeli hesapları için belirlenen değerlere ait örnek bir görüntü.....	149
Şekil 6.9 : bep/ETA yazılımı “OUTPUT” sayfasında aydınlatma kontrolü ile elde edilebilecek tasarruf potansiyelinin hesaplandığı bölüme ait örnek bir görüntü.....	150
Şekil 6.10 : bep/ETA yazılımı “ETA” enerji tasarrufu analizi sayfasına ait örnek bir görüntü.....	151
Şekil 6.11 : Kadıköy Belediye Binasına ait bir görüntü.....	152
Şekil 6.12 : Ofis ve koridor hacimlerinin aydınlatmasına ait örnek görüntüler.....	153
Şekil A.1 : Örnek enerji kimlik belgesi.....	171
Şekil D.1 : G1 hacimleri için elde edilen armatürlere ait ışık dağılım eğrileri.....	181
Şekil D.2 : G2 hacimleri için elde edilen armatürlere ait ışık dağılım eğrileri.....	182
Şekil D.3 : G3 hacimleri için elde edilen armatürlere ait ışık dağılım eğrileri.....	183
Şekil D.4 : G4 hacimleri için elde edilen armatürlere ait ışık dağılım eğrileri.....	183

OFİS BİNALARI İÇİN AYDINLATMA ENERJİSİ TASARRUF POTANSİYELLERİ HESAPLAMA AMAÇLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

ÖZET

Binalarda enerji performansı kapsamında aydınlatma sistemlerinin performansını ifade eden Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) hesaplarında başta aydınlatma sisteminin kurulu gücü olmak üzere, ilgili hacmin geometrisi ve fiziksel yapısı ile ilgili veriler, günışığı sağlayan sistemlerin geometrik ve fiziksel özellikleri, kontrol sistemlerinin özellikleri ve bina kullanım saati gibi onlarca parametreyi içeren birçok veri grubu dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, aydınlatma sisteminin mevcut kurulu gücüne ve yıl içindeki kullanım süresine bağlı olarak tüketileceği enerji miktarı, kontrol sistemlerinin ve günışığından yararlanmanın getireceği katkılar da hesaba katılarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, günışığından azami ölçüde yararlanabilen ancak aydınlatma sisteminin verimi düşük olan mevcut bir binanın AESG değeri, verimli bir aydınlatma sistemine sahip ancak gün ışığından yararlanamayan ve kontrol sistemlerine sahip olmayan bir binanın AESG değerinden düşük çıkabilir. Dolayısıyla AESG değeri, aydınlatma kurulu gücünün azaltılması ile elde edilebilecek olası elektrik enerjisi tasarruf miktarı hakkında net bir bilgi içermez. Aydınlatma sistemlerinde sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarı, ilgili hacmin kullanım amacına yönelik olarak aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen özelliklere sahip, verimli aydınlatma sistemlerinin kullanımı durumunun mevcut durum ile karşılaştırılması sonucunda hesaplanabilir. Literatürde, aydınlatma kurulu gücünün teorik olarak belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak pratikte, kamaşma sınırlandırılması ve ortalama düzgünlük değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla geliştirilen armatür tasarımları ile söz konusu teorik değerlere yaklaşılabilmesi mümkün olmayabilmektedir. Özellikle farklı kullanım amacına sahip hacimler için önerilen değişik tipteki armatürlerin ışık dağılım karakteristikleri oldukça farklı olabilmektedir. Bu sebeple, ofis binalarında aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanması amacı ile öncelikle bina hacimleri kullanım amacına göre gruplanmalı; kurulu güç hesapları, her bir grup için amacına uygun tanımlanmış armatür tiplerinin ışık dağılım karakteristiklerine uygun olarak yapılmalıdır.

Bu kapsamda, TS EN 12464-1 standardında tanımlanan aydınlatma tasarım kriterlerini en verimli şekilde sağlayabilecek aydınlatma sistemleri tanımlanabileceği; aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanacak binanın her bir hacmi tek tek ele alınarak gerçekçi ve uygulanabilir tasarruf miktarları hesaplanabileceği söylenebilir. Tasarruf hesaplarında kullanılmak üzere tanımlanacak verimli aydınlatma sistemleri, farklı boyutlardaki hacimlerde söz konusu standartlarda tanımlanan ortalama aydınlık düzeyini sağlarken aynı zamanda ortalama düzgünlük değerini ve kamaşmayı istenilen değerlerde sınırlandırabilmeli; kabul görmüş, kolaylıkla erişilebilir, ekonomik açıdan uygulanabilir olmalı ve mevcut en iyi teknolojiyi kullanabilmelidir.

Bu tez çalışmasında, mevcut ofis binalarındaki aydınlatma sistemlerinin olası enerji tasarruf potansiyellerinin hesaplanabildiği ve AESG hesap yöntemi ile bütünleşik çalışabilen bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ofis binalarının hacimleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış, her bir grup için aydınlatma tasarım kriterleri tanımlanmış ve bu kriterleri en verimli biçimde sağlayabilecek aydınlatma sistemleri belirlenmiştir. Geliştirilen kurulu güç hesap yöntemi yardımıyla, AESG hesaplarında kullanılan veri gruplarından uygun veriler ile farklı hacim grupları için belirlenen verimli aydınlatma sistemleri kullanılarak, her bir hacim için kurulu güçlerin hesaplanabilmesi ve tüm bina için toplam aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin belirlenebilmesi sağlanmıştır. Bu yaklaşımla, AESG değeri hesaplanan mevcut bir ofis binasının aynı zamanda, aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen tesisatları içeren ve ekonomik olarak uygulanabilir enerji tasarruf potansiyeli de belirlenebilir olmuştur. Söz konusu yaklaşım ile tüm ofis binalarının enerji tasarruf potansiyelleri aynı koşullar altında belirleneceğinden karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilecektir. Tez kapsamında ayrıca, geliştirilen hesaplama yöntemini içeren, mevcut ofis binalarından toplanacak aydınlatma enerji performansı hesap verileri ile hem AESG değerini hem de aydınlatma enerji tasarruf potansiyelini hesaplayabilen bir bilgisayar yazılımı da geliştirilmiştir.

A METHODOLOGY TO CALCULATE LIGHTING ENERGY SAVING POTENTIALS IN THE OFFICE BUILDINGS

SUMMARY

In the recent years, energy efficiency has become one of the most important topic in the energy field since there has been rapid increase in population thus energy demand. In scope of this, several programs, projects and scientific studies on energy efficiency has been implemented in all around the world. According to the report of International Energy Agency (IEA), building sector has a leading share of 40% where industry and transportation sectors follow up around 30% in the world. In EU, share of the building sector is 37%, transportation sector is 32% and industry is 28%. These shares of total energy consumption are quite different in Turkey where the building sector has a share of 35%, industry 37% and transportation 18% and others 10%. The share of the building sector in Turkey is more interesting in terms of electrical energy consumption; building sector has a share of 45% including the residents where industry sector has 45% as well. Almost half of this share is belong to commercial buildings which offer considerable energy saving opportunities. Although the share of the building sector varies according to the countries and the regions, it can be said that at least one third of the total energy and at least one fifth of the electrical energy is consumed by the building sector. For this reason, European Union Commission has published European Directive on Energy Performance of the Buildings in 2002 in order to promote the improvement of the energy performance of buildings. The Directive has a leading role for the buildings to be newly designed or renovated concerning minimum energy requirements for heating, air conditioning and lighting. In parallel to the related developments in EU, Turkish Parliament has accepted Energy Efficiency Law and Regulation on Energy Performance of Buildings in 2007 and 2008, respectively. At the same time, related European Standards has been adopted as Turkish Standards.

In general, buildings have such energy systems for heating, cooling and lighting where heating energy is commonly supplied by fossil fuels such as natural gas and other systems are fed by electrical energy. Especially in commercial buildings, lighting systems have considerable load on the electrical energy. There are various studies on determining the share of lighting systems in electrical energy consumption. The results indicate that this share varies from 10% to 50%. It can be obviously said that there could be achieved important amount of energy saving since the recent lighting systems in commercial buildings are older than 20 years. At the present time, improving energy efficiency thus the performance of the lighting systems are depended on using efficient light sources, efficient electrical components and luminaires with higher light output ratios. Besides, integration of occupancy and daylight control systems would certainly bring additional energy savings.

Energy performance of the lighting systems is considered in the related European standard EN 15193 published in 2007 as “Energy requirements for the lighting” that specifies the calculation methodology for the evaluation of the amount of energy used for indoor lighting of the building and provides a lighting energy numeric indicator (LENI) in kWh/(m².year) for lighting energy requirements used for certification purposes by taking into account daylighting and artificial lighting. LENI directly indicates the existing situation of the lighting system under given circumstances throughout a scale offering comparative values to be used among the buildings. Thus, lower LENI indicates more efficient lighting systems.

In Turkey, EN 15193 standard has been accepted as Turkish Standard in order to adopt the given calculation methodology to Turkish national conditions. After the studies for adopting the methodology, a computer software entitled “BEP-TR” has been developed in order to evaluate the energy performance of the buildings in Turkey. This methodology is mainly taking into account several information on total installed power of the lighting systems, the geometry and physical properties of the rooms, daylight supply and control systems. Therefore, it has been possible to calculate the electrical energy consumption by considering the installed power, operating time together with the affects of the control systems. However, LENI does not give clear information on energy saving potential of the lighting systems where very sophisticated data of the building and lighting system is being used for calculation of LENI. For example, a building that is not fulfilling the lighting requirements defined in European Standard EN 12464-1 entitled as “Light and lighting – Lighting of work places, Part 1: Indoor work places” could yield a lower LENI value indicating a higher lighting energy performance than it would be by fulfilling the lighting requirements. Similarly, an old lighting system with control systems could also have a lower LENI value where additional energy saving opportunities could be achieved by retrofitting the luminaires. Therefore, the real amount of energy savings can be calculated by comparing the installed power of the existing system with an applicable, available and feasible energy efficient system that can fulfill the lighting design criteria defined in EN 12464-1.

In the literature, there are theoretical approaches to estimate the total installed power of a lighting system in a given room. Those approaches define power density targets by using utilization factor method (or lumen method) to realize the lighting design calculations by introducing theoretical utilization values. Normally, utilization values for a luminaire are derived by utilization factor values calculated by using the light intensity distribution curves according to a given utilization factor method. However, in practice, it is not possible to reach the theoretical values since luminaires are designed to limit glare and to provide required uniformity values. Especially, rooms having different functionalities may require different luminaire types which have different light distribution characteristics thus utilization values. Therefore, in order to achieve practical power density targets, rooms should be grouped by their functionality and utilization values should be achieved by using the light distribution curves of proper luminaire types defined for each group. The proper luminaire types for each group should limit the glare, provide the uniformity values, be easily accessible, economically feasible. By this way, it will be possible to calculate applicable installed powers of the lighting systems for each room in a building respecting the lighting design criteria defined EN 12464-1.

This study focuses on existing office buildings in order to define a methodology for calculation of energy saving potential based on LENI data. For this purpose, rooms in a typical office building are classified into groups according to their functionalities. For each group, suitable luminaire types that can fulfill lighting design criteria are defined. By modifying the utilization factor method, which is easy applicable and useful for indoor lighting calculations, installed power is analytically expressed as a function of room utilization and luminaire efficacy factor where other required parameters such as room dimensions and functionality are achieved from LENI database. Therefore, this approach can be used to provide the calculation of applicable and feasible energy saving potential at the same time with calculation of LENI. Since all buildings are evaluated under same approach, it will be possible to achieve comparable results among the buildings.

For the purpose of developing this methodology, it is firstly given the infrastructure of the technical regulations and legal process in both EU and Turkey, especially calculation methodology for energy performance of buildings. Then lighting design criteria for office buildings defined in EN 12464-1 is expressed and the components of a lighting system such as light sources, electrical components, luminaires and control devices which could fulfill the given criteria is considered as well as the efficiency and performance indicators in the literature. In addition, utilization factor methods used in lighting calculations are investigated and calculation of installed power of a lighting system is introduced by modifying utilization factor method. Utilization factor method is mainly taking into account the room index calculated by room geometry and the reflectance factors of the surfaces in the room in order to determine the ratio of the produced light reaching to the specified working plane considering the losses in the luminaires and losses in the room. Once the ratio is determined, it is then possible to calculate the installed power. Therefore, it is needed to determine the proper utilization values that can fulfill the lighting design criteria for each group defined according to the room functionalities.

In this study, rooms are grouped into four groups. First group represents classical office or meeting rooms where 300, 500 or 750 lx is required. Second group represents the spaces such as circulation areas, corridors, halls, WC or rooms requiring from 100 lx to 300 lx of illumination level. Third group represents the clean rooms such as laundries, medical rooms and kitchens as well. And finally, fourth group represents the technical rooms like electricity supply or boiler room, garage or parking areas and storage rooms requiring luminaires with high IP protection. After grouping the rooms, reference luminaire types are defined for each room according to the functionality and the lighting requirements of each room. Since there are numerous luminaires available for each group in the market, the ones referred as efficient are selected to perform the lighting calculations.

Lighting calculations are performed with Dialux lighting calculation software for different illumination levels and for different room geometries that are possibly met in the office buildings. Then the luminaires that can fulfill the requirements such as average illumination level, uniformity and glare limitation are determined for each group. In order to obtain the utilization values for selected luminaires, CIE utilization factor method is used to achieve the utilization factors and utilization values are calculated for each luminaire. Those utilances simply represent the luminaires that can fulfill the lighting design criteria for each defined situation. In other words, using the obtained utilization values will yield the lighting calculation results to have required uniformity and glare restriction. At the end, all utilization values for each group are evaluated and it is seen that those values could be represented as a function of room index by a fourth degree polynomial. Those polynoms are used to calculate a utilization value that is used for calculating the installed power by the defined equations for each room group. The results are also verified by Dialux software with tolerable errors. Conclusively, it has been possible to calculate the amount of electrical energy saving by comparing the existing install powers with the calculated powers for each room. In addition to this, an economical analyze method is expressed for calculation of investment costs and simple payback time.

As a result, a computer software named “BEP-ETA” is developed in order to integrate this methodology to lighting energy performance calculation methodology defined in EN 15193. In this scope, two new indicators LESI (Lighting Energy Saving Indicator) and LECI (Lighting Energy Cost Indicator) are introduced for expressing lighting energy saving potential and for expressing amount of saving per investment costs, respectively. In addition to this, BEP-ETA software has been used to calculate the energy saving potential of Kadıköy Municipality Building as a case study.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde fosil enerji kaynaklarının ömürlerinin kısıtlı olması, fiyatlarında oluşabilen ani değişimler ve temininde yaşanan sıkıntılar sonucu ortaya çıkan arz güvenliğini sağlama isteği ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının petrolün yerini alamaması ve dünyadaki küreselleşmenin de etkisi ile enerji verimliliği çalışmalarına verilen önem artmıştır. Bu amaçla, özellikle son yıllarda dünyada enerjinin verimli kullanılması için çeşitli programlar ve bilinçlendirme çalışmaları uygulanmaya başlanmıştır. Buna ek olarak, birçok ülkede konu ile ilgili yasal düzenlemeler de hazırlanmakta ve yürürlüğe girmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2011 yılında yayınladığı raporda, Dünyada, 2009 verilerine göre toplam enerji tüketimi içinde sanayi ve ulaştırma sektörlerinin payları yaklaşık %30 iken, ticari bina ve konutları da kapsayan tüm binaların payının yaklaşık %40 olduğu belirtilmektedir (IEA, 2011). Bu oranlar, Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) verilerine göre üyesi olmak için aday olduğumuz Avrupa Birliği'nde (AB), binalar için %37, ulaştırma için %32, endüstri için %28, tarım ve enerji dışı kullanım için %3 olarak açıklanmaktadır (EEA, 2011).

Ülkemizde ise, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010 verilerine göre, binaları içeren konut ve hizmet sektörünün toplam enerji tüketimi içindeki payı %35 iken, sanayi sektörünün %37, ulaştırma sektörünün %18, tarım ve enerji dışı kullanımın payı ise %10'dur (ETKB, 2010). Türkiye'nin sektörlere göre elektrik enerjisi tüketimi incelendiğinde, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin (TEDAŞ) 2009 yılı verilerine göre, toplam elektrik enerjisi tüketiminin %25'ini konutlar, %20'sini resmi ve özel ofis binalarının da içinde bulunduğu ticari binalar olmak üzere toplam %45'ini bina sektöründeki, geri kalan %45'ini sanayi sektöründeki, %10'unu da diğer başlığı altındaki tüketimler oluşturmaktadır (TEDAŞ, 2009). Bu kapsamda, gerek Dünya genelinde, gerek AB'de, gerekse Türkiye'de binaların, toplam enerji tüketiminin en az üçte birinden sorumlu olduğu söylenebilir. Bunun yanında, Türkiye'de elektrik enerjisi tüketiminde ofis binalarının toplam tüketimin yaklaşık beşte birinden sorumlu olduğu da görülmektedir. Buna karşın, söz konusu

sektörde mevcut enerji tasarruf potansiyelinin %30 ila %50 arasında olduğu da ifade edilmektedir (EİE, 2004). Bu açıdan, bina sektörünün yüksek enerji tasarruf potansiyeli ile enerji verimliliği uygulamalarında öncelikli olarak ele alınması gerektiği ortadadır.

Bu kapsamda Avrupa Parlamentosu, binaların dış mekan iklim şartları, iç mekan ortam gereksinimleri, yerel koşullar ve uygun maliyet de dikkate alınarak enerji performanslarının artırılması amacı ile 16 Aralık 2002 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Direktifi”ni (EU Directive on Energy Performance of Buildings) yayımlamıştır (EP, 2002). Bu direktif ile binaların minimum enerji gereksinimlerine göre tasarlanması, yenilenmesi gerekmektedir. Binaların, her ülkenin kendi yerel, bölgesel veya ulusal koşullarına göre geliştirdiği hesaplama yöntemleri ile enerji performansı açısından etiketlenmesi de direktifin kapsamı içindedir.

AB üyeliği sürecinde, ülkemizde bu gelişmelere paralel olarak yürütülen uyum çalışmaları çerçevesinde 2 Mayıs 2007’de Enerji Verimliliği Kanunu (EVK), bu kanun uyarınca hazırlanması istenilen yönetmeliklerden “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” (BEP) de 5 Aralık 2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir (EVK, 2007; BİB, 2008a). Daha sonra gerek yönetmelikle ilgili gelen görüşler, gerek sehven yapılan yanlışların düzeltilmesi, gerekse de hesaplama yöntemi ve AB Çerçeve Direktifi’ndeki değişikliklerin ilave edilmesi amacı ile yönetmelikte revizyona gidilerek, 1 Nisan 2010 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” yayınlanmıştır (BİB, 2010a). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Söz konusu yönetmelik dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklilerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını hedeflemektedir. Yönetmelik,

sanayide üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü binalar ile, toplam olası kullanım süresi iki yıldan az, toplam kullanım alanı 50 m²'den küçük ya da ısıtma, soğutmasına ihtiyaç duyulmayan binalar dışındaki tüm binaları kapsamaktadır. Buna göre konutlar, ofis binaları, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller, alışveriş merkezleri ve sportif amaçlı kullanılan binalar bu yönetmeliğin kapsamı içindedir. Yönetmeliğe göre 2011 yılının başından itibaren yeni yapılan tüm binaların, 2017 yılına kadar ise mevcut binaların enerji kimlik belgelerini almaları gerektiği ifade edilmektedir.

Binalarda enerji, konfor koşullarını sağlamaya yönelik başta ısıtma, soğutma, aydınlatma olmak üzere, kullanım amacına göre değişen birçok sistem tarafından tüketilmektedir. Elektrik enerjisi tüketen sistemler içinde aydınlatmanın payı, bina tipine bağlı olarak %50'lere kadar ulaşabilmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde kamu binalarında aydınlatmanın payının %25 ile %40 arasında olduğu açıklanmaktadır (Krarti, 2000). Kanada'da bu oranın %10'un üzerinde, Avrupa Birliği'nde ise %50'ler civarında olduğu ifade edilmektedir (EC, 2006). Mevcut aydınlatma sistemlerinin %80 ila %90'ının 20 yıldan eski olduğu düşünüldüğünde, verimli aydınlatma sistemlerinin kullanımı ile önemli oranda elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabileceği açıkça görülmektedir (Halonen ve diğ, 2010).

Günümüzde, aydınlatma teknolojilerindeki gelişmeler ile aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği çalışmaları verimli ışık kaynakları, verimli yardımcı elemanlar, verimli armatürlerin kullanılmasının yanı sıra, otomasyon sistemlerinin entegrasyonu, günışığı kullanımı gibi seçeneklerle gerçekleştirilmektedir. Özellikle mevcut binalarda sıkça rastlanılan verimsiz aydınlatma sistemlerinin iyileştirilmesi ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamak mümkün olabilmektedir (Onaygil ve diğ, 2005). Bu konu ile ilgili olarak Şubat 2012 RG'de açıklanan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı'nda belirtilmiş enerji sektöründeki stratejik hedefler arasında, kamuda enerji verimliliği çalışmalarının aydınlatma öncelikli olmak üzere yapılması gerektiği önemle vurgulanmıştır (ETKB, 2012). Buna paralel olarak, BEP Yönetmeliği ile hem aydınlatma sistemlerinin enerji performansının belirlenmesi için hesaplama yöntemi, hem de aydınlatma sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi için minimum enerji gereksinimleri tanımlanmıştır. BEP Yönetmeliği kapsamında iç aydınlatma sistemleri için tasarım kriterleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından Ocak 2004'te kabul edilen TS EN 12464-1 "Işık ve Işıklandırma – İş Mahallerinin Aydınlatılması – Bölüm 1: Kapalı Alandaki

İş Mahalleri” standardı ile tanımlanırken aydınlatma enerji performansının, Mayıs 2008’de kabul edilen TS EN 15193 “Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma için enerji gereksinimleri” standardında tanımlanan yöntem ile hesaplanması gerektiği ifade edilmektedir (TSE 2004, TSE 2008). AB ülkeleri için genel bir yaklaşımı içeren TS EN 15193 hesaplama yöntemi Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın (4 Temmuz 2011 tarihinden itibaren Çevre Bakanlığı ile birleşip Çevre ve Şehircilik Bakanlığı adını almıştır) yürüttüğü bir proje dahilinde Türkiye koşullarına adapte edilmiştir (BİB, 2010b). Bu proje kapsamında internet üzerinden hizmet veren BEP-TR ulusal hesaplama yazılımı geliştirilmiştir (BİB, 2010c). BEP-TR yazılımında, binadaki tüm sistemlere ait birçok veri girdi olarak girilmektedir. Ayrıca aydınlatma sistemlerinin de her bir hacim için tanımlanması gerekmektedir. Söz konusu yöntem ile metrekare başına yıllık elektrik enerjisi tüketimini (kWh/m²yıl) ifade eden Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG, *İng. LENI: Lighting Energy Numeric Indicator*), birçok değişken dikkate alınarak hesaplanabilmektedir. AESG’nin düşük olması, birim alan başına tüketilen enerji miktarının düşük, dolayısıyla aydınlatma enerji performansının yüksek olması anlamına gelmektedir.

AESG hesaplarında başta aydınlatma sisteminin kurulu gücü olmak üzere, ilgili hacmin geometrisi ve fiziksel yapısı ile ilgili veriler, günışığı sağlayan sistemlerin geometrik ve fiziksel özellikleri, kontrol sistemlerinin özellikleri ve bina kullanım saati gibi onlarca parametreyi içeren veri grubu dikkate alınmaktadır. Bu veriler yardımıyla, aydınlatma sisteminin mevcut kurulu gücüne ve yıl içindeki kullanım süresine bağlı olarak tüketeceği elektrik enerjisi miktarı, kontrol sistemlerinin ve günışığından yararlanmanın getireceği katkılar da hesaba katılarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, günışığından azami ölçüde yararlanabilen ancak aydınlatma sisteminin verimi düşük olan mevcut bir binanın AESG değeri, verimli bir aydınlatma sistemine sahip ancak gün ışığından yararlanamayan ve kontrol sistemlerine sahip olmayan bir binanın AESG değerinden düşük çıkabilir (Erkin ve diğ, 2009). Dolayısıyla AESG değeri, aydınlatma kurulu gücünün azaltılması ile elde edilebilecek olası elektrik enerjisi tasarruf miktarı hakkında net bir bilgi içermez. Aydınlatma sistemlerinde sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarı, ilgili hacmin kullanım amacına yönelik olarak aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen özelliklere sahip, verimli aydınlatma sistemlerinin kullanımı olasılığının mevcut durum ile karşılaştırılması sonucunda hesaplanabilir. Literatürde, aydınlatma kurulu gücünün teorik olarak

belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Hanselaer ve diğ, 2007; Ryckaert ve diğ, 2010). Ancak pratikte, kamaşmanın sınırlandırılması ve ortalama düzgünlük değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla geliştirilen armatür tasarımları ile, söz konusu teorik değerlere yaklaşılabilmesi mümkün olmayabilmektedir. Özellikle farklı kullanım amacına sahip hacimler için önerilen değişik tipteki armatürlerin ışık dağılım karakteristikleri birbirlerinden oldukça farklı olabilmektedir. Bu nedenle, ofis binalarında aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanmasında, öncelikle bina hacimlerinin kullanım amaçlarına göre gruplanması; kurulu güç hesaplarının da her bir grup için amacına uygun tanımlanmış armatür tiplerinin ışık dağılım karakteristiklerine göre yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda, TS EN 12464-1 standardında tanımlanan aydınlatma kalite kriterlerini en verimli şekilde sağlayabilecek aydınlatma sistemleri tanımlanabileceği; aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanacak binanın her bir hacmi tek tek ele alınarak gerçekçi ve uygulanabilir tasarruf miktarları hesaplanabileceği söylenebilir. Tasarruf hesaplarında kullanılmak üzere tanımlanacak verimli aydınlatma sistemleri, farklı boyutlardaki hacimlerde söz konusu standartlarda tanımlanan ortalama aydınlık düzeyini sağlarken aynı zamanda ortalama düzgünlük değerini ve kamaşmayı da istenilen değerlerde sınırlandırabilmeli; kabul görmüş, kolaylıkla erişilebilir, ekonomik açıdan uygulanabilir olmalı ve mevcut en iyi teknolojiyi kullanabilmelidir. Literatür bu kapsamda değerlendirildiğinde, aydınlatma sistemlerinin enerji performansı konusunun oldukça yeni bir konu olduğu, konu ile ilgili çalışmaların daha çok genişliği katkısının hesaplanması ve performansın belirlenmesi üzerine yoğunlaştığı, enerji tasarrufu potansiyeli hesaplanması ile ilgili gerek Avrupa'da gerekse ülkemizde herhangi bir çalışmanın olmadığı da tespit edilenler arasındadır.

Bu tez çalışmasında, herhangi bir bina tipindeki aydınlatma sistemlerinin olası enerji tasarruf potansiyellerinin standart olarak hesaplanabilmesini sağlayabilecek adımları içeren bir yaklaşım ile yeni bir yöntemin önerilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bir binadaki aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyellerinin standart bir bakış açısıyla hesaplanmasına yönelik önerilen adımların ofis binalarına uygulanabilmesi hedeflenerek AESG hesap yöntemi ile bütünleşik çalışabilen bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ofis binalarının hacimlerinin kullanım amaçlarına göre gruplandırılması, her bir grup için aydınlatma tasarım

kriterlerinin tanımlanması ve bu kriterleri en verimli biçimde sağlayabilecek aydınlatma sistemlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Geliştirilecek kurulu güç hesap yöntemi kullanılarak, AESG hesapları için gerekli veri gruplarından uygun veriler elde edilip, farklı hacim grupları için belirlenen verimli aydınlatma sistemleri ile her bir hacim için kurulu güçler hesaplanabilecek ve tüm bina için toplam aydınlatma enerji tasarruf potansiyeli belirlenebilecektir. Bu yaklaşımla, “Enerji Kimlik Belgesi” kapsamında AESG değeri hesaplanan mevcut bir ofis binasının, standartlarda tanımlanan aydınlatma kalite kriterlerini sağlayabilen ve ekonomik olarak uygulanabilir olan tesisatlarla gerçekleştirilebilecek maksimum enerji tasarruf potansiyeli de belirlenebilmiş olacaktır. Söz konusu yaklaşım ile tüm ofis binalarının enerji tasarruf potansiyelleri aynı koşullar altında belirleneceğinden, karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilecektir. Bu kapsamda, enerji performansını ifade eden AESG gibi, tasarruf potansiyeli hakkında bilgi içeren Aydınlatma Enerji Tasarrufu Göstergesi (AETG) önerilmekte ve geliştirilen hesaplama yöntemini içeren, mevcut ofis binalarından toplanacak aydınlatma enerji performansı hesap verileri ile hem AESG değerini hem de aydınlatma enerji tasarruf potansiyelini dolayısıyla AETG’yi hesaplayabilen bir bilgisayar yazılımının geliştirilmesi de hedeflenmektedir. Bu amaç ve kapsama uygun olarak tez çalışması aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir;

İkinci bölümde, Avrupa Birliği’nde ve paralelinde Türkiye’de, binalarda enerji performansı ile ilgili yasal süreçler ve teknik düzenlemeler ile ilgili bilgiler verilmektedir. Bu bölümde, TS EN 15193 ve aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi hesaplama yöntemi de anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, ofis binaları için ilgili standartlarca tanımlanmış aydınlatma kalite kriterleri açıklanarak, bu kriterleri sağlayabilecek aydınlatma sistemlerini oluşturan ışık kaynakları, yardımcı elektriksel elemanlar, armatürler ve kontrol elemanları hakkında bilgiler verilmektedir. Bu bölümde ayrıca, aydınlatma sistemleri için literatürde geçen verimlilik ve performans göstergeleri de irdelenmektedir.

Dördüncü bölümde, öncelikle aydınlatma hesaplarında kullanılan farklı verim faktörü yöntemleri özetlenerek, verim faktörü yöntemi ile aydınlatma hesabı açıklanmakta ve bu yöntemle kurulu güç hesabı tanımlanmaktadır.

Beşinci bölümde, dördüncü bölümde tanımlanan kurulu güç hesap yöntemi kullanılarak, yeni bir “aydınlatma enerji tasarruf potansiyeli hesaplama yöntemi”

önerilmektedir. Önerilen yöntemde, öncelikle bina hacimleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış ve her bir grup için referans armatür tipi belirlenmiştir. Tanımlanan kabuller altında, kataloglardan seçilen onlarca armatür ile aydınlatma hesapları yapılmış ve aydınlatma tasarım kriterlerini her koşulda sağlayabilen verimli sistemler belirlenerek, her bir grup için tasarruf hesaplarında kullanılmak üzere kurulu güç denklemleri oluşturulmuştur. Bu bölümde ayrıca Aydınlatma Enerji Tasarrufu Göstergesi de tanımlanmış ve hesaplanan enerji tasarruf potansiyellerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli yatırım maliyetlerinin ve geri ödeme sürelerinin hesaplanabildiği bir ekonomik analiz yöntemi de açıklanmaktadır.

Altıncı bölümde, bu tez kapsamında geliştirilen “enerji tasarruf potansiyeli hesaplama yöntemi”nin “BEP aydınlatma enerji performansı hesap yöntemi”ne entegrasyonu irdelenmiş ve bu kapsamda bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Örnek bir çalışma olarak, geliştirilen yöntem ve bilgisayar yazılımı kullanılarak Kadıköy Belediye Binası için aydınlatma elektrik enerjisi tasarrufu analizleri yapılmıştır.

Yedinci bölümde, tez çalışmasında geliştirilen yönteme ilişkin değerlendirmeler yapılmakta ve sonuçlar özetlenmektedir.

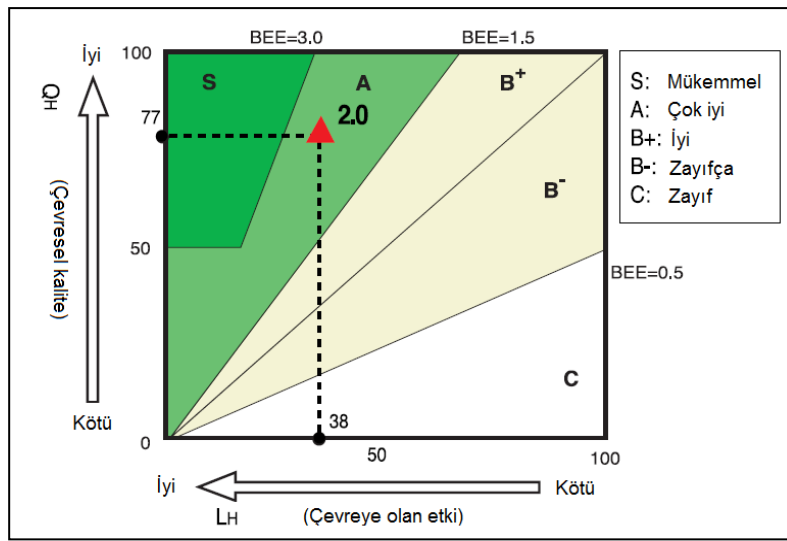
2. AVRUPA BİRLİĞİ VE TÜRKİYE'DE KONU İLE İLGİLİ YASAL VE TEKNİK DÜZENLEMELER

Dünyada çeşitli ülkelerde, binaların enerji performanslarını, CO₂ üretimleri ve çevresel etkilerini değerlendiren yasal düzenlemeler mevcuttur. Bu düzenlemeler çerçevesinde en köklü programların Amerika'da LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve İngiltere'de BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) olduğu belirtilmektedir (Lee ve Burnett, 2008). 1990'ların başında Amerika'da elektrikli cihazların ve binaların enerji performanslarının değerlendirilmesini, hesaplama yöntemlerini, yaptırımları kapsayan yasal düzenlemeler sonucunda, LEED (LEED, 2009) sertifikası ile birlikte EnergyStar (EnergyStar, 2007) programları da uygulanmaya başlamıştır. LEED programında enerji performansı, binaların enerji sertifikasyonunun sadece bir bölümünü oluşturmaktadır. Programda, konfor koşulları, çevre faktörleri, bina yapı ve tesisat malzemeleri, su kullanımı da dikkate alınarak binaların genel bir performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu yöntemde sözü geçen enerji ve çevre sistemleri puanlama yöntemi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Binalarda çevresel etkileri ve enerji performanslarını değerlendirme amaçlı geliştirilen ilk yöntemlerden biri de, yine 1990'ların başında İngiltere'de BRE (Building Research Establishment) tarafından geliştirilen BREEAM yöntemidir (BREEAM, 2004). BREEAM, LEED gibi binaların enerji performansları ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi anlamında köklü bir programdır. BREEAM da binaları, sadece enerji performansları açısından değil, çevresel etkilerini de dikkate alarak değerlendirmektedir. Öyle ki, binaların performanslarında enerji sistemlerinin etki payı BREEAM'da %20, LEED'de %25 olarak karşımıza çıkmaktadır (Lee ve Burnett, 2008).

Japonya'da, CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) programı 2004 Çevre Aksiyon Planı çerçevesinde uygulanmaya başlanmıştır (CASBEE, 2009). CASBEE yöntemi de sadece binaların enerji performansını değil, iç ortam kalitesi ve performansı ile binanın çevreye

etkilerini de dikkate alarak bir değerlendirme yapmaktadır. Bu kapsamda dikkate alınan ana parametreler, enerji verimliliği, kaynak verimliliği, yerel çevre ve iç ortam koşullarıdır. Bu ana parametreler altında 80 alt parametre ile incelenen binaların performansları BEE (Building Environmental Efficiency) göstergesi ile belirlenmektedir. BEE göstergesi; binaların iç ortam koşullarının kalitesi, performansı ve hizmetlerinin değerlendirilmesi ile belirlenen bir sayısal göstergenin, enerji kullanımı, çevreye etkileri ve malzeme kullanımı ile belirlenen diğer bir sayısal göstergeye oranı ile ifade edilmektedir. Ulaşılan değer BEE diyagramı yardımı ile bina sınıfının belirlenmesini sağlamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : BEE oranı 2 olan bir binanın BEE diyagramında gösterilişi.

Avustralya’da ise Green Star Programı kapsamında binalar yine benzer şekilde sadece enerji performansları ile değil, çevresel etki, kullanılan malzeme, arsa kullanımı ve ekoloji, su, iç ortam kalitesi ve tüm bunların yönetimi başlıkları altında incelenmektedir (GreenStar, 2009). İncelenen her başlık için ayrı ayrı yapılan puanlamalar ile toplamda bina için bir sınıf oluşturulmaktadır. Performansı en yüksek bina 6 yıldızlı, en düşüğü ise yıldızsızdır.

Hong Kong’ta geliştirilen HK-BEAM (Hong Kong – Building Environmental Assessment Method) temel olarak BREEAM felsefesi üzerine kurulmuş ve geliştirilmiştir (Lee ve diğ., 2007). Bu yöntem ile bina kabuğunun, enerji tüketen sistemlerin performanslarının yanı sıra, diğer yöntemlerde olduğu gibi çevresel etkileri de değerlendirilmektedir. HK-BEAM’de enerji performansının toplam performansa oranı %23 olarak ifade edilmektedir (Lee ve Burnett, 2008).

Görüldüğü gibi binalar, dünyanın çeşitli ülkelerinde değişik kriterler ve farklı hesap yöntemleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Avrupa Birliği'nde ise binalar enerji performansları açısından yasal olarak incelenmektedir. Bunun yanında tükettikleri enerjiye karşılık gelen CO₂ emisyonları da çevresel performans olarak belirtilmektedir. Gerek üyelik sürecinde uyumluluk kapsamında ülkemizdeki mevzuatın AB'ye paralel olması, gerekse Avrupa Standart Komitesi (CEN, *Fr. Comité Européen de Normalisation*) standartlarının TSE tarafından kabul edilmiş olmasından dolayı, tez çalışması çerçevesinde AB'deki yasal düzenlemeler daha detaylı ele alınacaktır.

2.1 Avrupa Birliği'nde Yasal Süreç

AB'nin bina sektöründe enerji verimliliği ile ilgili direktiflerinden ilki 1993 yılında yürürlüğe giren; 93/76/EEC sayılı "Enerji Verimliliğinin Artırılması ile CO₂ Emisyonlarının Azaltılması" direktifidir (EP, 1993). Bu direktifte genel amaç, özellikle binaların enerji sertifikasyonu, yeni binaların standartlara uygun izolasyonu, yüksek enerji tüketiminin olduğu kamu veya sanayi binalarında enerji etüt çalışmalarının yapılması ile CO₂ emisyonlarının azaltılması olarak açıklanmaktadır.

Daha sonra, 2003 yılında yürürlüğe giren COM 2003/739 sayılı "Nihai Enerji Tüketim Verimliliği ve Enerji Hizmetleri" Direktifi'nin amacı ise, hedef belirleme, teşvikler, idari/mali/yasal çerçeve ile nihai tüketim sektörlerinde enerjinin verimli kullanılmasının önündeki engellerin kaldırılması ve enerji hizmetlerinin enerji tasarrufu programları ile yaygınlaştırılmasının sağlanması olarak açıklanmaktadır (EP, 2003).

Son yıllarda giderek artan çevre problemlerinin çözümüne olan ilgi temelinde, AB Parlamentosu ve Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi'nin ortaklaşa hazırlamış olduğu 9 Şubat 2005 tarihli COM (2005) 35 sayılı Küresel İklim Değişikliğine Karşı Mücadelenin Kazanımı (*İng. Winning the Battle Against Global Climate Change*) raporunda ise, 2005 yılındaki CO₂ emisyonunun her yıl 3,6 Gt/yıl azaltılması amaçlı belirlenen 15 teknoloji önleminin arasında, binalarda enerji verimliliğinin artırılması 3. sırada gelmektedir (EESC, 2005).

Yukarıda sıralanan düzenlemeler kapsamında genel bir çerçevede incelenen enerji verimliliği uygulamaları, bina sektöründe yapılması gerekenler için bir temel

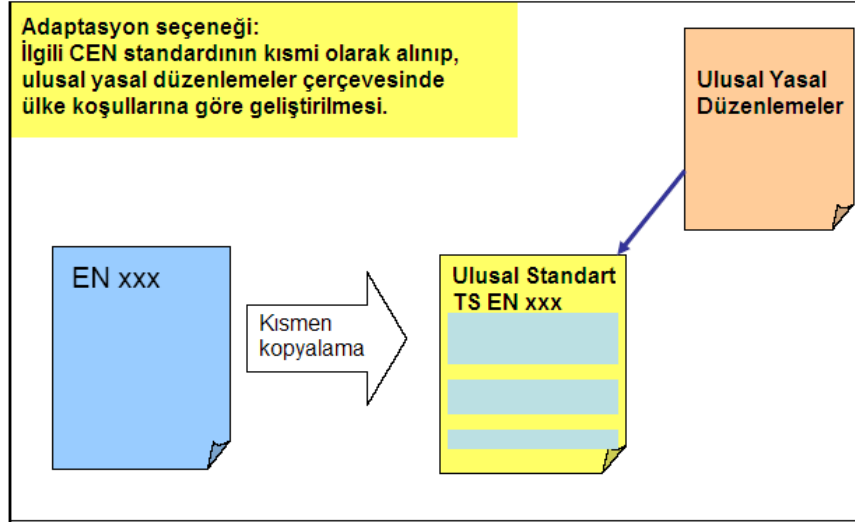
oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'nde bina sektöründeki enerji verimliliği uygulamalarını daha detaylı olarak inceleyen ve yön gösteren düzenleme, 2002 yılında hazırlanıp 2006'da yürürlüğe giren 2002/91/EC no'lu Binaların Enerji Performansı Direktifi'dir (EP, 2002).

AB'de toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ından sorumlu olan bina (konut ve ticari) sektörünün enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut binaların iyileştirilmesi ve yeni binaların standartlara göre yapılması ile 2020 yılı için yaklaşık %30'luk tasarruf potansiyeli öngörülmektedir. Söz konusu tasarruf potansiyelini değerlendirmek için, 2003 yılında onaylanıp 2006 yılında yürürlüğe giren "Binaların Enerji Performansı Direktifi" ile bulunulan bölge, iklim, konfor koşulları ve maliyet dikkate alınarak binaların enerji performanslarının artırılması amaçlanmaktadır. Direktifin içerdiği konular genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Binaların enerji performansını değerlendirebilmek için ortak bir yöntemin genel çerçevesi,
- Yeni binaların enerji performansı için minimum şartların uygulanması,
- İyileştirme çalışmaları yapılabilecek mevcut büyük binaların enerji performansı için minimum şartların uygulanması,
- Binaların enerji sertifikasyonu,
- 15 yıldan daha eski kazanların olduğu ısıtma tesisatları için yapılacak değerlendirmeye ek olarak, binaların kazanları ve merkezi iklimlendirme sistemlerinin düzenli denetimi hakkındaki gereklilikler.

Direktif, binaların enerji performansının hesaplanması için üye ülkelerde kullanılacak genel bir yöntem de önermektedir. Yöntem dahilinde binalar; müstakil, apartman, ofis, okul, hastane, otel ve restoran, spor merkezi, ticarethane ve diğer binalar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Söz konusu yöntemde binaların enerji performansını hesaplamak için; bina kabuğunun ısıl özellikleri, ısıtma ve sıcak su tesisatı ile bunların yalıtım durumları, soğutma-havalandırma ve pasif güneş enerjisi sistemleri, doğal havalandırma ve binanın iç hava şartları ile aydınlatma sistemleri dikkate alınmaktadır. Direktifte bahsi geçen aydınlatma sistemleri, binanın elektrik tesisatı gibi binaya tesis edilmiş enerji tüketen bir sistem olarak tanımlanmaktadır.

Genel bir çerçeve çizen direktifte atıf yapılan ilgili Avrupa standartları (CEN) ile, ülkelerin binalarla ilgili ulusal yasal düzenlemelerinde sözkonusu gereklilikleri yerine getirmelerinde yardımcı olacak tanımlar, değerler ve yöntemler verilmektedir. AB ülkelerince uygulanan en geçerli ve yaygın yöntemlerden biri, Şekil 2.2’de gösterilen AB Bilgi Dökümanı P90’da belirtilen yöntemdir (EPBD, 2008). Bu yöntemde ilgili CEN standartları kısmen kopyalanarak, ülkelerin ulusal yasal düzenlemeleri çerçevesinde kendi ulusal standartları olarak geliştirilmektedir.



Şekil 2.2 : AB Bilgi Dökümanı P90’da belirtilen CEN standardı adaptasyon yöntemi.

Ülkemizde, binalarda enerji performansı ile ilgili çalışmaların halen devam etmekte olan sürecinde, konu ile ilgili standartlar ilk başta hiçbir değişiklik yapılmadan olduğu gibi kabul edilmiş, ardından Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın yürüttüğü çalışmalar ile ülke koşullarına göre yeniden düzenlenerek ulusal hesaplama yöntemi geliştirilmiştir.

2.2 Türkiye’deki Yasal Süreç ve Teknik Düzenlemeler

Türkiye’de Enerji Verimliliği Kanunu, 2 Mayıs 2007 tarihinde resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (EVK, 2007). Kanun’un amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Kapsamı ise; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin

artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esaslardan oluşmaktadır.

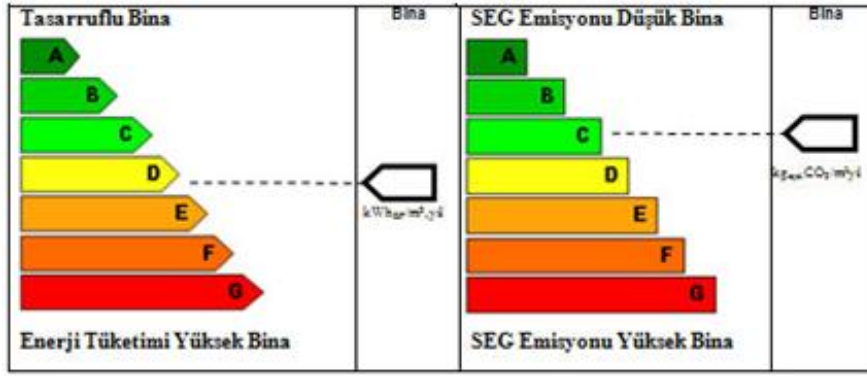
Kanunda belirtilen ve sanayi, bina ve ulaşım sektörlerine yönelik uygulamaları detaylı olarak tanımlayan; Enerjinin ve Enerji Kaynaklarının Kullanımında Verimliliğin Artırılması (En-Ver), Binalarda Enerji Performansı (BEP), Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılması (Isı Paydaşları) ve Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına İlişkin Yönetmelikler de hazırlanmış ve yürürlüğe girmiştir (EİE, 2008; BİB, 2008a; BİB, 2008b; UB, 2008).

2.2.1 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemeyi hedefleyen Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 5 Aralık 2008'de yürürlüğe girmiştir. Daha sonra gerek yönetmelikle ilgili gelen görüşler, gerek sehven yapılan yanlışların düzeltilmesi, gerekse de hesaplama yöntemi ve AB Çerçeve Direktifi'ndeki zaman içindeki değişiklikler sonucu yönetmelikte revizyona gidilerek 1 Nisan 2010 tarihinde "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" yayınlanmıştır (BİB, 2010a). Yönetmelik, sanayide üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü binalar ile, toplam kullanım süresi iki yıldan az, toplam kullanım alanı 50 m²'den küçük ya da ısıtma, soğutmasına ihtiyaç duyulmayan binalar dışındaki konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller, alışveriş ve ticaret merkezleri gibi tüm mevcut ve yeni binalarda uygulanmak üzere; mimari tasarım,

mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı konularındaki asgari performans kriterlerini, enerji performans hesaplama yöntemlerini, enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ilişkin yöntem ve esasları kapsamaktadır. Buna göre yönetmelik, yeni binalar için 2011, mevcut binalar için 2017 yılından itibaren geçerli olacaktır. Bu kapsamda, yeni yapılacak tüm binaların, binalarda enerji performansı yönetmeliğine uygun projelendirilmeleri ve ilgili idari kurumlardan izin ve onay belgelerini alabilmeleri için en az C enerji sınıfına sahip enerji kimlik belgelerine sahip olmaları gerekmektedir. Mevcut binaların ise 2017 yılına kadar enerji kimlik belgelerini ilgili kurum ve kuruluşlar vasıtasıyla almış olmaları gerekmektedir.

Binaların yıllık enerji gereksinimlerinin hesaplanmasında, binaların ısıtılması, soğutulması, sıhhi sıcak su üretimi ve aydınlatma için kullanılan enerjileri dikkate alınmaktadır. Isıtma, soğutma, aydınlatma ve sıhhi sıcak su için gerekli olan enerji ihtiyacının hesaplanabilmesi ve minimum performans gereksinimlerinin belirlenmesi adına çok sayıda CEN ve TSE standardına atıfta bulunmaktadır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın yürüttüğü bir proje kapsamında ilgili standartlarca algoritması tanımlanmış bina enerji performansı hesaplama yöntemi, ülkemiz koşulları dikkate alınarak geliştirilmiş, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 7 Aralık 2010 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanan "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" ile yürürlüğe girmiştir (BİB, 2010b). Bunu takiben BEP-TR adında, internet üzerinden hizmet veren bir yazılım ile söz konusu hesap yöntemi uygulamaya konulmuştur (BİB, 2010c). Bu yazılım ile binaların ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemlerinin enerji performansı değerlendirilebilmekte ve binanın Enerji Kimlik Belgesi (EKB) hazırlanabilmektedir. Enerji Kimlik Belgesi'nde, binayı tanıtan bilgilerin yanında binanın enerji performans ve sera gazı emisyon sınıfı, A'dan G'ye bir skala üzerinde gösterilmektedir (Şekil 2.3). Söz konusu Enerji Kimlik Belgesi'ne ait bir örnek, **Ek A**'da verilmektedir.



Şekil 2.3 : BEP Yönetmeliği kapsamında tanımlanan enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu performans skalaları.

Binanın genel değerlendirilmesine ek olarak, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su üretimi gibi bina sistemlerinin enerji performansları da ayrıca harfle ifade edilmektedir. Bu kapsamda, aydınlatma sistemleri de ayrı olarak ele alınmakta ve TS EN 15193 standardında verilen hesap yöntemi esas alınarak ülkemiz koşullarına göre geliştirilmiş hesaplama yöntemi ile metrekare başına yıllık enerji gereksinimleri hesaplanabilmektedir (BİB, 2010c).

2.2.2 Aydınlatma enerji performansı hesap yöntemi

Bina enerji performansı hesaplama yöntemi kapsamında aydınlatma sistemlerinin enerji performansı TS EN 15193 “Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma için enerji gereksinimleri” standardında tanımlandığı şekilde hesaplanabilmektedir. Bu standartta belirtilen yöntemle göre yapılan hesaplar sonucunda aydınlatma enerji performansını ifade eden sayısal bir değer elde edilmektedir. Bu yöntem, hem mevcut, hem yeni tasarlanacak, hem de tadilat yapılacak binalarda aydınlatma enerji performansını hesaplamak için kullanılabilir. Standartta, aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin hesaplanabilmesi için 3 yöntem sunulmaktadır:

i. Hızlı Yöntem: Bina tipine göre değişen, hızlı yöntem için belirlenmiş standart değerler ile hesaplama yöntemidir. Bu yöntem oldukça kaba olup, sadece proje aşamasında bina tasarımı için genel bir fikir vermesi açısından uygun olabilmektedir.

ii. Detaylı Yöntem: Binanın tüm hacimleri için ayrı ayrı aylık ve saatlik periyotlarda hesap olanağı sağlayan bu yöntem, günışığından yararlanma, doluluk oranları ve kontrol sistemlerini de dikkate alarak daha detaylı ve doğru hesaplama yapabilmektedir.

iii. *Enerji İzlemesi*: Aydınlatma için tüketilen enerjinin net miktarını belirleyebilmek için enerji ölçüm cihazları ile bir yıl boyunca tüketimlerin kaydedilmesi esasına dayalı bir yöntemdir. Pratikte uygulanması hem zor hem de maliyetlidir. Aydınlatma tesisatlarının ayrı bir panodan beslenmesi, ya da aydınlatma linyelerine ayrı izleme sistemlerinin tesisi ve tüketimlerin en az bir yıl boyunca izlenmesi gerekmektedir. Yeni binalar için enerji kimlik belgesinin proje aşamasında çıkartılması gerektiğinden, bu yöntem ancak mevcut ve aydınlatma tesisatının ayrı bir elektrik panosundan beslenebildiği, ya da özel izleme sistemlerinin tesis edilebildiği binalarda uygulanabilmektedir.

Hesaplama ya da ölçümlerin sonucunda bulunan toplam tüketim değeri binanın kullanım alanına bölünerek Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG, *ing.* LENI: Lighting Energy Numeric Indicator) adı verilen sayısal bir değer bulunur. Bu değer metrekare başına yıllık elektrik enerjisi tüketimini (kWh/m².yıl) ifade etmektedir. Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ'in 5 no'lu ekinde binanın aydınlatma enerji gereksinimlerinin Türkiye koşullarına göre nasıl hesaplanacağı kapsamlı bir şekilde verilmektedir (BİB, 2010b). Buna göre, AESG, 2.1 no'lu denklem ile hesaplanabilmektedir.

(2.1)

$$AESG = \frac{W}{A} [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{yıl})]$$

W yıllık aydınlatma amaçlı tüketilen toplam elektrik enerjisi
A binanın toplam kullanım alanı

Binanın aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisi; aydınlatma elemanlarının tüketilen aydınlatma enerjisi (*lighting energy*) (W_L) ile acil durum aydınlatması şarjı ve aydınlatma kontrol sistemlerinin tükettiği enerjilerden oluşan parazit enerjinin (*parasitic energy*) (W_P) toplamı olarak ifade edilmektedir (2.2).

$$W = W_L + W_P [\text{kWh}] \quad (2.2)$$

Aydınlatma ve parazit enerjiler 2.3 ve 2.4 no'lu denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$W_L = P_n F_C F_O (t_D F_D + t_N) [\text{kWh}] \quad (2.3)$$

$$W_p = P_{PC}(t_Y - t_D - t_N) + P_{em}t_{em} \text{ [kWh]} \quad (2.4)$$

P_n	aydınlatma sisteminin kurulu gücü
P_{PC}	toplam kurulu parazit güç
P_{em}	acil durum aydınlatması sisteminin şarj güçleri toplamı
F_D	güneşiği bağımlılık faktörü
F_O	kullanıma bağlı faktör
F_C	sabit aydınlık düzeyi faktörü
t_D	güneşiği varken çalışma saatleri
t_N	güneşiği yokken çalışma saatleri
t_Y	standart yıl zamanı (8760 saat)
t_{em}	acil durum aydınlatması şarj süresi

2.3 ve 2.4 no'lu denklemlerden de anlaşılacağı gibi, AESG değerinin hesaplanmasında aydınlatma kurulu gücünün yanı sıra birçok faktör toplam aydınlatma enerjisi tüketimi üzerinde etkilidir. Aydınlatma sistemleri güneşiğine bağlı olarak ya da varlık algılayıcıları ile kontrol edildiğinde enerji tüketiminde azalma olacağı beklendiğinden, 2.3 denklemindeki güneşiği bağımlılık faktörü (F_D) ve kullanıma bağlı faktör (F_O) önemli etkenler olarak nitelendirilebilir.

Gün ışığı bağımlılık faktörü (F_D), gün ışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve yapay aydınlatma kontrol tipi değişkenine ($F_{D,C}$) bağlı olarak 2.5 no'lu denklemdeki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C}) \quad (2.5)$$

Güneşiği sağlama faktörü, bina geometrisi ve dış engellerin hacme giren gün ışığı üzerindeki etkisine, binanın bulunduğu bölgedeki iklim koşullarına ve sağlanması gereken aydınlık düzeyine göre değişmektedir. Dolayısıyla binaya güneşiğinin girişini sağlayan pencere, çatı açıklığı ya da giydirmeye cephe gibi sistemlerin geometrisi ve fiziksel özellikleri kullanılarak ilgili hacimdeki güneşiği etkisinin zayıf, orta ya da güçlü olduğu hesaplanabilmektedir. Farklı pencere ya da çatı açıklıklarının yerleşimlerine bağlı güneşiği etkisi hesapları ulusal hesap yönteminde detaylandırılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak Türkiye'de yer alan enlem dereceleri için, farklı güneşiği etkileri (zayıf, orta, güçlü) altında güneşiği sağlama faktörleri ($F_{D,S}$) gerekli aydınlık düzeylerine bağlı olarak hesaplanarak Çizelge 2.1'de verilmiştir. Güneşiği etkisinin zayıf, orta ve güçlü olma durumu TS EN 15193 standardında detaylıca anlatılmaktadır (BİB, 2010c).

Çizelge 2.1 : Türkiye’de yer alan enlemler için hesaplanmış $F_{D,S}$ değerleri.

Aydınlık Düzeyi [lx]	Günüşiği Etkisi	Enlem					
		36	37	38	39	40	41
300	Zayıf	0.8213	0.8096	0.7979	0.7862	0.7745	0.7628
	Orta	0.9281	0.9175	0.9069	0.8963	0.8857	0.8751
	Güçlü	0.9736	0.9648	0.9560	0.9472	0.9384	0.9296
500	Zayıf	0.6048	0.5954	0.5860	0.5766	0.5672	0.5578
	Orta	0.8213	0.8096	0.7979	0.7862	0.7745	0.7628
	Güçlü	0.9260	0.9150	0.9040	0.8930	0.8820	0.8710
750	Zayıf	0.4280	0.4213	0.4146	0.4079	0.4012	0.3945
	Orta	0.6526	0.6428	0.6330	0.6232	0.6134	0.6036
	Güçlü	0.8456	0.8335	0.8214	0.8093	0.7972	0.7851

Günüşiğine bağlı yapay aydınlatma kontrol tipi de, aydınlatma enerji tüketiminde kontrol sistemleri ile sağlanacak tasarruf miktarı üzerinde etkilidir. Farklı yapay aydınlatma kontrol sistemi tipleri (elle, otomatik) ve farklı günüşiği etkilerindeki (zayıf, orta, güçlü) $F_{D,C}$ değerleri Çizelge 2.2’de verilmektedir (BİB, 2010c).

Çizelge 2.2 : Farklı günüşiği etkilerindeki yapay aydınlatma kontrol tipine bağlı değişken ($F_{D,C}$) değerleri.

Yapay aydınlatma sisteminin kontrolü	$F_{D,C}$ Değerleri		
	Zayıf	Orta	Güçlü
Elle (Manuel)	0.20	0.30	0.40
Otomatik	0.75	0.77	0.85

Aydınlatma enerjisi tüketimini etkileyen bir diğer faktör kullanıma bağlı faktör (F_O)’dür. Bina tiplerine ve farklı hacimlere göre kullanıcı yoğunlukları ve binanın kullanım saatleri değişebilmektedir. Bu nedenle aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplanırken ilgili hacmin kullanım oranı da göz önünde bulundurulmaktadır. Kullanıma bağlı faktör, aydınlatma kontrolüne ve kullanıcı yokluk durumuna bağlı olarak 2.6, 2.7 ve 2.8 no’lu denklemlerle hesaplanabilmektedir.

$$F_O = [7 - (10 \times F_{oc})] \times (F_A - 1) \quad (0.9 \leq F_A \leq 1) \quad (2.6)$$

$$F_O = F_{oc} + 0.2 - F_A \quad (0.2 \leq F_A < 0.9) \quad (2.7)$$

$$F_O = 1 - [(1 - F_{oc}) \times F_A / 0.2] \quad (0 \leq F_A < 0.2) \quad (2.8)$$

Bu denklemlerde $F_{O,C}$ kullanıma bağlı faktörün aydınlatma kontrol tipine göre değişimini; F_A ise yokluk faktörünü ifade etmektedir. Yokluk faktörü hacimde kullanıcının bulunmadığı durumlara ilişkin bir parametredir ve değerleri ulusal hesaplama yönteminde bina ve hacim türlerine göre ayrıntılı olarak verilmektedir (BİB, 2010b). Hareket/varlık algılayıcılarının binanın aydınlatma enerjisi tüketimine etkisini gösteren $F_{O,C}$ değerleri ise Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Aydınlatma kontrol tipine göre $F_{O,C}$ değerleri.

Otomatik Hareket Algılayıcısı Olmayan Mekanlar	$F_{O,C}$
Elle açma kapama anahtarı	1.00
Elle açma kapama anahtarı – otomatik söndürme sinyali ilaveli	0.95
Otomatik Hareket Algılayıcısı Olan Mekanlar	$F_{O,C}$
Otomatik açma / loşlaştırma	0.95
Otomatik açma / kapama	0.90
Elle (manuel) açma /loşlaştırma	0.90
Elle (manuel) açma /kapama	0.80

Aydınlatma enerjisi tüketimini etkileyen diğer bir parametre ise sabit aydınlık düzeyi faktörü (F_C)'dür. Bu faktör, özellikle yeni tesis edilmiş bir aydınlatma sisteminin sağlayacağı yüksek aydınlık düzeylerini istenilen değerde tutmak için ayarlanmış loşlaştırma fonksiyonuna sahip aydınlatma kontrol sistemlerinin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Yukarıda açıklanan faktörlerin hesaplanmasında, binanın fiziksel yapısı ile ilgili birçok farklı veri dikkate alınmaktadır. Örneğin günışığı bağımlılık faktörü, ilgili hacimdeki gün ışığı katkısına ve kontrol sisteminin yapısına göre belirlenmektedir. Söz konusu faktörün hesaplanabilmesi için binanın coğrafi konumunun (enlem ve boylam bilgisi) yanı sıra hacme ilişkin cephe geometrisi, dış engeller gibi oldukça detaylı veri gruplarının ve de kontrol sisteminin elle veya otomatik olması gibi durumların dikkate alınması; benzer şekilde diğer faktör ve parametrelerin belirlenmesi için de her bir hacim için ilgili verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, AESG hesaplanırken dikkate alınan parametreler ve bu parametrelerin hesaplanabilmesi için gerekli denklem takımları ile bu denklemleri oluşturan veri grupları Çizelge 2.4'te toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 2.4 : AESG değerinin hesaplanması için gerekli veri grupları.

İlgili denklem	İlgili Prm.	Veri grubu	Açıklama	Birim
$P_n = n_a \times n_1 \times (P_1 + P_e) / 1000$	A	a	Hacmin eni	m
		b	Hacmin boyu	m
	P _n	n _a	Armatür sayısı	#
		n ₁	Armatürdeki lamba sayısı	#
		P ₁	Lamba gücü	W
		P _e	Yardımcı eleman gücü (kayıplar)	W
$F_C = (1 + BF) / 2$	BF	Armatür tipi	Armatür tipine bağlı olarak tablodan değer eldesi	-
$F_O \sim F_{OC}, F_A$	F _{OC}	Kontrol tipi	Kontrol tipine bağlı olarak tablodan değer eldesi	-
	F _A	Hacim türü	Hacim türüne bağlı olarak tablodan değer eldesi	-
$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C})$	F _{D,S}	Y	Enlem	°
		E _m	Gerekli aydınlık düzeyi	lx
		Pencere düzeni	Pencerelerin yerleşim şekli	-
		H _{pen}	Pencere yüksekliği	m
		W _{pen}	Pencere eni	m
		H _{li}	Pencere üst kodu yüksekliği	m
		H _{çd}	Çalışma düzlemi yüksekliği	m
		Y _{O,OB} (EA)	Karşı bina açısı	°
		Y _{O,OV} (EA _{saçak})	Yatay saçak açısı	°
		Y _{O,VF} (EA _{fin})	Düşey gölgeleme elamanı açısı	°
		h _{At}	Bulunulan kattan atrium en üst nokt. yüks.	m
		I _{At}	Atrium veya iç havlunun boyu	m
		w _{At}	Atrium veya iç havlunun eni	m
		τ _{At}	Atrium camının ışık geçirgenliği	-
		k _{AT1}	Atrium pen. doğrama faktörü	-
		k _{AT2}	Atrium cam kirlilik faktörü	-
		k _{AT3}	Atriuma dik gelmeyen ışık düzeltmesi	-
		τ _{GDF}	Giydirme cephe ışık geçirgenliği	-
		k _{1GDF}	Pencere doğrama faktörü	-
		k _{2GDF}	Cam kirlilik faktörü	-
		k _{3GDF}	Dik gelmeyen ışık düzeltmesi	-
		τ	Cam ışık geçirgenlik faktörü	-
		k ₁	Pencere doğrama faktörü	-
		k ₂	Cam kirlilik faktörü	-
k ₃	Dik gelmeyen ışık düzeltmesi	-		
F _{D,C}	Kontrol tipi	Kontrol tipine bağlı olarak tablodan değer eldesi	-	
$W_p = P_{PC}(t_Y - t_D - t_N) + P_{em} t_{em}$	P _{PC}	Toplam kurulu parazit güç	kW	
	t _{em}	Acil durum ayd. şarj süresi	saat	
	P _{em}	Acil durum ayd. şarj güçleri	kW	

2.2.3 AESG hesaplama yönteminin uygulanması ile ilgili tespit edilen sorunlar ve çözüm önerileri

Çizelge 2.4'ten de görüldüğü üzere, bir binanın aydınlatma enerji performansının hesaplanması amaçlı AESG hesaplarında, binanın her bir hacmi ile ilgili gerekli tüm verilerin belirlenip hesaba katılması gerekmektedir. Bu da hiç şüphesiz ki detaylı veri toplama, toplanan verilerin değerlendirilmesi, doğru yorumlanması ve doğru veri girişi süreçlerini de beraberinde getirmektedir. Bu süreçlerde gerek hesaplama yönteminin yapısı, gerekse yöntemin mevcut binalara uygulanışı ile ilgili bazı sorunların ortaya çıktığı belirlenmiştir (Erkin ve diğ., 2011). Bu kapsamda, hesap sonuçlarına etki edebilecek kritik noktalar tespit edilerek, belirlenen sorunlara çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır.

