

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

TÜNELLERDE AYDINLATMA VE OPTİMİZASYON

Yüksek Lisans Tezi

DUDU KESKİN

İSTANBUL, 2013

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

TÜNELLERDE AYDINLATMA VE OPTİMİZASYON

Yüksek Lisans Tezi

DUDU KESKİN

Tez Danışmanı: YRD. DOÇ. DR. MUHAMMED GARİP

İSTANBUL, 2013

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Tünellerde Aydınlatma ve Optimizasyon
Öğrencinin Adı Soyadı: Dudu KESKİN
Tez Savunma Tarihi:

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tunç Bozbura
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Nilgün CAMKESEN
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Yrd. Doç Dr. Muhammet GARİP

Üye
Prof. Dr. Mustafa ILICALI

Üye
Yrd. Doç Dr. Ömer GÜL

ÖNSÖZ

Tünellerde aydınlatma ve optimizasyon konulu tezimde genel hatlarıyla tünellerde şimdiye kadar farklı aydınlatma kaynakları kullanılmış olsa da, son yıllarda sokak aydınlatmalarıyla paralel olarak tünel aydınlatma kaynaklarının sodyum buharlı projektörlere yönelmesi , ve nedenleri , hızla gelişen teknolojiyle beraber aydınlatma pazarında iddialı olan led sistemlerinin tünellerde kullanılıp kullanılmayacağı gibi konuların üzerinde yoğunlaşmaya çalışıldı.

Tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Mustafa ILICALI , Yrd. Doç Dr. Muhammed GARİP, Yrd. Doç. Dr. Ömer GÜL'e , kaynak temin etmekteki desteğinden dolayı sayın Nail EREN'e , karayollarından emekli inş. Müh. sayın Hasan GÜZEL'e ve EAE Aydınlatma sistemleri satış mühendisi sayın Fuat ARDIÇ'a, mesai arkadaşım sayın Hasan MOLLAHASAN'a , Marmara Nokta Elektro Market , Norm Mühendislik Elk. İnş. Taah. Ltd. Şti. Genel Müdürü , eşim, meslektaşım Nazmi KESKİN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Dudu KESKİN

İstanbul, 2013

ÖZET

TÜNELLERDE AYDINLATMA VE OPTİMİZASYON

Dudu KESKİN

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Mayıs 2013 - 177 Sayfa

Tezin amacı, tünel aydınlatmasında aydınlatma sistemlerini, armatürlerin özellikleri ve fonksiyonlarıyla ilgili olan enerji tasarrufunu ve tünel aydınlatma teknolojisini sunmaktır.

Bu çalışmada, birinci bölümünde tünel aydınlatmasında esas alınan noktalara değinilmiştir. Bu noktaların bağlı oldukları kriterler açıklanmıştır.

İkinci bölümde tünel aydınlatmasında kaliteyi belirleyen büyüklükler tanıtılmıştır. Temel büyüklüklerin birbirleriyle olan ilişkileri tanımlanmıştır. Bu büyüklüklerin görme olayına etkileri belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, tünel aydınlatmasında kullanılan ışık kaynakları ve armatürlerin özellikleri verilmiştir. Şu anda geçerli olan ve tünel aydınlatmasında kullanılan lamba ve armatürler tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, tüneller aydınlatma açısından incelenerek sınıflandırılmış ve aydınlatmada önemli bir yer tutan tünel bölgeleri tanımlanmıştır. Can güvenliği açısından önemli olan fren mesafesi ve kritik cisim arasındaki bağıntılar irdelenmiştir.

Beşinci bölümde, tünel aydınlatma hesaplarına geçilmiş, değişik kabuller veya çeşitli kurumların tavsiyelerine uyularak hazırlanmış çizelge ve grafiklerden yararlanarak tünel bölgelerinin parıltılarının hesabı çok hassas olmasa da kaba bir biçimde yapılmıştır. Ayrıca dış parıltıya göre ışığın kontrol edildiği sistemlerde kullanılan lüminansmetreler ve özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, tünel aydınlatma sistemleri olan simetrik, zıt ışınlı ve eş yönlü aydınlatma sistemleri aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar açısından aynı engel ve hava koşullarına göre karşılaştırılmış; birbirlerine göre olan avantajları veya dezavantajları açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Tünel Aydınlatma

ABSTRACT

DISCLOSURE AND OPTIMIZATION OF TUNNELS

Dudu Keskin

Urban Systems and Transport Management
Thesis Supervisor: Yrd. Doç Dr. Muhammet GARİP

May 2013, 177 pages

The aim of the thesis, tunnel lighting, lighting systems, energy-saving luminaires and related features and functions to provide tunnel lighting technology.

This study is based on the first part of the tunnel lighting points mentioned. They are connected to these points described criteria.

Determining the quantities introduced in the second part, tunnel lighting quality. Defined in terms of relationships between the basic quantities. The effects of these magnitudes are as visual event.

In the third chapter, tunnel lighting, light sources and luminaires features are used. Currently used for lighting lamps and luminaires have been introduced and the tunnel current.

In the fourth chapter, tunnels, classified and analyzed in terms of lighting, tunnel lighting, an important zones have been identified. Braking distance is important for the safety of life and the critical relations between objects are discussed.

In the fifth chapter, tunnel lighting accounts was adopted different assumptions or prepared according to the recommendations of the various institutions making use of charts and graphs regions of the tunnel was a crass pariltularının account, but not very sensitive. Also outside the glare of the light is controlled by the lüminansmetreler and properties used in the systems described in this chapter.

The sixth chapter, the symmetrical tunnel lighting systems, radiant and contrasting the similarities and differences between them in terms of the co-lighting systems in accordance with the same obstacles, and weather conditions were compared to each other, which describes the advantages and disadvantages.

Keywords: Tunnel Lighting

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 TANIMLAR.....	1
2 TEMEL KAVRAMLAR VE ÖZELLİKLER	6
2.1 FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER.....	6
2.1.1. Işık Şiddeti.....	6
2.1.2. Işık Akısı.....	7
2.1.3. Parıltı.....	10
2.1.4 Aydınlık Düzeyi.....	11
2.2 FOTOMETRİK BAĞINTILAR	11
2.2.1 Işık Şiddeti (I) Üe Aydınlık Düzeyi (E) Arasındaki Bağntı	11
2.2.1.1 Uzaklıkların Karesi İle Ters Orantı Yasası.....	11
2.2.1.2 Kosinüs Yasası.....	12
2.2.1.3 Lambert Yasası.....	13
2.3.2 Aydınlık Düzeyi (E) Üe Parıltı (L) Arasındaki Bağntı.....	13
2.3 FİZYOLOJİK-OPTİK ESASLAR	14
2.3.1 Gözün Adaptasyonu	14
2.3.2 Gözdeki Kontrast Duyarlılığı	15
2.3.3 Şekil Duyarlılığı (Keskinlik Veya Seçicilik).....	17
2.3.4 Düzgünlük.....	19
2.3.5 Titreşim Etkisi.....	20
2.3.7 Kamaşma	24
2.3.8 Gözdeki Seçicilik	26

3 TÜNEL AYDINLATMA ARMATÜRLERİ VE IŞIK KAYNAKLARI.....	29
3.1 IŞIK KAYNAKLARI.....	29
3.2 TÜNEL AYDINLATMA ARMATÜRLERİ.....	32
3.3 DEŞARJ LAMBALARI.....	35
3.3.1 Deşarj Lambalarının Çalışma Prensibi.....	36
3.3.2 Sodyum Buharlı Lambalar.....	38
3.3.2.1 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar.....	38
3.3.2.1.1 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba Çeşitleri.....	40
3.3.2.1.2 Lamba Karakteristikleri.....	41
3.3.2.1.3 Şok Balastları.....	44
3.3.2.1.4 Sabit Güçlü Balastlar.....	44
3.3.2.1.5 Tünel Aydınlatmasında Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambaların Kullanılması.....	46
3.3.2.1.5.1 Bu Tip Lambaların Sağlayacağı Üstünlükler.....	48
3.3.2.2 Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar.....	49
3.3.3 Alçak Basıncılı Civa Buharlı Lambalar.....	50
3.3.4 Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lambalar.....	51
3.3.5 Işık Yayan Diyotlar (Ledler).....	53
4 TÜNEL BÖLGELERİ VE SINIFLANDIRILMASI.....	55
4.1 KISA TÜNELLER.....	56
4.2 UZUN TÜNELLER.....	58
4.3 TÜNEL BÖLGELERİ.....	58
4.3.1 Yaklaşma Bölgesi.....	58
4.3.2 Giriş Bölgesi.....	58
4.3.2.1 Eşik Bölgesi.....	58
4.3.2.2 Geçiş Bölgesi.....	58
4.3.3 İç Bölge.....	58
4.3.4 Çıkış Bölgesi.....	59
4.4 DURMA MESAFESİ.....	59
4.5 KRİTİK CİSİM.....	60
5 TÜNEL AYDINLATMASI ESASLARI.....	61
5.1 AYDINLATMA SİSTEMİNİN VE KONTRASTIN BELİRLENMESİ.....	61

5.2 GÜNDÜZ AYDINLATMASI.....	61
5.2.1 Tünel Bölgelerinde Parıltının Belirle.....	62
5.2.1.1 Yaklaşma Bölgesi (Dış Bölge) Parıltısının Belirlenmesi.....	63
5.2.1.2 Eşik Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi.....	68
5.2.1.3 Geçiş Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi.....	74
5.2.1.4 İç Bölge Parıltısının Belirlenmesi.....	75
5.2.1.5 Çıkış Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi.....	78
5.3 DIŞ AYDINLIĞA GÖRE AYDINLATMANIN KONTROLÜ	78
5.3.1 Lüminansmetreler	80
5.3.1.1 Genel.....	80
5.3.1.2 Tünel Aydınlatması Kontrol Sistemi.....	82
5.3.1.2.1 Dcu-01 Tek Yönlü Tüneller İçin Eşik Modu.....	83
5.3.1.2.2 Dcu-02 Çift Yönlü Tüneller İçin Eşik Modu.....	83
5.3.2 Lüminansmetre Genel Tanımı.....	83
5.3.3 Dijital Merkezi Birim.....	84
5.4 GECE AYDINLATMASI.....	85
5.5 ACİL DURUM AYDINLATMASI.....	87
5.6 SİSTEMİN BAKIMI.....	87
5.6.1 Lambaların Değiştirilmesi.....	87
5.6.2 Armatürlerin Ve Tünel Duvarlarının Temizlenmesi.....	88
5.6.3 Kontrol Fotometrelerinin Bakımı.....	88
6 TÜNEL AYDINLATMA SİSTEMLERİ	90
6.1 SİMETRİK AYDINLATMA	90
6.2 ZİT YÖNLÜ (IŞINLI) (COUNTER-BEAM) AYDINLATMA	90
6.3 EŞ YÖNLÜ (PRO-BEAM) AYDINLATMA.....	90
6.4 SİMETRİK, ZİT IŞINLI VE EŞ YÖNLÜ SİSTEMLERİNİN	
KARŞILAŞTIRILMASI	91
6.4.1 Gözlem Durumları	92
6.4.2 Gözlem Kurulumları.....	93
6.4.2.1 Simetrik Ve Asimetrik Sistemlerin Genel Unsurları.....	93
6.4.2.1.1 Simetrik Aydınlatma Sistemi	93
6.4.2.1.2 Asimetrik Aydınlatma Sistemleri	93

6.4.3 Engel Görünümünün Teorik Durumları.....	92
6.4.3.1 Simetrik Aydınlatma Sistemi.....	96
6.4.3.2 Zıt Işınlı Aydınlatma (CBL) Sistemi	96
6.4.3.3 Eş Yönlü Aydınlatma (PBL) Sistemi.....	96
6.4.4 Geceleyin Engelin Görülebilmesi	96
6.4.4.1 Gözlem 1: Simetrik Aydınlatma Sistemi	96
6.4.4.2 Gözlem 2: Zıt Işınlı Aydınlatma Sistemi.....	96
6.4.4.3 Gözlem 3: Eş Yönlü Aydınlatma Sistemi.....	97
6.4.5 Engelin Gün Işığında Görülebilmesi	98
6.4.5.1 Atmosfer Parıltısı	98
6.4.5.2 Tünel Giriş Bölgesinde Gün Işığının Avantajı	99
6.4.5.3 Eşik Bölgesinde Görülebilir Duvar Aydınlatmasının Etkisi.....	99
6.4.6 Gözlemlerin Sonuçları	99
6.4.7 Üç Sistemin Gözlem Sonuçları	104
6.5 ÖRNEK TÜNEL AYDINLATMA TASARIMI.....	105
6.5.1 Giriş.....	105
6.5.2 Temel Bilgiler.....	106
6.5.3 Giriş Bölgesi Aydınlatması.....	106
6.5.4 İç Bölge ve Gece Aydınlatması	106
6.5.5 Aydınlatma Hesap Kriterleri.....	107
6.5.5.1 Giriş (Eşik ve Geçiş Bölgeleri) Aydınlatması.....	107
6.5.5.2 Acil Durum Aydınlatma.....	107
6.5.5.3 İki Yönlü Trafik.....	108
6.5.5.4 İç Bölge Aydınlatması.....	108
6.5.5.5 Gece Aydınlatması.....	109
6.5.5.6 Yaklaşım Yolları Aydınlatması.....	109
6.5.5.7 Armatürler	109
6.5.5.8 Aydınlatma Kontrolü.....	109
6.5.5.9 Yüzde 100 Kademesi Aydınlatma Hesapları.....	128
6.5.5.10 Yüzde 75 Kademesi Aydınlatma Hesapları.....	134
6.5.5.11 Yüzde 50 Kademesi Aydınlatma Hesapları.....	149
6.5.5.12 Yüzde 25 Kademesi Aydınlatma Hesapları.....	149

6.5.5.13 İç Bölge Kademesi Hesaplar	149
6.5.5.13 Gece Kademesi Aydınlatma Hesaplar	149
7. SONUÇLAR.....	168
KAYNAKÇA.....	172
EKLER.....	175
ÖZGEÇMİŞ.....	176

TABLULAR

Tablo 3.1 Lambalarda Harcanan Enerjinin Işığa Dönüşüm Oranları.....	29
Tablo 3.2 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambaların Karakteristik Değerleri.....	31
Tablo 3.3 SRX Tipi Armatürdeki Son(-T) Tipi Lambanın Işık Şiddeti Değerleri.....	34
Tablo 4.1 Tünel Özelliklerine Göre Aydınlatma Şeklinin Belirlenmesi.....	56
Tablo 5.1 Aydınlatma Sisteminin Belirlenmesi.....	62
Tablo 5.2 Dış Bölge Parıltısının Tayini.....	64
Tablo 5.3 Lgök, L yol , L çevre İçin Kabul Edilebilecek Değerler.....	67
Tablo 5.4 Tavsiye Edilen Eşik Bölgesi / Dış Bölge Parıltı Oranları.....	68
Tablo 5.5 L20 ile Lth Arasındaki İlişki.....	71
Tablo 5.6 İç Bölge İçin Tavsiye Edilen Parıltı Değerleri.....	77
Tablo 5.7 Yaklaşma Bölgesindeki Aydınlik Düzeyine bağlı Giriş Bölgesindeki Parıltının Değişimi.....	79
Tablo 5.8 Tünellerde Bakım Öncesi Ve Bakım Sonrası Aydınlik Şiddeti Ölçümü.....	88
Tablo 6.1 Üç sistem İçin Gece Ölçülen Aydınlik Seviyeleri.....	93
Tablo 6.2 Durma Mesafesi Grafiği.....	111
Tablo 6.3 Parlaklık.....	112
Tablo 6.4 Lth / L20 grafiği.....	113
Tablo 6.5 Eğri Adaptasyonu.....	114
Tablo 6.6 Titreme Frekansı.....	115
Tablo 6.7 Tünel İç Bölümü 1 Parlaklık Grafiği.....	116
Tablo 6.8 Tünel İç Bölümü 1 Parlaklık Grafiği.....	117
Tablo 6.9 Tünel Parlaklık Eğrisi.....	118
Tablo 6.10 Acil Durma Ölçümü.....	119
Tablo 6.11 Acil Durum L20 Parlaklığı.....	120
Tablo 6.12 Acil Durum Lth/L20 20 Eğrisi.....	121
Tablo 6.13 Acil Durum Adaptasyon Eğrisi.....	122
Tablo 6.14 Acil Durum İç bölüm 1 Parlaklık Eğrisi.....	123
Tablo 6.15 Durma Mesafesi.....	124
Tablo 6.16 L20 Parlaklık.....	125
Tablo 6.17 Lth/L20 Grafiği.....	126
Tablo 6.18 İç Yol Parlaklık Grafiği.....	127

Tablo 6.19 İç Yol Adaptasyon Eğrisi.....	128
Tablo 6.20 % 100 Kademe Tünel Kesiti.....	129
Tablo 6.21 % 100 Kademe Hesap Özeti.....	130
Tablo 6.21.a % 100 Kademe Parlaklık Eğrisi.....	131
Tablo 6.21.b % 100 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi.....	131
Tablo 6.22 % 100 Kademe Aydınlik Eğrisi.....	134
Tablo 6.23 % 100 Kademe Dikey Aydınlik Eğrisi.....	134
Tablo 6.24 % 75 Kademe Tünel Kesiti.....	135
Tablo 6.25 % 75 Kademe Hesap Özeti.....	136
Tablo 6.26.a % 75 Kademe Parlaklık Eğrisi.....	137
Tablo 6.26.b % 75 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi.....	137
Tablo 6.27 %75 Kademe Aydınlik Eğrisi.....	140
Tablo 6.28 %75 Kademe Dikey Aydınlik Eğrisi.....	140
Tablo 6.29 % 50 Kademe Tünel Kesiti.....	141
Tablo 6.30 % 50 Kademe Hesap Özeti.....	142
Tablo 6.31.a % 50 Kademe Parlaklık Eğrisi.....	143
Tablo 6.31.b % 50 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi.....	143
Tablo 6.32 %50 Kademe Aydınlik Eğrisi.....	146
Tablo 6.33 %50 Kademe Dikey Aydınlik Eğrisi.....	146
Tablo 6.34 % 25 Kademe Tünel Kesiti.....	147
Tablo 6.35 % 25 Kademe Hesap Özeti.....	148
Tablo 6.36.a % 25 Kademe Parlaklık Eğrisi.....	149
Tablo 6.36.b % 25 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi.....	149
Tablo 6.37 %25 Kademe Aydınlik Eğrisi.....	152
Tablo 6.38 %25 Kademe Dikey Aydınlik Eğrisi.....	152
Tablo 6.39 İç Bölge Tünel Kesiti.....	153
Tablo 6.40 İç Bölge Hesap Özeti.....	154
Tablo 6.41.a İç Bölge Parlaklık Eğrisi.....	155
Tablo 6.41.b İç Bölge Duvar Parlaklık Eğrisi.....	155
Tablo 6.42 İç Bölge Aydınlik Eğrisi.....	156
Tablo 6.43 İç Bölge Dikey Aydınlik Eğrisi.....	157
Tablo 6.44 Gece Kademesi Tünel Kesiti.....	158

Tablo 6.45 Gece Kademesi Hesap Özeti.....	159
Tablo 6.46.a Gece Kademesi Parlaklık Eğrisi	160
Tablo 6.46.b Gece Kademesi Duvar Parlaklık Eğrisi	160
Tablo 6.47 Gece Kademesi Aydınlik Eğrisi	162
Tablo 6.48 Gece Kademesi Dikey Aydınlik Eğrisi.....	162
Tablo 6.49 Yaklaşım Yolları Kesiti	163
Tablo 6.50 Aydınlatma Sistemi Özeti.....	165
Tablo 6.51.a Aydınlik Akısı.....	165
Tablo 6.51.b Aydınlik Akısı	166
Tablo 6.51.c Aydınlik Akısı.....	166
Tablo 6.51.d Aydınlik Akısı	167

ŞEKİLLER

Şekil 1.2: Aydınlatılmış Tüneldeki Görünüm.....	3
Şekil 1.3: Trafik Kazaları.....	4
Şekil 1.4: Trafik Kazaları.....	5
Şekil 1.5: Trafik Kazaları.....	5
Şekil 2.1: Kısmi Işık Akılan Ve Kısmi Uzay Açılan.....	8
Şekil 2.2: Uzay Açısı Tanımı.....	8
Şekil 2.3: Noktasal Bir Işık Kaynağının a Doğrultusundaki $I \propto I_0$ Işık Şiddeti.....	9
Şekil 2.4: Aydınlatma Aygıtlarının C Düzlemlerindeki Işık Dağılım Eğrileri.....	9
Şekil 2.5 Noktasal Aydınlatma Formülünün Yatay Ayd. Düzeyine Uygun Düzenlenmesi	12
Şekil 2.6 İdeal Dağıtıcı Yüzeyler Ve Yansımaları.....	13
Şekil 2.7 Simetrik, Zıt Işınlı Ve Eş Yönlü Aydınlatma Sistemlerinin Prensipleri.....	16
Şekil 2.8 Keskinliğin Aydınlanma Şiddetine Göre Değişimi.....	17
Şekil 2.9 Fon Parliltısına Bağlı Olarak Keskinlik Ve Görme Açısı Eşliğinin Değişimi.....	18
Şekil 2.10 Araç Hızı Ve Armatürler Arası Mesafeye Bağlı Olarak Tehlikeli Titreme Frekans Bölgesi.....	21
Şekil 2.11 Tünel Uzunluğu Parametre Olmak Üzere Armatürler Arası Mesafenin Araç Hızına Bağlı Olarak Değişimi.....	22
Şekil 2.12 Titreme Frekansı Ve $(L_{max}L_{min})$ 'a Göre Müsaade Edilen Sınırlar.....	23
Şekil 2.13 Kornea Ve Göz Merceğinde Saçılan Işıkların Retinada Bir Örtü Parliltısı Oluşturması.....	24
Şekil 2.14 Gözün Görme Aralığı.....	27
Şekil 3.1 Farklı Lamba Seçiminin Parliltı Verimine Etkisi.....	31
Şekil 3.2 Armatürlerin Yerleştiriliş Düzenine Göre C Düzlemleri.....	33
Şekil 3.3 Philips SRX Tipi Armatür.....	33
Şekil 3.4 SRX Tipi Armatürlerin Işık Dağılım Eğrileri.....	34
Şekil 3.5 Deşarj Lambasının Dış Karakteristiği.....	36
Şekil 3.6 Alternatif Akımda Çalışma.....	37
Şekil 3.7 Devreye Balast Bağlanması Durumunda Deşarj Lamb. Akım Gerilim Eğrileri..	37
Şekil 3.8 SOX-E Tipi Armatür.....	40
Şekil 3.9 Simetrik Beyaz Ve Alüminyum, Asimetrik Dar Ve Geniş Açılı Alüminyum Yansıtıcı Armatür Işık Dağılım Eğrileri.....	41

Şekil 3.10 Sodyum Buharlı Lambalardaki Enerji Dengesi	41
Şekil 3.11 Sodyum Işımasının 555 nm'deki Maksimum Göz Hassasiyetinin % 77sine Olan Etkisi.....	42
Şekil 3.12 Kaynak Gerilimindeki Değişmenin Lamba Gerilimi, Akımı, Gücü ve Akısına Etkisi	43
Şekil 3.13 Düşük Güçlü SOX Lambaları İçin Ana Şok Ve Starter Devresi	44
Şekil 3.14 SOX-E 18W Lamba Balast Devresi	45
Şekil 3.15 SOX 55W Yan Rezonans Balast Devresi	45
Şekil 3.16 Sabit Güçlü Balast Devresi	46
Şekil 3.17 Sabit Güçlü Balast Devresi	47
Şekil 3.18 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba	50
Şekil 3.19 Alçak Basınçlı Civa Buharlı lamba	50
Şekil 3.20 Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lamba.....	52
Şekil 3.21 Led Projektör	53
Şekil 4.1 Kritik Uzunluğun Belirlenmesi.....	55
Şekil 4.2 Tünel Bölgeleri	57
Şekil 4.3 Hıza Bağlı Fren Mesafesi.....	59
Şekil 5.1a L/Ev Oranının Belirlenmesi	61
Şekil 5.1b Gündüz Aydınlatması	62
Şekil 5.2 20° lik Konik Görüş Alan	63
Şekil 5.3 Değişik Coğrafi Durumlardaki Konik Görünüşler	65
Şekil 5.4 Değişik Kontrast Değerleri İçin Eşik Bölgesi Parıltısının Dış Bölge Parıltısına GöreDeğişimi	70
Şekil 5.5 Eşik Bölgesindeki Parıltının Kritik Cisme Göre Değişimi.....	71
Şekil 5.6 L20 ve Lth, Arasındaki İlişkiyi Veren Eğriler	72
Şekil 5.7 L/L Oranı İle Cismin Tam Olarak Görülebilmesi İçin Gereken Kontrast Eşiği Arasındaki İlişki	73
Şekil 5.8 Araç Hızına Bağlı Eşik Bölgesindeki Maksimum Parıltı Değişimi.....	73
Şekil 5.9 Değişik Hızlar İçin Çizilen Tünel Parıltı Dağılımı	76
Şekil 5.10 Gebze-İzmit Otoyolu Üzerindeki 2 Nolu Tünelin (Üstte) Gebze-İzmit Yönünde Km/h Ve Altta İzmit-Gebze Yönünde 80 Km/h Araç Hızı İçin Adaptasyon Bölgeleri Ve Uzunlukları	77

Şekil 5.11 Lüminansmetre Dış Görünüşü	81
Şekil 5.12 Dcu-01 Lum-01 Bağlantı Şeması	81
Şekil 5.13 Dcu-01 Lum-01 Bağlantısının Çift Yönlü Tünellerde Uygulanışı	83
Şekil 5.14 Lüminansmetrenin Tünel Giriş Bölgesine Hedeflenmesi.....	84
Şekil 5.15 Dijital Merkezi Birim.....	84
Şekil 5.16 Tünel Gece Aydınlatması	86
Şekil 6.1 Üç Sistemin Lcd Kutupsal Diyagramları.....	94
Şekil 6.2 Aydınlatma Sistemlerinden görüntüler	97
Şekil 6.3 Engellerin Gün Boyunca Görülebilirlik Ölçüm Sonuçları (Simetrik, Zıt Işınlı, Eş Yönlü)	100
Şekil 6.4 Tünel Girişinden 70 m mesafeye Yerleştirilen Engelin Üç sistemdeki Görüntüsü.....	101
Şekil 6.5 Engelin Tünel Girişinden Görünürlüğü	102
Şekil 6.6 Üç Sistem İçin Engelden 60-160 m mesafedeki Görülebilen Bölgeler	103
Şekil 6.7 Üç Sistem İçin Tünel Girişinden 160 m Mesafedeki Görülebilen Bölge	103
Şekil 6.8 Tünel boyuna kesit.....	106
Şekil 6.9 %100 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı.....	132
Şekil 6.10 %100 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı.....	133
Şekil 6.9 %75 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı.....	137
Şekil 6.10 % 75 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı.....	139
Şekil 6.11 %50 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı.....	144
Şekil 6.12 % 50 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı.....	145
Şekil 6.11 %25 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı.....	150
Şekil 6.12 % 25 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı.....	151
Şekil 6.13 İç Bölge Aydınlık- Karanlık Çıktısı.....	149
Şekil 6.14 İç Bölge Parlaklık - Gölge Çıktısı.....	156
Şekil 6.14 Gece Kademesi Parlaklık - Gölge Çıktısı	161
Şekil 6.15 Armatür karakteristiği.....	164

1 GİRİŞ

1.1 TÜNELİN TANIMI

Yaya yolu, demiryolu, karayolu, kanal vb. yolların yeryüzünden geçirilmesinin teknik açıdan elvermediği durumlarda ya da şehir içinde, şehir dışında trafik akışını düzenlemeye yönelik yapılan yolun bir kısmının yer altından geçirilmeye yönelik yapılan yapılara tünel denir.

Tünel yapımı için gerekli durumlar :

- 1) Eğimli sınırlı olan güzergahlarda, dağlık arazide yer yüzünden aşılamayan sut ve tepelerin geçilmesi maksadıyla ,
- 2) Güzergahın bir kısmında tünel inşası ile önemli bir kısalma meydana gelecek ve tünel için gereken masraf bu kısalmadan elde edilecek ekonomi ile karşılanabileceksen ya da tünelden geçilmesi halinde maliyet artsa bile bu artış işletme masraflarından elde edilecek ekonomi ile karşılanabileceksen,
- 3) Güzergahın bir kısmının toprak kaymaları ve heyelanlardan korunması maksadıyla
- 4) Gerek askeri bakımdan, gerekse üzerindeki seyri aksatmamak, doğal yapıyı bozmamak için akarsuların veya boğaz teşkil eden deniz sularının altından geçilmek istendiğinde,
- 5) İnşası ve bakımı fazla masraflı olan kendini tutamayan zeminlerdeki büyük yarmalardan kurtulmak maksadıyla,
- 6) Büyük şehirlerdeki çok önemli şehir içi ulaştırmasında başlıca şu nedenlerle tünel inşası gerekir:
 - a) Yer üstü istimlaklerin çok pahalı olduğu yerlerdeki yolların genişletilmesi veya yeni yolların açılması imkanının bulunmadığı durumlarda ya da kitle halinde toplu ulaşım gerektiği zaman metro inşası için,

- b) Trafiği çok yoğun olan yolların veya bir yolla bir demiryolunun aynı düzeyde birbirini kesmesinin istenmediği zaman,
- c) Birbirlerinden tepe, sırt, akarsu, boğaz vb. gibi doğal engellerle ayrılmış Şehir semtlerinin birleştirilmesi amacıyla.

1.2 TÜNEL AYDINLATMASININ ÖNEMİ

Tünel içinde de yaklaşılan yoldaki ile aynı düzeyde rahatlık, hız ve emniyette trafik akışının sağlanması beklenmektedir. Bu kapsamda tünellerin aydınlatılmaları ayrı bir önem kazanmaktadır.

Aydınlatılması gerekecek kadar uzun olan tüneller yeterince aydınlatılmadıklarında yaklaşan bir sürücü için "karanlık delik" izlenimi doğururlar.(Şekil 1.1) Güneşli bir günde tünele yaklaşan sürücünün tünel girişini karanlık delik gibi görmesini ve tünelde görüş kaybına uğramasını önlemek için, gözün karanlık adaptasyonu kabiliyetini dikkate alınarak, tnelerde kademeli bir aydınlatma yapılması gerekmektedir. İdeal durum, tünelin açık yol parıltı düzeyinde aydınlatılmasıdır. Ancak gerek tesis, gerekse işletme maliyeti çok yüksek olacağından böyle bir czm düşünülmez. Teknik amaç yeterli ve ekonomik optimum czm bulmak olduğundan tüneldeki aydınlatma görme yeteneğini bozmayan minimum düzeyde olmalıdır. Gözdeki karanlık adaptasyonu dikkate alındığında, tünelin ilk bölgesinde yoğun bir aydınlatma yapılması ve bunun tünel içinde ilerlerken kademeli olarak azaltılması, görme yeteneği açısından yeterli olacaktır. (Bkz. Ek7 Şekil 1 Seka tüneli.)

Oldukça büyük maliyetlerin ortaya çıkması nedeniyle, bu konuda 1950'li yıllardan beri laboratuvar ve tnelerde deneysel araştırmalar yapılmakta ve bazı tavsiyeler verilmektedir. Bu çalışmada daha çok Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE) 1990'da yayınladığı tünel aydınlatmasına dair "Teknik Rapor"dan istifade edilmek suretiyle tünel bölgelerinde sağlanması gereken parıltı seviyeleri verilmektedir.

Şekil 1.1 Aydınlatılmamış tüneldeki karanlık etkisi



Şekil 1.2 Aydınlatılmış Tünel



Tüneller, karayollarının bütünleyici bir parçasını oluşturmaktadır. Aşılması güç coğrafi engellerin tüneller kullanılarak geçilmesi ulusal ve uluslararası ulaşımında çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

TÜİK verilerine göre Türkiye genelinde 2011 yılı içinde olan trafik kazalarının % 0,08 yerleşim yeri ve yerleşim dışındaki tünellerde meydana gelmiştir. Bu oran Türkiye Tünellerinde, tüneller olmayan kesimlere oranla daha az trafik kazası meydana gelmektedir. Bu oran çok küçük görünmesine rağmen; tüneller kazaları, kapalı bir hacimde olması nedeniyle özellikle yangınlı kazalarda dramatik sonuçlar doğurabilmektedir.

Tünellerin kapalı hacim olması, tahliye ve müdahale güçlüğü de dikkate alındığında trafik kazaları ve kaza sonrası etkilerin azaltılması bakımından tüneller aydınlatması ayrıca önem sağlamaktadır. Avrupa Birliği, son yıllarda sınırları içerisinde bulunan tünellerde meydana gelen kazalar nedeniyle, karayolu tünellerinde minimum güvenlik kriterleri direktifini hazırlayarak 2004 yılında yürürlüğe koymuştur.

Şekil 1.3 Tüneller Trafik kazaları



Şekil 1.4 Tünel Trafik kazaları



Şekil 1.5 Tünel Trafik kazaları



2 TEMEL KAVRAMLAR VE ÖZELLİKLER

2.1 FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER

Fotometrik büyüklükler normal gözün radrasyonlan algılama özelliği (spektral duyarlılığı) ve ışık kaynaklarının bu radrasyonlarda ürettikleri enerji miktarları ile açıklanabileceği için diğer enerji büyüklüklerinden daha farklı kavramlardır.

Aydınlatma tekniği, ışığa ve aydınlatmacılığa ait hesap, ölçme ve değerlendirmeleri yapabilmek için aşağıdaki bazı temel büyüklükleri tarif ve kabul etmiştir. Bu tanımlarda gündüz görmesine (fotopik görme) ait normal bir gözün spektral duyarlılık eğrisi alınmıştır.

2.1.1. Işık Şiddeti

Noktasal ışık kaynakları için tanımlanan ve doğrultuya bağlı bir büyüklük olan ışık şiddeti I harfi ile gösterilir, birimi **candela** (cd) dir.

Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir a doğrultusundaki ışık şiddeti, bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega$ uzay açısından çıkan $\Delta\Phi$ ışık akısının $\Delta\Omega$ uzay açısına bölümü ile ilgilidir [1]. $\Delta\Omega$ sifira yaklaşırken bu oranın limiti de I ışık şiddetini tanımlar (Şekil 2.3)

$$I_a = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.1)$$

Denklemden ışık akısı, lümen ve uzay açısı steradyan cinsinden yerlerine konursa, ışık şiddeti candela cinsinden bulunur. Buna göre 1 steradyanlık uzay açıdan çıkan ışık akısı 1 lümen ise, ışık şiddeti 1 candela olur.

Noktasal bir ışık kaynağının muhtelif doğrultulardaki ışık şiddetlerinin uç noktalarının geometrik yeri bir yüzey olup bu yüzeye söz konusu ışık kaynağının "ışık dağılım yüzeyi" denir. Eğer kaynaktan geçen bir düzlem üzerindeki ışık şiddetlerinin uç noktaları göz önüne alınırsa bunların geometrik yeri kaynağın ışık dağılım yüzeyi ile söz konusu düzlemin ara kesitinden ibaret olur ki, buna da "ışık dağılım eğrisi" adı verilir. Bir ışık kaynağının ışık dağılım yüzeyi, bu kaynağın ışık dağılımı hakkında bir fikir verir.

2.1.2. Işık Akısı

Bir ışık kaynağının ışık akısı, bu ışık kaynağından çıkan ve normal gözün görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akışıdır [1]. Işık kaynağının birim zamanda yaydığı toplam ışık miktarı ile ilgili bir kavram olan ışık akısı, Φ harfi ile gösterilir. Birimi lümen'dir.

$$\Phi = K_0 \cdot F \cdot V \quad (2.2)$$

Burada Φ enerji akısını, K_0 , enerji akısının $V_{555}=1$ için (ışık sal) fotometrik eşdeğerini, V de gözün radyasyonlara karşı spektral duyarlılık derecesini gösterir.

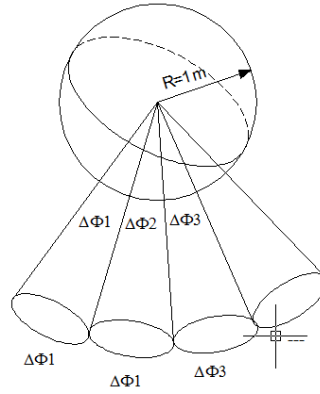
$$\lambda = 555 \text{ nm için } V_{555}=1 \text{ ve } K_0=682 \text{ lm/W 'tır.}$$

Işık akısı genel olarak düzgün yayılmaz; uzayın muhtelif doğrultularında yoğunluğu farklıdır. Bu durumu daha iyi anlayabilmek için "uzay açısı" kavramına ihtiyaç vardır. Genel olarak bir ışık kaynağının ışık akısı, uzayın muhtelif kısımlarına yayılan kısmi ışık akılarının toplamı olarak düşünülebilir. İçinden kısmi bir ışık akısı geçen koni veya piramit şeklindeki

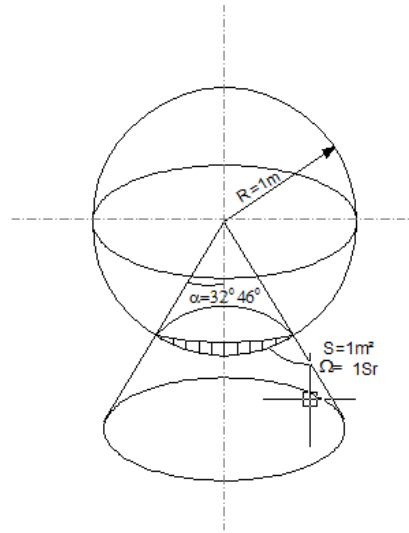
uzay parçasına "uzay açısı" denir. (Şekil 2.1). Uzay açısı, noktasal ışık kaynağı merkez olmak üzere yarıçapı $R=1$ m olan bir küre düşünmek ve koni veya piramidin küre yüzeyinde ayırdığı yüzey parçasını hesap etmek suretiyle ölçülür. Eğer bu yüzeyin yüz ölçümü 1 m^2 ise, bu kısmi ışık akısının uzay açısı 1 steradyan (str)'dır denir. (Şekil 2,2). Bütün küre yüzeyi $4\pi \text{ m}^2$ olduğundan noktasal bir ışık kaynağının bütün uzaya

gönderdiği toplam ışık akısı $4\pi=12,57$ str'lık bir uzay açıdan yayılır. Demek ki, düzlemsel açının birim dairede yay olarak ölçülmesine karşılık uzay açısı, birim kürede yüzey olarak ölçülür[1].

Şekil 2.1 Kısmi ışık akıları ve kısmi uzay açıları



Şekil 2.2 Uzay Açısı Tanımı



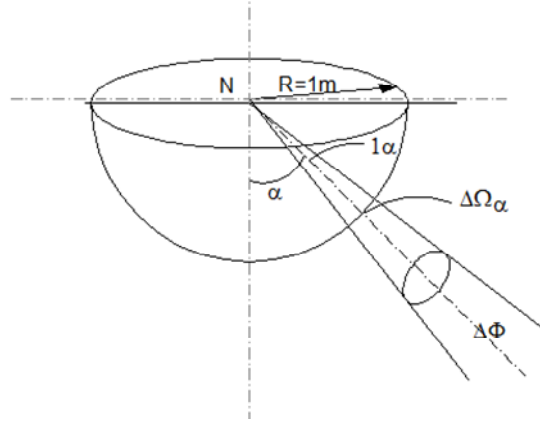
Işık kaynaklarının şebekeden çektikleri güç ile yaydıkları ışık akısı arasında sabit bir oran yoktur. (Örneğin; 100W gücündeki yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın yaydığı ışık akısı 10.000 İm iken, 130w gücündeki alçak basınçlı sodyum buharlı

lambanın yaydığı ışık akısı 26.000 lm'dir.). Işık akısı ile çekilen toplam güç arasındaki oran "etkinlik faktörü" olarak isimlendirilir ve lümen/watt birimi ile açıklanır. Her lamba tipinin etkinlik faktörü farklıdır.

$$e = \Phi / P$$

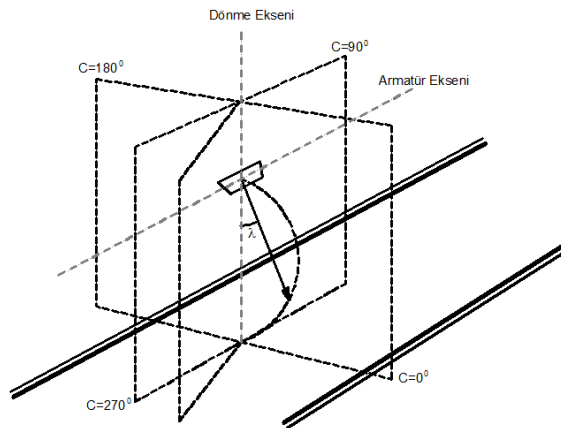
(2.3)

Şekil 2.3 Noktasal Bir Işık Kaynağının α doğrultusundaki L_α ışık şiddeti



Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CBE'ye göre, ışık dağılım eğrileri, aygıttan geçen düşey ekseni dönme ekseni olarak alan "C düzlemleri" ve bu düzlemler içinde düşeyle y açıları yapan ışık şiddeti vektörleriyle verilir. (Şekil 2.4)

Şekil 2.4 Aydınlatma Aygıtlarının C Düzlemlerindeki Işık Dağılım Eğrileri



Aydınlatma aygıtlarının (armatürlerinin) ışık dağılım eğrileri istenirse, aygıttan geçen ve aygıt dönme eksenine dik olan dönme eksenine göre oluşturulan A düzlemleri veya aygıt eksenini dönme eksenini olarak alan B düzlemleri ile de verilebilir.

2.1.3. Parıltı

Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi cd/m^2 'dir. Yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddeti ile ilgili bir kavramdır. Işık yayan yüzey, kendisi ışık üreten bir lamba veya ışık geçiren bir armatür yüzeyi gibi birincil ışık kaynağı olabileceği gibi, başka bir kaynaktan ulaşan ışığı yansıtan ikincil bir ışık kaynağı da olabilir [1].

Parıltı tanımı şöyle yapılabilir: "Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan ΔS yüzey elemanının bu doğrultuda doğurduğu ΔI_α ışık şiddetinin ΔS 'in bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔS_n görünen alanına oranının limitidir" [1,8].

$$L_\alpha = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_\alpha}{\Delta S_n} = \frac{dI_\alpha}{dS_n}$$

2.5)

Parıltı kavramı, yüzey, yüzeyin bir noktası ve doğrultusunu kapsamaktadır. Aynı aydınlık düzeyi ile aydınlatılmış olsalar bile, eğer yüzeyler farklı yansıtma özelliklerine sahip ise, parıltıları farklı olacaktır.

2.1.4 Aydınalık Düzeyi

Aydınalık düzeyi, bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen ışık akısı miktarıdır. E harfi ile gösterilir. Birimi lüks (lx) tür.

Bir yüzeyin bir M noktasındaki aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan ΔS yüzeyine düşen ΔO ışık akısının ΔS yüzeyine bölümüne eşittir. ΔS yüzeyi sıfıra yaklaşırsa $\Delta\Phi/\Delta S$ oranının limiti, bu noktadaki aydınlık düzeyini verir [1,8,9].

$$E = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2.4)$$

Aydınlık düzeyi, yüzeye düşen ışık akısı yoğunluğuna bağlı olduğu gibi, bunda yüzeyin yansıtma durumu da rol oynar.

2.2 FOTOMETRİK BAĞINTILAR

Fotometrik büyüklüklerin tanım formüllerinden, aydınlatma mühendisliği için pratik açıdan yararlı olacak bağıntılar çıkarılmıştır. Büyüklükler arasındaki ilişkileri ortaya koyan bu pratik bağıntılardan tünel aydınlatması hesabında kullanılacak olanlar aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1 Işık Şiddeti (I) İle Aydınlık Düzeyi (E) Arasındaki Bağntı

2,2,1.1 Uzaklıkların Karesi ve Ters Orantı Yasası

Işığın geliş doğrultusuna dik düzlem üzerindeki bir noktanın aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusundaki ışık şiddetinin, söz konusu nokta ile noktasal ışık kaynağı arasındaki mesafenin karesine bölünmesine eşittir. Uzaklık d ile gösterilirse, ışığın geliş doğrultusuna dik düzlem üzerindeki P noktasındaki aydınlık düzeyi;

$$E_P = \frac{I}{d^2} \quad (2.6)$$

şeklinde bulunur. Bu bağıntı "uzaklıkların karesi ile ters orantı yasaı" olarak bilinir ve sadece noktasal kabul edilebilen kaynaklar için geçerlidir. Uygulamada, ışık kaynağı ile hesap noktası arasındaki uzaklık, ışık kaynağının en büyük boyutundan 3 kat daha fazla olduğunda söz konusu kaynak noktasal kabul edilebilmektedir [2,8]. Bu itibarla, tünel aydınlatmasında da tüm ışık kaynakları noktasal kabul edilecektir.

2.2.1.2 Kosinüs Yasası

Yüzeyin normali ile gelen ışık doğrultusu arasındaki açı γ olduğunda, yüzey üzerindeki bir P noktasının aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusundaki ışık şiddetinin, ışık kaynağı ile nokta arasındaki uzaklığının karesine bölümünün γ açısının kosinüsü ile çarpımına eşittir.

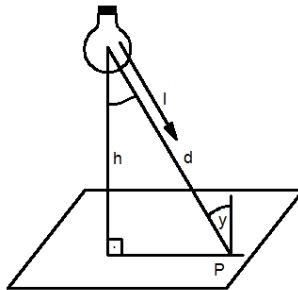
$$E_P = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \gamma \quad (2.7)$$

Bu yasa "kosinüs yasası" olarak bilinir. Aydınlatma hesaplarında "noktasal aydınlatma formülü" olarak kullanılır.

Yatay aydınlık düzeyi hesabında, noktasal aydınlatma formülündeki ışık kaynağı ile nokta arasındaki (d) uzaklığının yerine, ışık kaynağı ile düzlem arasındaki dik mesafenin (h) kullanılması daha pratik olmaktadır. (Şekil 2.5). Bu durumda formül şu şekli almaktadır:

$$E_{\text{yatay}} = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (2.8)$$

Şekil 2.5 Noktasal Aydınlatma Formülünün Yatay Aydınlik Düzeyine Uygun Düzenlenmesi



2.2.1.3 Lambert Yasası

Işık yayan bir yüzeyin parıltısı, her doğrultuda sabit ise bu yüzeye Lambert yasasına göre ışık yayan yüzey veya ideal dağıtıcı yüzey denir.

$$L_{\alpha}=L=\text{sabit} \quad (2.9)$$

Eğer bir cisim Lambert yasasına uygun ışık yayıyorsa mat görünüşlüdür. Siyah cisim, opal camlar v.b dağıtıcı cisim olarak kabul edilir.

Lambert yasasına uygun ışık yayan yüzeylerde (cisimlerde)

$$\Phi=\pi.L.S \quad (2.10)$$

dir. Burada Φ (lm) cinsinden yüzeyin yaydığı toplam ışık akısını, L Lambert yasasına göre yüzeyin sabit olan cd/m^2 cinsinden parıltısını ve S de m^2 cinsinden yüzeyin alanını gösterir.

2.2.2 Aydınlık Düzeyi (E) İle Parıltı (L) Arasındaki Bağntı

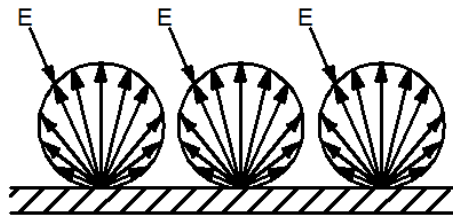
Işık yayan bir yüzeyin parıltısı her doğrultuda sabit ise, bu yüzeye Lambert yasasına göre ışık yayan yüzey veya ideal dağıtıcı yüzey denir.

$$L_{\alpha}=L=\text{sabit} \quad (2.11)$$

Aydınlık düzeyi, genellikle en kolay ölçülen fotometrik büyüklüktür. İdeal dağıtıcı yüzeyin (Şekil 2.6) aydınlık düzeyi (E) ve yansıtma faktörü (p) bilinirse, parıltısı (L) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$L= p.E/\pi \quad (2.12)$$

Şekil 2 6 İdeal Dağıtıcı Yüzeyler ve Yansımaları



2.3 FİZYOLOJİK-OPTİK ESASLAR

İnsan gözü etrafındaki cisimleri ancak göz yardımı ile ve gözün görme yeteneği sayesinde görebilmektedir. Bir cismin görülebilmesi, her şeyden önce o cismin gözün ağ tabakasında meydana getirdiği görüntünün aydınlık şiddetine, yani cismin muhtelif noktalarının parlılıklarına bağlıdır.

Bu nedenle tünel aydınlatmasında; tünel boyunca, sürücünün emniyetle durabileceği bir mesafeden tünel içini seçebilmesine yetecek kadar parlılık düzeylerinin sağlanması gerekir. Ayrıca gözün görme yeteneğini etkileyen titreşim, düzensizlik, kamaşma gibi olaylar da tünel aydınlatmasının kalitesini belirler. Gözler bir noktadan diğerine hareket ettirilirken alanların parlılıkları değişmektedir. Parlılık farkları karşısında adaptasyon / kamaşma sorunları ortaya çıkar[1].

2.3.1 Gözün Adaptasyonu

Gözün değişik aydınlık şiddetlerine yani parlılıklara uyma kabiliyetine adaptasyon denir.

Öğle vaktinde ölçülen aydınlatma şiddeti yaklaşık 100.000 lüks ve mehtapta ölçülen aydınlık şiddeti 0,25 lüks olarak alındığında, bu iki aydınlık düzeyi arasındaki fark ve gözün her iki durumda da görevini yapması göz önüne alınırsa, gözün aydınlık düzeylerine, yani parlılıklara uyma kabiliyeti hakkında iyi bir fikir edinilebilir.

İki türlü adaptasyon vardır: Karanlık adaptasyonu ve aydınlık adaptasyonu. Karanlık adaptasyonu deyince, aydınlık bir yerden karanlık bir yere geçişteki adaptasyon ve aydınlık adaptasyonu deyince de karanlık bir yerden aydınlık bir yere geçişteki adaptasyon anlaşılır. Aydınlık adaptasyonu çok çabuk olur ve özel bir tedbire ihtiyaç göstermez. Karanlık adaptasyonu ise oldukça yavaş gerçekleşir[1].

Karanlık bir odada uzun süre kalmış bir insanın göz bebekleri büyür, Karanlığa alışmış bir göz aniden yakılacak ışık karşısında ya da fotoğraf makinası flaşının patlatılması durumunda gözbebekleri kendini ışıktan koruma ve aydınlığa alışma refleksi ile aniden kısılır ve küçülür. Göz muayenelerinde de hastalar muayene öncesi ışığın loş olduğu bir

ortamda bekletilir ve göz bebeklerinin daha belirgin olduğu loş ortamda muayene yapılmaktadır.

