



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEMİRYOLU SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE
GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elo. ve Hab.Müh. Ali ERTİK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Prof.Dr. İlhan KOCAARSLAN

Mayıs, 2012

İSTANBUL

Bu çalışma 21/05/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Prof.Dr.İlhan KOCAARSLAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr.B.Sıddık YARMAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr.Ayten KUNTMAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr.Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince vermiş olduğu her türlü destek ve yönlendirmelerinden dolayı Sayın Hocam Prof.Dr.İlhan KOCAARSLAN'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

İnceleme ve ölçüm çalışmalarımda çok değerli zamanlarını ayırarak bana yardımcı olan değerli TCDD Sirkeci Tren İstasyonu Teknik Ekibi'ne, doküman ve paylaştıkları teknik bilgilerle çalışmamda yönlendirici olan değerli TÜVASAŞ mühendislerine katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarımda sabırlarından ve desteklerinden ötürü çok değerli arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2012

Ali ERTİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
RESİM LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ	6
2.1. ENERJİ TASARRUFU	7
2.2. ENERJİ YOĞUNLUĞU	8
2.3. KARBONDİOKSİT EMİSYONU	10
2.4. ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	13
2.4.1. Ulaştırma Karbondioksit Emisyonu	15
3. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ VE VAGONLAR.....	18
3.1. VAGONUN GENEL TANIMI VE ÇEŞİTLERİ.....	18
3.1.1. Ticari Hizmet Vagonları	18
3.1.2. İdari Hizmet Vagonları	20
3.1.3. Diğer Kurumlara Ait Vagonlar	20
4. AYDINLATMA TEMELLERİ VE TÜRLERİ	21
4.1. AYDINLATMA	21
4.1.1. Amaçları Bakımından Aydınlatma	21
4.1.2. Işık Kaynağının Türüne Göre Aydınlatma	22
4.2. AYDINLATMA TERİMLERİ	22

4.2.1. Işık.....	22
4.2.2. Renk	23
4.2.3. Gözün Yapısı ve Görme Olayı	24
4.2.4. Uzay Açısı.....	25
4.2.5. Işık Şiddeti.....	25
4.2.6. Işık Akısı	26
4.2.7. Aydınlık Düzeyi.....	26
4.2.8. Parıltı (Lüminans).....	27
4.2.9. Işık Miktarı.....	27
4.2.10. Renk Sıcaklığı.....	28
4.2.11. Renksel Geriverim (Ra).....	28
4.2.12. Kontrast	28
4.2.13. Verim.....	29
4.2.14. Kirlenme Faktörü	31
4.2.15. Ömür	32
4.3. AYDINLATMANIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ VE ÖNERİLER.....	32
4.3.1. Aydınlatma Sistemlerinin İnsan Sağlığına Etkileri	32
4.3.2. Faydalı Aydınlatma İçin Öneriler	33
4.4. IŞIK KAYNAKLARI VE AYDINLATMA ELEMANLARI.....	34
4.4.1. Akkor Flamanlı Lambalar	35
4.4.2. Floresan Lambalar	36
4.4.3. Gazlı Deşarjlı Lambalar.....	37
4.4.4. LED (Işık Yayan Diyotlar).....	39
4.4.5. Fiber Optik Kablolarla Aydınlatma	40
4.5. AYDINLATMA ARMATÜRLERİ.....	41
4.5. BALAST	44
4.5.1. Endüktif Balast ve Starter	44
4.5.2. Elektronik Balast	45
5. VAGONLARDA AYDINLATMA	46
5.1. TVS 2000 PULMAN VAGON VE AYDINLATMASI.....	46
5.1.1. Salon Aydınlatması	47
5.1.2. Sahanlık Aydınlatması	49

5.1.3. Tuvalet Aydınlatması	50
5.1.4. Vagon Son Işıkları	51
5.1.5. Okuma Lambaları	51
5.1.6. Yön Gösterge (İstikamet) Tabelaları	52
5.1.7. İkaz Armatürü	52
5.2. VAGONLARDA AYDINLATMA STANDARTLARI.....	53
5.2.1. Aydınlık Düzeyi Kriterleri	53
6. VAGON AYDINLATMA SİSTEMİ GÜÇ HESAPLAMALARI	55
6.1. AYDINLATMA SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ.....	56
6.1.1. Salon Aydınlatma Sistemi	56
6.1.2. SAHANLIK AYDINLATMA SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ	78
6.1.3. TUVALET AYDINLATMASI	84
6.2. AYDINLATMA SİSTEMİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI.....	86
6.3. AYDINLATMA SİSTEMİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ DEĞERLENDİRMESİ	91
6.3.1 Vagon Salon Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji	91
6.3.2. Vagon Sahanlık Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji	95
6.3.3. Tuvalet Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji	95
6.3.4. Vagon Son Işıkları Harcanan Toplam Enerji	97
6.4.5. Vagon Okuma Lambaları Harcanan Toplam Enerji.....	98
6.4.6. Vagon İstikamet Tabelaları Harcanan Toplam Enerji	100
6.4.7. Vagon İkaz Armatürü Harcanan Toplam Enerji.....	100
6.4.8. Vagon Enerji Verimliliği Değerlendirmesi	102
7. BULGULAR	104
7.1. TASARIM VE ÖNERİ 1	104
7.2. TASARIM VE ÖNERİ 2:	106
7.3. TASARIM VE ÖNERİ 3:	108
7.4. TASARIM VE ÖNERİ 4:	109
8. SONUÇ	111
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: 2010 dünya toplam birincil enerji talebi ve 2035 talep tahmini[3]	2
Şekil 1.2	: 1990 – 2030 Dünya toplam birincil enerji <i>talebi üretim kaynakları</i> ve tahminler[2].....	3
Şekil 1.3	: 2007 – 2010 yılları Türkiye birincil enerji tüketim arzı[9]	3
Şekil 1.4	: 2010 toplam enerji tüketiminin sektörlere dağılım oranları[23]	4
Şekil 1.5	: Türkiye 1990 – 2010 yılları nihai enerji tüketiminin sektör bazında dağılımı [23]	5
Şekil 1.6	: 2010 Türkiye kaynaklar bazında elektrik enerjisi üretimi ve tüketimin sektörler bazında dağılımı[23].....	5
Şekil 2.1	: EIA'nın 2009 yılına göre ülkelerin enerji tasarruf tedbirleri ve uygulama oranları[3].....	8
Şekil 2.2	: Dünyada bazı ülkelerin kişi başına enerji tüketimine göre enerji yoğunluğu[3].....	10
Şekil 2.3	: Dünyada CO ₂ emisyonlarının sektörlere dağılımı.....	11
Şekil 2.4	: Türkiye 2009 yılı sektörel toplam sera gazı emisyonları[24].....	12
Şekil 2.5	: Dünya da ulaşımda yakıt türüne göre günlük talep ve tahminler[4]	13
Şekil 2.6	: Yolcu taşımacılığında birim nakliyat başına enerji tüketimi [18]	14
Şekil 2.7	: Yük taşımacılığında birim nakliyat başına enerji tüketimi [18].....	14
Şekil 2.8	: Türkiye 2010 yılı enerji tüketimlerinin ulaştırma tiplerine göre dağılımı	15
Şekil 4.1	: Gözün Işığı görebildiği elektromanyetik dalga boyu aralığı	23
Şekil 4.2	: CIE'ye göre aydınlık ve karanlık spektral duyarlık eğrileri	24
Şekil 4.3	: Işık akısı ve lumen	26
Şekil 4.4	: Renk sıcaklıkları skalası	28
Şekil 4.5	: (a) Lamba ekonomik ömür grafiği, (b) Lamba ortalama ömür grafiği[21]	32
Şekil 4.6	: Doğrusal armatürün konum-ışık şiddet eğrileri[11]	42
Şekil 4.7	: Armatür ile lüksmetre arasındaki uzaklığın değişimi[11]	42
Şekil 4.8	: Armatür verim örneği [21]	43
Şekil 4.9	: İç aydınlatma armatürleri ve verimleri[21]	43
Şekil 6.1	: Vagon aydınlatma ortam hesap sabitleri	55
Şekil 6.2	: TVS 2000 Pulman vagon salon aydınlatma elemanları dizilim şeması	56
Şekil 6.3	: Endirekt aydınlatma armatür montaj ve aydınlatma alanı.....	60
Şekil 6.4	: Vagon endirekt aydınlatma armatür ölçüleri	60
Şekil 6.5	: Salonda kompakt floresan ve floresan armatürleri ışık yayım grafiği	63
Şekil 6.6	: Vagon nesnelerinin konum planı (1, 2 koltuk, 3 camlar, 4 kapılar).....	64
Şekil 6.7	: Salon zemini aydınlık düzeyi değer grafiği	65
Şekil 6.8	: 0.85 m çalışma düzlemi gri tonlar grafiği.....	65
Şekil 6.9	: 0.85 m Çalışma düzlemi nesne, ışıklık konumları ve aydınlatma düzeyi değer eğrileri.....	66
Şekil 6.10	: Tavan gri tonlar görünümü ve tavan aydınlık düzeyi değer grafiği	66

Şekil 6.11	: Çalışma düzlemi (85 cm) noktaları	68
Şekil 6.12	: DIALux 4.10 Koltuk yüksekliği seviyesi 1,10 m ve kolçak yüksekliği seviyesi 0,68 m hesap noktaları.....	68
Şekil 6.13	: Çalışma düzeyinde (0.850 m) gece aydınlatması aydınlık düzeyi dağılım eğrileri	73
Şekil 6.14	: DIALux 4.10 gece noktasal aydınlatma ölçüm noktaları	74
Şekil 6.15	: Koltuk yükseklik düzeyi (1.10 m) ölçüm noktaları	75
Şekil 6.16	: Çalışma düzeyi (0.850 m) ölçüm noktaları	76
Şekil 6.17	: Salon gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 cm) ölçüm noktaları	78
Şekil 6.18	: Vagon sahanlık ölçüleri	78
Şekil 6.19	: DIALux 4.10 sahanlık ışık kaynağı ve ışık yayım grafiği.....	81
Şekil 6.20	: DIALux 4.10 Sahanlık 0,85 m çalışma düzeyi aydınlık şiddeti grafiği	81
Şekil 6.21	: DIALux 4.10 Sahanlık 0,85 m çalışma düzeyi aydınlık şiddeti değerleri	81
Şekil 6.22	: Sahanlık görünür alan aydınlık düzeyi değerleri ve grafiği	82
Şekil 6.23	: Ölü bölge aydınlık değerleri ve grafiği	82
Şekil 6.24	: Sahanlık ölçüm sonuçları	83
Şekil 6.25	: Vagon tuvalet aydınlık ölçüm noktaları ve sonuçları	85

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	: Enerji kaynaklarının birim miktar başına ısı değerleri ve TEP cinsinden karşılığı	2
Tablo 1.2	: 2001 – 2010 yılı Türkiye sektör bazında nihai enerji tüketimi [23]	4
Tablo 2.1	: Dünyada bazı ülkelerin enerji yoğunlukları (TEP/Bin \$)	10
Tablo 2.2	: Türkiye 1990 – 2007 karbondioksit salınımı sektörler dağılımı	12
Tablo 2.3	: Toplu taşıma araçları tipine ve tipine göre kişi başı CO ₂ emisyonları (g/km) [16]	16
Tablo 4.1	: Renklerin dalga boyu radyasyon aralıkları	23
Tablo 4.2	: Işın boyutlarına ve kontrasta göre gerekli aydınlık düzeyleri (lx)	27
Tablo 4.3	: Lamba renk sıcaklıklarına göre ışık kaynağı renk görünümü	28
Tablo 4.4	: Yansıtma oranlarına göre aydınlatma verim tablosu [22]	30
Tablo 4.5	: Yansıtma oranlarına göre oda aydınlatma verim tablosu	30
Tablo 4.6	: Kirlenme (bakım) faktörü (d)	31
Tablo 4.7	: Aydınlatma ışık kaynakları ve türleri	35
Tablo 4.8	: Renklerine göre LED ışık kaynaklarının özellikleri	40
Tablo 4.9	: Bazı aydınlatma tipleri için armatür verimi	44
Tablo 5.1	: Vagon aydınlatma kısımlarına göre katalog ve inceleme değerleri	53
Tablo 5.2	: Toplu taşıma transit sistemlerinde ortalama aydınlık düzeyinin asgari değeri ve düzgünlük hedefi	53
Tablo 5.3	: Ana hat ve banliyö trenlerinde ortalama aydınlık düzeyinin asgari değeri ve düzgünlük hedefi	54
Tablo 6.1	: Vagon salon nesne parça listesi	64
Tablo 6.2	: DIALux 4.10 Salon aydınlatma sonuçları özeti	67
Tablo 6.3	: Çalışma düzeyi (0.850 m) noktasal ölçüm sonuçları	67
Tablo 6.5	: Çalışma düzlemi (0.850 m) aydınlık düzeyi sonuçları	68
Tablo 6.6	: Vagon koltuk tepesi seviyesinde (110 cm) DIALux 4.10 aydınlık düzeyi değerleri	69
Tablo 6.7	: Vagon koltuk tepesi seviyesinde (110 cm) aydınlık düzeyi sonuçları	69
Tablo 6.8	: Vagon kolçak seviyesinde (0.680 m) DIALux 4.10 aydınlık düzeyi değerleri	70
Tablo 6.9	: Vagon koltuk kolçak seviyesi (0.680 m) aydınlık düzeyi sonuçları	70
Tablo 6.10	: DIALux 4.10 gece aydınlatması ölçüm sonuçları özeti	72
Tablo 6.11	: DIALux 4.10 gece aydınlatması (0.680 m) noktasal ölçüm sonuçları	73
Tablo 6.12	: Gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 m) aydınlık düzeyi sonuçları	74
Tablo 6.13	: Koltuk yükseklik seviyesi (1.10 m) inceleme noktasal ölçüm değerleri	75
Tablo 6.14	: Koltuk yüksekliği seviyesi (1.10 m) inceleme aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları	76
Tablo 6.15	: Standart 0.850 m çalışma yüzeyi aydınlık şiddeti noktasal ölçüm değerleri	76

Tablo 6.16	: Vagon çalışma yüzeyi (0.850 m) inceleme aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları.....	77
Tablo 6.17	: Gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 cm) aydınlık düzeyi değerleri	77
Tablo 6.18	: Vagon gece aydınlatması kolçak yükseklik seviyesi (0.680 m) ölçüm sonuçları.....	78
Tablo 6.19	: DIALux 4.10 sahanlık aydınlatması ölçüm sonuçları özeti.....	82
Tablo 6.20	: Sahanlık aydınlatması çalışma düzeyi (0.850 m) ölçüm sonuçları.....	84
Tablo 6.21	: Vagon tuvalet aydınlık şiddeti inceleme ve ölçüm noktaları ve sonuçları.....	86
Tablo 6.22	: Vagon salon aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması	86
Tablo 6.23	: Vagon salon gece aydınlatma sonuçlarının karşılaştırılması	88
Tablo 6.24	: Vagon sahanlık aydınlatma sonuçlarının karşılaştırılması	89
Tablo 6.25	: Vagon sahanlık bölgesel aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması.....	90
Tablo 6.26	: Vagon tuvalet aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması.....	90
Tablo 6.27	: Floresan lamba LED floresan lamba karşılaştırması	93
Tablo 6.28	: Vagon Kompakt Floresan, Kompakt LED Floresan karşılaştırması[28]	94
Tablo 6.29	: Vagon tuvaleti T5 Floresan yerine T5 LED floresan karşılaştırması [29]	96
Tablo 6.30	: Vagon son ışıklar Akkor Ampul, LED Ampul karşılaştırması [30]	98
Tablo 6.31	: Halojen okuma lambası LED spot lamba karşılaştırması	99
Tablo 6.32	: Vagon ikaz Sofit Ampul yerine LED Sofit Ampul karşılaştırması	101
Tablo 6.33	: TVS 2000 Pulman vagon enerji tasarrufu.....	103
Tablo 7.1	: Tasarım 1 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti	104
Tablo 7.2	: Tasarım 2 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti	107
Tablo 7.3	: Tasarım 3 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti	108
Tablo 7.4	: Tasarım 4 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti	110
Tablo 8.1	: TCDD enerji giderleri [TCDD].....	112

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1	: Çeşitli vagon tipleri	19
Resim 4.1	: (a) Normal Akkor Flamanlı Lamba, (b) Halojen Akkor Flamanlı Lamba.....	35
Resim 4.2	: (a) Normal Floresan Lamba, (b) Enerji Tasarruflu Floresan Lamba (Kompakt)	37
Resim 4.3	: Cıva Buharlı Lambalar	38
Resim 4.4	: Sodyum Buharlı Lambalar	38
Resim 4.5	: QL İndüksiyon Lamba	38
Resim 4.6	: Neon Lamba	38
Resim 4.7	: Metal Halojenürlü (halide) Lamba	39
Resim 4.8	: LED lambalar	40
Resim 4.9	: Şerit fiber optik örnekleri	41
Resim 4.10	: Endüktif Balast	45
Resim 4.11	: Elektronik Balast	45
Resim 5.1	: TVS 2000 Pulman Vagon salon aydınlatması	47
Resim 5.2	: TVS 2000 Pulman vagon özel armatürü	47
Resim 5.3	: Vagon 24 V DC aydınlatma armatürünün iç görünüşü.....	48
Resim 5.4	: Salon 24 V DC aydınlatmada kullanılan balastlar	48
Resim 5.5	: Salon 220 V AC aydınlatma armatürü, kompakt floresan ve balastı	49
Resim 5.6	: Vagon sahanlık aydınlatması (24 V DC 20 W).....	49
Resim 5.7	: Vagon sahanlık aydınlatma armatürü ve içyapısı.....	50
Resim 5.8	: Vagon tuvalet aydınlatması (24 V DC 11 W)	50
Resim 5.9	: TVS 2000 pulman vagon tuvalet armatürü	50
Resim 5.10	: Vagon tuvalet aydınlatma armatürü içyapısı.....	51
Resim 5.11	: Vagon son ışıklarında kullanılan armatür yapısı ve akkor lamba	51
Resim 5.12	: Vagon raf üzeri okuma lambaları	52
Resim 5.13	: Okuma armatürü içyapısı ve transformatör.....	52
Resim 5.14	: Vagon ikaz armatürü	52
Resim 6.1	:TVS 2000 salon aydınlatma armatür tipi	56
Resim 6.2	: Endirekt aydınlatma elemanları.....	59
Resim 6.3	: DIALux 4.10 vagon salon benzetimi	63
Resim 6.4	: DIALux 4.10 ışık kaynakları aktifken vagonun iç görüntüsü	64
Resim 6.5	: Vagon aydınlatmasının farklı açıyla gösterimi	65
Resim 6.6	: DIALux 4.10 Salon aydınlatması ters renkler görüntüsü.....	71
Resim 6.7	: Vagon gece aydınlatması görüntüsü.....	72
Resim 6.8	: Salon gece aydınlatması ters renkler görünüşü	74
Resim 6.9	: (a) Sahanlık aydınlatma benzetimi, (b) DIALux 4.10 aydınlatma görüntüsü	80
Resim 6.10	: Sahanlık yanlış renkler görüntüsü	83
Resim 6.11	: (a) Mevcut kullanılan floresan kaynak, (b) LED floresan kaynak[34].....	93
Resim 6.12	: (a) Mevcut kullanılan kompakt floresan kaynak, (b) LED kompakt floresan kaynak.....	95

Resim 6.13	: (a) Mevcut T5 floresan kaynak, (b) LED T5 floresan kaynak[34]	96
Resim 6.14	: (a) Mevcut kullanılan akkor kaynak, (b) Lumelux LED alternatif ampul[33]	97
Resim 6.15	: (a) Mevcut kullanılan kaynak, (b) Alternatif LED spot kaynak	99
Resim 6.16	: (a) Mevcut kullanılan sofit kaynak, (b) Alternatif LED sofit kaynak.....	101
Resim 7.1	: Tasarım 1 için ortam normal ve ters renkler görüntüsü	105
Resim 7.2	: 3280 lm LED panel tavan aydınlatması ve ters renkler görüntüsü	106
Resim 7.3	: Tasarım 2 LED panel raf indirekt aydınlatması ve ters renkler görüntüsü	107
Resim 7.4	: Tasarım 4 floresan armatürle raf indirekt aydınlatması ve ters renkler görüntüsü	109
Resim 7.5	: Tasarım 4 ortam aydınlatması ve ters renkler görüntüsü	110

SEMBOL LİSTESİ

a	: genişlik
b	: uzunluk
BTU	: İngiliz enerji birimi
C	: kontrast
CO₂	: karbondioksit
D_y	: duvar yansıtma kat sayısı
(d)	: kirlenme faktörü
E	: aydınlık düzeyi
{E/D}	: enerji yoğunluğu
H	: Armatür ile çalışma yüzeyi arası uzaklık
h	: oda yüksekliği
h₁	: çalışma düzlemi ile oda tabanı arasındaki yükseklik
h₂	: Armatür tij uzunluğu
I	: ışık şiddeti
K	: kelvin
k	: oda indeksi
L	: parıltı
{lm/W}	: etkinlik faktörü
lx	: aydınlık düzeyi birimi
η	: verim
η_{ayg}	: armatür verimi
η_{oda}	: oda verimi
Q	: ışık miktarı
r	: fotometrik başlık arası uzaklık
Ra	: renksel geri verim
S	: alan
\$	: Amerikan Doları
TEP	: ton eşdeğer petrol
T_y	: tavan yansıtma kat sayısı
λ	: dalga boyu
Φ	: ışık akısı
Ω	: uzay açısı
ε₂	: geliş açısı
Z	: lamba sayısı
Z_y	: Zemin yansıtma kat sayısı

ÖZET

DEMİRYOLU SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Uzmanlar tarafından “Enerji Çağı” olarak isimlendirilen çağımızda, enerjinin kullanabilir forma gelebilmesi için bir dizi işlemlerden geçmesi gerektiği bilinmektedir. Enerjinin kullanım çeşitliliği ve dünya genelinde enerji kaynaklarının hızla tükenmesiyle birlikte tüketimin sürekli artması konuya yaklaşımı önemli boyutlara taşımaktadır. Enerji konusunda yürütülen çalışmalarla elde edilen çıktılar ülkeler için gelişmişliğin bir kriteri olarak değerlendirilmektedir. Enerjinin mevcut durumu ve gelecek tahminleri doğrultusunda, enerjinin verimli kullanılmasına yönelik her alanda çalışmalar yürütülmektedir. Enerjinin verimli kullanılarak tasarruf sağlanması en önemli ve maliyetsiz enerji üretim biçimidir. Enerji verimliliği, enerjinin kullanıldığı her alanda uygulanabilmeli, bunun için yeni yöntemler belirlenmeli, modeller oluşturulmalı, yazılımlar geliştirilmeli ve politikalarla desteklenmelidir.

Enerji tüketiminin önemli bir kısmını aydınlatma sistemlerinde gerçekleşmektedir. Aydınlatma günümüzde yaşamın hemen her alanında en temel ihtiyaç konularından biridir. Aydınlatmanın temeli doğal ışıktır (güneş ışığı) fakat bu ışığın yetersiz kaldığı zaman veya kullanılmasının olanaksız olduğu durumlarda, aydınlatma ihtiyacı için yapay ışıktan yararlanılmaktadır. Aydınlatmanın temel amacı, ihtiyaca göre en iyi görme düzeyini sağlamaktır. Bundan dolayı aydınlatma sistemleri sadece ışık kaynağından ibaret değildir. En iyi görme düzeyinin oluşturulması için ışığın yüzeylere etkisi, ortam şartları, aydınlatma elemanlarının özellikleri, kullanım amacı vb. gibi değerlendirmelerin göz önünde bulundurularak aydınlatma tasarımının yapılması gerekmektedir. Görme olayı aydınlatma sonucu oluştuğunda dolayı, aydınlatmanın göze yani insan sağlığına etkileri de ayrıca irdelenmelidir. Bu doğrultuda sağlığa en az zararı verecek kaliteli ve verimli aydınlatma sistemleri geliştirilmelidir.

Bu çalışmada, Dünya’da ve Türkiye’de genel anlamda, kaynaklar ve sektörler bazında enerji değerlendirmesi yapılmıştır. Enerji tüketiminin olumsuz etkileri ve neden enerji verimliliğinin gerekliliği vurgulanmıştır. Ulaştırma enerji konusu incelenerek verimlilik değerlendirilmesi yapılmıştır. Genel aydınlatma sistemleri incelenerek, sağlık, kalite, konfor ve verimli bir aydınlatma için değerlendirmeler yapılmıştır. Ulaştırma tiplerinden Demiryolu Sistemleri’nde çekilen araçlarda(vagon) aydınlatma sistemleri incelenerek, aydınlatmanın yeterliliği, matematiksel hesaplama, program ve incelemeler sonucu elde edilen çıktılar karşılaştırılarak tartışılmıştır. Çekilen araçların aydınlatma sistemlerinde, enerji verimliliği konusu karşılaştırmalı tablolarla çıkarılarak, öneriler sunulmuştur.

SUMMARY

ACCORDING TO THE ENERGY EFFICIENCY EVALUATION OF RAILWAY SYSTEMS

In our era which is also called as “Energy Era” according to the specialist, energy needs to be processed in order to convert it into useable form. Variety of energy use and the over consumption of energy sources in the world have created an awareness of the approach to the problem. Results acquired from many studies show energy as a level of development of countries. Towards the current position of energy and future predictions, extensive studies in different fields are carried out for the efficient use of energy. The efficient use of energy can be considered as the easiest or cheapest way of producing energy. Energy efficiency, must be applied to all field in where energy is being used and new methods must be set, new models must be created, new and efficient software programs must be developed and all of these improvements must be supported politically.

Lighting systems constitute an important part of energy consumption. Nowadays, lighting is used a fundamental tool and need in our daily life. Natural light(sun light) is the core of lighting however in case of lack of enough natural light artificial lighting is used as a source lighting. The main purpose of lighting is to provide the level of light that enables the appropriate vision. Due to this reason, lighting systems can not be considered as only light sources. In designing a lighting system; environmental conditions, effects of lights on surfaces and specifications of elements used in lighting must be taken into account to be able to create the best vision level. As the vision forms of lighting, the effects of lighting to human health should also be analyzed carefully. Accordingly, the least harmful for human health and the most efficient lighting systems must be developed.

In this study; energy assessment was done on the basis of resources and sectoral both in the world and in Turkey. The negative effects of energy consumption and the need of efficient use of energy was emphasized. Assessment of a lighting system has been done in terms of health, quality, comfort and efficiency via analyzing general lighting systems. Results acquired from analyzes, programs, mathematical calculations were used to compare the sufficiency of lighting by examining lighting systems of railway trucks used in transportation. Energy efficiency in lighting systems of railway trucks were compared via tables and suggestions were given.

1. GİRİŞ

Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu ve yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı açık olarak bilinmektedir. Dünya enerji bağımlılığı ve ihtiyacı, nüfus artışı, sanayi, ulaşım, konut ve tesis gelişmelerine paralel olarak giderek artmakta olup enerji kaynakları gün geçtikçe hızla tükenmekte ve mevcut enerji kaynakları bu ihtiyaca cevap verememektedir. Diğer yandan dünyada çevre kirliliği ve küresel ısınma kendini daha fazla hissettirmektedir. Bundan dolayı enerji ihtiyaçları kontrol altına alınarak daha etkin kullanım yöntemleri geliştirilmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olduğunun bilincindedir.

Birincil Enerji: Petrol, doğal gaz, kömür, odun gibi doğrudan tüketilebilen enerji kaynaklarıdır.

İkincil Enerji: Birincil enerji kaynaklarından kullanılabilir formlara dönüştürülen elektrik, fuel oil, mazot gibi enerji çeşitleridir.

Gayri Safi Yurtiçi Hâsılası (GSYİH): GSYİH bir ülke sınırları içerisinde belli bir zaman içinde, üretilen tüm nihai mal ve hizmetlerin para birimi cinsinden değeridir.

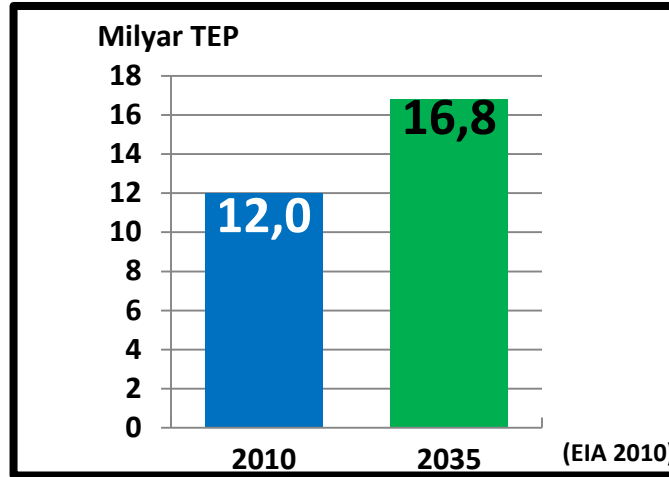
$$GSYİH = \text{tüketim} + \text{yatırım} + \text{devlet harcamaları} + (\text{ihracat} - \text{ithalat}) \quad (1.1)$$

Ton Eşdeğer Petrol (TEP): Enerji kaynaklarının tek birim ile ifade edilmesini sağlayan ve 10 milyon kCal karşılığı enerji birimidir. Tüm enerji kaynaklarının TEP dönüşüm katsayıları Tablo 1.1 de verilmiştir.

Genellikle petrol fiyatları Varil Petrol cinsiyle ifade edilmektedir. Bir Varil Petrol yaklaşık olarak 159 lt veya 0,1364 ton ham petrole tekabül etmektedir. Buna göre bir Varil Petrol yaklaşık 0,143 TEP ya da 1 TEP yaklaşık 6,98 Varil Petrol'e eşdeğerdir.[8]

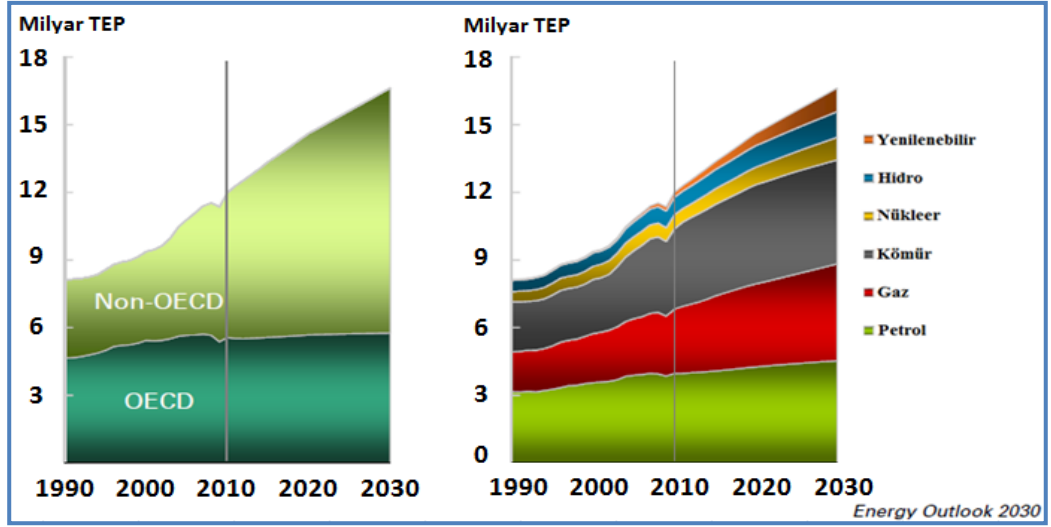
Tablo 1.1: Enerji kaynaklarının birim miktar başına ısı değerleri ve TEP cinsinden karşılığı

Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Miktar		Alt Isıl Değeri	Birim	TEP Katsayı	1 TEP
Taş Kömürü		1	ton	6.100.000	kCal	0,610	1,64
Linyit Santral		1	ton	2.000.000	kCal	0,200	5,00
Ham Petrol		1	ton	10.500.000	kCal	1,050	0,96
Fuel Oil No.4		1	ton	9.600.000	kCal	0,960	1,04
Motorin	0.830 kg/lt	1	ton	10.200.000	kCal	1,020	0,98
Benzin	0.735 kg/lt	1	ton	10.400.000	kCal	1,040	0,96
Doğal Gaz	0.670 kg/lt	bin	m ³	8.250.000	kCal	0,825	1,212
LPG		1	ton	10.900.000	kCal	1,090	0,92
Kok Gazı	0.490 kg/m ³	bin	m ³	4.028.000	kCal	0,403	2,47
Elektrik		bin	kWh	860.000	kCal	0,086	11628
Kömür		1	ton	4.000.000	kCal	0,400	2,50



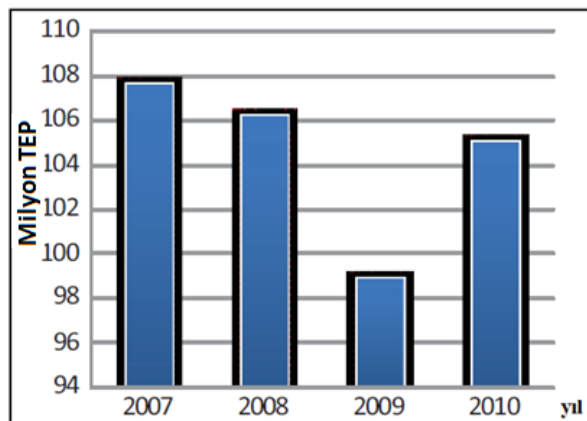
Şekil 1.1: 2010 dünya toplam birincil enerji talebi ve 2035 talep tahmini[3]

Dünya genelinde 2010 yılı itibarı ile 12 Milyar TEP birincil enerji talebi vardır (Şekil 1.1). Bu oranın 2035 yılında 16,8 Milyar TEP seviyelerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Dünyada enerji ihtiyacı sürekli arttığından buna bağlı olarak talep de artmaktadır. Şekil 1.2 de dünyada toplam birincil enerji talebinin OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkelerine ve OECD – Dışı ülkelere göre değişimi gösterilmiştir. Ayrıca birincil enerji talebinin kaynaklar bazında üretim kaynakları ve gelecek tahminleri verilmiştir.



Şekil 1.2: 1990 – 2030 Dünya toplam birincil enerji talebi üretim kaynakları ve tahminler[2]

Hızlı gelişen bir ülke olmamız dolayısı ile ülkemizde de dünyadaki enerji talep değişimlerine paralel olarak sanayi, konut, ulaşım, tarım ve diğer sektörler olmak üzere enerji tüketimimiz sürekli artmaktadır. 2010 yılı verilerine göre toplam enerji arzımızın % 80 gibi büyük bir oranını ithal etmekteyiz. Birincil enerji kaynaklarından petrolün %93,2'si, doğalgazın %98'i, toplam katı yakıtın ise %42'sini ithal etmekteyiz [23]. Enerji kaynaklarının büyük oranlarda ithali ülkemiz için önemli bir maliyettir. Enerji ihtiyacında dışa bağımlılık ve enerji verimliliği için uygulanması düşünülen yöntemlerin ülkemizde yaygınlaşması konusunda, enerji ithalini yapmış olduğumuz Avrupa'nın bir hayli gerisinde bulunmaktayız. Sektör temelli uygulamaya konulan ve koyulacak olan bazı yönetmelik ve düzenlemelere uyarak, enerji tüketimi yükseliş oranını düşürmeli ve enerji verimliliğinde yüksek seviyelere ulaşabilmesi için çaba sarf edilmelidir.



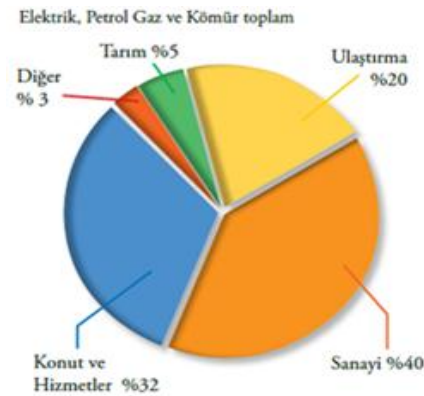
Şekil 1.3: 2007 – 2010 yılları Türkiye birincil enerji tüketim arzı[9]

2007 – 2010 yılları arasında birincil enerji arzı azalma eğilimindedir. 2009 yılında yaşanan ekonomik krizin etkisiyle enerji arzı bir önceki yıllara göre yaklaşık %10 düşmüştür (Şekil 1.3). 2010 yılında ülkemizin toplam enerji arzı 105 Milyon TEP civarındadır. Fakat ülke genelinde 2010 yılında talep edilen enerji 109 Milyon TEP'tir. Tablo 1.2 de ülkemizde 1990 – 2010 yıllarında toplam nihai enerji tüketim miktarları verilmiştir. 2010 yılı için talep edilen enerjinin %97 gibi bir kısmını üretirken, üretilen enerjinin yaklaşık %80 kısmını tüketmekteyiz. Ülkemizde enerjinin üretim ve tüketim arasındaki puant yükü, kaybolan enerjiyi, azaltmak için önlemlerin alınması gerekmektedir.

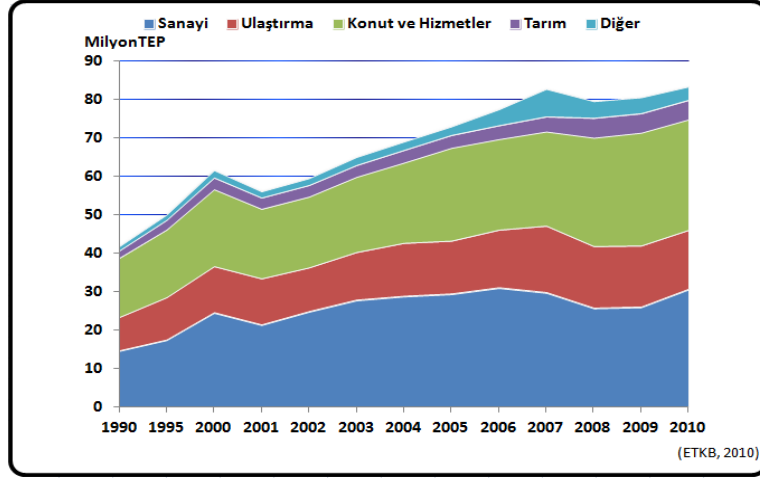
Tablo 1.2: 2001 – 2010 yılı Türkiye sektör bazında nihai enerji tüketimi, (Milyon TEP)[23]

SEKTÖR	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Sanayi	21.324	24.782	27.777	28.789	29.396	30.995	29.748	25.677	25.966	30.628
Ulaştırma	12.000	11.405	12.395	13.775	13.731	14.995	17.282	16.044	15.916	15.328
Konut ve Hizmetler	18.122	18.463	19.634	20.952	24.269	23.678	24.623	28.323	29.466	28.868
Tarım	2.964	3.030	3.086	3.314	3.340	3.608	3.944	5.174	5.073	5.089
Diğer	1.638	1.806	2.098	2.174	2.239	4.165	7.149	4.341	4.153	3.459
Toplam	56.048	59.486	64.990	69.004	72.975	77.441	82.746	79.559	80.574	83.372
Kişi Başına Net (kWh)	1.416	1.479	1.581	1.698	1.846	1.961	2.168	2.278	2.162	2.347

Şekil 1.4 ve Şekil 1.5 de ülkemizde tüketilen enerjinin sektörlere dağılımları gösterilmektedir. Tüketimlerin %40 gibi bir oranını sanayi sektörü oluşturmaktadır.