Öncelikle, AESG değerinin hesaplanmasında en kritik noktalardan biri verilerin güvenilirliğidir. Özellikle mevcut binalarda karşılaşılan önemli bir sorun, bina plan ve projelerinin güncel olmamasıdır. Eğer mevcut bir binadan veri toplama işlemi plan ve projeler üzerinden yapılıyorsa, veriler mutlaka binada fiziksel olarak da doğrulanmalıdır. Bunun yanı sıra teknik personel desteği alınırken lamba, balast tipi ve güçleri, camların ışık geçirgenliği gibi teknik konularda yanlış yönlendirmeler yapılabilmektedir. Bu gibi durumlarda toplanan verilerin doğruluğu sorgulanmalı, emin olunmayan durumlar için ölçümler yapılmalıdır. Şüphesiz ki veri toplayan kişi ya da kişilerin de aydınlatma sistemleri ve tekniği konusunda belirli bir bilgi birikimine sahip olmaları gerekmektedir.

Bazı durumlarda veri elde etmek mümkün olmayabilir. Örneğin, binaların bazı hacimlerinde aydınlatma sistemleri bulunmayabilir. Bu durum ile daha çok tadilat geçiren binalarda ya da kiracıların binayı terk ettiğinde aydınlatma sistemini de beraberinde götürüyor olması gibi durumlarda karşılaşılabılır. Bu durum için hesaplama yönteminde her hangi bir yaklaşım bulunmamakla birlikte, söz konusu hacmin alanının AESG hesaplarında hariç tutulması gerekir. Bunun yanında bazı bina hacimlerine güvenlik ya da başka bir nedenle girilmesine müsaade edilmiyor olabilir. Hiçbir şekilde ulaşılamayan hacimler için bina teknik personeli aracılığı ile bu bilgilerin temin edilmesi yoluna gidilmelidir.

AESG değerinin hesaplanmasındaki en önemli sorun bina hacimlerinin standartlara uygun aydınlık düzeyi değerlerine göre aydınlatılmamış, başka bir deyişle

standartlarda tanımlanan aydınlık düzeyi değerlerini sağlayamamış olmasıdır. TS EN 15193 standardında, enerji performansı hesaplanacak mevcut bir binanın aydınlatma tasarımının TS EN 12464-1 standardındaki gerekler yerine getirilerek yapılmış olduğu kabul edilir. Yeni yapılan binalarda, bu standarda göre önerilen aydınlık düzeyi değerleri maksimum %10 hata ile hesaplanmalıdır. Mevcut binalarda ise aydınlatma sistemlerinin bu değerleri sağlayacak şekilde revize edilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Diğer yandan, ofis ve ilkokul binalarında gerçekleştirilmiş aydınlatma etütlerinden elde edilen verilerle, binalardaki mevcut durumlardaki ortalama aydınlık düzeylerinin gerekli olan değerlerin yaklaşık üçte biri değerinde olabildiği de saptanmıştır (Gasparovsky ve diğ., 2009; Gasparovsky ve diğ., 2010). Bu durumda daha düşük aydınlık düzeyini sağlayan bir aydınlatma sisteminin enerji tüketimi ve dolayısıyla AESG değeri, gerekli kriterleri sağlayan bir aydınlatma sisteminin AESG değerinden daha düşük olacaktır. Başka bir deyişle gerekli kriterleri sağlamayan tesisatların performansı sayısal olarak daha iyi gözükecektir. Bu yanıltıcı durumun ortadan kaldırılabilmesi için, aydınlatma sistemlerinin sadece kurulu güçlerinin değil, sağladıkları aydınlık düzeylerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Gerekli kriterleri sağlayamayan hacimler için AESG değerleri, aydınlık düzeyi düzeltme faktörü (F_{Em}) ile denklem 2.9 ve 2.10'da verildiği üzere karşılaştırılabilir hale getirilebilir. Söz konusu yaklaşımla, düzeltme faktörünün hesaplanmasında ulusal hesap yönteminde de belirtildiği üzere %10'luk bir tolerans dikkate alınmıştır. Bu durumda, söz konusu hacimde gerekli aydınlık düzeyinin %90'ından daha az bir aydınlık düzeyi sağlanıyor ise aydınlık düzeyi düzeltme faktörü AESG hesaplarına dahil edilmesi önerilmektedir (Erkin ve diğ., 2009).

$$W_{Ln'} = P_n F_C F_O F_{Em} (t_D F_D + t_N) \quad [\text{kWh}] \quad (2.9)$$

$$F_{Em} = \frac{E_r}{E_m} \quad E_m < 0.9 \times E_r \quad (2.10)$$

$$F_{Em} = 1 \quad E_m > E_r$$

$W_{Ln'}$	düzeltilmiş AESG değeri
F_{Em}	aydınlık düzeyi düzeltme faktörü
E_r	gerekli aydınlık düzeyi
E_m	sağlanan aydınlık düzeyi

Bir binanın, sadece aydınlatma enerji performansının belirlenebilmesi için bile çok sayıda girdi gerekliliği elbette ki bazı hataları ve karmaşıklıkları da beraberinde getirecektir. Hesaplama yöntemindeki bazı kabuller, özellikle mevcut binaların aydınlatma enerji performansının hesaplanmasında karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşamamasına sebep olabilecektir. Bu gibi durumlar çok iyi irdelenerek, gerek veri toplama gerek hesaplama süreci ile ilgili pratik uygulama kılavuzları hazırlanmalıdır. Özellikle mevcut binalar için doğru uygulama örneklerine ihtiyaç vardır. Öte yandan, 2017 yılına yaklaşıldığında mevcut binaların enerji kimlik belgesi edinme talebi artacağından, olası yığılmanın önlenmesi için gerekli hazırlıkların önceden yapılması da önem arz etmektedir.

Tez çalışmasında geliştirilmesi amaçlanan aydınlatma enerji performansı ve tasarruf potansiyeli hesaplama yazılımı kapsamında, bu bölümde tartışılan kritik noktalar dikkate alınarak ilgili çözüm önerileri uygulanmaya çalışılacaktır.

3. OFİS BİNALARINDA AYDINLATMA

Binalarda, diğer nihai tüketim sektörlerinden farklı olarak, elektrik enerjisinin önemli bir bölümü aydınlatma sistemleri tarafından tüketilmektedir. Bina tipine ve kullanım amacına göre değişmekle birlikte aydınlatmanın payı %50'lere kadar çıkabilmektedir. Binalarda toplam enerji tüketimi incelendiğinde ise aydınlatmanın oranının %10'dan fazla olduğu belirtilmektedir (Loftness, 2004). Örneğin bir çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nde kamu binalarında aydınlatmanın elektrik enerjisi tüketimindeki payının %25 ile %40 arasında değiştiği ifade edilmektedir (Krarti, 2000). Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA, *ing. International Energy Agency*) 2006 yılında yayınladığı raporda, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD, *ing. Organisation for Economic Co-operation and Development*) üyesi olmayan ülkelerdeki ticari binalarda elektrik enerjisi tüketimi içinde aydınlatmanın payı %41 olarak verilmektedir (IEA, 2006). Avrupa Birliği'nde ise bu oranın ofisler için %50, hastaneler için %20 ila %30, endüstri tesislerinde %15, okullarda %10 ila %15 ve konutlarda %10 civarında olduğu, özellikle de eski ofis binalarında elektrik enerjisi tüketiminde en fazla paya sahip tesisatların aydınlatma sistemleri olduğu belirtilmektedir (EC, 2006).

Ofis binalarında en sık kullanılan lamba tipi flüoresan lambalardır. 2005 verilerine göre OECD üyesi olan ülkelerdeki ticari binalarda yapay aydınlatma amaçlı kullanılan ışığın %76,5'i tüp flüoresan lambalar (TF), geri kalanı da enkandesen, kompakt flüoresan (KFL) ve metal halide lambalar tarafından üretilmiştir (IEA, 2006). Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ticari binalarda en yaygın kullanılan lamba tipinin yine flüoresan lamba olduğu açıklanmaktadır. Aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin %56'sından flüoresan lambalar, %32'sinden enkandesen lambalar ve %12'sinden de metal halide lambalar sorumludur (Navigant, 2002). Avrupa Birliği'ndeki ofis binalarında ise, yine flüoresan lambalar, özellikle de tüp flüoresan lambalar, en yaygın kullanılan lamba tipidir. Avrupa'daki üç ülkede (Belçika, Almanya ve İspanya) mevcut ve yeni ofis binaları için yapılan çalışmada, flüoresan lambaların en fazla paya sahip olduğu ancak Belçika ve İspanya'da

flüoresan lamba dışındaki lamba oranlarının da fazla olduğu görülmektedir (Tichelen ve diğ., 2007). Flüoresan lamba dışında kullanılan enkandesen ve halojen lambaların oranı OECD üyesi olmayan ülkelerde %4.8 iken, OECD ülkelerinde daha da düşüktür (IEA, 2006). Tichelen ve diğ. (2007)'nin çalışmasında açıklanan mevcut ve yeni ofis binaları için kullanılan lamba tiplerinin oranları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Ofis binalarında kullanılan lamba tiplerinin oranları (Tichelen ve diğ., 2007).

Lamba Tipi	Belçika	Almanya	İspanya
Flüoresan Lamba	% 80	% 99	% 70
KFL	% 10	% 5	% 15
T8 TF	% 80	% 90	% 75
T5 TF	% 10	% 5	% 10
Diğer	% 20	% 1	% 30

KFL: Kompakt flüoresan lamba; TF: Tüp flüoresan lamba

Dünya genelinde ticari binaların metrekare başına aydınlatma kurulu güçleri ve elektrik enerjisi tüketimleri incelendiğinde, en fazla kurulu gücün 17.4 W/m^2 ile Kuzey Amerika'da, en düşük kurulu gücün ise 12.6 W/m^2 ile Japonya ve Kore'de bulunduğu; metrekare başına elektrik enerjisi tüketimlerinin ise yıllık işletme saatlerine bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterdiği görülmektedir (IEA, 2006). Bunun yanında, aydınlatma sistemlerinin lm/W cinsinden etkinlik faktörleri de 43.5 ila 62.7 lm/W arasında değişmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2: Ticari binaların aydınlatma enerji tüketim karakteristikleri (IEA, 2006).

Bölge	Ortalama Kurulu Güç [W/m^2]	Metrekare Başına Ortalama Yıllık Enerji Tüketimi [kWh/m^2]	Ortalama Yıllık İşletme Süresi [h]	Aydınlatma Sistemi Etkinlik Faktörü [lm/W]
Japonya/Kore	12.6	33.0	2583	62.7
Avustralya	16.5	31.7	1924	43.5
Kuzey Amerika	17.4	55.4	3828	50.1
OECD Avrupa	15.5	27.7	1781	46.1
OECD	15.6	43.1	2867	49.6

Türkiye'de ise, toplam sayısı yaklaşık sekiz milyon olan binaların %75'lik paya sahip konutların dışında kalan bölümünün yaklaşık dörtte birini ofis binaları oluşturmaktadır (TUİK, 2000). Sayıları fazla olmasına rağmen elektrik enerjisi tüketiminde konutların payı %25 iken, daha az sayıdaki ofis binaları yaklaşık

%20'lik paya sahiptirler (TEDAŞ, 2009). Ülkemizde istatistiksel veriler, özellikle de aydınlatma sistemleri gibi binalarda enerji tüketen sistemlere ait veriler kısıtlı olmasına rağmen, elektrik enerjisi tüketimi içinde aydınlatma payının yaklaşık %30'lara kadar çıkabildiği söylenebilmektedir. Onaygil ve diğ. (2005)'nin ticari binaların elektrik enerjisi tüketiminde aydınlatma paylarının belirlenmesi konulu çalışmasında, bazı ofis binalarının aydınlatma kurulu güçleri ve kullanım sürelerine göre hesaplanan yıllık enerji tüketimleri incelenmiştir (Çizelge 3.3). Çalışma kapsamında incelenen ofis binalarında, elektrik enerjisi tüketimi içinde aydınlatmanın payının %10 ila %27 arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Binaların metrekare başına kurulu güçleri incelendiğinde ise, dünya genelinin biraz altında kaldığı, ancak metrekare başına yıllık enerji tüketimlerinde dünya geneline benzer biçimde kullanım sürelerine göre değişiklikler gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.3: Türkiye'de ofis binaların aydınlatma enerji tüketim karakteristikleri (Onaygil ve diğ, 2005).

Bina No.	Ortalama Kurulu Güç [W/m²]	Metrekare Başına Ortalama Yıllık elektrik enerjisi Tüketimi [kWh/m².yıl]	Aydınlatma Sistemi Etkinlik Faktörü [lm/W]	Aydınlatmanın Toplam Elektrik Tüketimindeki Payı [%]
1	12.3	27.8	62.4	21.2
2	11.2	26.3	71.2	23.9
3	12.0	97.8	69.9	16.7
4	14.5	36.4	59.6	21.0
5	10.7	35.6	50.8	10.0
6	7.2	20.1	47.7	13.1
7	9.8	31.2	55.9	27.1

Yine aynı çalışmada, binalardaki lambaların tiplerine göre dağılımı incelenmiş, Tichelen ve diğ. (2007)'nin çalışmasına benzer şekilde flüoresan lambaların yaklaşık %90'lık pay ile büyük bir kullanım oranına sahip olduğu görülmüştür. Bina 1'de kullanılan lambaların %88.2'si, Bina 2'de ise %68.1'i tüp flüoresan lambalardır. Çalışma kapsamında flüoresan lambaların çeşitlerine bakıldığında, Bina 1'de kullanılanların %84'ünün 18 W, %16'sının ise 36 W gücünde manyetik balastlı lambalar olduğu görülmektedir. Bina 2'deki tüp flüoresan lambaların ise tamamı elektronik balastlı olup %80'i 14 W, %14'ü 18 W ve %6'sı ise 36 W gücündedir. Benzer şekilde, diğer ofis binalarındaki tüp flüoresan lambalı tesisatlarda da çoğunlukla 60 cm x 60 cm boyutlarında, içlerinde 4 adet 18W gücünde T8 ya da 14

W gücünde T5 tüp flüoresan lambalar bulunan armatürler yer almaktadır. Bunun yanında, söz konusu ofis binalarında 30 cm x 120 cm boyutlarında, 2 adet 36 W gücünde T8 ya da 2 adet 28 W gücünde T5 tüp flüoresan lamba bulunan armatürler de bulunmaktadır. Aydınlatma sistemlerinin tesis edildiği tavan yapısı, ofis binalarının tasarım özelliklerine göre değişmekle birlikte, temel olarak çıplak tavan ya da asma tavan olarak ikiye ayrılmaktadır. Çıplak tavanlarda herhangi bir bileşen yoktur ve armatürler genelde sıvaüstüne direkt ya da askı aparatları ile tesis edilmektedir. Asma tavanlar ise metal asma tavanlar, taş yünü asma tavanlar, alçıpan asma tavanlar gibi farklı çeşitlere sahiptirler. Bu kapsamda, aydınlatma sistemleri montaj şekline göre sıva altı ve sıva üstü olarak ikiye ayrılabilir.

Ülkemizdeki ofis binaları, resmi daireler ve kamu binaları ile özel sektöre ait binalar olmak üzere temel olarak ikiye ayrılabilir. Bunun yanında ofis binalarını yapısal olarak klasik ofis binaları ve yüksek yapılar olarak da gruplamak mümkündür. Gerek kamuya, gerekse özel sektöre ait hem klasik tipte hem de yüksek yapı binalar mevcuttur. Özellikle son yıllarda ülkemizde sıkça yüksek yapı binalar inşa edilmeye başlanmıştır. Yukarıdaki açıklamaların ışığında, yeni yapılan binalara göre özellikle eski nesil aydınlatma sistemlerinin kullanıldığı klasik tipteki mevcut kamu ve özel sektöre ait binalarda, aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyelinin oldukça yüksek olabileceği söylenebilmekle beraber, ülkemizde bu konu ile ilgili kayda değer bir veriye rastlamak mümkün değildir. BEP Yönetmeliği yaygın olarak uygulanmaya başladıktan sonra, bu konuda detaylı bir ulusal veritabanına sahip olunabilecektir. Ancak, BEP Yönetmeliği ile tanımlanan hesaplama yöntemi aydınlatma sistemlerinin sadece mevcut durumunu ortaya koymaktadır. Enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenebilmesi için ofis binalarında performans hesaplarından ayrı olarak, enerji tasarruf potansiyellerinin de hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda, mevcut aydınlatma sistemi yerine önerilecek verimli aydınlatma sisteminin öncelikle aydınlatma kalite kriterlerini sağlaması istenmektedir. Bu kriterleri sağlayabilen tasarımların uygulanabilir ve ekonomik; armatürlerin ise kolay ulaşılabilir, satın alınabilir olabilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde öncelikle, ofis aydınlatması için sağlanması gereken aydınlatma tasarım kriterleri, ilgili standartlardan örnekler verilerek tanımlanmış ve görsel konfor koşulları başta olmak üzere kaliteli bir aydınlatma yaratılabilmesi için aydınlık düzeyi, düzgünlük, parlılık dağılımı, kamaşma, renksel özellikler ve renk sıcaklığı gibi

tüm kriterler irdelenerek, bu koşulları enerji etkin olarak sağlayabilecek aydınlatma sistemlerinin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra, ilgili tasarım kriterlerini sağlayabilecek aydınlatma sistemleri hakkında bilgiler verilerek, aydınlatma sistemlerinde karşılaşılan performans ve verimlilik göstergeleri özetlenmiştir.

3.1 Aydınlatma Tasarım Kriterleri

Ofis olarak kullanılan binaların aydınlatması çalışanların görsel konforu, performansı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple, kaliteli bir aydınlatmadan bahsedebilmek için sadece gerekli ortalama aydınlık düzeyinin ve düzgünlüğün sayısal olarak sağlanmasının yanı sıra parıltı dağılımı, kamaşma, ışığın ve yüzeylerin renksel özellikleri, fliker olayı, günışığı ve bakım gibi birçok parametreye dikkat edilmeli, aydınlatma tasarımı gerekli tüm kriterler sağlanarak gerçekleştirilmelidir (Veitch ve Newsham, 1998).

Ofis binalarında tipik olarak okuma, yazma, bilgisayar kullanma, görsel ve işitsel iletişim kurma, video izleme ya da görmeye dayalı daha detaylı işler yapma gibi birçok eylem gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple, ofis aydınlatmasında öncelikle görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi ve görmeye dayalı bir işin hızlı ve doğru yapılması olarak tanımlanan görsel performansın yüksek tutulması gerekir (CIE, 1987). Aydınlatma koşullarının yüksek tutulması, çalışanların çalışma performansında önemli bir artışa sebep olabilmektedir. Literatürde, aydınlatma ve çalışma performansının ilişkisini araştıran ilk çalışmalar 1920'li yıllarda gerçekleştirilmiş ve uygun aydınlık düzeylerinin sağlanması ile çalışma performansının arttığı belirlenmiştir (Weston, 1922; Weston ve Taylor, 1926). Hüge ve Macnelis'in (1978) çalışmasında, katiplerin çalıştığı ofis hacminde ortalama yatay aydınlık düzeyinin 500 lx'ten 1500 lx'e çıkarılması ile çalışma performansında %9 artış olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde bir başka çalışmada, üretim hacimlerinde aydınlık düzeylerinin iyileştirilmesi ile çalışma performansında %7.7 oranında bir artış tespit edilmiştir (Juslén, 2007). Literatürde yer alan benzer çalışmalar, aydınlatma tasarım kriterlerinin, görsel performansın yüksek tutulacak şekilde optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Görsel performans da en genel olarak aydınlık düzeyinin yüksek tutulması ile arttırılabilir. Ancak bazı çalışmalar da, belli bir düzeyden sonra aydınlık düzeyindeki artışın görsel performansın üzerinde pozitif

bir etki yapmadığını göstermektedir (Rea ve Ouellette, 1991; CIE, 2002). Diğer bir bakış açısıyla, belirlenen optimum aydınlık düzeyinin üzerine çıkılması, gereğinden fazla enerji tüketimine sebep olacaktır. Bu kapsamda, görsel performansın ve enerji tüketiminin dengeli bir biçimde sağlanabilmesi için öncelikle standartlarca belirlenmiş optimum aydınlık düzeyi değerini sağlayan, enerjiyi etkin kullanabilen, bununla birlikte tanımlanmış diğer kalite kriterlerini sağlayabilecek aydınlatma sistemlerinin tesis edilmesi gerekmektedir.

Ofis aydınlatması için gerekli olan aydınlatma kalite kriterleri çeşitli standart ve öneri dökümanlarında tanımlanmıştır (CIE 2001; CEN 2004a; CIBSE 2009; IESNA 2011). Standartlarda temel olarak görsel konforu yüksek tutmaya yönelik sağlanması gereken değerler verilmektedir. Bunun yanında öneri ve kılavuz dökümanlarında, sağlanması gereken temel tasarım değerlerinin yanında tavsiye niteliğinde bilgiler de verilmektedir. Buna göre aydınlatma tasarımının, çok düşük ya da çok yüksek aydınlık düzeyleri, parlak dağılımındaki dengesizlik, çok güçlü ve keskin gölgeler ya da fliker etkisi gibi görsel konforu bozabilen parametrelere dikkat edilerek gerçekleştirilmesi gerekir.

Tüm bunların yanında, aydınlatma tekniğinde hesaplama, ölçme, değerlendirme amaçlı birçok büyüklük de tanımlanmaktadır. Bu büyüklüklerin tanımları, Uluslararası Aydınlatma Sözlüğü'nde verilmektedir (CIE, 1987). Ülkemizde ise, uluslararası literatürde İngilizce, Almanca ve Fransızca olarak tanımlanmış ve kabul görmüş büyüklüklerin birden fazla Türkçe karşılığı bulunabilmektedir (Özkaya, 2000; Sirel, 1997; Ünver, 1992). Bunların bazıları uzun yıllardan beri Türkçe aydınlatma literatürüne girmiş, bazıları ise bunların yerlerine önerilen Öz Türkçe karşılıklarıdır. Tez kapsamında kullanılacak aydınlatma terim ve büyüklüklerinin Türkçe karşılıklarında karışıklık olmaması amacıyla, **Ek B**'de söz konusu terimlerin İngilizceleri ve Türkçe karşılıkları açıklanarak Çizelge B.1 oluşturulmuştur.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun S008/E:2002 no'lu uluslararası standardında ve bu standart temel alınarak CEN tarafından hazırlanan, ülkemizde TS EN 12464-1 olarak yürürlükte olan Avrupa Standardı'nda çalışma alanlarının iç aydınlatması ile ilgili tanımlar, tasarım kriterleri ve limitler açıkça belirtilmiştir (CIE, 2001; CEN, 2004a). Buna göre, bir ofis binasını oluşturan hacimler tanımlanmış, sağlanması gereken ortalama yatay aydınlık düzeyi, düzgünlük, kamaşma değerleri ile ışık kaynaklarına ait renksel özellikler verilmiştir. Bir ofis hacminin

aydınlatılmasında bu kalite kriterlerini sağlayacak tasarımların yapılması gerekmektedir.

3.1.1 Aydınlık düzeyi

Aydınlik düzeyinin tam olarak tanımlanabilmesi için öncelikle ışık şiddeti ve ışık akısı tanımlarının yapılması gerekir. Işık şiddeti, bir ışık kaynağından çıkıp birim uzay (Ω_α) içersinde yayılan ışık akısının (Φ) bir ölçüsüdür. Vektörel bir büyüklük olarak kabul edilebilir. Birimi candela (cd)'dir ve I ile gösterilir. SI birim sisteminde temel büyüklük olarak tanımlanmıştır.

$$I_\alpha = \frac{d\Phi}{d\Omega_\alpha} \quad [cd] \quad (3.1)$$

Bu kapsamda ışık akısı, ışık kaynağından yayılan toplam akı olarak ifade edilebilir. Daha başka tanımı ile, bir ışık kaynağından çıkan ve normal gözün tayfsal duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısıdır (Özkaya, 2000). Birimi lumen (lm)'dir ve Φ ile gösterilir.

$$\Phi = K_0 F V_\lambda \quad [lm] \quad (3.2)$$

K_0 enerji akısının fotometrik eşdeğeri (683 lm/W)
 F enerji akısı
 V_λ gözün tayfsal duyarlılığı

Aydınlik düzeyi ise, birim alana (A) dik düşen toplam ışık akısı miktarı (Φ) olarak tanımlanmaktadır (Özkaya, 2000). Birimi lüks (lx)'tür ve E ile gösterilir.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \left[\frac{lm}{m^2} \right], [lx] \quad (3.3)$$

Bir yüzeyde elde edilen aydınlık düzeyi, yüzeyin yansıtma özelliğinden bağımsızdır. Yüzeyin yansıtma faktörü ne olursa olsun, aydınlık düzeyi yüzeye dik gelen ışık akısı miktarına bağlıdır. Aydınlik düzeyi, aydınlatma tasarımındaki en temel büyüklüklerden biridir. Aydınlatma tasarımı, söz konusu çalışma düzleminde sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyinin belirlenmesi ile başlar. Ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}), yüzeye düşen toplam ışık akısının dik bileşenidir. Bir

hacimdeki ortalama aydınlık düzeyi, o hacmin çalışma düzlemine dik düşen toplam ışık akısının (Φ_d) hacmin alanına (A) oranıdır.

$$E_{ort} = \frac{\Phi_d}{A} \left[\frac{lm}{m^2} \right], [lx] \quad (3.4)$$

Bunun yanında, bir noktadaki aydınlık düzeyi hesabı, noktasal aydınlatma formülü yardımıyla hesaplanabilir. Buna göre, bir noktasal ışık kaynağının, kaynaktan d (m) kadar uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı aydınlık düzeyi, söz konusu noktaya dik düşen ışık şiddeti (I_d) ile düz, uzaklığın (d) karesi ile ters orantılı olarak hesaplanır (3.5). Yüzeğe dik düşen ışık şiddeti, yüzey normaline α açısıyla gelen ışık şiddetinin kosinüsü dikkate alınarak belirlenir. Mevcut aydınlatma programları, belirlenmiş hesap noktalarında bu yöntem ile aydınlık düzeylerini hesaplayarak ortalama aydınlık düzeyini hesaplarlar.

$$E = \frac{I_\alpha}{d^2} \times \text{Cos}\alpha \quad [lx] \quad (3.5)$$

Bir hacimde sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi değerleri, yapılan işe ve hacmin kullanım fonksiyonuna göre değişir. Fazla dikkat isteyen, görme koşullarının ön planda olduğu hacimlerde sağlanması gereken ortalama yatay aydınlık düzeyleri de yüksek olmaktadır. Örneğin, okuma-yazma gibi işlerin yapıldığı klasik bir ofis hacmi için sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi 500 lx'tür. Teknik çizim gibi daha detaylı işlerin yapıldığı hacimlerde ise 750 lx ortalama aydınlık düzeyinin sağlanması istenmektedir. İç aydınlatma ile ilgili sağlanması gereken aydınlık düzeyleri değerleri bazı standart ve öneri dökümanlarında verilmekle birlikte ülkemizde, TS EN 12464-1 standardı ile yürürlüktedir (CIE, 2001; CEN, 2004a; CIBSE, 2009; IESNA, 2011; TSE, 2004).

3.1.2 Düzgünlük

Ortalama aydınlık düzeyi hesaplanırken, çalışma düzlemindeki hesap noktalarında sağlanan aydınlık düzeylerinin ortalaması alınmaktadır. Dolayısıyla, her bir noktada farklı aydınlık düzeyleri oluşabilir. Ortalama düzgünlük ifadesi, çalışma düzleminde sağlanan aydınlık düzeyi dağılımının düzgünlüğünü ifade eder ve sağlanan minimum değerlerin ortalama değere oranı olarak hesaplanır ve U_0 ile gösterilir. Aydınlatma

tekniğinde, aydınlatma tasarımının belirli bir ortalama düzgünlük değerini sağlayacak şekilde yapılması istenir. Ancak tamamen düzgün bir aydınlık düzeyi dağılımı da görsel konfor koşullarını bozabilir (Halonen ve diğ, 2010). İç aydınlatma uygulamalarında, çalışılan iş üzerinde ortalama düzgünlüğün 0.7'den, hacmin tamamında ise 0.5'ten büyük olması istenmektedir (CIE, 2001; CEN, 2002; CIBSE, 2009; IESNA, 2011). Bu çalışma kapsamında, hacimsel yaklaşım yapıldığı için, hesaplarda ortalama düzgünlük değerleri 0.5'i sağlayacak şekilde ele alınacaktır.

3.1.3 Parıltı dağılımı

Ofis aydınlatmasında hacmi oluşturan yüzeyler aydınlatma sisteminin önemli bir parçası olarak görüldüğünden, yüzey yansıtma faktörlerinin değerleri ortalama düzgünlük ve aydınlık düzeyi, dolayısıyla enerji tüketimi üzerinde etkilidirler. Dolayısıyla, yüzeylerdeki parıltı dağılımı gerek görsel konfor gerekse aydınlatma kalitesi açısından önemli bir konudur.

Aydınlık düzeyinden farklı olarak parıltı terimi, yüzey yansıtma faktörüne, dolayısıyla yüzeyin yapısına bağlı bir büyüklüktür. Parıltı, bir yüzeyin birim alanından (A), belirli bir doğrultuda yayılan ışık şiddetidir (I_{α}). Birimi cd/m^2 'dir ve L ile gösterilir.

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dA} \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (3.6)$$

Parıltı, görmemizi sağlayan bir büyüklüktür. Cisimler ancak parıltıları ile gözde görme işlevini sağlayan hücreleri uyarabilmektedir. Dolayısıyla iç aydınlatmada hacmin yüzeylerindeki parıltı dağılımı görsel konfor açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, parıltı değerlerinin yüksek olması kamaşmaya, parıltı dağılımının düzgün olmaması adaptasyon sorununa, çok düşük parıltı değerlerinin olması ise rahatsız edici çalışma koşullarına sebep olacaktır (CIE, 2001; CEN, 2004a; TSE, 2004).

Hacim yüzeylerinin parıltıları, sağlanan aydınlık düzeyinin yanında yüzeylerin yansıtma faktörlerine bağlı olarak değişir. İç aydınlatma için, görsel konforun sağlanabilmesi açısından önerilen yüzey yansıtma faktörleri (ρ) aşağıdaki gibi verilmektedir (CIE, 2001; CEN, 2004a; TSE, 2004):

- Tavan 0.6 – 0.9
- Duvarlar 0.3 – 0.8
- Çalışma düzlemi 0.2 – 0.6
- Zemin 0.1 – 0.5

Hacim yüzeylerinin yansıtma faktörü üzerinde, kuşkusuz yüzey renkleri de etkindir. Koyu renklerin sağladığı yansıtma daha düşük iken, açık renklerin yansıtma faktörleri yüksektir. Aşağıda, bazı renklerin sağlayabildiği yaklaşık yansıtma faktörleri verilmektedir (TSE, 2007):

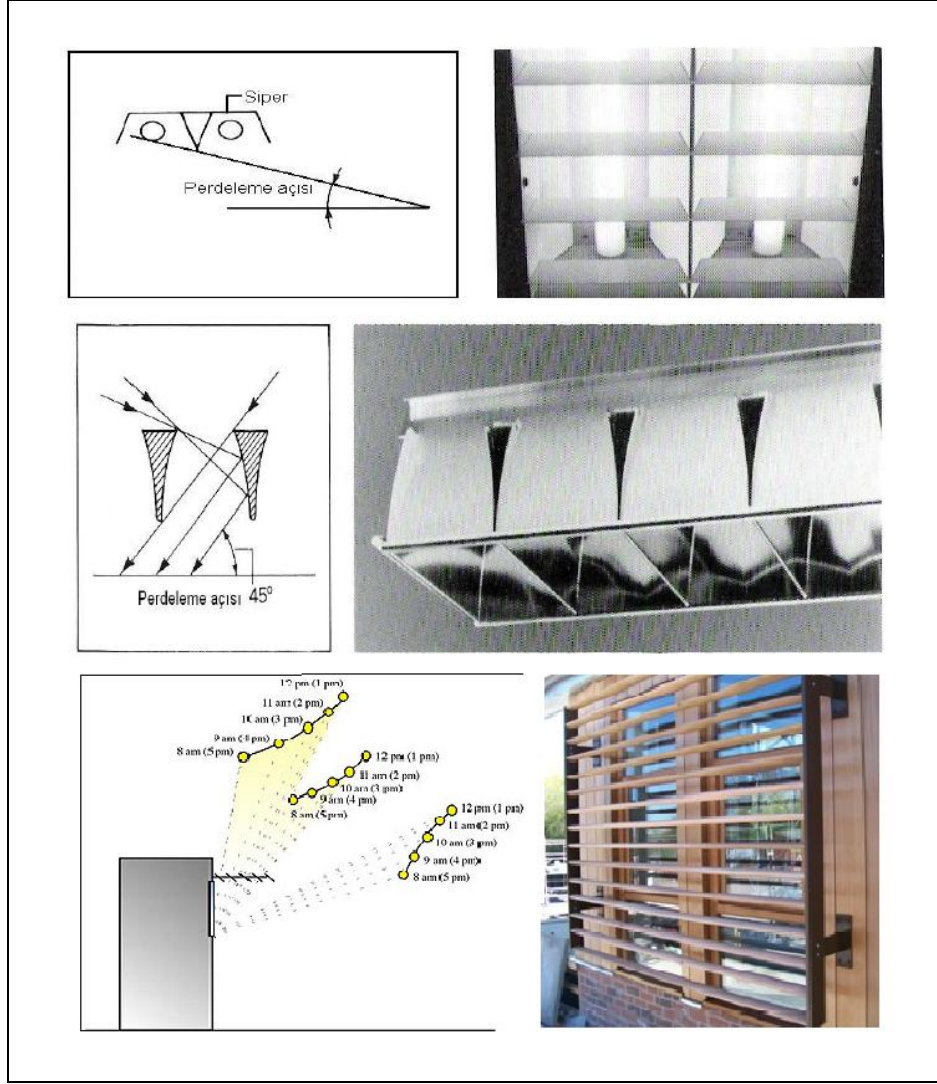
- 0.70: Çok açık (beyaz, saman rengi, kemik rengi, açık mavi, açık yeşil)
- 0.50: Açık (kavuniçi, sarı bej, turuncu)
- 0.30: Orta (gök mavisi, çimen yeşili)
- 0.10: Koyu (koyu mavi, deniz mavisi, koyu yeşil, koyu gri)

3.1.4 Kamaşma

Aydınlatmada kamaşma, psikolojik kamaşma (*ing. discomfort glare*) ve fizyolojik kamaşma (*ing. disability glare*) olarak ikiye ayrılır. Fizyolojik kamaşma göze giren ışık miktarı ile ilgilidir ve görme yeteneğinin bozulması ya da geçici olarak kaybolmasına neden olmaktadır. Psikolojik kamaşma ise, yüksek parlılığa sahip yüzeylerin, armatürlerin ya da pencerelerin görme koşullarında rahatsızlık oluşturması durumunda ortaya çıkar (CIE, 1987; Boyce, 2003). Şekil 3.1’de yüksek parlıtlı yüzeylere ait örnekler verilmektedir. Özellikle çıplak kullanılan lambalar ya da önü açık pencereler kamaşma sorunu yaratabileceğinden oluşabilecek yüksek parlıtlı değerlerinin optik elamanlar ya da gölgeleme elemanları ile perdelenmesi gerekmektedir (Şekil 3.2). TS EN 12464-1 standardında belirli lamba parlıtlı değerleri için sağlanması önerilen minimum perdeleme açıları verilmektedir (Çizelge 3.4).



Şekil 3.1 : Psikolojik kamaşmaya sebep olabilecek yüksek parlılığa sahip yüzeyler.



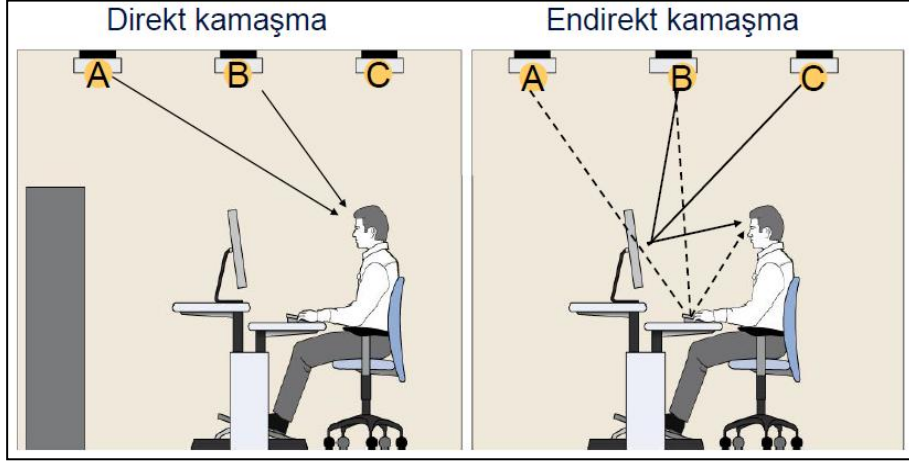
Şekil 3.2 : Işık kaynağı ve pencereler nedeniyle oluşabilecek yüksek parlıtlı değerlerinin perdelemesi.

Çizelge 3.4: Değişik lamba parlıtları için tanımlanan minimum perdeleme açıları (TSE, 2004).

Lamba parlıtları [kcd/m ²]	Minimum perdeleme açısı [°]
20 ila 50 arası	15°
50 ila 500 arası	20°
500'ten büyük	30°

Kamaşma iki şekilde gerçekleşebilir. Birincisi, yüksek parlıtlıya sahip yüzeylerin gözü doğrudan etkilemesiyle direkt kamaşma, ikincisi ise yüksek parlıtlıya sahip yüzeylerin bilgisayar ekranı ya da benzer yansıtıcı bir yüzeyden yansıyıp görme koşullarını dolaylı yolla bozmasıyla endirekt (dolaylı) kamaşmadır (Şekil 3.3). İç aydınlatmada kamaşma değerleri, direkt olarak meydana gelen psikolojik kamaşma için sınırlandırılmıştır. Psikolojik kamaşma değerinin hesabı, uzun süreler alan

deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan formüller ile gerçekleştirilmektedir (CIE, 1983; CIE, 1995).

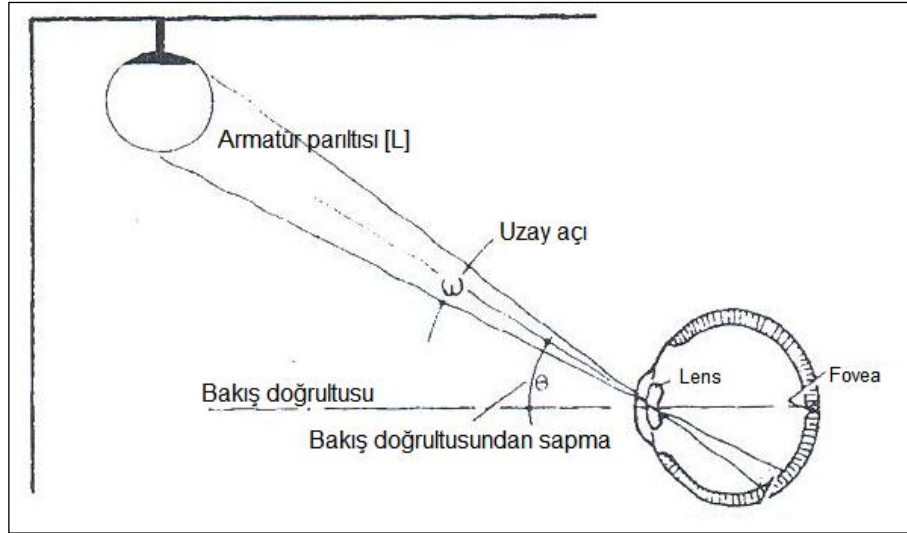


Şekil 3.3 : Direkt ve endirekt kamaşma.

Günümüzde, iç aydınlatma kalite kriterleri içerisinde tanımlanmış psikolojik kamaşma, birleşik kamaşma değeri (UGR – *ing. Unified Glare Rating*) hesaplanarak değerlendirilmektedir. UGR değerinin hesaplanması CIE'nin 117 no'lu yayınında detaylı olarak verilmektedir (CIE, 1995). Buna göre UGR değeri 3.7 no'lu denklemde gösterildiği şekilde hesaplanabilir. Hesaplamada kullanılan parametreler ise Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_f} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (3.7)$$

- L_f fon parlıltısı [cd/m^2]
- L gözlemciye göre her bir armatürün parlıltısı [cd/m^2]
- ω gözlemciye göre her bir armatür için ayrı ayrı hesaplanan uzay açısı [sr]
- p her bir armatür için Guth pozisyon endeksi (bakış doğrultusundan sapma açısına göre)



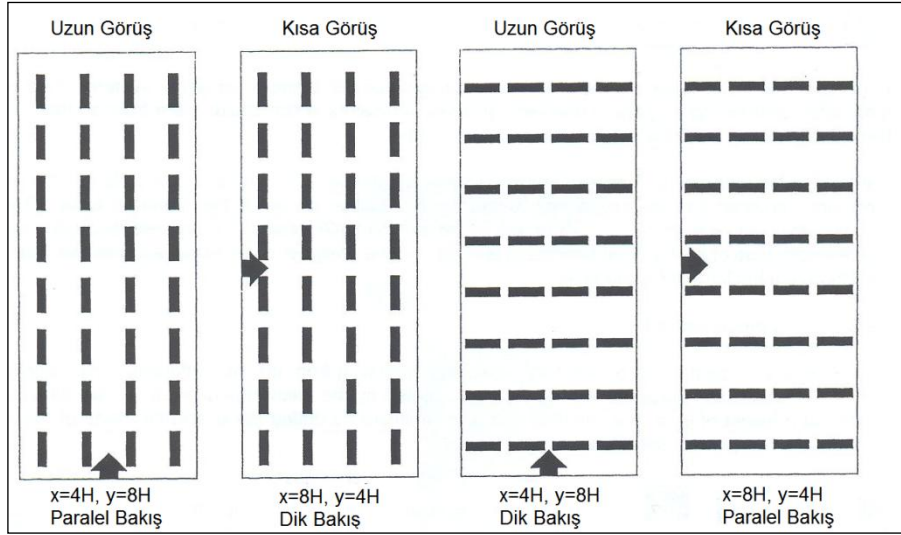
Şekil 3.4 : Kamaşma hesapları için kullanılan parametreler.

Aydınlatma hesaplarında kullanım kolaylığı olması açısından, CIE'nin 117 ve 190 no'lu yayınlarında UGR tabloları tanımlanmıştır. UGR tabloları, farklı oda geometrileri ve farklı oda yüzey yansıtma faktörleri için CIE'nin 117 no'lu yayınına göre hesaplanabilmekte ve 190 no'lu yayınında belirtildiği üzere tablolar haline getirilerek sunulmaktadır (CIE, 2010). Buna göre UGR değerleri, odanın eni ve boyu ile armatür ile göz seviyesi arasındaki mesafesine (H) bağlı olarak tanımlanan farklı oda geometrileri başka bir deyişle farklı oda endeksleri ve farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanarak tablo haline getirilmektedir. Bu kapsamda UGR tabloları, 1000 lm ışık akısı için hesaplandığında düzeltilmemiş (*ing. uncorrected*), armatürde üretilen toplam ışık akısına göre hesaplandığında ise düzeltilmiş (*ing. corrected*) değerleri içeren tablolar olarak sunulmaktadır. Hazırlanan bu tablolar, iki armatür arası mesafenin (S), göz seviyesi ile armatür arasındaki mesafeye (H) oranı olarak tanımlanan belirli bir değere (R_{SH}) göre hesaplanmaktadır. Farklı bir R_{SH} değerine sahip bir aydınlatma tasarımına ait UGR değerleri, standart olarak verilen UGR tablosundaki değerler belli düzeltme faktörleri ile çarpılarak bulunabildiği gibi, özel bir R_{SH} değeri için CIE'nin 117 no'lu yayınındaki yöntem ile de hesaplanabilmektedir. Çizelge 3.5'te, 2 adet 28 W gücünde T5 flüoresan lambalı ve parabolik lamelli bir armatüre ait toplam 5200 lm ışık akısına göre düzeltilmiş UGR tablosu $R_{SH}=0.25$ durumu için verilmiştir. R_{SH} değerinin farklı olduğu durumlar için, UGR tabloalarının altında verilen düzeltme değerleri ile UGR tabloları yeniden oluşturulabilir.

Çizelge 3.5: T5 flüoresan lambalı bir armatüre ait UGR tablosu ($R_{SH}=0.25$).

Tavan	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	
Duvar	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30	
Zemin	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
Oda boyutu		Bakış doğrultusuna dik yerleşim					Bakış doğrultusuna paralel yerleşim				
a	b										
2H	2H	19.4	20.6	19.7	20.8	21.0	18.6	19.8	18.9	20.0	20.2
	3H	19.4	20.4	19.7	20.6	20.9	18.5	19.5	18.8	19.7	20.0
	4H	19.3	20.2	19.6	20.5	20.8	18.4	19.3	18.7	19.6	19.9
	6H	19.2	20.1	19.6	20.4	20.7	18.3	19.2	18.7	19.5	19.8
	8H	19.2	20.0	19.5	20.3	20.6	18.3	19.1	18.6	19.4	19.7
	12H	19.1	19.9	19.5	20.2	20.6	18.2	19.0	18.6	19.3	19.7
4H	2H	19.5	20.5	19.9	20.7	21.0	18.8	19.7	19.1	20.0	20.3
	3H	19.4	20.2	19.8	20.5	20.9	18.7	19.4	19.0	19.8	20.1
	4H	19.4	20.1	19.8	20.4	20.8	18.6	19.3	19.0	19.6	20.0
	6H	19.3	19.9	19.7	20.3	20.7	18.5	19.1	18.9	19.5	19.9
	8H	19.3	19.8	19.7	20.2	20.6	18.5	19.0	18.9	19.4	19.8
	12H	19.2	19.7	19.7	20.1	20.6	18.5	18.9	18.9	19.3	19.8
8H	4H	19.3	19.8	19.7	20.2	20.6	18.5	19.0	18.9	19.4	19.8
	6H	19.2	19.6	19.6	20.1	20.5	18.4	18.9	18.9	19.3	19.7
	8H	19.2	19.5	19.6	20.0	20.5	18.4	18.8	18.8	19.2	19.7
	12H	19.1	19.4	19.6	19.9	20.4	18.3	18.7	18.8	19.1	19.6
12H	4H	19.2	19.7	19.7	20.1	20.6	18.5	18.9	18.9	19.3	19.8
	6H	19.2	19.5	19.6	20.0	20.5	18.4	18.8	18.8	19.2	19.7
	8H	19.1	19.4	9.6	19.9	20.4	18.3	18.7	18.8	19.1	19.6
Farklı R_{SH} değerleri için düzeltme değerleri											
$R_{SH}=1.0$		+2.5 / -11.5					+1.7 / -3.2				
$R_{SH}=1.5$		+4.4 / -23.8					+3.0 / -32.4				
$R_{SH}=2.0$		+6.4 / -42.6					+4.8 / -91.0				
Kamaşma değerleri 5200 lm ışık akısına göre hesaplanmıştır.											

Çizelge 3.5’de verilen değerler incelendiğinde, oda geometrisi ve yüzey yansıtma faktörlerinin yanı sıra, lambaların bakış doğrultusuna dik ya da paralel olacak şekilde yerleştirilmeleri gözlemciye göre armatür parıltısını değiştirebileceğinden, gözlemci bakış yönü, konumu ve armatür yerleşimlerinin de UGR tablolarında dikkate alındığı görülmektedir (Şekil 3.5). Buna göre, tablolar gözlemcinin en kötü konumu için oluşturulmaktadır. Yüzey yansıtma faktörlerinin azalması fon parıltısını düşürdüğü için, daha düşük yansıtma faktörleri olan bir hacimde UGR değerleri daha yüksek çıkmaktadır. Bunun yanında, UGR tabloları standart olarak $R_{SH}=0.25$ değeri için verilmektedir. Farklı R_{SH} değerleri için ilgili düzeltme değerleri de tabloda yer almaktadır. Bu düzeltme değerleri gözlemci konumuna göre pozitif ya da negatif etki gösterebilmektedir.



Şekil 3.5 : UGR tablolarında armatür yerleşimine göre gözlemci konumları (CIE, 1995).

UGR değeri, logaritmik bir ifade ile hesaplandığından, 3.7 no'lu denklem sonucunda bulunan sonuçlar kamaşma skalası üzerinden değerlendirilir. Kamaşma değerleri 13-16-19-22-25-28 skalasında tanımlanmıştır. UGR değerleri 13'ten küçük ise kamaşmadan söz edilemeyeceği anlamına gelir. Diğer yandan, farklı kullanım amacına sahip hacimler için farklı limit değerler tanımlanmıştır. Örneğin 500 lx aydınlık düzeyinin sağlanacağı bir ofis hacmi için UGR değeri 19 ile sınırlandırılmıştır. Öte yandan, ofiste 750 lx sağlanması gerekiyorsa UGR değerinin 16 ile sınırlandırılması gerekmektedir. TS EN 12464-1 standardında tanımlanan UGR limit değerleri, $R_{SH}=1$ olması durumu için verilmiştir. Ofis hacimlerinin aydınlatmasında, kamaşma önemli bir görsel konfor parametresi olduğu için bu hacimlerde kullanılacak armatürlerin kamaşmayı sınırlayıcı ışık dağılımlarına ve parlıltı değerlerine sahip olması gerekir. Son yıllarda aydınlatma tasarımlarında sıkça kullanılmaya başlanan LED'lerde (Işık yayan diyot, *ing. Light Emitting Diode*) üretilen ışık, çok küçük bir yüzeyden çok yoğun olarak çıktığı için, bu uygulamaların özellikle kamaşma açısından dikkatle ele alınması gerekmektedir.

3.1.5 Renksel özellikler

Kapalı bir hacimde ışığın renk karakteristiği, ışık kaynağının tayfsal güç dağılımı ve aydınlanan yüzeylerinin yansıtma özellikleri ile belirlenir (Halonen ve diğ, 2010). Işık kaynaklarının rengi, renk sıcaklığı (CCT, *ing. Correlated Color Temperature*) ve renksel geriverim endeksi (CRI, *ing. Color rendering index*) olarak iki temel özellik ile tanımlanmaktadır.

3.1.5.1 Renk sıcaklığı

Eğer bir cisim, üzerine düşen değişik dalga boylarındaki ışınımın tümünü yutabiliyorsa bu cisme siyah cisim denir ve siyah cismin tayfsal yutma faktörü teorik olarak 1 kabul edilir. Siyah cisme ısı enerjisi verildiğinde önce ısınmaya başlayacak, sonra sarımsı, sarı, sarı beyaz ve sonunda mavi beyaz bir ışık yayacaktır.

Işık kaynaklarının ışık rengi, tayflarındaki ışınım yoğunluklarının farklı şekilde olmalarına bağlıdır. Renk sıcaklığının birimi K (Kelvin)'dir ve T_c ile gösterilir. Işık kaynaklarının renksel izlenimleri soğuk, ılık ve sıcak olarak üç ana gruba ayrılabilir. Renk sıcaklığı 3000 K (sıcak beyaz) olan bir ışık kaynağının (enkandesen lamba) rengi sarımsı beyaz iken, renk sıcaklığı daha yüksek 6500 K (soğuk beyaz - gümüşüğü) olan bir ışık kaynağının rengi mavimsi beyazdır. Buna göre renk sıcaklığı 5300 K'dan büyük olan ışık kaynakları soğuk beyaz, 3300 K – 5300 K arası ılık beyaz, 3300 K'dan küçük olanlar da sıcak beyaz olarak adlandırılır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6: Işık kaynakları için tanımlanmış renk sıcaklıkları ve ışık renkleri.

Renk Sıcaklığı (T_c) [K]	Renksel İzlenim
< 3300 K	Sıcak
3300 K – 5300 K	Ilık
> 5300 K	Soğuk

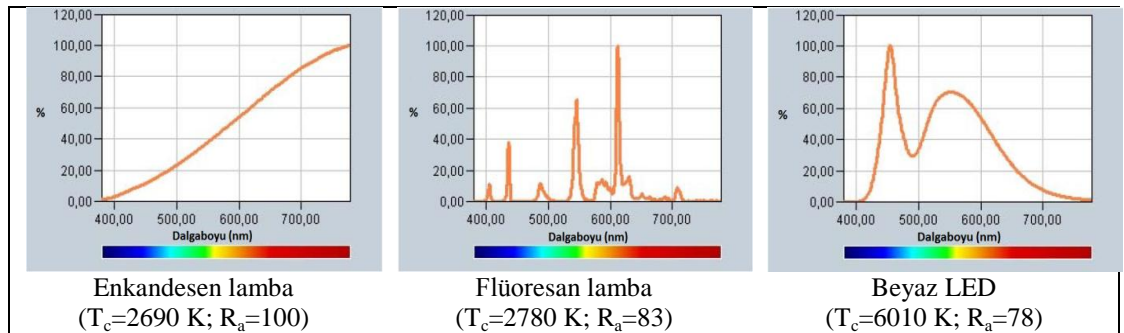
Ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan flüoresan lambaların renk sıcaklıkları değişikdir. Farklı uygulamalar için 3000 K, 4000 K ve 6500 K gibi farklı renk sıcaklıklarına sahip flüoresan lambalar üretilebilmektedir. Hangi renk sıcaklıklarının hangi ortamlarda tercih edildiği konusundaki çalışmalar uzun yıllardır süregelmektedir. Genel bir yaklaşımla, 500 lx'ten düşük aydınlık düzeyleri için sıcak, 500-3000 lx arası için ılık, 3000 lx'ten büyük aydınlık düzeylerinin sağlandığı bir hacimde ise soğuk renksel izlenimlere sahip ışık kaynaklarının kullanılması önerilebilmektedir (Kruithof, 1941). Ancak, iç aydınlatmada hangi renk sıcaklığına sahip lambaların kullanılabileceği kullanıcı tercihlerine direk olarak bağlıdır. Kullanıcıların ışık rengi tercihleri öznel olabilmekle beraber, iklim şartları ve kültürel farklılıklara göre de değişiklikler göstermektedir (Miller, 1998; Ayama ve diğ., 2002). Soğuk iklim bölgelerinde genel olarak sıcak renksel izlenime sahip ışık kaynaklarının, sıcak iklim bölgelerinde ise soğuk renksel izlenime sahip ışık kaynaklarının kullanılması tercih edilmektedir (TSE, 2004). Bunun yanında, ofis binalarında renksel tercihler çalışma hacimlerinin yüzey renklerine göre

değişebilmekle beraber, çalışanların dikkat ve konsantrasyonlarının yüksek tutulması amacı ile 4000 K ve üzeri renk sıcaklığına sahip ışık kaynaklarının kullanılması önerilmektedir.

3.1.5.2 Renksel geriverim endeksi

Değişik ışık kaynaklarının renksel karakteristiklerini karşılaştırabilmek için kullanılan diğer bir özellik ise renksel geriverim endeksidir. Bir referans kaynak ile çeşitli ışık kaynaklarının renksel geriverimleri ölçülebilmektedir. Bu ölçümlerde, sürekli tayfa sahip olan güneş ışığı referans alınmaktadır. Renksel geriverim kısaca İngilizce “*Color Rendering Index*” kelimelerin baş harflerinden türetilen CRI ile ifade edilmekte ve R_a ile gösterilmektedir. Renksel geriverim endeksinin birimi yoktur (CIE, 1995).

Bir ışık kaynağının renksel geriverim endeksi, maksimum olan 100 değerine sahipse ($R_a=100$), bu o kaynağın tayfsal dağılımının alınan referans kaynak ile aynı olduğu anlamına gelmektedir. Yani güneşin altında görünen renkler, renksel geriverim endeksi $R_a=100$ olan ışık kaynakları altında da aynı şekilde algılanabilecektir. Işık tayfı akkor telli lambalarınki gibi sürekli olan LED’ler, akkor telli lambalardan farklı olarak bazı tepe değerlere sahiptir (Şekil 3.6). Bu sebeple CIE, LED’leri de değerlendirebilecek yeni renksel geriverim endeksinin geliştirilmesi konusunda çalışmalar başlatmıştır (CIE, 2007). Bu çalışmalar TC1-69 no’lu “Beyaz Işık Kaynaklarının Renksel Geriverimleri” isimli CIE Teknik Komitesi’nde halen sürdürülmektedir.



Şekil 3.6 : Farklı ışık kaynaklarının tayfsal enerji dağılımları, renk sıcaklıkları ve renksel geriverimleri.

Işık kaynakları, renksel geriverimlerine göre genel olarak dört grup altında toplanırlar. Birinci gruptaki ışık kaynaklarının renksel geriverimleri çok iyi, ikinci gruptaki iyi, üçüncü gruptaki orta ve dördüncü gruptaki ise kötü olarak

tanımlanmıştır (Çizelge 3.7). Buna göre, farklı amaçlara hizmet edecek aydınlatma tasarımları için kullanılacak ışık kaynaklarının R_a değerleri TS EN 12464-1 standardında ifade edilmiştir. Ofis binalarındaki birçok hacim için renksel geriverimi 80'nin üzerinde (Kademe 1A ve 1B) olan ışık kaynaklarının kullanılması istenmektedir. Ancak ofis binasında bulunan ve renksel geriverimin çok önemli olmadığı hacimlerde ikinci hatta üçüncü kademeden renksel geriverime sahip ışık kaynakları da kullanılabilir.

Çizelge 3.7: Renksel geriverim kademeleri ve R_a değerleri.

Kademe	Değerlendirme	CRI
1A	Çok iyi	$R_a > 90$
1B	Çok iyi	$80 < R_a < 90$
2A	İyi	$70 < R_a < 80$
2B	İyi	$60 < R_a < 70$
3	Orta	$40 < R_a < 60$
4	Kötü	$20 < R_a < 40$

İlgili standartlarca tanımlanan aydınlık düzeyi, düzgünlük, kamaşma ve renksel özellikleri kapsayan aydınlatma tasarım kriterleri şüphesiz ki farklı kullanım amacına sahip hacimler için değişiklikler gösterecektir. Bir sonraki bölümde, ofis binaları için standartlarca tanımlanan aydınlatma tasarım kriterleri farklı ofis hacimleri için ayrı ayrı tanımlanmaya çalışılmıştır.

3.1.6 Ofis hacimleri için aydınlatma tasarım kriterleri

Ofis binaları, farklı kullanım amacına ve dolayısıyla farklı aydınlatma ihtiyacına sahip bir çok hacimden oluşmaktadır. Bu hacimler aydınlatma standart ve önerilerinde tanımlanarak her bir hacmin kullanım amacına yönelik aydınlatma tasarım kalite kriterleri belirlenmiştir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun S008/E:2001 no'lu uluslararası standardında ve ülkemizde TS EN 12464-1 olarak yürürlükte olan avrupa standardında çalışma alanlarının iç aydınlatması ile ilgili tanımlar, tasarım kalite kriterleri ve limitler açıkça belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında, ilgili standartlar incelenmiş ve ofis amaçlı kullanılan binalarda karşılaşılabilen hacimler belirlenerek Çizelge 3.8'de sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi, maksimum kamaşma ve minimum renksel geriverim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.8: Ofis binalarında bulunan hacimler için aydınlatma tasarım kriterleri.

Hacmin Tanımı	E_{ort}	UGR	R_a
Arşiv	200	25	80
Banyo ve tuvaletler	200	25	80
Bekleme salonları	200	22	80
Depolar Sürekli işletmede ise	200	25	60
Dinlenme odaları	100	22	80
Dolaşım alanları	100	28	40
Dosyalama, kopyalama	300	19	80
Ekipman odası	200	25	80
Elektrik pano odası	200	25	60
Fiziksel egzersiz odaları	300	22	80
Fuayeler	200	22	80
Garaj	75	28	40
Giriş holleri	100	22	60
Hizmetli odaları, çamaşırhaneler	200	25	80
Kantinler/büfeler	200	22	80
Kazan dairesi	200	25	60
Klasik ofis hacimleri (Ekran kullanılan hacimler)	300	19	80
Klasik ofis hacimleri (Okuma, yazma, veri işleme)	500	19	80
Konferans salonu	500	19	80
Koridorlar	200	22	80
Merdivenler, yürüyen merdiven ve bantlar	150	25	40
Mutfak	500	22	80
Resepsiyon, danışma	300	22	80
Revir	500	16	80
Seminer salonu/derslik	300	19	80
Sergi salonları	300	22	80
Teknik çizim ofisleri	750	16	80
Teleks-posta-santral odası	500	19	80
Toplantı odası	500	19	80
Yemekhane / Restoran	300	22	80
Yükleme rampaları / bölümleri	150	25	40

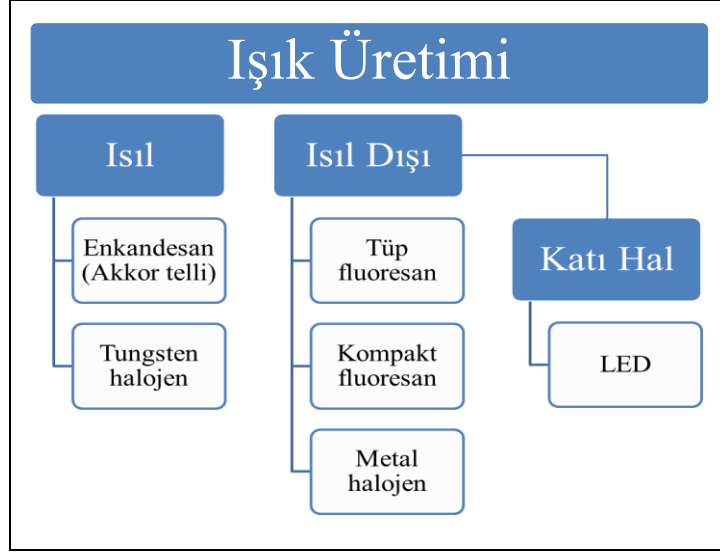
Çizelge 3.8'den de görüldüğü üzere, ofis amaçlı kullanılan binalar farklı işlevli bir çok hacimden oluşmaktadır. Her bir hacimde kullanım amacına ve fonksiyonuna göre sağlanması gereken temel kriterler olarak ortalama aydınlık düzeyi, kamaşma ve renksel geriverim değerleri ilgili standartlarda belirtilmiştir. Şüphesiz ki aydınlık düzeyi, bir hacmin aydınlatılmasında en temel tasarım kriteri olarak kabul edilebilir. Ancak bunun yanında kamaşmanın sınırlandırılması ve yapılan işe göre gerekli renksel geriverim değerlerini sağlayabilen ışık kaynaklarının kullanılması da gerekmektedir. Ayrıca hacmin geneli çalışma düzlemi olarak düşünüldüğünde, minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak ifade edilen ortalama düzgünlük değerinin de 0.5'ten büyük olması istenmektedir.

