

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

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA MİMARİ AYDINLATMA VE BİR
ÖRNEKLEME**

ÇAĞLAR YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI FİZİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. MÜJGAN ŞEREFHANOĞLU SÖZEN**

İSTANBUL, 2016

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

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA MİMARİ AYDINLATMA VE BİR
ÖRNEKLEME**

ÇAĞLAR YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI FİZİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. MÜJGAN ŞEREFHANOĞLU SÖZEN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA MİMARİ AYDINLATMA VE BİR
ÖRNEKLEME**

Çağlar YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 29.11.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Rengin ÜNVER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL

Esenyurt Üniversitesi

ÖNSÖZ

Beni mimari aydınlatma ile tanıştıran, mimarlık öğrenim hayatım ve yüksek lisans tez çalışmam süresince değerli bilgi ve görüşlerini büyük bir özveriyle paylaşan ve desteğini asla esirgemeyen, mesleki kariyerimde bulunduğum noktaya gelmemde büyük emeği olan danışman hocam Sayın Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Kendisinin öğrencisi olmanın ayrıcalığını ve gururunu her daim yaşamaktayım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarına sabırla ve ilgiyle yardımcı olan Yapı Fiziği Bilim Dalı Hocalarıma, Sayın Prof. Dr. Rengin ÜNVER'e ve Prof. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL'e,

Çalışmalarımda her zaman bana destek veren Doç. Dr. Aslı ÖZÇEVİK ve Arş. Gör. Dr. Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN'a,

Tezimin her aşamasında beni motive eden ve örnek çalışma kısmında bilgilerini benimle paylaşan Y. Mimar Burcu Çiğdem YILMAZ'a ve Öğr. Gör. Hatice SADIKOĞLU'na,

Anlayış ve desteği için yöneticim Saner KIRIK'a,

Değerli iş arkadaşlarım Dr. Mimar Tuba BOSTANCI BASKAN ve Dilara GÜRKAN'a,

Hayatımın her aşamasında hep arkamda olan Aileme,

Ve yanımda olduğu için Sevgili Taner'e

Sonsuz teşekkür ederim.

Kasım, 2011

Çağlar YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2	
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	5
2.1 Sürdürülebilirlik Bileşenleri.....	5
2.2 Sürdürülebilir Mimarlık.....	6
BÖLÜM 3	
SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ AYDINLATMA	10
3.1 Güneş ışığı ile Aydınlatma	11
3.2 Yapma Aydınlatma	13
3.2.1 Kent Aydınlatması.....	13
3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı	16
3.3.1 Güneş Enerjisi	17
3.3.2 Rüzgar Enerjisi	20
3.3.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları	21
3.4 Enerji Sertifikaları	23
BÖLÜM 4	
SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI İÇİ MİMARİ YAPMA AYDINLATMA	28
4.1 Aydınlık Düzeyinin Belirlenmesi	30

4.2	Lamba Seçimi.....	33
4.2.1	Akkor Lambalar	35
4.2.2	Akkor Halojen Lambalar	36
4.2.3	Flüoresan Lambalar	36
4.2.4	Kompakt Flüoresan Lambalar (KFL)	37
4.2.5	Yüksek Basıncılı Cıva Buharlı Lambalar	39
4.2.6	Metal Halide Lambalar (Metalik Halojenürlü Lambalar)	39
4.2.7	Sodyum Buharlı Lambalar.....	40
4.2.8	LED–OLED	43
4.2.9	Sürdürülebilirlik Açısından Lambaların İncelenmesi	46
4.3	Aygıt Seçimi	50
4.3.1	Aygıt Biçim Özellikleri	50
4.3.2	Aygıt Gereç Özellikleri	51
4.3.2.1	Sürdürülebilirlik Açısından Aygıt Gereçlerinin İncelenmesi ..	52
4.3.3	Aydınlatma Biçimleri	53
4.4	Aydınlığın Niteliğine Karar Verilmesi	55
4.4.1	Işık Rengi.....	56
4.4.2	Işığın Tayfsal Yapısı	57
4.4.3	Işığın Doğrultusal Yapısı.....	57
4.5	İç Yüzeylerin Yansıtma Çarpanlarına Karar Verilmesi.....	58
4.6	Bakım ve Temizlik	59
4.6.1	Lambaların Işık Veriminde Azalma	60
4.6.2	Aygıt Geriveriminde Azalma.....	60
4.6.3	İç Yüzeylerden Yansıyan Işık Oranında Azalma	61
4.7	Yakma Sistemlerinin Plan ve Programlanması	62
4.8	Bölgesel Aydınlatma Düzenlerinin Kurulması	68
4.9	Güneşışığından Yararlanma	69

BÖLÜM 5

AYDINLATMADA ETKİN ENERJİ KULLANIMI BİR DERSLİK ÖRNEĞİ	79
5.1 Etkin Enerji Kullanımlı Aydınlatma Düzenleri Oluşturulması	79
5.1.1 Lamba Verimlerinin Karşılaştırılması	80
5.1.2 Aygıt Geriverimlerinin Karşılaştırılması	86
5.1.3 İç Yüzey Yansıtma Çarpanlarının Karşılaştırılması	93
5.1.4 Geleneksel Tip Optimum Aydınlatma LED’li Aydınlatma Düzeni.....	101
5.1.5 Güneşışığı ve Lamba Işığının Birlikte Düşünülmesi	103
5.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma	148

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	164

KISALTMA LİSTESİ

CIBSE	Chartered Institution of Buildign Services Engineers
CIE	Commission Internationale de L'éclairage
EPA	Environmental Protection Agency
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Yapı ekosistemindeki madde akışı.....	7
Şekil 2. 2	Yapı ekosistemindeki sürdürülebilir madde akışı.....	8
Şekil 2. 3	Yapı yaşam döngüsü.....	8
Şekil 2. 4	Sürdürülebilir yapı yaşam döngüsü.....	8
Şekil 3. 1	Aydınlatmanın kullanım alanına göre dağılımı.....	10
Şekil 3. 2	PV sistemlerin toplu uygulamasına bir örnek (PV tarlaları)	19
Şekil 3. 3	Yapı kabuğunda PV sistem uygulamasına örnek.....	19
Şekil 3. 4	Aydınlatma aygıtıyla bütünleşik PV sistem uygulamasına örnek.....	20
Şekil 4. 1	Yapı içi yapma sürdürülebilir mimari aydınlatma akış şeması	29
Şekil 4. 2	Aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı ilişkisi – Kruithof yasası	33
Şekil 4. 3	Lamba enerji etiket örneği	34
Şekil 4. 4	Akkor lamba tiplerine örnek	35
Şekil 4. 5	Akkor Halojen lamba tiplerine örnek	36
Şekil 4. 6	Flüoresan lamba tiplerine örnek	37
Şekil 4. 7	Kompakt Flüoresan lamba tiplerine örnek.....	38
Şekil 4. 8	Yüksek Basıncılı Cıva Buharlı lamba tiplerine örnek	39
Şekil 4. 9	Metal Halide lamba tiplerine örnek	40
Şekil 4. 10	Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı lamba tipine örnek.....	40
Şekil 4. 11	Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı lamba tiplerine örnek.....	41
Şekil 4. 12	Tipik bir LED.....	43
Şekil 4. 13	LED’li aygıtlara örnek	44
Şekil 4. 14	LED’li bir aygıt yüzeyine örnek	44
Şekil 4. 15	LED’lerde sıcaklık-ışık rengi değişimi.....	45
Şekil 4. 16	OLED Yapısı.....	45
Şekil 4. 17	Akkor lamba ve KFL cıva yayımı karşılaştırması	48
Şekil 4. 18	KFL ile balık arasındaki cıva miktarı karşılaştırması	49
Şekil 4. 19	Elle denetim senaryolarına örnek	63
Şekil 4. 20	Görüşme sırasındaki aydınlık düzeyi.....	65
Şekil 4. 21	Öğle yemeği	65
Şekil 4. 22	Çalışma sırasındaki aydınlık düzeyi	65
Şekil 4. 23	Otomatik denetim senaryolarına örnek	66
Şekil 4. 24	Otomatik denetleme sistemleri zamanlayıcı senaryolarına örnek.....	66

Şekil 4. 25	Farklı kapsamlı denetim cihazlarının aydınlatma düzeni büyüklüğüne göre seçilmesi	67
Şekil 4. 26	Denetim cihazları kullanım alanları.....	68
Şekil 4. 27	Bölgelik aydınlatmaya bağlı genel aydınlatma aydınlık düzeyi aralıkları ...	69
Şekil 4. 28	Güneş ışığı aydınlığındaki azalma	70
Şekil 4. 29	Bir eğitim yapısına ait kesitte doğal aydınlatma tasarımı	71
Şekil 4. 30	Güneş ışığından yararlanma	71
Şekil 4. 31	Güneşin istenmeyen ısıtıcı etkisinden korunma	72
Şekil 4. 32	Güneş ışığından yararlanma	72
Şekil 4. 33	Dış ortamla görsel temas	74
Şekil 4. 34	Işık tüpleri kullanımına örnek.....	74
Şekil 4. 35	1.Durum yalnız yapma aydınlatma	75
Şekil 4. 36	2.Durum 21 Haziran saat 09.00 güneş ışığı + yapma aydınlatma	75
Şekil 4. 37	3.Durum 21 Haziran saat 12.00 güneş ışığı + yapma aydınlatma	76
Şekil 5. 1	Tip derslik hacmi plan ve kesiti	79
Şekil 5. 2	Uygulamada kullanılan aygıt	80
Şekil 5. 3	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	81
Şekil 5. 4	Çalışma düzleminde oluşan gri skala.....	82
Şekil 5. 5	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	83
Şekil 5. 6	Çalışma düzleminde oluşan gri skala.....	83
Şekil 5. 7	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	84
Şekil 5. 8	Çalışma düzleminde oluşan gri skala.....	85
Şekil 5. 9	Uygulama için seçilen aygıt tipleri.....	87
Şekil 5. 10	Uygulama için seçilen aygıtlara ait ışık yeğirlik eğrileri	87
Şekil 5. 11	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	88
Şekil 5. 12	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	88
Şekil 5. 13	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	89
Şekil 5. 14	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	90
Şekil 5. 15	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	91
Şekil 5. 16	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	91
Şekil 5. 17	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	94
Şekil 5. 18	Çalışma düzlemindeki oluşan gri skala.....	94
Şekil 5. 19	Durum 2 için kurulan aydınlatma düzeni	95
Şekil 5. 20	Durum 2 için çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	96
Şekil 5. 21	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	97
Şekil 5. 22	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	97
Şekil 5. 23	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	99
Şekil 5. 24	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	100
Şekil 5. 25	LED'li aygıt tipi ve ışık yeğirlik eğrisi	101
Şekil 5. 26	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	102
Şekil 5. 27	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	102
Şekil 5. 28	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	105
Şekil 5. 29	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	105
Şekil 5. 30	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	106
Şekil 5. 31	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	107
Şekil 5. 32	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	108
Şekil 5. 33	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	108

Şekil 5. 31	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	109
Şekil 5. 32	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	110
Şekil 5. 36	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	111
Şekil 5. 37	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	111
Şekil 5. 38	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	112
Şekil 5. 39	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	113
Şekil 5. 40	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	114
Şekil 5. 41	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	114
Şekil 5. 42	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	115
Şekil 5. 43	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	116
Şekil 5. 44	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	117
Şekil 5. 45	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	117
Şekil 5. 46	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	118
Şekil 5. 47	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	119
Şekil 5. 48	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	120
Şekil 5. 49	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	120
Şekil 5. 50	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	121
Şekil 5. 51	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	122
Şekil 5. 52	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	123
Şekil 5. 53	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	123
Şekil 5. 54	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	124
Şekil 5. 55	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	125
Şekil 5. 56	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	126
Şekil 5. 57	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	126
Şekil 5. 58	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	127
Şekil 5. 59	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	128
Şekil 5. 60	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	129
Şekil 5. 61	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	129
Şekil 5. 62	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	130
Şekil 5. 63	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	131
Şekil 5. 64	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	132
Şekil 5. 65	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	132
Şekil 5. 66	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	133
Şekil 5. 67	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	134
Şekil 5. 68	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	135
Şekil 5. 69	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	135
Şekil 5. 70	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	136
Şekil 5. 71	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	137
Şekil 5. 72	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	138
Şekil 5. 73	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	138
Şekil 5. 74	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	139
Şekil 5. 75	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	140
Şekil 5. 76	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	141
Şekil 5. 77	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	141
Şekil 5. 78	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	142
Şekil 5. 79	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	143
Şekil 5. 80	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	144

Şekil 5. 81	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	144
Şekil 5. 82	Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri	145
Şekil 5. 83	Çalışma düzleminde oluşan gri skala	146
Şekil 5. 84	21 Haziran saat 12.00 için güneş ışınlarının derslik hacmine geliş açısı ..	149
Şekil 5. 85	21 Haziran saat 12.00 için güneş kıran tasarımı	149
Şekil 5. 86	Mevcut durumda çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi dağılımı	150
Şekil 5. 87	Güneş kıran ile birlikte çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi dağılımı ...	151
Şekil 5. 88	Güneş kıran üst yüzeyindeki PV panel yerleşimi	152



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Sürdürülebilirlik kavramının ana bileşenleri	5
Çizelge 4. 1	CIE Rapor no:29'a göre aydınlık düzeyi değerleri	31
Çizelge 4. 2	CIBSE İç mekan aydınlatması, 1994'e göre aydınlık düzeyi değerleri	31
Çizelge 4. 3	IESNA'ya göre aydınlık düzeyi değerleri	31
Çizelge 4. 4	Aydınlık düzeyi ile ışık kaynağının renk izlenimi arasındaki genel ilişki	32
Çizelge 4. 5	Akkor lambaların Avrupa Birliği'nde yasaklanmasına ilişkin zaman çizelgesi.....	35
Çizelge 4. 6	Akkor halojen ve kompakt flüoresan lambaların güçlerinin karşılaştırılması.....	38
Çizelge 4. 7	Lambaların Teknik Özellikleri	42
Çizelge 4. 8	Lambaların sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılması	46
Çizelge 4. 9	Tehlikeli atık içeren lamba bileşenleri.....	47
Çizelge 4. 10	Akkor lamba ve KFL cıva yayımı karşılaştırması	48
Çizelge 4. 11	Bazı yüzey, boya ve malzemelere ait yansıtma çarpanı değerleri	52
Çizelge 4. 12	Aydınlatma biçimi ve geriverimi verilen aygıt tipleri	54
Çizelge 4. 13	Kimi ışık kaynaklarının K cinsinden renk sıcaklık dereceleri	57
Çizelge 4. 14	Değişik yüzeylerin yansıtma çarpanlarına örnekler	58
Çizelge 4. 15	Aygıt türü ve zaman içerisindeki bakıma bağlı aygıt geriverimleri	61
Çizelge 4. 16	Farklı durumlarda iç yüzeylerden yansıyan ışık oranlarına bağlı değişimler	62
Çizelge 4. 17	Güneşten yararlanmaya yönelik tasarım örnekleri	73
Çizelge 5. 1	Uygulama için seçilen lamba özellikleri.....	80
Çizelge 5. 2	L1 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	81
Çizelge 5. 3	L2 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	82
Çizelge 5. 4	L3 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	84
Çizelge 5. 5	Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması.....	85
Çizelge 5. 6	Uygulama için seçilen aygıt ve lamba özellikleri	86
Çizelge 5. 7	A1 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	87
Çizelge 5. 8	A2 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	89

Çizelge 5. 9	A3 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı.....	90
Çizelge 5. 10	Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması.....	92
Çizelge 5. 11	Uygulamada karşılaştırılan durumlar	93
Çizelge 5. 12	Durum 1 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı	93
Çizelge 5. 13	Durum 2 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı	95
Çizelge 5. 14	Durum 3 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı	96
Çizelge 5. 15	Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması.....	98
Çizelge 5. 16	Durum 4 için kurulan aydınlatma düzenine ait etkenler	99
Çizelge 5. 17	Durum 4 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı	99
Çizelge 5. 18	Etkin enerji kullanımlı aydınlatma düzenine ait özellikler	100
Çizelge 5. 19	Uygulama için seçilen aygıt özellikleri.....	101
Çizelge 5. 20	LED’li durum için yapılan aydınlık düzeyi hesabı	101
Çizelge 5. 21	LED’li aydınlatma düzenine ait özellikler	103
Çizelge 5. 22	Hesaplamaların yapıldığı gün ve saatler	104
Çizelge 5. 23	Uygulama 1 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	104
Çizelge 5. 24	Uygulama 1 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı ...	106
Çizelge 5. 25	Uygulama 2 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	107
Çizelge 5. 26	Uygulama 2 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı ...	109
Çizelge 5. 27	Uygulama 3 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	110
Çizelge 5. 28	Uygulama 3 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı....	112
Çizelge 5. 29	Uygulama 4 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	113
Çizelge 5. 30	Uygulama 5 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	115
Çizelge 5. 31	Uygulama 5 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	116
Çizelge 5. 32	Uygulama 6 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	118
Çizelge 5. 33	Uygulama 7 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	119
Çizelge 5. 34	Uygulama 7 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı ...	121
Çizelge 5. 35	Uygulama 8 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	122
Çizelge 5. 36	Uygulama 8 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı ...	124
Çizelge 5. 37	Uygulama 9 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	125
Çizelge 5. 38	Uygulama 9 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı ...	127
Çizelge 5. 39	Uygulama 10 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	128
Çizelge 5. 40	Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı .	130
Çizelge 5. 41	Uygulama 11 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	131
Çizelge 5. 42	Uygulama 12 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	133

Çizelge 5. 43	Uygulama 13 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	134
Çizelge 5. 44	Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı..	136
Çizelge 5. 45	Uygulama 14 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	137
Çizelge 5. 46	Uygulama 15 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	139
Çizelge 5. 47	Uygulama 16 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	140
Çizelge 5. 48	Uygulama 17 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	142
Çizelge 5. 49	Uygulama 18 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı.....	143
Çizelge 5. 50	Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı..	145
Çizelge 5. 51	Kapalı ve açık gök koşullarındaki değerlendirmeler.....	147
Çizelge 5. 52	PV Paneller ile elde edilen elektrik enerjisinin aylık dağılımı.....	152
Çizelge 5. 53	Kuzey Amerika’da bulunmayan ülkeler için elektrik ve ısı üretimine bağlı karbondioksit yayımı katsayıları	154

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA MİMARİ AYDINLATMA VE BİR ÖRNEKLEME

Çağlar YILMAZ

Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

‘Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimari Aydınlatma ve Bir Örneklem’ konulu tez çalışması kapsamında, sürdürülebilirlik tanımlarına genel olarak yer verilerek mimari açıdan önemi vurgulanmış, mimari aydınlatma konularına değinilerek yapı içi mimari yapma aydınlatma bu açıdan ayrıntılı olarak ele alınmış, enerji kaynakları ve tüketimi, canlıların fiziksel ve psikolojik sağlığı, doğanın korunumu gibi etkenler göz önünde bulundurularak detaylı olarak incelenmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, kısaca literatür araştırmalarına yönelik bilgiler verilmiş ve tezin amacı açıklanmıştır. İkinci bölümde, farklı kaynaklardan alınan sürdürülebilirlik tanımlarının ardından, sürdürülebilirlik bileşenleriyle ilgili açıklamalar yapılarak, sürdürülebilir mimarlığın oluşturulmasındaki etkenler sıralanmış ve tüm bu konuların hedeflediği ana ilkelerden bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, mimari aydınlatmanın sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesine geçilmiş, günışığı ile aydınlatma ve yapma aydınlatma olarak iki ana başlık altında ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, yapı içi yapma aydınlatma konusu, aydınlık düzeyi belirlenmesi, uygun lamba ve aygıt seçimi, aydınlığın niteliği, iç yüzey özellikleri, bakım ve temizlik, yakma sistemleri, bölgesel aydınlatma ve günışığı ile lamba ışığının birlikte düşünülmesi gibi başlıklar altında detaylı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise tez kapsamında yapılan araştırmalar ve incelemeler doğrultusunda elde edilen bilgileri, örnek bir çalışma oluşturarak somut verilerle deneyimlemek için, bir örnek derslik hacmi ele alınmıştır. Bu hacimde, aydınlık düzeyi, lamba, aygıt, iç yüzey yansıtma çarpanları seçimi ve günışığı ile lamba ışığının birlikte kullanımı etmenleri ile farklı uygulamalar gerçekleştirilmiş ve bilgisayar programlarından yararlanılarak

hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda, her farklı uygulama için elde edilen veriler, enerji tüketimi, aydınlığın nicelik ve niteliği, CO₂ salımı, lamba ve aygıt atıkları gibi konular açısından yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir mimarlık, enerji etkin tasarım, mimari aydınlatma, yapma aydınlatma.



ABSTRACT

SUSTAINABLE ARCHITECTURAL LIGHTING DESIGN AND A CASE STUDY

Çağlar YILMAZ

Department of Architecture
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

In this thesis, with the title of “Sustainable Architectural Lighting Design and a Case Study”, the general definition of sustainability is explained to emphasize its importance in architecture. By mentioning the subject of architectural lighting, artificial lighting in building is examined in detail by taking the followings into consideration, energy sources and their consumption, physical and psychological health of living things and protecting the environment.

In the first part of the thesis, the aim of the thesis is explained briefly and information about literature survey is given. For the second part, sustainability is defined by using different sources. Components of sustainability are explained in order to specify the factors which participate in the formation of sustainable architecture and also the main aspects of these topics are explained.

In the third chapter, architectural lighting is analyzed by taking sustainability concept into consideration under two main topics, which are daylight and artificial lighting. In the fourth part, artificial indoor lighting is defined with the following subtitles in detail, lighting level determination, suitable lamp and luminaire choices, quality of lighting, interior properties, maintenance and cleaning, lighting up systems, regional lighting considering daylight and artificial lighting together.

In the fifth chapter, a sample classroom volume is taken in order to support the information acquired via research and analyses carried out in the content of the thesis so that the study is supported with tangible data. Within the classroom volume, several applications are performed with respect to the following factors: lighting level, lamp, luminaire, choice of interior reflectance values, applications of daylight and artificial light simultaneously. Additionally, calculations are carried out by using computer

software. As a result of the study, results obtained from each different application are interpreted in terms of energy consumption, quantity and quality of lighting, CO₂ emission, and lamp and luminaire wastes.

Key words: Sustainable architecture, energy efficient design, architectural lighting design, artificial lighting.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Sürdürülebilirlik ve mimarlık kavramları, gün geçtikçe artan insan veya insan yapımı kaynaklı sorunları içeren, doğal, ekonomik, sosyal ve kültürel çevrenin korunumunu ve gelişimini yakından ilgilendiren, günümüz ve gelecek nesillerin yaşam kalitesini de içine alan konulardır. Bir yapıdan, yapı gruplarına ve kentsel yapılaşmaya kadar olan tüm oluşumlarda çevreyi, fauna ve florası bozulmayacak şekilde biçimlendirmek, uzun vadeli düşünceler geliştirerek zarar görmüşün aksine iyileştirilmiş olarak tüm doğal kaynaklarıyla beraber geleceğe aktarmak, sürdürülebilirliğin temel amacını oluşturur. Mimarlığın her alanında birçok açıdan ele alınan sürdürülebilir tasarım etkenleri, bir yapının;

- Tasarım
- Uygulama
- Kullanım
- Yok olma

aşamalarını kapsayarak her aşamada en az enerji tüketimi ve doğaya verilecek en az zararlar, insanlar ve diğer canlı varlıkların en iyi yaşam koşullarına sahip olmasını kapsar. Mimarlığın yapı fiziği konularından olan günışığının var olmadığı ya da yeterli olmadığı durumlarda görsel algılamının sağlanmasını, çeşitli etkinlikleri gerçekleştirmeyi, kent silüetini tanımlamayı ve kimlik oluşturmayı sağlayan aydınlatma ise, sürdürülebilirlik bağlamında düşünülmesi, iyi analiz edilmesi ve programlanması gereken bir konudur.

Tüm canlıların psikolojik ve fizyolojik açıdan gereksinim duydukları fizik ortamı sağlamaya yardımcı konulardan biri olan aydınlatma, ekonomik açıdan enerji kullanımında önemli rolü olan, insanları sosyal ve kültürel olarak özellikle hava karardığında bir arada tutan, güvenlik hissi veren bir olgudur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir mimari aydınlatma konularının genel olarak değerlendirilmesi, yapı içi mimari yapma aydınlatmanın bu bağlamda detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, ışığın nicelik ve niteliği, lamba, aygıt ve iç yüzeylerin özellikleri, bakım ve temizliği, yakma sistemlerinin programlaması, günışığı ile yapma aydınlatmanın bir arada kullanıldığı bütünleşik sistemlerin incelenmesi gibi konular ele alınarak, enerji tüketiminin azaltılması, görsel konforun sağlanması, insan ve doğadaki diğer canlılarda aydınlatmaya bağlı olarak oluşabilecek psikolojik ve fizyolojik rahatsızlıkların ortadan kaldırılması, fazladan enerji tüketimi ile çevreye yayılan CO₂ miktarının en aza indirgenmesi, lamba ve aygıt atıklarının geridönüşümünün yapılması gibi etmenler üzerinde durulması hedeflenmiştir.

1.3 Orjinal Katkı

Yapılan araştırmalar ve incelemeler sonucunda elde edilen bilgilere bağlı olarak ise, tez kapsamında ele alınan konuların bir örnekleme ile birlikte farklı uygulamalar halinde incelenmesi ve ortaya çıkan somut verilerin değerlendirilerek yorumlanması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik, 17.yy ve 19.yy'lar arasında yaşanan Batı Sanayi Devrimi'ndeki enerji kullanım fazlalığı ve devamında yaşanan aşırı nüfus artışından itibaren, endüstriyel, teknolojik ve bilimsel alanlarda büyümelerle gündeme gelen, 20.yy sonlarına doğru hakkında çok konuşulan bir kavram olmuştur. Enerji kaynaklarının giderek azalması, kirlетici enerji kaynaklarının yoğun kullanımı ile ortaya çıkan zararlı atıklar, doğal yaşamın insan kullanımı ile dengesinin bozulması, yeşil dokunun hasar görmesi ve dolayısıyla yaşam kalitesinin düşmesi gibi konularda sürdürülebilirlik hem günümüz hem de gelecek için planlanan bir çözüm arayışdır.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na (1987) göre "Sürdürülebilirlik, bugünün gereksinimlerinin, gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini giderme yetisini tehlikeye atmadan karşılama becerisidir."

Sürdürülebilirlik kavramının temelleri II.Dünya Savaşı sonrası dönemine kadar uzanmaktadır. 1960'lı yıllarda çevresel örgüt hareketleriyle 'çevreyi koruma ve kalkınma' adına başlatılan çalışmalar, 1968 yılında kimi bilim adamları ve ekonomistin bir araya gelmesiyle oluşan Roma Kulübü adlı derneğin çalışmaları sonucu 1972 yılında yayınladıkları 'Büyümenin Sınırları' adlı kitap ile de daha büyük kitlelere ulaşmıştır. 1987'de Ortak Geleceğimiz raporu ve 1992'de Gündem 21 belgesiyle uzun yıllardır tartışılan çevre ve beraberinde toplumsal ve küresel kalkınmayı da içeren konular 'Sürdürülebilir Kalkınma' kavramı içinde birleştirilerek kullanılmıştır.

Zaman içerisinde sürdürülebilir kalkınma üzerine farklı tanımlamalar getirilmiş, ancak temel ilkeler aynı kalmıştır. Bunlar, gelecek kuşakların dikkate alınması, çevrenin korunması, adalet ve eşitlik, yaşam niteliği ve katılımdır [1].

Sürdürülebilir kalkınmanın başlıca eylem alanları çevre, ekonomi, yönetsel-kurumsal yapılanma ve sosyal değerlerdir. Çeşitli uygulamalar sonucu ortaya çıkan anlayışla sürdürülebilir kalkınmanın ilkeleri olarak,

- Yaşanabilirlik,
- Yaşam Niteliği,
- Adalet,
- Bütünleşme,
- Sorumluluk,
- Katılma ve Yetkilendirme gibi etkenler, koşulları olarak ise,
- Demokrasi – Katılımcılık,
- Geleceğe yönelik görüş,
- Tutarlılık – Kararlılık,
- Önceliklerin Belirlenmesi,
- Sosyal ve Ekonomik Maliyetlerin Ortak Paylaşımı,
- Eğitim ve Duyarlılık,
- İş birliği,
- Nicelik yerine niteliğe önem verilmesi

gibi konular genel kabul görmektedir [2].

Sürdürülebilir kalkınmanın geniş tanımı: Kaynakların tüketimi ve oluşan atıkların tümünü kapsayan tüm çevresel olumsuzlukların en aza indirilmesi anlamında ‘çevresel sürdürülebilirlik’, doğal kaynakların korunarak geliştirilmesi anlamında ‘ekolojik sürdürülebilirlik’, maliyetlerin kabul edilebilir, toplumun tüm sektörlerine hizmet edebilen anlamında ‘ekonomik sürdürülebilirlik’ ve toplumların özelliklerine ve kapasitelerine uygun, yapılabilir, katılımcı plan ve programlarla ‘toplumsal sürdürülebilirliğin’ birbirlerini tamamlayıcı olduklarını kabul eden anlayıştır. Bu anlamda

sürdürülebilir kalkınma, varılması hedeflenen kesin hedeften çok, amaçlara ulaşmak için dinamik dengelerin yer aldığı sürekli bir süreç olarak algılanmalıdır [3] [4].

Sürdürülebilir kalkınma, çevreyi koruma kavramından daha kapsamlı olarak ele alınır. Bu kavram, gelecek kuşakları ve uzun dönemli kalkınmayı içermekte, yaşam niteliğinin geliştirilmesi, kuşaklar arası adalet ve insan refahının sosyal ve etik boyutlarını da kapsamaktadır. Sürdürülebilir kalkınma, çevre sorunlarıyla da sınırlandırılmış bir kavram değildir. Temel anlayışı, doğal kaynakların insan refahı ve yaşam koşullarının daha fazla iyileştirilmesi amacıyla kullanılırken, gelecek nesillerin de gereksinimlerinin gözetilmesidir [5].

2.1 Sürdürülebilirlik Bileşenleri

Sürdürülebilirlikte aşama kaydedilmesi farklı bileşenlere bağlıdır (Çizelge 2.1). Çevresel, ekonomik ve sosyal olarak üç ana başlık altında toplanabilecek bu bileşenlerin her biri için uygulanması gerekli çözümler sonucunda gerçek anlamda fayda sağlanmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranılması ile sağlanırken, öte yandan doğal enerjinin verimli kullanımı sonucuyla ülke ekonomisini geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu şekilde ortaya çıkan ekonomideki kalkınma da sürdürülebilir ekonomi kavramını gerçekleştirirken, çevreye duyarlı bir yaklaşımla yaşayan toplumdaki bireyler daha sağlıklı ve bilinçli olmaktadır. Sağlıklı toplumların ekonomik açıdan refah içinde yaşantısı da sosyal sürdürülebilirlik olarak adlandırılmaktadır[6].

Çizelge 2. 1 Sürdürülebilirlik kavramının ana bileşenleri [6]

Çevresel Bileşenler	Ekonomik Bileşenler	Sosyal Bileşenler
• Atmosfer • Toprak • Okyanuslar ve denizler • Su • Biyoçeşitlilik	• Ekonomik yapılar • Üretim ve tüketim kalıpları	• Eğitim • Sağlık • Eşitlik • Güvenlik • Nüfus • Barınma

2.2 Sürdürülebilir Mimarlık

Dünya ölçeğinde yüzeysel olarak bakıldığında korunması gerekli çevresel kaynaklar okyanuslar, temiz su kaynakları, yeryüzü ve atmosfer olarak sıralanabilir. Ancak sürdürülebilirlik kavramında bu temalar kolaylıkla her ekosistem için ölçeklendirilebilir. Bir yağmur ormanından bir konutun kış bahçesine kadar her türlü mekan için farklı düşünülmesi gerekli sorun ve çözüm önerileri vardır.

Mimarlık alanında ise bir konut iç mekanı ile kentsel ölçekte bir proje aralığında pek çok değişik konuda sürdürülebilirlik irdelenmeli ve gerekli uygulamalar yerine getirilmelidir. İnsanların yaşamlarını sürdürebilmesine imkan tanıyan yapılarla aynı zamanda estetik ve kullanışlılık ilkelerini barındıran mimarlık mesleğinde, gelecek nesillere aktarılabilecek en az zarar en kıymetli arayış olmuştur. Bir yapının başlangıcından bitimine kadar olan sürede kullanılan enerji, çevrede oluşturduğu hasar, iş gücü, malzeme kullanımı ve geri dönüşümü gibi konuların yanı sıra, yapının kullanım aşamasında da harcanacak enerji ve ortaya çıkacak zararlı maddeler bir o kadar önemlidir. Bu aşamada yapı alanı ölçeğinden yapı ölçeğine ve iç mekan kullanımına kadar uygulanacak detaylara dikkat edilmelidir.

Doğal kaynakların kullanımını azaltmak için bağımlılığı ve kaynak tüketimini en aza indirmeyi amaçlayan mimari tasarım yaklaşımı olarak tanımlanan sürdürülebilir mimarlığın amacı, çevresine duyarlı, az enerji tüketen, çevre üzerinde en az olumsuz etkiye sahip, kullanıcılarına sağlıklı iç ortamlar sunan ve konfor koşullarını en uygun düzeyde sağlayan yapıların tasarlanmasıdır [7][8].

Yeryüzünden çıkarılan malzemelerin yaklaşık %50'sinin yapı sektöründe kullanıldığı ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde, toplam enerji kullanımının %40'tan fazlasının, CO₂ emisyonunun %30'unun ve sentetik atıkların %40'ının yapı sektöründen kaynaklandığı göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir yapı bağlamında bazı etkenlere dikkat edilmesi gerektiği açıktır. Bunlar:

- Kaynakların etkin kullanılması,
- Esnek ve değişen koşullara uyum sağlayabilen uzun ömürlü yapı tasarlanması,
- Temiz su kaynaklarının korunması,
- Zararlı ve tehlikeli maddelerin kullanımının ortadan kaldırılması ya da sınırlandırılması,

- Atıkların azaltılması,
- Yenilebilir ve geri dönüşümlü malzeme kullanılması,
- Sağlıklı iç mekan hava kalitesinin sağlanması,
- Biyolojik çeşitliliğin korunması

olarak sıralanabilir [9] [10]. Sürdürülebilir mimarlık, yeşil mimarlık veya ekolojik tasarım gibi başlıklarla görülebilecek tüm kavramların ilke ve hedeflerini ortak olarak kapsayan:

- Enerji kaynakları
- Yaşam döngüsü
- İnsan

konularıdır [11].

Enerji, su ve malzeme kullanımının en aza indirilmesi, kaynakların yeniden kullanımının ve malzeme geri dönüşümünün detaylı olarak düşünülmesi büyük önem taşır. Enerji tüketiminin çevrede yarattığı hasarın büyüklüğü yapıda kullanılan enerjinin tipine bağlıdır. Geleneksel (fosil) kaynaklarla enerji ihtiyacını karşılayan bir sistemin sonucunda, SO₂, CO₂, CO ve NO gibi gazların atmosfere salınması söz konusudur. Bunun yanı sıra nükleer kaynaklar nükleer atıklar oluştururken, su kaynaklarının kullanılabilmesi için yapılan barajlar göl veya nehir ekosisteminde kalıcı hasarlar meydana getirebilir. Yapı ölçeğinde bakıldığında ise kullanılan enerji kaynakları veya malzemelerin yapıya katılım ve yapıdan atılım halleri arasında farklar bulunur (Şekil 2.1). Bu farklara dikkat edilerek kimilerinin değerlendirilmesi ve sınırlandırılması çevrenin ve kaynakların korunumu açısından önem taşır (Şekil 2.2).

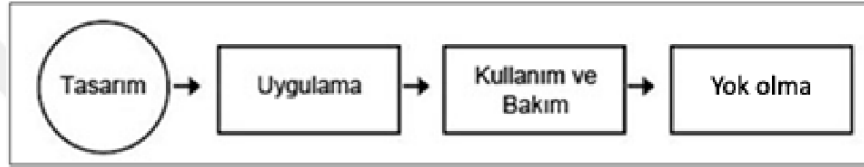


Şekil 2. 1 Yapı ekosistemindeki madde akışı [11]



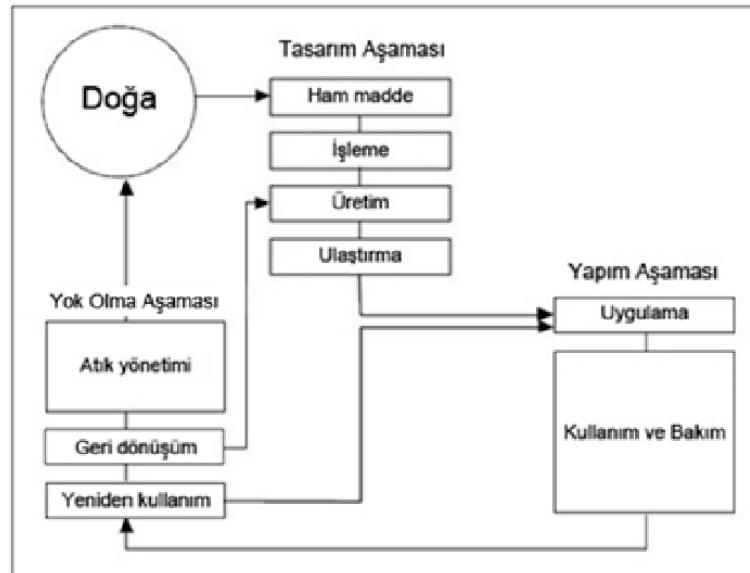
Şekil 2. 2 Yapı ekosistemindeki sürdürülebilir madde akışı [11]

Yapı yaşam döngüsü bir yapının ya da yapı grubunun tasarım, yapım, kullanım ve yıkım aşamalarını kapsar. (Şekil 2.3). Bu aşamaların her birinde dikkat edilmesi gereken enerji, çevre ve insan faktörleri sürdürülebilir tasarımda büyük rol oynar.



Şekil 2. 3 Yapı yaşam döngüsü [11]

Sürdürülebilir bir yapının yaşam döngüsü analizinde bir yapı için doğadan elde edilen tüm gerekli malzemelerin yapının ömrünü tamamladığında çevreye zarar vermeyecek şekilde doğada geri dönüşü amaçlanır (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Sürdürülebilir yapı yaşam döngüsü [11]

İnsan, sürdürülebilir tasarımda kuşkusuz en önemli yere sahiptir. Tüm kaygıların başlangıcı ve sebebi insan, çözüm üreten ve ürettiği çözümlerle daha iyi yaşam koşulları içinde olması amaçlanan yine insandır. Modern toplumlarda insanların yaklaşık %90'ının iç mekanlarda yaşadığı düşünülürse bu mekanların güvenli ve konforlu olması, dolayısıyla üretimin artması amaçlanır. İnsanlığın görevlerinden olan sosyal, ekonomik ve kültürel çevrelerde çeşitliliği koruma, zenginleştirme ve gereksinimleri saptayarak karar verme yetisi, yaşam kalitesi ile doğru orantılı olarak gelişir [11].



SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ AYDINLATMA

İnsan yaşam döngüsü ve amaçları için kullanılan enerjiler farklı işlevler doğrultusunda tüketilirken bir kısmı da aydınlatma için kullanılmaktadır. Dünya elektrik enerjisinin yaklaşık %19 gibi bir bölümünü harcayan aydınlatmanın kullanım alanı, iş ve kamu yapıları başta olmak üzere sırasıyla konut ve sanayi yapıları ile dış aydınlatmadır[12]. Yüzdelere bakılacak olduğunda bu dağılım yaklaşık olarak iş ve kamu yapılarında %48, konutlarda %28, sanayide %16 ve dış aydınlatmada %8 olarak verilmektedir [13].



Şekil 3. 1 Aydınlatmanın kullanım alanına göre dağılımı [13]

Elektrik enerjisi kullanımındaki yoğun artışı önlemek, aydınlatma için harcanan bu enerjiyi en aza indirmek üzere 'Enerji Etkin Aydınlatma Tasarımı' kavramı günümüzde üzerinde önemle durulan bir konu haline gelmiştir. Bu kavram, işlev, kullanım süresi ve kullanıcı özelliklerine bağlı olarak aydınlığın nicelik ve niteliğinin belirlenmesi, lamba ve

aygıtların seçimi, denetleme sistemleri ve bölgesel aydınlatma düzenlerinin oluşturulması, iç mekanlarda yüzey yansıtıcılıklarının iyi belirlenmesi, düzgün bakım ve temizliklerin yapılması, günışığından en etkin biçimde yararlanılması gibi etmenleri barındırır.

‘Sürdürülebilir Aydınlatma’ kavramı ise, yukarıda bahsedilen etmenleri temel alan ancak enerji etkin aydınlatmaya kıyasla daha genel ve çevreci bir yaklaşım olarak ele alınır. Elektrik enerjisini en az kullanmaya yönelik çabaların yanı sıra;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,
- Görsel konforun en iyi şekilde sağlanması,
- Günışığı ile aydınlatmanın insan sağlığı açısından değerlendirilmesi,
- Yapma aydınlatma kullanımı sonucunda ortaya çıkan çevreye zararlı atıkların denetlenmesi (CO₂, cıva vb.),
- Lamba ve aygıt atıklarının geri dönüşümlerinin sağlanması,
- Işık kirliliğinin canlılar üzerindeki olumsuz etkilerinin göz önünde bulundurulması,

gibi birçok durum söz konusudur.

Bu bağlamda yapılarda mimari aydınlatma,

- Doğal,
- Yapma

olarak iki grupta incelenir. Her iki başlık için bazıları ortak olmak üzere sürdürülebilir tasarımı etkileyen bir çok etmen bulunmaktadır.

3.1 Günışığı ile Aydınlatma

Günışığı ile aydınlatma, yapı içinde aydınlığın istendiği hacmin, yapma aydınlatma bulunmaksızın yalnızca günışığı ile aydınlatılması ya da bir kısmının yapma aydınlatma ile desteklenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Günışığı yapıların dışında bir ışık olduğu için, bu ışıkla yapı içini aydınlatmada uygun yapı boşlukları belirlenir. Bu boşluklar düşey ya da eğimli cam yüzeyler (pencereler) ya da yatay veya eğimli tepe (çatı) ışıklıklarıdır.

Günüşığı;

- Günün saatine,
- Yılın gününe,
- Atmosfer koşullarına

göre sürekli değıştiğı için belli bir yöredeki yapı içinde elde edilen günüşığı aydınlık düzeyi de sürekli değışir. Dolayısıyla yapı dışında sürekli değışim gösteren günüşığı için, yapı içinde yararlanmak üzere, aydınlatma hesaplarında belirli kabuller yapılmaktadır [14].

Günüşığının sürekli değışiminin yanında, hacimlerde günüşığı ile elde edilen aydınlık düzeyi de değışik etkenler sebebiyle değışir. Bu etkilemede:

- Pencere boyutları,
- Pencerenin duvar içindeki yeri ve duvar kalınlıkları,
- Doğrama nitelikleri,
- Camın ışıık geçirme çarpanı,
- Yapının bulunduğu bölgeye ve cam yüzeylerinin eğimine göre camların kirlenme durumları,
- İç yüzeylerin ışığı yansıtma çarpanları,
- Yapı dışındaki engeller vb.

etmenler rol oynar. Bu etmenlerden, pencere boyutları, pencerenin konumu, doğrama niteliğı ve pencere boşluğunda kapladığı alan, iç yüzeylerin ışığı yansıtma çarpanları gibi konular tasarımcı tarafından denetlenebilirken, yapı dışında varolan engeller gibi bazı etkenler genellikle değıştirilemeyeceğı için, özellikle yeni tasarlanan yapı ve yerleşimlerde dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır [14].

Günüşığının yapı içinde kullanılması hem yapma aydınlatma kullanımının ve dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılması hem de günüşığının insan hormon ve sinir sistemi üzerindeki olumlu etkisi açısından oldukça önemlidir. Aydınlatmanın görünmeyen bu

etkileri biyolojik sistem, biyolojik saat, psikolojik durum ve algı mekanizması açısından önem taşır [15].

3.2 Yapma Aydınlatma

Belirli bir enerji tüketimi sonucunda ışık kaynaklarının etkinleştirilmesiyle oluşturulan yapma aydınlatmanın sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesinde kullanılan enerjinin türü (fosil yakıtlar, güneş ve rüzgar enerjisi, hidrolik, jeotermal ve nükleer enerji), tüketilen enerji miktarı ve bu esnada çevreye karışacak zararlı atıkların denetlenmesi, yapma aydınlatmayı sağlayan elemanların geri dönüşümünün sağlanması, ışık kirliliğinin önlenmesi gibi konulara dikkat edilmelidir. Yapma aydınlatma için belirlenmiş tasarım etkenleri yapma aydınlatmanın uygulanacağı alana göre farklılık gösterir.

Sürdürülebilirlik bağlamında yapma aydınlatma 'Yapı İçi Mimari Yapma Aydınlatma' olarak Bölüm 4'te detaylı olarak ele alınacaktır. Yapma aydınlatma konularından olan 'Kent Aydınlatması' ise içerdiği mimari aydınlatmalar açısından bu bağlamda değerlendirilmesi gereken bir başka konudur.

3.2.1 Kent Aydınlatması

Günüşiğinin, görme koşullarının sağlanması için yeterli olmadığı durumlarda kentin kullanımını olanaklı kılan kent aydınlatması, aynı zamanda kent kimliğini oluşturmaya yardımcı bir unsurdur. Kent aydınlatma, yön bulma ve çevre algılamayı güvenlik hissi veren alanlar oluşturarak sağlarken, insanların toplu olarak geliştirdikleri etkinliklerin veya zaman geçirdikleri sosyal ortamların geceleri de kullanılabilmesini olanaklı kılar.

Kent aydınlatma konuları, amaç ve aydınlatma tekniği açısından iki grupta incelenebilir:

- İşlevsel aydınlatmalar, ulaşım, yönlendirme, emniyet-güvenlik, sportif faaliyetler vb.
- Mimari aydınlatmalar, yaşamsal alanlar ve kentsel değer niteliğindeki yapıların tarihi, sosyal, kültürel, mimari veya sanatsal değerini gösterme [16].

Kent aydınlatmanın sürdürülebilir olması için, genel olarak aydınlatma aygıtlarının ve lambaların kullanım süreleri boyunca ışık kirliliğine yol açmaması, etkin enerji kullanımlı, ekonomik ve CO₂ salımlarının düşük, malzemelerinin geri dönüşümlü olması ve özellikle

lambaların kullanımları sona erdikten sonra içerdği zararlı maddelerin doğada atık oluşturmamaları vb. konulara dikkat edilmesi gerekir. Bu konuların üzerinde düşünülmeyen ve tekniğine uygun olmayan bir aydınlatma tasarımı enerjinin boşa harcanmasına, doğanın ve insanların zarar görmesine neden olacaktır [17]. Ayrıca, elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak sürdürülebilirlik açısından önem taşırken, bu kaynakları kullanan sistemler günümüzde kent aydınlatmasında yaygınlaşmaktadır.

Kent aydınlatmasının mimari açıdan değerlendirilmesinde yapı yüzü aydınlatması ise, sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesi gereken oldukça önemli bir konudur.

Yapı yüzü aydınlatmasında yapının işlevi, biçimi, yüzey dokusu, renk vb. özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Aydınlatılacak yapıların özellikleri bakımından çeşitliliği ve farklı çevre koşulları gibi etkenlerden ötürü, her koşulda yararlanılabilecek kesin çözüm önerileri ya da kuralların verilmesi olanaksızdır [18].

Enerjinin etkin kullanımı açısından bakıldığında kent aydınlatmada temel tasarım ilkeleri:

- Binanın aydınlatılacağı ana yön ve/ya da yönlere karar verilmesi,
- Gözlemcinin konumuna bağlı bakış doğrultusu (ya da doğrultuları),
- Yapı dış yüzey gereç yansıtma çarpanları ve renklerinin göz önünde bulundurulması,
- Yapının yakın çevresi ile ilişkisinin tanımlanması,
- Aydınlığın niceliğinin belirlenmesi,
- Gözlemci ile yapı arasındaki düşey ve yatay uzaklığa bağlı olarak mimari detayların vurgulanmasının seçimi,
- Aydınlığın niteliğine karar verilmesi, ışığın renksel niteliği, ışığın doğrultusal yapısı, gölge niteliği,
- Yüzeylerin ışıklılık değerleri ve dağılımları

olarak sıralanabilir. Bu tasarım ilkelerinin uygulanmasından sonra kullanılan aygıt, lamba ve aydınlatılan yapı yüzünün düzenli olarak bakım ve temizliğinin yapılması uygulamaların uzun süreli etkili olmasını sağlar.

Sürdürülebilirlik bağlamında bakıldığında yukarıda sıralanan ilkelerle birlikte, kullanılan aydınlatma aygıtlarının geometrik özelliklerine ve konumlandırılmasına dikkat edilmelidir. Yalnızca belirlenen yapı yüzü bölümünün aydınlatılması, ışığın istenen alan dışında başka bir doğrultuya yönlendirilmemesi ışık kirliliğini önlemek adına önemlidir. Işığın gökyüzünde sıra dışı aydınlık yaratması durumunda geceleri gökyüzünün görünebilirliği azalırken, göç eden kuşlar ışığa aldanarak yönlerini şaşırmakta ve yapı etrafında telef olmaktadır.

Yapı yüzlerinde yüksek düzeylerde ışıklılık oluşturulduğu takdirde ise, optimum düzeylerde aydınlatılmış çevre bina yüzleri karanlık kalarak niteliğini yitirmekte ve harcadıkları enerji boşa gitmektedir. Kimi zaman çevre bina kullanıcıları da bu yüksek düzeyli aydınlıklardan yapı içinde dahi rahatsız olmakta, uyku ve dinlenme açısından sorunlar yaşamaktadır. Günümüzde ışık kirliliği olarak değerlendirilen bu tür olumsuzlukların olmaması gerekir.

Kısaca, kent aydınlatmanın yol açabileceği, başta enerji kaybı olmak üzere kimi olumsuzlukları en aza indirebilmek için,

- İşlevsel ve özellikle mimari aydınlatma yönünden gereksiz olan aydınlatmalar yapılmamalı,
- Her iki tür aydınlatmada da aydınlık düzeyleri gereksiz yere arttırılmamalı,
- Geriverimi yüksek ve teknik açıdan uygun olan aydınlatma aygıtları kullanılmalı,
- Işık verimi yüksek lambalar seçilmeli,
- Lambalar gözden gizlenmeli, kamaşmaya neden olmamalı,
- İyi nitelikli lamba yardımcı parçaları kullanılmalı,
- Lambaların ve aydınlatma aygıtlarının ömürleri bittikten sonra sistemli olarak toplanmalı ve geri dönüşümleri sağlanmalı,
- Gerek işlevsel gerekse mimari aydınlatmalar açısından yeni teknolojiler takip edilmeli,
- Yakıp-söndürme senaryoları oluşturulmalı,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmalıdır[17].

Sonuç olarak, mimari aydınlatmada, günışığı ile aydınlatma ve yapma aydınlatmanın sürdürülebilir olması için göz önünde bulundurulması gereken tasarım etkenleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu etkenlerin tasarım aşamasında değerlendirilmesi önem taşır.

Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı Bölüm 3.3’te detaylı olarak ele alınmıştır. Bu ana başlık kapsamında incelenen bir başka konu ise, yapıların sürdürülebilirliklerini değerlendirme üzerine geliştirilen kimi modellerdir ve Bölüm 3.4’te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 3. 1 Doğal aydınlatma ve yapma aydınlatma ile ilgili tasarım etkenleri

Doğal Aydınlatma	Doğal + Yapma Aydınlatma	Yapma Aydınlatma
• Yönlenme • Dış engeller • Hacmin işlevi • Hacim boyutları • Pencere boyut ve konumu • Doğrama nitelikleri • Cam özellikleri • Camın kirliliği • Günışığı sistemleri	Aydınlık nicelik ve niteliğinin belirlenmesi Hacim yüzey renk ve dokusunun belirlenmesi Bakım ve temizliğin düzenli yapılması Denetleme sistemlerinin kurulması	• Aydınlık nicelik ve niteliğinin belirlenmesi • Uygun lamba seçimi • Uygun aygıt seçimi • Denetleme sistemlerinin kurulması • Bölgesel aydınlatma düzenlerinin kurulması • Lamba ve aygıt atıklarının denetlenmesi

3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların sınırlı olması, gün geçtikçe azalmaları ve bir gün tükenecek olmaları nedeniyle, bir yandan elektrik enerjisini en etkin biçimde kullanma çalışmaları sürdürülürken diğer taraftan da yenilenebilir kaynakların kullanılmasıyla elektrik enerjisi üretiminin sağlanması, sürdürülebilir mimari aydınlatma açısından oldukça dikkat edilmesi gereken bir konudur. Ülke çapında yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanılması için yapılan çalışmalarda dışa olan bağımlılık söz konusu olmadığı için, bu durumun ülkelerin geleceği açısından önemi açıktır [19].

Nüfus artışına ve sanayinin gelişmesine paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretim sistemleri ekolojik dengeyi önemli ölçüde etkilediği gibi sınırlar ötesi etkileri de beraberinde getirmektedir. Bugünün yenilenemeyen enerji kaynakları, kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji olarak sıralanabilirken, yenilenebilir (temiz-tükenmez) enerji kaynaklarından ise, güneş ve rüzgar enerjisi, biyokütle, su gücü (hidrolik, jeotermal ve deniz enerjisi) olarak bahsedilebilir [20].

Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma işleminin kaçınılmaz ürünü olan CO₂ salımı sonucunda, atmosferdeki CO₂ miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde, bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma olasılığı vardır. Atmosferdeki CO₂'in neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0,7°C yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1°C yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3°C düzeyine varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. Bu durumda, enerji kullanımından vazgeçilmesi söz konusu olmadığı için yenilenebilir kaynaklara yönelmek gerekmektedir [21].

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmaya göre, 2000-2030 yılları arasında fosil enerji kaynaklarının payının % 85, petrol ve doğalgaz payının ise %60 seviyelerinde olacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji payı % 15 düzeyinde olacaktır. Bir başka deyişle fosil-yenilenebilir enerji birlikte, fosil enerji büyük payı ile yan yana bulunacaktır. Yenilenebilir enerjinin payı, kaynakları zengin ve hızla programlarını uygulamaya alan ülkelerde daha yüksek oranlara ulaşabilir.

Bu bölüm kapsamında dünyada ve ülkemizde en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgar enerjisine kısaca yer verilmiştir.

3.3.1 Güneş Enerjisi

Dünyanın en önemli enerji kaynağı olan güneş, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca etmendir. Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş sayesinde mümkün olabilmektedir. Rüzgar, deniz dalgası, okyanus sıcaklıkları farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak akarsu gücünü

yaratmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların biyokütle niteliğindeki maddelerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik enerjisi elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır [22].

Yüzyıllardır yapıların ısıtılmasında edilgen olarak kullanılan güneş enerjisinden, günümüzde daha etkin biçimde yararlanmak için etken yararlanma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, güneş ışınımını enerjiye dönüştürüp, bu enerjinin etkin kullanımına olanak sağlayan bileşenlerin tümü olarak tanımlanabilir. Daha geniş bir tanımla, 'Güneş Enerjisinden Etken Yararlanma Sistemleri', amaca göre üretilmiş toplaçlar aracılığıyla yutulan güneş ışınımını, istenen biçimdeki enerjiye dönüştürüp bunun yapıda kullanımına olanak veren mekanik ve/ya da elektronik elemanların bütününden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler aracılığı ile güneş ışınımı;

- Isı
- Elektrik
- Isı ve elektrik

enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Güneş ışınımını enerjiye dönüştüren bu sistemler, ürettikleri enerjilere göre,

- Isı enerjisi üreten, güneş enerjili ısıtma sistemleri,
- Elektrik enerjisi üreten, ısı elektrik (fotovoltaik/PV) sistemler,
- Isı ve elektriği aynı anda üreten güneş enerjili ısıtma / PV Sistemler

olarak sınıflandırılmaktadır[23].

Aydınlatma için gerekli olan elektrik enerjisi üretiminde, güneş ışınımından toplaçlar aracılığı ile elektrik enerjisi üretilip, bu enerjinin kullanımına olanak sağlayan bileşenlerin tümüne Fotovoltaik (PV) Sistemler denir. PV sistemler, basit yada karmaşık değişik yapılanmalarla, yol aydınlatması, deniz fenerleri, taşıt araçları, yapılar, elektrik santralleri, gibi birçok ayrı alanda elektrik üretimi için kullanılmaktadırlar.

Bir PV sistemin temel görevleri:

- Elektrik enerjisi üretmek,
- Üretilen enerjiyi gerekli durumlarda saklamak,
- Enerjiyi kullanım alanlarına güvenilir biçimde aktarmak,

olarak sıralanabilir [23]. PV sistemlerin uygulamasına örnekler Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 2 PV sistemlerin toplu uygulamasına bir örnek (PV tarlaları) [24]



Şekil 3. 3 Yapı kabuğunda PV sistem uygulamasına örnek [25]



Şekil 3. 4 Aydınlatma aygıtıyla bütünleşik PV sistem uygulamasına örnek [26]

Güneş ışınlarının gün içinde en verimli şekilde yapı içine alınabilmesi için, kuzey yarımkürede güney yönü en uygun yöndür ve en uygun açı da bulunan enlemin derecesidir. Fotovoltaik malzemelerin güneşi en kolay alabilecek şekilde yönlendirilmeleri ve bir zemine, çatıya ya da aydınlatma aygıtı üzerine yerleştirilmeleri, elde edilecek verimin fazla olmasını sağlayacaktır [27].

Birçok yapıda güneş sistemlerinden yararlanma mümkün olup, özellikle Amerika ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde, yaklaşık olarak 10 yıldır eğitim yapılarında bu uygulama yaygınlaşmıştır. Eğitim yapıları fotovoltaik sistemlerin sağladığı kazançların sergilenebileceği, toplumun büyük bölümü tarafından değişim ve gelişimlerin görülebileceği binalardır [27].

3.3.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi dışa bağımsız, doğal ve tükenmeyen, gelecekte aynı oranda temin edilebilecek, CO₂ salımı olmayan, doğal bitki örtüsü ve insan sağlığına olumsuz etkisi bulunmayan, fosil yakıt tasarrufu sağlayan bir kaynaktır. Ayrıca kısa sürede devreye alınabilmekte ve kısa sürede sökülebilmektedir. Olumlu katkılarının yanında gürültü, kuş ölümleri, 2-3 km lik alan içinde radyo ve TV alıcılarında parazitlere neden olması, gibi bir takım olumsuz yönleride vardır [19].

Rüzgar enerjisinden yararlanma rüzgar santralleri ile gerçekleştirilir. 2020 yılında günümüzdeki elektrik enerjisi tüketiminin iki katına çıkması durumunda bile dünyanın tüketeyeceği elektrik enerjisinin %12'sinin rüzgardan karşılanabileceği şeklinde ileriye

dönük çalışmalar mevcuttur. 2020 yılında global elektrik talebinin %12' sinin rüzgardan sağlanacağı varsayımıyla 10771 milyon ton CO₂ azalması elde edilebilecektir. Bu durum çevreye yayılan CO₂ gazının önemli oranda azalacağı anlamına gelmektedir [19].

3.3.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakların içinde en büyük teknik potansiyele sahip olan biyokütle, biyoyakıt teknolojisi kapsamında, bu kaynaklar doğrudan veya dönüşüm ürünleri ile değerlendirilebilmektedir [28]. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler 'Biyokütle Enerji Kaynağı', bu kaynaklardan üretilen enerji ise 'Biyokütle Enerjisi' olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütleden, fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, sıkıştırma ve birikitleme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile pek çok sıvı, katı veya gaz biyoyakıt elde edilmektedir [28]. Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri ve bu teknikler sayesinde elde edilen yakıtlar ile uygulama alanları Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. 2 Biyokütle kaynakları ile elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları [29]

Biyokütle	Çevrim yöntemi	Yakıtlar	Uygulama alanı
Orman artıkları	Havasız çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Su ısıtma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon	Metan	Otomobiller
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Sentetik yağ	Roketler

Su gücünden elektrik enerjisi üretiminde ise, hidrolik, jeotermal ve deniz enerjisinden söz edilebilir. Hidrolik enerji Dünya elektrik ihtiyacının %19'unu karşılayan ve yenilenebilir enerjinin %69'unu oluşturan bir enerji kaynağıdır. Kurulan hidroelektrik santrallerinin işlevi akan ya da yüksekten düşen suyun enerjisini elektrik enerjisine çevirmektir [30]. Yaygın kullanımının yanı sıra hidroelektrik santrallerden kaynaklanan

bazı çevresel olumsuzluklar bulunmaktadır. Santrallerin kurulduğu baraj göllerinin geniş yüzey alanı buharlaşmayı arttırmakta ve tarım arazilerinde tuzlanma ile çoraklaşmaya yol açmaktadır. Sudan kaynaklanan parazit hastalıklar ortaya çıkarken, rezervuar altında kalan bitki ve ağaçların kesilmemesi ile su kalitesi birkaç yıl düşük olmaktadır. Ayrıca, baraj gölünün kurulacağı alandaki ekosistemin, kurulum öncesinde analiz edilmemesi durumunda alanda yaşayan canlıların düzeni bozulmakta ve ölümler ortaya çıkmaktadır [20].

Su gücünden bir başka yararlanma yolu jeotermal enerjidir. Bu enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısınin oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sular olarak tanımlanabilir [20]. Dönüşüm teknolojileri ile sıcak su ve buharından elektrik enerjisi üretilirken, ısınma için bu enerji doğrudan kullanılabilir. Jeotermal enerji yerinde kullanılabilen bir kaynaktır ve taşınması sınırlıdır.

Deniz kökenli enerjilerden ise, dalga ve gel-git enerjisi olarak bahsedilebilir. Dalga enerjisi konusundaki bilimsel çalışmalar, yaşanan petrol krizleri sonrasında artış göstermiş, 90'lı yıllarda önem kazanmıştır. Bu alanda elektrik üretimiyle ilgili çalışmalar yapılsa da ekonomik açıdan henüz pek fazla önemi bulunmamaktadır [31].

Gel-git enerjisi ise, ayın az da olsa güneşin dünyayı kütle çekim kuvveti ile çekmesi sonucu denizlerde meydana gelen kabarıp alçalmalar neticesinde oluşmaktadır. Gel-gitten enerji üretimi iki yöntemle sağlanmaktadır. Bunlardan ilki, gel-git baraj enerjisi, diğeri ise gel-git akım enerjisidir. Gel-git baraj enerjisinin kullanımına engel olan sebepler, enerji santralleri inşaatının yüksek maliyetli ve uzun süreli olmasıdır. Çevreye hemen hemen hiçbir olumsuz etkisi olmayan gel-git enerjisinin bir başka olumsuz yönü ise, günün belli saatlerinde enerji elde edilebilmesi ve dünyada sadece belli bölgelerde oluşmasıdır [31].

Sonuç olarak, yenilenebilir yani temiz enerji kaynaklarından mümkün olduğunca yararlanmak, sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Fosil yakıtların kullanımıyla hızla kirlenen atmosferin uzun vadede sebep olacağı değişimler ve bu değişimlerin dünya çapındaki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

3.4 Enerji Sertifikaları

Bilim ve sanatın bütünleştği mimari aydınlatma, sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirme üzerine geliştirilen kimi modellerle desteklenmektedir. Binaların tasarım, uygulama, kullanım ve yıkım aşamalarında çevreye verdikleri hasarları denetlemek ve en aza indirmek üzere oluşturulmuş bu sertifika modelleri geliştirildikleri ülkelerin koşullarına göre düzenlenmiştir. LEED, CASBEE ve BREEAM yaygın olarak kullanılan modellerdir.

LEED modeli, ABD Yeşil Binalar Konseyi tarafından 1998 yılında hazırlanmış, binalarda sürdürülebilirliğin insan ve çevreye olan duyarlılıkla ilgili olması esasına dayanan sürdürülebilir yerleşim yeri tasarımı, suyun etkin kullanımı, enerji etkinlik, doğa ile dost malzeme seçimi ve iç hava kalitesi ölçütlerini temel alan bir yapı üzerine şekillendirilmiştir. Aydınlatma açısından ele alındığında kapsadığı başlıklar:

- Işık kirliliğinin en aza indirgenmesi,
- Aydınlatma sistemlerinin denetimi,
- Günişığından en etkin şekilde yararlanma,
- Yapı dışı görüş (manzara)

olarak sıralanabilir. Bu başlıklar, bina tipolojilerinin değişen aydınlatma enerjisi gereksinimlerine göre farklı oranlarda belirlenen bir puan sistemiyle değerlendirilmektedir. Örneğin konutlar için hazırlanan sistemde aydınlatma bölümünün ağırlığı %3 iken ticari yapılarda bu değer %15'e ulaşmaktadır [32].

CASBEE, Japonya Bina ve Çevre Koruma Enstitüsü tarafından 2002 yılında yayınlanmış, binaların çevresel etkinliğini değerlendiren bir sertifika programıdır. CASBEE yapıyı, yapının çevresel kalitesi ve yapının çevresel yükleri olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirmektedir. Puanlama sisteminde ise, bu ana başlıklar altında iç mekan çevresel şartlar, servis kalitesi, dış çevre şartları, enerji, kaynak ve malzemeler, yerleşim dışı çevresel şartlar gibi bölümleri bulunmaktadır.

CASBEE'nin aydınlatma ile ilgili konu başlıkları:

- Güneş ışığı,
- Kamaşma denetimi,
- Aydınlik düzeyleri,
- Aydınlatma denetimi,
- Doğal ışığın kullanımı,
- Aydınlatma sistemleri,
- Işık kirliliği

olarak kısaca açıklanabilir. Her başlığın altında farklı puanlara sahip alt başlıklarla değerlendirilmeler yapılmaktadır.

BREEAM, British Research Establishment tarafından geliştirilmiştir. Bu model, tek binaların ve yerleşmelerin çevresel etkilerinin tasarım aşamasında veya yapım sonrasında belirlenebilmesi için kullanılmaktadır. 2008 yılında güncellenmiş olan BREEAM, ofis, eğitim, endüstri, sağlık, satış, hapishane ve adalet binaları için, yönetim, sağlık ve konfor, enerji, ulaşım, su, malzeme, atık, arazi kullanımı ve ekoloji, kirlilik açısından değerlendirilmektedir. Aydınlatma açısından değerlendirme etkenleri ise:

- Güneş ışığı,
- Yapı dışı görüş (manzara),
- Kamaşma denetimi,
- İç ve dış aydınlık düzeyleri,
- Aydınlatma alanları ve denetimi,
- Dış Aydınlatma,
- Işık kirliliğinin azaltılması,
- CO₂ yayımının en aza indirgenmesi,
- Enerji tüketiminin bağımsız ölçülmesi,
- Düşük veya sıfır karbon teknolojileri

olarak belirlenmiştir. Bu etkenler, diğer modellerde olduğu gibi her biri için yapılan farklı puanlamalar ile genel değerlendirmeye katılmaktadır.

Sonuç olarak bakıldığında, bazı başlıkların modellerin tümünde ele alındığı görülmektedir. Bunlar:

- Çevresel etkiler açısından ışık kirliliğinin azaltılmasına yönelik önlemlerin alınması,
- Aydınlatma sistemlerinin tasarımında CO₂ yayımlarının en aza indirgenmesinin hedeflenmesi,
- Nicelik ve nitelik olarak istenen değerlerin gerçekleştirilerek görsel konfor koşullarının sağlanması (gerekli aydınlık düzeyi, aydınlığın düzgün dağılımı, kamaşma denetimi),
- Güneş ışığının etkin kullanılması,
- Manzara (yapı dışı görüşün sağlanması),
- Güneş ışığı veya kullanıcı duyarlı denetim sistemlerinin kullanılması

olarak sıralanabilir. Bu değerlendirme modellerinde, toplam puanlama içinde aydınlatma konularına ait puanların ağırlıkları ve modellerin konuya yaklaşım biçimi farklılık göstermektedir. LEED yeşil binalar, CASBEE (ofis, okul, satış, hastane, otel, fabrika ve apartman tipolojileri), BREEAM (ofis, eğitim, endüstri, sağlık, satış, hapishane ve adalet binaları için) modellerinin aydınlatmaya ilişkin puanlarının ağırlıkları Çizelge 3.3'te verilmiştir [32].

Çizelge 3. 3 Değerlendirme modellerde aydınlatmaya ilişkin puanlar ve yüzdeleri[32]

Model	Toplam puan	Aydınlatmaya ilişkin puan	Yüzde %
LEED	69	4	5.8
CASBEE	Q: 100 L: 100	Q:10 L:6.4	8.2
BREEAM	102	8	7.8

Türkiye’de ise, AB yasaları uyum sürecinde, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından, ‘AB Bina Enerji Performansı Direktifi (EPBD)’ uyarınca ‘Binalarda Enerji Performansı

Yönetmeliği' 2008 yılının Aralık ayında yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin öngördüğü 'Binalara Enerji Kimlik Verilmesinde Kullanılacak Ulusal Hesaplama Yöntemi, BEP-TR' ise, 2009 yılı Kasım ayında tamamlanarak rapor şeklinde sunulmasının ardından, 2010 yılı Aralık ayında resmi gazetede yayınlanmıştır.

EPBD ile uyumlu olarak Türkiye şartları için geliştirilen bu yöntemin, binalara enerji kimlik belgesi (EKB) vermek üzere kullanılması bakanlığın internet sayfasında yer alacak BEP-TR yazılımı aracılığı ile gerçekleştirilebilmektedir.

Binaların enerji tüketimine etki eden tüm etkenlerin, binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilen bu yöntem:

- Binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanmasını,
- Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesini,
- Havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesini, binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanmasını,
- Sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanmasını kapsamaktadır [33].

Buna paralel olarak binaların enerji performanslarının standart ve ortak yöntemlerle belirlenmesi amaçlanmakta, bu doğrultuda binaların aydınlatma enerjisinin belirlenebilmesi için 'EN15193' standardında tanımlanan hesap yöntemi önerilmektedir. Bu standartla binanın metrekare başına tükettiği aydınlatma enerjisi gereksinimi olarak adlandırılan LENI değeri ve binada aydınlatma gereksinimleri için harcanan yıllık enerji hesaplanabilmektedir. LENI değeri binanın aydınlatma enerjisi göstergesi olup, benzer işleve sahip farklı büyüklükteki binaların aydınlatma enerji tüketimlerinin karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır.

Bu standarda göre;

- Aydınlatma aygıtlarının toplam gücü,
- Aydınlatma denetim sistemlerinin toplam gücü,
- Acil durum aygıtlarının şarj güçleri,
- Sistemin gün saatleri içindeki ve dışındaki kullanım süreleri,
- Sistemin günışığına bağlı ayarlanabilirlik durumu

binaların aydınlatma sistemlerinin enerji performanslarını belirleyen etkenleri olarak sıralanabilir [34]. Sürdürülebilirlik açısından bina sertifikalandırma sistemleri ve yönetmelikler, tasarımı yönlendiren değerlendirmeleri gerçekleştiren ve mevcut yapıların enerji etkinliklerini değerlendirerek gerekli düzenlemeleri yapan uygulamalar olarak mimar ve tasarımcılar tarafından önemle üzerinde durulması gereken konulardır.

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI İÇİ MİMARİ YAPMA AYDINLATMA

Teknik ve estetik açıdan bir bütün olarak ele alınması gereken mimari aydınlatmada, yalnızca nesnelerin görünürlüğünün sağlanması değil, iyi görme koşullarının oluşturulması, renklerin doğru görülmesi ve renk ayrımlarının algılanabilmesi, yüzeylerin biçim, doku ve boyut özelliklerinin oldukları gibi algılanması, bakılan nesnenin çevre ile ayrımlarının ve görülmesi gereken ayrıntıların kolaylıkla görülmesi vb. durumlara dikkat edilmelidir.

Yapı içi mimari yapma aydınlatmanın sürdürülebilirlik açısından incelenmesinde, 3.Bölüm’de bahsedildiği gibi:

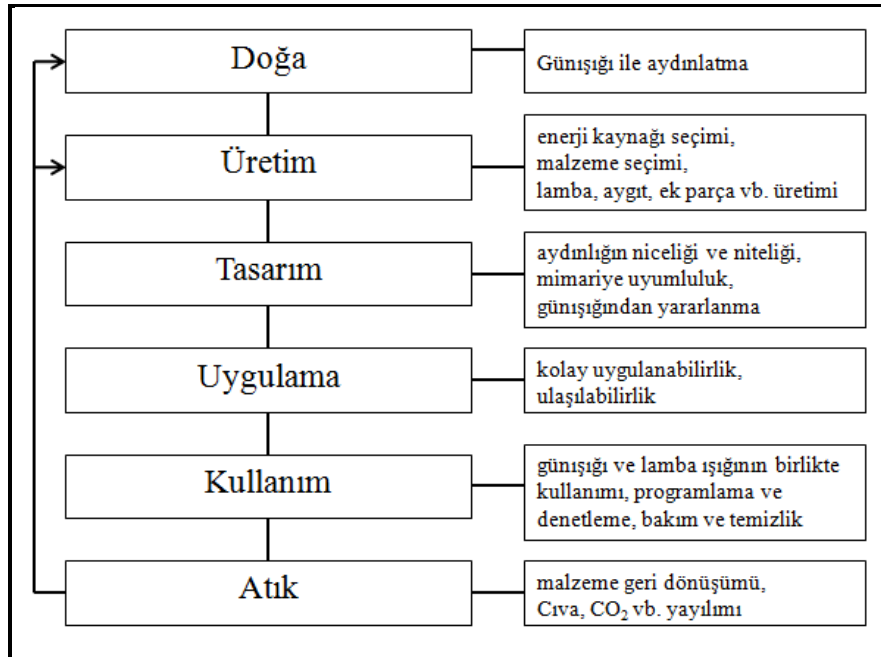
- Enerji tüketiminin en aza indirgenmesi,
- Günışığı ile aydınlatmanın göz önünde bulundurulması,
- Kullanılan lamba, aygıt ve ek parçaların üretiminden atık hale gelinceye kadar geçtiği aşamalarda harcadığı enerji ve çevreye yaydığı maddelerin göz önünde bulundurulması,
- Lamba ve aygıt atıklarının yönetimi,
- Tüm canlılar için fiziksel ve psikolojik görsel konfor koşullarının sağlanması,
- Çevreye karşı duyarlı yaklaşımların oluşturulması

gibi konuların detaylandırılması bazı başlıklar altında toplanabilir.

Teknik ve estetik açıdan mimari tasarımla beraber eş zamanlı olarak düşünülmesi gereken ve hacim işlevine bağlı olarak farklılık gösteren bu başlıklar:

- Aydınlatma gereksinimi olan mekan ya da yüzeylerde aydınlık düzeyleri ve ışıklılıkların belirlenmesi,
- Lamba seçimi,
- Aygıt seçimi,
- Aydınlığın niteliğine karar verilmesi,
- İç yüzeylerin yansıtma çarpanlarına karar verilmesi,
- Bakım ve temizliğin düzenli olarak yapılması,
- Yakma sistemlerinin plan ve programlanması,
- Bölge aydınlatma düzenlerinin kurulması,
- Gün ışığı ile lamba ışığının birlikte düşünülmesi

olarak sıralanabilir [35]. Bu çalışma kapsamında yukarıdaki başlıklar ayrıntılı olarak incelenecektir. Bu bağlamda yapı için yapma aydınlatma ile ilgili sürdürülebilir mimari aydınlatmaya ilişkin bir genel akış şeması konuların genelini göstermek adına Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Yapı içi yapma sürdürülebilir mimari aydınlatma akış şeması

Üretim, tasarım, uygulama, kullanım ve yok olma aşamalarının her birinde farklı sorun ve arayışlarla karşılaşılabilir sürdürülebilir mimarlığın içerisinde aydınlatma için de aynı yol izlenmektedir.

4.1 Aydınlatma Düzeyinin Belirlenmesi

İnsan gözü belirli aydınlık düzeylerinde görme yetisine sahiptir. Bu aralık, doğal ışığın oluşturduğu aydınlık düzeyi olarak iyi bir ayışığı ile yaz ayında açık bir alanda öğle saatinde oluşan aydınlık düzeyi olarak tanımlanabilir (~1-100.000lm/m²).

Ancak, yapma aydınlatma söz konusu olduğunda günümüzde genelde elektrik enerjisi kullanılarak yapılan bu aydınlatmada, aydınlık düzeylerinin doğru belirlenmesi gerekir. Aydınlatma düzeyi gereksinimi:

- Yapılan iş,
- Yapan kişiye bağlı olarak değişim gösterir.

Yapılan iş ile ilgili olarak;

- Görülmesi gereken ayrıntı ne kadar küçük ve uzakta, görme açısı ne kadar küçükse,
- Bakılan alan ile çevresinin yansıtma çarpanı ne kadar düşük ise,
- Bakılan alan ile çevresi ya da arkasının rengi arasındaki koyuluk, açıklık ya da renk türünün ayrımı ne kadar az ise,
- Bakılan alanda nesne yerinde sabit değilse ve yer değiştirmesi ne kadar hızlı ise,

Kişi ile ilgili olarak;

- Görmek isteyen kişi ne kadar yorgun ise,
- Görmek isteyen kişi ne kadar yaşlı ise,
- Görsel algılama süreci ne kadar uzun ise,

daha yüksek aydınlık düzeyi gerekir şeklinde açıklanabilir [35].

Yapılan iş ve kullanıcıya bağlı olarak belirlenen aydınlık düzeyleri aynı zamanda kullanıldıkları ülke koşullarına göre de ayrımlar göstermektedir. Örneğin, değişik ülkelerde önerilen aydınlık düzeyleri birbiriyle ölçüştürüldüğü zaman ABD’de değerlerin

Avrupa ülkelerine oranla daha fazla olduğu görülür. Ülkelerin milli gelirleri ve dolayısıyla yaşam düzeyleri bunu etkilemektedir [35]. Örnek olarak eğitim yapıları hacimlerinin farklı standartlara göre belirlenmiş bazı yapma aydınlık düzeyleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de gösterilmiştir [36].

Çizelge 4. 1 CIE Rapor no:29’a göre aydınlık düzeyi değerleri [36]

Hacim	Aydınlık düzeyi (lm/m ²)
Derslikler	500
Sanat atölyeleri	500
Laboratuvarlar	500
Dolaşım alanları ve koridorlar	100
Kütüphane (okuma alanları)	500

Çizelge 4. 2 CIBSE İç mekan aydınlatması, 1994’e göre aydınlık düzeyi değerleri [36]

Hacim	Aydınlık düzeyi (lm/m ²)
Derslikler	300
Sanat atölyeleri	500
Laboratuvarlar	500
Dolaşım alanları ve koridorlar	100
Kütüphane (okuma alanları)	300

Çizelge 4. 3 IESNA’ya göre aydınlık düzeyi değerleri [36]

Hacim	Aydınlık düzeyi (lm/m ²)
Derslikler	500
Sanat atölyeleri	500-750
Laboratuvarlar	500-750
Dolaşım alanları ve koridorlar	200
Kütüphane (okuma alanları)	500

Aydınlatmada ilk yapım ve kullanım giderlerini sınırlı tutmak, enerji tüketimini en aza indirmek için söz konusu hacimlerde olması gereken ortalama aydınlık düzeylerinin oldukça altında değerler oluşturulması doğru bir yaklaşım olmaz. Çünkü, belirlenen bu ortalama düzeyler görsel konforun sağlanması ve gözün daha az yorulması yani verimli çalışma ortamlarının oluşturulması için belirlenmektedir.

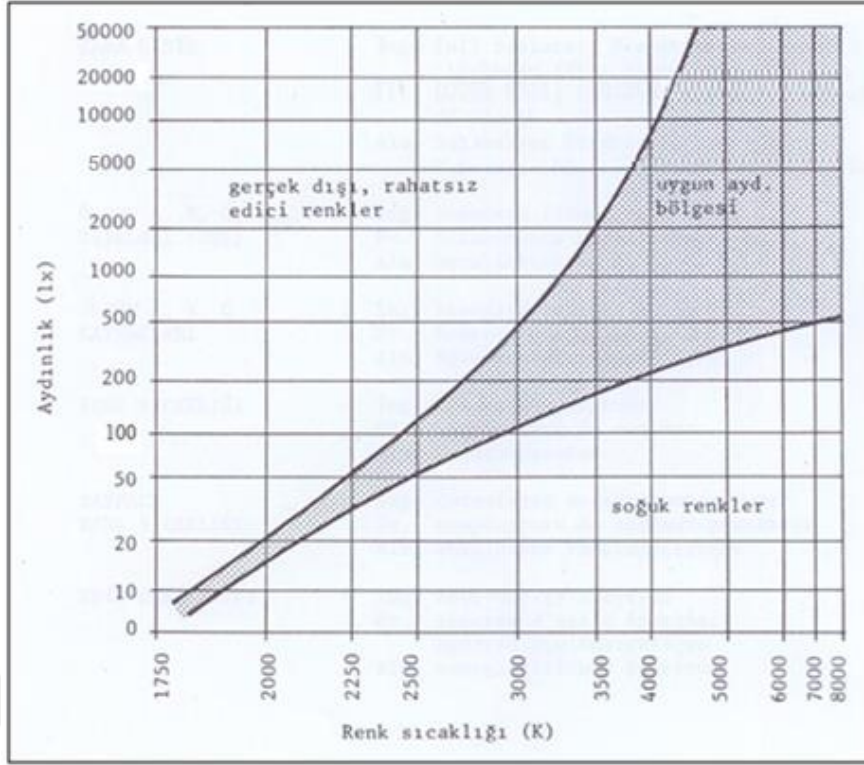
Ayrıca, aydınlık düzeyi belirlenirken ışığın, renk sıcaklığı, tayfsal yapısı, doğrultusu, düzgün yayılmışlığı, iç yüzeylerin ve aydınlatma aygıtlarının ışıklılık değerleri gibi aydınlığın niteliğini oluşturan etkenlere dikkat edilmeli, nicelik ve nitelik kavramları birlikte düşünülmelidir.

Işık renk sıcaklığı ile ilgili yapılan araştırmalara göre genellikle yüksek aydınlık düzeylerinde yüksek renk sıcaklığının, düşük aydınlık düzeylerinde ise düşük renk sıcaklıklarının tercih edildiği ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4). Bu durum yapılarda genel aydınlatma için söz konusudur. Çünkü insanların varoluşundan beri doğadaki gün ışığının niteliğinde benzer durum vardır [37].

Çizelge 4. 4 Aydınlık düzeyi ile ışık kaynağının renk izlenimi arasındaki genel ilişki [37]

Aydınlık düzeyi (lm/m ²)	Işık kaynağının renk izlenimi		
	Sıcak	Ara değerler	Soğuk
500 <	Hoş	Yönsüz (nötr)	Soğuk
500-1000	↓	↓	↓
1000-2000	Uyarıcı	Hoş	Yönsüz
2000-3000	↓	↓	↓
>3000	Gerçek dışı	Uyarıcı	Hoş

Aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı arasındaki ilişkiyi Kruithof (1941) daha ayrıntılı bir biçimde incelemiş ve Şekil 4.2’de gösterilen grafiği oluşturmuştur. Bu grafiğe göre, iki eğri arasındaki alan aydınlık-renk sıcaklığı açısından uygun, hoş giden bölge olarak belirlenmiştir [37]. Bu belirleme, görsel konfor açısından aydınlık düzeyi ile ilgili diğer konular gibi önem taşımaktadır.



Şekil 4. 2 Aydınlik düzeyi ve renk sıcaklığı ilişkisi – Kruithof yasası [37]

Sonuç olarak tasarım aşamasında, bir hacmin işlevi ve hacmi kullanan kişilerin özellikleri belirlenerek aydınlık düzeyine karar verilmesi, hacim kullanımı sırasında görsel açıdan konforlu ortamlar oluşturur. Bu aşamada, aydınlık düzeyi ile birlikte aydınlığın niteliğinin de düşünülmesi göz ardı edilmemelidir.

4.2 Lamba Seçimi

Belirli bir aydınlatma düzeninde ışık kaynaklarının yani lambaların uygun seçimi gerekli aydınlık düzeyi için elektrik enerjisinin yararlı bir biçimde kullanılmasını sağlar. Her ışık kaynağının harcadığı elektrik enerjisine karşılık verdiği ışık akısı vardır (Lümen/Watt). Buna lambanın ışık verimi denir.

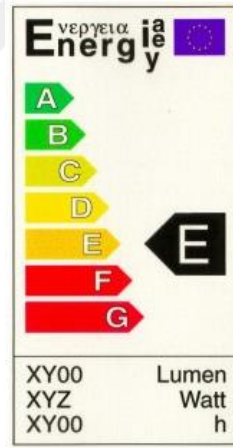
Farklı ışık verimlerine sahip, aldıkları elektrik enerjisini ışıyım enerjisine farklı yollarla dönüştüren bir çok lamba çeşidi vardır.

Bu lambalar genel olarak:

- Akkor lambalar,
- Akkor halojen lambalar,
- Flüoresan lambalar,
- Kompakt flüoresan lambalar,
- Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar,
- Metal halide lambalar,
- Sodyum buharlı lambalar

olarak gruplandırılabilir. Ayrıca, gelişen teknoloji ile birlikte LED ışık kaynaklarının kullanımı da oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır.

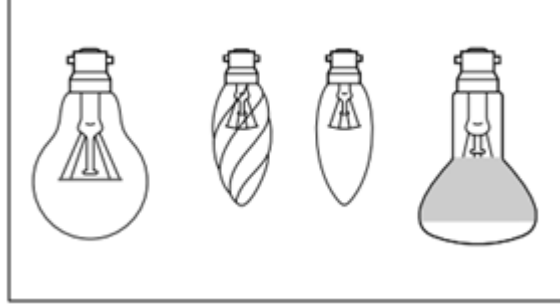
Lamba seçiminde bir başka dikkat edilmesi gereken konu, 'Enerji Sınıflandırma Yönetmeliği'nce belirlenmiş enerji etiketleridir. Kullanıcıların enerji etkin lambaları seçebilmesi için kullanılmak üzere üretilen her lambada bilgilendirme amaçlı bir etiket olmalıdır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3 Lamba enerji etiket örneği [32]

4.2.1 Akkor Lambalar

Isıl ışıma (akkor ışıma) yöntemiyle ışık veren lambalardır. Değişik güç, ışık akısı, biçim, kullanılan cam (ampul) cinsi, içine konan gazlar vb.leri açısından çok ayrı tipleri vardır.



Şekil 4. 4 Akkor lamba tiplerine örnek [38]

Akkor lambalar verimi en düşük lambalardır. Kullanılan enerjinin yaklaşık %5'ini görünen ışığa dönüştürürler ve ömürleri kısadır. Geniş bir güç aralığına sahip olan akkor lambaların, 5, 25, 40, 60, 100, 200, 250 W olan tipleri bulunur.

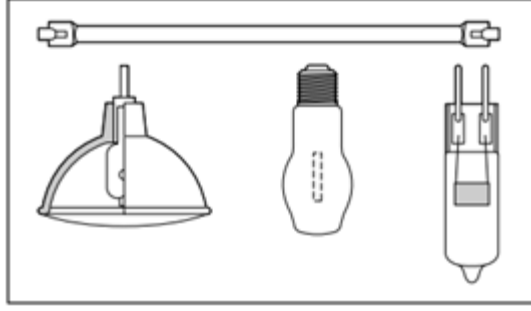
Akkor lambalar, ilk yatırım maliyetinin düşük olması, elektronik olarak kolaylıkla loşlaştırılabilmesi, loşlaştırma maliyetinin düşük ve renksel geriveriminin iyi olması yönünden olumlu sayılabilir [39]. Ancak, günümüzde fazla elektrik enerjisi harcadığı, çevreci bulunmadığı ve kısa ömürlü olduğu için akkor lambalar kimi ülkelerde üretimden kaldırılmış veya yasaklanmış, kimi ülkelerde de bu süreçlerin hazırlıkları yapılmaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Akkor lambaların Avrupa Birliği'nde yasaklanmasına ilişkin zaman çizelgesi [40]

Eylül 2009	100W ve üzeri güçlerdeki akkor lambaların üretimi durduruldu.
Eylül 2010	60W akkor lambaların üretimi durduruldu.
Eylül 2012	25W ve 40W akkor lambaların üretimi durduruldu.
2012 Sonu	Tüm akkor lambaların üretimi durduruldu.
2016	Halojen lambaların üretiminin durdurulması.

4.2.2 Akkor Halojen Lambalar

Akkor lambanın atmosferindeki gaz karışımına halojen eklenmesi ile oluşturulmuş bir ısıtıcı kaynaktır. Bu tür lambaların atmosferinde kullanılan halojen moleküllerinin tungsten telini yenilemeleri nedeniyle, tel sıcaklığı artabilmektedir. Bunun sonucunda da, aynı güçteki akkor lambaya göre ışık verimi yaklaşık olarak %20 fazla olmaktadır [41].



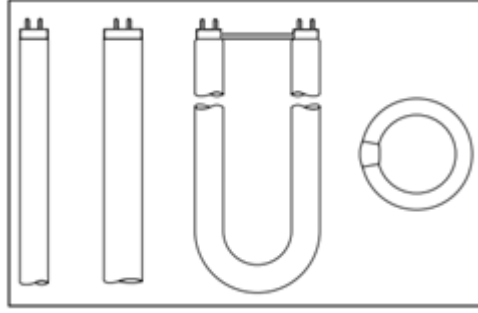
Şekil 4. 5 Akkor Halojen lamba tiplerine örnek [38]

Ömürleri ise, normal akkor lambalara göre iki kata yakın artmakta, tiplerine göre 1500-2000 saat arasında değişmektedir. Renksel geriverimleri en yüksek lambalardır. Loşlaştırılabilen halojen lambalar, türlerine göre yaşam alanlarından dış aydınlatmaya kadar geniş farklı mekanlarda kullanılmaktadırlar. 220V gerilimle çalışanları olduğu gibi, büyük bir kısmı da transformatör aracılığıyla 12V gerilim ile çalışmaktadır. Güçleri ise 5W ila 2000W arasında değişmektedir. Tek ve iki dipli olan türleri vardır.

Küçük boyutları, oluşturulacak aydınlatma aygıtlarına farklı işlev ve hacim içinde değişik kullanım olanakları sağlaması ışık renginin iyi olması açısından önemlidir. Güçlerine oranla boyutları küçük olduğundan, çok fazla ısınırlar. Günümüzde etkin enerjili aydınlatma söz konusu olduğunda bu lambaların kullanımının sınırlı olacağı açıktır.

4.2.3 Flüoresan Lambalar

Elektrikli boşalma ile elde edilen ışıının, flüorışıcı maddeleri (tozları) uyarması sonucu, ısıtıcı ışıma yöntemiyle ışık veren lambalardır. Flüoresan lambaların ışık tayfları ve ışık akıları lambalarda kullanılan flüorışıl tozların özelliklerine göre değişir. Bu lambaların da değişik güç, boyut, ışık rengi, ışık akısı vb.leri açısından farklı tipleri vardır (Şekil 4.6).



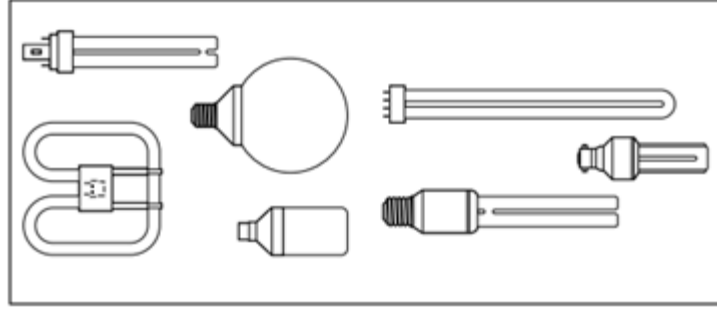
Şekil 4. 6 Flüoresan lamba tiplerine örnek [38]

1920’li yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlanan flüoresan lambalar, akkor lambalara oranla yüksek verime sahiptirler. Ömürleri kuramsal olarak 8000-24000 saat arasında olup kullanıcıya, açma ve kapama sıklığına bağlı olarak değişir. İç mekan kullanımına uygun olan bu lambalar daha az enerji harcamaları ve daha uzun ömürlü olmaları nedeniyle pek çok yapıda (iş, okul, hastane, konut vb.) kullanılmaktadır.

Flüoresan lambalar, sürdürülebilirlik açısından geliştirilmektedir. Farklı lamba üreticileri flüoresan lambaları özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekilde adlandırmaktadırlar. Örneğin, hem daha uzun ömürlü olan, hem de %40 daha küçük olması sebebiyle daha az cıva miktarı içeren 16 mm çapına sahip TL5 lambalar artık 26 mm çapındaki TL-D lambaların yerini almaktadır [42].

4.2.4 Kompakt Flüoresan Lambalar (KFL)

Kompakt Flüoresan Lambalar (KFL) aslında boyutları küçültülmüş birer flüoresan lamba oldukları için çalışma prensipleri benzerdir. Flüoresan lambalarda görülebilir ışınım, lambanın iç cidarındaki üç değişik fosfor karışımı ile elde edilmektedir. Boşalma tüpü içindeki cıva atomlarına, elektrotlar arasında meydana gelen boşalma ile kopan elektronların çarpması sonucu oluşan UV ışınımı, tüp iç cidarındaki flüoresan madde sayesinde görülebilir ışınımına dönüştürülür [43].



Şekil 4. 7 Kompakt Flüoresan lamba tiplerine örnek [38]

KFL'lerin çalışmasında durultucu önemli bir elemandır. Durultucu, elektrotlar arasında boşalma oluşması için gerekli yüksek gerilimi sağlar ve lambanın nominal çalışması için gerekli akımı sınırlar. KFL'lerle birlikte kullanılan balastlar lamba ile bütünleşik ya da ayrı olabildiği gibi, manyetik veya elektronik de olabilirler [43].

Ömür olarak 1000, 3000, 6000, 12000 ve 15000 saat olarak farklı tipleri bulunan KFL'lerin ilk yatırım maliyeti, akkor lambalara göre daha yüksektir. Ancak, işletme ve bakım maliyetleri akkor lambalara kıyasla çok daha düşüktür. Akkor halojen ve kompakt flüoresan lambaların güçleri (lamba ışık renkleri göz önünde bulundurulmaksızın) karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Akkor halojen ve kompakt flüoresan lambaların güçlerinin karşılaştırılması [44], [45]

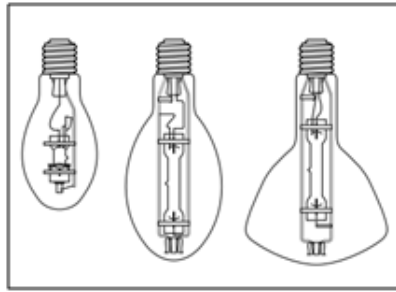
Akkor halojen lamba	Kompakt flüoresan lamba
20W	9W
30W	13W
42W	18W
52W	26W
70W	42W

Akkor lambaların yerini almakta olan KFL'ler, akkor lambalara göre ortalama %75 daha az elektrik enerjisi harcadıkları için, küresel ısınmaya yol açan sera etkisini önlemeye yardımcı olurlar. Sera etkisini oluşturan gazlar elektrik enerjisi tüketimi sonucunda oluşur, kW/saat başına 0,5 kg CO₂ açığa çıkmaktadır [40]. ABD'de yapılan bir araştırmaya

göre, ABD'deki her konut kullanıcısının sadece bir akkor lambayı bir KFL ile değiştirdiği varsayıldığında 3 milyon konutu aydınlatmaya yetecek kadar enerjinin tasarruf edildiği ve 800,000 arabadan çıkacak CO₂ gazına eşit miktarda gazın atmosfere karışmasının önleneceği hesaplanmıştır [46].

4.2.5 Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı Lambalar

Işığın büyük bölümü, cıva buharının ışımasıyla elde edilen elektriksel boşalmalı lambalar 'cıva buharlı lambalar' olarak adlandırılır (şekil 4.8). Temel parçaları başlatıcı, boşalma tüpü, boşalma tüpünün dışında ısı yalıtımı sağlayan koruyucu ampul ve durultucudan oluşur.



şekil 4. 8 Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı lamba tiplerine örnek [38]

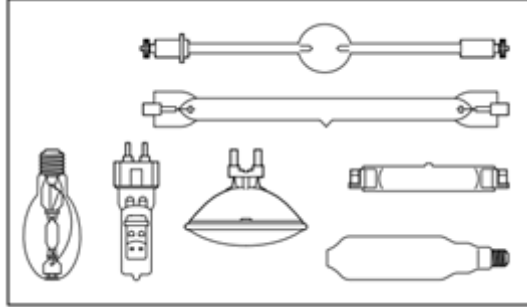
Boşalmanın başlama koşulları, belirli bir sıcaklığı gerektirdiğinden, lambanın rejime girmesi yaklaşık 2-5 dakika sürer. Benzer biçimde bir lamba sönünce, boşalma tüpünün soğumasını, başlama sıcaklığına gelmesini beklemek 4-7 dakika gerektirir. Renk sıcaklıkları 2900-4000K arasındadır ve ömürleri ortalama 20,000 saattir [47].

İçerisinde bulunan cıvadan dolayı diğer cıva içeren lambalar gibi mutlaka geri dönüşüm tesislerinde imha edilmelidir.

4.2.6 Metal Halide Lambalar (Metalik Halojenürlü Lambalar)

Metal Halide lambalar, yüksek basınçlı boşalmalı lambalardır. Mimari aydınlatmada sıkça kullanılan bu lambalar, rejime girme zamanlarının uzunluğu ve renksel geriverimlerinin oldukça yüksek olmasıyla tanınmaktadırlar.

Beş dakikaya yakın bir zamanda tamamen yanmaya başlayan metal halideler, anlık aydınlığın istendiği mekanlar için uygun değildir. Aynı şekilde lamba güç kaynağı kesildiğinde, lamba ışığının yavaşça söndüğü gözlemlenir.



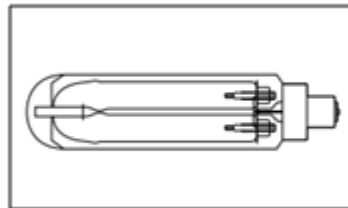
Şekil 4. 9 Metal Halide lamba tiplerine örnek [38]

Yüksek verimli ve uzun ömürlü olmalarının yanı sıra küçük boyutlarıyla da çeşitli mekanlarda (ofis, mağaza ve sergi mekanları, spor salonları, ticari yapılar vb.) kolaylıkla kullanılmaktadırlar. Renk sıcaklıkları 3000-5600K arasında değişir. 3000K olan tipleri, akkor lamba ışık rengine en yakın ışığı sağlarken, 5600K olan tiplerinin ise gün ışığına benzer bir ışık renkleri vardır. Loşlaştırılmaları teknik açıdan mümkün olduğu gibi aynı zamanda yüksek maliyetli ve sınırlıdır [42].

4.2.7 Sodyum Buharlı Lambalar

Görünür ışınlamaların sodyum buharının ışımasıyla elde edilen elektriksel boşalmalı lambalardır. Boşalma tüpündeki gazın çalışma basınç düzeyine bağlı olarak, alçak basınçlı ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

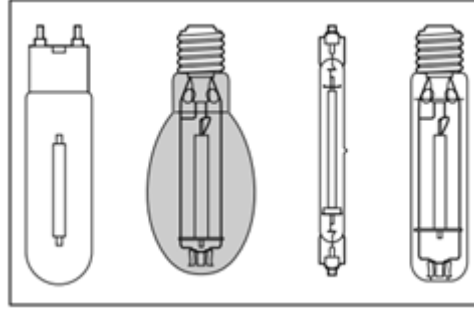
Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, ışık verimleri yüksek enerji kullanım giderleri düşük lambalardır (Şekil 4.10). Ancak, renksel geriverim sınıfının çok düşük olmasından dolayı iç aydınlatmada kullanılamazlar. Kimi dış aydınlatmalarda veya emniyet aydınlatmalarında kullanılabilirler.



Şekil 4. 10 Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lamba tipine örnek [38]

Çalışmalarında durultucu gerekir ve ilk yatırım maliyetleri bu sebeple yüksektir. Boşalmanın başlama koşulu belirli bir sıcaklığı gerektirdiğinden, lambanın rejime girmesi 8-12 dakika sürer. Aynı şekilde, çalışan bir lamba sönünce, başlama sıcaklığına gelmesini beklemek yaklaşık 10 dakika gerektirir (Çizelge 4.7).

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, genel olarak alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara benzemekte ancak fiziksel ve ışıksal açıdan ayrımlar göstermektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba tiplerine örnek [38]

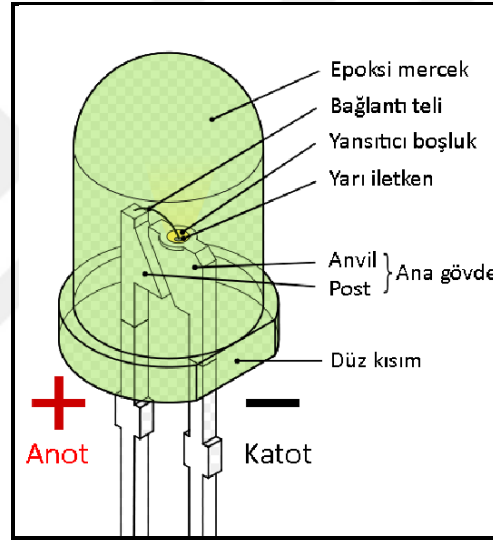
Boşalma tüpünün içerisinde yüksek basınç, daha fazla sodyum, asal gaz ve cıva vardır. Bu sebeple renksel geriverimi daha iyi olan ve renk sıcaklığı yükselen yüksek basınçlı sodyum lambalar, dış aydınlatma kullanımı için uygundur. İlk yatırım maliyeti ve rejim süreleri alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla benzerdir.

Çizelge 4. 7 Lambaların Teknik Özellikleri [38], [48]

Lamba tipi	Renksel Geriverim Grubu/Renk Sıcaklığı (K)	Işık Verimi (Lm/W)	Ömür (saat)	Güç (W)	Yanma süresi	Sönme süresi
Akkor						
Akkor	1A/2700K	8-12	1000	15-1000	Hızlı	Hızlı
PAR	1A/2700K	10-12	2000	80-500	Hızlı	Hızlı
Akkor halojen	1A/2900K	10-18	2000	50-100	Hızlı	Hızlı
Lineer halojen	1A/2900K	14-22	2000	60-2000	Hızlı	Hızlı
Düşük voltajlı akkor halojen (12V)	1A/3000K	12-25	3000-5000	5-100	Hızlı	Hızlı
Flüoresan						
T12 Halofosfat	2/3000-5000K	60-80	7500	20-125	1-3 saniye	1-3 saniye
T8 Trifosfor	1A,1B/3000-6000K	60-95	7500-15000	18-70	1-3 saniye	1-3 saniye
T5	1B/3000-4000K	95-110	10000-15000	14-50	1-3 saniye	1-3 saniye
Dairesel	2/3000-5000K	30-50	7500	22-60	1-3 saniye	1-3 saniye
Kompakt flüoresan	1B/3000-6000K	43-83	7000-10000	5-55	1-3 saniye	1-3 saniye
Alçak Basıncılı Sodyum	-	100-190	12000-16000	18-180	8-12 dakika	10 dakika
Yüksek Basıncılı Sodyum						
Standart	4/2000K	65-140	16000-20000	50-1000	1-6 dakika	>1 dakika
Civa Buharlı						
Standart	3/4000K	40-60	24000-29000	50-1000	2-5 dakika	4-7 dakika
Metal Halide						
Tek uçlu	1B,2/3000-4200K	60-68	6000	70-150	3-6 dakika	6-10 dakika
İki uçlu	1B,2/3000-4200K	68-75	6000	70-250	3-6 dakika	6-10 dakika
Silindirik	1A,2/4000-6000K	70-80	6000-15000	70-1000	3-6 dakika	6-10 dakika
Seramik	1B/3000K	70-75	6000-8000	35-150	3-6 dakika	6-10 dakika
LED	1B/1700-10000	30-75	50000	1.7-42	Hızlı	Hızlı

4.2.8 LED – OLED

Diğer lambalardan tamamen farklı bir ışık kaynağı olan ve dolayısıyla farklı bir çalışma şekline sahip LED'ler (Light Emitting Diode), görünür ışık yayan diyotlardır (Şekil 4.12). Çalışmaları ilk başlarda güç kaynakları ile mümkün iken, günümüzde şehir şebekesinden gelen akımla çalışan E14 ve E27 duylu tipleri bulunmaktadır. LED'lerde elektrik enerjisinin ışığa dönüşmesi atomik düzeyde gerçekleşir. Geleneksel ışık kaynaklarıyla karşılaştırıldığında LED'lerin birçok yönden avantajı bulunmaktadır. Ömürleri teorik olarak ortalama 50,000 saat ve üzerinde olup, oldukça küçük boyutlara sahiptirler. Çok farklı ışık rengi seçeneklerine sahip olmalarının yanı sıra loşlaştırma olanağı da oldukça basittir [49].



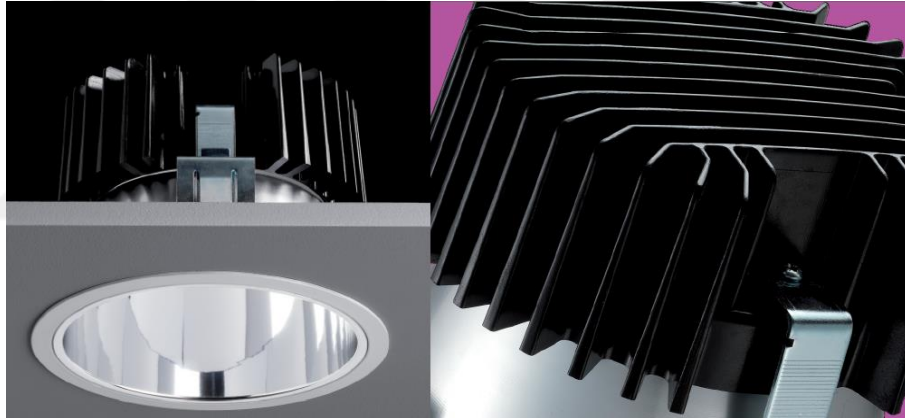
Şekil 4. 12 Tipik bir LED [50]

Günümüzde bir çok hacimde akkor, akkor halojen veya kompakt flüoresan lamba yerine güç kaynağı kullanılmadan doğrudan 220-240V'luk şebeke akımı ile çalıştırılan LED'lerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da, uzun ömürlü ve bakım maliyetlerinin düşük olması, harcadıkları enerjiye oranla verdikleri ışık akısının yani, verimlerinin yüksek olması ve çevreye zararlı lamba bileşenleri içermemeleri, bu ışık kaynaklarını sürdürülebilirlik bağlamında olumlu kılmaktadır. Mimari aydınlatma açısından farklı işlevler ve aygıt tipleriyle LED'lerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Şekil 4.13).