Adaptasyon, gözbebeği boyutundaki değişim, fotokimyasal ve sinirsel mekanizmalarla açıklanabilir. Tam karanlık olmayan ve uygun düzeylerde aydınlatmaya çalıştığımız tünellerde bizim için önemli olan nispeten hızlı sinirsel adaptasyon işlemidir, α -adaptasyonu diye de adlandırılan bu hızlı adaptasyon kabiliyetini sağlayan sinirsel mekanizma, ağ tabakadaki sinirlerle beyindeki görme sinirlerinin karşılıklı etkileşimleriyle açıklanabilir. Göz duyarlılığındaki yaklaşık 1/50'lik bir değişim oranına karşı düşer. Bu adaptasyon mekanizması sayesinde 1,5 ile 2 logaritmik birimi aşmayan parlıtlı farklarında uygun görme şartları gerçekleşebilmektedir [3,8].

2.3.2 Gözdeki Kontrast Duyarlılığı

Bir cismin görülebilmesi, her şeyden önce bu cismin aydınlık ve karanlık farklılıklarının algılanabilmesine bağlıdır. Ortamdaki parlıtlı veya renk değişimleri "kontrast" olarak adlandırılır. Tanımda da anlaşıldığı gibi iki tip kontrasttan söz edilebilir: Parlıtlı ve renk kontrastı. Çoğunlukla bu iki kontrast birlikte oluşur.

Kontrast teşkil eden iki alanın parlıtlıları L_F ve L_C , gözün adapte olduğu parlıtlı da L_A ise, iki komşu bölge arasındaki bağıl kontrast veya bağıl parlıtlı farkı aşağıdaki formülle ifade edilebilir;

$$C(\%) = \frac{L_F - L_C}{L_A} = \frac{\Delta L}{L_A} \quad (2.13)$$

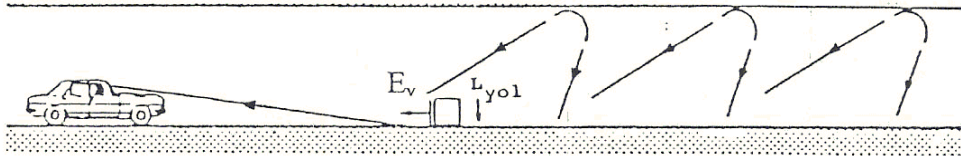
Burada; C kontrast oranı , L_y yüksek parlıtlı (cd/m^2) ve L_d düşük parlıtlı (cd/m^2) dir.

Eğer görüş alanında oluşan parlıtlı kontrast oranları çok yüksek olursa, kontrast teşkil eden yüzeylerin parlaklık izlenimleri de daha abartılı algılanacaktır. Örneğin, siyah fon üzerindeki beyaz detay olduğundan daha beyaz, parlak bir fon üzerindeki karanlık bir

detay olduğundan daha karanlık algılanacaktır. Bunun nedeni, gözün büyük parlıtlı farklarına anında adapte olamamasıdır.

Bu prensipten hareketle Etienne, Tesson ve Chase (1989) adlı araştırmacılar tünelde gereken parlıtlı düzeyini azaltmak (dolayısıyla aydınlatma maliyetini düşürmek) için, cisimlerin yola göre kontrastlarını arttırmanın daha doğru olacağını düşünmüşler ve Fransa'daki Mantes La Ville tüneline zıt ışınlı bir aydınlatma gerçekleştirmişlerdir. Bu tür bir aydınlatmada cisimlerin üzerine doğrudan hiç ışık düşmediğinden tünel içindeki cisimlerin düşey aydınlık düzeyleri çok küçük, dolayısıyla tüm sistemin kontrast kalite parametresi K (yol parlıtlısının cisimlerin düşey aydınlık düzeylerine oranı) ise büyük olmaktadır.(Şekil 2.7)

Şekil 2.7 Simetrik, Zıt Işınlı Ve Eş Yönlü Aydınlatma Sistemlerinin Prensibi



Bu şekildeki zıt ışınlı aydınlatma sistemi (Counter Beam Lighting System) ile, alışlagelmiş bant şeklindeki düzene kıyasla hemen hemen 1/4 oranında daha az parlıtlı düzeyi yeterli olmaktadır.

2.3.3 Şekil Duyarlılığı (Keskinlik Veya Seçicilik)

Gözün en önemli yeteneklerinden biri de şekil duyarlılığıdır. Bir cismin çeşitli noktalarının ayırt edilebilmesi gözün şekil duyarlılığına veya keskinliğine bağlıdır. Eğer bir cismin iki noktasının görüntüleri birbirine çok yakın ise bu durumda göz bu iki ayırt edemez. Bu iki noktanın iki ayrı nokta olarak görülebilmesi için bunların görüldükleri a görme açısının belirli bir δ değerinden daha büyük olması gerekir. δ açısının tersine şekil duyarlılığı, keskinlik veya seçicilik derecesi denir ve s ile gösterilir[1,8].

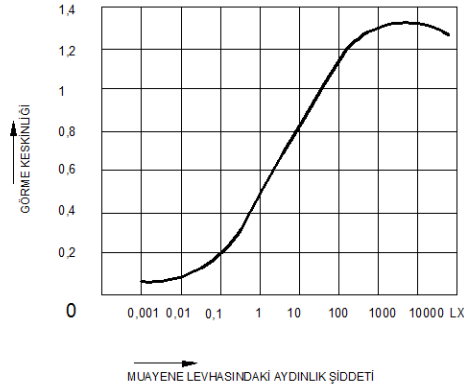
$$s=1/\delta(1/dak) \quad (2.16)$$

Normal bir göz için $\delta \cong (3/4)'=0,75'=2,2 \cdot 10^{-4}$ radyan, $s = 4,5 \cdot 10^3$ (l/rad) dır.

Şekil duyarlığı görme organına, bakılan cismin fon parıltısına ve kontrastına, gözlem süresine göre değişir. Yaşın da keskinlik üzerinde negatif bir etkisi vardır.

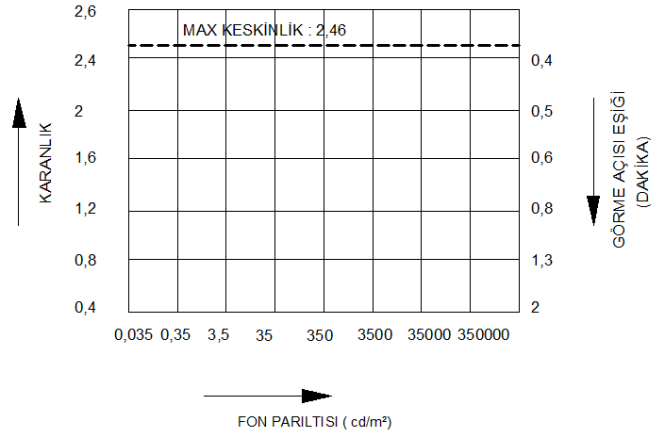
Şekil 2.8, keskinliğin aydınlık şiddetine bağlı değişimini beyaz levha üzerindeki kara Snellen kancalan için göstermektedir. Buna göre, keskinlik 500 lx civarında en büyük değerine erişir ve aşağı yukarı 10.000 lx'e kadar sabit kalır. Bundan sonra kamaşma sebebiyle keskinlik tekrar azalmaya başlar.

Şekil 2.8 Keskinliğin Aydınlık Şiddetine göre değişimi



Beyaz bir fon üzerindeki siyah bir cisim için, fon parıltısı ile keskinlik arasındaki ilişkiyi veren eğri de Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şeklin sağındaki eksenini görme açısının değişimini vermektedir.

Şekil 2.9 Fon Parıltısına Bağlı Olarak Keskinlik ve Görme Açısının Değişimi



2.3.4 Düzgünlük

Sürücüye görüş imkanı ve konfor sağlanması için tünel içinde (yol yüzeyinde ve 2m yüksekliğe kadar tünel duvarlarında) düzgün bir parıltı dağılımı gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, yol yüzeyinin ortalama parıltısı arttıkça, parıltıda daha yüksek kısmi değişimlere müsaade edildiğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle tünellerde bilhassa parıltının düşük olduğu iç bölgede ve gece aydınlatmasında tüm tünel boyunca parıltı düzgünlüğünün sağlanmasına dikkat edilmelidir [3],

Tünel aydınlatmasında önemli olan iki tür düzgünlükten söz edilebilir:

1) Ortalama (bileşke) düzgünlük (U_0): Trafik sağ taraftan olduğunda yolun sağ kenarında yol genişliğinin 1/4 mesafesinde yer alan bir gözlemciye göre saptanan minimum parıltının (L_{min}), yolun ortalama parıltısına (L_{ort}) oranıdır. Trafik için bir zemin teşkil eden duvarların alt bölümleri de aynı yol yüzeyi gibi dikkate alınmalıdır.

Yol yüzeyi ve yerden 2m yüksekliğe kadar duvarların ortalama parıltı düzgünlüğünün kirli olmayan tüneller için,

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{ort}}} \geq 0,4 \quad (2.17)$$

olması tavsiye edilmiştir [4,5].

2) Boyuna düzgünlük (U_1): Yol şeridinin orta çizgisi üzerinde bulunan gözlemciye göre, bu orta çizgi boyunca geçerli olan minimum parıltının maksimum parıltıya oranıdır.

Yol üzerindeki boyuna parıltı düzgünlüğü için,

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} > 0,6 \quad (2.18)$$

oranı önerilmektedir.

Boyuna düzgünlükle ilgili ölçüt, armatürler arası mesafe (tüp şeklindeki lambalarla aydınlatma halinde, birbirini takip eden armatürlerin orta noktaları arasındaki uzaklık) ışık noktası yüksekliğinin üç katını aşmadığında sağlanabilmektedir. Tünellerde yükseklik 4,5 m ile 6 m arasında olduğundan, armatürler arası açıklık yüksekliğe bağlı olarak 13,5 m ile 18 m'yi geçmemelidir [3].

Yolun ve duvarların eskimesi ve kirlenmesi de düzgünlüğü değiştirebilmektedir. Bunun için tünellerde bakım ve onarım çalışmalarına da önem verilmesi gerekir.

2.3.5 Titreşim Etkisi

Göz ani ışık değişimlerinde farklılığı algılayıp refleks sunduğu halde, zama göre değişen bazı ışık uyarımlarını ayırt edemez. Bunlardan biri, doğal aydınlatmada olduğu gibi ışık uyarımlarının çok yavaş değişmesi hali, diğeri ise alternatif akımla çalışan deşarj lambalarında olduğu gibi ışık uyarımlarının çok çabuk değişmesi halidir. Eğer bir ışık kaynağının parıltısı periyodik olarak değişir ve bu değişim göze sabit parıltılı bir

ışık kaynağı gibi gözükürse bu durumda kaynağın bu titreme frekansına "kritik titreme frekansı" denir.

Büyük parıltılarda, dolayısıyla yüksek aydınlık düzeylerinde kritik titreme frekansı büyük olduğundan, aydınlatmanın mümkün olduğu kadar titreşimsiz olmasına çalışılmalıdır. Kesikli ışıkta gözlenen periyodik hareketler hareket yanılmalarına neden olabilir (stroboskopik olay). Örneğin periyodik bir dönme hareketi, bununla aynı frekanstaki bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında duruyormuş gibi görünür.

Işık uyarıları birbirinin ardından hızla periyodik olarak düzenli aralıklarla gelirse, armatürlerin kendileri veya armatürlerin araçlarının metal kısımlarında oluşan görüntüleri titreşim (flicker) olayına neden olurlar. Bu etkinin sürücü üzerinde oluşturacağı rahatsızlık derecesi, saniyede oluşan titreşim sayısına bağlı olduğu kadar etkinin devam etme süresine de bağlıdır. Zira yanıp sönen bir ışığa kısa bir süre dayanabildiğimiz halde, süre uzadığında bu etki bizi son derece rahatsız eder. Dolayısıyla titreşim olayının önlenmesi için belirlenecek armatürler arası mesafe, tünel uzunluğu ve tünelde müsaade edilen araç hızına göre tayin edilmelidir[10].

Jantzen (1960) ve Schreuder (1964) titreşim etkisini, saniyede oluşan titreşim sayısına göre, Waltbert (1977) ise tünel uzunluğuna göre inceleyen araştırmalar yapmışlardır. Bunların sonucunda;

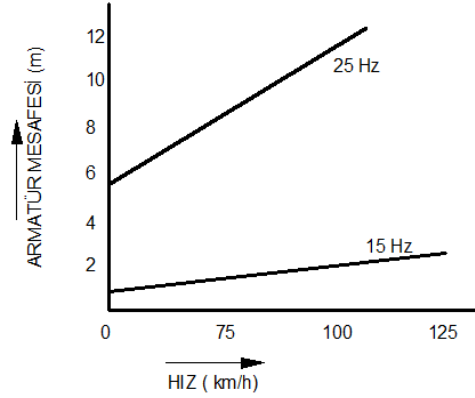
Jantzen tehlikeli titreme frekansı bölgesini 3,5 Hz ile 15 Hz arasında bulmuş ve maksimum rahatsızlığın da 8,5 Hz civarında olduğunu tespit etmiştir.

Schreuder ise Jantzen'e göre daha düşük yol yüzeyi parıltısı (8 cd/m^2) ve daha yüksek kaynak parıltısı (9000 cd/m^2) değerlerinde aynı çalışmaları yaparak, tehlikeli titreme frekansı bölgesini 2,5 Hz ile 12,5 Hz arasında ve maksimum rahatsızlık derecesini de 6,5 Hz civarında belirlemiştir.

Bunlardan hareketle armatürlerin orta noktaları arasındaki mesafenin 2,5 Hz ile 15 Hz arasında tekabül eden değerler arasında olmaması gerektiği ve yanıp sönmeye sıklığının 5

Hz ile 10 Hz arasında olduğunda rahatsızlık derecesinin maksimum olduğu söylenebilir (Şekil 2.10) [3,4,5,6]

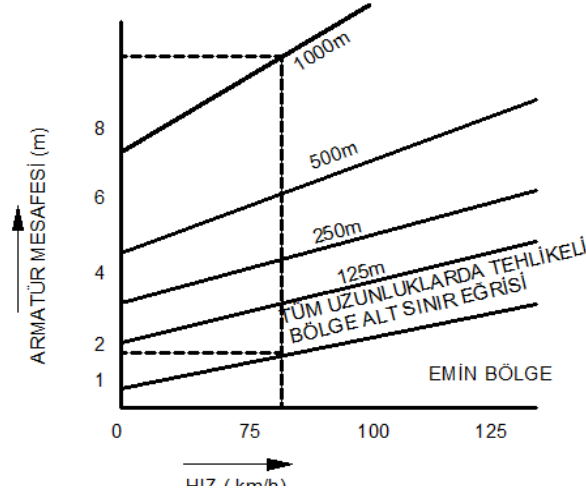
Şekil 2.10 Araç Hızı Ve Armatürler Arası Mesafeye Bağlı Olarak Tehlikeli Titreme Frekansı Bölgesi



Walthert ise titreşim etkisini tünel uzunluğuna bağlı olarak incelemiş ve tünel uzunluğu arttıka tehlikeli titreme frekansı bölgesinin de genişlediğini ortaya çıkarmıştır.

Şekil 2.11'de Jantzen, Schreuder ve Walthert'in aşmalanndan çıkan sonuçlar doğrultusunda tespit edilmiş tehlikeli titreme frekansı bölgesi, araç hızı ve armatürler arası mesafeye bağlı olarak gösterilmektedir.

Şekil 2.11 Tünel Uzunluğu Parametre Olmak Üzere Armatürler Arası Mesafenin Araç Hızına Bağlı Olarak Değişimi



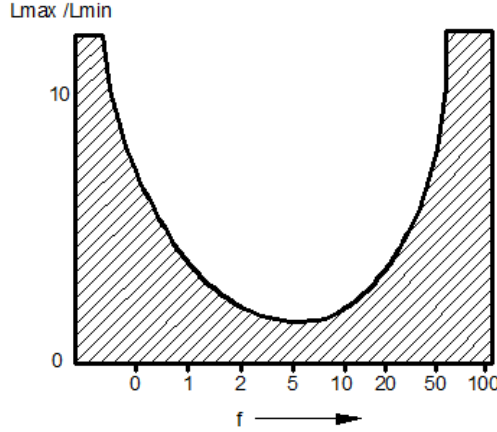
Şekilden de görülebileceği gibi hız sınırlaması 80 km/h olan 1000 m uzunluğundaki bir tünelde, titreşim etkisinin rahatsız edici olmaması için, armatürler arası mesafe 1,5 m ile 8,8 m arasında olmamalıdır. Bu durumdaki titreşim frekansını hesaplayalım:

$$\text{titreşim frekansı (Hz)} = \frac{\text{araç hızı (m/sn)}}{\text{armatürler arası mesafe (m)}} \quad (2.19)$$

- araç hızı= 80km/h = 22,2 m/sn
- armatürler arası mesafe (1) = 1,5 m
- armatürler arası mesafe (2) = 8,8 m
- titreşim frekansı (1) = (22,2/1,5) \cong 15 Hz
- titreşim frekansı (2) = (22,2/8,8) \cong 2,5 Hz
- Görüldüğü gibi belirtilen armatürler arası açıklık değerleri kritik titreşim frekansı limitlerini sağlamaktadır.
-
- Sürücünün titreşim olayından etkilenmemesi titreşim frekansına bağlı olduğu kadar, en büyük parıltı değerinin en küçük parıltıya oranına da bağlıdır. Şekil 2.12'de titreşim

frekansı ve (L_{\max} / L_{\min}) 'e göre müsaade edilen sınırlar taralı alan olarak gösterilmiştir [7].

Şekil 2.12 Titreme Frekansı Ve (L_{\max}/L_{\min}) 'a Göre Müsaade Edilen Sınırlar



Tüneller genellikle alçak yapılar olduğu için armatürler arasının çok fazla açık olması, bilhassa tünel iç bölgesinde yol ve duvar yüzeylerinde istenilen parlaklık düzgünlüğünün gerçekleştirilmesini güçleştirir. Bu durumda alt sınır gerçekleştirilerek sürekli bant şeklinde aydınlatma ile daha kolay sonuca varılır.

Mevcut aydınlatma düzeni ile yapılan gece aydınlatmasında, titreşim etkisinin en aza indirilmesi amacıyla, lambaların aralıklı olarak söndürülmeleri yerine, ışık akıyan azaltılarak bütün lambaların yanmasının sağlanması tavsiye edilir. Lambaların ışık akılarının değiştirilmesi, gerilim ayarıyla yapılabilir. Güç elektroniği düzenlerinden istifadeyle oluşturulacak aydınlatma kumanda sisteminde, tristörler aracılığıyla gerilim değerini (dolayısıyla ışık akılarının) değiştirmek mümkündür. Gerilim ile ışık akısı birbirine bağımlı büyüklüklerdir. Örneğin akkor telli lambalar için bu bağıntı;

$$\Phi = \Phi_b (U/U_b)^{3,613} \quad (2.20)$$

şeklindedir. Burada indissiz yazılmış karakteristik büyüklükler herhangi bir U değerindeki şebeke gerilimine, n indisli karakteristik büyüklükler de lambanın imal edildiği $U\alpha$ değerindeki şebeke gerilimine tekabül eder.

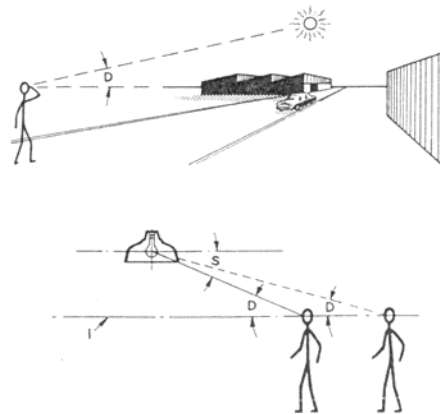
2.3.6 Kamaşma

Sağlam bir gözün dış etkilerle geçici olarak etrafındaki cisimleri göremez hale gelmesine "kamaşma" denir. Tünel içinde de armatürler ve onların yansımaları ile oluşacak kamaşma sınırlandırılmalıdır.

Adaptasyonun sabit olmaması ve ışık noktası yüksekliği ile ışık noktalan arasındaki mesafelerin geçerlilik sahasının dışında kalması nedeniyle, yol aydınlatmasında kullanılan kamaşma formülleri tünellerde geçersizdir. Ancak tünelde de kamaşma, armatürlerin ışık dağılım eğrilerine, görüş alan içindeki armatürün görünen yüzeyine, konumuna, sayışma ve en yüksek parıltısına bağlıdır.

Özellikle kornea ve göz merceğinde dağılıp saçılan ışığın retina (ağ tabakada) parlak bir örtü oluşturması, kontrast duyarlılığını azaltan kamaşmaya sebep olur[1]. (Şekil 2.13)

Şekil 2.13 Kornea Ve Göz Merceğinde Saçılan Işınlarmın Retinada Bir Örtü Parıltısı Oluşturması



Kamaşma gözdeki örtü parıltısı ile değerlendirilebilir. Örtü parıltısı, cd/m² cinsinden Holladay'in amprik formülü ile hesaplanabilir [3].

$$L_s = K \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_{G_i}}{\theta^2} \quad (2.21)$$

Burada:

K: Sürücünün yaşına bağlı bir katsayı (pratik amaçlar için Φ derece cinsinden ifade edildiğinde $K=10$, Φ radyan cinsinden ifade edildiğinde $K=3 \cdot 10^{-3}$ alınması yeterli olmaktadır.)

n: Sürücünün görüş alanındaki kaynak sayısı

E_{G_i} : Görüş hattına dik düzlemdeki i. kamaşma kaynağının sürücü gözünde oluşturduğu aydınlık düzeyi (lx)

Φ : Göz ve kamaşma kaynağının merkezini birleştiren doğru ile bakış doğrultusu arasındaki açı ($1,5^\circ \leq \Phi \leq 60^\circ$) dır.

Sürücünün görüş alanındaki n kaynak sayısı, araba ön camının engelleme açısı 20° kabul edilerek, yolun sağ kenarından yol genişliğinin 1/4 mesafesinde yer alıp kendi istikametinde 90 m ilerideki bir noktaya bakan gözlemci için etkili olabilecek armatür sayısıdır [3].

Toplam L_s değeri bulunarak, tünelde tehlikeli olabilecek bir cismin Tl eşik artışı hesaplanmak suretiyle fizyolojik kamaşma miktarı bulunabilir.

Bağıl artış aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

$$TI = \frac{65.L_s}{0,8.L_{ort}} \quad L_{ort} \leq 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için} \quad (2.22)$$

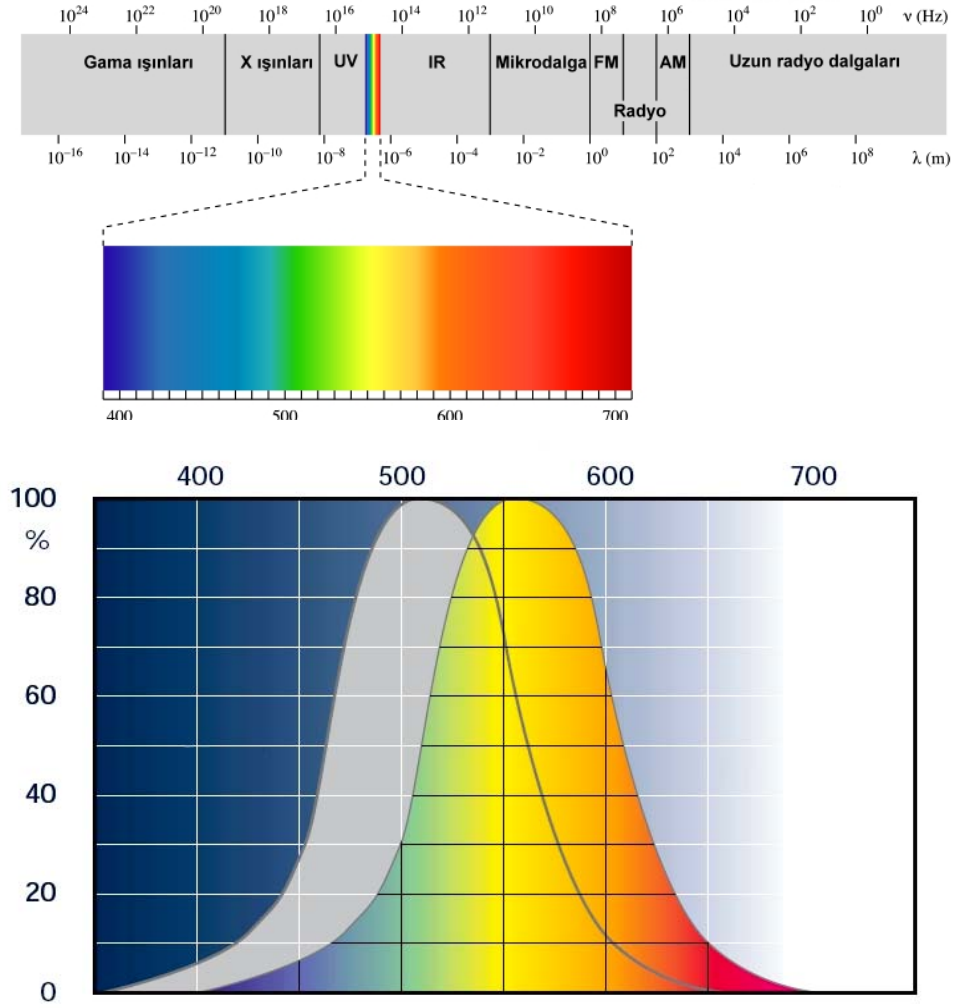
$$TI = \frac{95.L_s}{1,05.L_{ort}} \quad L_{ort} > 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için} \quad (2.23)$$

Tl eşik artışı değeri tüm tünel boyunca %15'ten daha düşük olmalıdır [4].

2.3.6 Gözün Seçiciliği

Işık; göze etki eden, dalga (yada foton) şeklinde yayılan bir enerji türüdür. İnsan gözü, sadece 380nm (ultraviyole) ile 780nm (enfraruj) arasındaki dalga boylarındaki elektromanyetik yayılımı ışık olarak algılayabilmektedir. Beyaz/monokrom ışık İnsan gözü, aydınlatma düzeyinin düşük olduğu durumlarda aydınlık/karanlık farkına göre algılamakta, aydınlık düzeyinin yüksek olduğu durumlarda renklere göre algılamaktadır. İrisin açık olduğu durumlarda (düşük aydınlık düzeyi) beyaz ışık ile aydınlatılmış ortamlarda göz odaklama problemleri yaşamaktadır.

Şekil 2.14 Gözün görme aralığı



Aydınlık düzeyinin düşük olduğu durumlarda monokrom renkli ışık ile aydınlatılmış ortamlarda algılama daha yüksektir.

Retina , görmeyi sağlayan, ışığa ve renge duyarlı fotoreseptör hücrelerin bulunduğu göz tabakasıdır. Rod ve Koni olmak üzere iki tip fotoreseptör vardır. Rodların sayısı yaklaşık 110-125 milyon, Konilerin sayısı ise 6.3-6.6 milyon arasındadır Fotoreseptör hücreleri görünür ışığı dalga boyuna yani rengine uygun olarak elektrik enerjisine çevirir ve beyinde ki görme merkezine ulaştırırlar.

Rod Hücreleri; İnce uzun hücrelerdir, retinada 100 milyon adet Rod hücresi bulunur. Rod hücreleri alacakaranlıkta görmemizi sağlarlar, bu hücreler renklere karşı duyarlı

değildir renkleri grinin tonları olarak görmemizi sağlarlar.

Koni Hücreleri; Retina`da yaklaşık 3 milyon Koni hücresi bulunur. Yapıları hemen hemen Rod hücrelerine benzer, yalnız dış kısımları Koni şeklindedir. Koni hücreleri sarı nokta (fovea) denilen alanda yoğunlaşmıştır. Gündüz ışığında ve renkli görmemizi sağlarlar. Yüksek görme merkezi olan beyin korteksinin %90 kadar bir kısmı bu sarı noktadan gelen uyarıları işlemekle görevlidir.

3 TUNEL AYDINLATMA ARMATÜRLERİ VE IŞIK KAYNAKLARI

İyi bir aydınlatma yapılabilmesi, üç ana unsurun aynı zamanda gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilir. Bunlar:

- 1) Etkin ve amaca uygun ışık kaynağı
- 2) Etkin uygun aydınlatma aygıtı (armatürü)
- 3) Aydınlatma tekniğinin esaslarına uygun projelendirilmesi.

Bu bölümde tünel aydınlatmasında kullanılabilecek lamba ve armatürler incelenecektir.

3.1 IŞIK KAYNAKLARI

Şebekeden çekilen elektriksel gücü ışığa dönüştüren elemanlara "ışık kaynağı" denir. Bu dönüşüm olayı akkor hale gelen flamanın ışık yayması şeklinde, gazlarda deşarj prensibinden hareketle veya iki elektrot arasında oluşturulan arkta yararlanarak gerçekleştirilebilir.

Tünel aydınlatmasında kullanılan ışık kaynaklarında aşağıdaki özellikler aranır:

Etkinlik faktörünün yüksek olması

Ömrünün uzun olması

İçinde kullanılacağı armatüre kolayca uyabilmesi

Seçilen lambanın etkinlik faktörü çözümün ekonomikliği açısından çok önemlidir. Şebekeden çekilen 100 birimlik elektrik enerjisinin ışığa dönüşüm oranları, muhtelif ışık kaynakları için Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Lambalarda Harcanan Enerjinin Işığa Dönüşüm Oranları[9]

LAMBA TİPİ	IŞIĞADÖNÜŞÜM ORANI (%)
GLS (Akkor Flamanlı)	10
HPL (Cıva Buharlı)	14,7
TL (Fluoresan)	22
HPI (Yüksek basınçlı.cıva)	24,3
SON (Yüksek basınçlı.sodyum)	29,5

Şebekeden çekilen elektrik enerjisinin ışığa dönüşüm oranı o ışık kaynağının etkinliğinin bir ölçüsüdür ve bundan hareketle ışığa dönüşüm oranı bir ışık kaynağından elde edilen etkinlik faktörü olarak tanımlanır. Birimi (lm/W)'tır.

Tablo 3.1'den de anlaşılacağı gibi, kızgın elektrotlu deşarj lambaları (alçak ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla yüksek basınçlı civa buharlı lambalar) yüksek etkinlik faktörüne sahip oluşları nedeniyle son yıllarda daha çok kullanılmaktadırlar. Ömür bakımından da alçak ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda 12.000 saat ekonomik ömre erişilmektedir.

Lamba seçiminde, ömür ve etkinlik faktörleri olduğu kadar lamba şekli ve kamaşma probleminin de göz önüne alınması gerekir. Titreşim etkisinin önlenmesinde bant şeklindeki düzen çok uygun olduğundan, tünel aydınlatmasında flouresan lambalarla, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar rahatlıkla kullanılabilir. Bunların tüp şeklinde oluşu iyi bir görsel kılavuzlama imkanı da vermektedir. Ayrıca flouresan lambalar söndürüldükten sonra hemen tekrar yakılabilir ve titreşimi önlemekte çok yararlı olan bant temini de çok kolay sağlanabilir. Fakat düşük etkinlik faktörlerinden ve ışık dağılım eğrisini kumanda etmenin güçlüğünden dolayı flouresan lambalı bant şeklindeki aydınlatma düzenlerinde parlıltı verimi düşük olmaktadır. Çok fazla sayıda lamba ve bunları yerleştirecek geniş bir alan gerektiğinden, tünel girişi bölgesinin yalnız flouresan lambalı aydınlatılması uygun değildir.

Aydınlatma düzeni olarak, tüm tünel boyunca boyuna ve sürekli olarak flouresan lambalar kullanılması, eşik ve geçiş bölgelerindeyse flouresan lambalara ilaveten etkinlik faktörleri çok yüksek olan sodyum buharlı lambalar kullanılması tavsiye edilir [7].

Bunun yanı sıra titreşim ve düzgünlük koşullarına dikkat edilerek sadece alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla yapılan aydınlatma düzeni de görme yeteneğini arttırdığı, etkinlik faktörünün yüksek ve ömrünün de uzun olması dolayısıyla ekonomik olacağı

için tercih edilir. En çok kullanılan 220 V'luk alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların karakteristik değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

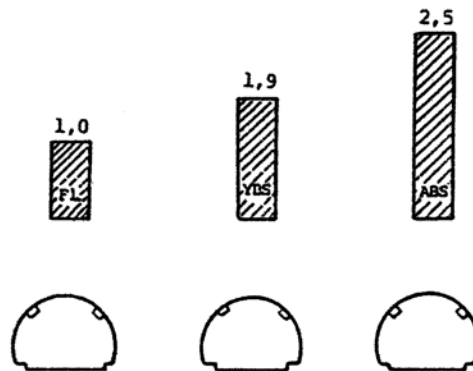
Tablo 3.2 Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Karakteristik Değerleri [9]

Lamba gücü(W)	Balast kaybı (W)	Işık akısı (lm)	Elektrik faktörü (lm/W)		Ortalama Parıltı (cd/cm ²)	Boyutlar (mm)	
			Balastlı	Balastsız		Çap	Boy
35	21	4650	82	137	10	52	310
90	23	12500	110	150	10	66	528
135	40	21500	123	166	10	66	775
180	40	32000	143	183	10	66	1120

Su altı tünellerinin girişleri gibi nispeten daha yüksek parıltı düzeyine gerek duyulan durumlarda ise yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar tercih edilir. Zira bunların alçak basınçlılara göre ışık akılan daha yüksek, boyutları ise daha küçüktür. Böylece aydınlatma için daha az sayıda armatür ve daha küçük bir alan yeterli olmaktadır. Ancak kamaşma probleminden dolayı, bu tür lambalar içlerinde küçük ekranların bulunduğu armatürlerle birlikte kullanılmalıdır.

Aydınlatma düzeni aynı olan üç tünelde, lamba seçiminin etkisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Karşılaştırma büyüklüğü, tünelde metre kare başına tesis edilen güce göre elde edilen parıltı düzeyi olarak tanımlanan parıltı verimidir (cd/m²-W/m²).

Şekil 3.1 Farklı Lamba Seçiminin Parıltı Verimine Etkisi



Şekil 3.1'de FL, flouresan; YBS, yüksek basınçlı sodyum buharlı; ABS, alçak basınçlı sodyum buharlı lambayı temsil etmektedir.

Yapıları oldukça farklı ve araç trafiğine açık birçok tünelde elde edilen ölçüm sonuçlarından çıkarılan bu değerlere göre, aynı aydınlatma düzeninde parlaklığı verimi, flouresan lambalara göre yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla % 90, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla %150 artmaktadır [3].

3.2 TÜNEL AYDINLATMA ARMATÜRLERİ

Işık kaynakları yalnız başlarına iyi bir aydınlatmanın gereklerini yerine getiremezler. Bu nedenle, ışık kaynaklarının uygun aydınlatma armatürleri ile birlikte kullanılmaları gerekir. (Bkz. Ek 1).

Tünel aydınlatma armatüründe aranacak özellikler şunlardır.

- a) Kamaşmayı önlemek
- b) Ekonomik Olmak
- c) Kolay tesis edilebilir ve bakım yapılabilir olmak
- d) Tazyikli suya karşı sızdırmaz, deterjan ve korozyona dayanıklı olmak
- e) Çıplak lambanın ışık dağılım eğrisine kumanda etmek ve ona istenilen ışık dağılım eğrisi şeklini vermek (Örneğin; tünelin ortasında tavana monte edilmiş düzende asimetrik geniş açılı ışık dağılımına sahip olmak)
- f) Görsel kılavuzlamayı sağlamak

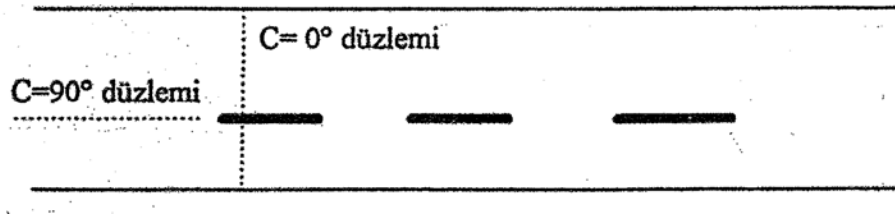
Tünellerde kullanılan armatürlerde, görsel kılavuzlamayı bozduğu ve çabuk kirlenip temizlenmeleri de zor olduğundan dolayı ekranların kullanılmasından kaçınılmalıdır.

Bir armatürün en önemli bölümü yansıtıcısıdır. Çünkü armatürün esas görevi olan, ışık kaynağının ışık dağılım eğrisine kumanda edip ona istenilen şekli verme işlemi, en genel olarak yansıtıcılarla gerçekleştirilebilmektedir (Bkz. Ek 2).

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE'ye göre, yol ve tünel aydınlatma aygıtlarının ışık dağılım eğrileri, aygıttan geçen düşey eksenini dönme eksenini olarak alan C düzlemleri ve bu düzlemler içinde düşeyle y açılan yapan ışık şiddeti vektörleri ile verilir.

Yol aydınlatmasında armatürler yolun boyuna eksenine dik olarak yerleştirilirler. Tünellerde ise armatürler yol eksenine paralel yerleştirilir.(Şekil 3.2)

Şekil 3.2 Armatürlerin Yerleştiriliş Düzenine Göre C Düzlemleri

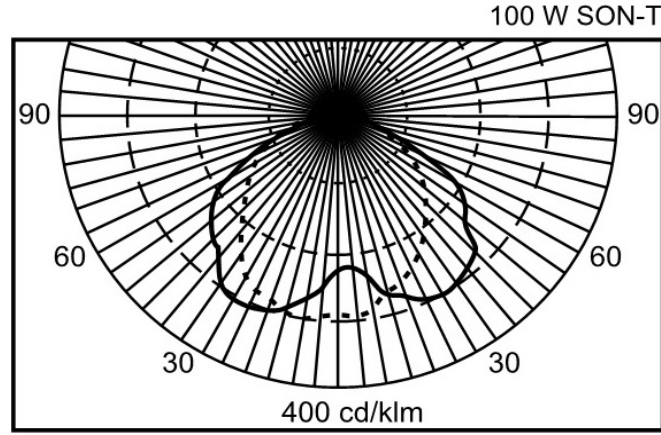


Armatürlerin ışık dağılımlarına örnek olarak, Philips firmasının ürettiği bir ya da daha çok sayıda 70,100,150,250 veya 400 W güçlerindeki yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba takılabilen SRX tipi armatürün (Şekil 3.3) muhtelif yansıtıcı modellerinin ışık dağılım eğrilerini (Şekil 3.4) ve Tablo 3.3'te de C düzlemi ve y açlarına bağlı olarak verilen, asimetrik ışık dağılımlı armatür içindeki 2x250 W gücündeki SON (-T) lambanın ışık şiddeti değerlerinden örnekler verilmiştir [7],

Şekil 3.3 Philips SRX Tipi Armatür



Şekil 3.4 SRX Tipi Armatürlerin Işık Dağılım Eğrileri



Yukarıdaki ışık dağılım eğrileri sırasıyla simetrik alüminyum, asimetrik dar açılı alüminyum, asimetrik geniş açılı alüminyum yansıtıcılı olarak tanımlanır.

Tablo 3.3 SRX Tipi Armatürdeki Son(-T) Tipi Lambanın Işık Şiddeti Değerleri [9]

	0.0	2,5	5	7,5	10	13	15	18	20	...	65	68	70	73	75	78	80	83	85	88	90
0.0	167	203	240	265	287	304	321	343	365	...	196	157	121	106	91	63	34	17	4	1	0
10.0	167	200	235	262	286	304	319	342	362	...	189	193	178	142	86	57	32	16	4	1	0
20.0	167	195	226	258	285	303	314	335	357	...	177	165	154	113	74	49	27	14	4	1	0
30.0	167	190	217	253	281	293	304	317	332	...	165	145	120	93	61	39	19	10	3	1	0
40.0	167	184	206	244	279	281	285	296	310	...	139	115	88	66	45	29	15	8	2	1	0
50.0	167	179	187	234	268	271	275	279	287	...	110	94	74	54	33	23	13	7	2	1	0
60.0	167	174	174	213	232	257	270	260	257	...	84	74	61	43	25	17	10	6	2	1	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130.0	167	166	169	161	156	146	140	130	121	...	39	31	22	14	5	4	2	1	1	0	0
140.0	167	165	163	163	155	142	129	123	119	...	48	31	11	7	5	3	2	2	1	0	0
150.0	167	164	161	161	152	139	125	120	116	...	34	20	8	6	4	3	2	2	1	1	0
160.0	167	164	160	155	146	136	124	120	118	...	19	12	8	7	5	4	3	2	1	1	0
170.0	167	164	159	151	142	133	125	122	120	...	17	11	9	7	6	5	4	3	2	1	0
180.0	167	163	159	150	140	131	124	122	121	...	15	11	9	8	6	5	4	3	2	1	0

Tünel aydınlatılmasında kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri, koyu renk tünel tavanına uygun olarak aşağıya yönlendirilmiş simetrik, asimetrik geniş veya dar açılı olabilir. Asimetrik geniş açılı ışık dağılımına sahip armatürlerle ışık akısının büyük bir

bölümü yol yüzeyine düşürülebildiğinden, bunlar simetrik olanlara göre daha verimlidir. Asimetrik dar açılı olanlarla, asimetrik geniş açılı ışık dağılımlı armatürler karşılaştırıldığında ise, dar açılılarda parıltı veriminin düşük olduğu görülür. Çünkü asimetrik dar açılı armatür kullanıldığında, kamaşmanın önlenmesi için maksimum ışık şiddetini belirli bir değerde tutmak zorunluluğundan etkinlik faktörü daha az olan daha küçük güçlü lambalar kullanılır. Ayrıca ışığı dar açılı olarak yönlendirecek yansıtıcılarda daha çok ışık akısı yutulur. Böylece bunlarda parıltı verimi de düşer.

Asimetrik geniş açılı ışık dağılımına sahip armatürlerin, asimetrik dar açılı ve simetrik armatürlere göre daha yüksek parıltı verimine sahip olmasından başka diğer bir avantajı da, bunlarla tünel içindeki cisimlerin üzerine çok az ışık düşürüldüğünden cisimlerin aydınlatılmış yol yüzeyi ve tünel duvarlarına göre kontrastlarının da yükseltilmesidir. Dolayısıyla tünel içindeki tehlikeli olabilecek cisimlerin görülebilme olasılıkları artar [3].

Özet olarak, tünel yapısı uygun olduğu takdirde yüksek parıltı verimi, tünelin ortasında tavana monte edilmiş düzende asimetrik geniş açılı ışık dağılımına sahip armatürlerle, yüksek etkinlik faktörlü ışık kaynakları kullanılarak elde edilebilir.

3.3 DEŞARJ LAMBALARI

Yol aydınlatmasının Avrupa ülkelerindeki gelişimi İkinci Dünya savaşı sonrası başlar. Gaz deşarjlı lambalar 1935 yılından beri kullanılmaktadır. O zamanlarda elde bulunan ışık kaynakları civa buharlı lambalar ile floresan tüplerdi. Coğrafi ve ekonomik konumlarından dolayı bazı ülkeler floresan ışık kaynaklarını, bazı ülkeler ise civa buharlı lambaları tercih etmişlerdir.

Günümüz şartlarında yol aydınlatması amacıyla kısmen floresan lambalar kullanılmakla birlikte, çoğunlukla yüksek basınçlı civa buharlı lambalar ile yüksek ve alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmaktadır.

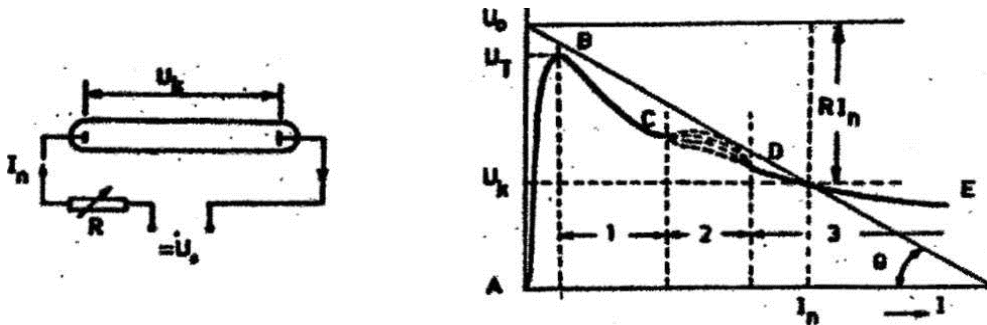
Ülkemizde bugün için en çok kullanılan ışık kaynağı yüksek basınçlı civa buharlı lambalardır. Bununla beraber gece gözün renk seçiciliği daha yüksek olduğundan seçiminde rengi sarıya yakın olduğundan dolayı gözson yıllarda yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ülkemiz yollarında çokça kullanılmaya başlanmıştır[1,15,16,19].

3.3.1 Deşarj Lambalarının Çalışma Prensibi

İlke olarak deşarj lambaları ile ışık üretimi, eskiden beri bilinen Geissler tüpüne dayanır. Geissler tüpü, basıncı birkaç mm Hg sütunu mertebesine indirilmiş ve içinde iki elektrod bulunan cam bir tüpten ibarettir. Elektrodlara doğru gerilim uygulanınca, tüp içinde bulunan serbest elektronlar hızlanırlar ve çarpma suretiyle iyonizasyonla çoğalarak, tüp ateşlenir. Tüpün ateşleme gerilimi, tüpün boyutlarına, tüp içindeki gazın cinsine ve basıncına bağlıdır.

Tüpün ateşlenmesinden önce, tüpe uygulanması gereken gerilim büyük, akım küçüktür. Tüp ateşlendikten sonra, tüpten geçen akım büyür. İletkenlik de büyüdüğünden tüpün uçları arasındaki gerilim küçülür. Genel olarak deşarj tüpünün $U=f(I)$ karakteristiği aşağıda Şekil 3.5'de gösterildiği gibi negatif bir karakteristiktir[19].

Şekil 3.5 Deşarj Lambasının Dış Karakteristiği

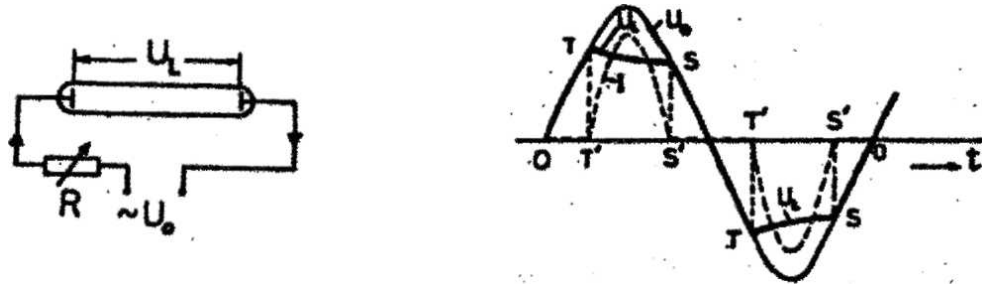


Akımı sınırlayabilmek için devreye seri bir ön direnç bağlamak şarttır. Ayrıca ön dirençteki gerilim düşümünü karşılayabilmek için U_0 gerilimini, U_k geriliminden ön dirençteki gerilim düşümü kadar büyük seçmek gerekir.

Şimdi deşarj tüpüne, doğru gerilim yerine alternatif gerilim uygulandığı ve akım sınırlayıcı olarak bir R direnci bağlandığını kabul edelim.(Şekil 3.6)

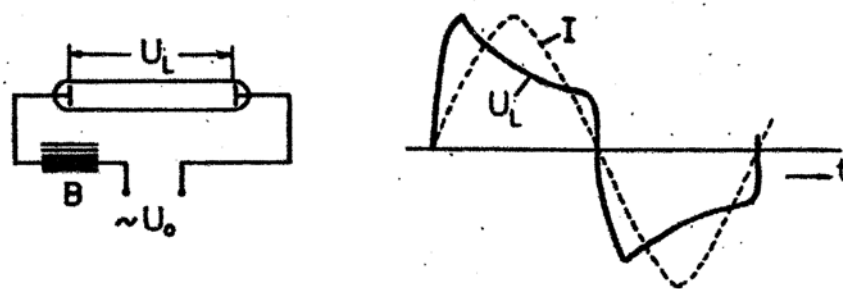
Şekil 3.6'daki grafikten görülebilmektedir ki, lamba akımı sadece T ile S arasındaki aralıkla devreden geçmektedir ve akımın başlangıç noktası ile gerilimin başlangıç noktası arasında bir faz farkı vardır. Buna $\cos \varphi$ yerine "distorsiyon faktörü" demek daha doğru olur. [11,12,13,14,15,16].

Şekil 3.6 Alternatif Akımda Çalışma



Son olarak, deşarj tüpüne alternatif gerilimde akım sınırlayıcı olarak bir R ön direnci yerine bir B balastı bağlandığını kabul edelim.(Şekil 3.7)

Şekil 3.7 Devreye Balast Bağlanması Durumunda



Akım ve gerilim eğrilerinin başlangıç noktaları arasındaki faz farkı çok küçülmüştür. Distorsiyon faktörü halen mevcuttur. Ayrıca balast, şebeke gerilimi ile şebeke akımı arasında önemli bir faz farkına ve gerçek bir $\cos \phi$ 'ye neden olur. Bunun için şebekeye paralel bir C kondansatörü konur.

3.3.2 Sodyum Buharlı Lambalar

3.3.2.1 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ile alçak basınçlı civa buharlı lambalar arasında büyük benzerlikler vardır. Bununla beraber, ışık belli bir yayılmaya sahip ultraviyole (mor ötesi) ışımının değiştirilmesiyle, deşarj tüplerinin iç yüzeylerinde flouresan tozu kullanarak üretilir. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda genel yayılma, sodyum deşarjı esasına göre üretilir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardaki deşarj tüpleri U şeklindedir ve iç yüzeyleri indium oksit ile kaplanmış olup cam bir boşalma tüpü içerirler. Havası alınmış kısım kaplanmış yüzeyi ile birlikte deşarj tüpünün duvarını normal çalışma sıcaklığı olan 260 °C'de seçici bir infraruj (kızıl ötesi) koruyucu gibi davranarak korur.

Bu ölçümler, camın içindeki çukurumsu kısımda bulunan yoğunlaşmış sodyum için gereklidir ve bu suretle en yüksek olası ışık şiddetini elde etmek için minimum ısı kaybıyla sodyum buharlaşır[1,12,14].

Neon gazı deşarjın başlamasını ve sodyumun buharlaşması için yeteri kadar ismin oluşmasını sağlar. Bu kısım, çalışmanın ilk birkaç dakikası süresince, kırmızı-turuncu bir kızılılık baz alınarak hesaplanır. Sodyum metali kademeli olarak buharlaşır, sodyum D-lines olarak isimlendirilen 589 nm ve 589,6 nm çizgisindeki tek renkli san ışık karakteristiği bu suretle elde edilir. Başlangıçta kırmızı renk çalışma süresince iyi bir şekilde sıkıştırılmış neon deşarjı tarafından üretilir, çünkü sodyumun iyonizasyon ve harekete geçme potansiyeli neon'a göre daha düşüktür.