3.2 Aydınlatma Sistemleri

Bir aydınlatma sistemi lambalar, yardımcı elektriksel elemanlar, optik elamanlardan oluşan aydınlatma armatürleri ile bunlara elle ya da otomatik olarak kumanda edebilecek kontrol sisteminden oluşmaktadır. Bir aydınlatma sisteminin verimli olabilmesi başta verimi yüksek ışık kaynakları olmak üzere, verimi yüksek balast, trafo ya da sürücü devresi gibi yardımcı elektriksel elemanların, kamaşmayı önleyebilen, ışığı istenilen noktaya en verimli biçimde iletebilen optik elemanların, dolayısıyla verimi yüksek armatürlerin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Bunun yanında, doğru ve etkin tasarımların yapılması ve kontrol sistemlerinin entegrasyonu da sistemlerin verimli çalışmasının yanı sıra verimli olarak işletilebilmesine de olanak sağlayabilmektedir. Bu bölümde, ofis binalarında kullanılacak bir aydınlatma sistemini verimli kılacak yapılar hakkında bilgi verilerek tasarruf hesapları için verimli aydınlatma armatürlerinin tanımlanabilmesi amacıyla bir alt yapı sağlanmaya çalışılacaktır. Bu kapsamda, iç aydınlatmada kullanılabilen ışık kaynakları, yardımcı elektriksel elemanlar, armatürler ve kontrol sistemleri ele alınacaktır.

3.2.1 Işık kaynakları (Lambalar)

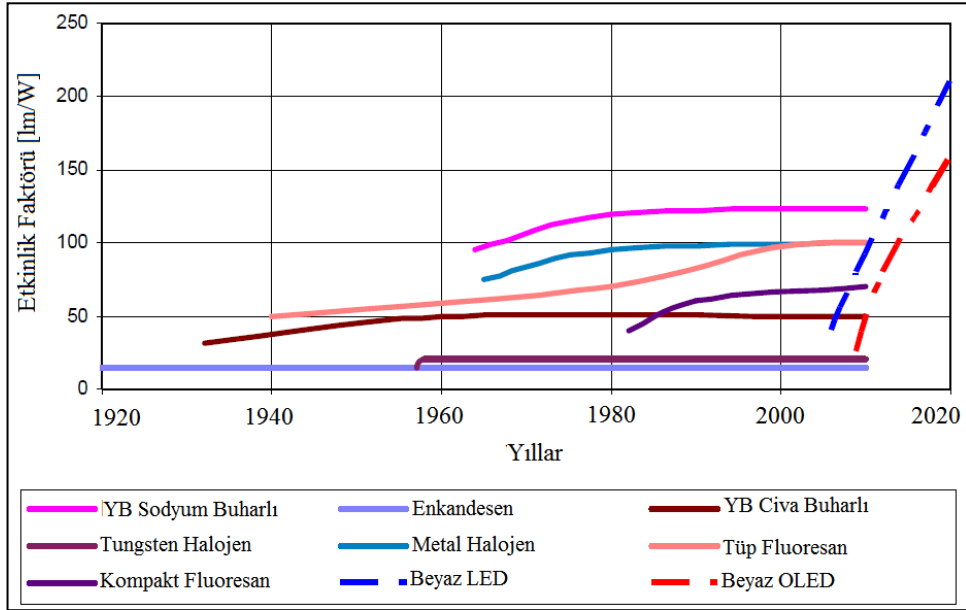
Ofis binalarının aydınlatmasında birçok lamba tipi kullanılabilir. Uzun yıllardır en yaygın kullanılan lamba tipi tüp flüoresan lambalardır. Bunun yanında kompakt flüoresan lambalar, tungsten halojen lambalar ve de bazı hacimlerde metal halojen lambalar da sıklıkla kullanılabilir (Şekil 3.7). Çok eski binalarda akkor telli lambalı tesisatlara da rastlanılmaktadır. Son yıllarda ise, yarı iletken teknolojisinin hızlı gelişimi ile LED'ler de iç aydınlatma uygulamalarında yer bulmaya başlamıştır. Bu bölümde, ofis binalarında karşılaşılan lamba tipleri tanımlanarak standartlarda tanımlanan aydınlatma tasarım kriterlerine uygun lamba tipleri teknik açıdan değerlendirilmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.7 : Ofis hacimlerinde kullanılabilecek ışık kaynakları.

Işık kaynaklarını tanımlayan birçok parametre vardır. Işığın renksel özellikleri, Bölüm 3.1.5’te tanımlandığı üzere renksel geriverim ve renk sıcaklığı ile ifade edilir. Bunun yanında, enerjinin verimli kullanılması açısından lambanın üretebildiği toplam ışık akısı için tükettiği elektrik gücünü ifade eden etkinlik faktörü (lm/W) önemli bir değerdir (3.8). Şekil 3.8’de değişik tiplerdeki lambaların etkinlik faktörlerinin zaman içindeki gelişimi verilmektedir (Krames, 2007; DOE, 2010).

$$e = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{lm}{W} \right] \quad (3.8)$$



Şekil 3.8 : Işık kaynaklarının etkinlik faktörlerinin zaman içinde gelişimi.

Lambaları tanımlayan bir diğer özellik de ömürleridir. Bir lambanın ömrü, ekonomik ömür ve ortalama ömür olarak iki şekilde tanımlanır. Ekonomik ömür, istatistiksel bakımdan değerlendirmeye yetecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, 100 saat kullanmadan sonraki toplam ışık akısının yaklaşık %30 değer kaybetmesi için geçen süredir. Ortalama ömür ise, istatistiksel bakımdan değerlendirmeye yetecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, normal şartlarda lambaların %50'sinin kullanılmaz hale gelmesi için geçen süredir (Özkaya ve Tüfekçi, 2011; TSE, 2011). Bu kapsamda ofis binalarında genel aydınlatma amaçlı kullanılabilen lambaların tipleri, güçleri, maksimum etkinlik faktörleri, ekonomik ömürleri, ışık rengi ve renksel geriverim özelliklerini içeren bilgiler Çizelge 3.9'da verilmektedir (Philips 2011; Osram 2011).

Çizelge 3.9: Ofis binalarında genel aydınlatma amaçlı kullanılabilen lambaların teknik özellikleri.

Tipi	Gücü ¹ [W]	Etkinlik Faktörü [lm/W]	Ekonomik ömür [h]	Renksel İzlenim	Renk Sıcaklığı [K]	Renksel Geriverim (R _a)
Enkandesen	15-200	6-16	1000	Sıcak	2700-3000	100
Tungsten halojen	25-500	16-19	2000-4000	Sıcak	2700-3000	100
Kompakt flüoresan ² (Kendinden balastlı)	5-33	42-65	12000	Çeşitli	3000, 4000, 6500	>70
Kompakt flüoresan (Harici balastlı)	10-26	60-69	12000	Çeşitli	3000, 6500	>70
Tüp flüoresan	14-54	86-93	12000- 20000	Çeşitli	3000, 4000, 6500	>70
Metal halojen	35-150	86-97	6000- 20000	Çeşitli	3000, 4000, 6500	>70
LED ³	Değişken	Değişken	30000- 60000	Çeşitli	Değişken	>70

¹Balast, trafo kayıpları hariç; ²Dahili elektronik balast kaybı dahil; ³LED ışık kaynakları henüz belirli güç ve ışık akıları için standart olarak üretilmemektedir.

3.2.1.1 Enkandesen ve tungsten halojen lambalar

Isıl ışık üretimi prensibi ile çalışan lambalarda tüketilen enerjinin büyük bir bölümü ısıya dönüşür. Dolayısıyla bu tip ışık kaynaklarının verimleri oldukça düşüktür. Buna

karşın renksel geriverim değerlerinin çok iyi olmasından dolayı halen uygulama alanı bulmaktadırlar. Tungsten halojen lambaların küçük kapsülden çubuk şekline, reflektörlü ve reflektörsüz olmak üzere birçok çeşitli boy ve farklı modelleri vardır. Kolayca loşlaştırılabilirler. Mevcut binalarda, özellikle koridor, bekleme hollerinde ya da dekoratif amaçlı olarak kullanılan tesisatlarda oldukça sık rastlanılmaktadır. Günümüzde ofis binalarında yüksek enerji tüketim değerleri sebebiyle tercih edilmemelerine rağmen, eski binalarda halen enkandesen (akkor telli) lambalı aydınlatma tesisatları mevcuttur. Buna karşın, 2012 yılından itibaren 100 W gücündekiler olmak üzere akkor telli lambalar, ilerleyen yıllarda kademeli olarak üretimden kaldırılacaktırlar (Wikipedia, 2012).

3.2.1.2 Tüp flüoresan lambalar (TF)

Ofis amaçlı kullanılan binalarda en yaygın kullanılan ışık kaynaklarından biri tüp flüoresan lambalardır. Flüoresan lambalarda enkandesen ve halojen lambaların aksine tükettikleri enerjinin büyük bir bölümü ışığa dönüşür. Çeşitli renk sıcaklığı ve renksel geriverim seçenekleri vardır. Manyetik ya da elektronik balastlarla kullanılırlar ve loşlaştırılabilir elektronik balastlar ile kullanıldıklarında ışık akıları %1'e kadar düşürülebilir. Elektronik balastlarla kullanıldıklarında ekonomik ömürleri 20000 saatlere ulaşabilmektedir. Bazı özel üretilmiş flüoresan lambaların ömürleri ise 60000 saatlere varan değerlerle açıklanmaktadır (Philips, 2011).

Uzun yıllar boyunca kullanılan, T12 olarak bilinen 38 mm çapındaki lambalar 1990'ların başında yerini aynı uzunlukta, 26 mm çapında, T8 olarak bilinen lambalara bırakmışlardır (Benya ve Leban, 2011). T12 flüoresan lambalar daha çok 20, 40 ve 65 W güçlerde kullanılırken yerine önerilen T8 lambaların güçleri 18, 36 ve 58 W olmuştur. Buna paralel olarak, flüoresan lamba teknolojisindeki gelişmeler ile 16 mm çapında, T5 olarak bilinen daha yüksek verimli tüp flüoresan lambalar üretilmiştir. Uzunlukları ve duyu başlıkları farklı olduğu için lamba değişiminden çok armatür değişimi gerektiren T5 lambalar, elektronik balast ile çalıştıkları ve daha küçük boyutlar ile daha iyi optik özelliklere sahip olan armatürlerde kullanılabildikleri için daha verimli aydınlatma sistemlerinin tasarlanabilmesine olanak sağlamışlardır. Çizelge 3.10'da ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan T12, T8 ve T5 tipindeki tüp flüoresan lambaların teknik özellikleri verilmektedir (Philips, 2011; Osram, 2011).

Çizelge 3.10: Ofis aydınlatmasında kullanılan tüp flüoresan lambaların teknik özellikleri.

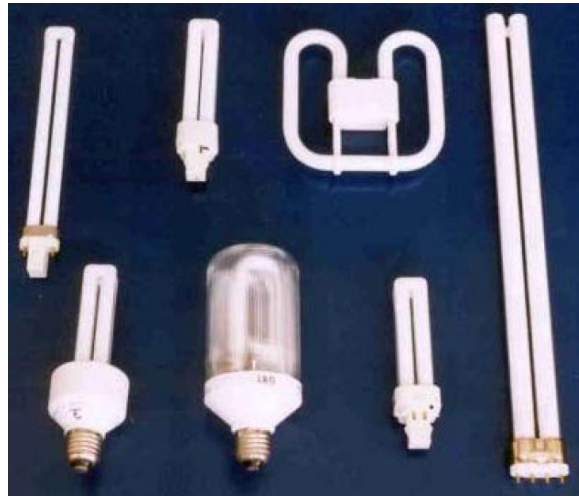
Tip / Çap	Gücü [W]	Işık Akısı [lm]	Etkinlik Faktörü* [lm/W]	Renksel Geriverim Grubu	Renk Sıcaklığı [K]
T12/38 mm	20	1150	58	1B, 2A, 2B, 3	3000 - 6500
	40	2800	70		
	65	4400	68		
T8/26 mm	18	1350	75	1A, 1B, 2A, 2B	3000 - 6500
	36	3350	93		
	58	5200	90		
T5/16 mm	14	1200	86	1A, 1B	3000 - 6500
	28	2600	93		
	35	3300	94		

* Balast kaybı hariç

3.2.1.3 Kompakt flüoresan lambalar (KFL)

Kompakt flüoresan lambalar, lamba teknolojisinin gelişmesi ile daha kompakt boyutlarda üretilebilen flüoresan lambalardır. Dolayısıyla çalışma prensipleri flüoresan lambalar ile aynıdır. KFL'lerde çok farklı tip ve güç seçenekleri mevcuttur (Şekil 3.9). Tavana gömme veya sıva üstü direkt aydınlatma yapan armatürlerde sıklıkla kullanılmaktadır. KFL'lar temel olarak ikiye ayrılabilir:

- E14 veya E27 duyu başlıklı (Entegre elektronik balastlı)
- İğne bacaklı – soket başlıklı (harici balastla kullanılanlar)



Şekil 3.9 : Kompakt flüoresan lamba tiplerinden örnekler.

Ofis binalarının koridor, holler, bekleme odaları vb. gibi birçok hacminde rastlanılan direkt aydınlatma yapan armatürlerde sıklıkla iğne bacaklı, harici balastla çalışan KFL'ler kullanılmaktadır. Bunun yanında kendinden balastlı ve duy başlıklı KFL'ler ise bire bir değiştirilebildiğinden akkor telli lambalı tesisatlara alternatif olmaktadır. Çizelge 3.11'de ofis aydınlatması için yaygın olarak kullanılan KFL'lerin teknik özellikleri verilmektedir (Philips 2011; Osram 2011).

Çizelge 3.11: Ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan KFL'lerin özellikleri.

Tip	Güç [W]	Işık Akısı [lm]	Etkinlik Faktörü* [lm/W]	Renksel Geriverim Grubu	Renk Sıcaklığı [K]
Kendinden balastlı* (E27 duy başlıklı)	11	600	55	1B	2700-6500
	15	850	57		
	20	1150	58		
	23	1450	63		
2 iğne bacaklı (Manyetik Balastlı)	10	600	60	1B	2700-6500
	13	900	69		
	18	1200	67		
4 iğne bacaklı (Elektronik Balastlı)	26	1800	69	1B	2700-6500
	18	1200	67		
4 iğne bacaklı (Elektronik/ manyetik Balastlı)	24	1800	75	1B	2700-6500
	36	2900	81		

* Balast kaybı hariç

3.2.1.4 Metal halojen lambalar

Metal halojen lambalar ofis binalarında özellikle yüksek tavanlı hacimler için tasarlanmış armatürlerde kullanılabilirler. Düşük güçlü olanları ise bazı direkt ışık dağılımlı yuvarlak armatürlerde de kullanım alanı bulmaktadır. 100 lm/W'a kadar çıkan etkinlik faktörleri, yüksek renksel geriverimleri, farklı renk sıcaklığı seçenekleri ve kompakt boyutları iç aydınlatma uygulamalarında da tercih edilme nedenleri olmaktadır. Sakıncalı tarafları ise, rejime girme sürelerinin 2 ila 5 dakika arası, ömürlerinin kısa (yaklaşık 2000 saat) ve fiyatlarının flüoresan lambalara göre oldukça yüksek olmasıdır.

3.2.1.5 LED lambalar

LED'ler, gerek renksel özelliklerinin gerekse etkinlik faktörlerinin hızla gelişmesi ile günümüz iç aydınlatma uygulamalarında kullanım alanları bulmaya başlamışlardır. Küçük boyutları sayesinde, özellikle akkor telli ve tungsten halojen lambalar için %90'lara varan enerji tasarrufu imkanı ile oldukça önemli bir alternatif haline gelmişlerdir. Düzelen renk özellikleri ve zamanla daha verimli LED'lerin üretilmesiyle gelecekte de iç aydınlatma uygulamalarında oldukça yaygın kullanılacağı söylenebilir. Ancak, günümüzde henüz daha tam olarak standardize edilemediği için piyasada çok değişik kalite ve tipte LED ışık kaynaklı armatür bulunmaktadır. LED'li armatür maliyetleri konvansiyonel armatürlere göre daha yüksek olduğu için, LED ışık kaynakları ofis hacimlerinde henüz yaygın olarak kullanılamazken; koridor, bekleme holleri gibi hacimlerde kullanılan armatürler ile dekoratif armatürlerde uygulama örneklerine rastlanılmaktadır.

Tüm bunların yanı sıra LED lamba ya da armatürlerin verimleri çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla bir LED'li armatürden elde edilebilecek toplam ışık akısı miktarı, LED lamba ya da armatürlerin çalıştığı ortamın sıcaklığı ile LED çiplerinin çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu sebeple, kullanılacak LED lamba ya da armatürlerin etkinlik faktörleri belirlenirken tüm bu faktörlere dikkat edilmelidir. Şekil 3.10'da, akkor telli ve tungsten halojen lambaların ya da kompakt flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan armatürlerin yerine kullanılacak bazı LED lamba ve armatürlerden örnekler verilmektedir.



Şekil 3.10 : LED lamba ve direkt ışık dağılımlı yuvarlak tipte LED armatürlere örnekler.

3.2.2 Yardımcı elektriksel elemanlar

Bir aydınlatma sisteminde enerjinin verimli kullanılması sadece verimi yüksek lambaların kullanılması ile değil, aynı zamanda balast, transformatör, sürücü ve loşlaştırıcı gibi yardımcı elektriksel elemanların da verimi yüksek olanlardan seçilmesi ile mümkün olabilir. Ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan flüoresan ve kompakt flüoresan lambalar akım sınırlayıcı yardımcı elektriksel eleman olan balastlar ile, bazı tungsten halojen lambalar ise trafolar ile çalışmaktadırlar. LED ışık kaynakları ise kullanılan LED sayısı ve dizimine göre tasarlanmış elektronik sürücü devresi ile çalışabilmektedir. Bir aydınlatma sisteminin veriminin yüksek olabilmesi için yardımcı elektriksel elemanların kayıplarının düşük olması gerekir. Aydınlatma sistemlerinde kullanılan balast, trafo ya da sürücü devrelerinin kayıplarının azalması ile armatürün toplam verimleri artar. Özellikle flüoresan lambaların yüksek frekanslı elektronik balastlar ile kullanılması, aynı ışık akısının daha az güç ile üretilebilmesine olanak verir.

Flüoresan lambalar için kullanılan balastlar manyetik ve elektronik olarak ikiye ayrılır. Manyetik balastlar uzun yıllardır tesisatlarda kullanılmaktadır. Elektronik balastların maliyetleri manyetik balastlardan daha fazla olmasına rağmen, kayıplarının oldukça az olması nedeniyle enerji verimliliği çalışmalarında önemli kullanım alanları bulmaktadırlar. Düşük enerji tüketimlerinin yanı sıra güç faktörlerinin bire yakın olması sebebi ile kompanzasyona gerek duyulmaması, uzun ömürleri, elektronik teknolojisinin daha ekonomik hale gelmesi ile maliyetlerinin de oldukça azalmış olmasından dolayı artık günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

EC 55/2000 no'lu, Balastlar için Enerji Verimliliği Gereksinimleri başlıklı Avrupa Direktifi ile lamba-balast düzeneklerinin şebekeden çekebilecekleri maksimum güçler tanımlanmıştır (EC, 2000). Böylelikle üreticiler, ülkemizde de TS EN 50294 no ile yürürlükte olan Avrupa Standardı'na tanımlanan yöntemlere göre ölçümler yaparak balast güçlerini beyan etmekle sorumludurlar (TSE, 2004). Bunun yanında, Armatür ve Armatürler için Elektroteknik Eleman Üreticileri Federasyonu (CELMA, *ing. Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires*) tarafından, balastlar için Enerji Verimliliği Endeksi (EEI – Energy Efficiency Index) adında bir enerji verimliliği sınıflandırması oluşturulmuştur (CELMA, 2007). Bu sınıflandırma ile T8 flüoresan

ve kompakt flüoresan lamba balastları A1, A2, A3, B1, B2, C ve D olarak yedi sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3.12). Günümüzde balast üreticileri, ürettikleri balastlar üzerinde CELMA sınıflandırması kullanarak EEI sınıflarını belirtmektedirler. Avrupa Birliği'nde D sınıfı balastların kullanımı 2002 yılında, C sınıfı balastların kullanımı 2005 yılında yasaklanmıştır. Ülkemizde de D sınıfı balast üretimi 2005 yılında durdurulmuş iken C sınıfı için henüz her hangi bir önlem alınmamıştır. Ancak CE belgesi zorunluluğu nedeni ile, C sınıfı balastların satışı olanaksız hale gelmiştir. Çizelge 3.13'te ofis aydınlatmasında sıklıkla kullanılan lamba tipleri için EEI sınıflarına göre izin verilen maksimum lamba-balast güçleri W cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.12: CELMA Balast sınıflandırması.

Sınıf	Açıklama
A1	Loşlaştırılabilir elektronik balast
A2	Düşük kayıplı elektronik balast
A3	Elektronik balast
B1	Çok düşük kayıplı manyetik balast
B2	Düşük kayıplı manyetik balast
C	Orta kayıplı manyetik balast
D	Yüksek kayıplı manyetik balast

Çizelge 3.13: Farklı balast sınıfları için izin verilen lamba-balast toplam gücü [W].

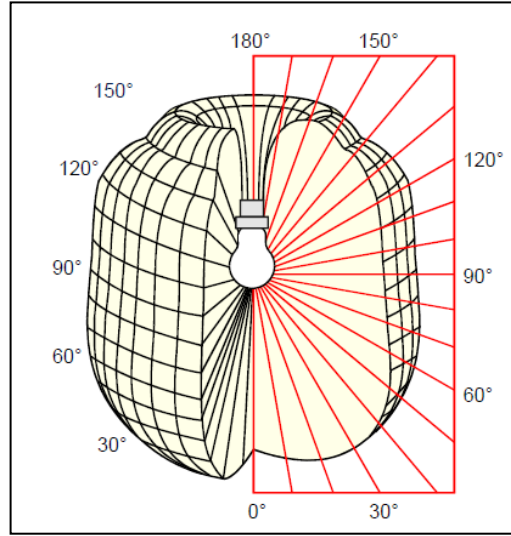
Lamba Tipi	Lamba Gücü (50 Hz)	Lamba Gücü (YF)	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
T8	18	16	10.5	19	21	24	26	28	> 28
	36	32	19	36	38	41	43	45	> 45
	58	50	29.5	55	59	64	67	70	> 70
T5	-	14	9.5	17	19	-	-	-	-
	-	28	17	32	34	-	-	-	-
	-	35	21	39	42	-	-	-	-
KFL	18	16	10.5	19	21	24	26	28	> 28
	24	22	13.5	25	27	30	32	34	> 34
	36	32	19	36	38	41	43	45	> 45
KFL	10	9.5	6.5	11	13	14	16	18	> 18
	13	12.5	8	14	16	17	19	21	> 21
	18	16.5	10.5	19	21	24	26	28	> 28
	26	24	14.5	27	29	32	34	36	> 36

3.2.3 Armatürler

Bir aydınlatma armatürü, bir veya bir kaç lambadan yayılan ışığı dağıtan, süzen veya dönüştüren ve lambaların kendileri hariç olmak üzere lambaların desteklenmesi, tespiti ve korunması için gerekli bütün bölümleri içeren ve lambaları besleme

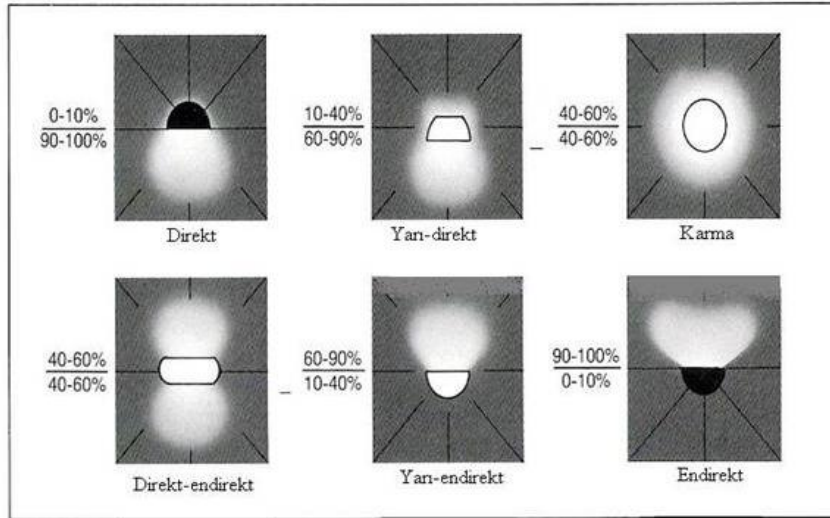
kaynağına bağlayan düzenler ile birlikte gerekli yardımcı devre donanımlarını bulunduran cihaz olarak tanımlanır (TSE, 2007). Armatürler uygulama alanları ve fotometrik özellikleri olmak üzere temel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Uygulama alanına göre sınıflandırılan armatürler iç ya da dış aydınlatma armatürleri olarak ikiye ayrılır. Bu armatürler genelde kullanılan ışık kaynağı, montaj şekli ve yapısal özellikleri ile değerlendirilirler. İç aydınlatmada kullanılan armatürler kullanım yerine göre konutlar, ticari binalar ve endüstriyel binalar olmak üzere üç grupta toplanırlar. Bir ofis binasının aydınlatması için uygulama alanlarına göre tanımlanmış armatür grupları içersinden, söz konusu ofis hacmi için uygun ışık kaynağı ve uygun yapısal özelliği olan armatürler seçilmelidir.

Fotometrik yapılarına göre sınıflandırılan armatürler ise üretilen ışığın armatür dışına dağılım biçimine göre sınıflandırılır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre, belirli bir lamba/armatür kombinasyonunun ışık dağılımı (ışık şiddeti dağılımı), armatür tarafından yayılan ışık akısının uzayın farklı doğrultularına nasıl dağıtıldığını tanımlar (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : Üç boyutlu uzayda bir lambaya ait ışık dağılım yüzeyi ve açıları.

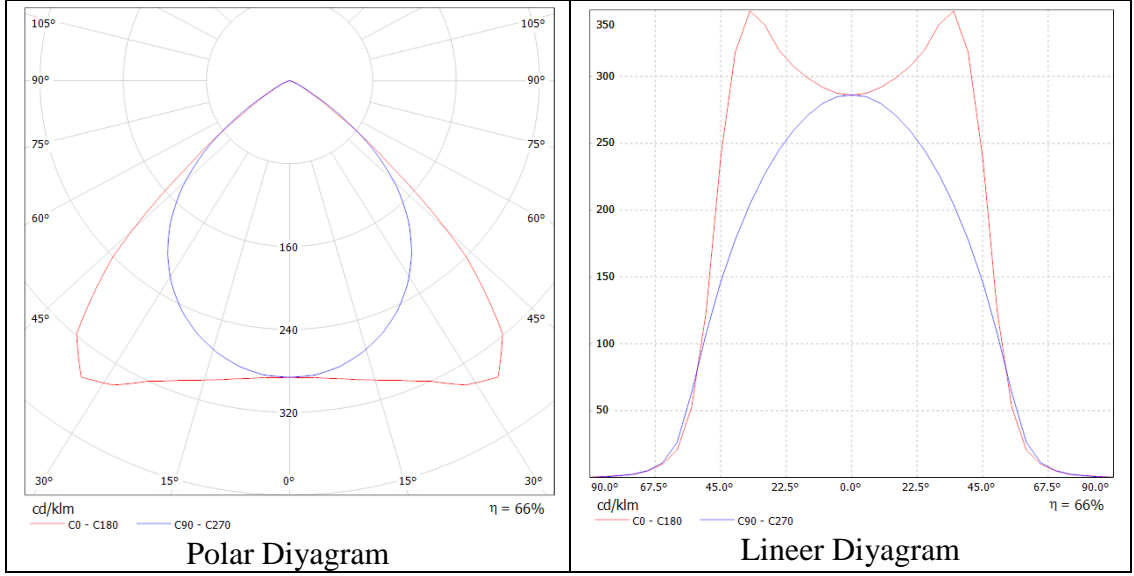
Buna göre, ışık akısı ve ışık şiddeti dağılımları bakımından armatürler, ışık yaydıkları düzlemler göz önünde bulundurularak altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : CIE armatür sınıflandırması.

Verimli bir aydınlatma tesisatı yaratılabilmesi açısından, kullanılacak armatürün fotometrik özellikleri son derece önemlidir. Buna göre, direkt aydınlatma yapabilen, armatür dışına çıkan ışık akısının en az %90'ının alt yarı uzaya iletildiği bir armatür daha verimli, dolayısıyla kurulu gücü daha düşük bir aydınlatma tesisatı sağlayacaktır.

Bir armatüre ait ışık dağılımları, kolay anlaşılabilmesi açısından ışık dağılım eğrileri ile gösterilmektedir. Buna göre, ganyofotometrik ölçümler ile armatürlerin tüm uzaya yaydıkları ışık şiddetleri ölçülmekte, elde edilen değerler polar ya da lineer diyagramlar üzerinde gösterilerek ışık dağılım eğrileri oluşturulmaktadır. Işık dağılım eğrileri genelde enine ve boyuna düzlemler olarak adlandırılan iki C_0-C_{180} ve $C_{90}-C_{270}$ düzlemleri için verilmektedir. Şekil 3.13'de armatür dışına çıkan ışığın %100'ünün alt yarı uzaya iletildiği, 4x14W gücünde T5 flüoresan lambalı, parabolik lamelli bir flüoresan armatüre ait polar ve lineer ışık dağılım eğrileri verilmektedir.



Şekil 3.13 : 4x14W gücünde parabolik lamelli flüoresan armatüre ait polar ve lineer ışık dağılım eğrileri.

Bu sınıflandırmaların dışında, armatürleri tanımlayan önemli bir özellik de armatür geriverimidir. Armatür geriverimi (η_{arm}), armatür içindeki Φ_L ışık akısına sahip n adet lambanın üretebildiği toplam ışık akısının hangi oranda armatür dışına çıktığını ifade eder (3.9). Armatürün geriverimi ne kadar yüksek ise o kadar fazla ışık akısı armatür dışına aktarılabilir demektir. Armatür geriverimi literatürde, “Işık Çıktı Oranı”nın İngilizce karşılığı olan “Light Output Ratio”nun baş harflerini temsilen LOR ile de gösterilebilmektedir.

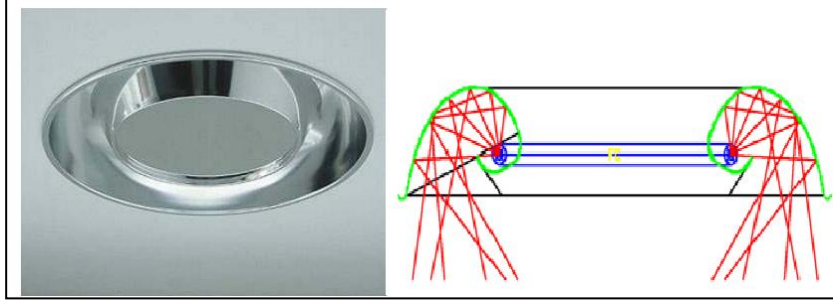
$$\eta_{\text{arm}} = \frac{\Phi_{\text{arm}}}{n \times \Phi_L} \quad (3.9)$$

Armatürün geriverimi dışında, elektrik verimini tanımlayan bir başka ifade de armatür etkinlik faktörüdür. Armatür etkinlik faktörü (e_{arm}), armatür dışına aktarılan ışık akısına (Φ_{arm}) karşılık şebekeden çekilen elektrik gücünü (W) ifade eder (3.10). e_{arm} ile gösterilir ve birimi lm/W’tır.

$$e_{\text{arm}} = \frac{\Phi_{\text{arm}}}{P_{\text{arm}}} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (3.10)$$

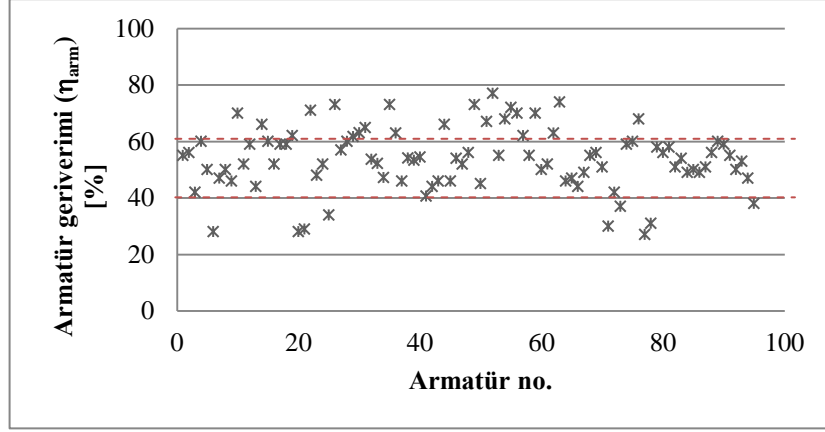
Ancak iyi tasarlanmış bir armatürden veriminin yüksek olması dışında, ışığı armatür dışında istenilen bölgeye ulaştırabilecek şekilde tasarlanmış olması da beklenir. Bu da iyi bir optik tasarım ile mümkün olabilmektedir. İyi bir optik tasarım, lambalarda

üretileen ışığı en optimum biçimde çalışma düzlemine yönlendirirken, aynı zamanda kamaşmayı da standartlarda verilen değerler doğrultusunda sınırlayabilmelidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Kamaşmayı sınırlayabilen optik tasarıma sahip direkt aydınlatma yapan yuvarlak tipte armatür (Halonen ve diğ, 2010).

Günümüzde ofis binalarının farklı hacimleri için kullanılan farklı tiplerdeki armatürlerin geriverim değerleri de kullanılan malzemelerin özelliklerine ve optik tasarım kalitesine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, ofislerin bekleme holleri ya da koridorlarında kullanılacak, kompakt flüoresan lambalı, direkt aydınlatma yapabilen armatürlerin geriverimleri kullanılan lamba tipine ve optik tasarım kalitesine göre farklı olabilmektedir. Bu kapsamda, piyasadaki onlarca firmanın armatürlerinden içlerinde 2’şer adet 26 W gücünde kompakt flüoresan bulunan sıvaaltı ve sıvaüstü direkt aydınlatma yapan yuvarlak tip 97 adet armatürün geriverimleri incelenmiş ve Şekil 3.15’teki grafikte toplu olarak gösterilmiştir. Buna göre, söz konusu armatür geriverimlerinin %25’lerden başlayıp en fazla %80’lere kadar ulaşabildiği, %80’lerin üzerinde geriverime sahip armatürlerin tespit edilemediği, piyasada en çok da %40 ila %60 arası geriverime sahip armatürlerin bulunduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, verimli bir aydınlatma sistemi düşünüldüğünde armatür geriverimleri önemli bir parametredir ve tasarruf hesapları için belirli bir armatür geriverim değerinin üzerindeki armatürlerin kullanılması hedeflenmelidir.



Şekil 3.15 : 2x26 W gücünde kompakt flüoresan lambalı direkt ışık dağılımına sahip yuvarlak tip armatürlerin geriverimleri.

Armatürler, fotometrik özelliklerinin dışında toza ve neme karşı olan koruma özelliklerine göre de IP (*ing. Ingress Protection*) koruma sınıflarına ayrılırlar (IEC, 1989, TSE 1997). Buna göre IP sınıfı iki rakamlı bir kodla ifade edilir. İlk rakam toz ve katı cisimlere karşı, ikinci rakam su ve neme karşı koruma sınıfını temsil eder. Çizelge 3.14'te ilgili standartlarca tanımlanmış uluslararası IP koruma sınıfları verilmektedir. Örneğin IP65 kodlaması, armatürün kesin toz geçirmez ve fişkıran suya karşı dayanıklı olduğunu gösterir.

Çizelge 3.14: Uluslararası koruma sınıfları.

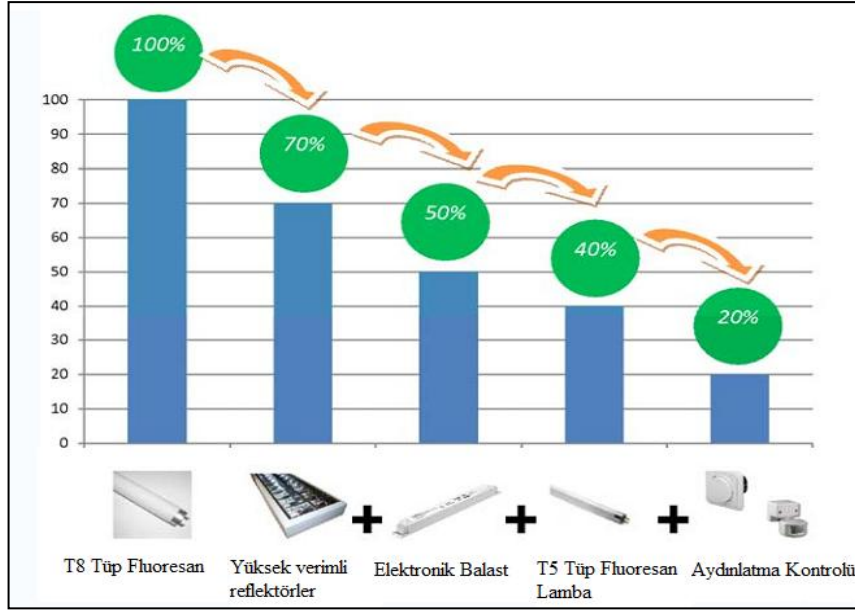
Yabancı katı cisimler ve toz girişine karşı			Nem girişine karşı		
Kod	Tanım	Açıklama	Kod	Tanım	Açıklama
0	Korunmasız	Korunmasız	0	Korunmasız	Korunmasız
1	El korunmalı	Çapı 50 mm'yi geçen katı cisimler	1	Damla korunmalı	Düşey düşen su damlaları
2	Parmak Korunmalı	Çapı 12 mm'yi geçen katı cisimler	2	Damla korunmalı	15° açıyla gelen düşey su damlaları
3	Alet korunmalı	Çapı 2.5 mm'yi geçen katı cisimler	3	Yağmur korunmalı	15°'lik açıyla gelen su
4	Kablo korunmalı	Çap 1.0 mm'yi geçen katı cisimler	4	Sıçrama korunmalı	Herhangi bir yönden sıçrayan su
5	Toz korunmalı	Tozun zararlı birikimlerine karşı korunmalı	5	Hortum korunmalı	Herhangi bir yönden hortumla gelen su
6	Toz geçirmeyen	Tozun girmesine karşı korunmalı	6	Hortum korunmalı	Herhangi bir yönden hortumla gelen su
			7	Su geçirmez	Geçici olarak suya batırma
			8	Basıçlı su geçirmez	Sürekli olarak su altında bırakma

CIE'nin 97 no'lu "İç aydınlatma armatürlerinin bakımı" isimli teknik dökümanında, armatürler yapılarına göre farklı sınıflara ayrılmıştır. Armatürlerin koruma sınıflarına göre, aydınlatma hesaplarında dikkate alınan bakım faktörü değeri değişmektedir. Bu kapsamda, armatürler altı sınıfa ayrılmaktadır (CIE, 2005).

- Tip A: Çıplak lamba
- Tip B: Reflektörsüz açık armatür
- Tip C: Reflektörlü açık armatür
- Tip D: Kapalı armatür (IP2X)
- Tip E: Toza karşı korumalı armatür (IP5X)
- Tip F: Endirekt armatür

Armatürler, yapısal özellikleri açısından IP koruma sınıfları dışında elektriksel darbelere karşı koruma, destekleyici yüzeylerin yanabilirliğine karşı koruma ve mekanik darbelere karşı direnç gösterme özelliklerine göre de farklı sınıflara ayrılmaktadırlar. Armatür üreticileri, ürettikleri armatürleri çeşitli testlere tutarak belirledikleri özellikleri ilgili armatür teknik dökümanlarında göstermek ile yükümlüdürler.

Aydınlatma armatürlerinin teknolojik açıdan gelişimi incelendiğinde, önceleri lambaların çıplak olarak kullanıldığı, daha sonra ışığın yansıtıcı ve kırıcı elemanlar ile kontrol edilmeye başlandığı, optik teknolojisindeki gelişmeler ile yüksek verimli yansıtıcı ve kırıcı elemanların geliştirildiği, elektronik teknolojisindeki gelişmeler ile yardımcı elektriksel eleman kayıplarının düşürüldüğü, yeni lamba teknolojileri ile ışık kaynaklarının verimlerinin arttırıldığı ve kontrol sistemleri sayesinde başta günışığı olmak üzere bir çok otomatik kontrol seçeneğinin uygulanması ile işletme koşullarında enerjinin daha verimli kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Örneğin, çıplak kullanılan bir T8 tüp flüoresan lambalı aydınlatma sisteminde, yukarıda bahsedilen uygulama ve gelişmeler dahilinde %80'lere varan enerji tasarrufunun sağlanması mümkün olabilmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Tüp flüoresan lambalı tesisatların teknolojik gelişimi (Onaygil, 2011).

Son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanan T5 flüoresan lambalar ve beraberinde kullanılan elektronik balastlar ile manyetik balastlı T12 ya da T8 flüoresan lambalı konvansiyonel aydınlatma sistemlerinden çok daha verimli aydınlatma sistemleri tesis edilebilmektedir. Buna paralel olarak, diğer lamba tiplerinde de benzer ilerlemeler görülmüştür. Günümüzde ise LED'lerin oldukça hızlı bir gelişim gösterdiği ve yakın gelecekte, standardize edilebildiklerinde, aydınlatma tekniğine önemli katkılar sağlayacakları beklenmektedir.

Ofis binalarında kullanılan armatürler incelendiğinde, farklı kullanım amacına dolayısıyla farklı aydınlatma ihtiyacına sahip hacimler için değişik tipte armatürler önerilmektedir. Örneğin, klasik çalışma hacimleri için kamaşmayı azaltmak ve düzgün bir aydınlatma sağlayabilmek açısından direkt aydınlatma yapabilen parabolik lamelli tüp flüoresan armatürler (Şekil 3.17), bekleme holleri ya da koridorlar gibi hacimlerde yine direkt aydınlatma yapabilen daha çok kompakt flüoresan lamba kullanılan simetrik ışık dağılımına sahip armatürler (Şekil 3.18), binanın teknik hacimleri için koruma sınıfı yüksek armatürlerin (Şekil 3.19) kullanılması aydınlatma tasarım kriterlerinin sağlanması açısından uygun olacaktır.



Şekil 3.17 : Klasik ofis hacimleri için önerilen armatür tipine örnekler.



Şekil 3.18 : Bekleme holleri ve koridorlar için önerilen armatür tipine örnekler .



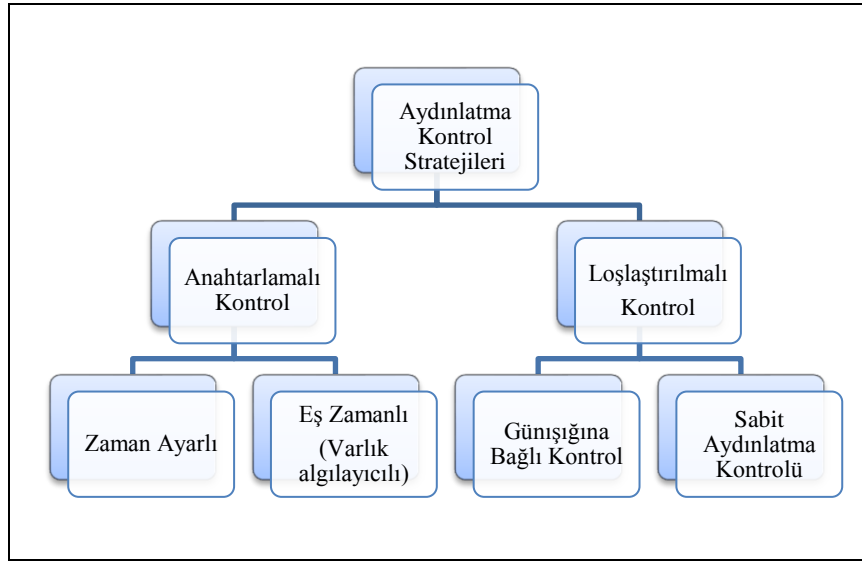
Şekil 3.19 : Koruma sınıfı yüksek armatür tiplerine örnekler (IP65).

3.2.4 Kontrol sistemleri

Genelde gündüz saatleri boyunca çalışılan ofislerde, aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisi payının %50'lere kadar çıkabildiği düşünüldüğünde, verimli aydınlatma sistemlerinin kullanımının yanısıra kontrol sistemleri ile daha fazla enerji tasarrufu yapmak mümkün olabilmektedir. Binalarda aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ile konfor koşullarından ödün vermeden, yeteri kadar ışık miktarının istenilen yerde ve zamanda sağlanması hedeflenmelidir. Konvansiyonel

bir yapıya sahip aydınlatma sistemlerinin kullanıldığı binalarda aydınlatmada tasarruf olanakları, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri dikkate alınarak tesisatların kolay uygulanabilir olmasına özen gösterilmelidir. Aydınlatma kontrol sistemleri de ancak böyle bir yaklaşım ile bir tasarruf olasılığı olarak değerlendirilebilir.

Aydınlatma kontrol stratejileri temel olarak ikiye ayrılabilir. Bunlarda ilki anahtarlama kontrolüdür. Anahtarlama kontrol, sistemin otomatik olarak anahtarlama esasına dayanan kullanıma bağlı kontrolüdür. İkinci tip kontrol ise loşlaştırılabilir kontrolüdür. Günışığına bağlı kontrolü ya da çalışma düzleminde sabit aydınlatma yaratmayı amaçlayan bir stratejidir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : İç aydınlatmada kontrol stratejileri.

Anahtarlama kontrol stratejilerinden biri olan zaman ayarlı kontrol, aydınlatma sisteminin belirli zamanlarda açılıp kapanmasını sağlayarak kontrol edilmesini amaçlar. Bu amaçla ya önceden belirlenmiş saatlerde, örneğin çalışma saatlerine, ya da binanın bulunduğu enlem boylama göre hesaplanabilen güneşin doğuş ve batış saatlerine göre anahtarlama yaparlar. Çalışma koşullarına göre önceden ayarlanmış saatlerde aydınlatma sistemini devreye sokup çıkartarak, çalışma saatleri dışında ve hafta sonu olabilecek gereksiz kullanımların önüne geçilmiş olur. Bunun yanında, özellikle atrium veya çatı açıklığı gibi bol günışığı alan, güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süre içinde belirlenen bir periyotta yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulmayan hacimlerde güneşin doğuş batış saatleri referans alınarak anahtarlama yapılabilir. Zaman ayarlı kontrol stratejileri ile %10-%15 arası tasarruf oranlarına

ulaşmak mümkün olabilmekte iken (Floyd ve Parker, 1995; Rundquist ve diğ, 1996), günışığının yeterli olduğu durumlarda, çağrı merkezi binası gibi 24 saat işletmede olan bir binada %50'lere kadar tasarruf elde edebilmek mümkün olabilmektedir (Maniccia ve diğ, 1999; NBI, 2003).

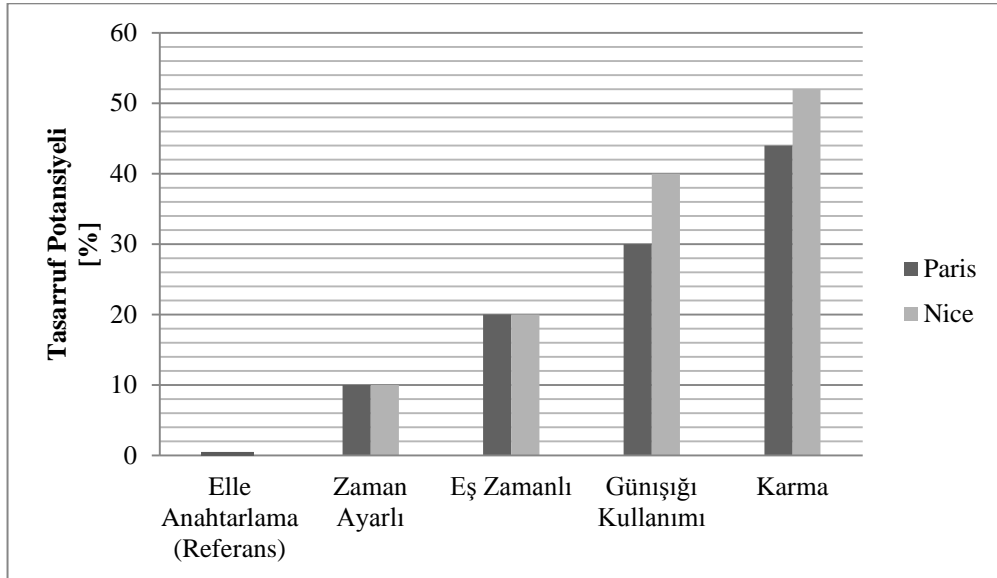
Anahtarlama dayanan önemli başka bir kontrol yöntemi de varlık algılayıcısı ile eş zamanlı kontroldür. Buna göre ilgili hacim aktif ya da pasif varlık algılayıcıları ile izlenerek, kullanımda olmadığı zamanlarda aydınlatma sistemi devreden çıkartılabilmektedir. Özellikle pasif kızıl ötesi algılayıcılar (PIR, *ing. Passive InfraRed*) ile kolayca uygulanabilmektedir. Bunun yanında, aktif ultrasonik algılayıcılar ya da aktif mikrodalga algılayıcılar ile kontrol edilerek otomatik anahtarlama yapmak da mümkün olabilmektedir. Bu kontrol stratejisi ile %20 ila %50 oranında tasarruf yapılması söz konusudur (Maniccia ve diğ, 2000; NBI, 2003).

Anahtarlama yapılarak gerçekleştirilen kontrol stratejisi binanın ya da ilgili hacmin kullanım durumuna başka bir deyişle, kullanıcılara bağlı bir stratejidir. Loşlaştırma ile gerçekleştirilen kontrol stratejilerinde ise, ilgili hacmin kontrolü kullanıcılarına değil tanımlanan parametrelere göre sağlanır. Bunlardan en önemlisi günışığına bağlı kontroldür. Literatürde, aydınlatma sistemlerinde elde edilebilecek tasarruf ile ilgili çalışmalar çoğunlukla gün ışığına bağlı kontrol sistemlerinin kullanılmasıyla elde edilen tasarrufa yönelik çalışmalardır. Günışığına bağlı kontrol yapabilmek için aydınlatma sisteminin altyapısının kontrole uygun tesis edilmiş olması gerekmektedir. Buna göre loşlaştırılabilir A1 tipi elektronik balastlar, çeşitli günışığı algılayıcıları ve kontrol elemanları ile aydınlatma sistemlerinde önemli tasarruf oranları elde etmek mümkün olabilmektedir. Zeguers (1993) %20, Embrechts ve Bellegen (1997) %40, Onaygil ve Önder (2003) %45 ve Szerman (1993) ise %77'lere varan tasarruf oranlarından söz etmektedirler.

Tüm bunların yanında, loşlaştırma amaçlı diğer bir kontrol stratejisi de sabit aydınlatma kontrolüdür. Özellikle yeni tesis edilmiş aydınlatma sistemlerinde sağlanan aydınlık düzeyi değerleri, tasarım hesaplarında kullanılan bakım faktörü sebebi ile yüksek çıkmaktadır. Örneğin ortalama aydınlık düzeyi 500 lx olarak hedeflenmiş bir aydınlatma hesabında bakım faktörünün 0,80 alınması ile ilk tesis anında sağlanacak ortalama aydınlık düzeyinin yaklaşık olarak 625 lx olması beklenir. Sabit aydınlatma kontrol stratejisi ile çalışma düzlemlerine yerleştirilen algılayıcılar aracılığıyla aydınlık düzeyi sabit 500 lx olacak şekilde loşlaştırma

yapılması hedeflenmektedir. Bununla beraber, gereğinden fazla aydınlatılmış hacimler de istenilen aydınlık düzeyini sağlayabilecek şekilde loşlaştırılabilirler.

Fransız Termal Yönetmeliği'nde, kontrol olmayan duruma göre farklı aydınlatma kontrol stratejileri ile farklı bölgelerdeki iki şehirde sağlanabilecek tasarruf miktarları verilmiştir (DDE et DRE, 2005). Anahtarlama yapılarak sağlanan kontrol kullanıcıya bağlı olduğundan farklı coğrafi konumun etkisi pek görülmemektedir. Zaman ayarlı sistemlerde %10, varlık algılayıcılarının kullanıldığı sistemlerde ise %20'ler civarında bir tasarruf oranı beklenmektedir. Günışığından yararlanma süresinin etkili olduğu loşlaştırmaya bağlı kontrolde ise, beklendiği üzere, coğrafi konum önemli bir rol oynar ve ortalama %40'lara varan bir enerji tasarrufu söz konusudur (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Farklı kontrol stratejileri ile Paris ve Nice için hesaplanan tasarruf oranları (DDE et DRE, 2005).

Bu bölümde bahsedilen kontrol stratejilerini özetlemek amacıyla, her bir stratejiye ait üstünlük ve sakıncalar, uygulama alanları ve kontrol sistemlerini oluşturan elemanlar açıklanarak Çizelge 3.15'te verilmiştir (Halonen ve diğ, 2010).

Çizelge 3.15: Kontrol stratejilerin karşılaştırılması.

Strateji	Zaman Ayarlı Anahtarlama	Eş Zamanlı (Varlık Algılayıcı) Anahtarlama	Günişığı Kontrolü	Sabit Aydınlatma Kontrolü
Üstünlük	- Düşük maliyet - Kolay uygulanabilir - %10 ila %20 tasarruf	- Nispeten düşük maliyet - %20 ila %50 tasarruf	- Sabit aydınlık düzeyi - %20 ila %50 tasarruf	- Sabit aydınlık düzeyi - %5 ila %15 tasarruf
Sakınca	- Çalışma saatleri değiştiğinde tekrar ayarlanmalı	- Çok farklı algılayıcı tipleri - Hassas olmayan algılayıcılar ile konfor koşullarının bozulabilmesi	- Yüksek maliyetli - Ayarlanması zor	- Ayarlanması zor - Bazen yüksek maliyetli
Uygulama Alanları	- Sınıflar - Toplantı salonları - Ofisler - Mağazalar - Müzeler	- Koridorlar, bekleme holleri - Depolar - Tuvaletler - Kütüphane alanları	- Ofisler - Sınıflar - Yüksek binalar - Mağazalar	- Ofisler - Sınıflar - Yüksek binalar - Mağazalar
Yapısı	- Zamanlayıcı - Anahtarlama elemanları	- Varlık algılayıcıları - Anahtarlama elemanları	- Günişığı kontrol algılayıcıları - Loşlaştırıcı - Kontrol devresi	- Fotosensör - Loşlaştırıcı

Aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin hesaplanabilmesi açısından, TS EN 15193 standardında verilen AESG hesaplama denkleminde üç adet faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, Denklem 2.3'ten de görüldüğü üzere aydınlatma kontrolü ile ilgili faktörlerdir. F_D faktörü, günişığının katkısı ile elde edilebilecek tasarruf miktarını, F_O faktörü, kullanıma bağlı olarak elde edilebilecek tasarruf miktarını ve F_C faktörü ise sabit aydınlatma sağlayabilen kontrol sistemlerinin bulunması ile elde edilebilecek tasarruf miktarını ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında, enerji tasarruf hesaplarında kontrol sistemlerinin etkisi, söz konusu hesap yönteminde tanımlandığı şekilde yapılacaktır.

3.3 Aydınlatma Sistemlerinde Performans ve Verimlilik Göstergeleri

Aydınlatma sistemlerinin performanslarının karşılaştırılması açısından aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi (AESG), başta aydınlatma kurulu güçleri olmak üzere binanın fiziksel özelliklerini, kullanım saatlerini, günişığından yararlanma kabiliyetini ve süresini, günişığı kontrolü, kullanıma bağlı kontrol ve sabit aydınlatma kontrolü gibi birçok parametre göz önüne alınarak kWh/m^2 yıl cinsinden ifade edilen metrekare başına yıllık enerji tüketim miktarını hesaplamaktadır. Gerek ülkemizdeki, gerekse AB'deki yasal düzenlemelerde aydınlatma sistemleri için temel performans göstergesi olarak bu gösterge kullanılmaktadır. Ancak Bölüm 2.2.3'te de

açıklandığı üzere AESG, binaların aydınlatma enerji performanslarının karşılaştırılması açısından çok faydalı olmasına rağmen, aydınlatma sistemlerinin kurulu güçlerinin azaltılabilmesi ile sağlanabilecek uygulanabilir tasarruf potansiyelleri hakkında net bir bilgi içermemektedir. Bunun yanında, armatürlerin kendi aralarında verimliliklerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla armatür verimlilik göstergelerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde, aydınlatma sistemleri için kurulu güç ve normalize güç yoğunluğu; armatürler için armatür verimlilik faktörü gibi göstergeler incelenerek tasarruf analizlerinde kullanılacak olanlar belirlenecektir.

3.3.1 Kurulu güç yoğunluğu (KGY)

Aydınlatma kurulu gücünü ifade eden en temel göstergelerden biri kurulu güç yoğunluğudur. Metrekare başına aydınlatma kurulu gücünü (P_n) belirtir. Birimi W/m^2 'dir ve KGY ile gösterilir (3.11).

$$KGY = \frac{P_n}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3.11)$$

Ofis binalarında sıklıkla rastlanılan benzer kat yüksekliğinde ve aynı düzeyde aydınlatılmış hacimler için güç yoğunluğu karşılaştırılabilir bir göstergedir. Ancak bu gösterge ile farklı aydınlık düzeylerine göre aydınlatılmış ya da farklı tavan yükseklikli hacimler için karşılaştırılabilir değerler elde edilemez.

3.3.2 Normalize güç yoğunluğu (NGY)

Binalarda tavan yüksekliği aynı olsa bile kullanım amaçları farklı olan hacimlerde sağlanması istenilen aydınlık düzeyleri değişiklik gösterebileceğinden, kurulu güç yoğunluğu değerleri de farklı olacaktır. Normalize güç yoğunluğu göstergesi ile farklı aydınlık düzeylerinin sağlandığı hacimlerdeki aydınlatma sistemleri 100 lx aydınlık düzeyine göre normalize edilerek karşılaştırılabilir hale getirilir. Normalize güç yoğunluğu, 100 lx aydınlık düzeyinin sağlanabilmesi için metrekare başına aydınlatma kurulu gücünü ifade eder. Birimi $W/(m^2 \cdot 100lx)$ 'tür ve Ngy ile gösterilir (3.12).

$$NGY = \frac{P_n}{A \times E_{ort}} \times 100 \left[\frac{W}{m^2 \cdot 100lx} \right] \quad (3.12)$$

NGY göstergesinden yola çıkılarak, AESG göstergesi de normalize edilebilir. Bu konu ile ilgili literatürde önerilen gösterge “aydınlık düzeyine bağlı enerji tüketimi” (*ing. Luminous energy consumption*) göstergesidir ve Slovak Ulusal BEP hesaplama yönteminde tanımlanmıştır (Gasparovsky ve diğ, 2008; NPSR, 2005). Buna göre, AESG sağlanan aydınlık düzeyine göre denklem 3.13’deki gibi normalize edilebilir ve birimi de kWh/m².yıl.lx’tür.

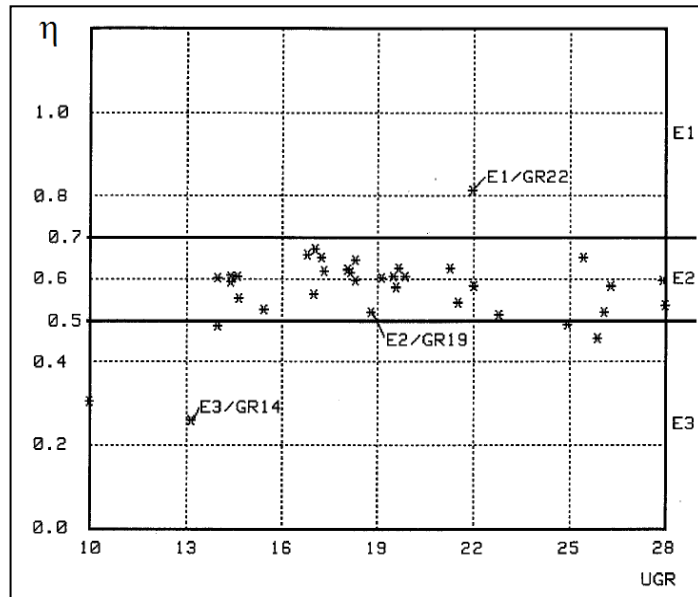
$$AESG_N = \frac{W}{\sum A \times E_{ort}} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yıl \cdot lx} \right] \quad (3.13)$$

3.3.3 Armatür verimlilik faktörü

Bölüm 3.3.2’de verilen normalize güç yoğunluğu değeri, bir aydınlatma sisteminin hem birim alan başına kurulu gücünü hem de sağlayabildiği aydınlık düzeyini açıklayabilen oldukça faydalı karşılaştırılabilir bir göstergedir. Diğer yandan, aydınlatma sisteminin en önemli bileşeni olan, içinde lamba, balast gibi elemanları da barındıran armatürlerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi açısından armatürlere ait göstergeler de mevcuttur. Bir armatürün geriverimi ve lm/W cinsinden etkinlik faktörü, verimlilik konusunda çok önemli göstergeler olsa da, bu değerler söz konusu armatürle oluşturulacak bir aydınlatma sisteminin performansını ifade edemez. Örneğin, sadece verimli bir ışık kaynağının az kayıplı yardımcı elektriksel eleman ile kullanılması ve de yüksek geriverim ile ışığın maksimum oranda armatür dışına yönlendirilmesi o aydınlatma sisteminin verimli olacağı anlamına gelmemektedir. Aynı zamanda üretilen ışık akısının en optimum biçimde çalışma düzlemine iletilmesi gerekir. Özetle, bir aydınlatma sisteminin veriminin yüksek olması, verimi yüksek ışık kaynakları ve yardımcı elektriksel elemanların kullanılmasının yanı sıra iyi bir optik tasarım ile ışığın çalışma düzlemine en verimli şekilde ulaştırılması ile mümkün olabilmektedir. Çalışma düzlemine yönlendirilen toplam ışık akısı miktarı, armatürün ışık dağılımına ve oda yüzeylerinin (duvarlar, tavan ve zemin) yansıtma özelliklerine bağlı olarak değişen verim faktörü (η) ile hesaplanır. Bu faktörlerin hesaplanması uzun yıllar süren deneysel çalışmalar ile mümkün olmuştur.

Bu yaklaşımda, bir armatüre ait verim faktörü değerleri aydınlatma hesaplarında kullanılması amacı ile, oda yüzeylerinin farklı yansıtma faktörleri, oda geometrisi, armatürün ışık dağılımı ve geriverimine (η_{arm}) göre her bir armatür için ayrı ayrı hesaplanarak tablolar halinde verilir. Verim faktörünün hesaplanmasına ilişkin detaylar Bölüm 4’te verilmektedir.

Özetle, bir armatüre ait verim faktörü tablosu o armatürde üretilen ışığın hangi oranda çalışma düzlemine iletildiğini ifade edebildiği için, armatür verimini açıklamak amacıyla da kullanılabilir. Bu düşünce ile, Stockmar tarafından armatür verim faktörü değerleri kullanılarak, armatürlerin enerji verimliliği açısından karşılaştırılabilir hale getirebilmesi amacı ile armatür özgül endeksi (*ing. luminaire specific index*) önerilmiştir (Stockmar, 1997). Bu çalışmada, oturan bir gözlemcinin göz hizasından armatüre kadar olan yüksekliğinin H ile ifade edildiği, eni ve boyu sırasıyla 4H ve 8H olan bir hacim tanımlanmıştır. Tanımlanan hacim için ilgili armatür verimi, yansıtma faktörleri tavan için 0.70, duvarlar için 0.50 ve döşeme için 0.20 olduğu durumlarda verim faktörü tablosundan elde edilen değer ile belirlenmektedir. Stockmar, ticari olarak erişilebilir yüzden fazla armatür ile tanımlanan standart oda için verim faktörü (η) değerlerini istatistiksel olarak değerlendirmiş ve armatürleri üç grupta toplayabilmiştir. Şekil 3.22’de, incelenen armatürlere ait hesaplanmış verim faktörü değerlerinin (η), söz konusu armatürlerin oluşturduğu kamaşma değerlerine (GR: Glare Rating) göre dağılımı verilmektedir.