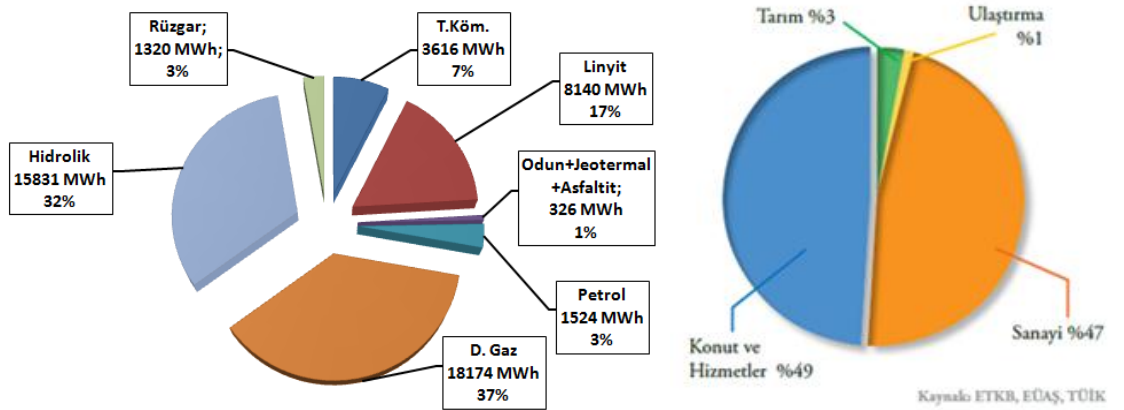


Şekil 1.4: 2010 toplam enerji tüketiminin sektörlere dağılım oranları[23]



Şekil 1.5 : Türkiye 1990 – 2010 yılları nihai enerji tüketiminin sektör bazında dağılımı [23]

Enerjide tüketim maliyetlerini düşürmek için öncelikle enerji yoğunluğunu düşürmek ve bununla birlikte enerji sektörünün daha verimli çalışmasını sağlamak gerekir. Bir enerji yatırımının projelendirilmesinden üretime geçene kadar tüm yatırım evrelerinde, üretime başladıktan sonra bakım faaliyetlerinden iş süreçlerinin yönetimine kadar tüm işletme süreçlerinde verimlilik odaklı çalışılmalıdır [6]. Enerji kaynaklarının önemli bir kısmı elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye'nin 2010 yılı toplam elektrik üretimi 48,932 GigaWatt saattir. Elektrik üretiminin kaynaklar bazında değerleri ve yüzdeleri ve sektör bazında kullanımı Şekil 1.6 da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 : 2010 Türkiye kaynaklar bazında elektrik enerjisi üretimi ve tüketimin sektörler bazında dağılımı[23]

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

“Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir.[6]”

“Enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrik enerji kayıplarının önlenmesi, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli kaynakların kullanımı, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür. [6]”

Bir yandan en önemli enerji kaynakları olan fosil yakıtların azalması, diğer yandan bu kaynakların yarattığı çevresel problemler, bu kaynakların hem rasyonel ve ekonomik biçimde kullanılmasını, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiştir. Fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynakları aranırken, bunun yanı sıra mevcut kaynakların etkin kullanılması ve enerji tüketimi düşürülmeye çalışılmaktadır. Bir taraftan daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar sürerken, diğer taraftan aynı miktar enerjiyle daha çok iş yapılması veya aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmekte, tedbirler geliştirilmekte, politika ve stratejiler üretilmektedir. Enerji verimliliği çalışmaları: Bina mimarisi, dış yapı elemanları, aydınlatma, cam ve ısıtma sistemlerinde ısı yalıtım çalışmaları, akıllı bina uygulamaları, belirli limitlerin altında yakıt tüketen araçların üretim zorunluluğu, gelişmiş toplu taşıma sistemleri, tasarruflu ev aletlerinin kullanımı, yeni tip santral teknolojileri, elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerindeki kayıpların azaltılarak performans standartlarının yükseltilmesi, bütünsel enerji arz ve talep yönetimleri gibi bir dizi uygulamaları içermektedir.

Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde enerjinin verimli kullanılması için çok çeşitli çalışmalar yapılmakta, verimli teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için büyük bütçeli programlar uygulanmaktadır. Bu çalışmalar, kamu eliyle yürütülen çeşitli uygulamalar, eğitim ve bilgilendirme faaliyetleri, yaptırımlar getiren yasal

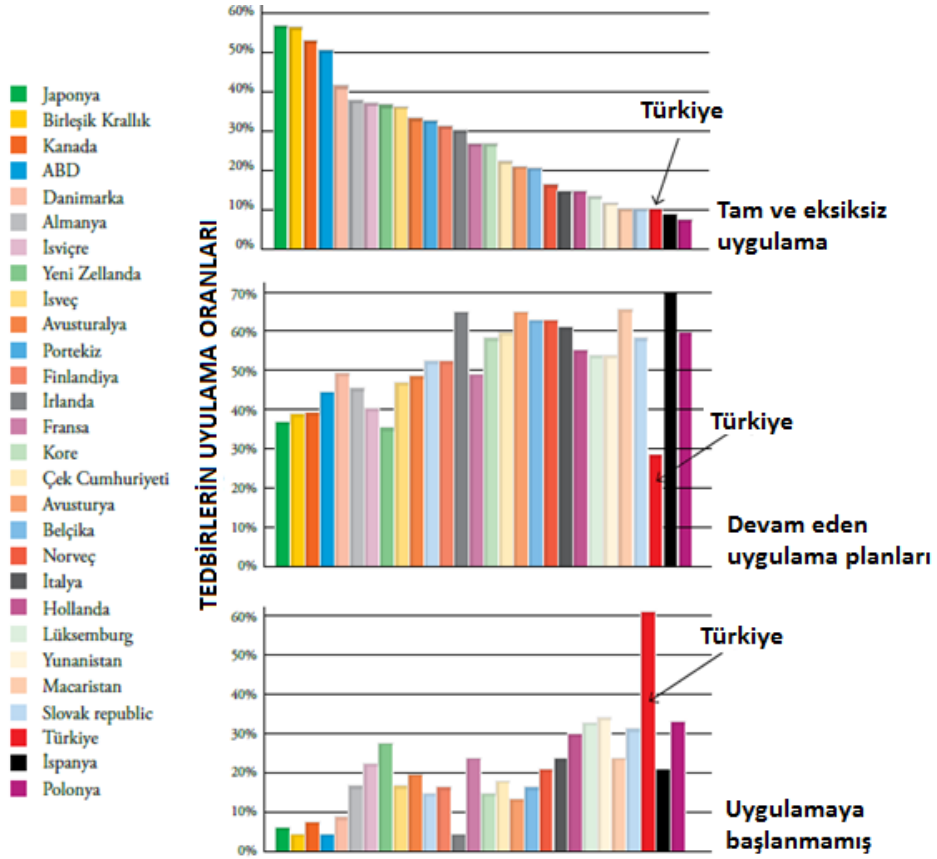
düzenlemeler, sivil kuruluşlar tarafından yürütülen kampanyalar ve gönüllü faaliyetler ve endüstriyel şirketler ile üniversiteler tarafından yürütülen ve bazılarını hükümetlerin de desteklediği teknoloji geliştirme programlarıdır.

Enerji verimliliğinde diğer bir önemli gelişme 1990'lı yıllarda ortaya çıkan çevre bilincidir. Bu bilinç, geleneksel enerji üretimi ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede doğrudan olumsuz etkilere neden olduğunun anlaşılmasına ve bu etkileri azaltmak için enerjinin verimli kullanımı ile ilgili konuların desteklenmesi gerekliliğidir. Bu anlamda dünyada tüm ülkelerin uyması gereken, çeşitli anlaşma ve sözleşmelerle yaptırımlar oluşturulmuştur. En bilindik olan sözleşme ise “Kyoto Sözleşmesi”dir. Sözleşmede ülkeler, sera gazı emisyon oranlarını öngörülen tarihlere kadar anlaşmada belirtilen düzeye indirileceğini garanti etmiştir.

Ülkemizde artan nüfus ve sanayileşme gibi nedenlerden ötürü enerji kullanımı her yıl hızlı bir artış göstermektedir. Uzmanlara göre, gerekli önlemler alınmazsa mevcut kaynaklarla ilerleyen yıllarda tüketilen enerjinin ancak %20 gibi bir oranını karşılayabileceğiz. Başta sanayi, bina, ulaştırma ve tarım sektörü olmak üzere enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik etüt, eğitim ve bilinçlendirme, istatistik, araştırma ve geliştirme, altyapı, politika, strateji ve mevzuat geliştirme çalışmaları, çeşitli projeler çevresinde sürdürülmektedir.

2.1. ENERJİ TASARRUFU

Enerji tasarrufu, enerji tüketimi konusunda alınan önlemler sonucunda enerji tüketimindeki reel azalmadır. Diğer bir ifadeyle “Enerji içeriği olan atıkların değerlendirilmesi, teknik ve teknolojik önlemlerle verimliliğinin artırılması, mevcut kayıplarının önlenmesi gibi yöntemlerle tüketilen enerji miktarının, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, kalite ve performansı düşürmeden enerji ihtiyacının en aza indirilmesidir.” Enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi ve kullanıcılar tarafından alınan tedbirler sonucunda belirli miktarda üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada harcanan enerjiden sağlanan azalmadır. Enerji tasarrufu birçok noktada aynı anda geri kazanılabilecek ve daha küçük boyutlu çok sayıda yatırımcıya yayılmış yatırımlarla elde edilecek enerji kaynağıdır.



Şekil 2.1 : EIA'nın 2009 yılına göre ülkelerin enerji tasarruf tedbirleri ve uygulama oranları[3]

Dünya genelinde sürdürülen tasarruf tedbirlerine göre, AB'ye üye ülkeleri enerji tasarruf potansiyellerini çıkarmışlardır. Bu ülkeler 2008 – 2016 döneminde ortalama %9 enerji tasarruf sağlayacaklarını bildirmiştir. Ülkemizin mevcut bina stoku, sanayi yapısı, ulaşım alt yapısı incelendiğinde enerji tasarruf potansiyelinin AB ortalamalarının üzerinde (%10 – 15) olduğu belirtilmektedir. 2009 yılı EIA dünya ülkelerinin enerji tasarruf uygulamaları raporuna göre (Şekil 2.1), Türkiye yapması gereken enerji tasarrufunun %10'luk bir kısmını yapabilmiştir.

2.2. ENERJİ YOĞUNLUĞU

Enerji verimliliğinin önemli göstergelerinden bir diğeri de enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, GSYİH başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir. Genellikle 1000\$'lık hâsıla için tüketilen TEP miktarıdır. Bu durumda, bir ülkenin enerji yoğunluğu ne kadar düşükse, o ülkede birim hâsıla üretmek için harcanan enerji de o kadar düşük demektir ki, bu da enerjinin

verimli kullanıldığına işaret etmektedir. Enerji yoğunluğuyla ilgili küresel ölçekli veriler incelendiğinde, ülkeler arasında ciddi farklılıklar olduğu, bu farklılıkların da gelişmişlik düzeyinden kaynaklandığı görülmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde enerjiye olan talep ile ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişki vardır. Bir ülkenin enerji açısından gelişmişlik düzeyi, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gibi iki temel göstergeyle ifade edilebilir. Kişi başına enerji tüketiminin yüksek olması, hem ülkedeki ekonomik faaliyetlerin canlılığını, hem de refah düzeyinin yüksekliğini gösterir. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise, aynı miktar enerjiyle daha çok katma değer üretilmesini işaret eder. Bu durumda bir ülkede enerji açısından gelişmişliğin ideal şartı, kişi başı enerji tüketiminin yüksek ve enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır. Enerji yoğunluğu ülke ve tesis bazında ikiye ayrılır.

Ülke Bazında

$$\text{Enerji Yoğunluğu} = E/\text{GSYİH} \quad (2.1)$$

E = milyon TEP Birincil Enerji Tüketimi

GSYİH = 1 milyon Türk Lirası Gayrisafi Milli Hasıla

Tesis Bazında

$$\text{Enerji Yoğunluğu} = E/D \quad (2.2)$$

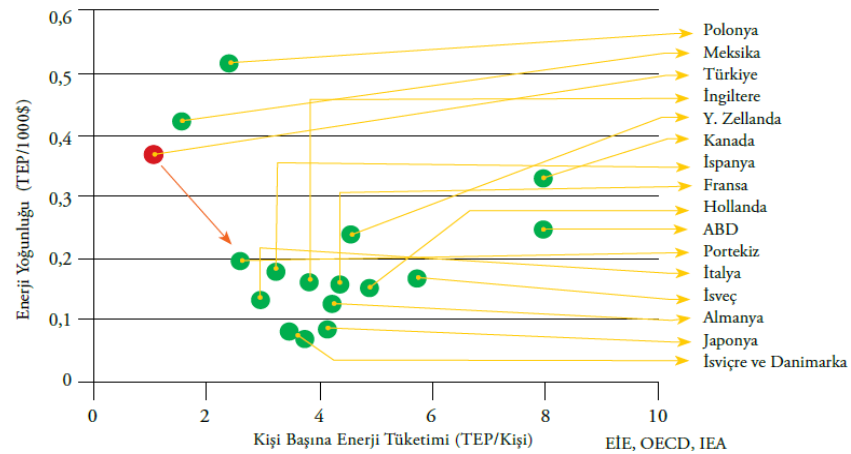
E = TEP cinsinden işletmenin yıllık toplam enerji tüketimi

D = Bin (1000) Türk Lirası cinsinden, yıllık mal üretiminin ekonomik değeri.

Tablo 2.1 ve Şekil 2.2 de Dünyada ülkeler bazında ve bölgeler olarak enerji yoğunluk oranları verilmiştir. Türkiye OECD ülkeleri içinde 1.000 USD GSMH başına 0,38 TEP ile en fazla enerji harcayan ülkedir. Türkiyede kişi başına enerji tüketimi, OECD ortalamasının beşte biri civarında olmasına rağmen enerji yoğunluğu OECD ortalamasının üzerindedir. Bu durum enerji verimliliği ilkelerine dikkat edilmediğini gösterdiği gibi enerji yoğun sektörler ile kalkınmaya çalıştığımız sonucunu doğurur.

Tablo 2.1 : Dünyada bazı ülkelerin enerji yoğunlukları (TEP/Bin \$)

Ülkeler	Tüketilen MTEP	GSYİH (Miyar \$)	Enerji Yoğunluğu (TEP/Bin \$)
Dünya	10.029,1	34.399,8	0,29
OECD	8970	27.880,9	0,19
ABD	2281,5	8.977,8	0,25
Almanya	351,4	2.703,3	0,13
Birleşik Krallık	240,3	1.334,9	0,18
Fransa	270,7	1.804,9	0,15
Hindistan	531,9	492,5	1,08
İtalya	171,5	1.225,3	0,14
Japonya	508,3	5.647,7	0,09
Kanada	251,1	717,4	0,35
Rusya	623	377,6	1,65
TÜRKİYE	72,5	190,3	0,38
AB			0,19



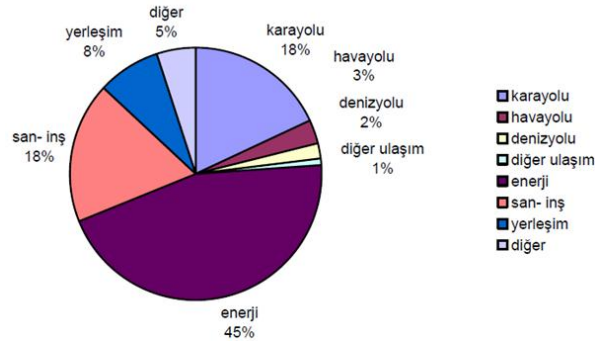
Şekil 2.2 : Dünyada bazı ülkelerin kişi başına enerji tüketimine göre enerji yoğunluğu[3]

2.3. KARBONDİOKSİT EMİSYONU

Güneşten gelen ışınlar atmosferi geçerek yeryüzünün ısınmasını sağlar. Atmosferin içinde, güneşten gelen ısıyı tutma ve ışığı geçirme özelliği olan çeşitli gazlar ve küçük miktarlarda bulunan asal gazlar, yeryüzünün ısı kaybını engeller. Böylece yeryüzündeki suların sıcaklığı dengede kalarak nehirlerin ve okyanusların donması engellenir. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine “Sera etkisi” denir. Dünya’daki

sera etkisine neden olan gazlar %36 – 70 su buharı, %9 – 26 karbondioksit, %4 – 9 metan ve %3 – 7 ile ozon'dur. Sera gazlarının bir kısmı kendi kendine oluşurken, bir kısmı da insanlar tarafından üretilir.[6] İnsanların sebep olduğu sera gazları, fosil yakıtların kullanılması sonucunda atmosfere karışır. Bu gazları içinde en fazla olan karbondioksittir. Karbondioksitin %80 – 85'i fosil yakıtlardan, %15 – 20'si de canlıların solunumu ve mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanır.

Küresel ısınma, dünya genelindeki sıcaklığın giderek artması anlamına gelmektedir. Ortaya çıkan bu sıcaklık artışı ekolojik dengeyi etkileyecek boyutlara ulaşmakta ve iklim sistemi üzerinde ciddi etkiler oluşturmaktadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği, atmosfer içinde doğal olarak bulunan ve sera gazları konsantrasyonlarının değişmesi, buna bağlı olarak da yerkürenin aşırı olarak ısınmaya başlaması ve birtakım ekolojik dengesizliklerin ortaya çıkmasını ifade etmektedir. Sektör bazında karbondioksit salınımı incelendiğinde kuşkusuz ilk sırayı enerji kaynaklı salınımlar almaktadır. Şekil 2.3 de tüm dünyada karbondioksit salınımlarının sektörler bazında oranları ve tahminleri verilmiştir. Karbondioksit salınımlarında enerjinin payı %45, ulaşımın payı ise %24'tür.



Şekil 2.3 : Dünyada CO₂ emisyonlarının sektörlere dağılımı

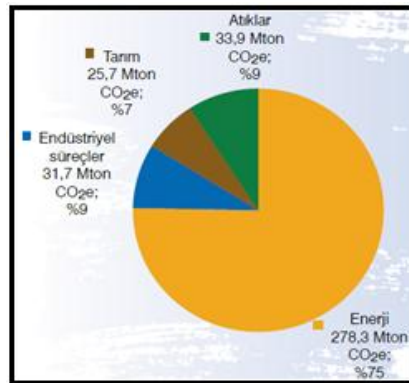
Bir yandan fosil yakıt kullanımının hızla artışı, öte yandan fotosentez için tonlarca karbondioksit harcayan ormanların ve bitkisel planktonların tahribi, atmosferdeki karbondioksit miktarını son 160 bin yılın en yüksek düzeyine çıkarmıştır. Bilim insanlarının son zamanlarda geliştirdikleri matematiksel bilgisayar modellere göre, CO₂ yoğunluğunun iki katına çıkması halinde küresel sıcaklığın 3°C artacağı hesaplanmıştır. Sera gazları içinde karbondioksit, küresel ısınmada % 50 paya sahiptir.

Türkiye karbondioksit salınımında %1.3'lük payla dünyada 13. sırada yer almaktadır. 1990 yılında atmosfere yıllık olarak 187 milyon ton karbondioksit bırakırken, bu miktar 2009 yılında 370 milyon tona yükselmiştir. Şu anda %72.6 oranındaki karbon salınımı artışıyla OECD ülkeleri arasında en yüksek salınım artışına sahip ülke durumundayız.

Tablo 2.2 : Türkiye 1990 – 2007 karbondioksit salınımı sektörlere dağılımı

	1990	1995	2000	2005	2009
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,75	278,33
Endüstriyel İşlemler	15,44	24,21	24,37	28,78	31,69
Tarımsal Faaliyetler	29,78	28,68	27,37	25,84	25,70
Atık	9,68	23,83	32,72	33,52	33,93
Toplam	187,03	237,51	297,01	329,90	369,65
1990 yılına göre artış yüzdesi	-	26,99	58,80	76,39	97,64

Şekil 2.4 de Türkiye'nin 2009 yılında sektörler bazında karbondioksit salınım miktarları ve tüm salınım içindeki payı verilmiştir. Türkiye'de, 2009 yılı CO₂ emisyonunda 1990 yılına göre, enerji sektöründe %114, endüstriyel işlemlerde ise %91 artış gözlenmektedir. 2009 yılında enerji kaynaklı CO₂ emisyonu incelendiğinde, toplam CO₂ emisyonunun %38'i çevrim ve enerji sektöründen kaynaklandığı, %20'si sanayi, %17'si ulaştırma sektörü ve geri kalan %25'sinin ise diğer sektörlerdeki enerji üretiminden kaynaklandığı görülmüştür.



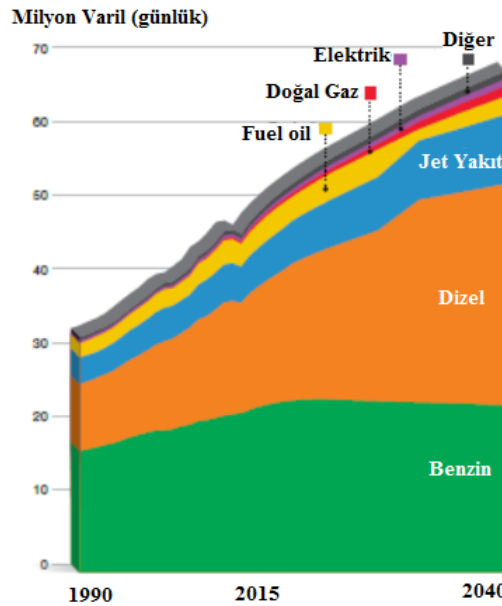
Şekil 2.4 : Türkiye 2009 yılı sektörel toplam sera gazı emisyonları[24]

Emisyon oranlarının yüksek olması ve çevre ile ilgili uluslararası yapılan sözleşmelerde ki hükümlerin yerine getirilmesi için sektör temelli çalışmalara hız verilmesi

gerekmektedir. Aksi takdirde önümüzdeki süreçte ülke olarak anlaşmaların yaptırımlarını ödemek zorunda kalacağız.

2.4. ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Ulaştırma kendi içinde iki alt başlıkta ele alınması gerekir. Birincisi, şehirlerarası, ulusal ve uluslararası ulaşımdır. Bu kapsamda karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığı başlıca alt sektörlerdir. İkinci başlık ise, kent içi ulaşımıdır. Kent içi ulaşımın altında temel türler olarak toplu taşıma, özel araçlı ulaşım ve motorsuz ulaşım olarak tanımlanan bisiklet ve yaya ulaşımı yer almaktadır.

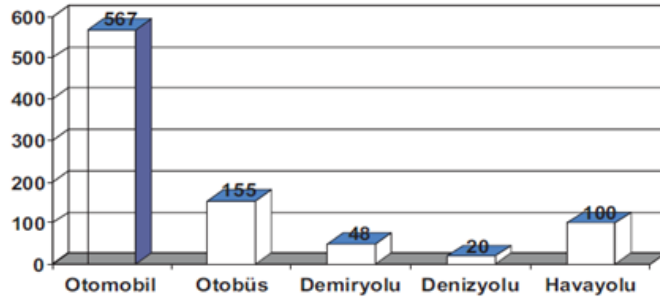


Şekil 2.5 : Dünya da ulaşımda yakıt türüne göre günlük talep ve tahminler[4]

Sektörel olarak incelendiğinde enerji tüketiminde ulaştırmanın payı azımsanamayacak orandadır. Ulusal politikalara, ulaştırma sektöründe verimli enerji kullanımı henüz bir değerlendirme ölçütü olarak dâhil edilmemiştir. Temel amaç olarak ulaştırma sektöründe ekonomik büyümeyi, çevresel gelişmeyi ve enerji güvenliğini birlikte sağlamaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Şekil 2.5 de dünyada günlük yakıt tüketim oranları verilmiştir.

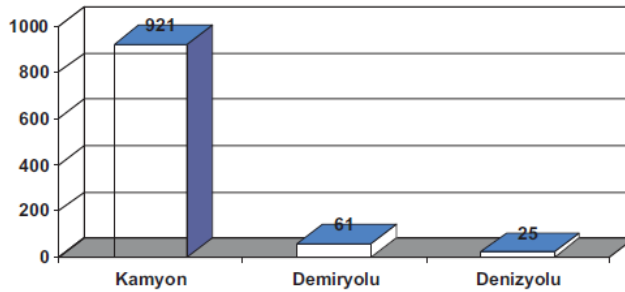
Ulaştırmada enerji verimliliğini etkileyen üç ana faktörden söz edilebilir. Bunlardan birincisi ihtiyacın niteliğidir. Taşınacak olan şeyin mal veya yolcu olmasına göre ortaya

niteliklerle ilgili farklı kavramları da çıkarmaktadır: Şehirlerdeki yerleşim planları, iş alanlarıyla oturma alanları arasındaki yolların özellikleri, yüklerin tam zamanında ulaştırılma zorunlulukları, dağıtım yönetimi bu kavramlara örnek olarak gösterilebilir. İkinci ana faktör, taşıma modudur. Yolcu veya yükün hangi araçla taşındığı enerji verimliliğinde belirleyici bir etkidir. Üçüncü ana faktör ise, aracın karakteristiği ile sürücünün kullanma biçimidir. Aracın karakteristiğini belirleyen başlıca unsurlar arabanın modeli, enerji tüketim ve tasarruf kapasitesi, motor gücü, motor performansı ve bakım durumudur. Ulaştırma enerji verimliliğiyle ilgili strateji oluşturma sürecinde, bütün bu unsurların dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 2.6 : Yolcu taşımacılığında birim nakliyat başına enerji tüketimi (kCal/kişi-km) [18]

“Kentsel kitle taşıma sistemleri, özellikle de tramvay ve metro, daha az enerji harcamakta, çevreyi daha az kirletmekte ve özel araçlara oranla çok daha az kazaya sebebiyet vermektedir. Yük taşımacılığında ise trenler kamyonlara karşı aynı avantajlara sahiptirler.” [18]

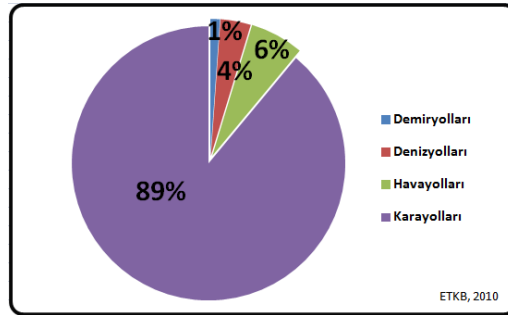


Şekil 2.7: Yük taşımacılığında birim nakliyat başına enerji tüketimi (kCal/ton-km) [18]

Yük ve yolcu taşımacılığında enerji açısından en verimli taşıma tipinin denizyolu ve demiryolu taşıması olduğu Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 de görülmektedir. Demiryolunun yük

taşıma kapasitesi, karayoluna göre yaklaşık olarak 3,5 kat daha yüksektir. Demiryolunda bir yük katarı ile ortalama 1100 ton taşıma yapılabilenken, aynı yükün karayolunda 20 ton kapasiteli tırlar ile yapılırsa 55 adet TIR'ın trafiğe çıkması gerekir. Yük ve yolcu taşımacılığının hızlı, güvenli, konforlu ve ekonomik olması yanında, çevreyi en az kirletmesi, yolcu-km ve ton-km başına tükettiği enerjinin en az olması, bakım-onarım kolaylığı ve yatırım maliyeti ulaştırma türlerinin tercihinde özenle dikkate alınması gereken hususlardır. Enerjide dışa bağımlılığın etkisini azaltmak için özellikle yük ve yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu taşımacılığına yönelmek büyük oranlarda avantaj sağlamaktadır.

Ulaştırma sektörü, ülkemizde toplam enerji tüketimi içerisinde 2010 yılına göre Şekil 1.6 da %20'lik paya sahip olduğu görülmektedir. Yolcu (%95) ve yük (%91) taşımacılığının önemli bölümü karayolu ulaşımıyla sağlanmaktadır. Ülkemizde otobüs ile yolcu taşımacılığında 155 kcal/kisi – km, kamyonla yük taşımacılığında ise 921 kcal/ton – km enerji harcanmaktadır. Şekil 2.8 de 2010 yılında karayolu enerji tüketimi, tüm tüketimin %89 gibi bir oranını oluşturmaktadır.



Şekil 2.8 : Türkiye 2010 yılı enerji tüketimlerinin ulaştırma tiplerine göre dağılımı

2.4.1. Ulaştırmada Karbondioksit Emisyonu

Dünyada ulaştırma sektöründeki artış, tüketilen enerji kadar, enerjinin kaynağı ve tüketim şeklini de önemli kılmaktadır; çünkü karbondioksit emisyonları tüketilen kaynağın tipine göre değişkenlik göstermektedir. Dünyada karbondioksit emisyonunun sektörlere göre dağılımında en yüksek pay % 45 ile enerji sektörüdür ve bu sektörü %24 ile ulaştırma sektörü izlemektedir. Ülkelerin çoğunda özel ve ticari amaçlı karayolu ulaşımı, CO₂ emisyonuna büyük katkı sağlamaktadır. Ancak gelecekte denizyolu,

demiryolu ve havayolu ulaşımındaki büyüme, ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyon oranlarını şekillendirecektir.

Avrupa ülkelerinde sera gazı karbondioksit salınımının %28'i ulaşımdan; bunun ise %84'ü karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır. Havayolu kaynaklı emisyonlar %14, denizyolu %2 olup demiryolunun payı %1'dir. Ulaştırma sektörü tarafından üretilen CO₂ emisyonları, enerji sektörü içerisinde yaklaşık %18 paya sahiptir. Tablo 2.3 de düşük sera gazı emisyonu kaynaklı ulaşım tipinden birisi olan demiryolu ulaşımının etkinleştirilmesi, CO₂ emisyonlarının azaltılması açısından önemlidir.

Tablo 2.3 : Toplu taşıma araçları tipine ve tipine göre kişi başı CO₂ emisyonları (g/km) [16]

Araç Tipi	Toplam CO ₂ Emisyonu	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Emisyonu
Otobüs – Tek Dingilli	670.7	14.0
Otobüs – Çift Dingilli	825.8	15.3
Otobüs – Ortalama	748.2	14.7
Uçak - Yurtdışı	22446.0	82.8
Uçak - Yurtiçi	28122.0	170.4
Deniz Otobüsü	18199.6	40.5
Tren – Dizel	11572.0	38.6
Tren – Elektrikli	8798.0	14.7

Türkiyede ulaştırma sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının toplamı CO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplandığında, 2009 verilerine göre enerji kaynaklı toplam emisyon miktarı %17.2'dir. Ülkemizde karbon emisyonunun oranı gelişmiş ülkelere göre daha düşüktür. Bunun başlıca iki sebebi bulunmaktadır. Birincisi, emisyon yaratan diğer sektörlerde enerji verimliliğini gelişmiş ülkeler arttırmışken, ülkemizde henüz bu sektörlerdeki verimin düşük olması; başka bir deyişle bu sektörlerde de yüksek CO₂ emisyonu olması nedeniyle ulaştırma sektöründeki emisyonun payının toplam emisyonlar içinde göreceli olarak az kalmasıdır. İkincisi ise, gelişmiş ülkelerde hareketlilik, yani kişi başına yapılan yolculuk sayısı ve yolculuğun uzunluğu daha fazlayken; Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde hareketlilik daha azdır. Sektörün toplam enerji tüketiminde payı, birim km'de ki güç ihtiyacının demiryolu ve denizyolu ile mukayese edildiğinde fazlalığı ve çevreye olan olumsuz etkileri dikkate alındığında

konunun önemi açıkça görülmektedir. Ulaştırma sektöründe emisyonları düşürmek için alınabilecek önlemler;

- Toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması
- Hibrit elektrikli araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması
- Araçlarda hafif yapı malzemelerinin kullanımının arttırılması
- Doğrudan enjeksiyonlu benzin ve dizel motorlarının yaygınlaştırılması
 - Enerji verimliliği düşük eski model binek ve nakli araçlar hurdaya çıkarılmalı
- Otomotiv yakıt hücrelerinin geliştirilmesi
- Emisyonların tam yakıt döngüsüyle azaltılması
- Biyoyakıtların kullanımının arttırılması
- Uçak teknolojilerinin geliştirilmesi
- Denizyolu ve demiryolu taşımacılığının yaygınlaştırılması
- Kamyon taşımacılığında, turbo dizel motorlu kamyonların kullanılması
- Ulaştırma sistemlerinin sürdürülebilirliği

3. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ VE VAGONLAR

Raylı sistemler diğer bir adıyla demiryolu sistemleri gelişen dünyada ulaşım sektörünün vazgeçilmezleri arasındadır. Şehiriçi ve şehirlerarası yük ve yolcu taşımada enerji tüketimi, karbondioksit salınımı ve kişi/km taşıma oranları diğer ulaşım sistemlerine kıyasla daha avantajlı olduğu Kısım 2 de vurgulanmıştı.

Raylı sistemlerde vagonların tarihi buharlı lokomotifin 1825 yılında imal edilmesiyle birlikte çekilen vasıta olan vagon imalatı da başlamıştır. İlk yapılan vagonlar dingil basıncı düşük ve ahşap ağırlıklıydı. İlk çelikten vagon, 1904 yılında imal edilmiştir. Çeken vasıta teknolojisinin ilerlemesiyle (Dizel Hidrolik, Dizel Elektrik, Elektrikli Lokomotifler) birlikte demiryolu hatları iyileştirilmiş, vagon dingil basınçları ile birlikte hız da artmıştır. Buna paralel olarak çekilen vasıta teknolojisi de gelişmiş ve değişik tip ve özelliklere sahip vagon imalatları yapılmıştır. Ülkemizde demiryolu sistemlerinin işletmesini yapan TCDD, vagon imalatında dünyadaki gelişmeleri yakından takip ederek, bünyesine uygun imalatları, bağlı ortaklarında yaptırmaktadır.

3.1. VAGONUN GENEL TANIMI VE ÇEŞİTLERİ

Demiryollarında kullanılan yük veya yolcu taşıma araçlarına vagon denir. Vagonlar kendi başına hareket edemeyen, çeken bir araç tarafından hareket ettirilen vasıtalarlardır. Ticari amaçlara uygun olacak şekilde değişik tip ve özellikte vagon imalatları yapılmaktadır. Kullanma amacına göre vagonları iki kısma ayırabiliriz.

3.1.1. Ticari Hizmet Vagonları

Demiryollarında yolcu ve yük taşımak amacıyla imal edilmiş vagonlardır. Yolcu ve yük vagonlarıyla yapılan taşıma hizmetlerine karşılık, belirli bir ücret talep edildiğinden bu vagonlara ticari hizmet vagonu denir.

3.1.1.1. Yolcu Vagonları

Yolcu taşımak amacıyla imal edilmiş vagonlardır. Bu amaca uygun olmak üzere seyahat esnasında insanların birçok ihtiyacını karşılayacak özellikler yolcu vagonlarında bulunmaktadır.

- Konfor ve rahatlık ortamının sağlanmış olması,
- Sarsıntısızlığın sağlanmış olması,
- Isıtma ve havalandırmanın sağlanmış olması,
- Aydınlatmanın sağlanmış olması,
- Yeme, içme ve yatma ihtiyaçlarını karşılayacak tesislerin olması,
- Sıhhi ihtiyaçları giderecek tesislerin bulunmuş olması,
- Vagondan vagona geçişin olması,
- Sürat ve emniyetin olması



Resim 3.1: Çeşitli vagon tipleri

Yolcu Vagon Çeşitleri;

1. Kompartımanlı vagon (A, B,AB)
2. Kuşetli vagon (Ac)
3. Yataklı vagon (WLAB, WLBR)
4. Pulman vagon (WSP, WSPDlm)
5. Yemekli Vagon (ARm, WR, WSPR)

6. Banliyö vagonu (A-Banliyö, Bm-Banliyö, BDm-Banliyö)
7. Salon vagonu (Salon)
8. Yolcu furgonu (D)
9. Posta vagonu (Post)
10. Özel Vagonlar

3.1.1.2. Yük Vagonları

Taşınacık yükün cinsine göre değişik tip ve özelliklerde inşa edilmiş vagonlardır. Yükün emniyetli bir şekilde taşınilmesi için, dış hava şartlarından zarar görebilecek veya etkilenebilecek yükler için kapalı tip, dış hava şartlarından etkilenmeyecek biçimde taşınacık yükler için ise açık olmak üzere çok değişik tip ve özelliklerde vagon imalatı yapılmıştır. Yükün doldurulup boşaltılması kapasitesi gibi özellikler de düşünülerek iki dingilli, bojili ve çok dingilli olarak imal edilmiş çekilen vasıtalaradır.

3.1.2. İdari Hizmet Vagonları

Demiryolu işletmesinin kendi taşımalarını ve hizmetlerini yerine getirmek amacıyla inşa ettiği ve kullandığı vagonlardır. Bu vagonlar kullandıkları hizmetler ve park yerlerine göre tahsis edilmişlerdir. Nereye ve hangi işletmeye ait ise ancak o işyerinin kullanması gerekir. Salon, servis, iş treni, liman, yk-yolcu furgonu, ısıtma, akaryakıt sarnıcı, p, balast vagonu gibi eşitleri vardır.

3.1.3. Diğer Kurumlara Ait Vagonlar

TCDD'ye ait olmayan, diğer özel veya tüzel şahışlara ait olan vagonlardır. 3. şahışlara ait vagonlar, muayene ve denemelerini takiben TCDD ile vagon sahipleri arasında imzalanan sözleşmelerin yürürlük tarihinden itibaren TCDD hatlarında işletmeye başlanır ve vagonlara TCDD'ce belirlenen numara ve işaretler konulur. şeker Fabrikaları, Petrol Ofisi, MSB, MKE, Karayolları Genel Müdürlüğü, TGSAş, TüPRAş, TEKEL, ETİBANK, TMO gibi kuruluşlara ait vagonlardır.

4. AYDINLATMA TEMELLERİ VE TÜRLERİ

4.1. AYDINLATMA

CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) tarafından “nesnelere, bunların çevrelerine ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine görülebilmeleri amacıyla ışık uygulaması” olarak tanımlanır. (Sirel 1984, Ünver 2005). Aydınlatmanın amacı, sadece karanlığı ortadan kaldırıp, görünürlüğü sağlamak için rastgele bir ışık uygulaması yapmak değil, insanların çeşitli gereksinimlerine yardımcı olmak, görsel algılama için gerekli koşulları sağlamak ve aydınlatma konusunun özelliklerine göre mimari ve sanatsal anlamda da iyi görüntüler oluşturmaktır. Bunu gerçekleştirebilmek için aydınlatma tasarımcısının hangi amaçla aydınlatma yapacağını bilmesi gerekir. İyi bir aydınlatmanın sağladığı yararlar;

- Gözün görme yeteneği artar ve sağlığı korunur
- Güvenlik sağlanır ve kazalar azalır
- Yapılan işin verimi yükselir
- Estetik hislere ve konfor gereksinimine yanıt verilir

4.1.1. Amaçları Bakımından Aydınlatma

Fizyolojik Aydınlatma: Cisimleri şekil, renk ve ayrıntıları ile rahat ve hızlı bir şekilde görebilmektir.