Lamba çalışmaya başladıktan yaklaşık 10 dakika sonra çıkıştaki ışık seviyesini yakalar. Güç kaynağının ani olarak devre dışı kalmasında, normal buhar basıncında ve uygulanan gerilimin ark meydana getirmesinden dolayı lambalar tekrar yanacaktır. Lamba, 200 lm/W dan daha fazla ışık etkisine ve uzun ömre sahiptir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar 18 W'tan 180 W'a kadar güç sarfiyatına sahiptirler[14,15,16,].

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar aşağıdaki ana parçalara sahiptirler:

- a) Deşarj tüpü ve ekipmanlar
- b) Dolum
- c) Elektrodlar
- d) Dış hazne
- e) Lamba başlığı

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda deşarj tüpü dışarıdan gelecek darbelere karşı korunmak için U şeklinde dizayn edilmiş ve iyi bir ısı yalıtım sağlanmıştır. Soda-kireç camından yapılmıştır ve sodyum buharına karşı koruyucu bir tabaka şekli verilen borat camı ile iç tarafı kaplanmıştır.

Tüp sodyumun dibine çöktüğü çukurumsu oyukları içerir. Bunlar tüp duvarından daha soğuktur ve lamba kullanıldıktan sonra soğumaya başladığı zaman yoğunlaşmış sodyum çekilir. Bu oyuklar sodyum buharlaşırken ayna vazifesi görüp ışığın yolunu keserek ışık verimini düşürürler. Deşarj tüpü, titreşimi söndüren destekler ile dış hazneye monte edilir. Deşarj tüpünün dolumu, çalışmaya yüksek saflıktaki sodyum metali ve tampon gazı (buffer gas) gibi başlayan, neon ve argon gazlarının karışımını içerir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar soğuk çalışma elektrodlarına sahiptirler. Bunlar, üçlü tungsten bobin grubunu içerir, bundan dolayı büyük miktarda yayılmış

malzemeyi tutabilirler (Şekil 3.8). Mesela, flouresan lamba tüplerindeki gibi yayılmış malzeme baryum oksit, stronyum ve kalsiyum karışımlarını içerir[1,12,15].

Deşarj tüpleri genellikle geniş fiziksel boyutlara sahiptir ve en uygun sodyum buhar basıncı için duvar ısısı 260 °C'de tutulmuştur. Bu dış haznenin çok iyi ısı yalıtımına sahip olması için gereklidir. Tekli dış hazne bundan dolayı boşaltılır ve infraruj (kızıl ötesi) yansıtan malzeme olan ince bir film iç yüzeyini örter. Bu infraruj (kızıl ötesi) yansıtıcı deşarj tüpüne geri gelen ısı ışımalarının pek çoğunu yansıtma görevini yapar, bundan dolayı belli bir yayılmayı geçirirken haznenin istenilen ısıda olmasını sağlar.

Bütün tekli alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar BY22 süngü tip lamba başlığı gerektirir. Bunun avantajı süngü yerleşiminin tam olarak vidalı olması ve deşarj tüpünün optik kontrollü ışık gerektiren pozisyonda yerleştirilmesidir. Bu, alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların ışık yayılımlarının lamba eksenine düz, dikey durumda simetrik olmaması için gereklidir.

Lamba başlığındaki bir kurşun tel, lambanın ömrü kısaldığında balasta akan yüksek DC akıma müsaade etmemek için bir sigorta görevi görür.

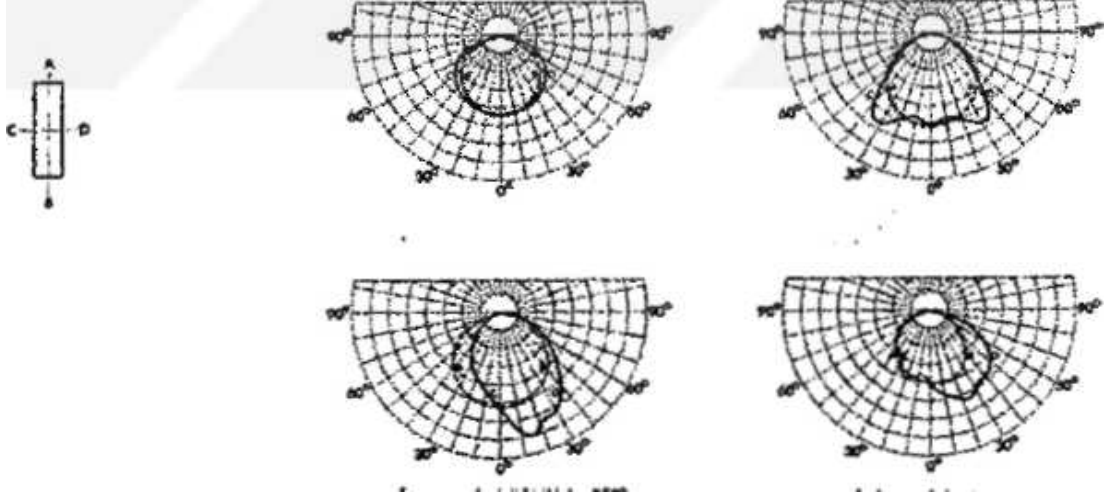
3.3.2.1.1 Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Çeşitleri

Philips SOX ve SOX-E (ekonomik) olmak üzere tünel aydınlatması için 2 çeşit lamba üretmiştir. Bu iki grup arasındaki fark; SOX-E'nin daha fazla ışık etkisine sahip olmasıdır. Bu lamba ısı kayıplarını azaltarak SOX'lara karşı bir üstünlük kurmuştur (Şekil 3.9).

Şekil 3.8 SOX-E Tipi Armatür



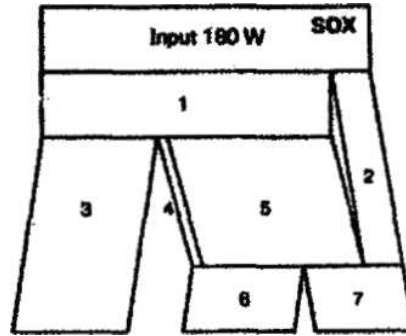
Şekil 3.9 Simetrik Beyaz Ve Alüminyum, Asimetrik Dar Ve Geniş Açılı Alüminyum Yansıtıcılı Armatür Işık Dağılım Eğrileri



3.3.2.1.2 Lamba Karakteristikleri

SOX 180 W alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların enerji dengesi Şekil 3.11 'de gösterilmiştir.

Şekil 3.10 Sodyum Buharlı Lambalardaki Enerji Dengesi

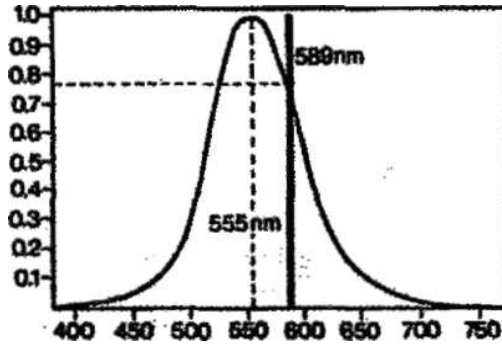


Burada;

- a) Deşarj durumunda güç-158W
- b) Elektrodlardaki ısı kayıpları-22 W
- c) Geçerli ışımaya-63 W

- d) IR ışıması-5W
- e) Deşarj durumunda ısı kayıplan-90 W
- f) Toplam IR ışıması-62 W
- g) Çevrim ve akım miktan-55 W

Şekil 3.11 Sodyum Işımasının 555 nm'deki Maksimum Göz Hassasiyetinin % 77sine Olan Etkisi



SOX lambaları 589 nm'de ışık tayfinin belli olan bir bölümünde ışım yayar. Bununla birlikte sadece giriş gücünün %35 ile %40'ı bu dalga boylarında yaydır. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda 253,7 nm için ışım %65 ile karşılanır, bunun başlıca sebebi D-line ışımının insan gözünün tepe hassasiyetine doğru olmasıdır(Şekil 3.12).

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ilk çalışma başladığında, bilinen kırmızı renk görüntüsüne sahiptir. Yavaş ısınan lambalar gibi, rengin görüntüsü 10 dakika sonra kırmızıdan sarıya doğru kademe kademe değişir. Bu renk SOX lambaların gerçek rengidir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların tek renk ışım yapmasından beri renklendirme yapılmamıştır. Bununla beraber tek renk ışımının avantajı gözde renk sapması meydana getirmemesi, görebilme keskinliği ve çok hatlı veya devamlı ışık tayfına göre daha iyi olmasıdır.

Renk, filtreler kullanılarak değiştirilemez. Bütün nesnelere sarının tonu ve sarı gibi görünür. Sandan başka renkler tamamen siyahmış gibi görünürler. Bu yüzden alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar genel iç aydınlatma için tavsiye edilmez.

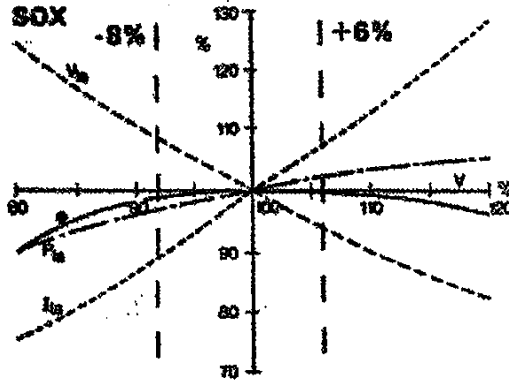
Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda pratik olarak aydınlık seviye kontrolü yapılamaz.

SOX lambaların dış tüplerinde meydana getirilen iyi ısı izolasyonu sayesinde lambayı çevreleyen ısı, çalışma performansını çok az değiştirir.

Gerilimdeki değişme etkisindeki lamba akımı, lamba gerilimi, lamba gücü ve ışık akısı şekilde gösterilmiştir. [17].

Kaynak gerilimindeki değişmeyle birlikte lamba akımı ve lamba gerilimindeki değişme diğer çıkışları kaldırmaya yöneliktir. Lamba gücü ve ışık akısının net büyüklüğü pratik olarak geniş bir alanda sabit kalır.(Şekil 3.13).

Şekil 3.12 Kaynak Gerilimindeki Değişmenin Lamba Gerilimi, Akımı, Gücü ve Akısına Etkisi



Ana gerilimin lamba gerilimindeki kararsızlık etkisi V_{1a} Işık akısı Φ , Lamba gücü

P_{1a} , Lamba akımı I_{1a}

Müsaade edilen tolerans sınırı kesik çizgiyle gösterilmiştir.

3.3.2.1.3 Şok Balastları

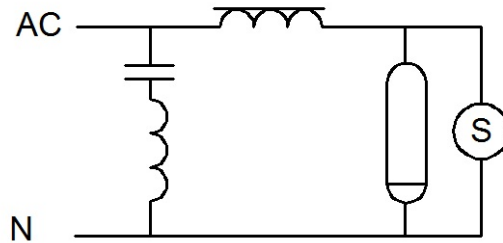
Uygun balastlı SOX lambalar iki şekilde gruplandırılırlar:

- 1) Şok balastlı, ayrı ateşleyicisiz
- 2) Sabit güçlü trafo balastlı, ayrı ateşleyicili

Sınırlandırılmış uzunluklarda ve buna bağlı olarak düşük lamba gerilimli, düşük güçlü SOX lambalar basit devrelerle orantılı olarak çalışabilirler. Bir çok balast, seri bir lamba ve paralel bağlı bir starterden oluşur. Daha büyük devrelerde lamba devrelerinin bölümleri, paralel kapasite kullanılarak güç faktörünün düzeltilmesiyle elde edilir. Filtre bobini kapasite ile seri bağlanmak zorundadır(Şekil 3.14).

90 W'lık şok balastlar Philips SOX lambalarında, 60 W'lık şok balastlar ise SOX-E lambalarında kullanılır. Bu balastlar sabit güçlü balastlara oranla biraz daha pahalıdır fakat bu düşük bir sistem masrafıdır [17].

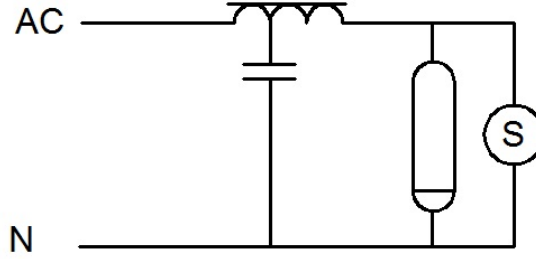
Şekil 3.13 Düşük Güçlü SOX Lambaları İçin Ana Şok Ve Starter Devresi



Çok küçük olan SOX-E 18 W lambalar ayrı bir ateşleyiciye ihtiyaç duymaz fakat şok balastına elektriksel olarak bağlanan paralel kapasitör (kondansatör) tarafından sağlanan

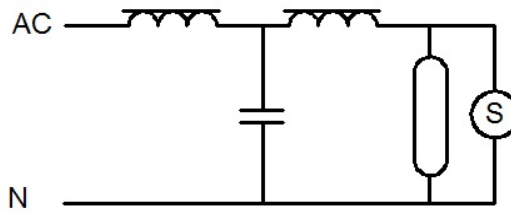
gerilim sinyali ile çalıştırılabilirler. Ateşlemeden sonra, aynı kapasitör (kondansatör) güç faktörünün düzgünlüğünü sağlar (Şekil 3.15).

Şekil 3.14 Sox-E 18W Balast Devresi



55 W'ik SOX lambası, güvenilir bir çalışma için gerekli 220 V'tan daha yüksek bir gerilime ihtiyaç duyar. Bu sistem, devreye bir kapasitör (kondansatör) eklenerek ve devreye ikinci bir indüktör (bobin) bağlayarak bunların yan rezonans durumunda çalışmasıyla sağlanır. (Şekil3.16).

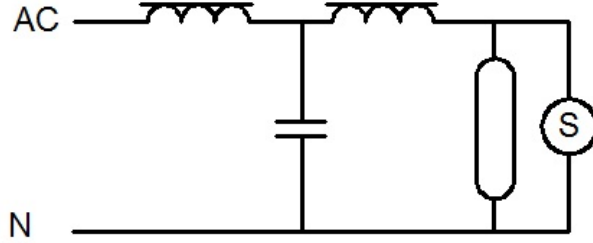
Şekil 3.15 Sox 55 W Yarı Rezonans Balast Devresi



3.3.2.1.4 Sabit Gü

Sabit güçlü balastlar, lamba gücünü çalışma süresince yaklaşık olarak sabit tutar. Bu tür devrelere "melez (hybrid)" devre denir(Şekil 3.17). Bu devreler, bir balast güç faktörünün düzeltilmesi için seri bir kapasitör (kondansatör) ve elektronik ateşleyiciden meydana gelmiştir[17].

Şekil 3.16 Sabit Güçlü Balast Devresi

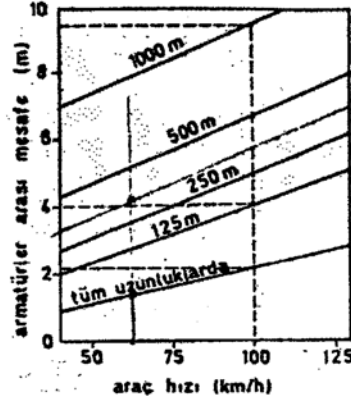


3.3.2.1.5 Tünel Aydınlatmasında Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambaların Kullanılması

Belirli periyotlarla yanıp sönen ışık kaynaklarının ara sıra sebep olduktan rahatsız edici etki çok iyi bilinen bir olaydır. Yanıp sönmeye sıklığı 9 Hz olduğunda bu rahatsız edici etki maksimumdur. Diğer taraftan söz konusu sıklık 2,5 Hz'den az ya da 15 Hz'den fazla olduğunda hiçbir rahatsızlık meydana gelmez. Bunun sonucu olarak armatürlerin orta noktaları arasındaki mesafenin 2,5 Hz ile 15 Hz arasında tekabül eden değerler arasında olmaması gerekir. Ayrıca bu etki tünel içinden geçiş süresi ile de ilgilidir. Bilindiği gibi yanıp sönen bir ışığa kısa süre tahammül edebildiğimiz halde, süre uzadığında bu durum bizi son derece rahatsız eder. Dolayısıyla titreşim olayının önlenmesi için, armatürler arası mesafe tünel uzunluğu ve tünelde müsaade edilen araç hızına göre tayin edilmelidir.(Şekil 3.18) Şekilde de açıkça görüldüğü gibi 125 m uzunluğundaki bir tünelde araç hızı 100 km/h ise armatürler arasındaki mesafenin 2,2 ila 4 m arasında olmasına müsaade edilmez. Tünel uzunluğu 1000 m olduğunda ise armatürler arası açıklık 2,2 ila 9,5 m arasında olmamalıdır[18].

Parıltı düzgünlüğü, özellikle boyuna düzgünlük ile ilgili koşullar armatürler arası mesafe ile armatürlerin monte edildiği yükseklik arasındaki oran 3/1 'i aşmadığında yerine getirilebilir. Bir tünelde armatür montaj yüksekliği 4,5 - 6 m olduğundan, en fazla açıklık 13,5-18 m'yi aşmamalıdır.

Şekil 3.17 Araç Hızına Bağlı Armatürler Arası Mesafe



Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, flouresan lambalara nazaran çok daha fazla ışık akısına sahip olduklarından burada kamaşma problemi akla gelebilir. Armatür yapısı ve sürücü gidiş yönüne uygun ekranlar kullanılarak ve asimetric ışık dağılımına sahip armatürlerle kamaşma önlenir. Ayrıca asimetric ışık dağılımına sahip armatürlerle ışık akısının büyük bir bölümü istenilen açılarla yolun kullanılan bölümüne düşürülebildiğinden ortalama parlıltı değeriinde büyük artışlar elde edilebilir.

Uygun güçteki alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların giriş ve geçiş bölgelerinde sürekli bant şeklinde yerleştirilmeleriyle yeterli parlıltı elde edilebilir. Aydınlatma tesisatı sürekli bant şeklinde olduğundan titreşim ve parlıltı düzgünlüğü problemleri kendiliğinden çözümlenir.

Kritik olan iç bölge ve gece aydınlatmasında ise üç şeride kadar olan tünellerde yolun enine doğrultusunda, armatürler arası mesafe 9,5 - 13,5 m arasında bir değeri olacak şekilde tek sıra halinde yerleştirilmiş 55 W/hk alçak basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürlerle yol yüzeyinde 3 cd/m² civarında bir parlıltı değeri elde edilir. Bu çözümden yeterli parlıltı elde edilebildiği gibi armatür açıklığı titreşim bakımından kritik aralık olan 2,2 - 9,5 m arasına girmemekte ve düzgünlük bakımından da sınır olan 13,5 m' yi aşmamaktadır[18].

İç bölge ve gece aydınlatmasında daha yüksek parlıltı değeriine ihtiyaç duyulan

tünellerde ise, yolun boyuna doğrultusunda armatürler arası mesafe 2,2 m'den az olacak şekilde tek sıra halinde yerleştirilmiş 35 W'lık alçak basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürlerle yol yüzeyinde 10 cd/m² değerinden büyük parıltılar elde edilir. Bu durumda da armatürler arası açıklık titreşim bakımından kritik aralık olan 2,2 - 9,5 m arasına girmediği gibi, düzgünlük bakımından sınırlı olan 13,5 m'den de çok daha kısa olmaktadır.

3.3.2.1.5.1 Bu Tip Lambaların Sağlayacağı Üstünlükler

A) Tesis Maliyeti

Özellikle yüksek parıltıların gerektiği tünel giriş bölgesinde ışık akılan düşük ve verimleri az olan floresan lamba kullanılması halinde alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmasına göre daha fazla sayıda armatür ve lambaya ihtiyaç vardır. Bunun sonucu olarak yalnız alçak basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürler kullanıldığında armatür maliyeti azaldığı gibi diğer elektrik tesislerinin ilk yatırım maliyeti azalır. Örneğin 33000 lm ışık akısına sahip bir tek 180 W'lık alçak basınçlı sodyum buharlı lambalı armatür yerine aynı ışık akışım elde etmek en az 40 w'lık 4 tane floresan lamba ihtiva eden armatür yerleştirmek gereklidir.

B) Enerji Tasarrufu

Yukarıdaki örnekte alçak basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürler kullanılması halinde şebekeden çekilen güç %74 daha azdır. Aynı durum floresan lambaların sürekli bant'a uygun yapılarından dolayı kullanılmasının en uygun görüldüğü gece aydınlatmasında bile geçerlidir. 12,6 m açıklıkla yerleştirdiğimiz 1 adet 55 W'lık alçak basınçlı sodyum buharlı lamba yerine 4 adet 40 W'lık floresan lamba yerleştirmemiz gerekir. Bu durumda da çekilen güç % 64 daha azdır.

C) Diğer İşletme Giderleri

Elde edilen aydınlatmanın, yapıldığı zamandaki kalitede kalabilmesi için temizlik ve bakım çalışmaları önemlidir. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların ömürleri floresan lambalara oranla daha fazla ve kullanılan lamba sayısı da az olduğundan böyle bir tesisatta lamba değiştirme işlemi büyük ölçüde azalacaktır. Ayrıca kullanılan

armatür sayısı da az olduğundan armatürleri temizlemek için harcanan zaman ve emek de azalacaktır.

D) Görüş Üstünlükleri

Kapalı bir bölge olan tünel içinde özellikle diesel kamyonların ve diğer araçların yaydığı egzoz gazları görüş alanını büyük ölçüde bozar. Bu tür gazların ve sisin bulunduğu ortamda floresan lamba gibi ışık spektrumunda mavi ve beyaz renklerin hakim olduğu kaynakların yaydıkları ışınlar yol yüzeyine erişemezler. Oysa alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların spektrumu mono kromatik (tek renkli) dir; ışık rengi sarıdır. Spektrumun bu özelliğinden dolayı bu tür ortamlarda alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların yaydıktan bu ışınlar yol yüzeyine erişirler. Yapılan bir araştırmaya göre 80 km/h hız sınırlaması olan bir tünelde egzoz gazları nedeniyle ortalama parlaklık geçirgenliği % 50 civarında olduğunda, görme koşulları açısından alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ile aydınlatılan tünelde 60 lx yeterli olurken, floresan lambalı tesisatta 120 lx'e ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak, egzoz gazlarının ve sisin sebep olduğu düşük parlaklık geçirgenliği durumunda alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar floresan lambalardan daha iyi görüş olanağı sağlarlar.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla aydınlatılmış bir tünelde engeller daha kolay görülebilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda aynı kontrast farkının yaratılabilmesi için floresan lambalarda, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara göre %50 daha fazla fon parlaklığına ihtiyaç olduğu saptanmıştır. Ayrıca alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla aydınlatılmış bir tünelde oluşan renk farkı tünel girişinin sürücünün ilgisini çekmesi açısından da çok yararlıdır.

3.3.2.2 Yüksek Basınçta Sodyum Buharlı Lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar sodyum, ateşlemeyi sağlamak için de civa ve asal gaz ihtiva eder. Deşarj arkından, deşarj tüpü cidarına olacak ısı kondüksiyonunu sınırlamak için tüp içine Xenon gazı konulmuştur. Çalışma sıcaklığı 700 °C'dir; deşarj tüpü bu sıcaklıktaki sodyum buharının aktivitesine dayanabilmesi için sinterlenmiş alüminyum oksitten imal edilmiştir. Deşarj tüpü, havası boşaltılmış tüp biçimindeki sert

bir cam balon içine konulmuştur.

Şekil 3.18 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba



Bu lambalar, renk seçimi bakımından alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan üstündür. Buna karşılık etkinlik faktörleri balast kaybı hariç 90 ile 120 lm/W mertebesinde. Bu lambalarda da balast ve ateşleyici kullanılır. Dış balonu tüp şeklinde olan lambalarda dış tüp saydamdır. Bu tür lambalar civa buharlı lambalara göre %15 az enerji tüketirken yaklaşık %25 daha fazla ışık akısı üretirler. Dış balonu armut şeklinde olanlarda balonun iç cidar'ı dağıtıcı toz ile kaplanmıştır[18].

3.3.3 Alçak Basınçlı Civa Buharlı Lambalar

Bu lambalar, alçak basınçta civa buharı ve ateşleme için de az miktarda asal gaz ihtiva eden, iç yüzeyi flouresan madde ile kaplı cam tüp içine karşılıklı iki elektrodun yerleştirilmesiyle oluşturulmuş deşarj lambalarıdır.

Şekil 3.19 Alçak Basınçlı Civa Buharlı Lamba



İç yüzeyine sürülen flouresan madde ışımaya sırasında oluşan önemli miktardaki ultraviyole (mor ötesi) ışınları görülebilir ışınlaraya çevirmektedir. Bu flouresan maddenin karışımı değiştirilerek farklı renk görünümü ve farklı renk ayırım endeksli ışık kaynakları elde edilebilmektedir. Işık kaynaklarının renk ayırım özellikleri iyileştikçe etkinlik faktörleri düşmektedir. Bu nedenle renklerin ayırt edilmesinin çok önemli olmadığı yol ve alan aydınlatması gibi uygulamalarda daha etkin olan lambalar tercih edilmelidir.

Işık akıları 100 lm (4W) ile 10000 lm (110 W) arasında değişen flouresan lambaların tüp boyları güçleri ile orantılıdır. Güç arttıkça ışık tüpünün boyu da artmaktadır. Boyları uzun olan lambaların boyuna ekseni boyunca iyi bir optik kontrol yapmak zorlaşmaktadır. Flouresan lambalarla orta ve yüksek seviyelerde aydınlık düzeylerinin sağlanması için çok sayıda lambaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da bir armatür içine ikiden fazla lamba konulmasını gerektirmektedir. Armatür içindeki lamba sayısının artması ise armatür verimini düşürmektedir. Işık akılarının diğer deşarj lambalarına oranla daha düşük olması ve yukarıda saydığımız nedenlerden dolayı, flouresan lambalar yol aydınlatması için uygun ışık kaynakları değildir[15].

Fakat lambaların boyuna eksenine dik düzlemde optik kontrolün gerektiği, armatürlerin yol boyunca tesis edildiği tünel aydınlatması gibi uygulamalarda flouresan lambalar çok uygun ve pratik bir çözüm olmaktadır. Ayrıca bant şeklindeki yol boyunca dizilen flouresan lambalar yolun gidişi hakkında bir fikir vermekte ve iyi bir kılavuzlama sağlamaktadır.

Daha düşük aydınlık düzeylerinin yeterli olduğu park ve yerleşim bölgelerinin aydınlatması gibi uygulamalarda ise, direk üstü olarak özel tasarlanmış armatürler içinde kompakt flouresan lambaların kullanılması enerji tasarrufu açısından uygun olmaktadır.

3.3.4 Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar

Yüksek basınçlı civa buharlı lambalarda, civa buharı yükseldikçe termik yoldan uzun dalga boylu ışık yaymaya başlar. Dolayısıyla lambanın parlaltısı ve etkinlik faktörü

büyür. Bu gün kullanılan civa buharlı lambaların ortalama basınçları 1 atmosferdir.

Lambanın yapısı ile olarak sodyum lambasına benzer. Burada da elektron bakımından zengin Wehmelt elektrodları kullanılır. Yalnız civa buharlı lambalarda elektrodları ek olarak ısıtmaya ihtiyaç yoktur. Büyük bir R direnci üzerinden bağlı bulunan yardımcı elektrod deşarjı başlatır; ilk elektrikli parçacıkları oluşturur ve elektrodların ön ısınmasını ve civanın buharlaşmasını sağlar. Burada da sıcaklığın daha iyi korunması için deşarj tüpü, havası boşaltılmış ikinci bir cam balon içine konur. Bu cam balon silindir, küre veya armut biçiminde olabilir.

Şekil 3.20 Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba



Civanın buharlaşma sıcaklığı sodyumun buharlaşma sıcaklığından daha küçük olduğundan buharlaşması da daha çabuk olur ve bu nedenle lamba, daha çabuk kararlı çalışma durumuna geçer. Yalnız yüksek basınçlı lambada tekrar tutuşma daha zor olur. Çünkü yüksek buhar basıncında devre açılmışsa, şebeke gerilimi deşarjı yeniden başlatmaya yetmez. Ancak tüpün soğuması ve basıncın düşmesini beklemek gerekir. Bu süre birkaç dakika olabilir. Eğer lamba tutuşmuş ve gerekli buhar basıncı oluşmuşsa kararlı çalışma gerilimi 110 V ila 140 V'a düşer. Akımın değeri lamba büyüklüğüne göre 1 ila 8 A arasındadır. [15]

Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların verdiği ışık mavimsi beyaz renktedir. Bu ışıkta kontrastlar çok iyi olmamakla birlikte renkler oldukça iyi seçilebilir. Halojen katkılı civa buharlı lambalar ise içindeki katkı maddeleri sayesinde gün ışığına yakın bir ışık rengi verebilirler.

3.3.5 Işık Yayan Diyotlar (Ledler)

LED ler, yarı iletken yapıda, elektron hareketleri ile ortaya çıkan, elektrokimyasal ışımaya esaslı ışık kaynağıdır. Rejime girme süresinin kısa oluşu , Doğrusal olarak loşlaştırabilmesi ve farklı renklerde 16 milyon renk üretebilmesi gibi üstünlüklerinin yanında uzun ömürlü oluşuyla dikkat çekmektedir.

Piyasada 20.000 saatten 150.000 saate kadar çalışma ömrü olduğu iddia edilen birçok ürün vardır. Farklı üreticiler tarafından üretilen , farklı ışımaya açılarında ledler kullanılarak, gerek sokak aydınlatmasında gerekse tünel aydınlatmalarında gerekli aydınlatma şiddetini sağladığını iddia eden birçok armatür bulunmaktadır. LED ışıkları Skotopik aydınlatma olarak zengin ışık kaynaklarıdır.

Ancak bu Led armatürlerin

Gelişme aşamasında olduğundan sürdürülebilir olmaması,

- a. Çok farklı çeşit ve boylarda üretilmesi,
- b. Karmaşık sürme üniteleri gereksinimi,
- c. Özel soğutma sistemleri gereksinimi,
- d. Isı değişimlerine aşırı duyarlı olmaları,
- e. Tükettikleri enerjiye göre ürettikleri ışık miktarlarının düşük olmaları,
- f. Tesis maliyeti yüksekliği
- g. Ömür sonu değişim maliyeti çok yüksekliği

gibi dezavantajları vardır.

Bu nedenlerden ötürü led armatürler henüz sokak veya tünel aydınlatmalarında direkt aydınlatma aracı olarak kullanılmamakta, daha çok dekoratif gece aydınlatmaları , ya da tünel içi uyarı levhalarının aydınlatılmasında kullanılmaktadır.

Şekil 3.21 Led Projektör



4 TÜNEL BÖLGELERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Açık yolda emniyetli bir şekilde ilerleyen sürücü tünele girdiğinde içeride görüş kaybına uğramadan aynı konfor ve emniyetle yoluna devam etmelidir. Güneşli bir günde aydınlık ortamdan karanlık tünele giren sürücünün görme koşullarının bozulmaması için, tünelin ilk bölgesinde yoğun bir aydınlatmaya ihtiyaç vardır.

Tesisat aşamasındaki ekonomik problemler ve işletme esnasındaki enerji tasarrufu gibi düşüncelerle gereken yoğun aydınlatmanın minimum değerinin belirlenmesi için yıllardan beri araştırmalar süregelmektedir. Bu çalışmaların ışığında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından ilk olarak 1973 yılında 'Tünel Aydınlatması İçin Uluslararası Öneriler' adı ile 26 numaralı yayın, bu yayının yetersiz kalması üzerine de 1985 yılında 'Tünel Giriş Aydınlatması-Eşik Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi İçin Esasların İncelenmesi' başlıklı 61 numaralı teknik rapor hazırlanmıştır. Zaman içinde değişen ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla 1990 yılında da Uluslararası Daimi Yol Konseyi (PIARC) ile yapılan ortak çalışmalar sonucunda 88 numaralı "Yol Tünel ve Alt Geçitlerin Aydınlatması İçin Kılavuz" adlı bir yayın kullanıma sunulmuştur. Şu anda birçok ülkede tünel aydınlatması tasarımlarında 88 numaralı bu yayım referans olarak alınmaktadır.

Diğer yandan ışık kaynakları ve armatürlerdeki gelişmeler, adaptasyon konusunda yapılan yeni çalışmalar sonucunda sürekli yeni sistemler ve değerler önerilmektedir. Bu önerileri değerlendirmek ve tünel aydınlatması için yeni bir öneri kılavuzu hazırlamak amacıyla yeniden oluşturulan CIE'nin TC4-35 numaralı teknik komitesi 88 numaralı yayını güncelleştirme çalışmalarına devam etmektedir. Çalışmalar özellikle giriş bölgesi parıltı düzeyinin saptanması, trafik yoğunluğu ve konumuna göre tünellerin sınıflandırılması, yeni aydınlatma sistemleri konusunda yoğunlaştırılmıştır.

Bir tünel aydınlatmasında tünelin uzunluğuna bakmaksızın yapılacak gece aydınlatması ile, kritik uzunluktan daha uzun tüneller için yapılacak gündüz aydınlatması arasında bir ayrım yapmak gerekir.

Geceleyin tünel açık yola benzer şekilde aydınlatılabilir. Ancak, tünelde aydınlık düzeyi açık yola göre daha yüksek tutulmalıdır. Bunun nedeni de tünelde geçişi daha emniyetli

kılmak ve akustik bakımdan tünel içindeki gürültüyü hesaba katmaktır. Yapılan çalışmalar, trafiği az, belli bir hız sınırlaması olan çok uzun tünellerde bile gece aydınlatmasında bütün tünel boyunca 3 ila 5 cd/m² lik bir parlaltı düzeyinin yeterli olduğunu göstermektedir. Tünel içindeki parlaltı düzeyinin, dıştaki yol parlaltısı düzeyine oram 3/1 den daha az olduğu sürece hiçbir güçlük ortaya çıkmaz [3].

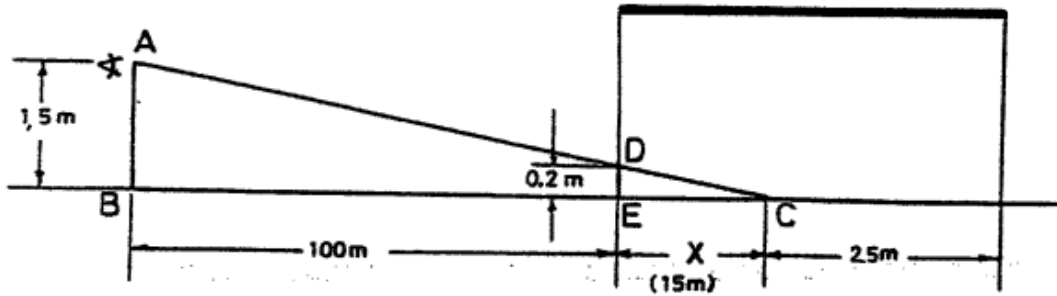
Gündüz aydınlatması ise gece aydınlatmasına göre çok daha ağır koşulları yerine getirmek zorundadır. Tünellerin gündüz aydınlatılma şartlarının tayininde uzunluklarına göre bir sınıflandırma yapılır.

4.1 KISA TÜNELLER

Tünel girişinden fren mesafesi kadar uzaktaki bir noktadan , tünel içindeki bir engel çıkış açıklığı fonunda belirgin bir silüet şeklinde görülebiliyorsa, bu durumda tünel uzunluğu kritik uzunluktan kısa sayılır ve gündüz aydınlatılmaları gerekmez.

Kritik uzunluk genel olarak 40 m civarındadır. Bu uzunluk şöyle bulunur (Şekil 4.1):

Şekil 4.1 Kritik Uzunluğun Belirlenmesi



Gündüz bir tünele girişte, tünel çıkışından takriben 25 m içerdeki aydınlık düzeyi, bir cismin görülebilmesine yeter kabul edilir. (Schreuder 1964, Narisada ve Yoshikawa 1974) Aydınlatılmış yol kaplaması 20 cm standart yükseklikteki bir cismin üst kısmım

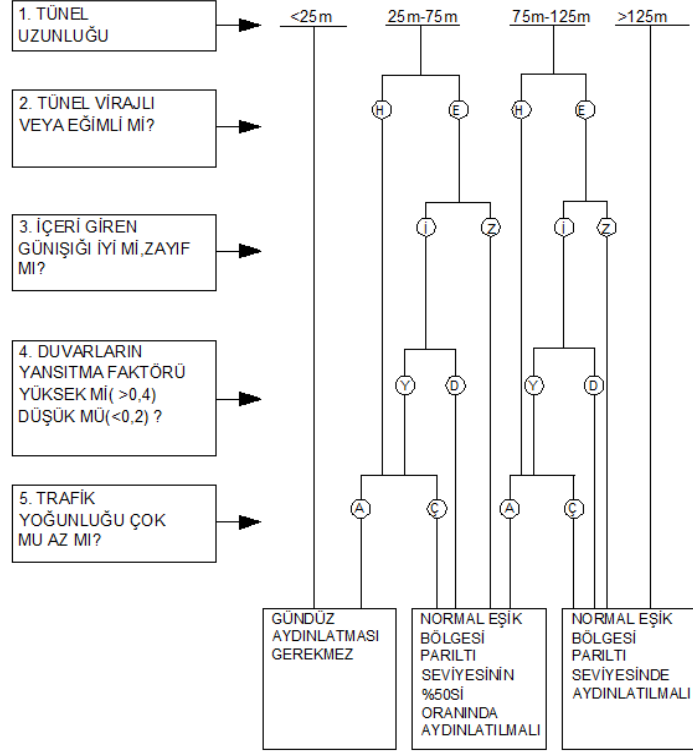
tünel girişinden 100 m mesafeden ve 1,5 m yükseklikten görmeye imkan verir. Böylece cisimden tünelin çıkışı tarafından aydınlatılan kısma kadar olan mesafe; ABC ve DEC üçgenlerinin benzer oluşundan hareketle,

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EC} \rightarrow \frac{1,5}{0,2} = \frac{100+X}{X} \rightarrow X \cong 15m$$

olarak bulunur. Kritik uzunluk ise $15+25 = 40$ m olarak belirlenir. Ancak bu 40 m kuralı, yalnız düz ve trafik yoğunluğu çok yüksek olmayan tüneller için geçerlidir. Eğer tünelde viraj varsa veya tünelin trafik yoğunluğu çok yüksek ise, o zaman tünelin kısa da olsa aydınlatılması gerekir [6,7].

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) ise bu konudaki tavsiyelerini, Tablo 4.1'de görüldüğü şekilde ortaya koymuştur [4,5].

Tablo 4.1 Tünel Özelliklerine Göre Aydınlatma Şeklinin Belirlenmesi [9]



4.2 UZUN TÜNELLER

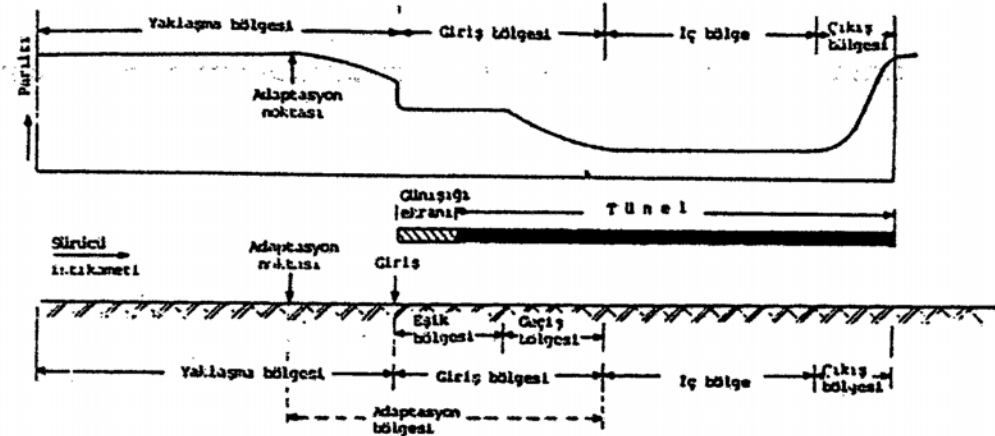
Bölüm 4.1'de tanımlanan kritik uzunluğu aşan tüneller uzun tünellerdir ve bunların bilhassa gündüz aydınlatılmaları zorunludur.

Tünel içindeki bir engel çıkış açıklığı fonunda belirgin bir siluet şeklinde görülemiyorsa, bu durumda tünel uzunluğu kritik uzunluktan uzun sayılır ve gündüz aydınlatılmaları gerekir.

4.3 TÜNEL BÖLGELERİ

Adaptasyonu sağlamak ve ekonomik çözüm temin etmek için tünel aydınlatması farklı parlıtı bölgelerine ayrılarak incelenir (Şekil 4.2). Tünel aydınlatmasının başlıca özelliklerine geçmeden önce bu bölgelerin neler olduğunu kısaca açıklayalım.

Şekil 4.2 Tünel Bölgeleri



4.3.1 Yaklaşma Bölgesi

Yaklaşma bölgesi tünel girişinden 100 ila 200 m önce başlayıp, tünel girişinde biten bölgedir. Karanlık tünel ağzının görünmesi ile girişten önce karanlık adaptasyonunun başladığı "adaptasyon noktası" da bu bölgenin sınırları içindedir. Girişteki çevre koşulları, gidiş hızı ve sürücüye göre değişebilen bu noktanın yerinin tayini konusunda

literatürde büyük farklılıklar mevcuttur. Örneğin İsviçre Yönetmeliği'nde (SEV) tünel girişinin 20° lik açı ile görülebildiği nokta olduğu ifade edilirken, Schreuder adlı araştırmacı tarafından da araç ön camının engelleme açısının ortalama 7° olduğu kabul edilerek, adaptasyon noktası tünel girişinin 7° lik açı ile görüldüğü nokta olarak tanımlanmıştır [3]. Tünel inşası esnasında mümkün olabilen her türlü yapısal önlemler alınarak adaptasyon noktasının tünel girişine olan mesafesinin arttırılması ve tünel aydınlatması hesabı yapılırken söz konusu tünele göre belirlenmesi uygun olacaktır. (Bu tez çalışmasında adaptasyon noktasının tayini için Schreuder'in tanımı esas alınmıştır.)

4.3.2 Giriş Bölgesi

Adaptasyon olayının tam olarak gerçekleştiği bu bölge, tünel girişinde başlayıp tünel iç bölgesine kadar devam eder. Eşik ve geçiş bölgeleri olmak üzere iki ayrı bölge halinde incelenir (Bkz. Ek 5).

4.3.2.1 Eşik Bölgesi

Tünel girişinde başlayan bölgenin sınırlan, bu bölgedeki tehlikeli olabilecek bir kritik cismin yaklaşma bölgesindeki sürücü tarafından en azından fren mesafesine eşit bir uzaklıktan görülebilmesi esasına göre belirlenir (Bkz. Ek 6). Adaptasyon noktası ile tünel girişi arasındaki uzaklık ve eşik bölgesi uzunluğunun toplamı, minimum fren mesafesine eşit olmalıdır. Ayrıca fren mesafesine yaklaşık 20 m civarında bir de fon uzantısı ilave edilmelidir. [3]

4.3.2.2 Geçiş Bölgesi

Geçiş bölgesi eşik bölgesinden sonra gelir. Eşik bölgesindeki parıltının iç bölge parıltı düzeyine indirildiği bölgedir. Bölgenin uzunluğu başlangıç ve bitiş parıltı değerine ve müsaade edilen hız limitine göre değişir (Bkz. Ek 7).

4.3.3 İç Bölge

Tünelin giriş ve çıkış bölgeleri arasındaki sabit parıltı bölgesidir. 300 metreden daha

kısa tünellerde ise herhangi bir bölgenin iç bölge olarak tanımlanması imkanı yoktur (Bkz. Ek 10).

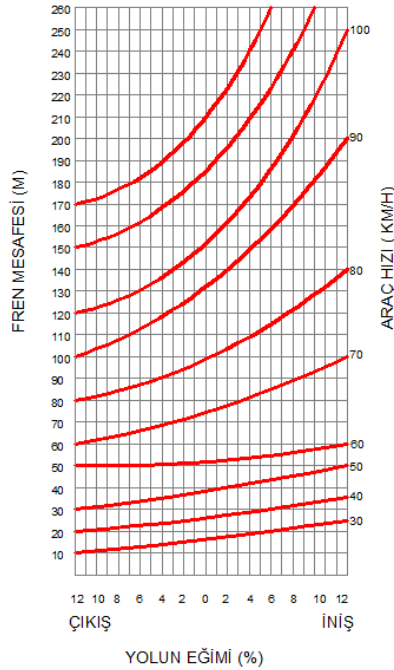
4.3.4 Çıkış Bölgesi

İç bölge bitiminden çıkışa kadar olan bölgedir. Çıkıştaki parlaklığı yüksek bölgeye adaptasyonu kolaylaştırır. Gündüz tünel çıkışı, içerdeki bir sürücüye aydınlık bir delik şeklinde gözükür ve sürücünün önündeki engeller bu aydınlık fon üzerinde silüet şeklinde açıkça görülebilir.

4.4 DURMA MESAFESİ

Durma mesafesi ; başka bir deyişle fren mesafesi, sürücünün tehlikeli olabilecek bir cismi görüp, aracım emniyetle durdurabildiği mesafedir. Bu mesafe sürücünün reaksiyon süresine, aracın saf fren mesafesine, müsaade edilen hız limitine, yolun eğimine, yol kaplamasına ve aracın fren tutukluk derecesine bağlıdır. Şekil 4.3'te ıslak, temiz bir yolda, orta derecede aşınmış lastikli bir araç için yolun eğimi de dikkate alınarak, hız limitine bağlı fren mesafelerini bulmaya yarayan bir grafik verilmiştir. [3,5].

Şekil 4.3 Hıza Bağlı Fren Mesafesi



4.5 KRİTİK CİSİM

Tünel aydınlatmasında hareketli bir gözlemci için tünel içinde tehlike teşkil edebilecek en küçük boyuttaki bir cismin varlığının, emniyetle durulabilecek bir mesafeden tespitine yetecek düzeyde parlaltının sağlanması esastır. (Bkz. Ek 4). Bu nedenle tehlikeli olabilecek en küçük boyuttaki cismin tanımlanması gerekmektedir. Literatürde, arka fonu ile %20 değerinde kontrasta sahip ve boyutları 20 cm x 20 cm olan bir cisme "kritik cisim" denir. Böyle bir cisim, 100 m mesafeden 0,1 saniye süreyle gözlemlenmesi halinde %75 olasılıkla görülebilir. [3,6,7].

20 cm'lik boyut, normal bir otomobilin tampon yüksekliğine göre yol üzerinde tehlikeli olabilecek en küçük boyuttaki cisme karşılık düşer (Bkz. Ek 9). 100 m mesafeden 20cm x 20 cm boyutundaki bir cisim 7°'lik görme açısı ile görünür. 100 m'lik mesafe de yaklaşık olarak 80 km/h hızdaki fren mesafesine eşittir.

5 TÜNEL AYDINLATMASI ESASLARI

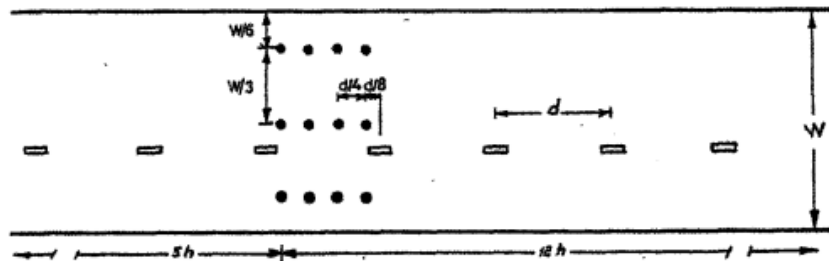
5.1 AYDINLATMA SİSTEMİNİN VE KONTRASTIN BELİRLENMESİ

Tünel içinde sağlanması gereken parlıltı düzeyi, büyük ölçüde cisimlerin fonla oluşturdukları kontrast değerine bağlıdır. Cismin kontrastı arttıkça, görülebilirliği de artar. Dolayısıyla tünel içinde gereken parlıltı değeri azalır. Parlıltı kontrastı cisimlerin yansıtma özelliklerine, yol yüzeyi, tünel duvarlarına ve kullanılan aydınlatma sisteminin tipine bağlıdır.

Yüksek yol yüzeyi parlıltısı (L) üreten bir aydınlatma sistemi ve düşük düzey aydınlatma düzeyi (E_v), yoldaki çoğu cisimler için yüksek kontrast değeri verir. Zira bu durumda tüm sistemin kontrast kalite parametresi K (yol parlıltısının cisimlerin düşey aydınlık düzeylerine oranı) büyük olmaktadır. Böyle bir sistem asimetrik dar açılı armatürlerde yüksek güçlü lambalar kullanılarak ışınların sürücü istikametine zıt yönde yönlendirilmesi ile elde edilir. Bu sistem "Zıt Işınlı Aydınlatma (Counter Beam Lighting)" olarak isimlendirilir.

Aydınlatma sisteminin asimetri derecesi düzenli bir şebeke üzerinde elde edilen L/E_v oranının minimum değeri olarak tanımlanır. Düzenli bir şebekede, aydınlatma hesabı yapılırken iki armatür arasında, bir şeritte enine 3, boyuna 4 olmak üzere toplam 12 nokta tespiti yapılır. (Şekil 5.1) Bu 12 nokta için aydınlatma (aydınlık düzeyi ve parlıltı) hesaplan yapılacaktır. L/E_v oranının hesabı için dikkate alınan her hesap noktasının önünde (tünel girişine doğru) armatür yüksekliğinin 5 katı kadar, arkasında ise armatür yüksekliğinin 12 katı kadar mesafe düşünülür. Düşey aydınlık düzeyinin hesabı için direkt ve endirekt katkıları göz önüne almak önemlidir. L/E_v oram Tablo 5.1 'de her iki aydınlatma sistemi için verilmiştir. [4]

Şekil 5.1a L/E_v Oranının Belirlenmesi



d: Armatürler arası mesafe , w: Trafik şeridinin genişliği , h: Armatür yüksekliği

Tablo 5. 1 Aydınlatma Sisteminin Belirlenmesi [9]

Aydınlatma Sistemi	L/Ev oranı
Simetrik	$\leq 0,2$
Counter Beam (Zıt Işınlı)	$\geq 0,6$

NOT:

1. L/Ev oranının 0,2 ila 0,6 arasında olduğu aydınlatma sistemlerine nadiren rastlanır. Bu tür sistemler simetrik aydınlatma için verilen tavsiyeler ile tanımlanmaktadır.
2. Fotometrik değerler olarak alınan L ve Ey yalnız yapay aydınlatmaların uygulanmasında dikkate alınır.