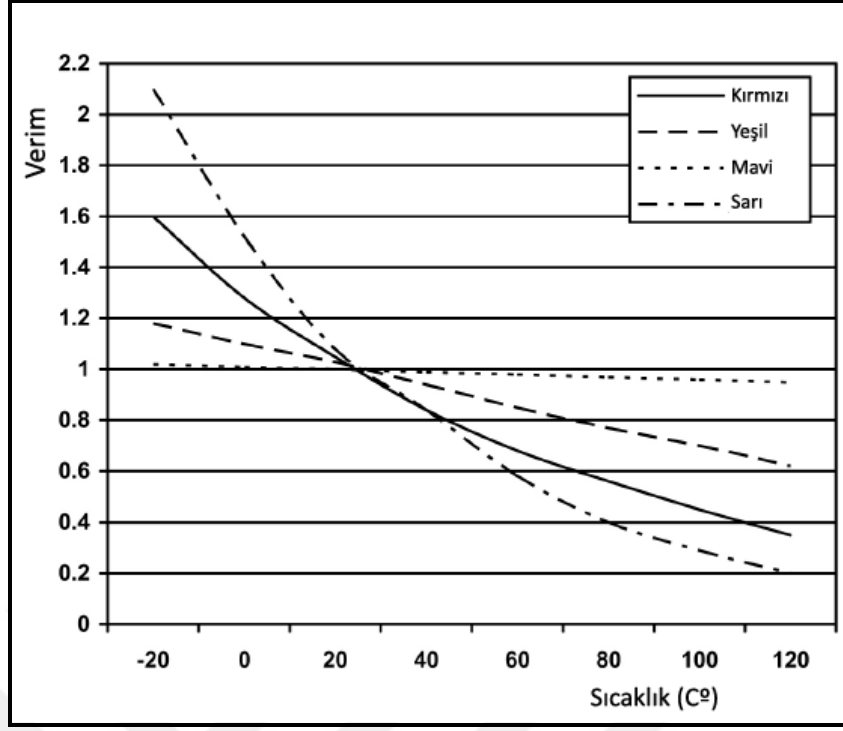
Şekil 4. 13 LED’li aygıtlara örnek [51]

LED’lerin mimari aydınlatma açısından olumsuz bir yönü gövdelerinin çalışırken oldukça ısınmasıdır. Bu sebeple, varsayılan kullanım ömrünün azalmaması için etkin olarak soğutulmaları gerekir. Soğutma yöntemleri ise genel olarak LED’in yerleştirildiği aydınlatma elemanı gövdesi içinde çözömlenir. Küçük boyutlu olan LED’lerin bu nedenden dolayı gücü arttıkça, yerleştirildiği aygıtın ebadı ya da aygıt yüzeyindeki detaylar artar (Şekil 4.14).



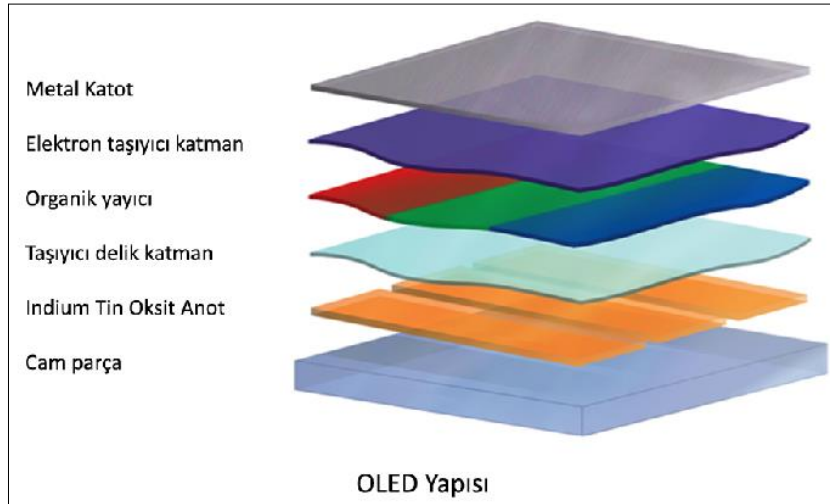
Şekil 4. 14 LED’li bir aygıt yüzeyine örnek [52]

Aşırı ısınma sorunu LED’lerde aynı zamanda verimlerinin düşmesine sebep olur. Aygıt içinde oluşacak farklı sıcaklıklarda, farklı ışık renklerine sahip olan LED’lerin veriminin bu durumdan etkilenmesi ile ilgili grafik Şekil 4.15’te verilmiştir [53].



Şekil 4. 15 LED’lerde sıcaklık-ışık rengi değişimi [53]

LED’lerin organik yapıları olan bir tipi ise, OLED’lerdir. OLED (ışık yayan organik diyot), bir anot ve bir katot arasında sandviç edilmiş çok tabakalı ve ışık yayabilen bir yapıdır (Şekil 4.16). OLED’ler sayesinde düzlemsel ve kesintisiz olarak daha geniş ve homojen dağılmış aydınlık yüzeyler oluşturmak mümkündür [54].



Şekil 4. 16 OLED Yapısı [54]

Günümüzde daha çok ekran teknolojilerinde kullanılan OLED’ler, ileride mimari yönden tek parça düzlemsel aydınlatma aygıtları yaratmak açısından çeşitli kullanım olanakları sağlayacaktır.

4.2.9 Sürdürülebilirlik Açısından Lambaların İncelenmesi

Verimleri, ömürleri ve güçleri açısından değişiklik gösteren lamba tiplerinin sürdürülebilirlik açısından incelenmesinde, belirli bir zaman aralığında tükettikleri:

- Toplam enerji,
- Açığa çıkan toplam CO₂,
- Cıva ya da varsa diğer zararlı elementlerin yayımı ve atık lamba oluşumunun oranı,
- Lamba bileşenlerinin çevresel etkileri ve lamba atıklarının değerlendirilmesi önem taşır.

Farklı lamba tiplerinde bahsedilen etkenlerden bazılarını karşılaştırmak ve sonuçlarını değerlendirmek üzere bir hesaplama programı yardımıyla örneklemeler yapılmıştır [56]. Akkor halojen ve LED lamba ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Seçilen lambalar ışık akıları açısından birbirine denktir.

Karşılaştırılan lambalarda, akkor halojen lambaya göre LED lambada yıllık 17.3 kg CO₂'in çevreye yayımı önlenmektedir. LED lambanın ömrünün daha uzun olmasından dolayı yıllık yaklaşık %75 daha az atık lamba ortaya çıkacaktır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4. 8 Lambaların sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılması [56]

Lamba tipi	Akkor Halojen*	LED**
Güç (W)	42	6
Ömür (saat)	2000	15000
CO ₂ salımı (kg/yıl)	20.2	2.9

* Philips Bulb E27/B22 42W

** Philips CorePro LEDbulb 5.5-40W E27 827

Ayrıca, lambaların yakılmasıyla ortaya çıkan çevreye zararlı etmenlerin yanısıra, başta kompakt flüoresan lambalar (KFL) olmak üzere bazı lambaların yapısında bulunan bileşenlerden dolayı atık hale gelen lambaların geri dönüşümleri yapılmadığı halde çevreye ve insana zararlı maddeler içerdiği görülmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4. 9 Tehlikeli atık içeren lamba bileşenleri [57], [58]

Lamba parçası	Zararlı bileşen
Dolum gazı	Cıva
Lamba soketi	Kurşun
Ampul	Antimon, Arsenik
Durultucu	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)
Elektrodlar	Baryum ve stronsiyum
Işık saçan madde	Nadir bulunan elementler*
*Halojen fosfat lambalar az miktarda antimon içerir.	

Özellikle cıva içeren lambaların atıkları çevreye en az zararı vermek adına denetim altında tutulup sonrasında geri dönüşüm tesislerine ulaştırılmalıdır. Avrupa’da üreticiler tarafından kurulan bazı sistemlerle lambaların geri dönüşümü sağlanmaktadır. Tehlikeli evsel atık sınıfında olan bu lambalar için donanımlı tesisler oluşturulmalı, tüketiciler bilinçlendirilerek toplumsal katılım ve çaba sarf edilmelidir. Gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan kompakt flüoresan lambaların (KFL) geri dönüşümü yapılmaz ise önce çevreye karışan sonrasında dolaylı yollardan insan vücuduna aşırı miktarda giren cıva:

- Merkezi sinir sistemi tahribi ve kanser,
- Nörolojik bozukluklar,
- Böbrek, karaciğer, beyin dokularının tahribi,
- Sakat doğumlar

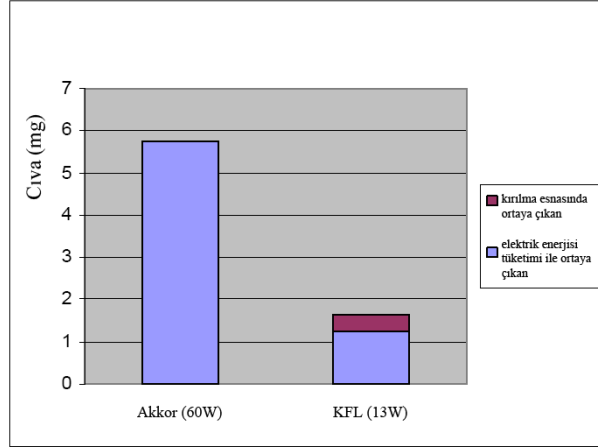
gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır [59]. Kurşun ise, insan sağlığı için bir diğer tehlikeli ağır metaldir, işitme bozukluğu, kansızlık, mide ağrısı, böbrek ve beyin iltihaplanması, kanser gibi hastalıklara yol açabilmektedir.

Her KFL bir miktar cıva içerir. Tipine bağlı olarak bir KFL’de ortalama 4 mg cıva vardır. Bu cıva lambanın içerisinde ve lamba kırılmadığı sürece herhangi bir tehlike teşkil etmez. Akkor lambalarla karşılaştırıldığında ise, akkor lambaların harcadığı elektrik enerjisi bakımından çevreye yayılan cıva miktarı KFL’lere göre çok daha yüksektir (Çizelge 4.10,

Şekil 4.17). Çünkü cıva, kömür gibi fosilleşmiş yakıtların içerisinde bulunur ve yakıldığında ortaya çıkar.

Çizelge 4. 10 Akkor lamba ve KFL cıva yayımı karşılaştırması [46]

Lamba	Güç (W)	Kullanım saati	Toplam harcanan güç (W)	Elektrik enerjisi kullanımına bağlı cıva yayımı (mg)	Kırılmaya bağlı cıva yayımı (mg)	Toplam cıva yayımı (mg)
KFL	13	8000	104	1.2	0.6	1.8
Akkor	60	8000	480	5.8	0	5.8



Şekil 4. 17 Akkor lamba ve KFL cıva yayımı karşılaştırması [46]

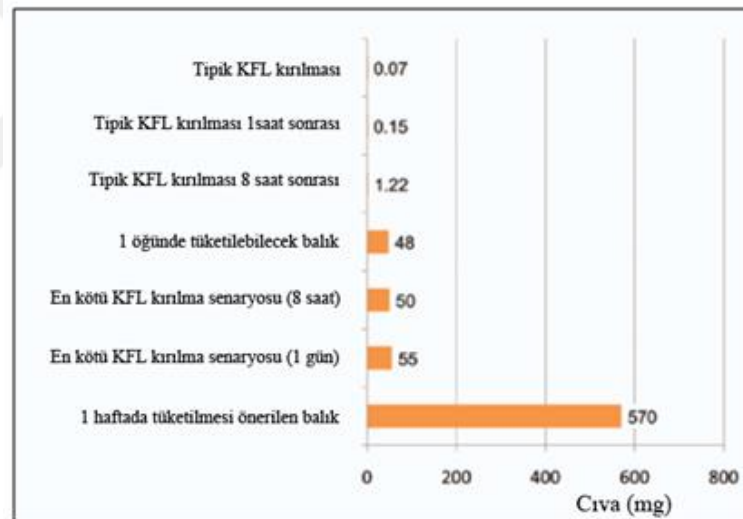
KFL'lerin temel bileşeni olan cıvanın, geliştirilmekte olan bu lambalarda, lamba başına 1.4 - 2.5 mg arasına kadar düşen örnekleri mevcuttur.

Akkor lambaların yasaklanması üzerine yapılan bir araştırmaya göre, yaklaşık 493 milyon olan AB nüfusunda bir konut hacminde beş lamba kullanıldığı varsayıldığında 2.5 milyar akkor lambanın KFL ile değiştirileceği sonucuna varılmıştır. Ortalama 3000 saatlik verimli kullanım ve günde 4 saat kullanımla AB'de günde yaklaşık 3 milyon 290 bin lamba adedi ömrünü tamamlamış olacaktır. Kaliteli flüoresan lambalarda, lamba başına 2mg ve daha düşük kaliteli flüoresan lambalarda ise lamba başına 5mg cıva bulunduğu düşünülürse bu lambaların geri dönüşümü için günümüzde yeterli tesis bulunmaması sonucunda ortaya çıkacak cıva artığı, AB'de tüm geri dönüşüm süreci verimli bir hal alıncaya kadar

yıllık olarak ekosistemimize asgari 2 ton cıvanın karışacağı beklenmektedir. 1 mg cıva ise, 5300 litre içme suyunu zehirlemeye yeterlidir [60].

ABD Çevre Koruma Derneği (EPA), tüketicilere ömrünü tamamlayan KFL'leri geri dönüşüm tesislerine göndermelerini söylemektedir. Bir KFL'nin kırılması durumunda ise, öncelikle mekanın camları açılarak havalandırılmalı, varsa merkezi havalandırma ya da ısıtma sistemi kapatılmalıdır. El değmeden atılması gereken parçalardan ufak olanlar bant vb. yapışkanlarla temizlenmelidir. ABD Çevre Koruma Ana Departmanı (MDEP), bir KFL'nin kırılması durumunda iyi temizlenmesi şartı ile insan sağlığını tehdit etmeyeceğini açıklamıştır [61].

Yapılan bir başka araştırmaya göre ise, bir KFL'nin kırılmasıyla çevreye yayılan cıva, insan sağlığını tehdit etmemekte ve bir insan için haftalık tüketilmesi önerilen balık ile alınacak cıvadan çok daha az miktarda olmaktadır (Şekil 4.18) [62].



Şekil 4. 18 KFL ile balık arasındaki cıva miktarı karşılaştırması [62]

Sonuç olarak, yapılan araştırmalar ve ölçmelere bağlı olarak KFL'ler ile ilgili farklı yorumlar bulunmaktadır. Akkor ve akkor halojen gibi lambaların yerini daha etkin enerji kullanımlı ve uzun ömürlü oldukları için alan KFL'lar ve zararlı madde içeren diğer lambaların kullanımında kullanıcılar bilinçli olmalı, kendi sağlıklarını ve çevreyi tehdit edebilecek bu unsurları göz önünde bulundurmalarıdır. Elektrik enerjisi tüketimi ve dolayısıyla CO₂ yayımının azalması olumlu bir durumken, çevreye yayılabilecek cıva diğer zararlı lamba bileşenlerin önlenmesi için bu lambaların geri dönüşümü mutlaka yapılmalıdır.

4.3 Aygıt Seçimi

Bir aygıt ile istenen bir düzlemde oluşturulabilecek aydınlık düzeyi, aynı düzlemi aynı koşullarda aydınlatan başka bir aygıt ile çok daha düşük veya çok daha yüksek düzeyde aydınlık elde edilebilecek şekilde sağlanabilir. Aygıtın geriverimine, yani aygıt dışına çıkan ışık akısının, içerisindeki lambaların toplam ışık akısı oranına bağlı olan bu durumda, mekan işlevine göre seçilecek geriverimi yüksek aygıtlarla harcanan güç aynı kalırken daha yüksek aydınlık düzeyi elde edilmesiyle gereksiz enerji tüketimi önlenir.

Kuramsal olarak hiçbir aygıtın geriverimi %100 değildir. Lambadan ya da lambalardan çıkan ışığın bir bölümü doğrudan aygıt dışına çıkarken bir bölümü aygıt içerisinde bir miktar yutulur, bir bölümü ise yansımalar yaparak çıkar.

$$\text{Aygıt geriverimi} = \frac{\text{Aygıttan çıkan ışık akısı}}{\text{Lambaların ışık akısı}}$$

Aygıt dışına çıkan ışık akısının belli bir kısmının yutulması ya da yansımaları :

- Aygıt iç yüzeyinin geometrik şekil ve büyüklüğüne (biçimine),
- Aygıtın yapımında kullanılan gereç ya da gereçlerin özelliklerine

bağlıdır.

4.3.1 Aygıt Biçim Özellikleri

Aygıtlardan çıkan ışığın istenen aydınlığa dönüştürülmesinde büyük rol oynayan aygıt biçimlerinde önemli olan ışığın, söz konusu aygıttan yansıma biçimidir ve aygıt yansıtıcısına bağlıdır. Yansıtıcılar, aygıt tasarımında kuşkusuz öncelikle düşünülmesi gereken elemanlardır.

Bilinçli yapılan tasarımlarda bu yansıma biçimi ile istenen doğrultuya yönlendirilen ışık ile gereksiz yerlerde gereksiz aydınlıkların oluşması önlenir. Işık yansıma biçimleri düzgün, yayınlık, izotrop yayınlık ve karışık yansıma olarak tanımlanırken, aygıt yansıtıcı biçimi ile çoğunlukla düzgün yansıma kontrol edilebilir. Yayınlık yansımada sonsuz noktadan yansıyan ışık ışınları sonsuz doğrultuya yayılır ve bu ışınları belli bir doğrultuya gönderip istenen düzlemde istenen aydınlığı oluşturarak gereksiz enerji tüketimine engel olmak mümkün değildir. Düzgün yansıma ise ışığın belli bir doğrultuda

yansımadır ve bu yansıma açısı ışığın geliş açısının, geldiği düzlemin normali ile yaptığı açıya eşit açıdadır [63].

4.3.2 Aygıt Gereç Özellikleri

Aygıt gereci parlak ya da donuk yüzey ve ışığı yansıtıcı veya geçirici ya da hem yansıtıcı hem geçirici yapıda olabilir. Bu yapısal özellikler aygıttan çıkan ışık akısının doğrultusunu ve düzeyini doğrudan etkiler.

Yüzeyden yansıyan ışığın, hangi doğrultuya yansıtacağı yüzeyin ışığı yansıtma biçimi ile belirlenir ve doğrudan yüzeyin 'doku' özelliği ile ilgilidir. Yüzeyin açıklık-koyuluğu ise, yüzeyden yansıyan ışığın ne oranda yansıtacağını belirler.

Düzgün yansıma yapan yüzeyler parlak yüzey olarak tanımlanır. Donuk yüzeyler ise, Lambert kanununa göre yayınık yansıma yapan yüzeylerdir. Donuk boyalar, opal camlar, kireç badanalar vb. yüzeylere ideal dağıtıcı yüzeyler adı da verilir. Parlak ve donuk yüzeylerin %100 düzgün ve izotrop yayınık yansıma yaptığı düşünülemez [35].

Geçirici (saydam) gereçler, kırılma kanununa uyup düzgün geçirme yaparlar (Saydam camlar, pleksiglas vb.). Bu gereçlerde geçiricilik %100 değildir, gelen ışığın bir kısmı yansır ve yutulur. Yutulmada gerecin kalınlığı önemlidir, kalınlık arttıkça yutma çarpanı artar. Bazı gereçlerde hem geçirici hem yansıtıcı hem de yutucu özellik görülür. Yarı saydam olarak tanımlanan bu gereçler, buzlu cam, opal cam, ipekli kumaş vb. gereçlerdir. Saydamsız gereçler ise, ışığı geçirmeyen fakat çeşitli yansıtma ve yutma özelliği gösteren gereçlerdir [35].

Açık ve koyu renkli gereçler ışığın yansıması ve yutulması açısından önemlidir, tasarımda öncelikli olarak yansıma ve yutma çarpanları dikkate alınmalıdır. Bir aygıt gerecinin koyu renkli olması durumunda yutucu özelliği artıp yansıma çarpanı azalacağından, içerisindeki lambanın ışık akısına oranla dışarıya vereceği ışık akısı oldukça düşük olacaktır. Bu durum enerji kullanımı açısından olumsuzdur. Bazı yüzeylere ait yansıma çarpanları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Aygıt gerecinin renkli yüzey olması halinde ise, gerecin yansıtma çarpanı, ışığın tayfsal yapısına bağlı olarak değişir.

Çizelge 4. 11 Bazı yüzey, boya ve malzemelere ait yansıtma çarpanı değerleri [48]

Parlak alüminyum	0.80-0.85
Donuk alüminyum	0.50-0.75
Gümüş	0.90
Bakır	0.60-0.70
Krom	0.60-0.70
Çelik	0.50-0.60
Beyaz	0.70-0.80
Beyaz alçı	0.70-0.85

4.3.2.1 Sürdürülebilirlik Açısından Aygıt Gereçlerinin İncelenmesi

Sürdürülebilirlik açısından aygıt gereçlerinin üretim ve atık aşamasında çevreye ne kadar zarar verdiği önem taşır. Aygıt biçimi, ağırlığı, estetiği ve maliyetini yakından ilgilendiren aygıt gereçleri genel olarak alüminyum, çelik, plastik ve cam olarak sıralanabilir.

Alüminyum aygıt yapımında sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Çeliğe oranla 1/3 oranında daha hafif, şekillendirmesi daha kolay ve maliyeti daha düşüktür. Saf alüminyum genellikle yansıtıcı tasarımında kullanılırken, aygıt yapımında alaşımlar söz konusudur. Bakır, magnezyum, manganez, çinko, silikon, demir, krom ve nikel gibi elementlerle yapılan alaşımlar yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımlar, alüminyumun dayanıklılığını ve paslanmaya karşı korumunu artırır [39].

Alüminyum %100 geri dönüşümü olan bir malzemedir. Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretimi, hammaddeden alüminyum üretimine göre %95 daha az enerji gerektirir. Böylece önemli oranda enerji kaynağı korunmuş olur. Bir kilogram alüminyum geri kazanıldığında, 8 kg boksit madeni, 4 kg kimyasal madde ve 14 kWh elektrik enerjisinden tasarruf edilmiş olur [59]. Bir ton kullanılmış alüminyumdan elde edilen alüminyumla ise, 2000 kg CO₂ yayımı önlenmiş olur [59].

Paslanmaz çelik bir başka aygıt malzemesi olarak, en az %12 krom içeren demir alaşımlarından oluşur. Yüksek sıcaklıklarda veya yüksek rutubetli ortamlarda kullanımı tercih edilir. Kullanılmış çelik geri kazanılıp üretime sokulduğunda, hammadde kaynağı

korunmuş olur. 1000 kg kullanılmış çelik geri kazanılıp tekrar çelik üretiminde kullanıldığı zaman 1050 kg demir cevherinden, 454 kg kok kömüründen ve 55 kg kireç taşından tasarruf edilmiş olunur [59].

Plastik ise, karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementlerin etkileşime girmesiyle, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüşerek oluşan bir malzemedir. Isıya ve kimyasallara karşı dayanıklı ve çok hafif olmaları aygıt malzemesi olarak kullanımlarında yarar sağlar.

Plastik, doğada hazır bulunmaz ve geri dönüşümü yapılmadığı halde doğada ortalama 1000 yılda yok olur. 1 ton plastik geri kazanıldığında ise, 14bin kWh enerjiden tasarruf edilir.

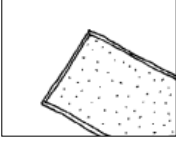
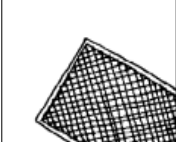
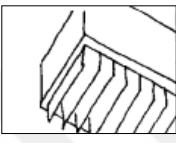
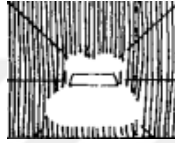
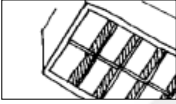
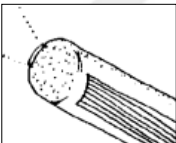
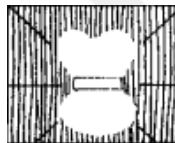
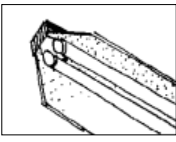
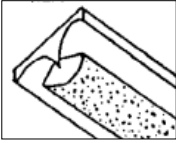
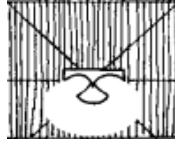
4.3.3 Aydınlatma Biçimleri

Aygıtların aydınlatma biçimleri, verdikleri ışık akılarının doğrultu ve düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu aydınlatma biçimleri:

- Dolaysız aydınlatma,
- Yarı dolaysız aydınlatma,
- Yayınık aydınlatma,
- Dolaylı-dolaysız aydınlatma,
- Yarı dolaylı aydınlatma,
- Dolaylı aydınlatma

olarak sıralanabilir. Söz konusu mekan için gereksinimler doğrultusunda seçilecek aydınlatma biçimi ile yalnızca istenen yüzey veya düzlemlerde aydınlık elde edilmesi, aydınlatma için tüketilen enerjinin etkin biçimde kullanılmasını desteklemektedir. Kabaca fikir vermesi yönünden değişik aygıtların aydınlatma biçimi ve yaklaşık aygıt geriverimlerine ait örnekler Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Aydınlatma biçimi ve geriverimi verilen aygıt tipleri [38]

Aygıt tipi		Aydınlatma biçimi	Aygıt geriverimi (%)
	Opal yayıclı		75
	Prizmatik yayıclı		60
	Paletli		70
	Paletli		70
	Opal yayıclı		60
	Beyaz yüzey yansıtıcı		80
	Perforeli		73

Dolaysız aydınlatmada, aygıttan çıkan ışık akısının %90-%100 arasında bir oranı doğrudan aydınlatılacak düzleme yollar. Işığın, kamaşma oluşmaması için doğrudan göze gelmemesine dikkat edilmelidir. Yüksek tavanlı hacimlerde, çeşitli (opal, prizmatik, paletli vb.) yayıclı aygıtlarla kullanılabilir. Bu aydınlatma biçimi ile sınırlı ve sert bölgeler elde edilir.

Yarı dolaysız aydınlatma, aygıttan çıkan ışık akılarının %60-%90 arasında bir oranla doğrudan aydınlatılacak düzleme gönderildiği bir aydınlatma şeklidir. Tavandan sarkan bir ışıklık düşünüldüğünde tavan yansıtıcılığı kısmen önem kazanır. Ayrıca, aydınlatma biçiminin yanı sıra aydınlatma aygıtının hangi durumlarda ne şekilde konumlandırıldığına da dikkat edilmelidir.

Yayınık ve dolaylı-dolaysız aydınlatmada, aygıttan çıkan ışık akısının %40-%60 oranı doğrudan aydınlatılacak düzleme ulaşır. Yayınık aydınlatma, glob gibi etrafına homojen şekilde ışık veren aygıtlarla sağlanabilir. Bu aydınlatmada, tavan ve duvar yansıtıcılıkları önem taşır.

Yarı dolaylı aydınlatmada, aydınlatılacak düzleme ışık akılarının %10-%40 arası bir oranını yollayan aygıtlarla yapılan aydınlatma şeklidir. Bir hacimde tavandan sarkan ya da duvarda konumlandırılmış bir aplik aygıt düşünüldüğünde tavan yansıtıcılığı çok önemlidir.

Dolaylı aydınlatmada ise, aygıttan çıkan ışık akısının %0-%10 arasında bir oranı aydınlatılacak düzleme yollar. Bu aydınlatma biçiminde, yumuşak gölgeli, yayınık ışık elde etme olanağı vardır. Işık kaynağının doğrudan göze gelerek oluşturduğu dolaysız kamaşma sorunu ortadan kalkar. Aygıttan çıkan ışık akısının büyük bir bölümü dolaylı olarak yayılacağından yine tavandan sarkan bir aygıt düşünüldüğünde tavan yansıtıcılığına dikkat edilmelidir. Yansıtma çarpanı çok yüksek bir tavan yüzeyi ve çok sayıda dolaylı aydınlatma yapan aygıt gereğinden fazla aydınlık düzeyi oluşmasına sebep olabilir. Tasarım aşamasında yapılabilecek hesaplarla bu durumun denetlenmesi mümkündür.

Sonuç olarak, aygıtların aydınlatma biçimleri ve mekan içerisindeki konumları verdikleri ışık akısının doğrultusunu ve düzeyini doğrudan etkilemektedir. Aydınlığın boşa harcanmaması, gereksinim duyulan yüzey veya düzlemde etkin biçimde aydınlık oluşturulması gerek enerji tüketimi gerekse görsel konfor açısından önem taşır.

4.4 Aydınlığın Niteliğine Karar Verilmesi

Aydınlığın niceliğinin tek boyutlu bir kavram olmasına karşılık, aydınlığın niteliği ise çok boyutlu ve karmaşık bir kavramdır. Dolaylı yoldan enerji kullanımını etkileyen bu

kavramın bir ortamda uygun olmaması halinde iyi görme koşulları sağlanamaz. Aydınlığın niceliğini arttırmak ise niteliğini olumlu yönde etkilemeyeceği gibi daha da kötü sonuçlara yol açabilir. Bu şekilde dolaylı olarak elektrik enerjisi boşa harcanmış olur. Aydınlığın nitelik parametreleri, ışık rengi, ışık tayfsal yapısı, ışığın doğrultusal yapısı, gölge niteliği, düzgün yayılmışlık ve iç yüzeylerin özellikleri olarak sıralanabilir.

4.4.1 Işık Rengi

Işık rengi, bir ışık kaynağının görünen rengidir. Işık rengini tanımlamak için, Kelvin (K) cinsinden ölçülen bir sıcaklık derecesi kullanılır (Çizelge 4.13).

Işık rengi konusu, renkli yüzey veya yüzeylerden yansıyan ışıklardaki tayf yapısı değişiklikleri de düşünülürse, oldukça karmaşıktır. Basite indirgeyerek sıcak renkli ışık ve soğuk renkli ışık ayırımında dayalı olarak birkaç genel kural verilebilir [44]. Bunlar,

- Sıcak renkli yüzeyler sıcak renkli ışıkla aydınlatıldıklarında, renksel doymuşlukları artar, ışıklılıkları yükselir.

Sıcak renkli yüzeyler soğuk renkli ışıkla aydınlatıldıklarında, renksel doymuşlukları azalır, ışıklılıkları düşer.

Soğuk renkli yüzeyler için de aynı kural tersine geçerlidir.

- İnsanlar doğal olarak aydınlığa, doymuş ve sıcak renklere yönelirler. Bu nedenle çekici ya da yönlendirici amaçla sıcak renkli ve yüksek düzeyli aydınlık kullanılır.
- Genel aydınlatma içinde yer yer bölgesel aydınlatma varsa, bu bölgesel aydınlığı sağlayan ışığın rengi, genel aydınlığı sağlayan ışığın rengine göre daha sıcak olmalıdır.
- Işığın rengi aydınlık düzeyi ile de ilgilidir. Aydınlık düzeyi yükseldikçe ışığın rengi sıcaktan soğuğa yükselmelidir. Çok genel olarak bir sınıflandırma, 250 lüks altında sıcak renkli ışık, 400 lüks üzerinde soğuk renkli ışık olmalıdır olarak geçer. Sıcak renkli ışıkla çok düşük aydınlıklar görsel konforu bozmaz ancak soğuk renkli ışıkla düşük aydınlık düzeyleri rahatsızlık vericidir (Bknz. Bölüm 3, Şekil 3.2 Aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı ilişkisi-Kruithof yasası).

Çizelge 4. 13 Kimi ışık kaynaklarının K cinsinden renk sıcaklık dereceleri [48]

Işık Kaynağı	(K)
Mum	1900-1950
Akkor lamba	2700-2900
Flüoresan lamba	2800-7500
Ay ışığı	4100
Güneş ışığı	5800-6500
Kapalı gök	6400-6900
Açık gök	10000-26000

4.4.2 Işığın Tayfsal Yapısı

Işığın tayfsal yapısı ile ışık rengi aynı şey değildir. Her tayfsal bir yapının belli bir rengi vardır. Fakat belli bir ışık rengi çok değişik tayfsal yapılarla elde edilebilir [64].

İki ışık kaynağı aynı renk sıcaklığında olmalarına karşın, tayfsal yapıları birbirinden farklı olabilir. Bu durumda ışık kaynaklarıyla aydınlatılan nesnelerin renksel özelliklerinde tür, değer, doymuşluk açısından farklar olabilir. Aynı nesne, farklı ışık kaynakları altında kendi öz renginden uzaklaşabilir. Bu durum, ışık kaynağının renksel geriverim özellikleri ile ilgilidir.

4.4.3 Işığın Doğrultusal Yapısı

Belli bir yüzeye düşen ışık, tek bir doğrultudan gelebildiği gibi birkaç ya da sonsuz doğrultudan gelebilir. Bu özellik ışığın doğrultusal yapısı olarak tanımlanır ve en çok gölge niteliğini etkiler. İç yüzey yansıtma çarpanları ve aydınlatma biçiminin (dolaylı, dolaysız, yarı dolaylı, yayınık vb.) bu doğrultusal yapıyı belirlemede etkin rolü vardır.

İrili ufaklı nesnelerde, üç boyutlu dokularda, kırık ya da bükümlü yüzeylerde, mimari mekanlarda, ışığın doğrultusal yapısına göre değişik biçimde ve özellikte gölgeler oluşur. Bu gölgeler, görsel algılamının iyi ya da kötü olmasında, mimari ve genelde estetik değerlerin belirtilmesi, vurgulanması, güçlendirilmesi ya da gizlenmesinde çok büyük rol oynar [64]. Görsel algılamının iyi olması enerjinin de doğru şekilde kullanıldığını gösterir.

Gölgeler, sert-yumuşak gölgeler ve saydam-kara gölgeler olarak nitelendirilir. Gölgesiz aydınlık ise, bulutlu ve sisli havalardaki günışığı aydınlığı gibi yayınlık ışık alanlarıyla oluşan, gölgelerin belirgin ve etkili olmadığı bir aydınlıktır.

Aydınlığın niteliğine karar verilmesinde, özellikle sürdürülebilirlik açısından ‘insan’ başlığı önem taşır. Işık rengi, tayfsal ve doğrultusal yapısı görsel algılamada görsel konforu sağlayan önemli etkenlerdir. Sürdürülebilir aydınlatma tasarım etkenlerinden biri olan nitelik konusu diğer başlıklarla birlikte bir bütün olarak ele alınmalıdır.

4.5 İç Yüzeylerin Yansıtma Çarpanlarına Karar Verilmesi

Bir iç mekanda, görme olayına konu olacak nesnelerin bulunmadığı doğrultulara giden ışık, bu doğrultularda rastladığı yüzeylerde belli oranda yutulur ve belli oranda yansır. Bu yüzeylerden yansıyan ışık çevre görünürlüğünü oluşturur, yutulan ışık ise boşuna harcanmış olur. Buna göre boşuna harcanan ışık, düştüğü yüzeylerde yansımayan ışıktır. Yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma literatüründe çizelgeler halinde verildiği gibi, karşılaştırma yolu ile ya da ölçme aletleri ile belirlenebilir [65]. Çizelge 4.14’te, değişik yüzeylerin yansıtma çarpanlarından birkaç örnek verilmiştir.

Çizelge 4. 14 Değişik yüzeylerin yansıtma çarpanlarına örnekler [65]

Yeni beyaz badana	0.80 – 0.85
Çok açık renkli yüzeyler	0.65 – 0.75
Açık renkli yüzeyler	0.45 – 0.55
Orta koyulukta yüzeyler	0.25 – 0.35
Koyu renkli yüzeyler	0.10 – 0.20
Siyaha yakın koyu yüzeyler	0.05 – 0.08

İç yüzeyler tavan, döşeme, duvarlar ve pencere yüzeylerini örten elemanlar olarak tanımlanabilir. Bu yüzeylerin renk ve yansıtma biçimleri mekanda var olan aydınlığı önemli ölçüde etkiler. Çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin yüksek olmasına iç yüzeylerdeki yansımaların katkısı büyüktür. Bu nedenle tavanlar beyaz, duvarların ise çalışma düzlemi üzerindeki bölümü yansıtma çarpanı yüksek olan bir açık renk olmalıdır.

Özellikle büyük pencere yüzeylerinin karşısındaki duvarların açık renk olması günışığından en iyi şekilde yararlanma açısından önem taşır.

Döşemelerin ise, ortalama yansıtma çarpanları %30-%50 civarında olan gereçlerle kaplanması ya da renklerle boyanması yani, orta koyulukta olması iyi bir çözümdür. İç yüzeylerde düzgün yansıma yapacak cilalı, parlak yüzeylerden kaçınılmalıdır. Eğer bu tür yüzeylerin kullanımı özellikle isteniyorsa, görsel konforun bozulmamasına dikkat edilmelidir.

Pencereleri örten tüller ve perdeler de çok açık renk hatta beyaz olmalıdır. Bu lamba ışığı ile aydınlatma açısından yararlıdır. Beyaz bir tül hacimdeki aydınlığın düzgün yayılmasını sağladığı gibi günışığının içeriye girmesine fazla engel olmaz.

Enerjinin etkin kullanımında iç yüzey yansıtma çarpanları gerek günışığı gerekse lamba ışığı ile aydınlatmada önemli bir etkindir. İç yüzeylerin beyaz ya da çok açık renkli olmasıyla gerekli lamba ışığı, dolayısıyla tüketilen elektrik enerjisi azalır, hacimde görsel açıdan daha dengeli bir durum sağlanır ve içeri giren günışığı etkin biçimde yayılır.

4.6 Bakım ve Temizlik

Lambaların ışık veriminde, aygıtların geriveriminde ve yüzeylerden yansıyan ışık oranında, bakımsızlık nedeni ile önemli kayıplar olmaktadır. Bu kayıplar:

- Periyodik bakım sürelerine,
- Çevre (hava) kirlilik oranlarına,
- Lamba ve aygıt türüne

göre büyük değişiklik gösterir. Ölçmelere dayanarak, bakımsız bir aydınlatma düzeninde aydınlığın 3 yıl içerisinde ilk değerinin %40'ına düştüğü söylenebilir. Yapılan gözlemler, bu tür aydınlık azalmalarının yavaş yavaş ve sürekli bir biçimde olmasından dolayı farkedilmesinin zor olduğunu, durumun zamanla ortaya çıkan göz ağrıları, artan yanlışlar, kazalar ve bir işin bitirilmesinin daha uzun zaman alması gibi sonuçlarla anlaşılabilirdiğini göstermiştir [65].

4.6.1 Lambaların Işık Veriminde Azalma

Kullanılan lambaların kuramsal ömürleri bitiminde yenileri ile değiştirilmeleri gerekmektedir. Kuramsal ömrü dolduktan sonra yanmaya devam eden lambaların verimleri oldukça düştüğü gibi, ışık akılarının ve dolayısıyla hacimdeki aydınlık düzeyinin azalması, görsel konforun bozulması, enerjinin boşa harcanması gibi birden çok zarara yol açar.

Bir grup lambada, bir ya da birkaç sayıda lamba yenilenecek ise, yenilenen lambanın aynı tip olması ışığın nicelik ve nitelik olarak homojen yayılması açısından gerekir. Eğer çok sayıda lamba değiştirilecek ve söz konusu mekan için daha gelişmiş lamba tipleri bulunuyorsa tüm lambaların değiştirilmesi enerjinin etkin kullanımı açısından yararlı olacaktır [42].

4.6.2 Aygıt Geriveriminde Azalma

Hacim için uygun aygıtı seçmek önemli olduğu gibi seçilen aygıtın bakımlarının da düzgün yapılması gerekmektedir. Aksi halde yüksek geriverimli bir aygıtın dahi bakımsızlık sonrası geriverimindeki düşüşü ile yaşanacak enerji kayıpları kaçınılmazdır.

Aydınlatma aygıtı içerisinde zamanla biriken kir ve toz ile istenilen düzlemde elde edilen aydınlık düzeyinde azalmalar meydana gelir. Bu azalmalar 'değer düşmesi' olarak tanımlanırken, önlem alınmadığı takdirde azalmalar sürekli artar. Düzenli temizlik ve bakım işlemlerinin yapılması ile söz konusu aydınlık düzeyi, ilk duruma yakın bir düzeye ulaşır. Değer düşmesinin bağlı olduğu durumlar:

- Yapının veya hacmin işlevi,
- Aydınlatma biçimi,
- Aygıt gereç özellikleri,
- Atmosferik kirletme koşulları,
- Aygıtların havalandırılması

olarak sıralabilir. Çizelge 4.15'te atmosferin normal ve kirli olması gibi iki durum için, birkaç değişik tip aygıtlarla, bir, iki ve üç yıl sonundaki geriverim azalmaları verilmiştir.

Çizelge 4. 15 Aygıt türü ve zaman içerisindeki bakıma bağlı aygıt geriverimleri [65]

Aygıt türü	Başlangıç geriverimi		1 yıl sonra geriverim		2 yıl sonra geriverim		3 yıl sonra geriverim	
	Nk*	Yk**	Nk	Yk	Nk	Yk	Nk	Yk
Üstü açık yansıtıcı	1.00	1.00	0.86	0.83	0.80	0.75	0.74	0.68
Üstü kapalı yansıtıcı	1.00	1.00	0.81	0.72	0.69	0.59	0.61	0.52
Toza karşı korunmuş	1.00	1.00	0.90	0.86	0.86	0.81	0.84	0.79
Açık aygıt	1.00	1.00	0.82	0.77	0.77	0.71	0.73	0.65
Dolaylı aydınlatma	1.00	1.00	0.81	0.74	0.66	0.57	0.55	0.45

* Normal Kirli

** Yüksek Kirli

Günümüzdeki aygıt tipleri çok çeşitli olduğundan özellikle havalandırma konusunda farklı durumlarla karşılaşılır. Kimi aygıtlarda aygıt bünyesinde havalandırmanın iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için özel tasarımlar yapılırken, kimi aygıtlarda ise bu durum göz ardı edilerek aygıt içerisindeki lambanın zamanla ısınması ve verimini hatta işlevini yitirmesi söz konusudur. Aygıt seçiminde, mimari detaylandırma ve aydınlatma düzeni ile aygıtlara ne şekilde ulaşılabilineceğine karar verilmeli, kullanıcının aygıtlara ulaşma yolu en basite indirgenmelidir.

4.6.3 İç Yüzeylerden Yansıyan Işık Oranında Azalma

İç mekanlarda duvar, tavan, perde vb. yüzeylerin kirlenmesi ile bu yüzeylerden yansarak aydınlatılmak istenen düzleme düşen ışıktaki ve bu yüzeylerin görünürlüğünde küçümsenemez azalmalar oluşur. Bu azalmalar, aydınlatma biçimine bağlı olarak bu yüzeylere giden ışık oranı yükseldikçe, yani aydınlatma biçimi dolaysızdan dolaylıya doğru değiştikçe giderek önem kazanır [65].

Çizelge 4.16’da farklı hacim tiplerine göre normal ve kirli atmosfer koşulları için, bir, iki ve üç yıl sonunda, yüzeylerden yansıyan ışık oranındaki azalmalar aydınlatma biçimine göre verilmiştir.

Çizelge 4. 16 Farklı durumlarda iç yüzeylerden yansıyan ışık oranlarına bağlı değişimler [65]

Hacim biçimi	Aydınlatma biçimi	Başta		1 yıl sonra		2 yıl sonra		3 yıl sonra	
		Nk*	Yk**	Nk	Yk	Nk	Yk	Nk	Yk
Yüksek tavanlı küçük hacimler	Dolaysız	1.0	1.0	0.94	0.93	0.93	0.90	0.92	0.88
	Yayınık	1.0	1.0	0.86	0.82	0.82	0.78	0.79	0.74
	Dolaylı	1.0	1.0	0.78	0.73	0.73	0.66	0.68	0.59
Normal boyutta hacimler	Dolaysız	1.0	1.0	0.96	0.95	0.95	0.94	0.95	0.94
	Yayınık	1.0	1.0	0.88	0.85	0.85	0.81	0.82	0.78
	Dolaylı	1.0	1.0	0.82	0.77	0.77	0.70	0.72	0.64
Alçak tavanlı büyük hacimler	Dolaysız	1.0	1.0	0.96	0.95	0.95	0.94	0.95	0.94
	Yayınık	1.0	1.0	0.88	0.85	0.85	0.81	0.82	0.78
	Dolaylı	1.0	1.0	0.82	0.77	0.77	0.70	0.72	0.65

* Normal Kirli

** Yüksek Kirli

Kısaca, kurulan aydınlatma düzenlerinin etkinliğini zaman içerisinde yitirmemesi ve kurulum esnasında sağlanmış görsel konfor koşullarının bozulmaması için düzenli olarak lamba, aygıt ve iç yüzeylerin bakım ve temizliğine özen gösterilmelidir.

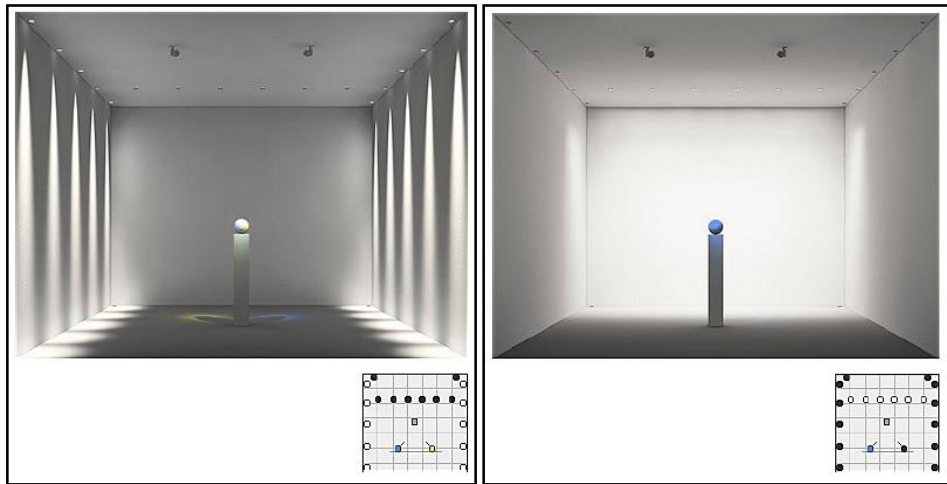
4.7 Yakma Sistemlerinin Plan ve Programlanması

Aydınlatma sisteminin kullanılmasında belirli bir plan ve programın yapılması zorunludur. Aksi durumda gelişigüzel kullanımın elektrik enerjisinin boşuna gitmesine neden olduğu gibi, sistemin düzenli çalışmasını ve iyi bir bakımın yapılmasını da etkiler. Bu aşamada en temel kural gereğinde ışığın yakılması ve kullanılmadığı zaman söndürülmesidir [66].

Aydınlatma sistemi denetimi elle ya da otomatik olarak yapılabilir. Bu denetim kararı tasarım aşamasında belirlenmeli ve buna bağlı olarak senaryolar oluşturulmalıdır.

Elle denetimde, gereksinimlere göre kişiler, anahtarlar aracılığıyla ışığı yakıp söndürmelidirler. Mekan işlevine ve ne kadar süre ile aydınlık istendiğine bağlı olarak bu denetim gerçekleştirilir. Hangi koşullarda hangi lambaların yakılıp söndürüleceğine karar vermek elektrik enerjisi kullanımı açısından önemlidir. Örneğin, elle denetim yapılan mekanlarda gün ışığının istenen düzlemde yeterli aydınlık düzeyi sağladığı durumlara kullanıcı kişilerin dikkat etmesi gerekir. Farklı senaryoları bu şekilde sağlamak için ise birden çok açma-kapama düğmesi ya da çoklu komut sistemi içeren üniteler gerekmektedir. Kullanıcı erişimine uygun olarak yerleştirilmiş anahtarlarla bu durum kolaylıkla sağlanabilir. Çoğu lambalar kısa zamanda tüm verimleriyle ışık vermeye başlarlar. Yalnızca yüksek basınçlı boşalmalı lambaların rejime girmesi ve tamamen sönmesi için zamana gereksinim vardır. Denetleme sistemleri kurulurken bu lambaların özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Akkor lambalı sistemlerde, kullanım süresi kısa da olsa hacim kullanılmıyorsa lambalar söndürülmelidir. Flüoresan lambalı sistemlerde ise, lambanın ömrü yakıp-söndürme ile belirli ölçüde azaldığından, hacimlerin uzun süreli kullanılmadığı zamanlarda söndürülmeleri uygun olur.



Şekil 4. 19 Elle denetim senaryolarına örnek [67]

Otomatik denetim sistemlerinde ise, aydınlatma tasarımının kapsamına bağılı olarak, çok sayıda aygıt, anahtar ya da ek cihaz kullanılan mekanlarda tüm sistemin tek bir denetim merkezinden ulaşılabilir olması istekten çok gereksinime dönüşmektedir. İstenen zamanda istenen lambaların tek bir merkezden yakılıp söndürölmesi hem elektrik enerjisi kullanımı hem de zaman açısından önemli bir kazançtır.

Otomatik denetim sistemlerinde başlıca:

- Günişığı sensörü,
- Hareket sensörü,
- Zaman ayarlı sistemler,
- Denetim ağı kurma

gibi başlıklardan bahsedilebilir.

Günişığı ve hareket sensörü gibi sensör sistemleri değışen dış hava koşullarına ya da mekan kullanıcılarına bağılı olarak hareket eder. Günişığı sensörleri, dış ortamdaki aydınlık düzeyinin mekan içerisinde oluşturduğu aydınlık düzeyine bağılı olarak aydınlatma aygıtlarının ışık akılarını ve dolayısıyla harcanan elektrik enerjisini değıştirirken, hareket sensörleri mekan kullanım sırasında aydınlatma aygıtlarını etkin hale getirir. Bu şekilde, koridor, müze, sergi alanları gibi mekanlarda kullanıcı olmaması halinde sürekli ışık uygulaması gerçekleştirilmez.

Elektrik enerjisi tüketimini en aza indirmek için en yaygın kullanılan otomatik denetim sistemi, mekan içerisine yerleştirilen gün ışığı sensörü ile yapma aydınlatmanın otomatik olarak açılıp kapatılması ya da kısılmasıdır. Bu kısılma yani loşlaştırma aynı zamanda ışık rengi değışimleriyle birlikte mekanın gün içerisindeki işlevine bağılı olarak da yapılabilir (Şekil 4.20, 4.21, 4.22) [67].



Şekil 4. 20 Görüşme sırasındaki aydınlık düzeyi [67]



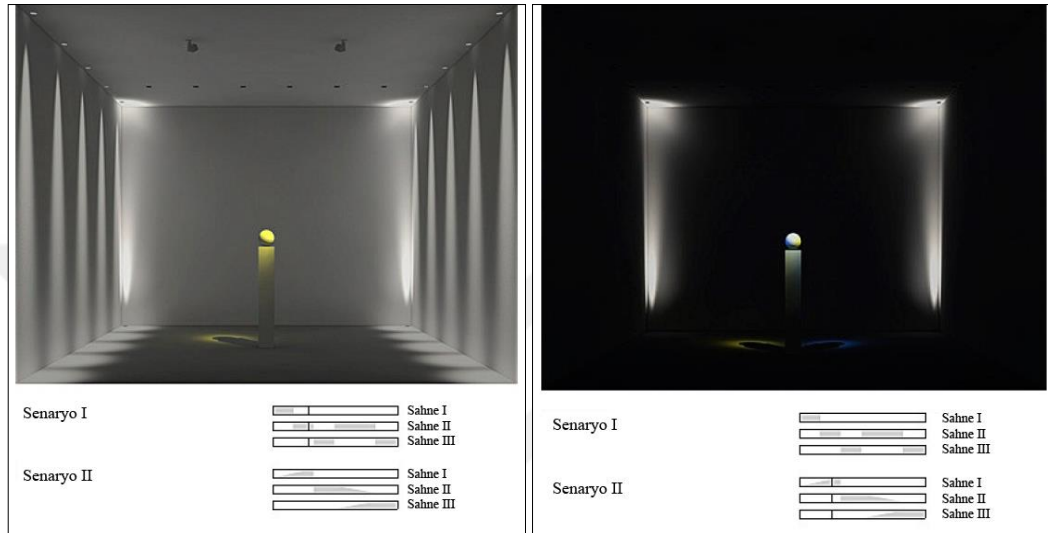
Şekil 4. 21 Öğle yemeği [67]



Şekil 4. 22 Çalışma sırasındaki aydınlık düzeyi [67]

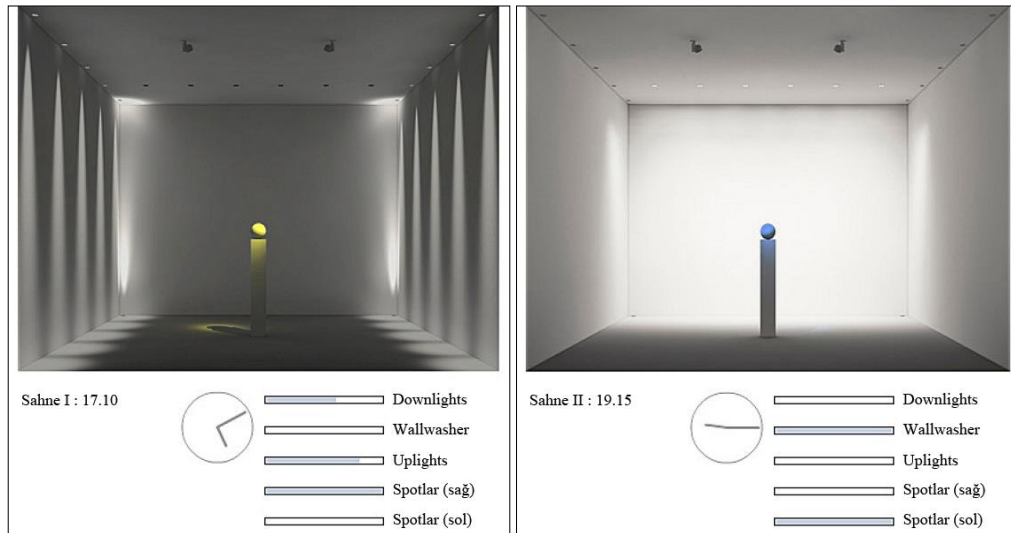
Loşlaştırma, bir aygıtın ışık akısının değiştirilmesiyle sağlanır. Mekan içinde farklı sahnelerin yaratılmasını sağlayan bu uygulama aynı zamanda zamana ve işleve bağlı görsel konforu artırır, gereksiz enerji tüketimini ortadan kaldırır. Akkor lambalar için loşlaştırma lambanın ömrünü uzatır. Akkor ve halojen akkor lambalar kolaylıkla loşlaştırılabilirdiği gibi flüoresan lambalar ve LED'ler bu işlem için ek elemanlara gereksinim duyarlar.