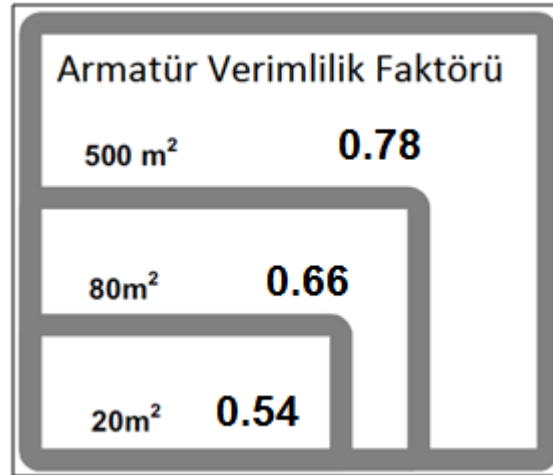
Şekil 3.22 : Farklı armatürlere ait verim faktörlerinin kamaşma değerlerine göre dağılımı (Stockmar, 1997).

Şekil 3.22'deki değerler incelendiğinde, armatürlerin büyük bir kısmının verim faktörü değerlerinin 0.5 ila 0.7 arasında kümelendiği görülmektedir. Stockmar çalışmasında bu sonuçlara dayanarak verimlilik sınıfları önermiştir (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16: Armatür verimlilik sınıfları (Stockmar, 1997).

Verim Faktörü	Verimlilik sınıfı
$\eta > 0.7$	E1 (çok iyi)
$0.7 \geq \eta > 0.5$	E2 (iyi)
$0.5 \geq \eta$	E3 (kötü)

Stockmar'ın armatür özgül endeksi önerisinin ardından CELMA da söz konusu çalışmayı referans alarak, armatür verimlilik faktörü (LEF, *ing. Luminaire Efficiency Factor*) adında bir faktör tanımlamıştır. Bir armatür, farklı büyüklükteki hacimlerde farklı verim faktörü değerlerine sahiptir. Bu yaklaşımla, armatürler, belirli yüzey yansıtma faktörüne sahip, alanları büyük (500 m²), orta (80 m²) ve küçük (20 m²) olarak tanımlanan üç farklı hacim için verim faktörü değerleri ile ifade edilmeye çalışılmıştır (Ceelen, 2002; CEN, 2001; Stockmar, 2002). Tanımlanan üç farklı hacim için armatürlerin verim faktörü değerlerinin standart gösterimine bir örnek Şekil 3.23'te verilmektedir. Bu yöntemle, armatür verimlilik faktörü gösterimi sayesinde farklı armatürlerin aynı koşullar altında göstereceği performanslar karşılaştırılabilir olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3.23 : Örnek bir armatür için CELMA armatür verimlilik faktörü gösterimi.

Şekil 3.23'de verilen örnek bir armatür verimlilik faktörü gösteriminde söz konusu armatüre ait verim faktörü değerinin 20 m²'lik bir hacimde 0.54, 80 m²'de 0.66, 500 m²'de 0.78 olduğu görülmektedir. Buna göre, söz konusu armatürün 500 m²'lik bir hacimde kullanılması durumunda armatür içinde üretilen ışık akısının %78'inin

Çalışma düzlemine ulaştığı anlaşılmaktadır. Őpbesiz ki, armatür verimlilik faktörü de tek başına aydınlatma tesisatının verimi hakkında yeterli bir bilgi içermemektedir. Bir aydınlatma sisteminin verimlilik açısından değerlendirilebilmesi için gerek armatür verimlilik faktörünün, gerekse armatür etkinlik faktörünün ayrı ayrı ele alınması gerekir. Bu kapsamda, enerji tasarruf potansiyeli hesaplamalarında referans olarak kullanılabilcek armatürlerin hem geriverimlerinin hem de verim faktörlerinin yüksek olmalarının yanı sıra, yüksek etkinlik faktörüne sahip ışık kaynakları ve yüksek verimli yardımcı elektriksel elemanlar ile donatılarak yüksek armatür etkinlik faktörüne de sahip olmaları gerektiği söylenebilir.

4. AYDINLATMA VE KURULU GÜÇ HESAPLARI

Günümüzde aydınlatma hesapları bilgisayar yazılımları aracılığı ile hızlı ve oldukça detaylı olarak yapılabilmektedir. Bilgisayar yazılımları aydınlatma tekniğinde tanımlanmış hesap yöntemleri ile aydınlatma hesaplarını gerçekleştirmektedirler. İç aydınlatmada, aydınlık düzeyi hesapları temel olarak iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlardan birisi ortalama aydınlık düzeyinin hesaplanması esasına dayanan verim yöntemi (ışık akısı yöntemi), diğeri de noktasal aydınlatma hesabına dayanan ışık şiddeti yöntemidir. Eğer ortalama aydınlık düzeyi hesaplanacak ise, verim yöntemi çok pratik ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Bu yöntem ile belirli bir aydınlatma sistemi ile sağlanacak ortalama aydınlık düzeyi, ya da belirli bir ortalama aydınlık düzeyini sağlamak için gerekli ışık akısı miktarı dolayısıyla gerekli kurulu güç değerleri belirlenebilmektedir.

4.1 Verim Yöntemi ile Aydınlatma Hesabı

Kapalı bir hacimde, çalışma düzlemine gelen toplam ışık akısının bir bölümü armatürlerden direkt, bir kısmı da endirekt yoldan yani hacim yüzeylerinden yansıtılarak gelir. Tüm yüzeylerinin yansıtma faktörü %100 olan hacimlerde, geriverimi de %100 olan N adet armatürün içindeki n adet ve Φ_L ışık akısına sahip lambalar ile üretilen ışık akısının tümünün (4.1) çalışma düzlemine iletiildiği düşünülüğünde, oluşacak ortalama aydınlık düzeyi 4.2 no'lu denklemdeki gibi hesaplanabilir.

$$\Phi_0 = N \times n \times \Phi_L \quad [lm] \quad (4.1)$$

$$E_{ort} = \frac{\Phi_0}{A} = \frac{N \times n \times \Phi_L}{A} \left[\frac{lm}{m^2}, lx \right] \quad (4.2)$$

Ancak pratikte, gerek armatürlerin geriverimi, gerekse hacim yüzey yansıtma faktörü %100 olamamaktadır. Bu durumda, üretilen ışığın bir miktarı armatür içinde bir miktarı da hacim yüzeylerinde yutulur. Lambalarda üretilen ışık akısı armatür içinde

armatür geriverimine (η_{arm}) hacmin geometrik boyutlarına, yüzey yansıtma faktörlerine, armatür montaj yüksekliğine ve armatürlerin ışık dağılımına göre değişen oda verimine (η_{oda}) bağlı olarak kayba uğrar. Bu durumda elde edilen aydınlık düzeyi 4.3 no'lu denklemdeki gibi elde edilir.

$$E_{ort} = \frac{N \times n \times \Phi_L \times \eta_{arm} \times \eta_{oda}}{A} \left[\frac{\text{lm}}{m^2}, lx \right] \quad (4.3)$$

4.3 no'lu denklemdeki η_{arm} ve η_{oda} terimlerinin çarpımı, aydınlatma hesaplarında verim faktörü (η) olarak adlandırılır (4.4). Bir hacimde bulunan tüm armatürlerin içindeki lambalarda üretilen ışık akısı miktarının hangi oranda çalışma düzlemine iletiildiğini ifade etmektedir. Verim faktörü literatürde, kullanım faktörü (*ing. Utilization factor*) olarak da tanımlanmaktadır.

$$\eta = \eta_{arm} \times \eta_{oda} \quad (4.4)$$

4.3 no'lu denklem, 4.4 no'lu denklem ile yeniden düzenlendiğinde 4.5 no'lu denklem elde edilir.

$$E_{ort} = \frac{N \times n \times \Phi_L \times \eta}{A} = \frac{\Phi_0 \times \eta}{A} \quad (4.5)$$

Aydınlatma hesaplarında dikkate alınan başka bir parametre de bakım faktörüdür. Bakım faktörü (BF), bir aydınlatma sisteminin belli bir süre geçtikten sonra sağladığı ortalama aydınlık düzeyinin, sistemin ilk kurulduğu anda sağladığı ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak kabul edilir. Yeni kurulan aydınlatma sistemini oluşturan lamba ve armatürlerin performansları zaman geçtikçe düşer. Lambaların ışık akıları zamanla azalırken, armatürlerin tozlanması ile armatür geriverimleri, hacim yüzeylerinin kirlenmesi ile de oda verimleri azalır. Dolayısıyla, çalışma düzleminde sağlanan aydınlık düzeyi değerleri de düşer. Bu sebeple, aydınlatma tasarım hesapları bakım faktörü de hesaba katılarak Denklem 4.6'teki gibi yapılmaktadır. Bakım faktörünün hesaplanması ile ilgili detaylar Bölüm 4.1.2'de verilecektir.

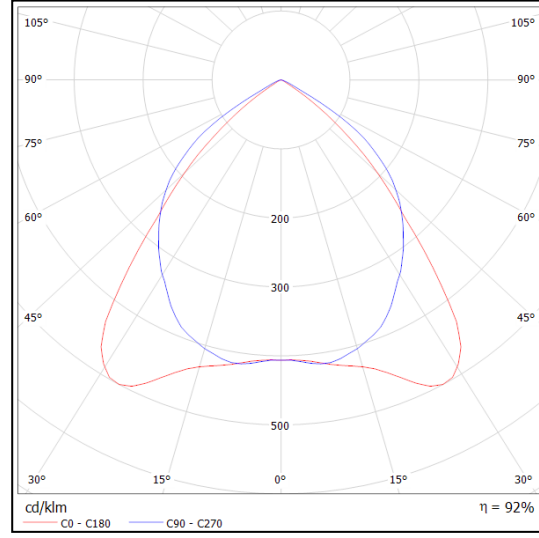
$$E_{ort} = \frac{\Phi_0 \times \eta \times BF}{A} \quad (4.6)$$

4.1.1 Verim faktörünün belirlenmesi

Çalışma düzlemine iletilen ışık akısı miktarı armatür geriverimi, hacmin boyutları ve yüzeylerinin yansıtma faktörü kadar armatürün ışık dağılımı ile de doğrudan ilgilidir. Armatürün ışık yayan yüzeyinden çıkan ışık akısı hacmin içindeki farklı bölgelere farklı oranlarda dağılır. Işık dağılımının dar açılı olduğu bir armatür ile lambalarda üretilen ışık akısı en kısa yoldan çalışma düzlemine iletilecektir. Ancak bu durumda, geniş açılı ışık dağılımına sahip bir armatürün sağlayacağından daha kötü düzgünlük değerleri elde edilecektir. Çok geniş açılı bir ışık dağılımında da armatürden çıkan ışık akısı daha fazla kayba uğrayacak ve çalışma düzlemine iletilen ışık akısı miktarı daha az olacaktır. Geriverimleri aynı olan armatürlerin aynı özelliklere ve boyutlara sahip bir hacimdeki çalışma düzleminde sağladıkları ortalama aydınlık düzeyi, armatürlerin ışık dağılım biçimine bağlı olarak değişir. Bu kapsamda, uzun süren çalışmalar ve deneysel yaklaşımların sonucunda çalışma düzlemine iletilen ışık akısı miktarı, oluşturulan transfer fonksiyonları aracılığıyla hesaplanan verim faktörü değerlerinin kullanılması ile hesaplanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmalarda önceleri verim faktörü değerleri belirlenmiş farklı armatür tipleri için deneysel çalışmalar ile bulunan sonuçlara göre verilmekte idi. İlk defa 1920'lerde, W. Harrison ve E.A. Anderson tarafından direkt ve endirekt yansımaların hesaba katıldığı standart bir yöntem önerilmiştir (Murdoch, 2003). Daha sonra, bu çalışmaların geliştirilmesi ile 1950'li yıllarda direkt, yarı direkt, karma, yarı endirekt ve endirekt aydınlatma yapabilen armatürleri temsilen önceden hazırlanmış verim faktörü tabloları kullanılmaya başlanmıştır (Özkaya, 2000). Bu tablolarda, odanın eninin(a) ve boyunun(b) armatürün çalışma düzlemine olan uzaklığına (h') oranları (a/h' ve b/h') ile verim faktörü değerleri elde edilmekte idi. Ancak farklı ışık dağılımına sahip her armatürün verim faktörü değerleri de farklı olacağından, günümüzde verim faktörü tabloları, çok daha detaylı bir biçimde, oda yüzeylerinin farklı yansıtma faktörleri, oda geometrisi, armatürün ışık dağılımı ve geriverimi dikkate alınarak her bir armatür için ayrı ayrı oluşturulabilmektedir. Böylece ilgili tablodan aydınlatma hesabı yapılacak hacmin eni, boyu, yüksekliği ile duvarlar, tavan ve döşemenin yansıtma faktörleri dikkate alınarak bir verim faktörü değeri belirlenebilmekte ve aydınlatma hesaplarında kullanılabilir. Örnek olması açısından, Şekil 4.1'de ışık dağılım eğrisi verilen içinde 2 adet 28 W gücünde T5 tüp flüoresan lamba bulunan parabolik lamelli, armatür dışına çıkan ışık akısının

%100'ünü alt yarı uzaya ileten ve %92 armatür geriverimine sahip armatüre ait verim faktörü tablosu Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : 2x28 W T5 flüoresan lambalı, parabolik lamelli armatüre ait ışık dağılım eğrisi.

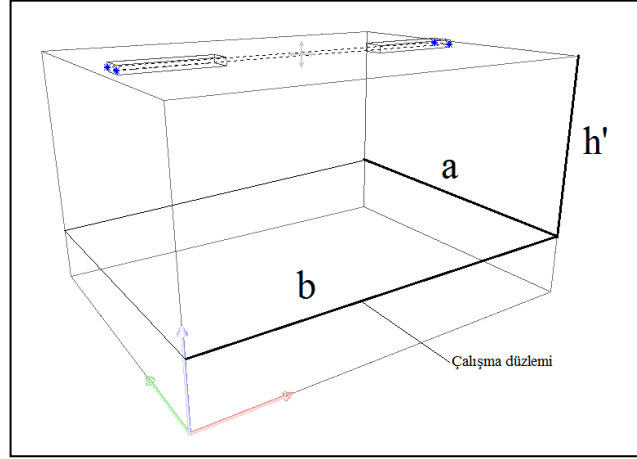
Çizelge 4.1: 2x28 W T5 flüoresan lambalı, parabolik lamelli armatüre ait verim faktörü (η) tablosu ($\eta_{arm}=0.92$).

Oda endeksi	Tavan, duvar ve zemin için yansıtma faktörleri (ρ)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
(k)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.52	0.50	0.52	0.50	0.49	0.44	0.44	0.41	0.44	0.40	0.39
0.80	0.62	0.58	0.61	0.59	0.58	0.53	0.52	0.49	0.52	0.49	0.48
1.00	0.70	0.65	0.69	0.66	0.64	0.60	0.59	0.56	0.59	0.56	0.54
1.25	0.77	0.70	0.75	0.72	0.70	0.66	0.65	0.62	0.64	0.62	0.60
1.50	0.82	0.74	0.80	0.77	0.74	0.70	0.69	0.67	0.68	0.66	0.64
2.00	0.89	0.79	0.87	0.83	0.79	0.76	0.75	0.73	0.74	0.72	0.70
2.50	0.93	0.82	0.91	0.86	0.82	0.79	0.78	0.76	0.77	0.76	0.74
3.00	0.96	0.84	0.94	0.88	0.83	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.76
4.00	1.00	0.86	0.97	0.91	0.85	0.84	0.82	0.81	0.81	0.80	0.78
5.00	1.02	0.87	0.98	0.92	0.86	0.85	0.83	0.82	0.82	0.81	0.79

Çizelge 4.1'in birinci sütunu, oda endeksi (k) adı verilen ve hacim boyutları ile hesaplanan bir değeri içerir. Oda endeksi, hacmin yatay yüzeylerinin toplam alanının düşey yüzeylerinin toplam alanına oranını ifade eder (Bean, 2004). Dar ya da yüksek hacimlerin oda endeksi küçüktür. Hacmin yüksekliği sabit kalmak koşulu ile eni ve boyu arttıkça oda endeksi de büyür. Oda endeksi hacmin eni, boyu ve armatürlerin çalışma düzlemine olan uzaklığı ile 4.7 no'lu denklemdeki gibi hesaplanabilir (Şekil 4.2).

$$k = \frac{a \times b}{h' \times (a + b)} \quad (4.7)$$

- a odanın eni [m]
b odanın boyu [m]
h' armatürün çalışma düzlemine uzaklığı [m]



Şekil 4.2 : Oda endeksi hesaplamasında kullanılan parametreler.

Literatürde oda endeksinin hesabı için kullanılan farklı denklemler de vardır. Örneğin, Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IES, *ing. Illumination Engineering Society*), verim faktörü hesaplarında kullanım katsayısı (CU, *ing. Coefficient of utilization*) adı verilen verim faktörü değerini hacmin boşluk oranına göre belirler (IESNA, 2011). Buna göre tavan, armatürler, çalışma düzlemi ve zemin arasında oluşan boşluklar olarak ifade edilen hacim yüzeylerinin belirli bir oranı hesaplanarak oda endeksi değeri (k) elde edilir. CIE yönteminden farklı olarak, IES yönteminde oda endeksi 1 ile 10 arasında değişen değerler olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, gerek CIE tarafından önerilen gerekse ülkemizde ve Avrupa’da geçerli olan teknik dökümanlarda tanımlanan denklemlere göre hesaplanan oda endeksi değeri kullanılacaktır (Denklem 4.7). Oda endeksi hesaplanıp verim faktörü tablosundan, hacim yüzeylerinin yansıtma faktörlerine göre uygun verim faktörü değeri bulunarak 4.6 no’lu denklemde kullanılır. Eğer bulunan k değeri tabloda verilen değerlerin arasında kalan bir değer ise interpolasyon yöntemi ile ara değere karşılık gelen verim faktörü değeri hesaplanır. Literatürde “verim faktörü tabloları”nın hazırlanışı ve sunulması amaçlı da farklı yöntemler mevcuttur (CIE, 1978; CIE, 1982; CEN, 2004b; CIBSE, 1980; LiTG, 1988; UTE, 1993; LTLI, 1987). Farklılıklar içerse de bütün yöntemler temelde aynı yaklaşım ile belirli kabuller

altında verim faktörü hesabı yapmaktadır. Hepsinde hacimler boştur ve dikdörtgen yüzeylerden oluşmaktadır. Tüm yüzeyler ışığı Lambert yasasına göre yani her doğrultuda parıltıları sabit olacak yansıtırlar. Armatürler düzgün ve simetrik olarak yerleştirilmiştir. Hacmin eni ile boyu arasında 1/1.6 gibi bir oran olduğu kabul edilir. Tablolar bu orana göre oluşturulmuş olmasına rağmen, hesaplamalarda farklı oranlara sahip hacimler için de tutarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Çalışma düzlemine iletilen ışık akısı miktarının hesaplanması için genel akı transfer teorisi esas alınmaktadır. Genelde armatürün belli uzay açıları ya da belirli hacim bölgeleri için ölçülmüş ışık akısı değerleri, farklı oda yüzeyleri için tanımlanan transfer fonksiyonları ile çarpılarak, çalışma düzlemine aktarılan ışık akısı miktarları hesaplanabilmektedir. Verim faktörü hesap yöntemlerindeki farklılıklar daha çok çalışma düzlemine direkt yolla iletilen ışık akısı miktarının hesaplama prosedürleri ile ilgilidir. Bu prosedürler armatürlerin yerleşimini, armatür R_{SH} oranlarını, iletilecek direkt ışık akısının bölgesel ya da noktasal olarak nasıl hesaplanacağına dair detayları içermektedir. Bu bölümde, özellikle Avrupa'da kullanılan verim faktörü hesap yöntemleri hakkında bilgiler verilerek aralarındaki farklar irdelenmeye çalışılacaktır.

4.1.1.1 CIBSE verim faktörü yöntemi

Büyük Britanya'da, verim faktörlerinin nasıl hesaplanıp, tablolarının nasıl oluşturulacağına dair yöntem İmtiyazlı Bina Servisleri Mühendisleri Enstitüsü (CIBSE, *ing. Chartered Institution of Building Services Engineers*)'nün 5 no'lu Teknik Dökümanında detaylı bir şekilde verilmektedir (CIBSE, 1980). Buna göre verim faktörü tabloları, 0.75 ile 5 arasında değişen dokuz farklı oda endeksine ve 10 farklı yüzey yansıtma faktörü kombinasyonuna göre verilmektedir. Armatür yerleşimlerinin düzgün, ışık dağılımlarının simetrik olduğu ve noktasal ışık kaynağı olarak alındıkları kabul edilmektedir. Lineer armatürler için hesaplarda farklılıklar yaratılmıştır. Direkt yolla iletilen ışık akısı için ise bölgesel faktörler kullanılmıştır. Standart oda endeksleri için bölgesel faktörler Aitken-Lagrange enterpolasyon tekniği ile 0.5'ten 2.5'e kadar 0.25'lik adımlarla değişecek şekilde üretilmiştir.

4.1.1.2 LiTG verim faktörü yöntemi

Alman verim faktörü yönteminin detayları, Alman Aydınlatma Topluluğu'nun (LiTG, *alm. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft*) 3.5 no'lu dökümanında

tanımlanmaktadır (LiTG, 1988). Buna göre verim faktörleri 0.6'dan 5'e kadar değişen 10 farklı oda endeksi ve 15 farklı yüzey yansıtma faktörü kombinasyonuna göre verilmektedir. Standart oda oranı olarak 1/1.6 alınmaktadır. Armatür yerleşimlerinin düzgün, armatürlerin ise noktasal ya da lineer ışık kaynakları olduğu kabul edilmektedir. Bunun yanında, sıva üstü olarak monte edilen armatürlerin, askı aparatları ile tavana asılabildiği durumlar da dikkate alınmıştır. Işık akısının direkt yolla iletimi ise CIBSE yönteminde olduğu gibi bölgesel faktörler ile ifade edilmiştir.

4.1.1.3 UTE verim faktörü yöntemi

Fransız verim faktörü yöntemi, Fransız Elektrik Teknik Birliği'nce (UTE, *fr. Union Technique de l'Electricité*) yayımlanan C71-121 no'lu standartta tanımlanmaktadır (UTE, 1993). Bu yöntem ile tanımlanan verim faktörü tabloları 10 farklı oda endeksi ve 13 farklı yüzey yansıtma faktörü kombinasyonu için standart oda oranının 1/1.6 olduğu kabulü ile hazırlanmıştır. LiTG yöntemindeki gibi, armatürlerin askı aparatları ile asılması durumu da dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde daha basit matematiksel altyapı kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Armatürler, $\pi/2$, π , $3\pi/2$, 2π steradyanlık uzay açıları ile alt yarı uzaya yaydıkları ışık akılarına göre sınıflandırılmış, direkt aydınlatma yapan 10 farklı tipte armatür için farklı R_{SH} değerleri göz önüne alınarak tablolar oluşturulmuştur.

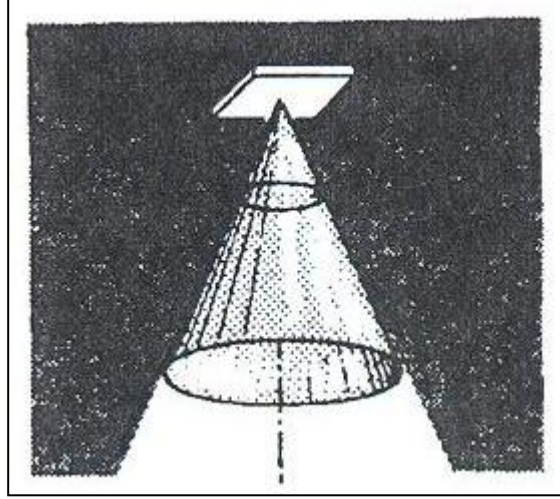
4.1.1.4 İskandinav verim faktörü yöntemi

İskandinav verim faktörü yöntemi, NBDÖC raporundaki armatürler ile ilgili bölüm içinde açıklanmaktadır (LTLI, 1987). Bu yöntem ile verim faktörü tabloları, 10 farklı oda endeksi için dokuz farklı yüzey yansıtma faktörü kombinasyonu altında verilmektedir. Armatürler noktasal ışık kaynağı olarak tanımlanmakta ve direkt olarak iletilen ışık akısının oluşturduğu aydınlık düzeyi değerleri noktasal aydınlatma hesapları ile bulunmaktadır.

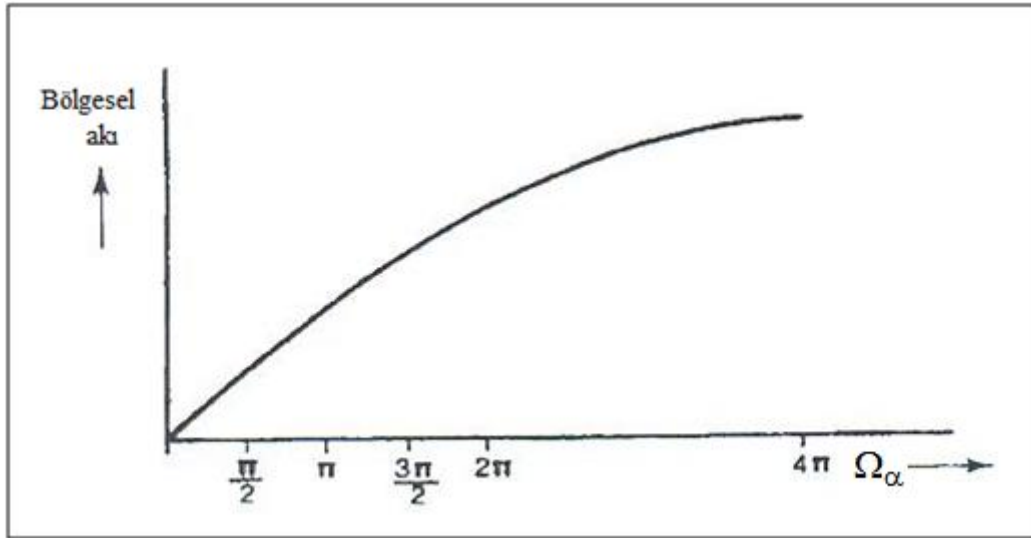
4.1.1.5 CIE verim faktörü yöntemi

CIE iç aydınlatma hesapları, CIE'nin 40 ve 52 no'lu yayınlarında tanımlanmıştır (CIE, 1978; CIE 1982). Buna göre armatürler, noktasal ışık kaynaklarıdır. Alt yarı uzayda armatürün dik eksenini etrafında tanımlanan konilerin (uzay açıların) içinden yayılan ışık akıları (Şekil 4.3), konilere ait uzay açısının dördüncü dereceden fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Şekil 4.4). $\pi/2$, π , $3\pi/2$, 2π steradyan uzay

açılarını kapsayacak şekilde dört farklı bölge tanımlanarak her bir bölge için geometrik çarpanlar, bu geometrik çarpanlar kullanılarak da farklı yüzey yansıtma faktörleri için yüzeylere ait transfer faktörü tabloları oluşturulmuştur. Armatürün farklı bölgelerde ilettiği ışık akısı miktarları ve transfer faktörü tabloları kullanılarak verim faktörü tabloları elde edilmektedir.



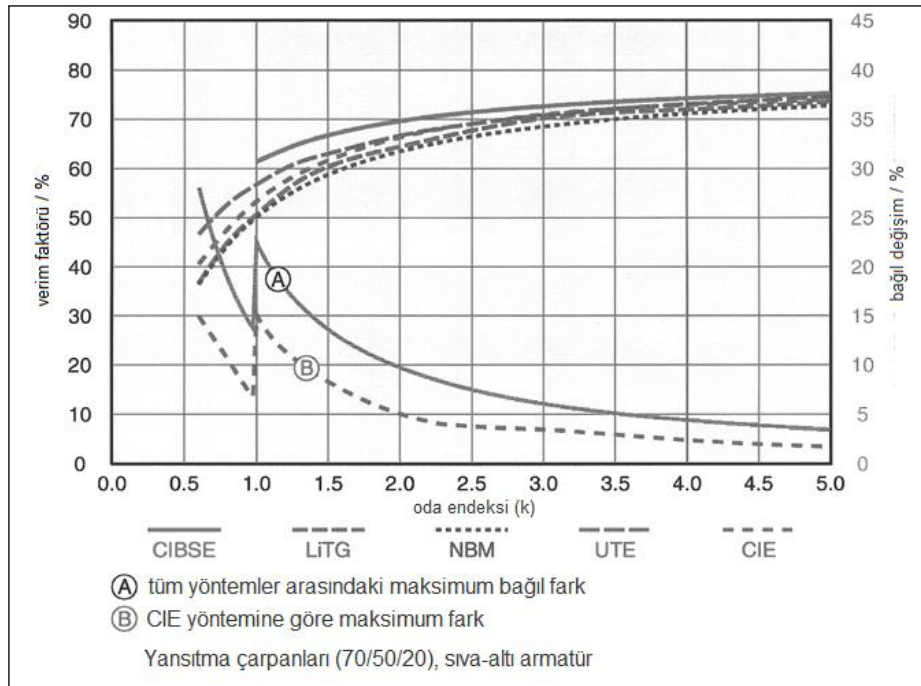
Şekil 4.3 : Armatürden belli bir koni içinden alt yarı uzaya iletilen ışık akısı (CIE, 1982).



Şekil 4.4 : Bölgesel ışık akısının 4. dereceden fonksiyonu (CIE, 1982).

CIE verim faktörü yönteminde, oda endeksleri 0.6 ila 20 arasında değişen 12 standart hacim tanımlanmıştır. Diğer yöntemlerden farklı olarak 22 adet yansıtma faktörü kombinasyonu için hesap tabloları oluşturulmuştur. Ancak pratik olması açısından, verim faktörü tablolarında Çizelge 4.1’de de görüldüğü üzere genelde 10 farklı oda endeksi ve 10 farklı yansıtma faktörü kombinasyonu için verim faktörü değerleri verilmektedir.

Avrupa Birliği'nde ise, verim faktörü hesapları ilgili CEN standardında tanımlanan yöntemle yapılmaktadır (CEN, 2004b). Bu yöntem, ülkemizde de TS EN 13032-2 no'lu ve "Işık ve aydınlatma - lambaların ve armatürlerin fotometrik verilerinin ölçülmesi ve sunulması - Bölüm 2: İç ve dış mekan iş yerleri için verilerin sunulması" isimli standart ile yürürlüktedir. Söz konusu standartta tanımlanan yöntemin temeli CIE yöntemine dayanmaktadır. Daha çok mevcut uygulamalara ve duyulan bazı ihtiyaçlara göre CIE yönteminin geliştirilmiş versiyonudur. Gerek CIE, gerek CEN'in geliştirdiği yöntem, Avrupa'daki diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, tüm yöntemler ile elde edilen değerlerin ortalamalarının sağlandığı ifade edilmektedir (Stockmar, 2005). Bu kapsamda Şekil 4.5'te, CIE verim faktörü yöntemi ile belirli koşullar altında elde edilen verim faktörlerinin, aynı koşullar altında diğer yöntemlerle elde edilen değerler ile karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 4.5'e göre, oda endeksi 1 iken tüm yöntemler arasında maksimum fark yaklaşık %22 iken, oda endeksi 5 olduğunda bu değer %3.5 civarındadır. Yine oda endeksi 1 iken, yöntemlerin CIE yöntemi ile arasındaki maksimum fark %15, oda endeksi 5 iken %2 olmaktadır.



Şekil 4.5 : Verim faktörü yöntemlerinin karşılaştırılması (Stockmar, 2005).

Gerek ülkemizde TS EN 13032-2 no'lu standart ile yürürlükte olan yöntemin CIE yöntemi temeline dayanması, gerekse diğer yöntemlere göre ortalama değerleri

sağlaması açısından, bu çalışma kapsamında kullanılacak verim faktörü tablolarının CIE yöntemine göre hesaplanması fikri benimsenmiştir.

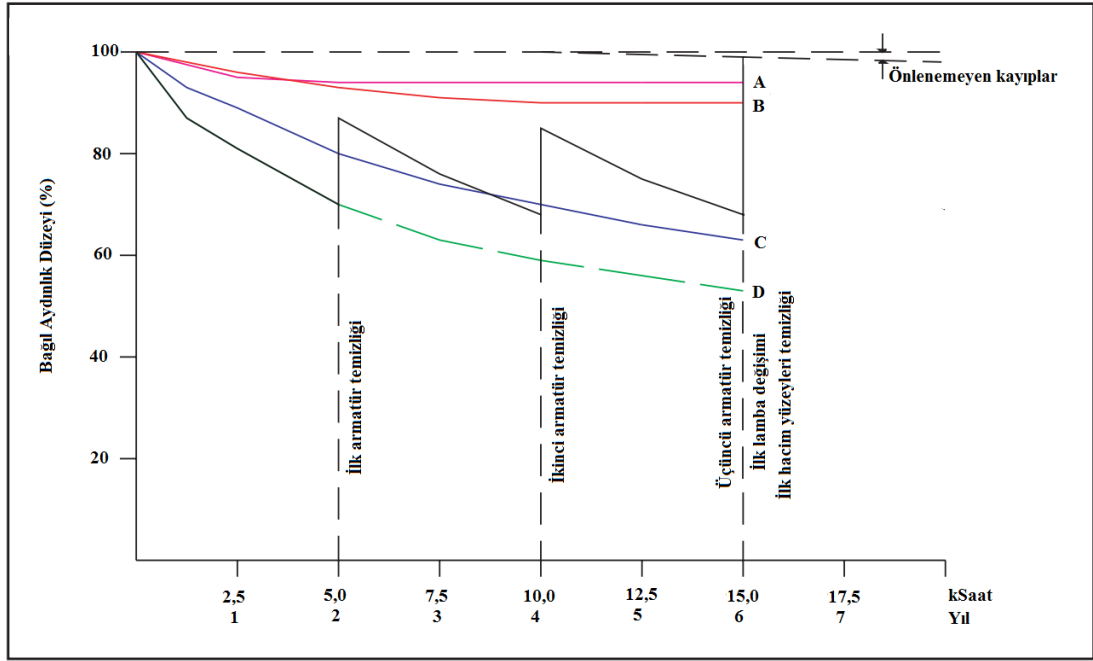
4.1.2 Bakım faktörünün belirlenmesi

Verim yöntemi ile yapılan aydınlatma hesaplarında, verim faktörünün yanında belirlenmesi gereken bir diğer faktör de bakım faktörüdür. Bakım faktörü (BF), bir aydınlatma sisteminin belli bir süre geçtikten sonra sağladığı ortalama aydınlık düzeyinin, sistemin ilk kurulduğu anda sağladığı ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak kabul edilir. Zaman içinde lambaların kullanım ve bozulmalar sonucunda toplam ışık akılarındaki düşüş ile armatürlerin, duvarların ve tavanın kirlenmesi sonucu çalışma düzlemine iletilecek ışık akısı miktarındaki azalmayı dikkate alacak şekilde hesaplara dahil edilmelidir. Bakım faktörü, CIE 97:2005/6 no'lu yayınında belirtildiği şekilde bir çok faktörün hesaba katılması ile hesaplanabilmektedir (4.8).

$$BF = OÖF \times LLBF \times ABF \times OBF \quad (4.8)$$

OÖF ortalama ömür faktörü
LLBF lamba lümen (ışık akısı) bakım faktörü
ABF armatür bakım faktörü
OBF oda bakım faktörü

Eğer bir aydınlatma sisteminde bozulan lambalar hemen değiştiriliyorsa OÖF=1 alınabilir. Bozulan lambalar ancak belirli periyotlar ile tanımlanmış bakım zamanlarında değiştirildiğinde ise OÖF değeri birden küçük bir değer alır. Diğer yandan lambaların, ekonomik ömürlerine göre belirli aralıklarda değiştirilmesi gerekmektedir. Böyle bir bakım planı yapılmış ise LLBF değeri bu plana göre belirlenmektedir. Benzer şekilde ABF de armatürlerin temizlik periyotlarına göre belirlenir. OBF ise hacim yüzeylerinin belirli aralıklarda temizlenmesi ya da tekrar boyanması durumları dikkate alınarak saptanmaktadır. Bakım faktörünün hesaplanmasında dikkate alınan tüm faktörlerin detaylı hesapları CIE'nin 97 no'lu yayınında verilmektedir (CIE, 2005). Örnek olması bakımından Şekil 4.6'da, elektronik balast ile çalışan flüoresan lambalı bir endüstriyel tip armatür için farklı bakım planlarına göre aydınlık düzeyinin bağlı değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.6 : Bakım planına bağlı olarak aydınlık düzeyinin zamana bağlı değişimi (CIE, 2005).

Şekil 4.6'ya göre, A eğrisi tavan, duvar ve zemin için yansıtma faktörleri sırasıyla 0.70, 0.50 ve 20 olan hacmin oda bakım eğrisi, B eğrisi elektronik balastlı flüoresan lambalı tesisat için lümen bakım eğrisi, C eğrisi C tipindeki armatür (reflektörlü açık armatür) için bakım eğrisi ve D eğrisi ise, aydınlatma sisteminin bakım olmadığı duruma ait eğrisini ifade etmektedir. Bu eğriler, farklı eğimlerle zaman içinde düşüş göstermektedirler. Şekil 4.6'daki eğrilerde bozulan lambaların hemen değiştirildiği varsayılarak OÖF=1 alınmıştır. Şekilden gerekli değişimlerin zamanında ve armatür, oda temizliğinin düzenli yapılması durumunda bakım yapılmayan duruma göre aydınlık düzeyleri arasında %50'ye yakın fark olduğu görülmektedir. Özellikle oda ve armatür temizliğine ait bakım planlarının yapılması, bakım faktörünün iyileştirilmesinde önemli bir etkidir.

Bir aydınlatma sistemi ile ilgili yapılacak bakımlar ve bakım periyotları önceden planlanarak, Şekil 4.6'da görülen aydınlık düzeyindeki azalmalar minimize edebilir. Her sistemde olduğu gibi, önlenemeyecek bazı kayıplar söz konusudur. Özellikle lambalar ekonomik ömürlerini doldurdıkları zaman değiştirilmelidir. Ekonomik ömürleri dolmasa da bozulmuş lambaların yerine bakım zamanını beklemeden yenileri konulmalıdır. Bu işlemlerle üretilen toplam ışık akısı sürekli istenilen seviyelerde tutulmuş olacaktır.

Armatür bakım faktörü, armatür tipine ve kullanılan hacimdeki çevre özelliklerine göre (ÇT: çok temiz, T: temiz, N: normal, K: kirli) Çizelge 4.2’de verildiği şekilde belirlenebilir. Ofis binalarında uygulanan aydınlatma tesisatlarında, sıklıkla C ya da D tipi (kapalı) flüoresan lambalı armatürler kullanılmaktadır.

Çizelge 4.2: Armatür bakım faktörü tablosu (CIE, 2005).

Temizlik Periyodu (Yıl)	0				1				2				3				
	Çevre koşulları																
Arm. Tipi	-	ÇT	T	N	K	ÇT	T	N	K	ÇT	T	N	K	ÇT	T	N	K
A	1	0.96	0.93	0.89	0.83	0.94	0.89	0.84	0.78	0.85	0.79	0.79	0.73				
B	1	0.95	0.90	0.86	0.83	0.92	0.84	0.80	0.75	0.89	0.79	0.74	0.68				
C	1	0.94	0.89	0.81	0.75	0.91	0.80	0.69	0.59	0.87	0.74	0.61	0.52				
D	1	0.94	0.88	0.82	0.77	0.91	0.83	0.77	0.71	0.89	0.79	0.73	0.65				
E	1	0.96	0.94	0.90	0.86	0.93	0.91	0.86	0.81	0.92	0.90	0.84	0.79				
F	1	0.93	0.86	0.81	0.74	0.88	0.77	0.66	0.57	0.85	0.70	0.55	0.45				

ÇT: Çok temiz; T: Temiz; N: Normal; K: Kirli

Bakım faktörünün hesaplanmasında bir diğer parametre de oda bakım faktörüdür. Aydınlatılan hacmin yüzey yansıtma faktörleri, çalışma düzleminde sağlanacak aydınlık düzeyinin indirekt bileşenini belirler. Yansıtma faktörlerinin büyümesi sağlanacak aydınlık düzeyinin artması anlamına gelir. Dolayısıyla, zamanla kirlenen ve yansıtma özellikleri azalan yüzeylerin periyodik temizliği oldukça önemlidir. Bu kapsamda, farklı bakım periyotları ve çevre koşullarında farklı yüzey yansıtma faktörlerinin kombinasyonları için oda bakım faktörü CIE 97 no’lu yayında belirtilen şekilde hesaplanabilmektedir. Direkt aydınlatma yapan bir armatür için hazırlanmış oda bakım faktörü tablosuna ait bir örnek Çizelge 4.3’te verilmektedir.

Çizelge 4.3: Direkt aydınlatma yapan bir armatür için oda bakım faktörü tablosu (CIE, 2005).

ρ T/D/Z	Zaman [yıl]	0	1	2	3	4	5	6
	Çevre							
0.8/0.7/0.2	ÇT	1	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95
	T	1	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	N	1	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	K	1	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.8/0.5/0.2	ÇT	1	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	T	1	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	N	1	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	K	1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
0.8/0.3/0.2	ÇT	1	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	T	1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	N	1	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	K	1	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
0.7/0.7/0.2	ÇT	1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	T	1	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	N	1	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	K	1	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
0.7/0.5/0.2	ÇT	1	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	T	1	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	N	1	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	K	1	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
0.7/0.3/0.2	ÇT	1	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	T	1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	N	1	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93
	K	1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91

ÇT: Çok temiz; T: Temiz; N: Normal; K: Kirli

Aydınlatma hesaplarında bakım faktörünün tam olarak belirlenebilmesi için armatür tipi, yüzey yansıtma faktörleri gibi bilgilerin yanı sıra, planlanan bakım periyotları hakkında da detaylı bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Endüstriyel işlerin yapıldığı bir iç hacimdeki aydınlatma için bakım faktörü 0.6 alınabilir. Buna karşın, çok sık aralıklarla oda ve armatür temizliği yapılan, lambaların zamanında değiştirildiği bir aydınlatma sisteminde bakım faktörü 0.80'lerin üzerinde hesaplanabilmektedir (Ryckaert ve diğ., 2010). Pratikte, klasik bir ofis hacmi için, aydınlatma hesaplarında bakım faktörü genelde 0.80 alınmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek aydınlatma hesaplarında bakım faktörü, doğru bir bakım planının olduğu varsayılarak 0.80 olarak alınacaktır.

4.2 Verim Faktörü Yöntemi ile Kurulu Güç Hesabı

Işık akısı yöntemi ile ortalama aydınlık düzeyi hesaplanabildiği gibi, ulaşılması istenilen ortalama aydınlık düzeyini sağlayabilecek lamba sayısı ve dolayısıyla gücü

de belirlenebilir. Öncelikle 4.6 no'lu denklem yeniden düzenlenerek üretilmesi gereken toplam ışık akısı miktarı 4.9 no'lu denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$\Phi_0 = \frac{E_{ort} \times A}{\eta \times BF} \quad (4.9)$$

Öte yandan, söz konusu hacimdeki toplam aydınlatma kurulu gücü (P_n), toplam armatür sayısı (N) ile armatür gücünün (P_{arm}) çarpımına eşittir (4.10). Toplam armatür sayısı 4.1 no'lu denklemde çekilerek 4.10 no'lu denklemde yerine konulduğu zaman 4.11 no'lu denklemdeki eşitliğe ulaşılır.

$$P_n = N \times P_{arm} \quad (4.10)$$

$$P_n = \frac{\Phi_0}{n \times \Phi_L} \times P_{arm} \quad (4.11)$$

- P_n n no'lu hacmin toplam kurulu gücü [W]
- Φ_L lamba ışık akısı [lm]
- n armatürdeki toplam lamba sayısı
- P_{arm} armatür gücü (balast, trafo, sürücü, vs. kayıpları dahil) [W]

Diğer yandan, 3.10 no'lu denklemde ifade edilen armatür etkinlik faktörü (e_{arm}), denklem 3.9'a göre yeniden düzenlenirse 4.12 no'lu denklem elde edilir.

$$e_{arm} = \frac{n \times \Phi_L \times \eta_{arm}}{P_{arm}} \quad (4.12)$$

4.12 no'lu denklemde P_{arm} çekilirse 4.13 no'lu denkleme ulaşılır.

$$P_{arm} = \frac{n \times \Phi_L \times \eta_{arm}}{e_{arm}} \quad (4.13)$$

4.11 no'lu denklemde Φ_0 ve P_{arm} yerine sırasıyla 4.9 ve 4.13 no'lu denklemler konulduğunda ise 4.14 no'lu denkleme ulaşılır.

$$P_n = \frac{E_{ort} \times A \times \eta_{arm}}{\eta \times BF \times e_{arm}} \quad (4.14)$$

Daha önce belirtildiği üzere verim faktörü (η), armatür verimi, armatür ışık dağılımı ile oda geometrisi ve yüzey yansıtma özelliklerine göre değişmektedir ve verim faktörü, armatür geriverimi (η_{arm}) ve oda verim faktörü (η_{oda}) olarak denklem 4.4'te belirtildiği üzere iki bileşenden ($\eta = \eta_{arm} \times \eta_{oda}$) oluşmaktadır. 4.14 denkleminde η armatür verimi yerine 4.4 eşitliği kullanılırsa;

$$P_n = \frac{E_{ort} \times A}{BF \times \eta_{oda} \times e_{arm}} \quad (4.15)$$

4.15 no'lu denklem elde edilir. Söz konusu denklem, A alandaki bir hacimde belirli bir bakım faktörü ile (BF) sağlanması istenilen ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}) için gerekli kurulu gücün oda verimi ile armatür etkinlik faktörüne bağlı olduğunu ifade etmektedir.

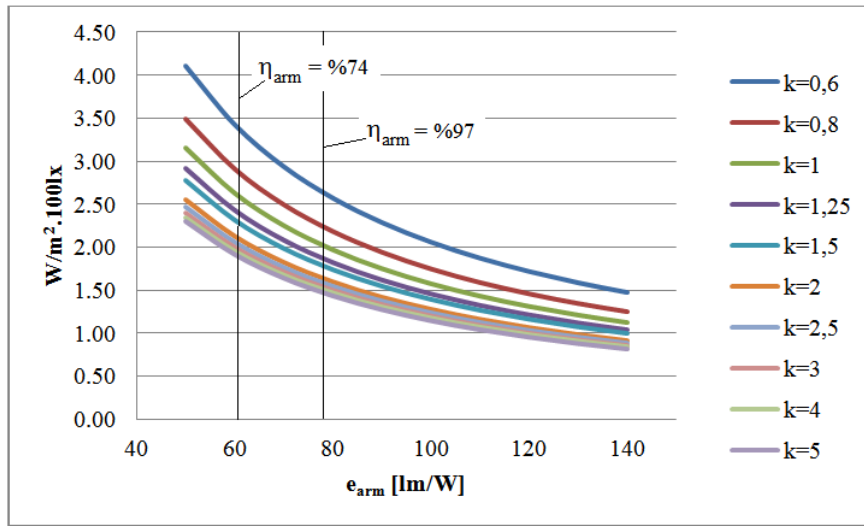
Bu durumda, 100 lx aydınlık düzeyi sağlayabilmek için metrekare başına çekilen gücü ($W/m^2/100lx$) ifade eden normalize güç yoğunluğu (NGY) değeri ise 4.16 no'lu denklemde olduğu gibi hesaplanabilir.

$$NGY = \frac{100}{BF \times \eta_{oda} \times e_{arm}} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16 incelendiğinde, armatür etkinlik faktörü ile armatürün ışık dağılımına ve yüzey yansıtma faktörlerine göre belirlenen oda verim faktörünün, kurulu gücün belirlenmesinde en önemli iki parametre olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, aydınlatma enerjisi tasarruf hesapları için referans olabilecek armatürlerin yüksek etkinlik faktörüne ve üretilen ışığı verimli bir şekilde çalışma düzlemine iletecek iyi bir optik tasarıma sahip olmaları beklenmektedir.

Armatür etkinlik faktörü, armatürde kullanılan ışık kaynaklarının etkinlik faktörüne, lamba yardımcı elemanlarının verimine ve armatürün geriverimine, dolayısıyla lamba ve armatür teknolojisine bağlıdır. 4.15 ve 4.16 no'lu denklemlerde kullanılacak armatür etkinlik faktörü, mevcut teknolojik durum dikkate alınarak belirlenebilir. Örneğin günümüzde, ofis aydınlatmalarında kullanılan tüp flüoresan lambalı armatürler incelendiğinde, A2 tipi elektronik balast ile kullanılan T5 flüoresan lambaların etkinlik faktörülerinin 80 lm/W civarında olduğu, armatür geriverimlerinin de %90'ların üzerine çıkabildiği görülmektedir. Dolayısıyla, gerek

optik tasarımının iyi olması gerekse verimli lamba ve balastların kullanımı ile yüksek verimli olarak nitelendirilebilecek bir armatürün etkinlik faktörü 70 ila 80 lm/W arasında olabilecektir. Denklem 4.16’da ifade edildiği gibi, armatür etkinlik faktörünün artması ile elde edilecek NGY değerleri daha düşük olacak dolayısıyla aynı aydınlık düzeyi daha düşük kurulu güç ile sağlanabilecektir. Bu kapsamda, armatür etkinlik faktörünün kurulu güce etkisini inceleyebilmek amacıyla, bakım faktörünün 0.80 kabul edildiği yansıtma faktörlerinin tavan, duvar ve zemin için 0.70/0.50/0.20 olduğu durum için, direkt aydınlatma yapan, parabolik lamelli, 2x28 W T5 flüoresan lambalı armatüre ait verim faktörü değerleri kullanılarak farklı oda endeksleri ($k=0.6$ ’dan $k=5$ ’e kadar) için NGY değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

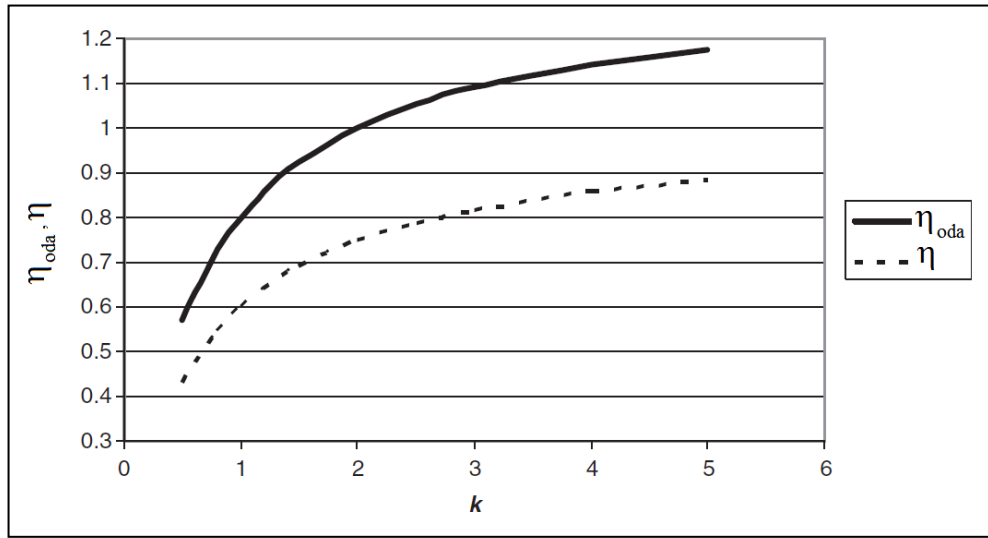


Şekil 4.7 : Normalize güç yoğunluğunun farklı oda endeksleri için armatür etkinlik faktörüne bağlı değişimi.

Şekil 4.7’de verilen armatürün katalog değerleri incelendiğinde %74 olan geriverimine göre etkinlik faktörü yaklaşık 60 lm/W’tır. Armatürün geriverimi %97’ye çıkarılabildiğinde (ETAP, 2012), armatür etkinlik faktörü yaklaşık 80 lm/W değerlerine ulaşacak ve Şekil 4.7’de görüldüğü üzere daha düşük NGY değerlerine sahip tesisatlar elde edilebilecektir. Ancak bu noktada önemli olan armatürlerin hem düzgünlük, hem de kamaşma sınır değerlerini sağlayabilen ışık dağılımlarına sahip olmalarıdır.

Oda verim faktörü ise, armatürün ışık dağılım eğrileri ve hacim yüzeylerinin yansıtma faktörleri ile ilgilidir. Belirli koşulların kabulü ile teorik olarak da belirlenebilir. Hanselaer ve diğ. (2007), verimli aydınlatma sistemleri için hedef

kurulu güç değerlerinin belirlenmesi amaçlı çalışmasında, EN 12464-1 standardında tanımlanan konfor koşullarından yola çıkarak belirli kabuller altında oda verim faktörünü teorik olarak hesaplamaya çalışmıştır. EN 12464-1 standardında, görsel konfor açısından çalışma düzlemi dışındaki yüzeylerde sağlanacak aydınlık düzeyinin çalışma düzleminde sağlanacak aydınlık düzeyine oranının 0.5'den büyük olması önerilmektedir. Bu kapsamda, Hanselaer ve diğ. (2007)'nin çalışmasında söz konusu oran dikkate alınmış ve teorik bir oda verim faktörü eğrisi tanımlanmaya çalışılmıştır. Hacim yüzey faktörlerinin tavan/duvar/zemin için sırasıyla 0.7/0.5/0.2 olduğu kabulü ile oda verim faktörü, k oda endeksine bağlı olarak ifade edilebilmiştir. Şekil 4.7'de Hanselaer ve diğ. (2007)'nin oda verim faktörü eğrisinin oda endeksine bağlı değişimi verilmektedir.



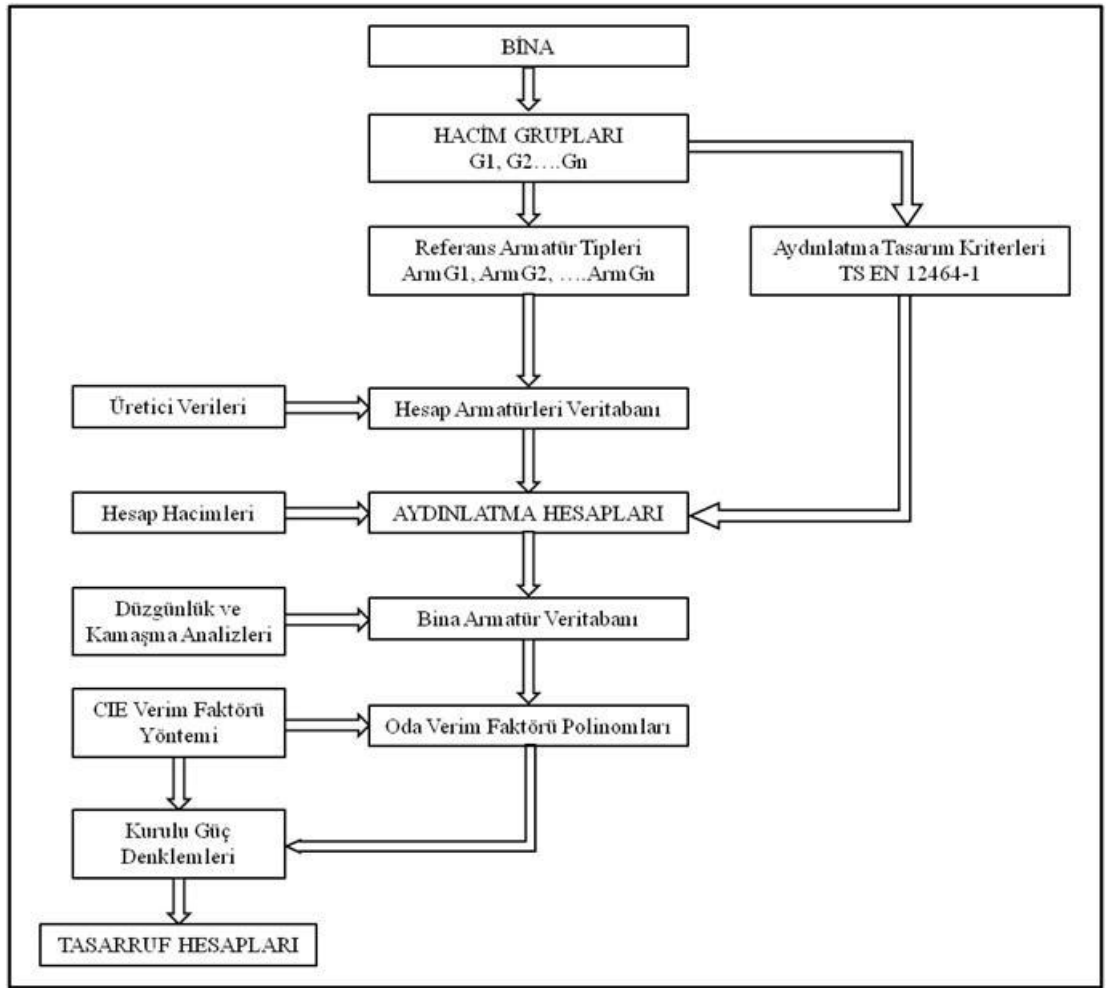
Şekil 4.8 : Oda verim faktörü ile verim faktörünün (η_{oda} ve η), $\eta_{arm}=0.75$ ve $\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için oda endeksine bağlı değişimi (Hanselaer ve diğ, 2007).

Şekil 4.8'e göre, η_{oda} teorik oda verim faktörü eğrisi, η ise bu eğriyi sağlayabilecek ışık dağılım eğrisine sahip, geriverimi %75 olan bir armatürün verim faktörü eğrisidir. Söz konusu eğri, yüzey yansıtma faktörlerinin 0.70/0.50/0.20 olması durumu için hacme aktarılan ışık akısının hacim yüzeylerine belirli bir oranda dağıtıldığı kabulü ile elde edilmiştir. Dolayısıyla teorik oda verim faktörü eğrisi, hedef kurulu güç ve ulaşılabilecek maksimum oda verim faktörü değerlerinin belirlenebilmesi amacı ile oldukça kullanışlı olabilir. Ancak pratikte, kamaşma sınırlandırılması ve ortalama düzgünlük değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla geliştirilen armatür tasarımları ile söz konusu teorik eğriye yaklaşılabilmesi mümkün olamamaktadır. Özellikle farklı kullanım amacına sahip hacimler için önerilen

değişik tipteki armatürlerin ışık dağılım karakteristikleri oldukça farklı olabilmektedir. Dolayısıyla, her bir hacim için önerilen armatür tipine göre oda verim faktörü eğrileri farklı olabilmekte ve de teorik eğrinin sağladığı değerlerin altında kalmaktadır. Bu sebeple, ofis binalarında aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanması amacı ile yürütülen bu çalışmada öncelikle bina hacimleri kullanım amacına göre gruplanmalı; kurulu güç hesapları, her bir grup için amacına uygun tanımlanmış armatür tiplerinin ışık dağılım karakteristiklerine göre belirlenmiş oda verim faktörü eğrileri ile yapılmalıdır. Bu eğriler belirlenirken, istenilen kamaşma ve düzgünlük değerlerini sağlayabilen enerji verimli sistemler göz önüne alınmalıdır. Bölüm 5'te, tanımlanan hacim grupları, referans armatür tipleri ve referans oda verim faktörü eğrileri ile aydınlatma enerji tasarruf potansiyeline ilişkin hesap yöntemi detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

5. ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu doktora tezinde önerilen enerji tasarrufu potansiyeli hesaplama yöntemindeki temel amaç, bir bina tipi için mevcut aydınlatma sisteminin yerine önerilecek enerji verimli yeni sistemin kurulu gücünün standart bir yaklaşımla hesaplanabilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, tasarruf potansiyeli hesaplarında kullanılmak üzere her bir hacim için hesaplanacak kurulu güçler bu bölümde tanımlanan adımlar izlenerek açıklanan belirli kabuller altında belirlenebilir. Bu amaç kapsamında, 4.15 no'lu denklemde tanımlanan kurulu güç ifadesindeki parametrelerin hesaplanmasına ilişkin önerilen yöntem Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Enerji tasarruf potansiyeli hesaplama yönteminin şematik gösterimi.

Şekil 5.1’de şematik olarak gösterilen yöntem, benzer hacimleri bulunan, hacimleri kullanım amacına göre gruplandırılabilen herhangi bir bina tipi için uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yöntemin, hacimleri kullanım amaçlarına göre kolayca gruplandırılabilen, ticari binalar içinde enerjinin yoğun olarak kullanıldığı, tüketilen toplam elektrik enerjisi içinde aydınlatmanın payının yüksek olduğu ofis binalarına uygulanması hedeflenmiştir.

Şekil 5.1’de gösterilen yöntem doğrultusunda, ofis hacimleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış ve her bir grup için referans armatür tipleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir grup için belirlenen referans armatür tiplerine ait onlarca fotometrik veri, armatür üreticilerinin kataloglarından elde edilmiş ve aydınlatma tasarım kriterlerini tanımlanan farklı koşullar altında sağlayabilen armatürlerin ışık şiddeti tabloları kullanılarak elde edilen oda verim faktörü eğrileri incelenmiştir. İncelenen eğriler ile her bir hacim grubu için referans oda verim faktörü eğrileri bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca, kurulu güç hesaplarında kullanılacak armatür etkinlik faktörleri de belirlenmiştir. Her bir hacim için kurulu güçlerin belirlenebilmesi ile toplam enerji tasarrufu potansiyeli de hesaplanabilmektedir.

Bir enerji sisteminde sağlanabilecek enerji tasarruf miktarı, mevcut sistemin tükettiği enerji miktarı ile yerine önerilecek sistemin tüketeceği olası enerji miktarı arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Aydınlatma sistemlerinin yıllık enerji tüketimi Bölüm 2’de, 2.3 no’lu denklemde belirtildiği şekilde hesaplanabilmektedir. Söz konusu denklemde temel olarak aydınlatma kurulu gücü (P_n) ile kullanım süreleri dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda, m adet hacmi olan bir ofis binasının tümünün aydınlatma enerjisi 5.1 no’lu denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$W_L = \sum_{n=1}^m P_n F_{C,n} F_{O,n} (t_{D,n} F_{D,n} + t_{N,n}) \quad (5.1)$$

5.1 no’lu denklemdeki her bir hacim için ayrı ayrı hesaplanması gereken faktörler, Bölüm 2’de tanımlandığı gibi, hacimdeki pencere ve çatı açıklıklarının sağladığı günışığı katkısını ve hacimde bulunan kontrol sistemlerinin etkisini ifade etmektedir. Bu çalışmada temel olarak mevcut binalardaki aydınlatma tesisatlarının enerji tasarruf potansiyellerinin değerlendirilmesi amaçlandığı için, hacmin yapısal özelliklerinin sabit kaldığı varsayılarak hesaplar, sadece aydınlatma kurulu gücünün

ve tüketilen enerji miktarının azaltılabilmesi esasına dayalı olarak gerçekleştirilecektir. Bu amaç doğrultusunda mevcut P_n kurulu gücüne sahip n no'lu hacim için önerilen P'_n kurulu gücüne sahip aydınlatma sistemi ile sağlanabilecek yıllık enerji tasarruf miktarı ($W_{LT,n}$) 5.2 no'lu denklem ile hesaplanabilir. Her bir hacim için hesaplanan yıllık elektrik enerjisi tasarruf miktarları ise tüm bina için 5.3 no'lu denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$W_{LT,n} = (P_n - P'_n)[F_{C,n}F_{O,n}(t_{D,n}F_{D,n} + t_{N,n})] \quad (5.2)$$

$$W_{LT} = \sum_{n=1}^m (P_n - P'_n)[F_{C,n}F_{O,n}(t_{D,n}F_{D,n} + t_{N,n})] \quad (5.3)$$

Binaların enerji tasarruf potansiyellerinin karşılaştırılabilmesi açısından 5.3 no'lu denklem ile tanımlanan tasarruf miktarı, dikkate alınan toplam alana bölünerek, metrekare başına elde edilebilecek tasarruf miktarını ifade eden bir göstergeye ulaşılabilir. Bu kapsamda, Aydınlatma Enerjisi Tasarruf Göstergesi (AETG) tanımlanarak 5.4 no'lu denklemdeki şekilde ifade edilmiştir. Bu gösterge ile binaların aydınlatma enerji tasarrufu potansiyelleri, enerji performansları gibi karşılaştırılabilir olarak ifade edilebilecektir.

$$AETG = \frac{W_{LT}}{A} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{yıl}} \right] \quad (5.4)$$

Denklem 5.2 incelendiğinde, söz konusu hacim için önerilen aydınlatma sistemi kurulu gücü (P'_n) analitik olarak hesaplanarak ilgili denklemde kullanılabildiğinde, aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanabileceği görülmektedir. Önerilecek sistemin kurulu gücü 4.15 no'lu denklemde açıklandığı şekilde, hacmin alanı (A), sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}), bakım faktörü (BF), oda verim faktörü (η_{oda}) ve armatür etkinlik faktörüne (e_{arm}) bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

4.15 no'lu kurulu güç denkleminde yer alan terimlerin belirlenebilmesi için kurulu güç hesabı yapılacak hacim ile ilgili bazı bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgilerin büyük çoğunluğu, aydınlatma enerji performansı hesaplamalarında kullanılan veri grubundan elde edilebilmektedir. Bir hacmin kurulu gücü, hacmin boyutları, çalışma

düzleminin yüksekliği ve hacim yüzeylerinin yansıtma faktörlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. İlgili hacmin kullanım amacı ve boyutları, TS EN 12464-1 standardında tanımlanan ortalama aydınlık düzeyinin (E_{ort}) belirlenmesine ve hacmin toplam alanının (A) hesaplanabilmesine olanak vermektedir. Bakım faktörü (BF) de, CIE'nin 97 no'lu yayınına göre belirlenebilmektedir. Oda verim faktörü (η_{oda}) ise, hacmin boyutları ve çalışma düzleminin yüksekliği parametre alınarak hesaplanan oda endeksi (k) değerine bağlı olarak, bu bölümde tanımlanacak 4. dereceden polinomlar yardımı ile farklı hacim yüzey yansıtma faktörleri dikkate alınarak hesaplanabilecektir. Bu bölümde ayrıca çalışma kapsamında incelenen armatürler ve mevcut teknoloji dikkate alınarak, farklı hacim grupları için tanımlanan armatür tiplerine ilişkin armatür etkinlik faktörü (e_{arm}) değerleri de belirlenecektir.