5.2 GÜNDÜZ AYDINLATMASI

Gündüz aydınlatma sorunu, adaptasyonla ilgilidir. Yani gündüz parlıtısına adapte olmuş insan gözü, birdenbire tünel girişindeki çok düşük parlıtı düzeyine girince "karanlık adaptasyonu" nedeniyle etrafını göremez. Bu nedenle tünelin ilk kısmındaki aydınlatma, karanlık adaptasyonunu hesaba katacak şekilde, yani yüksek aydınlık düzeyinden alçak aydınlık düzeyine kademeli geçişi sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

Şekil5.1.b Gündüz Aydınlatması



5.2.1

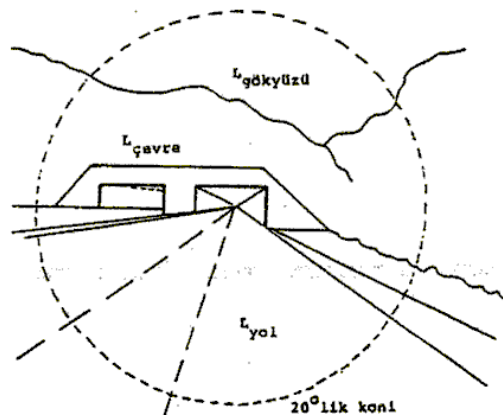
5.2.1.1 Yaklaşma Bölgesi (Dış Bölge) Parıltısının Belirlenmesi

Tünel içinde sağlanması gereken parıltı düzeyleri doğrudan yaklaşma bölgesi parıltısına bağlıdır. Zira tünel giriş bölgesinde sağlanması gereken parıltı düzeyi, yaklaşma bölgesi parıltısına göre belirlenir. L20 şeklinde sembolize edilen yaklaşma bölgesi (dış bölge) parıltı düzeyi olarak belirlenmezse, ya gereğinden fazla ya da yetersiz bir aydınlatma yapılmış olur.

Sürücü tünelden çok uzakta iken gözleri daha henüz karanlık girişten etkilenmez. Görüş alanında dış bölge parıltısı hakimdir. Aslında bu dış bölge parıltısı çok yaygın ve değişkendir. Devamlı hareket halinde olan gözlemci (sürücü) için çevre parıltı düzeyi sürekli olarak değişmektedir. Sürücü tünele doğru ilerledikçe görüş alanında gittikçe büyüyen tünel ağzı görünmeye başlayacak ve karanlık tünel ağzının boyutu arttıkça "çevre örtü parıltısı" nın değeri azalacaktır. Örtü parıltısı çok hızlı değiştiğinden, sürücünün baktığı yol parçasının parıltısı onun o andaki görüş alanının eşdeğer parıltısını belli bir faktörle ifade edebilir.

Dış bölge parıltısı, tünel ağzının görünen boyutunun veya tünelden olan uzaklığının bir fonksiyonu olarak verilmelidir. Bunun için tünel girişinin fren mesafesi kadar öncesinde konumlandırılmış bir sürücünün, gidiş istikameti eksen kabul edilerek $2 \times 10^\circ$ lik konik görüş alanı içerisindeki parıltılar dikkate alınır (Şekil 5.2).

Şekil 5.2 20° lik Konik Görüş Alanı



Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) buradan hareketle dış bölge parıltısının tayini için iki metot önermektedir.

A) Birinci Metot:

Dış bölge parıltısı (L20) Tablo 5.2'den aşağıda belirtilen hususlar çerçevesinde seçilir.

A-1)Tünelin yönüne bağlı olarak,

- Düşük: Kuzey yarımkürede, güney girişi
- Yüksek: Kuzey yarımkürede, kuzey girişi
- Batı ve doğu girişleri için ara değerler seçilebilir.

Tablo 5. 2 Dış Bölge Parıltısının Tayini [9]

20° lik konik görüş alanındaki ortalama dış parıltı (L20) (cd/m²)

	20° lik konik görüş alanında, gökyüzünün kapladığı alanın yüzdesi							
	%35		%25		%10		%0	
Görüş alanındaki durumu	Normal	Karlı	Normal	Karlı	Normal	Karlı	Normal	Karlı
	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek	düşük-yüksek
Fren mesafesi 60m			4000-5000	4000-5000	2500-3500	3000-3500	1500-3000	1500-4000
Fren mesafesi (100-160)m	4000-6000	4000-6000	4000-6000	4000-6000	3000-4500	3000-5000	2500-5000	2500-5000

A-2) Çevrenin aydınlık derecesine bağlı olarak,

- Düşük: Giriş çevresindeki yüzeylerin yansıtma faktörü düşük
- Yüksek: Giriş çevresindeki yüzeylerin yansıtma faktörü yüksek

A-3) Tünelin yönüne bağlı olarak,

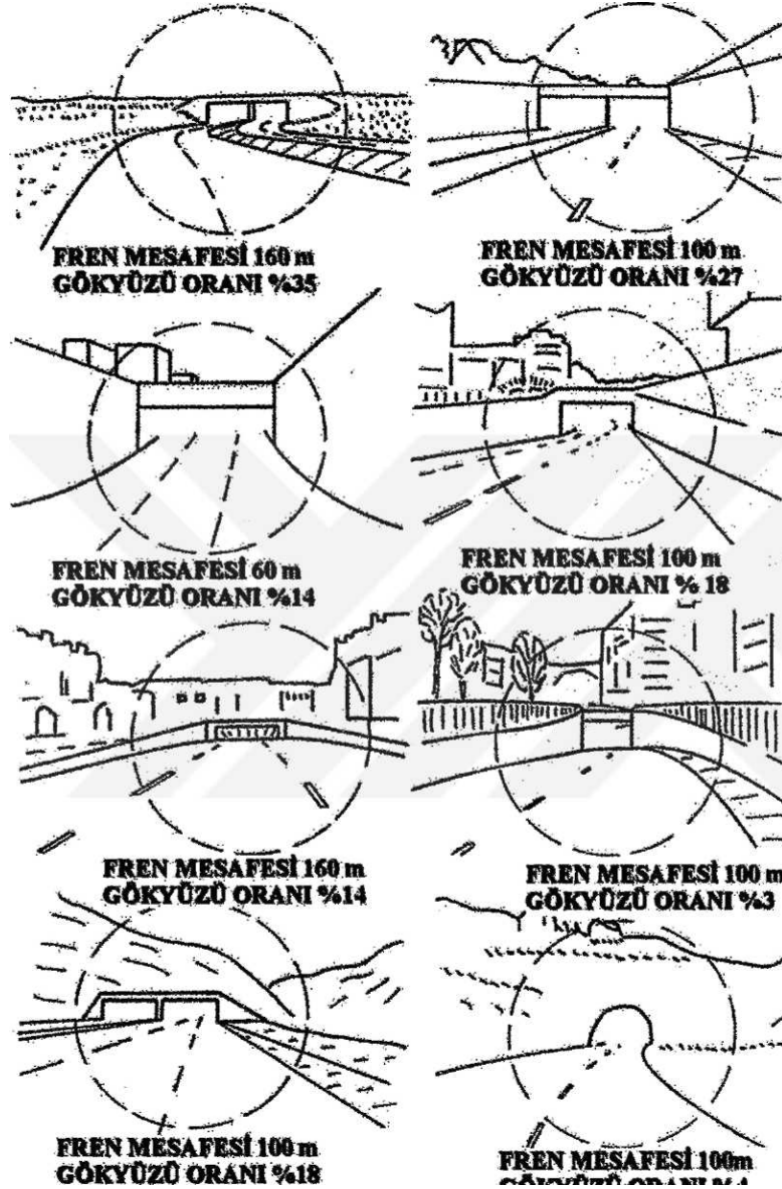
- Düşük: Kuzey yarımkürede, kuzey girişi
- Yüksek: Kuzey yarımkürede, güney girişi

- Batı ve doğu girişleri için ara değerler seçilebilir.

A-4) 60 m'lik fren mesafesi için, gökyüzünün görüş alanının %35'lik bölümünü kaplaması halinde uygulamada pek rastlanmaz(Şekil 5.3).

NOT: "Kuzey girişi" güneye doğru ilerleyen sürücüler için tünel girişidir. "Güney girişi" ise kuzeye doğru ilerleyen sürücüler için tünel girişidir.

Şekil 5.3 Değişik Coğrafi Durumlardaki Konik Görünüşler



A) İkinci Metot:

$2 \times 10^\circ$ derecelik görüş alanındaki ortalama parıltı görüş açılarının şekillerine bağlı olarak oluşabilecek maksimum parıltının toplamı ile belirlenen (5.1) formülü ile bulunmaktadır.

$$L_{20} = \gamma.L_{gök} + \rho.L_{yol} + \varepsilon.L_{çevre} + \tau.L_{th} \quad (5.1)$$

$$\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1 \quad (5.2)$$

Burada;

$L_{gök}$: Gökyüzü parıltısı

L_{yol} : Yol yüzeyi parıltısı

$L_{çevre}$: Çevre parıltısı

L_{th} : Eşik bölgesi parıltısı

γ : Gökyüzünün görüş alanındaki yüzdesi

ρ : Yolun görüş alanındaki yüzdesi

ε : Çevrenin görüş alanındaki yüzdesi

τ : Tünel girişinin görüş alanındaki yüzdesidir.

(5.1) formülünde L_a , değeri bilinmemektedir. Fren mesafesinin 100-160 m arasında olması halinde τ değeri oldukça küçüktür, (%100'dan az) L_{th} , değeri de aynı şekilde, diğer parıltılar yaranda ihmal edilebilecek derecede küçüktür.

Fren mesafesinin 60 m olması halinde ise (5.3) formülü geçerlidir.

$$L_{20} = \frac{\gamma.L_{gök} + \rho.L_{yol} + \varepsilon.L_{çevre}}{1 - \tau.k} \quad (5.3)$$

Burada, $k=(L_{th}/L_{20})$ 'dir ve 0,1 değerini asla aşamaz. Bu durumda t.k . k ihmal edilebilir.

Böylece dış bölge parıltısı (5.4) formülü ile hesaplanabilir.

$$L_{20} = \gamma \cdot L_{gök} + \rho \cdot L_{yol} + \epsilon \cdot L_{çevre} \quad (5.4)$$

$$\gamma + \rho + \epsilon < 1 \quad (5.5)$$

(5.4) formülündeki parıltı değerleri ya ölçülerek ya da tünelin konumuna göre Tablo5.3'ten bulunabilir [3,4,5].

Tablo 5.3 L_{gök}, L_{yol}, L_{çevre} İçin Kabul Edilebilecek Değerler [9]

Sürücü istikameti (kuzey yarım kürede)	L _{gök} (kcd/m ²)	L _{yol} (kcd/m ²)	L _{çevre} (kcd/m ²)			
			Kayalık	Binalı	Karlı	Çayır
Kuzey	8	3	3	8	15(d) 15(y)	2
Doğu-Batı	12	4	2	6	10(d) 15(y)	2
Güney	16	5	1	4	5(d) 15(y)	2

Sonuç olarak, dış bölge parıltı düzeyi tünelin bulunduğu konuma bağlı olarak yaklaşım süresince sürücünün görüş alanını kaplayan gökyüzü, çevre ve yol yüzeylerinin parıltıları dikkate alınarak, y direkt ölçümlerden ya da kabullerden yararlanılarak belirlenmelidir.

Tünel aydınlatmasının hem emniyeti, hem de ekonomikliği açısından en önemli nokta olan dış bölge parıltı düzeyinin tayini için muhtelif yönetmelikler yayınlanmıştır. Örneğin İngiliz Yönetmeliği'ne (BS 5489:Part 7/1971) göre en yüksek parıltı düzeyi olarak, güneşli bir günde 2000 cd/m²'lik, Alman Yönetmeliği'ne (DİN 67524/1972) göre 6500 cd/m²'lik, İsviçre Yönetmeliği'ne (SEV 8915/1983) göre ise çevresinde yapılaşma olan bölgelerde 2500-4000 cd/m²'lik, görüş alanının büyük bir kısmını gökyüzünün kapladığı açık arazilerde 6000-8000 cd/m²'lik değerlerin alınmasının uygun olacağı ifade

edilmiştir. İstanbul bölgesinde açık bir arazide yer alan tünel girişlerinde Temmuz/1998'de yapılan ölçümlerde dış bölge parıltı düzeyinin 4500 cd/m^2 değerinde alınabileceği tespit edilmiştir. Etrafında yapılaşma veya dağlık arazi olan tünel girişlerinde bu değer çok daha azalacaktır [3].

5.2.1.2 Eşik Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi

Tünel aydınlatmasında en önemli problem dış bölge parıltısının eşik bölgesindeki parıltıya oranının belirlenmesidir. Eşik bölgesinin parıltısı, yaklaşan bir sürücüye gerekli görüş koşullarını sağlayacak düzeyde olmalıdır. Tünel aydınlatması hesabında amaç yeterli ve ekonomik optimum çözümü bulmak olduğundan, görme yeteneğini bozmayan minimum düzeyde tünel eşik bölgesi parıltısının tayini büyük önem kazanmaktadır. Görme yeteneği incelemelerine dayanılarak saptanabilen bu konu hakkında uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmakta ve bazı tavsiyeler verilmektedir. Çalışmalar incelendiğinde tavsiye edilen tünel eşik bölgesi parıltı düzeyinin dış bölge parıltı düzeyine oranında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Öyle ki, bir araştırmacı 1/10 oranını önerirken diğeri 1/117 oranını tavsiye edebilmektedir. Bu konudaki muhtelif kriterlerden öncelikle, Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu (dE)'nin tavsiyelerine yer verelim.

La, olarak sembolize edilen eşik bölgesi parıltısı; yaklaşma bölgesi parıltısı, seçilen kontrast parametresi ve fren mesafesi ile doğrudan ilgilidir. Eşik bölgesinde sağlanması gereken parıltı düzeyi (L_{th}) Tablo 5.4'ten, farklı fren mesafeleri ve L/E_v oranları için verilen L_{th}/L_{20} değerlerinden çıkartılabilir [4,5].

Tablo 5.4 Tavsiye Edilen Eşik Bölgesi / Dış Bölge Parıltı Oranları [9]

Fren Mesafesi	Simetrik aydınlatma sistemi ($L/E_v \leq 0,2$) L_{th}/L_{20}	Counter-beam aydınlatma sistemi($L/E_v \geq 0,6$) L_{th}/L_2
60m	0,05	0,04
100m	0,06	0,05
160m	0,1	0,07

Tablo 5.4 te verilen fren mesafelerinin ara değerlerinde geçerli olan L_{th}/L_{20} oranlarının

tespiti için lineer interpolasyon yapılabilir.

$0,2 < L/E_v < 0,6$ değerleri arasındaki aydınlatma sistemlerine nadiren rastlanır. Böyle bir aydınlatmada simetrik sistem için tavsiye edilen L_{TH}/L_{20} değerleri alınabilir.

Tablo 5.4'te önerilen değerler normal ve yüksek trafik koşulları için tespit edilmiştir. Trafik koşullarının daha hafif ve elverişli olduğu durumlarda ise tavsiye edilen değerlerin

%75'inin alınması daha uygun olacaktır. Daha düşük L_{TH}/L_{20} oranlarının alınmasını gerektirecek bu faktörler şöyle sıralanabilir [4]:

- a) Tünelde tek yönlü trafik akışı olması,
- b) Farklı hız limitine müsaade edilen şeritlerin birbirinden ayrı olması,
- c) Tünel boyunca yol şeridi değiştirme yasağı olması,
- d) Tünel içinde durma yasağı olması,
- e) Saatte 100 araçtan daha düşük trafik yoğunluğunun olması,
- f) Tünellerin düz olması.

Bazen tünel girişinde parlaklık değeri yükseltmek yerine, karanlık adaptasyonunu kolaylaştırmak amacı ile tünel girişinden önce yol parlaklığını düşürecek şekilde loşlaştırıcı da denilen gün ışığı ekranları (non-sunlight screens, raster) ilave edilebilir. Bu sayede gün ışığındaki yol parlaklığı istenen değere düşürülmüş olur. Gün ışığı ekranları kullanılması halinde L_{TH}/L_{20} değeri 0,3 alınmalıdır [4].

Bu ekranların konstrüksiyonları, her türlü durumda güneş ışınlarını doğrudan alttaki yol yüzeyine düşürmeyecek şekilde olmalıdır. Çünkü direkt güneş ışıkları ciddi kamaşmalara ve ışıklı-gölgeli bantlara sebep olmaktadır. Bunun için ekran ya ışığı geçirici bir malzemedir ya da petekli olarak yapılabilir. Yan şeffaf plastik veya cam kaplı olan ilk çözümde, yüzeylerin bozulması, kir birikimi ve karlarına nedeniyle geçirgenlik çok çabuk bozulur. Ekranlar çok kısa bir süre sonra fonksiyonlarını yerine getiremez hale gelirler. Petekli ekranların açıklıkları ise, direkt güneş ışınlarını geçirmeyecek kadar küçük, kolaylıkla karla kaplanmayacak kadar da büyük olmalıdır.

Ayrıca ağır ve pahalı olmaması için de çok kalın yapılmamalıdır.

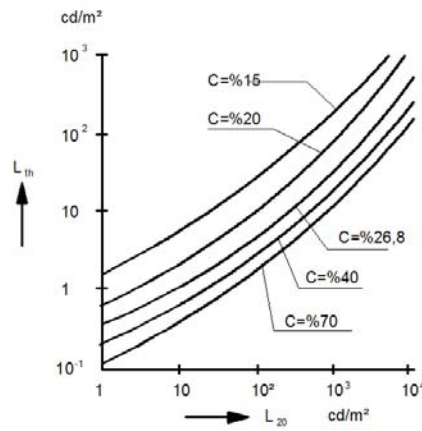
Gün ışığı ekranları, sıcaklığı sıfırın altında olan bölgelerde yolda donma tehlikesi doğurur. Çünkü ekranlama sonucu, direkt güneş ışığının ısı etkisi azalır, dolayısıyla tünel girişinde tehlikeli buzlanmalar olabilir. Bu durumda loşlaştırıcı (gün ışığı ekranı) bölgesine ait yol örtüsünün ısıtılması gerekir. Böylece gün ışığı ekranları ile aydınlatma masraflarından yapılan istifade, yolun ısıtma masraflarıyla kaybolmuş olur. Buna bir de bakım masrafları eklenince gün ışığı ekranlarının pek bir cazibesi kalmamaktadır. Bunun yerine tünel girişinin etrafı, koyu renk yol örtüsü ile veya tünel girişi çevresine ağaç ve çalılar dikmek suretiyle loşlaştırılabilir.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE)'nin tavsiyelerinde tünel duvarlarının ortalama parlılığının, 2 m yüksekliğe kadar, ortalama yol yüzeyi parlılığından daha düşük olmaması gereği de belirtilmektedir.

CIE'nin tavsiyelerine esas teşkil eden Schreuder'in çalışmalarına da kısaca değinelim.

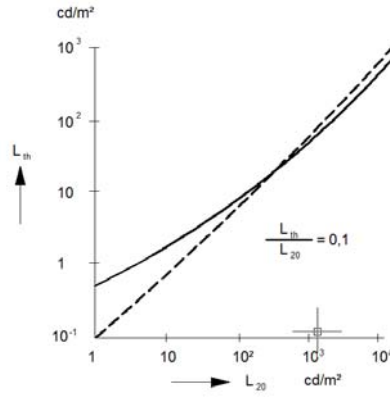
Schreuder 1964 ve 1967 yıllarında laboratuarda yaptığı görme yeteneği çalışmalarına, yine laboratuarda gerçekleştirdiği model tünel düzeneğinde elde ettiği verilere ve gerçek araç tünellerindeki pratik çalışmalara dayanarak, geniş bir dış bölge aralığında dış bölge parlılığının eşik bölgesi parlılığına oranını ortaya koymuştur (Şekil 5.4) [6].

Şekil 5.4 Değişik Kontrast Değerleri İçin Eşik Bölgesi Parlılığının Dış Bölge Parlılığına Göre Değişimi



Cisimlerin fonla yaptıkları parıltı kontrastının eşik bölgesi parıltısı üzerinde son derece etkili olduğu daha önce belirtilmişti. Bu nedenle, tünelde görülebilmesi istene kritik cismin (Bkz. Bölüm 4.5) kontrastının belirlenmesi tünel aydınlatma sisteminin tamamını etkilemektedir. Çünkü küçük kontrastlarda cismin görülebilmesi için yüksek parıltılara ihtiyaç vardır. Şekil 5.5'den tünel içinde tehlike teşkil edebilecek, %20'lik kontrasta sahip bir cismin eşik bölgesi parıltısının, dış bölge parıltı değerinin yaklaşık %10'u mertebesinde olması gerektiği görülmektedir.

Şekil 5.5 Eşik Bölgesindeki Parıltının Kritik Cisme Göre Değişimi



Tablo 5.5 L20 ile Lth Arasındaki İlişki [9]

L20 (kcd/m ²)	C(%)		
	26	53	81
	L20 (cd/m ²)		
7500	206	45	24
5000	142	40	23
3000	100	33	21
1000	53	28	20
500	42	24	20
100	31	22	19

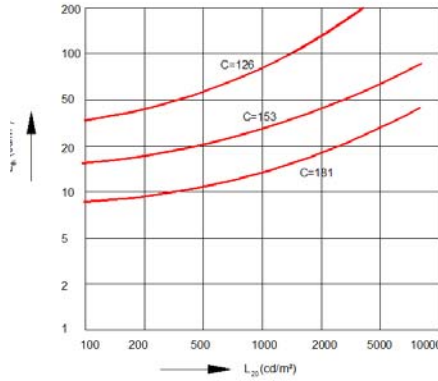
Tünel eşik bölgesi parıltı sınırının tayinine yönelik bir dizi deney de 1990 yılında Onaygil tarafından laboratuvarında bir tünel girişi simülatörü ile yapılmıştır. Bu deneylerde çeşitli adaptasyon parıltılarında, %26, %53 ve %81'lik üç farklı kontrasta sahip 7° görme açılı cismin 0,1 saniyede %75 olasılıkla görülebilmesi için gereken minimum fon parıltıları

belirlenmiştir. Ölçmeler laboratuvarında, sabit bir gözlemci için yapıldığından elde edilen değerler şekli ve yeri bilinen cisimler için geçerlidir. Oysa gerçek trafik koşullarında sürücü nerede, ne zaman ve hangi büyüklükte bir cisim ile karşılaşacağını bilmemektedir. Onaygil simülasyon ile bulunduğu sonuçları, Blackwell'in de çalışmalarında belirttiği şekilde, "2,78" katsayısı ile çarpılarak gerçek koşullara uyarlanmıştır. Bu esaslara göre Onaygil'in simülasyon deneylerinden elde ettiği değerler Tablo 5.5'te verilmiştir [3].

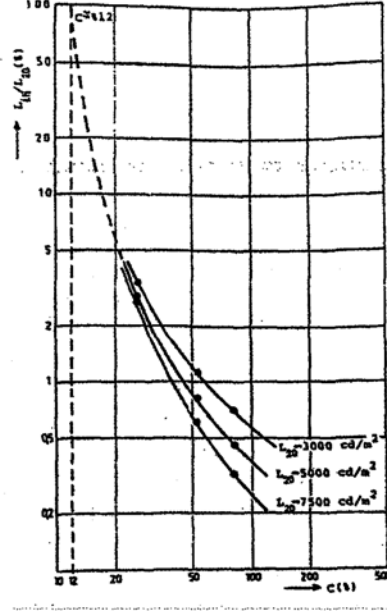
Tablo 5.5'teki değerlerle, kontrast parametre olmak üzere L_{20} ile L_{TH} arasındaki ilişkiyi veren Şekil 5.6 oluşturulmuştur. Bundan başka, L_{TH}/L_{20} oranı ile cismin tam olarak görülebilmesi için gereken kontrast eşiği arasındaki ilişkiyi veren eğriler çizilerek Şekil 5.7 elde edilmiştir.

Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi dış adaptasyon parıltısı parametre olmak üzere çizilen eğriler düşük kontrast değerlerinde birbirlerine çok yaklaşımaktadır. Bu nedenle, $L_{20}=5000 \text{ cd/m}^2$ için geçerli olan eğri, düşük kontrastlarda küçük bir hata ile üç eğriyi de temsil edebilir. $L_{20}=5000 \text{ cd/m}^2$ için geçerli olan eğri tahminle uzatılmış ve L_{th} 'nin L_{20} 'ye eşit olduğu %100 yatay çizgisi ile kesiştirilmiştir. Kesişim noktasına karşı düşen kontrast değeri yaklaşık %12'dir. Bu da, tünel eşik bölgesi ne kadar aydınlatılırsa aydınlatılırsın $C=\%12$ 'den daha küçük kontrast değerine sahip bir cismin görülemeyeceği anlamına gelir. Onaygil'in deneylerinde kullandığı $C=\%26$ değerindeki parıltı kontrastının ise kritik cismin kontrastını çok iyi temsil ettiği saptanmıştır [3].

Şekil 5.6 L_{th} ve L_{20} arasındaki ilişkiyi veren eğriler

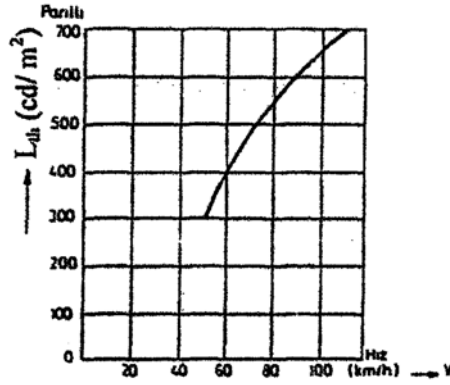


Şekil 5.7 Lth/L20 Oranı Üç Cismin Tam Olarak Görülebilmesi İçin Gereken Kontrast Eşiği Arasındaki İlişki



Eşik bölgesi parlılısının tayininde bir diğer faktör de tünele girişte müsaade edilen araç hızıdır. Alman Yönetmeliği'ne (DİN 67524) göre, tünele yaklaşan bir aracın hızına bağlı olarak eşik bölgesinin maksimum parlılık değeri Şekil 5.8'den alınabilir [7].

Şekil 5.8 Araç Hızına Bağlı Eşik Bölgesindeki Maksimum Parlılık Değişimi



5.2.1.3 Geçiş Bölgesi Parıltısının Belirlenmesi

Bir sürücü bir tünelde girerken, sürücünün gözlerinin daha düşük parıltı düzeyine uyumuna kadar belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Dolayısıyla tünelde en yüksek parıltı düzeyinden en düşük parıltı düzeyine geçiş kademeli olmalıdır. Eşik bölgesinin parıltısı %100 kabul edilerek geçiş bölgesindeki parıltı dağılımı azalan bir eğri şeklinde gerçekleştirilmelidir. Uzun adaptasyon deneyleri sonucunda belirlenen ve (5.6) formülü ile ifade edilebilen eğri, Şekil 5.9'da (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu tavsiyelerine göre) görülmektedir.

$$L_t = L_r(1,9+t)^{-1,4} \quad (5.6)$$

Burada;

L_r : Geçiş bölgesi parıltısı (%)

L_{th} : Eşik bölgesi parıltısı (%100)

t : Eşik bölgesinin bitiminden itibaren tünelde geçen süre (sn)

Geçiş bölgesindeki aydınlatma, eşik bölgesindeki ile aynı karakterde olmalıdır. Lamba sayısının veya şık akısının azaltılması ile parıltının sürekli değişimini sağlamak çok zordur. Bu nedenle eğrinin basamaklar şeklinde oluşturulması yoluna gidilir. Ancak birbirini takip eden basamakların parıltı değerleri arasındaki oran hiçbir zaman 3/1'den büyük olmamalıdır [3,4]. Bu sınır değeri dikkate alarak geçiş bölgesi kademe sayısını hesaplayacak olursak;

$$\frac{L_{th}}{3^n} = L_r \quad (5.7)$$

$$n = \left[\log\left(\frac{L_{th}}{L_r}\right) / \log 3 \right] \quad (5.8)$$

elde edilir. Burada;

L_{th} : Eşik bölgesi parıltısı (cd/m²) L_i : İç bölge parıltısı (cd/m²)

n : Geçiş bölgesi kademe sayısıdır.

Geçiş bölgesindeki parıltı dağılımı, eşik ve iç bölge parıltı düzeylerine bağlı olup genellikle 2 ile 4 basamak şeklinde gerçekleştirilir. (5.8) formülünden elde edilen n değerinin bir üst tamsayı değeri geçiş bölgesi kademe (basamak) sayısı olarak kabul edilebilir. Sabit parıltı düzeyli basamakların uzunlukları en az 3 saniyede alınan mesafe kadar olmalıdır.

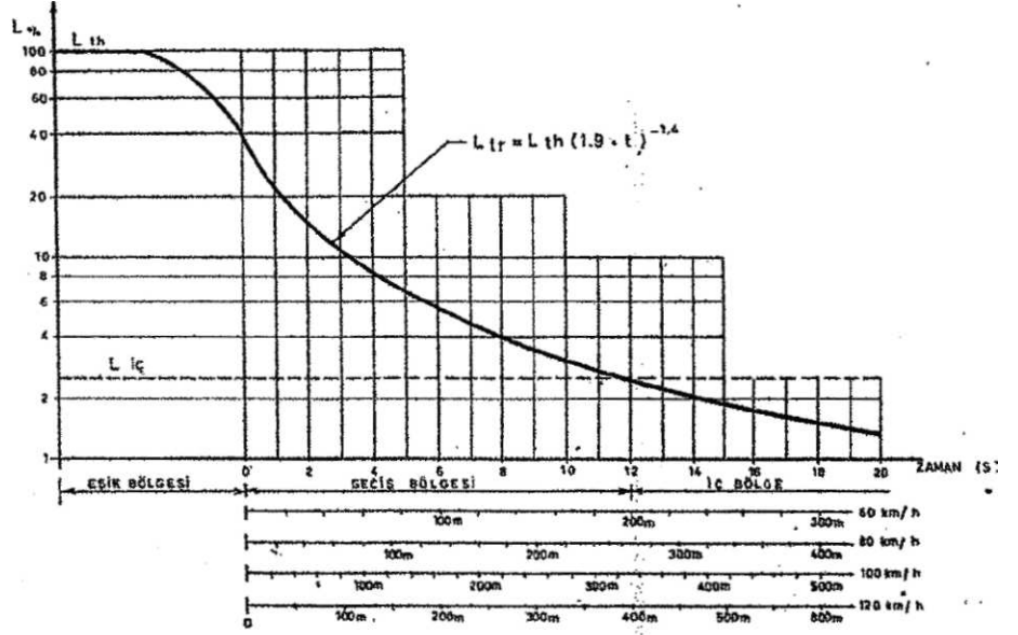
Örnek olmak üzere Şekil 5.10'da Gebze-İzmit otoyolu üzerindeki 295 m uzunluğundaki 2 no'lu tünelin Gebze-İzmit yönünde 70 km/h araç hızı için Şekil 5.9 yardımıyla tespit edilen adaptasyon bölgeleri uzunlukları gösterilmektedir. Bu eğrilerde birinci adaptasyon bölgesi eşik bölgesine, ikinci, üçüncü ve dördüncü adaptasyon bölgeleri geçiş bölgesine, beşinci adaptasyon bölgesi ise iç bölgeye karşı düşmektedir. Burada adaptasyon bölgelerinin uzunlukları, ardışık adaptasyon bölgelerinin parıltılarının %50 oranında azalmasına göre, birinci adaptasyon bölgesinin uzunluğu ise, eşik bölgesine katıldığı için %40 oranında azalmaya göre saptanmıştır [7].

5.2.1.4 İç Bölge Parıltısının Belirlenmesi

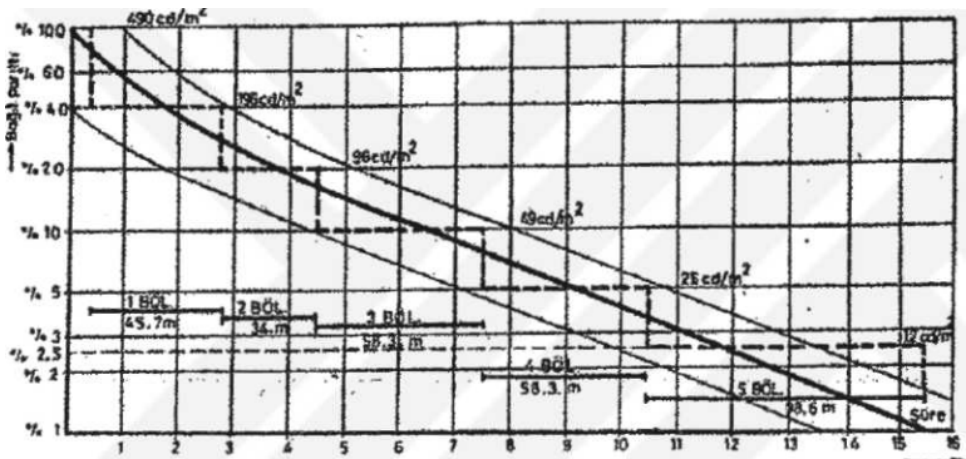
Uzun tünellerde geçiş bölgesini kurak olarak sabit parıltılı iç bölge takip eder. Bu bölgede henüz tam anlamıyla karanlık adaptasyonuna erişilmemiştir. Dolayısıyla bu bölgede uygun bir parıltı düzeyi seçilmesi zorunludur.

İç bölgede sağlanması gereken parıltı, büyük ölçüde giriş bölgesindeki aydınlatmanın tipine ve kalitesine bağlıdır. İç bölgeye kadar tam bir adaptasyon sağlanabilmesi halinde bu bölgede, gece yol aydınlatması için geçerli olan kurallar uygulanabilir. Bilindiği gibi trafiği yoğun olan yolların gece aydınlatmalarında yaklaşık 2 cd/m²'lik parıltı değeri önerilmektedir.

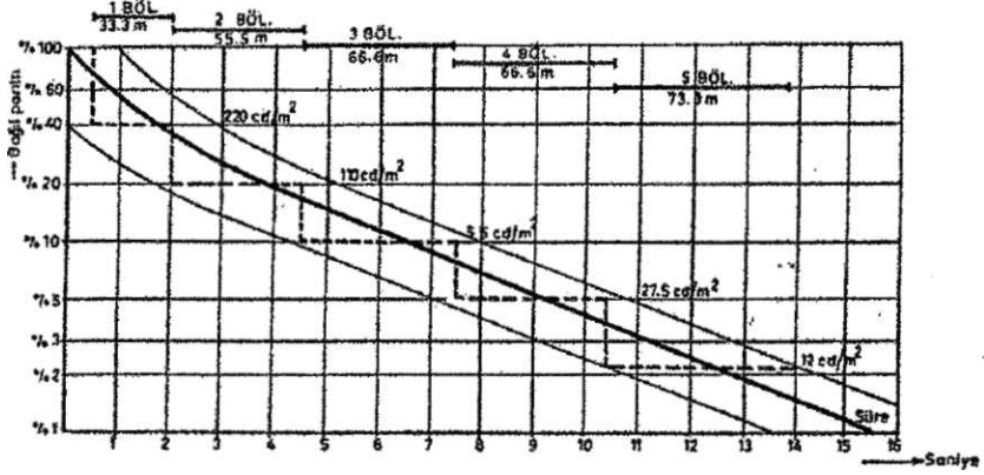
Şekil 5.9 Değişik Hızlar İçin Çizilen Tünel Parıltı Dağılımı



Şekil 5.10.a Gebze-İzmit Otoyolu Üzerindeki 2 Nolu Tünelin Gebze-İzmit Yönünde 70 Km/h Hızı İçin Adaptasyon Bölgeleri Ve Uzunlukları



**Şekil 5.10.b Gebze-İzmit Otoyolu Üzerindeki 2 Nolu Tünelin
İzmit-Gebze Yönünde 80 Km/h Araç Hızı İçin
Adaptasyon Bölgeleri Ve Uzunlukları**



Çok uzun dağ tünelleri dışında, hiçbir tünelde giriş bölgesinin boyu tam bir adaptasyon sağlayacak kadar uzun değildir. Bunun için tünel iç bölgesinde sağlanması gereken parıltı düzeyi, trafik yoğunluğu fren mesafesine bağlı olarak Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından belirlenmiş olup bu değerler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5. 6 İç Bölge İçin Tavsiye Edilen Parıltı Değerleri [9]

İç Bölge Yol yüzeyi Parıltısı (cd/m ²)	Trafik yoğunluğu (araç/saat)		
	Düşük <=100	Orta >100ve<1000	Yüksek >=1000
Fren mesafesi			
160m	5	10	15
100m	2	4	6
60m	1	2	3

Tablo 5.6'dan görüleceği gibi tünel iç bölgesinde sağlanması gereken parıltı düzeyi CIE tarafından 1 cd/m² ila 15 cd/m² arasında önerilmesine rağmen, karanlık adaptasyonunun uzun sürede gerçekleşmesi nedeniyle bu bölgedeki parıltı asla 3 cd/m² den daha düşük olmamalıdır. Bu düşünce ile tünelin konumu ve hız sınırlamasına göre iç bölge parıltı düzeyleri aşağıdaki gibi önerilebilir [3]:

a) Şehir içindeki tünellerde	: 10 20 cd/m ²
b) Kasaba tünelleri nd	: 5 10 cd/m ²
c) Dağ tünelleri, çok uzun tüneller veya trafiği az olan yollar üzerindeki tünellerde	: 3 5 cd/m ²

5.2.1.5 Çıkış Bölgesi Parlıtısının Belirlenmesi

Gözün düşük parlıtı düzeyinden yüksek parlıtı düzeyine geçişi (aydınlık adaptasyonu) çok hızlı olduğundan, tünel çıkışındaki aydınlatma koşulları tünel girişine göre çok daha elverişlidir. Gündüz tünel çıkışı içindeki bir sürücüye "aydınlık delik" şeklinde gözükür ve sürücünün önündeki engeller bu aydınlık fon üzerinde silüet şeklinde açıkça görülebilir. Bu yüzden genel olarak tünel çıkışı için herhangi bir önlem almaya gerek yoktur. Buna rağmen çıkış bölgesinin de uygun şekilde aydınlatılması aşağıdaki yararları sağlar:

- a) Çıkıştaki gün ışığı göz kamaştıracak düzeyde olduğunda, büyük kamyonların arkasından ilerleyen sürücüye gerekli görüş koşulları sağlanmış olur.
- b) Tüneli terk eden bir sürücü dikiz aynasından arkasındaki araçları görebilir.

Belirtilen nedenlerden dolayı, özellikle trafiğin son derece yoğun olduğu tünellerde, çıkış bölgesinin en az 60 m. lik kısmının iç bölge parlıtı seviyesinin 5 katı düzeyinde aydınlatılması tavsiye edilmektedir [4].

Ayrıca gün ışığı etkisinin daha yaygınlaştırılabilmesi ve kademeli bir artışın sağlanabilmesi için çıkışa yakın bölümlerde yüksek yansıtma özellikli duvar ve yol kaplamaları kullanılması da yararlıdır [3].

5.3 DIŞ AYDINLIĞA GÖRE AYDINLATMANIN KONTROLÜ

Tüneldeki aydınlık düzeyi, dışarıdaki aydınlık düzeyine göre hesaplandığından, aydınlatma tekniği ve ekonomik bakımdan, tünelin eşik ve geçiş bölgelerindeki aydınlık düzeyleri, dışarıdaki aydınlık düzeyine göre otomatik olarak kumanda edilebilmelidir.

Tablo 5. 7 Yaklaşma Bölgesindeki Aydınlık Düzeyine Bağlı Giriş Bölgesindeki Parıltının Değişimi (9)

YAKLAŞMA BÖLGESİNDEKİ YATAY AYDINLIK DÜZEYİ (1x)	GİRİŞ BÖLGESİNDEKİ BAĞIL PARILTI (%)
45000 den fazla	100
20000-45000	50
8000-20000	25
3000-8000	12
1000-3000	6

Bilindiği gibi gün ışığının aydınlık düzeyi, bulunulan bölgeye, zamana, mevsime ve hava durumuna göre farklılıklar gösterir. Bundan dolayı ekonomik açıdan tünel giriş bölgesi parıltı düzeyleri, değişen gün ışığı şartlarına göre ayarlanmalıdır. Bu işlem genellikle dıştaki yatay aydınlık düzeyinden etkilenen fotopillerle gerçekleştirilmektedir. Bu fotopiller tünel girişinden takriben 100 m uzaklıkta ve yolda yaya geçişi varsa yerden 2 ila 5 m yüksekliğe, yoksa yerde uygun bir noktaya yerleştirilir. Elde edilen dış aydınlık düzeyine ilişkin verilere göre giriş bölgesi parıltısı, birbirini takip eden parıltı düzeylerinin oram 3/1'i aşmayacak şekilde azaltılabilir. (Örneğin %100, %33, %11, %3,3, %1,1 gibi) Yaklaşma bölgesindeki yatay aydınlık düzeyine bağlı olarak kademeler yaklaşık Tablo 5.7'deki gibi olabilir [3].

Fakat fotopiller sadece yatay aydınlık düzeyinden etkilendikleri için, örneğin düşük düzeyli güneş ışınları ile parlak bir şekilde aydınlanan karla kaplı tünel girişleri gibi durumlarda yetersiz kalırlar. Kontrolün doğrudan parıltı ölçümleri ile yapılması daha uygundur. Çünkü bu suretle yol örtüsünün muhtelif durumlarına (ıslak, kuru, kar örtülü vb.) daha doğru bir uyum sağlanır. Parıltı ölçerler tünel girişinden önceki yol örtüsünün parıltısını, çevrenin parıltısını, tünel girişinin ve gökyüzünün parıltısını hesaba katar. Bundan alınan işaret eşik ve geçiş bölgelerindeki parıltıları düzeylerini istenilen değerlere otomatik olarak ayarlar.

Artık günümüzde kontrol işlemi, doğrudan girişteki görüş alanını gözleyen ve bu alandaki parıltı değerlerini kaydeden TV- kameralarından alınan bilgilerle gerçekleştirilmektedir (Vlake Tüneli-Hollanda) [3].

5.3.1 Lüminansmetreler

5.3.1.1 Genel

Tünelin giriş ve geçiş bölgelerindeki parlıltı değerleri yaklaşma bölgesindeki L20 dış bölge parıltısına bağılıdır. Parıltılar, yaklaşan sürücünün gözüne 20° açılı konik bir alan olarak görünür.

Günün sabahtan akşama kadar her saatindeki türlü değışimler aşağıdaki etkenlere bağılıdır:

- a) Coğrafi konum ve tünelin yönü
- b) Tünelin çevresi (hava, yol ve konum)
- c) Hava durumu (güneşli, yağmurlu, karlı vb.)

Genellikle tünel aydınlatmasındaki uygun ayarlamalar, yoldaki hız limitine bağılı olan emniyetli durma mesafesindeki L20 parıltı değerinin doğru olarak ölçülmesine bağılıdır. Lüminansmetreler (LS), L20 dış bölge parıltısının devamlı ölçülmesini ve L20'nin değışimlerine göre aydınlatma sistemindeki çeşitliliğı kontrol eder (Bkz. Ek 11).

Dış bölge parıltısı L20 dış parıltı ile arzulanan iç parıltı arasındaki orana ve yerel durumlara göre önceden belirlenen eşik değerine ulaştığı zaman sistemdeki değışim gerçekleşir. Dışarıya ve duruma bakmayarak eşik değerleri için izin verilebilen tolerans yaklaşık olarak %2,5'tir. [20,21,22].

Trafiğın zararlı etkilerinden sakınmak için, lüminansmetrenin tünel yönünde girişe doğru ve emniyetli durma mesafesinin içinde yerden 4,5 m yüksekliğe monte edilmesi tavsiye edilir.

Lüminansmetreler (LS) şu parçalardan oluşur:

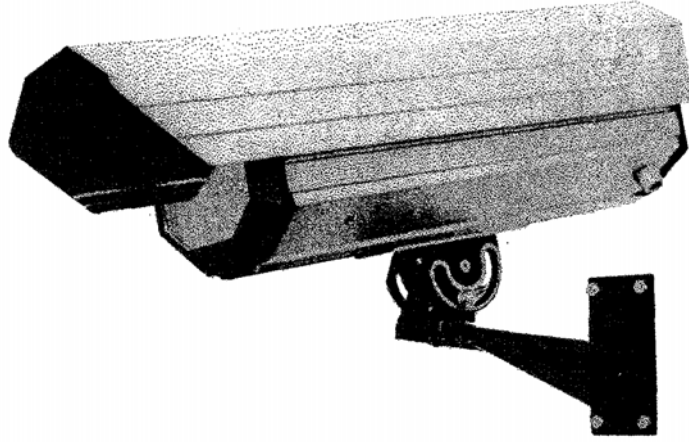
Ölçü aleti (algılayıcı-Şekil 5.11)

- 1) 6 seviyeyi hizmete alıp çıkartan kontrol ve ayar aleti (alman değerleri karşılaştıran merkezi işlemci)
- 2) Bu iki alet arasındaki elektriksel bağılantılar (maksimum 400 m'yi geçmemek

kaydıyla)

3) Toplam kapasitesi $C \leq 40$ nF olan 8x1,5 kablo

Şekil 5. 11 Lüminansmetre Dış Görünüşü



Seçilen eşik değerleri için anahtarlamalar 220 V - 6 A'lık $\cos\phi=1$ olan röle ile yapılır. Devrenin açılması ve gecikmeli devreye girme silinmeyen hafızada programlanır. (ROM) Bundan dolayı bu değerleri her an görebiliriz. LCD ekran (görüntü birimi) çeşitli parametreleri görsel hale çevirir. Eğer yerel durum gerektirirse bu seviyeler değiştirilebilir. Benzer olarak zaman gecikmesi 0 ve 30 dakika arasında 1'er dakikalık kademeler halinde değiştirilebilir.

Bu değişimler kullanılması kolay bir klavye ile gerçekleştirilir. Bu klavye daha çok zaman gecikme değerlerini ve eşik değerlerinin girmek için kullanılır [20].

Elektronik sistemdeki herhangi bir hatada; güç tekrara geldiğinde dış seviyelere göre her bir sistemin kendine özgü zaman gecikmeleri hesaplandığı zaman sistem çalışır.

LCD ekran (görüntü birimi), ölçülen parlaklık seviyeleri gibi eşik ve zaman gecikme değerlerindeki çeşitli parametreleri gösterir. Bir led sistemin çalışma durumunu belirtir.

Giriş bölgesinin parlolu değişimlerinin daima doğru olarak hesaplanması için iç parlolu ölçen ikinci bir lüminansmetre geliştirilmiştir. Bu lüminansmetre eşik bölgesindeki iç parlolu tespit ederek kontrol sistemi yardımıyla, güneşli, bulutlu ve karanlık durumlarda belirlenmiş L_{th}/L_{20} oranında sistem devrelerini açıp kapatarak istenilen iyi bir aydınlatma sağlar.

Elektronik olarak dimerleme yapılmış gece aydınlatmasındaki flouresan için, iç parlolu üçüncü bir lüminansmetre ile ölçülür. Bu lüminansmetre, aydınlatma seviyesini kontrol sistemindeki değiştirilmiş ve dimerlenmiş aydınlatma seviyesine uygun hale getirir.

Bu tünel aydınlatma kontrol sistemi, tünelde uygun sabit bir aydınlatma seviyesi tedarik etmek için tasarlanmıştır. Sistem özellikle dış parlolunun ölçülmesindeki uluslararası tavsiyeleri karşılamak üzere tasarlanmıştır. [22].

Tünel giriş aydınlatması farklı lamba gruplarını devreye alıp çıkartarak çeşitli parlolu seviyeleri elde etmek için oluşturulmuştur.

Herhangi bir zamanda dış parlolu L_{20} ayarlanan değeri aştığı zaman sistem devreye lamba gruplarını alır. Eşik sınırları tünel girişindeki farklı lamba gruplarının toplanmasıyla hesaplanır. CIE tavsiyeleri trafik hızına ve aydınlatma sistemine bağlı uygun bir oran önerir.

Sistemin çalışması basit bir örnekle açıklanacak olursa;

Aşağıdaki şekil bir tam gün için sistemde iç parlolu ile birlikte dış parlolu değişimlerini gösterir. Ek olarak, dış parlolunun iç parloluya oran gösterilir. Orandaki çeşitlilik dış parlolu takip eder fakat daima seçilen sınırın altında tutulur (10). Bazen bir gün boyunca oran, yapay aydınlatmadan dolayı sınırların üstüne çıkabilir.

5.3.1.2 Tünel Aydınlatması Kontrol Sistemi

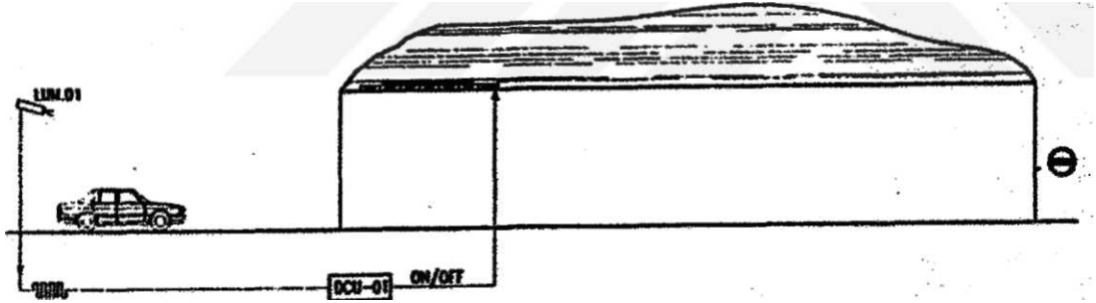
Bu sistem, lüminansmetre (LUM) ve kontrol cihazı (DCU-Digital Central Unit) denilen iki parçadan meydana gelir. (5.3.1.2.1)

Kontrol odasında bulunan kontrol cihazı (DCU-01), lüminansmetreden ölçülen değerleri

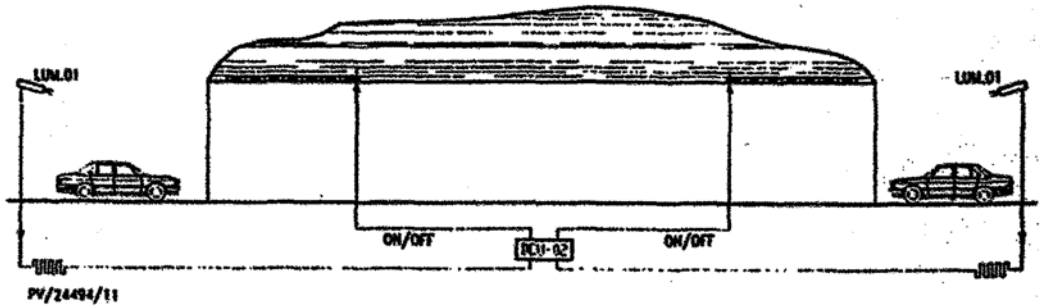
kablo hattı yolu ile alır. (Şekil 5.12)

5.3.1.2.1 Dcu-01 Tek Yönlü Tüneller İçin Eşik Modu

Şekil 5. 12 Dcu-01 Lum-01 Bağlantı Şeması



Şekil 5. 13 Dcu-01 Lum-01 Bağlantı Şeması



Kontrol odasında bulunan tek kontrol cihazı (DCU-01), her bir girişteki lüminansmetrelerden gelen değerleri alır. Her tünel girişi birbirinden bağımsız olarak kontrol edilip aydınlatılır(Şekil 5.13).