Bir aydınlatma senaryosu, aygıtları, gizli aydınlatmaları ve ışıklı nesneleri içerir. Programlamalarda aygıtlar, yaratılan sahnelere göre komutlandırılarak ayarlanabilir. Sahnelere bağlı olarak kimi aygıtlar söndürülüp diğer aygıtlar yakılabildiği gibi, bazı durumlarda kimi aygıtların ışık akıları azaltılırken diğer aygıtların ışık akıları artırılır (Şekil 4.23). Mekan kullanımına göre tasarlanan bu senaryolarla ışığın gereksiz kullanımı ortadan kaldırılır.



Şekil 4. 23 Otomatik denetim senaryolarına örnek [67]

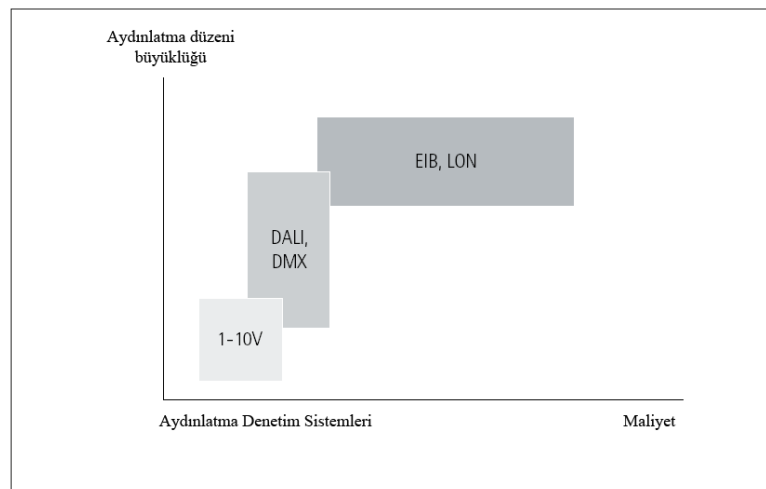
Zamanlayıcı ile ise, ayarlanan saat ve tarihlerde, belirlenen aygıtların devreye sokulduğu sahneler otomatik olarak oluşturulabilir (Şekil 4.24) (Mağaza açılış saatleri vb.).



Şekil 4. 24 Otomatik denetleme sistemleri zamanlayıcı senaryolarına örnek [67]

Tüm bu bahsedilen denetim sistemlerinin tek bir ana denetim sistemine bağlanması olanaklıdır. Yapılarda artan bir şekilde otomatik Yapı Denetleme Sistemleri (YDS) kullanılmaktadır. Aydınlatma bu sistem içerisinde yalnızca bir bileşendir. Güneş denetimi, havalandırma ve güvenlik gibi başka denetim sistemleri de bu bütünün birer parçasıdır.

Oluşturmak istenen aydınlatma senaryoları kişilerce programlandıktan sonra denetim sistemi hafızasında tutularak istenen zaman ve duruma yönelik uygulanır. Bir denetim sistemi seçmedeki öncelikli özellik aydınlatma düzenin büyüklüğüdür (Şekil 4.25).



Şekil 4. 25 Farklı kapsamlı denetim cihazlarının aydınlatma düzeni büyüklüğüne göre seçilmesi [67]

1-10V cihazlar basit düzenlerde kullanılırlar. Elektronik kontrol duyu loşlaştırma ayarı ayrı bir kontrol hattı üzerinden gerçekleştirilir. Bu sistemin kurulumu ilk aşamada yapılmalıdır. Değiştirilmesi durumunda tüm sistemin yeniden kurulması gerekir.

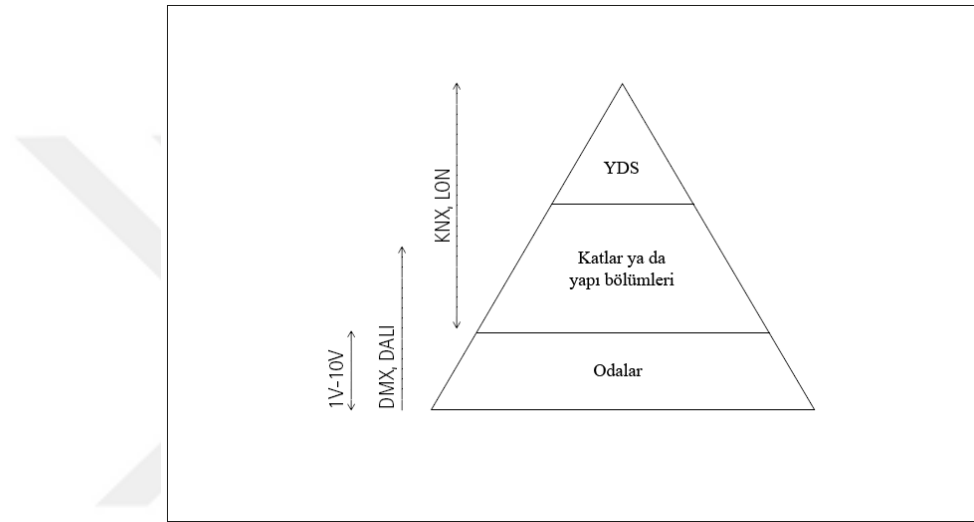
DMX Sistemler basit düzenlerde de kullanılabildiği gibi daha çok sahne aydınlatması gibi birden çok senaryonun programlanması gereken durumlarda kullanılırlar. Mimari aydınlatmada ise, dış cephelerde ve çok sayıda senaryonun gerektiği iç mekanlarda tercih edilmelidirler. Bir cihazla 512 senaryoya kadar denetim sağlanabilir ve her aygıt adreslenmeli yani hangi zaman aralığında hangi komutu gerçekleştireceğine dair bilgilendirilmelidir.

Dijital adreslenebilir aydınlatma sistemleri (DALI), kontrol duyu olan tüm aygıtlarda kullanılabilir. 64 aygıtın ayrı ayrı adreslenmesiyle sınırlıdır.

Konnex (KNX), European Installation Bus (EIB) tarafından tanınan, standartlaşmış, yalnızca aydınlatmayı değil ısıtma, havalandırma ve güneş denetimi gibi denetimleri sağlayan bir sistemdir. Kapsamlı aydınlatma düzenlerinde kullanılırlar [67].

LON, standartlaşmış bir başka denetim sistemidir ve çoğunlukla endüstri yapılarında kullanılır. Akıllı sensörlere dayalıdır [67].

Şekil 4.26’da odalar, katlar ya da yapı bölümleri ve yapı denetim sistemlerinde uygulanan denetleme sistemleri kullanılan mekanın büyüklüğüne göre gösterilmiştir.



Şekil 4. 26 Denetim cihazları kullanım alanları [67]

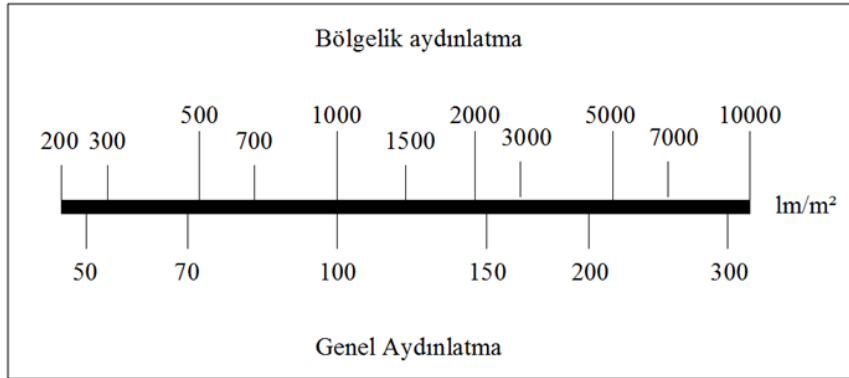
4.8 Bölgeik Aydınlatma Düzenlerinin Kurulması

Lamba ışığı ile bölgesik aydınlatma, bir yerde yoğun bir aydınlık ya da belirleme veya o yerin karakteri gereği ya da yalnızca o bölgede gerektiği zaman yapılır. Bu, aydınlığın niteliği ve niceliği açısından önem taşır. Bir yapıda bölgesik aydınlatma, istenilen yerde, istenilen düzeyde, istenilen nitelikte ve istenildiği zaman kullanılmak üzere elde edilebilir. Örneğin, bir toplantı salonunda tasarlanan farklı tipte ve işlevde aygıtlarla, salonun tamamı ya da bir bölümü dolu iken uygulanabilecek çeşitli senaryolar oluşturulabilir.

Bölgeik aydınlatmalar, enerji tüketimi ile yakından ilgilidir ve optimum tüketimler için bu düzenlere gereksinim vardır. Yalnızca genel aydınlatma kullanılan hacimlerde, denetleme sistemleri var olmadığı takdirde kimi zaman gereksiz enerji tüketilir. Örneğin, okuma eylemi yapılacak bir konut hacminde genel aydınlatma yerine yönlendirilebilir bir

okuma lambası hem görsel konfor hem de enerji tüketimi açısından daha verimli olacaktır.

Bölgelik aydınlatmada dikkat edilmesi gereken nokta, bir hacmin bir bölümünde yüksek düzeyde bölgelik aydınlatma yapıldığı zaman hacmin bütününde de belirli oranlardan az olmamak şartıyla genel aydınlatmanın yapılmasının gerekliliğidir (Şekil 4.27). Ters bir durumda kamaşma, yorgunluk vb. rahatsızlıklar ortaya çıkar [68].



Şekil 4. 27 Bölge aydınlatmaya bağlı genel aydınlatma aydınlık düzeyi aralıkları [68]

Örneğin, bir hacimde 500 lm/m² düzeyinde bir bölgelik aydınlatma bulunuyorsa, hacim genelinde ortalama aydınlık düzeyi yaklaşık 75 lm/m², 5000 lm/m² düzeyinde bir bölgelik aydınlatma bulunuyorsa, hacim genelinde ortalama aydınlık düzeyi yaklaşık 220 lm/m² civarında olmalıdır.

4.9 Güneşten Yararlanma

Enerji etkin aydınlatma çözümlerine ulaşmak için yapıların tasarım aşamasında, güneş ışığı ve lamba ışığı ile elde edilecek aydınlık birlikte düşünülmelidir. Bütünleşik aydınlatma olarak adlandırılabilen bu birliktelikte, her iki aydınlatma sisteminde de dikkate alınması gereken sistemin kendine özgü ve birbiriyle ortak bazı tasarım etmenleri bulunmaktadır.

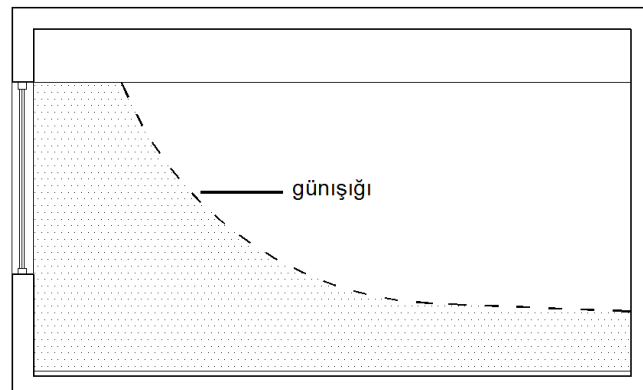
Lamba ışığı ile aydınlatmada, tez kapsamında bahsedilen birçok etmenin önemi söz konusu iken, güneş ışığı ile aydınlatma lamba ışığıyla aydınlatmaya oranla daha denetim gerektiren bir iştir. Bölüm 3.1’de bahsedildiği güneş ışığının oluşturduğu aydınlık düzeyi güneşin sürekli hareketi ve atmosfer-gök koşullarının değişkenliğine bağlıdır. Yapı içinde güneşten yararlanmak için ise, yılın istenen gün ve saatine göre belirlenmiş bazı kabuller bulunmaktadır. Bu kabullere bağlı olarak yapılan hesaplamalarda yapı

kabuğunun özelliği ve yapı çevresinin durumu önem taşır. Yapı kabuğunda, açıklıklar (cam yüzeyler) ve nitelikleri, bakım ve temizliği, yapı çevresinde, diğer yapılar ve bitki örtüsü vb. engeller günışığının yapı içine alınmasında etkili olurken, iç yüzey yansıtma çarpanları da günışığının yapı içinde dağılımını önemli oranda etkiler. Ayrıca, günışığından yararlanmak için yapı kabuğunda uygulanan düşey, yatay ya da eğimli cam yüzeyler, çatı ışıklıkları yapının iç ve dış mimari biçimlenişini doğrudan etkilemektedir. Yapının oluşumunda biçim-işlev ilişkisi kurulurken bu konu üzerinde dikkatle durulmalıdır [69].

Günışığını yapı içine mümkün olduğunca farklı yollardan ve denetimli olarak almak, yani doğal aydınlatmayı iyi tasarlamak, yapılarda yapma aydınlatma kullanımını önemli oranda azaltır (Şekil 4.30, 4.31,4.32) [38]. Günışığından yararlanmada pencerelerin konum ve boyutları, çatı ışıklıkları, ışık rafları ve galeri boşlukları önem taşır.

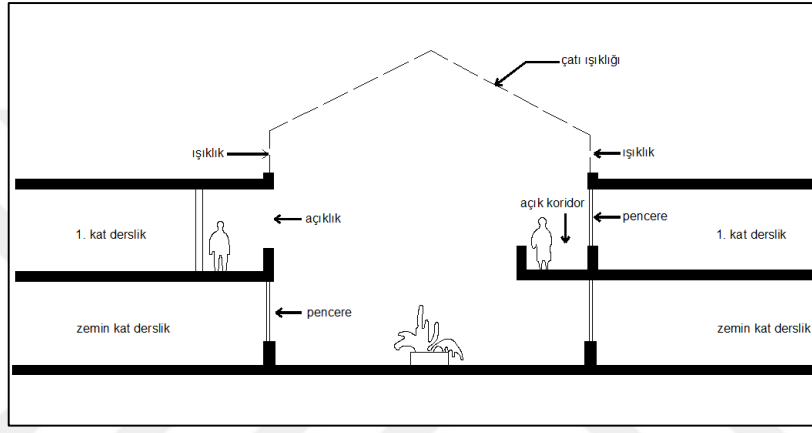
Çatı ışıklıkları günışığının hacimde düzgün yayılmışlığını ve kimi koşullarda yeterli aydınlık düzeyini gerçekleştirecek biçimde planlanabilir. Yalnız kapalı günlerde ve günışığının yetersizleştiği saatlerde günışığı aydınlığından yararlanma ortadan kalkar. Düşey pencerelere oranla çatı ışıklıkları ile çalışma düzleminde düzgün yayılmış ve yeterli günışığı aydınlığı daha denetimli bir biçimde sağlanır. Işıklıkların göğü engelsiz görmeleri, ışıklıklar üzerinde kar ve kir birikmemesi gerekir [69].

Günışığının tek bir doğrultudan gelmesinde ise, hacmin derinliği önem kazanır. Hacim derinleştikçe günışığının yetersiz kalacağı açıktır. Özellikle bitişik düzendeki yapılarda bu durum söz konusudur. Şekil 4.28’da derinliği 6m olan bir yapıda, ortalama aydınlık düzeyindeki düşme görülmektedir [49].

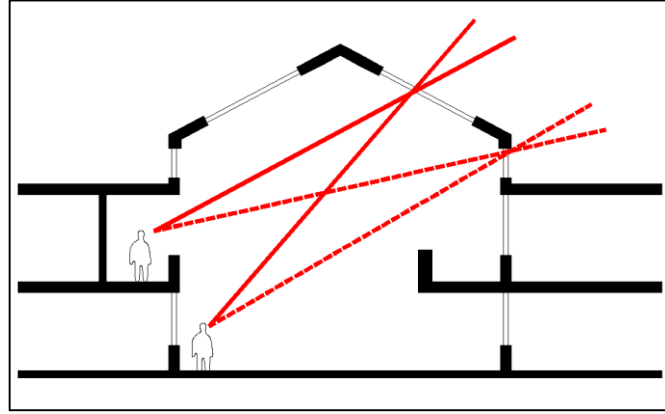


Şekil 4. 28 Günışığı aydınlığındaki azalma [69]

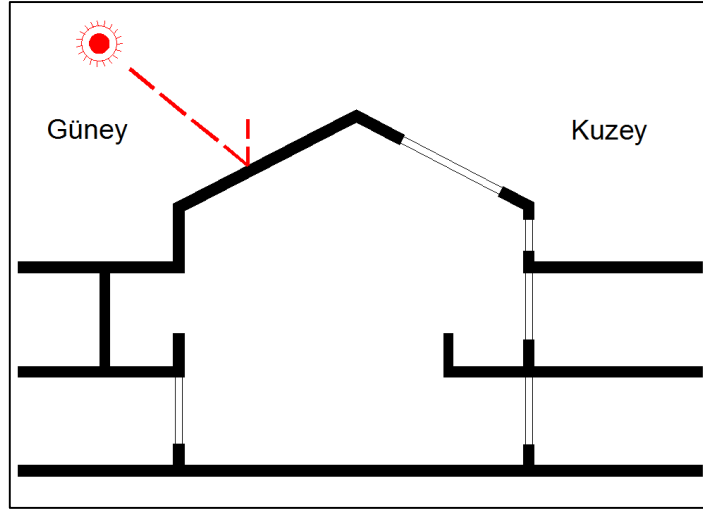
Pencere boyutlarının büyük olması hacim içerisine alınacak günışığı ile doğru orantılıdır ancak, boyutlar büyüdükçe hacim içinde oluşacak yüksek düzeyli aydınlığın denetlenmesi de güçleşir. Özellikle günışığından en iyi şekilde yararlanmak için güneşe yönlendirilen hacimlerde, kullanım amacına ve hacmin yer aldığı iklim kuşağına bağlı olarak güneşin oluşturabileceği istenmeyen ışık ve ısı etkisi tasarım aşamasında düşünülmelidir (Şekil 4.29). Hacmin kullanımı sırasında yaşanan sorunlara bağlı olarak geliştirilebilecek denetim çözümlerinin etkin olması hem daha güç hem de yüksek maliyetlidir.



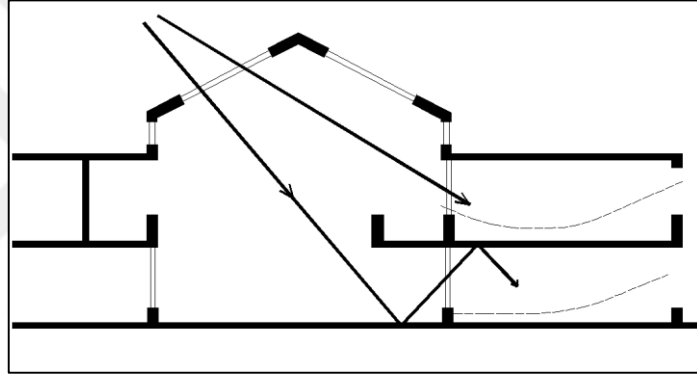
Şekil 4. 29 Bir eğitim yapısına ait kesitte doğal aydınlatma tasarımı[38]



Şekil 4. 30 Günışığından yararlanma



Şekil 4. 31 Güneşin istenmeyen ısıtıcı etkisinden korunma

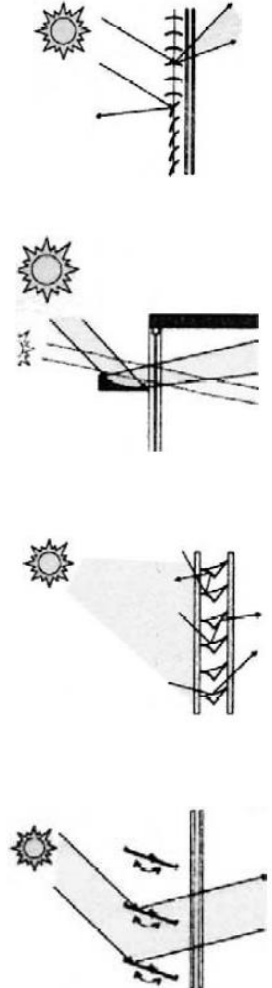
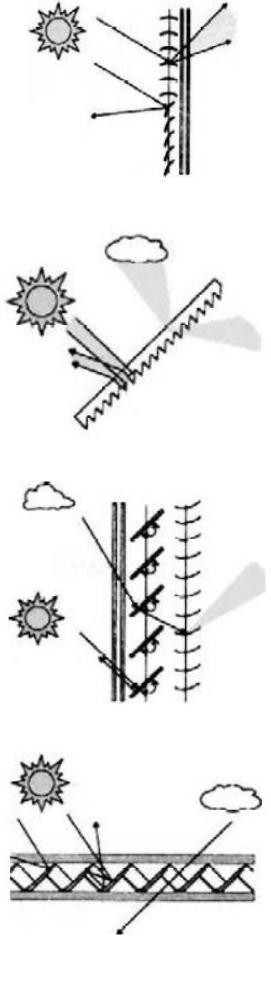


Şekil 4. 32 Güneşten yararlanma

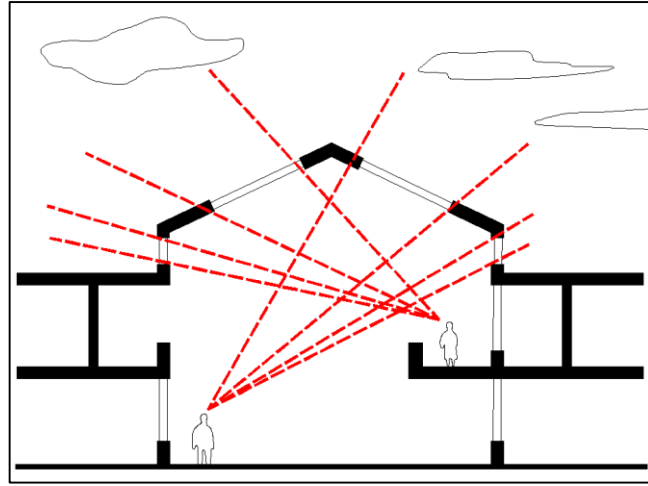
Yapı dışında bulunan engellerin (başka bir yapı, eğimli arazi, duvar, bitki örtüsü vb.) yapı üzerindeki etkisi iyi araştırılmalı, mümkünse engellerden yararlanma yolları aranmalıdır. Örneğin, karasal bir iklimde yapraklarını döken, yapı yüksekliğinde ve pencere düşey paralelinde konumlandırılmış bir ağacın kış aylarında güneş ışınlarını engellemeyerek ışığın yapı içine alınmasına izin vermesi ancak, yaz aylarında istenmeyen güneş ışınlarının yoğun ışık ve ısı etkisini yapraklarıyla gölgelemesi engellerden yararlanmaya olumlu bir örnektir.

Yapı yüzünde uygulanabilen bazı elemanlar ise, güneşten yararlanma ve güneşin istenmeyen etkilerinden korunmada yardımcı olur (Çizelge 4.17). Yapı içerisine güneş ışınlarının dolaylı olarak alınmasını sağlayan ışık rafları ya da güneş ışınlarını tamamen yapıdan uzaklaştıran güneş kırıcı paneller gibi elemanlar gereksinimlere göre seçilmeli ve güneş ışınlarının geliş açısında göre ayarlanabilir olmalıdır.

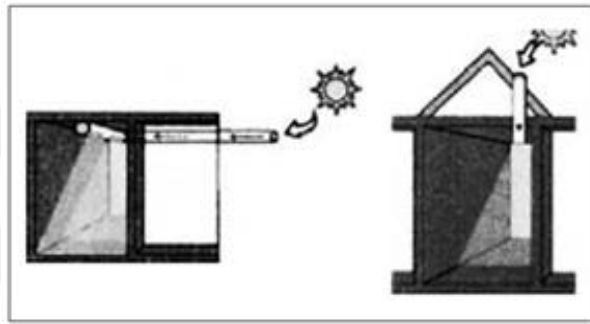
Çizelge 4. 17 Güneşışığından yararlanmaya yönelik tasarım örnekleri [70]

Doğrudan güneş ışınlarını toplayan elemanlara örnekler	Doğrudan güneş ışınlarını denetleyen elemanlara örnekler
	

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, yapma aydınlatmanın azalması ile daha az enerji harcanması, daha çevreci yaklaşımların oluşturulması ve ekonomik tasarrufların sağlanmasının yanı sıra sürdürülebilirlik kapsamında bahsedilen ‘insan’ başlığının göz önünde bulundurulması gerekir. İnsanın yaşamsal döngüsünü etkileyen güneşışığının kapalı hacimlerde de hissedilmesi ve dış ortamla görsel temas sağlanması bu açıdan önem taşır (Şekil 4.33). Penceresi olmayan veya derinliği fazla olan hacimlerde güneşışığı etkisinin hissedilmesi ise, ışık tüpleri gibi ışık taşıyıcı sistemler ile mümkün olmaktadır (Şekil 4.34).



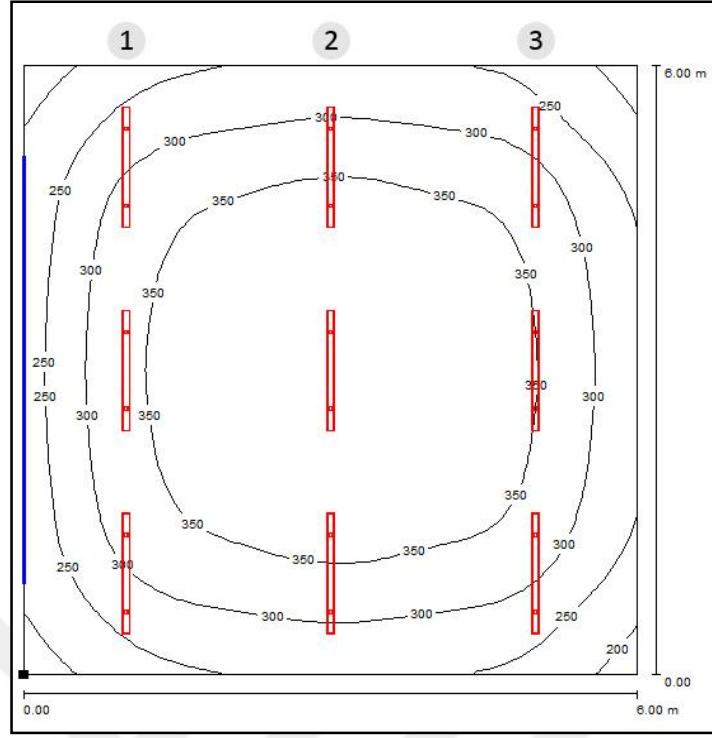
Şekil 4. 33 Dış ortamla görsel temas



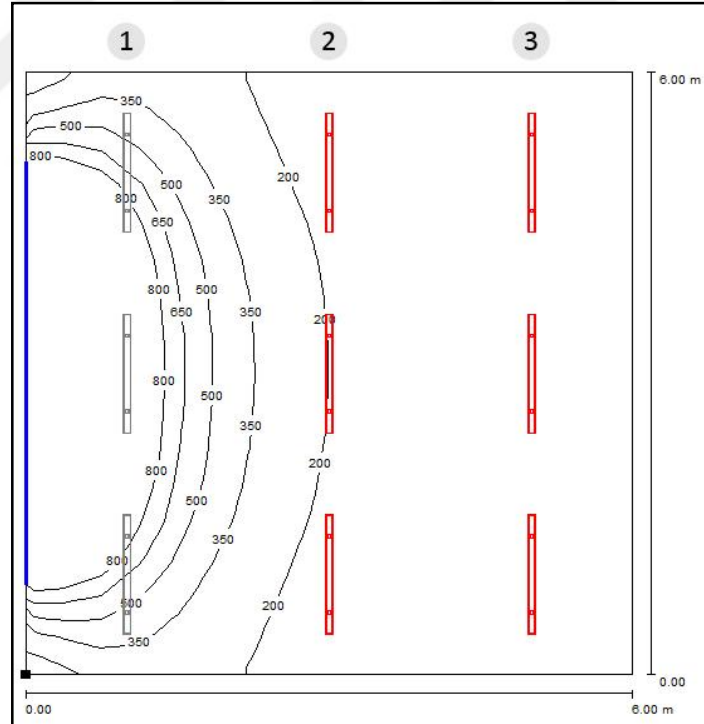
Şekil 4. 34 Işık tüpleri kullanımına örnek

Güneşiği ile lamba ışığının birlikte düşünülmesinde ise, farklı yollarla yapı içine alınan güneşiğin yapı içerisinde oluşturduğu aydınlık düzeyine bağlı olarak çeşitli yapma aydınlatma uygulamaları oluşturulabilir. Bu yapma aydınlatma uygulamaları, güneşiğin değişkenliğine bağlı olarak elle ya da otomatik olarak açıp kapatılmalıdır.

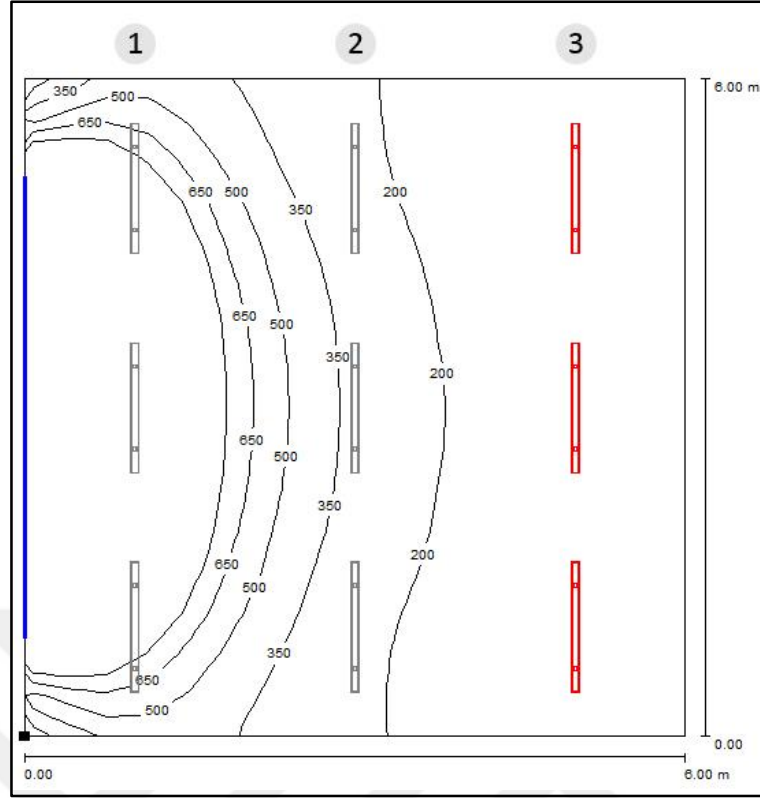
Gündüz hacimde pencereye yakın bölgelerde genellikle yeterli güneşiği aydınlığı sağlanabildiği için lamba ışığı gerekmez. Ancak kapalı günlerde, akşam saatleri ve kış aylarında ve hacim derinliği arttıkça güneşiği yetersizleştikinden lamba ışığına gereksinim duyulur. Bu bölüm kapsamında, örnekleme açısından oluşturulan Şekil 4.35, 4.36 ve 4.37'deki üç ayrı durumda, bir hacmin yalnızca yapma aydınlatma ve günün değişik saatlerinde bütünleşik aydınlatma kullanımı görülmektedir.



Şekil 4. 35 1.Durum yalnız yapma aydınlatma



Şekil 4. 36 2.Durum 21 Haziran saat 09.00 günışığı + yapma aydınlatma



Şekil 4. 37 3.Durum 21 Haziran saat 12.00 günışığı + yapma aydınlatma

Ayrı ayrı denetlenebilen 3 yakma sistemi bulunan örnekleminin 1.Durumunda, hacmin yalnızca yapma aydınlatma ile aydınlatıldığı ve 3 yakma sisteminin de etkin olduğu görülmektedir.

2.Durumda, belirlenen bir gün ve saatte (21 Haziran 09.00) günışığından yararlanma durumu incelenmekte ve yalnızca pencereye yakın bölgelerde günışığının yeterli olduğu görülmektedir. 2 ile 3 numaralı yakma sisteminin etkin olmasıyla, çalışma düzleminde düzgün yayılmış bir aydınlık elde edilmektedir.

3.Durumda ise, aynı tarihte farklı bir saat dilimi incelenmekte, 21 Haziran 12.00’de günışığının hacim ortalarına kadar etkin olduğu ancak hacmin derinliğinden dolayı pencereden uzaklaştıkça azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durumda, yalnızca 3 numaralı yakma sisteminin etkinleştirilmesi düzgün yayılmış aydınlık sağlamak için yeterli olmaktadır. Yakma sistemlerin ayrı ayrı denetlenebilmesi ve günışığına bağlı olarak gerek elle gerekse otomatik olarak açılıp kapatılması gereksiz enerji tüketimini ortadan kaldırır.

Sonuç olarak, günışığının lamba ışığını en iyi şekilde desteklemesi için günışığından mümkün olduğunca fazla yararlanma ve aynı zamanda konforsuz ortamlar yaratacak

aşırı günışığından korunma söz konusudur. Lamba ışığının gerekli durumlarda yakılması ve mümkün olduğunca az kullanılması için gereksinimler doğrultusunda verilen kararlar tasarım aşamasında detaylı olarak düşünülmelidir. Gerek enerji tüketiminden tasarruf gerekse günışığının insan üzerindeki olumlu etkisi bu bağlamda göz ardı edilemez.



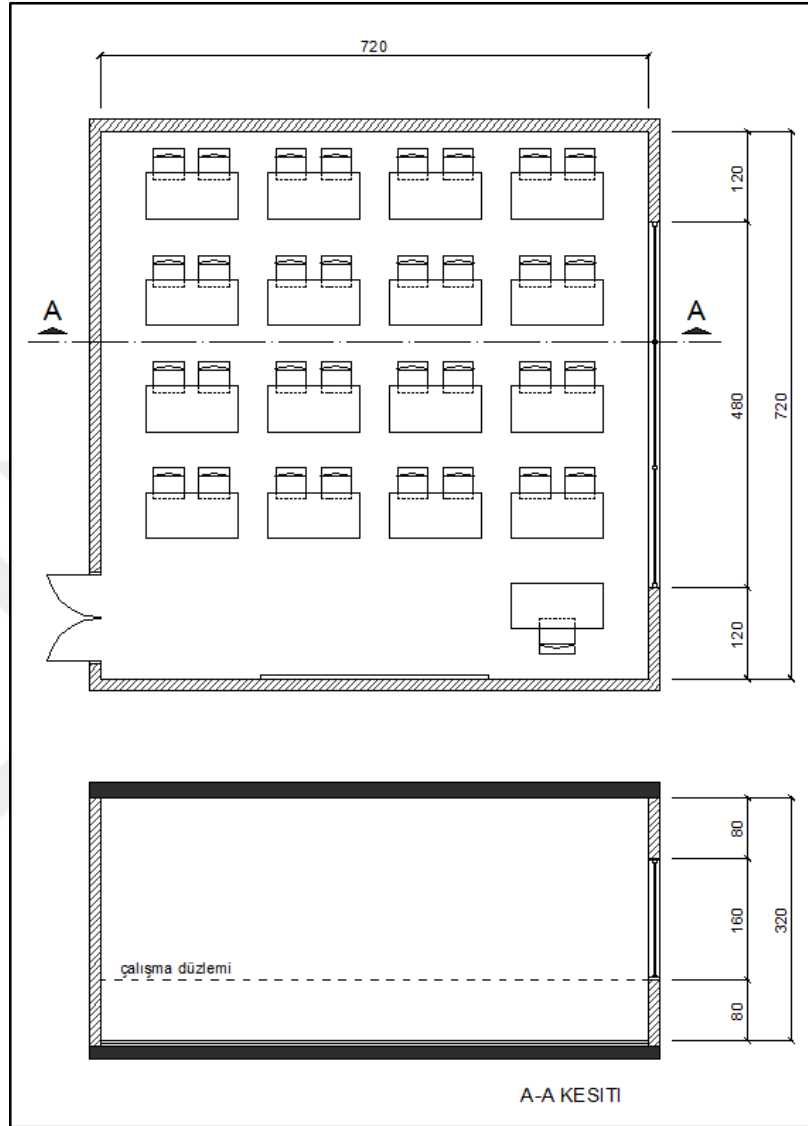
AYDINLATMADA ETKİN ENERJİ KULLANIMI BİR DERSLİK ÖRNEĞİ

Sürdürülebilir mimari aydınlatma kapsamında incelenen konuları irdelemek amacıyla bir derslik hacmi ele alınarak örneklenmiştir. Bu örneklemenin ilk bölümünde, sürdürülebilirlik açısından etkin enerji kullanımı konuları günışığı aydınlığı ve iki ışığın birlikte kullanımı yönünden incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, etkin enerji kullanımlı olarak kabul edilen hacimde belirlenen bir gün ve saat için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma durumu araştırılmıştır. Örneklemelerde, Dialux ve çeşitli enerji programları aracılığıyla elde edilen hesaplamalar kullanılmıştır.

Derslikler, insanların çocukluktan, gençliğe kadar olan süreçte, yaşamlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri mekanlardır. Eğitim sürecinde, görsel algılamanın öğrenmedeki katkısı, öteki duyu organlarının katkılarında daha fazladır. Dolayısıyla, öğrenmenin tam, eksiksiz, doğru, yorulmadan ve çok fazla çaba harcamadan yapılabilmesi, büyük oranda, iyi görme koşullarının yani görsel konforun sağlanmasına bağlıdır. Aydınlatmanın, nicelik ve nitelik yönünden gerekli koşulları sağlamasının yanı sıra, aydınlatmada uygun enerji kullanımı da önemli bir etmendir. Ülkemizde, yapma aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi, tüketilen tüm elektrik enerjisi içinde, büyük bir oranı kapsamaktadır. Özellikle, okullar gibi, gün boyunca kullanılan yapılarda, görsel konfordan ödün vermeden sağlanan uygun enerji kullanımı ile büyük oranda enerji tasarrufu elde edileceği açıktır [71].

Örneklemede ele alınan derslik hacminin genişliği 7.20 m, derinliği 7.20 m ve yüksekliği 3.20 m olup, çalışma düzlemi yüksekliği tüm uygulamalarda 0.80 m'dir (Şekil 5.1) [72].



Şekil 5. 1 Tip derslik hacmi plan ve kesiti

5.1 Etkin Enerji Kullanımlı Aydınlatma Düzenleri Oluşturulması

Ele alınan derslik hacmindeki aydınlatma düzenleri:

- Lambaların ışık verimleri,
- Aygıt geriverimleri,
- İç yüzeylerin yansıtma çarpanları,
- Güneş ışığı ile lamba ışığının birlikte kullanımı

Açısından Dialux programında yapılan hesaplamalarla incelenmiş ve elde edilen veriler etkin enerji kullanımı yönünden değerlendirilmiştir.

Yapılan uygulamalarda, elektrik enerjisi tüketimi yukarıda belirlenen başlıklara bağlı birim saat olarak karşılaştırılmalı şekilde ele alınmıştır. Tüm uygulamalardaki çalışma düzleminde derslik hacimleri için standartlarca belirlenmiş olan 300-500 lm/m² aralığında bir aydınlık düzeyi kabul edilmiştir.

5.1.1 Lamba Verimlerinin Karşılaştırılması

Lamba verimleri karşılaştırılmasında, 3 farklı verime sahip lamba seçilerek kurulan bir aydınlatma düzeninde her tip lamba için ayrı ayrı hesap yapılmış ve çalışma süresinde kullanılacak lamba tipi belirlenmiştir. Tüm uygulamalarda kullanılan aygıtın geriverimi %61 olup, aygıt opal yayıcılıdır (Şekil 5.2). Kullanılan lamba tiplerine ait özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Hacim iç yüzey yansıtma çarpanları tavan: 0.70, duvarlar: 0.50 ve zemin: 0.20 olarak alınmıştır. Hacimde yalnızca yapma aydınlatmanın kullanıldığı durumlar incelenmiştir.



Şekil 5. 2 Uygulamada kullanılan aygıt

Çizelge 5. 1 Uygulama için seçilen lamba özellikleri

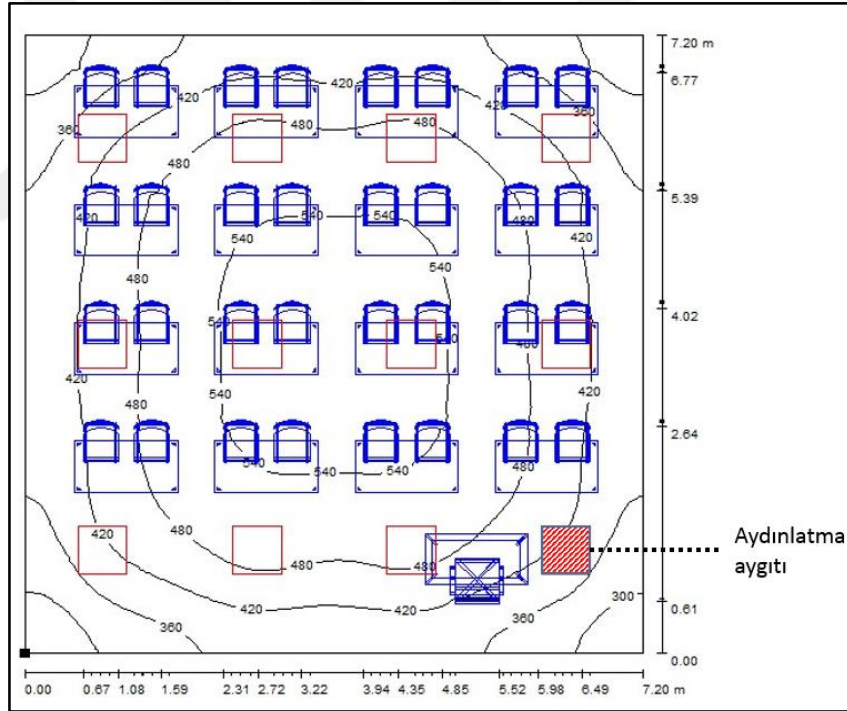
Lamba tipi	Aygıt içerisindeki lamba sayısı/gücü	Lamba ışık akısı (lümen)	Lamba renk sıcaklığı (K)	Lamba ömrü (saat)	Enerji sınıfı
L1 – Osram HE 14/840	4x14W	1200	4000K	15.000	B
L2 – Philips TL5- 14W/840	4x14W	1250	4000K	15.000	A
L3 – Philips TL5 HE 14W/840	4x14W	1350	4000K	15.000	A

L1 Tip Lambalı Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

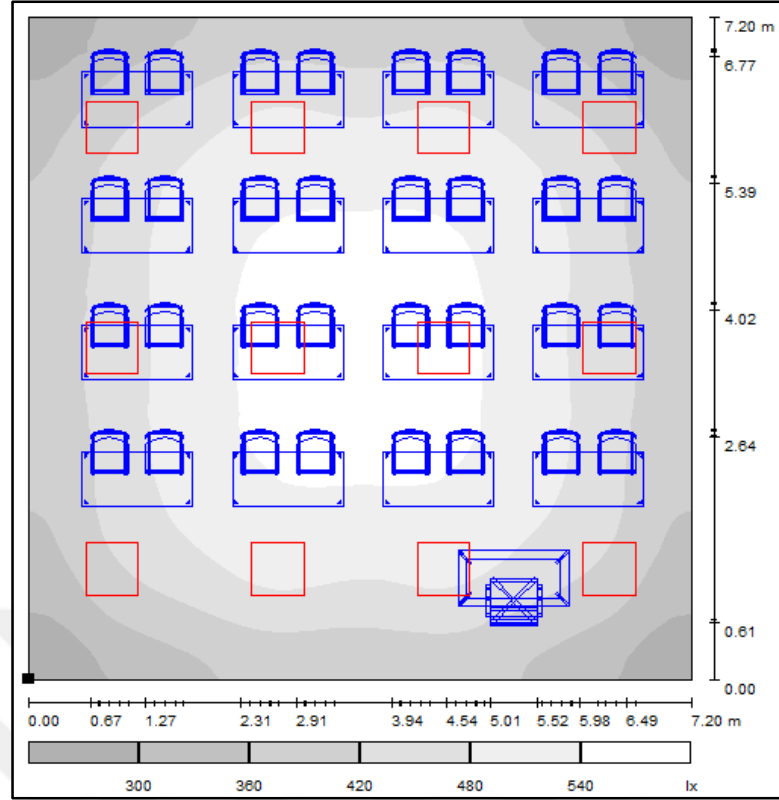
L1 Tip lambalı aygıt ile oluşturulan aydınlatma düzeninde 12 adet aydınlatma aygıtı kullanılmıştır. Her bir aygıt 4 adet 14W gücüne ve 1200 lümen ışık akısına sahip lamba içermektedir. Lambaların bir aygıt içerisindeki toplam ışık akısı 4800 lümen ve lamba enerji sınıfı B'dir. Oluşturulan aydınlık düzeni sonucunda çalışma düzleminde elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 451 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2 L1 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	451	257	557	0.57
Zemin	404	236	525	0.58



Şekil 5. 3 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



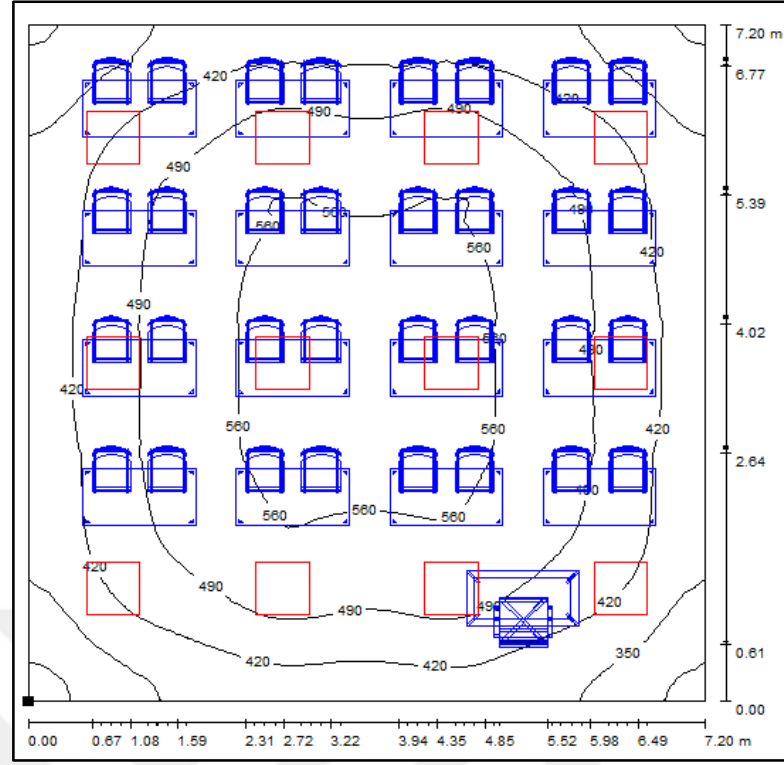
Şekil 5. 4 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

L2 Tipi Lambalı Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

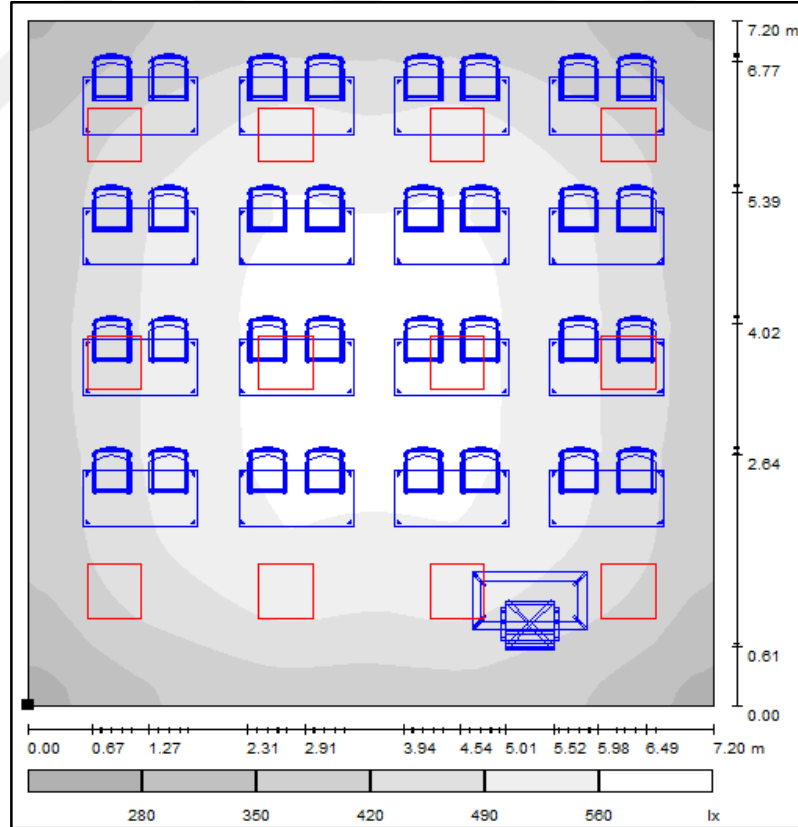
L2 Tip lambalı aygıt ile oluşturulan aydınlatma düzeninde 12 adet aydınlatma aygıtı kullanılmıştır. Her bir aygıt 4 adet 14W gücüne ve 1250 lümen ışık akısına sahip lamba içermektedir. Lambaların bir aygıt içerisindeki toplam ışık akısı 5000 lümen ve lamba enerji sınıfı A'dır. Oluşturulan aydınlık düzeni sonucunda çalışma düzleminde elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 470 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 3 L2 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	470	268	580	0.57
Zemin	420	246	547	0.58



Şekil 5. 5 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



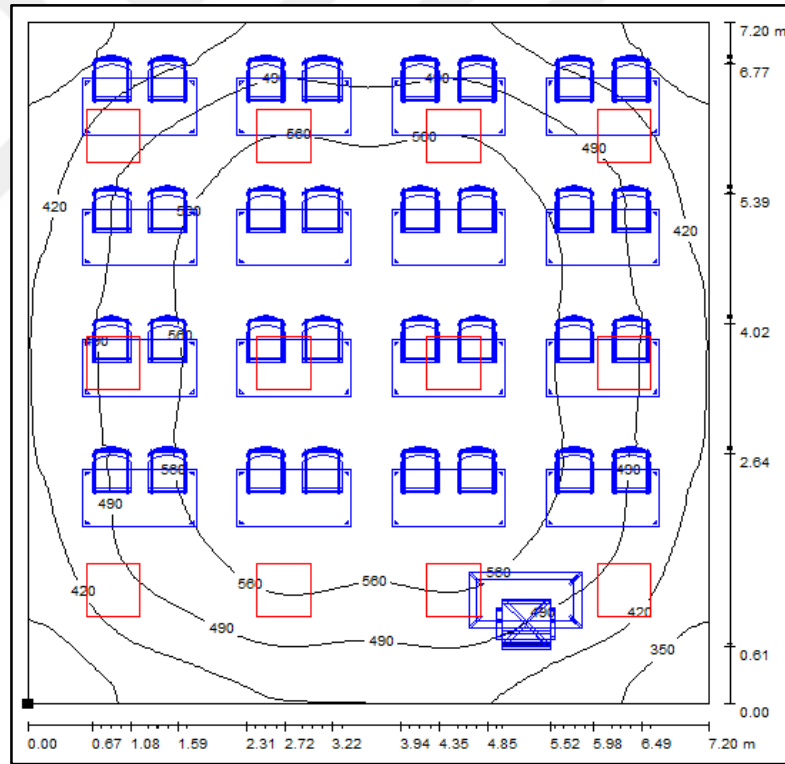
Şekil 5. 6 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

L3 Tip Lambalı Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

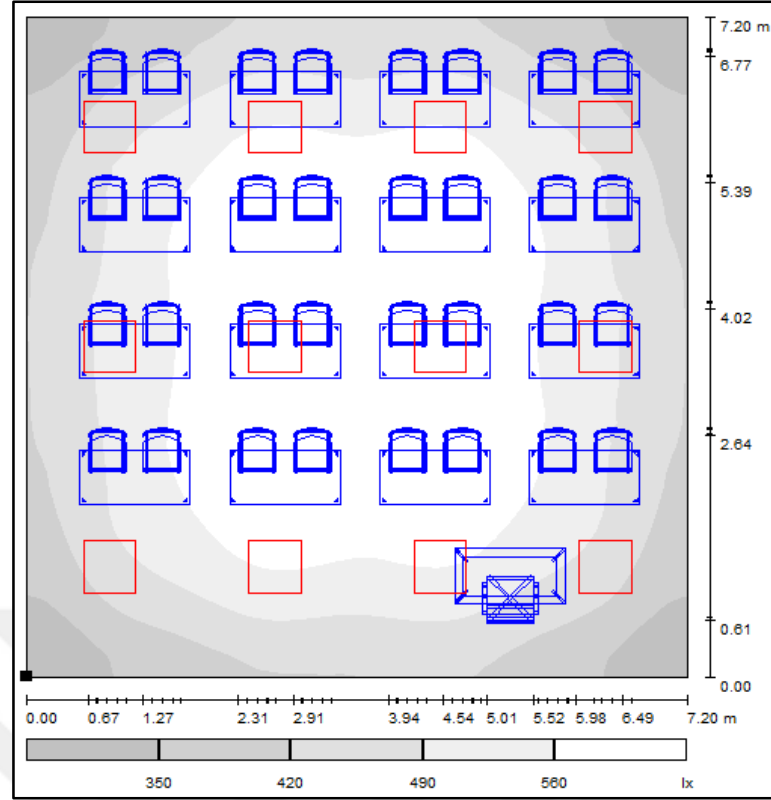
L3 Tip lambalı aygıt ile oluşturulan aydınlatma düzeninde 12 adet aydınlatma aygıtı kullanılmıştır. Her bir aygıt 4 adet 14W gücüne ve 1350 lümen ışık akısına sahip lamba içermektedir. Lambaların bir aygıt içerisindeki toplam ışık akısı 5400 lümen ve lamba enerji sınıfı A'dır. Oluşturulan aydınlık düzeni sonucunda çalışma düzleminde elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 507 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 L3 tipi lambalı aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	507	290	627	0.57
Zemin	454	266	591	0.58



Şekil 5.7 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 8 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Değerlendirme

L1, L2 ve L3 tip lambalı aygıtlar ile kurulan aydınlatma düzenlerinde lamba verimlerinin değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak kurulan sistemlerin günışığı hesaba katılmaksızın, birim saat yakılmaları ile harcadıkları enerji miktarı Çizelge 5.5'te gösterilmiştir. Hesaplamalarda balast güç kayıpları dikkate alınmamıştır.