Denklem 4.15'in yüksek oda verim faktörü ile yüksek armatür etkinlik faktörü sağlanarak minimize edilebileceği açıktır. Yüksek oda verim faktörlerinin eldesi, armatür dışına aktarılan ışık akısını hacimde istenilen ortalama düzgünlük değerini sağlayabilecek ve kamaşmayı istenilen değerlerde sınırlayabilecek şekilde çalışma düzlemine maksimum oranda iletebilen ışık dağılım karakteristiğinin belirlenebilmesi ile mümkün olabilecektir.

Bölüm 4'te de ifade edildiği gibi, farklı oda endeksleri ve yüzey yansıtma faktörleri için ulaşılabilecek hedef oda verim faktörü değerleri, Hanselaer ve diğ. (2007) ve Ryckaert ve diğ. (2010)'nin çalışmalarında tanımlandığı şekilde teorik olarak hesaplanabilmektedir. Bu eğriler, hacim içindeki parıltı dağılımından yola çıkılarak, tanımlanan kabuller altında görsel konfor koşullarının sağlandığı kabul edilerek belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada elde edilen eğrilerin uygulamada elde edilmesi zor olduğu gibi, farklı kullanım amacına sahip hacimler için farklı eğrilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulamada, ofis binalarını oluşturan farklı kullanım amacına sahip birçok hacim söz konusudur ve her bir hacim tipi için farklı özelliklere sahip armatürlerin kullanılması önerilmektedir (Philips, 1993; IESNA, 2011). Ayrıca, kullanım amacına ve aydınlık düzeyi ihtiyacına göre UGR değerleri de değişiklik göstermektedir. Tüm ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla, kurulu güç hesaplarında kullanılacak hedef oda verim faktörü değerlerine ulaşabilmek için oda endeksine (k) bağlı 4. dereceden bir fonksiyon olarak ifade edilebilen oda verim faktörü eğrileri tanımlanacaktır. Buna göre, farklı kullanım amacına sahip hacimler için belirlenecek verimli armatür tipleri kullanılarak yapılacak aydınlatma hesaplarının analizi ile,

istenilen ortalama aydınlık düzeyi değerlerini ve düzgünlüğünü sağlayabilen, ayrıca UGR'yi de istenilen sınırlarda tutabilen armatürler belirlenecektir. Belirlenen armatürlere ait ışık şiddeti dağılımları kullanılarak CIE verim faktörü hesaplama yöntemi yardımı ile önce verim faktörü eğrileri, ardından oda verim faktörü eğrileri tanımlanacaktır. Buradaki asıl amaç, her bir hacim grubu için TS EN 12464-1'de tanımlanan aydınlatma tasarım kriterlerini minimum kurulu güç ile sağlayabilen armatürlerin ışık şiddeti dağılımları kullanılarak, kurulu güç hesaplarında referans olabilecek, oda verim faktörü eğrilerini ifade edecek k değerine bağlı 4. dereceden fonksiyonların tanımlanmasıdır. Bu amaçla, öncelikle ofis binalarının hacimleri kullanım amaçlarına göre gruplanacaktır. Her bir hacim grubu için kullanım amaçlarına uygun aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilecek, verimli armatür tipleri tanımlanacaktır. Farklı hacim grupları için yapılacak aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere, armatür üreticilerinin katalogları taranarak tanımlanan kriterlere uygun armatürler seçilecektir. Aydınlatma hesapları, her bir hacim grubu için, aydınlatma tasarım kriterleri dikkate alınarak farklı aydınlık düzeyleri ve oda endeksleri için tekrarlanacaktır. Hesaplar sonucunda aydınlatma tasarım kriterlerini minimum kurulu güçler ile sağlayabilen armatürler belirlenip, söz konusu armatürlerin ışık şiddeti tabloları kullanılarak oda endeksine ve hacim yüzey yansıtma faktörlerine bağlı oda verim faktörü eğrileri elde edilecektir. Bu yaklaşım ile, tanımlanan her bir hacim grubu için, kullanım amaçlarına yönelik belirlenmiş aydınlatma tasarım kriterlerini enerji verimli biçimde sağlayabilen ışık dağılımına sahip armatür verilerinden elde edilen referans oda verim faktörü eğrileri ile, pratikte yer bulabilecek ve ekonomik olarak uygulanabilir tasarruf potansiyellerinin hesaplanabilmesi mümkün olacaktır.

5.1 Ofis Binası Hacimlerinin Gruplandırılması

Bir ofis binası düşünüldüğünde farklı kullanım amacına sahip birçok hacim ile karşılaşılacaktır. Çizelge 3.8'de, ofis binalarında yer alabilecek tüm hacimlere ilişkin TS EN 12464-1 standardında tanımlanan aydınlatma tasarım kriterleri verilmektedir. Söz konusu çizelgeden görüldüğü üzere, bu hacimlerin bazıları çalışma, bazıları dolaşım veya bekleme, bazıları da teknik hacimlerdir. Bu kapsamda, ofis binalarının hacimleri kullanım amaçları ve fonksiyonlarına göre değerlendirilerek G1, G2, G3 ve G4 olmak üzere temel olarak dört grupta

toplantılabilmektedir. Söz konusu grupları oluşturan hacimler, sağlanması gereken aydınlatma kriterleri ile birlikte Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1: Ofis binalarının hacimlerinin kullanım amacına göre gruplandırılması.

Grup	Genel tanımı	Kullanım Amacı	E_m	UGR	R_a
G1	Dikkat isteyen, detaylı iş yapılan, görsel konfor şartlarının ön planda olduğu çalışma hacimleri	Seminer salonu, derslik, dosyalama, kopyalama, ekran kullanılan ofisler	300	19	80
		Okuma, yazma, veri işleme, konferans salonu, toplantı salonu, teleks-posta-santral odası,	500	19	80
		Revir	500	16	80
		Teknik çizim, ince detay içeren işler	750	16	80
G2	Çalışma hacimleri dışında kalan daha çok dolaşım, bekleme veya dinlenme amaçlı ya da kaba iş gerektiren hacimler	Giriş holleri (tek kat yüksekliğinde), dinlenme odaları	100	22	80
		Acil çıkış merdiven ve holleri		28	
		Koridorlar, bekleme salonları, kantinler		22	
		Merdiven ve asansör holleri, hizmetli odaları, banyo ve tuvaletler, ekipman odası, arşiv odası	200	25	80
		Resepsiyon, danışma, fiziksel egzersiz odaları, sergi salonu, yemekhane	300	22	80
G3	Hijyen koşullarının ön planda olduğu hacimler	Çamaşırhaneler	200	25	80
		Mutfak	500	22	80
G4	Teknik Hacimler	Garaj, park alanları	75	28	40
		Yükleme rampaları/bölümleri	150	25	40
		Elektrik pano odası, kazan dairesi, depolar	200	25	60

Çizelge 5.1 incelendiğinde, G1 grubunun dikkat isteyen, detaylı iş yapılan, görsel konfor şartlarının ön planda olduğu çalışma hacimlerinden oluştuğu görülmektedir. Bu hacimler genel olarak klasik çalışma hacimlerini kapsamaktadır. Bunların yanında, seminer, toplantı, konferans salonları, derslikler ve revir gibi hacimler de G1 grubuna dahil edilmiştir. G2 grubu, çalışma hacimleri dışında kalan daha çok dolaşım, bekleme veya dinlenme amaçlı ya da kaba iş gerektiren hacimlerden oluşmaktadır. Bir ofis binasında çalışma hacimlerinden sonra en fazla kullanım alanına sahip dolaşım ve bekleme salonu gibi hacimlerin yanında ekipman ve arşiv odaları, resepsiyon, danışma, fiziksel egzersiz odaları, sergi salonu ve yemekhane de bu gruba dahil edilmiştir. G3 grubunda, hijyen koşullarının ön planda olduğu hacimler ifade edilmektedir. Mutfak ve çamaşırhaneler bu grup kapsamında değerlendirilmiştir. G4 grubu ise garaj, depolar, yükleme bölümleri, elektrik pano

odası ve kazan dairesi gibi hacimlerden oluşmaktadır. G4 grubu, teknik hacimler olarak tanımlanmıştır.

Bina hacimlerinin kullanım amaçlarına göre gruplandırılması, her bir grubun aydınlatma ihtiyacını karşılayabilen, tasarım kriterlerini ve görsel konfor koşullarını sağlayabilen, kolay ulaşılabilir ve ekonomik olarak uygulanabilir armatür tiplerinin belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle, tasarruf hesapları yapılacak hacimler kullanım amaçları ve aydınlatma ihtiyaçlarına göre söz konusu dört gruptan birine dahil edilerek kurulu güç hesaplarının yapılması mümkün olacaktır.

Ofis binaları için tanımlanan gruplara ve bu gruplarda bulunan birçok hacme farklı bina tiplerinde de rastlamak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, bu bölümde tanımlanan hacimlere sahip binalar için çalışma kapsamında elde edilen kurulu güç denklemleri kullanılabilir. Bu tip binalar için, farklı kullanım amacına sahip hacimlerden yeni gruplar oluşturularak çalışma kapsamında önerilen yöntem ile yeni hedef kurulu güç denklemleri elde edilebilecektir. Bu sayede, farklı bir bina tipi için de enerji tasarrufu potansiyelleri hesaplanabilir olacaktır.

5.2 Hacim Gruplarına Göre Armatür Tiplerinin Belirlenmesi

Her bir grup için tanımlanacak armatür tiplerinin, söz konusu gruplarda yer alan hacimlerin ihtiyacı olan ortalama aydınlık düzeylerini yaratabilecek miktarda ışık akısına sahip olmalarının yanı sıra, ışık dağılımlarının da ortalama düzgünlük değerini sağlayabilen ve kamaşmayı sınırlayabilen özellikte olması gerekmektedir. Bunun yanında, armatür tipinin belirlenmesinde her bir grubu oluşturan hacimlerin yapısal özellikleri ve kullanım amacına bağlı olarak, armatür yapısı ve koruma sınıfları da dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda, dört farklı hacim grubu için verimli armatür tipleri belirlenirken aşağıdaki kriterler göz önüne alınmıştır:





- Kullanılan ışık kaynağı
- Yardımcı elektriksel elemanları
- Işık dağılım eğrileri (direkt)
- Geriverimi
- Optik yapısı ve özellikleri
- Koruma sınıfı
- Boyutları

- Montaj şekli
- Maliyeti

Verimli bir armatür tipi tanımlanırken şüphesiz ki, en önemli noktalardan biri kullanılan ışık kaynağının etkinlik faktörü değerinin yüksek olmasıdır. Ofis binalarında halen yaygın olarak kullanılan, kolay ulaşılabilir ve maliyetleri oldukça düşük tüp ve kompakt flüoresan lambalar farklı hacim gruplarında kullanılacak armatürler için uygun ışık kaynağı olarak tanımlanabilir. Son yıllarda LED'ler oldukça yüksek etkinlik faktörü değerlerine sahip olsalar bile, LED teknolojisinin halen gelişiyor ve değişiyor olması, standartlarının tam olarak tanımlanamamış ve maliyetlerinin oldukça yüksek olması gibi nedenlerle henüz yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenlerle, çalışma kapsamında günümüz koşullarında piyasada kolay ulaşılabilen, ekonomik ve enerji verimliliği projelerinde uygun geri ödeme süreleri sağlayan flüoresan lambalı armatürler kullanılacaktır. Flüoresan lambalar, enerji verimliliği açısından değerlendirildiklerinde en az A2 sınıfı yüksek frekanslı elektronik balastlarla kullanılmaları gerekmektedir. Hangi hacim grubu için olursa olsun, enerji verimliliği açısından armatür tipi mutlaka direkt ışık dağılımına sahip olmalıdır. Bunun yanında armatürün içinde ışık kaynakları tarafından üretilen ışık akısının armatür dışına maksimum oranda aktarılması yani armatür geriveriminin yüksek olması da gerekmektedir. Bu nedenle, aydınlatma hesapları için seçilecek armatürlerin geriverimlerinin, her bir grup için belirli bir minimum değerden yüksek olmasına dikkat edilecektir. İlgili hacimde yapılacak işin niteliğine göre, kamaşmanın belli bir değerde sınırlandırılabilmesi için, armatürün reflektör, lameller ya da benzer optik elemanlarının yapısı ve özellikleri de dikkate alınmalıdır. G1 ve G2 grubu hacimlerde armatür koruma sınıfının IP20 olması yeterli iken G3 ve G4 grubu hacimler için IP54 ya da IP65 gibi daha yüksek koruma sınıflarına sahip armatürlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bunların yanında, armatür boyut ve montaj şekillerine karar verilirken her bir grupta yer alan hacimlerin tavan yapıları da dikkate alınmalıdır. Son olarak, tasarruf hesaplarında referans olarak kullanılacak armatürlerin yukarıda bahsedilen verimli armatür kriterlerini sağlamalarının yanısıra, yöntemin pratikte uygulanabilir olması açısından armatürlerin kolay ulaşılabilir ve ekonomik olmaları da gerekmektedir. Bu kapsamda, her bir grupta yer alan hacimlerin kullanım amacı ve aydınlatma tasarım kriterleri düşünülerek, söz konusu

hacimler için çalışma kapsamında belirlenen uygun armatür tipi ve özellikleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2: Hacim grupları için tanımlanan armatür tipleri.

Kod	Hacim Grubu	Armatür Tipi	Işık Dağılımı	Lamba	Balast	Koruma Sınıfı	Temsili Resim
ArmG1	G1	Parabolik lamelli, ofis arm.	Direkt	T5-T8 Tüp Fl.	A2	IP20	
ArmG2	G2	Yuvarlak formda, altı açık	Direkt	KFL	A2	IP20	
ArmG3	G3	Parabolik lamelli ya da opak kapaklı, temiz oda arm.	Direkt	T5-T8 Tüp Flüo.	A2	IP54-IP65	
ArmG4	G4	Koruma sınıfı yüksek, etanj kapaklı	Direkt	T5-T8 Tüp Flüo.	A2	IP65	

Çizelge 5.2’de tanımlanan armatür tipleri, söz konusu hacimler için aydınlatma projelerinde tavsiye edilen, sıklıkla kullanılan ve istenilen tasarım kriterlerini sağlayabilecek armatür tiplerine göre belirlenmiştir. Ancak enerji verimliliği açısından düşünüldüğünde, tanımlanan armatür tiplerinde verimli ışık kaynakları ve yardımcı elektriksel elemanlar kullanılmasının yanı sıra, yüksek armatür geriverimlerine de sahip olmaları; dolayısıyla, aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürler için minimum geriverim değerlerinin de belirlenmesi gerekir. Bu kapsamda, onlarca armatür üreticisinin katalogları incelenerek her bir hacim grubu için yapılacak aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere armatür güçleri, minimum geriverim değerleri ve etkinlik faktörleri gibi özellikler tanımlanmıştır.

5.2.1 G1 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi

G1 grubunu oluşturan hacimler klasik çalışma hacimleridir. Bu hacimlerde görsel konfor ve aydınlatma tasarım kriterlerinin titizlikle sağlanması oldukça önemlidir. Bu tip hacimlerde özellikle kamaşmayı sınırlayan değerler diğer hacimlere göre daha düşüktür. Örneğin diğer tüm hacim tiplerinde minimum UGR değeri 22 olarak tanımlanmışken G1 tipi hacimlerde bu değer 300 ve 500 lx aydınlık düzeyi için

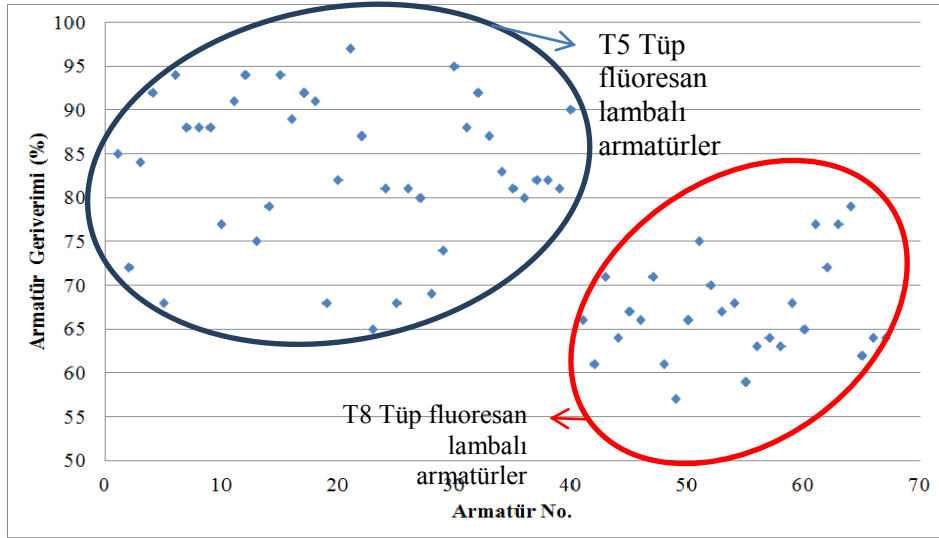
maksimum 19, 750 lx aydınlık düzeyi için maksimum 16 ile sınırlandırılması istenmektedir. Ayrıca G1 grubu hacimler, ofis binalarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu sebeple, söz konusu hacim grubu çok dikkatlice ele alınmalı, tüm gereksinimleri karşılayabilecek verimli armatür tipi özenle belirlenmelidir. Aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin seçiminde en önemli kriterlerden biri, bu çalışma kapsamında oluşturulacak referans oda verim faktörü eğrileri için kullanılacak ışık dağılım karakteristiğinin uygulama projelerinde yer bulabilen armatür çeşitleri arasından belirlenmesidir. Buna göre G1 grubu hacimlerin tavan yapısı incelendiğinde, çok eski binaların haricindeki binalarda genellikle asma tavanların olduğu, çoğunlukla da 60 cm x 60 cm boyutlarında taşıyıcı asma tavanların tercih edildiği, modüler olanların yanısıra alçıpan asma tavanların da kullanıldığı görülmektedir. Gerek yaygın kullanılan asma tavan yapısından gerekse piyasada arz-talep dengesi içinde daha çok tercih edilmelerinden dolayı, çalışma kapsamına kare ve dikdörtgen formda tüp flüoresan armatürler dahil edilmiştir. Şekil 5.2'de kare ve dikdörtgen formda tüp flüoresan lambalı armatürlere örnek verilmektedir.



Şekil 5.2 : Kare ve dikdörtgen formda siva altı ve siva üstü alternatifleri olan T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatürler (IP20).

Bu kapsamda, yukarıdaki özelliklere sahip olabilen armatürlerin belirlenmesi amacı ile piyasada bulunan güvenilir markalara ait, ofislerde sıkça rastlanılan 60x60 cm ve 120x30 cm boyutlarında, direkt aydınlatma yapabilen, parabolik lamelli, A2 sınıfı elektronik balastlı T5 veya T8 tipinde tüp flüoresan lambalı IP 20 koruma sınıfına sahip armatürler incelenmiştir. 60x60 cm ve 120x30 cm boyutlarında T5 flüoresan lambalı standart armatür tipleri göz önüne alındığında 60x60 cm boyutlarında olanlar genelde 2, 3 veya 4 adet 14 W T5 ya da 18W T8 flüoresan lambalı armatürler; 120x30 cm boyutlarında olanlar ise 1 veya 2 adet 28 W T5 ya da 36 W T8 flüoresan lambalı armatürler olarak üretilmektedir. Armatür başına üretilen ışık akısı miktarı ve

tesisat masrafları düşünüldüğünde 60x60 cm boyutlarındaki armatürler için 4 lambalı, 120x30 cm boyutlarındaki armatürler için 2 lambalı olanların seçilerek tasarım hesaplarında kullanılması enerji verimliliği açısından daha doğru olmaktadır. Bunun yanında, armatürlerde kullanılacak lambaların renksel özelliklerinin de G1 grubunda tanımlanan hacimler için uygun olması açısından, renksel geriverimleri 80 ve renk sıcaklıkları 4000 K olan tüp flüoresan lambaların kullanılması tercih edilmiştir. Bu kabullere göre, aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere 50'den fazla armatür üreticisinin katalogları incelenmiş ve yaklaşık 20 armatür üreticisine ait toplam 68 adet armatür belirlenmiştir. Bu armatürlerin 41 adedi T5 flüoresan lambalı, 28 adedi ise T8 flüoresan lambalı armatürlerden oluşmaktadır. Fotometrik verileri elde edilen armatürlerin geriverimleri de değerlendirilmiş ve Şekil 5.3'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : T5 ve T8 flüoresan lambalı kare ve dikdörtgen formunda, parabolik lamelli armatürlere ait geriverim değerleri.

Şekil 5.3'ten görüldüğü üzere, incelenen tüm T8 tüp flüoresan lambalı armatürlerin geriverimleri %80'nin altında kalırken, T5 tüp flüoresan lambalı armatürlerin geriverimleri %97 değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Dolayısıyla, T5 flüoresan lambalı armatürler ile daha verimli tesisatlar yaratılabildiği açıktır. Bu kapsamda, ofis uygulamalarında halen yaygın olarak kullanılan, kolay ulaşılabilir, maliyet etkin, yüksek etkinlik faktörleri, farklı renk sıcaklıkları ve renksel geriverimlere sahip flüoresan lambaların kullanıldığı tesisatlar esas alındığında, G1 grubu hacimler için mevcut teknoloji ve gelişmeler dahilinde verimli olarak tanımlanabilen armatürlere ilişkin özellikler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: G1 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.

Özellik	Kriter
Aydınlatma (ışık dağılımı) tipi	Direkt
Armatür geriverimi	$\eta_{arm} > \%80$
Lamba tipi	T5 tüp flüoresan
Lamba etkinlik faktörü	$e_1 > 85 \text{ lm/W}$
Balast sınıfı	A2
Renksel Geriverim	80
Renk sıcaklığı	4000 K
IP Sınıfı	IP20

Gerekli tüm tasarım kriterlerini en verimli şekilde sağlayabilen aydınlatma tesisatının belirlenebilmesi amacı ile Şekil 5.3'te geriverimleri gösterilen armatürler incelenmiş ve sonuçta, dokuz adet üreticiden toplam 30 adet armatür belirlenerek karşılaştırmalı hesapların yapılması hedeflenmiştir. Armatürlerin sağlıklı karşılaştırılabilmesi için tüm armatürlerde kullanılan lamba ve balast tipleri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Piyasada 14 W ve 28 W gücünde olan ancak farklı ışık akısı ve performanslara sahip birçok T5 flüoresan lamba tipi bulunmaktadır. Hesaplarda kullanılacak 14 W gücündeki lambalar, tesisatlarda yaygın olarak kullanılan 1200 lm ışık akısına, 4000 K renk sıcaklığına sahip ve renksel geriverim değeri 80 olan; 28 W gücündeki lambalar ise 2600 lm ışık akısına, 4000 K renk sıcaklığına sahip ve renksel geriverim değeri 80 olan lambalar olarak belirlenmiştir. Lambalar ile birlikte kullanılacak elektronik balastların verimlilik sınıfının A2 olduğu kabulü ile 14 W için maksimum balast kaybının 3 W, 28 W için 4 W olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 5.4'te seçilen 30 adet armatüre ait toplam güç, lamba tip, güç ve ışık akıları, balast tipi, armatür verimi ve toplam armatür gücü dikkate alınarak hesaplanan armatür etkinlik faktörü değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.4: G1 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.

Armatür No	Lamba Tipi	Işık akısı [lm]	Lamba Adedi	Lamba Gücü [W]	Balast Tipi	Armatür Gücü [W]	η_{arm} [%]	e_{arm} [lm/W]
G1-01	T5	2600	2	28	A2	64	85	69.1
G1-02	T5	1200	4	14	A2	68	84	59.3
G1-03	T5	2600	2	28	A2	64	92	74.8
G1-04	T5	1200	4	14	A2	68	94	66.4
G1-05	T5	2600	2	28	A2	64	88	71.5
G1-06	T5	2600	2	28	A2	64	88	71.5
G1-07	T5	1200	4	14	A2	68	88	62.1
G1-08	T5	2600	2	28	A2	64	94	76.4
G1-09	T5	1200	4	14	A2	68	94	68.0
G1-10	T5	1200	4	14	A2	68	94	66.4
G1-11	T5	1200	4	14	A2	68	89	62.8
G1-12	T5	1200	4	14	A2	68	92	64.9
G1-13	T5	2600	2	28	A2	64	91	73.9
G1-14	T5	2600	2	28	A2	64	92	74.8
G1-15	T5	2600	2	28	A2	64	97	78.8
G1-16	T5	2600	2	28	A2	64	87	70.7
G1-17	T5	2600	2	28	A2	64	81	65.8
G1-18	T5	2600	2	28	A2	64	81	65.8
G1-19	T5	2600	2	28	A2	64	80	65.0
G1-20	T5	2600	2	28	A2	64	95	77.2
G1-21	T5	2600	2	28	A2	64	88	71.5
G1-22	T5	2600	2	28	A2	64	92	74.8
G1-23	T5	2600	2	28	A2	64	87	70.7
G1-24	T5	2600	2	28	A2	64	83	67.4
G1-25	T5	2600	2	28	A2	64	81	65.8
G1-26	T5	1200	4	14	A2	68	80	56.5
G1-27	T5	2600	2	28	A2	64	82	66.6
G1-28	T5	2600	2	28	A2	64	82	66.6
G1-29	T5	1200	4	14	A2	68	81	57.2
G1-30	T5	1200	4	14	A2	68	90	63.5

5.2.2 G2 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi

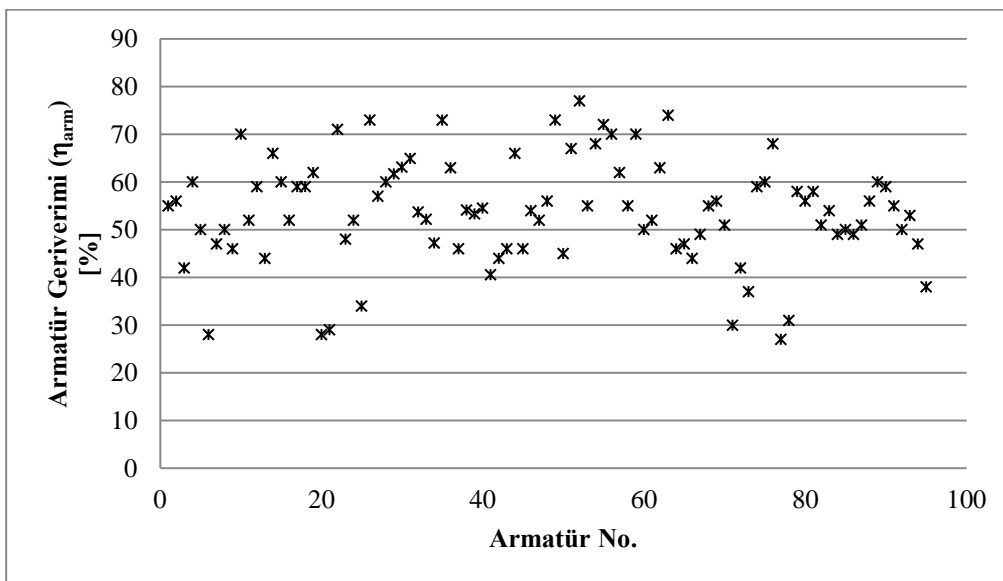
Çalışma hacimleri dışında kalan daha çok dolaşım, bekleme veya dinlenme amaçlı ya da kaba iş gerektiren hacimleri ifade eden G2 grubunda yüksek aydınlık düzeylerine ihtiyaç duyulmamaktadır. TS EN 12464-1 standardına göre bu tür hacimlerde kullanım amacına göre 100, 200 ve 300 lx ortalama aydınlık düzeylerinin sağlanması gerekmektedir. İstenilen UGR değerleri de G1 hacimlerinde sağlanan değerlere göre daha yüksek değerlerdir. Dolayısıyla, Çizelge 5.2’de tanımlandığı üzere, bu tip hacimlerde kompakt flüoresan lambalı, direkt aydınlatma yapan armatürlerin kullanılması doğru bir yaklaşım olacaktır. Daha yüksek UGR değerlerine izin verilmesi, aydınlatma hesaplarında seçilecek armatürlerin herhangi bir lamel ya da kapak olmadan altı açık şekilde kullanılabilmesine olanak vermektedir (Şekil 5.4).

Bu sayede, aydınlatma hesapları için daha yüksek geriverime sahip armatürler seçilebilecektir.



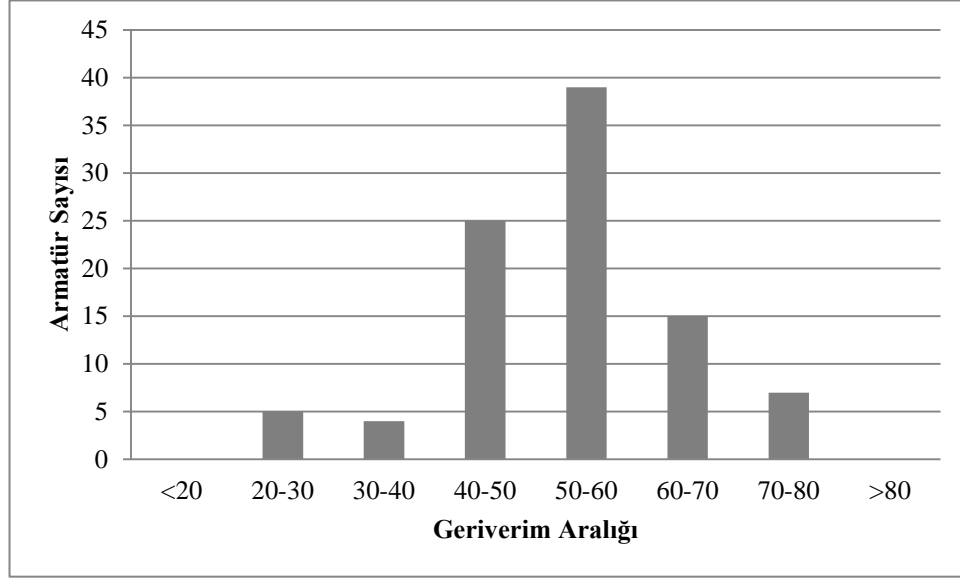
Şekil 5.4 : Direkt aydınlatma yapabilen kompakt flüoresan lambalı armatür örneği.

Bunun yanında sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyleri maksimum 300 lx olduğu için armatür içinde üretilmesi gereken ışık akısının da optimum düzeyde tutulması yeterli olacaktır. Buna göre, aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere bu tip hacimler için tavsiye edilen ve uygulamalarda sıklıkla kullanılan 2 adet 26 W gücünde, 1800 lm ışık akısına ve 4000 K renk sıcaklığına sahip renksel geriverim endeksi 80 olan kompakt flüoresan lambalı, yuvarlak tipte ve altı açık armatürler esas alınarak armatür üreticilerinin katalogları araştırılmış ve incelenmek üzere 96 adet armatür belirlenmiştir. Belirlenen armatürlerin geriverimleri Şekil 5.5'teki grafik üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 5.5 : 2x26 W gücünde kompakt flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan, altı açık, yuvarlak tipteki armatürlere ait geriverim değerleri.

Şekil 5.5 incelendiğinde, bu tipteki armatürlerin geriverim değerlerinin %27 ila %78 arasında oldukça değişken olduğu görülmektedir. Bu tip armatürlerin yapısı, boyutları gereği daha büyük geriverim değerlerine ulaşmak mümkün olamamaktadır. Aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin minimum geriverimlerinin tespiti için söz konusu armatürlerin geriverim dağılımları analiz edilmiş ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 : 2x26 W gücünde kompakt flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan, altı açık, yuvarlak tipteki armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.

Şekil 5.6'ya göre, 96 adet armatürün yaklaşık üçte ikisinin geriverim değerleri %40 ila %60 arasında değişmektedir ve ortalama geriverimleri %56 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, verimli olarak tanımlanabilecek bir armatürün geriverim değerinin minimum %60 olması gerektiği söylenebilir. Bu hacim grubu için, aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri Çizelge 5.5'te verilmektedir.

Çizelge 5.5: G2 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.

Özellik	Kriter
Aydınlatma (ışık dağılımı) tipi	Direkt
Armatür geriverimi	$\eta_{arm} > \%60$
Lamba tipi	KFL
Lamba etkinlik faktörü	$e_l > 60 \text{ lm/W}$
Balast sınıfı	A2
Renksel Geriverim	80
Renk sıcaklığı	4000 K
IP	IP20

İncelenen armatürler arasından Çizelge 5.5'teki değerleri sağlayabilen 22 adet armatür tespit edilmiştir. Lambalar ile birlikte kullanılacak elektronik balastların verimlilik sınıfının A2, 26W gücündeki lamba için maksimum lamba ve balast gücünün ise 27 W olduğu kabul edilmiştir. Aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere tespit edilen armatürlere ait lamba tipi, güç ve ışık akıları, balast tipi, armatür geriverimi, toplam armatür gücü ve etkinlik faktörü değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: G2 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.

Armatür No	Lamba Tipi	Işık akısı [lm]	Lamba Adedi	Lamba Gücü [W]	Balast Tipi	Armatür Gücü [W]	η_{arm} [%]	e_{arm} [lm/W]
G2-01	KFL	1800	2	26	A2	54	68	45.3
G2-02	KFL	1800	2	26	A2	54	63	42.0
G2-03	KFL	1800	2	26	A2	54	74	49.3
G2-04	KFL	1800	2	26	A2	54	62	41.3
G2-05	KFL	1800	2	26	A2	54	66	44.0
G2-06	KFL	1800	2	26	A2	54	73	48.7
G2-07	KFL	1800	2	26	A2	54	77	51.3
G2-08	KFL	1800	2	26	A2	54	67	44.7
G2-09	KFL	1800	2	26	A2	54	68	45.3
G2-10	KFL	1800	2	26	A2	54	72	48.0
G2-11	KFL	1800	2	26	A2	54	70	46.7
G2-12	KFL	1800	2	26	A2	54	63	42.0
G2-13	KFL	1800	2	26	A2	54	73	48.7
G2-14	KFL	1800	2	26	A2	54	63	42.0
G2-15	KFL	1800	2	26	A2	54	65	43.3
G2-16	KFL	1800	2	26	A2	54	62	41.3
G2-17	KFL	1800	2	26	A2	54	66	44.0
G2-18	KFL	1800	2	26	A2	54	62	41.3
G2-19	KFL	1800	2	26	A2	54	73	48.7
G2-20	KFL	1800	2	26	A2	54	70	46.7
G2-21	KFL	1800	2	26	A2	54	71	47.3
G2-22	KFL	1800	2	26	A2	54	70	46.7

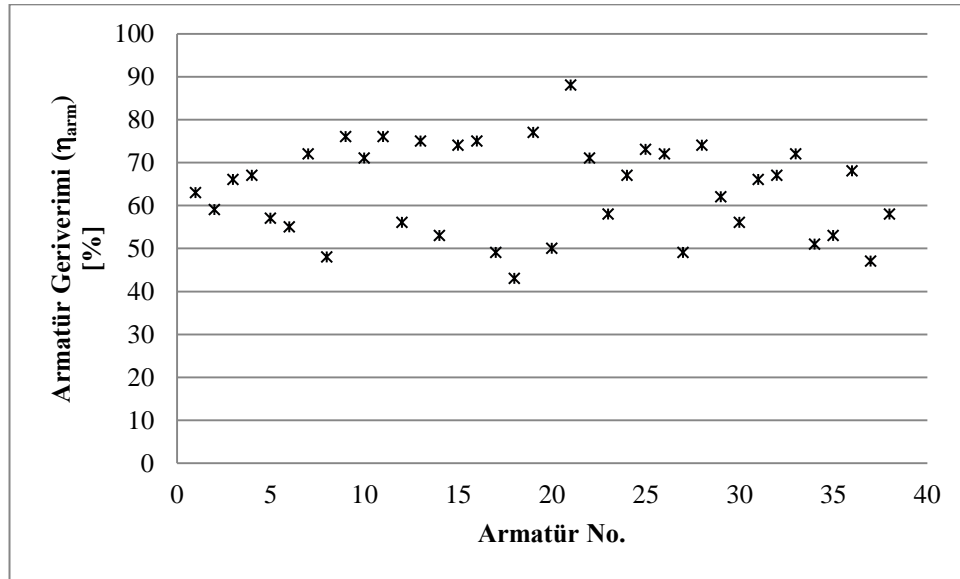
5.2.3 G3 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi

G3 grubu hacimler, çamaşırhane ve, mutfak gibi hijyen koşullarının ön planda olduğu hacimler olarak tanımlanmıştır. Bu tip hacimlerde, IP54 ya da IP65 gibi koruma sınıfı yüksek armatürlerin kullanılması önerilmektedir. Koruma sınıfı yüksek armatürlerin optik yapıları incelendiğinde, opak ya da prizmatik kapaklı armatürler ile parabolik lamelleri ile birlikte şeffaf kapakları da olan T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatürlere rastlanılmaktadır (Şekil 5.7). Her iki armatür tipi de bu tip hacimlerde kullanılmaya uygun armatürlerdir.



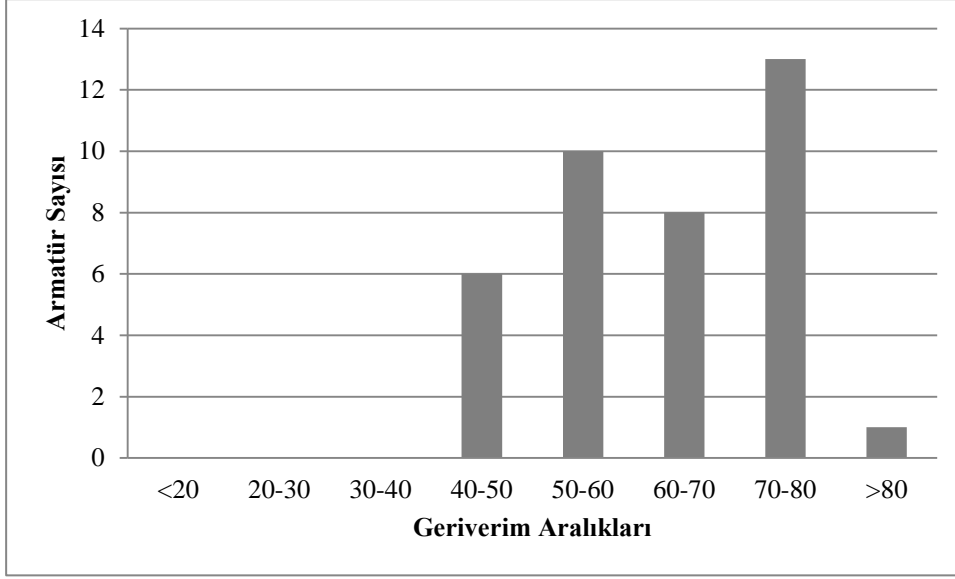
Şekil 5.7 : Kare ve dikdörtgen formda sıva altı ve sıva üstü alternatifleri olan T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatürler (IP54 ve IP65).

Bu kapsamda, G1 grubu hacimlerde olduğu gibi, G3 grubu hacimler için de 14 veya 28W gücünde T5 ya da 18 veya 36W gücünde T8 flüoresan lambalı armatürler kataloglardan araştırılmış ve incelenmek üzere 38 adet armatür belirlenmiştir. Söz konusu armatürlere ait geriverim değerleri Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8 : Koruma sınıfı yüksek (IP54 veya IP65) T5 veya T8 flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan armatürlere ait geriverim değerleri.

Şekil 5.8 incelendiğinde, armatür geriverimlerinin %43 ila %88 arasında değiştiği görülmektedir. Ortalama armatür geriverimi %63.5 olarak hesaplanmıştır. G3 hacimleri için aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere seçilecek armatürlerin minimum geriverim değerini belirlemek için söz konusu armatürlerin geriverim dağılımları Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9 : Koruma sınıfı yüksek (IP54 ve IP65) T5 veya T8 flüoresan lambalı direkt aydınlatma yapan armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.

Şekil 5.9'a göre, toplam armatürlerin yaklaşık üçte ikisinin geriverimleri %70'den küçüktür. Bu kapsamda, minimum armatür geriverimi %70 olarak seçilebilir. Ancak incelenen 38 armatürün sadece 14'ünün geriverimi %70'in üzerindedir. Aydınlatma hesaplarında daha fazla armatür verisi kullanmak amacıyla minimum armatür geriverimi %60 olarak kabul edilerek hesapların toplam 22 adet armatür ile yapılması hedeflenmiştir. Bu durumda, G2 grubu hacimler için verimli olarak tanımlanabilen armatürlere ilişkin özellikler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7: G3 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.

Özellik	Kriter
Aydınlatma (ışık dağılımı) tipi	Direkt
Armatür geriverimi	$\eta_{arm} > \%60$
Lamba tipi	T5 tüp flüoresan
Lamba etkinlik faktörü	$e_1 > 85 \text{ lm/W}$
Balast sınıfı	A2
Renksel Geriverim	80
Renk sıcaklığı	4000 K
IP Sınıfı	IP54-IP65

Lambalar ile birlikte kullanılacak elektronik balastların verimlilik sınıfının A2, ve G1 grubu hacimlerde kullanılan lambalara paralel olarak 14 W için maksimum balast kaybının 3 W, 28 W için de 4 W olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 5.7'deki değerleri sağlayabilen 22 adet armatüre ait lamba tipi, güç ve ışık akıları, balast tipi, armatür

geriverimi, toplam armatür gücü ve etkinlik faktörü değerleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8: G3 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.

Armatür No	Lamba Tipi	Işık akısı [lm]	Lamba Adedi	Lamba Gücü [W]	Balast Tipi	Armatür Gücü [W]	η_{arm} [%]	e_{arm} [lm/W]
G3-01	T5	4800	4	14	A2	68	63	44.5
G3-02	T5	4800	4	14	A2	68	66	46.6
G3-03	T5	5200	2	28	A2	64	67	54.4
G3-04	T5	5200	2	28	A2	64	72	58.5
G3-05	T5	5200	2	28	A2	64	76	61.8
G3-06	T5	4800	4	14	A2	68	71	50.1
G3-07	T5	5200	2	28	A2	64	76	61.8
G3-08	T5	5200	2	28	A2	64	74	60.1
G3-09	T5	4800	4	14	A2	68	75	52.9
G3-10	T5	5200	2	28	A2	64	62	50.4
G3-11	T5	4800	4	14	A2	68	74	52.2
G3-12	T5	5200	2	28	A2	64	75	60.9
G3-13	T5	4800	4	14	A2	68	66	46.6
G3-14	T5	5200	2	28	A2	64	67	54.4
G3-15	T5	5200	2	28	A2	64	77	62.6
G3-16	T5	5200	2	28	A2	64	68	55.3
G3-17	T5	5200	2	28	A2	64	88	71.5
G3-18	T5	4800	4	14	A2	68	71	50.1
G3-19	T5	4800	4	14	A2	68	72	50.8
G3-20	T5	5200	2	28	A2	64	67	54.4
G3-21	T5	4800	4	14	A2	68	73	51.5
G3-22	T5	5200	2	28	A2	64	72	58.5

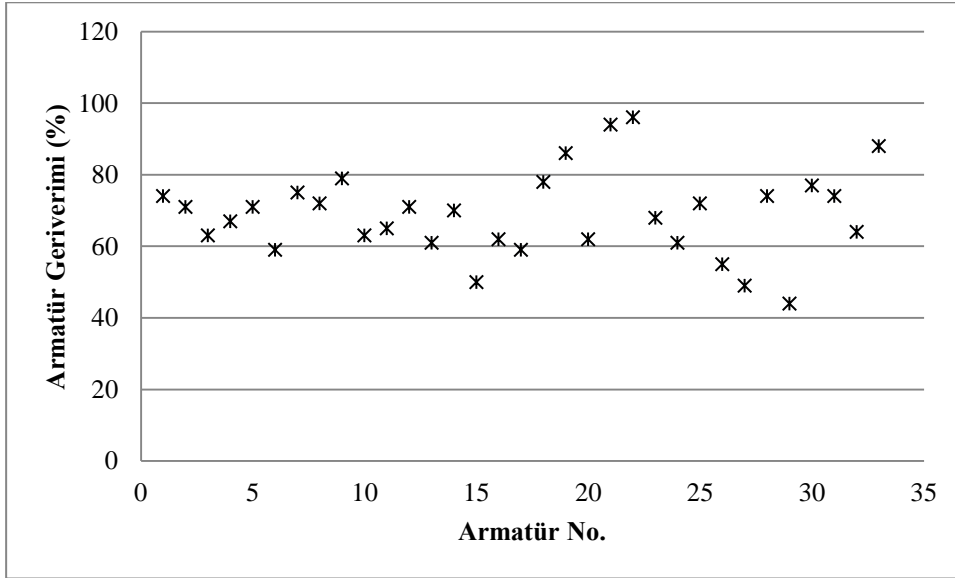
5.2.4 G4 grubu hacimler için hesap armatürlerinin belirlenmesi

G4 grubu, garajlar, depolar, elektrik pano odası ve kazan dairesi gibi yüksek koruma sınıfına sahip armatürlerin kullanılması gereken teknik birimler olarak tanımlanan hacimleri kapsamaktadır. Bu hacimlerde, ortam şartları kirli olduğundan IP65 koruma sınıfına sahip armatürlerin kullanılması oldukça önemlidir. Bu armatürler genelde koruma kapaklı tüp flüoresan lambalı armatürlerdir ve dikdörtgen forma sahiptirler (Şekil 5.10). En sık kullanılan tiplerinin içinde genelde 1 ya da 2 adet 36 W gücünde T8 tüp flüoresan lambalar ya da 35 W gücünde T5 tüp flüoresan lambalar bulunmaktadır. Bunların yanısıra içlerinde 58 W tüp flüoresan lambaların olduğu tipleri de mevcuttur. Ancak, özellikle garaj gibi daha düşük aydınlık düzeylerinin yeterli olduğu hacimlerde içlerinde 2 adet 58 W gücünde lamba bulunan armatürler ile düzgünlüğün sağlanması konusunda sıkıntılar yaşanabilmektedir.



Şekil 5.10 : Koruma kapaklı, T5 veya T8 tüp flüoresan lambalı armatür (IP65).

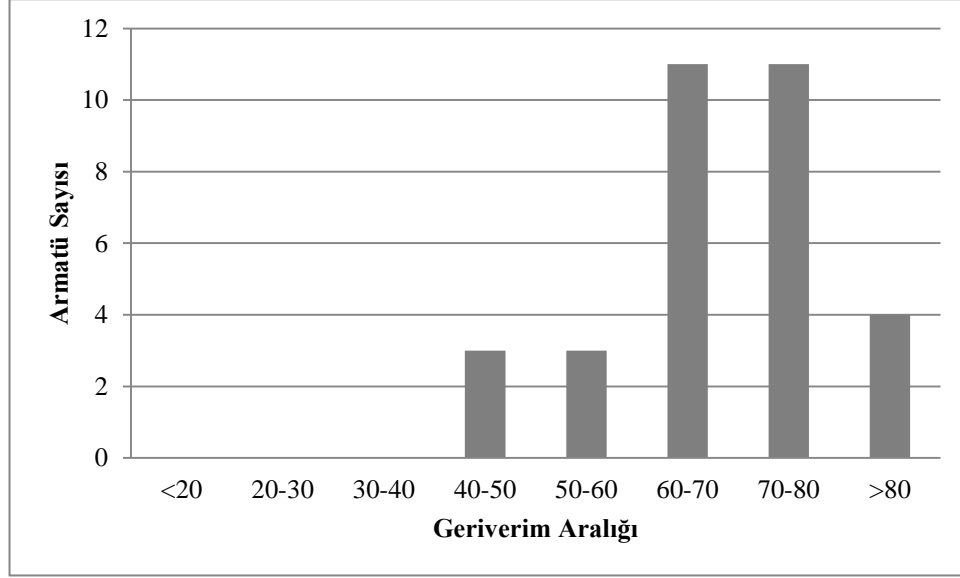
Bu kapsamda, üretici katalogları araştırılmış ve tesisat masraflarının azaltılabilmesi açısından 2 lambalı armatürler tespit edilmiş ve içlerinde 2 adet 36 W gücünde, her biri 3350 lm ışık akısına sahip T8 tüp flüoresan ve 2 adet 35 W gücünde, her biri 3300 lm ışık akısına sahip T5 tüp flüoresan lamba bulunan koruma kapaklı IP65 armatürler aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere incelenmiştir. Koruma kapaklı armatürlerin birçoğu üretilen ışık akısının %10'dan daha büyük bir kısmını üst yarı uzaya göndermektedirler. Dolayısıyla koruma kapaklı armatürler içerisinde direkt aydınlatma yapabilen armatür sayısı kısıtlı kalmaktadır. Armatür üretici kataloglarından direkt ışık dağılımlı 33 adet ürün tespit edilebilmiş ve söz konusu armatürlere ait geriverim değerleri belirlenerek Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11 : Direkt aydınlatma yapan, koruma kapaklı (IP65) armatürlere ait geriverim değerleri.

Şekil 5.11'den, armatür geriverimlerinin %44 ila %94 arasında oldukça geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Söz konusu armatür tipinin kapak yapısının opak ya

da şeffaf olmasına göre geriverim değeri önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Diğer yandan verimli olarak nitelendirilebilecek armatürlerin geriverimleri belli bir değerden yüksek olması istenirken, optik özelliklerinin de istenilen UGR değerlerinin sağlanabilmesine olanak vermesi gerekmektedir. İncelenen 33 armatürün geriverimlerinin dağılımı Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12 : Direkt aydınlatma yapan, koruma kapaklı (IP65) armatürlere ait geriverim değerlerinin dağılımı.

Şeki 5.12’deki değerler incelendiğinde, armatürlerin yaklaşık yarısının geriverim değerlerinin %70’den küçük olduğu, üçte birinin ise geriverimlerinin %70 ila %80 arasında değiştiği görülmektedir. Bu kapsamda, aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri Çizelge 5.9’de verilen şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 5.9: G4 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatür kriterleri.

Özellik	Kriter
Aydınlatma (ışık dağılımı) tipi	Direkt
Armatür geriverimi	$\eta_{arm} > \%70$
Lamba tipi	T5 / T8 tüp flüoresan
Lamba etkinlik faktörü	$e_1 > 85 \text{ lm/W}$
Balast sınıfı	A2
Renksel Geriverim	80
Renk sıcaklığı	4000 K / 6500 K
IP Sınıfı	IP65

Lambalar ile birlikte kullanılacak elektronik balastların verimlilik sınıfının yine A2, 36 W T8 tüp flüoresan için maksimum lamba ve balast gücünün 36 W, 35 W T5 tüp flüoresan lamba için ise 39 W olduğu kabul edilmiştir. Kataloglardan verileri elde

edilen 33 adet armatür, Çizelge 5.9’da tanımlanan G4 grubu verimli armatür özelliklerini sağlamaları açısından incelenerek, bu özellikleri sağlayabilen 17 adet armatür aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere belirlenmiş ve teknik özellikleri Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10: G4 hacim grubu için aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürlerin özellikleri.

Armatür No	Lamba Tipi	Işık akısı [lm]	Lamba Adedi	Lamba Gücü [W]	Balast Tipi	Armatür Gücü [W]	η_{arm} [%]	e_{arm} [lm/W]
G4-01	T8	6700	2	36	A2	72	74	68.9
G4-02	T8	6700	2	36	A2	72	71	66.1
G4-03	T8	6700	2	36	A2	72	71	66.1
G4-04	T8	6700	2	36	A2	72	75	69.8
G4-05	T8	6700	2	36	A2	72	72	67.0
G4-06	T8	6700	2	36	A2	72	79	73.5
G4-07	T8	6700	2	36	A2	72	71	66.1
G4-08	T5	6600	2	35	A2	78	70	59.2
G4-09	T5	6600	2	35	A2	78	78	66.0
G4-10	T5	6600	2	35	A2	78	86	72.8
G4-11	T5	6600	2	35	A2	78	94	79.5
G4-12	T5	6600	2	35	A2	78	96	81.2
G4-13	T5	6600	2	35	A2	78	72	60.9
G4-14	T5	6600	2	35	A2	78	74	62.6
G4-15	T5	6600	2	35	A2	78	77	65.2
G4-16	T5	6600	2	35	A2	78	74	62.6
G4-17	T5	6600	2	35	A2	78	88	74.5

5.3 Aydınlatma Hesapları

Bölüm 5.1 ve ve 5.2’de, bir ofis binasının hacimleri kullanım amaçlarına göre dört farklı grupta tanımlanarak her bir grubun aydınlatma ihtiyacına cevap verebilecek özelliklere sahip armatür tipleri belirlenmiştir. Bu armatürler incelenerek, her bir hacim grubu için yapılacak aydınlatma hesaplarında kullanılacak armatürler tespit edilmiştir.

Bu bölümde, tespit edilen armatürler ile tanımlanan koşullar altında aydınlatma hesapları yapılarak, hacimlerde gerekli tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, her grubu oluşturan ve farklı kullanım amacına sahip hacimleri temsil edebilecek farklı boyutlarda hesap hacimleri tanımlanmıştır. Hacimler tanımlanırken oda endeksi (k) küçük, orta ve büyük boyutlardaki alanları temsil edecek şekilde belirlenmiş ve aydınlatma hesapları söz konusu hacimlerde sağlanması gereken farklı ortalama aydınlık düzeylerine

ulaşılacak şekilde tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçların enerji verimliliği açısından karşılaştırılabilmesi amacı ile tüm hesaplara ait NGY değerleri hesaplanarak, aydınlatma tasarım kriterlerini tüm koşullar altında sağlayabilen armatürler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, önce ortalama düzgünlük değerini sağlayabilen armatürler belirlenmiş ve belirlenen armatürlerin farklı koşullar altında UGR değerleri analiz edilerek tüm aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen verimli armatürlere iki aşamalı olarak ulaşılmıştır.

Küçük, orta ve büyük hacimlerin temsil edilebilmesi amacı ile ilgili hacimler için farklı oda endeksi değerleri ve bu değerleri sağlayabilecek hacim boyutları Stockmar'ın ve CELMA'nın çalışmalarında armatürlerin karşılaştırılabilmesi için önerilene benzer bir yaklaşımla belirlenmeye çalışılmıştır (Stockmar, 2002; Ceelen, 2002). Bu kapsamda, tavan yüksekliği 3 metrede sabit tutularak, dar, geniş ya da küçük, orta ve büyük olarak nitelendirilebilecek hacimler tanımlanmıştır. Bu hacimler tanımlanırken en küçük hacmin boyutlarının katları şeklinde boyutlandırılmıştır. Çizelge 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14'de, sırasıyla G1, G2, G3 ve G4 hacim grupları için tanımlanan oda endeksi değerlerini veren hacim boyutları ve sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri liste halinde verilmektedir.

Çizelge 5.11: G1 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_{\text{ç}}=0,8$ m).

Oda endeksi	Oda boyutu (axbxh) ve alanı	Hacmin Tanımı	E_{ort} [lx]
1	4x5x3 20 m ²		300
2	8x10x3 80 m ²	Tüm G1 grubu hacimleri	500
5	20x25x3 500 m ²		750

Çizelge 5.12: G2 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_{\check{c}}=0$ m).

Oda endeksi	Oda boyutu ($axb \times h$) ve alanı	Hacmin Tanımı	E_{ort} [lx]
k=0.6 (Koridor gibi dar ve uzun hacimler için)	2x18x3 36 m ²	Acil çıkış ve merdiven holleri	100
		Koridorlar	200
		Merdiven ve asansör holleri	
k=0.6 (Oda tipindeki hacimler için)	3x4.5x3 13.5 m ²	Dinlenme odaları	100
		Acil çıkış ve merdiven holleri	
		Merdiven ve asansör holleri	200
		Bekleme salonları	
		Hizmetli odaları	
		Banyo tuvaletler	
		Ekipman odası	
		Arşiv odası	
		Kantinler	
		Resepsiyon - danışma	300
k=1.2	6x9x3 54 m ²	Giriş holleri	100
		Bekleme salonları	200
		Banyo tuvaletler	
		Ekipman odası	
		Arşiv odası	
		Kantinler	
k=2.4	12x18x3 216 m ²	Fiziksel egzersiz odaları	300
		Sergi salonu	200
		Kantinler	
k=2	8x10x3 80 m ²	Yemekhane ($h_{\check{c}}=0.8$ m)	300
k=4	16x20x3 320 m ²		

Çizelge 5.13: G3 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_{\check{c}}=0.8$ m).

Oda endeksi	Oda boyutu ($axb \times h$) ve alanı	Hacmin Tanımı	E_{ort} [lx]
k=1	4x5x3 20 m ²	Çamaşırhane	200
		Revir	500
k=2	8x10x3 80 m ²	Çamaşırhane	200
		Mutfak	500
k=4	16x20x3 320 m ²	Mutfak	500

Çizelge 5.14: G4 grubu hacimler için aydınlatma hesaplarında farklı oda endekslerini oluşturan hacimlerin boyutları ($h_c=0$ m).

Oda endeksi	Oda boyutu (axbxh) ve alanı	Hacmin Tanımı	E_{ort} [lx]
k=0.6	3x4.5x3 13.5 m ²	Elektrik pano odası Kazan dairesi Depolar	200
k=1.2	6x9x3 54 m ²	Yükleme rampaları / bölümleri Elektrik pano odası Kazan dairesi Depolar	150 200
k=2.4	12x18x3 216 m ²	Garaj, park alanları Yükleme rampaları / bölümleri Depolar (sürekli kullanılan)	75 150 200
k=4.8	24x36x3 864 m ²	Garaj ve park alanları	75

G1 grubunda oda endeksleri, tüm hacimler için 1, 2 ve 5 olan üç farklı boyutta tanımlanmıştır. Oda endeksi değeri 1 olan hacimler daha çok kişisel olarak kullanılan çalışma hacimlerini, oda endeksi 2 olan hacimler birden fazla kişinin çalıştığı alanları ve oda endeksi 5 olan hacimler ise açık ofis hacimlerini ifade etmektedir. Aydınlatma hesaplarının, her bir büyüklükteki hacim için ayrı ayrı, istenilen 300, 500 ve 750 lx ortalama aydınlık düzeyleri sağlanacak şekilde yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, aydınlatma hesaplarının dokuz farklı durum için yapılması hedeflenmiştir.

G2 grubunda diğer gruplara göre çok daha fazla hacim tipi mevcuttur. G2 grubuna dahil edilen koridorlar, holler ve dolaşım hacimleri genel olarak daha dar ve uzun hacimler olarak tanımlanabilir. Ayrıca çalışma düzlemleri genelde zemin olarak kabul edilir. Bu durumda, koridorlar gibi dar ve uzun hacimleri ifade edebilmek için 2 metre eninde 18 metre boyunda, oda endeksi 0.6 olan bir hacim tanımlanmıştır. Bunun yanında dar olmayan ama küçük olarak nitelendirilebilecek dinlenme ve bekleme odaları, asansör ve merdiven holleri, hizmetli odaları ya da banyo tuvalet gibi hacimler için de yine oda endeksi 0.6 değerini veren ve boyutları 3 m x 4.5 m olan ikinci bir boyut daha tanımlanmıştır. Bu grupta yer alan daha büyük hacimler için oda endeksi 1.2 ve 2.4 olan iki farklı hacim daha tanımlanmıştır. Öte yandan yemekhaneler de bu gruba dahil edilmiştir. Yemekhanelerde çalışma düzleminin yüksekliği, gruptaki diğer hacimlerden farklı olarak genel olarak 0.8 m olarak kabul edilir. Bu durumda yemekhaneler için aydınlatma hesapları, ayrı olarak oda endeksi

2 ve 4 olacak şekilde tekrarlanmıştır. G2 grubu hacimler için toplamda 12 farklı durum dikkate alınmıştır.

G3 grubunu oluşturan hacim sayısı azdır. Temel olarak, 0.8 m çalışma düzleminde 200 ve 500 lx aydınlık düzeylerinin sağlanması istenmektedir. Çamaşırhane ve mutfak gibi hacimler düşünüldüğünde hacim boyutları çok büyümektedir. Bu kapsamda, G1 grubu hacimlerden farklı olarak aydınlatma hesapları oda endeksi 1, 2, 4 olacak şekilde 200 ve 500 lx için toplam 6 duruma göre yapılmıştır.

G4 grubunda yer alan hacimler teknik birim olarak tanımlanmakla beraber, otoparklar ve depolar gibi büyük alanlar da bu grup içindedir. Dolayısıyla, oda endeksi değeri 0.6, 1.2 ve 2.4 olan hacimlerin yanısıra otopark ve depo gibi çok büyük hacimleri temsilen, k değerinin katı olacak şekilde 4.8 oda endeksli bir hacim de tanımlanarak 7 farklı durum için yapılacak aydınlatma hesaplarına dahil edilmiştir. Bu hacimlerde çalışma düzleminin zemin olduğu kabul edilmiştir.