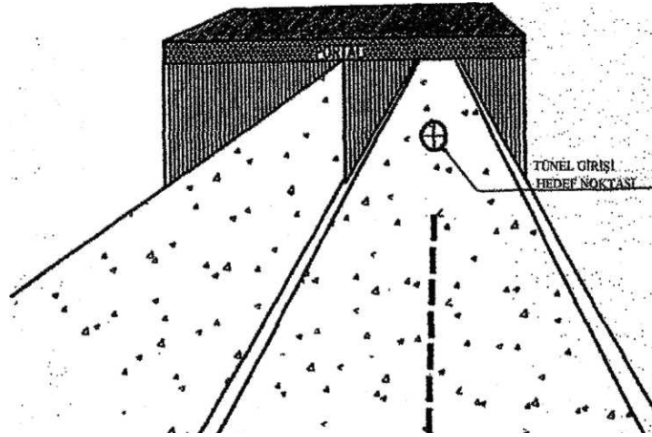
5.3.2 Lüminansmetre Genel Tanımı

Ölçüm cihazı, itip çıkartılabilen özel alaşımlı alüminyum bir kasa içersine monte

edilmiş olup üç hedef açıda ayarlanabilmektedir (site, azimuth, rotation). Cihaz IP 55 koruma sınıfında IEC 529'a uygundur. Lüminansmetre, dış hava koşulları ne olursa olsun ısı kontrol sistemi yardımı ile çalışan parçalardan oluşur[22].

LUM-01 dış parıltı içindir. LUM orta ve yüksek hızlı yollarda girişten durma mesafesi kadar olan alanda (100 m'den 200 m'ye kadar) girişin yanma tünelin dışına monte edilir. Kirlilik ve çevre koşullarından sakınmak amacıyla yerden 4-5 m yükseklikte bırakılır. LUM doğrudan doğruya tünel girişi ve çevreyi hedeflemelidir.

Şekil 5.14 Lüminansmetrenin Tünel Giriş Bölgesine Hedeflenmesi

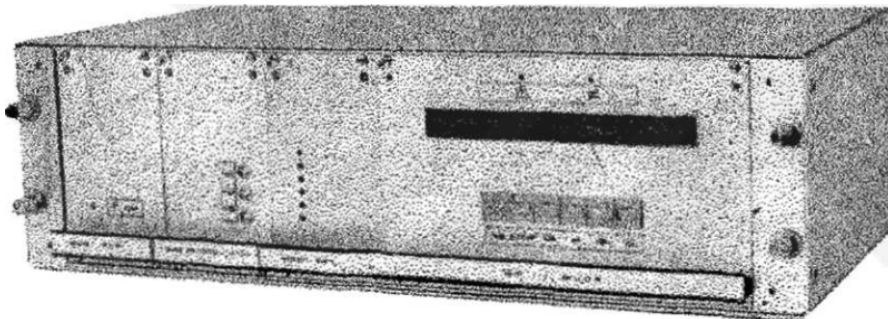


Parıltı sensörü bir göz doğruluğunda büyütülmüş silikon fotodiyottan meydana gelir. Lüminansmetrenin çıkış sinyali iletim için uygun bir değere dönüştürülür. Optik açı IEC 88'e göre 20° dir (Bkz. Ek12).

Lüminansmetrenin kurulum aşamasında; en iyi yerin ve konumun seçilmesine, hedefleme sistemi ile yerinin değiştirilmesine ve sabitlenmesine, hedeflemenin merkez orta delikten görüntü alanının merkezi ile ölçülen alanın merkezinin çakıştırılarak yapılmasına ve aletin kapağının sıkı bir şekilde kapanmasına dikkat edilmelidir (Şekil 5.14)[21,22].

5.3.3 Dijital Merkezi Birim

Şekil 5.15 Dijital Merkezi Birim



Elektronik parçaları 0°C ile $+70^{\circ}\text{C}$ arasında çalışabilir. 0°C 'nin altında hata kontağı aktiftir. Elektronik mikroprosesör tabanlı kontrol birimi (Şekil 5.15), kablo hatları yoluyla ölçüm cihazında ölçülen değerleri alır. Mikroprosesör, hangi aydınlatma durumlarında eşik değerlerinin ölçülüp sistemin çalışacağı ölçülen değerleri karşılaştıran birimlerden ibarettir. Bundan sonra belli bir zaman gecikmesi ile aktif olacak lamba grupları belirlenir ve hizmete sokulur. LCD ekran vasıtasıyla dış parıltı devamlı olarak izlenir.

Kontakların kapanması, dış parıltı değişimindeki geçici ve karmaşık rejimlerden sakınmak amacıyla geciktirilir. Mesela, küçük bir bulut geçişinde lamba gruplarının devreye alınması dış parıltının L_{20} 'nin ayarlanmış değerleri aşmasından kaynaklanır. Dış parıltı L_{20} , ayarlanan değerle aynı duruma geldiğinde ise lamba grupları devre dışı bırakılır.

Devreye almadaki zaman gecikmesi, lambaların devreden çıkarılmasındaki gecikmeden bağımsızdır. Sürücünün emniyetini sağlamak için genel kural lamba gruplarını devreye 10 dakika erken almak, 20 dakika geç çıkarmaktır. Yerel duruma göre hafızadaki zaman gecikmelerinin değerleri değiştirilebilir [21,22].

Her tünel kendine özgü lamba gruplarıyla eşik limitine sahiptir. Bu durum, dizayn edilmiş tünellere uygun ana parametrelerle başlangıçta dijital merkezi birimin-DCU programlanmasının nedenidir.

Çevre koşullarındaki değişim eşik parametrelerinin değişimini gerekli kılar. Programlama modülü bu parametrelerin işlenmesinde önemli rol oynar. LCD ekranda parametreler iki şekilde gösterilir: birincisi doğal değerler, ikincisi ana parametre değerleridir. Ana parametre değerlerinin girilmesi basit bir geri çağırma işlemi ile yapılır.

Ölçülen değerler seçilebilen zaman aralıklarında (1 saniye ile 15 dakika arasında) RS 232'ye gönderilir (Bkz. Ek 13).

5.4 GECE AYDINLATMASI

Aydınlatma tekniği bakımından geceleyin gündüz durumuna göre ters bağıntılar vardır. Zira geceleyin tünel dışındaki parıltı tünel içinden daha küçüktür. Dolayısıyla tünel çıkışındaki "siyah delik" te adaptasyon sorunu söz konusu değildir. Gündüz tünelin giriş bölgesinde gerekli olan yüksek aydınlık düzeyine de gece gerek yoktur.

Gece aydınlatmasında dikkate alınacak hususlar CIE tarafından şöylece sıralanmaktadır:

- a) Tünel aydınlatılmış bir yol üzerindeyse, tünel içersindeki aydınlatmanın en az dışarıdaki yol aydınlık düzeyinde ve düzgünlüğünde olması gerekir.
- b) Şayet tünel aydınlatılmamış bir yol üzerindeyse, tünel içersinde ortalama 1 cd/m^2 'lik bir parıltı seviyesinin ve $L_{\min}/L_{\text{ort}} = 0,4$ değerinde ortalama düzgünlük ile $L_{\min}/L_{\max} = 0,6$ değerinde her bir şerit için boyuna düzgünlüğün sağlanması gerekir.
- c) Tünel çıkışından itibaren, hız sınırlaması dikkate alınmak suretiyle, en az 5 saniyelik gidiş mesafesi boyunca yol aydınlatması yapılarak bir geçiş bölgesi oluşturulmalıdır. Tünel içersindeki parıltı düzeyinin dıştaki yol parıltı düzeyine oran $3/1$ den daha az olmamalıdır.
- d) Tünelin girişinde ve/veya çıkışında gün ışığı ekranları varsa, gece aydınlatması bu ekranların altında başlayacak ve son bulacaktır.

Şekil 5.16 Tünel Gece Aydınlatması



5.5 ACİL DURUM AYDINLATMASI

Şehir şebeke geriliminin kesilmesi halinde devreye otomatik olarak girecek ve aydınlatma sisteminin en azından bir kısmının çalışır durumda kalmasını sağlayacak bir acil enerji sistemi olması zorunludur. Bu sistem en azından gece yapılan aydınlatma seviyesini sağlayabilmelidir.

Güç kesintisi olduğu anda öncelikle tünele yaklaşan sürücülerini uyarmak için 10-30 m önce bir işaret bulunmalı ve tünel içinde süratın azaltılması gerektiği belirtilmelidir. İşaret, ışıklı levha (enerjized legend) şeklinde olmalı ve sadece enerji kesintisi halinde mesaj iletilmelidir [4].

Enerji kesilmesi anında tünel içersindeki sürücülerin içgüdüsel olarak ani fren yapmaları ve bunun sonucunda da pek çok kazaya sebebiyet vermeleri kuvvetle muhtemeldir. Bunun önüne geçmek için yedek aydınlatma sisteminin çok kısa bir süre içersinde (yaran saniyeden daha az) devreye girmesi gerekir. Bunun için akü bataryası ve diesel-jeneratör grubu oluşturulmalıdır. Enerjinin kesilmesi halinde öncelikle akü bataryası devreye girer. Yedek aydınlatma tesisatı her on aygıttan birini bir akü bataryası üzerinden besleyebilecek şekilde olmalıdır. Eğer şehir şebekesi geriliminin kesilmesi yarım saatten fazla sürerse o zaman tünel aydınlatması bir diesel-jeneratör grubu tarafından sağlanmalıdır. Yedek aydınlatma gücü en çok toplam gücün %25'i mertebesinde alınabilir [7].

5.6 SİSTEMİN BAKIMI

Aydınlatma sisteminin bakımı, lambaların değiştirilmesi, amatörlerin ve tünel duvarlarının temizlenmesi ile elektrik devreleriyle ilgili muhtelif bakımları içerir.

5.6.1 Lambaların Değiştirilmesi

Işık kaynaklarının verdiği akılar zamanla azalır. Lambaların optimum değişim

periyodunun belirlenmesi için akıldaki değişimin üretici firmaların incelemeleri sonucunda belirlenmesi gerekir. Kullanılan lambaların ömrü ve lümen aşınmaları dikkate alınarak tespit edilecek zaman periyotlarında sistematik olarak lamba gruplarının değiştirilmesi gereklidir.

5.6.2 Armatürlerin Ve Tünel Duvarlarının Temizlenmesi

Armatürlerin de periyodik olarak temizlenmesi zorunludur. Aksi takdirde ışık akısı büyük ölçüde azalır.

Kapalı bir hacim olan tünellerde araçları sebep olduğu aşın gürültü ve yankılanmanın önüne geçmek için ses yutucu malzemeden yapılmış tavanların kullanılması zorunludur. Ses yutucu malzeme kiri de çok çabuk yuttuğundan tavanlar kısa zamanda koyu renk olur, armatürler kirlenir. Özellikle diesel kamyonların ve diğer yaydıkları egzoz gazları da bu kirliliği arttırır. Toz ve egzoz gazlarının mümkün olduğu kadar çabuk giderilmesi için tünelin iyi havalandırılması şarttır. Tünellerde kullanılan armatürlerin toza ve tazyikli suya karşı sızdırmaz olması önemlidir. Bu durumda başlangıçtaki ışık akısını muhafaza etmek için armatür camlarının tazyikli suyla belli periyotlarda temizlenmesi gerekir.

Kirlenen tünel duvarları da görme yeteneğini olumsuz yönde etkiler. Zira kirli tabaka ışığı büyük ölçüde yuttuğu gibi kontrastı da düşürür. Bundan dolayı duvarların ışığı yansıtma oranını ve kontrastı (görülebilirliği) arttırmak için tünel duvarlarının temizlenmesi zorunludur.

5.6.3 Kontrol Fotometrelerinin Bakımı

Tünel içindeki parlaklıklarını kontrol etmek için yaklaşma ve eşik bölgelerinde kullanılan fotometrelerin (fotopiller, parlaklık ölçerler vb.) periyodik kontrolleri de son derece önemlidir. Bunların kalibrasyonları (ayarlanması) yılda en az bir defa laboratuvar ortamında gerçekleştirilmelidir.

Tablo 5.8 Tünellerde bakım öncesi ve bakım sonrası aydınlık şiddeti ölçümü

SEKA TÜNELİ	İSTANBUL İSTİKAMETİ		ANKARA İSTİKAMETİ	
ÖLÇÜM TARİHİ	21.02.2013 (Temiz)	22.05.2013 (Kirli)	21.02.2013 (Temiz)	22.05.2013 (Kirli)
GİRİŞ BÖLÜMÜ AYD. ŞİDDETİ (LUX)	380	240	400	240

ORTA BÖLÜM AYD. ŞİDDETİ (LUX)	240	150	260	155
ÇIKIŞ BÖLÜMÜ AYD. ŞİDDETİ (LUX)	140	100	160	120

DERİNCE TÜNELİ	İSTANBUL İSTİKAMETİ		ANKARA İSTİKAMETİ	
ÖLÇÜM TARİHİ	21.02.2013 (Temiz)	22.05.2013 (Kirli)	21.02.2013 (Temiz)	22.05.2013 (Kirli)
GİRİŞ BÖLÜMÜ AYD. ŞİDDETİ (LUX)	280	200	300	200
ORTA BÖLÜM AYD. ŞİDDETİ (LUX)	160	110	200	150
ÇIKIŞ BÖLÜMÜ AYD. ŞİDDETİ (LUX)	110	80	130	100

İşletmesi ve Bakımı Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan Seka Tüneli ve Derince Tüneliyle ilgili yapılan bakım çalışmalarında yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere tüneldeki egzost dumanının yanı sıra kış aylarındaki yağmur çamurun da etkisiyle aydınlatma şiddetinde % 40 'lık bir azalma görülmektedir. Bu verilere istinaden temizlik amacıyla 3 ayda bir basınçlı ve sıcak su ile temizlikle beraber her armatürün tek tek iç ve dışının açılıp temizliğinin yapılması gerekmektedir.

EAE Aydınlatma firması tarafından yapılan testlerde Yüksek basınçlı soydum buharlı projektörün aydınlatma şiddetinde 10.000 saat çalışmadan sonra % 20 lik bir kayıp söz konusu olduğu görülmektedir. Ampüllerin değişimi ve kontrolü yapılırken bu bilgi de göz önünde bulundurulmalıdır.

BÖLÜM 6 TÜNEL AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Adaptasyon parlıtısı, cismin boyutu, yaş, gözlem süresi gibi parametrelerin de etkilediği " görülebilirlik", esas olarak cisim ile arka fonu arasındaki parlıtı kontrastına bağlıdır. Bu parlıtı kontrastı duvar, yol yüzeyi, cismin yansıtma özelliklerine ve tünelde uygulanan aydınlatma sistemine bağlı olarak değişir. Yüksek parlıtı kontrastı ya aydınlık fon üzerindeki karanlık bir cisim ile (negatif kontrast), ya da karanlık fon üzerindeki aydınlık bir cisim ile (pozitif kontrast) elde edilir.

Şu anda tünellerde uygulanan aydınlatma sistemleri üç ayrı grupta toplanabilir. Aydınlatma sistemleri $q_k = L/Ed$ formülü ile verilen kontrast faktörü ile karakterize edilebilmektedir. Bu formülde L yol yüzeyinin parlıtısı, Ed ise yol yüzeyinden 0,2 m yükseklikteki düşey aydınlık düzeyidir. Aşağıda sıralanan bu sistemlerin özellikleri kullanılan aydınlatma armatürlerinin ışık dağılım eğrilerine bağlıdır[21,23].

6.1 SİMETRİK AYDINLATMA

Cisim üzerine ışınların hem trafik hem de sürücü doğrultusunda eşit olarak düştüğü aydınlatma sistemidir. Kullanılan armatürlerin $C_{90^\circ - 270^\circ}$ düzlemindeki ışık dağılım eğrileri simetriktir. Bu sistemin kontrast faktörü $q_k \leq 0,2$, cismin kontrastı ise konumuna bağlı olarak pozitif veya negatiftir (Bkz. Ek 14).

6.2 ZIT YÖNLÜ (IŞINLI) (COUNTER-BEAM) AYDINLATMA

Armatürlerden çıkan ışığın büyük bölümü trafiğe zıt yönde sürücüye doğru yönlenmektedir. Kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri $C_{90^\circ - 270^\circ}$ düzleminde asimetric ve maksimum ışık şiddeti (I_{max}) trafiğe zıt doğrultudadır. Sistemin kontrast faktörü $q_k < 0,6$, cismin kontrastı negatiftir (Bkz. Ek 15).

6.3 EŞ YÖNLÜ (PRO-BEAM) AYDINLATMA

Cismin üzerine düşen ışık trafik ile aynı doğrultudan -. Bkz.Ek16. $C_{90^\circ - 270^\circ}$ düzleminde ışık dağılım eğrisi asimetric olan armatürlerle gerçekleştirilir. Yeni bir sistem olan eş yönlü aydınlatmama kontrast faktörü hakkında önerilerde belli bir değere

rastlanmamaktadır.

6.4 SİMETRİK, ZIT IŞINLI VE EŞ YÖNLÜ SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Üç tünel aydınlatma sistemi: simetrik, zıt ışınli (CBL) ve eş yönlü (PBL) aydınlatma ortak terimler ışığında avantajlarının ve dezavantajlarının belirlenmesi için aynı geometriksel ve aynı hava şartlarında karşılaşılmışlardır.

Eş yönlü aydınlatma (PBL), diğer iki sistemin üzerinde hiçbir avantaja sahip değildir ve tünel duvarlarının ve yol yüzeylerinin ışıkla birleştirilmesinde kullanılması gerekir. Simetrik aydınlatma, devamlı bir hat üzerinde monte edilen ışık kaynakları kullanılacağı zaman iyi bir görsel rehberlik sağlamak için, zıt ışınli aydınlatma (CBL) ise kabul edilebilir bir kamaşma seviyesi ve iyi bir kontrast performansı sağlamak amacıyla geliştirilmiştir[21].

Tünel aydınlatmasında esas problem, emniyetli durma mesafesinden daha uzun giriş bölgesinin incelenmesidir.

Eşik bölgesindeki gerekli parıltı seviyesi olan L_{th} 'nin yaklaşma bölgesi parıltısı olan L_{20} ile aralarındaki bağıntı, tünel ağzından emniyetli durma mesafesine eşit bir mesafede, $k = L_{th} / L_{20}$ ye bağılı olarak tanımlanmıştır. L_{th} , eşik bölgesi parıltısı, L_{20} tünelin merkezi ile ölçülen alanın merkezinde trafik yönünde yaklaşma bölgesinde 20° 'lik alan içinde ölçülen parıltı değerleridir. Bununla beraber, farklı tavsiyelerin incelenmesiyle görülmüştür ki; oran belirli standartlar arasında ve hatta aynı tavsiyeler ışığında büyük sapmalar gösterir. (Havaya bağılı olarak zıt ışınli aydınlatma ile birlikte simetrik veya asimetric sistemlerin kullanılması)

Mesela, CIE'nin tavsiye ettiği değerler (No: 88) zıt ışınli aydınlatma (CBL) için simetrik yayılmış bir sistemden daha düşüktür.

Farklı standartlarda bu kadar çok farklılığın nasıl meydana geldiği elbette bir sorun oluşturmuştur. Eğer tünel kullanımında ise, akan trafikteki zorluklar ve tehlikeler deney

ve gözlemleri neredeyse imkansız hale getirir. Testler çoğunlukla tünel trafiğe açılmadan yapılır, fakat bu söz konusu edilemez. Çünkü eldeki zaman çok kısadır. Pek çok deney ve gözlem trafikten korunmak için gece yapılır fakat bu durum bir gün boyunca meydana gelen ışık değişimi erindeki verimli sonucu vermez. Deney ve gözlemlerin, bir gün boyunca farklı hava durumlarında, yerinizi değiştirmeden yapılması için uzun bir zaman aynı yerde kalmak çok güçtür. Bundan dolayı, hesaplardaki farklı durumları almak için laboratuvar şartlarındaki deney ve gözlemlerin verilerinden bazı sonuçları çıkarmak gerekir[23].

Mesela, zıt ışıklı aydınlatma (CBL) için 0,6'dan büyük kontrast kalite faktörü CIE 88'de L_t/E_v oram olarak bahsedilir. Burada L_t , yol parıltısı, E_v geceleyin tünel içinde tamamen gerçekleştirilen engelin aydınlık düzeyidir.

Bir gün boyunca bu faktör 0,6'dan daha düşük olabilir ve hatta tünelin ilk 40 m' sinde 0,4 gibi düzensiz bir duruma gelebilir. Bu kişiden kişiye değişir çünkü tünel girişinde tespit edilen gün ışığı durumlarının teorik olarak baz alınmasıyla meydana gelmiştir. Değerler, geceleyin yürütülen ölçümler baz alınarak kontrast kalite faktörü için ileri değerlere çıkarılmıştır.

6.4.1 Gözlem Durumları

1975 yılında dimim tavan merkezli devamlı hat olarak simetrik sistemle aydınlatılan otoyollardan ibaretti. İkincisi asimetrik sistem yani asıl olarak zıt ışıklı aydınlatma (CBL) eşik bölgesi için planlanmıştı. Bu iki çeşit aydınlatma alternatif olarak kullanılabilirdi.

1990 yılında, zıt ışıklı aydınlatma akı yönünü yaklaştırmakta olan trafik yönüne doğru, 180° çevirerek asimetrik aydınlatmaya geçildi.

Testlerin amacı, aynı geometriksel ve aynı hava şartlarında üç aydınlatma sistemini karşılaştırmaktı ve bundan dolayı geçerli olan özellikle $k = L_{th}/L_{20}$ oranının farklı seçimlerinde geçerli çıkan üç sistemi sınırlayarak avantajlarını ve dezavantajlarını

ortaya koymaktı.

6.4.2 Gözlem Kurulumları

6.4.2.1 Simetrik Ve Asimetrik Sistemlerin Genel Unsurları

Deneylerin geometrisi sırasıyla;

- a) Otoyol tüneli 2 tek yönlü
- b) Üç trafik şeridi her biri 3,75 m Toplam genişlik 14,25 m
- c) Tavan yüksekliği 5,50 m
- d) Tünel uzunluğu 467 m
- e) Trafik hızı 120 km/h

Yönelme güneyden kuzeye doğrudur. Deney ve gözlemler 4500 cd/m²'hk parlıtya sahip (L20) açık bir çevrede yürütölmüştür.

Tablo 6.1 Üç sistem İçin Gece Ölçölen Aydınlık Seviyeleri [20]

	YATAY AYDINLIK DÜZEYİ(lux)	YOLUN PARILTISI (cd/m ²)	DİKEY AYDINLIK DÜZEYİ(lux)	DUVAR PARILTISI (cd/m ²)	L1/Ev
	SİMETRİK AYDINLATMA				
GÜNEŞLİ	5700	400	2400	510	0,15
	ZİT İŞİNLI AYDINLATMA				
GÜNEŞLİ	4900	400	590	510	0,68
	EŞ YÖNLÜ AYDINLATMA				
GÜNEŞLİ	3900	380	3400	395	0,11

Tünel yol yüzeyi enine bir buruşmuş beton, hafif ve yüksek bir yayılmayla SI= 0,16 q₀=0,l'dir. Tünel duvar yüzeylerinin yansıtma katsayısı p=0,7'dir. Geri kalan tünel duvar yüzeylerinin yansıtma katsayısı açık tonlu renkli beton ile p=0,5'dir.

6.4.2.1.1 Simetrik Aydınlatma Sistemi

Simetrik aydınlatma sistemi 1977 yılında geliştirilmiştir. Aydınlatma sistemi tavana iki devamlı hat şeklinde monte edilmiştir. Alçak basınçlı sodyum buharlı 131 W lambalar güneşli durumlar için, flouresan lambalar karanlık ve gece seviyesi içindir.

6.4.2.1.2 Asimetrik Aydınlatma Sistemleri

Simetrik aydınlatma sistemine ek olarak, asimetrik olarak yayılan 4 ışık hattı mevcut olan kenarlara monte edilmiştir. İlk iki yıl için bu ışık kaynakları akan trafiğe doğru yönlendirilmiştir, (zat ışıklı aydınlatma,CBL) 1990 yılında trafik akış yönünün parlıtısının artırılması için birimler 180° açıyla döndürülmüştür[21].

Bu sistem eş yönlü aydınlatma (PBL) olarak isimlendirilmiştir. Aydınlatma tertibatı yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla HPS 400 W'lık ışık kaynaklarıyla donatılmıştır. Tablo 6.1 eşik bölgesindeki ışıkların düzenlenmesiyle üç sistem için gece durumundaki ölçüm seviyelerini göstermektedir. Şekil 6.1 ise üç sistem için kutupsal diyagramları I cd'yi gösterir.

Şekil 6.1 Üç Sistemin Icd Kutupsal Diyagramları



Eğer L_b arka planın parlıtısı ise, genel olarak yolun parlıtısı olarak L_r kullanılır ve L_0 engelin parlıtısıdır. Asıl parlıtı kontrastı C_{int} ;

$$C_{int} = \frac{(L_0 - L_r)}{L_r} \quad (6.1)$$

Bu asıl kontrast, engelden kısa bir mesafe uzakta, çeşitli parlıtların karışmasını maskeleyen parlıtı L_y , atmosfer parlıtı L_{atm} veya ön cam (wind-screen) parlıtı L_{wind} gibi parlıtları hesaba katmaksızın tanımlanır.

Hava şartlarına bağlı olan L_0 engel parlıtı, yol parlıtısından L_T daha büyük veya daha küçüktür, asıl kontrast pozitif (0 ile + bir değer arasında) veya negatif (-1 ile 0 arasında) bir değerde olacaktır.

Asıl kontrast'ın tam değeri kesin değerden daha küçüktür. Eşik kontrastı C_{th} 'dir.

$$|C_{th}| = 0,2 \quad (6.2)$$

Eğer basit bir varsayım yapılırsa, engelin mükemmel bir yansıtıcı olduğu ihtimalinde denklem;

$$C_{int} = \frac{\rho \cdot E_v}{\pi \cdot L_r} - 1 \quad (6.3)$$

E_v , engelin düşey aydınlık düzeyi ve ρ engelin yansıtma katsayısıdır.

$$- C_{th} < C_{int} < C_{th} \quad (6.4)$$

olduğu zaman engel görülemez.

6.2 ve 6.4 numaralı denklemlerden, ρ yansıtma katsayısının aşağıdaki sınırlar arasında olması durumunda engelin görülemeyeceği sonucunu çıkarabiliriz.

$$\frac{\pi \cdot L_r}{E_v} (1 - C_{th}) < \rho < \frac{\pi \cdot L_r}{E_v} (1 + C_{th}) \quad (6.5)$$

3 fotometrik yayılmayı (simetrik, zıt ışınlı ve eş yönlü) hesaba katarak, Wevelgem tüneli için L_t/E_v oranlarını verebiliriz.

$$\text{Simetrik yayılma } L_t/E_v = 0,15 \quad (6.6.1)$$

$$\text{Zıt ışınlı yayılma } L_t/E_v \geq 0,68 \quad (6.6.2)$$

$$\text{Eş yönlü yayılma } L_t/E_v = 0,11 \quad (6.6.3)$$

6.4.3.1 Simetrik Aydınlatma Sistemi

6.2, 6.5 ve 6.6.1 nolu denklemlerden, 0,38 ve 0,56 arasında olan yansıtma katsayısına (ρ) sahip engelin ası kontrastının (C_{int}), eşik bölgesi kontrastından (C_{th}) daha düşük olacağı sonucuna varılır.

6.4.3.2 Zıt Işınlı Aydınlatma (CBL) Sistemi

6.3 ve 6.2 nolu denklemlerden, herhangi bir engelin yansıtma katsayısının (ρ), asıl kontrastı C_{int} daima negatif ve eşik bölgesi (C_{th}) kontrastından daha büyük olması gerektiği sonucuna varılır[21].

6.4.3.3 Eş Yönlü Aydınlatma (PBL) Sistemi

6.2, 6.5 ve 6.6.3 nolu denklemlerden 0,25 ve 0,38 arasında olan engelin yansıtma katsayısının asıl kontrastının (C_{int}) eşik kontrastından (C_{th}) daha az olacağı sonucuna varılmıştır.

6.4.4 Geceleyin Engelin Görülebilmesi

Kontrastın algılanmasında ilk sonuçların doğrulanması pratik olarak geceleyin yerine getirilir. 3 adet 20 x 20 cm ebatlarında her biri farklı yansıtma katsayısına sahip ($\rho=0,16-0,36-0,75$) engel otoyola yerleştirilir. Yolun parıltı değeri (L_T) ve engelin parıltı değeri (L_0) her engel için ölçülmüştür.

6.4.4.1 Gözlem 1: Simetrik Aydınlatma Sistemi

Bu gözlem için $L_r = 400 \text{ cd/m}^2$ (geceleyin)

1. engel için $\rho=0,75$ $L_0=580 \text{ cd/m}^2$ $C=+0,45$

2. engel için $\rho=0,36$ $L_0=380 \text{ cd/m}^2$ $C=-0,45$

3. engel için $\rho=0,16$ $L_0=270 \text{ cd/m}^2$ $C=-0,32$

Bu test 0,36 yansıtma katsayısına sahip olan 2. Engelin görülemeyeceğini doğrulamıştır

6.4.4.2 Gözlem 2: Zıt Işınlı Aydınlatma Sistemi

Bu gözlem için $L_r=400 \text{ cd/m}^2$ (geceleyin)

3. engel için $\rho=0,16$ $L_0 =90 \text{ cd/m}^2$ $C= -0,77$

2. engel için $\rho=0,36$ $L_0=170 \text{ cd/m}^2$ $C= -0,57$

1. engel için $p=0,75$ $L_0=260$ cd/m^2 $C=-0,35$

Bu test için üç engelin de negatif kontrastta görülebilir olduğu doğrulanmıştır.

6.4.4.3 Gözlem 3: Eş Yönlü Aydınlatma Sistemi

Bu gözlem için $L_T=380$ cd/m^2 (geceleyin)

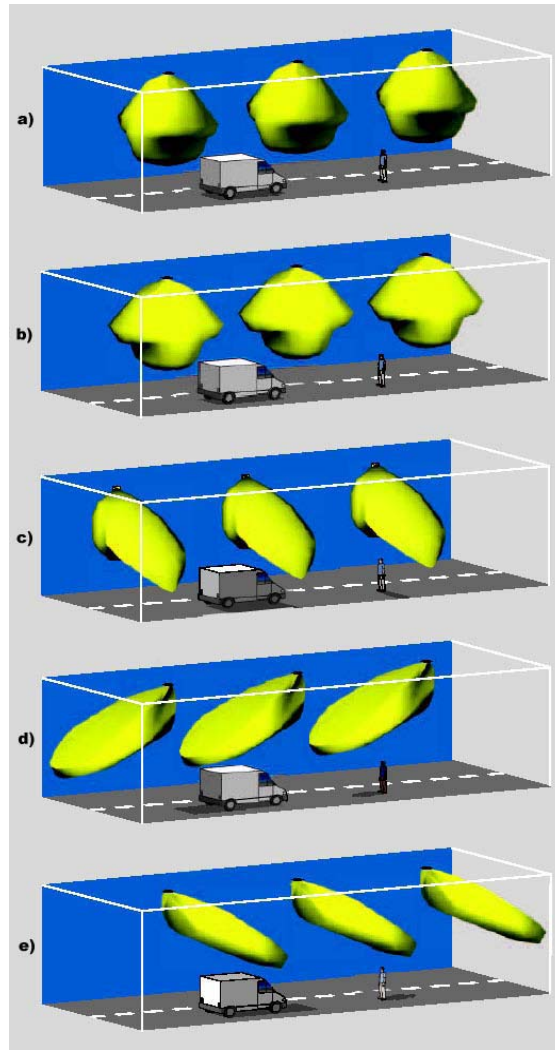
1. engel için $p=0,75$ $L_0=618$ cd/m^2 $C=+0,63$

2. engel için $p=0,36$ $L_0=400$ cd/m^2 $C=+0,05$

3. engel için $p=0,16$ $L_0=228$ cd/m^2 $C=-0,4$

Bu test 0,36 yansıtma katsayısına sahip 2. engelin görülemeyeceğini gösterilmektedir.

Şekil 6.2 a) Enine, b) Boyuna, c) Duvar Montajlı Asimetrik d) Zıt Yönlü e) Eş Yönlü Aydınlatma Sistemlerinden Görüntüler



6.4.5 Engelin Gün Işığında Görülebilmesi

Test ortamları, tünelin ağzına yaklaşan sürücünün gerçek konumuna uygun olarak seçilmiştir ve emniyetli durma mesafesine uygun olarak yoldaki engelin algılanışına etki etmelidir.

Aydınlatma sistemlerinden her birinin üçlü seri ölçümleri ve gözlemleri engelden 60 m, engelden 160 m ve tünel girişinden 160 m mesafede yapılmaktadır.

Üç hedef eşik bölgesinde tünel girişinden 70 m içeriye doğru birbirini izleyerek hareket ettirilir. Seri ölçümler (L_t , L_0 , E_v , L_{20} ve L_{atm}) 100000 lx'lük, $L_{20} = 4500$ cd/m²'lik ve $L_{seq} = 4500$ cd/m²'lik tünel yaklaşma bölgesinde yatay aydınlık düzeyinde elverişli hava durumlarında (güneşli veya çok güneşli) yürütülmüştür[21].

6.4.5.1 Atmosfer Parıltısı

Padmos, tünel yaklaşma bölgesinde tünel ağzından d mesafesi kadar uzunluktaki atmosfer parıltısının (L_{atm}) günün en az % 85'inde $L_{atm} = 0,00152$.d. L_{20} olduğunu gözlemiştir. Bu bize aşağıdaki formül değerini verir:

$$C = \frac{(L_0 + L_{atm}) - (L_r + L_{atm})}{L_r + L_{atm}} \quad (6.7)$$

1 numaralı denklemden 7 numaralı denkleme kadar olan kısımlardan çıkan sonuç şudur:

$$C = C_{int} = \frac{L_r}{L_r + L_{atm}} \quad (6.8)$$

Atmosfer parıltısı, asıl kontrastın işaretini değiştirmeden azaltılır. Padmos'un formülünden tünel ağzından 160 m mesafe ve $L_{20} = 4500$ cd/m² için $L_{atm} = 1000$ cd/m²

olarak ölçülmüştür. Tünel ağzından 160 m mesafede $L_{atm} = 1000 \text{ cd/m}^2$ ölçülmüştür. Eşik bölgesindeki 400 cd/m^2 'lik L_T değeri için C kontrastı asıl kontrastın (C_{int})'in % 60'ı kadar azaltılır.

6.4.5.2 Tünel Giriş Bölgesinde Gön Işığının Avantajı

Önemli olan şey L_r/E_y oranının değerini değiştirmesidir. Sabah saat 02:00'da, harici aydınlık düzeyi 950001 lux ve $L_{20} = 5000 \text{ cd/m}^2$, tünel ağzındaki düşey aydınlık düzeyi 50000 lux , tünelden 20 m içerde 1900 lux , 50 m içerde 540 lux , 70 m içerde 190 lux 'tür. 6.3 ve 6.8 numaralı denklemlerden aşağıdaki sonuç türetilir:

$$C = \left(\frac{\rho \times E_y}{\pi \times L_r} - 1 \right) \cdot \frac{L_r}{L_r + L_{atm}} \quad (6.9)$$

Geceleyin negatif asıl kontrasta sahip olan bir engel pozitif kontrast alabilir veya eşik bölgesinin altında bir kontrasta sahip olabilir.

6.4.5.3 Eşik Bölgesinde Görülebilir Duvar Aydınlatmasının Etkisi

Wevelgem tünel duvarlarının $p=0,7$ yansıtma katsayısına sahip parlak, yansıtıcı seramik ile ilk 50 metresi kaplanmış ve tünel iç duvarları $p=0,5$ yansıtma katsayısına sahip parlak çimento ile sıvanmıştır. Özellikle zıt ışınli aydınlatmada (CBL) engellerin düşey aydınlık düzeylerinin mümkün olduğunca düşük olması gerekir.

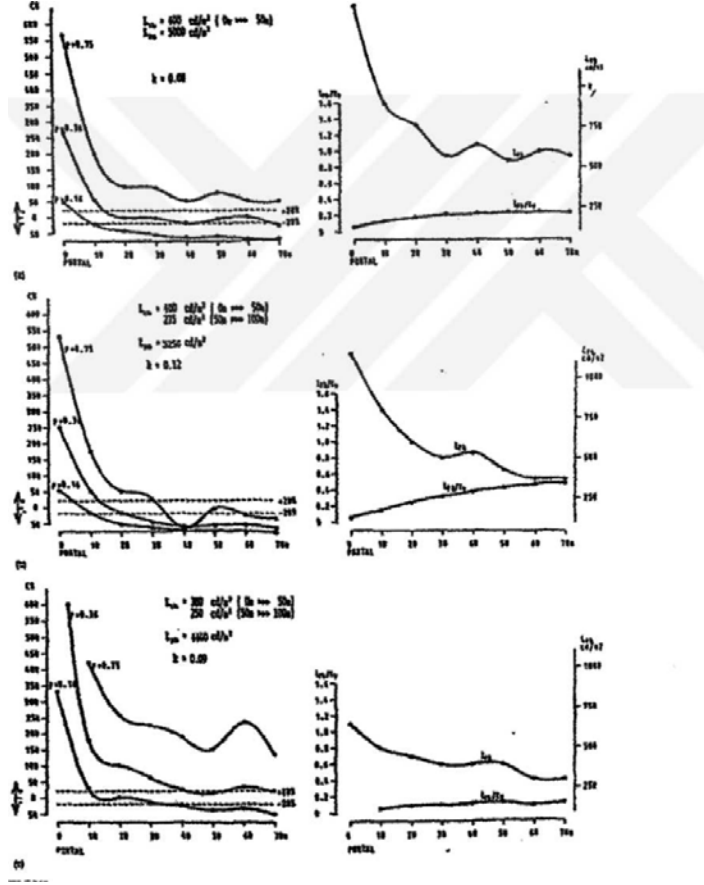
6.4.6. Gözlemlerin Sonuçları

Burada, simetrik aydınlatmada engelden 60 m mesafedeki ölçümler verilmiştir. Sonuçlardaki farklılıklar ölçümlerdeki simetrik aydınlatmadan eş yönlü aydınlatmaya kadar olan seri ölçümlerdeki L_{atm} parıltısının artmasından dolayıdır.

Şekil 6.5a, 6.5b, 6.5c sırasıyla simetrik aydınlatma (6.5a), zıt ışınli aydınlatma (6.5b), eş yönlü aydınlatma (6.5c)'yi gösterir.

Üç sistem için tünel girişinde 1000 cd/m^2 den daha ve 70 m'de daima 400 cd/m^2 den daha büyüktür, (geceleyin bütün sistemlerde $L_r=400 \text{ cd/m}^2$ 'dir.

**Şekil 6. 3 Engellerin Gün Boyunca Görülebilirlik Ölçüm Sonuçları
(Simetrik, Zıt Işnılı, Eş Yönlü)**



Simetrik sistem için, L_t/E_v oranı 0,1 ve 0,2 arasında nispeten sabit kalır, (geceleyin $L_t/E_v = 0,2$ dir); zıt ışnılı aydınlatma için L/E_v oram 0,1 ile 0,45 arasında değişim gösterir. Geceleyin 0,6 oranına ulaşamaz, eş yönlü aydınlatma için ise L_T/E_v oram 0,05 ile 0,1 arasında sabit kalır, (geceleyin $L_t/E_v = 0,1$ dir)

Simetrik sistem için, C kontrastı yaklaşık 5 m'de pozitifdir ve engelin yansıtma katsayısı $p = 0,75$ pozitif kalır. $p = 0,36$ yansıtma katsayılı engel 15 m'de görülemeyecektir ve 70 m'ye kadar bu durum sürecektir. $p = 0,16$ yansıtma katsayısına sahip engel 5 m'den 10 m'ye kadar görülmez fakat 15 m'den sonra negatif kontrastla görülebilir.

Zıt ışınli aydınlatma için $p=0,75$ yansıtma katsayısına sahip engel 0'dan 30 m'ye kadar pozitif kontrasta sahiptir. 30 ile 40 m arasında görünmez olacak 40 m'den sonra negatif kontrasta geçecektir[21].

$p=0,36$ yansıtma katsayısına sahip engelin kontrastı 12 m'den sonra eşik bölgesinin altında pozitif durumdan, 22 m'de negatif kontrasta geçerek görülebilir hale gelir.

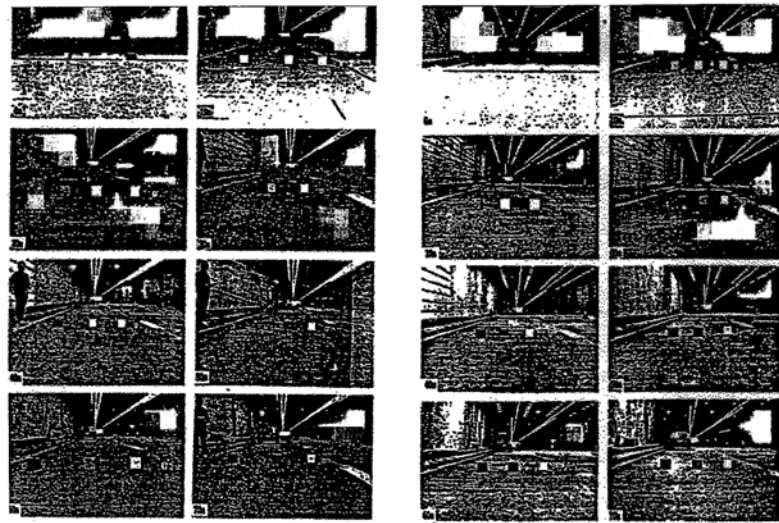
$p=0,16$ yansıtma katsayısına sahip engel 5 m görünmez, 10 m'de negatif kontrast ile görülebilir hale gelecektir.

Eş yönlü aydınlatma için, tünel ağzından 70 m mesafede üç hedefin kontrast değerleri simetrik sistemle benzerdir.

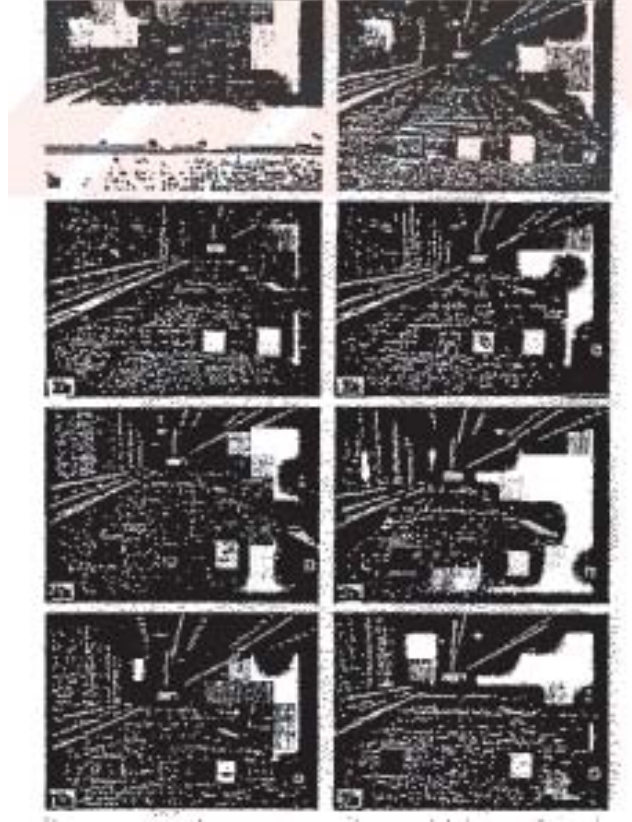
$p=0,36$ yansıtma katsayısına sahip engel genellikle görülemez veya eşik bölgesi kontrastının sınırındadır.

Şekil 6.6a, 6.6b, 6.6c, üç sistem için değişik varyasyonları göstermektedir. Bununla beraber, fotoğraflar 5 m gibi kısa bir mesafeden çekilmiştir. Üç hedefin bu kontrast ölçümlerinden biri 0,75 ile 0,16 arasında yansıtma katsayısına sahip engel için kontrast değerlerinin ara değerlerini bulabilir ve tünel girişinden 70 m ilerde $0,16 < p < 0,75$ yansıtma katsayısına sahip engel için görülmez bölgede $|C| \leq 2$ izlenebilir.

Şekil 6.4 Tünel Girişinden 70 m mesafeye Yerleştirilen Engelin Üç sistemdeki Görüntüsü



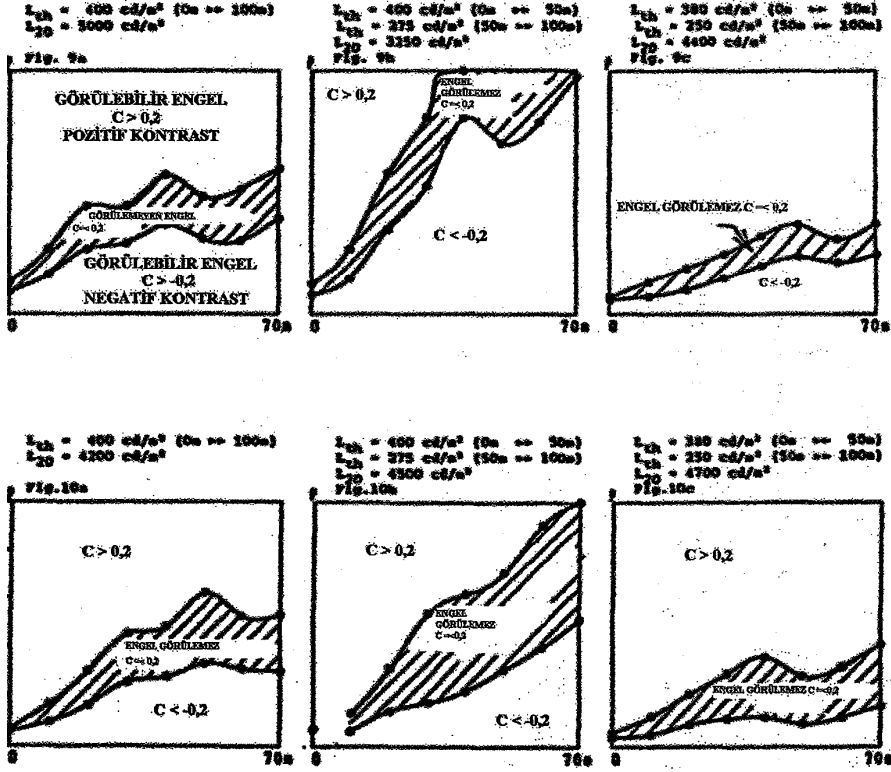
Şekil 6.5 Engelin Tünel Girişinden Görünürlüğü



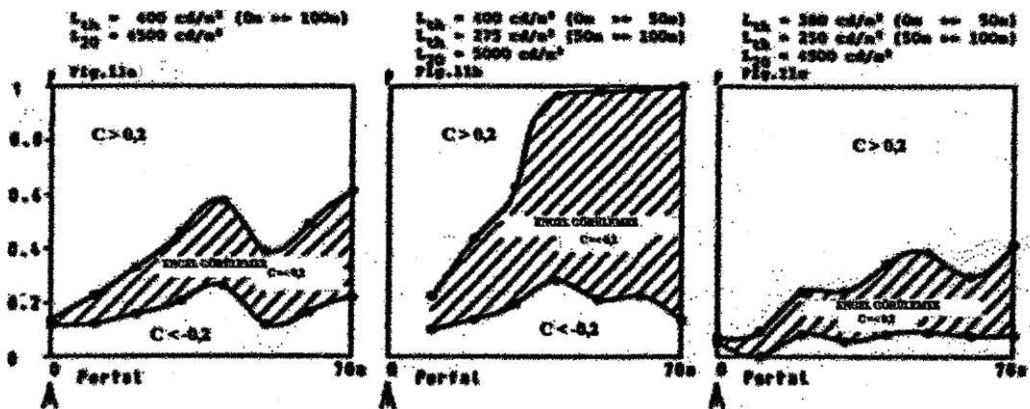
Şekil 6.5 tünel girişinden 70 m içerde, engelden 60 m mesafede kontrasta ölçülen üç sistemin görülmez bölgelerini gösterir. Simetrik sistem için (Şekil 6.7a), 0,3 ile 0,5 arasında p yansıtma katsayısına sahip engel kritik ve asla görülemeyecektir. Zıt ışınli aydınlatma için (Şekil 6.7b), $p > 0,7$ yansıtma katsayısına sahip aynı engel de görülemeyecektir. Eş yönlü aydınlatma için (Şekil 6.7c), 0,15 ile 0,35 arasında yansıtma katsayısına sahip koyu renk engel tehlikeli ve asla görülemez.

Şekil 6.8 görünen mesafeleri örneklerle açıklamaktadır. Çünkü atmosfer parıltısı L_{atm} mesafe ile birlikte artar. Görülemez bölgeler mesafeyle orantılı olarak daha büyük olur. Bu durum, daha önceki sonuçlardaki atmosfer parıltısının kontrastı azalttığım doğrular(Şekil 6.9).

Şekil 6.6 Üç Sistem İçin Engelden 60-160 m mesafedeki Görülebilir Bölgeler



Şekil 6.7 Üç Sistem İçin Tünel Girişinden 160 m Mesafedeki Görülebilir Bölge



6.4.7 Üç Sistemin Gözlem Sonuçları

- 1) Latm üç sistem için de tehlikelidir. Bu durumda alınacak önlem güvenli durma mesafesini azaltmak için hız sınırını düşürmektir.
- 2) Üç sistem için, aynı önemde görülemez bölgeler vardır.
- 3) Eş yönlü aydınlatma için üstün bir sebep öne sürülemez, çünkü sistem simetrik ve zıt ışınlı aydınlatmanın üstünde herhangi bir avantaja sahip değildir. Bundan da ötesi, yüksek bir kurulum maliyeti istemektedir. Koyu renk engellerin koyu renk araçlar gibi görülebilmeleri çok zayıftır. Özellikle ışık kaynaklarının ışık yayılımlarından dolayı arabanın arka camında farkına varılabilen bir titreşim (flicker) etkisi söz konusu değildir.
- 4) Eş yönlü aydınlatmanın, tünel duvarları ve yol yüzeylerinin ışıkla birleştirilmesinde kullanılması gerekir.
- 5) Devamlı bir hat üzerine monte edildiği zaman simetrik sistem iyi bir rehber olarak çalışır. Arka camdaki titreşim (flicker) etkisi rahatsız etmez, sürücüyü şaşırtmaz ve hareket eden araçların algılanmasını sağlar.
- 6) Bu sistem açık renk tünel duvarları ile açık renk yol yüzeylerinin birleştirilmesinde kullanılır.
- 7) Zıt ışınlı aydınlatma, iyi bir kontrast algılaması, kurulu güçte azalma ve kabul edilebilir bir seviyede kamaşma sağlar. Bunların olabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gereklidir:
 - a) Yüksek parıltılı tünel duvarları engelin aydınlık düzeyini azaltmak için yerden 1 m seviyesinde olmalıdır.
 - b) Trafik yönünde yayılan ışık şiddeti sınırlandırılmalıdır.
 - c) Fotometrik yaydım, ışının dikey açısı gibi mümkün olduğunca büyük fakat 56 °den yüksek olmamalıdır.