Çizelge 5. 5 Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması

Aygıt tipi	L1	L2	L3
Toplam lamba sayısı/gücü	48x14W	48x14W	48x14W
Ortalama aydınlık düzeyi	451 lm/m ²	470 lm/m ²	507 lm/m ²
Enerji tüketimi (birim saat)	672W	672W	672W

Değerlendirme sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, enerji tüketimleri aynı olan sistemler içinden L3 tip lambalı aygıtın içerisinde bulunan yüksek verimli ve A enerji sınıfına ait lamba ile elde edilen aydınlık düzeyi, L1 ve L2 tip lambalı aygıtlarla kurulan düzende elde edilen aydınlık düzeyinden daha yüksektir. Bir sonraki uygulama olan 'Aygıt Geriverimlerinin Karşılaştırılması'nda L3 tipi lamba ele alınacaktır.

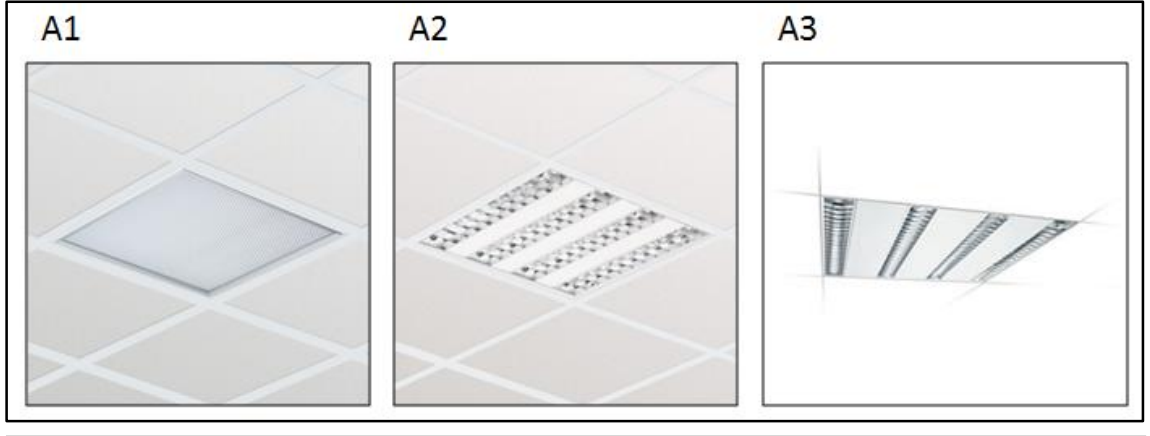
5.1.2 Aygıt Geriverimlerinin Karşılaştırılması

Aygıt geriverimlerinin karşılaştırmasıyla ilgili uygulamada, 3 farklı geriverime sahip aygıt ele alınarak 3 farklı aydınlatma düzeni kurulmuş ve geriverimin aydınlık düzeyine olan etkisi incelenmiştir. Aygıtlara ait özellikler Çizelge 5.6'da, aygıt tipleri Şekil 5.9'da, ışık yeğirlik eğrileri ise Şekil 5.10'da verilmiştir. Tüm aygıtlar elektronik balastlı olarak seçilmiş ve tavana gömme olarak konumlandırılmıştır. Işık kaynaklarının doğrudan göz ile temas kurmaması için paletli ve opal yayıcı yansıtıcı tipler tercih edilmiştir. Hacim iç yüzey yansıtma çarpanları tavan: 0.70, duvarlar: 0.50 ve zemin: 0.20 olarak alınmıştır. Hacimde yalnızca yapma aydınlatmanın kullanıldığı durumlar incelenmiştir.

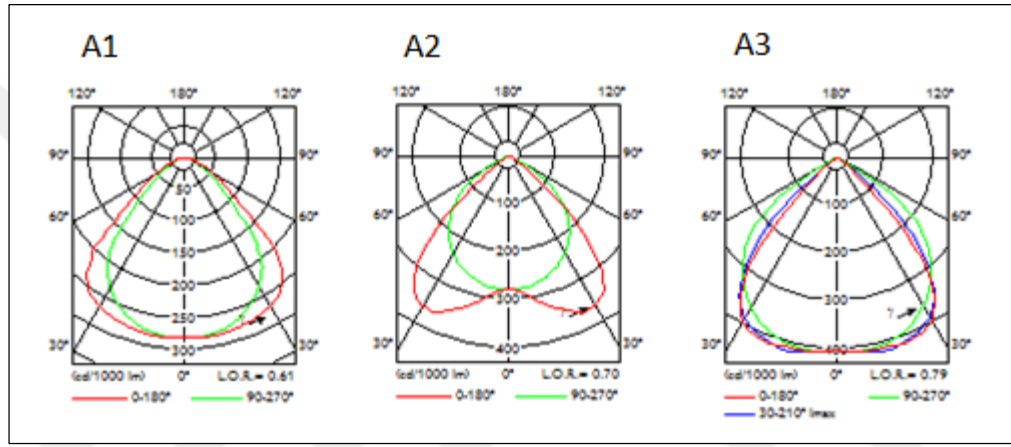
Bu uygulamada, 'Lamba Geriverimlerinin Karşılaştırılması'nda ele alınan üç farklı lambadan L3 tip yani en yüksek verime sahip olan lamba kullanılmıştır.

Çizelge 5. 6 Uygulama için seçilen aygıt ve lamba özellikleri

Aygıt tipi	Yansıtıcı tipi	Aygıt geriverimi	Lamba sayısı/tipi	Lamba renk sıcaklığı (K)	Lamba ömrü
A1	Opal yayıcı	0.61	4x14W T5	4000K	15.000
A2	Paletli (çift parabolik)	0.70	4x14W T5	4000K	15.000
A3	Paletli (çift parabolik)	0.79	4x14W T5	4000K	15.000



Şekil 5. 9 Uygulama için seçilen aygıt tipleri



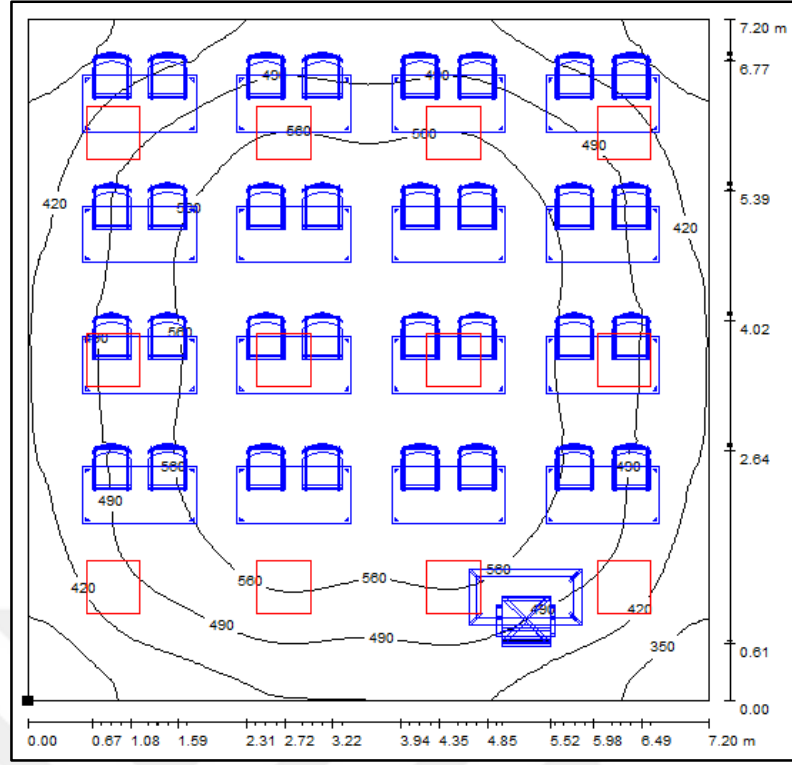
Şekil 5. 10 Uygulama için seçilen aygıtlara ait ışık yeğnlik eğrileri

A1 Tipi Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

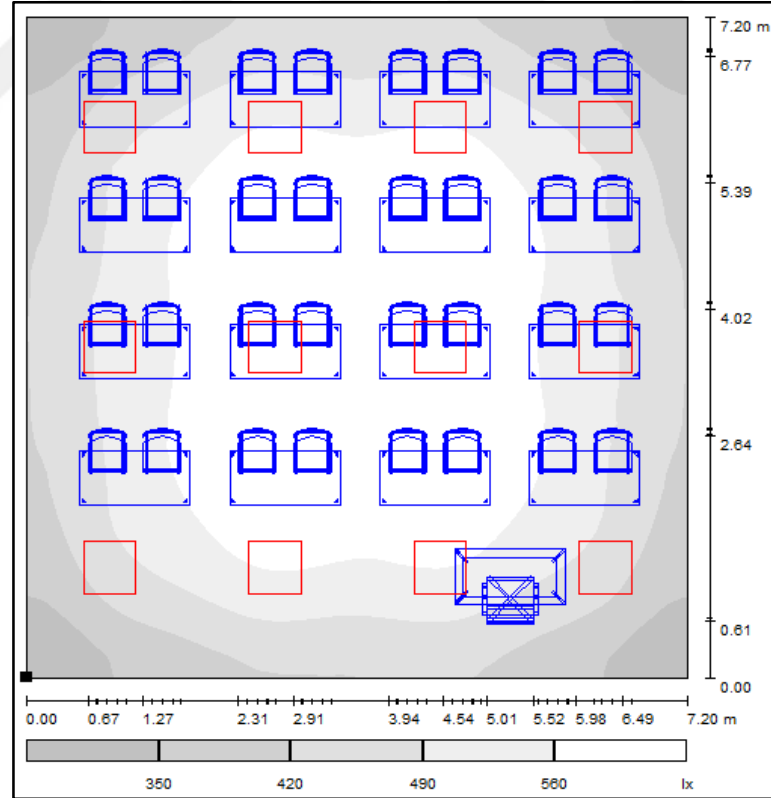
A1 tipi aydınlatma aygıtı ile kurulan aydınlatma düzeninde 12 adet aygıt ile çalışma düzlemi üzerinde sağlanan aydınlık düzeyi ortalama 507 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.7). Aygıt geriverimi 0.61 ve toplam sistem gücü balast kayıpları hariç 672W'dır. Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 7 A1 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	507	290	627	0.57
Zemin	454	266	591	0.58



Şekil 5. 11 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



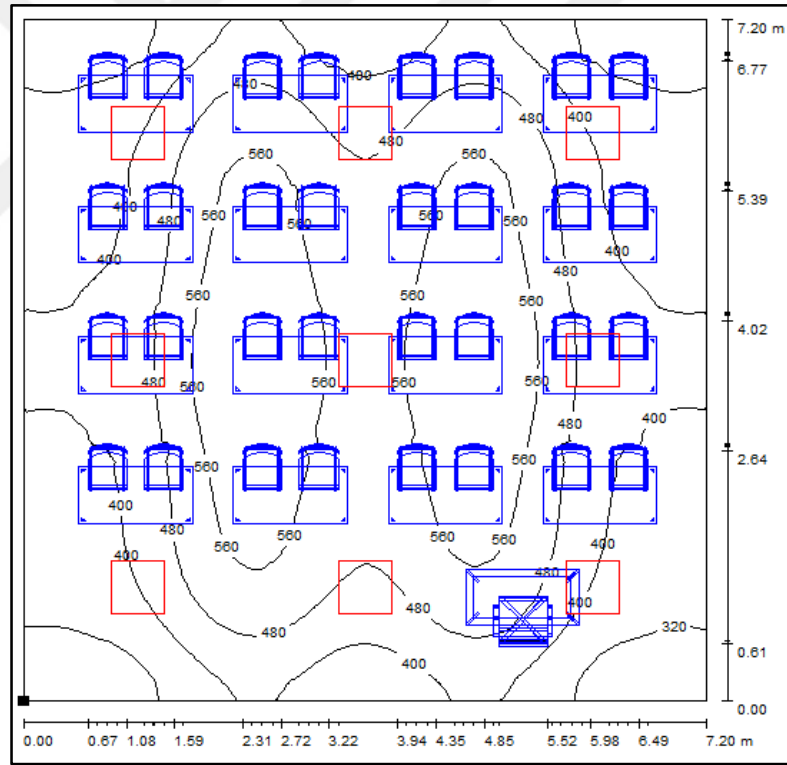
Şekil 5. 12 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

A2 Tipi Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

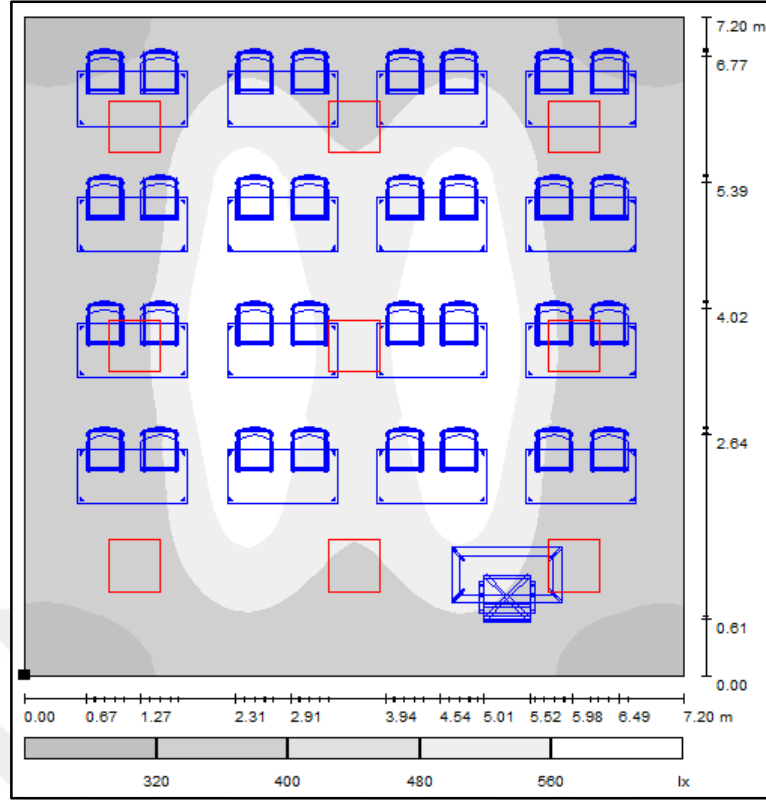
A2 tipi aydınlatma aygıtı ile kurulan aydınlatma düzeninde aygıt geriveriminin artması sebebiyle, çalışma kapsamında elde edilmesi amaçlanan aydınlık düzeyi bir önceki düzende kullanılan 12 adet aygıt yerine 9 adet aygıt ile sağlanmıştır. Çalışma düzlemi üzerinde sağlanan aydınlık düzeyi ortalama 457 lm/m² olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8). Aygıt geriverimi 0.70 ve toplam sistem gücü balast kayıpları hariç 504W'dır. Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 8 A2 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	457	260	634	0.57
Zemin	411	236	547	0.57



Şekil 5. 13 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



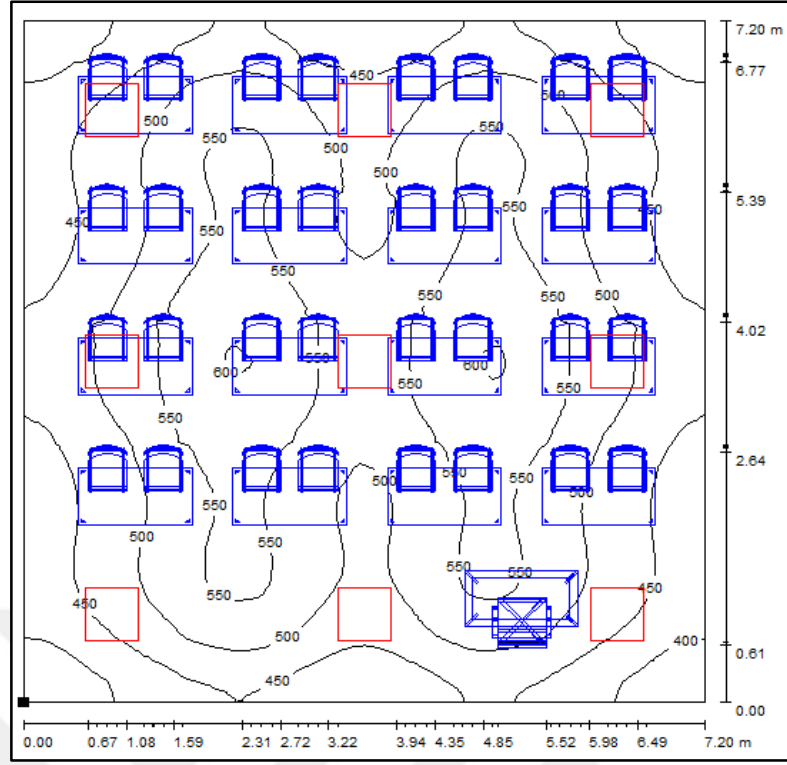
Şekil 5. 14 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

A3 Tipi Aygıt ile Kurulan Aydınlatma Düzeni

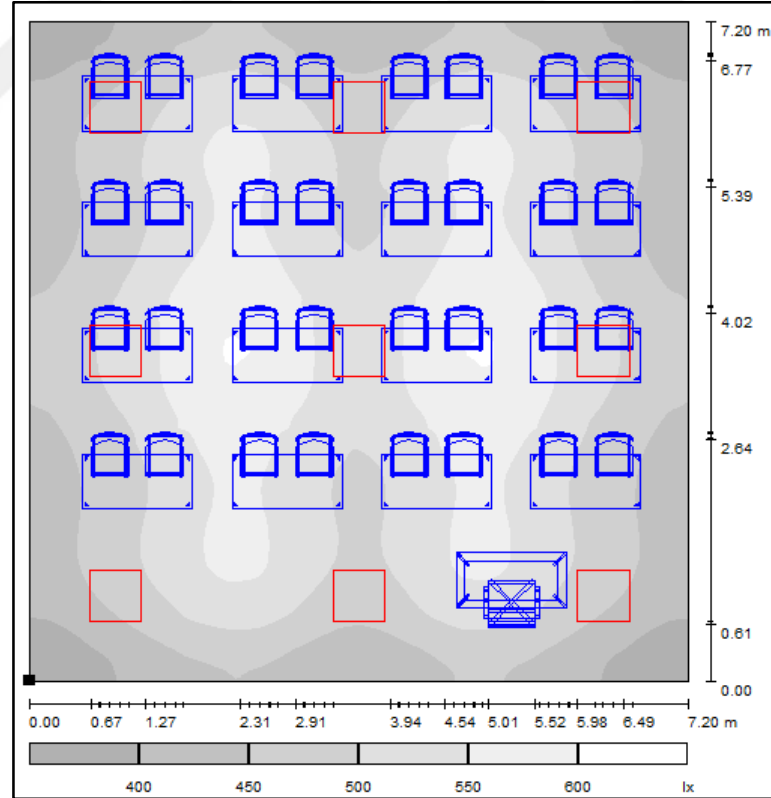
A3 tipi aydınlatma aygıtı ile kurulan aydınlatma düzeninde 9 adet aygıt kullanılarak çalışma düzlemi üzerinde elde edilen aydınlık düzeyi ortalama 497 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8). Aygıt geriverimi 0.79 olup, toplam sistem gücü balast kayıpları hariç 504W'dır. Ayrıca, bu uygulamada aydınlık düzeyinin yüksek olmasından yararlanılmış, görsel konforu iyileştirmek için aygıt aralık mesafeleri değiştirilerek aydınlığın düzgünlüğü arttırılmıştır (Emin/Eort). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 9 A3 tipi aygıt ile kurulan aydınlatma düzeni aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	497	354	602	0.71
Zemin	452	288	544	0.64



Şekil 5. 15 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 16 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Değerlendirme

A1, A2 ve A3 tipi aygıtlar ile kurulan aydınlatma düzenlerinde aygıt geriverimlerinin değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak kurulan sistemlerin günışığı hesaba katılmaksızın, gün içerisinde birim saat yakılmaları ile harcadıkları enerji miktarı Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 10 Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması

Aygıt tipi	A1	A2	A3
Toplam aygıt sayısı	12	9	9
Ortalama aydınlık düzeyi	507 lm/m ²	457 lm/m ²	497 lm/m ²
Enerji tüketimi (birim saat)	672W	504W	504W

Sonuçlara bakılacak olduğunda, en yüksek geriverime sahip olan A3 aygıtı ile kurulan düzen etkin enerji kullanımına yönelik en olumlu düzendir. A1 aygıtı ile kurulan sisteme oranla birim saat başına %33.3 daha az enerji tüketmektedir. Enerji tüketim miktarları aynı olan A2 ve A3 tipi aygıtlar ile kurulan düzenlerde ise aygıt geriverimi 0.79 olan düzen ile elde edilen aydınlık düzeyi, aygıt geriverimi 0.70 olan düzene göre %9 daha yüksek düzeyde olmaktadır. Yüksek verimli lambalar ve yüksek geriverimli aygıtlar kullanarak enerji tüketimi en aza indirilebilmekte, dolayısıyla elektrik enerjisi üretimi için kullanılan kaynaklardan en iyi şekilde yararlanılabilmektedir. Ayrıca, az sayıda aygıt kullanımı ile daha az sayıda aygıt üretimi gerçekleşecek, bu sebeple üretim aşamasında farklı alanlarda tüketilen enerjiler azalacak ve aygıtlar kullanılamaz hale geldiğinde ise atık olan aygıt sayısı düşecektir. Bir sonraki uygulama olan ‘İç Yüzey Yansıtma Çarpanlarının Karşılaştırılması’nda A3 tipi aygıt ele alınacaktır.

5.1.3 İç Yüzey Yansıtma Çarpanlarının Karşılaştırılması

Bir aydınlatma düzeni kurulurken uygun lamba ve aygıtların seçilmesi oldukça önemli olduğu gibi dikkat edilmesi gereken bir başka konu ise, aydınlatma düzeni kurulan hacmin iç yüzey yansıtma çarpanlarına iyi karar verilmesidir. Bu başlık altında iç yüzey yansıtma çarpanlarının aydınlık düzeyine etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Değişkeni yalnızca iç yüzey yansıtma çarpanları olan aydınlatma düzeninde kullanılan aygıtın geriverimi: 0.79, lamba tipi: 4x14W T5, yansıtıcı tipi: çift parabolik paletli, ışık rengi: 4000K olarak seçilmiştir.

Çizelge 5. 11 Uygulamada karşılaştırılan durumlar

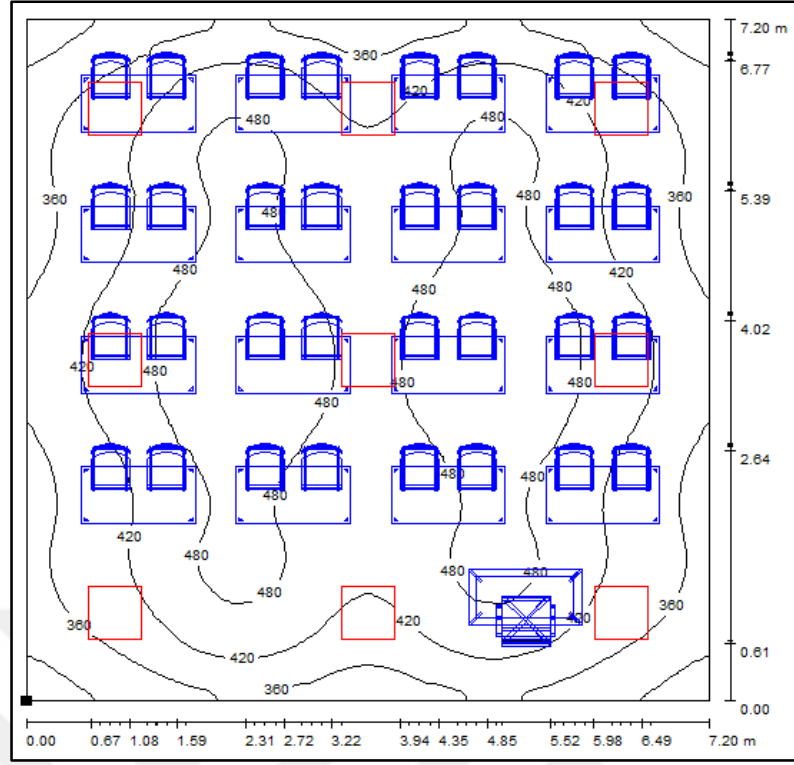
Durum	Yansıtma çarpanları		
	Zemin	Duvar	Tavan
1	0.05	0.20	0.50
2	0.20	0.50	0.70
3	0.50	0.70	0.90

Durum 1

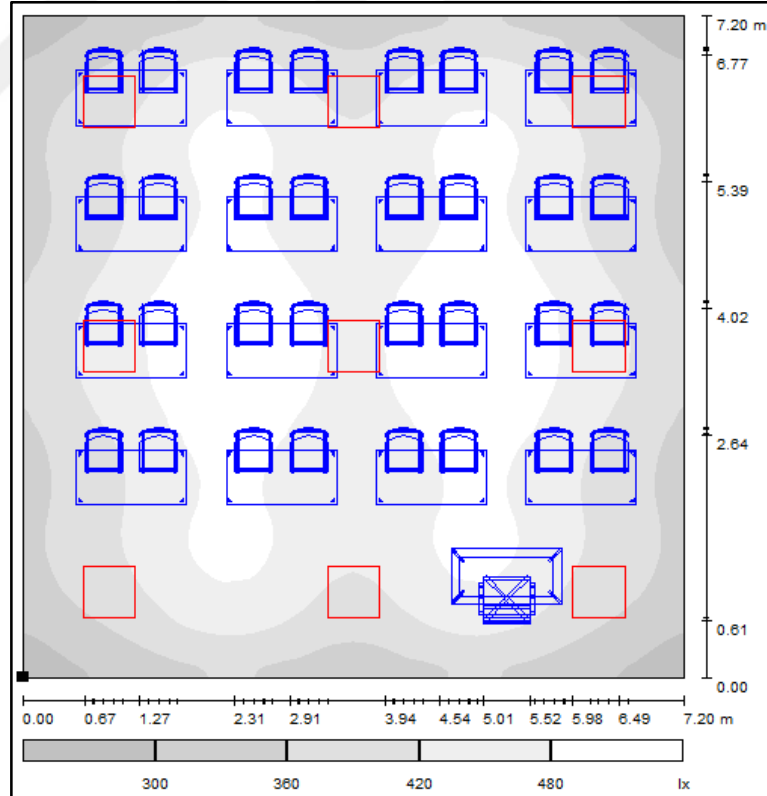
Durum 1 için kurulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerinde sağlanan ortalama aydınlık düzeyi 429 lm/m² olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.12). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 12 Durum 1 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	429	258	539	0.60
Zemin	383	209	480	0.55



Şekil 5. 17 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



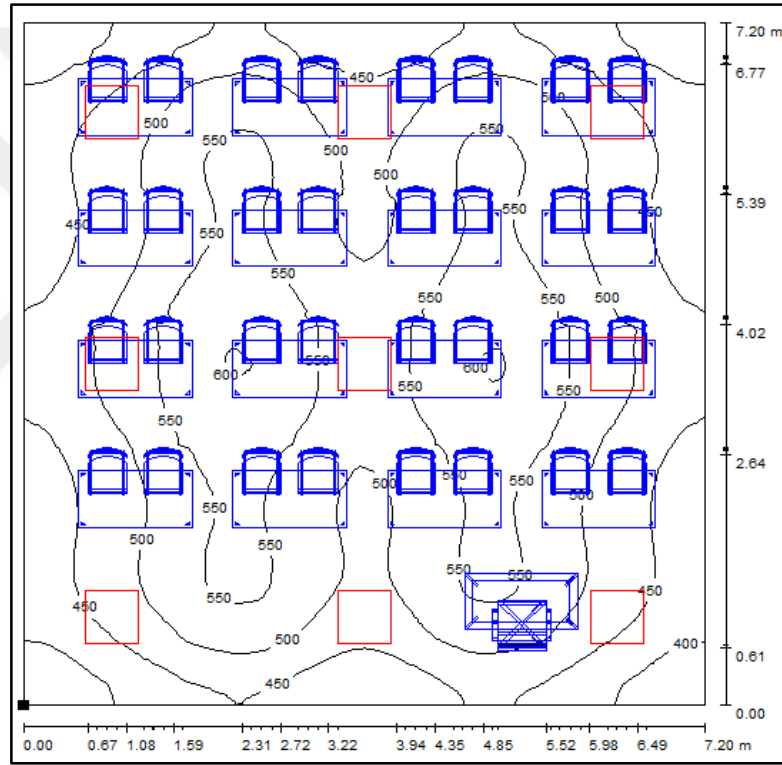
Şekil 5. 18 Çalışma düzlemindeki oluşan gri skala

Durum 2

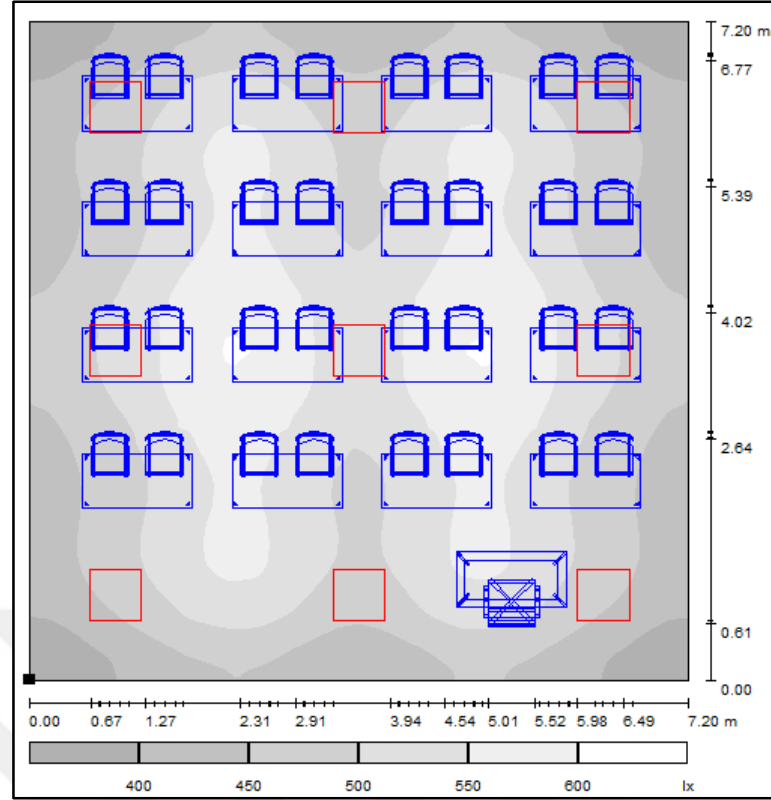
Durum 2 için kurulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerinde sağlanan ortalama aydınlık düzeyi 497 lx/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.13). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 13 Durum 2 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	497	354	602	0.71
Zemin	452	288	544	0.64



Şekil 5. 19 Durum 2 için kurulan aydınlatma düzeni



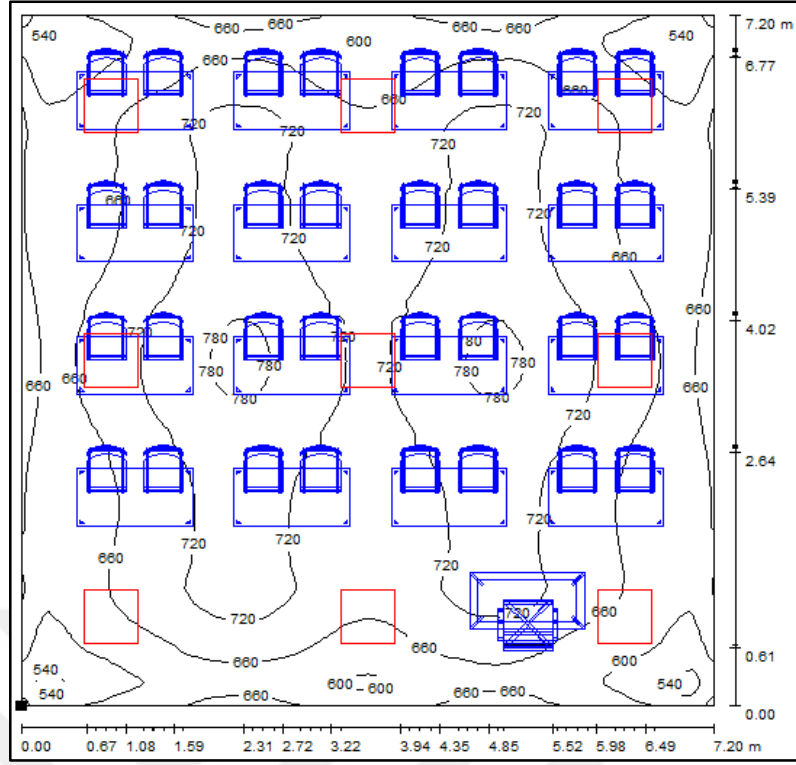
Şekil 5. 20 Durum 2 için çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

Durum 3

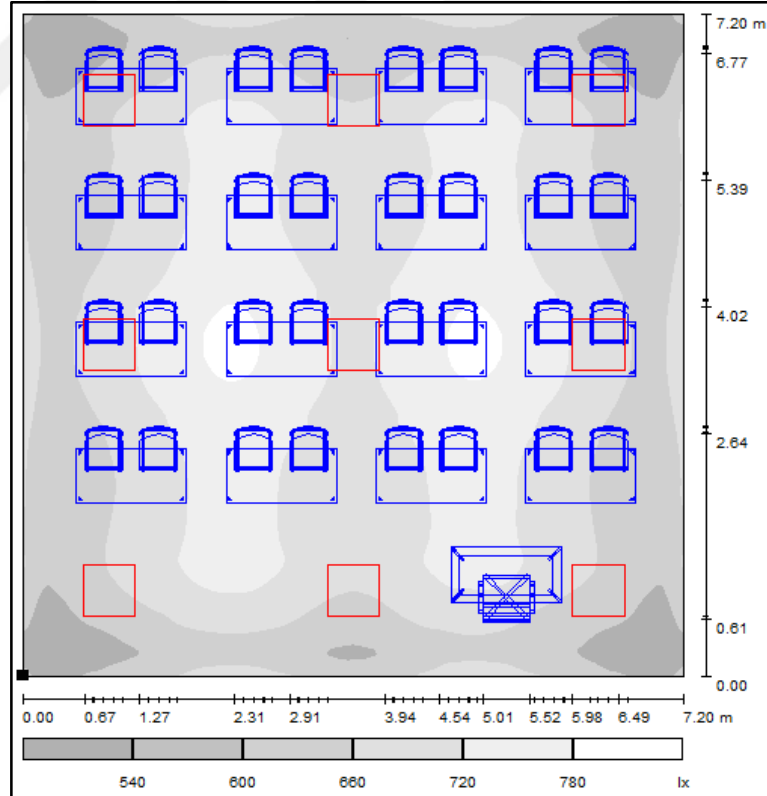
Durum 3 için kurulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerinde sağlanan ortalama aydınlık düzeyi 681 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.14). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 14 Durum 3 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	681	511	788	0.75
Zemin	634	450	732	0.71



Şekil 5. 21 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 22 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Değerlendirme

İç yüzey yansıtma çarpanlarına bağlı değişikliklerin karşılaştırıldığı üç farklı durum için yapılan uygulamalar sonucunda, yüzey yansıtıcılıklarının aydınlık düzeyi ve dağılımını önemli ölçüde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Uygulamalarda elde edilen ortalama aydınlık düzeyleri Çizelge 5.15'te gösterilmiştir. Üç farklı durum için de balast kayıpları hariç aynı elektrik enerjisi tüketimi gerçekleşmektedir.

Çizelge 5. 15 Aydınlatma düzenlerine ait hesap sonuçlarının karşılaştırılması

Durum	1	2	3
Ortalama aydınlık düzeyi	429 lm/m ²	497 lm/m ²	681 lm/m ²
Enerji tüketimi (birim saat)	504W	504W	504W

Çizelgeden görülebileceği gibi, iç yüzey yansıtma çarpanları yüksek olan 3.Durum ile çalışma düzleminde en yüksek düzeyde aydınlık sağlanmaktadır. Hacim içerisindeki ortalama aydınlık düzeyi, iç yüzeylerin yansıtma çarpanları ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Ancak, yüzey yansıtma çarpanlarına karar verilirken bu çarpanların yalnızca aydınlık düzeyine etkisi değil, iç mimari ile uyum ve yüzey dokularıyla ilişkisine de dikkat edilmelidir. Işıklılığı yüksek yüzeylerde oluşabilecek görsel konforsuzluk, kamaşma gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu etkenlerin denetim altına alınması öngörülerek, 3.Durum için aygıt sayısının azaltılması ve dolayısıyla enerji tüketiminden tasarruf edilmesi düşünülmüş ve bu uygulamaya ek olarak '4.Durum' oluşturulmuştur.

Durum 4

Durum 4 için kurulan aydınlatma düzeninde, iç yüzey yansıtma çarpanlarının incelendiği 3.Durumdan yola çıkılarak, bu durumda elde edilen aydınlık düzeyinin öngörülen aralığın üzerinde olması sebebiyle toplam aygıt sayısı azaltılmıştır (Çizelge 5.16).

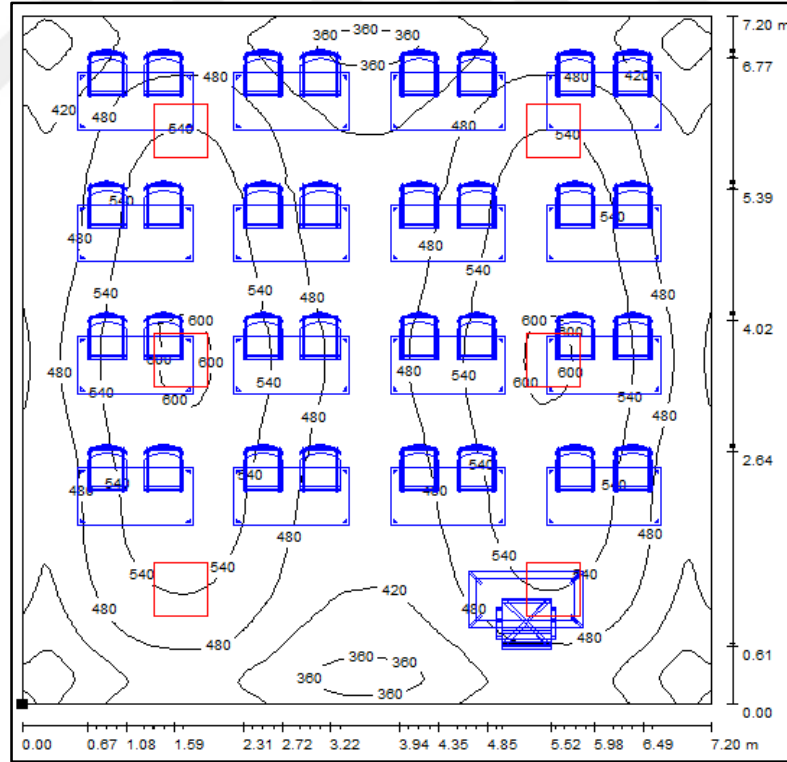
Çizelge 5. 16 Durum 4 için kurulan aydınlatma düzenine ait etkenler

İç yüzey yansıtma çarpanları			Bir aygıt içerisindeki lamba sayısı/gücü	Aygıt geriverimi
Zemin	Duvar	Tavan		
0.50	0.70	0.90	4x14W	0.79

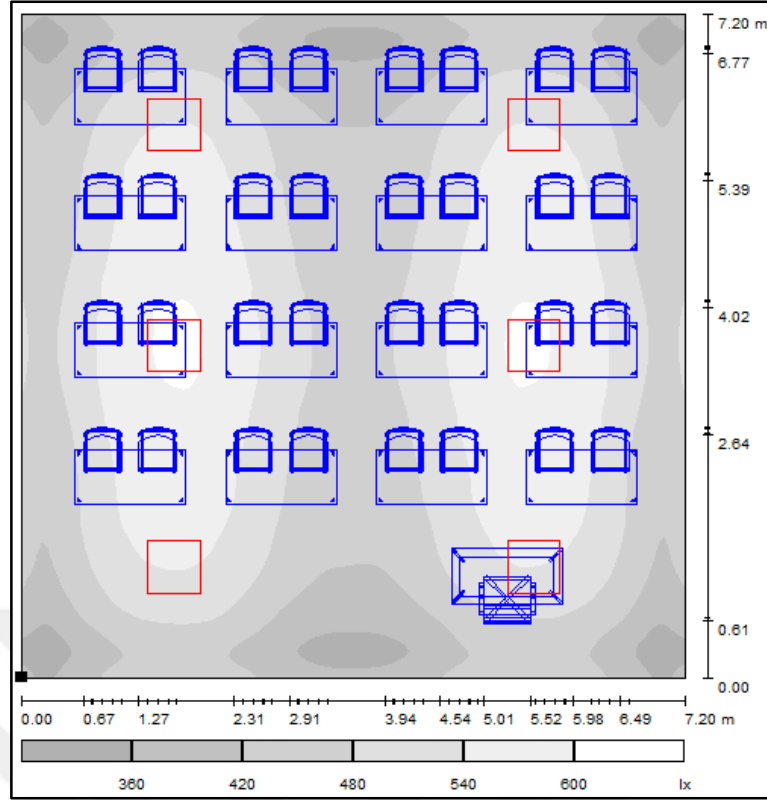
Durum 4 için kurulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerinde sağlanan ortalama aydınlık düzeyi 486 lm/m^2 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.17). Toplam aygıt adedi 6 olup, toplam sistem gücü balast kayıpları hariç 336W'tır. Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 17 Durum 4 için yapılan aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	486	321	606	0.66
Zemin	447	311	539	0.70



Şekil 5. 23 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 24 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

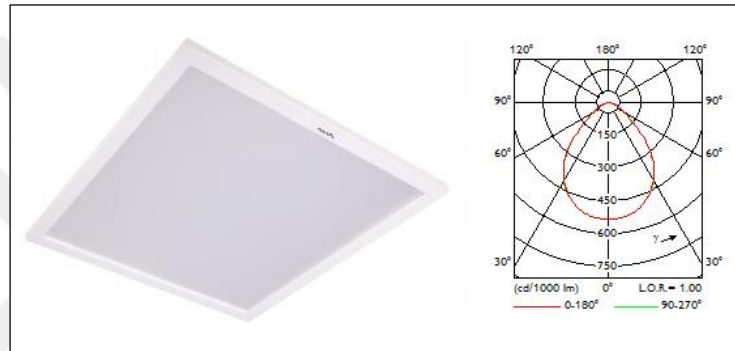
Sonuç olarak, örnekleme çalışmasında incelenen yapma aydınlatma uygulamalarında, karşılaştırmalara dayalı seçilen lamba, aygıt ve iç yüzey yansıtma çarpanları ile 'İç Yüzey Yansıtma Çarpanlarının Karşılaştırılması' bölümü 4.Durum'da oluşturulan aydınlatma düzeninin bu örnekleme kapsamında etkin enerji kullanımlı olduğuna karar verilmiştir. Seçilen lamba, aygıt ve iç yüzey yansıtma çarpanlarına ait özellikler Çizelge 5.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 18 Etkin enerji kullanımlı aydınlatma düzenine ait özellikler

Lamba özellikleri	4x14W T5 (toplam 5400lm)
Aygıt özellikleri	Çift parabolik paletli gömme tip, %79 geriverim
İç yüzey yansıtma çarpanları	Zemin: 0.50 / Duvar: 0.70 / Tavan: 0.90
Ortalama aydınlık düzeyi	486 lm/m ² (h=0.80)
Tüketilen enerji (birim saat)	336 Watt

5.1.4 Geleneksel Tip Optimum Aydınlatma Düzeni ile LED’li bir Aydınlatma Düzeni Karşılaştırması

Gelişen teknoloji ile birlikte LED’li aygıtların ve aydınlatma düzenlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yapılan örneklemede, geleneksel tip lamba ve aygıtlarla elde edilen etkin enerji kullanımlı aydınlatma düzenini, LED’li bir aydınlatma düzeni ile kıyaslamak, enerji tüketimi açısından tasarruf elde edilip edilemeyeceğini sorgulamak açısından önemlidir. Bir önceki başlık altında bulunan Durum 4’te (Şekil 5.23) oluşturulan aydınlatma düzeni sabit kalacak şekilde aygıtlar LED’li seçilmiştir. Kullanılan aygıt ait özellikler Şekil 5.25 ve Çizelge 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5. 25 LED’li aygıt tipi ve ışık yeğirlik eğrisi

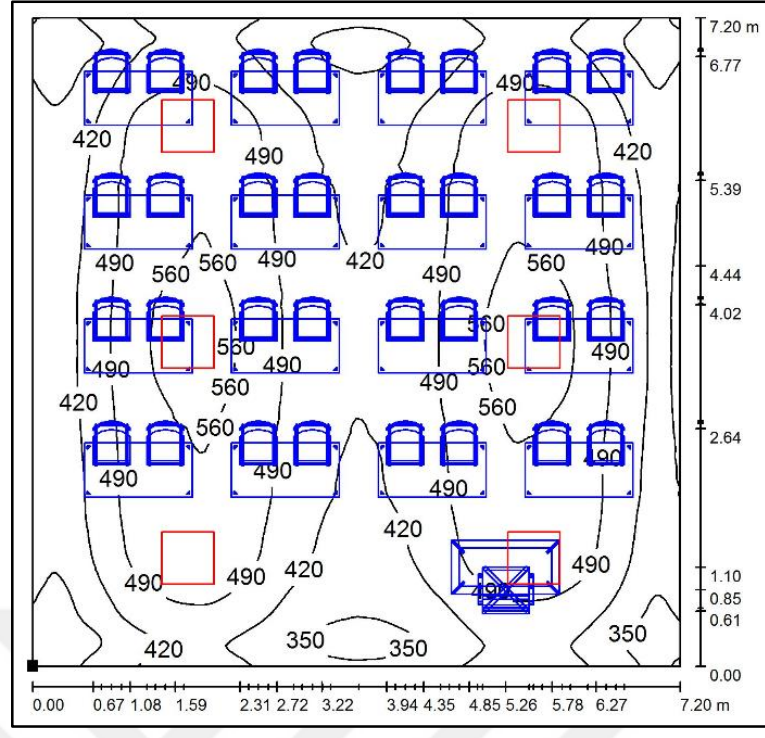
Çizelge 5. 19 Uygulama için seçilen aygıt özellikleri

Aygıt tipi	Yansıtıcı tipi	Aygıt geriverimi	Lamba sayısı/tipi	Lamba renk sıcaklığı (K)	Lamba ömrü
A1-LED	Opal yayıcalı	0.91	37W LED	4000K	50.000

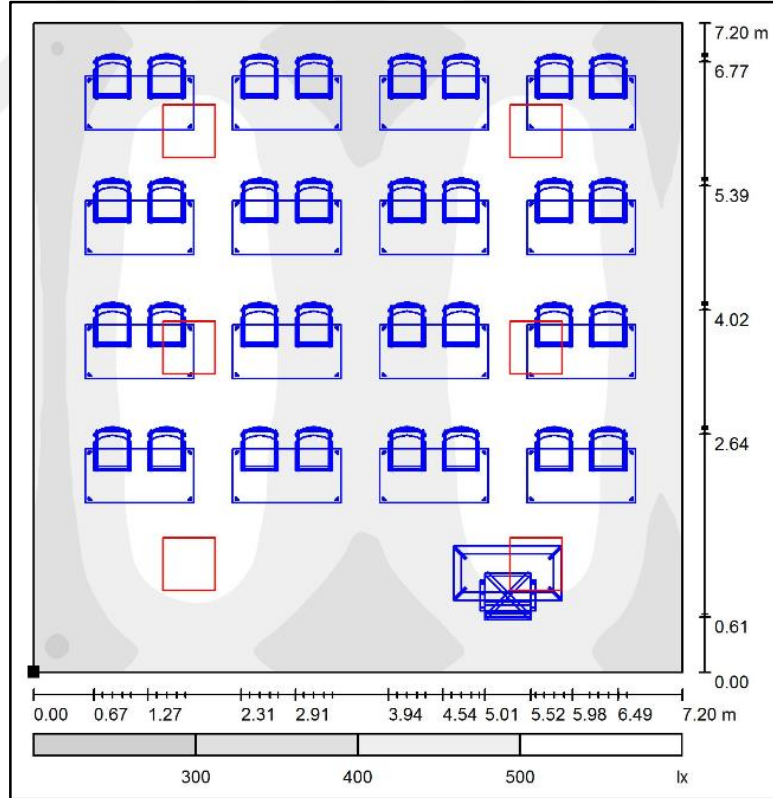
Bu aygıt ile oluşturulan aydınlatma düzenine ait hesaplar ise Çizelge 5.20 ve Şekil 5.26 ve Şekil 27’de verilmiştir.

Çizelge 5. 20 LED’li durum için yapılan aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	461	281	586	0.61
Zemin	424	284	501	0.67



Şekil 5. 26 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 27 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, ortalama aydınlık düzeyi kabul edilen sınırlar içinde kalacak şekilde tüketilen enerji miktarı etkin enerji kullanımlı geleneksel tip düzene göre yaklaşık %34 azalmıştır (Çizelge 5.21). Bu sebeple, örneklemenin geri kalanında bu düzen üzerinden hesap ve irdellemelere devam edilecektir.

Çizelge 5. 21 LED’li aydınlatma düzenine ait özellikler

Lamba özellikleri	37W LED (4200lm)
Aygıt özellikleri	Opal yayıcılı, %91 geriverim
İç yüzey yansıtma çarpanları	Zemin: 0.50 / Duvar: 0.70 / Tavan: 0.90
Ortalama aydınlık düzeyi	461 lm/m ² (h=0.80)
Tüketilen enerji (birim saat)	222 Watt

5.1.5 Günişığı ve Lamba Işığının Birlikte Düşünülmesi

Bu uygulamada, lamba ışık verimi, aygıt geriverimi ve iç yüzey yansıtma çarpanları karşılaştırması sonucunda uygun olarak seçilen aydınlatma düzeninin, yıl boyunca dönence günleri olarak belirlenen gün ve saatlerde günişığından yararlanma ve lamba ışığına gereksinim duyma durumları incelenmiştir. Yaz, kış ve bahar ayları olarak üç ayrı gün için ele alınan farklı saatler Çizelge 5.22’de gösterilmiştir. Derslik hacminin İstanbul’da yer aldığı varsayılmış ve günişığına etkin biçimde kullanılması açısından, pencerelerin konumlandırılması güney yönü doğrultusunda yapılmıştır. Pencere boyutları 480 cm x 160 cm olarak belirlenmiş ve pencere kirlenme katsayısı 0.80 alınmıştır. Çevre özellikleri olarak ise, hacmin engelsiz/açık alanda olduğu öngörülmüş, hesaplamalar ‘kapalı gök’ ve ‘açık gök’ koşulları için ayrı ayrı yapılmıştır. İlk olarak kapalı gök koşulları ele alınmıştır.