Dekoratif Aydınlatma: Görülmesi istenen cisimleri bütün ayrıntıları ile değil de daha çok estetik etkiler uyandırmaktır.

Dikkati Çeken Aydınlatma: Bu tür aydınlatmada amaç dikkati çekmek, yani reklam yapmaktır. Bunun için yüksek aydınlık düzeyleri, renkli ışıklar, değişken ışıklı şekiller ve yanıp sönen düzenler kullanılır.

4.1.2. Işık Kaynağının Türüne Göre Aydınlatma

4.1.2.1. Direkt (Dolaysız) Aydınlatma

Işığın direkt olarak çalışma yüzeyine yönlendirildiği aydınlatma türüdür. Aydınlatma aracı, ışığı dar ve geniş olarak yönlendirebilecek şekilde yapılmıştır.

4.1.2.2. Yarı Direkt Aydınlatma

Işığın bir bölümünün direkt olarak çalışma yüzeyine bir bölümünün çevreye dağılmasını sağlayan aydınlatma türüdür.

4.1.2.3. Karma Aydınlatma

Işığın aydınlatma aracından her yöne eşit olarak dağıtıldığı aydınlatma türüdür. Kamaşma olayının en az değerde olması nedeniyle uygulamada çok kullanılmaktadır.

4.1.2.4. Yarı Endirekt Aydınlatma

Işık akısının büyük bir bölümünün tavana, bir kısmının da çalışma yüzeyine doğru yönlendirildiği aydınlatma türüdür.

4.1.2.5. Endirekt (Dolaylı) Aydınlatma

Işığın tamamının tavana yönlendirildiği aydınlatma türüdür.

İyi bir aydınlatma için aydınlatma kaynağının dışında vazgeçilmez unsurlar vardır.

- Işığın niteliği
- Tekdüze aydınlatma
- Durağan aydınlatma
- Gözün kamaşmaması
- Yüzeye gölge düşümü
- Parlamalar
- Renk uyumu

4.2. AYDINLATMA TERİMLERİ

4.2.1. Işık

Yaydığı ışınlar ile gözün ağtabakasını etkileyerek görmeyi sağlayan özel bir enerjidir. Görme sistemine ait bütün algılama ve hissetmelerin tümü için kullanılabilir. Işık,

elektromanyetik dalga spektrumunda 380 nm ile 780 nm arasındaki bölgede kalan ve insan gözünde görme duyumu uyandıran radyasyonlardır. Işık, belli bir yayılma hızına, frekansa ve dalga boyuna sahiptir.

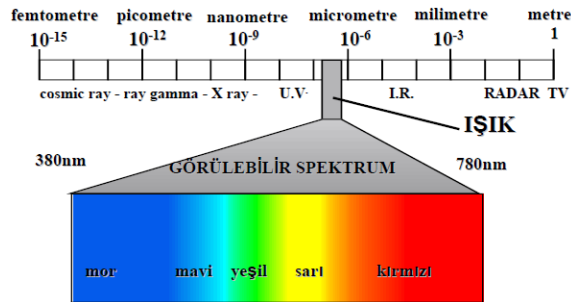
- Frekans: Dalga boyu ile ters orantılıdır, insan gözü bu özelliği renk olarak algılar.
- Şiddet: Işığın genliğidir, insan gözü tarafından parlaklık olarak algılanır.
- Polarite: Titreşim açısidir, normal şartlarda insan gözü tarafından algılanmaz.

4.2.2. Renk

Renk, ışığın gözün retinasına ulaşması ile ortaya çıkan bir algılamadır. Bu algılama, ışığın maddeler üzerine çarpması ve kısmen soğurulup kısmen yansımaları nedeniyle çeşitlilik gösterir ki bunlar renk tonu veya renk olarak adlandırılır. Tüm dalga boyları birden aynı anda gözümüze ulaşırsa beyaz, hiç ulaşmazsa siyah olarak algılarız.

Tablo 4.1: Renklerin dalga boyu radyasyon aralıkları

Renkler	Dalga Boyu Radyasyon Aralığı
Ultraviyole	100 – 380 nm
Mor	380 – 450 nm
Mavi	450 – 500 nm
Yeşil	500 – 570 nm
Sarı	570 – 590 nm
Turuncu	590 – 650 nm
Kırmızı	650 – 780 nm
Kızılötesi	780-10.000 nm



Şekil 4.1: Gözün Işığı görebildiği elektromanyetik dalga boyu aralığı

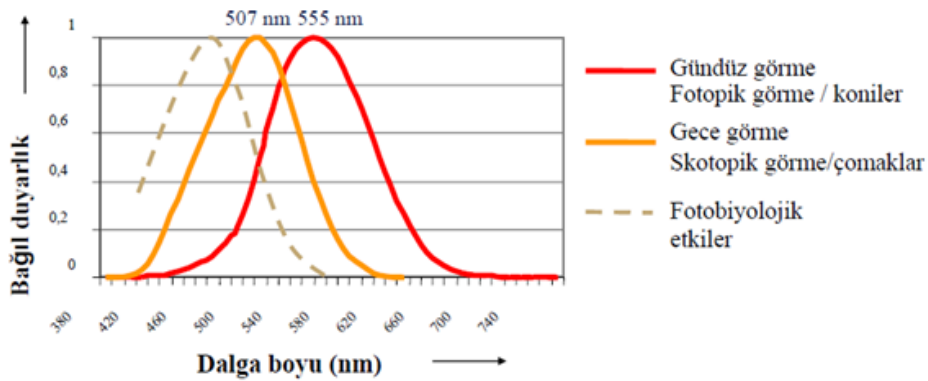
4.2.3. Gözün Yapısı ve Görme Olayı

Görme duyusu organımız olan göz, en yoğun enerji kullanan dokuları barındırır ve bilgilerin %80'ini görme yolu ile elde edilir. Beyin, ağırlığının %60'ını görme ve görmenin yorumlanması için kullanmaktadır. Görme fonksiyonu birbirini tamamlayan işlevler bütünüdür ve görme olayı ışığın göze gelmesiyle başlar.

Gözün ağ tabakasında yutulan ışık, impulslar veya kimyasal tepkileri meydana getirir. Işık enerjisi, saydam ortamlardan geçip fotokimyasal değişikliğe uğrayarak, sinir iletimine dönüşümünü göz organında tamamlar. Işık, şekil, hacim, derinlik, kontrast, renk, hareket ve bunlara bağlı psikolojik etkiler görülür, kaydedilir, yorumlanır, anlam kazanır ve tekrar tam veya yarım görüldüğünde hatırlanabilir. İyi görme durumu belli kriterlere bağlanarak tanımlanır.

- Görülmesi gereken en ufak parçaları ve ayrıntıları kolayca görebilmek
- Yüzey biçimlerini, iki ve üç boyutlu dokuları doğru algılayabilmek
- Devingenliği, doğrultu, yön, hız, ivme vb. tüm özellikleri ile doğru algılayabilmek
- Renkleri doğru görebilmek ve en ufak renk ayrımlarını da algılayabilmek
- Görsel algılamayı, zorlanmadan, rahat bir biçimde uzun süre sürdürebilmek

Görme olayı belli spektral duyarlılıkta olmaktadır. Çünkü göz tüm radyasyonlara karşı aynı derecede duyarlı değildir. Işığın spektrumu renklere göre farklılık göstermektedir. Gözün maksimum duyarlılığı 555 nm'dir.



Şekil 4.2: CIE'ye göre aydınlık ve karanlık spektral duyarlılık eğrileri

Gözün fonksiyonları gelen ışığın şiddetine bağlıdır. Görme olayı, görme alanı parıltısına bağlı olarak üç bölümde incelenebilir.

Skotopik Görme: Bakış doğrultusu dışında kalan cisimler, bakış doğrultusundakilere göre daha rahat fark edilirler. Bunun nedeni parıltı düzeylerindeki görmeyi üstlenmiş olan çomakların göz içersindeki dağılımlarıdır. Skotopik görmede renk duyumu yoktur.

Mezopik Görme: Aydınlık düzeyi arttıkça, bakış doğrultusundaki görme düzelir. Renk duyumu başlar ve aydınlık düzeyinin yükselmesi ile artar.

Fotopik Görme: Görme alanı parıltılı 10 cd/m^2 'nin üzerine çıktığında, görme olayı artık tamamen koniler tarafından üstlenilir ve parıltının artmasından etkilenmez. Fotopik görme renklidir.

Görme olayının ilk ve son aşamalarda, yani uyarımın görme sinirlerine ulaşma zamanı ile beyine varıp görsel duyuma dönüşme zamanı arasındaki farka *farketme hızı* denir. İlk aşamada kullanılan zaman, uyarımın şiddeti ile son aşamada kullanılan zaman ise uyarımın şekli ve kişinin o andaki konsantrasyonu ile değişebilir. Farketme hızını yükseltmek için görme alanı parıltısını yüksek ve gözlenen cisim ile çevresi arasındaki kontrastı büyük tutmak gerekir. Farketme hızı, reaksiyon zamanını etkilediğinden çalışma emniyeti bakımından büyük önem taşır.

4.2.4. Uzak Açısı

Uzak açı, içerisinden belirli bir ışık akısı geçen koni veya piramit şeklindeki uzak parçasına denir “ Ω ” ile gösterilir ve birimi str’dır. 1m^2 ’lik düzlemi gören uzak açının değeri 1 stradyan olarak tanımlanır.

4.2.5. Işık Şiddeti

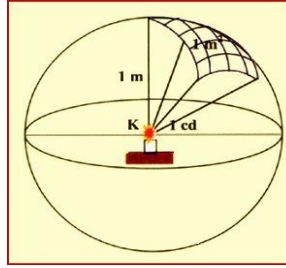
Noktasal bir ışık kaynağının belirli bir doğrultuda birim uzak açı içinden yayılan ışık akısının, uzak açıya bölümü olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, ışık şiddeti, birim zamanda belli bir doğrultuda yayılan ışığın yoğunluğu ile tanımlanır. “I” ile gösterilir. Birimi “candela” ve “cd” ile gösterilir.

$$I = \Phi / \Omega , \quad \text{Birimi: candela (cd)} \quad (4.1)$$

4.2.6. Işık Akısı

Işık kaynağının birim zamanda yaydığı, gözü etkileyen toplam ışık miktarıdır. Görme yönünden tanımını, ışık kaynağından çıkan ve gözün gündüz görmesine ait spektral duyarlık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısıdır. Işınımın parlaklık duygusu uyandırma yeteneğini temsil eder. Işık akısı “ Φ ” ile gösterilir ve birimi ise “lumen” dir.

$$\Phi = I \times \Omega, \quad \text{Birimi: lumen (lm)} \quad (4.2)$$



Şekil 4.3 : Işık akısı ve lumen

Teorik olarak 1 cd şiddetinde noktasal bir ışık kaynağı 12,57 lm ışık akısı sağlayabilir, ancak gerçek ışık kaynakları düzgün dağılımlı ışık sağlayamaz. Işık kaynaklarının şebekeden çektikleri güç ile yaydıkları ışık akısı arasında orana *etkinlik faktörü* denir.

$$\text{Etkinlik Faktörü} = \text{Işık Akısı} / \text{Güç}, \quad \text{Birimi: lm/W} \quad (4.3)$$

4.2.7. Aydınlık Düzeyi

Aydınlık düzeyi, bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen ışık akısı miktarıdır. Aydınlık düzeyi “E” ile gösterilir. Birimi “lüks”tür.

$$E = \Phi / S, \quad \text{Birimi: lux} \quad (4.4)$$

Örneğin, bulutsuz bir gününde öğle vakti aydınlık düzeyi “100000 lx” ise parçalı bulutlu havada bu değer “10000 lx” ya da akşam ay ışığında “0.25 lx” olabilir. Yani aynı alanda ışık akısının değişimi ile aydınlık düzeyi de değişmektedir. Yapılan işin türü, o iş için gerekli olan aydınlatma düzeyini belirlemektedir. Bilim adamı Weston (1949) tarafından işin boyutlarına ve zayıf, orta ve yüksek olmak üzere üç ayrı kontrasta göre, çeşitli aydınlatma şiddetleri önerilmiştir. (Tablo 4.2)

Tablo 4.2 : Işın boyutlarına ve kontrasta göre gerekli aydınlık düzeyleri (lx) (Weston 1949)

Cismin Büyüklüğü	Zayıf Kontrast	Orta Kontrast	Yüksek Kontrast
Pek çok Küçük	3000 – 2000	10000 – 7000	30000 – 20000
Çok Küçük	1500 – 1000	4500 – 3000	15000 – 10000
Küçük	700 – 500	2000 – 1500	7000 – 5000
Küçükçe	300 – 200	1000 – 700	3000 – 2000
Orta	150 – 100	500 – 300	1500 – 1000
Büyük	70 – 50	200 – 150	700 – 500

4.2.8. Parıltı (Lüminans)

Parıltı, yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddeti ile ilgili bir kavramdır. İnsan gözünü rahatsız edecek düzeydeki parlaklık olarak algılanır. Parıltı görsel “gürültü”dür ve kamaşmaya neden olur. Parıltı “L” ile gösterilir. Yüzeyler aynı aydınlık düzeyi ile aydınlatılmış olsalar bile, eğer farklı yansıtma özelliklerine sahipse, parıltıları da farklı olacaktır. Parıltı ikiye ayrılır.

$$L = I / S, \quad \text{Birimi: cd/m}^2 \quad (4.5)$$

4.2.8.1. Direkt Parıltı

Uygunsuz ve yanlış monte edilen armatürlerin aşırı ışımasından kaynaklanan parıltıdır. Armatürden başlayan ışık huzmesinin yayılma açısı 45° de kritik duruma gelmektedir.

4.2.8.2. Yansımali Parıltı

Gün ışığından kaynaklanan, lambaların veya armatürlerin meydana getirdiği yansımalar ile mekânlarda kullanılan malzemelerin ışığı yansıtmasından kaynaklanan parıltıdır. Aydınlatma armatürlerinin yanlış seçilmesi ve gereğinden fazla güçte ve sayıda kullanılması, normal parıltıda algılanacak cisimlerin algılanamamasına neden olur.

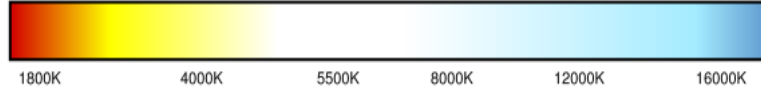
4.2.9. Işık Miktarı

Belli bir etki süresi için bir kaynaktan çıkan toplam ışık akısı olarak tanımlanır. “Q” ile gösterilir. Birimi “lumen x saniye” veya “lumen x saat”tir.

$$Q = \Phi \times t \quad (4.6)$$

4.2.10. Renk Sıcaklığı

Renk sıcaklığı, siyah bir kütlenin belirli bir renkte ışık vermesi için ısıtılması gereken sıcaklıktır ve birimi Kelvin'dir. Düşük renk sıcaklığı kırmızı/sarı tonlarında daha sıcak renkleri, yüksek renk sıcaklığı da mavi tonlarını ifade eder. Renk sıcaklığı insan psikolojisi üzerinde etkilidir.



Şekil 4.4 : Renk sıcaklıkları skalası

Tablo 4.3 : Lamba renk sıcaklıklarına göre ışık kaynağı renk görünümü

Isı Değeri	Görünüm	Flüoresan Görünümü
3300 K'dan düşük ısı	Sıcak beyaz renkli görünüm (ww)	
3300 K – 5300 K arası	Orta (doğal) beyaz renkli görünüm(nw)	
5300 K'dan büyük	Gün ışığı beyaz renkli görünüm (tw)	

Genel aydınlatmada lamba renkleri üç ana grupta toplanmıştır . (Tablo 4.3) Işık kaynağı farklılaştıkça, kaynağın renk görünümünde duyuşal olarak farklılaşır. Bu farklılaşmayı net olarak algılayabilmek için farklı aydınlık düzeylerinde kaynaklar incelenmelidir.

4.2.11. Renksel Geriverim (Ra)

Işığın renksel geriverimi, renkleri gerçek renklerine yakın gösterme özelliğidir. “Ra” ile gösterilir ve 0 ile 100 arasında bir değerle ifade edilir. Ra = 100 değerine sahip bir ışık kaynağı tüm renkleri, referans ışık kaynağı altındaki gibi optimal gösterir.

4.2.12. Kontrast

Karşılaştırılacak iki aydınlık düzeyi arasındaki parlıtlı farkının, düşük olan parlıtlı değerine bölünmesiyle elde edilir.Kontrast “C” ile gösterilir.

$$C = (L_{\max} - L_{\min})/L_{\min} \quad (4.7)$$

Yüksek Kontrast: Beyaz veya beyaza yakın renkli fon üzerine siyah işaretler.

Orta Kontrast: Gri ton üzerine siyah işaretler.

Zayıf Kontrast: Siyaha yakın veya siyah fon üzerine siyah işaretler. (H.C. Weston 1949)

Kontrast duyarlılığı, gözün belirli parıltılara sahip iki komşu cismin parıltıları arasındaki farkı seçebilme yeteneğine denir. Görme alanı parıltısı düştükçe kontrast duyarlılığı azalır. Görme alanı parıltısı dışında, gözlenen cismin büyüklüğüne de bağlıdır. Görme alanı içindeki yüzeylerin yansıtma katsayılarının ortalama 0,5 olduğu düşünülürse, en iyi görme bölgesi aydınlık düzeyi cinsinden 600 ile 30000 lx arasında kalır.[12]

4.2.13. Verim

Aydınlatma sistemlerinde verim veya kullanma (etkinlik) faktörü olarak adlandırılır. Harcanan elektriksel gücün, hangi ekonomik düzeyde ışığa dönüştüğünün bir göstergesidir. Çalışma düzlemine düşen ışık akısının ışık kaynaklarından çıkan toplam ışık akısına oranıdır ve “ η ” ile gösterilir. Verim aydınlatma hesaplarında oldukça yoğun kullanılır. Çünkü verimi etkileyen faktörlerin değişmesi, ortam şartlarındaki değişiklik doğrudan aydınlatmayı etkilemekte ve kayıpların temelini oluşturmaktadır.

$$\eta = \Phi / \Phi_{toplam} \quad (4.8)$$

Ayrıca verim, aydınlatma aygıtının verimi “ η_{ayg} ” ile oda veriminin “ η_{oda} ” çarpımına eşittir.

$$\eta_{ayg} = \Phi_{ayg} / \Phi_{toplam} \quad (4.9)$$

$$\eta_{oda} = \Phi / \Phi_{ayg} \quad (4.10)$$

$$\eta = \eta_{ayg} \times \eta_{oda} \quad (4.11)$$

Aygıt verimi doğrudan seçilen aydınlatma aygıtına, oda verimi ise odanın geometrik boyutlarına, duvar ve tavan yansıtma faktörlerine, dolayısıyla renklerine, aydınlatma aygıtlarının ışık dağılım eğrilerine, çalışma düzlemine göre yüksekliğine ve yerleşim şekillerine bağlıdır. Tablo 4.4 de aydınlatma sisteminin verimi değişkenlere göre çıkarılmıştır.

Tablo 4.4 : Yansıtma oranlarına göre aydınlatma verim tablosu [22]

Floresan lambalı tesisat	ρ_T %		70			50			30		
	ρ_D %		50	30	10	50	30	10	50	30	10
Aydınlatma sistemi	η_{ayg} %	k	Aydınlatma Verimi η								
Yarı – Endirekt	50	1,0	0.14	0.12	0.10	0.12	0.10	0.091	0.10	0.088	0.077
		1,2	0.16	0.14	0.12	0.14	0.12	0.11	0.12	0.10	0.091
		1,5	0.19	0.17	0.15	0.16	0.15	0.13	0.14	0.12	0.11
		2,0	0.23	0.21	0.19	0.19	0.18	0.16	0.16	0.15	0.11
		2,5	0.26	0.24	0.22	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16
	75	3	0.28	0.26	0.24	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17
		4	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.21	0.20	0.20
		5	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.26	0.23	0.22	0.21
		6	0.34	0.33	0.32	0.29	0.28	0.27	0.24	0.23	0.22
		8	0.36	0.35	0.34	0.30	0.30	0.29	0.25	0.25	0.24
	25	10	0.37	0.36	0.36	0.32	0.31	0.30	0.26	0.26	0.25

Tablo 4.5: Yansıtma oranlarına göre oda aydınlatma verim tablosu

TAVAN	0.80				0.50				0.30	
DUVAR	0.50		0.30		0.50		0.30		0.10	0.30
ZEMİN	0.30	0.10	0.30	0.10	0.30	0.10	0.30	0.10	0.10	0.10
Oda İndeksi $k = \frac{axb}{hx(a+b)}$	ODA VERİMİ (η)									
0.60	0.24	0.23	0.18	0.18	0.20	0.19	0.15	0.15	0.12	0.15
0.80	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.24	0.20	0.19	0.16	0.17
1.00	0.36	0.33	0.29	0.28	0.29	0.28	0.24	0.23	0.20	0.20
1.25	0.41	0.38	0.34	0.32	0.33	0.31	0.28	0.27	0.24	0.24
1.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.26
2.00	0.51	0.46	0.45	0.41	0.41	0.38	0.37	0.35	0.31	0.30
2.50	0.56	0.49	0.50	0.45	0.45	0.41	0.41	0.38	0.35	0.34
3.00	0.59	0.52	0.54	0.48	0.47	0.43	0.43	0.40	0.38	0.36
4.00	0.63	0.55	0.58	0.51	0.50	0.46	0.47	0.44	0.41	0.39
5.00	0.66	0.57	0.62	0.54	0.53	0.48	0.50	0.46	0.44	0.40

Oda yüzeylerinin yansıtma oranlarının renk karşılığı;

0.80: Çok açık (beyaz, saman rengi, kemik rengi, açık mavi, açık yeşil)

0.50: Açık (kavuniçi, sarı bej, turuncu)

0.30: Orta (gök mavisi, çimen yeşili)

0.10: Koyu (koyu mavi, deniz mavisi, koyu yeşil, koyu gri)

Tabloda hesaplanmış olan aygıt verimlilik değerinin dışında bir verime sahip kaynak kullanılmışsa, buna η'_{ayg} diyelim. Bu durumda tablodaki aydınlatma verimi (η'_{ayg}/η_{ayg}) faktörü ile çarpılır.

4.2.14. Kirlenme Faktörü

Kirlenme faktörü, ışık kaynaklarının kullanıldıkları süreye göre bakım zamanları ve aydınlatma tipi temel alınarak kaynaktaki değişimleri belirleyen bir katsayıdır. Kirlenme faktörü (d) harfi ile gösterilir. Yeni kurulmuş bir sistemin kirlenme faktörü 1'dir.

Tablo 4.6: Kirlenme (bakım) faktörü (d)

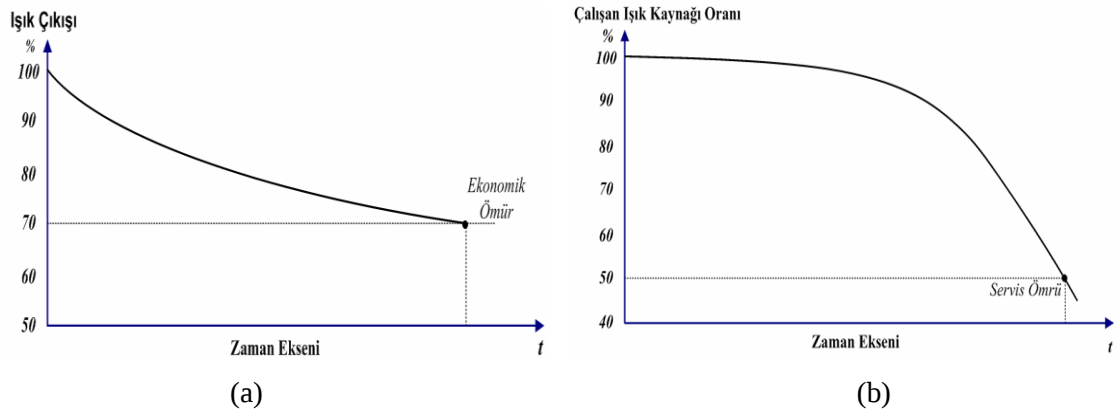
Armatür Cinsi	Aydınlatma Tipi	Temizleme Süresi			Kirlenme Durumu
		1 YIL	2 YIL	3 YIL	
Akkor Flamanlı Lamba	Direkt	1,35	1,55	-	Normal Kirlenme
		1,65	2,15	-	Çok Kirlenme
	Yarı Direkt	1,25	1,40	-	Az Kirlenme
		1,45	1,80	-	Normal Kirlenme
	Karışık	1,25	1,40	-	Az Kirlenme
		1,45	1,80	-	Normal Kirlenme
	Yarı Endirekt	1,35	1,55	-	Az Kirlenme
		1,65	2,15	-	Normal Kirlenme
	Endirekt	1,35	1,55	-	Az Kirlenme
		1,65	2,15	-	Normal Kirlenme
Floresan Lamba	Direkt	1,40	1,70	1,90	Normal Kirlenme
		1,85	2,55	3,10	Çok Kirlenme
	Yarı Direkt	1,25	1,40	1,55	Az Kirlenme
		1,45	1,80	2,06	Normal Kirlenme
	Karışık	1,35	1,55	1,75	Az Kirlenme
		1,65	2,15	2,50	Normal Kirlenme
	Endirekt	1,25	1,45	-	Az Kirlenme

4.2.15. Ömür

Standart çalışma koşullarında lambanın ortalama kullanım süresine lamba ömrü denir. Lamba ömrünü, şebeke gerilimindeki dalgalanmalar, toz, nem, sarsıntı, açma-kapama sıklığı, ortam sıcaklığı, kullanılan starter, balast gibi elemanların özellikleri etkiler.

Ekonomik Ömür: İstatistiksel bakımdan değerlendirmeye yetecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, kaynakların 100 saat kullanımdan sonraki toplam ışık akısının yaklaşık % 30 değer kaybetmesi için geçen süredir.

Ortalama Ömür: İstatistiksel bakımdan değerlendirmeye yetecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, normal şartlarda lambaların % 50' sinin kullanılmaz hale gelmesi için geçen süredir.



Şekil 4.5: (a) Lamba ekonomik ömür grafiği, (b) Lamba ortalama ömür grafiği[21]

4.3. AYDINLATMANIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ VE ÖNERİLER

4.3.1. Aydınlatma Sistemlerinin İnsan Sağlığına Etkileri

Doğru ışık, gözü yormayan, kamaşma yaratmayan, ortama ve ortamda aydınlatılacak objelere uygun renkte olan, kullanım amacına uygun ışık kaynakları ile elde edilen ışıktır. Aydınlatma, belli bir aydınlık düzeyi elde etmek için değil, iyi görme koşullarının sağlanması için yapılmalıdır. Optimal aydınlatma koşullarında, yapılan eylemler daha verimli yapılacağı gibi, göz sağlığı ve görme netliği de korunur. Aydınlatmanın görsel etkisinin yanında, ortamdaki kişilerin kendini iyi hissetmesi, moralinin yüksek olması ve yorgunluk hissetmemesi gibi biyolojik ve psikolojik etkileri

de vardır. İyi aydınlatma verimi arttırırken, kötü aydınlatma göz yorgunluğuna neden olarak verimi önemli ölçüde düşürür. Farklı renk özellikli ışık kaynaklarıyla sıcak ve huzurlu bir atmosfer yaratılabileceği gibi, uyarıcı, çalışmaya teşvik edici etkiler de oluşturulabilir.

Göz uzmanları özellikle ışığın göze direkt olarak gelmesinden kaçınılması gerektiğini vurgular. Bundan dolayı aydınlatmada işlevsel aydınlatmanın yapılması doğrudur. Işıklı ortamlarda göz bebekleri küçülür. Göz bebeklerinin sürekli küçük tutulması beyine ekstra yük olur, beyin de bu ekstra yüke baş ağrısı ile cevap verebilir. Işığa hassasiyet bünyeler arasında değişiklik gösterir ve migren ataklarını tetikleyebilir. Işık kaynakları ortamı ısıttıklarından gözlerde kuruluğa neden olabilir. Göz kuruluğu gözde kızarıklık, batma ve kum varmış gibi takılmalara sebep olacağı gibi kuruluğun sebep olduğu iritasyon tepkisel olarak gözlerde yaşarma oluşturur. Parlaklık görmeyi azaltarak, baş ağrısı ve yorgunluk yapar. Görsel aygıtlardan kaynaklanan stres görsel ve sinirsel olarak iki farklı tipte yorgunluk yaratır. Görsel yorgunluk gözlerde sulanma, çift görme, baş ağrısı, uyum gücünde azalma ve algılama hızında azalmaya sebep olur.

Bu belirtiler, aydınlatmanın yeterli olmadığı zaman ortaya çıkar. Yanlışların tekrarlanması ile artar ve sonunda sinirsel yorgunluğa dönüşür. Sinirsel yorgunluklar, reaksiyon sürelerinin uzamasına, hareketlerin yavaşlamasına psikolojik ve diğer motor fonksiyonların bozulmasına neden olur. Olumsuz koşullar devam ederse, kronik yorgunluk oluşur ve bunun sonucunda; neşesizlik ve halsizlik, baş ağrısı ve baş dönmesi, uykusuzluk ve iştahsızlık gibi hisler oluşur.

4.3.2. Faydalı Aydınlatma İçin Öneriler

İnsan sağlığına en az zararı verecek bir aydınlatma sistemi tasarlamak için bazı hususlara dikkat edilmelidir.

- Televizyon ve bilgisayar gibi çok ışıklı ekranlarda ortam ışığı dengelenmelidir.
- Gün ışığı rengine yakın kaynaklar kullanılmalıdır.
- Işığın direkt aynasal yansıma yapan kısmının, göze gelmesi engellenmelidir.
- Çalışılan yüzeyde aşırı gölgelerin oluşmamasına dikkat edilmelidir.
- Aydınlatma sabit olmalı, yani ışık kaynağı titreşim yapmamalıdır.

- Okul çağındaki çocukların göz sağlıklarını korumak ve etkili çalışmaları için aydınlık düzeyi homojen oluşturulmalı, ortam bileşenleri ve çalışma masaları aydınlık olmalı ve ışığın doğrudan göze yansımaları engellenmelidir. (Sirel, 1992)
- Göz, çalışma yüzeyinde farklı aydınlık düzeylerine uyum sağlamak için yoğun çaba harcar ve yorulur. Homojenliği sağlamak için yaygın ışınlar veren ışık kaynaklarının kullanılması ve kaynakların birbirine yakın yerleştirilmesi gerekir.
- Ortamlar arasında aynı ton ışığı kullanmaya özen gösterilmelidir.
- Genel aydınlatmada kaynaklar mümkün olduğunca yükseğe yerleştirilmelidir.
- Genel aydınlatmada, iki lamba arasındaki uzaklık, lambaların çalışma yüzeyine olan yüksekliğiyle orantılı olmalıdır.
- Kurşun kalemle yapılan çalışmalarda önden gelen ışınlar parazit yansımalar oluşturur, kurşun kalem iziyle beyaz kâğıt arasındaki kontrastı azaltarak, bazen tamamen ortadan kaldırarak görmeyi önemli ölçüde aksatır.
- Kitap okuma bölümlerinde, ışık okuma yüzeyine eğik ve kullanıcının gözünü almayacak şekilde, tercihen arkadan veya arka yanlardan gelmelidir.
- Başucu aydınlatmasında kamaşmayı önlemek için ışık kaynağı görünmemelidir.
- Dinlenme bölümlerinde oturma kısmı ve sehpalar bölgesel aydınlatma ile aydınlatılırsa gözler daha az yorulur.
- Aydınlatma kaynakları ışığın geliş yönü ve yayıldığı alan, doğru şekilde yönlendirilmeli ve etki ettiği cisimlere göre ayarlanarak göze gelmemeli ve ışık lekeleri oluşturmayacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Aydınlatmanın zararları konusunda bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır.

4.4. IŞIK KAYNAKLARI ve AYDINLATMA ELEMANLARI

İlk zamanlarda yalnızca ışık elde etmek olan amaç, daha çeşitli ve daha ucuz ışık elde etmeye yöneldiğinden, aydınlatmanın niceliği ve boyutu üzerine çalışmalar, hesap yöntemleri, ölçme konuları ağırlık kazanmış ve aydınlatma tekniği gelişmeye başlamıştır. Aydınlatma tekniğindeki gelişmeler yalnızca görme değil, iyi görme koşullarının sağlanması için aydınlığın niceliği yanında nitelik konusunu da gündeme getirmiştir. Aydınlatma elemanı seçimi yapılırken, kullanılacağı yerin özellikleri, etkin ömürleri, sıcaklıkları, renk algıları, görme üzerindeki etkileri vb. yönlerde incelenerek, ortam şartları ve ihtiyaca göre seçim yapılmalıdır.

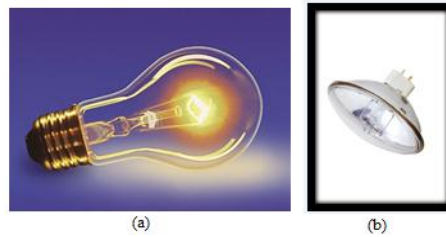
Tablo 4.7 : Aydınlatma ışık kaynakları ve türleri

İşık Kaynak Tipi	Türü
Akkor Flamanlı Lambalar	Normal akkor flamanlı lambalar
	Akkor halojen flamanlı lambalar
Floresan Lambalar	Normal floresan lambalar
	Enerji tasarruflu(kompakt) floresan lambalar
Gazlı Deşarjlı Lambalar	Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar
	Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar
	QL İndüksiyon lambaları
	Neon lambalar
	Metal halide lambalar
LED	
Fiber Optik Kablolarla Aydınlatma	

4.4.1. Akkor Flamanlı Lambalar

4.4.1.1. Normal Akkor Flamanlı Lambalar

Cam gövde ve yüksek dirençli flamandan oluşan en eski elektrikli ışık kaynaklarındandır. Tungsten telden yapılmış flaman üzerinden akım akıtılarak, telin akkor dereceye kızartılması sonucu ışık üretirler. Renksel geriverimlerini yüksek fakat ışıksal geriverimleri düşüktür. Flaman ısısını dağıtmak ve sarımların ark yapmasını engellemek için içi argon-azot gaz karışımı ile doldurulur. Işık akısı gerilim artışına göre artar fakat nominal değerlerin üzerine çıktığında ark oluşarak lamba ömrü azalır.



Resim 4.1: (a) Normal Akkor Flamanlı Lamba, (b) Halojen Akkor Flamanlı Lamba

4.4.1.2. Akkor Halojen Flamanlı Lambalar

Akkor halojen lamba, akkor lambanın içindeki gaz karışımına iyot grubu “halojen gazların” eklenmesi ile oluşturulmuş lambadır. Lamba içindeki gaz molekülleri tungsten

teli yenileyerek daha yüksek sıcaklığa çıkmasını sağlar. Aynı güçteki akkor lambaya göre ışık verimi ve renk sıcaklığı daha yüksektir. Lamba sıcaklık değeri yüksek olduğundan boyutları küçük ve ısıya daha dayanıklı camlardan yapılır.

4.4.2. Floresan Lambalar

4.4.2.1. Normal Floresan Lambalar

Floresan lambalar alçak basınçlı cıva buharlı lamba sınıfına girer ve çalışmaları için balast ve starter gibi yardımcı elemanlara ihtiyaç duyulur. Floresan lambalar elektriksel boşalmayla ışık açığa çıkarır. Lamba elektrotlarından yayılan elektronlar, tüp içerisinde hareket ederken, ortamda ki cıva atomlarının elektronlarıyla çarpışır. Cıva atomlarının elektronları bu çarpışmanın etkisiyle yörüngelerinden çıkar ve tekrar yörüngelerine dönerken UV ışınım yayır. Lambanın iç yüzeyinde bulunan fosfor kristalleri yayılan ışınımı görünür ışığa dönüştürür.

Floresan lambaların verimi, lamba içindeki madde miktarı ve gücüyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Bunun nedeni büyük güçlü lambalarda elektrotları optimum sıcaklıkta tutmak için gereken gücün küçük güçteki lambalara oranla daha düşük olmasıdır. Yani lambanın çektiği akım, verimi etkileyerek etkinlik faktörünün düşmesini sağlar. Ortam sıcaklığı ve çevresel ısı değişimleri, lamba içerisindeki cıva buharının basıncında ve buna bağlı olarak yayılan ışık akısında değişimlere neden olur. Floresan lambaların aydınlatmasında kullanılan balast ve yardımcı elemanların kalitesi, lambanın toplam ışık akısını etkiler. Floresan lambalarda ısı kayıpları düşüktür ve lambaların etkinlik faktörü 45-200 lm/W arasında değişir.

Floresan lambaların ömrünü etkileyen en önemli faktör açma/kapama sıklığıdır. Çünkü ateşleme süresince flamanlar üzerinden geçen yol alma akımı bu lambaların ciddi bir şekilde yıpranmasına neden olur. Lambaların ömürleri genellikle açma/kapama ortalamasının 3 katı alınarak verilir. Yüksek frekanslı balast kullanımı ve ateşleme yapısı lamba ömrünü artırır.

4.4.2.2. Enerji Tasarruflu Floresan Lambalar (Kompakt)

Kompakt floresan lambalar, normal ve soket duylu olarak üretilir, daha az yer kaplar ve normal floresan lambaların fonksiyonlarını taşırlar. Cıva buharı, elektrotlar arasındaki elektrik alanı tarafından görünmeyen mor ötesi ışınlarını göndermesiyle

uyarılırlar. Camın iç tarafında bulunan maddeler bu ışığı görünür hâle getirir. Kompakt floresanlar çalışmak için gerekli olan yardımcı elemanları kendi bünyelerinde bulundurarak, doğrudan şebekeye bağlanırlar.



Resim 4.2 : (a) Normal Floresan Lamba, (b) Enerji Tasarruflu Floresan Lamba (Kompakt)

4.4.3. Gazlı Deşarjlı Lambalar

4.4.3.1. Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı Lambalar

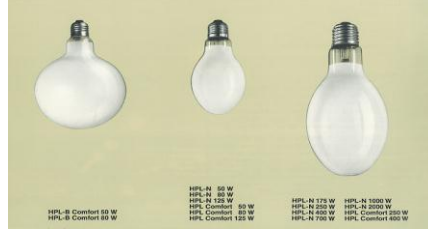
Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar, deşarj esaslı lamba sınıfındadır. Işığı, dolaylı ya da dolaysız olarak cıva buharının ışıınımı ile oluşmuş olan, yanma durumundaki kısmi buhar basıncı 100000 pascal'ın üzerine çıkan lamba türüdür. Bu lambalar yüksek sıcaklıklarda çalıştıklarından dolayı, deşarj tüpü, mor ötesi ve görünür ışınların bir kısmını yutan kuvars camdan yapılır. Deşarj tüpünün içinde damıtılmış cıva ve az miktarda asal gaz bulunur. Ayrıca parlamaları ve oksitlenmeyi önleyecek argon ya da argon azot karışımı bir gazda lamba içinde bulunur.