6.5 ÖRNEK TÜNEL AYDINLATMA TASARIMI

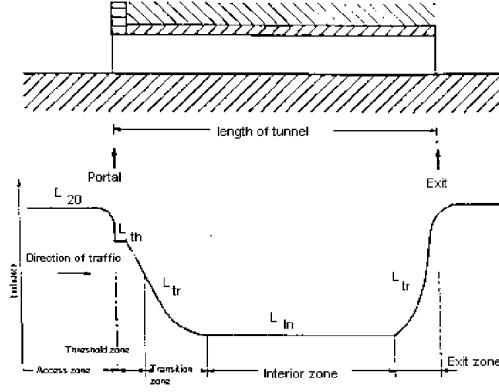
6.5.1 Giriş

Bir tünel aydınlatmasından, açık yolda belli konfor ve emniyetle ilerleyen sürücünün tünel içinde görüş kaybına uğramadan aynı konfor ve emniyetle yoluna devam etmesini sağlaması beklenmektedir. Özellikle güneşli bir günde açık bir yolda ilerleyen sürücü için yeterince aydınlatılmamış bir tünel girişi 'karanlık delik' etkisi yaratır. Aydınlık bir ortamdan karanlık tünele giren sürücünün görme koşullarının bozulmaması için, tünelin ilk bölgesinde yoğun bir aydınlatmaya ihtiyaç vardır. Tünel aydınlatma maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturan eşik bölgesi (ilk girişteki bölge) parıltı düzeyi, tünele yaklaşıırken karşılaşılan dış bölge parıltı seviyesine bağlıdır. Bu nedenle ekonomik ama gerekli görüş koşullarını sağlayan en uygun tünel aydınlatmasının ilk başlangıç noktası, tünel yaklaşma bölgesindeki dış bölge parıltı düzeyinin doğru olarak saptanmasıdır.

Tünel aydınlatma tasarımına başlanırken belirlenmesi gereken diğer bir konu da, tünele yaklaşılan açık yolda müsaade edilen araç hız sınırlamasıdır. Tünel için tasarım hızı, otoyol olması itibarı ile 90km/saat olarak alınmıştır. 90km/saat hız limitinde, yolda ilerleyen sürücünün, tehlikeli olabilecek bir cismi görüp aracını emniyetle durdurabileceği 'fren mesafesi' ise 130m olarak hesaplanmıştır.

Dış bölge parıltısı (L20), tünel girişinden fren mesafesi kadar uzaktan 20°lik tepe açılı koniden görünen alanın parıltısıdır. Aslında en iyi çözüm, tünelin inşası sırasında yıl içinde belli periyotlarda, sözü edilen alanda gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilmektedir. Bu ölçümler sonucunda, yıl içinde en çok rastlanılan en yüksek parıltı düzeyi esas alınmaktadır. Sözü edilen tüneller için, dış bölge parıltısı, 130m durma mesafesi için 3300 cd/m² olarak öngörülmüştür.

Şekil 6.8 Tünel boyunca kesit



Bu proje için gerçekleştirilen tünel aydınlatması tasarım hesaplarında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE)' nin 1990 tarihli ve 2004 tarihli 88 nolu 'Guide for The Lighting of Road Tunnels and Underpasses' (yol tüneller ve alt geçitlerinin aydınlatması için kılavuz) adlı Teknik Raporu'ndaki ve Avrupa komisyonunun CEN CR14380:2003 E kodlu 2003 tarihli Tünel aydınlatması adlı Teknik Raporu'ndaki öneriler esas alınmıştır.

6.5.2 Temel Bilgiler:

Yol Kaplaması :Asfalt Sınıfı R3

$q(0) = 0.07$

Duvar Kaplaması :beton

Duvar yansıtma katsayısı :0.4

Armatür Yüksekliği :6.0 m

Aydınlatma armatürleri için bakım faktörü 0.7 olarak alınmıştır ve tüm hesaplanan parlıltı değerleri düzeltilmiş değerlerdir. Tünel aydınlatması hesaplarında en küçük parlıltı değerinin ortalama parlıltı değerine oranı 0.4' den iyi olduğu, en küçük parlıltı

değerinin gözlemcinin enlem koordinatındaki en büyük parıltı değerine oranı 0.6' dan iyi olması sağlanmıştır.

Sürüş emniyeti için çok önemli olan, tünel duvarlarındaki parıltı düzeylerinin ve düzgünlüklerinin ilgili standartlara uygunluğuna dikkat edilmiştir.

Tüm aydınlatma armatürleri, iki sıra halinde tünel yürüme yollarından yolun eksenine doğru 2.5m mesafede ve 6.0m yüksekliğe tesis edileceklerdir.

6.5.3 Giriş Bölgesi Aydınlatması

Tünelin her tüpündeki giriş aydınlatması, Giriş ve Eşik Bölgesi boyunca 400W, 250W ve 150W NAV-T (Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı lambalı) counter -beam (zıt ışıklı) armatürlerle sağlanacaktır. Zıt ışık uygulamalarında en önemli kriter olarak belirlenmiş olan kontrast katsayısının 0.6 dan büyük olmasına dikkat edilmiştir.

6.5.4 İç Bölge ve Gece Aydınlatması

Her bir tünel tüpündeki iç aydınlatma, 150W NAV-T(Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalı) simetrik ışık dağılımlı, yarısı %50 dim edilebilir armatürler ile sağlanacaktır. Simetrik ışık dağılımı uygulamalarında en önemli kriter olarak belirlenmiş olan kontrast katsayısının 0.2 den küçük olmasına dikkat edilmiştir.

İç bölge aydınlatma armatürlerinin Flicker frekansının, CIE' de ifade edildiği şekilde yasaklanmış olan 2.5-15 Hz aralığının dışında kalmasına dikkat edilmiştir.

6.5.5Aydınlatma Hesap Kriterleri

6.5.5.1 Giriş (Eşik ve Geçiş Bölgeleri) Aydınlatması

Normal işletme şartları için tasarlanan aydınlatma sistemi, gün ışığının neden olduğu çevre parıltısına bağlı olarak, 5 farklı şekilde işletilebilecektir. %100, %75, %50, %25 ve %0 oranlarında anahtarlanabilecek giriş aydınlatması, gün ışığı parıltısını ölçen Luminansmetre den gelen sinyallere göre durum değiştirecek ve enerji tasarrufu sağlayacaktır.

90km/h hız için Giriş Aydınlatma planı

Durma mesafesi	: 130m
Portalların önündeki parıltı (L20)	: 3300 cd/m ²
Yaklaşım/Eşik bölgesi çevrim oranı	: 0.06
Giriş bölgesindeki parıltı (Lth)	:198 cd/rr)2

6.5.5.2Acil Durum Aydınlatma

Enerji kesintisi veya bakım işletme durumlarında, trafik hızı 50km/sa seviyesine düşürülmektedir. Düşük hız nedeni ile düşen aydınlatma gereksinimine uygun olarak giriş aydınlatma seviyesi düşürülecektir.

50km/h hız için Giriş Aydınlatma planı

Durma mesafesi	40m
Portalların önündeki parıltı (L20)	:1400 cd/m ²
Yaklaşım/Eşik bölgesi çevrim oranı	:0.035
Giriş bölgesindeki parıltı (Lth)	:49 cd/m ²

Söz konusu 49cd/m² mertebesindeki parıltı seviyesi, normal işletme şartlarına ait %25 kademesine ait 50cd/m² seviyesinin altında kalmaktadır. Tesis, işletme ve bakım kolaylıkları sebebi ile %25 kademesinin acil durum kademesi olarak seçilmesi daha uygun bir seçim olmaktadır. Bu uygulamada, iç bölge armatürleri birinci kademe bölgesinde %100 seviyesinde, ikinci kademe bölgesinde %50 oranında dim edilmiş olacaktır.

6.5.5.3. İki Yönlü Trafik

Tüplerden birinin çeşitli nedenlerle kapatılmış olması sebebi ile diğer tüpün çift yönlü

olarak kullanılması mümkün olabilmektedir. Bu uygulama için, tünelin çıkışına giriş aydınlatması yapılması gerekmektedir. Tünel çıkışlarının giriş amaçlı kullanılması durumlarında, acil aydınlatma senaryosu için belirlenmiş aydınlatma seviyesi, tünel çıkışına da tesis edilecek, tünelin çift yönlü kullanılması durumlarında devreye alınacaklardır. İki yönlü trafik durumunda trafik hızı 30km/sa olmakla beraber, güvenlik sebebi ile aydınlatma sistemi 50km/sa olarak öngörülmüştür.

İki yönlü trafik durumunda, birinci ve ikinci kademe iç bölge armatürlerinin hepsi %100 seviyesinde olacaktır.

Çift yönlü trafik (50km/sa) için Giriş Aydınlatma planı

Durma mesafesi	:40m
Portalların önündeki parıltı (L20)	:1400 cd/m ²
Yaklaşım/Eşik bölgesi çevrim oranı	:0.035
Giriş bölgesindeki parıltı (Lth)	:49 cd/m ²

6.5.5.4 İç Bölge Aydınlatması

İç bölge aydınlatması parıltı değeri, tünel boyunun 2000m den uzun olması nedeniyle 2 kademeli olarak değerlendirilmiştir. CIE 88-2004 gereği, giriş bölgesi sonrasında, 30sn süre içerisinde kat edilecek mesafe 1. Kademe, tünel sonuna kadar kalan mesafe de 2. Kademe olarak projelendirilmiştir. İnsan gözünün çevre parıltısına uyum göstermesi ve daha duyarlı hale gelmesi sebebi ile 30sn sonrasında aydınlatma seviyesi düşürülmekte, enerji tüketimi açısından avantaj elde edilebilmektedir. İkinci kademede yer alan armatürler, normal şartlarda %50 dim edilecektir.

İç bölgedeki parıltı (Lint-1) :6 cd/m²

İç bölgedeki parıltı (Lint-2) :3 cd/m²

6.5.5.5 Gece Aydınlatması

Gece aydınlatması parıltı değeri 3.0 cd/m² olarak hesaplanmıştır. Gece durumunda,

birinci ve ikinci kademe kesimindeki iç bölge armatürleri de %50 nispetinde dim edileceklerdir.

6.5.5.6 Yaklaşım Yolları Aydınlatması

Tünel giriş ve çıkışlarında, yaklaşım yolarının 330m lik kısımları 2.0 cd/m² seviyesinde aydınlatılacaktır.

6.5.5.7 Armatürler

Armatürlerde maliyet ve bakım koşulları düşünülerek eşik ve geçiş bölgelerinde dimmerleme (loşlaştırma) kullanılmadan çözümler geliştirilmiştir. Aydınlatma kontrolü, armatürlerin yakılıp söndürülmesi esasına göre yapılmıştır. İç bölge armatürlerinin bir kısmı dim edilebilir özellikte seçilmiş, iç bölgedeki düzgünlüklerin sağlanmasına dikkat edilmiştir.

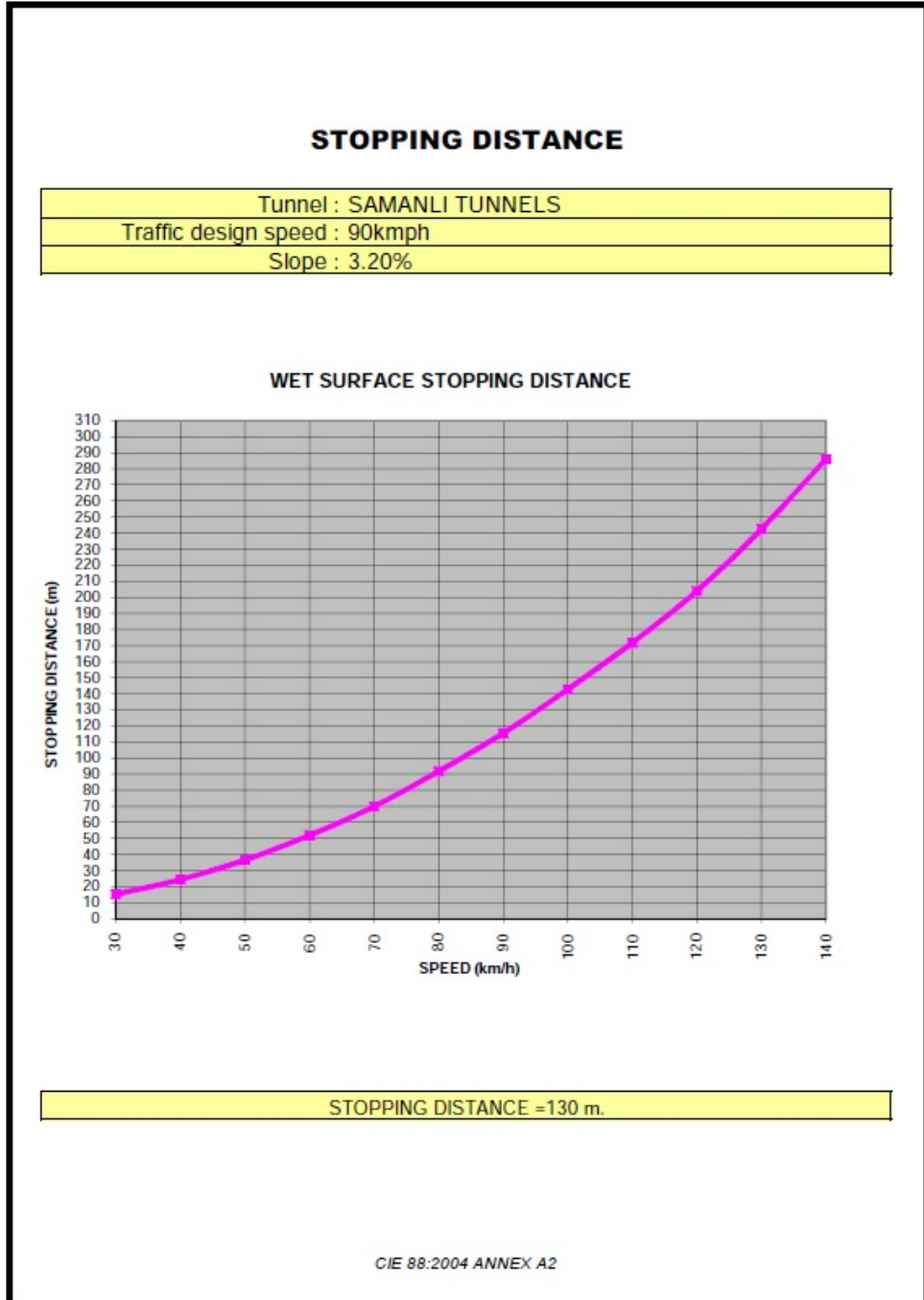
Aydınlatma projesi optik tasarımında, paslanmaz çelik gövdeli armatürler kullanılmıştır. Armatürler, AISI316Ti gövdeli, 5mm temperli camlı olup IP66 koruma sınıfına sahiptir ve basınç dengeleyici eleman ihtiva etmektedir. İşletme ve bakım kolaylığı için balast armatürlerin alet gerektirmeden el ile açılabilmesi öngörülmüştür. Armatürlerin içerisinde yer alan elektriksel elemanları taşıyan şase modüler yapıda olması ve alet gerektirmeden el ile dışarı alınabilir olması öngörülmüştür. Klemensler, 16mm² kesite kadar uyum olup, 16mm² kesitli kablonun kolaylıkla montajı yapılabilecek dönüş mesafelerini sağlamaktadır. Klemens grubu ile birlikte olan mikro sigorta sistemi ile arızaların sisteme sirayet etmesinin önüne geçilmiş olacak, aydınlatma sisteminin güvenlik riski oluşturmaması sağlanabilecektir. Kullanılan bölgeye göre (giriş-geçiş-iç) armatür içindeki reflektör tipi counter - beam veya simetrik olarak belirlendiği şekilde aydınlatma planlarına işlenmiştir. Armatürlerde yüksek basınçlı sodyum buharlı ampuller kullanılmakta ve reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır.

6.5.5.8 Aydınlatma Kontrolü

Giriş aydınlatma kontrolü her tüp için iki adet luminansmetre ile yapılacaktır. Bu luminansmetrelerin biri tünelin dışına, tünel dışındaki parlaltı değerini ölçmek için diğeri

tünel içine giriş bölgesindeki parlıltı değeri ölçmek amacıyla yerleştirilecektir. Bir adet PLC aracılığıyla her iki parlıltı değeri karşılaştırlılacak ve buna göre eşik bölge parlıltı değeri gerekli olan kademeye göre armatürlere kumanda edecektir.

Tablo 6.2 Durma Mesafesi Grafiği



Tablo 6.3. Parlaklık

L20 LUMINANCE

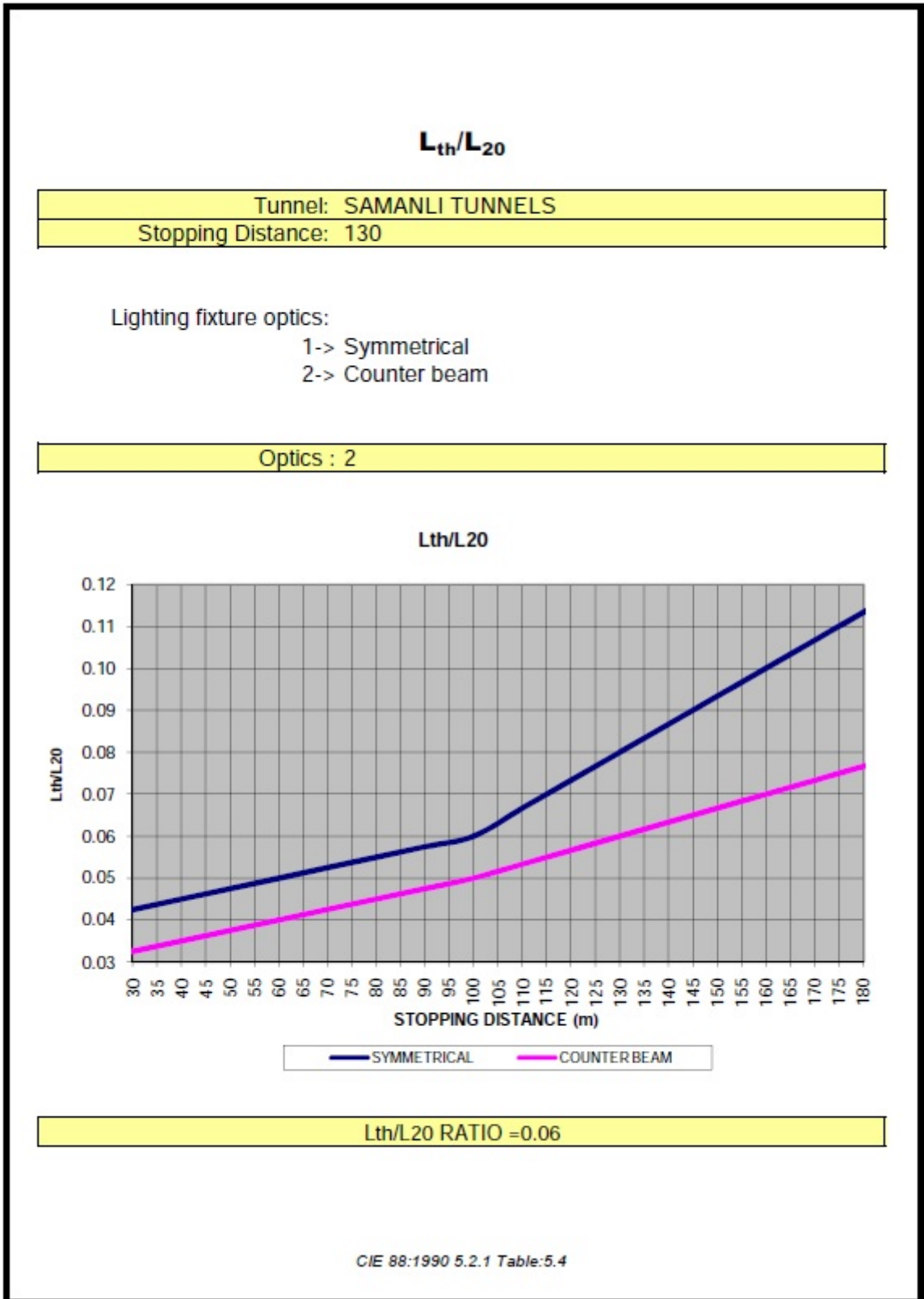
Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 130m.
Driving direction : S

	Area		Unit Luminance (kcd/m ²)	Equivalent Luminance (kcd/m ²)
	(m ²)	(%)		
L20 Total base area	1651	100.00%		
Sky			16	
Road Surface	963	58.33%	5	2.92
Environment				
Rocky:	600	36.34%	1	0.36
Buildings:			4	
Snow:			15	
Grass:			2	
Tunnel entrance	88	5.33%	3.00	0.02
Total :	1651	100.00%	L20	3.30

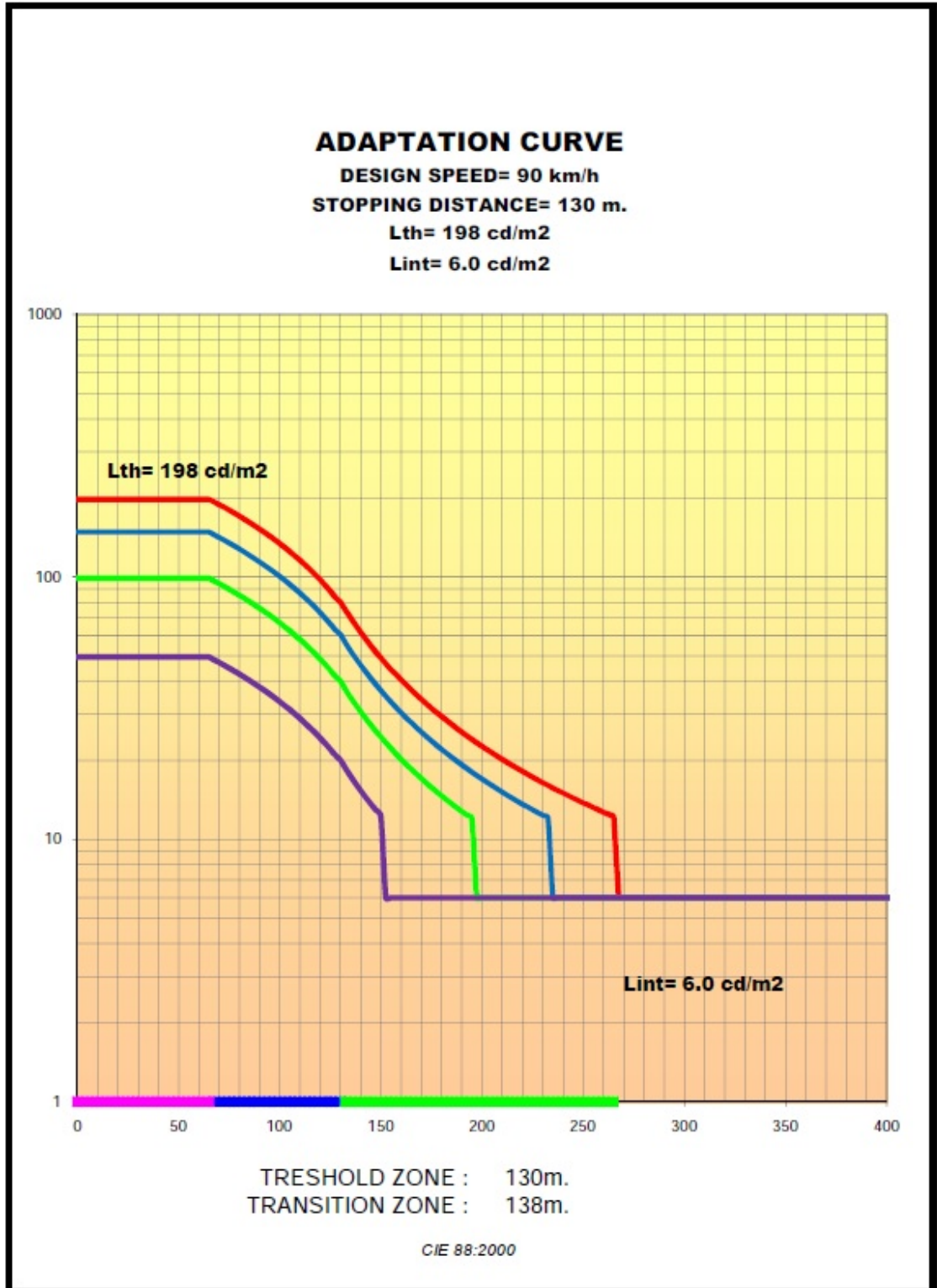
L20 LUMINANCE =3300 cd/m2.

CIE 88:1990 5.1.2 Table:5.2

Tablo 6.4 L_{th}/L₂₀ grafiği



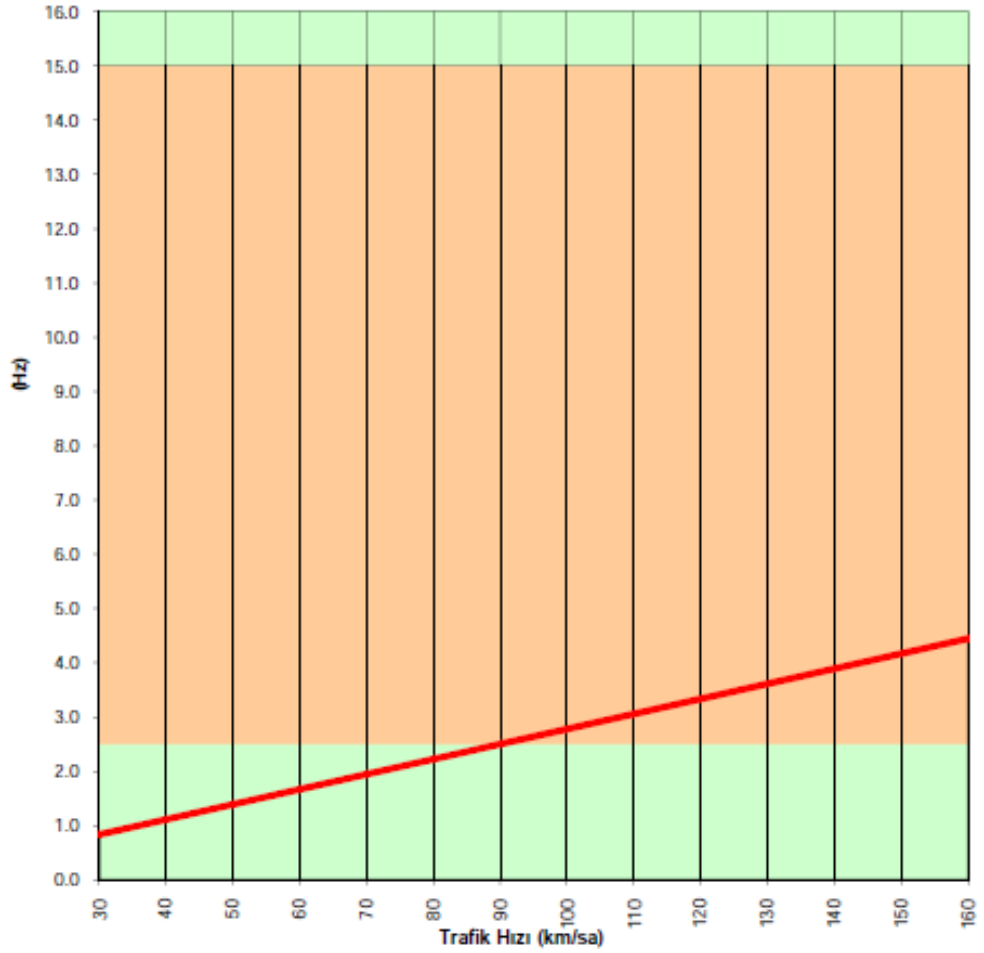
Tablo 6.5 Eğri Adaptasyonu



Tablo 6.6 Titreme Frekansı

FLICKER FREQUENCY

Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Traffic design speed : 90
Stopping distance : 130
Luminaire span : 10



FLICKER FREQUENCY =2.5 Hz.

CIE 88:1990 5.9

Tablo 6.7 Tünel İç Bölümü 1 Parlaklık Grafiği

INTERIOR ZONE(1) LUMINANCE

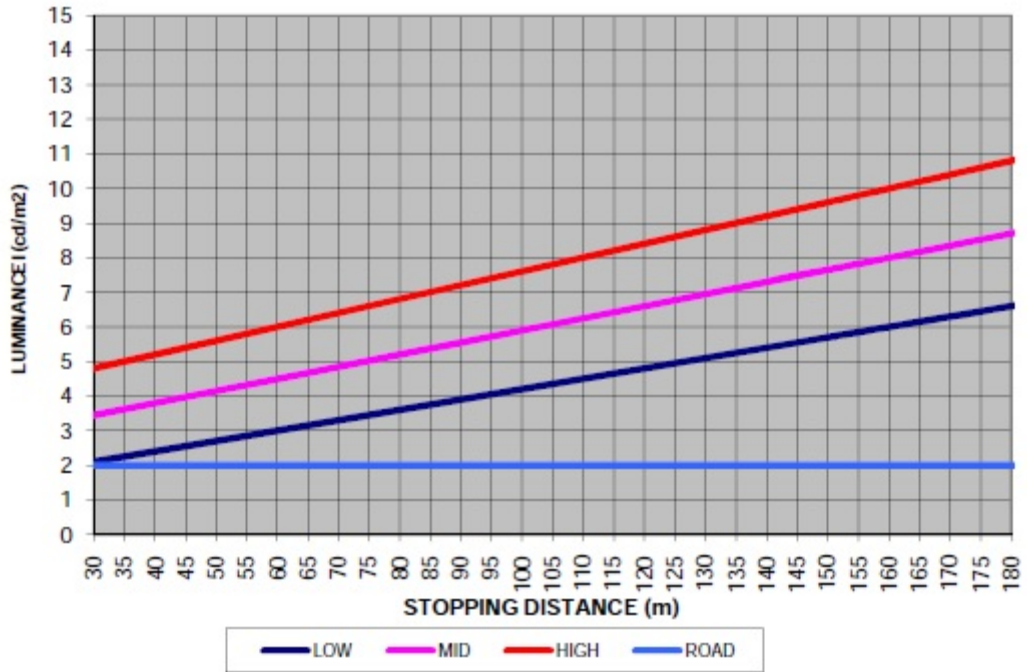
Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 130

Traffic Flow : 1
1-> One way
2-> Two way

Traffic Volume : 1000
(veichles / hour / lane)

Traffic Volume Class.: MID

INTERIOR ZONE LUMINANCE



INTERIOR ZONE(1) LUMINANCE =6. cd/m2.

CIE 88:2004 6.7 Table:6.7.1

Tablo 6.8 Tünel İç Bölümü 2 Parlaklık Grafiği

INTERIOR ZONE(2) LUMINANCE

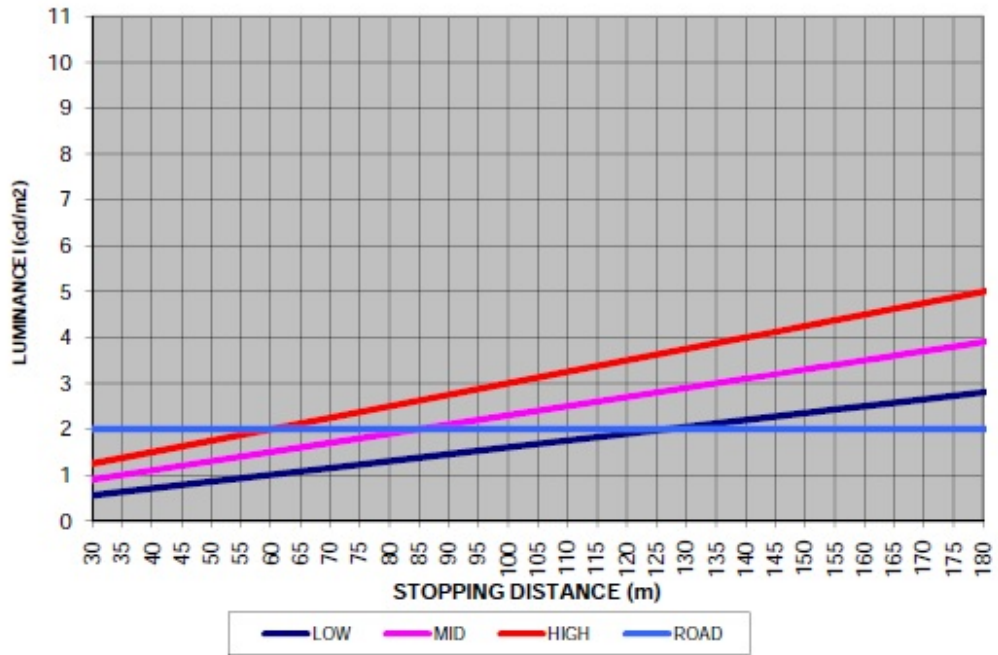
Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 130

Traffic Flow : 1
1-> One way
2-> Two way

Traffic Volume : 1000
(veichles / hour / lane)

Traffic Volume Class.: MID

INTERIOR ZONE LUMINANCE



INTERIOR ZONE(2) LUMINANCE =3 cd/m2.

CIE 88:2004 6.7 Table:6.7.1

Tablo 6.9 Tünel Parlaklık Eğrisi

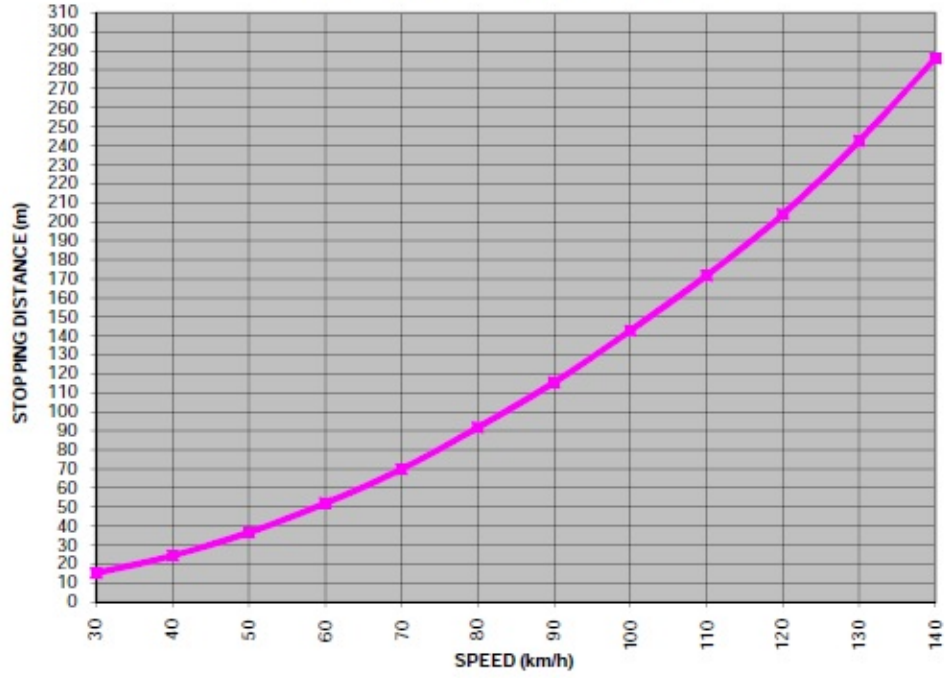


Tablo 6.10 Acil Durma Ölçümü

EMERGENCY STOPPING DISTANCE

Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Traffic design speed : 50kmph
Slope : 3.20%

WET SURFACE STOPPING DISTANCE



STOPPING DISTANCE =40 m.

C/E 88:2004 ANNEX A2

Tablo 6.11 Acil Durum L20 Parlaklığı

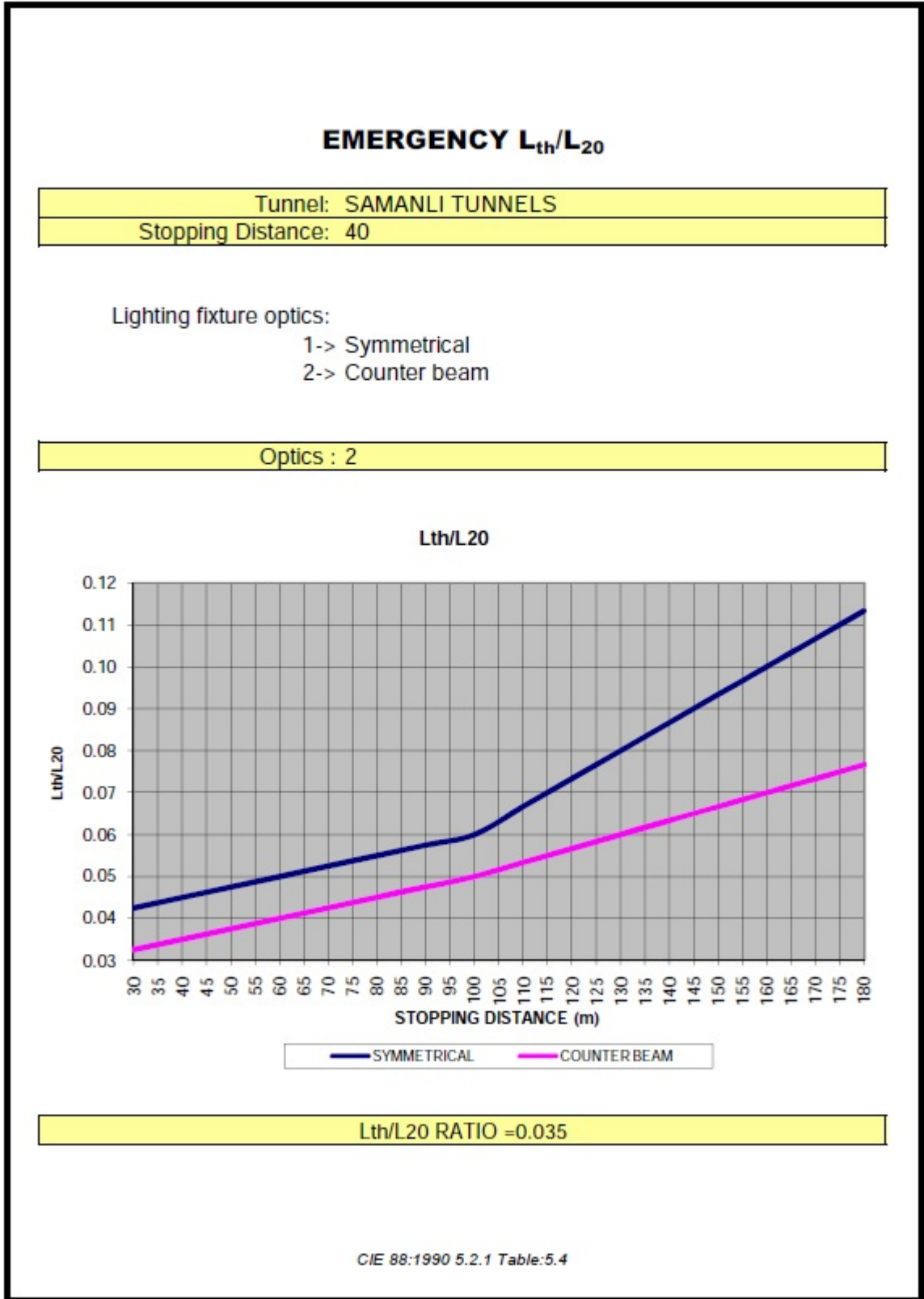
EMERGENCY L20 LUMINANCE

Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 40m.
Driving direction : N

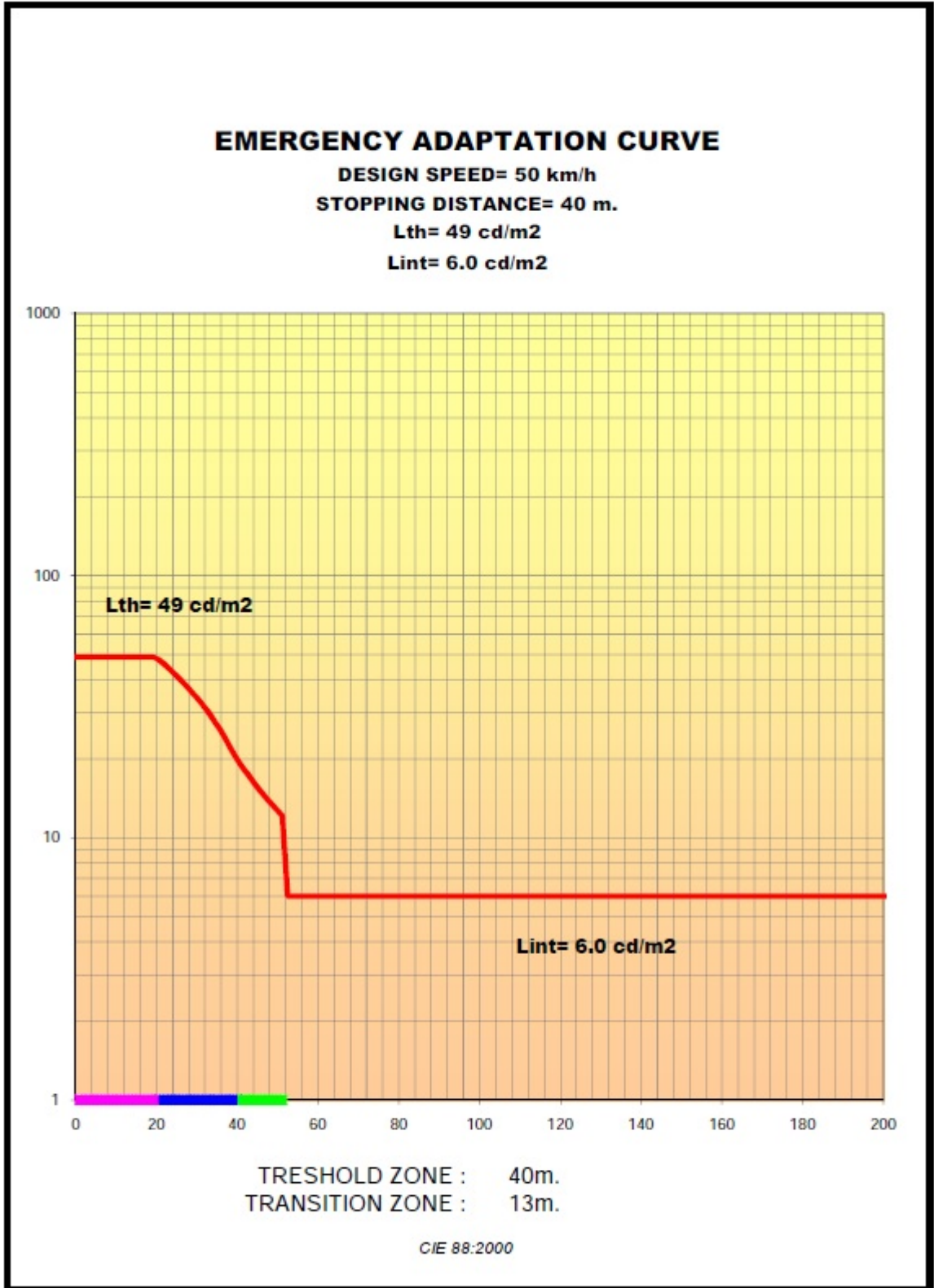
	Area		Unit Luminance (kcd/m ²)	Equivalent Luminance (kcd/m ²)
	(m ²)	(%)		
L20 Total base area	156	100.00%		
Sky			8	
Road Surface	42	26.92%	3	0.81
Environment				
Rocky:	26	16.67%	3	0.50
Buildings:			8	
Snow:			15	
Grass:			2	
Tunnel entrance	88	56.41%	1.40	0.05
Total :	156	100.00%	L20	1.40

L20 LUMINANCE =1400 cd/m2.

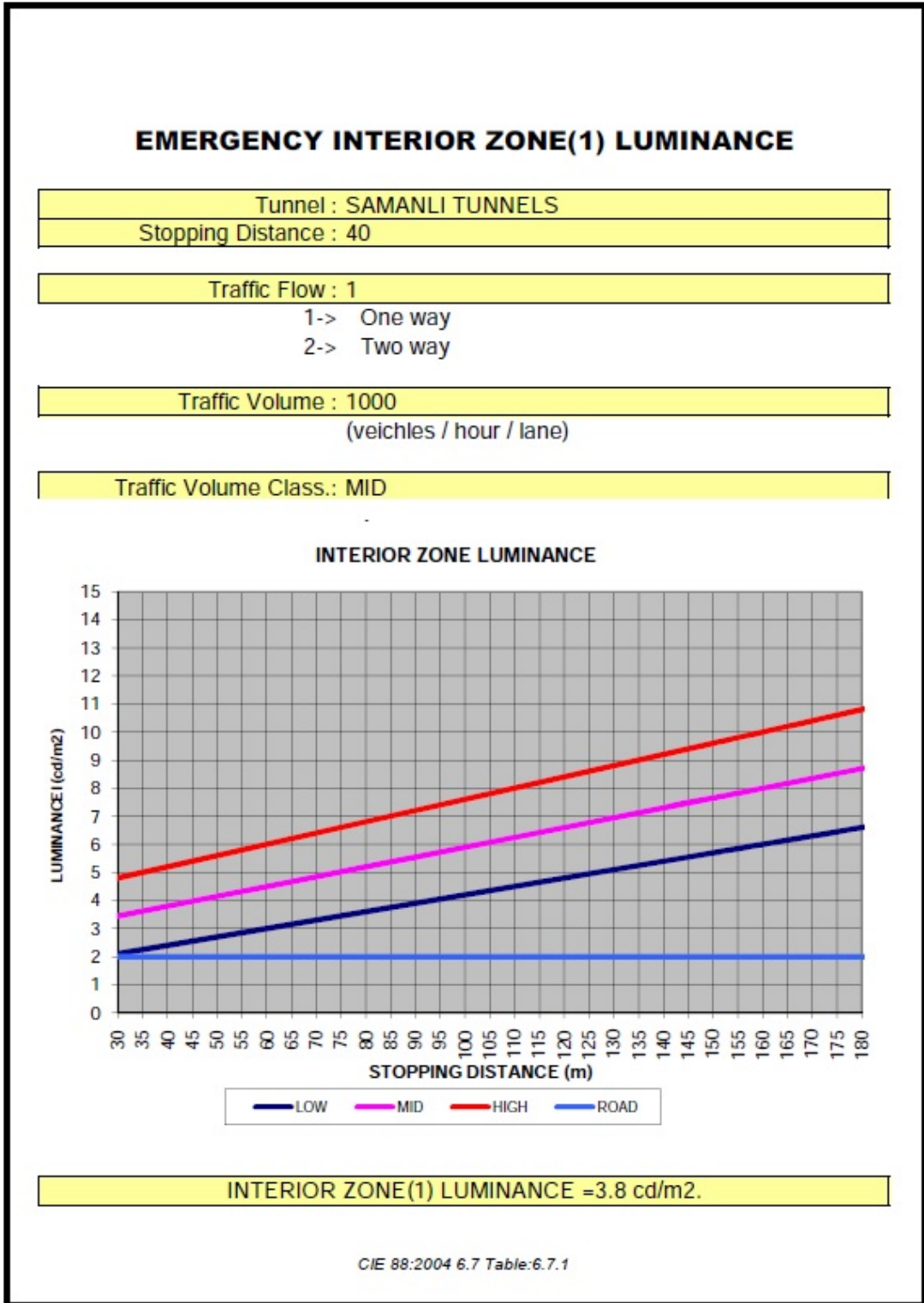
Tablo 6.12 Acil Durum L_{th}/L_{20} 20 Eğrisi



Tablo 6.13 Acil Durum Adaptasyon Eğrisi



Tablo 6.14 Acil Durum İç bölüm 1 Parlaklık Eğrisi

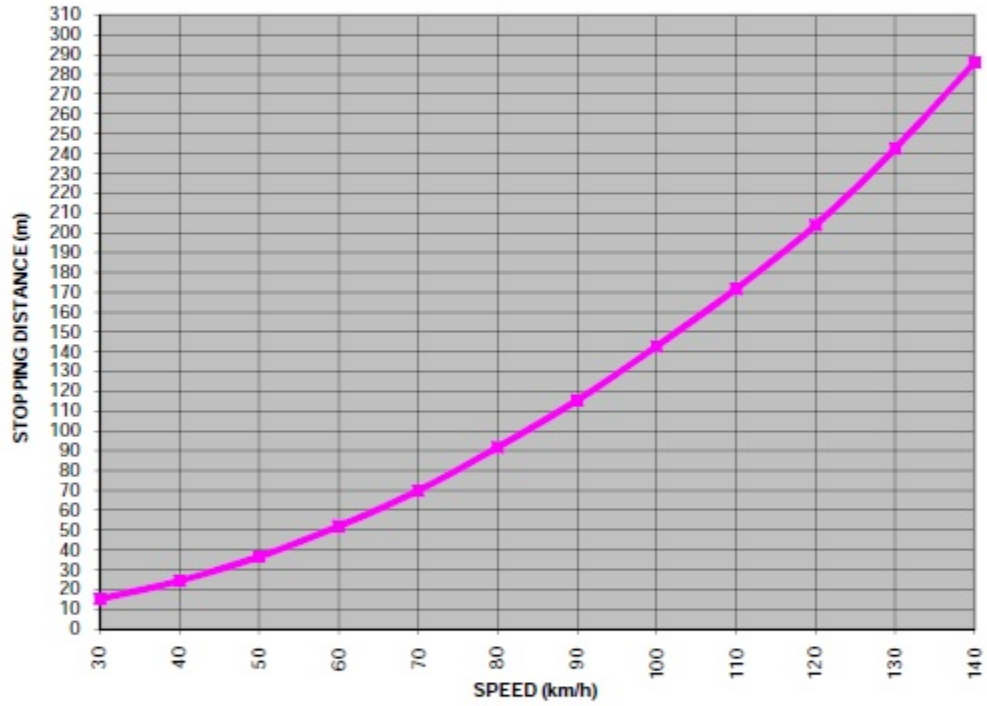


Tablo 6.15 Durma Mesafesi

2 WAY STOPPING DISTANCE

Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Traffic design speed : 30kmph
Slope : 3.20%

WET SURFACE STOPPING DISTANCE



STOPPING DISTANCE = 15 m.