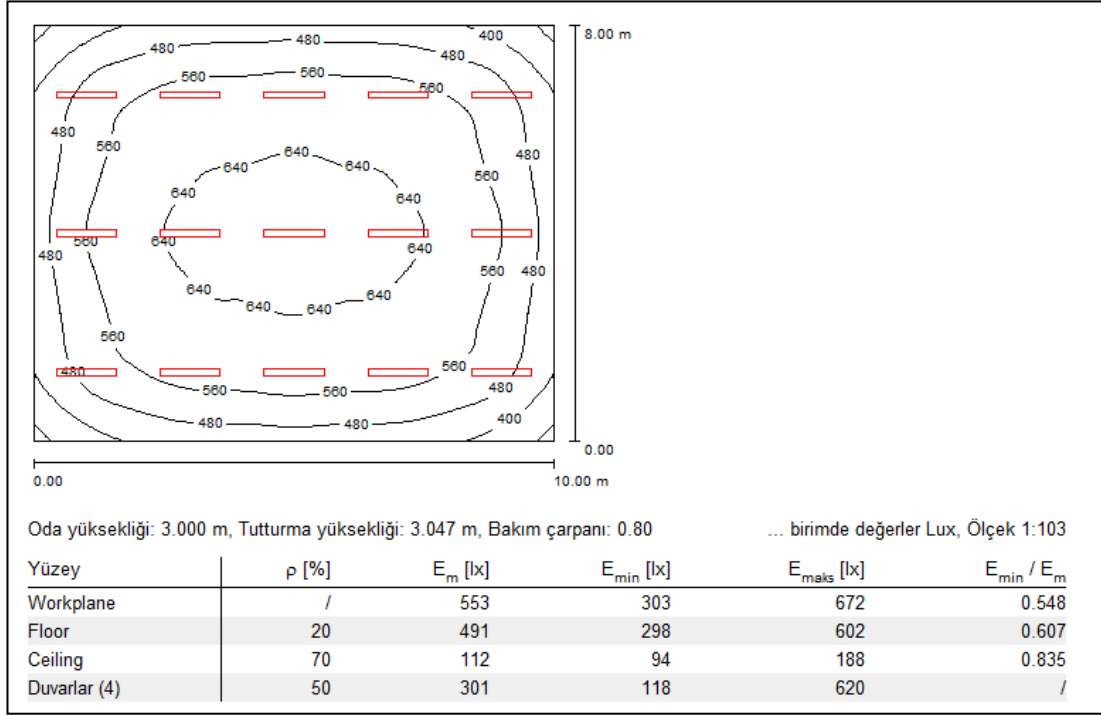
Sonuç olarak, değişik boyutlardaki hacimler ve sağlanması gereken farklı aydınlık düzeyleri için her bir hacim grubunda belirlenen armatürler ile aydınlatma hesaplarının yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, Çizelge 5.15'te, her bir grup için incelenen ve uygun bulunan armatür sayıları, örnek hacim ve istenilen aydınlık düzeylerine bağlı olarak yapılacak toplam aydınlatma hesabı sayıları verilmektedir.

Çizelge 5.15: Hacim grupları için yapılacak aydınlatma hesaplarına ait bilgiler.

Hacim Grubu	İncelenen Armatür Sayısı	Hesap Armatürleri Sayısı	Örnek Hacim Sayısı	Toplam Aydınlatma Hesabı
G1	58	30	3	270
G2	98	22	6	264
G3	38	22	3	110
G4	33	17	4	98
Toplam	227	91	16	743

Çizelge 5.15'ten de görüldüğü üzere, bir ofis binasında karşılaşılabilecek tüm hacimler gruplanarak her bir grup için tanımlanan onlarca verimli armatür tipleri ile istenilen farklı aydınlık düzeylerini sağlamak üzere toplamda 743 adet aydınlatma hesabının yapılması hedeflenmiştir. Bu hesaplamaların sonucunda, her bir hacim grubu için belirlenen armatürler içersinden, söz konusu grup için tanımlanan aydınlatma tasarım kriterlerini tüm koşullarda sağlayabilen ışık dağılımına sahip armatür tipleri belirlenecektir.

Aydınlatma hesapları, Dialux aydınlatma yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Dialux, 2012). Söz konusu yazılımda, her bir hacim grubu için farklı oda endekslerini temsil eden boyutlar tanımlanarak, hesap koşulları değiştirilmeden sadece farklı armatürler kullanılarak hedeflenen ortalama aydınlık düzeylerini sağlayabilecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Dialux yazılımı ile yapılan hesap çıktılarına örnek olması amacıyla yazılıma ait bir görüntü Şekil 5.13'te verilmektedir.



Şekil 5.13 : Dialux yazılımı ile yapılan aydınlatma hesabına ait çıktı örneği.

Şekil 5.13'ten de görüldüğü üzere, hesaplamalarda tavan, duvarlar ve zemin için yansıtma faktörleri sırasıyla 0.70, 0.50 ve 0.20; bakım faktörü ise 0.80 olarak alınmıştır. Farklı ışık şiddeti dağılımına sahip armatürler aynı koşullar altında farklı ortalama aydınlık düzeyleri sağlayacağından, karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için metrekare başına kurulu güç değerleri aydınlık düzeyine göre normalize edilerek $W/(m^2 \cdot 100lx)$ cinsinden ifade edilen normalize güç yoğunluğu (NGY) değerlerine ulaşılmıştır. Sonuç olarak, tanımlanan ortalama aydınlık düzeylerini, istenilen ortalama düzgünlük değeri ile tanımlanan tüm koşullar altında sağlayabilen armatürlerin belirlenebilmesi amacıyla, dört farklı hacim grubu için ortalama düzgünlük ve Ngy değerlerini de içeren çizelgeler oluşturulmuştur. Buna göre G1, G2, G3 ve G4 grubu hacimler için yapılan aydınlatma hesapları sonucunda elde edilen ortalama düzgünlük ve Ngy değerlerini veren çizelgeler Ek C'de, sırasıyla Çizelge C.1, C.2, C.3 ve C.4'te verilmiştir. Elde edilen bu çizelgeler yardımı

ile TS EN 12464-1 standardında tanımlanan ortalama aydınlık düzeyini sağlayabilen tesisatlar içersinden, 0.50 olması istenilen ortalama düzgünlük değerlerini de sağlayabilen armatürler belirlenebilmiştir. Bu kapsamda G1, G2, G3 ve G4 grupları için tüm koşullar altında düzgünlük değerlerini de sağlayabilen armatürlerin listesi sırasıyla Çizelge 5.16, Çizelge 5.17, Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19'da verilmektedir.

Çizelge 5.16: G1 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri [$W/(m^2 100lx)$] ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için).

Arm.no.	k=1 ($h_c=0.8$ m)						k=2 ($h_c=0.8$ m)						k=5 ($h_c=0.8$ m)					
	300		500		750		300		500		750		300		500		750	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G1-01	0.64	2.10	0.62	2.23	0.58	2.27	0.62	1.91	0.66	1.87	0.59	1.89	0.78	1.71	0.77	1.68	0.56	1.64
G1-03	0.55	1.93	0.66	2.03	0.68	2.10	0.63	1.75	0.71	1.72	0.65	1.74	0.68	1.57	0.80	1.55	0.62	1.53
G1-05	0.58	2.04	0.73	2.35	0.68	2.20	0.64	1.84	0.71	1.80	0.60	1.86	0.73	1.65	0.74	1.62	0.54	1.59
G1-06	0.62	2.06	0.74	2.35	0.68	2.21	0.65	1.85	0.70	1.80	0.61	1.86	0.77	1.65	0.73	1.60	0.54	1.57
G1-08	0.51	1.86	0.73	2.11	0.69	1.98	0.62	1.86	0.72	1.82	0.62	1.83	0.60	1.66	0.69	1.64	0.58	1.62
G1-13	0.59	2.01	0.71	2.24	0.69	2.10	0.60	1.77	0.73	1.72	0.64	1.78	0.74	1.59	0.80	1.58	0.58	1.54
G1-15	0.62	1.90	0.70	2.13	0.68	2.00	0.59	1.67	0.71	1.65	0.65	1.65	0.77	1.50	0.73	1.50	0.60	1.46
G1-20	0.58	1.87	0.73	2.20	0.67	2.07	0.63	1.72	0.62	1.66	0.61	1.68	0.74	1.54	0.82	1.49	0.52	1.46
G1-21	0.56	2.05	0.72	2.34	0.67	2.20	0.64	1.85	0.70	1.80	0.61	1.83	0.73	1.65	0.77	1.61	0.57	1.58
G1-23	0.58	2.11	0.72	2.38	0.67	2.18	0.62	1.87	0.69	1.82	0.62	1.84	0.74	1.66	0.81	1.63	0.59	1.60
G1-27	0.67	2.44	0.71	2.50	0.72	2.57	0.66	2.06	0.61	2.00	0.57	2.00	0.77	1.79	0.78	1.78	0.55	1.73
G1-28	0.76	2.47	0.75	2.55	0.70	2.65	0.66	2.09	0.61	2.02	0.54	2.03	0.77	1.81	0.69	1.79	0.51	1.77

Çizelge 5.17: G2 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri [$W/(m^2 100lx)$] ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için).

Arm.no.	k=0.6 (Dar ve uzun hacimler için, $h_c=0$ m)				k=0.6 (Küçük ve dikdörtgen hacimler için, $h_c=0$ m)						k=1.2 ($h_c=0$ m)			k=2.4 ($h_c=0$ m)		k=2 ($h_c=0.8$)		k=4 ($h_c=0.8$)						
	100		200		100		200		300		100		200		300		200		300		300		300	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G2-01	0.79	6.25	0.53	6.09	0.82	5.97	0.78	5.74	0.83	6.23	0.65	3.74	0.68	3.81	0.62	3.75	0.65	3.02	0.59	2.93	0.57	3.06	0.61	2.68
G2-03	0.74	4.84	0.51	4.75	0.60	4.26	0.74	4.79	0.77	5.03	0.62	3.23	0.60	3.24	0.62	3.25	0.67	2.68	0.56	2.62	0.57	2.74	0.58	2.43
G2-07	0.75	5.26	0.52	5.15	0.61	4.71	0.73	5.08	0.80	5.52	0.62	3.39	0.67	3.48	0.63	3.45	0.67	2.76	0.58	2.70	0.56	2.81	0.60	2.48
G2-10	0.72	5.41	0.60	5.28	0.76	5.44	0.69	5.24	0.77	5.71	0.61	3.60	0.68	3.67	0.61	3.61	0.69	2.94	0.61	2.87	0.55	2.97	0.61	2.63
G2-11	0.75	5.94	0.57	5.77	0.75	6.02	0.71	5.80	0.78	6.25	0.64	3.92	0.68	4.02	0.62	3.95	0.70	3.16	0.60	3.08	0.59	3.23	0.60	2.80
G2-14	0.75	6.36	0.58	6.25	0.80	6.02	0.76	5.77	0.81	6.30	0.66	3.92	0.67	4.02	0.58	3.93	0.61	3.15	0.54	3.13	0.57	3.27	0.56	2.86
G2-15	0.78	6.25	0.58	6.09	0.79	5.88	0.78	5.61	0.81	6.13	0.67	3.81	0.67	3.90	0.60	3.82	0.65	3.13	0.59	3.03	0.57	3.14	0.56	2.79
G2-16	0.75	6.52	0.55	6.37	0.80	6.15	0.77	5.91	0.81	6.45	0.67	4.00	0.65	4.08	0.58	4.03	0.61	3.23	0.54	3.19	0.57	3.31	0.56	2.93
G2-20	0.74	5.61	0.61	5.47	0.80	5.33	0.75	5.11	0.81	5.52	0.59	3.48	0.65	3.56	0.59	3.52	0.66	2.88	0.56	2.80	0.54	2.91	0.60	2.59

Çizelge 5.18: G3 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri [$W/(m^2 100lx)$] ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için).

Arm.no.	k=1 ($h_c=0.8$ m)				k=2 ($h_c=0.8$ m)				k=4 ($h_c=0.8$ m)	
	200		500		200		500		500	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G3-01	0.50	3.45	0.61	3.86	0.61	2.91	0.55	3.08	0.63	2.66
G3-07	0.55	2.72	0.63	4.42	0.63	2.21	0.60	2.33	0.68	1.99
G3-08	0.50	2.64	0.60	2.90	0.62	2.18	0.59	2.36	0.63	2.01
G3-09	0.50	2.87	0.65	3.26	0.64	2.48	0.66	2.65	0.67	2.25
G3-10	0.54	3.33	0.59	3.62	0.55	2.66	0.56	2.85	0.59	2.39
G3-11	0.54	3.00	0.66	3.39	0.67	2.54	0.66	2.73	0.66	2.29
G3-12	0.52	2.54	0.61	2.78	0.58	2.11	0.55	2.24	0.62	1.94
G3-15	0.54	2.57	0.62	2.82	0.63	2.11	0.56	2.24	0.67	1.93
G3-21	0.54	3.29	0.67	3.65	0.68	2.70	0.65	2.86	0.68	2.38
G3-22	0.56	2.92	0.60	3.13	0.63	2.34	0.58	2.48	0.63	2.09

Çizelge 5.19: G4 grubu hacimler için ortalama düzgünlük (U_0) değerini sağlayan armatürlere ait normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri [$W/(m^2 100lx)$] ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z=0.70/0.50/0.20$ için).

Arm.no.	k=0.6 ($h_c=0$ m)		k=1.2 ($h_c=0$ m)		k=2.4 ($h_c=0$ m)		k=4.8 ($h_c=0$ m)							
	200		150		200		75							
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY						
G4-01	0.77	4.83	0.71	2.80	0.80	2.93	0.59	2.20	0.51	2.33	0.56	2.23	0.52	1.87
G4-02	0.75	4.64	0.68	2.84	0.75	2.82	0.57	2.15	0.54	2.25	0.57	2.22	0.53	1.89
G4-07	0.74	4.62	0.61	2.70	0.75	2.85	0.55	2.20	0.65	2.26	0.53	2.19	0.52	1.89
G4-08	0.77	5.50	0.61	3.21	0.73	3.26	0.55	2.55	0.58	2.60	0.54	2.51	0.55	2.18
G4-13	0.75	5.02	0.61	2.91	0.72	3.04	0.53	2.36	0.56	2.46	0.53	2.43	0.52	2.08
G4-16	0.80	5.45	0.61	2.97	0.74	3.17	0.56	2.36	0.60	2.53	0.58	2.41	0.51	2.08

Çizelge 5.16, 5.17, 5.18 ve 5.19’da, farklı hacim grupları için tanımlanan oda endekslerine sahip hacimlerin tümünde, değişik ortalama aydınlık düzeylerini ve istenilen ortalama düzgünlük değerini sağlayabilen aydınlatma sistemlerine ait normalize güç yoğunluğu değerleri verilmiştir. Normalize güç yoğunluğu değerleri, aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği açısından karşılaştırılması için iyi bir gösterge olarak kullanılabilir. Ancak ortalama aydınlık düzeyi ve düzgünlüğün yanında söz konusu sistemin, TS EN 12464-1 standardında bahsedilen UGR değerini de sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda, ortalama düzgünlüğü sağlayabilen aydınlatma sistemlerinin kamaşma analizlerinin de yapılarak kamaşmayı sınırlandırabilen sistemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

5.3.1 Kamaşma analizleri

Kamaşma hesapları, Bölüm 3.1.4'te detaylıca anlatıldığı gibi, CIE'nin 117 ve 190 no'lu yayınlarına göre yapılabilmekte ve iç aydınlatmada kullanılmak üzere her bir armatür için tablolar halinde sunulmaktadır. Bu bölümde, her bir hacim grubunda seçilmiş armatürler ile yapılan aydınlatma hesaplarında ortalama düzgünlük değerlerini sağlayabilen armatürler için kamaşma analizleri yapılarak, hem ortalama düzgünlüğü sağlayabilen hem de kamaşmayı her bir grup için istenilen sınırlarda tutabilen armatürlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. UGR tabloları armatürler arası mesafenin (S), armatürlerin göz seviyesinden yüksekliğine (H) oranı olan R_{SH} 'ın belirli bir değerine göre hesaplandığı için, farklı R_{SH} değerleri için farklı UGR tabloları oluşturulmaktadır. CIE'nin 117 no'lu yayınında klasik bir ofis hacmi için, standart 3.2 m yükseklik ve 1.2 m göz seviyesi tanımlanmış ve bu durumda H değeri 2 m olarak bulunmuştur. Buna göre UGR hesaplamalarının R_{SH} oranının minimum 0.25 yani $S=0.5$ m olduğu durumlar için yapıldığı belirtilmiştir. Ancak ofis aydınlatmalarında kullanılan birçok armatürün boyutları 0.5 m'den büyük olduğu için, armatürler arası açıklıklar da genelde 0.5 m'den büyük olmakta ve R_{SH} değeri de 0.25'ten daha yüksek değerler alabilmektedir. Pratikte R_{SH} değerinin yükselmesi, armatür arası açıklıkların artması dolayısıyla UGR hesaplarında görüş açısına giren armatür sayısının azalması ve daha düşük UGR değerlerinin sağlanması anlamına gelmektedir (CIE, 1995). Dolayısıyla, R_{SH} değerinin 0.25'ten büyük olduğu durumlar için CIE'nin 117 ve 190 no'lu yayınlarında belirtilen şekilde hesaplamalar yapılarak söz konusu R_{SH} değerine ait yeni UGR tablolarının oluşturulması gerekmektedir. Örnek olması açısından, Çizelge 3.5'te 2x28W gücünde T5 flüoresan lambalı armatüre ilişkin $R_{SH}=0.25$ için oluşturulmuş UGR tablosu, $R_{SH}=1$ için yeniden oluşturularak Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20: 2x28W gücünde T5 flüoresan lambalı bir armatüre ait UGR tablosu ($R_{SH}=1$ için).

Tavan	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	
Duvar	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30	
Zemin	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
Oda boyutu		Bakış doğrultusuna dik yerleşim					Bakış doğrultusuna paralel yerleşim				
a	b										
2H	2H	15.9	16.9	16.2	17.2	17.4	10.7	11.7	11.0	11.9	12.1
	3H	15.8	16.7	16.1	16.9	17.2	10.5	11.4	10.8	11.7	11.9
	4H	15.7	16.6	16.0	16.8	17.1	10.5	11.3	10.8	11.6	11.8
	6H	15.7	16.4	16.0	16.7	17.0	10.4	11.2	10.7	11.4	11.7
	8H	15.6	16.3	16.0	16.6	16.9	10.4	11.1	10.7	11.4	11.7
4H	12H	15.6	16.3	15.9	16.6	16.9	10.3	11.0	10.7	11.3	11.6
	2H	15.7	16.6	16.1	16.8	17.1	10.5	11.4	10.9	11.6	11.9
	3H	15.6	16.3	16.0	16.6	16.9	10.4	11.1	10.8	11.4	11.7
	4H	15.5	16.1	15.9	16.5	16.8	10.3	10.9	10.7	11.3	11.6
	6H	15.5	16.0	15.9	16.3	16.7	10.3	10.8	10.7	11.1	11.5
8H	8H	15.4	15.9	15.8	16.3	16.7	10.2	10.7	10.6	11.1	11.5
	12H	15.4	15.8	15.8	16.2	16.6	10.2	10.6	10.6	11.0	11.4
	4H	15.4	15.9	15.8	16.3	16.7	10.2	10.7	10.6	11.1	11.5
	6H	15.3	15.7	15.8	16.1	16.6	10.1	10.5	10.6	10.9	11.4
	8H	15.3	15.6	15.8	16.1	16.5	10.1	10.4	10.6	10.9	11.3
12H	12H	15.2	15.5	15.7	16.0	16.5	10.0	10.3	10.5	10.8	11.3
	4H	15.4	15.8	15.8	16.2	16.6	10.2	10.6	10.6	11.0	11.4
	6H	15.3	15.6	15.8	16.1	16.5	10.1	10.4	10.6	10.9	11.3
	8H	15.2	15.5	15.7	16.0	16.5	10.0	10.3	10.5	10.8	11.3
Farklı R_{SH} değerleri için düzeltme değerleri											
	$R_{SH}=1.0$						+2.0 / -5.9		+1.1/ -2.0		
	$R_{SH}=1.5$						+3.6 / -19.5		+2.6 / -17.0		
	$R_{SH}=2.0$						+5.5 / -25.6		+4.8 / -24.0		
Kamaşma değerleri 5200 lm ışık akısına göre hesaplanmıştır.											

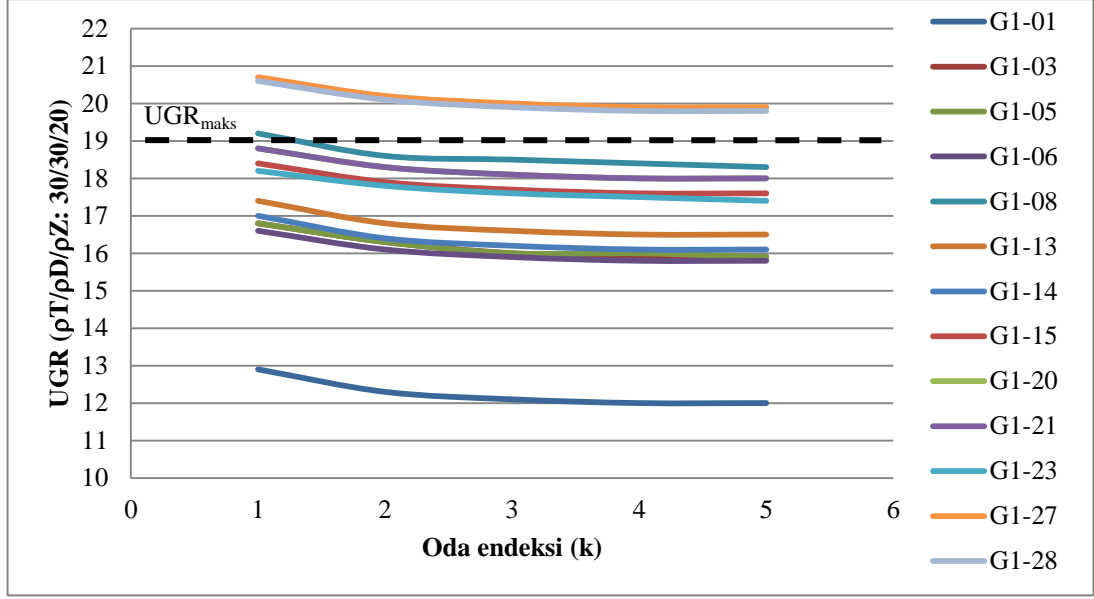
Çizelge 3.5 ile 5.20 karşılaştırıldığında, $R_{SH}=1$ için elde edilen UGR değerlerinin $R_{SH}=0.25$ için elde edilen UGR değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki tablodan da farklı oda endeksine sahip hacimler için tanımlanmış değişik hacim yüzey yansıtma faktörlerine göre UGR değerlerininin değişmekte olduğu ve UGR değerlerinin yansıtma faktörlerinin en düşük olduğu durum için maksimum değerleri aldığı görülmektedir. Bu kapsamda, çalışma dahilinde yapılan aydınlatma hesaplarına ilişkin armatür yerleşimleri incelenerek her bir grup için elde edilen minimum ve maksimum R_{SH} değerleri belirlenmiş ve UGR tablolarının belirlenen minimum R_{SH} değerlerine göre oluşturulması amaçlanmıştır. Çizelge 5.21’de G1, G2, G3 ve G4 grupları için hesaplarda karşılaşılan minimum ve

maksimum R_{SH} değerleri ile TS EN 12464-1 standardına göre her bir hacim grubu için sağlanması istenilen maksimum UGR değerleri verilmektedir. Söz konusu standartta tanımlanan UGR değerleri de $R_{SH}=1$ durumu için verilmektedir.

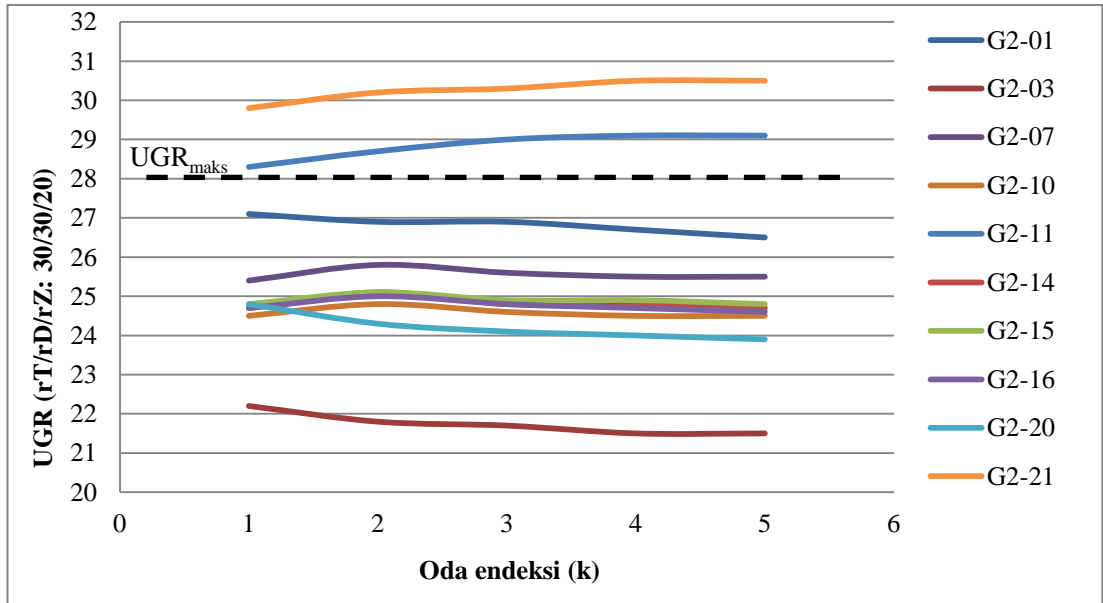
Çizelge 5.21: Hacim grupları için aydınlatma hesaplarında karşılaşılan minimum R_{SH} (R_{SHmin}), maksimum R_{SH} (R_{SHmaks}) değerleri ile $R_{SH}=1$ için sağlanması istenilen maksimum UGR değerleri (UGR_{maks}).

Hacim Grubu	R_{SHmin}	R_{SHmaks}	UGR_{maks}
G1	1.2	3.3	19
G2	1.25	4.0	28
G3	1.4	3.4	25
G4	2.6	6.1	28

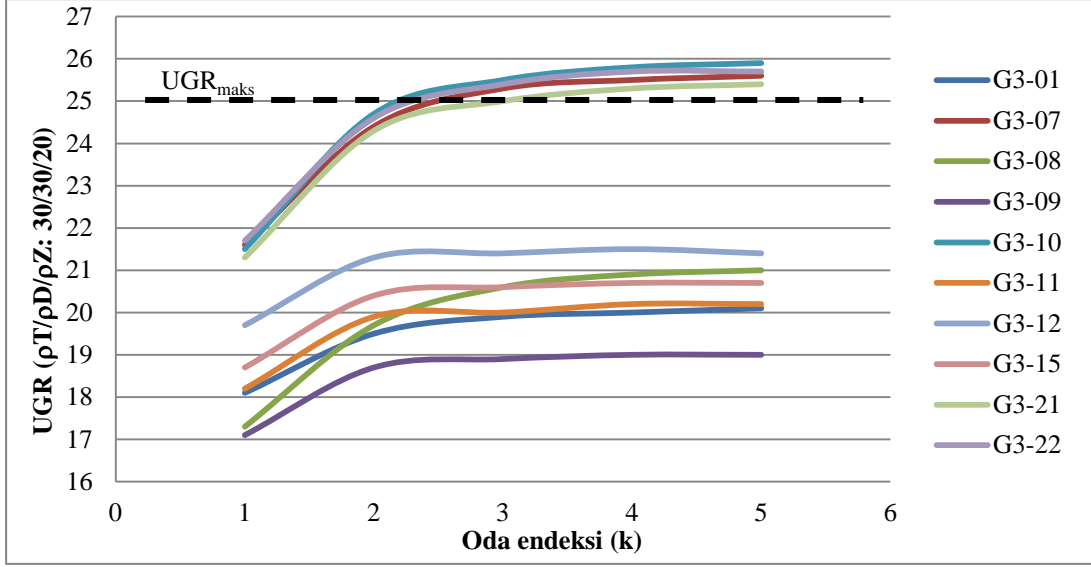
Kamaşıma analizlerinde en kötü durum senaryosu için gerekli kriterlerin sağlanabilmesi, kamaşımanın diğer durumlar için de sınırlanabileceği anlamına gelmektedir. Bu kapsamda, izelge 5.21 incelendiğinde, her bir hacim grubunda minimum R_{SH} değerinin birden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda, tüm armatürler için $R_{SH}=1$ olarak kabul edilerek en kötü durum senaryosu olan oda yansıtma faktörlerinin tavan, duvar ve zemin için sırasıyla 30, 30 ve 20 olduğu duruma göre farklı oda endeksleri için UGR değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çizelge 5.16, 5.17, 5.18 ve 5.19’da verilen armatürlere ait ışık şiddeti tabloları kullanılarak CIE 117 ve 190 no’lu yayınlarda tanımlanan hesap yöntemine göre her bir armatür için UGR tabloları oluşturulmuştur. Söz konusu UGR tabloları elde edilirken, CIE yöntemine göre hesaplama yapabilen Calculux Photometrics yazılımı kullanılmıştır (Philips, 2004). G1, G2, G3 ve G4 hacim grupları için, hesaplanan kamaşıma değerlerinin oda endeksine bağlı grafikleri çizilerek sırasıyla şekil 5.14, 5.15, 5.16 ve 5.17’de her bir hacim grubu için istenilen maksimum UGR değerleri ile birlikte verilmiştir.



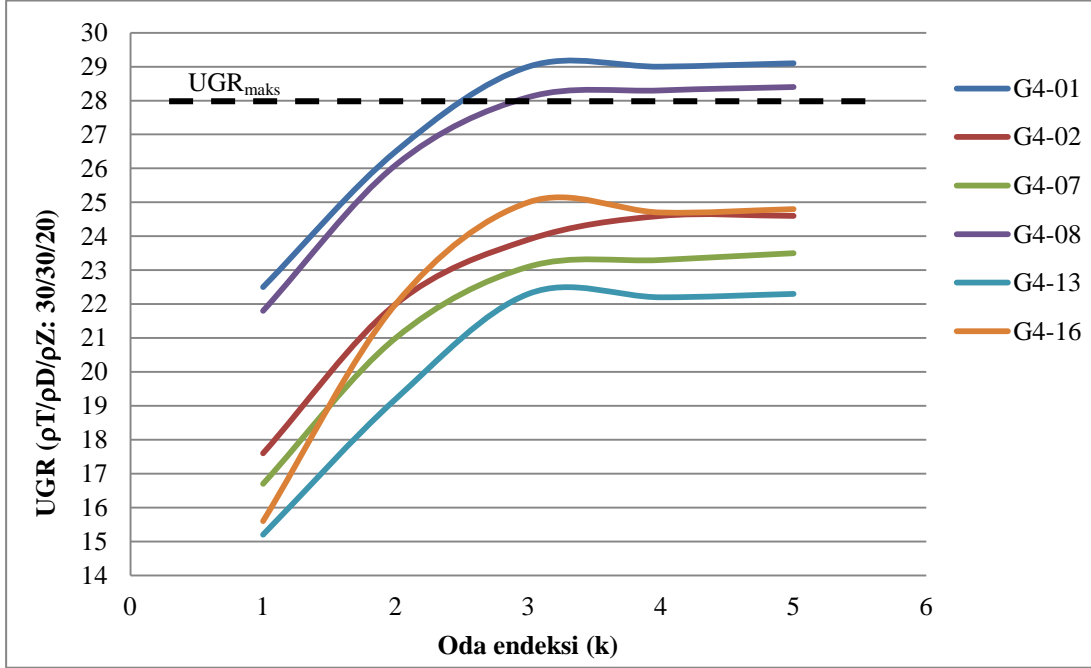
Şekil 5.14 : G1 grubu armatürleri için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.



Şekil 5.15 : G2 grubu armatürleri için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.



Şekil 5.16 : G3 grubu armatürler için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.



Şekil 5.17 : G4 grubu armatürler için $R_{SH}=1$ ve yüzey yansıtma faktörlerinin 30/30/20 olduğu durum için UGR değerlerinin oda endeksine bağlı değişimi.

Farklı hacim gruplarına ait, yansıtma faktörleri tavan, duvar ve zemin için sırasıyla 0.30, 0.30 ve 0.20 durumu için oda endeksine bağlı kamaşma grafikleri incelendiğinde, her bir grubu oluşturan farklı ışık dağılım karakteristiğine sahip armatürlerin kamaşma eğrilerinin de değişik yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 5.14'te verilen, ışığı kontrollü dağıtarak UGR'yi maksimum 19'da sınırlayabilen armatürlerin kamaşma eğrileri, diğer hacimler için çizilen eğrilerden daha düzgün bir dağılıma sahiptir. Bunun yanında G3 ve G4 hacimleri için tanımlanan armatürlere ait

Şekil 5.16 ve 5.17’de verilen grafikler dikkate alındığında, kamaşma kontrolünün G1 grubundaki armatürler kadar iyi yapılamadığı ve armatürlerin kamaşma değerlerinin oda endekslerine bağlı olarak değişim gösterdiği, özellikle de oda endeksleri büyüdükçe kamaşma değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. G2 hacim grubu için tanımlanan kompakt flüoresan lambalı yuvarlak formdaki armatürlerin kamaşma değerleri de oda endeksine bağlı olarak fazla değişim göstermemektedir.

Farklı hacim gruplarına ait UGR eğrileri incelenmiş, her bir hacim grubu için sağlanması gereken maksimum UGR değerinin üzerinde kalan armatürler, kamaşma yaratabilme potansiyeli nedeni ile elenerek çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu durumda, G1 grubu hacimler için 19, G2 grubu için 28, G3 grubu için 25 ve G4 grubu için 28’in altında UGR değerleri sağlayan armatürler belirlenerek Çizelge 5.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.22: Kamaşma değerleri UGR_{max} değerinin altında kalan armatürler.

Hacim Grubu	UGR_{maks} değerinden küçük UGR’ye sahip armatürler	Adet
G1	G1-01, G1-03, G1-05, G1-06, G1-08, G1-13, G1-15, G1-20, G1-21, G1-23	10
G2	G2-01, G2-03, G2-07, G2-10, G2-14, G2-15, G2-16, G2-20	8
G3	G3-01, G3-08, G3-09, G3-11, G3-12, G3-15	6
G4	G4-02, G4-07, G4-13, G4-16	4

Sonuç olarak her bir hacim grubu için, TS EN 12464-1 standardında tanımlanan ortalama aydınlık düzeyi, ortalama düzgünlük ve birleşik kamaşma endeksi gibi aydınlatma tasarım kriterlerini, tanımlanan tüm oda endeksine sahip hacimler için sağlayabilen ışık dağılımına sahip armatürler belirlenmiştir. Söz konusu armatürlere ait ışık şiddeti dağılım eğrileri tüm hacim grupları için Ek D’de verilmektedir. Ek D’de verilen eğriler incelendiğinde, G1, G2 ve G3 hacim grupları için belirlenen armatürlerin kamaşmayı istenilen değerlerde sınırlaması amacıyla 60° ile ekranlandığı görülmektedir. Bununla birlikte, her bir grup için belirlenen armatürlerin maksimum ışık şiddeti değerlerinin G1 grubu hacimler için maksimum 500 cd, G2 ve G3 grubu hacimler için maksimum 320 cd ile sınırlandırıldığı tespit edilmiştir. G4 grubu hacimler için belirlenen armatürlerin kullanıldığı hacimlerde kamaşma değerlerinin diğer hacimlere göre daha yüksek değerler olmasından dolayı ekranlama açısı için belirli bir sınır olmamakla beraber, maksimum ışık şiddeti

değerlerinin 200 cd'nin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu tespitler kapsamında, hacim grupları için belirlenen armatürlerin ışık şiddeti dağılım karakteristiklerinin benzer özellikler gösterdiği söylenebilir.

Çalışmanın bundan sonraki adımında, her bir hacim grubu için belirlenen armatürlerin ışık şiddeti tabloları kullanılarak her bir armatüre ait oda verim faktörü (η_{oda}) eğrilerinin belirlenmesi ve bu eğrilerin incelenmesi ile tasarruf analizlerinde kullanılacak referans oda verim faktörü eğrilerinin elde edilmesi hedeflenmektedir.

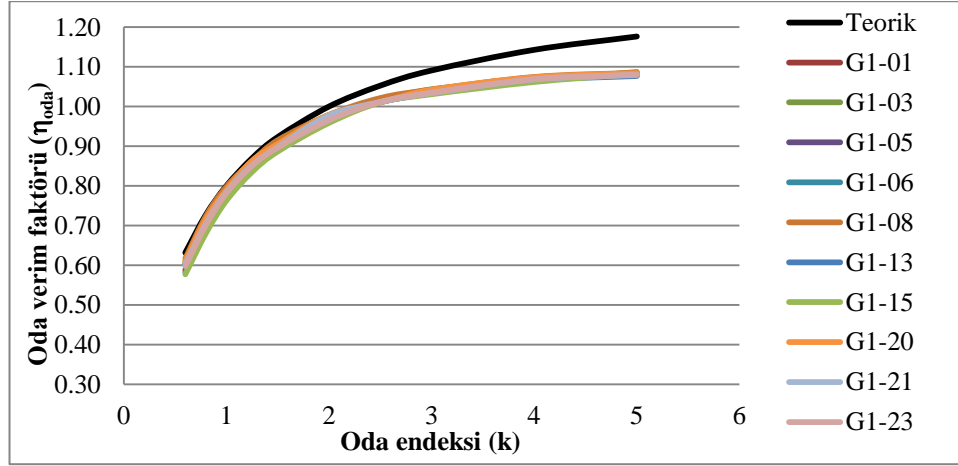
5.4 Referans Oda Verim Faktörü Eğrilerinin Belirlenmesi

Aydınlatma hesaplarında kullanılan verim faktörü (η), 4.4 no'lu denklemde tanımlandığı üzere, armatür geriverimi ile oda verim faktörünün çarpımı olarak ifade edilmektedir. 4.4 no'lu denklem yeniden düzenlenerek oda verim faktörü (η_{oda}) 5.5 no'lu denklemdeki gibi ifade edilebilir.

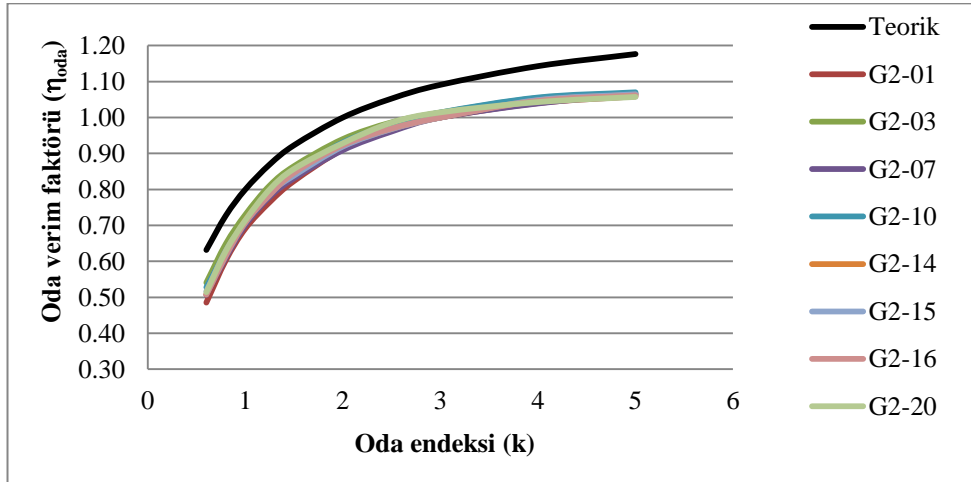
$$\eta_{oda} = \frac{\eta}{\eta_{arm}} \quad (5.5)$$

5.5 no'lu denklemden görüldüğü üzere oda verim faktörü, söz konusu armatür için hesaplanan verim faktörü armatürün geriverimine bölünerek bulunabilmektedir. Bu durumda, bir armatür için CIE verim yöntemine göre farklı yüzey yansıtma faktörleri için oluşturulan verim faktörü tabloları armatür verimlerinden bağımsız olarak sadece armatürün ışık dağılım karakteristiğine bağlı olarak ifade edilmek istenirse, söz konusu değerler, armatürün geriverimine bölünerek oda verim faktörü tabloları elde edilebilir. Elde edilen oda verim faktörü tablolarındaki değerlerin oda endeksine bağlı grafikleri çizildiğinde ise, oda verim faktörü eğrileri elde edilebilecektir. Bu kapsamda, Çizelge 5.22'de verilen her bir hacim grubu için tanımlanan aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürler için, CIE verim faktörü yöntemi ile verim faktörü tabloları oluşturulmuş ve armatürlerin geriverimleri kullanılarak 5.5 no'lu denklem yardımı ile, her bir armatüre ait oda verim faktörü değerleri hesaplanmış ve tablolar haline getirilmiştir. Elde edilen oda verim faktörü tablolarındaki değerler ile her bir hacim grubuna ait armatürlerin oda verim faktörü değerlerinin oda endeksine bağlı olarak değişimlerini gösteren grafikler çizilmiştir. Bu kapsamda, yüzey

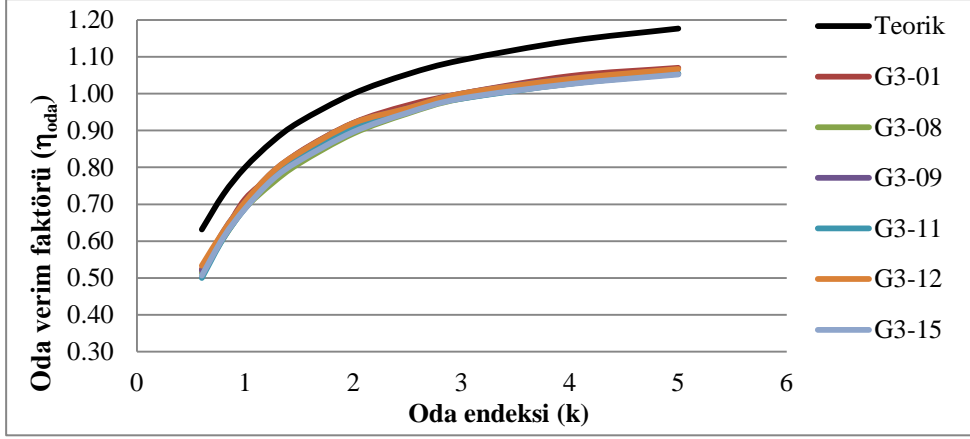
yansıtma faktörlerinin tavan, duvarlar ve zemin için 0.70, 0.50 ve 0.20 olma durumuna göre çizilen oda verim faktörü eğrileri G1, G2, G3 ve G4 grubu hacimler için sırasıyla Şekil 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21’de verilmektedir. Şekillerde karşılaştırma amacı ile Hanselaer ve diğ. (2007)’nin teorik hesaplamaları ile elde edilen eğri de gösterilmektedir.



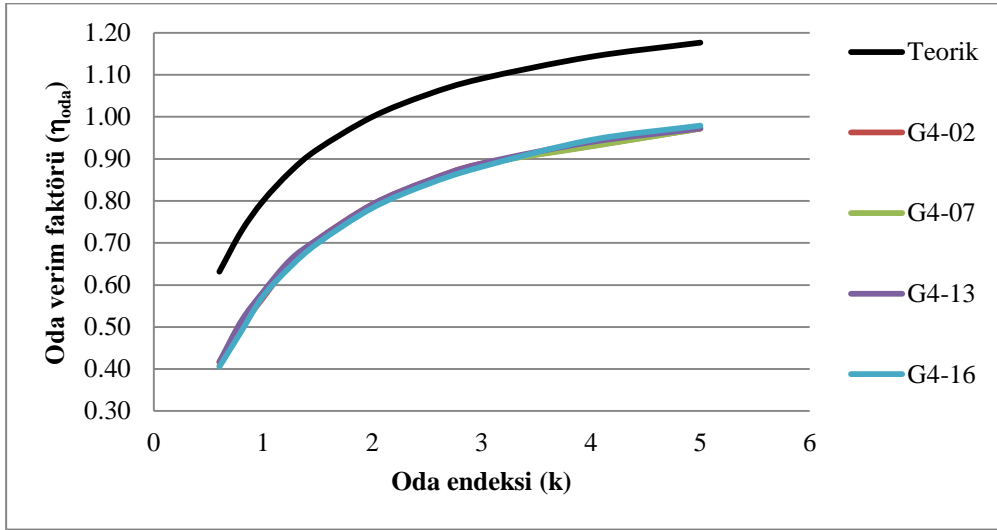
Şekil 5.18 : G1 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).



Şekil 5.19 : G2 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).



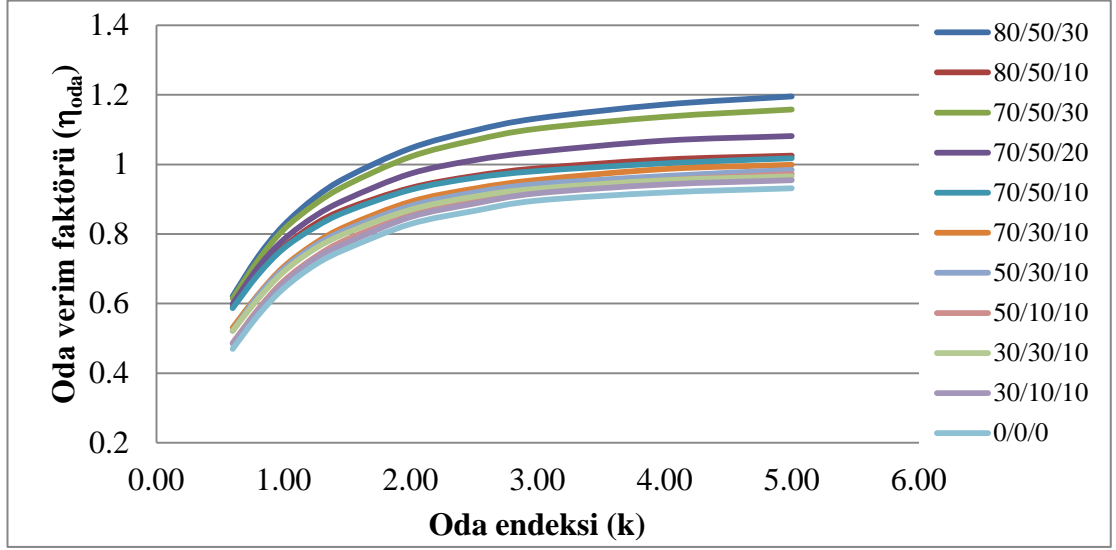
Şekil 5.20 : G3 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).



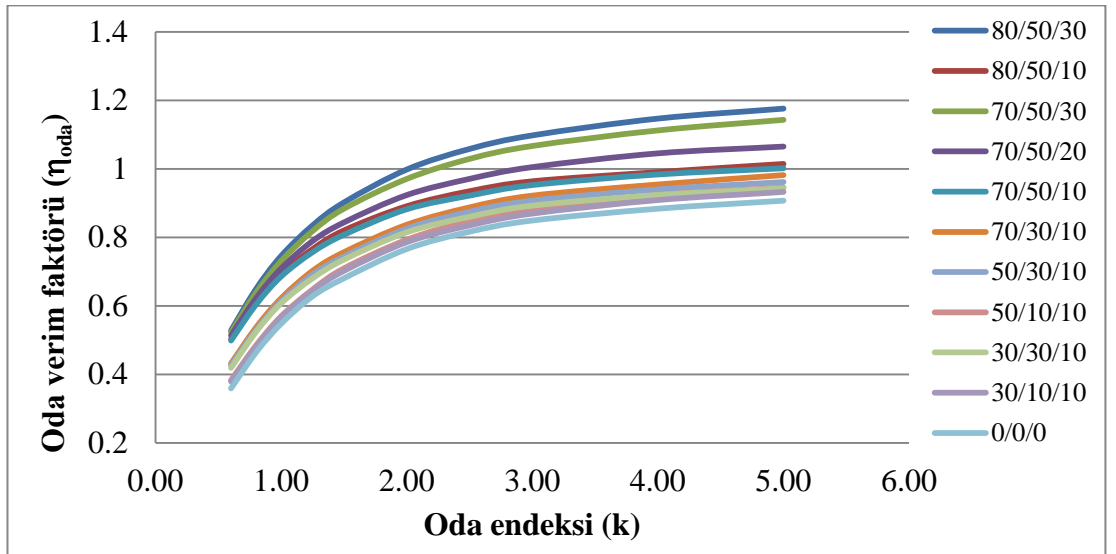
Şekil 5.21 : G4 grubu hacimler için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayan armatürlerin oda verim faktörü eğrileri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z= 0.70/0.50/0.20$).

Şekil 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21 incelendiğinde, Bölüm 5.4'te elde edilen her bir hacim grubu için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürlere ait oda verim faktörü eğrilerinin birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu saptanmıştır. Başka bir ifade ile, her bir hacim grubu için aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürlerin ışık dağılım karakteristiklerinin benzer olduğu, dolayısıyla söz konusu armatürlere ait ışık şiddeti tablolarından elde edilen oda verim faktörü eğrilerinin de birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, armatürlerden elde edilen ve sözkonusu eğrileri oluşturan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, her bir hacim grubu ve farklı yansıtma faktörleri için ayrı ayrı oda verim faktörü eğrilerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, G1 grubu hacimler için tanımlanan armatürlerin farklı yansıtma faktörlerine ait oda verim faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak çizilen oda verim faktörü eğrileri 5.22'de, G2 grubu hacimler için

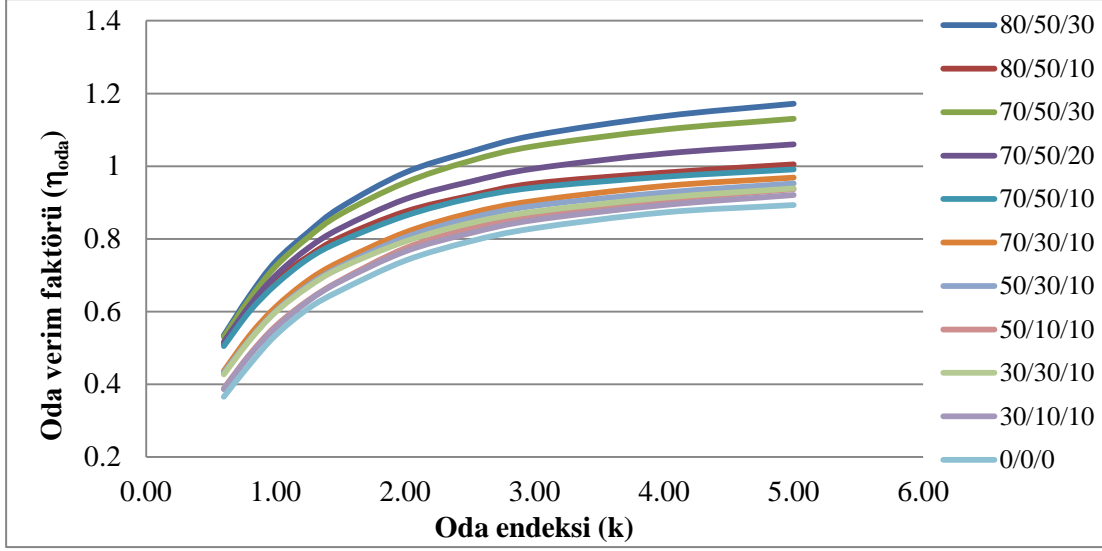
Şekil 5.23'te, G3 grubu hacimler için Şekil 5.24'te ve G4 grubu hacimler için çizilen eğriler ise Şekil 5.25'te verilmektedir.



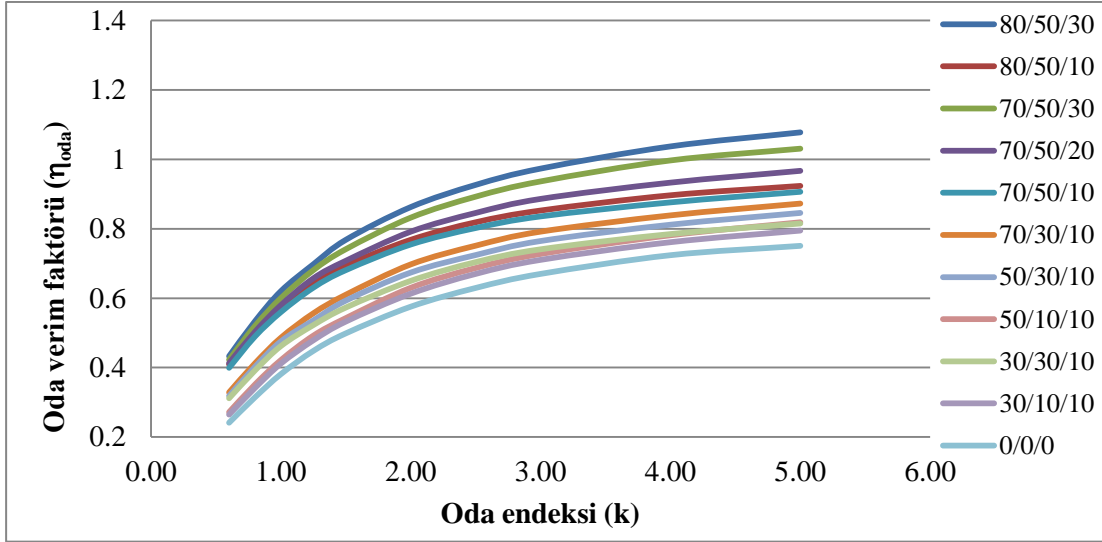
Şekil 5.22 : G1 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.



Şekil 5.23 : G2 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.

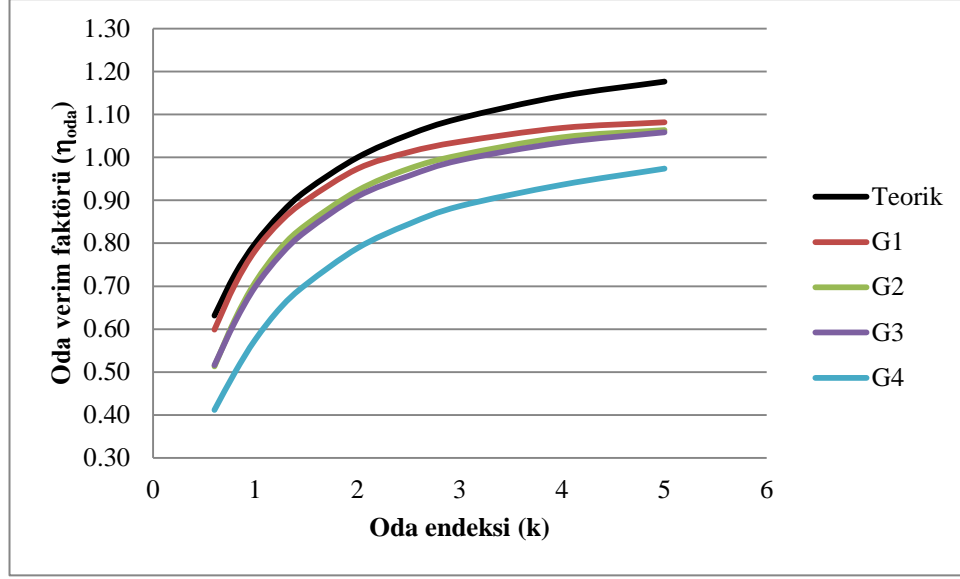


Şekil 5.24 : G3 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.



Şekil 5.25 : G4 grubu hacimlerin farklı yüzey yansıtma faktörleri için hesaplanan referans oda verim faktörü eğrileri.

Şekil 5.22, 5.23, 5.24 ve 5.25'te çizilen grafiklerden de görüldüğü üzere, yüzey yansıtma faktörlerinin artması ile daha yüksek oda verim faktörü değerleri elde edilebilmektedir. Bunun yanında, her grup için tanımlanan oda verim faktörü eğrilerinin aynı yüzey yansıtma faktörleri altında farklı değerlere sahip oldukları görülmektedir. Bu durumun açıkça görülebilmesi için, Şekil 5.26'da değişik hacim grupları için yüzey yansıtma faktörlerinin 0.70, 0.50 ve 0.20 olma durumunda elde edilen oda verim faktörü eğrileri, teorik eğri ile birlikte toplu olarak verilmektedir.



Şekil 5.26 : Farklı hacim grupları ve yüzey yansıtma faktörlerinin 0.70, 0.50, 0.20 olduğu durum için belirlenen referans oda verim faktörü eğrileri.

Şekil 5.26'dan her bir grup için tanımlanan ve tüm aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürlerden elde edilen eğrilerin, Hanselaer ve diğ. (2007)'nin elde ettiği teorik eğrinin altında kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, G1 grubu hacimler için tanımlanan armatür tiplerinden elde edilen eğrinin, diğer hacim gruplarından daha iyi oda verim faktörü değerlerine sahip olduğu, G2 ve G3 grubu hacimler için tanımlanan armatür tiplerinden elde edilen eğrilerin birbirine çok yakın değerler aldığı, G1 eğrisinin yüksek oda endekslerinde G2 ve G3 eğrilerine yaklaştığı ve G4 grubu hacimler için tanımlanan eğrilerin ise en düşük oda verim faktörü değerlerini sağladığı görülmektedir. Bu kapsamda, oda endeksi 3 olan bir hacim için teorik olarak elde edilen oda verim faktörü değeri 1.09 iken G1 grubu için 1.04; G2 grubu için 1.00; G3 grubu için 0.99 ve G4 grubu için 0.89 olarak hesaplanmıştır. Bunun anlamı, pratikte elde edilen oda verim faktörü değerlerinin teorik değerlere ulaşamayarak altında kaldığı, farklı hacim grupları için tanımlanmış armatür tiplerinin ışık dağılım karakteristiklerinin birbirinden farklı olduğu ve bunun sonucu olarak gerekli kurulu güç değerlerinin de oldukça farklı olabileceği ve bu sebeple ofis binalarında tasarruf potansiyeli hesaplanacak hacimlere ilişkin tanımların doğru yapılması gerektiğidir. Bu kapsamda, ofis binası hacimleri içinde en verimli aydınlatma sistemlerinin, binanın büyük bir bölümünü kapsayan G1 grubu hacimlerde sağlanabileceği de açıktır.

5.5 Referans Oda Verim Faktörü Polinomlarının Eldesi

Armatür verim faktörü eğrileri dolayısıyla oda verim faktörü eğrileri genelde dördüncü dereceden polinomlar olarak ifade edilebilmektedir. Şekil 5.22, 5.23, 5.24 ve 5.25'te verilen, her bir hacim grubu için elde edilmiş oda verim faktörü eğrileri de oda endeksine bağlı 4. dereceden polinomlar olarak yazılabilir. Bu sayede, oda endeksi hesaplanan bir hacmin oda verim faktörü değeri söz konusu polinomlar yardımıyla kolayca hesaplanabilir. G1 grubu hacimler için elde edilen 4. dereceden polinomlar Çizelge 5.23'de, G2 grubu hacimler için Çizelge 5.24'te, G3 grubu hacimler için Çizelge 5.25'te ve G4 grubu hacimler için Çizelge 5.26'da belirleme katsayıları ile birlikte verilmektedir.

Çizelge 5.23: G1 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı referans oda verim faktörü polinomları.

Yüzey Yansıtma Faktörleri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z$)	Oda Endeksine Bağlı Oda Verim Faktörü Polinomları ($y = \eta_{oda}$)	Belirleme Katsayısı (R^2)
0.80/0.50/0.30	$y = -0.0056k^4 + 0.0779k^3 - 0.4063k^2 + 0.9906k + 0.1617$	$R^2 = 0.9995$
0.80/0.50/0.10	$y = -0.0057k^4 + 0.0768k^3 - 0.3866k^2 + 0.8866k + 0.1865$	$R^2 = 0.9992$
0.70/0.50/0.30	$y = -0.0053k^4 + 0.0738k^3 - 0.3873k^2 + 0.9469k + 0.1757$	$R^2 = 0.9993$
0.70/0.50/0.20	$y = -0.0055k^4 + 0.0760k^3 - 0.3886k^2 + 0.9162k + 0.1787$	$R^2 = 0.9993$
0.70/0.50/0.10	$y = -0.0050k^4 + 0.0699k^3 - 0.3617k^2 + 0.8509k + 0.1969$	$R^2 = 0.9992$
0.70/0.30/0.10	$y = -0.0052k^4 + 0.0712k^3 - 0.3673k^2 + 0.8766k + 0.1245$	$R^2 = 0.9997$
0.50/0.30/0.10	$y = -0.0049k^4 + 0.0694k^3 - 0.3634k^2 + 0.8709k + 0.1208$	$R^2 = 0.9992$
0.50/0.10/0.10	$y = -0.0047k^4 + 0.0666k^3 - 0.3514k^2 + 0.8609k + 0.0863$	$R^2 = 0.9993$
0.30/0.30/0.10	$y = -0.0048k^4 + 0.0669k^3 - 0.3495k^2 + 0.8404k + 0.1322$	$R^2 = 0.9995$
0.30/0.10/0.10	$y = -0.0046k^4 + 0.0646k^3 - 0.3421k^2 + 0.8417k + 0.0929$	$R^2 = 0.9994$
0/0/0	$y = -0.0047k^4 + 0.0662k^3 - 0.3475k^2 + 0.8451k + 0.0782$	$R^2 = 0.9993$

Çizelge 5.24: G2 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.

Yüzey Yansıtma Faktörleri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z$)	Oda Endeksine Bağlı Oda Verim Faktörü Polinomları ($y = \eta_{oda}$)	Belirleme Katsayısı (R^2)
0.80/0.50/0.30	$y = -0.0055k^4 + 0.0772k^3 - 0.4123k^2 + 1.0401k + 0.0408$	$R^2 = 0.9997$
0.80/0.50/0.10	$y = -0.0052k^4 + 0.0731k^3 - 0.3847k^2 + 0.9299k + 0.0739$	$R^2 = 0.9992$
0.70/0.50/0.30	$y = -0.0054k^4 + 0.0759k^3 - 0.4042k^2 + 1.0113k + 0.0493$	$R^2 = 0.9997$
0.70/0.50/0.20	$y = -0.0058k^4 + 0.0791k^3 - 0.4065k^2 + 0.9756k + 0.0619$	$R^2 = 0.9996$
0.70/0.50/0.10	$y = -0.0054k^4 + 0.0746k^3 - 0.3851k^2 + 0.9203k + 0.0749$	$R^2 = 0.9993$
0.70/0.30/0.10	$y = -0.0046k^4 + 0.0668k^3 - 0.3612k^2 + 0.9112k + 0.0052$	$R^2 = 0.9995$
0.50/0.30/0.10	$y = -0.0054k^4 + 0.0759k^3 - 0.4042k^2 + 1.0113k + 0.0493$	$R^2 = 0.9997$
0.50/0.10/0.10	$y = -0.0044k^4 + 0.0631k^3 - 0.3432k^2 + 0.8857k - 0.0356$	$R^2 = 0.9998$
0.30/0.30/0.10	$y = -0.0048k^4 + 0.0675k^3 - 0.3605k^2 + 0.8975k + 0.0013$	$R^2 = 0.9994$
0.30/0.10/0.10	$y = -0.0046k^4 + 0.0659k^3 - 0.3550k^2 + 0.8996k - 0.0441$	$R^2 = 0.9998$
0/0/0	$y = -0.0045k^4 + 0.0643k^3 - 0.3502k^2 + 0.8937k - 0.0602$	$R^2 = 0.9995$

Çizelge 5.25: G3 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.

Yüzey Yansıtma Faktörleri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z$)	Oda Endeksine Bağlı Oda Verim Faktörü Polinomları ($y = \eta_{oda}$)	Belirleme Katsayısı (R^2)
0.80/0.50/0.30	$y = -0.0047k^4 + 0.0669k^3 - 0.3626k^2 + 0.9426k + 0.0887$	$R^2 = 0.9998$
0.80/0.50/0.10	$y = -0.0045k^4 + 0.0632k^3 - 0.3356k^2 + 0.8330k + 0.1218$	$R^2 = 0.9993$
0.70/0.50/0.30	$y = -0.0044k^4 + 0.0634k^3 - 0.3461k^2 + 0.9020k + 0.1034$	$R^2 = 0.9997$
0.70/0.50/0.20	$y = -0.0048k^4 + 0.0670k^3 - 0.3537k^2 + 0.8817k + 0.1038$	$R^2 = 0.9997$
0.70/0.50/0.10	$y = -0.0042k^4 + 0.0593k^3 - 0.3189k^2 + 0.8036k + 0.1297$	$R^2 = 0.9994$
0.70/0.30/0.10	$y = -0.0042k^4 + 0.0597k^3 - 0.3208k^2 + 0.8224k + 0.0502$	$R^2 = 0.9996$
0.50/0.30/0.10	$y = -0.0034k^4 + 0.0508k^3 - 0.2858k^2 + 0.7659k + 0.0679$	$R^2 = 0.9997$
0.50/0.10/0.10	$y = -0.0030k^4 + 0.0460k^3 - 0.2679k^2 + 0.7493k + 0.0295$	$R^2 = 0.9997$
0.30/0.30/0.10	$y = -0.0042k^4 + 0.0599k^3 - 0.3199k^2 + 0.8092k + 0.0478$	$R^2 = 0.9996$
0.30/0.10/0.10	$y = -0.0036k^4 + 0.0530k^3 - 0.2945k^2 + 0.7823k + 0.0145$	$R^2 = 0.9998$
0/0/0	$y = -0.0040k^4 + 0.0561k^3 - 0.3027k^2 + 0.7888k - 0.0087$	$R^2 = 0.9997$

Çizelge 5.26: G4 grubu hacimlerde farklı yüzey yansıtma faktörleri için oda endeksine (k) bağlı oda verim faktörü polinomları.