Çizelge 5. 22 Hesaplamaların yapıldığı gün ve saatler

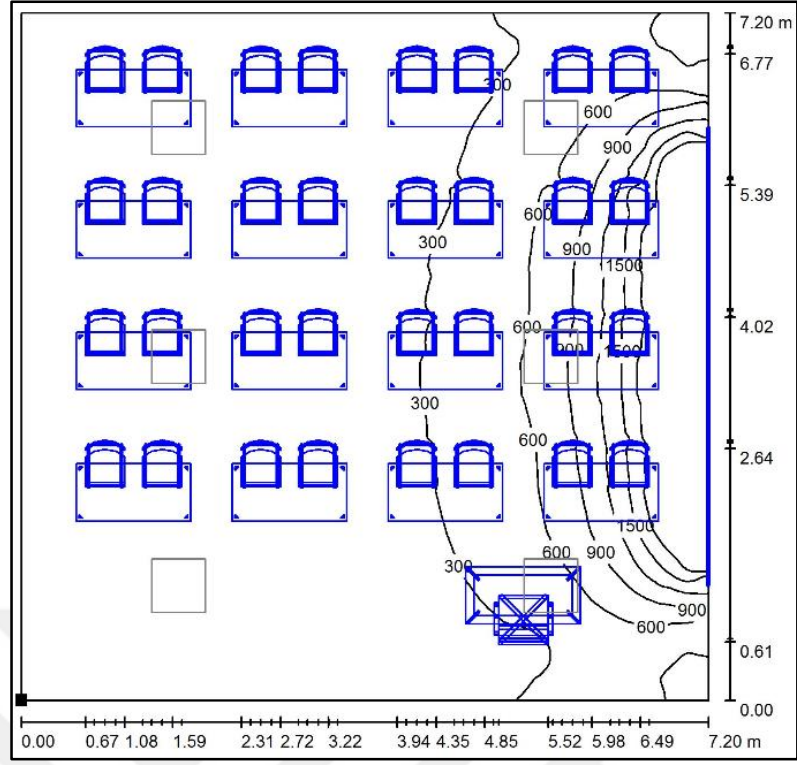
Uygulama		Gün	Saat
Kapalı gök	Açık gök		
1	10	21 Haziran (yaz dönencesi)	09.00
2	11	21 Haziran	12.00
3	12	21 Haziran	16.00
4	13	21 Aralık (kış dönencesi)	09.00
5	14	21 Aralık	12.00
6	15	21 Aralık	16.00
7	16	21 Mart (ilkbahar ılımı)	09.00
8	17	21 Mart	12.00
9	18	21 Mart	16.00

Uygulama 1

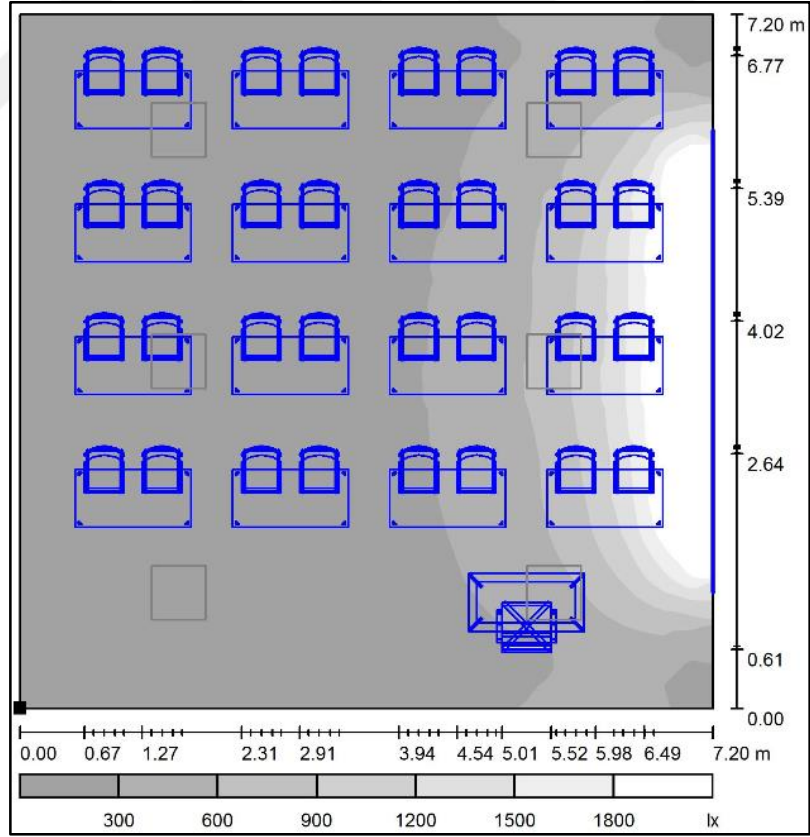
Uygulama 1’de, 21 Haziran saat 09.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 437 lm/m²’dir. (Çizelge 5.23). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 23 Uygulama 1 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	437	81	2805	0.19
Zemin	254	64	1198	0.25



Şekil 5. 28 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

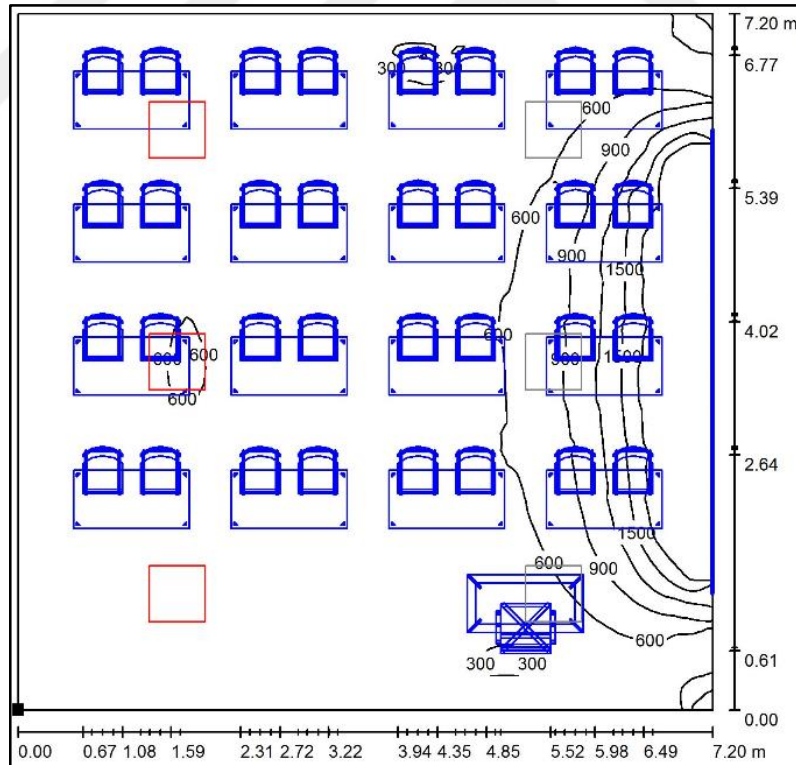


Şekil 5. 29 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

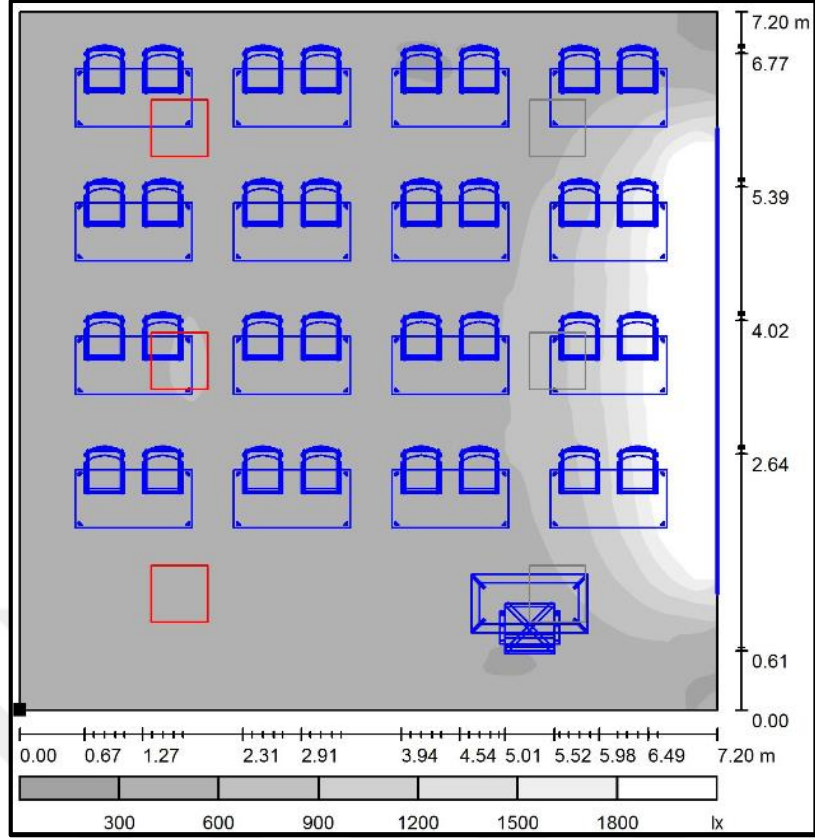
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.28’te görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 643 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.24) (Şekil 5.30 ve Şekil 5.31). Hacmin pencereye yakın bölümünde günışığından kaynaklanan yüksek aydınlık düzeyinin ileriki bölümde bahsedileceği üzere bir güneş kırıcı ile denetiminin yapılması planlanmıştır. Bu şekilde aydınlığın düzgünlüğünün artırılması hedeflenmektedir.

Çizelge 5. 24 Uygulama 1 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	643	175	2844	0.27
Zemin	383	154	1229	0.40



Şekil 5. 30 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



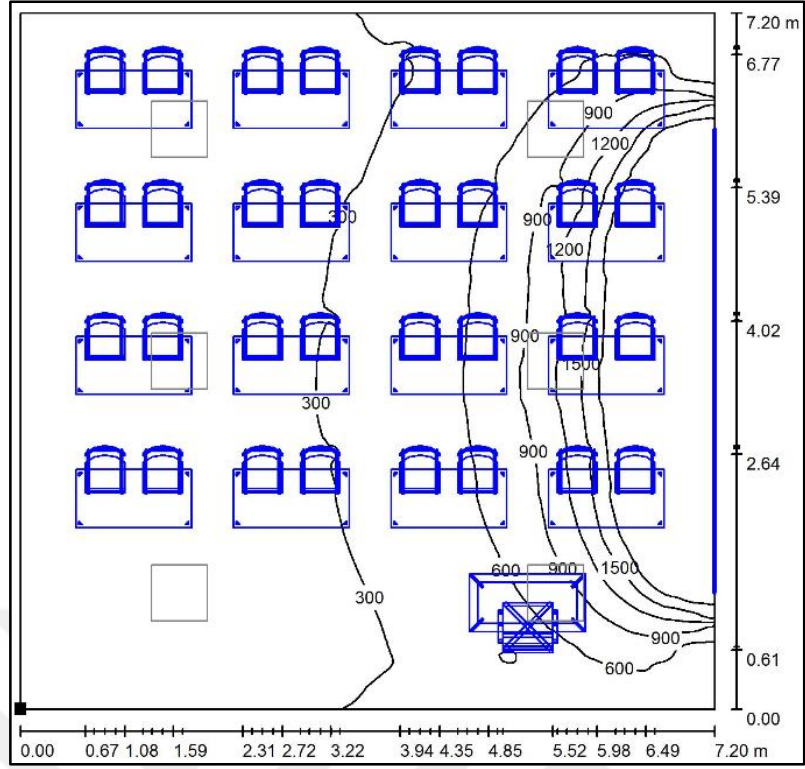
Şekil 5. 31 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 2

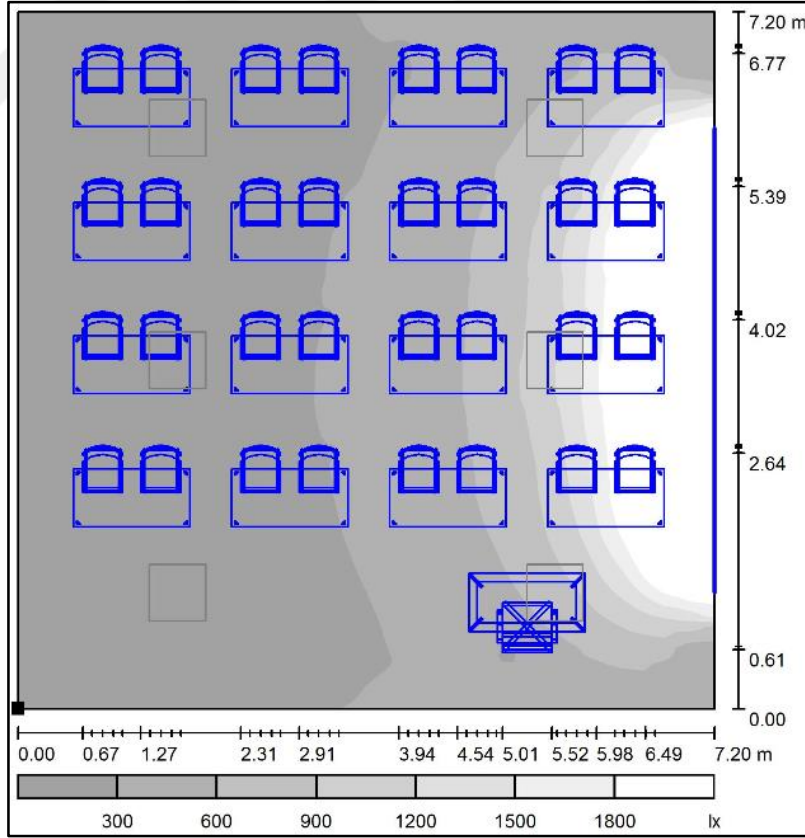
Uygulama 2’de, 21 Haziran saat 12.00’de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 677 lm/m²’dir. (Çizelge 5.25). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 25 Uygulama 2 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	677	126	4343	0.19
Zemin	394	100	1855	0.25



Şekil 5. 32 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

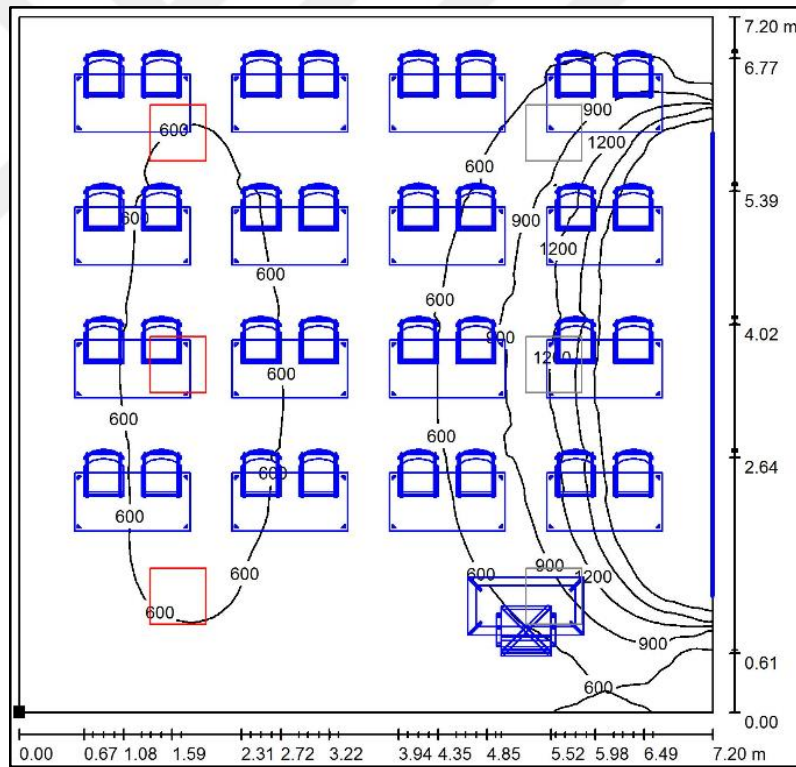


Şekil 5. 33 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

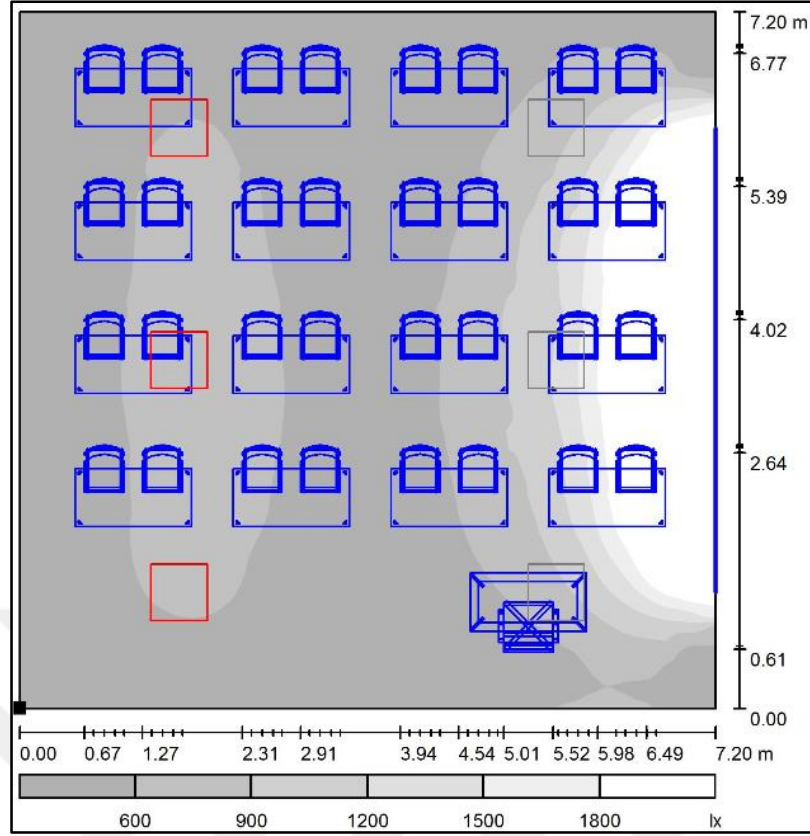
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.32’de görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 882 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.26) (Şekil 5.31 ve Şekil 5.32). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 26 Uygulama 2 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	882	236	4381	0.27
Zemin	522	190	1886	0.37



Şekil 5. 34 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



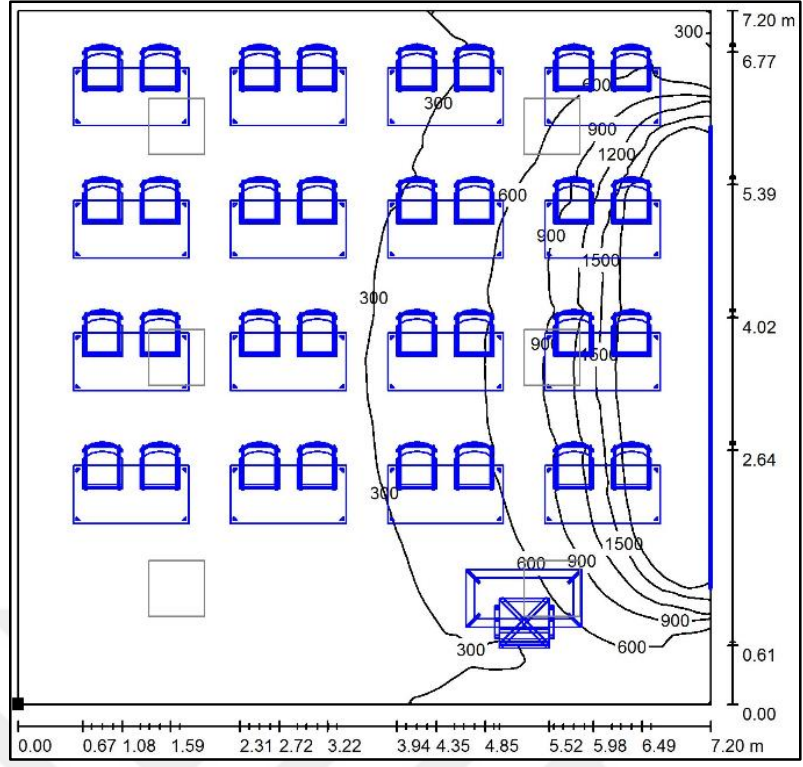
Şekil 5. 35 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 3

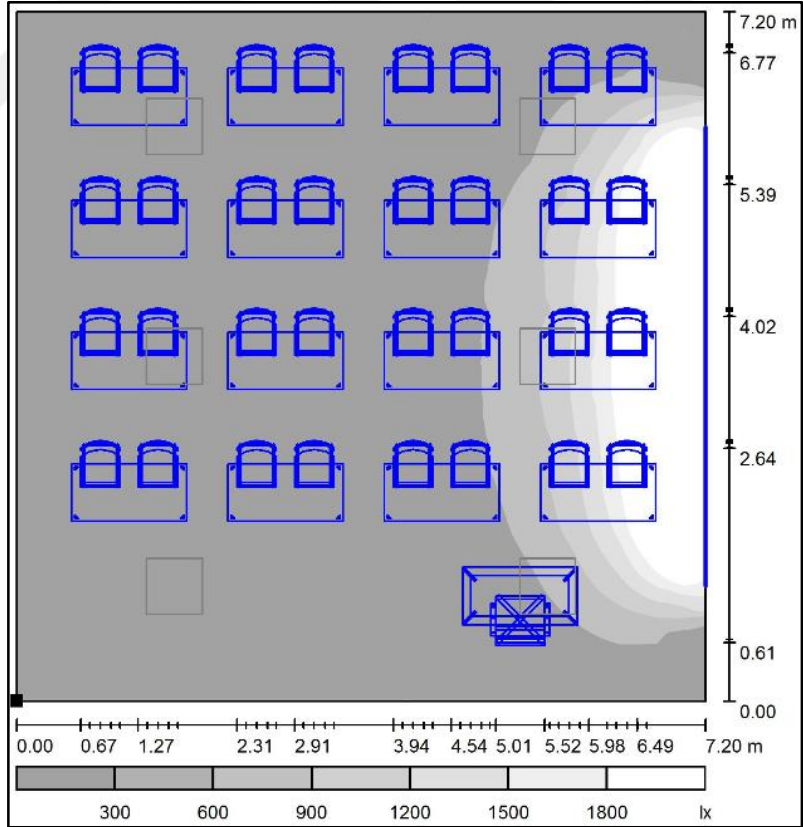
Uygulama 3'te, 21 Haziran saat 16.00'de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 560 lm/m²'dir. (Çizelge 5.27). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 27 Uygulama 3 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	560	104	3591	0.19
Zemin	326	83	1534	0.25



Şekil 5. 36 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

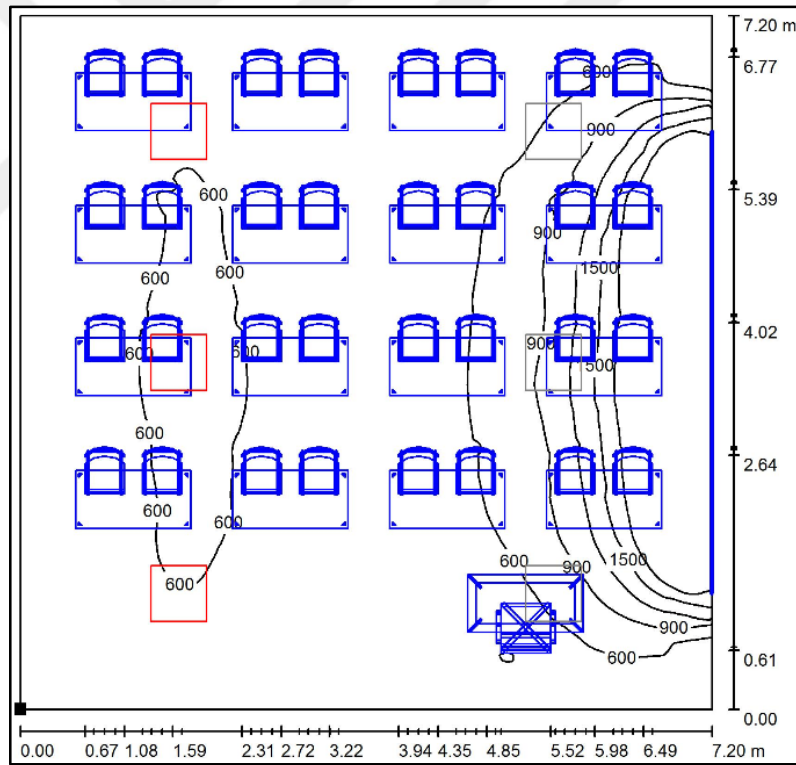


Şekil 5. 37 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

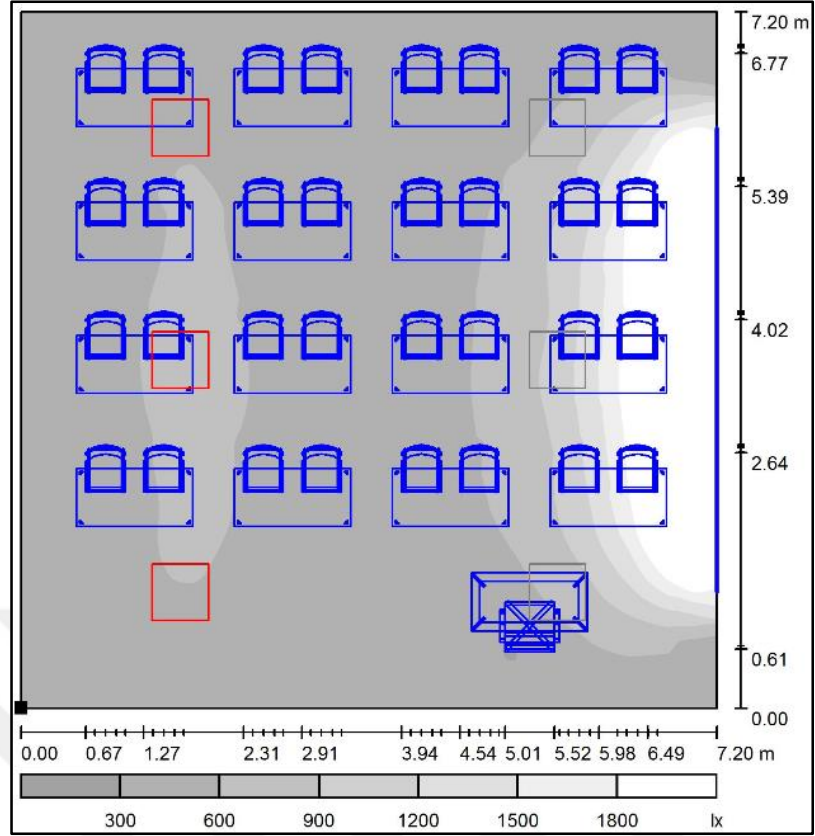
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.36'da görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 765 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.28) (Şekil 5.38 ve Şekil 5.39). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 28 Uygulama 3 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	765	208	3630	0.27
Zemin	454	173	1565	0.38



Şekil 5. 38 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



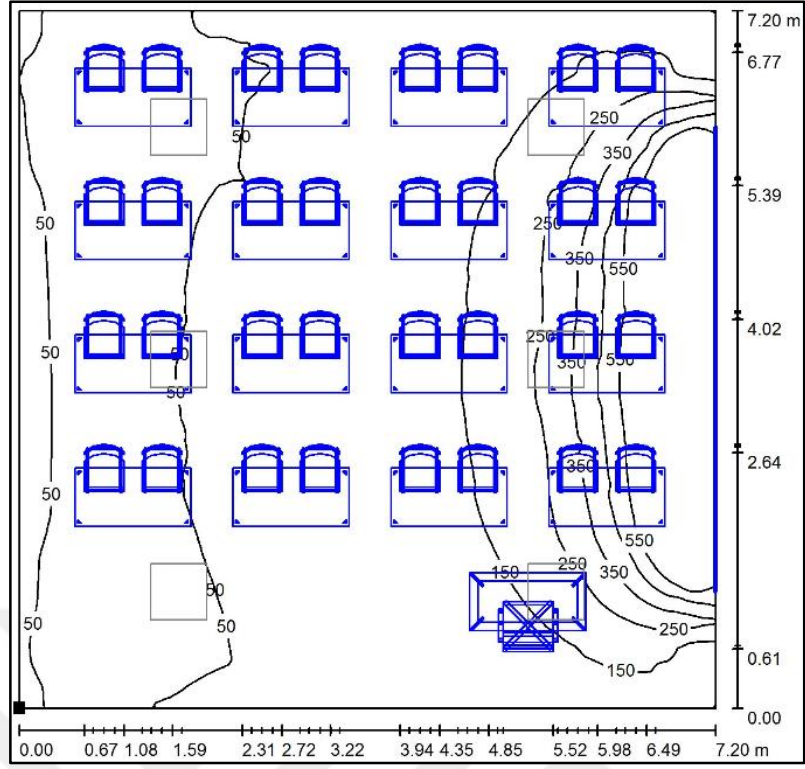
Şekil 5. 39 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 4

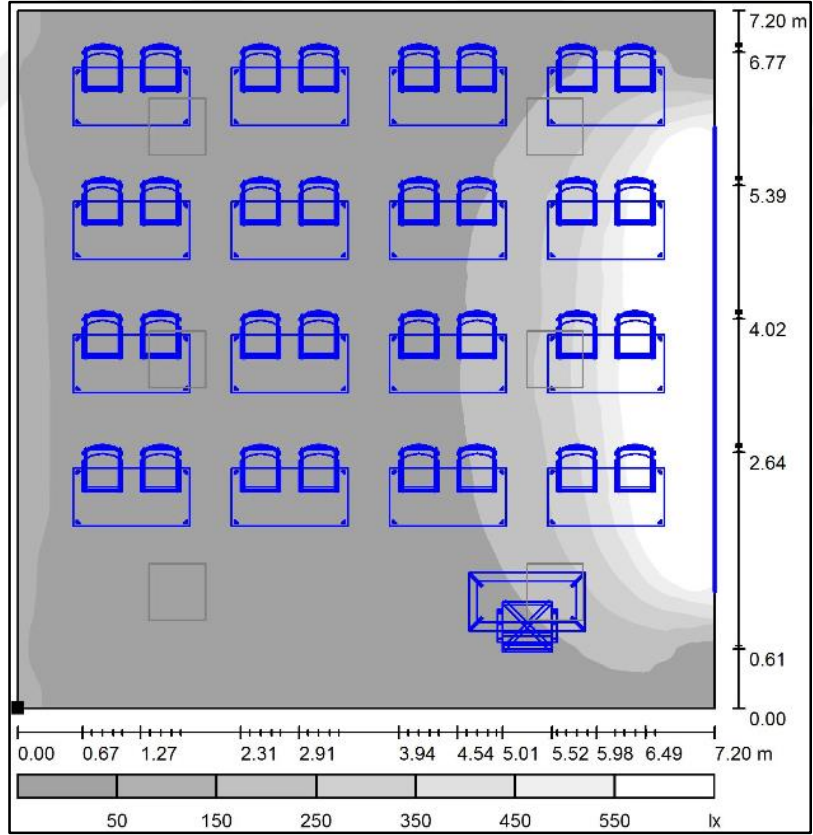
Uygulama 4'te, 21 Aralık saat 09.00'da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 172 lm/m²'dir. (Çizelge 5.29). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 29 Uygulama 4 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	172	32	1105	0.19
Zemin	100	25	472	0.25



Şekil 5. 40 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 41 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

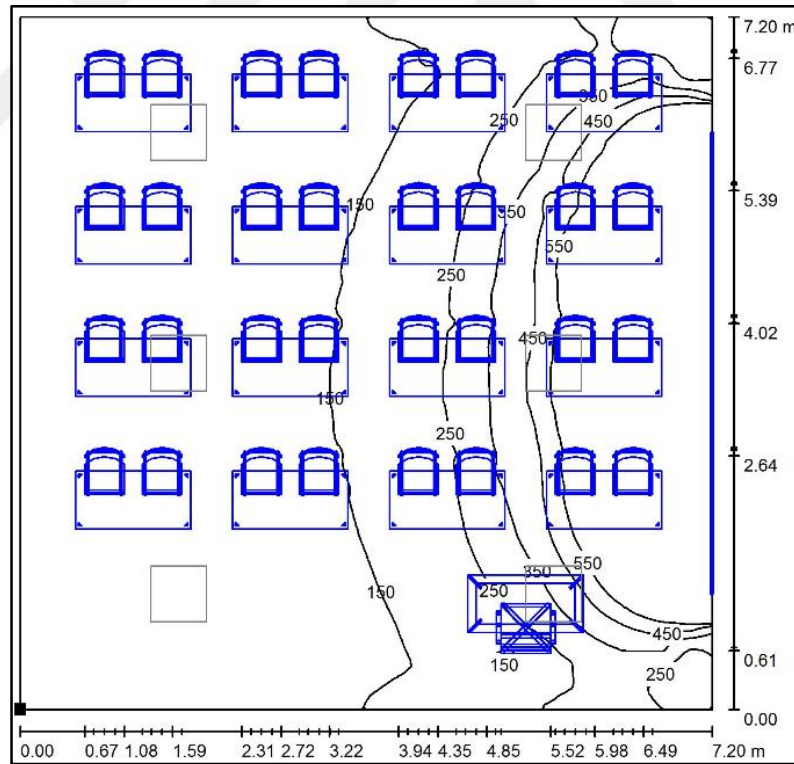
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının hacmin tümü için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen bu gün ve saatte uygun çalışma koşullarının sağlanabilmesi için hacimdeki yapma aydınlatmanın tümü etkin hale getirilmelidir.

Uygulama 5

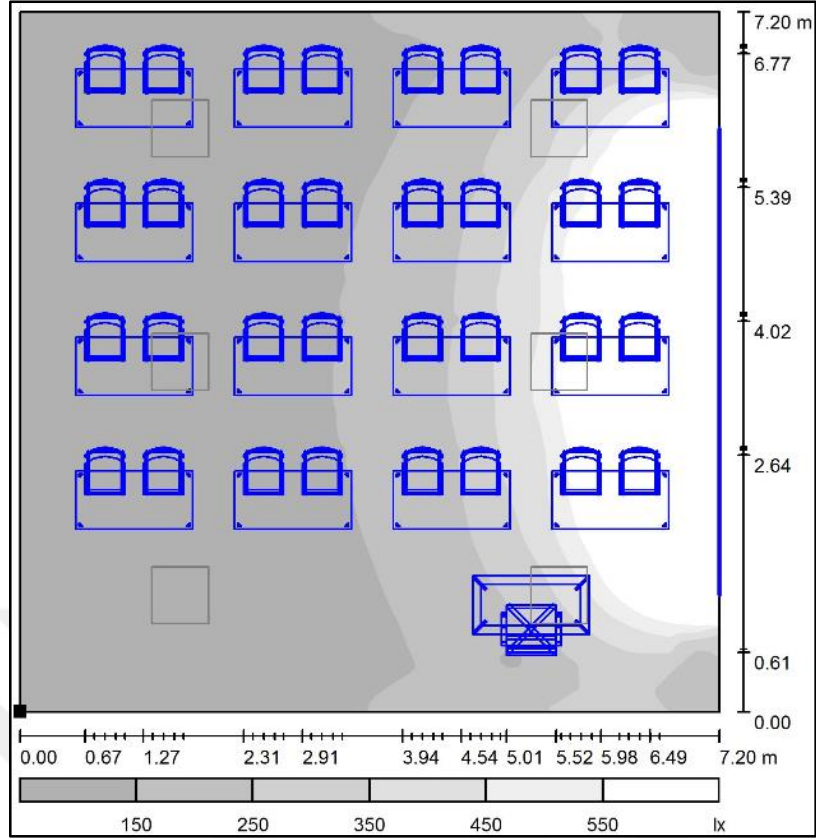
Uygulama 5'te, 21 Aralık saat 12.00'da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 321 lm/m²'dir. (Çizelge 5.30). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 30 Uygulama 5 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	321	60	2062	0.19
Zemin	187	47	881	0.25



Şekil 5. 42 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

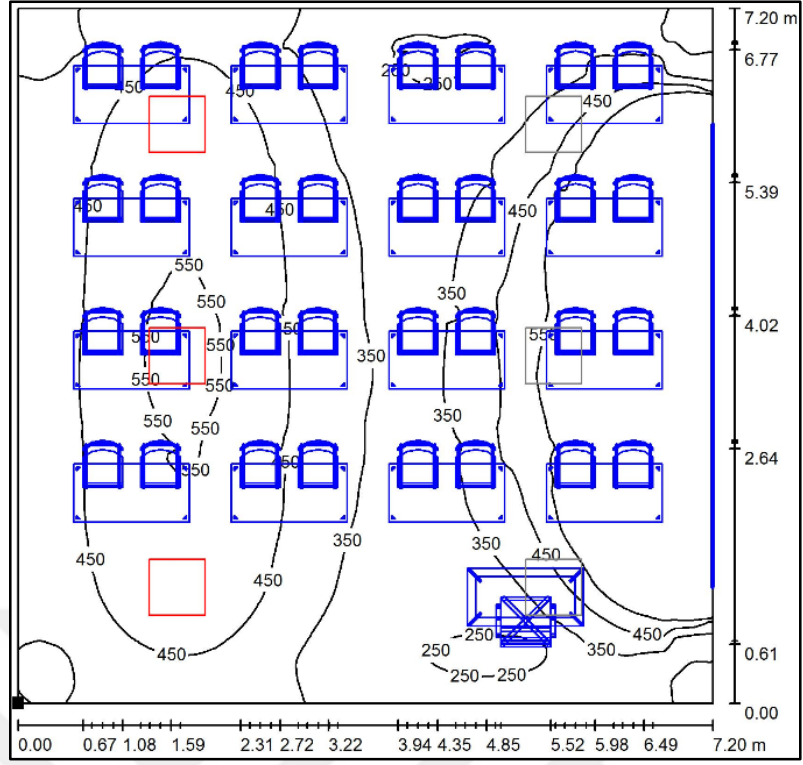


Şekil 5. 43 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

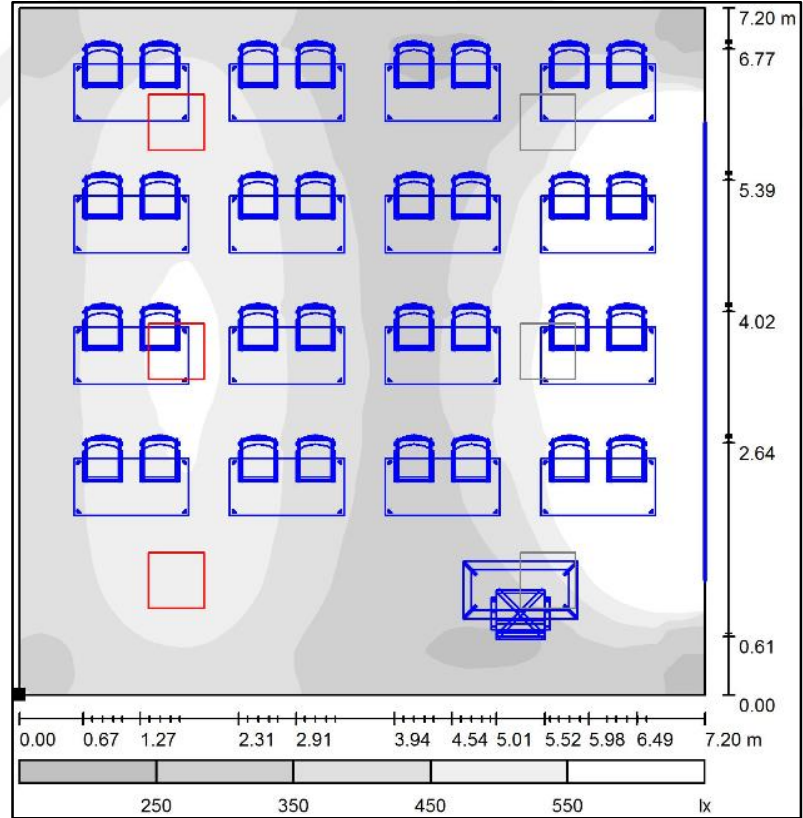
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.42’de görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 528 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.31) (Şekil 5.44 ve Şekil 5.45). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 31 Uygulama 5 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	528	144	2102	0.27
Zemin	316	134	914	0.42



Şekil 5. 44 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



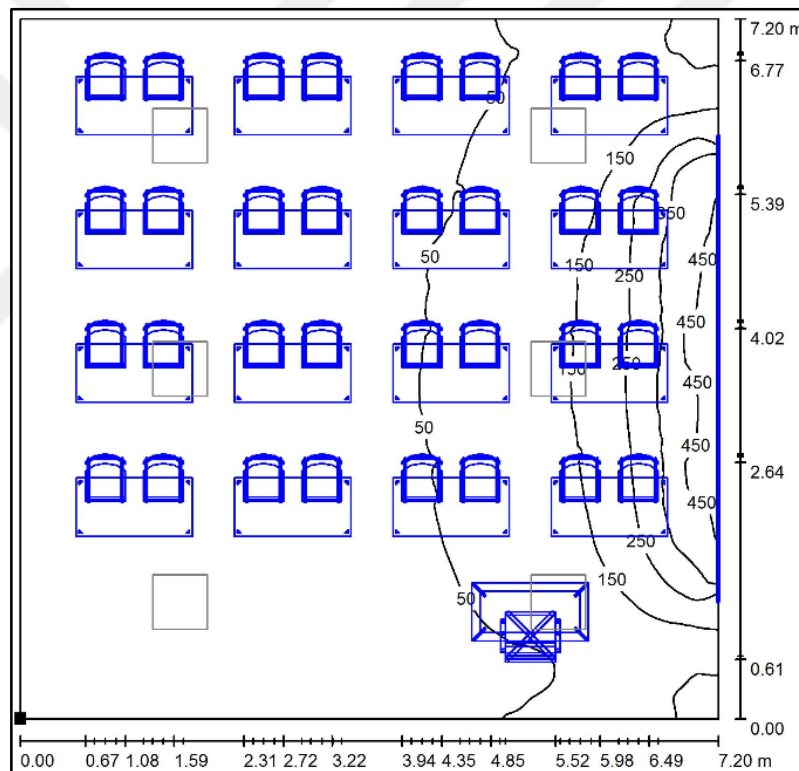
Şekil 5. 45 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 6

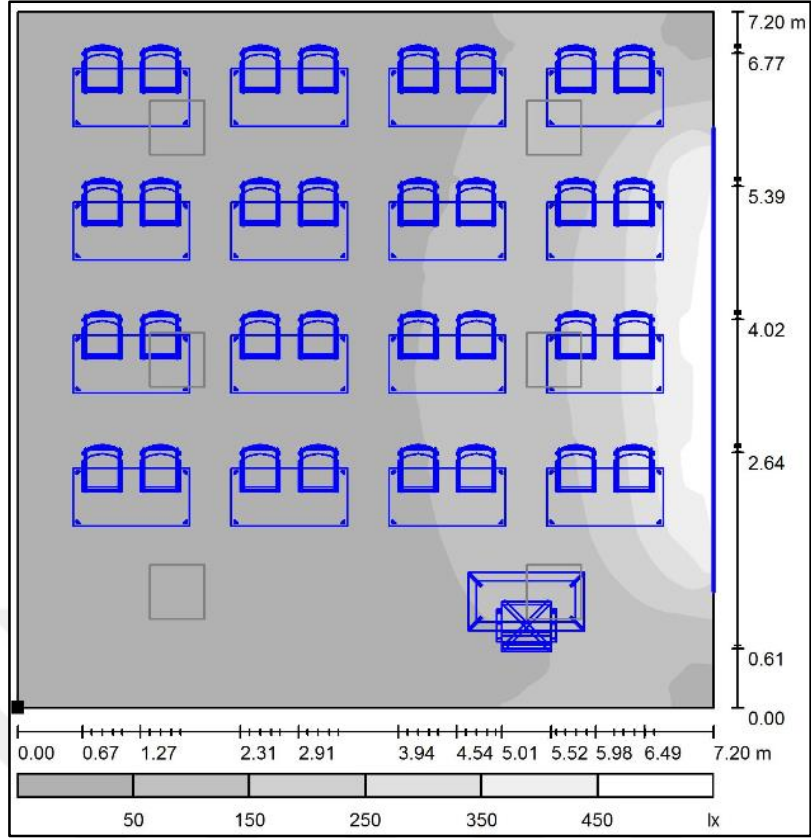
Uygulama 6'da, 21 Aralık saat 16.00'da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 76 lm/m²'dir. (Çizelge 5.32). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.46 ve Şekil 5.47'de gösterilmiştir

Çizelge 5. 32 Uygulama 6 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	76	14	486	0.19
Zemin	44	11	207	0.25



Şekil 5. 46 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 47 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

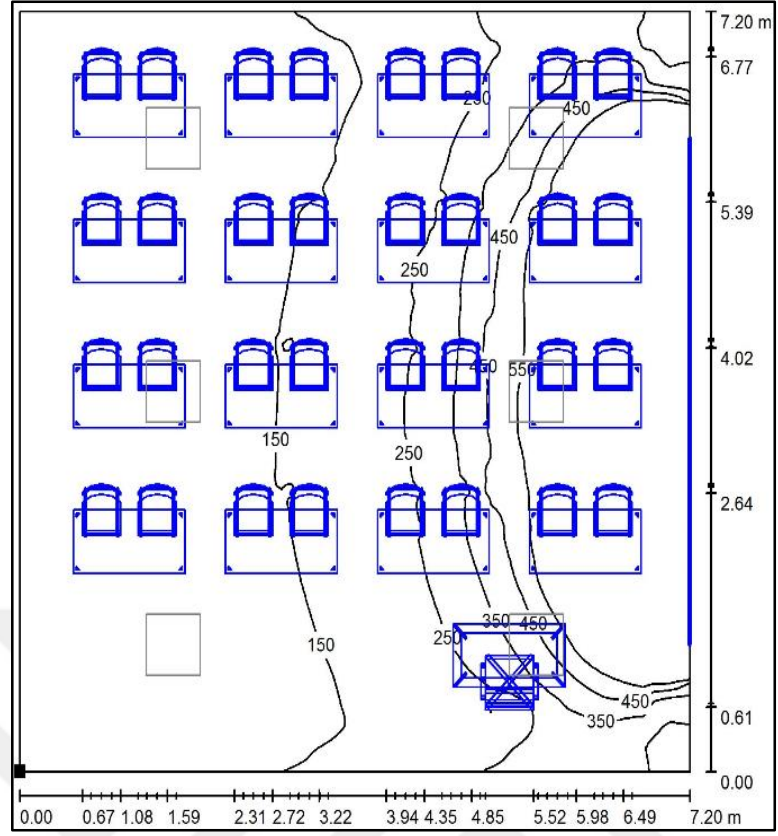
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının hacmin tümü için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen bu gün ve saatte uygun çalışma koşullarının sağlanabilmesi için hacimdeki yapma aydınlatmanın tümü etkin hale getirilmelidir.