Bu lambalarda ana ve yardımcı olmak üzere iki elektrot yapısı vardır. Yardımcı elektrot ateşlemeyi başlatırken, ana elektrot ise deşarjın devamlılığını sağlar. Lambanın çalıştırılmasıyla birlikte elektrotlar arasındaki bölgede gaz iyonize olmaya başlar ve deşarj tüpündeki gazın direncinin düşmesiyle deşarj başlar. Lambaların ışık tayfı belirli dalga boylarında yoğunlaşır. Sarı, yeşil, mavi, mor ve kırmızı ışığın üretilmez. Işık akısı 1800 – 58500 lm, renk sıcaklıkları 2900 – 4200 K ve gücü 50 – 1000 W arasındadır.

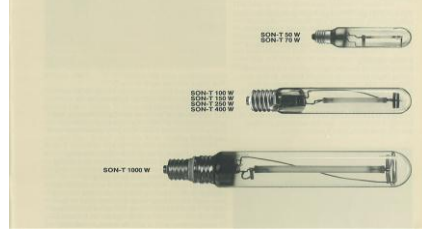
4.4.3.2. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, sıcak katotlu, alçak basınçlı ve alçak gerilimle çalışan deşarj lambalardır. Bu lambalar balast üzerinden devreye bağlanır. Soğuk sodyum katı halde olduğundan dolayı sıcaklığın arttırılması ile yanar. Tüp içerisindeki sodyum gazı ışımanın büyük bir kısmını gerçekleştirirken, kolay iyonize olma özelliğine sahip ksenon gazı sayesinde ateşlemeyi kolaylaştırır. Tüpün içerisinde

gaz basıncını ve lamba çalışma gerilimini düzenleyen cıvada bulunur. Dimmerlenme özelliği olan bu lambalar çalışırken ısınırlar ve ışık tayfları düzgün fakat süreksizdir.



Resim 4.3 : Cıva Buharlı Lambalar



Resim 4.4 : Sodyum Buharlı Lambalar

4.4.3.3. QL İndüksiyon Lambaları

QL indüksiyon lambaları, indüksiyon bobininin cıva buharında deşarj oluşumunu tetiklemesi sonucu ışık üretir. Lamba içerisinde elektrot veya flaman yapısı bulunmadığından, lamba ömrü diğer deşarj lambalara oranla daha yüksektir. İndüksiyon bobini 2,65 MHz frekansla çalışır ve diğer deşarj lambalarından farklı olarak dalga algılama etkisi yoktur. Yüksek frekanslı çalışmasından dolayı stroboskopik etkiler oluşturmaz. Çalışmaya başlama süresi ortam sıcaklığına bağlı olmaksızın 0.1 saniyedir. QL lambaların boyutları küçük ama çıkış akısı büyüktür. 55 W gücündeki QL55 lambanın çıkış akısı 3.500 lm, 85 W gücündeki QL85 lambanın çıkış akısı 6.000 lm'dir.

4.4.3.4. Neon Lambalar

Neon lambalar, soğuk katotlu gazlı lambalardır. Bu lambalar uç gerilimleri belirli bir gerilim değerine ulaştığında, devrelerinde kullanılan tristör ve ya triyaklar ile tetiklenir. Bu nedenle neon lambasının çalışma gerilimleri ve verdiği ışıklar, lambanın içerisine konulan gaza ve elektrotlar arasındaki mesafeye bağlıdır. Neon gazı yaklaşık 21,5 voltta iyonize olur ve sarı ışık verir. Ancak lambanın içerisinde argon gazı varsa bu gaz yaklaşık 15,7 voltta iyonize olur ve mavi ışık verir.



Resim 4.5 : QL İndüksiyon Lamba



Resim 4.6 : Neon Lamba

4.4.3.5. *Metalik Halojenürlü (Halide) Lambalar*

Metalik halojenürlü lamba, yaydığı ışığın büyük bölümünün bir metal buharı ve halojenür ayrışması ürünleri karışımının ışınlımından oluşan, yüksek şiddetli boşalmalı lambalarıdır. Deşarj tüpünün içerisine belli oranda cıva, metal tuzları ile birlikte neon-argon veya kripton-argon karışımları bulunur. Bu lambaların elektrotları yapılarına bağlı olarak farklılık gösterir. Elipsoit yapıda olan lambalarda yardımcı elektrot bulunmazken diğer tüm modellerde iki ana bir yardımcı elektrot bulunur. Elektrot yapısı, tungsten çubuk ucuna sarılmış elektrot yayıcı madde emdirilmiş tungsten teldir. Lambaların iç yüzeyi renksel verimi yükseltmek ve ışık kaynağının ışıklılığını azaltmak amacıyla beyaz renkte ışık yayıcı fosforla kaplanmaktadır.

Metalik halojenürlü lambalar ateşleme için yüksek gerilime ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı bu lambalar ateşleyiciyle birlikte kullanılır. Lambaların rejime girmesi 3 – 5 dakika ve tekrar ateşleme için 5 – 15 dakikalık bir sürenin geçmesi gerekir. Lambaların bazı modellerinde duy yapısı nedeniyle sıcak ateşleme yapılamaz. Fakat çift ayaklı metalik halojenürlü lamba modellerinde 35 – 50 kV'lık ateşleyiciyle birlikte kullanıldıkları için sıcak ateşleme yapılabilir. Sık açma-kapama lamba ömrünü azaltır. Ayrıca gerilim değişimleri ışık rengini değiştirir ve lamba ömrüne olumsuz etki eder. Lamba renk sıcaklığı 3000 – 5600 K ve ışık akısı 19.000 - 200.000 lm arasında değişir.



Resim 4.7 : Metal Halojenürlü (halide) Lamba

4.4.4. LED (Işık Yayan Diyotlar)

Işık yayan diyotlar, doğru yönde gerilim uygulandığında ışıyan, yani elektriksel enerjiyi ışık enerjisi haline dönüştüren özel katkı maddeli PN diyotlardır. Aydınlatma sektöründe, kullanıcı ve tasarımcılara oldukça geniş kullanım kolaylığı sağlayan bir aydınlatma elamanıdır. Avantajlarından dolayı aydınlatmada sürekli artan bir kullanım alanı vardır. Enerji sarfiyatları oldukça düşük, boyutları küçük, ışık verimliliği yüksek

ve renk seçeneği geniştir. LED'lerin ışık çıkış hızı nano saniyeler mertebesinde. Şok ve titreşimlere dayanıklı ve cam, flaman gibi kırılabilir elemanların kullanımına da ihtiyaç yoktur. LED lambalarda doğru akım kullandığından dolayı sessiz çalışırlar. Ayrıca yapısında cıva gibi ağır metaller ve halojen gazları içermediğinden çevre kirliliğine neden olmaz. Titreşimsiz yanma sağlarlar ve dışarıya ısı yaymazlar.



Resim 4.8 : LED lambalar

LED teknolojisinin verimli yanlarının yanı sıra bazı sınırlamaları da vardır. Bunların arasında elektrostatik boşalmalara karşı duyarlılık, 1,7 ile 3,6 V arasında (renge bağlı olarak) besleme gerilimi zorunluluğu ve kutuplu olma özellikleri sayılabilir. Bunlara ek olarak normalde beyaz ışık kaynağı olarak kullanılır, renkler dalga boyu ayarları ile sağlanır ve çalışma sıcaklığı -25°C ile 85°C arasında kalmalıdır.

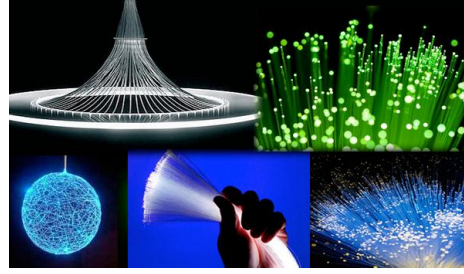
Tablo 4.8: Renklerine göre LED ışık kaynaklarının özellikleri

Renk	Işık Etkinliği	Çalışma Gerilimi	Çalışma Sıcaklığı	Dalga Boyu
Kırmızı	45 lm/W	1,8 V – 15 mA	$-25^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$	$610 < \lambda < 760$
Sarı	35 lm/W	2 V – 15 mA	$-25^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$	$570 < \lambda < 590$
Yeşil	18 lm/W	2,2 V – 15 mA	$-25^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$	$500 < \lambda < 570$
Mavi	8 lm/W	3 V – 30 mA	$-25^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$	$450 < \lambda < 500$
Beyaz	18 – 25 lm/W	3 V – 30 mA	$-25^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$	Geniş Spektrum

4.4.5. Fiber Optik Kablolarla Aydınlatma

Fiber optik aydınlatma, bir ışık üreticisinden elde edilen ışığın istenilen bölgeye ışık taşıyan fiber optik kablolar aracılığıyla taşınmasıdır. Kendi başına bir ışık kaynağı olmamasına rağmen, aydınlatma sektörüne oldukça kolaylıklar getiren bir yöntemdir. Geleneksel aydınlatmadan farkı; ışık kaynağının uzakta konumlandırılması ve ışığın

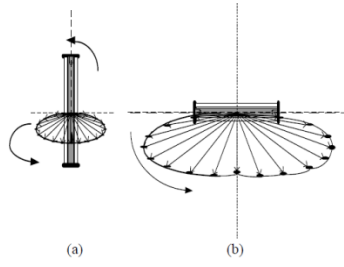
fiber kablolar ile taşınmasıdır. Böylece kaynağı uzak bir noktada olan ışık ısı taşımamış olur. Ulaşılması zor noktalarda veya bakımın çok masraflı hatta imkânsız olduğu noktalarda etkili ve tek çözümdür. Çalışma prensibi temel optik kurallarına dayanır. Bir ışın demeti az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken geliş açısına bağlı olarak yansması mantığına dayanır. Kablolar sadece ışık taşır, elektrik akımı taşımaz. Nemli ve soğuk ortamlarda, aydınlatmanın elektrik riski taşınması istenmeyen yerlerde güvenle kullanılır. Işık kaynağında üretilen ve fiber optik kablolar ile taşınan ışık soğuk olduğu için yakınındaki canlılara ya da malzemelere zarar vermez. Dış ortamlarda, insanların ve diğer canlıların birebir temasının olduğu yerlerde güvenle kullanılabilir.



Resim 4.9 : Şerit fiber optik örnekleri

4.5. AYDINLATMA ARMATÜRLERİ

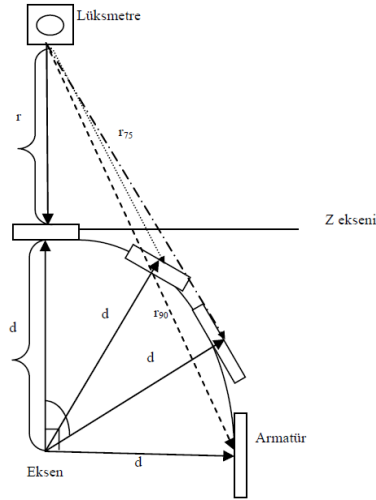
Aydınlatmada, lambaların bir veya birden çoğunu bünyesinde taşıyan, lambalara dekoratif bir görünüm veren ve olumsuz dış etkilerden koruyan elemanlardır. Bazı ışık kaynakları zorunlu olarak, bazıları da ihtiyaç ve ortam şartlarından dolayı armatürlerle birlikte kullanılır. Bunun dışında armatürler, lambaları fiziksel olarak korudukları gibi, kamaşmayı önler. Ayrıca göz kamaştırıcı ışık kaynağının parıltısını normal seviyelere indirmektedir. Armatürlerin en önemli özelliği, ışık kaynağından çıkan ışık dağılımını kontrol etmek ve verimini arttırmaktır. Yapılarında ışığı geçirici ve yansıtıcı filtreler bulunur. Işığı geçiren ve yansıtan malzemeler aynı zamanda ışığı yutarlar. Yutma kaybı malzemenin kalınlığından etkilenir. Armatürler lambaya ait elektrik devrelerini muhafaza ederler. Armatürlerin ışık kaynağına göre sistem üzerindeki davranışı goniofotometre cihazı ile ölçülür. Goniofotometre ışık kaynağı veya fotometrik başlıktan birinin sabit, diğerinin düzenli olarak yaptığı hareketler ile ışık kaynağının ışık şiddet dağılımının incelenmesi için kullanılan sistemdir[8].



Şekil 4.6 : Doğrusal armatürün konum-ışık şiddet eğrileri[11]

Armatür ve fotometrik başlık arasında uzaklık goniofotometre ölçümü sırasında değişmektedir. Bu değişimi doğru yapabilmek için goniofotometre kolu ve armatürün dönmesinden kaynaklanan uzaklıklar hesaplanır. Şekil 4.7 de ölçümde kullanılan goniofotometrenin armatür bağlantı kolu d ile ve armatür ile fotometrik başlık arası uzaklık r ile gösterilmiştir. Sistem ölçümler sırasında d yarıçaplı dairesel bir hareket yaparak ışık kaynağının davranışı belirlenir.

$$r_{\alpha} = (r^l + d)^2 + d^2 - 2(r^l + d).d.\cos \alpha \quad (4.12)$$

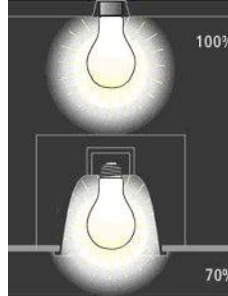


Şekil 4.7 : Armatür ile lüksmetre arasındaki uzaklığın değişimi[11]

Yukarıdaki değişimler lüksmetreden alınan aydınlık düzeyi armatürün kaynakla yapmış olduğu açı değeri alınarak aydınlık şiddetti aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$I = Er^2/\cos \mathcal{E}_2 \Omega_0 \quad (4.13)$$

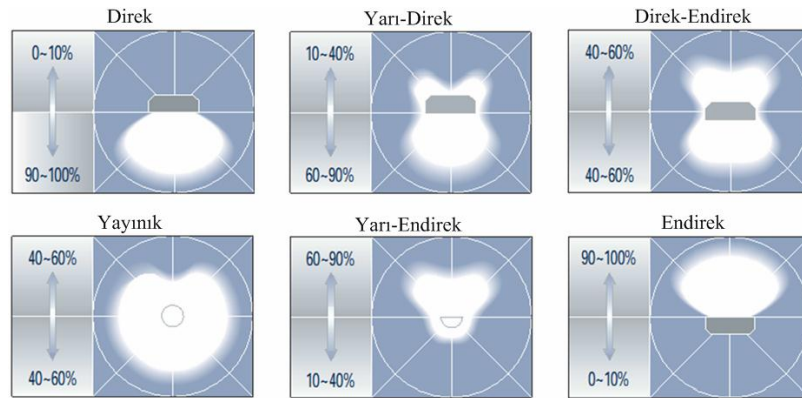
Bu eşitlikte E lüksmetrenin ölçtüğü aydınlık düzeyini (lux), r ölçüm uzaklığı (m), $\mathcal{E}_2$ geliş açısını, Ω katı açıyı belirtir. Alınan aydınlık şiddeti değerleri ışık abağı üzerine aktarılarak armatürlerin aydınlatma sistemindeki etkisi incelenir.



Şekil 4.8: Armatür verim örneği [21]

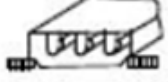
Armatürlerin kullandıkları yer ve ışık şiddetini kontrol etme bakımından sınıflandırılırlar. Armatürlerin yer bakımından iç ve dış aydınlatma armatürleri olarak ikiye ayrılır. Dış aydınlatma armatürleri yol, dekoratif ve tünel aydınlatması armatürleridir. İç aydınlatma armatürleri ise direkt, yarı direkt, karma, endirekt ve yarı endirekt armatürler olmak üzere beşe ayrılır. Armatürler ışık şiddetini kontrol etme bakımından optik aydınlatma ve ışığı dağıtıcı aydınlatma armatürleri olarak sınıflandırılırlar.

Aydınlatmada enerji verimliliği çalışmalarında armatürlerin etkileri yadsınamayacak oranda önemlidir. Aydınlatma tipine göre armatür verimi Şekil 4.9 da verilmiştir.



Şekil 4.9: İç aydınlatma armatürleri ve verimleri[21]

Tablo 4.9: Bazı aydınlatma tipleri için armatür verimi

Reflektörsüz Aydınlatma	Reflektör Aydınlatma	Tekne Aydınlatma	Kafesli Aydınlatma	Tavana Gömme Aydınlatma
				
$\eta_L = \%90$	$\eta_L = \%70$	$\eta_L = \%65$	$\eta_L = \%60$	$\eta_L = \%45$

4.5. BALAST

Balastlar, deşarj lambalarının akımını sınırlamaya veya ayarlamaya yarayan lamba ile şebeke arasına bağlanan cihazlardır. İdeal bir floresan lamba balastı, elektron yayılımını sağlamak için flamanları ısıtmak, deşarjı başlatmak için gerekli olan başlama gerilimini sağlamak ve çalışma anında çalışma akımını doğru değerinde sınırlamak gibi işlevleri sağlamaktadır. Endüktif ve elektronik olmak üzere iki çeşit balast vardır.

4.5.1. Endüktif Balast ve Starter

Endüktif balastlarda, bir demir cevheri etrafına alüminyum veya bakır tel sarılıdır. 50 Hz de çalışırlar ve endüktif balastla çalışan bir devreye 220 V şebeke gerilimi uygulandığında lamba, tüpün gerilimi 300 V civarında olduğundan dolayı lamba yanmaya başlamaz. Bundan dolayı lambanın çalışabilmesi için ek bir elemana ihtiyaç duyulur. Starter bu görevi yerine getiren otomatik anahtarlardır. Starter uçlarına şebeke gerilimi uygulandığında birbirine yakın bulunan elektronları arasında ısıtılı bir deşarj başlar. Bu sırada deşarj akımı artar ve elektrotlar ısınır birbirine değeri. Starterin kısa devre olması ile birlikte devreden florsan lambanın flamanlarını kızgın hale getiren yüksek bir akım geçer. Elektrotların kapanması ile ark kesilir ve elektrotlar soğumaya başlar. Soğuyan elektrotlar açılarak, ilk hallerine dönerler. Starter devresinin açılması ile birlikte balastta indüklenen gerilimden dolayı lamba tutuşur. Eğer lamba yanmaz ise lamba yanana kadar bu işlem tekrarlanır. Deşarj bir kez başladıktan sonra sönmez ve balast lamba gerilimini ve akımını belli bir seviyede tutar. Lambanın çalışma gerilimi starterin çalışma geriliminden daha küçük olduğundan starter açık devre olarak kalır.

4.5.2. Elektronik Balast

Elektronik balastlar, lambanın titreme ve gürültüsünü azaltan endüktif balastlara göre daha yüksek frekansta çalışırlar. Elektronik balastlar, endüktif balastlardan %25 daha az elektrik kullanırlar. Elektronik balastın endüktif balastlara göre avantajları;

- Lambanın ve tüm aydınlatma sisteminin etkinlik faktörünü artırır.
- Işık titreşimini ve stroboskopik olayları önler.
- Startersiz olması nedeniyle 150 V'tan daha düşük gerilimlerde dahi lambanın ani ateşlenmesini sağlar.
- Güç faktörünü yükseltir ve kompanzasyona gerek yoktur.
- Işık akısının istenilen oranda azaltılıp çoğaltılmasına imkan tanır.
- Sıcaklık yükselmesi az olduğundan ısı kayıpları da azalır.
- Uğultu ve vızıltı gibi gürültüleri olmaz.
- Bir balastla iki lamba çalıştırılabilir ve doğru gerilimle beslenebilirler.



Resim 4.10: Endüktif Balast



Resim 4.11: Elektronik Balast

5. VAGONLARDA AYDINLATMA

Raylı sistemlerde aydınlatmanın geçmişi 1825 yılında ilk lokomotif trenin gerçekleştirilmesi ile başlamıştır. Trenlerde ilk zamanlarda aydınlatma için çıra, mum veya gaz lambaları kullanılmaktaydı. Daha sonra aydınlatmanın önemi anlaşılarak Lüks lambaları kullanılmaya başlanmıştır. Fakat lüks lambaların veriminin %97'si ısıya dönüşmekte ve sarsıntılardan dolayı ışık veren flamanlarda sıklıkla kopmaktalar oluşturmaktaydı. Elektrik teknolojinin uygulama alanında kullanılmaya başlanmasıyla, trenlerde elektrikli aydınlatmaya geçilmiştir. Vagon aydınlatması için oldukça verimsiz akümülatör bataryaları kullanılmıştır. Akümülatörlerin tren hareket halindeyken deşarj olmasının önüne geçebilmek için trenlere sadece akümülatör bataryalarının yüklü olduğu bir vagon eklenmiştir. Fakat bu trene ayrı bir yük oluşturmalarının yanı sıra, akümülatörlerde deşarj problemi gündeme gelmiştir. Lokomotifin buhar gücünden yararlanılarak, dıştan yanmalı bir motorun termik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülerek, trenin tüm ışıklandırması sürekli olacak şekilde sağlanmıştır. Fakat yeni sorun, lokomotifin trene bağlı olmaması ya da soğuk olması durumunda, trenin aydınlatma sisteminin devre dışı olmasıydı. Akümülatör bataryalarında enerjinin daha verimli depolanması sağlanarak, trenlerin aydınlatması için sürekli enerji sağlanmıştır. Enerji verimliliği aslında bu noktada başlamıştır diyebiliriz. Çünkü tren hareket edince, trenin hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve ihtiyaç fazlası enerji şarj regülatörleriyle akümülatör bataryalarında depolanarak, tren durduğu zamanlarda aydınlatma amacıyla kullanılmıştır. Vagon aydınlatma sistemleri birbirinden ve lokomotiften bağımsız yapılmaktadır.

5.1. TVS 2000 PULMAN VAGON ve AYDINLATMASI

Artık üretimi yapılmayan, fakat TCDD bünyesinde yoğun kullanımı devam eden TVS 2000 pulman vagonların aydınlatma sistemleri incelenerek sistemde ki armatürler, ışık kaynakları, yerleşim şekilleri, balastlar vb. resimlenerek, alt başlıklarda eklenmiştir.

5.1.1. Salon Aydınlatması

Vagonların salon kısmında, üreticiler tarafından tüm vagon tasarımı dikkate alınarak, kendi tasarımları olan armatürler kullanılmaktadır. Bundan dolayı bu armatürlerin goniofotometre ile ışık açısı izlenimlerini yaparak ışık yayılım grafiğini çıkarmak mümkün değildir. Salon aydınlatmasında 24 V DC ve 220 V AC olmak üzere iki tip aydınlatma kaynağı kullanılmaktadır. Salon aydınlatmasında kullanılan armatürler raf üzeri ve yatayla yaklaşık 25° açıyla tavana endirekt floresan aydınlatma armatürleri ve yine yatayla yaklaşık 80° açı yapacak şekilde tavana yarı-endirekt kompakt floresan aydınlatma armatürleri kullanılmaktadır (Resim 5.1).



Resim 5.1: TVS 2000 Pulman Vagon salon aydınlatması (24 V DC ve 220 V AC)

5.1.1.1. 24 V DC Aydınlatma

TVS 2000 pulman tipi yolcu vagonlarının, yolcu salonu bölmesinde her bir pencereye 3 adet olmak üzere toplam 66 adet 20 W'lık kafes tipi DC floresan lambalar özel bir armatür üzerine monte edilmiştir.



Resim 5.2: TVS 2000 Pulman vagon özel armatürü

Bu armatürlerle salon içinde endirekt aydınlatma yapılmaktadır. Endirekt aydınlatmayla amaç, yolcuların doğrudan ışıktan etkilenmemeleri ve konfor sağlamaktır. Yolcuları rahatsız etmeyecek aydınlık düzeyi elde edilmek istenmektedir. Işık cam hizasından tavan yüzeyinden ortama yayıldığı için koridor ve koltuk bölmelerindeki düzgünlük

faktörü de iyileştirilmiştir. Vagon E2 elektrik dolabından 24 V DC ile beslenen bu lambalar 3 ayrı devrede toplanmıştır. Vagon kaynaklarının korunması ve arıza tespiti kolaylığı sağlanması amacıyla, her floresanın besleme kablosu ışıklı ve sigortalı klemensler aracılığıyla doğrudan elektrik panosuna iletilmiştir.



Resim 5.3: Vagon 24 V DC aydınlatma armatürünün iç görünüşü

Salon aydınlatması için kullanılan armatürler vagon tavanından yaklaşık 42 cm aşağıda ve kullanılan floresan balastları 8 – 10 W enerji tüketmektedir. Ayrıca bu aydınlatmada vagon el kitabında belirtilen 20 W floresanın yerine 18 W floresanlar kullanılmaktadır.



Resim 5.4: Salon 24 V DC aydınlatmada kullanılan balastlar

5.1.1.2. 220 V AC Aydınlatma

TVS 2000 pulman tipi vagonların salon kısımlarında ayrıca, her bir raf kolu sportu üzerinde toplam 24 adet 220 V AC, 1 faz, 50 Hz ile beslenen 7 W gücünde U-tipi kompakt floresan lambalar kullanılmaktadır. Bu lambaların beslemesi E1 dolabından yapılmakta olup, her lambanın besleme kablosu eksiz olarak doğrudan elektrik dolabı üzerinden ışıklı ve sigortalı klemenslere bağlıdır. Bu aydınlatma kaynağı için Pelsan Balast 5911-303 cosinus değerlerine göre 7–9–11 W gücünde balast kullanılmaktadır. Üreticinin kendi tasarımı olan armatürlerde, ışık kaynağı tavandan 33 cm aşağıdadır.



Resim 5.5: Salon 220 V AC aydınlatma armatürü, kompakt floresan ve balastı

5.1.2. Sahanlık Aydınlatması

TVS 2000 serisi pulman tipi yolcu vagonlarının sahanlık kısımlarında, her bir giriş kapısı için 1 adet 24 V DC beslemeli 20 W'lık tekne tipi floresan armatürleri kullanılmıştır. Böylece sahanlık başına 2 adet olmak üzere, her vagona toplam 4 adet sahanlık lambası ve armatürü bulunmaktadır.



Resim 5.6: Vagon sahanlık aydınlatması (24 V DC 20 W)

Vagon incelemesinde sahanlıkta 20 W floresan lambalar yerine Osram 60 cm L18 W 765 floresanlar kullanıldığı belirlenmiştir. Balast olarak Tüvasaş üretimi maksimum 10 W güç tüketen balastlar kullanılmaktadır. Direkt tavandan aydınlatma yapılmakta ve armatür yerden yükseklik 203 cm'dir.

Sahanlıkta ERA EFA21G1.P serisi aydınlatma armatürü kullanılmaktadır. Bu armatürler salonda kullanılan armatürlere nazaran daha verimli yansıtma özelliği

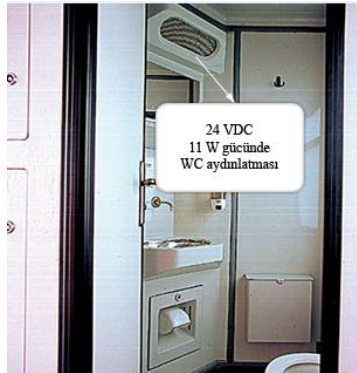
göstermektedir. Armatür teknik özelliklerine göre ısı dağılımı yüksek, plastik kapaklı, alüminyum profil şasi ve yüksek verimli bir armatürdür.



Resim 5.7: Vagon sahanlık aydınlatma armatürü ve içyapısı

5.1.3. Tuvalet Aydınlatması

Vagonun her iki baş tarafında bulunan tuvaletlerde, 24 V DC beslemeli 11 W, incelemede 8 W gücünde U-tipi floresan lambalar kullanılmaktadır. Bu lambalar ayna üzerine monte edilmiş olup elektriksel devrelenmesi E2 elektrik dolabından yapılmaktadır.



Resim 5.8: Vagon tuvalet aydınlatması (24 V DC 11 W)

TVS 2000 pulman vagonlarda yapılan incelemelerde, tuvalet ölçüleri 112 cm x 115 cm, yüksekliği 203 cm ve armatür tavan arası 10 cm'dir.



Resim 5.9: TVS 2000 pulman vagon tuvalet armatürü

Aydınlatma armatürü olarak ERA ve YILKA YFA-2482 2x8 W 0.70 A 145x376x43 mm armatürler kullanılmaktadır. Vagon el kitabında belirtilen 11 W T5 tipi floresanlar yerine, ışık kaynağı olarak HOROZ 8W T5 White 28-30 cmx2 floresanlardan kullanılmaktadır. Armatür verimi üretici tarafından %90 olarak verilmektedir.



Resim 5.10: Vagon tuvalet aydınlatma armatürü içyapısı

5.1.4. Vagon Son Işıkları

Vagonun her iki baş tarafında 2 adet toplamda 4 adet 40 W'lık akkor lambalar ile sağlanmaktadır. Devrenin anahtarlamaşı vagonun sadece tek tarafındaki lambaları devreye sokmaya müsaade eden bir seçici anahtar üzerinden yapılmaktadır. İncelemelerde el kitabında belirtilen 40 W'lık akkor flamanlı lambalar yerine PERIUM 25 W küçük akkor lambaların kullanıldığı belirlenmiştir.



Resim 5.11: Vagon son ışıklarında kullanılan armatür yapısı ve akkor lamba

5.1.5. Okuma Lambaları

Yolcu vagonunun salon bölümünde, raf boy profili üzerine yerleştirilmiş ve her yolcuya ayrı ayrı hitap eden 60 adet okuma lambası bulunmaktadır. Bu lambalar özel bir alüminyum gövdeye monte edilmiş ve ışık kaynağı olarak 12 V, 20 W gücünde halojen lambalar kullanılmaktadır. Lambaların 12 V beslemesi raf kolu içine yerleştirilmiş 220/12 V elektronik transformatör üzerinden temin edilmektedir.



Resim 5.12: Vagon raf üzeri okuma lambaları

Işık kaynağı olarak OSRAM DECOSTER 35S 12V 20 W Germany 739 halojen lambalar kullanılmaktadır. Transformatör olarak 12 V ve 220 V için maksimum 50 – 60 W HALOLUX ETR 60 F Electronic Transformer kullanılmaktadır.



Resim 5.13: Okuma armatürü içyapısı ve transformatör

5.1.6. Yön Gösterge (İstikamet) Tabelaları

Vagonun her iki yan yüzeyinde birer adet istikamet tabelası bulunmaktadır. Bu bölüm için 24 V DC beslemeli, özel bir armatüre montajı yapılmış, her vagona 2 adet olmak üzere 18 W floresan lambalar kullanılmaktadır. Trenin güzergâh bilgisinin yazılı olduğu flexiglas levha aydınlatılarak, gece şartlarında rahat görüş imkânı sağlanmaktadır.

5.1.7. İkaz Armatürü

Vagonun yolcu salonunun her iki başındaki bölme duvar kapılarının üzerinde, yolcuları bilgilendirmek amacıyla yemekli vagon yön göstergesi, sigara içilmez uyarısı ve tuvalet meşgul ikaz lambası olmak üzere 3 bölmeli uyarı levhaları bulunur. Her hücreinde 2 adet 3 W'lık soffit tip ampul bulunmaktadır.



Resim 5.14: Vagon ikaz armatürü

Tablo 5.1: Vagon aydınlatma kısımlarına göre katalog ve inceleme değerleri

Kısım	Besleme Gerilimi	Aydınlatma Tipi	Balast Gücü	Adet	Güç (W)	İnceleme Güç (W)
Salon Aydınlanması	220 V AC, 1 Faz, 50 Hz	Kompakt Floresan	7 W	24	7 W	7 W
	24 V DC	Floresan	10 W	66	20 W	18 W
Sahanlık Aydınlatması	24 V DC	Floresan	10 W	4	20 W	18 W
WC Aydınlatması	24 V DC	T5 Floresan	3 W	4	11 W	8 W
Vagon Son Işıkları	220 V	Akkor lamba	-	4	40 W	25 W
Okuma Lambaları	12 V	Halojen Lamba	-	60	20 W	20 W
İstikamet Lambaları	24 V DC	Floresan	10 W	4	20 W	18 W
İkaz Armatürleri		Soffit Ampul	-	6	3 W	3 W

5.2. VAGONLARDA AYDINLATMA STANDARTLARI

Raylı sistemler aydınlatması için UIC 555 “*Electric Lighting in Passenger Rolling Stock*” ve TS EN 13272 “*Demiryolu Uygulamaları - Toplu Taşıma Sistemlerinde Çeken ve Çekilen Taşıtların Elektrikli Aydınlatması*” standartlarında ihtiyaçlar için asgari koşullar belirlenmiştir. Bir aydınlatma sisteminin belirtilen şartları sağlaması için belirlenen bütün kriterleri sağlaması gerekir.

5.2.1. Aydınlık Düzeyi Kriterleri

Tablo 5.2: Toplu taşıma transit sistemlerinde ortalama aydınlık düzeyinin asgari değeri ve düzgünlük hedefi

Yer	Aydınlık düzeyi E (lx)	Düğünlük
Oturma alanları	≥ 150	0,8 ila 1,2
Koridorlar, dikilme alanları	≥ 75	0,5 ila 2,5
Geçiş yerleri	≥ 75	0,8 ila 1,2

Tablo 5.3: Ana hat ve banliyö trenlerinde ortalama aydınlık düzeyinin asgari değeri ve düzgünlük hedefi

Yer	Aydınlık düzeyi E (lx)	Düğünlük
İlave okuma ışığı olmayan oturma alanları	≥ 150	0,7 ila 1,3
Oturma alanları	≥ 100	0,7 ila 1,3
Okuma alanı	≥ 150	0,7 ila 1,3
Yan koridorlar	≥ 50	0,5 ila 2,5
Geçiş yerleri, platformlar	≥ 75	0,8 ila 1,2
Tuvaletler, banyolar	≥ 150	Uygulanmaz
Merdivenler, basamaklar	≥ 75	0,8 ila 1,2
Koridorlar, dikilme alanları, çok fonksiyonlu alanlar	≥ 75	0,5 ila 2,5
Masalar	≥ 150	0,7 ila 1,3

5.2.2. Kamaşma Kriterleri

Aydınlatma sistemi kamaşmaları önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Pencere camlarında geceleyin oluşan yansılardan kaynaklanan kamaşmalar önlenmelidir. Armatürler CIE yayını 29.2, 5.7.2, kalite sınıfı ‘A’ ile uyumlu olmalı, böylece normal aydınlık düzeyi geçerlilik eğrileri aşağıdakilere uygun olmalıdır:

- Toplu taşıma transit sistemleri: 300 lx eğrisi,
- Ana hat sistemleri: 1000 lx eğrisi.

5.2.3. Renk Görünüşü Kriteri

Uygun renk görünüşünün elde edilmesi için genel aydınlatma için kullanılan lambaların renk sıcaklığı 3000 K ile 3300 K arasında olmalıdır. İç tasarım ve konfor sebeplerinden dolayı aydınlık düzeyi düğünlüğü bazı alanlarda (yemekli vagonlar gibi) daha fazla sapma yapılabilir.

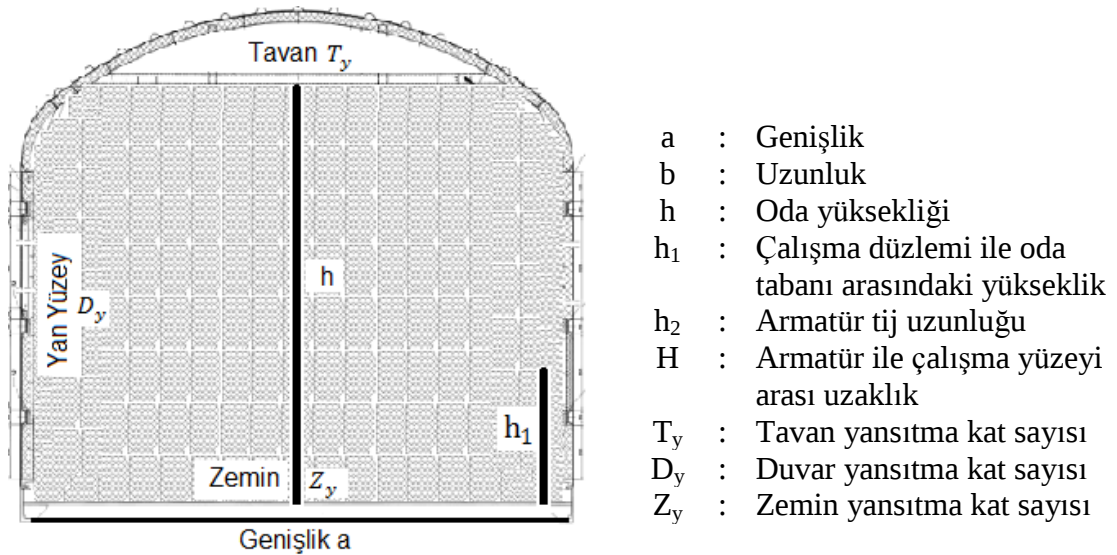
5.2.4. Renk Verme Kriterleri

Işık kaynağının yüzeylerin renklerini doğru şekilde verme kabiliyeti emniyet ve konfor bakımından önemlidir. CIE Genel Renk Verme Endeksi R_a değerinin ≥ 150 veya renk verme grubu 1B olması gerekir. İç tasarım ve konfor sebeplerinden dolayı renk verme düzeyi bazı alanlarda (yemekli vagonlar gibi) daha düşük olabilir.

6. VAGON AYDINLATMA SİSTEMİ VE GÜÇ HESAPLAMALARI

TVS 2000 pulman tipi vagonlar incelenerek farklı düzlemlerde aydınlatma düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca vagon iç yapı elemanları, uzunluk ölçüleri, yüzey özellikleri standartlarda olması gereken optimum değerlerde alınarak, bu doğrultuda DIALux 4.10 aydınlatma tasarım ve hesaplama programıyla vagon benzetimi oluşturulup aydınlatma düzeyi değerleri noktasal ve yüzeysel olarak çıkarılmıştır. Bunun dışında, vagon aydınlatma sistemi aydınlık düzeyi değerleri farklı düzlemler için matematiksel formüllerle hesaplanmıştır. Elde edilen çıktılar bölüm sonunda karşılaştırılarak vagon aydınlatma sisteminin yeterliliği tartışılmış ve enerji verimliliği değerlendirilmesi yapılmıştır.

Vagon aydınlatma sistemi hesapları yapılırken Bölüm 5 de tanımlanan vagon kısımları ayrı ayrı değerlendirilecektir. Kısımlara göre aydınlatma sisteminin yeterliliği tartışılmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak vagon aydınlatma sistemi değişkenleri Şekil 6.1 de verilmiştir.