Yüzey Yansıtma Faktörleri ($\rho_T/\rho_D/\rho_Z$)	Oda Endeksine Bağlı Oda Verim Faktörü Polinomları ($y = \eta_{oda}$)	Belirleme Katsayısı (R^2)
0.80/0.50/0.30	$y = -0.0034k^4 + 0.0505k^3 - 0.2899k^2 + 0.8217k + 0.0322$	$R^2 = 0.9999$
0.80/0.50/0.10	$y = -0.0037k^4 + 0.0522k^3 - 0.2828k^2 + 0.7434k + 0.0569$	$R^2 = 0.9997$
0.70/0.50/0.30	$y = -0.0038k^4 + 0.0545k^3 - 0.2994k^2 + 0.8124k + 0.0304$	$R^2 = 0.9999$
0.70/0.50/0.20	$y = -0.0036k^4 + 0.0519k^3 - 0.2850k^2 + 0.7639k + 0.0464$	$R^2 = 0.9998$
0.70/0.50/0.10	$y = -0.0035k^4 + 0.0508k^3 - 0.2790k^2 + 0.7369k + 0.0478$	$R^2 = 0.9999$
0.70/0.30/0.10	$y = -0.0024k^4 + 0.0377k^3 - 0.2264k^2 + 0.6686k - 0.0039$	$R^2 = 0.9998$
0.50/0.30/0.10	$y = -0.0026k^4 + 0.0397k^3 - 0.2308k^2 + 0.6616k - 0.0085$	$R^2 = 0.9998$
0.50/0.10/0.10	$y = -0.0021k^4 + 0.0331k^3 - 0.2021k^2 + 0.6174k - 0.0397$	$R^2 = 0.9999$
0.30/0.30/0.10	$y = -0.0025k^4 + 0.0377k^3 - 0.2193k^2 + 0.6290k - 0.0006$	$R^2 = 0.9998$
0.30/0.10/0.10	$y = -0.0025k^4 + 0.0368k^3 - 0.2130k^2 + 0.6237k - 0.0502$	$R^2 = 0.9999$
0/0/0	$y = -0.0025k^4 + 0.0358k^3 - 0.2035k^2 + 0.5915x - 0.0588$	$R^2 = 0.9999$

Elde edilen referans oda verim faktörü polinomları incelendiğinde, bulunması istenilen oda verim faktörü değerlerinin %99.9'un üzerinde bir doğrulukla hesaplanabildiği görülmektedir. Dolayısıyla bu polinomların, geliştirilecek bilgisayar yazılımı kapsamında oda verim faktörü hesaplarında kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

5.6 Tasarruf Hesaplarında Kullanılacak Kurulu Güç Denklemlerinin Eldesi

Ofis binalarında, mevcut aydınlatma sisteminin enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanması amacıyla 4.15 no'lu denklemde tanımlanan kurulu güç ifadesinde belirlenmesi gereken son parametre de armatür etkinlik faktörüdür. Armatür etkinlik faktörü (e_{arm}), kullanılan ışık kaynağının etkinlik faktörüne (e_l) ve armatür geriverimine başka bir ifade ile teknolojinin gelişimine bağlıdır. Kurulu güç

denklemlerinde her bir hacim için ayrı ayrı belirlenecek referans armatür etkinlik faktörleri, bu çalışma kapsamında incelenen armatürler değerlendirilerek belirlenmiştir. Her bir hacim grubu için kamaşmayı istenilen sınırlar içinde tutabilen armatürler arasından aydınlatma hesaplarında en düşük normalize güç yoğunluğunu sağlayan armatürler dikkate alınarak, en yüksek armatür etkinlik faktörü belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, Çizelge 5.22’de tanımlanan armatürlerin farklı koşullar altında sağladıkları normalize güç yoğunluğu değerleri ve armatür geriverimleri değerlendirilmiş ve her bir hacim grubu için referans armatür etkinlik faktörleri ve birim armatür güçleri belirlenerek Çizelge 5.27’de verilmiştir.

Çizelge 5.27: Kurulu güç hesaplarında referans olarak kullanılacak maksimum armatür geriverimi, etkinlik faktörü ve armatür gücü değerleri.

Hacim Grubu	Maksimum Armatür Geriverimi (η_{arm}) [%]	Maksimum Armatür Etkinlik Faktörü (e_{arm}) [lm/W]	Armatür gücü (P_{arm}) [W]
G1	97	78.8	64
G2	77	51.3	54
G3	77	62.6	64
G4	71	66.1	72

Çizelge 5.27’de belirlenen referans armatür etkinlik faktörleri, 4.15 no’lu denklemde yerine konularak her bir hacim grubu için referans kurulu güç denklemleri elde edilmiştir. Bu yöntemle, olası tasarruf potansiyelinin hesaplanabilmesi için mevcut aydınlatma sisteminin yerine önerilecek aydınlatma sisteminin kurulu gücü Çizelge 5.28’de verilen denklemler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Söz konusu denklemlerden normalize güç yoğunluğu denklemleri de türetilerek Çizelge 5.29’da verilmiştir.

Çizelge 5.28: Hacim grupları için tanımlanan kurulu güç denklemleri.

Hacim Grubu	Kurulu Güç Denklemi [W]
G1	$P'_n = 12.690 \times 10^{-3} \frac{E_{ort} \times A}{BF \times \eta_{oda}}$
G2	$P'_n = 19.493 \times 10^{-3} \frac{E_{ort} \times A}{BF \times \eta_{oda}}$
G3	$P'_n = 15.974 \times 10^{-3} \frac{E_{ort} \times A}{BF \times \eta_{oda}}$
G4	$P'_n = 15.135 \times 10^{-3} \frac{E_{ort} \times A}{BF \times \eta_{oda}}$

Çizelge 5.29: Hacim grupları için tanımlanan normalize kurulu güç denklemleri.

Hacim Grubu	Normalize Güç Yoğunluğu Denklemi [W/(m ² 100lx)]
G1	$NGY = \frac{1.2690}{BF \times \eta_{oda}}$
G2	$NGY = \frac{1.9493}{BF \times \eta_{oda}}$
G3	$NGY = \frac{1.5974}{BF \times \eta_{oda}}$
G4	$NGY = \frac{1.5135}{BF \times \eta_{oda}}$

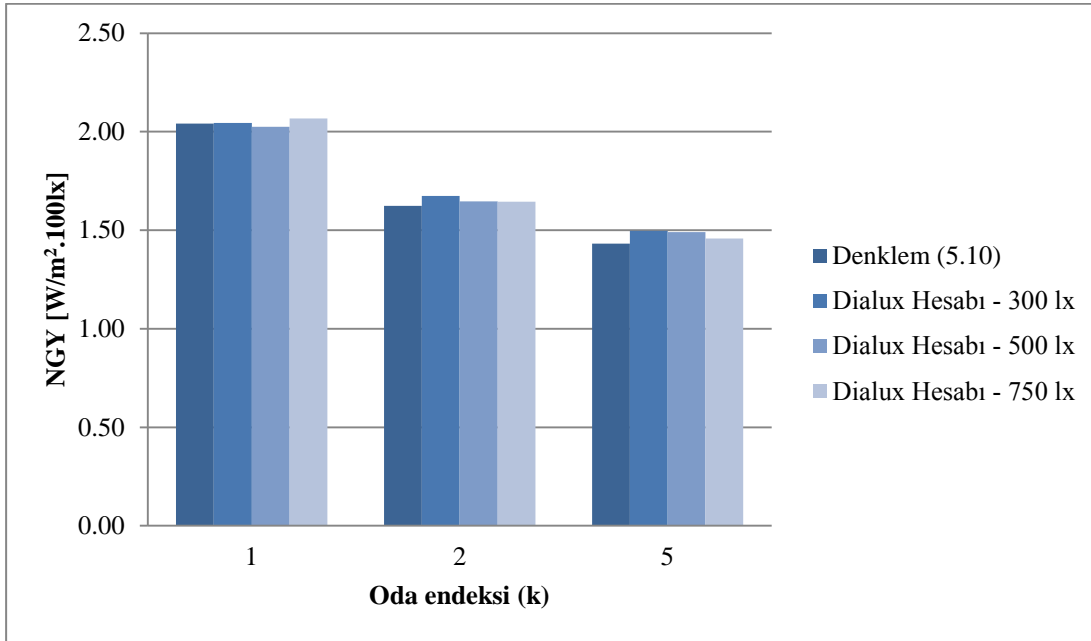
Çizelge 5.28'deki denklemler, çalışma düzleminde sağlanması gereken toplam ışık akısı miktarının üretilmesi için gerekli elektriksel güç değerlerini vermektedir. Tesisattaki toplam armatür sayısı ve toplam armatür kurulu gücünün hesaplanabilmesi, her bir grup için Çizelge 5.27'de tanımlanan armatür güçlerinin hesaplara dahil edilmesi ile mümkün olabilecektir. Diğer yandan, 5.6 no'lu denklemde verildiği gibi, elde edilen kurulu güç değeri (P'_n) armatür gücüne (P_{arm}) bölünerek toplam ilgili hacim grubu için armatür sayısı (N) hesaplanabilmektedir. Hesaplanan armatür sayısının tam sayı çıkmaması durumunda, aydınlatma hesaplarında genel bir yaklaşım olan üste yuvarlama işlemi uygulanacaktır. Bu sebeple denklem 5.14'te tavan fonksiyonu kullanılmıştır.

$$N = \left\lceil \frac{P'_n}{P_{arm}} \right\rceil \quad (5.6)$$

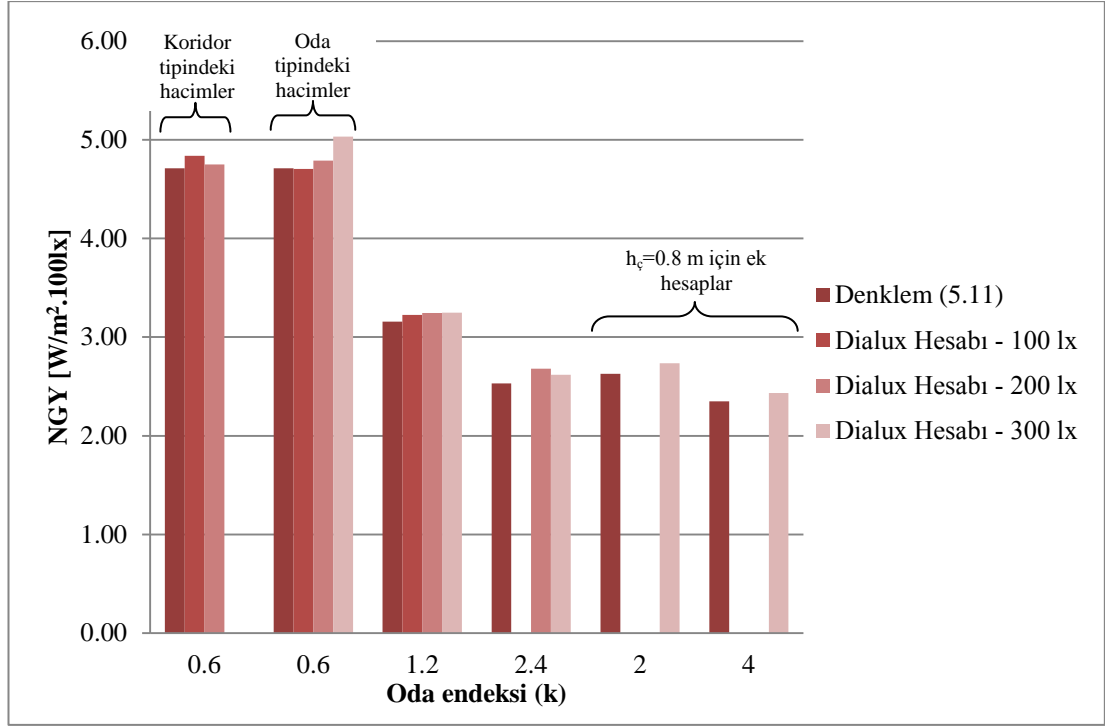
Bunun yanında kullanılacak armatür sayısına karar verilirken, armatürlerin hacim içinde düzgün yerleşimleri de gözönünde bulundurulmalıdır. Örneğin 16.43 olarak hesaplanan armatür sayısının 17'ye yuvarlanması yerine, daha simetrik bir yerleşimin sağlanması amacıyla 18 olarak alınması daha uygun olabilecektir. Bu kapsamda, geliştirilecek bilgisayar yazılımında en optimum armatür yerleşim şeklinin belirlenmesi de hedeflenmiştir.

5.6.1 Kurulu güç denklemlerinin doğruluk analizi

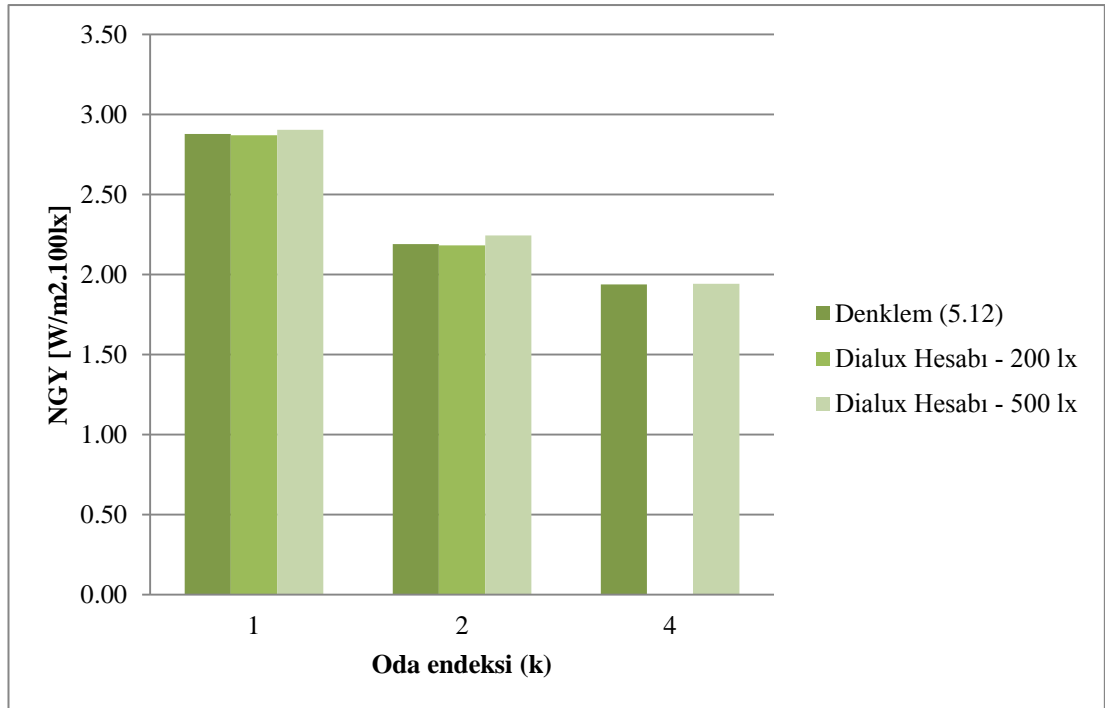
Çizelge 5.29’da elde edilen normalize güç yoğunluğu (NGY) denklemlerinin pratikteki uygulamasının doğrulanması amacıyla, her bir hacim grubunda tanımlanan farklı oda endekslerine sahip hacimler için yüzey yansıtma faktörlerinin 0.70, 0.50 ve 0.20; bakım faktörünün de 0.80 olduğu kabulü altında Çizelge 5.29’da verilen denklemler yardımı ile NGY değerleri hesaplanmıştır. Buna karşılık, her bir grup için Dialux yazılımında farklı oda endeksine sahip hacimler tanımlanarak farklı aydınlık düzeyleri için Çizelge 5.22’de tanımlanan armatürler ile NGY hesaplamaları tekrarlanmıştır. Her bir hacim grubu için Dialux yazılımı ile farklı armatürler ile elde edilen değerler incelenerek tanımlanan kurulu güç denklemleri ile elde edilen değerleri sağlayabilen tesisatlar belirlenmiş ve karşılaştırılması amacıyla Şekil 5.27, 5.28, 5.29 ve 5.30’da bar grafik olarak verilmiştir.



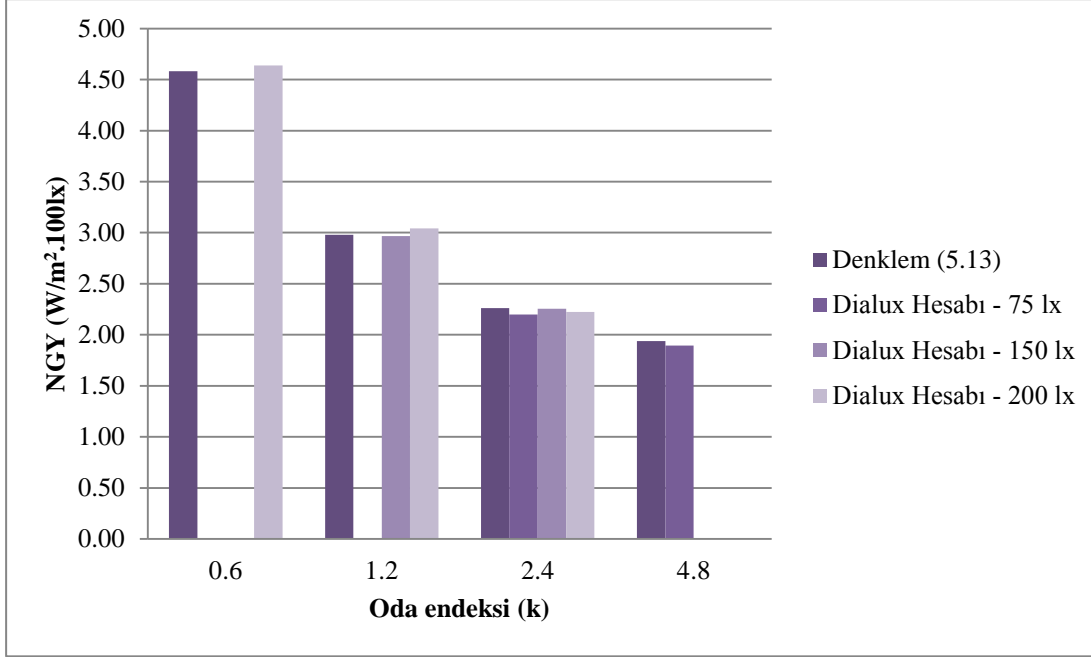
Şekil 5.27 : G1 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 5.28 : G2 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 5.29 : G3 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 5.30 : G4 grubu hacimler için hesaplanan NGY değerleri ile Dialux yazılımı ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Şekil 5.27, 5.28, 5.29 ve 5.30 incelendiğinde, hesaplanan değerler ile Dialux yazılımından elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, karşılaşılabilecek maksimum bağıl hata değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla, tüm durumlar için bağıl hata değerleri hesaplanarak Çizelge 5.30’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan pratikte, NGY değerlerine Çizelge 5.30’da gösterilen minimum hatalar ile yaklaşan değerlere sahip armatürlerin olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.30 incelendiğinde, G1 grubu hacimler için maksimum bağıl hata, oda endeksinin 5 ve sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyinin 300 lx olması durumunda %4.52 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, Denklem 5.10 ile hesaplanan NGY değeri $1.43 \text{ W}/(\text{m}^2100\text{lx})$ iken Dialux yazılımı ile hesaplanan NGY değeri $1.50 \text{ W}/(\text{m}^2100\text{lx})$ ’tür. Oda endeksinin 5 ve ortalama aydınlık düzeyinin 500 lx olması durumu için ise bağıl hata %4.04 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, oda endeksinin 2 olduğu durum için hesaplanan NGY değerinin $1.62 \text{ W}/(\text{m}^2100\text{lx})$; Dialux yazılımı ile 300 lx aydınlık düzeyi için hesaplanan NGY değerinin $1.67 \text{ W}/(\text{m}^2100\text{lx})$ ve bağıl hatanın %3.1 olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm durumlar için bağıl hata değeri %1.4’ün altında kalmaktadır.

Çizelge 5.30: Tanımlanan her durum için hesaplanan bağıl hata değerleri.

Hacim Grubu	Oda endeksi (k)	Bağıl Hata [%]			Açıklama
		300 lx	500 lx	750 lx	
G1	1	0.13	0.82	1.21	
	2	3.10	1.39	1.30	
	5	4.52*	4.04	1.78	
G2		100 lx	200 lx	300 lx	
	0.6	2.72	0.86	-	Koridor tipindeki hacimler için Oda tipindeki hacimler için
	0.6	0.10	1.69	6.81*	
	1.2	2.19	2.75	2.86	
	2.4	-	5.86	3.53	
	2	-	-	4.12	Yemekhane gibi $h_c=0.8$ m olan hacimler için
4	-	-	3.61		
G3		200 lx	500 lx	-	
	1	0.28	0.88	-	
	2	0.39	2.40*	-	
	4	-	0.16	-	
G4		75 lx	150 lx	200 lx	
	0.6	-	-	1.21	
	1.2	-	0.40	2.05	
	2.4	2.86*	0.30	1.78	
	4.8	2.35	-	-	

* maksimum bağıl hata

G2 grubu hacimler incelendiğinde ise maksimum bağıl hatanın %6.8 olduğu, söz konusu değer de oda endeksinin 0.6 (küçük ve oda tipindeki hacimler) olma durumu için hesaplandığı görülmektedir. Bu durumda Denklem 5.11 ile hesaplanan NGY değeri $4.71 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ iken 300 lx aydınlık düzeyi için Dialux yazılımı ile hesaplanan NGY değeri $5.03 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ 'tür. Bununla birlikte, oda endeksi 2.4 için hesaplanan NGY değeri $2.53 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ iken, 200 lx aydınlık düzeyinin sağlanması durumu için Dialux yazılımından elde edilen değer $2.68 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ olarak tespit edilmiş ve bağıl hata %5.86 olarak belirlenmiştir. Bu iki durumun dışında tüm olasılıklar için bağıl hata %5'in altında kalmaktadır.

G3 grubu hacimlerde ise maksimum bağıl hata, oda endeksinin 2 ve istenilen aydınlık düzeyinin 500 lx olması durumu için %2.40 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan NGY değeri $2.19 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ iken, 500 lx için Dialux yazılımından elde edilen değer $2.24 \text{ W}/(\text{m}^2 100\text{lx})$ 'tür. Bu hacim grubunda diğer tüm durumlar için bağıl hata %1'in altında kalmaktadır. Benzer şekilde, G4 grubu hacimler için de maksimum bağıl hata değeri %3'ün altında kalmaktadır.

Sonuç olarak, toplam 32 farklı durum için yapılan karşılaştırmalarda yalnızca iki durum için bağıl hatanın %5'ten büyük olduğu (%6.81 ve %5.86), 4 durum için %3 ile %5 arasında olduğu ve diğer tüm durumlar için %3'ün altında olduğu

saptanmıştır. Aydınlatma hesaplarında %5 toleransın kabul edilebilir olduğu ve aydınlatma performansı hesaplama yönteminde verilen toleransın %10 olduğu düşünüldüğünde, elde edilen denklemlerin pratikte uygulanabilir sonuçlar sağlayacağı söylenebilir.

5.7 Tasarruf Hesaplarının Ekonomik Analizi

Aydınlatma sistemlerinin ekonomik açıdan incelenmesi, diğer enerji tüketen sistemlerde olduğu gibi yatırım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Ekonomik analizler, birinci seviye (basit) ve ikinci seviye (detaylı) analizler olmak üzere temel olarak iki sınıfta toplanabilmektedir (Murdoch, 2003). Birinci seviye analizler, maliyetlerin ve geri ödeme sürelerinin basit ve hızlı olarak hesaplanabildiği analiz yöntemleridir. Genelde, elde edilecek tasarruf maliyeti ile olası yatırım maliyetinin karşılaştırılması sonucunda basit geri ödeme sürelerinin belirlenmesi esasına dayanırlar. Özellikle, ekonomik analiz süresinin çok uzun olmayacağı durumlarda uygun olurlar. Ancak, aydınlatma sistemlerinin uzun yıllara yayılı ekonomik analizi yapılmak istenildiğinde, ikinci seviye analiz yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. İkinci seviye analiz yönteminde paranın zamansal değeri göz önünde bulundurularak, işletme masraflarının yanı sıra bakım masrafları ve aydınlatma sisteminin toplam ömrü de dikkate alınarak analizler yapılmaktadır. Bu yaklaşımda, yaşam döngüsü maliyetleri, fayda-masraf ve iç karlılık oranı gibi analiz yöntemleri ile uzun yıllar için paranın bugünkü ve gelecekteki değerlerini hesaba dahil eden detaylı analizler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, mevcut sistemlerdeki enerji tasarruf potansiyellerinin en kısa sürede değerlendirilmesi amaçlandığından aydınlatma sisteminin toplam ömründen çok, yapılması gereken iyileştirme çalışmaları yatırımlarının geri ödeme süreleri ile ilgilenileceğinden, mevcut ofis binaları için hesaplanacak enerji tasarruf potansiyeli ile sağlanabilecek toplam yıllık fayda ve buna bağlı olarak önerilen verimli aydınlatma sistemine ait toplam yatırım maliyetlerini dikkate alan basit geri ödeme sürelerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Buna göre basit geri ödeme süresi, toplam yatırım maliyetinin yıllık toplam faydaya bölümü şeklinde 5.7 no'lu denklemdeki gibi hesaplanabilir.

$$BGÖS = \frac{\text{Toplam yatırım}}{\text{Toplam yıllık fayda}} = \frac{M_y}{M_f} [\text{yıl}] \quad (5.7)$$

5.15 no'lu denklemde geçen yatırım maliyeti (M_y), tasarruf analizleri sonucunda mevcut sistemin yerine önerilecek verimli aydınlatma sisteminin satın alma maliyeti olarak kabul edilebilir. Bu kapsamda, her bir hacim grubu için hesaplanan armatür sayıları ($N_{G1}, N_{G2}, N_{G3}, N_{G4}$) ve bu armatürlerin yaklaşık maliyetleri ($M_{G1}, M_{G2}, M_{G3}, M_{G4}$) ile toplam yatırım maliyeti 5.8 no'lu denklemdeki gibi hesaplanabilir.

$$M_y = N_{G1} \times M_{G1} + N_{G2} \times M_{G2} + N_{G3} \times M_{G3} + N_{G4} \times M_{G4} \quad [TL] \quad (5.8)$$

Yıllık toplam fayda ise, önerilen verimli aydınlatma sistemi ile elde edilecek kWh cinsinden yıllık enerji tasarrufu miktarı (W_{LT}) ve TL/kWh cinsinden elektrik enerjisi birim fiyatı (M_{elk}) dikkate alınarak 5.9 no'lu denklemdeki gibi hesaplanabilir.

$$M_f = W_{LT} \times M_{elk} \quad [TL] \quad (5.9)$$

Bu eşitliklerle, 5.7 no'lu denklem yeniden düzenlemek olursa, 5.10 no'lu denkleme ulaşılır.

$$BGÖS = \frac{N_{G1} \times M_{G1} + N_{G2} \times M_{G2} + N_{G3} \times M_{G3} + N_{G4} \times M_{G4}}{W_{LT} \times M_{elk}} \quad [yıl] \quad (5.10)$$

Enerji verimliliği projelerinde, projeden projeye değişmekle birlikte, uygulamalardan edinilen bilgilerle genelde 3 yıla kadar olan geri ödeme sürelerinin kabul edilebilir olduğu söylenebilir. Bu durumda, kabul edilebilen geri ödeme süresine bağlı olarak gerekli yatırım maliyetleri 5.11 no'lu denklem ile kolayca hesaplanabilir. Dolayısıyla, tez çalışması kapsamında hesaplanan yıllık enerji tasarruf miktarı ve kabul edilebilir geri ödeme süresi dikkate alınarak maksimum uygulanabilir yatırım maliyetlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bunun yanında, üreticiye ve armatür tipine göre değişmekle birlikte her bir grup için tanımlanabilecek yaklaşık armatür maliyetleri ile olası geri ödeme süresi de hesaplanabilmektedir. Sayısal örnek olması amacıyla farklı hacim grupları için tanımlanmış verimli armatür tipleri için farklı üreticilerin fiyatları incelenerek her bir armatür tipi için ortalama bir fiyat belirlenmiştir. Buna göre G1, G2, G3 ve G4 hacim grubu armatürler için fiyatlar sırasıyla 150 TL, 65 TL, 300 TL ve 80 TL olarak tespit edilmiştir. Belirlenen armatür fiyatları ve elektrik birim fiyatının 0,2646 TL/kWh kabulü ile (TEDAŞ, 2012) 5.11

no'lu denklem yeniden ele alınarak günümüz koşullarına aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

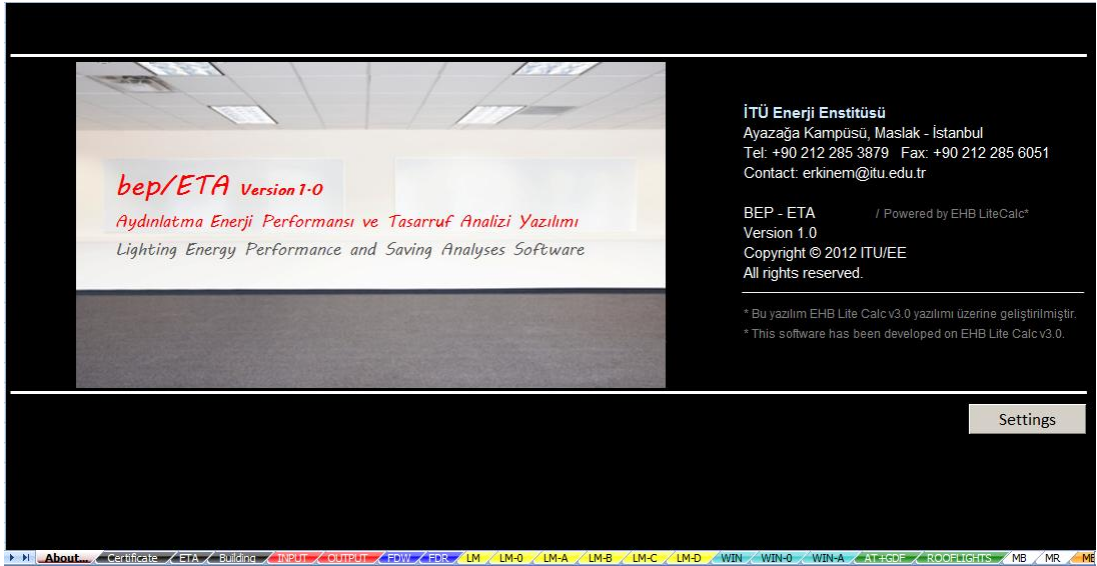
$$BGÖS = \frac{567.N_{G1} + 246.N_{G2} + 1134.N_{G3} + 303.N_{G4}}{W_{LT}} [yıl]$$

Sonuç olarak, enerji verimli bir aydınlatma sisteminin, ekonomik açıdan uygulanabilir olabilmesi için geri ödeme sürelerinin istenilen zaman aralığında olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tasarruf potansiyeli hesaplama yazılımında, her bir hacim grubu için tanımlanmış armatür maliyetlerini kullanarak mevcut durum için geri ödeme süresinin hesaplanması hedeflenmiştir. Bu şekilde tüm binalar için aynı yaklaşım uygulanacağından, binalarda kabul edilen geri ödeme süreleri dikkate alınarak önerilen enerji verimli aydınlatma sistemlerinin ekonomik açıdan uygulanabilirliği de belirlenebilmiş olacaktır.

5. Bölümde önerilen enerji tasarrufu hesaplama yöntemi ve beraberinde tanımlanan göstergeler ile, ofis binaları aydınlatma sistemlerinin enerji performanslarının yanısıra enerji tasarruf potansiyelleri açısından da karşılaştırılabilmesi sağlanmaktadır. Önerilen yöntem, tanımlanan hacim grupları için oluşturulan referans oda verim faktörü eğrilerinin matematiksel olarak ifade edilebilmesi ile enerji performansı hesap yöntemine, kolayca entegre olabilecektir. Bu kapsamda, bir ofis binasının hem aydınlatma enerji performansını hesaplayabilen hem de bu tez çalışması dahilinde önerilen enerji tasarrufu hesaplama yöntemini içeren bir bilgisayar yazılımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bölüm 6'da, geliştirilen bu yazılım anlatılarak, mevcut bir ofis binası için örnek bir uygulama da yapılmıştır.

6. TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA YÖNTEMİNİN AYDINLATMA ENERJİ PERFORMANSI HESAPLAMA YÖNTEMİNE ENTEGRASYONU: bep/ETA YAZILIMI ve ÖRNEK UYGULAMA

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen aydınlatma enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesine yönelik hesaplama yönteminin, aydınlatma enerji performansı hesap yöntemine entegre edilmesi amacıyla bir bilgisayar yazılımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Gerek performans gerekse tasarruf hesaplarında, binayı oluşturan tüm hacimlerin tek tek ele alınması gerekliliği ile her bir hacmin ayrı ayrı tanımlanabileceği, kullanıcı dostu ve hızlı çalışabilen bir yazılımın geliştirilmesi amaçlanarak MS Excel programının kullanılması fikri benimsenmiştir. Bu kapsamda, Bina Enerji Performansı ve Enerji Tasarrufu Analizi kelimelerinin baş harflerinden türetilen bep/ETA adlı yazılım MS Excel programı kullanılarak geliştirilmiş ve Ek E’de verilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 : bep/ETA yazılımı açılış ekranından örnek bir görüntü.

BEP-ETA yazılımı ile öncelikle aydınlatma enerji performansı ulusal hesaplama yönteminde ülkemiz koşulları için tanımlanan tüm parametre ve koşullar dikkate alınmış ve aydınlatma enerjisi sayısal göstergesinin (AESG) hesaplanmasına olanak verilmiştir. Daha sonra, geliştirilen yazılıma AESG hesaplanmasında kullanılan

verilere ek olarak bazı yeni girdiler tanımlanarak Bölüm 5’te verilen enerji tasarruf potansiyeli hesaplama yöntemi entegre edilmiştir.

6.1 Veri Girişi

Excel tabanlı geliştirilen yazılımda, farklı veri girişlerinin ve farklı hesaplamaların yapılabilmesi için 29 adet Excel çalışma sayfası hazırlanmıştır. Bu sayfalardan ilki yazılım ile ilgili bilgilerin olduğu ve Şekil 6.1’de verilen açılış sayfasıdır. Açılış sayfasından ayarlar sayfasına yönlendirilerek yazılım ile ilgili gereken bazı ayarların yapılması sağlanmıştır. Ayarlar sayfasında, binanın çalışma saatlerinden ülke koşulları için belirlenmiş değerleri içeren tablolara, tasarruf ve maliyet hesapları için bu tez çalışması kapsamında ulaşılmış değerlere kadar birçok parametreye ulaşmak ve gerekli hallerde bu parametreleri değiştirmek mümkün olabilmektedir. Enerji performans ve tasarruf hesaplarının yapılacağı ofis binasının hacim sayısı yine ayarlar sayfasından girilerek, tüm çalışma sayfalarının binadaki hacim sayısına göre ayarlanması mümkün olabilmektedir. Ayrıca program Türkçe’nin yanında İngilizce dil desteği de vermektedir.

Açılış ve ayarlar sayfasının dışında, hacimler ile ilgili genel bilgilerin girilebildiği “BUILDING” excel çalışma sayfası tanımlanmıştır. “BUILDING” sayfasında, binaya ait genel bilgilerin yanı sıra, binanın coğrafi konumu ve çalışma saatleri de tanımlanmaktadır (Şekil 6.2).

Ad / Şirket Adı	
Sahibi	İTÜ
İşletmeci	İTÜ/EE
Kullanan	İTÜ

Şehir	ZIP	Cadde, No:	Tel:	Faks:	E-posta:
Bina	Istanbul	34469	Ayazağa Kampusu		
Sahibi					
İşletmeci					
Kullanan					

Konum:	Enlem: γ_s (°, ') 41°	Boylam: λ_s (°, ') 29°	Pars. No:
--------	------------------------------	--------------------------------	-----------

Bina Tipi:	Kodu:	Tanımı:	A (m ²)	%	t _{start} (hh:mm)	t _{end} (hh:mm)	C _{WE} :
	B1	Ofis	540.00	100.0	08:30	17:30	5 // = 0.71
	B2	Okul					// =
	B3	Hastane					// =
	B4	Otel					// =
	B5	Restoran					// =
	B6	Spor					// =
	B7	Alışveriş					// =
	TOTAL:		540.00	100			

Şekil 6.2 : bep/ETA yazılımı bina genel bilgileri veri giriş sayfasına ait örnek bir görüntü.

Ana veri girişinin yapılabilmesi amacıyla AESG ve enerji tasarrufu hesaplarında kullanılacak verilerin girilebildiği bir “INPUT” sayfası tanımlanmıştır. AESG hesaplarında, oda boyutlarından aydınlatma sisteminin kurulu gücüne, yatay ve dikey pencere açıklıklarının geometrik özelliklerinden kontrol sistemlerinin kullanımına kadar Çizelge 2.4’te de verilen bir çok parametre dikkate alındığından, bu çalışma kapsamında tanımlanan tasarruf potansiyeli hesaplama yöntemi için gerekli olan verilerin önemli bir kısmının AESG hesaplaması için kullanılan veri grubundan elde edilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 5.1’de, tasarruf potansiyeli hesap yöntemine ilişkin verilen şemadan da görüldüğü üzere, ilgili hacmin geometrik özellikleri (a, b ve h) ile çalışma düzleminin yüksekliği (h_c), AESG veri grubundan elde edilebilmektedir. Tez kapsamında tanımlanan yöntemle göre, tasarruf potansiyeli hesapları için gerekli olan diğer girdiler ise ilgili hacme ait grubun tanımlanması ve yüzey yansıtma faktörlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, aydınlatma enerji performansı hesaplanacak bina için AESG veri grubunun dışında hacim grubunun ve yüzey yansıtma faktörlerinin tanımlanması tasarruf hesaplarının yapılabilmesi için yeterli olacaktır. Yazılıma yüzey yansıtma faktörlerinin girilmemesi durumunda 0.70/0.50/0.20 değerleri varsayılan değerler olarak kullanılmaktadır. Şekil 6.3 ve 6.4’te bep/ETA yazılımında veri girişinin yapıldığı ekrana ait örnek görüntüler verilmektedir.

bep/ETA © ITU/EE, 2012		TAB Oda listesi - veri girişi																					
No.	ID	Oda Adı	BX	Oda	BOYUTLAR			AYDINLATMA				İŞLETME				PENCERE			ATRIUM/GÇC			ÇATI	A _n
					l _R	w _R	h _R	E _m	MF	LDCC	h _{fa}	R	t _{start}	t _{end}	C _{ave}	typ	n	h _i	GDF	AT	H _{AT}		
				O/E/X	m	m	m	lx	-	-	m	-	hh:mm	hh:mm	-	-	adet	m	-	-	m	-	m ²
1	G1	Ofis	B1	O	5.0	4.0	3.0	500	0.80	1	0.85	1	08:30	17:30	0.71								20.00
2	G2	Bekleme Odası	B1	O	5.0	4.0	3.0	500	0.80	1	0.85	1	08:30	17:30	0.71								20.00
3	G4	Depo	B1	O	25.0	20.0	3.0	500	0.80	1	0.85	1	08:30	17:30	0.71								500.00
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							

↑ Hacim grubunun tanımlanması

↑ Hacim boyutlarının tanımlanması

↑ Ortalama aydınlık düzeyi, bakım faktörü ve çalışma düzleminin tanımlanması

Şekil 6.3 : bep/ETA yazılımında hacim grubu ve geometrik özelliklerin tanımlanmasına ilişkin veri giriş ekranı.

bep/ETA © ITU/EE, 2012			MANUAL INPUT							
No.	ID	Oda Adı	AYDINLATMA		İŞLETME				A _n	YANSITMA ρT/ρD/ρZ
			LDCC	h _{Ta}	R	t _{start}	t _{end}	C _{we}		
			-	m	-	hh:mm	hh:mm	-	m ²	-
1	G1	Ofis								703010
2	G2	Bekleme Odası								705020
3	G4	Depo								705020
4										705030
5										705020
6										703010
7										503010
8										501010
9										303010
10										301010

↑ Yüze yansıtma çarpanlarının tanımlanması

Şekil 6.4 : bep/ETA yazılımında yüze yansıtma faktörlerinin tanımlandığı veri giriş ekranı.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'ten görüldüğü üzere, aydınlatma enerji performansının hesaplanması için gereken veriler ile birlikte, tez çalışması kapsamında tanımlanan bilgiler de yazılıma girdi olarak kolayca girilebilmektedir. Ana veri girişi sayfası olan "INPUT" sayfasının dışında diğer sayfalarda ise ilgili hacimlerde bulunan armatürler, pencereler, çatı açıklıkları ve kontrol sistemleri gibi detaylı birçok verinin girişine olanak sağlanmıştır. Örneğin, ilgili binada bulunan mevcut armatürlerin lamba, balast ve toplam güçleri gibi bir çok değer içeren armatür bilgileri "LM" sayfasına; listelenen armatürlerin hacimlere göre dağılımı ise oluşturulan "LM-0", "LM-A", "LM-B", "LM-C" ve "LM-D" sayfalarına veri olarak girilebilmektedir (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6).

bep/ETA © ITU/EE, 2012		TAB Armatür listesi												
ATIF	Üretici	Tip	Ktg.	P _i	P _{pt}	LAMBALAR			PARAZİT GÜÇ			BALAST		DURUM
						Ktg.	Adet	P _i	P _{ca}	P _{ci}	t _e	Ktg.	P _{ce}	
A	Üretici Firma	Parabolik Svaaltı Arm.		W	W	TF	4	18	W	W	h	CNED	W	
B														
C														
D														
E														
F														
G														
H														
I														
J														
K														
L														
M														
N														
O														
P														
Q														
R														

Şekil 6.5 : bep/ETA yazılımında armatür bilgilerinin girildiği örnek Excel çalışma sayfası.

bep/ETA © ITU/EE, 2012		TAB Odalara göre armatürlerin dağılımları																										
No.	ID	Oda Adı	ARMATÜRLER																									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
			adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet
		TOPLAM	97																									
1	G1	Ofis	4																									
2	G2	Bekleme Odası	3																									
3	G4	Depo	90																									
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												
9																												
10																												

Şekil 6.6 : bep/ETA yazılımında armatürlerin odalara göre dağılımını içeren örnek Excel çalışma sayfası.

Armatürlerin yanında hacimlerde bulunan pencereler ve çatı pencereleri ile ilgili veriler ve bunların hacimlere göre dağılımları yine oluşturulan farklı çalışma sayfaları ile tanımlanmıştır. Tüm bunların yanında, binanın coğrafi konumuna göre belirlenen güneşin doğuş ve batış saatleri kullanılarak binanın günışığının olduğu ve olmadığı durumlar için kullanım saatleri (T_D, T_N) de hesaplanmaktadır. Bina hacimleri ile ilgili verilerin girilmesinin ardından, girilen tüm bilgiler tek tek hacim bazında değerlendirilerek elde edilen çıktılar hazırlanan “OUTPUT” sayfasında detaylı olarak gösterilmektedir.

6.2 Tasarruf Hesapları ve Yazılım Çıktıları

AESG ve tasarruf hesapları ile ilgili verilerin ilgili Excel çalışma sayfalarına girilmesinin ardından, öncelikle AESG göstergesinin hesaplanabilmesi için mevcut duruma ait veriler kullanılarak kurulu güç değerleri (P_n), kullanım süreleri (T_D ve T_N), AESG hesap faktörleri (F_D , F_O ve F_C) ve kWh cinsinden yıllık toplam enerji tüketimi her bir hacim için tek tek hesaplanmakta ve elde edilen değerler oluşturulan “OUTPUT” sayfasında verilmektedir (Şekil 6.7).

bep/ETA © ITU/EE, 2012		TAB Oda listesi - sonuçlar																	
No.	ID	Oda Adı	ENERJİ TÜKETİMİ			FAKTÖRLER					SÜRELER		GÜÇ		ACİL DURUM AY.		$E_{m,A}$ klm		
			W kWh/yıl	W_L kWh/yıl	W_P kWh/yıl	F_D	F_O	F_C	F_A	F_{OC}	t_D h	t_N h	P_n W	P_{pc} W	P_{em} W	t_{em} h			
1	G1	Ofis	957.3	957.3		1.00	1.00	1.00	-	1.00	2.299	47	408				10.0		
2	G2	Bekleme Odası	718.0	718.0		1.00	1.00	1.00	-	1.00	2.299	47	306				6.0		
3	G4	Depo	21.540.2	21.540.2		1.00	1.00	1.00	-	1.00	2.299	47	9.180				250.0		
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			

Şekil 6.7 : bep/ETA yazılımı “OUTPUT” sayfasında AESG hesapları için belirlenen değerlere ait örnek bir görüntü.

Enerji tasarruf potansiyelinin belirlenebilmesi için ise, bu tez çalışması kapsamında tanımlanan yöntem kullanılarak her bir hacim için toplam kurulu güçler ve yıllık elektrik enerjisi tüketim değerleri hesaplanmaktadır. Bu kapsamda yazılım, öncelikle oda boyutlarını (a , b , h , h_c) kullanarak oda endeksini hesaplamakta ve ilgili hacim grubunun tanımlanmasıyla (G1, G2, G3, G4) söz konusu hacim grubu için oda endeksine bağlı olarak belirlenmiş polinomların yardımıyla oda verim faktörü değerlerini elde etmektedir. Belirlenen oda verim faktörleri kullanılarak, Bölüm 5’te her bir hacim grubu için tanımlanan denklemler ile gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak armatür sayıları ve dolayısıyla aydınlatma kurulu güçleri ve de kurulu güçlerin mevcut durum ile karşılaştırılması ile elde edilebilecek olası tasarruf miktarlarını hesaplamak mümkün olabilmekte ve elde edilen sonuçlar “OUTPUT” sayfasında her bir hacim için tek tek verilmektedir. Şekil 6.8’de, enerji tasarruf potansiyeli hesaplarını içeren bölüme ait örnek ekran görüntüsü verilmektedir.

No.	ENERJİ TASARRUFU ANALİZİ																
	E_{ort}	BF	A	k	$\rho T / \rho D / \rho Z$	η_{oda}	θ_{arm}	P'_n	P_{arm}	N	$N \times P'_n$	W_L	W	W_{LT}	AESG'	AETG	Oran
	lx	-	m^2	-	-	-	lm/W	W	W	#	W	kWh	kWh	kWh	kWh/m ² yl	kWh/m ² yl	%
1	500	0.80	20.00	1.03	705020	0.65	78.8	244.7	64	4	256	601	601	357	30	18	37
2	300	0.80	20.00	1.03	301010	0.66	51.3	220.8	54	6	324	760	760	-42	38	-2	-6
3	500	0.80	500.00	5.17	705020	0.98	66.1	4833.7	72	68	4896	11488	11488	10052	23	20	47
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Şekil 6.8 : bep/ETA yazılımı “OUTPUT” sayfasında enerji tasarrufu potansiyeli hesapları için belirlenen değerlere ait örnek bir görüntü.

Bu kapsamda, AESG veri grubuna ek olarak hacim grubu ve yansıtma faktörlerinin girdi olarak girilmesi ile her bir hacim için olası verimli aydınlatma sisteminin W cinsinden kurulu gücü (P'_n), kWh cinsinden yıllık enerji tüketimi (W) ile yıllık enerji tasarrufu miktarına (W_{LT}), ulaşıp yeni aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi (AESG') ve aydınlatma enerjisi tasarruf göstergesi (AETG) gibi değerlerin hesaplanması mümkün olabilmektedir. Böylece gerekli tüm verilerin girilmesi ile hem mevcut sistemin AESG değeri hem de enerji tasarruf potansiyeli eş zamanlı olarak hesaplanabilmektedir.

Şekil 6.8'den de görüleceği gibi, bazı hacimlerde enerji tasarrufu oranı negatif çıkabilmektedir. Bu oranın negatif çıkması, söz konusu hacimde bulunan mevcut aydınlatma sisteminin gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde tesis edilmemiş olduğunu; dolayısıyla önerilen aydınlatma sisteminin gerekli aydınlık düzeyini mevcut sistemden daha fazla kurulu güç ile sağlayabileceğini ifade etmektedir. Yazılımda ayrıca, mevcut sistem ile sağlanan aydınlık düzeylerinin girişine olanak verilmiş ve yetersiz aydınlık düzeylerinin olduğu durum için hesaplanan AESG değerlerinin Bölüm 2'de bahsedilen aydınlık düzeyi düzeltme faktörlerine göre düzeltilebilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda yazılım ile, sadece enerji tasarrufu potansiyeli değil, beraberinde aydınlatma düzeylerindeki iyileştirmeler de dikkate alınmıştır.

bep/ETA yazılımı ile söz konusu hacimde kurulu gücün düşürülebilmesi ile elde edilecek enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanmasının yanı sıra, kontrol sistemlerinin kullanımı dikkate alınarak enerji tasarruf potansiyeli hesaplanması da amaçlanmıştır. Bu amaçla, her hacim grubu için kontrol sistemlerinden maksimum şekilde yararlanılacağı düşünülerek senaryo oluşturulmuştur. Buna göre, G1 grubu hacimlerin sürekli kullanımda olduğu varsayılarak varlık algılayıcılarının kullanılmadığı dolayısıyla sadece günışığı algılayıcılarının olma durumu; G2, G3 ve


G4 grubu hacimler için hem günüşiği hem de varlık algılayıcılarının olma durumları için F_D ve F_O değerleri hesaplanarak kontrol sistemleri ile elde edilebilecek tasarruf potansiyelleri hesaplanmaya çalışılmıştır. F_D değerleri, ilgili hacimde bulunan pencere veya çatı açıklıklarına bağlı olarak belirlenen günüşiği etkisine göre, her hacim için 2.5 no'lu denklemde verildiği şekilde Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 kullanılarak hesaplanmaktadır. F_O değerleri ise, G1 grubu hacimler dışında kalan hacimler için TS EN 15193 standardında farklı hacimler için tanımlanmış yokluk faktörüne (F_A) bağlı olarak 2.6, 2.7 ve 2.8 no'lu denklemlerde verildiği şekilde hesaplanabilmektedir. Bu kapsamda, TS EN 15193 standardı incelenerek yokluk faktörünün G2 grubu hacimler için 0.4, G3 grubu hacimler için 0.2 ve G4 grubu hacimler için ise 0.9 alınabileceği belirlenmiştir. Otomatik kontrol sistemlerinin enerji tasarrufuna maksimum katkısını görebilmek amacıyla, günüşiği etkisinin olduğu tüm hacimlerde günüşiğine bağlı loşlaştırmalı kontrolün ve bununla birlikte yokluk faktörü sıfırdan büyük olan hacimlerde varlık algılayıcı anahtarlama kontrolün de olduğu kabul edilerek her bir hacim için yeni F_D , F_O değerlerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Bu şekilde kurulu gücün azaltılmasının yanı sıra kontrol sistemlerinin kullanımı ile ulaşılabilecek AESG değerleri ve elde edilebilecek tasarruf miktarları da hesaplanabilmektedir. Şekil 6.9'da, "OUTPUT" sayfasında yer alan, kontrol sistemlerinin kullanımı durumunda elde edilecek F_D ve F_O değerleri, yıllık enerji tüketimi (W'), yıllık enerji tasarrufu miktarı (W_{LT}), ulaşılabilecek yeni aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi (AESG') ve aydınlatma enerjisi tasarruf göstergesi (AETG) hesaplarına ait sonuçlar her bir hacim için ayrı ayrı verilmektedir.

bep/E © ITU													
AYDINLATMA KONTROLÜ İLE ENERJİ TASARRUFU ANALİZİ													
No.	F_{oc}	F_A	F_o	F_{oc}	F_{os}	F_D	W_L	W_P	W'	W_{LT}	AESG'	AETG	Oran
	-	-	-	-	-	-	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/m ² yl	kWh/m ² yl	%
1	0.80		1.0			1.0	601		601	357	30	18	37
2	0.80	0.40	0.6			0.6	277	100	377	341	19	17	47
3	0.80	0.90	0.1			1.0	1216		1216	20324	2	41	94
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

Şekil 6.9 : bep/ETA yazılımı "OUTPUT" sayfasında aydınlatma kontrolü ile elde edilebilecek tasarruf potansiyelinin hesaplandığı bölüme ait örnek bir görüntü.

Gerek kurulu güçlerin azaltılması, gerekse aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ile her bir hacim için sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarları toplanarak

elde edilebilecek toplam tasarruf potansiyelleri oluşturulan enerji tasarrufu analizi “ETA” sayfasında her iki durum için özetlenmektedir (Şekil 6.10). “ETA” sayfasında öncelikle mevcut durum için hesaplanmış toplam parazit güç (W), parazit enerji (kWh), aydınlatma kurulu gücü (W), aydınlatma enerjisi (kWh) ile AESG değeri ve enerji performans sınıfı verilmektedir. Şekil 6.10’da görülen ETA-Baz kolonu, aydınlatma kontrol sistemlerinin olmadığı, sadece tez kapsamında tanımlanan verimli tesisatların kullanımı ile; ETA-Kontrol kolonunda ise kontrol sistemlerinin kullanımı ile elde edilebilecek yeni aydınlatma kurulu gücü (W), toplam yıllık enerji tüketimi (kWh) ve AESG değeri verilmektedir. Sağlanabilecek enerji tasarruf miktarlarının yanında, Bölüm 5’te tanımlanan ekonomik analiz yöntemi ile her iki alternatif senaryo için geri ödeme süreleri de hesaplanarak verilmektedir.

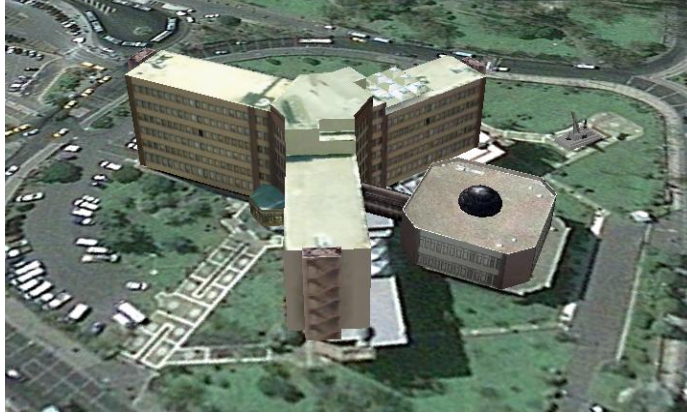
ENERJİ TASARRUFU ANALİZİ											
	Mevcut Durum				ETA - Baz			ETA - Kontrol			
Parazit Güç [W]	0				0			5153			
Parazit Enerji [kWh]	0				0			45141			
Aydınlatma Kurulu Gücü [W]	240959				110780			110780			
Aydınlatma Enerjisi [kWh/yıl]	505407				234338			114733			
Toplam Enerji [kWh/yıl]	505407				234338			159874			
AESG [kWh/m2.yıl]	41.5				19.3			13.1			
 bep/ETA <small>Powered by EHB LiteCalc v3..0</small>	Enerji Tasarruf Miktarı [kWh/yıl]				271069			345533			
	AETG [kWh/m2.yıl]				22.3			28.4			
	Enerji Tasarruf Oranı				53.6%			68.4%			
	Yatırım Maliyeti [TL]				205860			358530			
	Geri Ödeme Süresi [yıl]				2.9			3.9			
	AETEG [kWh/m2.yıl.TL]				1.32			0.96			
	MALİYET ANALİZİ										
	G1	G2	G3	G4	Toplam	G1	G2	G3	G4	Toplam	
Armatür Sayıları	951	634	20	200	1805	951	634	20	200	1805	
Sistem Maliyeti [TL]	142650	41210	6000	16000	205860	235250	87110	8000	16000	358530	
Yıllık Toplam Fayda [TL]	71698		Elektrik Birim Fiyat [TL/kWh]			0.2645	91393		Elektrik Birim Fiyat [TL/kWh]		0.2645
Geri Ödeme Süresi [yıl]	2.9					3.9					

Şekil 6.10 : bep/ETA yazılımı “ETA” enerji tasarrufu analizi sayfasına ait örnek bir görüntü.

6.3 Örnek Uygulama: Kadıköy Belediye Binası

Tez kapsamında geliştirilen tasarruf yönteminin ve söz konusu yöntem ile hesaplama yapabilen bep/ETA yazılımının doğrulanması amacıyla Kadıköy Belediye Binası etüt edilerek veriler toplanmış ve toplanan veriler bep/ETA yazılımına girilerek söz konusu binanın aydınlatma sistemine ilişkin elektrik enerjisi tasarruf potansiyeli belirlenmiştir.

Kadıköy Belediye Binası yaklaşık 20 yıllık bir bina olup 6 katlı 3 adet bloktan ve 2 katlı 1 adet başkanlık binasından oluşan toplam 14228 m² kapalı alana sahiptir (Şekil 6.11). Binada bulunan toplam hacim sayısı 293'tür. Binada hakim kat yüksekliği 2.8 metre olup tavan yapısı olarak 120 cm x 60 cm boyutlarında taşıyıcı asma tavan bulunmaktadır.



Şekil 6.11 : Kadıköy Belediye Binasına ait bir görüntü.

Binanın mevcut aydınlatma sistemi incelendiğinde, alan olarak binanın büyük bir bölümünü oluşturan ofis hacimleri ve koridorlarda 4 adet 36W tüp flüoresan lambalı prizmatik kapaklı armatürler başta olmak üzere kurulu gücün yaklaşık %90'ının tüp flüoresan lambalı armatürlerden oluştuğu; bunun yanında binanın diğer hacimlerinde de çeşitli kompakt flüoresan lambalı armatürler ile bodrum katında IP65 koruma sınıfına sahip kapaklı flüoresan lambalı armatürlerin bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.12'de ofis ve koridor hacimlerine ait örnek görüntüler verilmektedir.



Şekil 6.12 : Ofis ve koridor hacimlerinin aydınlatmasına ait örnek görüntüler.

Özellikle ofis hacimlerinde bulunan aydınlatma tesisatı incelendiğinde, sistemin 500 lx ortalama aydınlık düzeyi için tasarlandığı ancak gerek mevcut lambaların

ekonomik ömürlerini doldurmuş, gerekse de armatürlerin geriverimlerinin zamanla azalmış olmasından dolayı gereken ortalama aydınlık düzeyinin sağlanamadığı; yeni lamba kullanımı ve armatürlerin temizlenmesi ile birlikte bile ortalama aydınlık düzeylerinin 400 - 450 lx arasında kaldığı tespit edilmiştir.

bep/ETA yazılımı kapsamına, başkanlık binası dışında kalan 6'şar kattan oluşan 3 blokta bulunan toplam 12170 m² kullanım alanına sahip 265 hacim dahil edilerek aydınlatma enerji performans ve tasarruf hesaplamalarının yapılması amaçlanmıştır. Buna göre, aydınlatma etüt çalışmasından her bir hacme ait tanım, geometrik ve fiziksel özellikler, armatür tipleri ve sayıları, pencere tipleri ve özellikleri gibi elde edilen tüm veriler bep/ETA yazılımına veri olarak girilmiştir. Bu kapsamda, bep/ETA yazılımı ile mevcut aydınlatma enerji performansı ve olası tasarruf potansiyelleri hesaplanmış ve özet sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: bep/ETA yazılımı ile enerji performans ve tasarruf hesaplarına ait özet sonuçlar.

	Mevcut Durum	Enerji Tasarrufu	Aydınlatma Kontrolü ile
Parazit Güç [W]	0	0	5153
Parazit Enerji [kWh]	0	0	45138
Aydınlatma Kurulu Gücü [W]	240959	107180	107180
Aydınlatma Enerjisi [kWh/yıl]	505407	225891	113889
Toplam Elektrik Enerjisi [kWh/yıl]	505407	225891	159026
AESG[kWh/m ² .yıl]	41.5	18.6	13.1
Enerji Tasarruf Miktarı [kWh/yıl]	-	271069	345536
Enerji Tasarruf Oranı (%)	-	%53.6	%68.4
AETG [kWh/m ² .yıl]	-	22.3	28.4
Yatırım Maliyeti [TL]	-	205860	358530
Geri Ödeme Süresi [yıl]	-	2.9	3.9
AETEG	-	1.32	0.96

Çizelge 6.1'e göre, mevcut aydınlatma tesisatının yıllık enerji tüketiminin 505407 kWh, AESG değerinin 41.5 kWh/m².yıl olduğu hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında tanımlanan yöntem ile olası enerji tasarruf potansiyeli miktarının 271069 kWh/yıl ve oranının %53.6; AESG değerinin 18.6 kWh/m².yıl olacağı belirlenmiştir. Hacim grupları için tanımlanmış aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ile elde edebilecek tasarruf potansiyeli miktarı 345536 kWh/yıl ve oranı %68.4; AESG değeri 13.1 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, ilk durum için geri ödeme süresi kabul edilen armatür birim fiyatları ile 2.9 yıl, ikinci durum için ise 3.9 yıldır.

bep/ETA yazılımı ile tanımlanan yöntem kapsamında binada bulunan 265 hacim için tek tek aydınlatma hesapları yapılmış ve her bir hacim için armatür sayıları

belirlenmiştir. Yazılımın doğruluk testlerinin yapılması amacıyla aydınlatma hesapları, binanın büyük bir bölümünü oluşturan, her bir hacim grubuna ait farklı boyutlardaki hacimler için Dialux yazılımı ile yapılarak sonuçlar bep/ETA yazılımı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Kadıköy Belediye Binası'nın G1 grubu ofis hacimlerinin tamamının dikdörtgen formda olduğu ve genelde eni yaklaşık 5 metre olan ve farklı boylara sahip kişisel ve açık ofis hacimlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, G2 grubu hacimlere örnek olması açısından her bir blokta ve katta 3 metre eninde 40 metre boyunda koridorların olduğu saptanmıştır. G3 grubu hacimlere örnek olarak yemekhane hacmi tespit edilmiş ve bodrum katta bulunan çeşitli teknik hacimler de G4 grubu hacimlere örnek olarak belirlenmiştir. Alan olarak binanın %90'dan fazlasını oluşturan 11 farklı tipte hacim Dialux yazılımında tanımlanmış ve yapılan detaylı aydınlatma hesap sonuçları bep/ETA sonuçları ile karşılaştırılarak Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.3: bep/ETA ve Dialux yazılımı hesap sonuçlarının karşılaştırılması.