Uygulama 7

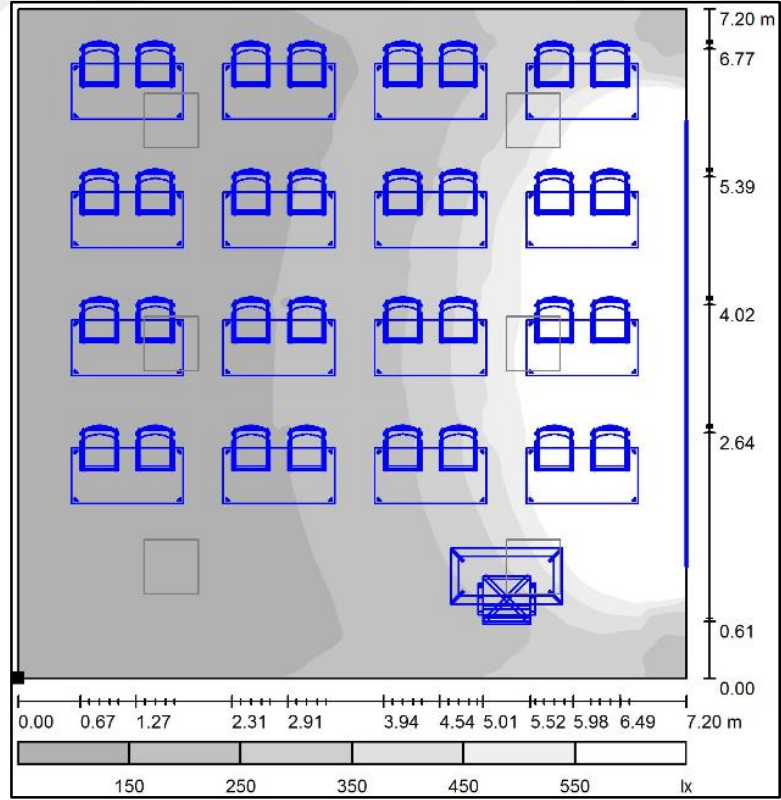
Uygulama 7’de, 21 Mart saat 09.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 375 lm/m²’dir. (Çizelge 5.33). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.48 ve Şekil 5.49’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 33 Uygulama 7 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	375	70	2407	0.19
Zemin	218	55	1028	0.25



Şekil 5. 48 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

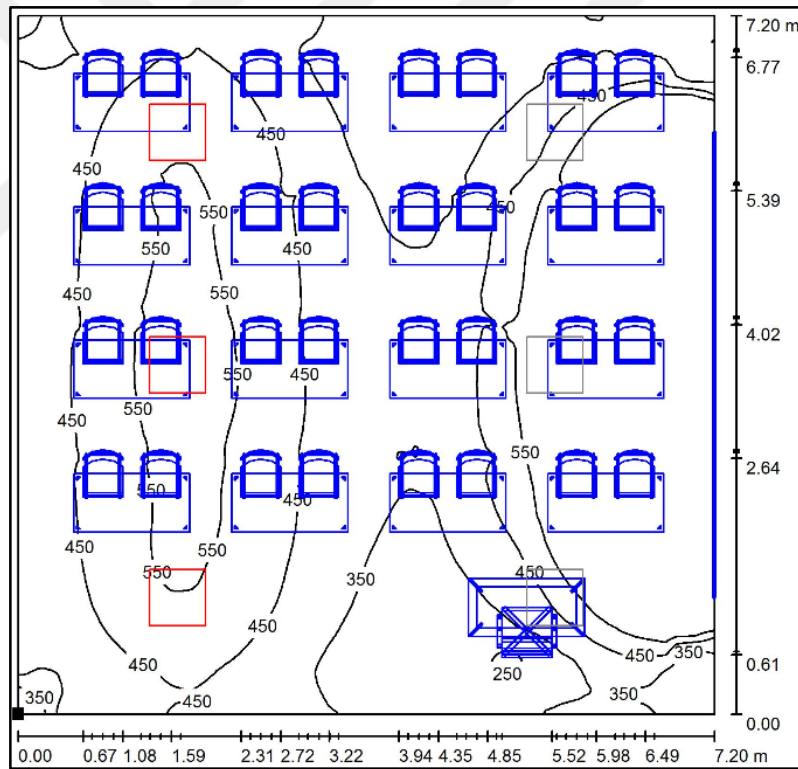


Şekil 5. 49 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

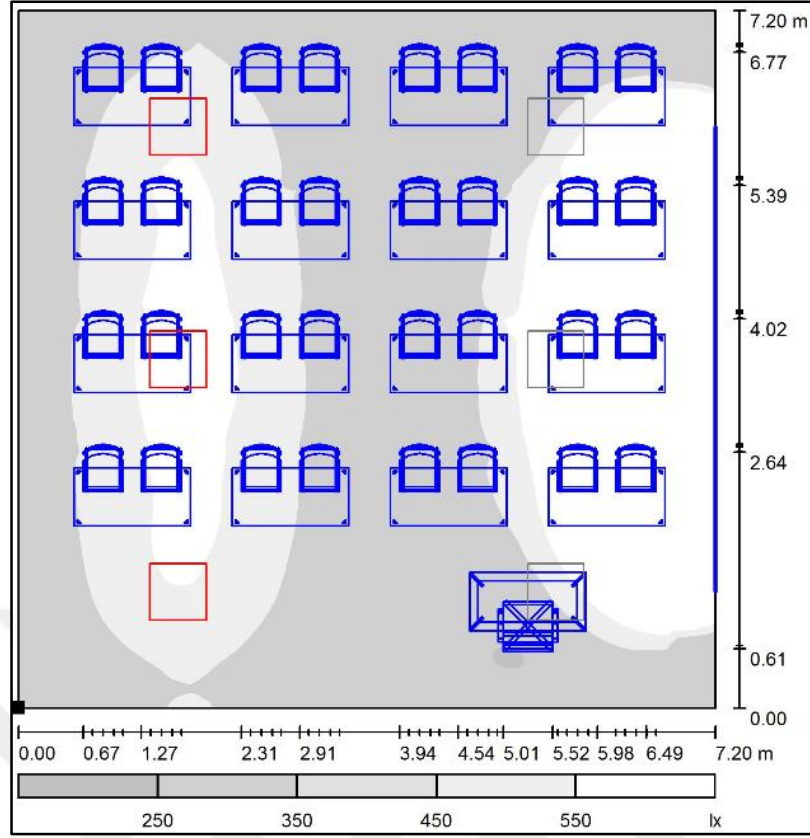
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.48’de görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 582 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.34) (Şekil 5.50 ve Şekil 5.51). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 34 Uygulama 7 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	582	158	2446	0.27
Zemin	347	145	1061	0.42



Şekil 5. 50 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



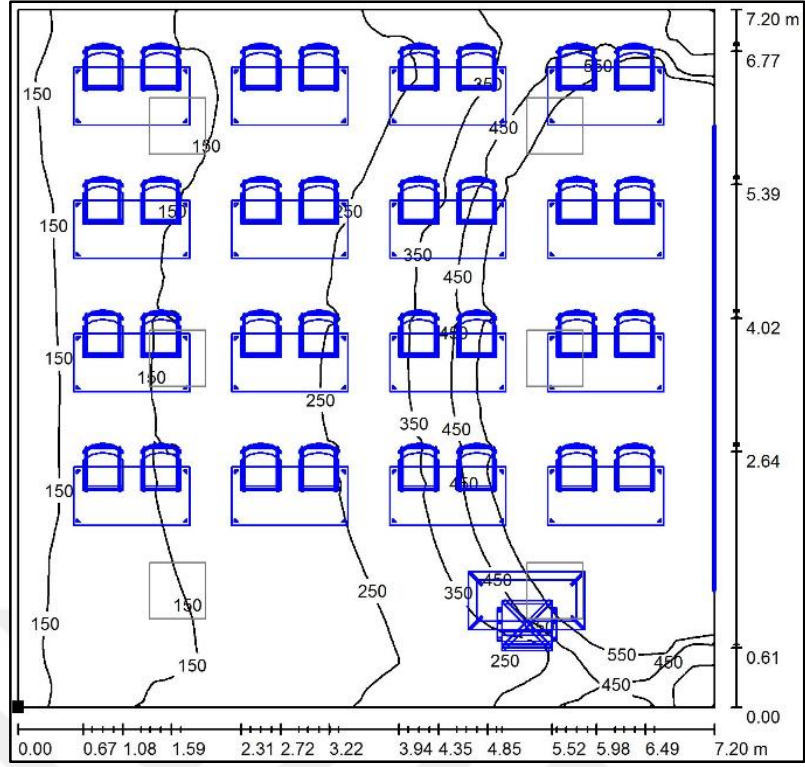
Şekil 5. 51 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 8

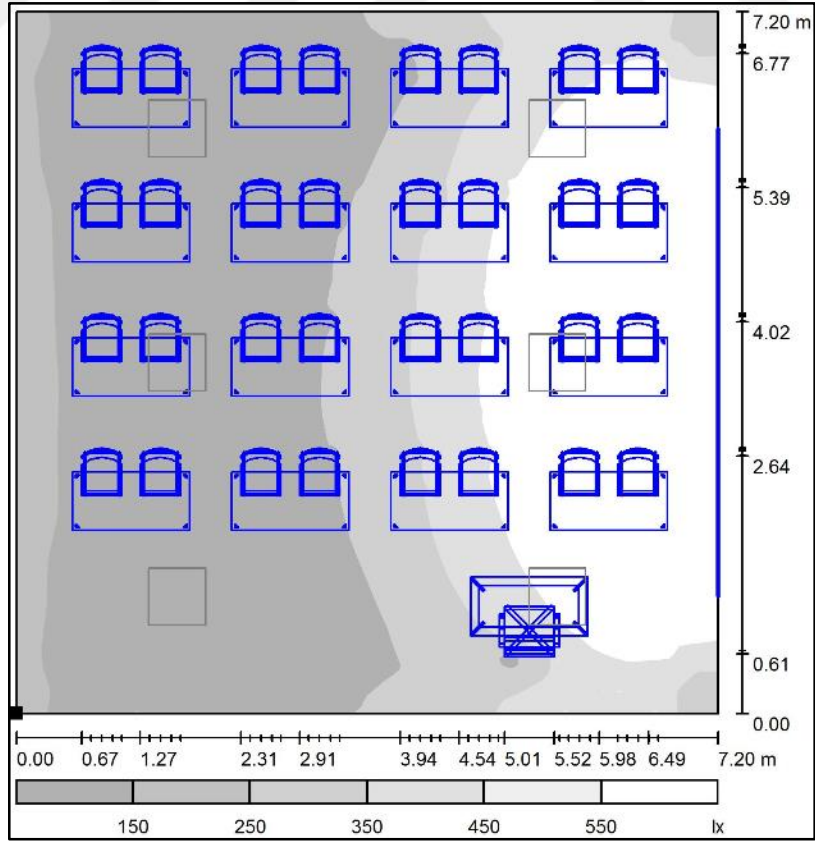
Uygulama 8’de, 21 Mart saat 12.00’de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 553 lm/m²’dir. (Çizelge 5.35). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.52 ve Şekil 5.53’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 35 Uygulama 8 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	553	103	3550	0.19
Zemin	322	82	1516	0.25



Şekil 5. 52 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

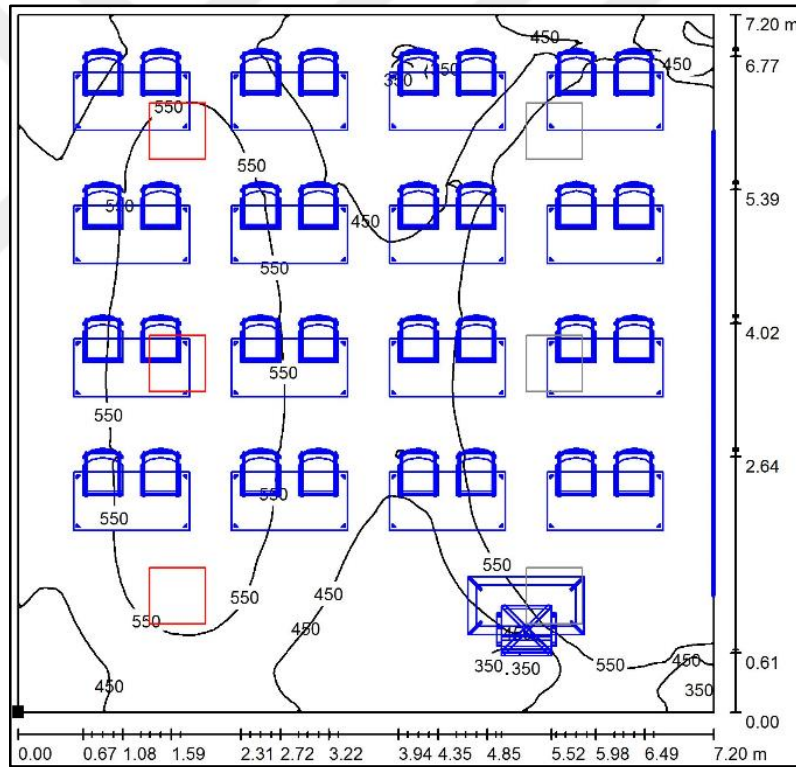


Şekil 5. 53 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

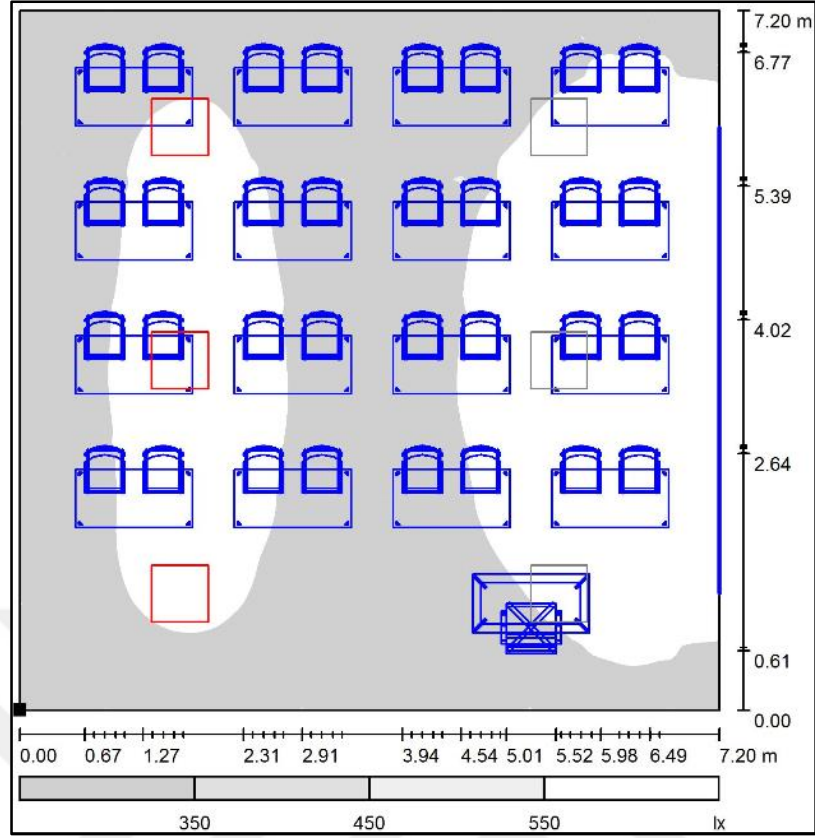
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.52’de görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 759 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.36) (Şekil 5.54 ve Şekil 5.55). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 36 Uygulama 8 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	759	206	3589	0.27
Zemin	450	172	1547	0.38



Şekil 5. 54 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



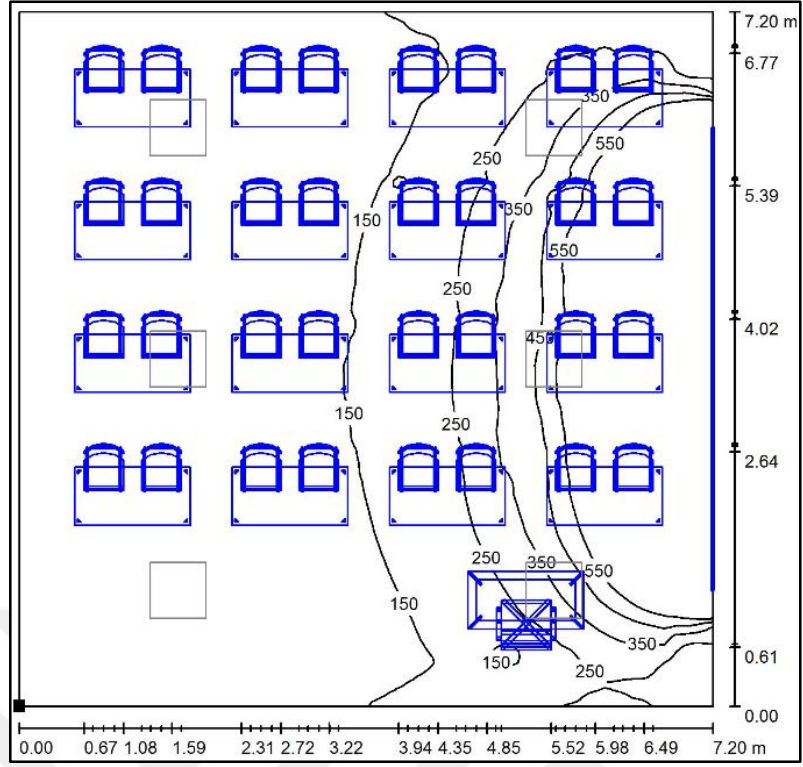
Şekil 5. 55 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 9

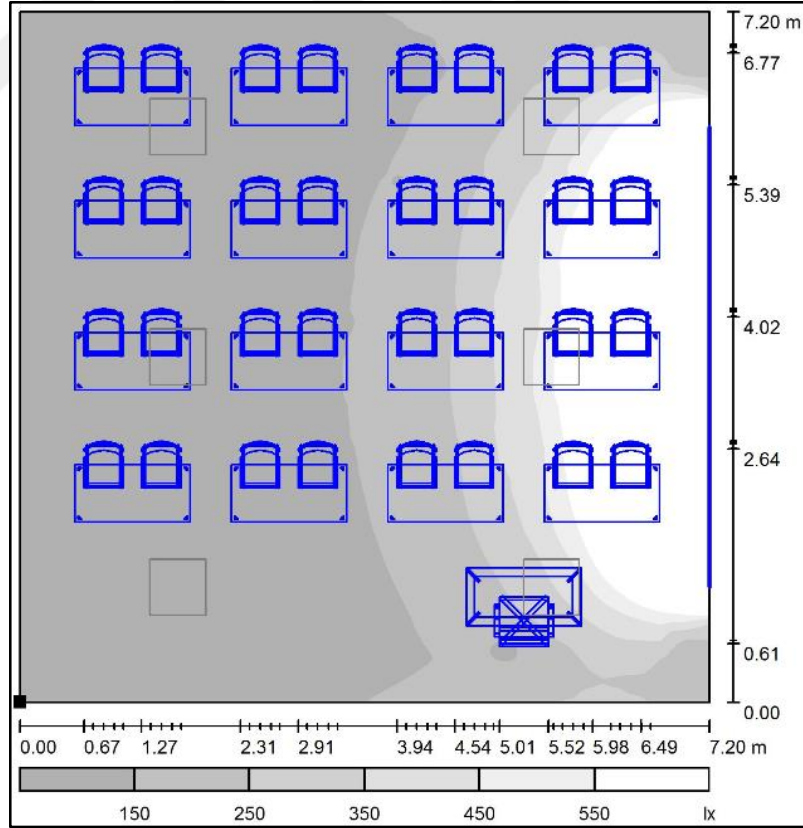
Uygulama 9’da, 21 Mart saat 16.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 305 lm/m²’dir. (Çizelge 5.37). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 37 Uygulama 9 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	305	57	1957	0.19
Zemin	177	45	836	0.25



Şekil 5. 56 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

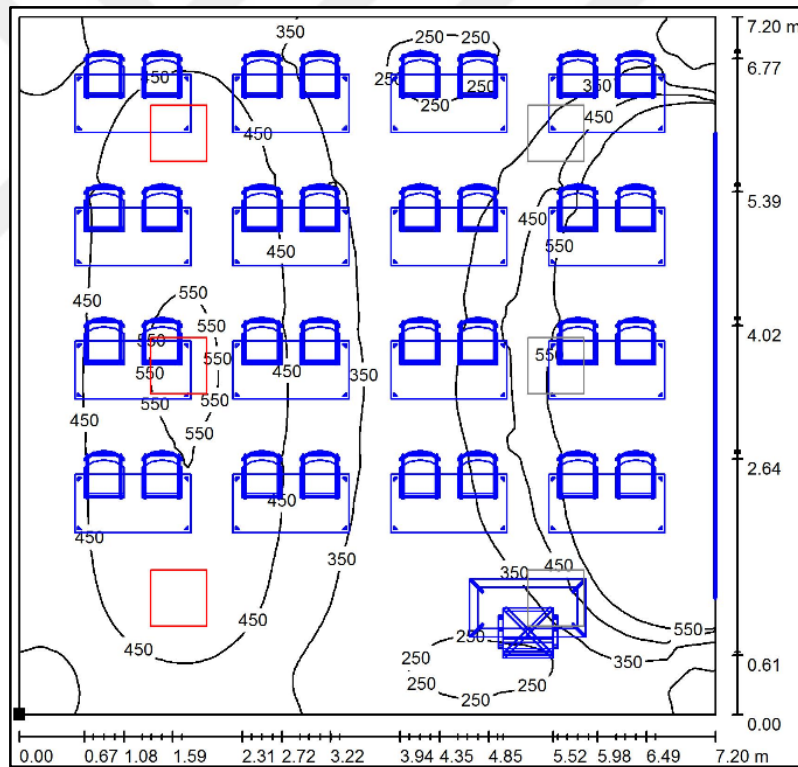


Şekil 5. 57 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

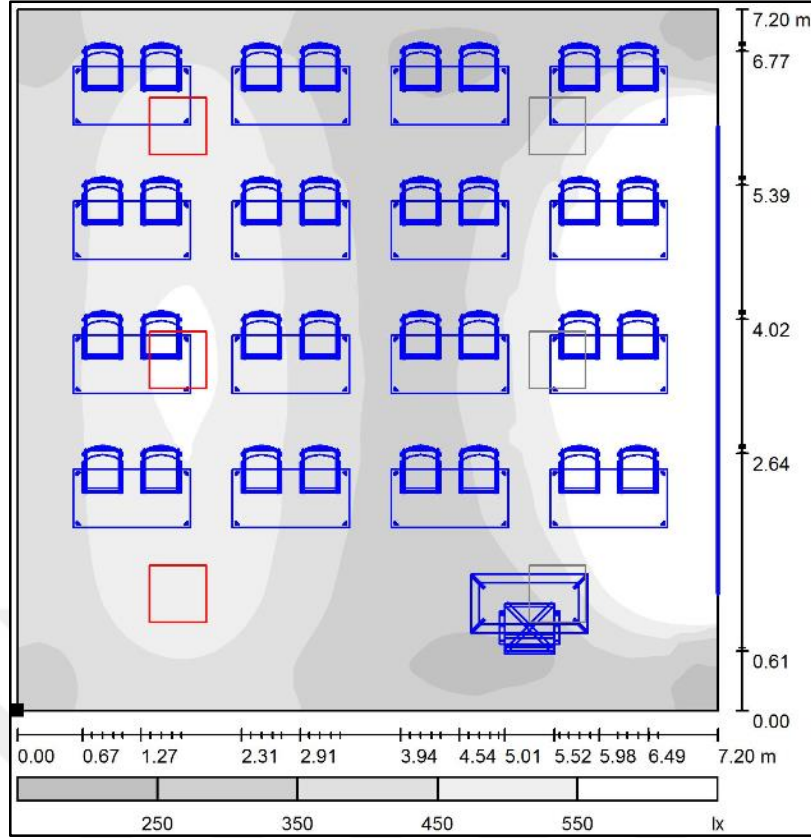
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.56'da görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 512 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.38) (Şekil 5.58 ve Şekil 5.59). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 38 Uygulama 9 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	512	140	1997	0.27
Zemin	306	131	869	0.43



Şekil 5. 58 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 59 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

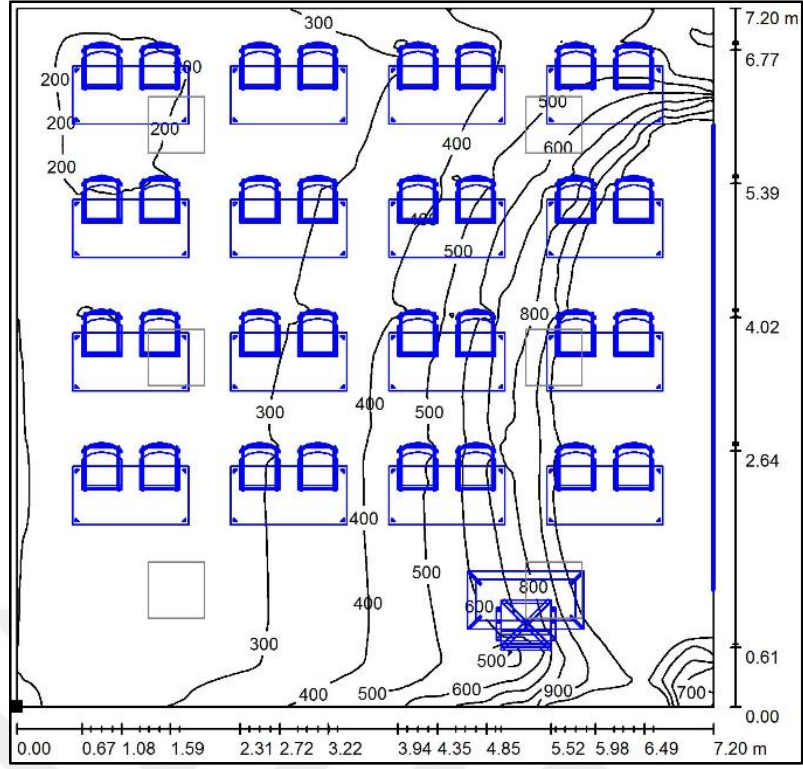
‘Kapalı Gök’ koşulları için yapılan hesaplamaların ardından aynı uygulamalar aynı gün ve saatler için ‘Açık Gök’ koşullarında değerlendirilmiştir.

Uygulama 10

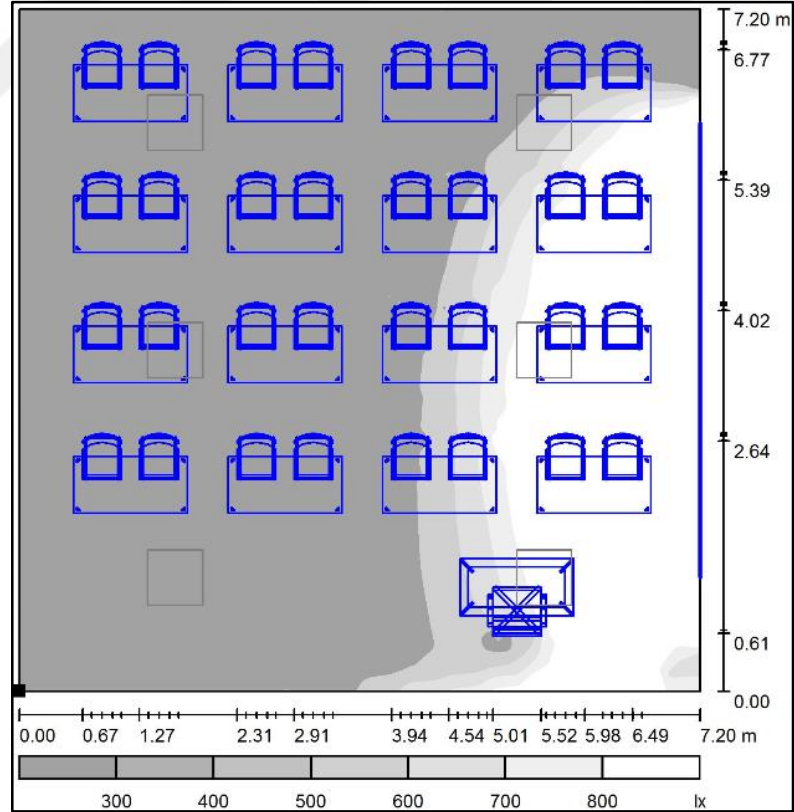
Uygulama 10’da açık gök koşullarında, 21 Haziran saat 09.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 613 lm/m²’dir. (Çizelge 5.39). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.60 ve Şekil 5.61’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 39 Uygulama 10 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	613	152	3179	0.25
Zemin	326	114	1149	0.35



Şekil 5. 60 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

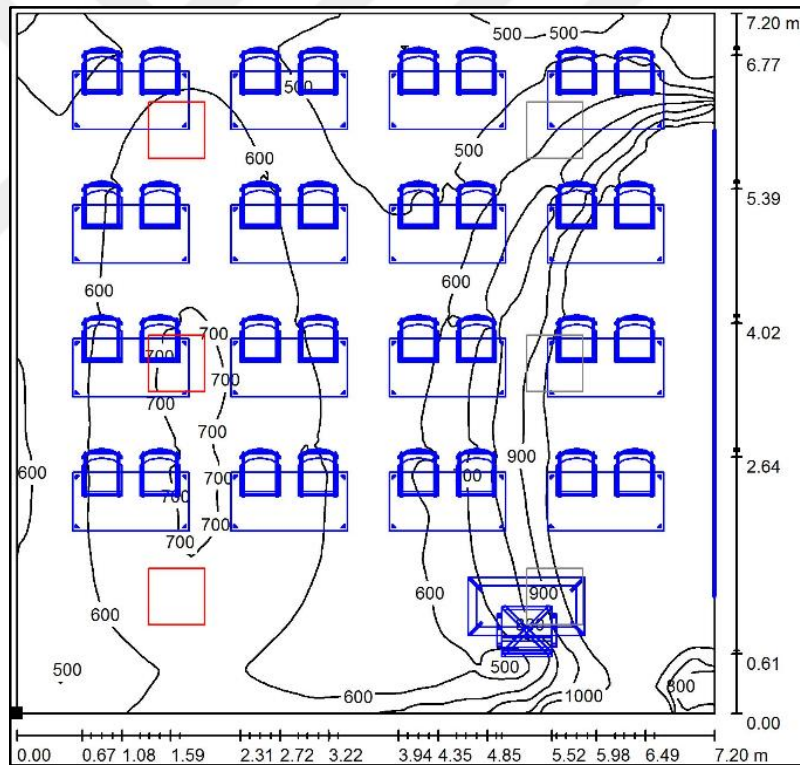


Şekil 5. 61 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

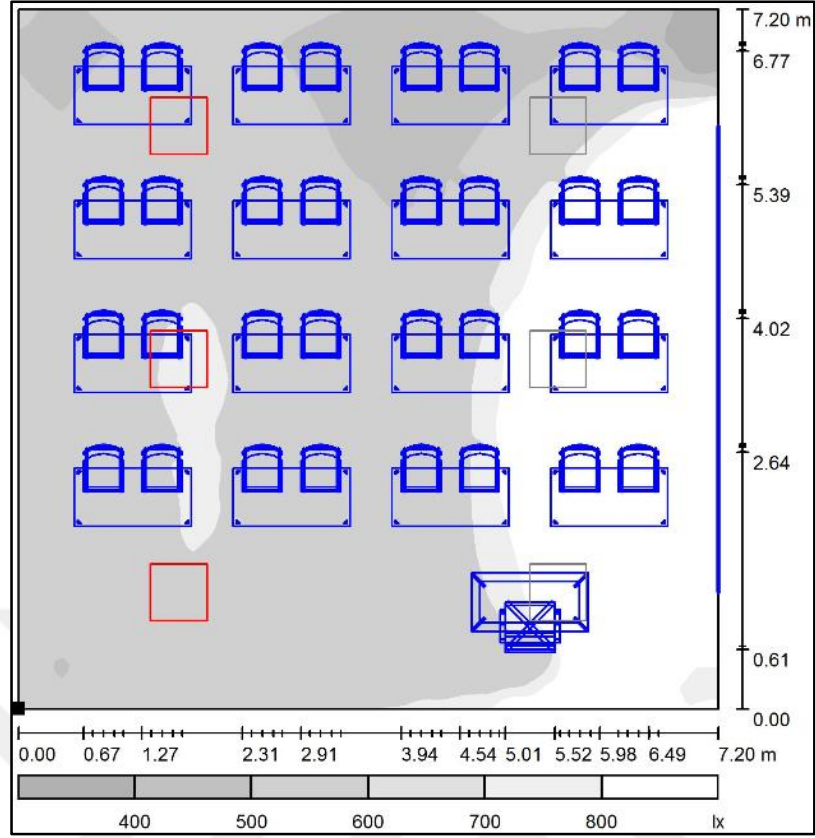
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.60'ta görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 818 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.40) (Şekil 5.62 ve Şekil 5.63). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamakve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 40 Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	818	294	3216	0.36
Zemin	453	202	1179	0.45



Şekil 5. 62 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



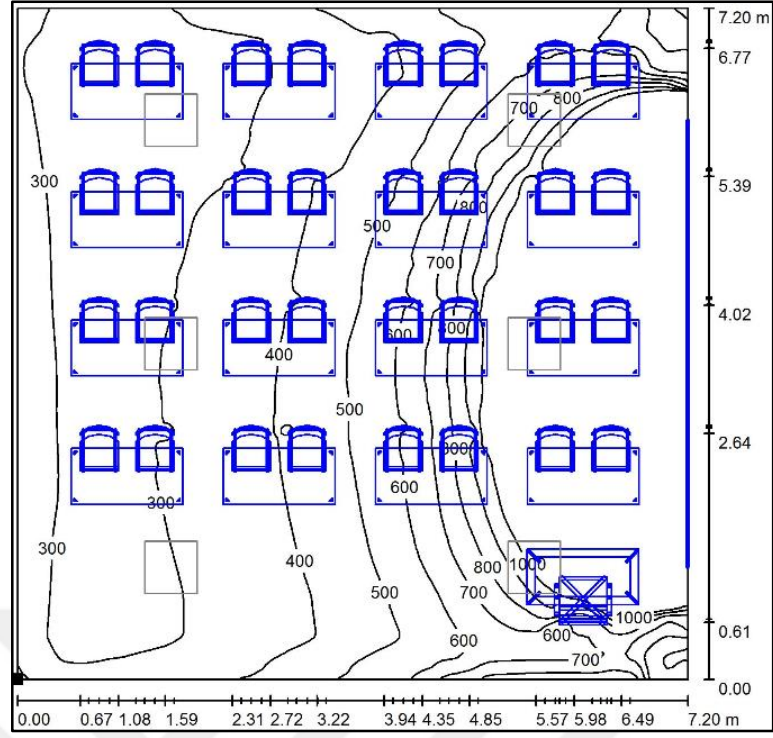
Şekil 5. 63 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 11

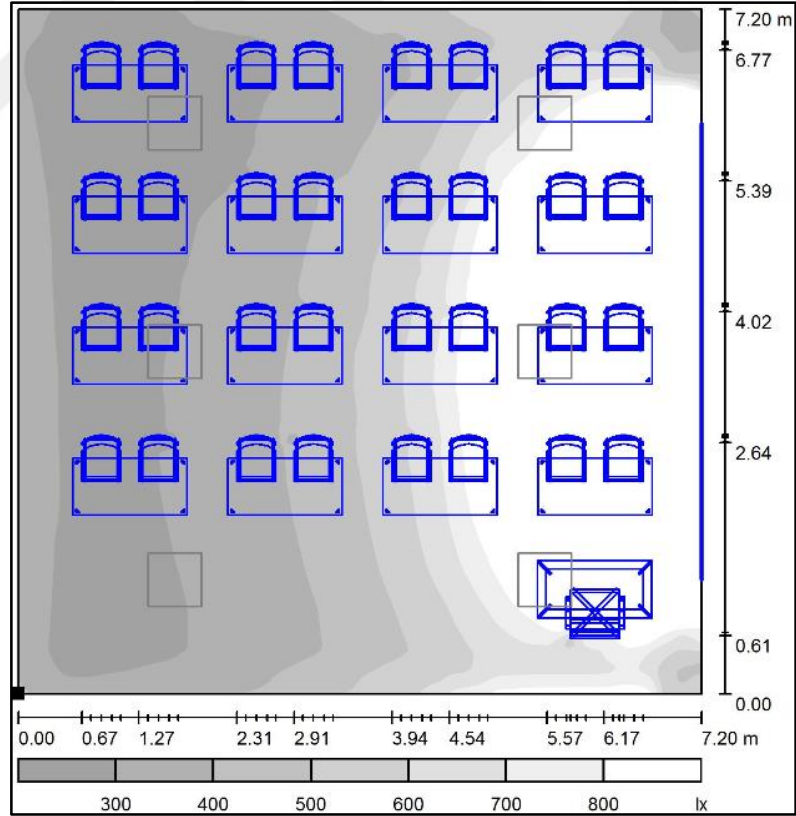
Uygulama 11’de, 21 Haziran saat 12.00’de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 834 lm/m²’dir. (Çizelge 5.41). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.64 ve Şekil 5.65’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 41 Uygulama 11 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	834	190	4837	0.23
Zemin	465	143	2103	0.31



Şekil 5. 64 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 65 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

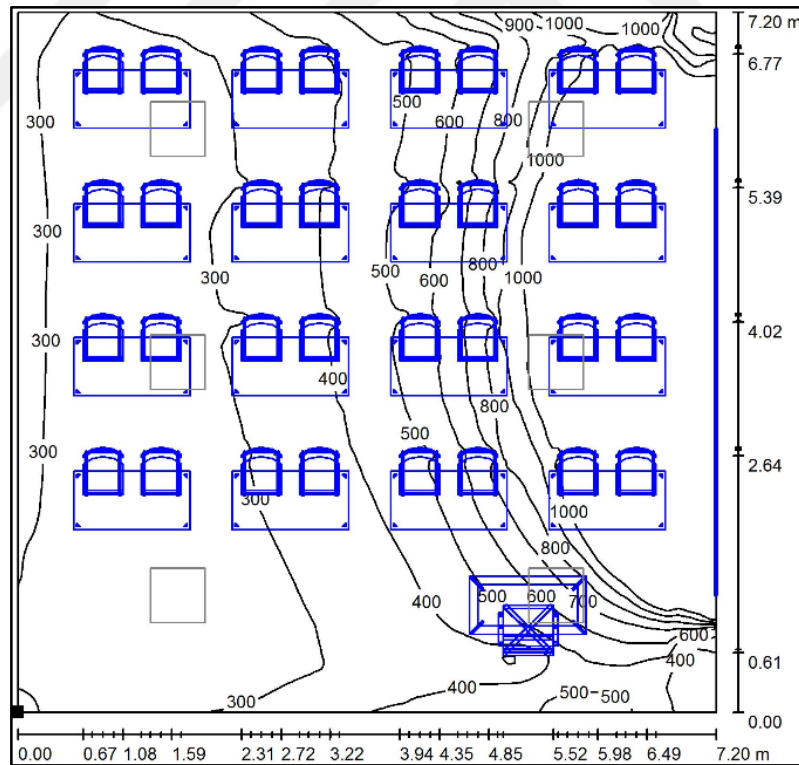
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olduğu Şekil 5.64'te görülmüştür. Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Uygulama 12

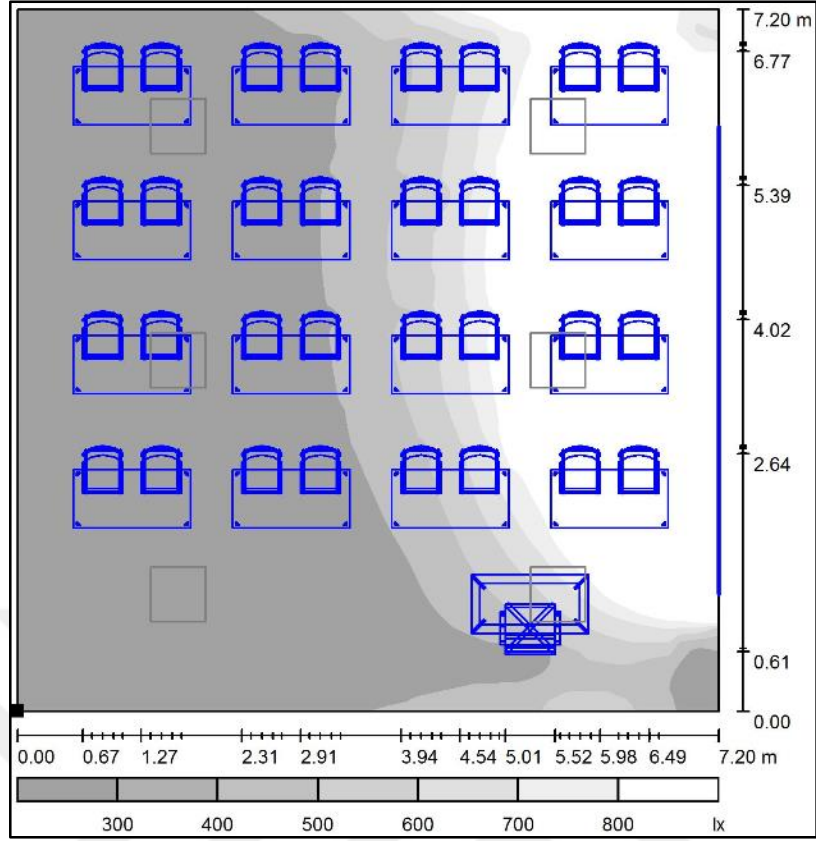
Uygulama 12'de, 21 Haziran saat 16.00'da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 739 lm/m²'dir. (Çizelge 5.42). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.66 ve Şekil 5.67'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 42 Uygulama 12 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	739	193	4114	0.26
Zemin	397	151	1584	0.38



Şekil 5. 66 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 67 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

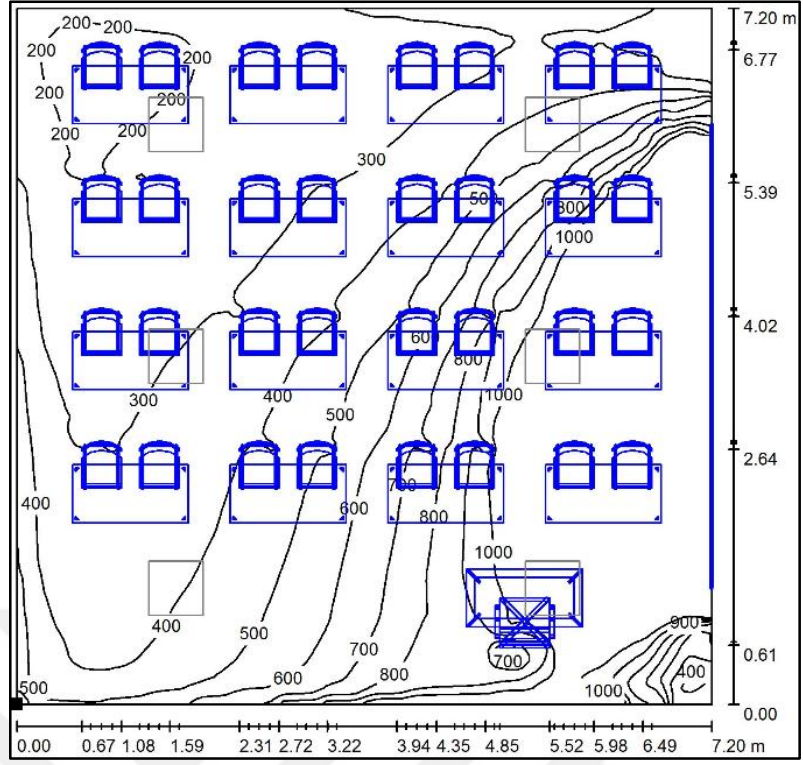
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olduğu Şekil 5.66’da görülmüştür. Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Uygulama 13

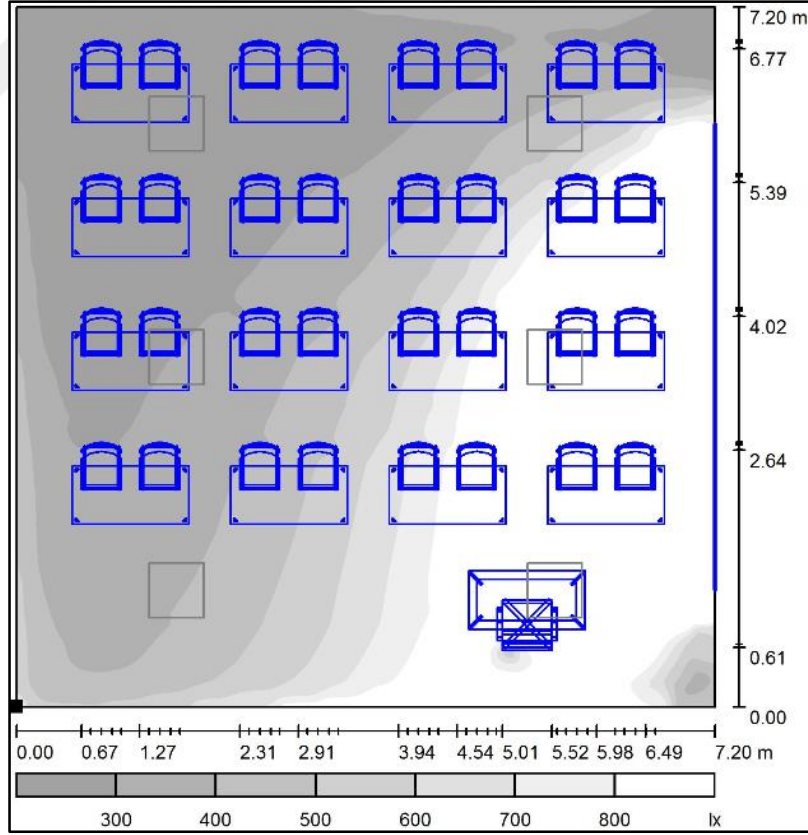
Uygulama 13’te, 21 Aralık saat 09.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 646 lm/m²’dir. (Çizelge 5.43). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.68 ve Şekil 5.69’da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 43 Uygulama 13 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	646	166	2236	0.26
Zemin	322	113	876	0.35



Şekil 5. 68 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri

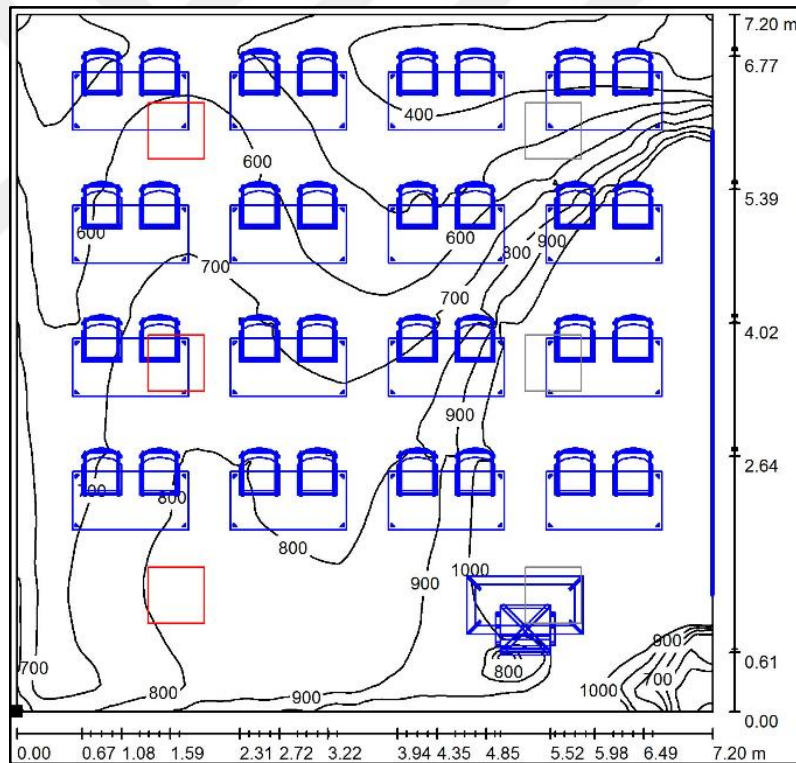


Şekil 5. 69 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

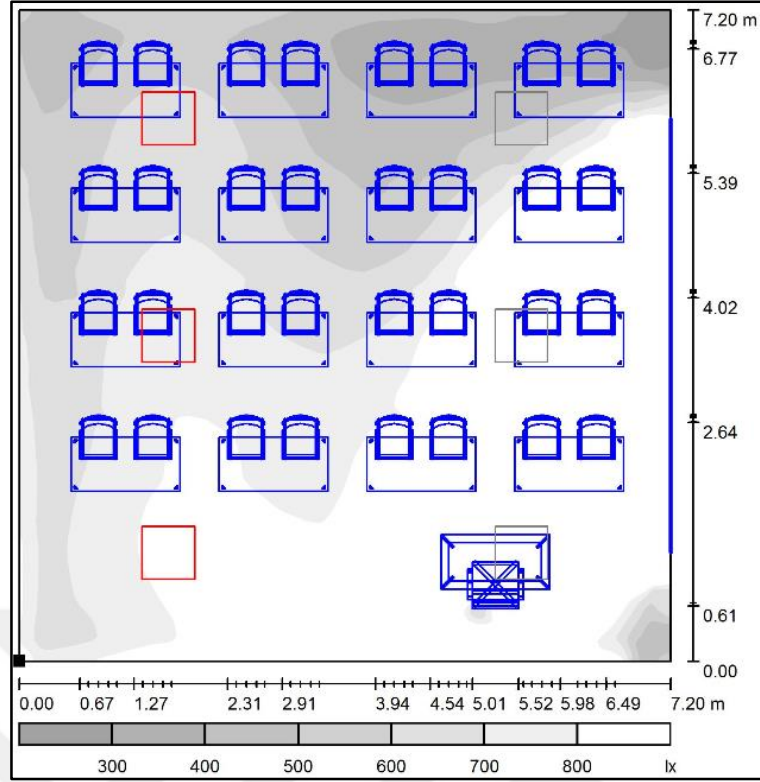
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olmadığı Şekil 5.68’de görülmüş, hacmin bu gün ve saatte lamba ışığı ile desteklenmesi sonucuna varılmıştır. Hacimdeki aygıtların bir bölümü etkin hale getirilerek, günışığı ve lamba ışığının birlikte kullanımı ile çalışma düzleminde ortalama 850 lm/m² aydınlık düzeyi elde edilmiştir (Çizelge 5.44) (Şekil 5.70 ve Şekil 5.71). Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Çizelge 5. 44 Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	850	232	2273	0.28
Zemin	448	190	933	0.42



Şekil 5. 70 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



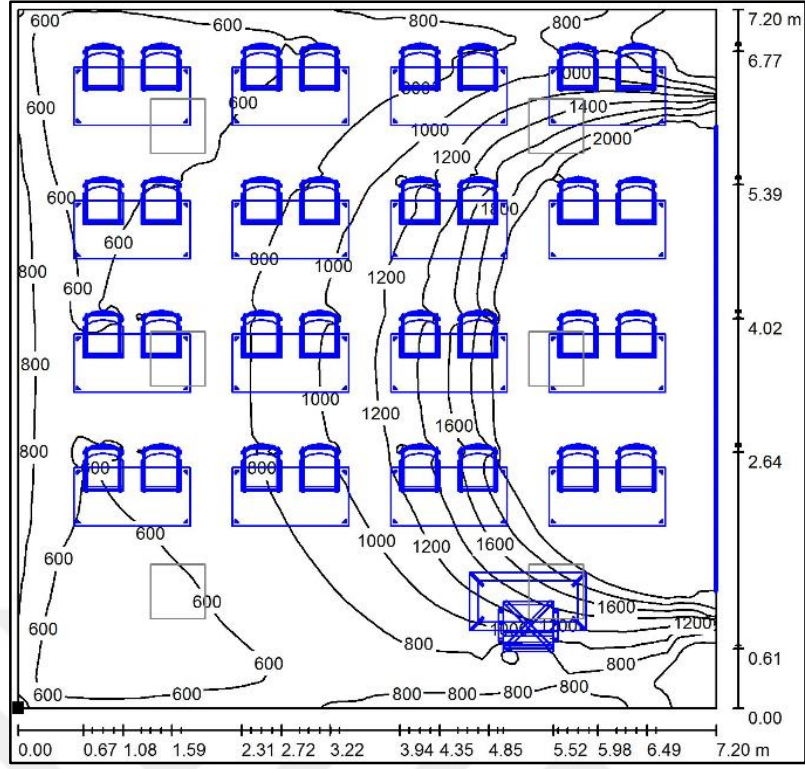
Şekil 5. 71 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Uygulama 14

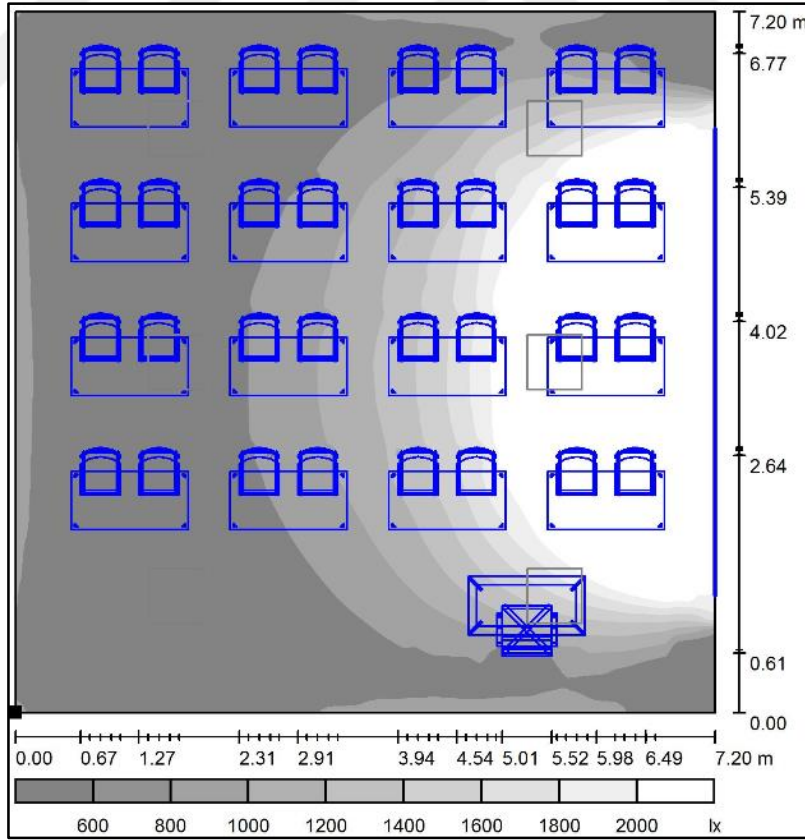
Uygulama 14'te, 21 Aralık saat 12.00'de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 1284 lm/m²'dir. (Çizelge 5.45). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.72 ve Şekil 5.73'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 45 Uygulama 14 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	1284	366	4300	0.29
Zemin	651	313	1316	0.48



Şekil 5. 72 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 73 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

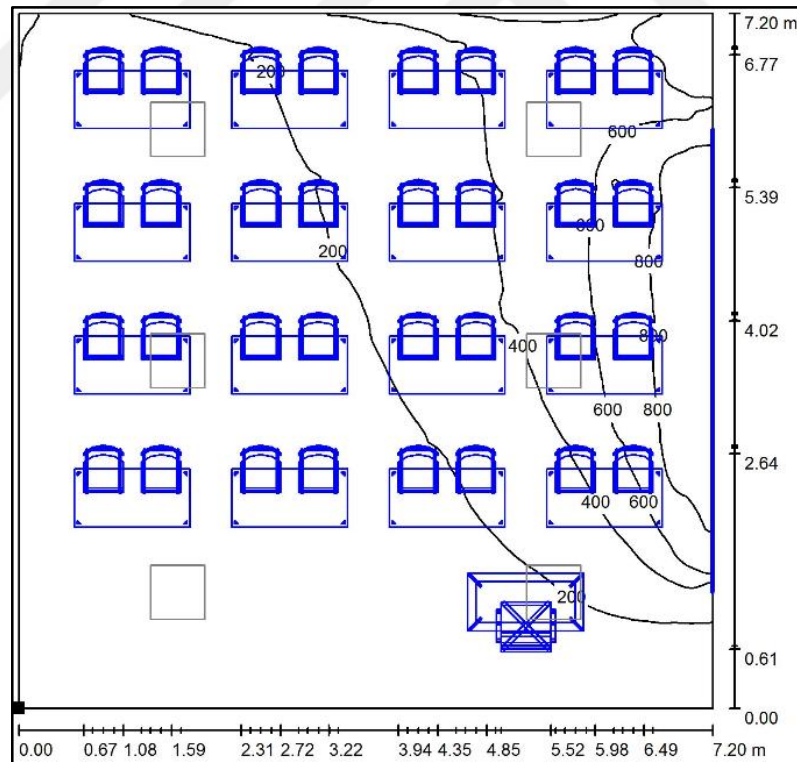
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olduğu Şekil 5.72’de görülmüştür. Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Uygulama 15

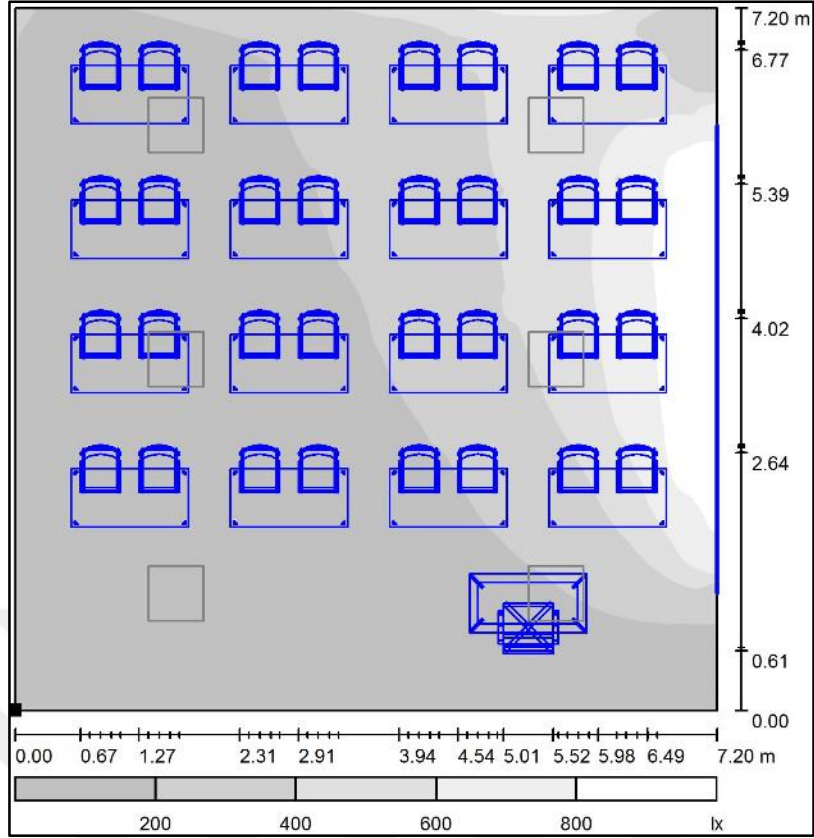
Uygulama 15’te, 21 Aralık saat 16.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 266 lm/m²’dir. (Çizelge 5.46). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.74 ve Şekil 5.75’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 46 Uygulama 15 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	266	73	961	0.28
Zemin	124	62	271	0.50



Şekil 5. 74 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5.75 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

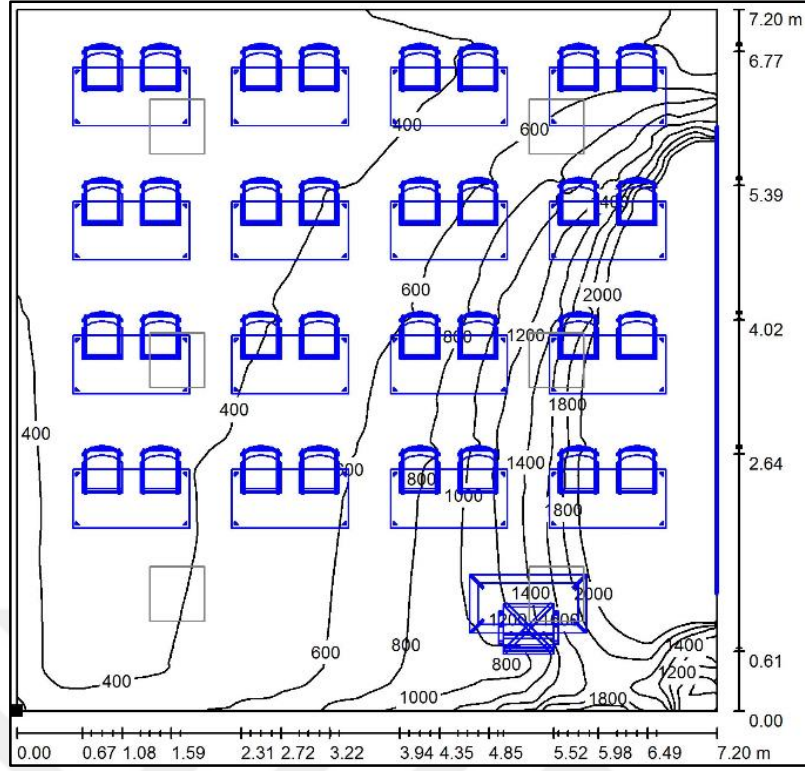
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının hacmin tümü için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen bu gün ve saatte uygun çalışma koşullarının sağlanabilmesi için hacimdeki yapma aydınlatmanın tümü etkin hale getirilmelidir.