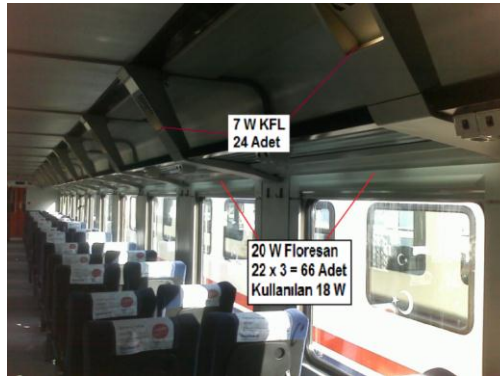


Şekil 6.1: Vagon aydınlatma ortam hesap sabitleri

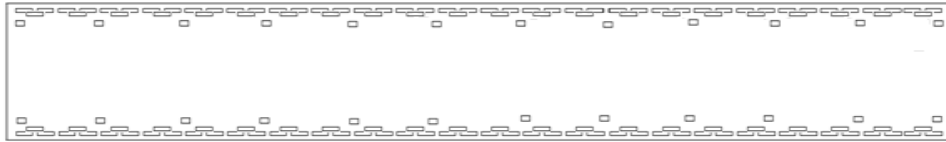
6.1. AYDINLATMA SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ

6.1.1. Salon Aydınlatma Sistemi

TVS 2000 pulman vagonlarının salon aydınlatmasında iki tip aydınlatma kaynağı kullanılmaktadır. Bu tip vagonların aydınlatma sistemi el kitabında, yapılan aydınlatma tiplerinden birinin direkt diğerinin ise endirekt olarak yapıldığı belirtilmektedir. Fakat incelemelerde direkt olarak tanımlanan aydınlatmanın yarı – endirekt aydınlatma tipinde olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalarda aydınlatma tipleri için kullanılacak armatür verimi katsayıları, özel üretim armatürler olduğundan dolayı, incelemeler baz alınarak belirlenmiştir. Resim 6.1 de TVS 2000 vagon salon aydınlatmasında, raf üzerinden yapılan aydınlatmanın tipi yarı – endirekt ve cam üzerlerinden yapılan aydınlatmanın tipi ise endirekt aydınlatmadır. Şekil 6.2 de ise salon aydınlatma elemanlarının dizilim şeması gösterilmiştir.



Resim 6.1:TVS 2000 salon aydınlatma armatür tipi



Şekil 6.2: TVS 2000 Pulman vagon salon aydınlatma elemanları dizilim şeması

6.1.1.1. Matematiksel Hesaplama

Yarı – Endirekt Aydınlatma Hesabı

Salon Alanı (A): TVS 2000 pulman vagonların iç yüzeyleri tamamen dikdörtgen değildir. Toplam alanlar arasında büyük farklılıklar olmadığından ötürü, hesaplamalar

dikdörtgen alanlara göre yapılmıştır. Yansıtma oranlarına göre verimlilik katsayısı tablolarda da belirtildiği gibi oda indeksi değerinin değişimine göre, belirlenmiş aralıklarda elde edildiğinden, bu durum sonuçlarda herhangi bir olumsuz etkiye sebep olamayacaktır. Salon ölçüleri a genişlik, b uzunluk ve h yükseklik olmak üzere genişliği 2.70 m, uzunluğu 21.00 m ve yüksekliği 2.40 m'dir.

$$\text{Alan; } A = a \times b = 2,70 \times 21,00 = 56,70 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

Tij Boyu (h_2): Resim 6.1 de aydınlatma, raflar üzerinden yaklaşık tavandan 33 cm aşağıda yapılmaktadır.

$$h_2 = 33 \text{ cm} \quad (6.2)$$

Armatürün çalışma düzleminin uzaklığı:

$$H = h - (h_1 + h_2) = 2,4 - (0,85 + 0,33) = 1,22 \text{ m} \quad (6.3)$$

H, armatürün çalışma düzlemine uzaklığı

h_1 , çalışma düzleminin yerden yüksekliği

Oda indeksi (k) ve aydınlatma etkinlik faktörü oda verimi (η_{oda}): Yapılan aydınlatma tipi endirekt aydınlatmadır. Endirekt aydınlatmada oda verimi hesaplanırken, armatürün çalışma düzleminin uzaklığı, doğrudan çalışma düzeyi ile tavan arasındaki mesafe alınarak hesaplanmalıdır. Yani tij boyu hesaba katılmaz.

$$H = h - h_1 = 2,4 - 0,85 = 1,55 \text{ m} \quad (6.4)$$

$$k = \frac{a \times b}{H \times (a + b)} = \frac{2,70 \times 21,00}{1,55 \times (2,70 + 21,00)} \cong 1,54 \quad (6.5)$$

Oda aydınlatma etkinlik faktörü, oda indeksine göre tavan, duvar ve zeminin yansıtma oranlarına göre Tablo 4.5 de kesişen hücredeki değerdir. Oda verimliliğinin belirlenebilmesi için öncelikle, oda tavan (T_y), duvar (D_y) ve zeminin (Z_y) yansıtma oranlarının bilinmesi gerekir.

Tavan (T_y); %70 – %100, (T_y) = %70

Duvar (D_y); %30 – %50 (Duvarların yaklaşık %20 kısmı camlardan oluşmaktadır. Camların yansıtma katsayısı %6'dır. Bundan dolayı duvar yansıtma katsayılarını bu aralıkta bir katsayı yüzdesine göre belirlemek gerekmektedir.) (D_y) = %50

Zemin (Z_y); %10 - %30 (Zemin yansıtma oranı, zemin ve koltuk renklerinin koyu olmasından dolayı, yansıtma oran aralığının en alt seviyesinde yansıtma yüzdesi değeri seçilmelidir. (Z_y) = %10

Oda aydınlatma etkinlik faktörü (η) yukarda belirtilen yansıma, kullanılan aygıt ve oda indeksi değerlerine göre hesaplanmalıdır. Oda indeksi $k = 1,54$ yüzey yansıtma oranlarına göre Tablo 4.4 de kesişme noktası değeri aydınlatma verimi olarak alınır. Tablo'nun solundaki armatür aydınlatma verim değeri, yapılan aydınlatma tipine göre Tablo 4.9 daki değerlerden farklıysa, aygıt verimi (η_{ayg}) tekrardan hesaplanarak, aydınlatma verimi belirlenir. Aydınlatma verimi;

$$\eta = \eta_{oda} \times \eta_{ayg} \quad (6.6)$$

$$\eta_{ayg} = (\eta'_{ayg}) / \eta_{ayg_t} \quad (6.7)$$

Yukarıda ki bilgiler doğrultusunda, aydınlatma verimi için Tablo 4.5 de kesişen değer aralığı $0,19 \leq \eta_{oda} \leq 0,23$ ve k değerinin sınırlarına göre küçük değere daha yakın olduğu söylenebilir. Bu doğrultuda, aydınlatma verimi $\eta \cong 0,2$ alınacaktır. Fakat aynı tabloda aygıt veriminin $\eta_{ayg} = \%75$ olduğu belirtilmiştir. Vagonlarda yarı – endirekt aydınlatmada kullanılan aygıtlar gömmeli ve yansıtmasızdır. Böylece aygıt verimi, yarı – endirekt aydınlatma yapılan bu tip floresan armatürleri için Tablo 4.12 de $\eta'_{ayg} = \%45$ 'tir. Formül 6.7 dikkate alınarak verim değeri tekrar hesaplanacak olursa;

$$\eta = \eta_{oda} \times \eta'_{ayg} / \eta_{ayg} = 0,2 \times 45 / 75 = 0,2 \times 0,6 = 0,12 \quad (6.8)$$

Kirlenme faktörü (d); Aydınlatma hesabı yapılan alanın, kullanım süresine ve bakım periyoduna göre belirlenen bir katsayıdır. Bir yıllık bir kullanım için bu değer standart olarak ($d = 1,25$)'tir. Tablo 4.6 da kullanılan lamba tipine ve bakım periyoduna göre kirlenme faktörü değerlerdi belirtilmiştir.

Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı (Φ_{L_1}); Salon yarı – endirekt aydınlatmasında kullanılan armatür kaynakları gömülü ve tavanla yaklaşık 10° açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Işık kaynağı U tipi PHILIPS Master PL-S 7W/840/2P kompakt floresanlardır. Tablo 4.9 da bu armatür tipine ve ışık kaynağına göre verim değeri belirlenmiştir. Kullanılan kaynağın armatür verimliliği %45'tir. Yani ışık kaynağından çıkan ışığın %45'lik kısmı kullanılmaktadır. Yukarıda hesaplanan aydınlatma verimi hesabı bu değere göre düzenlenir. Ayrıca kullanılan ışık kaynağının akısı 400 lm'dir. Tüm vagon salonunda bu kaynaklardan $Z_1 = 24$ tane kullanılmaktadır.

$$\Phi_{L_1} = 400 \text{ lm} \quad (6.9)$$

Kaynağın oluşturduğu aydınlık düzeyi;

$$E_1 = \frac{\Phi_{L_1} \times Z_1 \times \eta}{A \cdot d} = \frac{400 \times 24 \times 0.12}{56,70 \times 1,25} \cong 16,25 \text{ lx} \quad (6.10)$$

İstenen aydınlık düzeyi standartlara göre (Tablo 5.3), okuma lambalarının bulunduğu vagon salonlarında minimum 100 lx olmalıdır. Bundan dolayı yukarıda hesaplandığı gibi bu kaynaktan elde edilen aydınlık düzeyi 16,25 lx'tür. Sadece bu kaynakların kullanılması ile istenilen aydınlık şiddeti elde edilemez.

Bölüm sonunda vagonlarda aydınlatma sistemi sonuçlarının karşılaştırmasında, diğer hesaplama yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla vagon koltuk boy seviyesi (1.10 m) ve koltuk kolçak yüksekliği seviyesi (0.680 m) olmak üzere iki ayrı düzlem için aydınlık düzeyi hesaplanmıştır.

Koltuk yükseklik seviyesi (1.10 m) aydınlık düzeyi; $E_{1,110\text{ cm}} \cong 17,88 \text{ lx}$

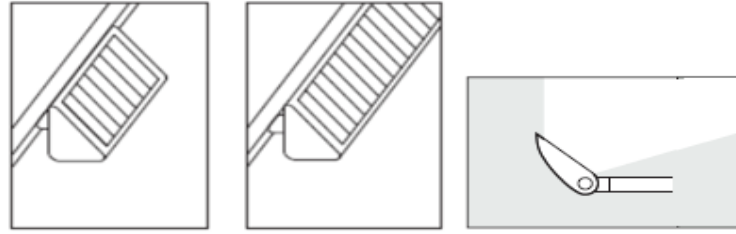
Kolçak yüksekliği seviyesi (0.68 m) aydınlık düzeyi; $E_{1,68\text{ cm}} \cong 14,63 \text{ lx}$

Endirekt Aydınlatma Hesabı

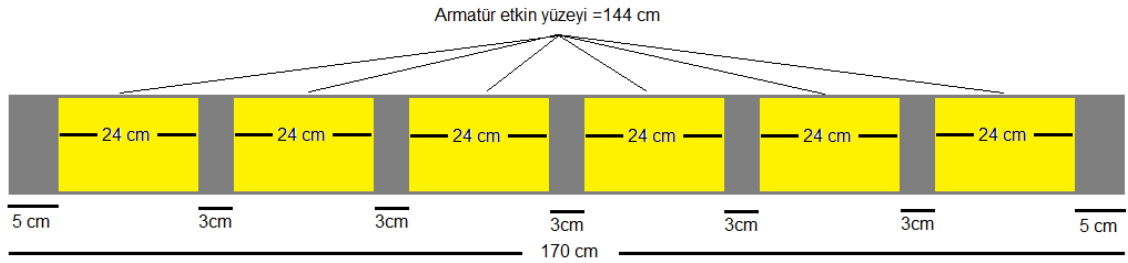


Resim 6.2: Endirekt aydınlatma elemanları

Bu tip aydınlatma için (Resim 5.2) TÜVASAŞ'ın vagonlar için tasarlamış olduğu armatürler kullanılmaktadır. Armatür içerisinde birbirine seri iki floresan ve bunlara paralel bir floresan olmak üzere üç (3) adet floresan ve bu floresanların her biri için bir tane TÜVASAŞ Elektronik TVS-2001 balast ya da ERA Elektronik PPB 21T3.T balast kullanılmaktadır. Her armatür toplamda 84 – 90 W güç tüketmektedir. Vagon incelemelerinde bu armatürler, vagonların raf diplerinde olacak şekilde 170 cm uzunluğunda, tavandan 42 cm aşağıda ve duvar yüzeyine bitişik konumlandırılmıştır. 66 adet General Electric F18W/54-765 Daylight 900 lm 600 mm floresanlar kullanılmaktadır.



Şekil 6.3: Endirekt aydınlatma armatür montaj ve aydınlatma alanı



Şekil 6.4: Vagon endirekt aydınlatma armatür ölçüleri

Hesaplama salonda yapıldığından dolayı Bölüm 6.1.2 deki uzunluk değerleri kullanılmıştır. Aydınlatma kaynağının değişiminden dolayı aydınlatma etkinlik faktörü hesaplanmalıdır. Fakat endirekt yapılan aydınlatmada tij boyu hesaba katılmadığından dolayı oda indeksi bir önceki bölümde hesaplananla aynı olacaktır. Yani doğrudan tavan ile çalışma düzlemi arasındaki mesafe alınacaktır. Bunun dışında armatür verimliliğini düşüren husus armatürün tasarımdan kaynaklanan bir verim düşümüdür. İncelemelerde Şekil 6.4 de 170 cm armatürün etkin yüzeyinin 144 cm'lik kısmından

yararlanılmaktadır. Bundan dolayı bu kaynaklar için ayrıca %15 kayıp söz konusudur. Aydınlatma etkinlik faktörü buna göre hesaplanmalıdır.

$$\eta = 0,12 \times 0,85 = 0,102 \quad (6.11)$$

Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı (Φ_{L_2}); İnceleme TVS 2000 pulman vagonların salon aydınlatması için kullanılan floresan lambanın ışık akısı;

$$\Phi_{L_2} = 900 \text{ lm} \quad (6.12)$$

Toplam $Z_2 = 66$ adet aydınlatma elemanından çalışma yüzeyindeki aydınlık düzeyi;

$$E_2 = \frac{\Phi_{L_2} \times Z_2 \times \eta}{A \cdot d} = \frac{900 \times 66 \times 0,102}{56,70 \times 1,25} \cong 85,48 \text{ lx} \quad (6.13)$$

İstenen aydınlık düzeyi standartlara göre minimum 100 lx olması gerekirken, yukarıda hesaplandığı gibi 85,48 lx'tür. Bu kaynaklarla istenilen aydınlık düzeyine ulaşılamaz.

Armatür sayısı (Z); E_{ist} ortamda istenen aydınlık düzeyi değeri olmak üzere;

$$\text{Toplam Lm; } \Phi_T = \frac{E_{ist} \times A \times d}{\eta} = \frac{100 \times 56,70 \times 1,25}{0,102} = 69485,3 \text{ lm} \quad (6.14)$$

$$Z = \frac{\Phi_T}{\Phi_{L_2}} = 69485,3 / 900 = 77 \quad (6.15)$$

İstenen aydınlık düzeyine ulaşılabilmesi için salon aydınlatmasında kullanılan armatür sayısının 77 tane olması gerekir. Fakat salonda 66 adet lamba kullanılmaktadır. İstenilen aydınlatma düzeyine ulaşmak için ayrıca 24 adet kompakt floresan kullanılmaktadır. Bu kaynakların 1.10 m ve 0.68 m seviyesindeki aydınlık düzeyi;

Koltuk yükseklik seviyesi (1.10 m) ; $E_{2,110\text{-cm}} \cong 94,03 \text{ lx}$

Kolçak yüksekliği seviyesi (0.68 m); $E_{2,68\text{-cm}} \cong 76,94 \text{ lx}$

Salon aydınlık düzeyi (0,85 cm çalışma düzeyi için);

$$E = E_1 + E_2 \cong 16,25 + 85,48 \cong 101,73 \text{ lx} \quad (6.16)$$

Kirlenme faktörü 1,25 olan bir vagonun, çalışma düzleminde aydınlık düzeyi 101,73 lx olarak hesaplanmıştır. Aydınlatma standartlarına göre salon için aydınlatma kriteri Tablo 5.3 de $E_{standart} \geq 100 \text{ lx}$ ve düzgünlük değeri 0,7 ile 1,3 arasında olmalıdır. Aydınlatma hesaplarında, belirli bir alan için hesaplanan aydınlık düzeyi, istenilen değerlerde olabilmesi için aşağıdaki kriteri sağlamamalıdır.

Hesaplanan aydınlık düzeyi, istenen aydınlık düzeyinin %90'ından az veya %110'undan fazla olmamalıdır. Hesaplanacak sistemlerde bu değerlerin sağlanmaması gerekmektedir. Mevcut vagonların aydınlatma sistemleri bu değerleri sağlamayacak biçimde revize edilmelidir. Yani aşağıdaki koşullar sağlanırsa sistem uyarı vermelidir.

$$E_{istenen} \times 1,10 < E_{hesaplanan} \text{ veya } E_{hesaplanan} < E_{istenen} \times 0,9 \quad (6.17)$$

$$110 < 101,73 \text{ veya } 101,73 < 90$$

Karşılaştırma (6.17) ya göre, her iki durumda sağlanmamaktadır. Bundan dolayı vagon salon aydınlatma sistemi, mevcut durumunda, matematiksel hesaplamalar sonucunda istenilen aydınlatma kriterlerin sağlamaktadır. Karşılaştırma amacıyla 1.10 m ve 0.68 m yükseklikleri için toplam aydınlık düzeyi değerleri;

Koltuk yükseklik seviyesi (1.10 m) ; $E_{110\text{-cm}} \cong 111,91 \text{ lx}$

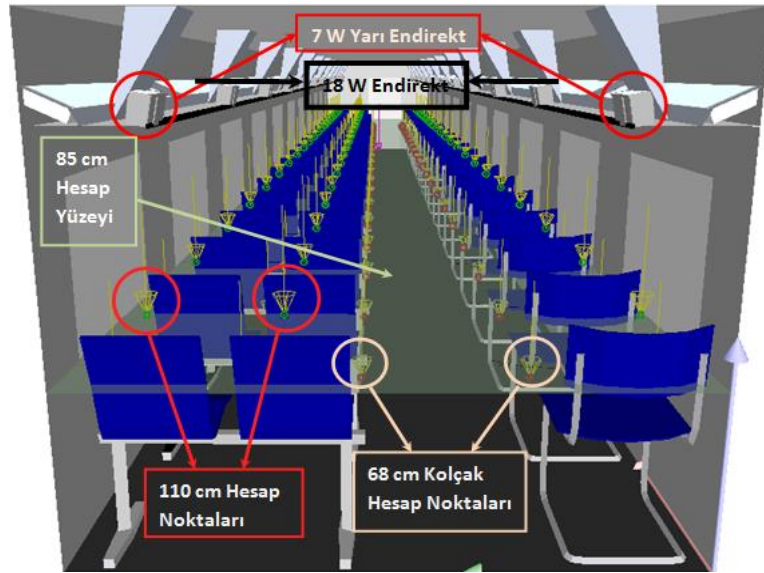
Kolçak yüksekliği seviyesi (0.68 m); $E_{68\text{-cm}} \cong 91,57 \text{ lx}$

6.1.1.2. DIALux 4.10 Programıyla Vagon Salon Aydınlatması

DIALux programı, Almanya'da, DIAL GmbH firması tarafından, 1994 yılında, aydınlatma alanına yönelik hazırlanmış bir programdır. DIALux 3.0 versiyonu ile gündeme gelen programın temel özelliği, her aygıt üreticisi firma kendi ürünlerinin teknik özelliklerini bu programa katabilmesidir. Program, iç mekân, dış mekân, yol aydınlatması ve acil aydınlatma gibi aydınlatma konularına yöneliktir. Program CIE standartlarını içermekte ve CIE tarafından kabul edilmektedir.

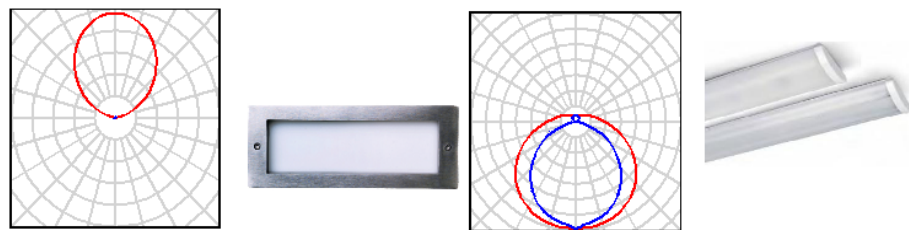
TVS 2000 Pulman Vagon salonu aydınlatma kaynakları, vagon uzunlukları, koltuk, cam, raf ve kapıları vagon ölçü değerleri ve sayılarıyla birebir eşit alınarak DIALux 4.10 programında vagon modeli oluşturulmuştur. Değişkenler matematiksel

hesaplamalar kısmında kullanılan salon kirlenme oranı, duvar, tavan ve zemin yansıtma değerleriyle birebir aynıdır. Bu benzetimle mevcut kaynaklara eşdeğer ışık kaynakları belirlenmiş ve aygıt konumları birebir aynı alınarak vagon aydınlatma sistemi sonuçları izlenmiştir. Amaç, aydınlatma programında oluşturulan modelle, vagon aydınlatma sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan, mevcut kaynaklarla, standartlarda belirtilen aydınlık düzeyi değerleri, diğer hesaplama ve ölçüm sonuçlarıyla karıştırılması ve sistemin yeterliliğinin tartışılmasıdır. Vagon aydınlatma armatürleri özel tasarım olduğundan dolayı, armatür üreticilerinin ve programın desteklediği aydınlatma kaynakları taranarak, mümkün olduğu oranda mevcut sistem aygıtlarına yaklaşılmaya çalışılmıştır.

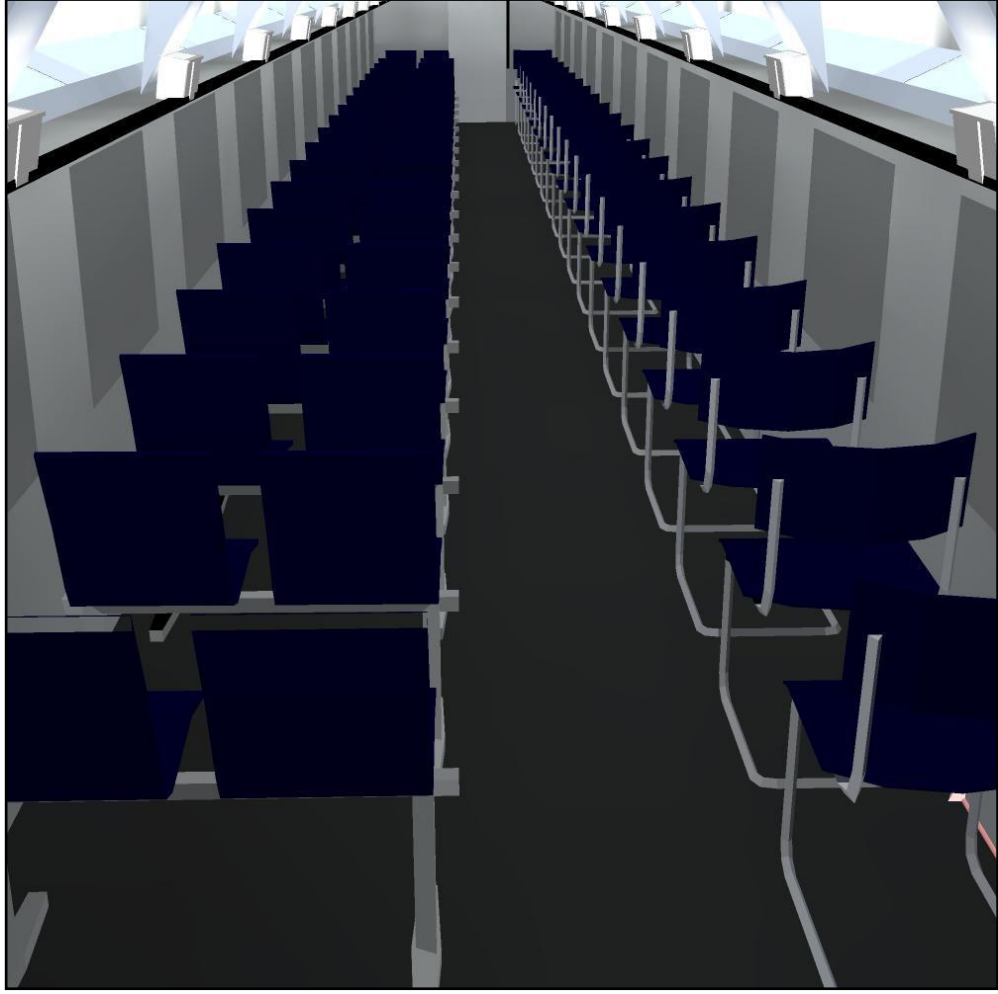


Resim 6.3 : DIALux 4.10 vagon salon benzetimi

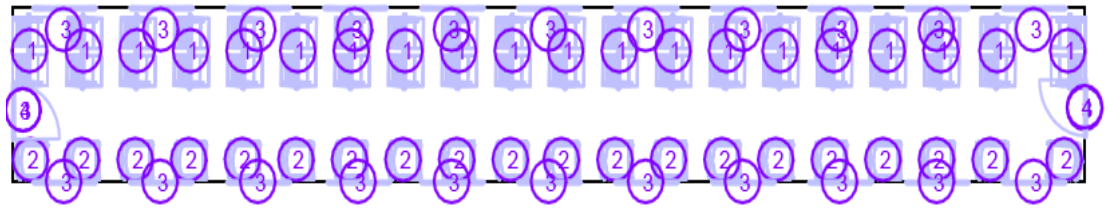
Programda öncelikle salon modeli oluşturulmuştur. Koltuklar renk ve büyüklük olarak mevcut sistemdekilerle birebir aynı ölçülandırılmıştır. Resim 6.3 ve Resim 6.4 de DIALux 4.10 programıyla vagon modeli gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Salonda kompakt floresan ve floresan armatürleri ışık yayım grafiği



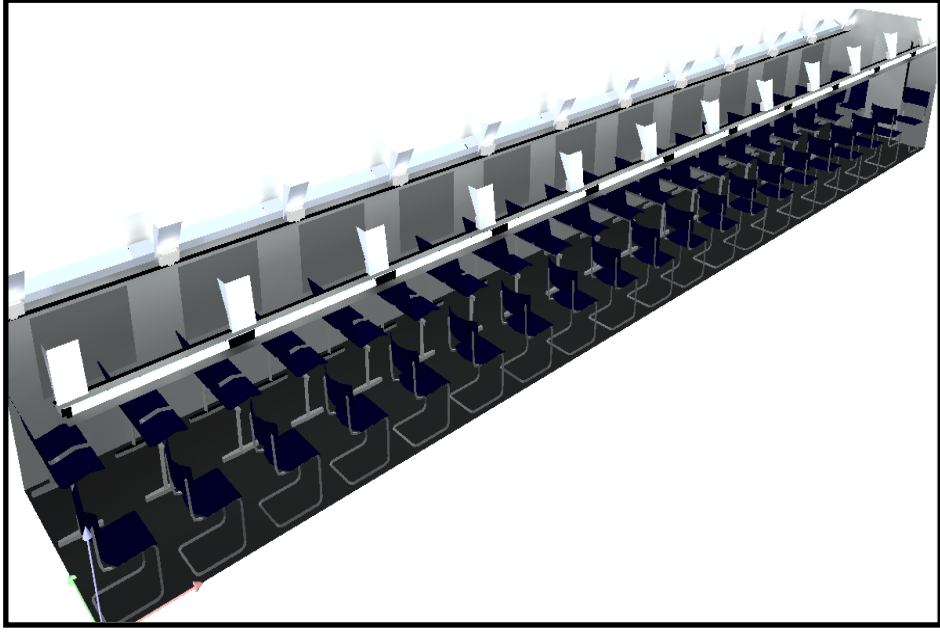
Resim 6.4 : DIALux 4.10 ışık kaynakları aktifken vagonun iç görüntüsü



Şekil 6.6 : Vagon nesnelerinin konum planı (1, 2 koltuk, 3 camlar, 4 kapılar)

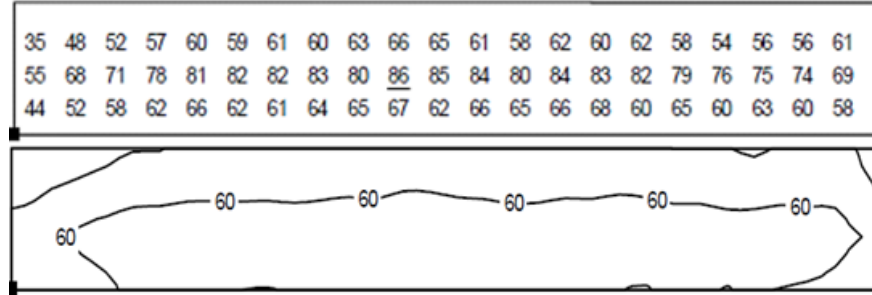
Tablo 6.1 : Vagon salon nesne parça listesi

Numara	Parça(adet)	Nesne
1	20	İkili Koltuk
2	20	Tekli Koltuk
3	24	Cam
4	2	Kapı

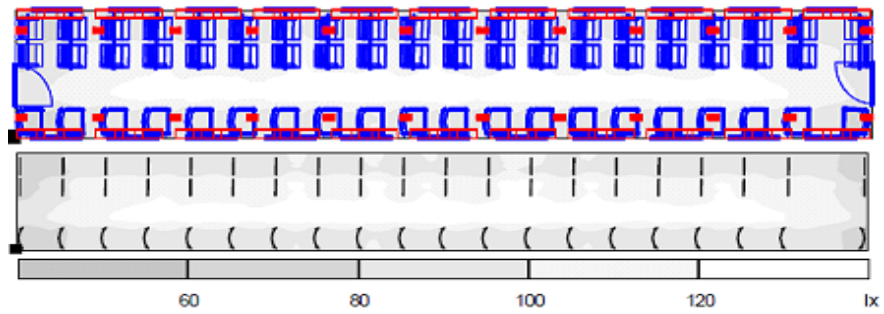


Resim 6.5 : Vagon aydınlatmasının farklı açıyla gösterimi

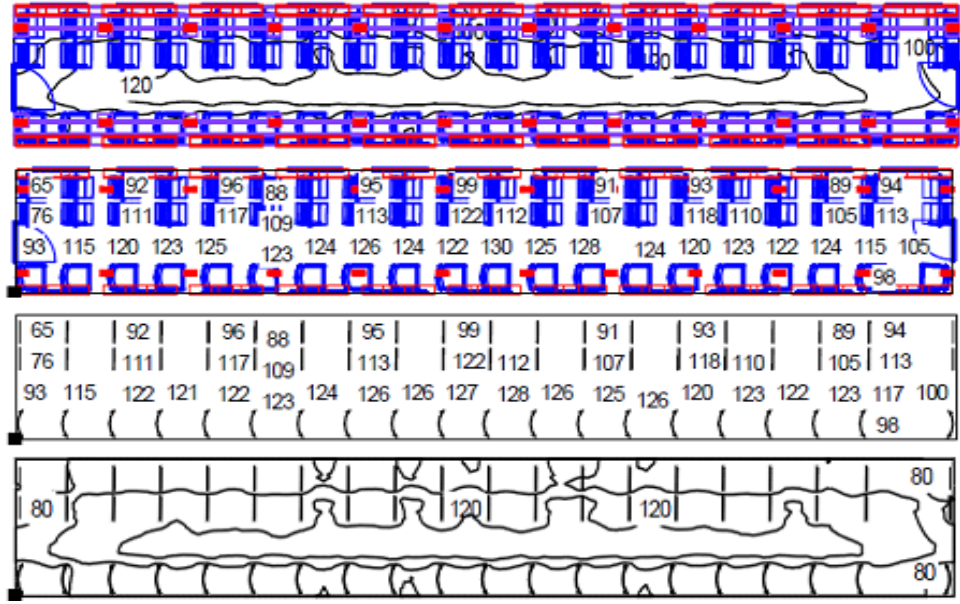
Aşağıda Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 da vagon salon aydınlatması için aydınlık düzeyi değer grafikleri ve gri renk görünümleri çalışma düzlemi, tavan ve zemin yüzeylerine göre verilmiştir.



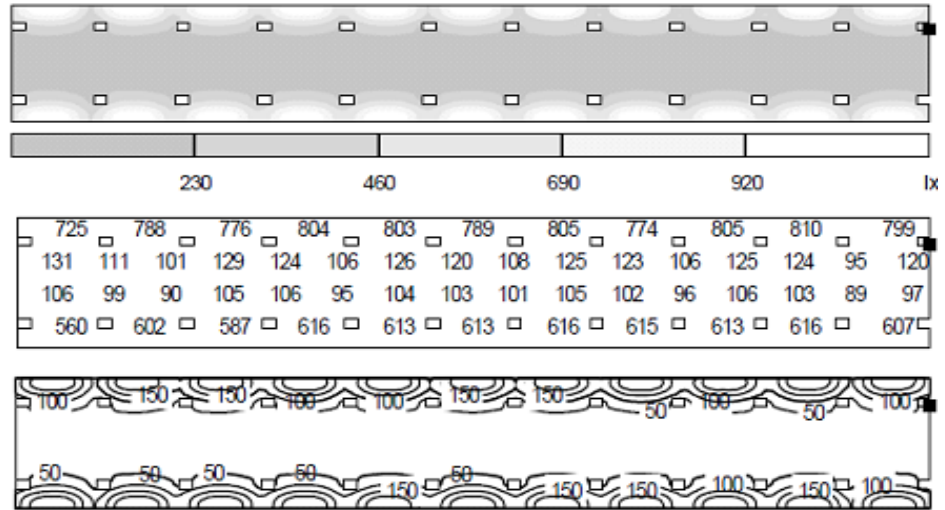
Şekil 6.7 : Salon zemini aydınlık düzeyi değer grafiği



Şekil 6.8 : 0.85 m çalışma düzlemi gri tonlar grafiği



Şekil 6.9 : 0.85 m Çalışma düzlemi nesne, ışıklık konumları ve aydınlatma düzeyi değer eğrileri



Şekil 6.10 : Tavan gri tonlar görünümü ve tavan aydınlık düzeyi değer grafiği

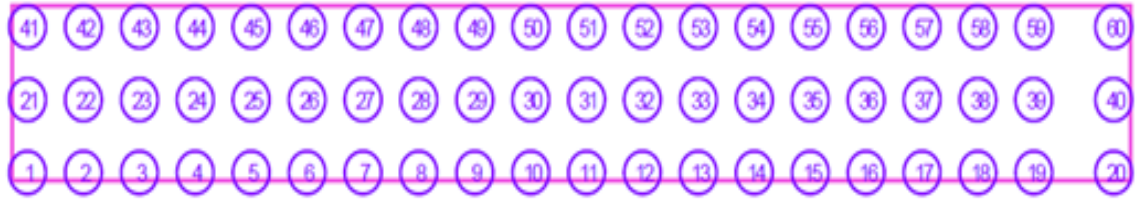
Vagon modeli salon aydınlatma sistemi sonuçları, kullanılan aydınlatma kaynakları ve adedi, kaynakların verimine göre ortalama aydınlık düzeyi değerleri Tablo 6.2 de çıkarılmıştır. Ayrıca çalışma düzleminde 60 farklı noktadan alınan sonuçlara göre noktasal minimum ve maksimum aydınlatma şiddeti sonuçları, eşyayılım oranları ile birlikte gösterilmiştir. Eşyayılma, aydınlatma düzeyinin ölçüm düzleminde noktasal olarak düzgün yayılıp yayılmadığını belirtir. Eşyayılım 0 ile 1 arasındadır. 0.4 – 0.6 aralığında ise aydınlatma sisteminin verimliliğinden söz edilebilir.

Tablo 6.2 : DIALux 4.10 Salon aydınlatma sonuçları özeti

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	104	60	132	0.575	0.454
Zemin	10	60	24	86	0.405	0.279
Tavan	70	352	72	1173	0.203	0.061
Duvarlar (5)	50	145	18	2479	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	66	GELIGHT – NL CWL 835	583	900	18	% 65
2	24	LIGMAN 40011–S–7 Legend	81	400	7	% 20

Tablo 6.3: Çalışma düzeyi (0.850 m) noktasal ölçüm sonuçları

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	58	21	97	41	72
2	67	22	119	42	73
3	69	23	128	43	78
4	72	24	130	44	78
5	70	25	133	45	78
6	75	26	132	46	82
7	70	27	134	47	78
8	76	28	133	48	84
9	71	29	134	49	80
10	75	30	134	50	83
11	73	31	135	51	80
12	75	32	134	52	79
13	72	33	135	53	80
14	73	34	135	54	79
15	76	35	132	55	81
16	73	36	133	56	79
17	77	37	131	57	81
18	70	38	129	58	76
19	72	39	124	59	75
20	56	40	99	60	86



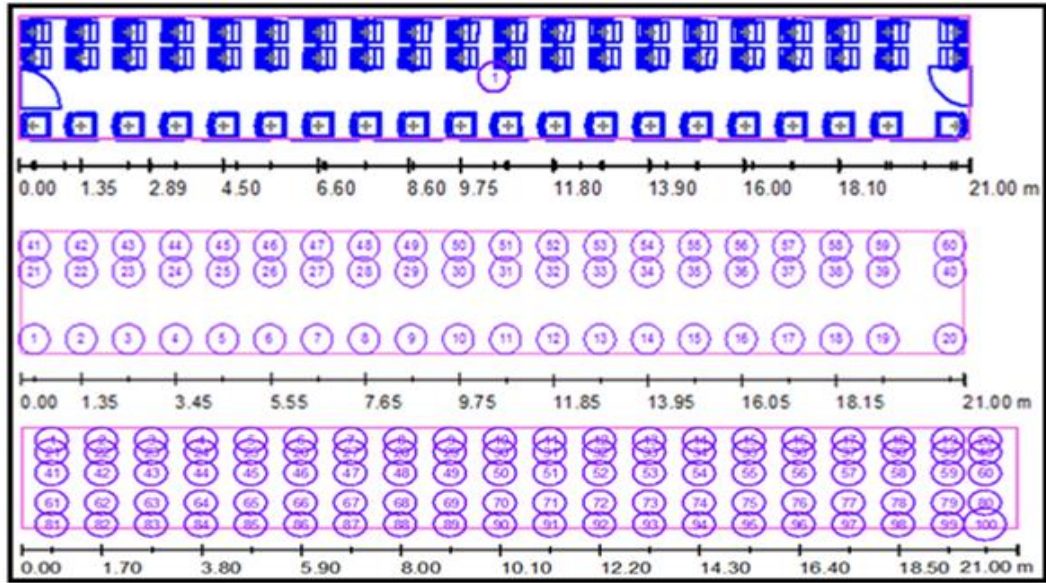
Şekil 6.11 : Çalışma düzlemi (85 cm) noktaları

Aydınlatma düzeyi çalışma düzlemi için noktasal olarak Şekil 6.11 de ölçüm noktaları ve Tablo 6.5 de noktasal aydınlık düzeyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.5 : Çalışma düzlemi (0.850 m) aydınlık düzeyi sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	92	56	135	0.610	0.420

Salon aydınlatma sistemi çalışma düzlemi dışında koltuk seviyesi (0.68 m) ve koltuk tepesi yüksekliği 1.10 m için noktasal olarak ayrıca hesaplanmıştır. Şekil 6.12 de 1.10 m için ölçüm noktaları, Tablo 6.6 da ölçüm noktalarında aydınlık düzeyi değerleri ve Tablo 6.7 de noktasal sonuçlara göre 1.10 m için aydınlık düzeyi özeti verilmiştir.