Tanım	Grup	Gerekli Ayd. Düzeyi [lx]	Yüzey Yansıtma Faktörleri ($r_T/r_D/r_Z$)	Boyutlar (axbxh)	Oda endeksi (k)	bep/ETA Hesap Sonuçları		Dialux Hesap Sonuçları	
						Arm. Sayısı	E_{ort} [lx]	Arm. Sayısı	E_{ort} [lx]
Kişisel ofisler	G1	500	70/50/20	6.6x5.8x2.8	1.58	4	583	4	563
Açık ofisler	G1	500	70/50/20	9.7x5.7x2.8	1.84	8	560	8	564
Açık ofisler	G1	500	70/50/20	15x5.7x2.8	2.12	12	559	12	545
Açık ofisler	G1	500	70/50/20	20x5.8x2.8	2.31	15	522	15	507
Açık ofisler	G1	500	70/50/20	28x14.5x3.8	3.29	48	500	49	500
Arşiv odaları	G2	200	70/50/20	2.8x5.7x2.8	0.66	3	234	3	248
Koridor	G2	200	70/50/20	3x40x2.8	1.00	16	205	16	203
Yemek.	G2	300	70/50/20	15x20x2.8	4.40	42	325	42	321
Mutfak	G3	500	30/30/10	15x8x2.8	2.68	20	517	20	500
Kazan Dairesi	G4	200	30/30/10	10.5x5.5x4	0.85	8	229	8	206
Depo	G4	200	30/30/10	25x20x3.7	3.00	44	208	42	227

Çizelge 6.2'den, bep/ETA yazılımı ile farklı hacim gruplarına ait farklı büyüklükteki hacimler için hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi değerlerinin Dialux yazılımı ile yapılan detaylı aydınlatma hesaplarından elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, armatür sayılarının hesaplanan 11 farklı durumun

9'unda aynı, oda endeksi değeri 3'ün üstünde olan iki hacimde de birbirine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir. 28 m boyunda ve 14.5 m enindeki açık ofiste bep/ETA yazılımı ile 48 adet armatür hesaplanırken, Dialux yazılımı ile 49 adet armatür; 25m boyunda ve 20 metre enindeki depoda ise bep/ETA ile 44, Dialux ile 42 adet armatür hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere aradaki farklar, hacimlerin boyutları düşünüldüğünde oldukça kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Ayrıca, Dialux yazılımı ile elde edilen düzgünlük değerlerinin de seçilen tüm hacim tipleri için 0.5'ten büyük olduğu da tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tez kapsamında geliştirilen bep/ETA yazılımı ile elde edilen değerlerin Dialux yazılımı ile yapılan detaylı hesaplamalarla elde edilen değerleri sağlayabildiği ve bu kapsamda enerji tasarruf miktarının hesaplanabilmesi için gerçekleştirilen hesaplarda kullanılabileceği söylenebilir.

7. SONUÇLAR

Binalarda enerji performansı yaklaşımı ile binalar, gerek Avrupa Birliği'nde gerekse ülkemizde metrekare başına enerji tüketimlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bina tipine göre değişmekle beraber, toplam elektrik enerjisi tüketiminde %40'lara kadar varan oranda paya sahip aydınlatma sistemlerinin enerji performansı ülkemizde TS EN 15193 no'lu standart esas alınarak geliştirilen yöntemle göre hesaplanmaktadır. Aydınlatma enerjisi sayısal göstergesinin hesaplanabilmesi için hacim boyutları, mevcut kurulu güç değerleri, günışığı sağlayan pencere ve çatı açıklığına ait hacmin fiziksel yapısı ile ilgili bilgiler gibi oldukça fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu veri grubu ile performans hesapları yapılabilirken, bu tez çalışması kapsamında önerilen bir yaklaşım ile aydınlatma enerji performansı hesap yöntemine entegre edilebilecek bir tasarruf potansiyeli hesaplama yöntemi geliştirilmiştir.

Tez kapsamında önerilen yöntemde verim faktörü yöntemi esas alınarak geliştirilen kurulu güç hesaplama yöntemi kullanılarak, aydınlatma enerji performansı hesaplanan bir ofis binası için mevcut durum, aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen verimli sistemler ile karşılaştırılarak tasarruf potansiyeli hesaplanabilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle verim faktörü yöntemi ele alınarak boyutları ve yüzey yansıtma faktörleri bilinen bir hacim için aydınlatma kurulu gücünün hesaplanabileceği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre, kullanım amacı bilinen bir hacimde aydınlatma kurulu gücünün belirlenebilmesi, kullanılacak armatürün etkinlik faktörü ile oda verim faktörüne bağlıdır. Tez çalışmasında ofis binalarını oluşturan hacimler kullanım amaçlarına göre gruplandırılarak, her bir grubun kullanım amacına uygun ve ortalama aydınlık düzeyi, ortalama düzgünlük ve kamaşma gibi aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürlerin kullanılması ile yapılan aydınlatma hesapları sonucunda, tüm gruplar için referans oda verim faktörü eğrileri tanımlanmıştır.

Ofis binalarındaki hacimler kullanım amaçlarına göre temel olarak 4 ana grupta toplanmıştır. G1 grubu hacimler klasik ofis hacimlerini; G2 grubu hacimler koridor, dolaşım alanları, bekleme holleri gibi hacimleri; G3 grubu hacimler hijyen

koşullarının ön planda olduğu hacimleri; G4 grubu hacimler ise kazan dairesi, otopark gibi armatürlerde yüksek koruma sınıfı gerektiren hacimleri temsil etmektedir. Her hacim grubunun kullanım amacına ve aydınlatma ihtiyacına göre armatür tipleri belirlenmiştir. Enerji verimliliği açısından tüm gruplar için tanımlanan armatür tipleri direkt aydınlatma yapan armatürlerdir. G1 grubu hacimler için birleşik kamaşma değerini sınırlayabilen, parabolik lamelli tüp flüoresan lambalı ofis armatürleri; G2 grubu hacimler için yuvarlak formda, altı açık kompakt flüoresan lambalı armatürler; G3 grubu hacimler için parabolik lamelli ya da opal kapaklı koruma sınıfı yüksek tüp flüoresan lambalı armatürler; G4 grubu hacimler için koruma sınıfı yüksek etanj kapaklı tüp flüoresan lambalı armatürler söz konusu hacimler için belirlenen armatür tipleridir.

Belirlenen armatür tipleri esas alınarak dünya genelindeki armatür üreticilerinin katalogları incelenmiş ve seçilen onlarca armatür ile farklı aydınlık düzeyleri ve farklı hacim boyutları için aydınlatma hesapları tekrarlanarak aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen optimum çözümlere ulaşılmıştır. Optimum çözümleri sağlayan armatürlerin ışık dağılımları kullanılarak her bir hacim grubu için kullanılabilir oda verim faktörü eğrilerine ulaşılmıştır. Dialux yazılımı ile yapılan aydınlatma hesapları incelendiğinde, aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen armatürlere ait oda verim faktörü eğrilerinin birbirlerine çok yakın değerlere sahip olduğu ve her hacmin farklı oda yansıtma faktörleri için tek bir eğrinin tanımlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Hacim grupları için tanımlanan oda verim faktörü eğrileri karşılaştırıldığında ise en verimli tesisatların G1 grubu hacimlerde elde edilebileceği, G2 ve G3 grubu hacimlerdeki tesisat verimlerinin birbirine yakın ancak G1 grubu hacimlerdeki tesisatlara göre yaklaşık %15 daha az verime sahip olabileceği, G4 grubu hacimlerde ise G1 grubu hacimlere göre yaklaşık %30 daha az verimli tesisatların sağlanabileceği belirlenmiştir. Bu kapsamda, tanımlanan oda verim faktörü eğrileri oda endeksine bağlı dördüncü dereceden polinomlar şeklinde ifade edilerek, oda endeksi ve yüzey yansıtma faktörleri bilinen bir hacim için oda verim faktörü değerinin kolayca hesaplanabilmesi sağlanmıştır. Böylece, aydınlatma enerji performansı hesap veri grubuna ek olarak tasarruf hesapları yapılacak hacmin grubu ve yüzey yansıtma faktörlerinin tanımlanması ile söz konusu hacme ait tasarruf potansiyelinin hesaplanabilmesi mümkün olmuştur.

Elde edilen kurulu güç denklemlerinin doğrulanması amacı ile tüm hacim grupları dikkate alınarak farklı aydınlık düzeyleri ve oda endeksleri için normalize güç yoğunluğu değerleri hesaplanmış ve Dialux yazılımından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, toplam 32 farklı durum için yapılan karşılaştırmalarda yalnızca iki durum için bağıl hatanın %5'ten büyük olduğu (%6.81 ve %5.86), 4 durum için %3 ile %5 arasında olduğu ve diğer tüm durumlar için %3'ün altında kaldığı saptanmıştır.

Tez kapsamında önerilen yöntemin, enerji performansı hesap yöntemine entegre edilebilmesi amacı ile bep/ETA isimli bir bilgisayar yazılımı da geliştirilmiştir. Bu yazılım, tüm aydınlatma enerji performansı parametrelerini dikkate alarak aydınlatma enerjisi sayısal göstergesini ve bu tez kapsamında önerilen yöntem ile aydınlatma enerji tasarruf potansiyelini hesaplayabilmektedir. bep/ETA yazılımı ile kurulu gücün düşürülmesi ile elde edilecek enerji tasarrufunun yanı sıra kontrol sistemlerinin kullanımı ile sağlanabilecek enerji tasarruf potansiyeli de hesaplanabilmektedir. Ayrıca tez kapsamında, önerilen enerji tasarrufu potansiyeli hesaplama yönteminin yanında toplam yatırım maliyetlerinin ve basit geri ödeme sürelerinin hesaplanabildiği bir ekonomik analiz yöntemi de tanımlanarak bep/ETA yazılımına dahil edilmiştir.

Önerilen hesap yönteminin ve bep/ETA yazılımının değerlendirilmesi amacıyla Kadıköy Belediye Binası için bir örnek uygulama yapılmıştır. Kadıköy Belediye Binası'nda yapılan etüt çalışması ile elde edilen veriler bep/ETA yazılımına girilerek bina aydınlatma sisteminin mevcut enerji performansı ve olası enerji tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri ile birlikte hesaplanmıştır. bep/ETA yazılımı ile yapılan aydınlatma ve kurulu güç hesaplarının kontrol edilmesi amacı ile seçilen örnek hacimler için hesaplar Dialux yazılımı ile tekrarlanmış ve seçilen 11 farklı hacmin 9'unda aynı sonuçlar elde edilirken sadece iki hacimde %5'ten küçük hatanın olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, bep/ETA yazılımı ile Kadıköy Belediye Binası'nın ofis hacimlerinin bulunduğu blok için mevcut AESG değeri 41 kWh/m².yıl, enerji tasarruf potansiyeli ise %55.3 ve bu potansiyel ile ulaşılabilecek yeni AESG değeri 18.6 kWh/m².yıl olarak hesaplanmıştır. Kontrol sistemlerinin de aydınlatma sistemine dahil edilmesi durumunda ise tasarruf potansiyeli %68.5 ve yeni AESG değeri ise 13.1 kWh/m².yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca güncel fiyat bilgileri ile kontrol sisteminin olmadığı durum için geri ödeme

süresi 2.7 yıl, kontrol sistemlerinin dahil olduğu durum için geri ödeme süresi ise 3.9 yıl olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışması kapsamında, bir bina tipi için aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyellerinin hesaplanmasına yönelik adımları içeren bir yöntem önerilmiştir. Yöntemde tanımlanan adımların ticari binaların önemli bir bölümünü oluşturan ve enerji tüketim değerleri yüksek olan ofis binalarına uygulanması hedeflenerek aydınlatma enerji performansı hesaplanan bir ofis binasının gerçekçi ve uygulanabilir enerji tasarruf potansiyeli, yatırım maliyeti ve geri ödeme süreleri hesaplanabilir hale getirilmiştir. Tez çalışması bu haliyle, literatürde oldukça yeni bir konu olan aydınlatma enerji performansı hesaplama verileri ile enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanmasına olanak tanıyan yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu kapsamda, Aydınlatma Enerji Tasarrufu Göstergesi (AETG) adında yeni bir gösterge tanımlanarak aydınlatma sistemlerindeki uygulanabilir enerji tasarruf potansiyelleri de karşılaştırılabilir olmuştur. Önerilen yaklaşım ile ofis hacimleri gruplanarak, her bir grup için referans oda verim faktörü eğrileri tanımlanmıştır. Bu eğriler, söz konusu hacimler için ortalama düzgünlük ve kamaşma gibi gerekli aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayabilen özelliklere sahip armatürler dikkate alınarak bulunmuştur. Dolayısıyla, verimli bir ofis aydınlatması yaratılabilmesi için hedef armatür özellikleri ve ışık dağılım eğrisi karakteristikleri de belirlenmiştir. Günümüzde, LED'li iç aydınlatma armatür tasarımlarının yaygınlaştığı düşünüldüğünde söz konusu hedefler, tasarlanacak yeni armatürler için önemli bir referans olacaktır.

Çalışma kapsamında tanımlanan hacim grupları için elde edilen kurulu güç denklemleri ve oda verim faktörü eğrileri farklı bina tiplerinde bulunan benzer hacimler için geçerli olmakla beraber, farklı kullanım amacına sahip hacimler için aynı adımlar izlenerek yeni kurulu güç denklemlerine ulaşılabilmesi de mümkündür. Bu sayede, farklı bir bina tipleri için de aydınlatma enerji tasarruf potansiyelleri aynı yaklaşım ile hesaplanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ayama M., Eloholma M., Hyvärinen M., Eda T., Kon D., Mukai K., Kanaya S., Halonen L.** (2002). Whiteness Perception in Japanese and Finnish under Cool and Warm Fluorescent Lamps, *Proceedings of the 9th Congress of the International Color Association*, New York, 24-29 June 2001.
- Bean R.** (2004). *Lighting: Interior and Exterior*, Architectural Press, An Imprint of Elsevier, Büyük Britanya.
- Benya J., Leban D.** (2011). *Lighting Retrofit and Relighting: A guide to Energy Efficient Lighting*, Hoboken, NJ : Wiley.
- BİB** (2008a). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- BİB** (2008b). Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıcak Su Giderlerinin Paylaşılması'na İlişkin Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- BİB** (2010a). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- BİB** (2010b). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05-Aydınlatma, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- BİB** (2010c). BEP-TR: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yazılımı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- Boyce P. R.** (2003). *Human Factors in Lighting*, 2nd ed., London and New York: Taylor & Francis.
- BREEAM** (2004). Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Building Research Establishment, Birleşik Krallık. <<http://www.breeam.org>>
- CASBEE** (2009). Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Japonya. <www.ibec.or.jp>
- Ceelen E.** (2002). The luminaire efficiency factor for professional luminaires, *Proceedings of Right Light 5 Conference*, Nice, France.
- CELMA** (2007). Guide for Application of Directive 2000/55/EC on Energy Efficiency Requirements for Ballasts for Fluorescent Lighting, Issue 3.1, Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union, Brussels.
- CEN** (2001). CEN TC 169 document N 418 "CELMA Proposal for Luminaire Efficiency Factor Presentation", Brussels.

- CEN** (2004a). European Standard (EN 12464-1) “Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places”, Brussels.
- CEN** (2004b). European Standard (EN 13032-2) “Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 2: Presentation of data for indoor and outdoor work places”, Brussels.
- CIBSE** (1980). CIBSE Technical Memoranda 5, “The calculation and use of utilisation factors”, London
- CIBSE** (2009). The SLL Lighting Handbook, The Society of Light and Lighting, London.
- CIE** (1978). Technical Report No:40 “Calculations for interior Lighting, Basic method”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- CIE** (1982). Technical Report No:52 “Calculations for interior lighting, Applied method”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- CIE** (1983). Technical Report No:55 “Discomfort Glare in the Interior Working Environment”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- CIE** (1987). CIE Publication No: 1987; 17: 4.CIE/IEC International Lighting Vocabulary, International Commission on Illumination, Vienna, Austria
- CIE** (1995). Technical Report No: 117 “Discomfort Glare in Interior Lighting”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- CIE** (2001). International Standard (S 008/E:2002) “Lighting of Work Places - Part 1: Indoor”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- CIE** (2002). Technical Report No: 145, “The correlation of models for vision and visual performance”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria
- CIE** (2005). Technical Report No:97 “Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria
- CIE** (2007). Technical Report No: 177, Colour rendering of white LED light sources, International Commission on Illumination, Vienna, Austria
- CIE** (2010). Technical Report No: 190 “Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires”, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- DDE et DRE** (2005). Réglementation Thermique 2005, Directions Départementales et Régionales de l’Équipement, Paris
- EC** (2000). European Directive (2000/55/EC) on Energy Efficiency Requirements for Ballasts for Fluorescent Lighting, *Official Journal of the European Communities*, Brussels.
- EC** (2006). EU Action Plan on Energy Efficiency, Commission of the European Communities, Brussels.
- EEA** (2011). Final Energy Consumption by Sector in the EU-27 between 1990–2006, European Environmental Agency, Danimarka.

- EESC** (2005). Winning the Battle Against Global Climate Change, The European Economic and Social Committee, Brussels.
- EİE** (2004). Enerji Verimliliği Stratejisi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara.
- EİE** (2008). Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanılmasında Verimliliğin Artırılması'na Dair Yönetmelik, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara.
- Embrechts R., Bellegem C.** (1997). Increased Energy Saving by Individual Light Control, *Proceedings of Right Light 4*, Copenhagen, Pages 179-182.
- EnergyStar** (2007). Energy Star Program, USA. <www.energystar.doe.gov>
- EP** (1993). Directive on Limit CO₂ Emissions by Improving Energy Efficiency, European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- EP** (2002). Directive on Energy Performance of the Buildings, European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- EP** (2003). Directive on Energy End-Use Efficiency and Energy Services, European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- EPBD** (2008). The use of the CEN standards to support the EPBD in the EU Member States - An overview and some typical examples, EPBD Information Paper #P90, EPBD buildings Platform.
- Erkin E., Onaygil S., Gasparovsky D.** (2011). Binalarda Aydınlatma Enerji Performansı Belirleme Süreci, Karşılaşılabilecek Sorunlar ve Çözüm Önerileri, *8.Ulusal Aydınlatma Kongresi*, 14-15 Nisan 2011, İstanbul
- Erkin E., Smola A., Gasparovsky D., Janiga P.** (2009). Energy Performance of Buildings and Lighting: Problems and Solutions, *Lux Junior 2009 International Lighting Congress*, 25-27 Eylül 2009, Ilmenau, Germany
- ETKB** (2012). Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023, *Resmi Gazete*, Sayı: 28215, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara
- EVK** (2007). Enerji Verimliliği Kanunu, TBMM, Ankara.
- Floyd D.B., Parker D.** (1995). Field Commissioning of a daylight-dimming lighting system, *Right Light Three, 3rd European Conference on Energy Efficient Lighting*, Newcastle, UK.
- Gasparovsky D., Erkin E., Onaygil S.** (2010). Implementation of EPBD in the Field of Lighting in Accordance with National Conditions, *International Conference on Lighting Quality and Energy Efficiency*, March 2010, Vienna, Austria
- Gasparovsky D., Lieskovska L., Janiga P., Pomothy L.** (2009), State of Art of the Lighting of Schools and Educational Buildings in Slovakia, *Svetlo2009 International Lighting Conference*, October 2009, Slovakia
- Gasparovsky, D., Smola A., Janiga P.** (2008). Assessment of Lighting Systems for Energy Certification of Buildings, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia.
- GreenStar** (2009). Green Star Program, Green Building Council of Australia. <www.gbca.org.au>

- Halonen L., Tetri E., Bhusal P.** (2010). Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings, Aalto University, School of Science and Technology, Department of Electronics, Lighting Unit, Finland.
- Hanselaer, P., Lootens, C., Ryckaerta, W. R., Deconinck, G., Rombautsc, P.** (2007). Power Density Targets for Efficient Lighting of Interior Task Areas, *Lighting Research and Technology*, **39.2**, 171-184.
- Hughes P.C., Mcnelis J.F.** (1978). Lighting, productivity, and the work environment, *Lighting Design + Application*, **8 (12)**, 32-39.
- IEA** (2011). 2011 Key World Energy Statistics, International Energy Agency, Paris.
- IEA** (2006). Light's Labour's Lost, International Energy Agency, Paris, France
- IEC** (1989). IEC Standart No: 60529, "Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)", International Electrotechnical Commission, Switzerland
- IESNA** (2011). *The IESNA Lighting Handbook*, 10th ed., IESNA Publications, New York
- Juslen H.** (2007). Lighting, productivity and preferred illuminances – field studies in the industrial environment, PhD Thesis, Helsinki University of Technology, Finland
- Krames M.** (2007). Progress in high-power light-emitting diodes for solid-state lighting, *Proceedings of the 11th International Symposium of the Science and Technology of Light Sources*, May 20th-24th, Shanghai, China.
- Krarti M.** (2000). *Energy audit of building systems: an engineering approach*, Boca Raton, FL: CRC.
- Kruithof A.A.** (1941), Tubular Fluorescent Lamps for General Illumination, *Philips Technical Review*, **6 (3)**, 65–96
- Lee, W.L., Burnett J.** (2008). Benchmarking Energy Use Assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED, *Building and Environment*, **43 (11)**, 1882-1890
- Lee, W.L., Yik, F.W.H., Burnett, J.** (2007). Assessing Energy Performance in the Latest Versions of HK-BEAM, *Energy and Buildings*, **39**, 343-354.
- LEED** (2009). Leadership in Energy and Environmental Design, U.S. Green Building Council. <www.usgbc.org>
- LiTG** (1988). Publikation 3.5, Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren, Deutschland.
- Loftness V.** (2004). Improving Building Energy Efficiency in the U.S: Technologies and Policies for 2010 to 2050. *Proceedings of the workshop The 10-50 Solution: Technologies and Policies for a Low-Carbon Future*, The PEW Center on Global Climate Change and the National Commission on Energy Policy. Washington DC.
- LTLI** (1987). Nordic Utilisation Factor Method, NBDOC, A computer program for NB-documentation of luminaires, Notat 248, Norway.

- Maniccia D., Rutledge B., Rea M.S., Morrow W.** (1999). Occupant control of manual lighting controls in private offices, *Journal of the IES*, **28(2)**, 42-56.
- Maniccia, Dorene and Allan Tweed** (2000). Occupancy sensor simulations and energy analysis for commercial buildings, Troy, NY: Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.
- Miller N.J.** (1998). A recipe for lighting quality, *Proceedings of the First CIE Symposium on Lighting Quality*, 9-10 May 1998, Canada.
- Murdoch J. B.** (2003). Illuminating Engineering: From Edison's Lamp to the LED, Third Edition, Visions Communications, USA
- NAVIGANT** (Navigant Consulting) 2002. U.S. Lighting Market Characterization Volume I: National Lighting Inventory and Energy Consumption Estimate, Building Technologies Program, US Department of Energy, Washington.
- NBI** (2003). Advanced Lighting Guidelines, New Building Institute Inc., Vancouver, Washington.
- NPSR** (2005). Act No. 555/2005 of the National Parliament of Slovak Republic on the Energy Performance of Buildings, Bratislava, Slovakia
- Onaygil S., Güler Ö.** (2003). Determination of the Energy Saving by Daylight Responsive Lighting Control System with an example from Istanbul, *Building and Environment*, **38**, 973-977.
- Onaygil S., Güler Ö., Erkin E., Gorah E.** (2005). Ticari Binaların Elektrik Enerji Tüketiminde Aydınlatmanın Payı, *3. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, Ankara
- Onaygil S.** (2011). Enerji Verimli Aydınlatma Teknolojileri Ders Notları, İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Yüksek Lisans Programı
- Özkaya M.** (2000). Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Özkaya M., Tüfekçi T.** (2011). Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul
- PHILIPS** (2004). Philips Calculux Photometrics Yazılımı, Sürüm 4.1, Hollanda.
- Philips** (1993). Philips Lighting Manual, Fifth Edition, Philips Lighting B.V., Hollanda.
- Rea, M. S., Ouellette M. J.** (1991). Relative visual performance: a basis for application. *Lighting Research and Technology*, **23 (3)**, 135-144.
- Rundquist R.A., McDougall T.G., Benya J.R.** (1996). Lighting controls: Patterns for design, Pleasant Hills, CA: Electric Power Research Institute
- Ryckaert W.R., Lootens C., Geldof J., Hanselaer P.,** (2010). Criteria For Energy Efficient Lighting In Buildings, *Energy and Buildings*, **42**, 341-347.
- Sirel Ş.** (1997). *Aydınlatma Sözlüğü*, Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, İstanbul

- Stockmar A.** (1997). Proposal for a Luminaire Specific Index for the Description of Photometric Properties of Interior Luminaires Taking into Account the Efficient Use of Energy, *Proceedings of Right Light 4 Conference*, Copenhagen
- Stockmar A.** (2002). Luminaire efficiency factor system for general lighting, *Proceedings of Right Light 5 Conference*, Nice, France.
- Stockmar A.** (2005). European Utilisation Factor Method, *Proceedings of Lux Europa 2005 Conference*, Berlin.
- Szerman, M.** (1993). Superlink: A Computer Tool to Evaluate the Impact of Daylight-controlled Lighting System onto the Overall Energetic Behaviour of Buildings, *Proceedings of Right Light 2*, Arnhem.
- Tichelen P.V., Jansen B., Geerken T., Vanden B. M., Hoof V.V., Vanhooydonck L., Vercalsteren A.** (2007). Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs Final Report Lot 8: Office lighting. Study for the European Commission DGTREN unit D3.
- TSE** (1997), Türk Standardı (TS EN 60529) “Mahfazalarla Sağlanan Koruma Dereceleri (IP Kodu)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE** (2004). Türk Standardı (TS EN 12464-1) “Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE** (2007). Türk Standardı (TS EN 15193) “Binalarda Enerji Performansı-Aydınlatma için Enerji Özellikleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE** (2008). TSEN 15193 “Binalarda Enerji Performansı-Aydınlatma için enerji gereksinimleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE** (2011). TS EN 12665:2011 “Işık ve Aydınlatma-Aydınlatma Kurallarını Belirleyen Temel Tarifler ve Kriterler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TUİK** (2000). Türkiye Bina Sayımı 2000, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- UB** (2008). Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılması’na İlişkin Yönetmelik, Ulaştırma Bakanlığı, Ankara.
- UTE** (1993). NF C71-121, Méthode simplifiée de prédétermination des éclairage dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires, France.
- Ünver R.** (1992). Parıltı ve Işıklılık Terimlerinde Tarihsel Gelişme ve Bugünkü Tanımlar, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yayın no:240, İstanbul
- Veitch J.A., Newsham G.R.** (1998). Determinants of lighting quality I: State of the Science, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **27** (1), 92-106.
- Weston H.C.** (1922). A study of the efficiency I fine linen-weaving, Industrial Fatigue Research Board, Report No. 20, London.

- Weston H.C., Taylor S.K.** (1926). The relation between illumination and efficiency in fine work (type-setting by hand), Final Report of the Industrial Fatigue Research Board and the Illumination Research Committee, London.
- Zeguers, J.D.M.** (1993). Energy-savings Lighting Electronics, A Triple Win: for the Organization, for the Human Being and for the Environment, *Proceedings of Right Light 2*, Arnhem.
- Dialux** (2011). Dialux Aydınlatma Yazılımı, Sürüm 4.8, Almanya. Alındığı tarih: 21.12.2011, adres: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux/dialux-4/download.html>
- DOE** (2010). Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan, USA. Alındığı tarih: 21.12.2011, adres: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2010_web.pdf
- ETAP** (2012). ETAP Lighting Catalogue, alındığı tarih: 21.12.2011, adres: <http://www.etaplighting.com/level2.aspx?seq=86&seqpicture=2227&name=Lighting&LangType=1033>
- ETKB** (2010). İstatistikler, alındığı tarih, 21.12.2011, adres: http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398
- OSRAM** (2011). Osram Lamp Catalogue, alındığı tarih: 21.12.2011, adres: <http://catalog.myosram.com>
- PHILIPS** (2011). Philips Lamp Catalogue, alındığı tarih: 21.12.2011, adres: <http://www.philips.com/l/lamps/20925/cat/#>
- TEDAŞ** (2009). 2009 Yılı Türkiye Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Ankara. Alındığı tarih 21.12.2011, adres: http://www.tedas.gov.tr/29,Istatistiki_Bilgiler.html
- TEDAŞ** (2012). 2012 Yılı Nisan Ayı Elektrik Tarifesi, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Ankara. Alındığı tarih 24.04.2011, adres: http://www.tedas.gov.tr/274,2012_Tarifeler.html
- Wikipedia** (2012). Phase-out of Incandescent Light Bulbs, alındığı tarih 5.11.2012, adres: http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-out_of_incandescent_light_bulbs#cite_note-10

EKLER

EK A: Örnek Enerji Kimlik Belgesi


EK B: Temel Aydınlatma Terim ve Büyüklükleri

EK C: Aydınlatma Hesap Sonuçları

EK D: Işık Şiddeti Dağılım Eğrileri

EK E: bep/ETA: Aydınlatma Enerji Performansı ve Tasarruf Potansiyeli Hesaplama Yazılımı (CD)

EK A: Örnek Enerji Kimlik Belgesi



ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın

Tipi : Apartman

İnşaat Yılı :

Kapalı Kullanma Alanı : 1.063,13

Ada, Parsell : -/500-IVd/10776

Adresi : UZUNHISAR MEVKİM.EREGLİSİ Marmaraereglisi/TEKİRDAĞ

Bina Sahibinin

Adı Soyadı : İHSAN TORUK


Adresi : UZUNHISAR MEVKİM.EREGLİSİ

Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse)

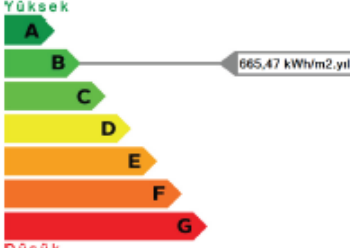
Adı Soyadı : İHSAN TORUK

Adresi : UZUNHISAR MEVKİM.EREGLİSİ

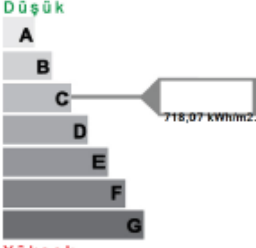
Binanın Resmi



Enerji Performansı




Sera Gazı Emisyonu



Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı

%0,00



Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri			Sınıfı
		Nihai (kWh/yl)	Birincil (kWh/yl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m2.yıl)	
TOPLAM		707.483,17	1.041.626,93	665,47	ABCDEF G
ISITMA	Isıtma Sistemi	414.942,87	414.942,87	390,30	ABCDEF G
SIHHİ SICAK SU	Sıcak Su Sistemi	46.846,36	46.846,36	44,06	ABCDEF G
SOĞUTMA	Soğutma Sistemi	218.399,92	515.423,82	205,43	ABCDEF G
HAVALANDIRMA		0,00	0,00	0,00	
AYDINLATMA	eslan, Kompakt floresan, Fl	27.294,02	64.413,88	25,67	ABCDEF G

Açıklamalar

Belgenin

Numarası : S34EA6A9B58DA

Veriliş Tarihi :

Son Geçerlilik Tarihi : 16.02.2021

Belgeyi Düzenleyenin

Adı Soyadı : Veli UYSAL

Firması : BİRLEŞİM Mühendislik Proje Taah. San. Tic. Ltd. Ş

Oda Sicil Nosu : E34E2984

Şekil A.1: Örnek enerji kimlik belgesi

EK B: Temel Aydınlatma Terim ve Büyüklükleri

Çizelge B.1: Literatürde kullanılan temel aydınlatma terim ve büyüklükleri

İngilizce adı	Türkçe adı	Birim	Sembol
Color rendering index	Renksel geriverim endeksi	-	Ra CRI
Color temperature	Renk sıcaklığı	K	T _c
Correlated Color Temperature	Benzer renk sıcaklığı	K	CCT (T _{cp})
Efficacy factor	Etkinlik faktörü	lm/W	e
Illuminance	Aydınlık düzeyi	lx	E
Light output ratio	Armatür geriverimi Işık çıktı oranı	-	η _{arm} LOR
Luminance	Parıltı Işıklılık	cd/m ²	L
Luminous flux	Işık akısı	lm	Φ
Luminous intensity	Işık şiddeti Işık yeğirliği	cd	I
Reflectance factor	Yansıtma faktörü Yansıtma çarpanı	-	ρ
Room utilance	Oda verim faktörü		η _{oda}
Utilization factor	Verim faktörü		η
Unified Glare Rating	Birleşik kamaşma değeri	-	UGR

EK C: Aydınlatma Hesap Sonuçları

Çizelge C.1: G1 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri

Arm.	k=1						k=2						k=5					
	300 lx		500 lx		750 lx		300 lx		500 lx		750 lx		300 lx		500 lx		750 lx	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G1-01	0.64	2.10	0.62	2.23	0.58	2.27	0.62	1.91	0.66	1.87	0.59	1.89	0.78	1.71	0.77	1.68	0.56	1.64
G1-02	0.61	2.43	0.62	2.59	0.65	2.71	0.60	2.22	0.59	2.15	0.50	2.12	0.85	1.98	0.75	1.94	0.53	1.91
G1-03	0.55	1.93	0.66	2.03	0.68	2.10	0.63	1.75	0.71	1.72	0.65	1.74	0.68	1.57	0.80	1.55	0.62	1.53
G1-04	0.49	2.00	0.65	2.27	0.65	2.34	0.46	1.96	0.71	1.92	0.57	1.93	0.63	1.76	0.86	1.74	0.63	1.71
G1-05	0.58	2.04	0.73	2.35	0.68	2.20	0.64	1.84	0.71	1.80	0.60	1.86	0.73	1.65	0.74	1.62	0.54	1.59
G1-06	0.62	2.06	0.74	2.35	0.68	2.21	0.65	1.85	0.70	1.80	0.61	1.86	0.77	1.65	0.73	1.60	0.54	1.57
G1-07	0.56	2.34	0.70	2.68	0.68	2.52	0.60	2.11	0.63	2.04	0.58	2.03	0.80	1.89	0.76	1.85	0.52	1.83
G1-08	0.51	1.86	0.73	2.11	0.69	1.98	0.62	1.86	0.72	1.82	0.62	1.83	0.60	1.66	0.69	1.64	0.58	1.62
G1-09	0.55	2.21	0.71	2.50	0.68	2.36	0.63	1.77	0.74	1.74	0.64	1.74	0.63	1.60	0.89	1.59	0.62	1.56
G1-10	0.83	2.39	0.67	2.63	0.67	2.48	0.56	2.04	0.64	2.00	0.52	1.97	0.67	1.79	0.68	1.78	0.59	1.72
G1-11	0.20	2.07	0.50	2.32	0.70	2.18	0.23	1.92	0.68	1.89	0.50	1.88	0.22	1.80	0.73	1.78	0.66	1.75
G1-12	0.73	2.31	0.63	2.60	0.62	2.44	0.53	2.04	0.63	2.00	0.50	1.98	0.69	1.81	0.71	1.79	0.59	1.75
G1-13	0.59	2.01	0.71	2.24	0.69	2.10	0.60	1.77	0.73	1.72	0.64	1.78	0.74	1.59	0.80	1.58	0.58	1.54
G1-14	0.48	2.23	0.71	2.48	0.69	2.33	0.60	1.96	0.63	1.90	0.64	1.97	0.79	1.76	0.80	1.75	0.49	1.71
G1-15	0.62	1.90	0.70	2.13	0.68	2.00	0.59	1.67	0.71	1.65	0.65	1.65	0.77	1.50	0.73	1.50	0.60	1.46
G1-16	0.46	2.01	0.72	2.29	0.69	2.15	0.63	1.81	0.77	1.76	0.63	1.83	0.56	1.65	0.83	1.62	0.58	1.61
G1-17	0.28	2.02	0.66	2.27	0.68	2.13	0.41	1.86	0.78	1.83	0.49	1.88	0.33	1.72	0.85	1.70	0.66	1.71
G1-18	0.63	2.34	0.67	2.68	0.68	2.53	0.56	2.07	0.61	2.00	0.55	1.99	0.79	1.81	0.70	1.77	0.48	1.73
G1-19	0.48	2.34	0.68	2.65	0.70	2.51	0.59	2.06	0.65	2.01	0.59	2.02	0.78	1.82	0.79	1.80	0.49	1.76
G1-20	0.58	1.87	0.73	2.20	0.67	2.07	0.63	1.72	0.62	1.66	0.61	1.68	0.74	1.54	0.82	1.49	0.52	1.46

Çizelge C.1 (Devam): G1 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri

Arm.	300		k=1		750		300		k=2		750		300		k=5		750	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G1-21	0.56	2.05	0.72	2.34	0.67	2.20	0.64	1.85	0.70	1.80	0.61	1.83	0.73	1.65	0.77	1.61	0.57	1.58
G1-22	0.60	1.98	0.72	2.27	0.67	2.13	0.61	1.77	0.70	1.73	0.48	1.75	0.77	1.58	0.72	2.02	0.56	1.50
G1-23	0.58	2.11	0.72	2.38	0.67	2.18	0.62	1.87	0.69	1.82	0.62	1.84	0.74	1.66	0.81	1.63	0.59	1.60
G1-24	0.49	2.08	0.68	2.39	0.66	2.23	0.56	1.90	0.73	1.86	0.63	1.89	0.65	1.72	0.80	1.68	0.55	1.65
G1-25	0.48	1.41	0.71	2.49	0.66	2.33	0.61	1.87	0.71	1.94	0.63	1.97	0.62	1.77	0.84	1.74	0.55	1.73
G1-26	0.41	2.34	0.69	2.62	0.71	2.71	0.56	2.31	0.66	2.24	0.58	2.32	0.69	2.10	0.80	2.06	0.51	2.02
G1-27	0.67	2.44	0.71	2.50	0.72	2.57	0.66	2.06	0.61	2.00	0.57	2.00	0.77	1.79	0.78	1.78	0.55	1.73
G1-28	0.76	2.47	0.75	2.55	0.70	2.65	0.66	2.09	0.61	2.02	0.54	2.03	0.77	1.81	0.69	1.79	0.51	1.77
G1-29	0.51	2.47	0.67	2.59	0.66	2.67	0.59	2.27	0.64	2.19	0.55	2.20	0.76	2.05	0.75	2.00	0.52	2.00
G1-30	0.59	2.27	0.71	2.68	0.68	2.48	0.55	2.08	0.70	2.03	0.57	2.07	0.70	1.87	0.72	1.82	0.55	1.80

Çizelge C.2 : G2 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu (NGY) değerleri

	k=0.6						k=1.2						K=2.4				k=2		k=4					
	100		200		100		200		300		100		200		300		200		300		300		300	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G2-01	0.79	6.25	0.53	6.09	0.82	5.97	0.78	5.74	0.83	6.23	0.65	3.74	0.68	3.81	0.62	3.75	0.65	3.02	0.59	2.93	0.57	3.06	0.61	2.68
G2-02	0.80	5.56	0.49	5.43	0.75	5.44	0.69	5.22	0.76	5.71	0.64	3.74	0.65	3.83	0.57	3.75	0.69	3.16	0.58	3.07	0.52	3.16	0.55	2.85
G2-03	0.74	4.84	0.51	4.75	0.60	4.26	0.74	4.79	0.77	5.03	0.62	3.23	0.60	3.24	0.62	3.25	0.67	2.68	0.56	2.62	0.57	2.74	0.58	2.43
G2-04	0.72	6.06	0.47	5.94	0.73	6.25	0.67	6.00	0.76	6.53	0.60	4.21	0.68	4.32	0.56	4.23	0.65	3.41	0.58	3.37	0.54	3.48	0.58	3.09
G2-05	0.76	5.26	0.49	5.17	0.58	4.65	0.71	5.04	0.79	5.54	0.58	3.64	0.64	3.72	0.54	3.66	0.69	3.09	0.57	3.01	0.52	3.13	0.53	2.80
G2-06	0.78	5.00	0.49	4.88	0.56	4.35	0.77	4.94	0.76	5.18	0.60	3.36	0.61	3.43	0.57	3.39	0.66	2.83	0.55	2.77	0.54	2.87	0.59	2.59
G2-07	0.75	5.26	0.52	5.15	0.61	4.71	0.73	5.08	0.80	5.52	0.62	3.39	0.67	3.48	0.63	3.45	0.67	2.76	0.58	2.70	0.56	2.81	0.60	2.48
G2-08	0.78	5.36	0.48	5.25	0.57	4.71	0.70	5.08	0.76	5.59	0.60	3.60	0.62	3.70	0.53	3.64	0.67	3.05	0.56	2.97	0.53	3.06	0.60	2.77
G2-09	0.72	5.94	0.48	5.83	0.74	6.20	0.68	5.97	0.77	6.43	0.63	4.04	0.68	4.12	0.62	4.07	0.65	3.19	0.59	3.14	0.57	3.31	0.58	2.85
G2-10	0.72	5.41	0.60	5.28	0.76	5.44	0.69	5.24	0.77	5.71	0.61	3.60	0.68	3.67	0.61	3.61	0.69	2.94	0.61	2.87	0.55	2.97	0.61	2.63
G2-11	0.75	5.94	0.57	5.77	0.75	6.02	0.71	5.80	0.78	6.25	0.64	3.92	0.68	4.02	0.62	3.95	0.70	3.16	0.60	3.08	0.59	3.23	0.60	2.80
G2-12	0.80	5.66	0.60	5.50	0.77	5.44	0.49	5.22	0.76	5.73	0.64	3.77	0.64	3.86	0.56	3.80	0.61	3.15	0.53	3.21	0.53	3.22	0.56	2.91
G2-13	0.80	4.88	0.60	4.75	0.62	4.04	0.48	4.57	0.76	4.82	0.64	3.15	0.61	3.19	0.49	3.12	0.66	2.69	0.56	2.63	0.62	2.74	0.62	2.45
G2-14	0.75	6.36	0.58	6.25	0.80	6.02	0.76	5.77	0.81	6.30	0.66	3.92	0.67	4.02	0.58	3.93	0.61	3.15	0.54	3.13	0.57	3.27	0.56	2.86
G2-15	0.78	6.25	0.58	6.09	0.79	5.88	0.78	5.61	0.81	6.13	0.67	3.81	0.67	3.90	0.60	3.82	0.65	3.13	0.59	3.03	0.57	3.14	0.56	2.79
G2-16	0.75	6.52	0.55	6.37	0.80	6.15	0.77	5.91	0.81	6.45	0.67	4.00	0.65	4.08	0.58	4.03	0.61	3.23	0.54	3.19	0.57	3.31	0.56	2.93
G2-17	0.54	4.65	0.59	4.57	0.44	3.81	0.69	4.35	0.75	6.48	0.50	3.25	0.63	3.35	0.57	3.31	0.68	2.87	0.53	2.81	0.47	2.88	0.56	2.66
G2-18	0.52	5.13	0.52	5.02	0.42	4.30	0.64	4.85	0.73	5.19	0.48	3.57	0.59	3.67	0.52	3.61	0.71	3.11	0.58	3.04	0.46	3.10	0.50	2.83
G2-19	0.77	4.92	0.60	4.77	0.62	4.00	0.80	4.55	0.78	4.76	0.60	3.13	0.55	3.14	0.45	3.08	0.65	2.67	0.54	2.61	0.56	2.72	0.53	2.43
G2-20	0.74	5.61	0.61	5.47	0.80	5.33	0.75	5.11	0.81	5.52	0.59	3.48	0.65	3.56	0.59	3.52	0.66	2.88	0.56	2.80	0.54	2.91	0.60	2.59
G2-21	0.76	6.00	0.60	5.80	0.79	5.76	0.73	5.50	0.79	6.02	0.68	3.74	0.71	3.83	0.64	3.76	0.70	2.99	0.63	2.91	0.59	3.06	0.65	2.63
G2-22	0.58	4.62	0.67	4.52	0.45	3.67	0.73	4.30	0.76	4.55	0.57	3.13	0.63	3.16	0.44	3.10	0.72	2.74	0.56	2.68	0.66	2.76	0.67	2.51

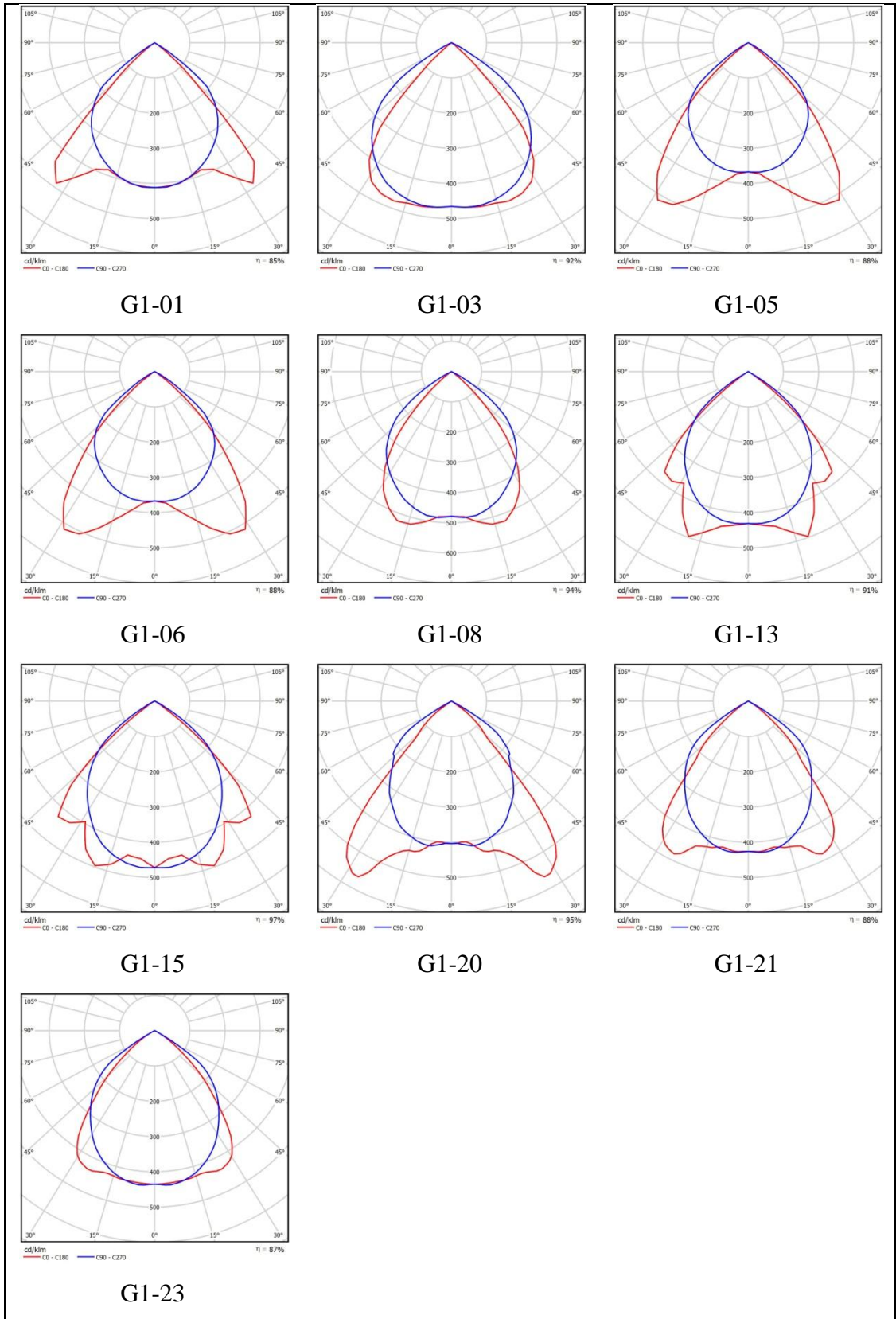
Çizelge C.3: G3 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu değerleri

Arm.	k=1				k=2				k=4	
	200		500		200		500		500	
	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY	U_0	NGY
G3-01	0.50	3.45	0.61	3.86	0.61	2.91	0.55	3.08	0.63	2.66
G3-02	0.48	2.97	0.57	3.45	0.57	2.64	0.62	2.91	0.59	2.50
G3-03	0.47	2.54	0.55	2.79	0.42	2.21	0.50	2.39	0.59	2.13
G3-04	0.42	2.24	0.58	2.51	0.37	1.98	0.46	2.14	0.71	2.23
G3-05	0.42	2.13	0.56	2.41	0.29	1.94	0.47	2.03	0.68	1.85
G3-06	0.46	3.18	0.62	3.59	0.55	2.66	0.68	2.86	0.68	2.40
G3-07	0.55	2.72	0.63	4.42	0.63	2.21	0.60	2.33	0.68	1.99
G3-08	0.50	2.64	0.60	2.90	0.62	2.18	0.59	2.36	0.63	2.01
G3-09	0.50	2.87	0.65	3.26	0.64	2.48	0.66	2.65	0.67	2.25
G3-10	0.54	3.33	0.59	3.62	0.55	2.66	0.56	2.85	0.59	2.39
G3-11	0.54	3.00	0.66	3.39	0.67	2.54	0.66	2.73	0.66	2.29
G3-12	0.52	2.54	0.61	2.78	0.58	2.11	0.55	2.24	0.62	1.94
G3-13	0.49	2.98	0.59	3.48	0.66	2.71	0.62	2.92	0.58	2.50
G3-14	0.46	2.53	0.55	2.84	0.46	2.21	0.53	2.42	0.59	2.12
G3-15	0.54	2.57	0.62	2.82	0.63	2.11	0.56	2.24	0.67	1.93
G3-16	0.51	2.60	0.55	2.90	0.45	2.22	0.50	2.41	0.54	2.11
G3-17	0.34	1.86	0.53	2.11	0.34	1.89	0.52	1.80	0.68	1.62
G3-18	0.41	2.72	0.57	3.09	0.54	2.49	0.66	2.68	0.69	2.32
G3-19	0.42	2.65	0.54	2.91	0.38	2.39	0.61	2.59	0.76	2.25
G3-20	0.43	2.50	0.54	2.75	0.23	2.22	0.55	2.38	0.66	2.11
G3-21	0.54	3.29	0.67	3.65	0.68	2.70	0.65	2.86	0.68	2.38
G3-22	0.56	2.92	0.60	3.13	0.63	2.34	0.58	2.48	0.63	2.09

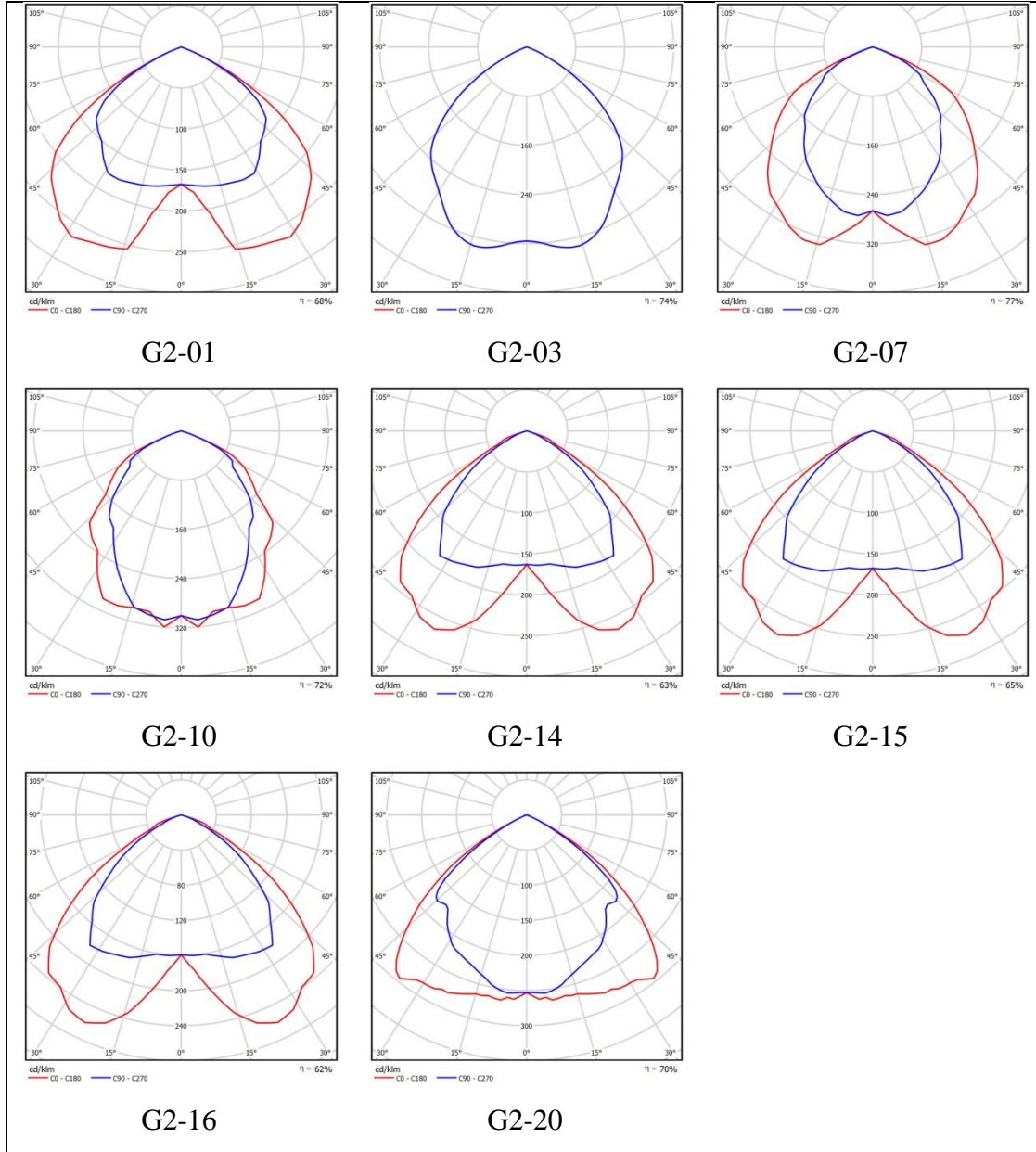
Çizelge C.4: G4 grubu hacimler için hesaplanan ortalama düzgünlük (U_0) ve normalize güç yoğunluğu değerleri

	k=0.6		k=1.2				k=2.4				k=4.8			
	200		150		200		75		150		200		75	
	U	NGY	U	NGY	U	NGY	U	NGY	U	NGY	U	NGY	U	NGY
G3-01	0.77	4.83	0.71	2.80	0.80	2.93	0.59	2.20	0.51	2.33	0.56	2.23	0.52	1.87
G3-02	0.75	4.64	0.68	2.84	0.75	2.82	0.57	2.15	0.54	2.25	0.57	2.22	0.53	1.89
G3-03	0.65	3.38	0.50	2.15	0.74	2.37	0.38	1.87	0.55	1.95	0.45	1.92	0.39	1.75
G3-04	0.73	4.28	0.68	2.63	0.72	2.64	0.43	2.02	0.54	2.07	0.50	2.07	0.50	1.79
G3-05	0.61	3.65	0.54	2.37	0.63	2.45	0.38	1.94	0.46	2.00	0.47	2.00	0.42	1.77
G3-06	0.6	3.25	0.56	2.12	0.54	2.13	0.36	1.75	0.53	1.83	0.46	1.81	0.39	1.63
G3-07	0.74	4.62	0.61	2.70	0.75	2.85	0.55	2.20	0.65	2.26	0.53	2.19	0.52	1.89
G3-08	0.77	5.50	0.61	3.21	0.73	3.26	0.55	2.55	0.58	2.60	0.54	2.51	0.55	2.18
G3-09	0.69	4.01	0.69	2.41	0.56	2.38	0.22	1.90	0.52	2.26	0.49	2.01	0.42	1.78
G3-10	0.65	3.06	0.51	1.94	0.50	1.94	0.30	1.66	0.35	1.68	0.49	1.75	0.22	1.59
G3-11	0.63	3.42	0.56	2.16	0.55	2.17	0.40	1.74	0.42	1.75	0.52	1.81	0.50	1.57
G3-12	0.65	3.34	0.58	2.09	0.56	2.09	0.42	1.68	0.42	1.69	0.46	1.73	0.50	1.52
G3-13	0.75	5.02	0.61	2.91	0.72	3.04	0.53	2.36	0.56	2.46	0.53	2.43	0.52	2.08
G3-14	0.74	4.50	0.56	2.61	0.71	2.73	0.24	2.06	0.53	2.18	0.48	2.18	0.45	1.92
G3-15	0.69	3.96	0.59	2.46	0.59	2.46	0.23	1.95	0.41	2.01	0.48	2.07	0.43	1.85
G3-16	0.80	5.45	0.61	2.97	0.74	3.17	0.56	2.36	0.60	2.53	0.58	2.41	0.51	2.08
G3-17	0.69	4.04	0.61	2.49	0.62	2.49	0.28	1.93	0.46	1.97	0.53	2.00	0.56	1.72

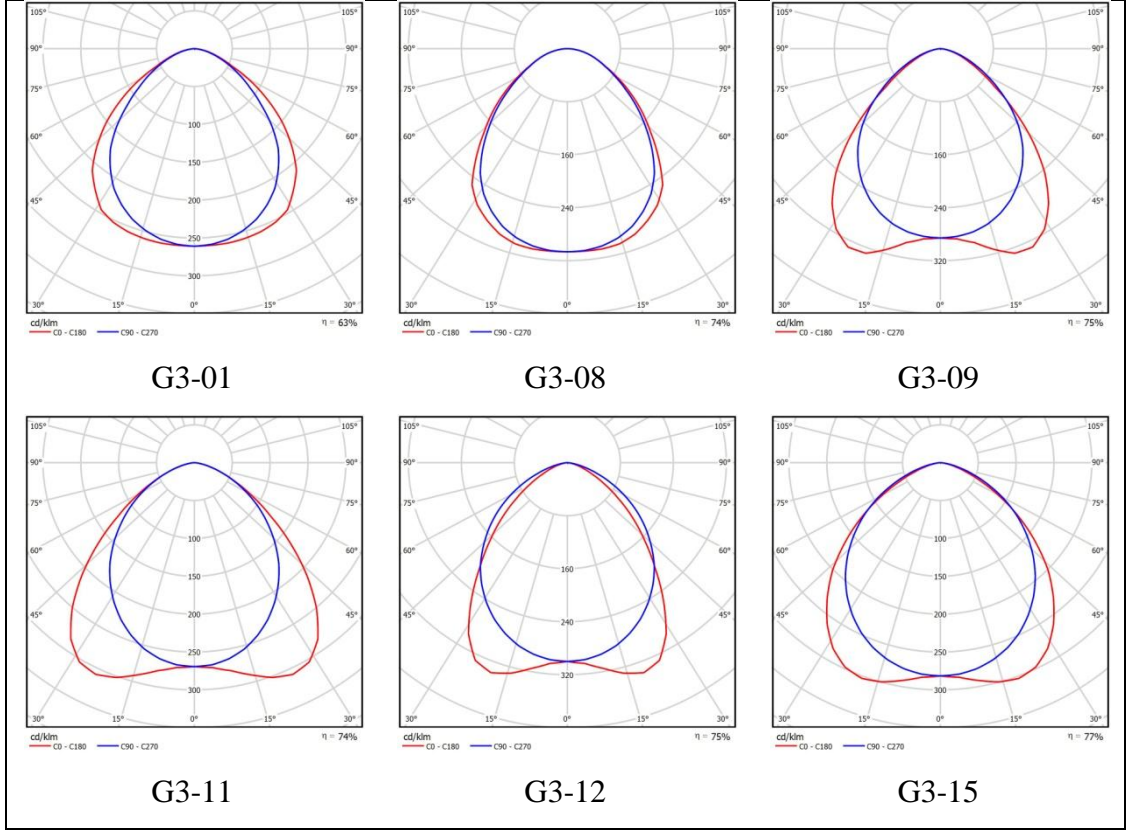
EK D: Işık Dağılım Eğrileri



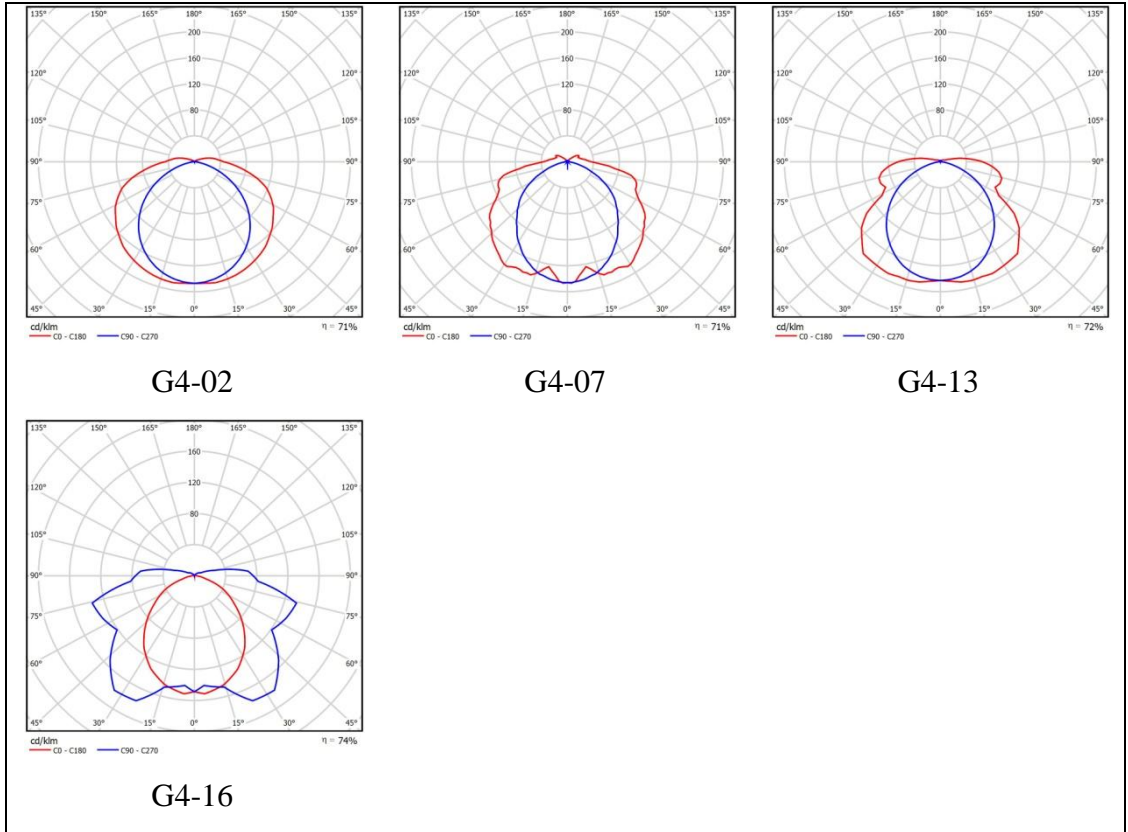
Şekil D.1: G1 hacimleri için elde edilen armatüre ait ışık dağılım eğrileri



Şekil D.2: G2 hacimleri için elde edilen armatüre ait ışık dağılım eğrileri



Şekil D.3: G3 hacimleri için elde edilen armatüre ait ışık dağılım eğrileri



Şekil D.4: G4 hacimleri için elde edilen armatüre ait ışık dağılım eğrileri

ÖZGEÇMİŞ



- Ad Soyad:** Emre Erkin
- Doğum Yeri ve Tarihi:** İzmir, 19.07. 1977
- Adres:** İTÜ Enerji Enstitüsü, Maslak - İstanbul
- E-Posta:** erkinem@itu.edu.tr
- Lisans:** İTÜ Elektrik Mühendisliği Programı
- Yüksek Lisans:** İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı
- Mesleki Deneyim:** Aydınlatma Tasarım Mühendisi, Siteco, 1999 - 2001
Araştırma Görevlisi, İTÜ Enerji Enstitüsü, 2003 - halen

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- **E. Erkin**, A. Smola, D. Gasparovsky, P. Janiga, “Energy Performance of Buildings and Lighting: Problems and Solutions, Lux Junior 2009, 25-27 Eylül 2009, Ilmenau, Germany.
- D. Gasparovsky, **E. Erkin**, “Software Support Tool for Lighting Energy Calculation in the Framework of Energy Performance of Buildings”, Light 2009, 21-23 Ekim 2009, Jasna, Slovakia.
- **E. Erkin**, S. Onaygil, D. Gasparovsky “Implementation of EPBD in the Field of Lighting in Accordance with National Conditions”, Lighting Quality and Energy Efficiency, March 14-17, 2010, Wien, Austria.
- H. Aksakal, **E. Erkin**, S. Onaygil, “Kontrol Sistemlerinin Aydınlatma Enerji Performansına Etkisi”, 8.Ulusal Aydınlatma Kongresi, 14-15 Nisan 2011, İstanbul.
- **E. Erkin**, S. Onaygil, D. Gasparovsky, “Binalarda Aydınlatma Enerji Performansı Belirleme Süreci, Karşılaşılabilecek Sorunlar Ve Çözüm Önerileri”, 8.Ulusal Aydınlatma Kongresi, 14-15 Nisan 2011, İstanbul.
- D. Gasparovsky, **E. Erkin**, S. Onaygil, A. Smola, “A critical analysis of the methodology for calculation of Lighting Energy Numerical Indicator (LENI)”, First International Conference on Lighting in Engineering, Architecture and the Environment, 17-19 Mayıs 2011, Poznan.
- **E. Erkin**, S. Onaygil, “A LENI Based Methodology to Estimate Lighting Energy Savings in the Office Buildings”, BalkanLight2012, 3-6 October 2012, Belgrad.