CIE 88:2004 ANNEX A2

Tablo 6.16 L20 Parlaklık

2 WAY L20 LUMINANCE

Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 15m.
Driving driection : S

	Area		Unit Luminance (kcd/m ²)	Equivalent Luminance (kcd/m ²)
	(m ²)	(%)		
L20 Total base area	22	100.00%		
Sky			16	
Road Surface	4	18.18%	5	0.91
Environment				
Rocky:			1	
Buildings:			4	
Snow:			15	
Grass:			2	
Tunnel entrance	18	81.82%	1.00	0.05
Total :	22	100.00%	L20	1.00

L20 LUMINANCE =1000 cd/m2.

CIE 88:1990 5.1.2 Table:5.2

Tablo 6.17 Lth/L20 Grafiği

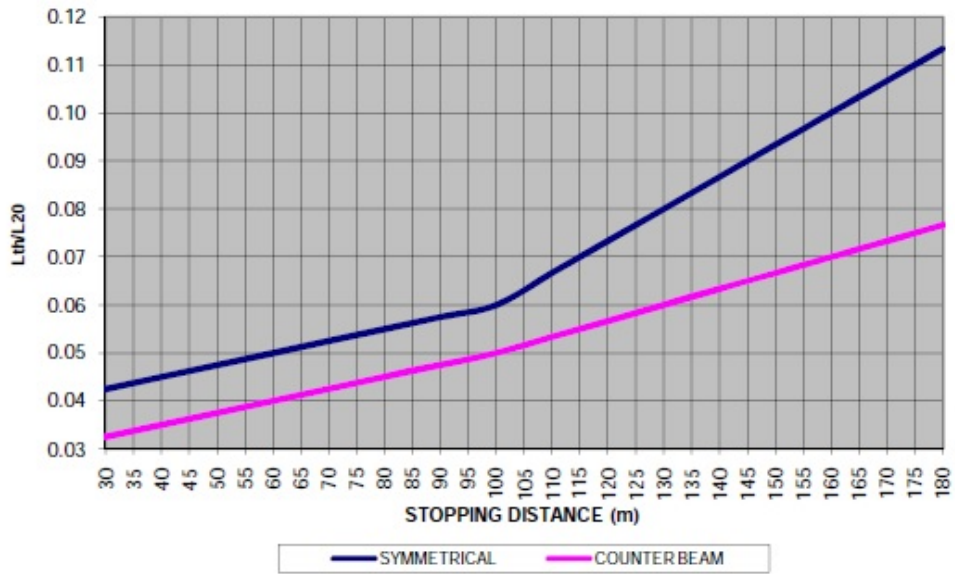
2 WAY L_{th}/L_{20}

Tunnel: SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance: 15

Lighting fixture optics:
1-> Symmetrical
2-> Counter beam

Optics : 2

L_{th}/L_{20}



L_{th}/L_{20} RATIO =0.029

CIE 88:1990 5.2.1 Table:5.4

Tablo 6.18 İç Yol Parlaklık Grafiği

2 WAY INTERIOR ZONE(1) LUMINANCE

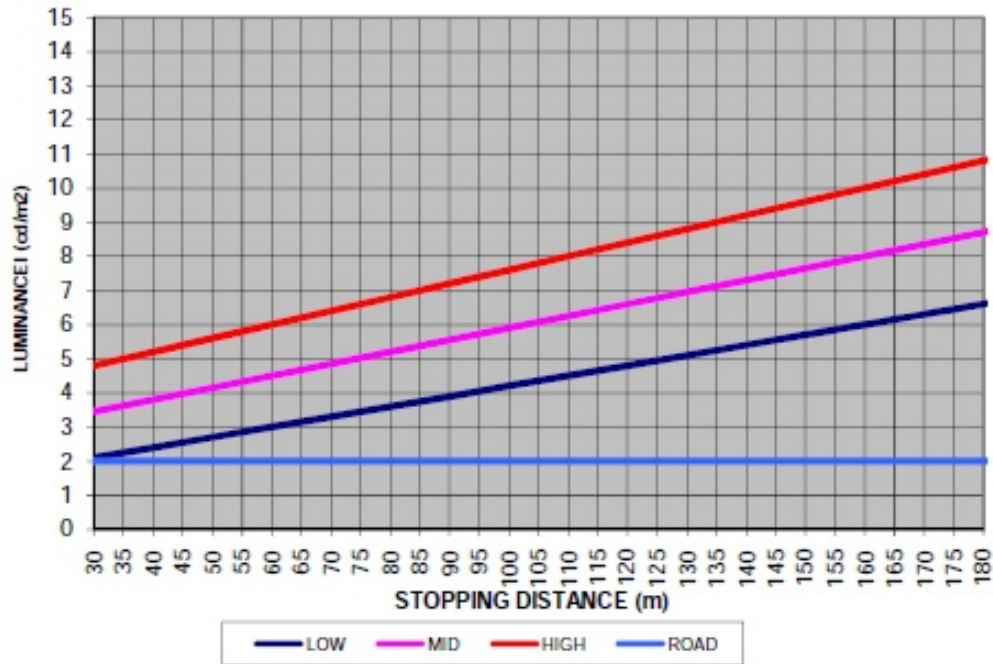
Tunnel : SAMANLI TUNNELS
Stopping Distance : 15

Traffic Flow : 1
1-> One way
2-> Two way

Traffic Volume : 300
(veichles / hour / lane)

Traffic Volume Class.: LOW

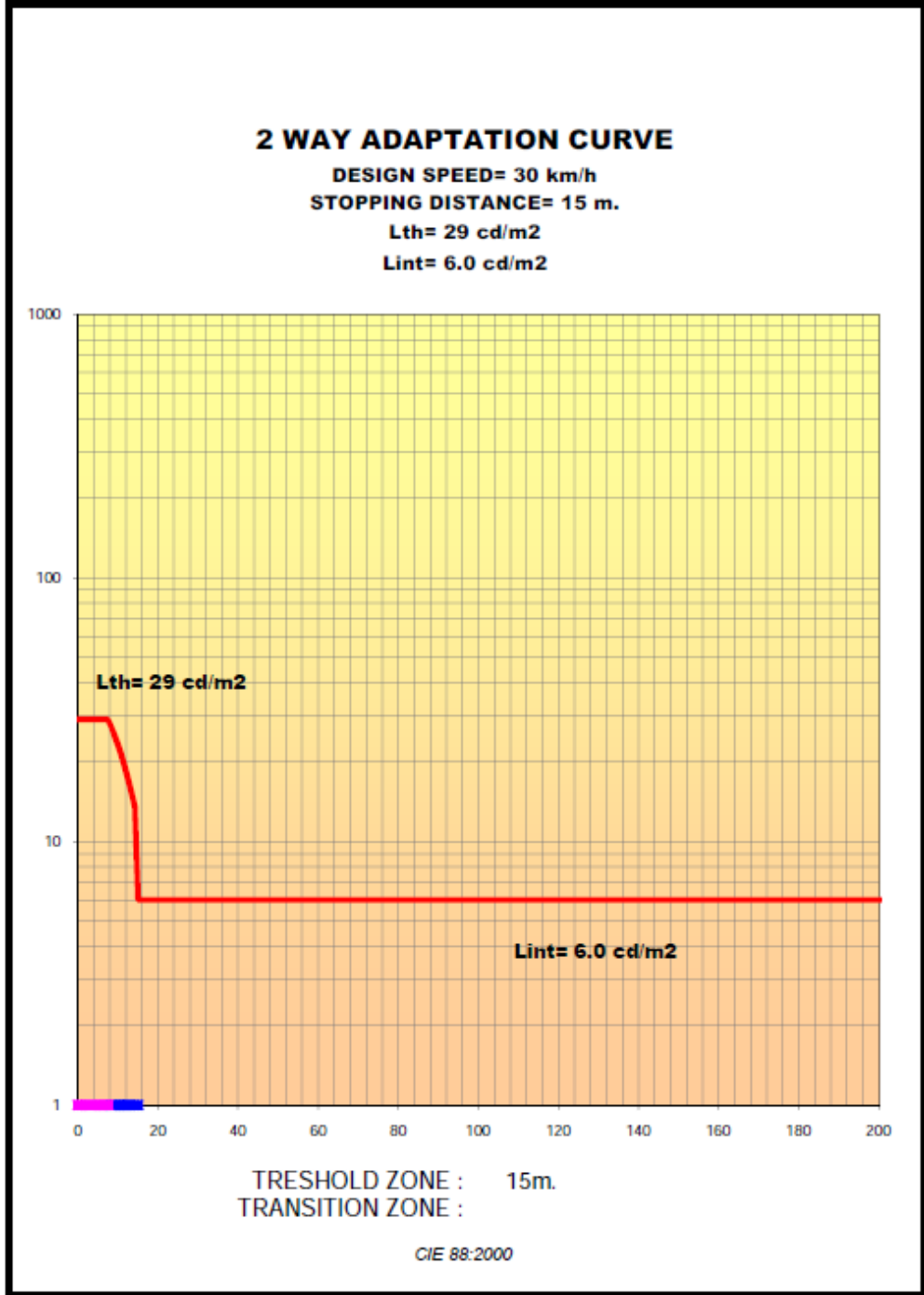
INTERIOR ZONE LUMINANCE



INTERIOR ZONE(1) LUMINANCE =1.65 cd/m2.

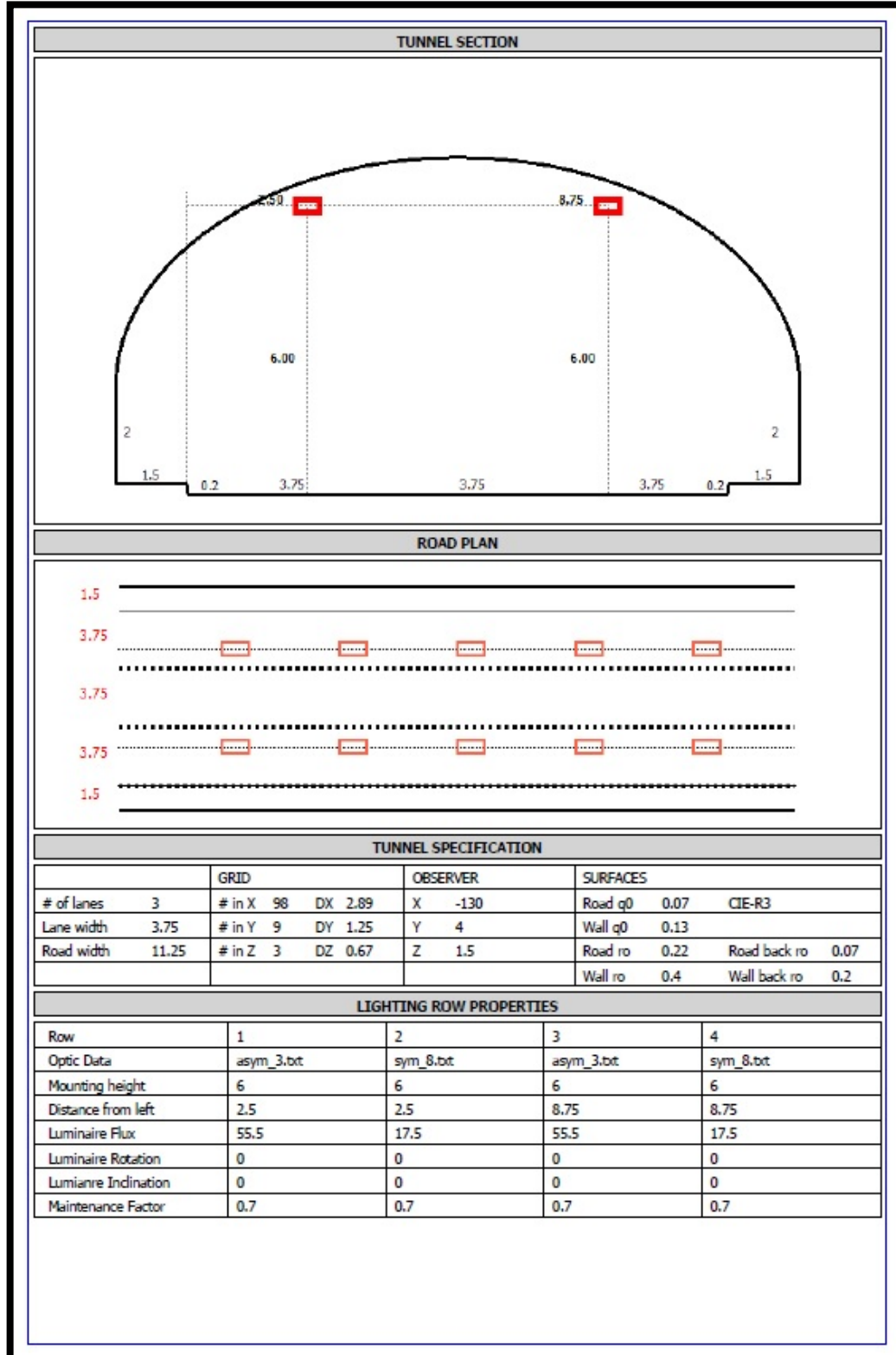
CIE 88:2004 6.7 Table:6.7.1

Tablo 6.19 İç Yol Adaptasyon Eğrisi



6.5.5. 9 %100 Kademesi Hesaplar

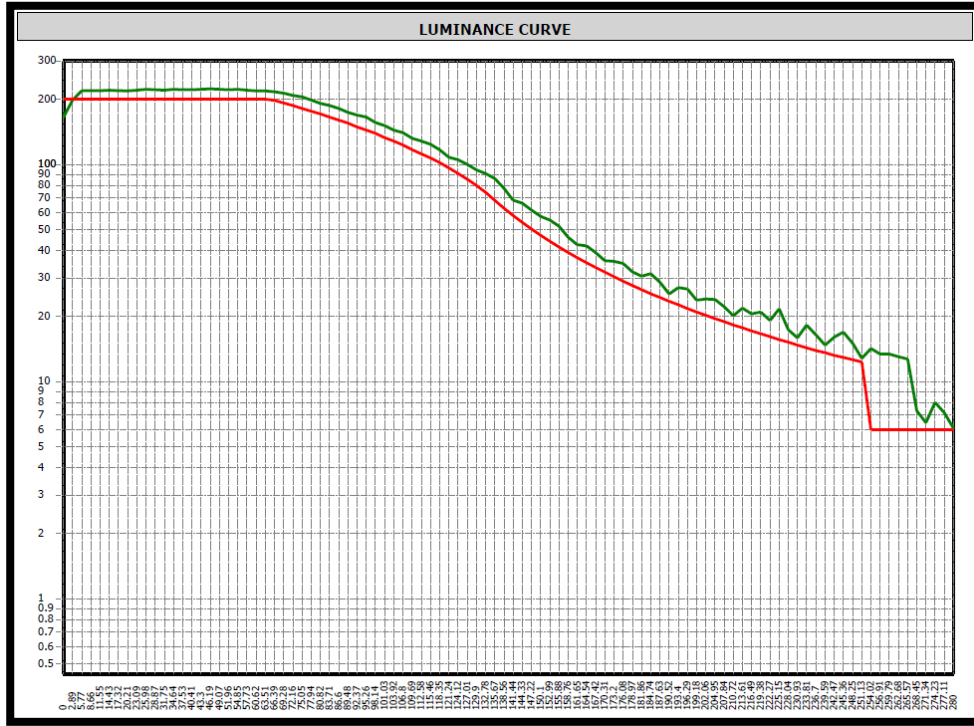
Tablo 6.20 %100 Kademe Tünel Kesiti



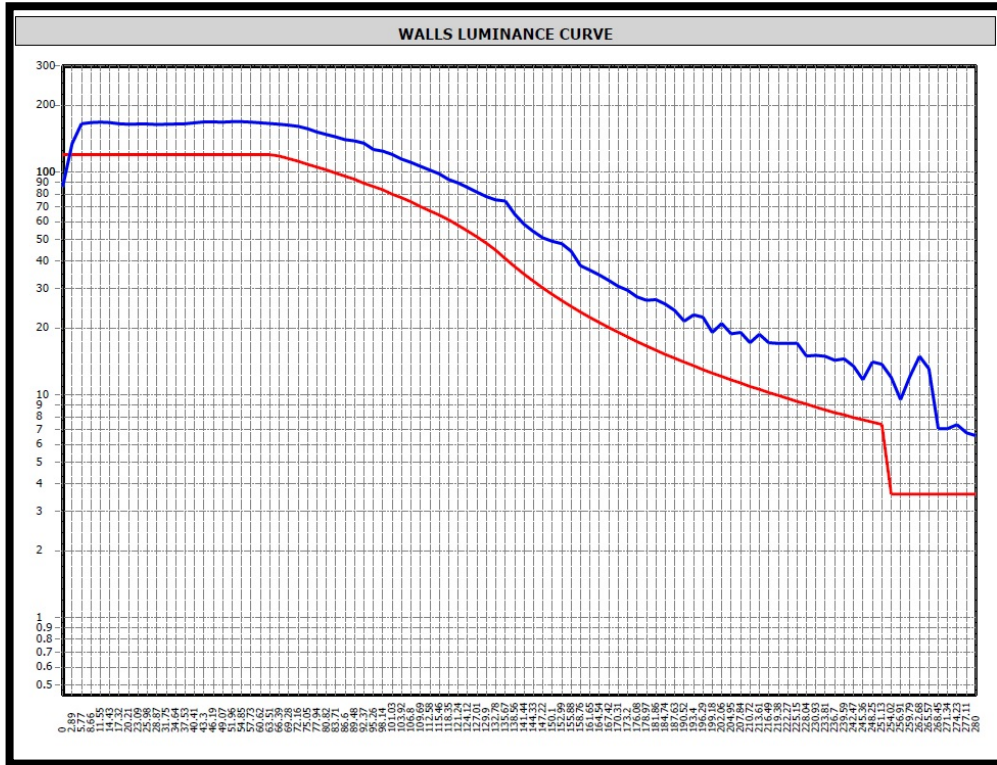
Tablo 6.21%100 Kademe Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	0 - 63.51		
Average Road Illuminance (Lux)	2764.4		
Max Road Illuminance (Lux)	3362.1		
Min Road Illuminance (Lux)	1112.2		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.4		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	201.8		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	251.8		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	37.3		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.18		
Required Road Luminance (cd/sqm)	200		
Average Road Luminance (cd/sqm)	216.97		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	263.4		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	112.1		
Overall Road Luminance Uniformity	0.52		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	236.6	221.9	227.1
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	177.5	161.6	166.5
Longitudinal Uniformity	0.75	0.73	0.73
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	120		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	161.55		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	172.7		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	80.3		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.5		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	120		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	161.55		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	172.7		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	80.3		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.5		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	1.25		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	5.12		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.78		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.63		
Maximum Veiling Luminance	0.06		
Maximum Threshold Increment (%)	0.02		

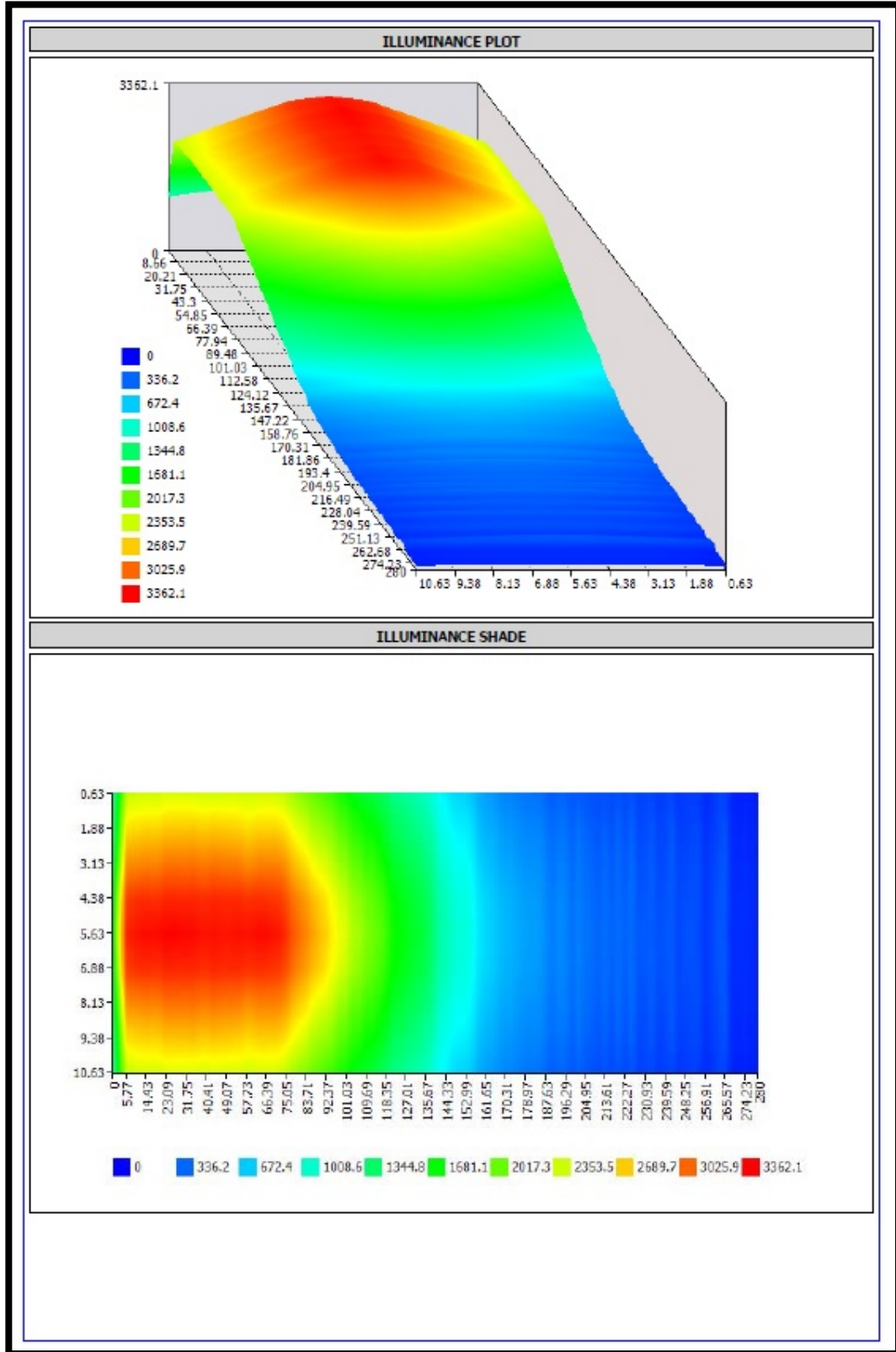
Tablo 6.21.a %100 Kademe Parlaklık Eğrisi



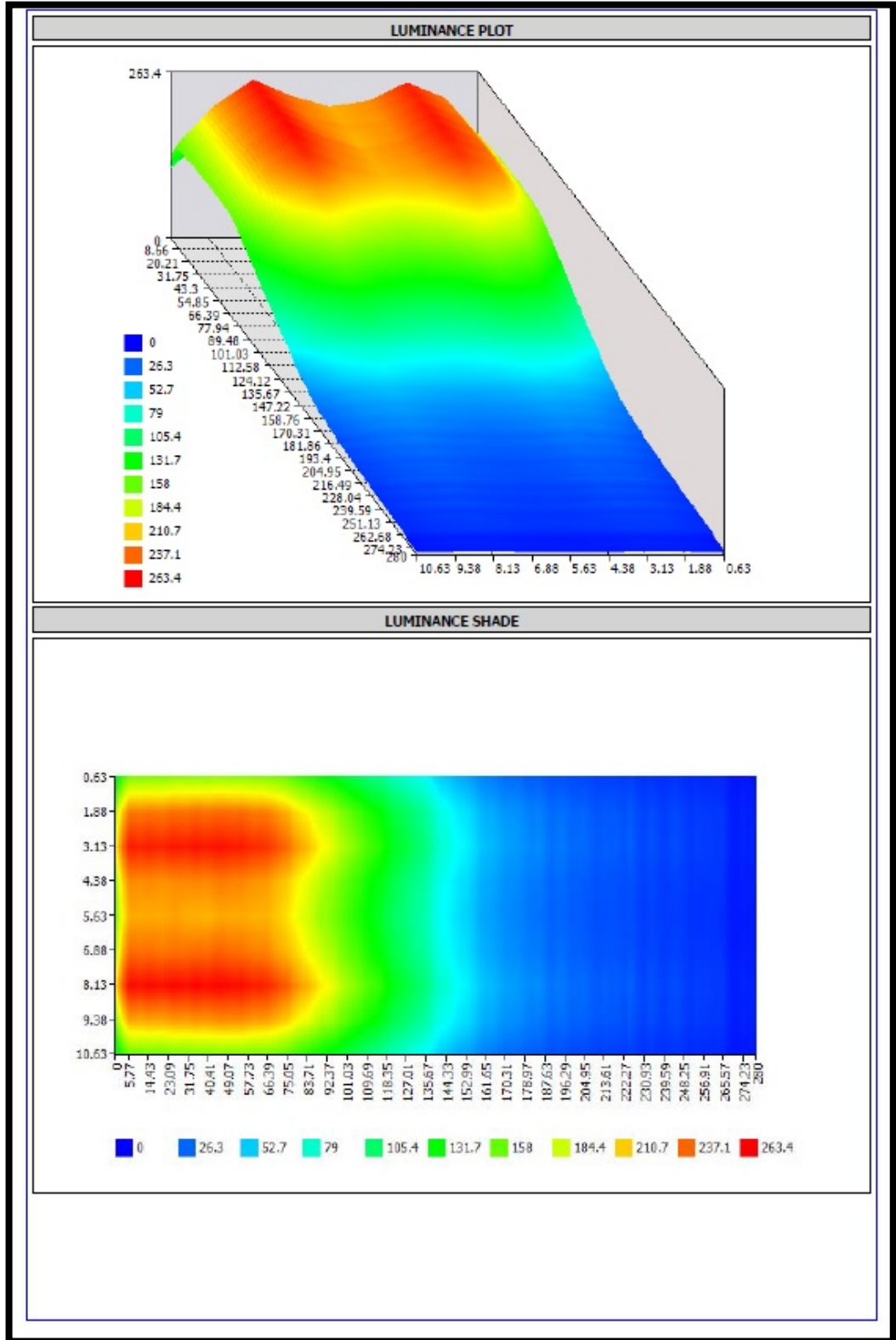
Tablo 6.21.b %100 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi



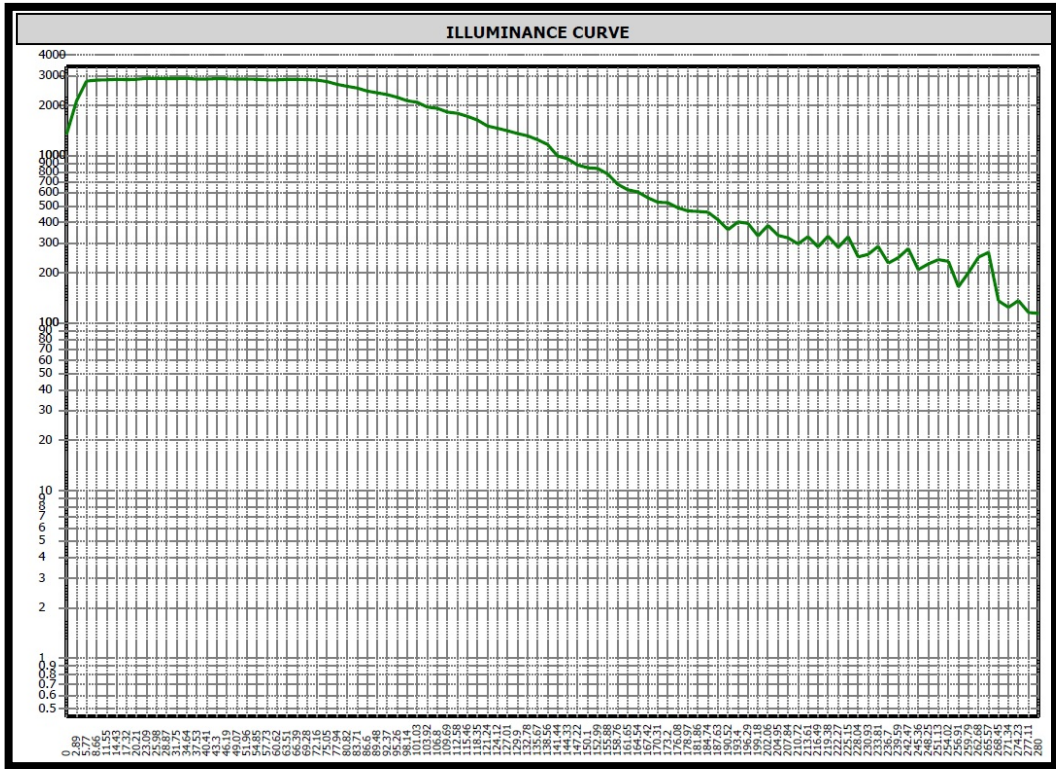
Şekil 6.9 %100 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı



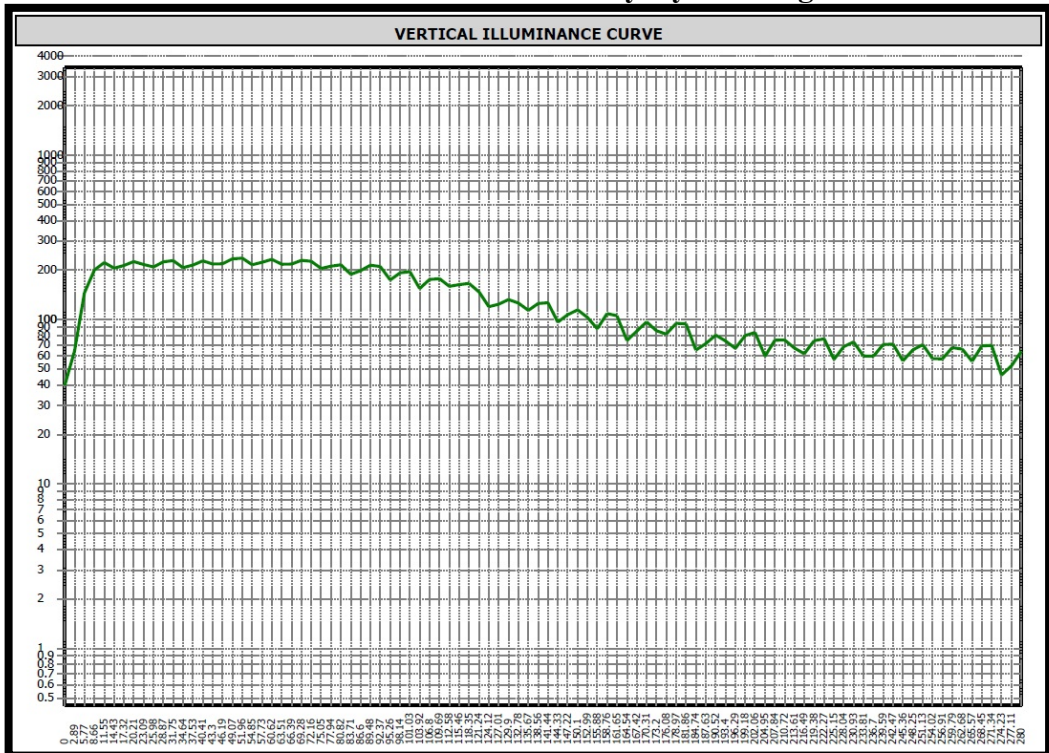
Şekil 6.10 %100 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.22 %100 Kademe Aydınlık Eğrisi

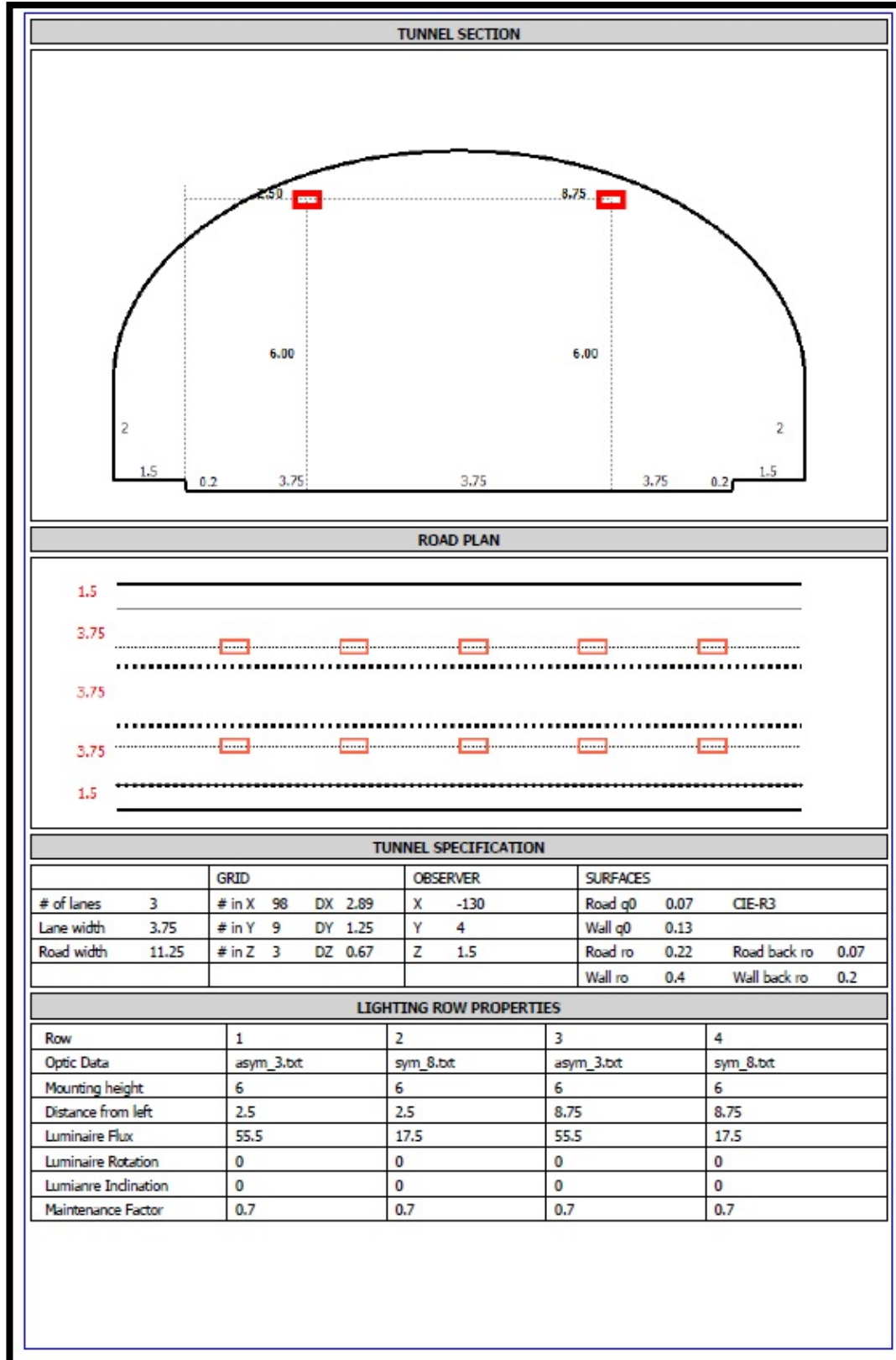


Tablo 6.23 %100 Kademe Dikey Aydınlık Eğrisi



6.5.5.10 %75 Kademesi Hesapları

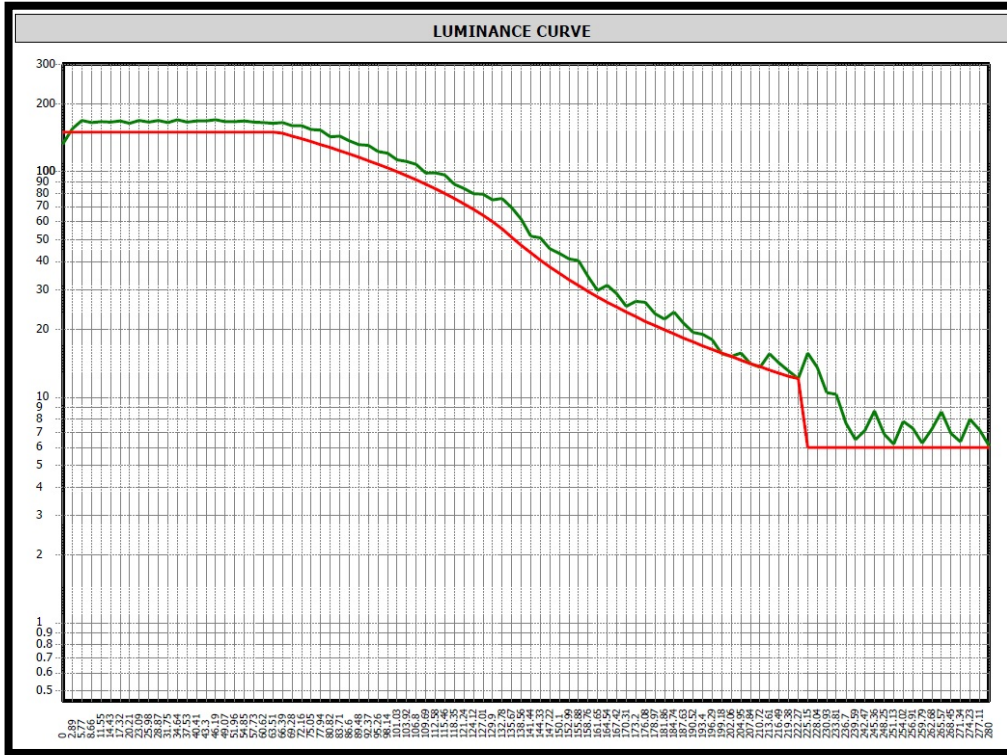
Tablo 6.24 %75 Kademe Tünel Kesiti



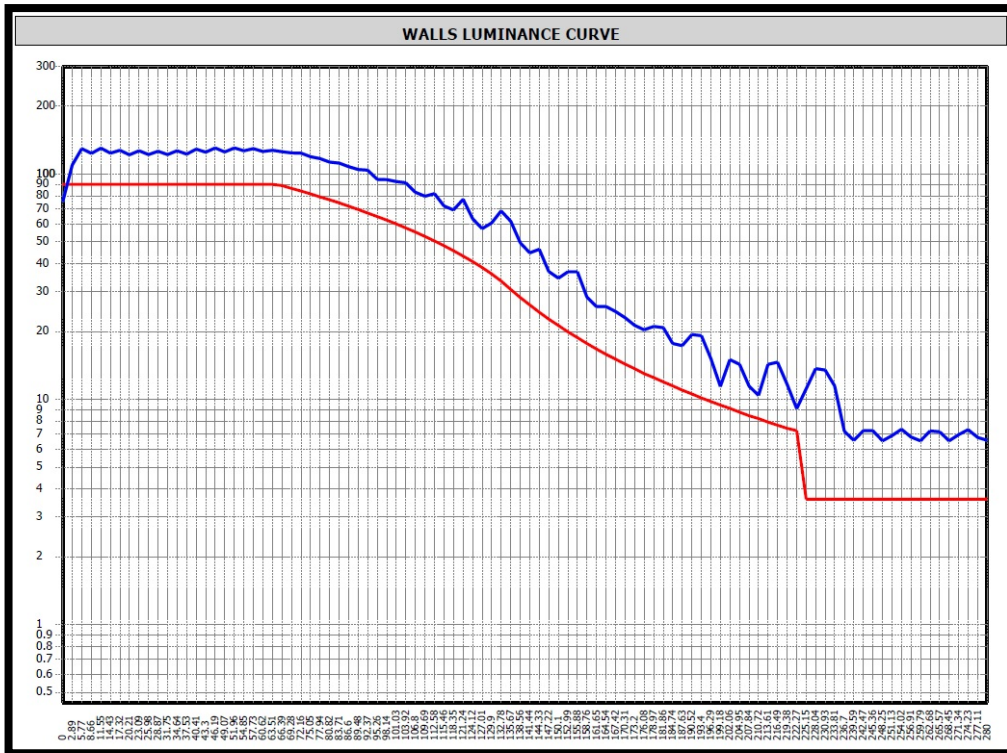
Tablo 6.25 %75 Kademe Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	0 - 63.51		
Average Road Illuminance (Lux)	2114.77		
Max Road Illuminance (Lux)	2628.2		
Min Road Illuminance (Lux)	954.5		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.45		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	165.25		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	214.1		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	32.5		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.2		
Required Road Luminance (cd/sqm)	150		
Average Road Luminance (cd/sqm)	165.01		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	201.9		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	91		
Overall Road Luminance Uniformity	0.55		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	181.7	169.4	173.1
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	142.2	132	134.1
Longitudinal Uniformity	0.78	0.78	0.77
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	90		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	123.48		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	134		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	71.5		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.58		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	90		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	123.48		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	134		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	71.5		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.58		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	1.16		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	4.7		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.71		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.61		
Maximum Veiling Luminance	0.05		
Maximum Threshold Increment (%)	0.02		

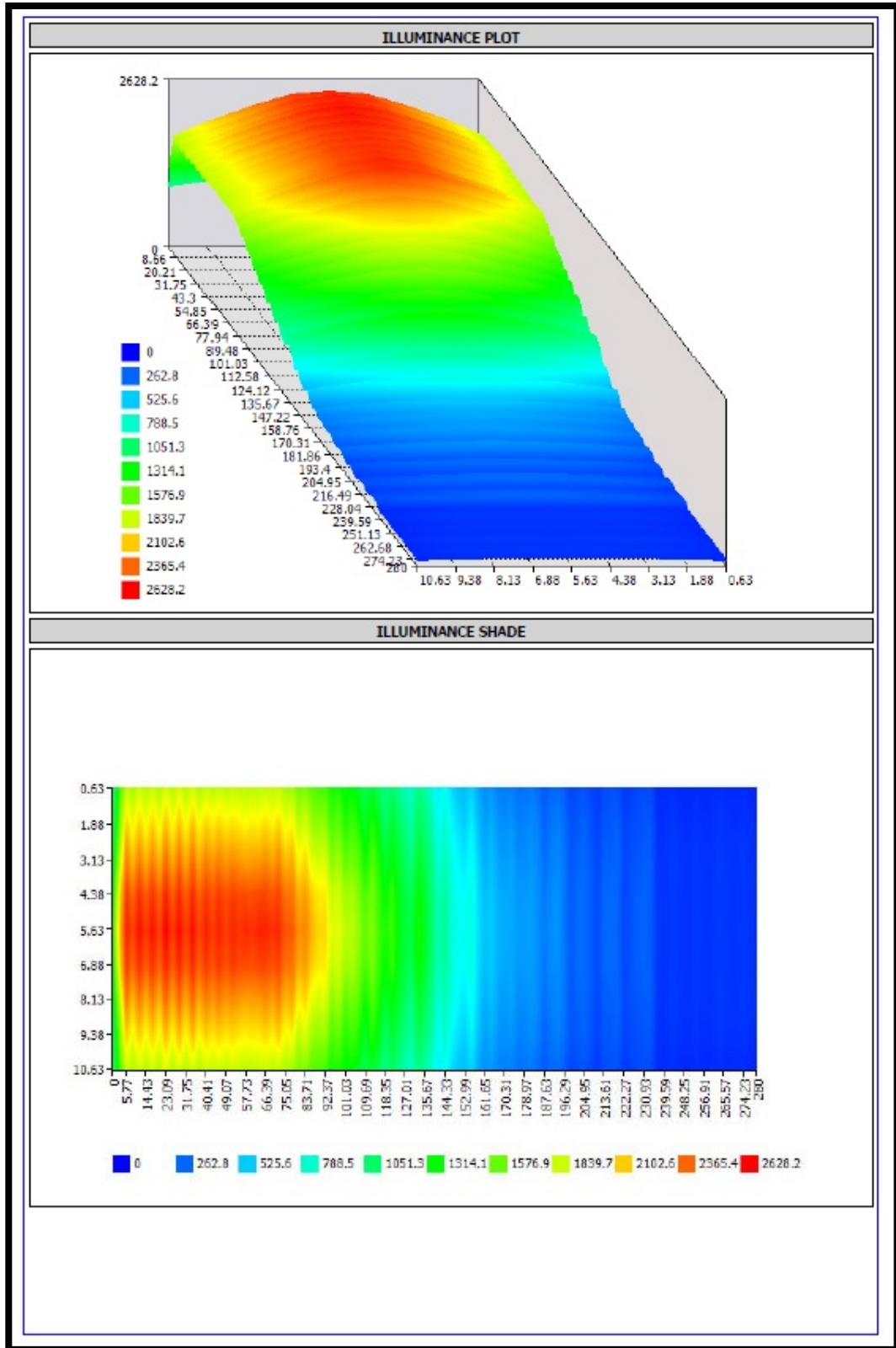
Tablo 6.26.a %75 Kademe Parlaklık Eğrisi



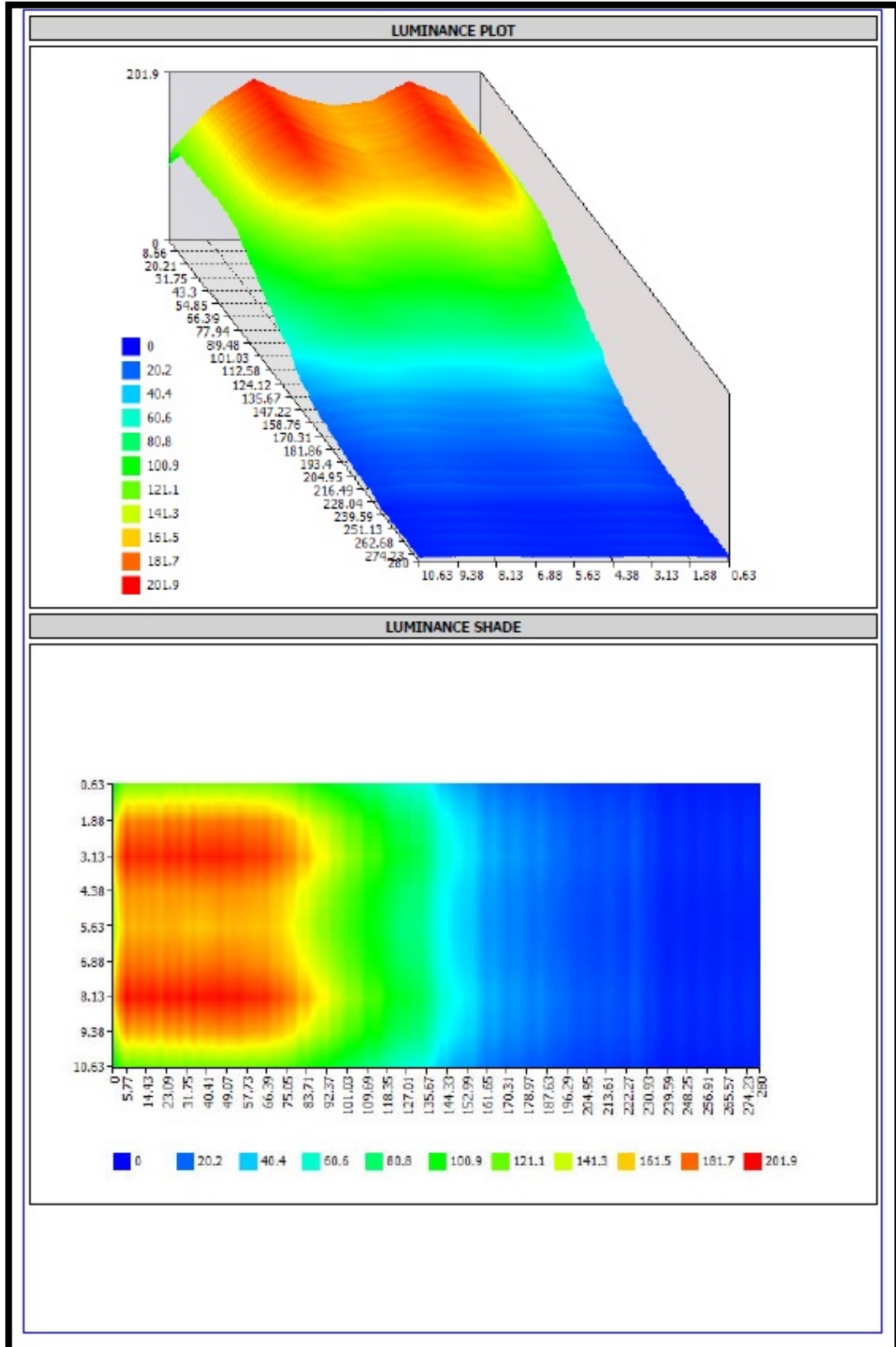
Tablo 6.26.b %75 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi



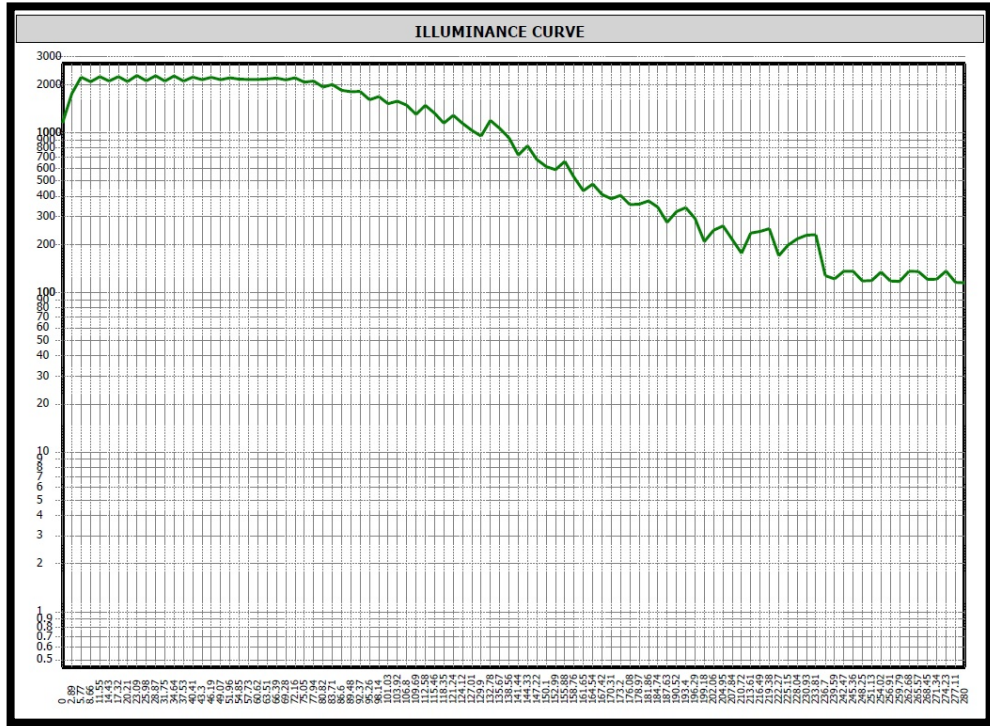
Şekil 6.9 % 75 Kademe Aydınlık – Karanlık Çıktısı