Uygulama 16

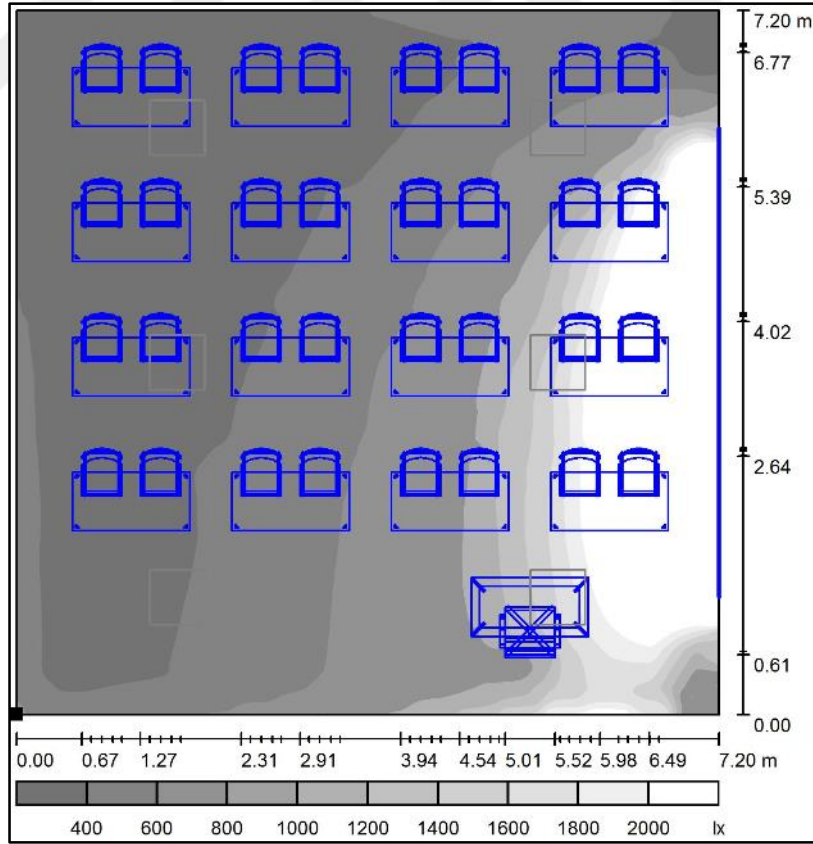
Uygulama 16'da, 21 Mart saat 09.00'da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 903 lm/m²'dir. (Çizelge 5.47). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.76 ve Şekil 5.77'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 47 Uygulama 16 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	903	209	4214	0.23
Zemin	474	148	1893	0.31



Şekil 5. 76 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 77 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

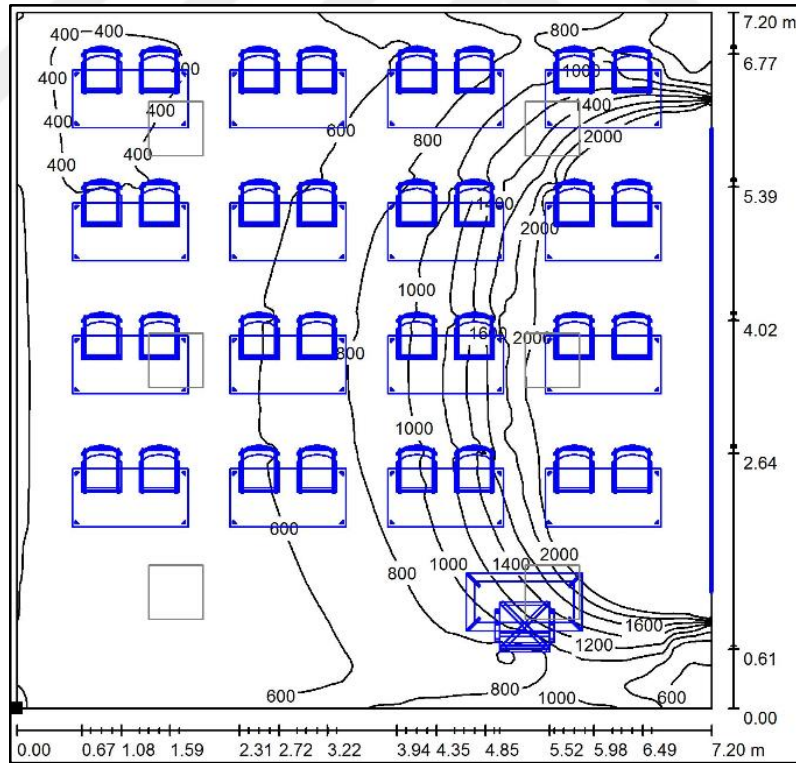
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olduğu Şekil 5.76'da görülmüştür. Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Uygulama 17

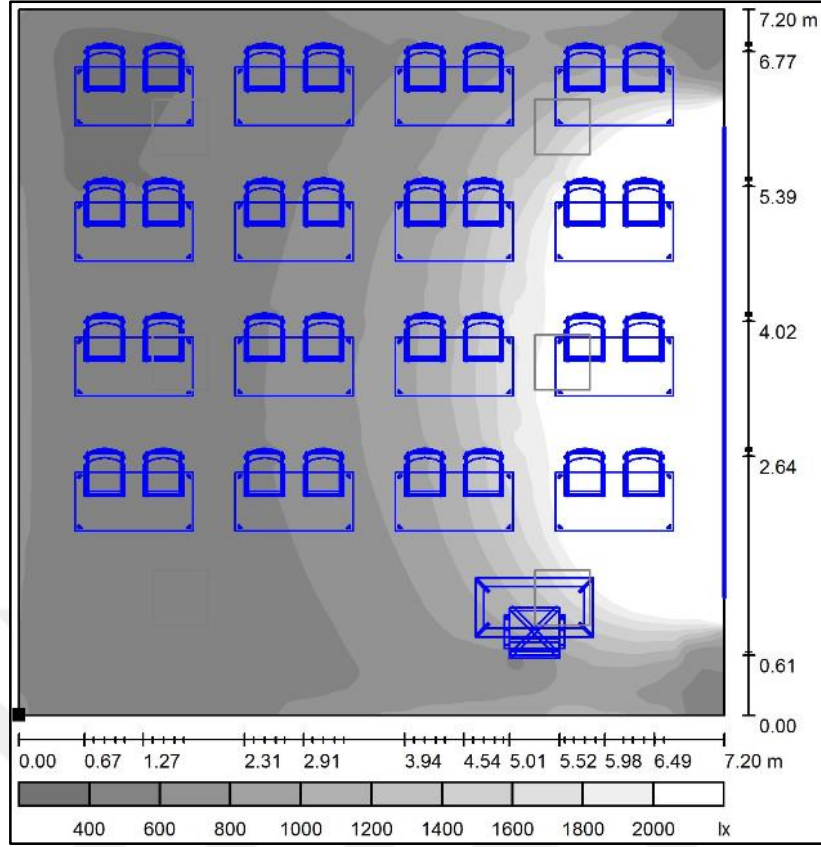
Uygulama 17'de, 21 Mart saat 12.00'de öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 1248 lm/m²'dir. (Çizelge 5.48). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.78 ve Şekil 5.79'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 48 Uygulama 17 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	1248	305	5848	0.25
Zemin	680	234	2242	0.34



Şekil 5. 78 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 79 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

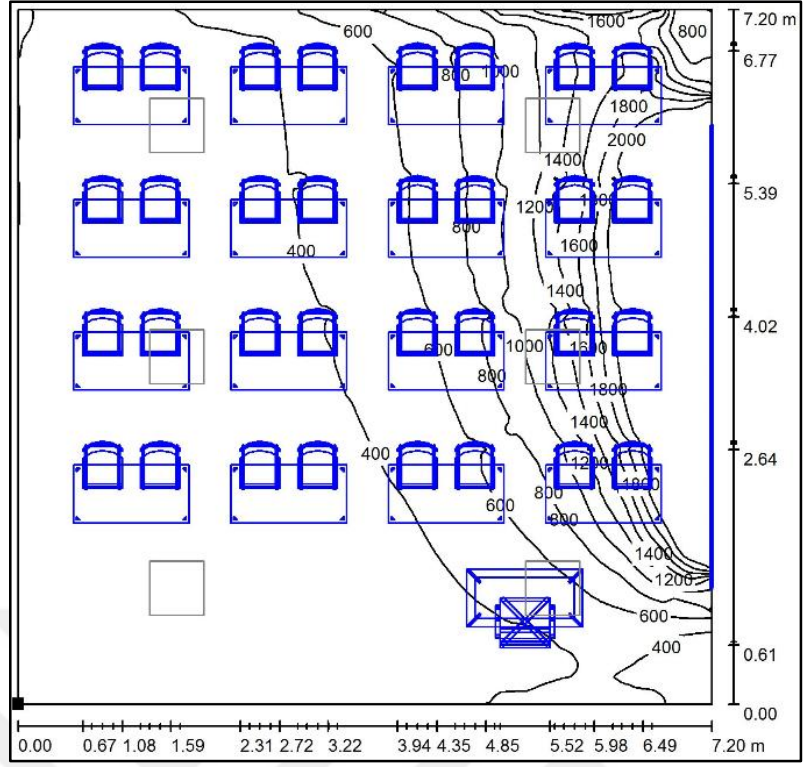
Bu uygulamada, yalnız günışığı kullanımının çalışma düzleminin tümü için yeterli olduğu Şekil 5.78’de görülmüştür. Ancak, aydınlığın düzgün dağılımını sağlamak ve ortalama aydınlık düzeyini kabul edilen sınırlar içerisinde tutmak için pencere yakınındaki bölgede oluşan yüksek aydınlık düzeyinin denetimi yapılmalıdır.

Uygulama 18

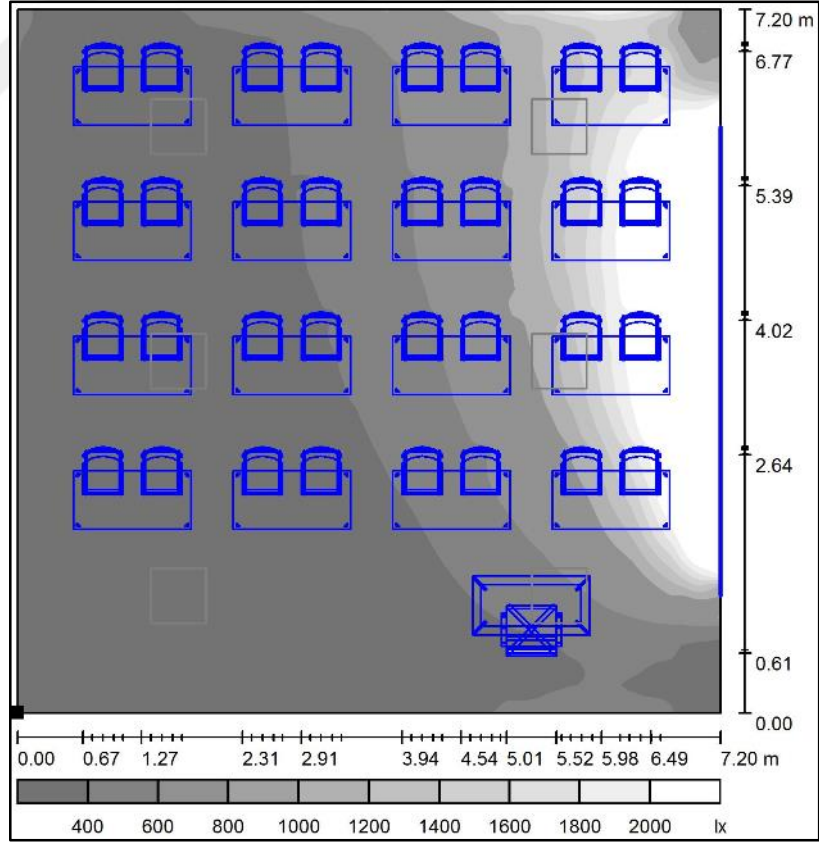
Uygulama 18’de, 21 Mart saat 16.00’da öncelikle derslik hacmi çalışma düzleminde yalnızca günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç ortalama 719 lm/m²’dir. (Çizelge 5.49). Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri ve gri skala Şekil 5.80 ve Şekil 5.81’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 49 Uygulama 18 için yapılan yalnızca günışığına bağlı aydınlık düzeyi hesabı

Yüzey	E ort (lx)	E min (lx)	E max (lx)	E min / E ort
Çalışma düzlemi	719	195	3374	0.27
Zemin	356	152	1148	0.43



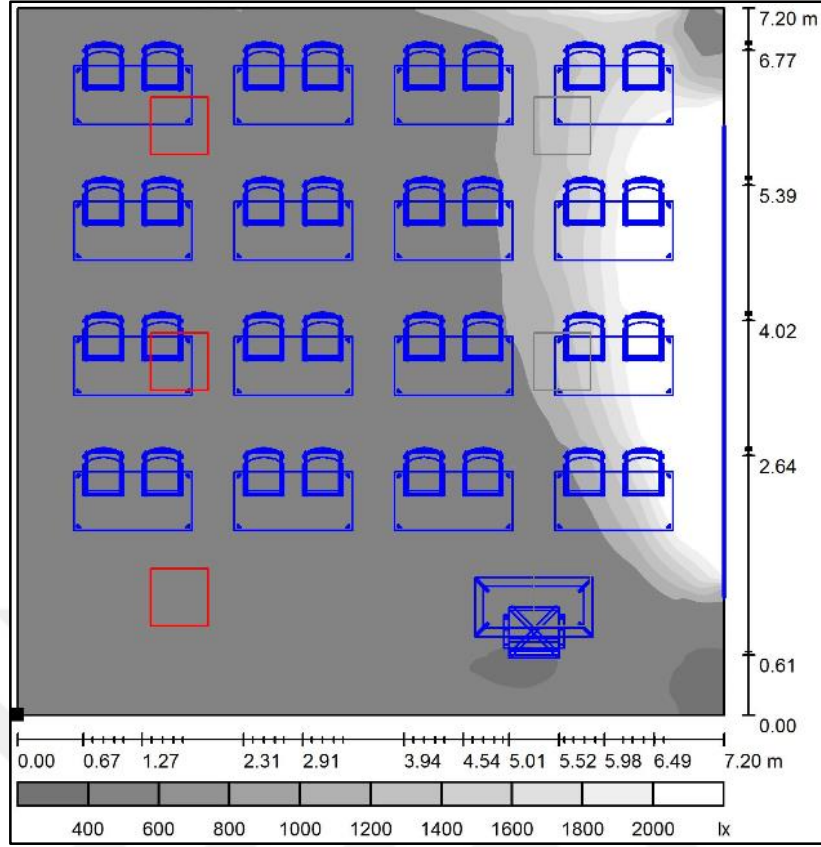
Şekil 5. 80 Çalışma düzlemindeki eş aydınlık eğrileri



Şekil 5. 81 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Çizelge 5. 50 Uygulama 10 için yapılan lamba ışığı destekli aydınlık düzeyi hesabı

145



Şekil 5. 83 Çalışma düzleminde oluşan gri skala

Değerlendirme

Yapılan 18 uygulamada, günışığının kapalı ve açık gök koşullarında, farklı gün ve saatlerde, belirlenmiş bir hacim için aydınlık düzeyi açısından etkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.48’de, hacimde yalnızca günışığı ile sağlanan ortalama aydınlık düzeylerine, gerek aydınlık düzeyi gerekse aydınlığın düzgünlüğü açısından lamba ışığı kullanma durumuna ve güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak pencere kenarında oluşan yüksek aydınlık düzeylerini denetleme gereksiniminin olup olmadığına yer verilmiştir.

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, günışığının etkin kullanılmasıyla kimi durumlarda lamba ışığına gereksinim duyulmazken kimi durumlarda ise hacimdeki ışık kaynaklarının bir bölümü ya da tümünün etkinleştirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, günışığının yeterli olduğu durumlarda, pencere yakınındaki rahatsız edici yüksek aydınlık düzeyini denetlemek gerekmekte, bu denetim sonucunda hacmin genelindeki ortalama aydınlık düzeyinde düşüşler olabilmektedir.

Bu uygulamanın, yıl boyu eğitim süresince çeşitli gün ve saatlerde ele alınarak değerlendirmesinin yapılması, bir derslik hacminin yıl içerisindeki aydınlatma enerjisini ve aydınlatma senaryolarını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu şekilde, oluşturulacak aydınlatma düzeninin ilk yapım ve yıl içerisinde farklı kullanım planlamaları kolaylıkla yapılabilir.

Çizelge 5. 51 Kapalı ve açık gök koşullarındaki değerlendirmeler

Uygulama	Gün	Saat	E ort	Lamba ışığı kullanımı gereksinimi	Güneş denetimi gereksinimi	
1	21 Haziran	09.00	437	Bölgesel	Var	Kapalı Gök
2	21 Haziran	12.00	677	Bölgesel	Var	
3	21 Haziran	16.00	560	Bölgesel	Var	
4	21 Aralık	09.00	172	Tümü	Yok	
5	21 Aralık	12.00	321	Bölgesel	Var	
6	21 Aralık	16.00	76	Tümü	Yok	
7	21 Mart	09.00	375	Bölgesel	Var	
8	21 Mart	12.00	553	Bölgesel	Var	
9	21 Mart	16.00	305	Bölgesel	Var	
10	21 Haziran	09.00	613	Bölgesel	Var	Açık Gök
11	21 Haziran	12.00	834	Yok	Var	
12	21 Haziran	16.00	739	Yok	Var	
13	21 Aralık	09.00	646	Bölgesel	Var	
14	21 Aralık	12.00	1284	Yok	Var	
15	21 Aralık	16.00	266	Tümü	Yok	
16	21 Mart	09.00	903	Yok	Var	
17	21 Mart	12.00	1248	Yok	Var	
18	21 Mart	16.00	719	Bölgesel	Var	

5.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma

Bu bölümde, örnekleme amacıyla tez kapsamında etkin enerji kullanımlı olarak kabul edilen aydınlatma düzeninin, bir önceki bölümde 11. durum olarak anlatılan senaryosu ele alınmış, pencere yakınında günışığının oluşturduğu yüksek aydınlık düzeyini denetlemek adına 21 Haziran günü saat 12.00 için sırasıyla aşağıdaki maddeler incelenmiştir:

- Güneş denetimi sağlanması; güneş kiran tasarımı,
- Tasarlanan güneş kiran ile çalışma düzlemindeki ortalama aydınlık düzeyinin yeniden incelenmesi,
- Gerekli ise yapma aydınlatmanın devreye alınması ve bir kabul doğrultusunda aylık ortalama enerji tüketiminin hesaplanması,
- Güneş kiran üzerinde PV panellerin konumlandırılması,
- PV panellerin aylık elektrik enerjisi üretiminin hesaplanması,
- Üretilen enerji ile tüketilen enerjinin karşılaştırılması,
- Tasarruf edilen elektrik enerjisi ile salımı önlenen CO₂ miktarının bulunması,

Güneş Denetimi – Güneş Kiran Tasarımı

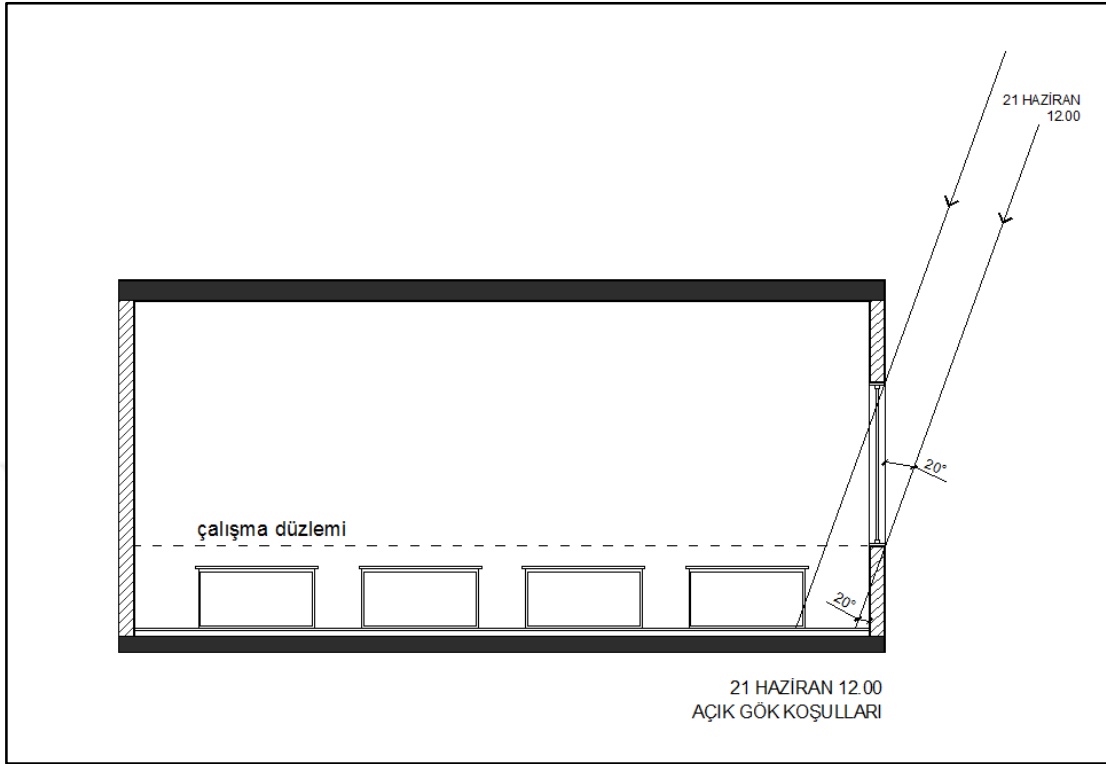
Derslik hacminde, pencere yakınında oluşan yüksek aydınlık düzeyini denetlemek ve yaz aylarında güneş ışınlarının yapı kabuğunda yarattığı istenmeyen ısı etkisini azaltmak için bir güneş kiran tasarlanması düşünülmüştür.

Bu güneş kiran tasarımında, güneş ışınlarının, derslik hacminin bulunduğu İstanbul'a en dik geldiği gün ve saatten yararlanılmasına karar verilmiştir. Güneş kiranın eğimini belirlemek için EcoDesign programı ile 21 Haziran saat 12.00'de İstanbul'da güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı bulunmuştur (Şekil 5.84).

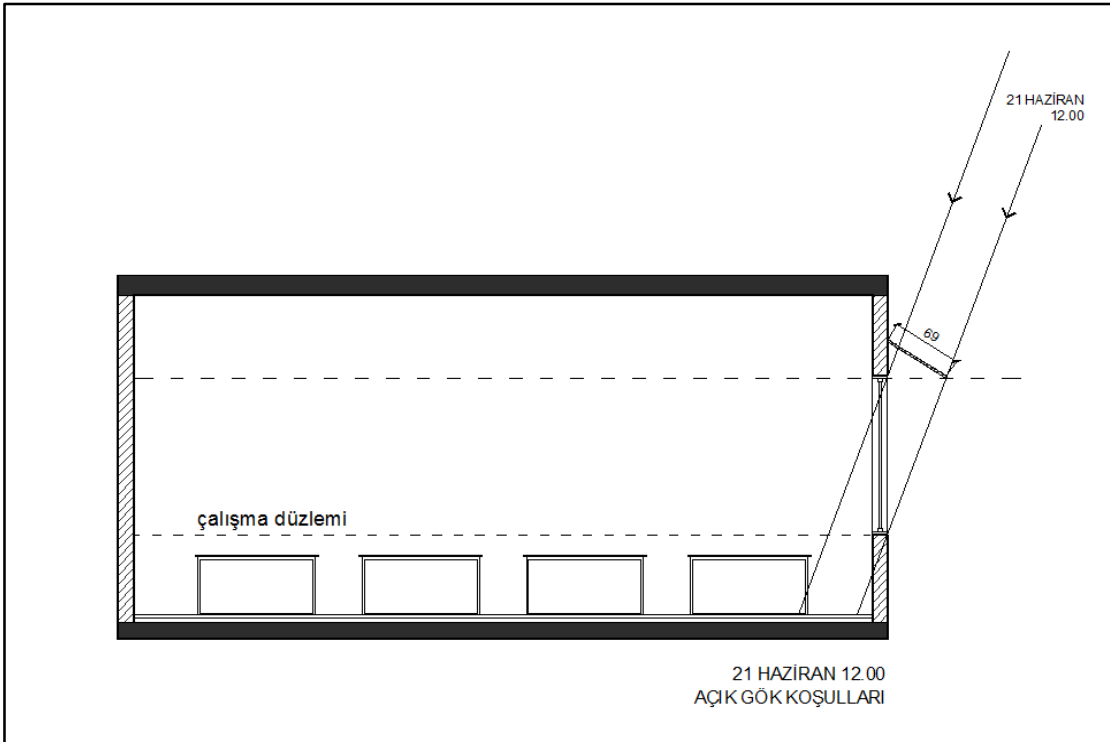
Güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak gerek ortalama aydınlık düzeyini olumlu etkileyecek gerekse yapı kabuğunu belirlenen gün ve saatte gölgede bırakarak gökyüzünden gelen günışığına engel olmayacak bir güneş kiran tasarımı düşünülmüştür (Şekil 5.85).

Bahsedilen etkenlerin yanısıra, güneş kiranın üzerinde konumlandırılacak PV (fotovoltaik) panellerin standart boyutları göz önünde bulundurularak, estetik açıdan

yapı mimarisiyle uyumlu olacak bir boyut seçilmiş ve güneş ışınlarından en etkin biçimde yararlanacak bir eğim belirlenmiştir.



Şekil 5. 84 21 Haziran saat 12.00 için güneş ışınlarının derslik hacmine geliş açısı

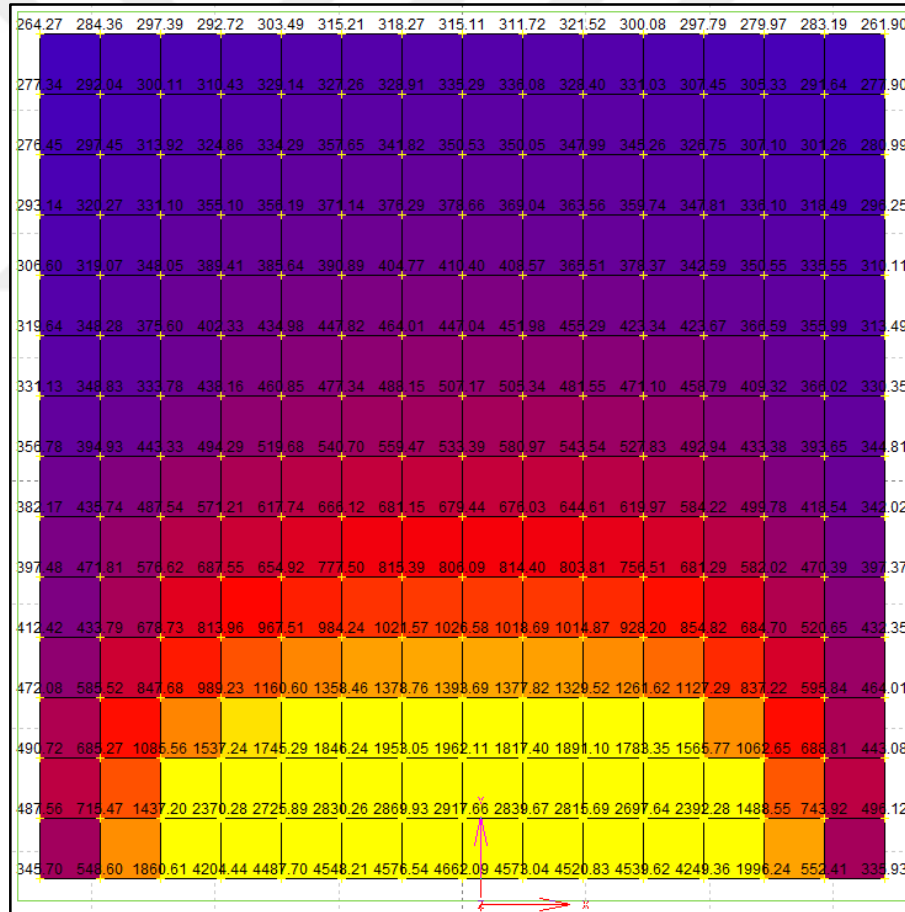


Şekil 5. 85 21 Haziran saat 12.00 için güneş kiran tasarımı

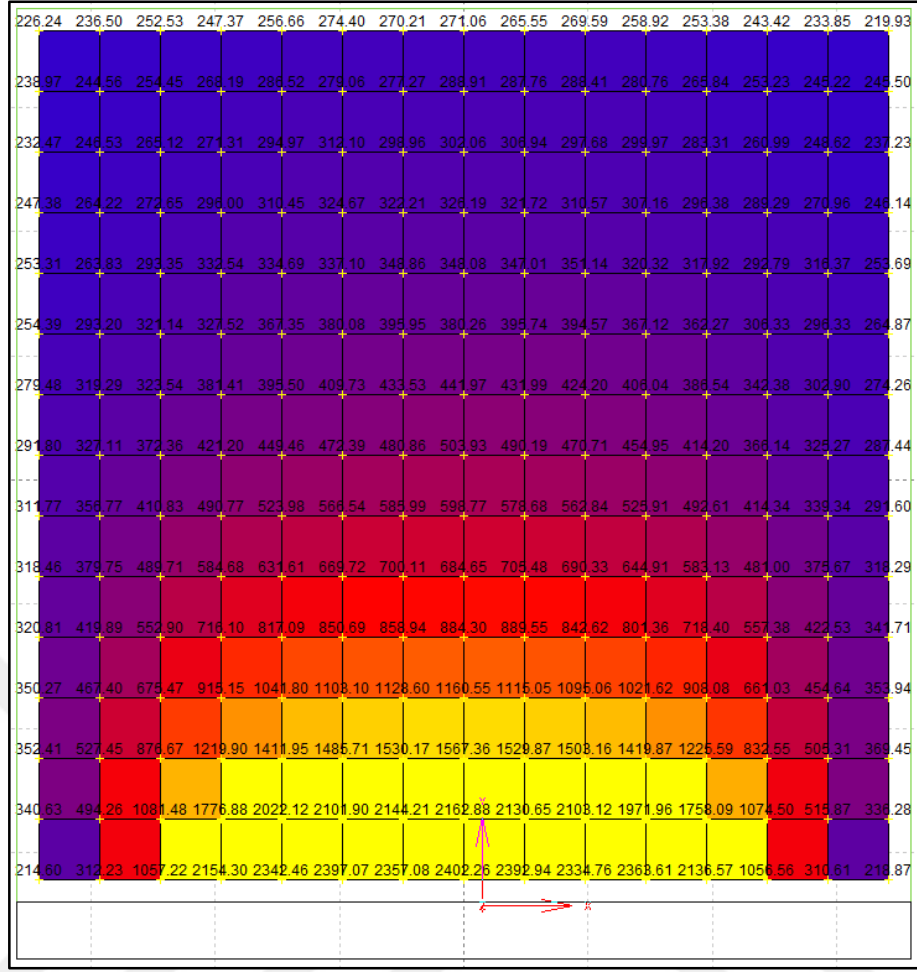
Güneş Kıran ile Birlikte Aydınlık Düzeyinin İncelenmesi

Derslik hacminde, açık gök koşullarında güneş denetimi olmayan mevcut durum ve tasarlanan güneş kıran ile elde edilen yeni durumu incelemek üzere Ecotect programı aracılığıyla hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucunda güneş kıran olmayan mevcut durumda görülen pencere yakınındaki yüksek aydınlık düzeyinin, hacim için tasarlanan güneş kıranın etkisiyle azaldığı görülmektedir (Şekil 5.86, Şekil 5.87). Bu azalma hacmin derinliği sebebiyle pencereden uzak olan alanda ortalama aydınlık düzeyi düşmektedir. Bu sebeple, 21 Haziran saat 12.00 için pencere yakınındaki yüksek aydınlık düzeyini denetlemek ve yapı kabuğunu yüksek ısıdan korumak adına yapma aydınlatmanın bir bölümü etkin hale getirilebilir.



Şekil 5. 86 Mevcut durumda çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi dağılımı



Şekil 5. 87 Güneş kırın ile birlikte çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi dağılımı

Aylık Ortalama Enerji Tüketiminin Hesaplanması

Güneş kırın uygulaması ile birlikte, derslik hacmi çalışma düzleminde ortalama aydınlık düzeyi ve aydınlığın düzgünlüğü açısından kabul edilen değerleri elde etmek için yapma aydınlatmanın bir bölümünün etkin hale getirilmesine karar verilmiştir.

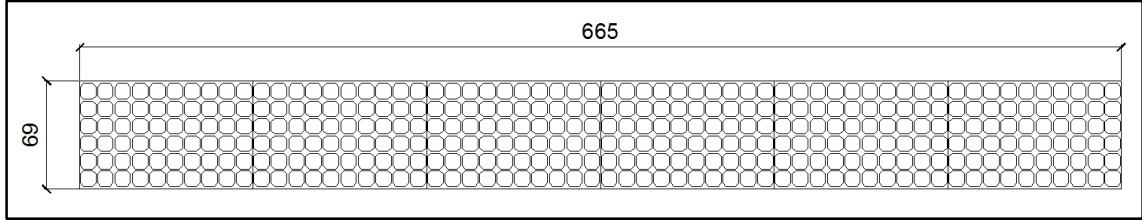
Belirlenen gün ve saat için derslik hacminde duvar tarafında bulunan 3 adet (1 sıra) aygıtın etkin hale getirilmesi yeterli olup, bu durumdaki enerji tüketimi birim saat başına 111 Watt olarak hesaplanmıştır. Dersliğin yaz aylarında da etkin olarak bir günde 8 saat kullanıldığı kabul edilmiştir. Bir ortalama almak ve sonraki aşamalarda karşılaştırmalar yapabilmek adına Haziran ayında tüm ders günü ve saatleri için birim saat başına tüketilen enerji 111 Watt olarak alınmıştır. Dolayısıyla;

Bir gün için tüketilen enerji (8 saat) : $111 \times 8 = 888$ Watt

Bir ay için tüketilen enerji (20 gün) : $888 \times 20 = 17,760$ Watt olarak hesaplanmaktadır.

Güneş Kıran üzerinde PV Panellerin Konumlandırılması

Güneş denetimi yapılırken aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden yararlanmak için tasarlanan güneş kıranın üst yüzeyi boyunca, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirecek fotovoltaik (PV) paneller yerleştirilmiştir (Şekil 5.88).



Şekil 5. 88 Güneş kıran üst yüzeyindeki PV panel yerleşimi

Örnek çalışmada ele alınan hacim özellikleri, yön, güneş kıran vb. tasarım etkenleri, UNI Enerji Ar-Ge, Danışmanlık ve Yenilenebilir Enerji firmasına iletilmiş ve firmanın yapmış olduğu hesaplara bağlı olarak güneş kıranın üzerinde konumlandırılan PV panellerden elde edilen aylık toplam enerjiye ait çizelge aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 5. 52 PV Paneller ile elde edilen elektrik enerjisinin aylık dağılımı

Ocak	39	Kwh
Şubat	49	Kwh
Mart	70	Kwh
Nisan	88	Kwh
Mayıs	102	Kwh
Haziran	104	Kwh
Temmuz	108	Kwh
Ağustos	107	Kwh
Eylül	87	Kwh
Ekim	70	Kwh
Kasım	46	Kwh
Aralık	35	Kwh
Toplam	905	Kwh

Çizelgeden görüldüğü üzere Haziran ayında PV panellerden elde edilen toplam enerji miktarı 30 gün için 104,000 Watt olarak hesaplanmıştır. Enerji tüketimi hesapları derslik hacminin 20 gün kullanımı üzerinden hesaplandığı için karşılaştırmalarda Haziran ayında elde edilen toplam enerji miktarı 69,300 Watt olarak alınacaktır. Aydınlatma için gereken

ortalama enerji miktarı olan 17,760 Watt, yenilenebilir güneş enerjisinden elde edilen toplam miktardan çıkarıldığında geriye aylık 51,540 Watt enerji kalmaktadır. Bu enerji, başka elektrik tüketimi gerektiren işlevler için kullanılabilir ya da şehir şebekesine gönderilerek şehir enerji tüketimine katkıda bulunulabilir.

Tasarruf edilen elektrik enerjisi ile salımı önlenen CO₂ miktarının bulunması

Haziran ayı için ortalama olarak tüketilmesi öngörülen enerji miktarının tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanılması düşünüldüğünde, Bir Kuzey Amerika kuruluşu olan 'The Climate Registry'den alınan bilgiler doğrultusunda Çizelge 5.53'e bağlı olarak 17.76 kW elektrik enerjisi tüketimi için salımı önlenen CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Türkiye için 2009 yılı verilerine göre gr/kWs cinsinden verilen katsayı 480 olarak belirlenmiştir. Bu katsayı ile yapılan hesaba göre Haziran ayı için bir aylık süre zarfında elde edilen elektrik enerjisi tasarrufu ile;

$17.76 \times 480 = 8524,80$ gram yani yaklaşık 8.5 kg CO₂ gazının atmosfere salımının önlenmesi söz konusudur.

Çizelge 5. 53 Kuzey Amerika’da bulunmayan ülkeler için elektrik ve ısı üretimine bağlı karbondioksit yayımı katsayıları

Myanmar	196
Namibia	237
Nepal	4
Netherlands	374
Netherlands Antilles	707
New Zealand	167
Nicaragua	506
Nigeria	416
Norway	17
Oman	842
Pakistan	458
Panama	302
China	743
Peru	236
Philippines	478
Poland	640
Portugal	368
Qatar	494
Moldova	400
Romania	414
Russia	317
Saudi Arabia	757
Senegal	614
Serbia	680
Singapore	519
Slovak Republic	222
Slovenia	316
South Africa	926
Spain	299
Sri Lanka	460
Sudan	356
Sweden	43
Switzerland	40
Syria	641
Tajikistan	29
Thailand	513
Togo	202
Tunisia	538
Turkey	480
Turkmenistan	789

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilirlik tanımlarının genel olarak açıklanarak, mimarlık ve mimari aydınlatmada sürdürülebilirlik açısından göz önünde bulundurulması gereken etkenlerin etkin enerji kullanımı açısından incelendiği bu tez çalışmasında, gerek bir yapı gerekse bir aydınlatma düzeninin, tasarım, uygulama, kullanım ve yok olma aşamalarında, enerji tüketimi, ekosistemin yaşam döngüsü ve insan açısından önemine yer verilmiştir.

Tez kapsamında ele alınan sürdürülebilir mimari aydınlatma konularında, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma, lamba ve aygıt bileşenlerinin çevreye etkisi, atıklarının denetimi ve etkin enerji kullanımı konuları ele alınmıştır.

Günümüzde özellikle elektrik enerjisi üretiminde çoğunlukla kullanılan fosil yakıtların kullanımını azaltmak, bu yakıtların yakılmasıyla oluşan zararlı gazların salımını önlemek ve gelecekte tükenen fosil yakıtlar yerine temiz enerji kaynaklarının sağladığı üstünlükler gözönünde tutularak alternatif enerji kaynaklarını mimaride kullanmanın gözardı edilmeyecek bir konu olduğu vurgulanmıştır.

Yapı içi mimari yapma aydınlatmada ele alınan etkin enerji kullanımı konularında:

- Kullanıcı gereksinimleri ve yapılan işe bağlı olarak aydınlık düzeyinin uygun seçimi,
- Aydınlığın niteliğine doğru karar verilmesi,
- Işık verimi yüksek lambaların seçimi,

- Geriverimi yüksek ve kamaşma denetimli aygıtların seçimi,
- İç yüzeylerin doku ve yansıtma çarpanlarının uygun seçimi,
- Aydınlatma denetim sistemleri kurularak işleve bağlı farklı aydınlatma senaryoları oluşturulmasına olanak sağlanması,
- Gerekli yerlerde bölgesel aydınlatmaların düzenlenmesi,
- Günışığından en fazla yararlanmanın sağlanması ve lamba ışığı ile destekli aydınlatmaların yapılması,
- Aydınlatma düzeninin bakım ve temizliğinin düzenli yapılması

gibi etkenlere yer verilmiştir.

Bu tez kapsamında, konunun önemini ortaya koymak üzere bir örnekleme yapılmıştır. Örneklemenin yapıldığı 5. bölümde, aydınlatma sistemlerinin gerek enerji tüketimi gerekse öğrenme açısından eğitim yapılarının önemi göz önünde tutularak bir derslik hacmi ele alınmış ve ilk aşamada tasarlanan yapma aydınlatmada seçilen:

- Lambaların ışık verimleri,
- Aygıt geriverimleri,
- İç yüzeylerin yansıtma çarpanlarına

göre gösterdiği değişimler karşılaştırmalar ile ortaya konmuştur. Etkin enerji kullanımlı lamba, aygıt ve iç yüzey yansıtma çarpanları seçimi ile elde edilen geleneksel tip aydınlatma düzeni, LED'li bir düzen ile karşılaştırılmış ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmiş, LED'li düzeninin geleneksel tip aydınlatma düzenine göre daha enerji etkin olduğu görülmüştür.

Bir sonraki aşamada, uygun enerji kullanımı yönünden aydınlatma sistemini belirlemek için hacmin günışığı ile aydınlatılması değerlendirilmiş, yıl içerisinde belirlenen 3 ayrı gün ve 3 ayrı saat için 'Kapalı' ve 'Açık' gök koşullarında günışığı hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplar aracılığı ile hacmin hangi gün ve saatlerde lamba ışığı kullanımına gereksinimi olduğu belirlenmiştir.

Bununla beraber, hacimlerde uygun fizik ortam koşullarının yaratılmasında önemli olan bir başka konu 'güneş denetimi' ile ilgilidir. Bu denetimde, hacme giren güneş ışınımından istenilmeyen durumlarda korunmak üzere özellikle cam yüzeylerde çeşitli önlemlerin alınması gündeme gelmektedir. Burada, derslikle ilgili görsel ve ısısal konforu sağlamak, aynı zamanda sürdürülebilir bir aydınlatma elde etmek amacıyla, açık gök koşulu için 21 Haziran saat 12.00'de güneş denetimine gereksinim vardır. Bu doğrultuda bir güneş kıran tasarlanmıştır. Bu tasarımda, sürdürülebilirlik bağlamında güneş enerjisinden yararlanmak üzere güneş kıranlara PV sistem eklenmiştir.

Aynı zamanda, doğrultulu güneş ışınımının denetiminde kullanılan güneş kıranlar hacme gökten gelen ışığı da belirli oranda azalttığı için belirli saatlerde ya da gün boyunca yapma aydınlatmaya gereksinim duyulmaktadır.

Sınırlı olan bu örnek incelemede ayrıca, aydınlatma için bir aylık harcanan ve PV'ler aracılığı ile kazanılacak elektrik enerjisi hesaplanmış ve temiz enerji kullanımı ile CO₂ gazının atmosfere salımındaki azalma saptanmıştır.

Ancak daha kapsamlı sonuçlar elde etmek için aşağıda belirlenen çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Açık gök koşulu için önerilen yatay güneş kıranın yıl boyunca günışığı aydınlık düzeyine olan etkisinin incelenmesi,
- Güneş enerjisinden yıl boyunca PV'ler aracılığı ile elde edilen enerji miktarının saptanması,
- Kapalı gök koşullarında da aynı irdelenmenin yapılması,
- Yıl boyunca yapma aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinin hesaplanması,
- Harcanan ve elde edilen enerji miktarlarının karşılaştırılması,
- Yılboyunca PV'lerden elde edilen temiz enerjiye karşılık azalan CO₂ salımının belirlenmesi.

Çalışmada bir derslik bağlamında ele alınarak irdelenen konuların tüm mimari hacimlerin tasarımında gözardı edilmemesi gereğinin bir kez daha vurgulanmasında yarar vardır.

KAYNAKLAR

- [1] Darlow, A., (1996), "Cultural Policy and Urban Sustainability: Making a Missing Link", Planning Practice and Research, Vol.11 No.3
- [2] Commission of the European Communities, (1990), "Green Paper on the Urban Environment", Brüksel.
- [3] Lele, M., S., (1991), "Sustainable Development: A Critical Review", World Development Vol.19 No.6.
- [4] Pearce, D., (1996), "Sustainable Development: The Political and Institutional Challenge", The Earthscan Reader in Sustainable Development, Intermediate Technology Publications Ltd., Londra/İngiltere.
- [5] Palabıyık, H., (2005), "Sürdürülebilirlik ve Yerel Yönetimler: Uygulanabilirliği ve Ölçümü Üzerine", Yerel Yönetimler Üzerine Güncel Yazılar-1, İstanbul.
- [6] Adams, W., M., (2006), "The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century", Cambridge/İngiltere.
- [7] Kremers, J., (1995), "Defining Sustainable Architecture", The Electronical Journey of Architecture, Vol.4 No.3
- [8] Shaviv, E., (1998), "Computer Aided Energy Concious Building Design", Renewable Energy 15: (1-4) 343-348 Elsevier.
- [9] Ashford, A., N., (1998), "Sustainable Development and Globalization: New Challenges and Opportunities for Work Organization", National and Kapodistrian University, Atina.
- [10] Yeang, K., (1999), "The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings", The Green Skycraper, Münih.
- [11] Jong-Jin, K., (1999), "Introduction to Sustainable Design", College of Architecture and Urban Planning, The University of Michigan, ABD.

- [12] Guidebook on energy efficient lighting, (2009), IEA Annex 45.
- [13] International Energy Agency, (2006) IEA Annex 45.
- [14] Şerefhanoglu, M., (1984), "Aydınlatma Yönünden Pencere ve Enerji Kullanımı", Pencere ve Enerji Sempozyumu, İstanbul.
- [15] Manav, B., (2007), "Işık ve Sağlık", IV.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.
- [16] Şerefhanoglu Sözen, M., (2005), "Aydınlatma ile Kent Güzelleştirme ve Etkin Enerji Kullanımı", İstanbul.
- [17] Aydın Yağmur, Ş. ve Küçükçılıç Özcan, E., Şerefhanoglu Sözen, M., (2010), "Kent Aydınlatma ve Sürdürülebilirlik", Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, İstanbul.
- [18] Şentürk, A., (2010), Yapıların Dış Aydınlatmasında Enerji Etkin Tasarım Ölçütleri ve Bir Uygulama Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [19] Güler, Ö., (2005), "Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi", V. Enerji Sempozyumu, sy.161-167, Ankara.
- [20] Akkoyunlu, A., (2006), Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri, Boğaziçi Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
- [21] Ültanır, M.,Ö., (1996), "21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi", Bilim ve Teknik, Sayı: 340, Sy.50-55
- [22] Varınca, K. ve Gönüllü, T., (2006), "Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma", I.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir.
- [23] Sakıncı, E., (2006), "Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etkin Sistemlerin Tasarım Ögesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım", İstanbul.
- [24] Green Living, PV sistemlere örnekler, <http://greenlivingrocks.com/2011/04/21/brink-storing-solar-energy-14/>, 25 Mayıs 2011.
- [25] Eco Friendly Mag, Yapıda PV sistem uygulamaları, <http://www.ecofriendlymag.com/sustainable-transportation-and-alternative-fuel/dows-high-powered-solar-shingles-becoming-a-reality/>, 25 Mayıs 2011.
- [26] Street Lights, Solar yol aydınlatmaları, <http://www.streetlights-solar.com/solar-parking-lot-light-s-sl27.html>, 25 Mayıs 2011.

- [27] Tönük, S., (2011),“İlman-Nemli İklim Kuşağı İçin Sürdürülebilir Temel Eğitim Binalarının Tasarım Kriterleri”, YTÜ.MF.DK-11.0833, İstanbul
- [28] Karaosmanoğlu, F., (2006), “Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [29] Temiz Enerji Yayınları, Biyokütle Enerjisi,<http://www.habitatingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf>, 5 Temmuz 2011.
- [30] Hidrolik enerji tanımı,http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrolik_enerji, 24 Temmuz 2011.
- [31] Çukurçayır, M.,A. ve Sağır, H., (2006),“Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları”, Konya.
- [32] Yener,K.,A., Uyan, F. ve Şener, F., (2009),“Binaların Sürdürülebilirliklerinin Belirlenmesinde Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi”, İstanbul.
- [33] Eko yapı dergisi söyleşi, <http://www.ekoyapidergisi.org/index.asp?action=soylesidetay&id=155>, 1 Aralık 2011.
- [34] Yener, K., A., (2010),“Konutlarda Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı”, Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, İstanbul.
- [35] Şerefhanoglu Sözen, M., (2010), Uzmanlık Alan Dersi.
- [36] Bostancı Baskan, T., (2004), “Bir Tasar Ölçütü Olarak Dersliklerde Görsel Konfor ve Optimum Enerji Kullanımı İçin Bir Yaklaşım”, İstanbul.
- [37] Şerefhanoglu, M., (1981), “Işık Kaynaklarının Renk Sıcaklığı ve Aydınlik Düzeyi ile ilişkisi”, İstanbul.
- [38] Building Bulletin 90, (1999), “Lighting Design for Schools”, Londra, İngiltere.
- [39] Cadena, R., (2010), “Automated Lighting”, ABD.
- [40] Lumitronix, Akkor lambaların Avrupa Birliği’nde yasaklanmasına ilişkin zaman çizelgesi,<http://www.leds.de/en/The-Incandescent-Light-Bulb-Ban-in-EU/>, 22 Mart 2016.
- [41] Elektrik işleri etüt idaresi lambalar hakkında genel bilgiler,www.eie.gov.tr, 20 Mart 2011.
- [42] Steffy, G., (2008), “Architectural Lighting Design”, NJ, ABD.
- [43] Onaygil, S., Erkin E. ve Güler, Ö., “Kompakt Flüoresan Lambalarda (KFL) Ömür Maliyet ilişkisi”, ELECO04 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, s. 1-5, Bursa, Aralık 2004.
- [44] Osram, (2009), 1.Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, İstanbul.

- [45] Kompakt flüoresan tanımı,http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp, 25 Eylül 2011.
- [46] Lambalarla sağlanan enerji tasarrufu,www.energystar.gov, 10 Haziran 2011.
- [47] Ünver, R., (2009), Basılmamış ders notları, İstanbul.
- [48] Handbook of Lighting Design, (2010), Erco Edition.
- [49] Lamp Technology, (2010), Chapter 13, 215-220.
- [50] LED tanımı,http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode, 1 Kasım 2011.
- [51] Philips Lighting, LED’li aygıtlara örnekler,<http://www.ecat.lighting.philips.com>, 1 Kasım 2011.
- [52] Philips Lighting, LED’li aygıt yüzeylerine örnekler, <http://www.ecat.lighting.philips.com>, 1 Kasım 2011.
- [53] Ashdown, I., (2006), “Solid State Lighting Design Requires a System-Level Approach”, The International Society for Optical Engineering.
- [54] Lighting Magazine, (2009), Sayı 7, Sy.64.
- [55] LED Lighting (2010), Erco Edition.
- [56] Philips Lighting, Sürdürülebilirlik açısından lambaların karşılaştırılmasına yönelik program,<http://www.lighting.philips.com/main/support/support/tools/tco-tool-bulbreplacement.html>, 1 Nisan 2016.
- [57] Bursa Çevre Merkezi Aktüel, (2003), 6.Sayı, Bursa.
- [58] Philips, (2010), Regulated Substances List, Hollanda.
- [59] Flüoresan lambaların geridönüşümü,www.geridonusum.org, 10 Eylül 2011.
- [60] Professional Lighting Design Magazine, (2008), Sy.3
- [61] Cıvanın zararlar, www.epa.gov/mercury, 1 Eylül 2011.
- [62] LD+A, (2009), ‘Dangerous Mercury in CFLs’, ABD.
- [63] Öztürk Dokuzer, L., (2000), Düzgün Yansıma Geometrisinin Aydınlatma Aygıtı Yansıtıcılarına Uygulanması, İstanbul.
- [64] YFU, (1992), Aydınlığın Niteliği, İstanbul.
- [65] YFU, (1991), Aydınlatmada Enerji Kaybı, İstanbul.
- [66] Şerefhanoglu, M., (1982), “Yapı İçi Aydınlatmasında Enerjinin Optimum Kullanımı”, İstanbul.
- [67] Lighting Control Guide, (2010), Erco Edition.
- [68] Şerefhanoglu, M., (1972), “Konutlarda Gündüz Işığı ve Lamba Işığı ile Aydınlatma”, İstanbul.

- [69] Şerefhanoglu Sözen, M., “Mimari Aydınlatmada Güneş ışığı ile Lamba ışığının Temel Özellikleri ve Ayrimleri”, İstanbul.
- [70] Lopin, M., (2002), “An Overview of Daylighting Systems”, Köln/Almanya.
- [71] Bostancı Başkan, T. ve Şerefhanoglu Sözen, M., (2009), “Dersliklerde Aydınlatma ve Kullanıcı Değerlendirmesine Bir Örnek”, V.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.
- [72] Bostancı Başkan, T. ve Şerefhanoglu Sözen, M., (2008), “Dersliklerde Görsel Konfor ve Optimum Enerji Kullanımı için Farklı Aydınlatma Düzenlerinin Karşılaştırılması”, IV.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Çağlar YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1985, İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : caglaryilmazatilgan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen	Isparta Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-2011	ASG Light Plus	Mimar
2011-Günümüz	Philips Aydınlatma	Aydınlatma Uygulama Uzmanı