Şekil 6.12 : DIALux 4.10 Koltuk yüksekliği seviyesi 1,10 m ve

kolçak yüksekliği seviyesi 0,68 m hesap noktaları

Tablo 6.6: Vagon koltuk tepesi seviyesinde (110 cm) DIALux 4.10 aydınlık düzeyi değerleri

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	92	21	108	41	94
2	110	22	135	42	113
3	117	23	143	43	123
4	120	24	146	44	123
5	122	25	149	45	127
6	124	26	147	46	125
7	123	27	151	47	128
8	124	28	148	48	127
9	123	29	151	49	128
10	124	30	150	50	127
11	122	31	151	51	127
12	123	32	151	52	126
13	123	33	151	53	129
14	122	34	150	54	127
15	123	35	148	55	125
16	122	36	150	56	126
17	123	37	146	57	123
18	119	38	147	58	125
19	117	39	139	59	119
20	91	40	109	60	94

Tablo 6.7 : Vagon koltuk tepesi seviyesinde (110 cm) aydınlık düzeyi sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (1.10 m)	/	128	91	151	0.711	0.603

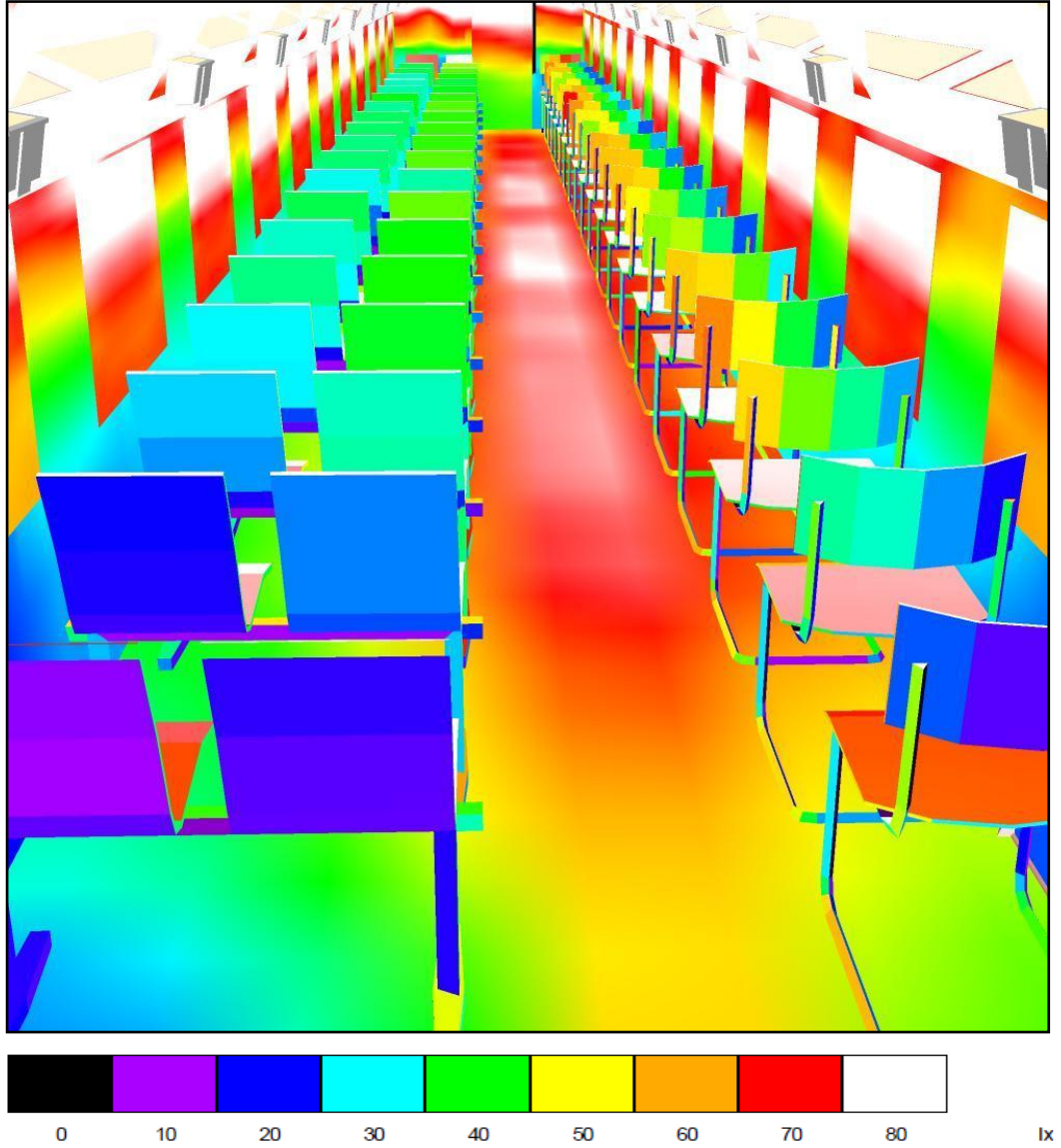
Salon koltuk kolçak seviyesi (0.68 m) için ölçüm noktaları Şekil 6.12 de, ölçüm noktalarındaki aydınlık düzeyi değerleri Tablo 6.8 de ve kolçak seviyesinde aydınlık düzeyi özeti Tablo 6.9 da verilmiştir. Ölçüm sonuçları diğer hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Tablo 6.8 : Vagon kolçak seviyesinde (0.680 m) DIALux 4.10 aydınlık düzeyi değerleri

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	55	26	99	51	127	76	108
2	65	27	101	52	128	77	109
3	68	28	100	53	125	78	106
4	69	29	100	54	126	79	105
5	67	30	99	55	125	80	194
6	69	31	101	56	125	81	53
7	69	32	101	57	125	82	64
8	70	33	100	58	119	83	64
9	71	34	98	59	110	84	69
10	69	35	100	60	120	85	66
11	70	36	99	61	88	86	69
12	70	37	100	62	101	87	67
13	72	38	96	63	106	88	67
14	70	39	92	64	111	89	68
15	69	40	99	65	109	90	66
16	68	41	117	66	112	91	68
17	69	42	122	67	112	92	67
18	71	43	124	68	113	93	68
19	65	44	126	69	112	94	67
20	79	45	127	70	111	95	68
21	93	46	130	71	110	96	65
22	97	47	128	72	113	97	66
23	98	48	128	73	111	98	66
24	98	49	128	74	112	99	68
25	98	50	127	75	111	100	64

Tablo 6.9 : Vagon koltuk kolçak seviyesi (0.680 m) aydınlık düzeyi sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	93	53	130	0.570	0.410

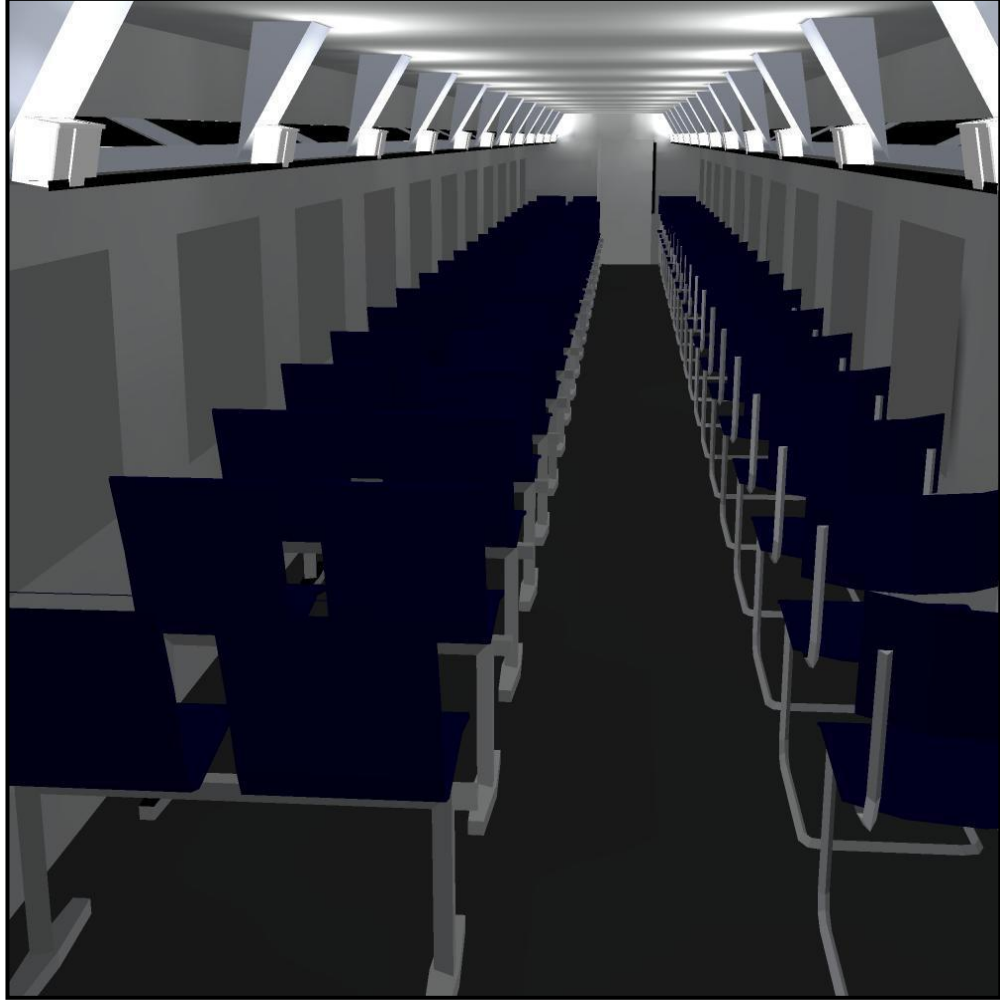


Resim 6.6 : DIALux 4.10 Salon aydınlatması ters renkler görüntüsü

Salon Gece Aydınlatması

Vagon aydınlatma sisteminde kompakt floresanlarla yapılan ve gece aydınlatması olarak isimlendirilen aydınlatma sisteminin DIALux 4.10 programıyla incelenmiştir.

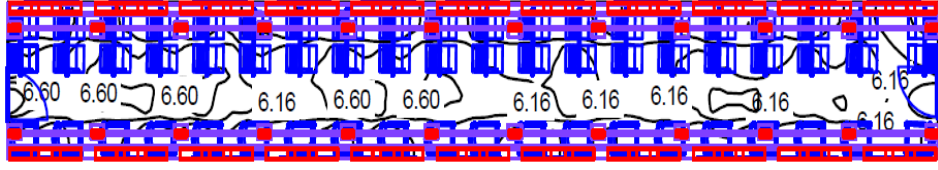
Salon gece aydınlatması çalışma düzlemi 0.850 m de düzlemsel ve 0.680 m kolçak yükseklik seviyesinden noktasal olarak incelenmiştir. Program aydınlık düzeyi ortalama değerleri ve ölçüm noktaları sonuçları tablolarda verilmiştir. Vagon gece aydınlatması ters renkler görüntüsü Resim 6.7 de çıkarılmıştır. Tablo 6.10 da gece aydınlatması ölçüm sonuçları özeti ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi dağılım grafiği Şekil 6.13 verilmiştir.



Resim 6.7 : Vagon gece aydınlatması görüntüsü

Tablo 6.10 : DIALux 4.10 gece aydınlatması ölçüm sonuçları özeti

GECE AYDINLATMASI AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	5.92	4.95	7.17	0.837	0.690
Zemin	10	3.14	2.35	3.66	0.748	0.642
Tavan	70	11	0.78	114	0.133	0.007
Duvarlar (4)	50	2.78	1.39	1093	/	
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	24	LIGMAN 40011-S-7 Legend	81	400	7	% 20

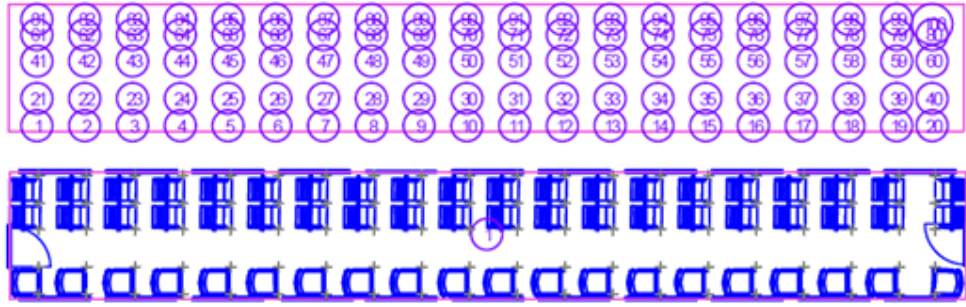


Şekil 6.13: Çalışma düzeyinde (0.850 m) gece aydınlatması aydınlık düzeyi dağılım eğrileri

Salon gece aydınlatması kolçak seviyesi (0.68 m) için noktasal olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.11 de noktasal aydınlık düzeyi ölçümleri, Şekil 6.14 de ölçüm noktaları, Tablo 6.11 de aydınlık düzeyi özeti ve Resim 6.8 de ters renkler görünüşü verilmiştir.

Tablo 6.11 : DIALux 4.10 gece aydınlatması (0.680 m) noktasal ölçüm sonuçları

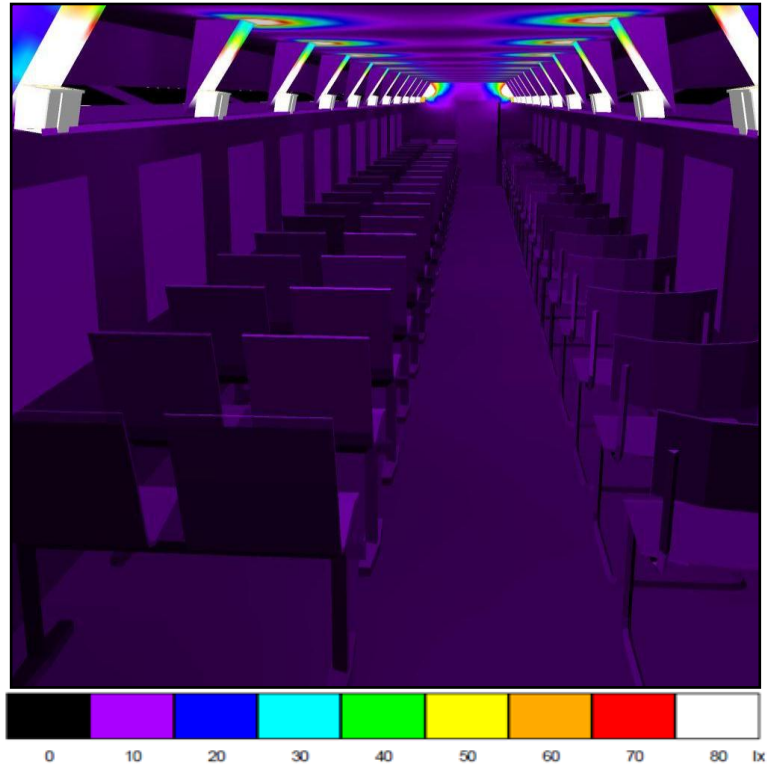
Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	3.27	26	5.15	51	7.82	76	6.02
2	3.69	27	5.24	52	7.92	77	6.02
3	3.51	28	5.15	53	7.90	78	5.97
4	3.44	29	5.28	54	7.87	79	5.88
5	3.45	30	5.15	55	7.74	80	5.51
6	3.33	31	5.25	56	7.98	81	3.38
7	3.44	32	5.39	57	7.76	82	3.67
8	3.45	33	5.35	58	7.88	83	3.42
9	3.43	34	5.35	59	7.96	84	3.74
10	3.41	35	5.19	60	7.45	85	3.56
11	3.42	36	5.39	61	5.66	86	3.55
12	3.56	37	5.22	62	6.03	87	3.46
13	3.42	38	5.32	63	6.03	88	3.45
14	3.51	39	5.58	64	6.15	89	3.52
15	3.32	40	5.45	65	5.92	90	3.25
16	3.42	41	7.63	66	5.96	91	3.41
17	3.47	42	7.93	67	5.93	92	3.35
18	3.50	43	7.94	68	6.12	93	3.45
19	3.73	44	7.91	69	5.93	94	3.47
20	3.80	45	7.83	70	5.89	95	3.40
21	5.10	46	7.77	71	5.99	96	3.48
22	5.46	47	7.89	72	6.02	97	3.57
23	5.33	48	7.72	73	6.11	98	3.41
24	5.39	49	7.88	74	5.93	99	4.07
25	5.28	50	7.69	75	5.99	100	3.96



Şekil 6.14 : DIALux 4.10 gece noktasal aydınlatma ölçüm noktaları

Tablo 6.12 : Gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 m) aydınlık düzeyi sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	5.22	3.25	7.98	0.620	0.410



Resim 6.8 : Salon gece aydınlatması ters renkler görünüşü

6.1.1.3. Vagon Salon İncelemesi ve Ölçüm Sonuçları

TVS 2000 pulman tipi vagonların aydınlatma sistemleri 11 Şubat 2012 ve 09 Mart 2012 tarihinde İstanbul Sirkeci Tren İstasyonu'nda incelenerek, aydınlık düzeyi ölçümleri

KONICA MINOLTA CL – 200A aydınlatma cihazıyla yapılmıştır. Sonuçlar matematiksel hesaplamalar ve DIALux 4.10 aydınlatma programı çıktılarıyla karşılaştırılarak bu vagonların aydınlatma sisteminin yeterliliği tartışılacaktır. Ölçümler noktasal olarak 1.10 m ve 0.68 m için yapılmıştır. Şekil 6.15 de 1.10 m için ölçüm noktaları, Tablo 6.13 de bu noktalardaki değerler ve Tablo 6.14 sonuç özeti verilmiştir.



Şekil 6.15 : Koltuk yükseklik düzeyi (1.10 m) ölçüm noktaları

Tablo 6.13 : Koltuk yükseklik seviyesi (1.10 m) inceleme noktasal ölçüm değerleri

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	25,3	21	17,1	41	22,9
2	36,7	22	24,6	42	37,8
3	36,7	23	25,5	43	43,5
4	35,3	24	24,7	44	41,7
5	30,5	25	21,3	45	35,8
6	36,4	26	21,6	46	34,5
7	34,3	27	25,4	47	39,3
8	31,6	28	24,5	48	36,3
9	33,0	29	25,0	49	39,5
10	32,9	30	25,4	50	40,1
11	37,8	31	27,1	51	42,8
12	36,3	32	26,2	52	40,7
13	32,8	33	24,7	53	38,3
14	34,8	34	23,7	54	33,7
15	33,4	35	24,5	55	34,7
16	35,3	36	24,0	56	35,2
17	34,9	37	24,4	57	36,9
18	34,9	38	24,4	58	38,2
19	32,2	39	23,0	59	35,2
20	22,3	40	15,1	60	24,8

Tablo 6.14 : Koltuk yüksekliği seviyesi (1.10 m) inceleme aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	31.19	15.1	43.5	0.480	0.350



Şekil 6.16 : Çalışma düzeyi (0.850 m) ölçüm noktaları

Tablo 6.15 : Standart 0.850 m çalışma yüzeyi aydınlık şiddeti noktasal ölçüm değerleri

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	25,2	21	22,6	41	24,3
2	30,9	22	26,2	42	37,2
3	28,5	23	22,2	43	34,0
4	30,6	24	20,2	44	32,0
5	30,5	25	22,7	45	26,2
6	35,1	26	24,6	46	31,1
7	25,6	27	25,1	47	25,2
8	29,4	28	25,7	48	25,7
9	30,7	29	26,2	49	27,0
10	34,4	30	27,3	50	31,3
11	37,2	31	27,8	51	31,7
12	30,8	32	26,1	52	32,2
13	31,5	33	24,7	53	30,3
14	29,6	34	25,4	54	31,1
15	31,9	35	25,5	55	31,3
16	34,4	36	25,9	56	33,2
17	39,2	37	25,6	57	30,9
18	32,1	38	24,5	58	30,9
19	28,8	39	22,9	59	25,7
20	23,5	40	20,0	60	23,4

Tablo 6.16 : Vagon çalışma yüzeyi (0.850 m) inceleme aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	28.43	20.0	39.2	0.700	0.510

Salon Gece Aydınlatması İnceleme ve Ölçüm Sonuçları

Vagon gece aydınlatması aydınlık düzeyi değerleri noktasal olarak (100 nokta) koltuk kolçak yükseklik seviyesi ve çalışma yüzeyi noktaları olmak üzere incelenmiş ve ölçümler alınmıştır.

Tablo 6.17 : Gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 cm) aydınlık düzeyi değerleri

Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Değeri (lx)
1	0,5	26	1,6	51	1,9	76	1
2	1,1	27	1,2	52	1,5	77	1
3	0,7	28	1,3	53	1,7	78	1,4
4	1	29	1,4	54	1,7	79	1,4
5	0,9	30	1,8	55	1,9	80	1,1
6	0,9	31	1,9	56	1,7	81	0,9
7	0,7	32	1,9	57	1,7	82	0,9
8	0,6	33	1,6	58	1,9	83	1
9	0,8	34	1,4	59	2,1	84	1
10	0,9	35	1,3	60	1,8	85	0,8
11	1,1	36	1,1	61	1,3	86	0,7
12	0,9	37	1,4	62	1,3	87	0,7
13	0,9	38	1,6	63	1	88	1,1
14	0,7	39	1,7	64	1	89	1
15	0,7	40	1,2	65	1,1	90	1,1
16	0,6	41	1,6	66	0,9	91	1,2
17	0,7	42	2,1	67	0,8	92	1
18	1	43	1,9	68	1,5	93	1
19	0,8	44	2,1	69	1,6	94	1
20	0,5	45	1,7	70	1,4	95	1
21	1,45	46	1,4	71	1,4	96	1
22	1,6	47	1,6	72	1,1	97	0,9
23	1,7	48	2,3	73	1	98	0,9
24	1,7	49	2,2	74	1	99	1,2
25	1,6	50	2,1	75	1,1	100	0,7



Şekil 6.17: Salon gece aydınlatması koltuk kolçak seviyesi (0.680 cm) ölçüm noktaları

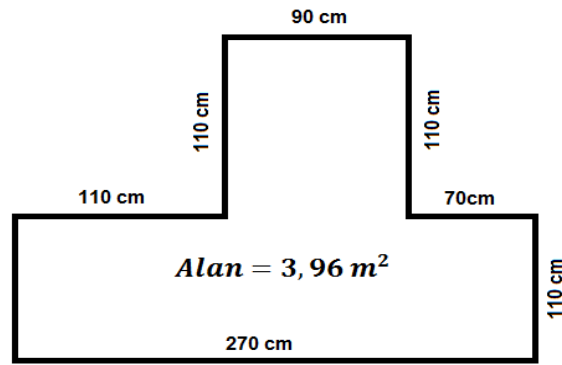
Tablo 6.18 : Vagon gece aydınlatması kolçak yükseklik seviyesi (0.680 m) ölçüm sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	1.26	0.50	2.30	0.396	0.217

6.1.2. SAHANLIK AYDINLATMA SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ

6.1.2.1. Matematiksel Hesaplama

TVS 2000 pulman vagonlarında sahanlık T şeklinde bir yapıya sahiptir. Aydınlatma tipi direkt aydınlatmadır. Sahanlık aydınlatması 2 adet 18 W gücünde ve ışık akısı 1050 lumen olan Osram floresanlarla yapılmaktadır.



Şekil 6.18 : Vagon sahanlık ölçüleri

Sahanlık alanı: $A = 3,96 \text{ m}^2$

Salon yüksekliği (h): 2,03 m (ölçümden)

Çalışma yüzeyi yüksekliği: Standart $\sim 0,85 \text{ m}$

Tij Boyu: Aydınlatma direk tavandan yapıldığından dolayı, Tij boyu(h_2) = 0 alınır.

Armatürün çalışma düzleminden uzaklığı:

$$H = h - (h_1 + h_2) = 2,03 - (0,85 + 0) = 1,18 \text{ m} \quad (6.19)$$

Oda indeksi (k) ve aydınlatma etkinlik faktörü oda verimi (η_{oda});

$$k = \frac{axb}{H \times (a + b)} = \frac{2,70 \times 2,20}{1,18 \times (2,70 + 2,20)} \cong 1,03 \quad (6.20)$$

Sahanlık direkt aydınlatması için Tablo 4.4 den aydınlatma etkinlik faktörünü bulabiliriz. Yansımaya katsayıları için salon aydınlatmasında kullanılan oranlar kullanılacaktır.

$$(T_y) = \%70; (D_y) = \%50; (Z_y) = \%10 \quad (6.21)$$

Aydınlık etkinlik faktörü (η) yukarda belirtilen yansımaya ve oda indeksi değerlerine göre Tablo 4.5 den belirlenir. Sahanlıkta Direkt aydınlatma yapılmaktadır, bundan dolayı Tablo 4.9 da direkt aydınlatma gömülü sistem armatürün verimi $\eta_{ayg} = \%70$ olarak görülmektedir. Buna göre aydınlatma verimini hesaplayacak olursak;

$0,23 \leq \eta_{oda} \leq 0,29$ ve küçük değere daha yakın, bu yüzden $\eta \cong 0,25$ alınacaktır.

$$\eta = \eta_{oda} \times \eta_{ayg} = 0,25 \times 0,7 = 0,175 \quad (6.22)$$

Kirlenme faktörü (d): Bir yıllık bakım periyoduna göre standart olarak, $d = 1,25$ alınmıştır.

Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı (Φ_L); $\Phi_{L_{sahanlık}} = 1050 \text{ lm}$

Lamba sayısı: $Z_{sahanlık} = 2$

Mevcut aydınlık şiddeti;

$$E_{sahanlık} = \frac{\Phi_{L_{sahanlık}} \times Z_{sahanlık} \times \eta}{A \times d} = \frac{1050 \times 2 \times 0,175}{3,96 \times 1,25} \cong 74,24 \text{ lx} \quad (6.23)$$

Standartlara göre sahanlıkta minimum 75 lx aydınlık düzeyi olması gerekmektedir. Yukarıda hesaplandığı gibi 1,25 kirlenme faktörüne göre çalışma düzeyinde (85 cm) aydınlık düzeyi 74,24 lx olarak hesaplanmıştır. Aydınlatma sisteminin yetersiz olma koşulu Formül 6.15 deki kriterleri sağlamasıyla belirlenmektedir. Eğer kriterler sağlanmıyorsa sistemin kullanılmasında herhangi bir sorun yoktur.

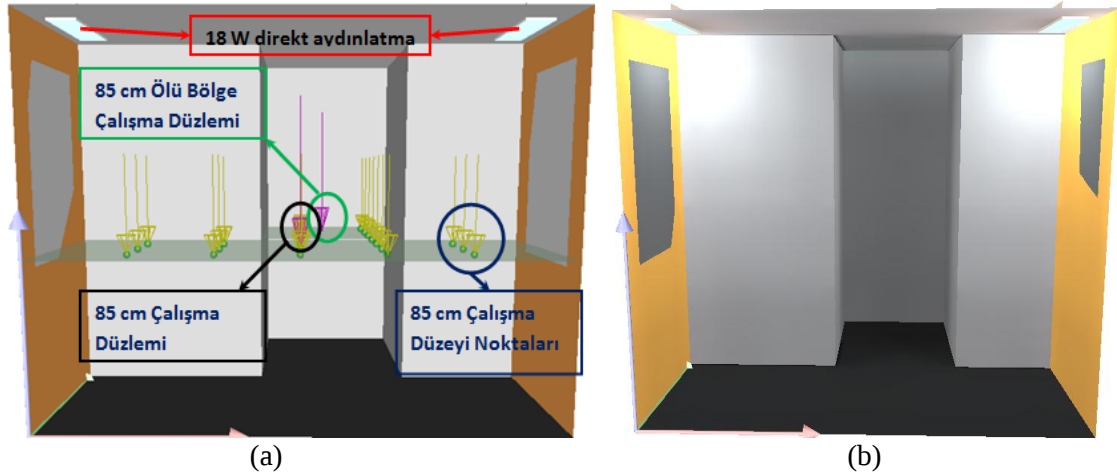
$$E_{\text{istenen}} \times 1,10 < E_{\text{hesaplanan}} \text{ veya } E_{\text{hesaplanan}} < E_{\text{istenen}} \times 0,9 \quad (6.24)$$

$$82,5 < 74,24 \text{ ve } 74,24 < 67,5$$

Sağlamaya göre formüllerden her ikisinde de durum sağlanmamaktadır. Hesaplama doğrultusunda sistemden istenilen aydınlık düzeyi değeri elde edilmiştir.

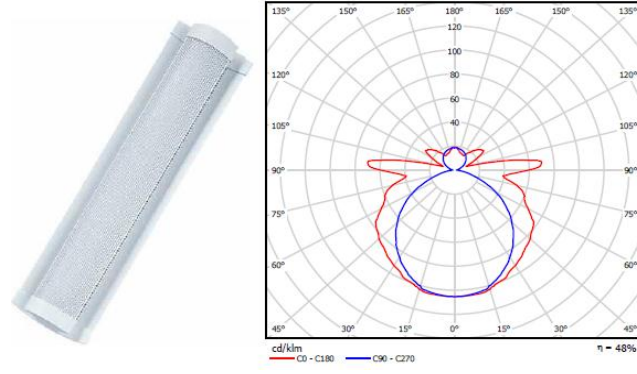
6.1.2.2. DIALux 4.10 Programıyla Sahanlık Aydınlatma Hesabı

DIALux 4.10 aydınlatma hesap programında vagon sahanlık ölçüleri birebir kullanılarak, eşdeğer aydınlatma elemanlarıyla sahanlık aydınlatma düzeyi hesabı incelenmiştir. Sahanlıkta 18 W Osram floresan ve ERA tipi tavana gömülü armatürler kullanılmaktadır.

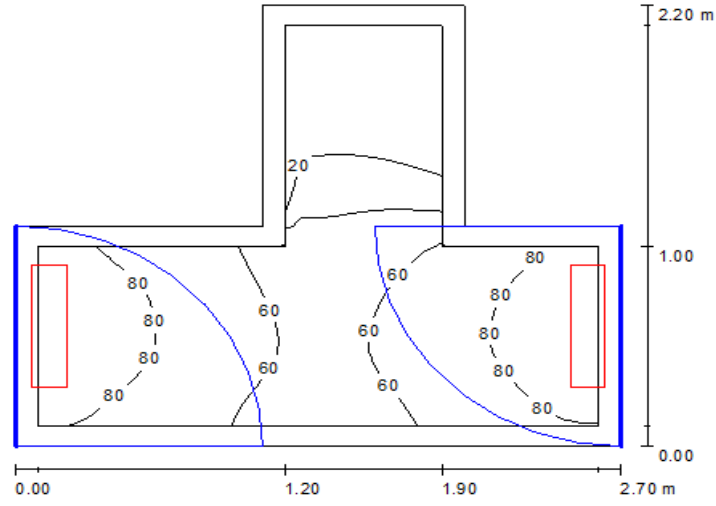


Resim 6.9 : (a) Sahanlık aydınlatma benzetimi, (b) DIALux 4.10 aydınlatma görüntüsü

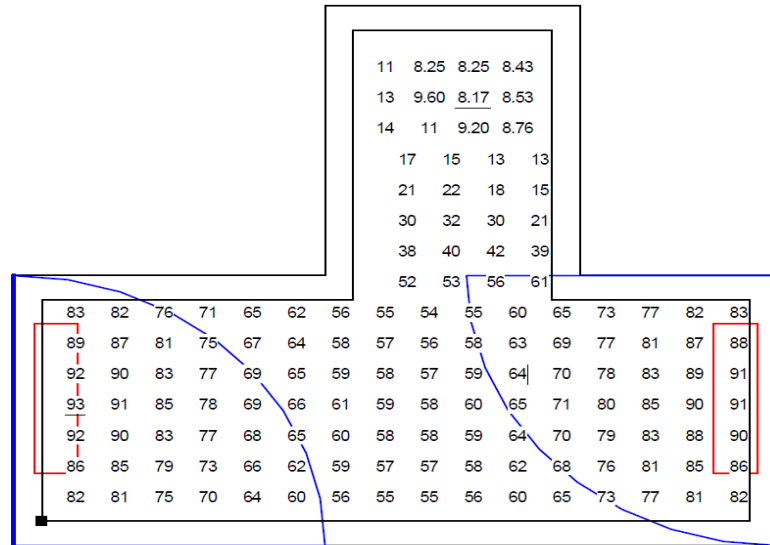
Sahanlığın yapısından ve aydınlatma kaynaklarının yerleşim konumlarında dolayı aydınlık düzeyi eşyayılım oldukça verimsizdir. Toplam alanın yaklaşık %20'lik bir kısmı ışık kaynaklarının yansıma alanı dışındadır. Bu bölgeyi aydınlatma tasarımı açısından ölü bölge olarak isimlendirmek yerinde olacaktır. Program çıktılarında bu bölgelere özellikle dikkat çekilmiştir. Çünkü sahanlık aydınlık düzeyi değerlerini oldukça etkilemekte ve standartların sağlanmamasına neden olmaktadır.



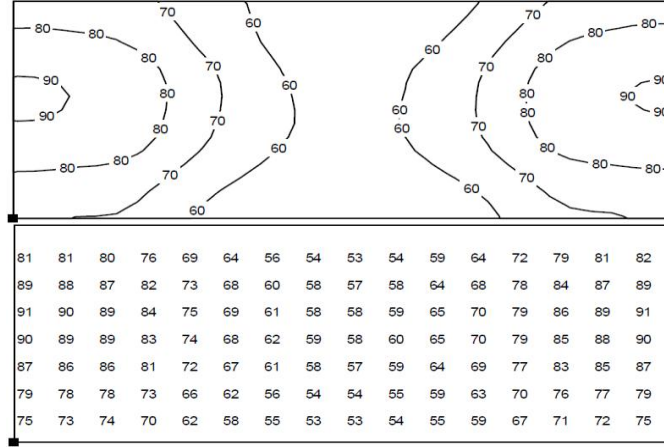
Şekil 6.19 : DIALux 4.10 sahanlık ışık kaynağı ve ışık yayım grafiği 18 W Osram floresan



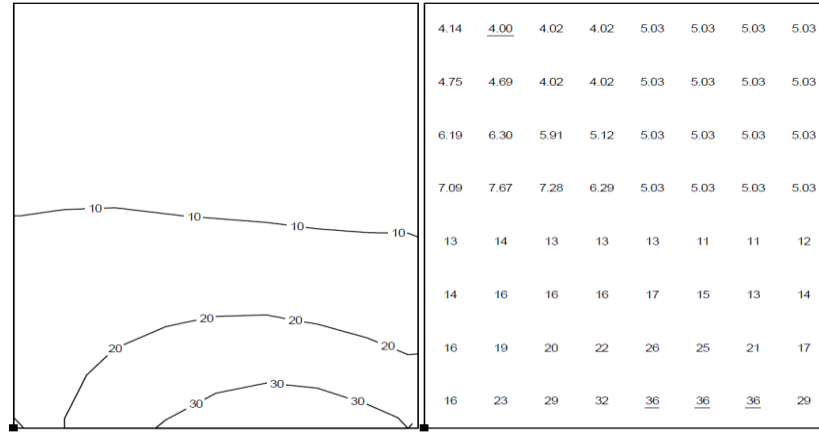
Şekil 6.20 : DIALux 4.10 Sahanlık 0,85 m çalışma düzeyi aydınlık şiddeti grafiği



Şekil 6.21 : DIALux 4.10 Sahanlık 0,85 m çalışma düzeyi aydınlık şiddeti değerleri



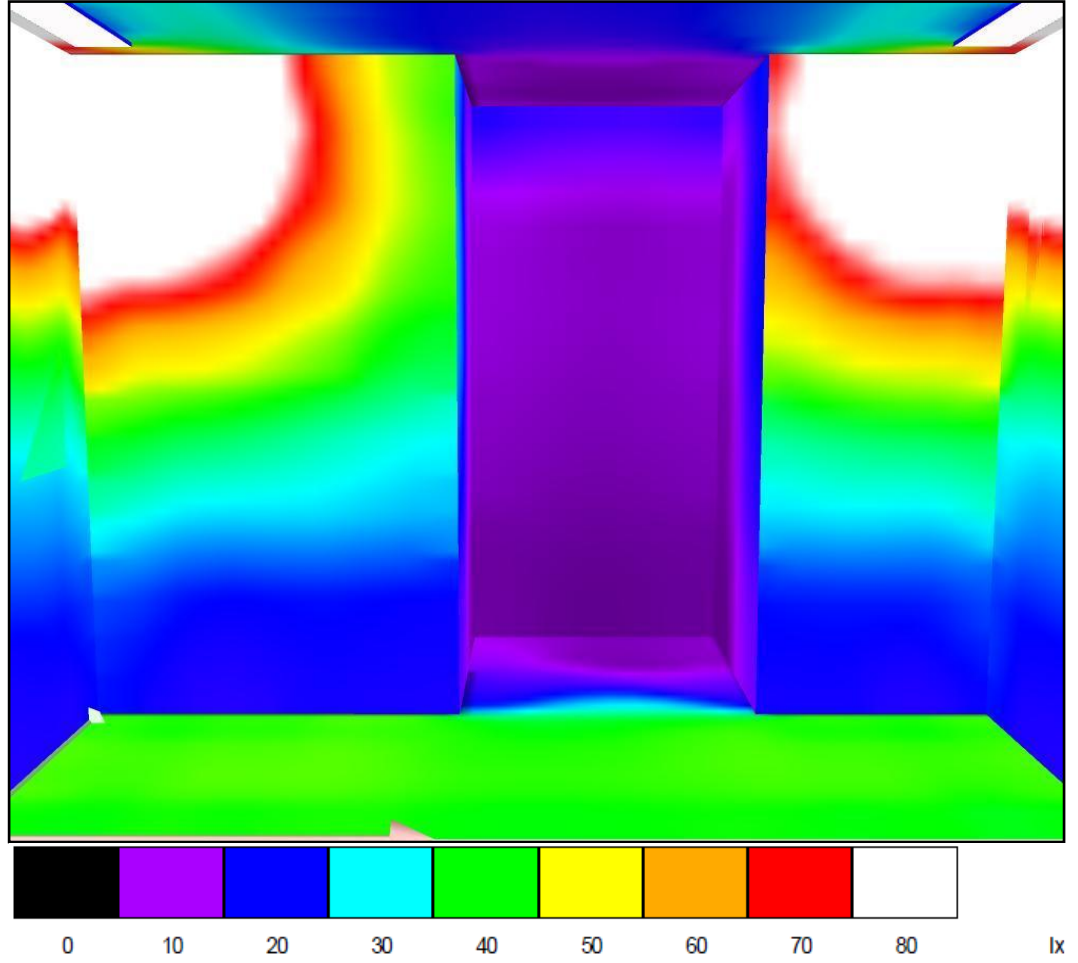
Şekil 6.22 : Sahanlık görünür alan aydınlık düzeyi değerleri ve grafiği



Şekil 6.23 : Ölü bölge aydınlık değerleri ve grafiği

Tablo 6.19 : DIALux 4.10 sahanlık aydınlatması ölçüm sonuçları özeti

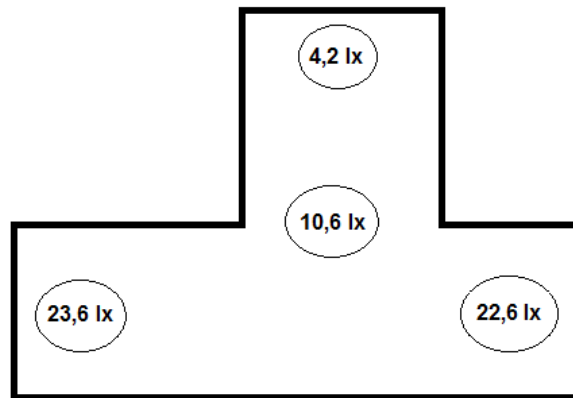
SAHANLIK AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	59	8.17	93	0.140	0.089
Hesap yüzeyi 1	/	71	51	92	0.717	0.550
Hesap yüzeyi 2 (ölü bölge)	/	12	4	36	0.324	0.111
Zemin	10	34	6.86	44	0.200	0.156
Tavan	70	24	6.69	117	0.275	0.057
Duvarlar (4)	40	33	5.39	188	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	2	OSRAM 4050300535630 72535 OSRAM SOFTLITE EL	508	1050	18	% 48



Resim 6.10 : Sahanlık yanlış renkler görüntüsü

6.1.2.3. Vagon Sahanlık Aydınlatması İnceleme ve Ölçüm Sonuçları

TVS 2000 pulman vagonların sahanlık bölümünde yapılan incelemeler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.24: Sahanlık ölçüm sonuçları

Tablo 6.20 : Sahanlık aydınlatması çalışma düzeyi (0.850 m) ölçüm sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Kolçak yüksekliği (0.680 m)	/	15.25	4.2	23.6	0.275	0.178
Görünür bölge	/	17.6	10.6	23.6	0.602	0.449
Hesap yüzeyi 2 (ölü bölge)	/	7.4	4.2	10.6	0.567	0.396

6.1.3. TUVALET AYDINLATMASI

6.1.3.1. Tuvalet Matematiksel Hesaplama

Vagonlarda lavabo aydınlatması katalogda 11 W tekne tipi kompakt flüoresanlar tarafından yapıldığı, fakat incelemelerde 8 W floresanların kullanıldığı belirlenmiştir. Her vagonda iki lavabo ve 2 adet ışık kaynağı bulunmaktadır. Tuvalet aydınlatması karma tip aydınlatmayla yapılmaktadır.

Lavabo eni ve boyu: 1,10 m

Lavabo alanı; $A_{wc} = a \times b = 1,10 \times 1,10 = 1,21 \text{ m}^2$

Tij Boyu: Aydınlatma kaynağı ayna üzerlerinden yapılmaktadır. Ölçülen değerlere göre aydınlatma kaynağının tijsiz montaj boyu 0,10 m'dir. Tuvalet yüksekliği 2,03 m'dir.

Tij boyu; $h_{wc2} = 0,10 \text{ m}$

Armatürün çalışma düzleminin uzaklığı:

$$H_{wc} = h_{wc} - (h_{wc1} + h_{wc2}) = 2,03 - (0,85 + 0,10) = 1,08 \text{ m} \quad (6.25)$$

Oda indeksi (k) ve aydınlatma etkinlik faktörü oda verimi (η):

$$k_{wc} = \frac{axb}{H_{wc} \times (a + b)} = \frac{1,10 \times 1,10}{1,08 \times (1,10 + 1,10)} \cong 0,51 \quad (6.26)$$

Aydınlık etkinlik faktörü, oda indeksine göre tavan, duvar ve zeminin yansıtma oranlarına göre Tablo 4.4 de kesişen hücredeki değerdir.

Aydınlık etkinlik faktörü (η); $0,23 \leq \eta_{WC} \leq 0,26$ ve küçük değere daha yakın, bu yüzden $\eta_{WC} \cong 0,23$ alınacaktır. Aygıt verimi; $\eta_{ayg} \cong 0,90$

$$\eta = \eta_{WC} \times \eta_{ayg} = 0,23 \times 0,9 = 0,207 \quad (6.26)$$

Kirlenme faktörü (d): Bir yıllık bakım periyodu baz alınarak (Tablo 4.7) ve standart olarak 1,25 alınmıştır.

Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı (Φ_{LWC}); $\Phi_{LWC} = 300 \text{ lm}$ 'dir.

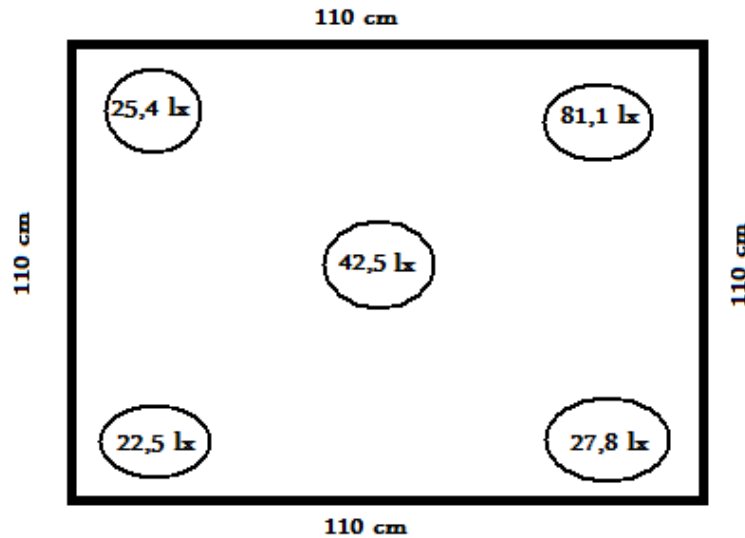
Tuvalet aydınlık şiddeti;

$$E_{WC_mevcut} = \frac{\Phi_{LWC} \times Z_{WC_mevcut} \times \eta_{WC}}{A_{WC} \times d_{WC}} = \frac{300 \times 2 \times 0,207}{1,21 \times 1,25} \cong 82,12 \text{ lx} \quad (6.27)$$

İstenen aydınlık düzeyi Tablo 5.3 de minimum 150 lx olması gerekirken, yukarıda hesaplandığı gibi $82,12 \text{ lx}$ 'tür. Görüldüğü gibi mevcut sistemdeki kaynak ile istenilen aydınlık şiddetine ulaşamamaktadır. Aydınlatma kaynağının ışık akısı artırılmalıdır ya da farklı bir tasarım gerekmektedir.

6.1.3.2. Tuvalet Aydınlatması İnceleme ve Ölçüm Sonuçları

Vagon incelemesinde tuvaletlerde yapılan aydınlık ölçümleri;



Şekil 6.25 : Vagon tuvalet aydınlık ölçüm noktaları ve sonuçları

Tablo 6.21 : Vagon tuvalet aydınlık şiddeti inceleme ve ölçüm noktaları ve sonuçları

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma Düzlemi (0.850 m)	/	39.86	22.5	81.1	0.564	0.277

6.2. AYDINLATMA SİSTEMİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI

TVS 2000 pulman tipi vagonların aydınlatma sistemi matematiksel hesaplama, DIALux 4.10 aydınlatma ve tasarım programı ve vagonlarda yapılan inceleme ve ölçümler yapılarak incelenmiştir. Bu kısımda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, bu tip vagonların aydınlatma sistemlerinin yeterliliği tartışılarak olası öneriler sunulmuştur.

Tablo 6.22 : Vagon salon aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması

SALON AYDINLATMASI KARŞILAŞTIRMASI					
Çalışma düzlemi (0.850 m)	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
DIALux 4.10	104.00	60	132.0	0.575	0.454
İnceleme ve Ölçüm	28.43	20	39.2	0.700	0.510
Matematiksel Hesaplama	101.73	-	-	-	-
Çalışma düzlemi (0.850 m) Noktasal					
DIALux 4.10	92.00	56	135.0	0.610	0.420
İnceleme ve Ölçüm	28.43	20	39.2	0.700	0.510
Koltuk boyu seviyesi (1.10 m) noktasal					
DIALux 4.10	128.00	91.0	151.0	0.710	0.600
İnceleme ve Ölçüm	31.19	15.1	43.5	0.480	0.350
Matematiksel Hesaplama	111.91				
Kolçak yüksekliği seviyesi (0.680 m) noktasal					
DIALux 4.10	93.0	53.0	130.0	0.570	0.410
Matematiksel Hesaplama	91.57				
STANDART		100			

Tablo 6.22 de salon aydınlatma düzeyleri karşılaştırması, çalışma düzlemi (0.850 m), koltuk boy seviyesi (1.10 m) ve kolçak yükseklik seviyesi (0.680 m) olmak üzere üç ayrı seviyede karşılaştırılmıştır. UIC 555, TS EN 13272 demiryolu araçları aydınlatma

standartlarında salon aydınlık şiddetinin çalışma düzleminde minimum 100 lx olması gerektiği belirtilmektedir. (Tablo 5.3)

Matematiksel hesaplamada 101.73 lx, DIALux 4.10 programında 104 lx ve ölçümlerde ortalama 28.43 lx çalışma düzeyi aydınlık şiddeti sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 6.22). Matematiksel hesaplama ve program çıkışında, standartlarda belirtilen aydınlık düzeyine ulaşılmaktadır. Fakat vagon ölçümlerinde aydınlık düzeyi standartların yaklaşık %28 gibi oldukça düşük bir oranını sağladığı görülmektedir. Bu durum yolcu taşımacılığında yoğun kullanılan TVS 2000 pulman vagonların salon aydınlatmasında yetersiz olduğunu göstermektedir. Matematiksel hesaplamalarda ve programda yansımaya katsayıları ve armatür verim değerleri standart sınırlarda belirlenmiştir. Program ve matematiksel hesaplamada kullanılan ışık kaynakları, armatürler ve verimleri, bakım katsayıları ve kullanılan malzeme yansıtması istenilen aydınlık düzeyini verirken, ölçümlerde kayıplardan kaynaklı düşük sonuçların olduğu açık olarak görülmektedir. Vagon salon aydınlatması ölçümleri aydınlatma sisteminin yeterlilik koşulunu oluşturmaktadır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, aydınlatma sisteminde kayıpların çok yüksek olduğu söylenebilir.

Vagon aydınlatma sisteminde ki kayıpların nedenleri üzerinde durulması, yolcu ve çalışanların sağlığı ve gereksiz harcanan enerji açısından oldukça önemlidir. Kayıplar;

- Armatürlerin tasarım ve konumlandırılmalarından kaynaklanan kayıplar
- Düşük verimli armatür kullanımından kaynaklanan kayıplar (%90'ın üzerinde)
- Armatür yapım malzemeleri ve iç yapı özelliklerinden kaynaklanan kayıplar (Armatür içleri yansıtmasız ve paslanmaya müsait malzemelerden yapılmıştır.)
- Işık kaynaklarının armatür içerisine diziliminden kaynaklanan kayıplar
- Armatür kapaklarında kaynaklanan kayıplar
- Bakım sürelerinden kaynaklanan kayıplar
- Aydınlatma tipinden kaynaklanan kayıplar
- Toz, kir ve yıpranmaların sebep olduğu kayıplar
- Çıkış açısı ve yüzeylerdeki pürüzlerden kaynaklanan kayıplar
- Yüzey ve ortam elemanlarının renk ve yansıtma oranlarından oluşan kayıplar

- Havalandırma çıkışlarının neden olduğu kayıplar (Havalandırma çıkışları aydınlatma kaynaklarına çok yakın konumlandırılmış ve ışığı soğuran siyah renkte ızgaraların kullanılması kayıplar oluşturur.)

Yukarıda sıralanan kayıplarla birlikte vagon aydınlatma sisteminde ciddi yetersizlik ve eksikliklerin olduğu söylenebilir. Salon okuma lambaları aktifken, ışığın düştüğü alanda, yani sadece koltuk oturma bölümü çalışma düzeyinde, aydınlık düzeyi $130\text{ lx} - 160\text{ lx}$ arasında değerler göstermektedir. Standartlarda okuma lambaları açıkken çalışma düzleminde aydınlık düzeyi minimum 150 lx olmalıdır. Ölçümlerde kısmen, okuma lambaları aktifken standartlara yaklaşık aydınlık düzeyi ölçülmüştür. Bu durum, ihtiyaç olmamasına rağmen zorunlu olarak okuma lambalarının kullanılması sonucunu doğurur. Mevcut kaynakların yetersizliğinden dolayı okuma lambalarının zorunlu kullanımı, hem lamba sisteminin ömrünü azaltmakta hem de ihtiyaç olmadığı halde enerji tüketildiğini gösterir. Sonuç olarak böyle bir durumu tespit ederek gereken önlemlerin alınması enerji verimliliği çalışmaları kapsamına girmektedir.

Tablo 6.23 : Vagon salon gece aydınlatma sonuçlarının karşılaştırılması

SALON GECE AYDINLATMASI KARŞILAŞTIRMASI					
Çalışma düzlemi (0.850 m)	$E_m[\text{lx}]$	$E_{min}[\text{lx}]$	$E_{max}[\text{lx}]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
DIALux 4.10	5.92	-	-	-	-
İnceleme ve Ölçüm	1.52	-	-	-	-
Matematiksel Hesaplama	16.25	-	-	-	-
Kolçak yüksekliği seviyesi 68 cm noktasal					
DIALux 4.10	5.22	3.25	7.98	0.620	0.410
İnceleme ve Ölçüm	1.26	0.50	2.30	0.396	0.217
Matematiksel Hesaplama	13.0	-	-	-	-

Tablo 6.23 de gece aydınlatması için ulaşılan sonuçlar verilmiştir. Vagon aydınlatma standartlarında, acil durum aydınlatması aydınlık düzeyi, geçiş güzergâhlarında minimum 5 lx ve çıkış yeri eşiğinde minimum 30 lx olması gerektiği belirtilmiştir. Yine aydınlatma sistemlerinin sağlığa etkileri ve öneriler kısmında değinildiği üzere, okuma olayı için okuma düzeyinde minimum 10 lx aydınlık düzeyinin olması gerekmektedir.

Vagon gece aydınlatması aydınlık düzeyi, yukarıda sıralanan iki kıstas ve tablodan ulaşılacak sonuçlara göre sadece matematiksel hesaplamalarda 16,25 lx olduğu ve kriterleri sağladığı görülmektedir. DIALux 4.10 programında çalışma düzlemi için aydınlık düzeyi 5.92 lx iken, ölçümlerde bu değer ortalama 1,26 lx olduğu gözlenmektedir. Yani vagon gece aydınlatmasında minimum kıstasların bile sağlanamadığı söylenebilir. Böylece incelenen vagonun gece aydınlatma sisteminin yetersiz olduğu ve acil önlem alınması gerektiği söylenebilir. Çıkış akısı 400 lm olan bir kaynaktan 0.85 m çalışma seviyesinde elde edilen aydınlık düzeyi değerleri, aydınlatma sistemindeki kayıpların hangi boyutlarda olduğunu gözler önüne sermektedir. Gece aydınlatmasında kullanılan armatürlerin verimi %10'un altında ve tasarım yanlışlığı kayıpların bu derece yüksek olmasının temelini oluşturmaktadır. Salon elemanlarının renklerinin koyu olması kayıpların ve buna bağlı olarak da verim düşmesine neden olur. Ayrıca gece aydınlatma armatürlerinin konumunun yaklaşık 10 cm üzerine tasarlanmış ve süngerimsi yapıda olan siyah hava filtreleri, kaynaktan çıkan ışığın büyük bir kısmını soğurmakta ve yansıtma yüzeyini düşürmektedir.

Tablo 6.24 : Vagon sahanlık aydınlatma sonuçlarının karşılaştırılması

SAHANLIK AYDINLATMASI KARŞILAŞTIRMASI					
Çalışma düzlemi (0.850 m)	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
DIALux 4.10	59.00	8.17	93	0.140	0.089
İnceleme ve Ölçüm	15.25	4.20	23.60	0.275	0.178
Hesaplama	74.24				
STANDART		75			

Vagonların sahanlık bölümü incelemelerinde ve karşılaştırmalarında da, salon kısmında karşılaşılan olumsuz durumların olduğu gözlenmektedir. Aydınlatma standartlarına göre, vagon sahanlık aydınlatması çalışma düzeyi aydınlık düzeyi minimum 75 lx olmalıdır. Bu seviyeye yalnızca matematiksel hesaplamalarda ulaşıldığı Tablo 6.24 de verilmiştir. Bunun nedeni ise aydınlatma hesaplarında karesel ya da dikdörtgensel yapılar için formüller geliştirilmiştir. Vagon sahanlığı Şekil 6.24 de görüleceği üzere “T” şeklini andıran bir yapıdadır. Matematiksel hesaplama aynı alana sahip dikdörtgen şeklindeki bir sahanlık için ulaşılabilecek sonuçlardır. Bununla birlikte aynı uzunluklar ve yansıtma oranlarına göre noktasal olarak DIALux 4.10 programında 59 lx, ölçüm

sonuçlarında ise 15,25 lx aydınlık düzeyi değerleri izlenmektedir. Normal şartlarda sahanlıkta çalışma düzeyi için istenilen aydınlık düzeyi değerine ulaşılabilir. Fakat ulaşılmasının nedeni, sahanlık yapısında yaklaşık 1 m²'lik bir ölü bölgenin bulunmasıdır. Sahanlığın alanının yaklaşık %25'lik kısmını oluşturan bu bölge aydınlatma kaynaklarının yayılma grafiklerinin dışında kalmaktadır. Sahanlık kısmını aydınlatma kaynaklarının konumuna göre, görünür bölge ve ölü bölge olarak ikiye ayıracak olursak, Aydınlık düzeyi değerleri aşağıda Tablo 6.25 de verilmiştir.

Tablo 6.25 : Vagon sahanlık bölgesel aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması

SAHANLIK AYDINLATMASI NOKTASAL KARŞILAŞTIRMA						
Çalışma düzlemi (0.850 m) Noktasal		$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
DIALux 4.10	Görünür Bölge	71	51	92	0.717	0.550
	Ölü Bölge	12	4	36	0.324	0.111
İnceleme ve Ölçüm	Görünür Bölge	23.1	22.6	23.60	0.978	0.957
	Ölü Bölge	7.4	4.2	10.6	0.567	0.396

Görünür bölgede aydınlık düzeyi programa göre 71 lx iken, ölü bölgede 12 lx değerine düşmekte ve bundan dolayı ortalama aydınlık düzeyi 59 lx olur. Yine Ölçümlerde görünür bölge için aydınlık şiddeti 23.1 lx iken, ölü bölgede bu değer 7.4 lx ve ortalamada 15.25 lx'tür. Vagon sahanlık bölümünde, aydınlatma sistemi tasarımından, armatür yapısından ve bakım planlarının düzensizliğinden kaynaklanan büyük kayıplar söz konusudur. Veriler doğrultusunda vagon sahanlık aydınlatması standartların oldukça altında ve yetersizdir.

Tablo 6.26 : Vagon tuvalet aydınlatması sonuçlarının karşılaştırması

TUVALET AYDINLATMASI KARŞILAŞTIRMASI					
Çalışma düzlemi (0.850 m)	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
İnceleme ve Ölçüm	39.86	22.5	81.1	0.564	0.277
Hesaplama	82.12	-	-	-	-
STANDART	150				

Vagon tuvalet aydınlatması sonuçları yukarıda Tablo 7.26 da sıralanmıştır. Tuvalet aydınlatmasında aydınlık düzeyi, standartlarda belirtilen minimum 150 lx aydınlık

düzeyinin oldukça altındadır. Ölçümlerde tuvalet çalışma düzlemi aydınlık düzeyi ortalama 39.86 lx iken, matematiksel hesaplamalarda bu değerin 82.12 lx olduğu görülmektedir. Aydınlatma sistemindeki kayıplar Resim 5.9 da görüleceği gibi armatür kapağı ve bakım planından kaynaklanmaktadır. Bu veriler doğrultusunda vagon tuvalet kısımlarında yapılan aydınlatma yetersiz olduğu söylenebilir.

6.3. AYDINLATMA SİSTEMİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ DEĞERLENDİRMESİ

Vagonlarda aydınlatma sistemi kaynakların tükettikleri toplam enerji ve bu kaynakların alternatif kaynaklarla değiştirilmesi durumunda sağlanacak enerji tasarrufu incelenmiştir. İncelemelerde mevcut aydınlatma sisteminin kaynaklar bazında yeterli olduğu düşünülerek, bu şartlarda, alternatif kaynaklar önerilerek enerjiden yapılabilecek tasarruf oranları çıkarılmıştır. Çünkü genelleme yapılacak olursa, incelemiş olduğumuz vagonda aydınlatmanın yetersizliğinden kaynaklanan düzenlemelere ağırlık verilmiştir. Normal şartlarda her vagon için bu durumlarla karşılaşılacağı kesin değildir. Amaç aydınlatma sistemi yetersiz olan vagonlarda aydınlatma sistem önerileri sunarak enerji verimliliği yapmak ve aydınlatma sistemi yeterli olan vagonlarda da kaynak bazında enerji tasarrufunun yapılabileceğini göstermektir. Daha genel anlamda vagonlarda tüm şartlarda enerji verimliliğinin gerçekleştirilebileceğini, tasarruf potansiyelinin olduğunu ortaya çıkarmaktır. Çünkü ülkemizde raylı sistemlerde şimdiye kadar enerji verimliliği kapsamında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Böylece enerji verimliliğini daha geniş alanlara yayılmasıyla hem kurumlarımız, hem de ülkemizin enerji sarfiyatı konusunda kazanımlar oluşturması sağlanabilir.

6.3.1 Vagon Salon Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji

Salonda 7 W'lık 24 adet kompakt floresan ve bu floresanlar için maksimum 7 W balast kullanılmaktadır. Ayrıca vagon el kitabına göre salonda 20 W T8 olan floresanlar yerine 18 W'lık 66 adet floresan ve bu floresanlar için 10 W'lık balastlar kullanılmaktadır. Yani aygıt toplam gücü 14 W olan kompakt floresanlardan 24 adet, aygıt toplam gücü 28 W olan floresanlardan 66 adet kullanılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda salon aydınlatması için toplam enerji hesabı aşağıda yapılmıştır. Her bir aydınlatma

kaynağının ortalama günde 4 saat aydınlatmada kullanıldığı varsayılarak, saatlik, günlük ve yıllık enerji tüketimi;

Saatlik kullanım;

$$\text{Kompakt floresan: } [7 + 7(\text{balast})] \text{ W} \times 24 = 336 \text{ Wh}$$

$$\text{Floresan} : [18 + 10(\text{balast})] \text{ W} \times 66 = 1848 \text{ Wh}$$

$$\text{Toplam} : 336 + 1848 = 2184 \text{ Wh}$$

$$\text{Günlük (4 saat/gün)} : 2184 \text{ Wh} \times 4 = 8,736 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık (365 gün/yıl)} : 8736 \text{ kWh} \times 365 = 3188,64 \text{ kWh}$$

Vagon genel aydınlatma sisteminde en yoğun kullanılan aydınlatma elemanı floresan lambalardır. Floresan lambalar görünür ışığı meydana getirmek için balast ve starter gibi sistem maliyetinin büyük bir kısmını oluşturan yardımcı elemanlara ihtiyaç duyarlar. Bu kaynaklar yerine alternatif olarak LED tube floresanların kullanılması önerilir. LED floresanlar normal floresanların aksine tam ışığa çok daha kısa sürede ulaşır. Ayrıca ateşleme için normal floresanlar gibi yardımcı elemanlara ihtiyaç duyulmaz. İlk kurulum maliyeti LED floresanlar için daha yüksektir. Fakat ortalama güç tüketiminin daha düşük olması, ömürlerinin normal floresan ömürlerinin yaklaşık 6 – 10 katı olması ve yardımcı elemanlara harcanan maliyetin olmaması kısa sürede kurulum maliyetini amorte ettiği gibi büyük oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır.

TVS 2000 Pulman Vagon salon salonunda 66 ve uyarı levhalarında 2 adet 18 W 900 lm ve sahanlıkta 4 adet 18 W 1050 lm olmak üzere, toplamda 72 adet floresan lamba kullanılmaktadır. Bu kaynaklara alternatif olarak 10 W, 1000 lm T8 LED floresanlar kullanılması durumunda tasarruf karşılaştırması Tablo 6.27 de yapılmıştır. LED floresanlar için yeni bir devreye ya da mekanik değişikliğe ihtiyaç yoktur. Sadece balastlar armatürlerde devre dışı bırakılmalıdır. Isınmanın önüne geçebilmek için de bu floresanlar soğutuculu olarak tasarlanmaktadır. Ayrıca sürücü devresine ihtiyaç duyulan LED floresanların sürücü devreleri içindedir.

Tablo 6.27 de vagonlarda kullanılan floresan kaynakların yerine LED floresanların kullanılmasıyla, kaynak ömrü süresince her bir kaynaktan 540 kWh enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca vagon başına yıllık 852,72 TL tasarruf maliyeti sağlanmaktadır.



Resim 6.11 : (a) Mevcut kullanılan floresan kaynak, (b) LED floresan kaynak[34]

Tablo 6.27 : Floresan lamba LED floresan lamba karşılaştırması

T8 LED Floresan ile T8 Floresan lambalar arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	T8 LED Floresan (10 W)	T8 Floresan Lamba (18 W)
Kullanım ömrü (saat)	30.000	5.000
30.000 saatte lamba değişim sayısı	1	6
Lamba Birim Fiyatı	27,44 \$ 49,392 TL	3,00 TL
Toplam Lamba Maliyeti	49,392 TL	18 TL
30.000 saatte toplam balast değişimi	-	3
Toplam balast maliyeti	-	4,25 TL x 3 = 12,75 TL
30.000 saatte tüketilen enerji	30.000 x 10 = 300 kWh	30.000 x (18 + 10) = 840 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	90,00 TL	252 TL
Lamba değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	139,392 TL	382,75 TL
Toplam tasarruf (1 adet)	243,358 TL	
Toplam tasarruf (72 adet)	17.521,776 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak aylık tasarruf (10 W'lık LED floresan için)	71,06 TL	
100 vagon için aylık tasarruf	7.106,00 TL	
100 adet vagon için toplam tasarruf	710,600,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak yıllık tasarruf (10 W'lık LED floresan için)	852,72 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	85.272,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		

Salon gece aydınlatmasında kullanılan 24 adet kompakt floresanların yerine alternatif olarak aynı ışık akısına sahip 5 W'lık LED floresanların kullanılmasıyla sağlanacak tasarruf Tablo 6.28 de yapılmıştır. İki pinli floresanlar tercih edildiğinden dolayı armatür içyapısında herhangi bir değişikliğe gerek yoktur.[34]

Tablo 6.28: Vagon Kompakt Floresan, Kompakt LED Floresan karşılaştırması[28]

Kompakt LED Floresan Lamba ile Kompakt Floresan Lamba arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	LED Kompakt Floresan (5 W)	Kompakt Floresan (7 W)
Kullanım ömrü (saat)	50.000	6.500
50.000 saatte lamba değişim sayısı	1	7,7
Lamba Birim Fiyatı	4,02 \$ x 1,80 TL = 8,538 TL	5,00 TL
Toplam Lamba Maliyeti	8,54 TL	38,50 TL
50.000 saatte toplam balast değişimi		5
Toplam balast maliyeti		5 x 3,25 TL = 16,25 TL
50.000 saatte tüketilen enerji	50.000 x 5 = 250 kWh	50.000 x (7 + 7) = 700 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	75,00 TL	210,00 TL
Lamba/balast değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	83,54 TL	364,75 TL
Toplam tasarruf lamba(1 adet)	281,21 TL	
Toplam tasarruf 1 vagon için(24 adet)	6.749,04 TL	
100 adet vagon için toplam tasarruf	674.904,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak aylık tasarruf (5 W Kompakt LED Floresan için)	16,42 TL	
100 vagon için aylık tasarruf	1.642,29 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak yıllık tasarruf (5 W Kompakt LED Floresan için)	197,07 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	19.707,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		



Resim 6.12 : (a) Mevcut kullanılan kompakt floresan kaynak, (b) LED kompakt floresan kaynak

Vagon gece aydınlatmasında alternatif kaynakların kullanılmasıyla kaynak ömrü süresince 450 kWh enerji tasarrufu ve vagon başına bu sistemden yıllık 197,07 TL tasarruf maliyeti sağlanacaktır.

6.3.2. Vagon Sahanlık Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji

Sahanlık aydınlatmasında kullanılan 18 W floresanlar için maksimum 10 W balastlar kullanılmaktadır. Böylece aygıt toplam gücü 28 W'tır. Her bir floresan için bir balast kullanılmakta ve toplamada her sahanlık için 2 adet ve her vagon için 4 adet floresan ve balast kullanılmaktadır. Alternatif kaynaklar tüm vagon floresan kaynaklarında değerlendirilmiştir. Günde ortalama 4 saat çalışan aydınlatma sistemi için yıllık tüketilen toplam enerji;

$$\text{Günlük} : [18 + 10(\text{balast})] \text{ W} \times 4(\text{adet}) \times 4(\text{saat}) = 448 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık} : 448 \times 365 = 163,52 \text{ kWh enerji tüketmektedir.}$$

6.3.3. Tuvalet Aydınlatma Elemanlarının Harcadığı Toplam Enerji

Tuvaletlerde vagon el kitabında 11 W görünen, fakat incelemelerde 8 W'lık T5 floresanlardan kullanılmaktadır. Vagonun her başında birer tane olmak üzere toplam 2 adet tuvalet ve bu tuvaletlerin aydınlatması için toplam da 4 adet floresan kullanılmaktadır. Armatürlerde floresanların ateşlemesi için kullanılan 3 W'lık elektronik devreler mevcuttur. Yani her floresan için aygıt gücü 9,5 W olarak tespit edilmiştir. Aydınlatma sisteminin yetersizliği ve gün ışığından tuvaletlerin faydalanmamasından dolayı ortalama günlük 4 saat çalışan aydınlatma sisteminin harcadığı yıllık enerji hesaplanmıştır.

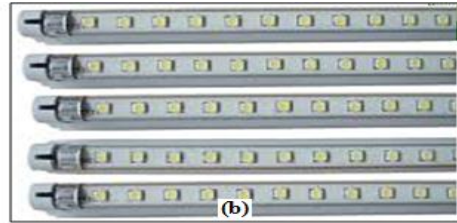
$$\text{Günlük: } \{[2(\text{adet}) \times 8\text{W} + 3(\text{sürücü})\text{W}]\} \times 2 \times 4(\text{saat}) = 152 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık} : 152 \times 365 = 55,48 \text{ kWh enerji tüketmektedir.}$$

Tuvaletlerde kullanılan 8 W T5 floresan lambalar yerine alternatif olarak 3 W'lık T5 LED floresan kullanılmasıyla sağlanacak tasarruf Tablo 2.29 da verilmiştir.[34]

Tablo 6.29 : Vagon tuvaleti T5 Floresan yerine T5 LED floresan karşılaştırması [29]

T5 LED Floresan Lamba ile T5 Floresan Lamba arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	T5 LED Floresan (3 W)	T5 Floresan (8 W)
Kullanım ömrü (saat)	50.000	5.000
30.000 saatte lamba değişim sayısı	1	10
Lamba Birim Fiyatı	15,00 \$ x 1,80 TL = 27,00 TL	2,34 TL
Toplam Lamba Maliyeti	27,00 TL	23,40 TL
30.000 saatte tüketilen enerji	50.000 x 3 = 150 kWh	50.000 x (8 + 1,5) = 475 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	45,00 TL	142,50 TL
Lamba değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	72,00 TL	265,90 TL
Toplam tasarruf lamba(1 adet)	193,90 TL	
Toplam tasarruf 1 vagon için(4 adet)	775,60 TL	
100 adet vagon için toplam tasarruf	77.560,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak aylık tasarruf (3 W T5 LED Floresan için)	1,89 TL	
100 vagon için aylık tasarruf	189,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak yıllık tasarruf (3 W T5 LED Floresan için)	22,65 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	2.265,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		



Resim 6.13 : (a) Mevcut T5 floresan kaynak, (b) LED T5 floresan kaynak[34]

Tuvaletlerinde alternatif kaynakların kullanılmasıyla her kaynaktan, ömrü boyunca, 325 kWh enerji tasarrufu ve her vagondan yıllık 22,65 TL tasarruf maliyeti sağlanır.

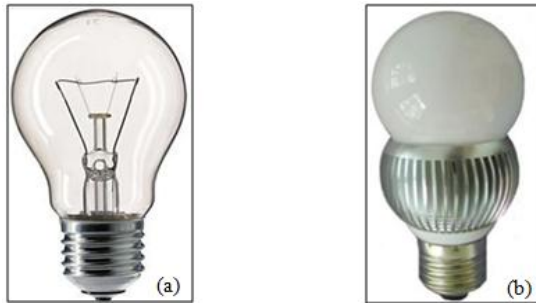
6.3.4. Vagon Son Işıkları Harcanan Toplam Enerji

Vagonun her iki baş tarafında ve toplam 4 adet 25 W akkor flamanlı ampullerle, hatta araç olduğunu gösteren aydınlatma kaynakları kullanılmaktadır. Kullanılan akkor lambalar günümüzde tercih edilmeyen aydınlatma elemanlarıdır. Çünkü yüksek ısı yaymaları, ömürlerinin kısa olması ve enerji tüketimlerinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Bu ışık kaynakları belirli saatler arasında sürekli açık olmak durumundadır. Fakat ortak bir yaklaşım oluşturmak için günlük 4 saatlik kullanıma göre harcanan toplam enerji;

$$\text{Günlük: } 25 \text{ W} \times 4(\text{adet}) \times 4(\text{saat}) = 400 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık : } 400 \times 365 = 146 \text{ kWh enerji harcamaktadır.}$$

Vagon son ışıkları için yukarıda enerji hesaplaması yapılan akkor ampullere alternatif olarak 3 W LED ampul kullanılması enerji tasarrufu açısından oldukça avantajlıdır. Akkor lambalar, enerjilerinin büyük bir kısmını ısı açığa çıkarmak için kullanırlar. Bundan dolayı verimleri oldukça düşüktür. Açma/kapamada meydana gelen şoklardan, titreşimlerden ve yüksek sıcaklıkta buharlaşmadan dolayı lamba ömrü ciddi oranlarda düşmektedir. LED'ler ise gövde yapılarından ve kullanılan kaplamalardan ötürü şoka ve titreşime dirençlidirler. Ayrıca küçük yapılarından dolayı parçalanma, saçılma riski bulunmamaktadır. Akkor flamanlı lambalara göre verimleri oldukça yüksek ve ısınma problemi yok denecek kadar azdır.



Resim 6.14 : (a) Mevcut kullanılan akkor kaynak, (b) Lumelux LED alternatif ampul[33]

Tablo 6.30 : Vagon son ışıklar Akkor Ampul, LED Ampul karşılaştırması [30]

LED Ampul ile Akkor Ampul arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	LED Ampul (3 W)	Akkor Ampul (25 W)
Kullanım ömrü (saat)	30.000	1.000
50.000 saatte lamba değişim sayısı	1	30
Lamba Birim Fiyatı	25,96 TL	0,90 TL
Toplam Lamba Maliyeti	25,96 TL	27 TL
30.000 saatte tüketilen enerji	30.000 x 3 = 90 kWh	30.000 x 25 = 750 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	27,00 TL	225 TL
Lamba değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	52,96 TL	352,00 TL
Toplam tasarruf (1 adet)	299,04 TL	
Toplam tasarruf (4 adet)	1.196,16 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagon sağlanacak yıllık tasarruf (3 W'lık LED için)	58,21 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	5.821,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		

Vagon son ışıklarında alternatif ışık kaynağı kullanılması durumunda 660 kWh enerji tasarrufu yapılmaktadır. Böylece her bir vagon için yıllık 58,21 TL ekonomik kâr sağlanır (Tablo 6.30).

6.4.5. Vagon Okuma Lambaları Harcanan Toplam Enerji

Pulman vagonlarda salon bölmesinde, raf boy profili üzerine yerleştirilmiş olan ve koltuk başına bir tane gelecek şekilde 60 adet 20 W gücünde ve özel armatürler içinde ışık akısı 320 lm, ömrü 2000 saat, renk sıcaklığı 3000 K, renk geriverimi 100 ve verimi %80 olan OSRAM DECOSTER 35 S tip halojen lambalar kullanılmaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere, okuma lambaları açıkken, çalışma düzleminde standartlarda istenen aydınlık düzeyine ulaşılmaktadır. Bundan dolayı yoğun kullanılmaktadır. Günlük 4 saat kullanıma göre toplam enerji tüketimi;

$$\text{Günlük: } 20 \text{ W} \times 60 \text{ (koltuk)} \times 4 = 4800 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık : } 4800 \times 365 = 1752 \text{ kWh enerji tüketmektedir.}$$

Tablo 6.31 de okuma lambası olarak kullanılan aydınlatma kaynağı yerine alternatif olarak GU5.3 MR16 Base 3W LED AC (110V-120V-265V)[34] lambaların kullanılması ile tasarruf gösterilmiştir.



Resim 6.15 : (a) Mevcut kullanılan kaynak, (b) Alternatif LED spot kaynak

Tablo 6.31 : Halojen okuma lambası LED spot lamba karşılaştırması

LED spot lamba ile halojen lamba arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	LED Spot (3 W)	Halojen Lamba (20 W)
Kullanım ömrü (saat)	50.000	2.000
50.000 saatte lamba değişim sayısı	1	25
Lamba Birim Fiyatı	6,00 \$ 10,80 TL	1,65 EURO 3,96 TL
Toplam Lamba Maliyeti	10,80 TL	99 TL
50.000 saatte tüketilen enerji	50.000 x 3 = 150 kWh	50.000 x 20 = 1000 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	45,00 TL	300 TL
Lamba değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	55,80 TL	499,00 TL
Toplam tasarruf (1 adet)	443,20 TL	
Toplam tasarruf (60 adet)	26.592,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagon sağlanacak yıllık tasarruf (3 W'lık LED için)	776,49 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	77.649,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		

Alternatif ışık kaynağı ile kaynak ömrü boyunca 850 kWh enerji tasarrufu yapılmakta ve her vagon için yıllık 776,49 TL ekonomik tasarruf elde edilmektedir. Bu kaynaktan okuma lambaların aydınlatma koşulu olan 500 mm alanda etkin aydınlık

düzeyi oluşturabilme özelliği bire bir sağlanmaktadır. LED spot lambanın kaplaması alüminyum olduğundan ötürü halojen lambalardan neden olduğu ısınma sorununu ortadan kaldırdır. Ayrıca halojen lambalar 12 V besleme ile çalışmaktadırlar. Şebekeden çekilen gerilim dönüştürücü aracılığıyla istenilen gerilim değerine dönüştürülür. Alternatif kaynağın kullanılması durumunda harici olarak dönüştürücü kullanılmasına gerek olmadığı gibi bu dönüştürücünün maliyetinden tasarruf sağlanır. Armatür yapısında herhangi bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Çünkü alternatif lamba mevcut halojen lamba gibi iki pinlidir. LED spot lambalar renk sıcaklığı 3000 – 3500 K değerinden 6000 K'ya kadar değişmekte, 250 – 300 lm ışık akısı ve 50000 saat kullanım ömrüne sahip, halojen lambalardan oldukça verimli kaynaklardır.[34]

6.4.6. Vagon İstikamet Tabelaları Harcanan Toplam Enerji

Vagonun her iki yan yüzeyinde, vagonun istikametini belirten ve toplamda 2 adet 18 W floresan lamba ve maksimum 10 W balastlı aydınlatma elemanları kullanılmaktadır. Alternatif kaynaklar tüm vagon floresan kaynaklarında değerlendirilmiştir. Günlük 4 saatlik kullanıma göre enerji tüketimi;

$$\text{Günlük: } (18 + 10(\text{balast}))\text{W} \times 2(\text{adet}) \times 4(\text{saat}) = 224 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık : } 224 \times 365 = 81,76 \text{ kWh enerji tüketilmektedir.}$$

6.4.7. Vagon İkaz Armatürü Harcanan Toplam Enerji

TVS 2000 pulman vagonların salon kısımlarında yolcuları bilgilendirmek için tuvalet meşgul, sigara içilmez ve yemekli vagonun yönünü göstermek üzere, vagonun her baş tarafında birer tane 3 hücreli ve her hücrenin aydınlatması 2 adet sofit ampullerle yapılan 12 adet 3W sofit ampul kullanılmaktadır. Bu lambalar tren hareket süresince aktiftirler, fakat tüm sistemin ortalama enerji tüketimleri ortak kullanım zamanlarına göre hesaplanacağından, günlük 4 saatlik kullanıma göre yıllık toplam enerji tüketimi;

$$\text{Günlük: } 3 \text{ W} \times 12(\text{adet}) \times 4(\text{saat}) = 144 \text{ Wh}$$

$$\text{Yıllık : } 144 \times 365 = 52,56 \text{ kWh enerji tüketilmektedir.}$$

Bu ampullere alternatif olarak LED Sofit Ampul 12V Led : 3x0,3W Boy(mm):36 kullanılmasıyla sağlanacak tasarruf aşağıda tabloda hesaplanmıştır.[34]



Resim 6.16 : (a) Mevcut kullanılan sofit kaynak, (b) Alternatif LED sofit kaynak

İkaz armatürlerinde alternatif aydınlatma kaynaklarının kullanılmasıyla sistem ömrü süresince her kaynaktan 73.5 kWh enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Alternatif kaynakların kullanımı her vagondan yıllık 57,45 TL tasarruf elde edilir (Tablo 6.32).

Tablo 6.32 : Vagon ikaz Sofit Ampul yerine LED Sofit Ampul karşılaştırması

LED Sofit Ampul ile Soffit Ampul arasındaki maliyet ve ömür karşılaştırması	LED Sofit (0.9 W)	Sofit Ampul (3 W)
Kullanım ömrü (saat)	35.000	1.000
30.000 saatte lamba değişim sayısı	1	35
Lamba Birim Fiyatı	19,66 TL	0,354 TL
Toplam Lamba Maliyeti	19,66 TL	12,39 TL
30.000 saatte tüketilen enerji	35.000 x 0.9 = 31,5 kWh	35.000 x 3 = 105 kWh
Toplam elektrik tüketimi (1 kWh = 0,3 TL)	9,45 TL	31,50 TL
Lamba değişim maliyeti	-	100 TL
Toplam maliyet	29,11 TL	143,89 TL
Toplam tasarruf lamba(1 adet)	114,78 TL	
Toplam tasarruf 1 vagon için(12 adet)	1.377,36 TL	
100 adet vagon için toplam tasarruf	137.736,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak aylık tasarruf (0,9 W'lık sofit LED için)	4,80 TL	
100 vagon için aylık tasarruf	480,00 TL	
Günde 4 saatlik kullanıma göre 1 vagondan sağlanacak yıllık tasarruf (0,9 W'lık sofit LED için)	57,45 TL	
100 vagon için yıllık tasarruf	5.745,00 TL	
1 \$ = 1,80 TL, 1 EURO = 2,40 TL alınmıştır.		

6.4.8. Vagon Enerji Verimliliği Değerlendirmesi

TVS 2000 pulman tipi vagonların aydınlatma sistemi ışık kaynakları, mevcut kaynakların aydınlatma özelliklerine birebir eşdeğer olacak şekilde, alternatif kaynak önerileri getirilerek vagonlarda ışık kaynaklarında elde edilebilecek enerji tasarrufu kaynak bazında çıkarılmıştır.

Vagon aydınlatması kısım başlıkları altında her bölüm için tüketilen enerji değerleri tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca yine aynı kısımda vagon el kitabında belirtilen ışık kaynaklarının yerine mevcut kullanılan kaynakların karşılaştırması Tablo 6.1 de yapılmıştır. Aydınlatma el kitabında verilen fakat uygulamada farklı güçlerde kullanılan kaynaklardan enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu tabloda floresan lambalar için $72 \times 2 = 144$ W, T5 floresanlar için $4 \times 3 = 12$ W ve akkor lambalar için $4 \times 15 = 60$ W olmak üzere toplamda 216 Wh bir enerji tasarrufu söz konusudur.

Ayrıca enerji tasarrufları başlıklar altında, mevcut kaynaklar yerine alternatif kaynakların kullanılmasıyla kaynak ve vagon başına çıkarılmıştır. Genelleme olması açısından ayrıca 100 vagondan sağlanacak tasarruf miktarları verilmiştir. Vagon başına tüm aydınlatma kaynakları dâhil edilerek toplam enerji tüketimleri, enerji tasarrufu ve tasarrufun maliyeti Tablo 6.33 de çıkarılmıştır. Genel toplamalar her ışık kaynağının ortalama günlük 4 saat çalışmasına göre yapılmıştır.

Alternatif kaynakların seçiminde vagon aydınlatma sisteminin asgari koşulları sağladığı varsayılarak çıkarılmıştır. Normal şartlarda standart aydınlatma değerlerini sağlayan bir vagon için önerilecek alternatifler farklılaşacaktır. Böylece daha iyi tasarlanmış ve yüksek tasarruflu öneriler oluşturulabilir. Burada amaç vagonlarda bulunan aydınlatma armatürlerinin yapısını değiştirmeden sadece ışık kaynağının değiştirilmesiyle tasarrufu hesaplamaktır. Bir vagonun aydınlatma sisteminden yıllık elde edilebilecek enerji tasarrufu 3899,95 kWh iken tüm sistemden 1964,59 TL tasarruf maliyeti elde edilmiştir. 2010 yılı itibari ile yalnızca TCDD bünyesinde bulunan vagon sayısı 1131'dir. Vagon başına elde edilen tasarruf tüm vagonlara göre hesaplanırsa büyük oranlarda enerji tasarrufu ve sistem kazancı elde edilebilir.

Mevcut Kullanılan	Önerilen	Adet	Mevcut Kaynaklara göre (kWh / Yıl / Gün / 4 saat)	Önerilen Kaynaklara göre (kWh / Yıl / Gün / 4 saat)	Fark (kWh)	YILLIK TOPLAM TASARRUF 1 VAGON (TL)	YILLIK TOPLAM TASARRUF 100 VAGON (TL)
18 W Floresan	10 W LED Floresan	72	2.943,36	1.051,20	1.892,16	852,72	85.272,00 TL
3 W Sofit Ampül	0,9 W Sofit LED	12	52,56	15,768	36,792	57,45	5.745,00 TL
25 W Akkor Ampül	3W LED Ampül	4	146	17,52	128,48	58,21	5.821,00 TL
20 W Halojen Lamba	3 W LED Spot	60	1.752	262,8	1.489,20	776,49	77.649,00 TL
7 W Kompakt Floresan	7 W Kompakt Floresan	24	490,56	175,2	315,36	197,07	19.707,00 TL
8 W T5 Floresan	8 W T5 Floresan	4	55,48	17,52	37,96	22,65	2.265,00 TL
TOPLAM (1 VAGON)			5439,96 kWh	1540,01 kWh	3899,95 kWh	1.964,59 TL	196.459,00 TL
MALİYET TOPLAM (1 VAGON / YILLIK)			1.631,988 TL	462,00 TL	1.169,99 TL		
100 VAGON İÇİN YILLIK ENERJİ TASARRUFU ve MALİYETİ						389.995 kWh	116.999,00 TL

Tablo 6.33 : TVS 2000 Pulman vagon enerji tasarrufu

7. BULGULAR

Vagonların aydınlatma sistemi Bölüm 6.2 değerlendirilerek farklı yöntemlerle ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılmış ve sistemlerin yeterliliği tartışılmıştır. Sonuç olarak vagonların tüm kısımlarında aydınlatma sisteminin yetersiz olduğu vurgulanmıştır. Vagonlarda yolcu ve çalışanların sağlığına zararsız, kaliteli, düşük enerji tüketimli ve teknolojik yenilikleri destekleyen yeni aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kısımda aydınlatma sistemi yetersiz olan vagonlar için, standartlarda belirtilen aydınlık düzeyi kriterlerini sağlayan aydınlatma sistemleri tasarlanmıştır.

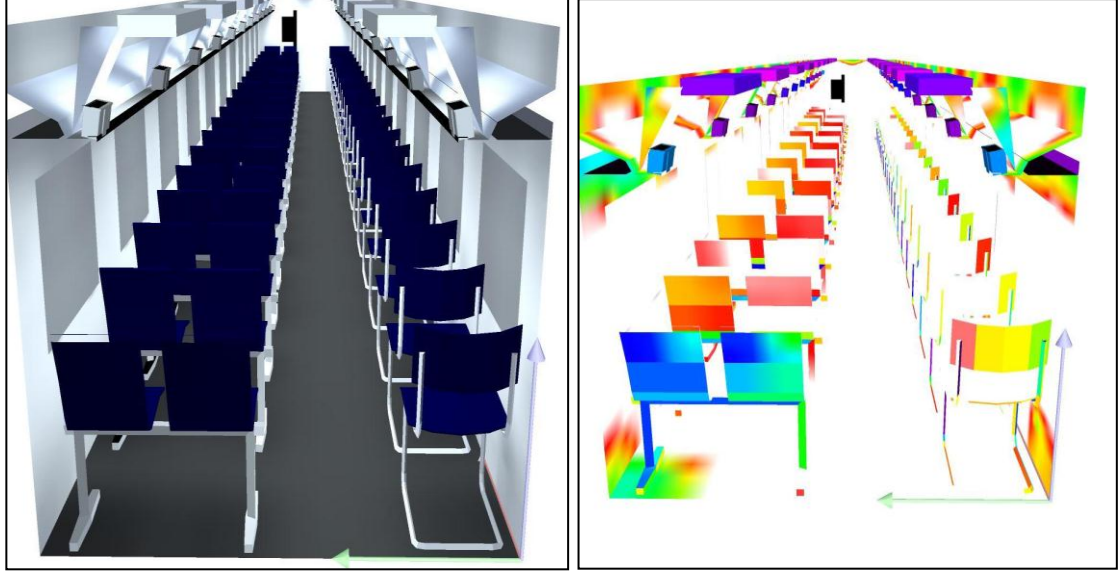
7.1. TASARIM VE ÖNERİ 1

Bu tasarımda amaç, mevcut aydınlatma sistemi kayıplarının fazla olmasından dolayı, armatürden ve aydınlatma tipinden kaynaklanan kayıpları tamamen yok etmektir. Mevcut sistem kaynakları tamamen iptal edilerek yerine sadece tavandan LED panellerle direkt aydınlatma önerilmiştir.

Tablo 7.1 : Tasarım 1 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	434	91	610	0.209	0.149
Zemin	10	243	28	426	0.114	0.066
Tavan	70	34	17	84	0.509	0.202
Duvarlar (5)	50	104	7.49	1164	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	20	Havells Sylvania 9143952 Planete LED (300x1200)	2417	2400	72	% 101

LED paneller etkinlik faktörü oldukça yüksek ve uzun ömürlü aydınlatma elemanlarıdır. Kullanımı oldukça yaygın ve toplu taşıma sistemlerinde kullanıma uygun ve gereklidir. Çünkü LED panellerin yapıları aydınlatma sisteminden kaynaklanabilecek olumsuzlukları azaltmaktadır. LED panellerin verimi %100, ömürleri 70000 saattir.



Resim 7.1 : Tasarım 1 için ortam normal ve ters renkler görüntüsü

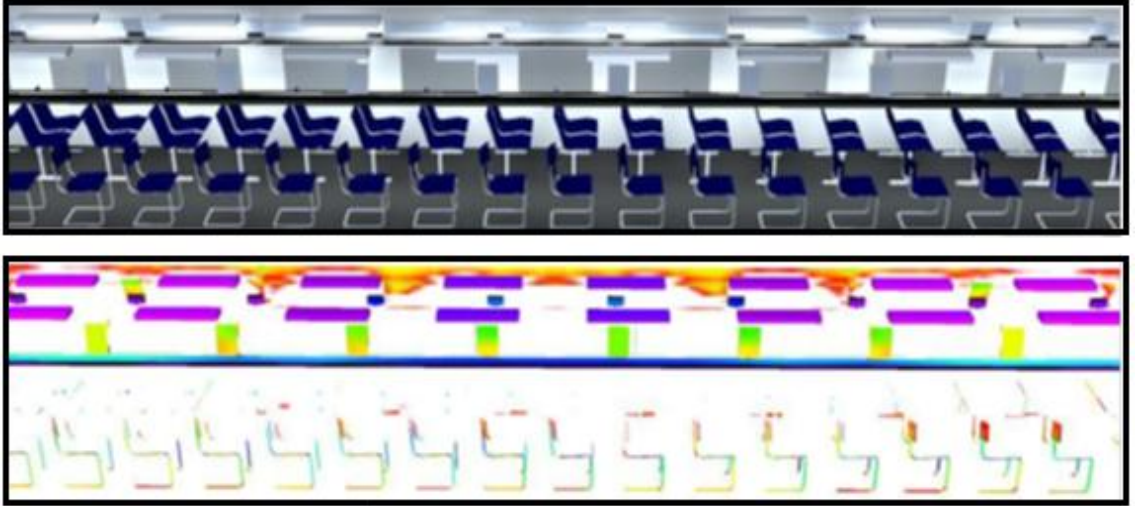
LED panellerle vagonlarda yapılacak tavan aydınlatmasında çalışma düzleminde normal aydınlatma düzeyinin yaklaşık 4 katı elde edilmektedir. Bu değer insan sağlığını rahatsız etmeyeceği gibi daha verimli zaman geçirmesine sebep olacaktır. Çünkü insan gözü gün ışığına aşinadır ve gün ışığı 100000 lx değerinin üzerindedir. Fakat eş yayılmışlık iyi değildir, kaynakların tavan konumlarında yapılacak değişikliklerle bu sorunda ortadan kaldırılacaktır.

Tasarımda aydınlık şiddeti değeri standartların oldukça üzerindedir. Peki, bu durum gereklidir, sorusunun cevabı enerji verimliliğidir. Enerji verimliliği ihtiyaç fazlası tasarruf etmeyi öngörmektedir. Tüm aydınlatma sistemlerinde önerilen fakat başta ulaşım sistemlerinde hiç kullanılmayan dimmerleme ile ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyine kadar ayarlanır ve ihtiyaca göre bu oran değiştirilebilir.

Mevcut aydınlatma sisteminde salon kısmında anlık güç tüketimi 2.184 W'tır. Bu tasarımda ise güç tüketimi 1.440 W'tır. Yani böyle bir sistemin kullanımıyla sadece

enerji tüketimi olarak toplamda 744 W enerji tasarrufu yapılır. Ayrıca aynı tasarımda kaynak sayısının 18'e düşürülmesi durumunda aydınlık düzeyi 390 lx olmaktadır. Kaynak sayısında yapılacak değişiklikle güç tasarrufu 888 W olur.

Bu tasarım için uygulanacak farklı bir yaklaşımda kullanılan kaynakların değiştirilmesidir. Tasarımda ki kaynak yerine ışık akısı 3280 lm ve gücü 84 W olan Havells Sylvania LED paneller kullanılabilir. Bu panellerin kullanımı ile çalışma düzlemine aydınlık düzeyi 594 lx olmaktadır. Dimmerleme ile istenilen aydınlatma seviyesi ayarlanarak ya da armatür sayısı %25 azaltılarak tasarruf sağlanabilir. Böylece lamba faydalı ömrü uzayacaktır. Resim 7.3 de önerilen kaynaklarla tavandan 20 adet LED panellerle yapılan direkt aydınlatma için vagon aydınlatma görüntüsü verilmiştir.



Resim 7.2 : 3280 lm LED panel tavan aydınlatması ve ters renkler görüntüsü

7.2. TASARIM VE ÖNERİ 2:

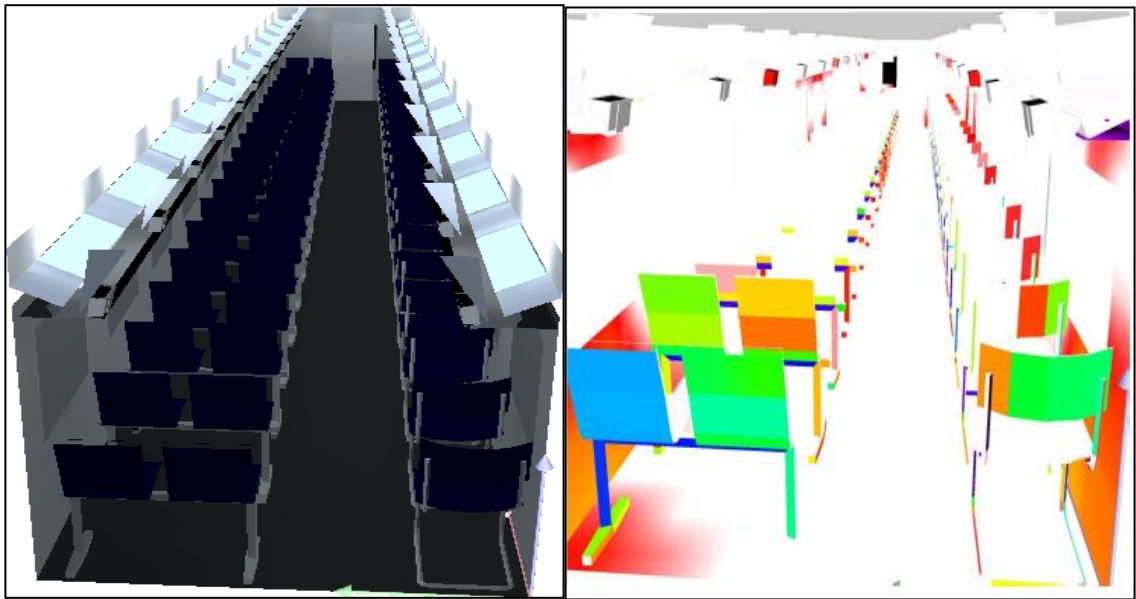
Bu tasarımda mevcut sistem aydınlatma kaynaklarından kompakt floresan armatürleri iptal edilmiştir. Normal floresan armatürlerinin yerine 64 W, 5400 lm ve etkinlik faktörü %101 olan LED panellerle endirekt aydınlatma tasarımı önerilmiştir. Mevcut aydınlatma sistemde armatür kayıplarının fazla olduğu ve ışık kaynaklarının armatür içerisinde yerleşiminin yanlış olduğundan karşılaştırmalar kısmında bahsedilmiştir. Mevcut sistemde armatürlerde 2 floresan birbirine seri ve üçüncü floresan bunlara paralel yerleştirilmiştir. Paralel yerleştirilen floresanın armatür kapatıldığında tamamı

armatür yüzeyinin dışında kalmaktadır. 22 tane olan bu ışık kaynaklarının aydınlatma sistemine etkisi oldukça düşüktür. Tasarımda 22 tane LED panel kullanılmıştır.

Tablo 7.2 : Tasarım 2 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	346	160	496	0.461	0.319
Zemin	10	185	74	274	0.401	0.271
Tavan	70	1574	117	6163	0.075	0.017
Duvarlar (5)	50	291	6.83	3222	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	22	Havells Sylvania 9143952 Planete LED (300x1200)	5439	5400	64	% 101

Tablo 7.2 de çalışma düzleminde normal aydınlık düzeyinin yaklaşık 3,4 katı aydınlık düzeyi oluşmaktadır. Vagon aydınlatma tipinden kaynaklanan kayıpların bir kısmı burada da görülecektir. Böyle bir sistemle standartlarda istenilen aydınlık düzeyi elde edilebilir. Ayrıca dimmerleme yapılmalıdır.



Resim 7.3 : Tasarım 2 LED panel raf indirekt aydınlatması ve ters renkler görüntüsü

Enerji tasarrufu olarak mevcut sisteme göre 776 W enerji tasarrufu sağlanır. Kaynak ömürleri hesaba katıldığında tasarruf daha artacaktır.

7.3. TASARIM VE ÖNERİ 3:

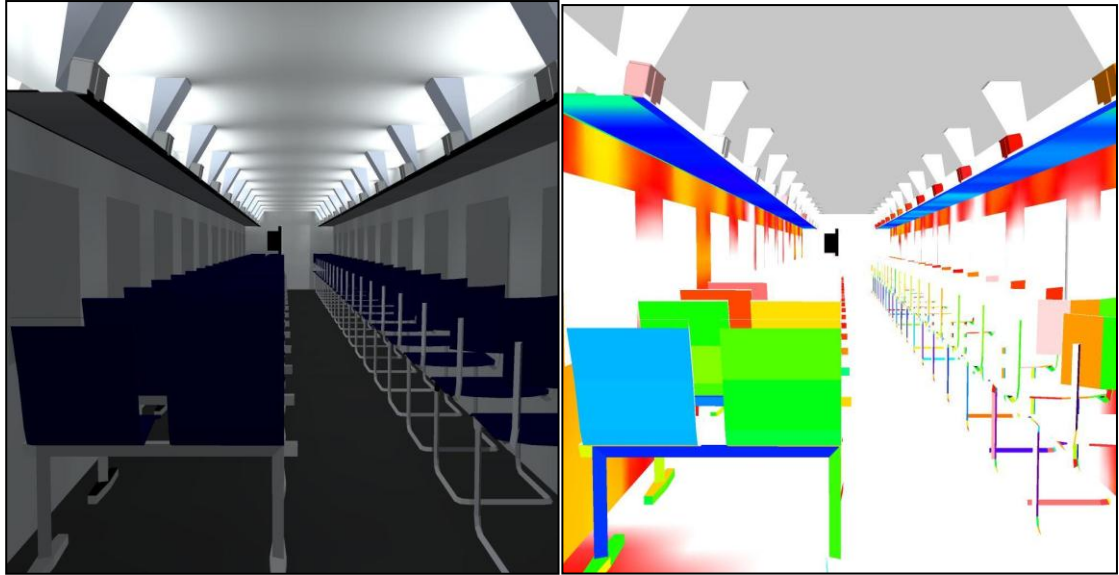
Bu tasarımda verimliliği mevcut sistem verimliliğinden daha yüksek olan floresan armatürler kullanılmıştır. Vagonda kompakt floresan armatürün iptal edilmesi ve normal floresan armatürlerin yerine bu armatürler yerleştirilmiştir. Böylece armatürden kaynaklanan kayıplar tamamen engellenmiştir. Tasarımda 22 adet Havells Sylvania 0050271 Rana Surface T5 2x35 W armatürleri kullanılmıştır. 1500 cm T5 floresan ve armatür boyu 1600 cm olan bu armatürler rahatlıkla mevcut armatürlerin yerine kullanılabilir. Armatür verimi mevcut armatür verimlerinin 2 katından fazladır. Tablo 7.3 de çalışma düzleminde 317 lx aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Bu değer mevcut sistemdeki aydınlık düzeyinin 3 katıdır. Böyle bir kaynakla normal ölçümlerde aydınlık düzeyi standartlarda istenileni karşılamaktadır.

Tablo 7.3 : Tasarım 3 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	317	147	442	0.464	0.333
Zemin	10	167	65	256	0.393	0.254
Tavan	70	1352	146	4776	0.108	/
Duvarlar (5)	50	270	6.24	3955	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	22	Havells Sylvania 0050271 Rana Surface T5 2x35 W Electronic White Housing	5666	6600	78	% 86

Tüm vagon salonunda bu aygıtların kullanılması ile saatlik 468 Wh enerji tasarrufu sağlanır. Fakat avantajlı bir tasarım olmayacaktır. Çünkü aydınlatma sisteminde enerji tasarrufu daha çok ışık kaynaklarının ömrü, gücü ve başka elemanlara ihtiyaç

duymamasından sağlanmaktadır. Tasarımda aydınlık şiddeti istenilen seviyeye getirilmiştir fakat ışık kaynağı olarak yine floresan kullanılmıştır. Aynı tasarımda verimi (%86) olan armatürlerde ışık kaynağı olarak T5 LED floresanların kullanılmasıyla hem ihtiyaç olan aydınlık şiddeti hem de daha fazla tasarruf sağlanabilir. Ayrıca bu ürünlerin dimmerlenme özellikleri vardır. 1500 cm LED floresanların ortalama 18 – 25 W güç tüketimi ve 1700 – 2700 lm aralığında ışık akısı vardır. Ömürleri minimum 30000 saattir. Bu ürünlerin kullanımı ile toplam aygıt gücü 44 – 54 W olur. Tasarımdaki aygıtın gücü 78 W'tır. Kaynakların değiştirilmesi ile sistem veriminden harici olarak yaklaşık %30 daha yani toplamda 998 Wh tasarruf sağlanacaktır.



Resim 7.4 : Tasarım 4 floresan armatürle raf endirekt aydınlatması ve ters renkler görüntüsü

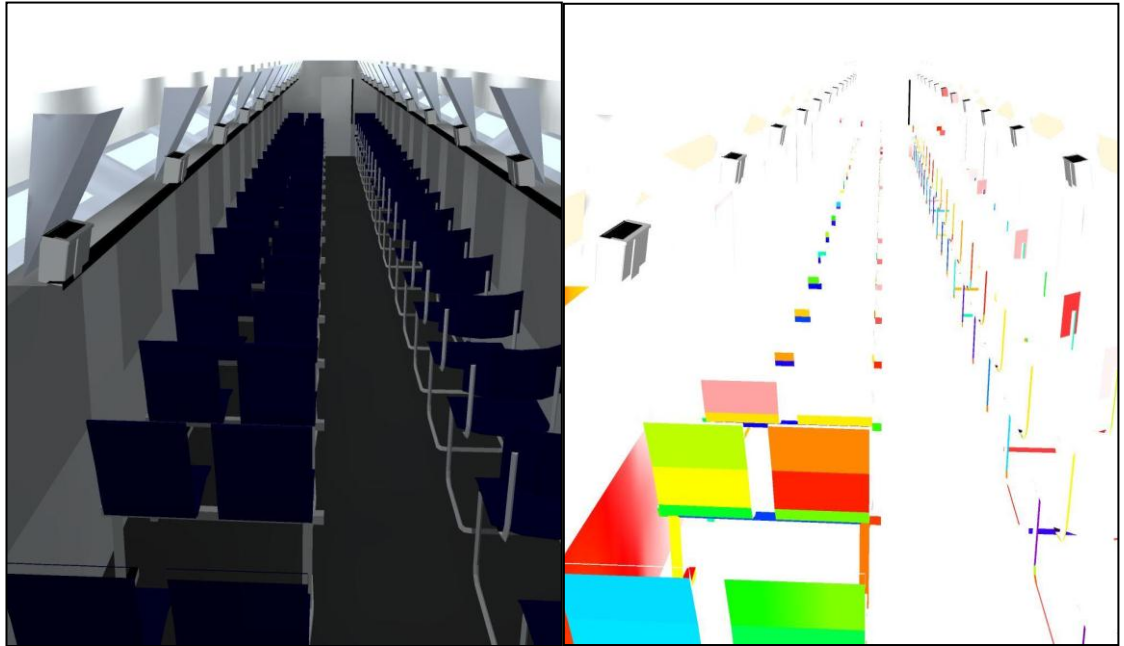
7.4. TASARIM VE ÖNERİ 4:

İstenilen sonuçlara yaklaşılacak en iyi tasarım bu tasarımdır. Aygıt verimi %94, ışık akısı 5400 lm ve gücü 64 W olan 1500 cm ikili floresan armatürlerle raf üzerinden aydınlatma yapılmıştır. Kompakt floresan armatürleri iptal edilmiştir. Sistemde yapılması gereken mevcut 170 cm floresan armatürlerini çıkarıp yerine önerilen armatürün yerleştirilmesidir. Bu tasarımda da, Tasarım 3 de ki gibi armatürler aynı fakat ışık kaynağı LED floresan olarak düşünülmüştür. 150 cm, 25 W ve 2700 lm LED floresanların kullanılmasıyla aygıt toplam gücü 54 W ve ışık akısı 5400 lm olur.

Tablo 7.4 : Tasarım 4 için DIALux 4.10 aydınlatma sonuç özeti

AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLERİ						
Yüzey	$p[\%]$	$E_m[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{max}[lx]$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Çalışma düzlemi (0.850 m)	/	356	171	491	0.481	0.348
Zemin	10	188	68	290	0.359	0.235
Tavan	70	1569	122	7023	0.078	/
Duvarlar (5)	50	239	44	4216	/	/
IŞIKLIK PARÇA LİSTESİ						
No	Parça (Adet)	Aydınlatma Kaynağı	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]	Verim
1	22	Havells Sylvania 0050382 Rana Surface T52x28 W, Electronic Dimmable Silver Housing	5076	5400	54	% 94

Çalışma düzleminde aydınlık düzeyi ortalaması 356 lx ve eş yayılım böyle bir sisteme göre oldukça iyidir. Çalışma düzlemi noktasal ölçümlerde 160 lx altına düşen herhangi bir aydınlık düzeyi yoktur. Bu tasarımla mevcut sisteme oranla 996 W tasarruf sağlanır. Ayrıca böyle bir sistemde okuma lambaları ihtiyaç dışında kullanılmayacağından tasarruf artacaktır.



Resim 7.5 : Tasarım 4 ortam aydınlatması ve ters renkler görüntüsü

8. SONUÇ

TVS 2000 pulman vagonların aydınlatma sistemleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. İnceleme sonuçları kısım başlıkları altında verilerek Kısım 6.2 de aydınlatma sistemleri sonuçları karşılaştırılarak yeterliliği tartışılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda incelenen vagon için optimum şartların sağlanması durumunda dahi, aydınlatma sisteminin yetersiz olduğu görülmüştür. Bu vagon tipi ve diğer vagon tipleri için aydınlatma sistemi yeterlilik çalışmalarının yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Çünkü aydınlatma sistemlerinde kayıplar çok fazla, insan ve yolcu sağlığını tehdit edecek düzeyde ve uluslar arası standartlarda istenilen kriterleri taşımamaktadır. Ayrıca böyle bir sistemde malzeme ve enerji anlamında kaynaklar heba edilmektedir. Aydınlatma sisteminin yetersiz olmasından dolayı vagonlar için azami aydınlık şartlarını taşıyacak aydınlatma sistemleri tasarlanmıştır. (Kısım 6.3) Bu tasarım ve benzerlerinin vagonlarda uygulanması ile aydınlık düzeyi istenilen seviyelere çıkarılarak büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

Vagon aydınlatma sistemlerinde alternatif aydınlatma kaynaklarının kullanılmasıyla, vagon başına yıllık 3899,95 kWh enerji tasarrufu sağlanabileceği ve tüm aydınlatma sisteminden yıllık azami 1.964,59 TL tasarruf maliyeti oluşturulabilir. (Tablo 6.33)

Türkiye de sadece TCDD bünyesinde 2010 yılı itibari ile 1131 adet yolcu vagonu bulunmaktadır. Sadece TCDD'nin vagonlarının aydınlatma sistemlerinden sağlanabilecek yıllık tasarruf maliyeti yaklaşık olarak minimum 2.221.951,29 TL civarındadır. Ülkemizde ki tüm raylı sistemler ağı düşünüldüğünde yalnızca aydınlatmadan bu tasarruf miktarı 5 Milyon TL anlamına gelmektedir.

Tablo 8.1 : TCDD enerji giderleri [TCDD]

DEMİRYOLU SİSTEMLERİ ENERJİ GİDERLERİ (TL)					
Enerji Tipi / Yıl	2006	2007	2008	2009	2010
Kömür	7.906.540	9.432.051	10.455.917	11.000.052	10.666.400
Motorin	270.635.164	263.547.208	336.785.892	299.637.837	382.206.510
Elektrik	34.027.005	33.272.625	38.608.156	50.558.156	55.796.681
Genel Toplam	312.568.709	306.251.884	385.849.965	361.196.045	448.669.591

Kaynak; T.C. Devlet Demiryolları 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı, Limanlar ve Van Gölü İşletmesi Hariç

Tablo 8.1 de TCDD'nin 2006 – 2010 yılları arasında kaynaklara göre enerji maliyetleri gösterilmiştir. Bu tabloda raylı sistemlerin sadece TCDD kullanımındaki kısmıdır. Bunun dışında şehir içi metro, hafif metro ve limanlardaki tüm sistemler katıldığında ülkemizin tüm raylı sistemlere harcadığı toplam enerji maliyetleri tabloda görülenin 2 katını aşacaktır. Ülkemizde raylı sistemlerde enerji verimliliği çalışmaları için herhangi bir politika, senaryo veya girişim günümüze kadar yapılmamaktadır. Genel enerji verimliliği çalışmaları ile tüm raylı sistemler enerji tüketiminde %10 tasarrufun sağlanması durumunda ülke ekonomisine 100 Milyon TL gibi bir kaynak kazandırılabilir. Enerji verimliliği en ucuz enerji üretim şeklidir ve yatırım maliyetleri kendi içindedir. Aydınlatma sistemlerinden elde edilecek aydınlatma tasarrufu, tüm raylı sistemlerden elde edilebilecek tasarrufun sadece %5'i kadardır.

Raylı sistemlerde enerji verimliliği çalışmaları başta binalar olmak üzere, tüm tesislerde, kulübe, depo ve ambarlarda, istasyon kapalı ve açık alanlarında, çeken ve çekilen araçlarda, hat kaynaklı düzenlemelerde, güzergâh bilgilendirmelerinde ve kullanılan tüm ekipman ve malzemelerin yapı ve özelliklerinde uygulanabilir. Çalışmalar bir etüt projesi ile başlatılarak enerji verimliliği kaynakları tespit edilerek, planlar oluşturulmalıdır. Isıtma ve soğutma, yalıtım ve izolasyon, cam özellikleri, hat kablo ve tesisatlarında enerji verimliliğinden büyük oranlarda tasarruf sağlanacaktır.

Ülkemizde en genel anlamıyla, ulaştırma sektöründe enerji verimliliği çalışmaları başlatılmalıdır. Enerji verimliliği kazanımları sektör ve ülkemiz kalkınması ve gelişmiş ülkeler düzeyine gelebilmesi için önemli bir kaynak oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] GANSLANDT, R., HOFMANN, H., 1992, *Handbook of Lighting Design*, GERMANY, ERCO Edition
- [2] *BP Energy Outlook 2030*, London, January 2012
- [3] International Energy Agency, *World Energy Outlook Special Report 2011*
- [4] TÜSİAD, *World Energy Outlook (Türkçe) 2011*, TÜSİAD-T/2011/12/521
- [5] T.C. Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı, *Türkiye Enerji Sektörü Raporu*, Deloitte, Ağustos 2010
- [6] TEVEM, *Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Ekonomiye Geçiş”*, Temmuz – 2010
- [7] WWF-Türkiye, *Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği*, 2010
- [8] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, *Enerji Verimliliği Raporu*, Ocak 2012
- [9] WEC, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *Enerji Raporu*, 2010
- [10] ÜNCÜ, S., GÜRDAL, O., 2007, *Armatürlerin Üç Boyutlu Işık Şiddet Dağılımlarının Bilgisayar Ortamında Formülasyonu ve Görselleştirilmesi*, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(3), 331-337
- [11] ÜNCÜ, İ.S., 1999, *Işık Şiddet Eğrilerinin Bilgisayar Yardımı ile Çıkarılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
- [12] ENARUN, D., *Işığın İnsan Üzerindeki Etkileri*, İTÜ Elektrik Elektronik Fak., 2000
- [13] ÖZTÜRK, M., *Yük ve Yolcu Taşımacılığı ve Sera Gazı Salınımı*, , 2008
- [14] PEHLİVANOĞLU, K., 2008, *İstanbuldaki İki Restoranın Aydınlatma Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enst.
- [15] ExxonMobil, *2012 The Outlook for Energy: A View to 2040*
- [16] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, *Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi*, 2010
- [17] TÜRKEŞ, M., 2003, *Sera Gazı Salımlarının Azaltılması İçin Sürdürülebilir Teknolojik ve Davranışsal Seçenekler*, *Çevre Bilim ve Teknoloji Küreselleşmenin Yansımaları, Bildiriler Kitabı*, 267-285, Ankara.

- [16] KUMBAROĞLU, G., ARIKAN, Y., 2009, *Farkındalık Ve Fark Yaratmak: Türkiye'nin CO₂ Salımları*, Yelken Basım, İstanbul, 978-605-5659-05-9
- [17] Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği, Mühendis ve Makine, Cilt : 49 Sayı: 581
- [18] World Energy Council, *Policies For The Future 2011 Assessment of Country Energy And Climate Policies*, 2011
- [19] SİREL, S., 1997 “*Müzelerde ve Bürolarda Aydınlatma*”, YFU Yayınları, İstanbul, 4-13
- [20] ERDEM, S., 2007, *Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri. Enstitüsü
- [21] ÖZENÇ, S, 2007, “*Aydınlatma Sistemlerinde Kalite, Enerji Verimliliği ve Modelleme*”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enst.
- [22] Prof.Dr. Muzaffer ÖZKAYA, 2010, *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [23] www.enerji.gov.tr
- [24] www.tuik.gov.tr
- [25] www.teias.gov.tr/
- [26] www.orman.gov.tr
- [27] en.wikipedia.org/wiki/Energy
- [28] www.gelighting.com/na/
- [29] www.lighting.philips.com/
- [30] www.osram.com/osram_com/
- [31] www.havells-sylvania.com/
- [32] www.trilux.com/
- [33] www.lumelux.com
- [34] www.alibaba.com
- [35] www.dial.de/DIAL/en/home.html

ÖZGEÇMİŞ

Ali ERTİK 28.01.1983 tarihinde Şanlıurfa'nın Ceylanpınar ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılından beri İstanbul Üniversitesi'nde çalışmakta.