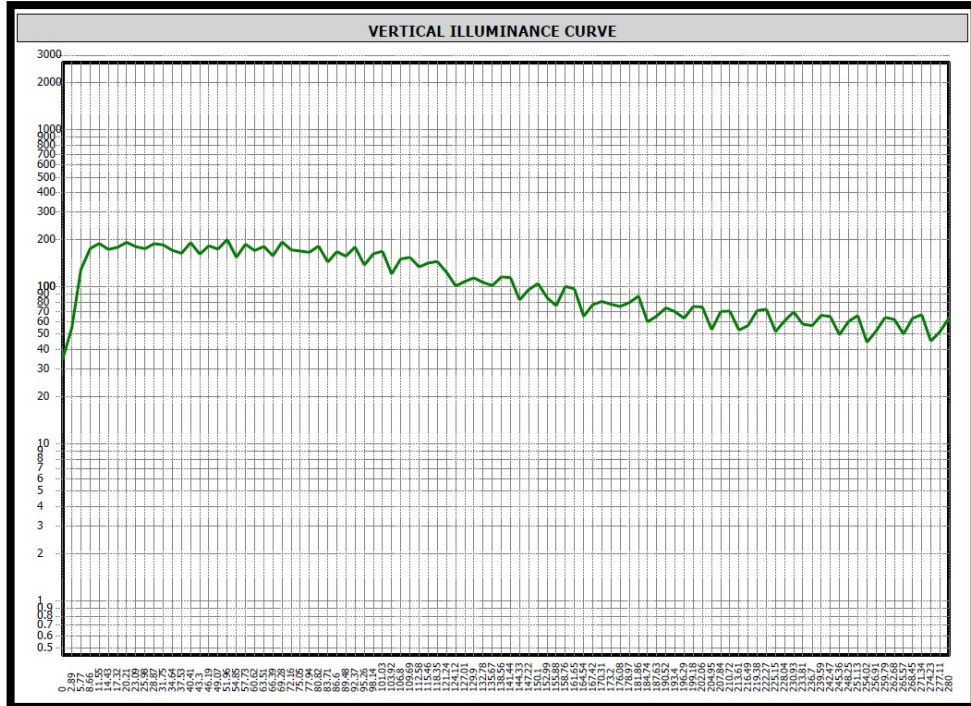
Şekil 6.10 % 75 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.27 %75 Kademe Aydınlık Eğrisi

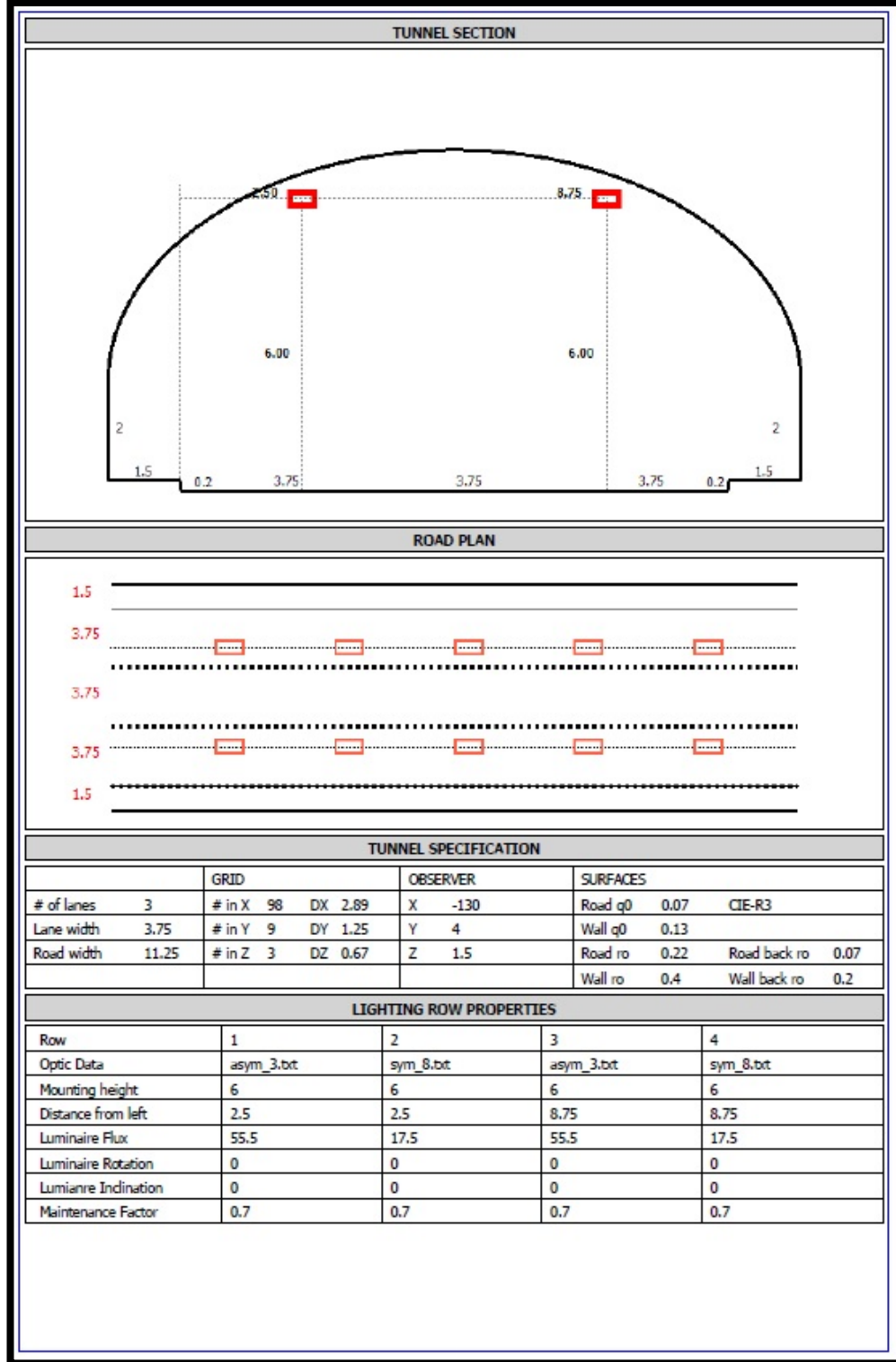


Tablo 6.28 %75 Kademe Dikey Aydınlık Eğrisi



6.5.5.11 %50 Kademesi Aydınlatma Hesaplar

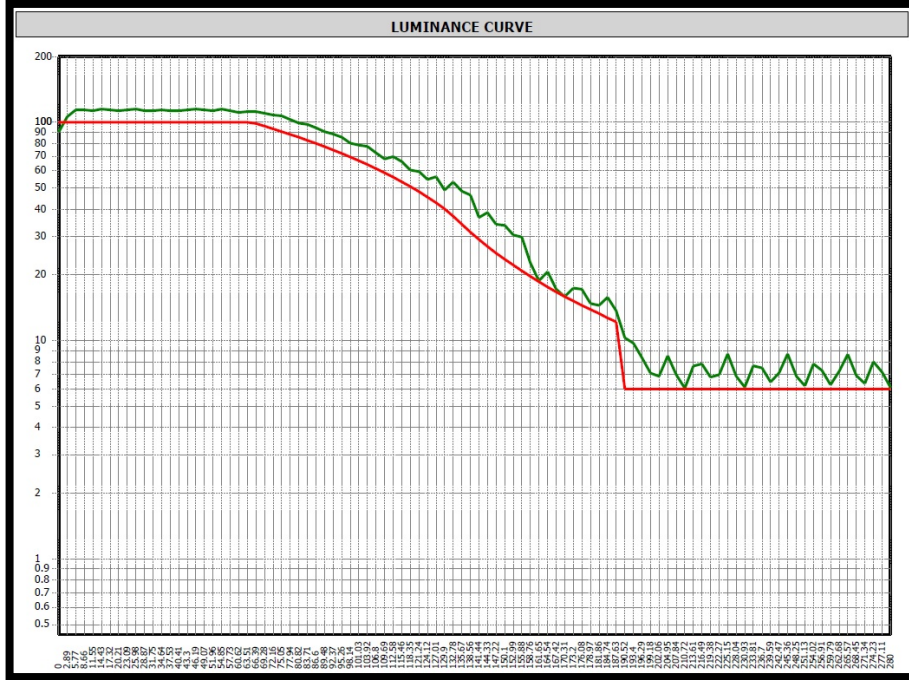
Tablo 6.29 % 75 Kademe Tünel Kesiti



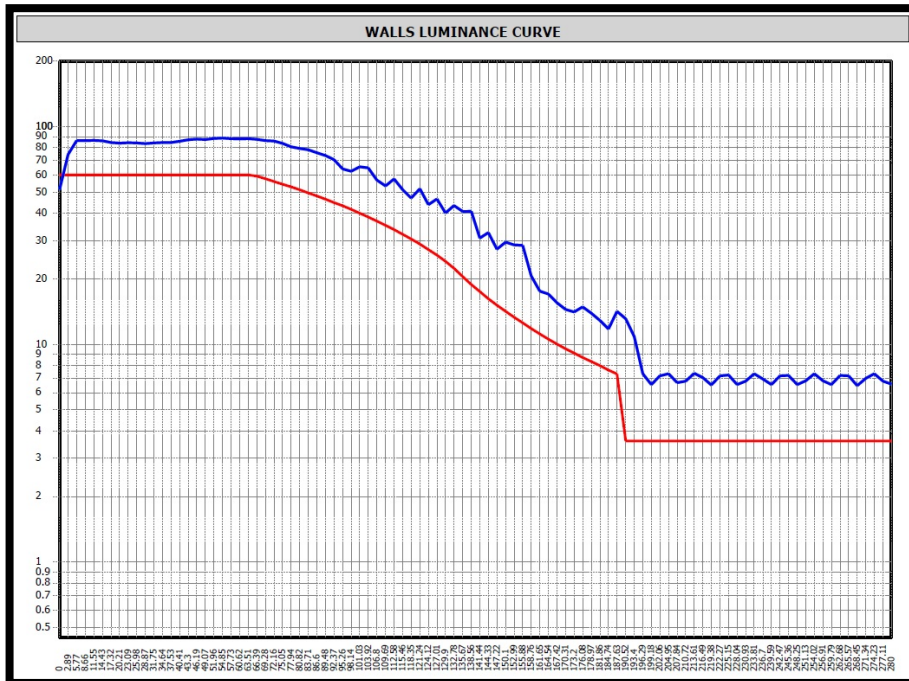
Tablo 6.30 % 50 Kademe Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	0 - 63.51		
Average Road Illuminance (Lux)	1444.75		
Max Road Illuminance (Lux)	1743.1		
Min Road Illuminance (Lux)	655.6		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.45		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	126.74		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	169		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	22.3		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.18		
Required Road Luminance (cd/sqm)	100		
Average Road Luminance (cd/sqm)	112.22		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	136.5		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	62.1		
Overall Road Luminance Uniformity	0.55		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	122.6	114.4	117.5
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	96	89.3	90.6
Longitudinal Uniformity	0.78	0.78	0.77
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	60		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	84.05		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	90.8		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	49		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.58		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	60		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	84.05		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	90.8		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	49		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.58		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	1.05		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	4.6		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.61		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.58		
Maximum Veiling Luminance	0.04		
Maximum Treshold Increment (%)	0.02		

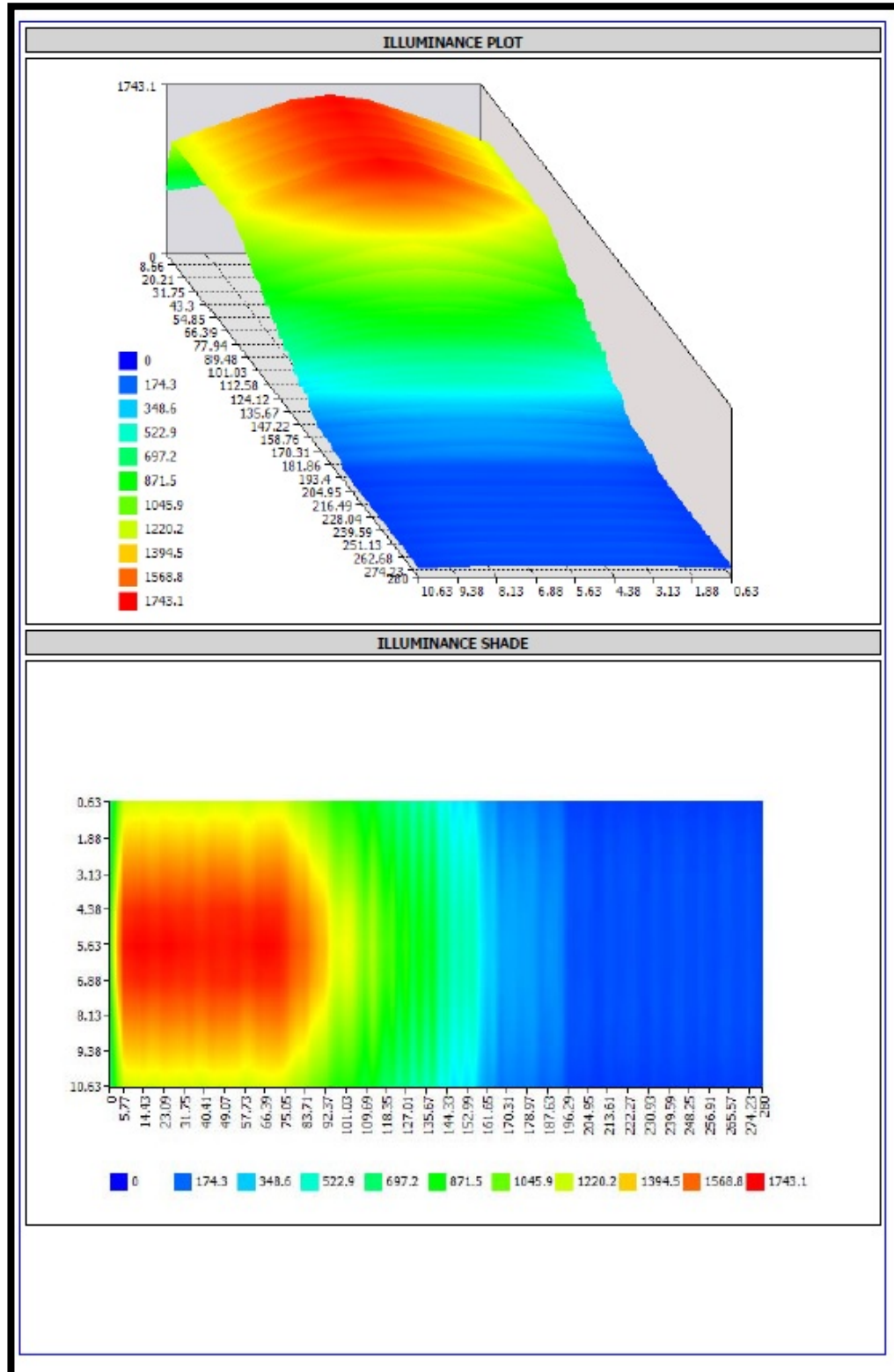
Tablo 6.31.a % 50 Kademe Parlaklık Eğrisi



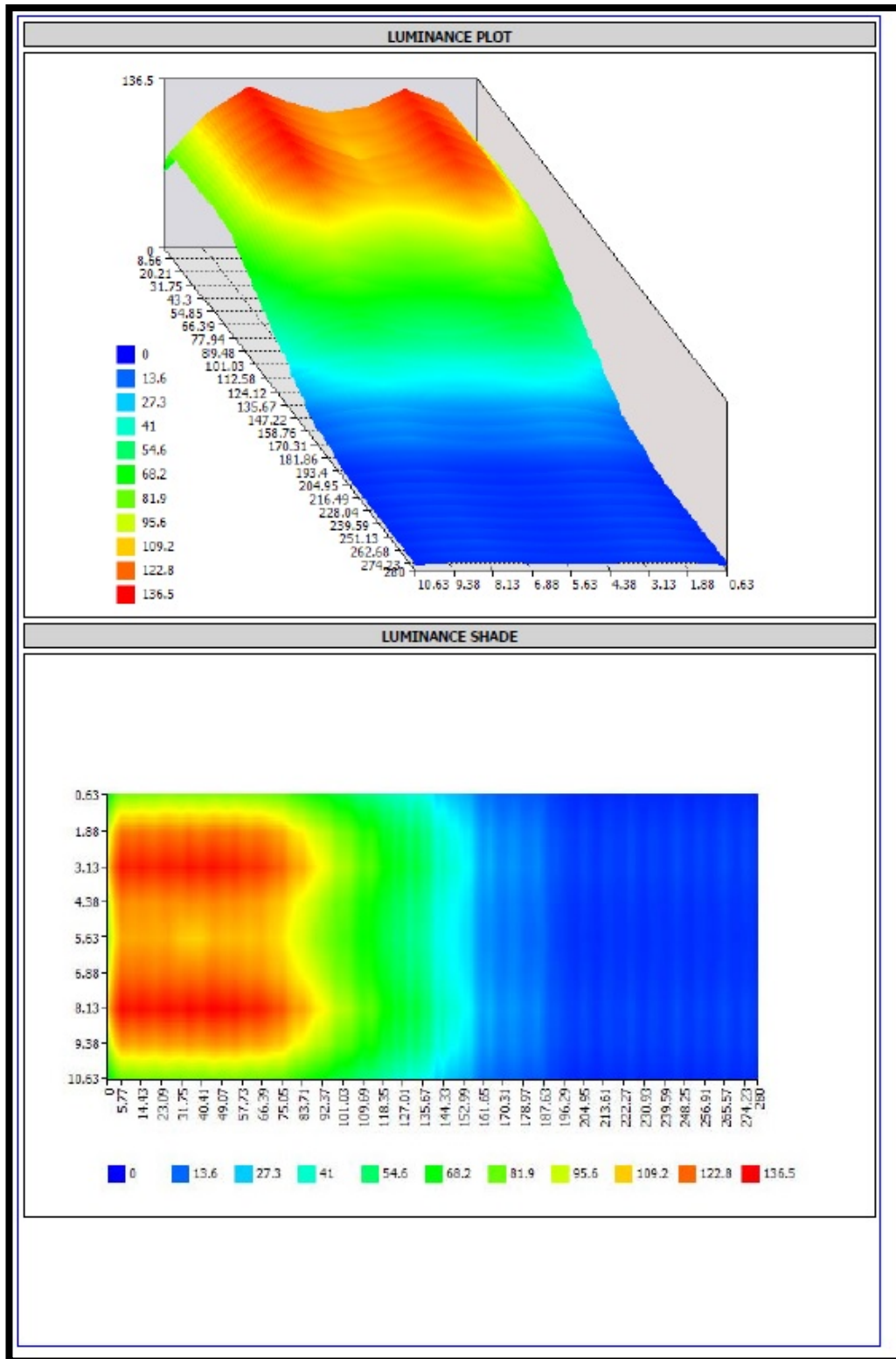
Tablo 6.31.b % 50 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi



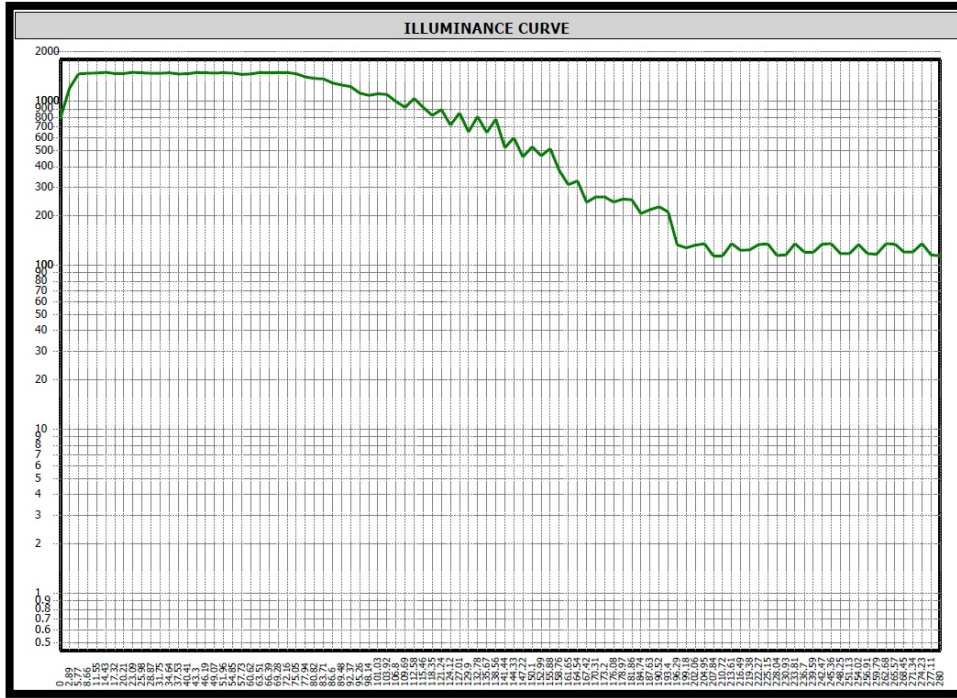
Şekil 6.11 %50 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı



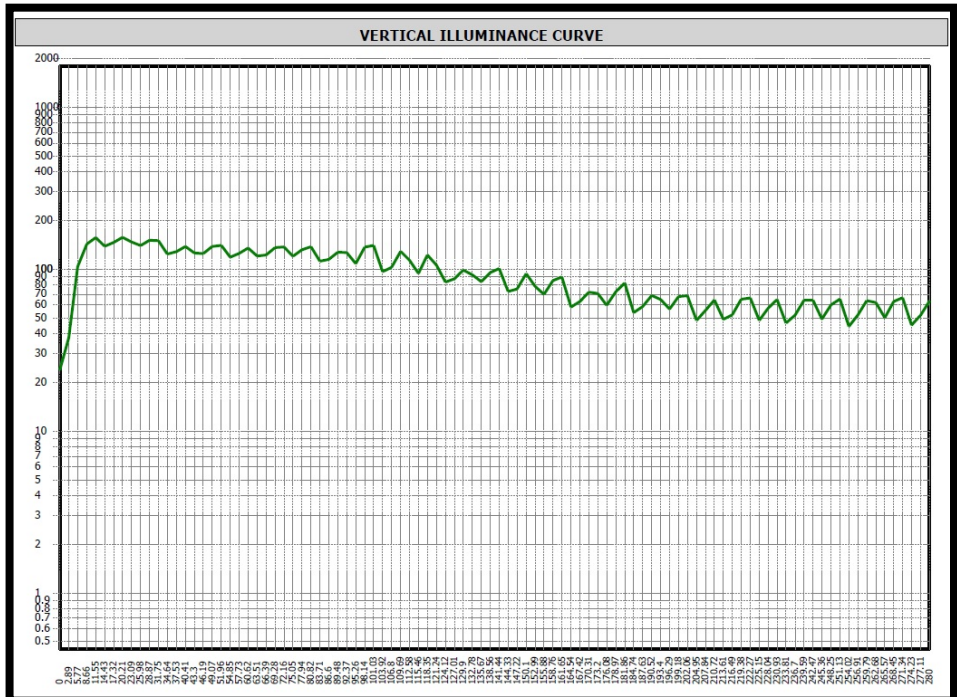
Şekil 6.12 % 50 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.32 %50 Kademe Aydınlık Eğrisi

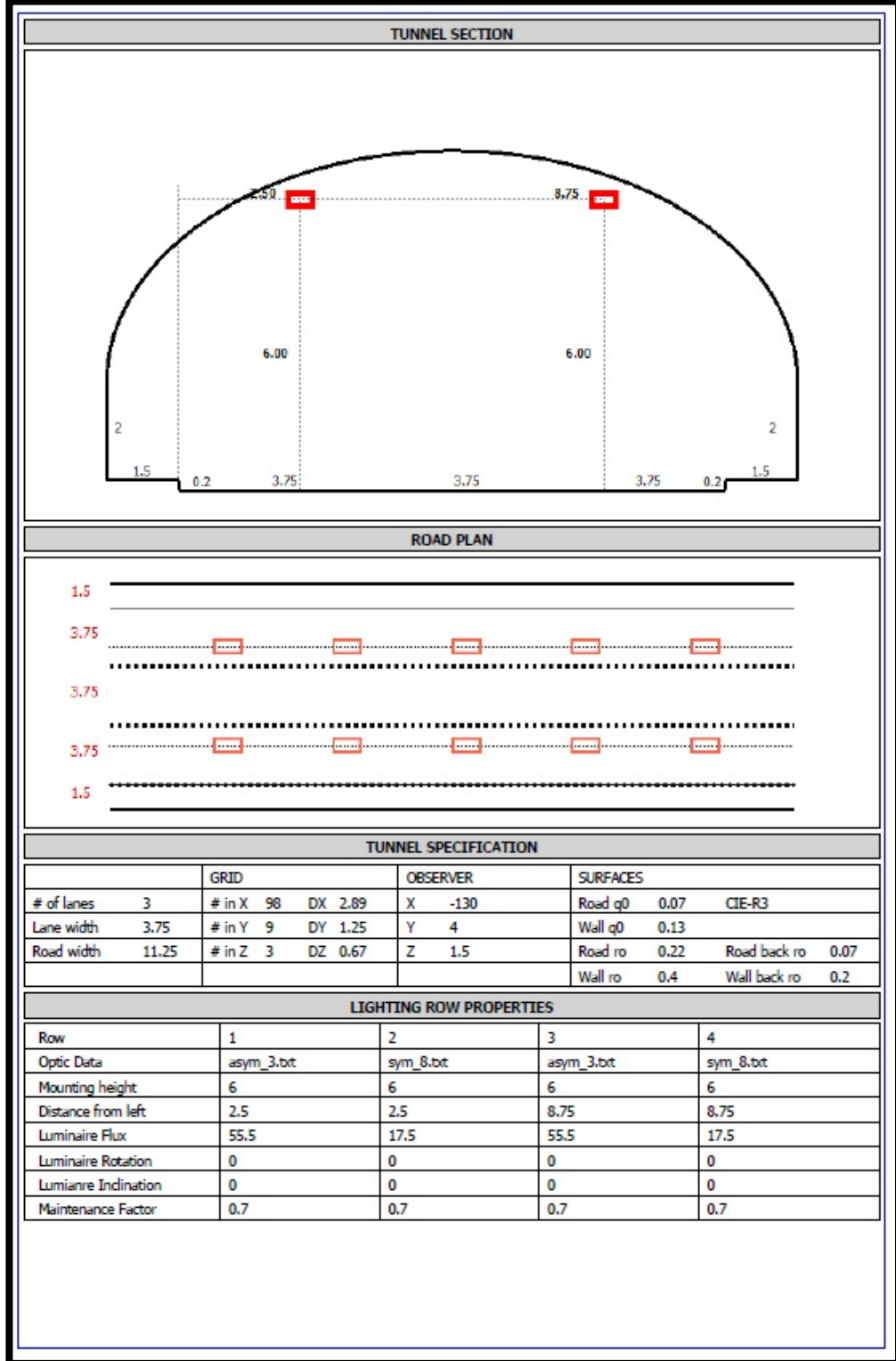


Tablo 6.33 %50 Kademe Dikey Aydınlık Eğrisi



6.5.5.12 %25 Kademesi Aydınlatma Hesaplar

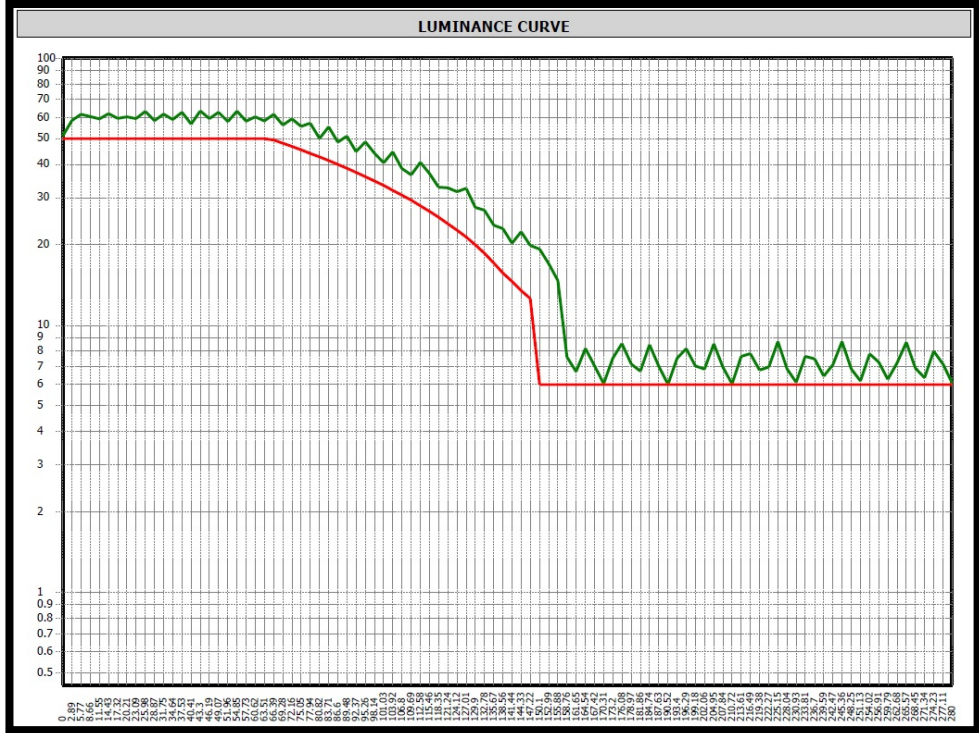
Tablo 6.34 % 25 Kademe Tünel Kesiti



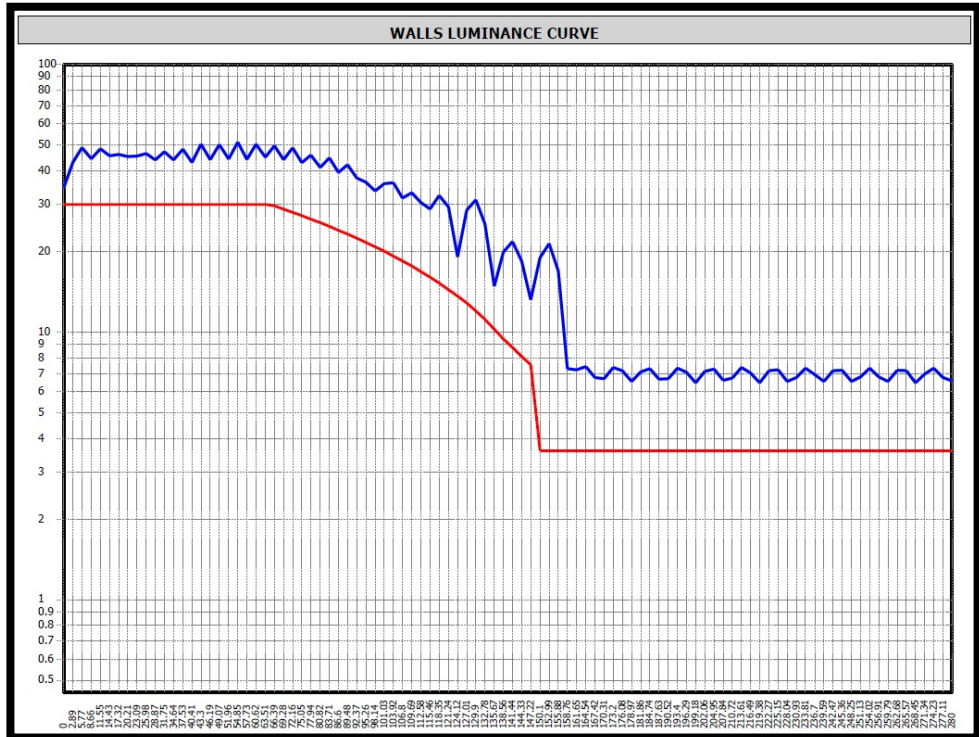
Tablo 6.35 % 25 Kademe Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	0 - 63.51		
Average Road Illuminance (Lux)	790.28		
Max Road Illuminance (Lux)	1010		
Min Road Illuminance (Lux)	433.4		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.55		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	89.81		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	134.6		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	15.2		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.17		
Required Road Luminance (cd/sqm)	50		
Average Road Luminance (cd/sqm)	59.89		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	76.5		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	36.2		
Overall Road Luminance Uniformity	0.6		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	68.5	62.3	66
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	54	51.5	51.2
Longitudinal Uniformity	0.79	0.83	0.78
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	30		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	45.85		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	52.4		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	33.9		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.74		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	30		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	45.85		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	52.4		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	33.9		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.74		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.82		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	3.8		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.41		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.5		
Maximum Veiling Luminance	0.03		
Maximum Threshold Increment (%)	0.03		

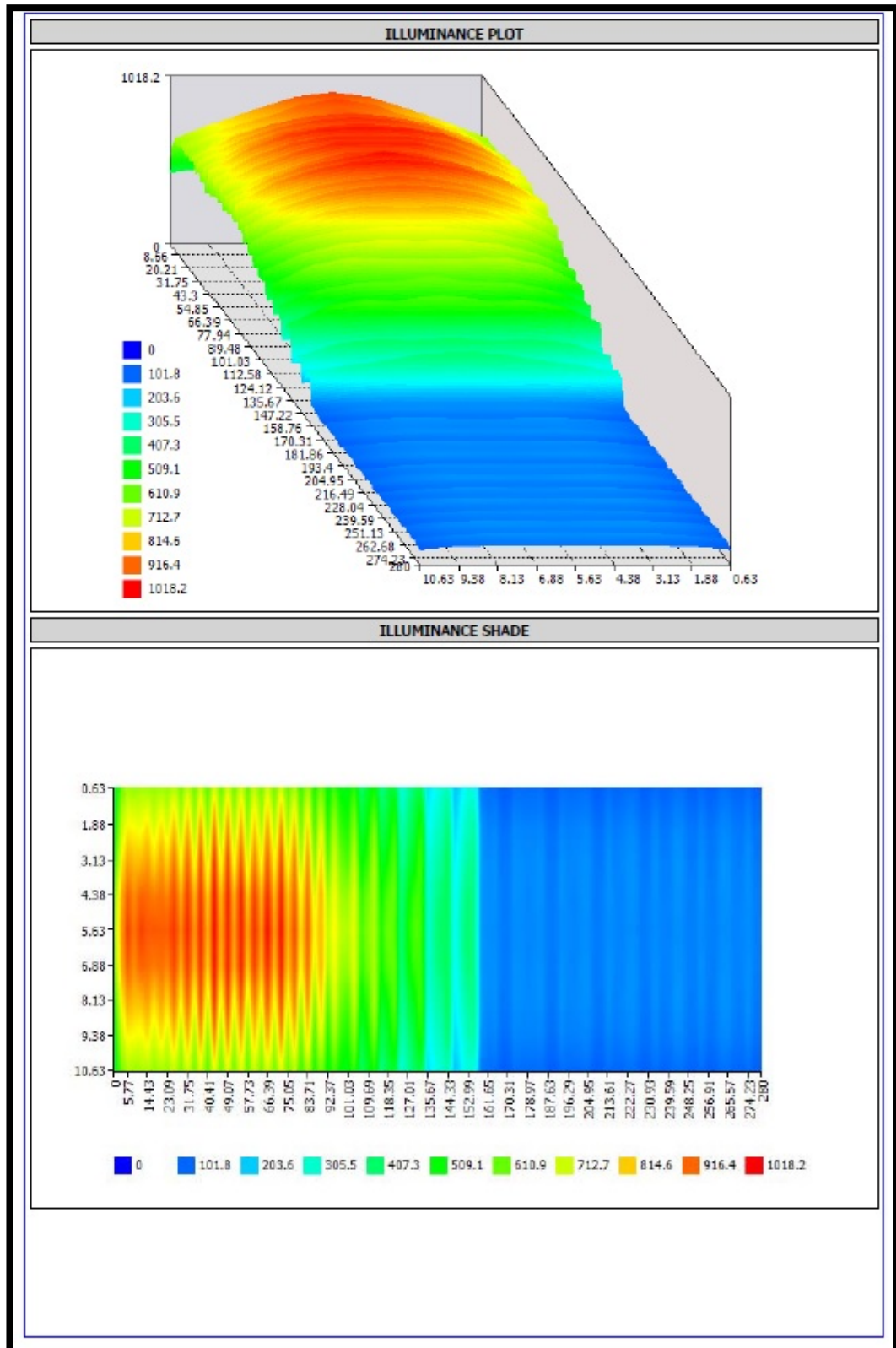
Tablo 6.36.a % 25 Kademe Parlaklık Eğrisi



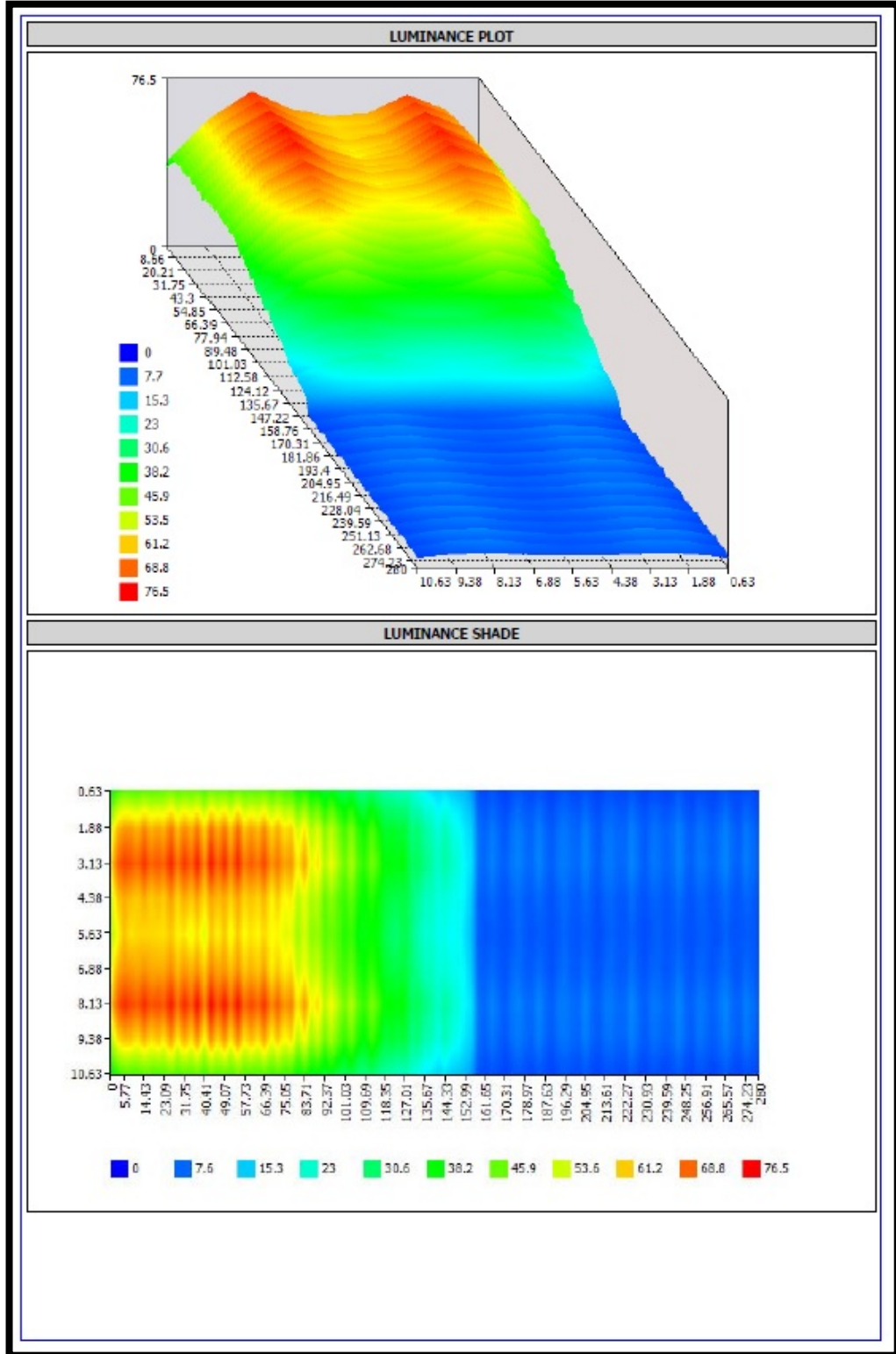
Tablo 6.36.b % 25 Kademe Duvar Parlaklık Eğrisi



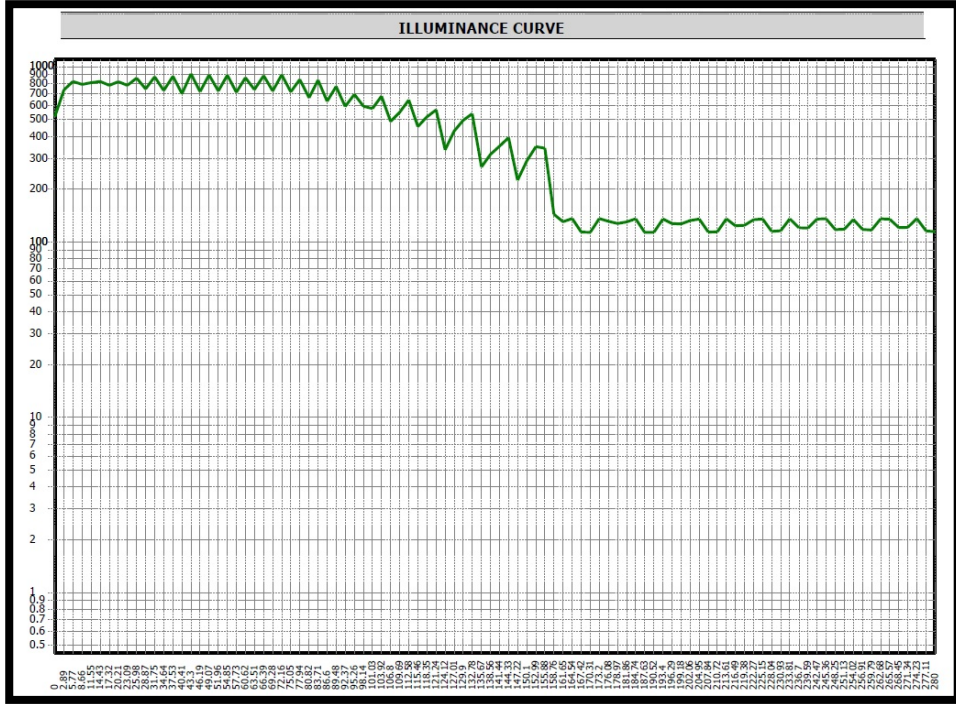
Şekil 6.11 %25 Kademe Aydınlık- Karanlık Çıktısı



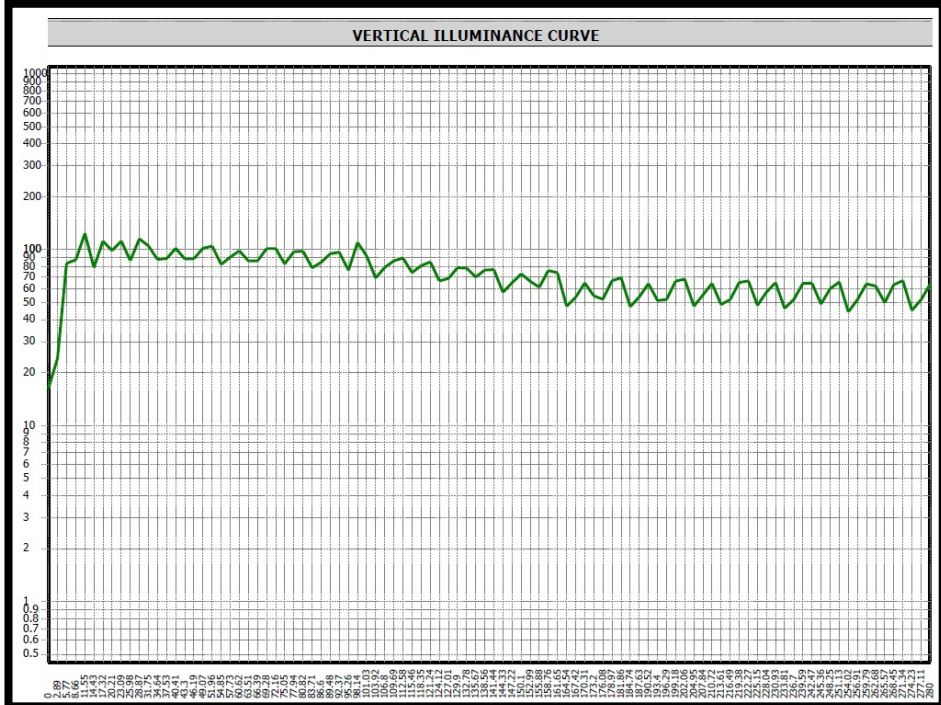
Şekil 6.12 % 25 Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.37 %25 Kademe Aydınlık Eğrisi

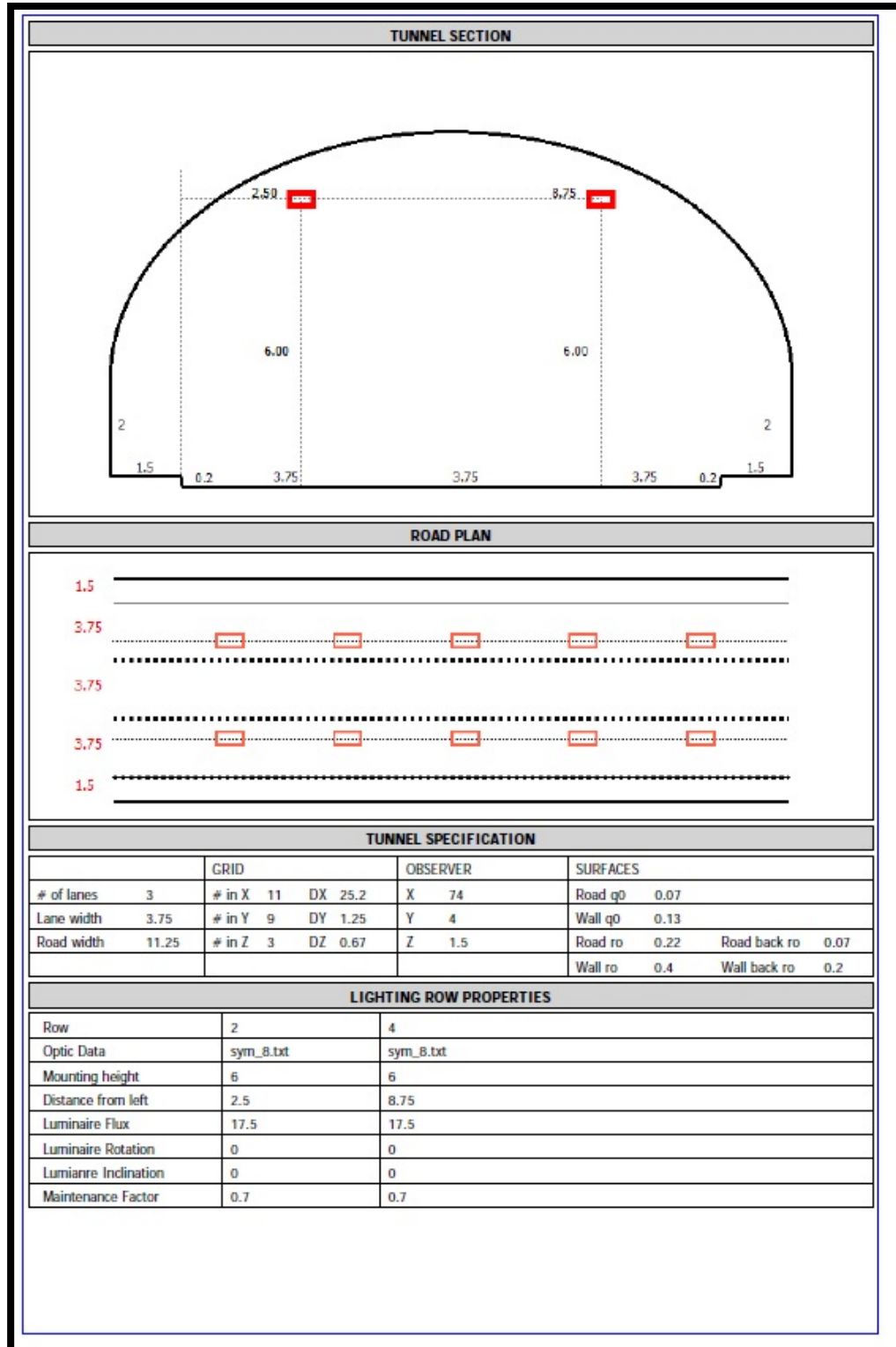


Tablo 6.38 %25 Kademe Dikey Aydınlık Eğrisi



6.5.5. 13 İç Bölge Aydınlatma Hesaplar

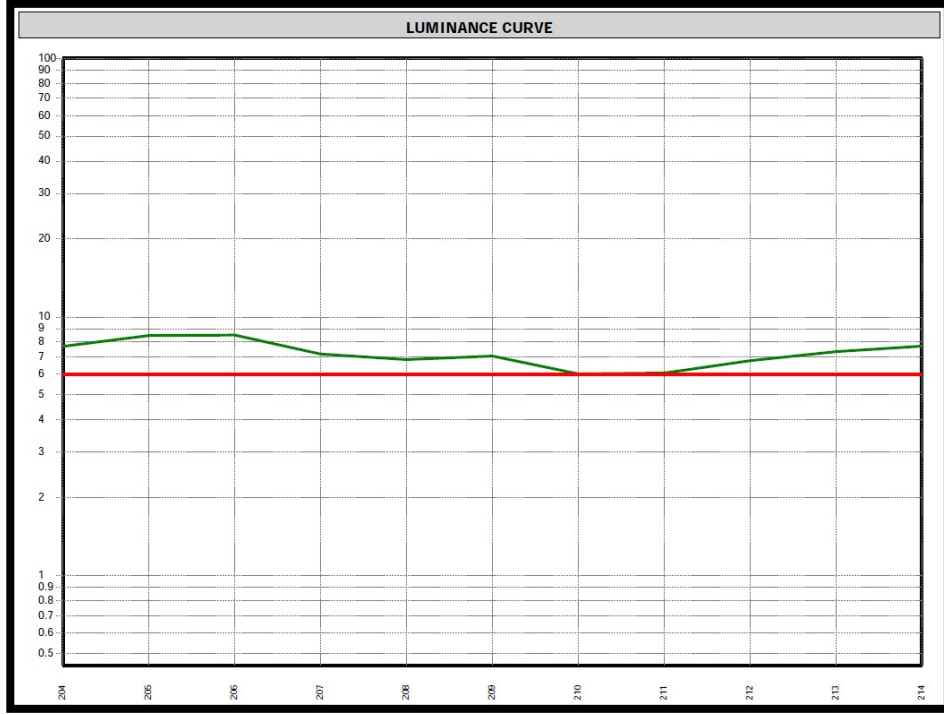
Tablo 6.39 İç Bölge Tünel Kesiti



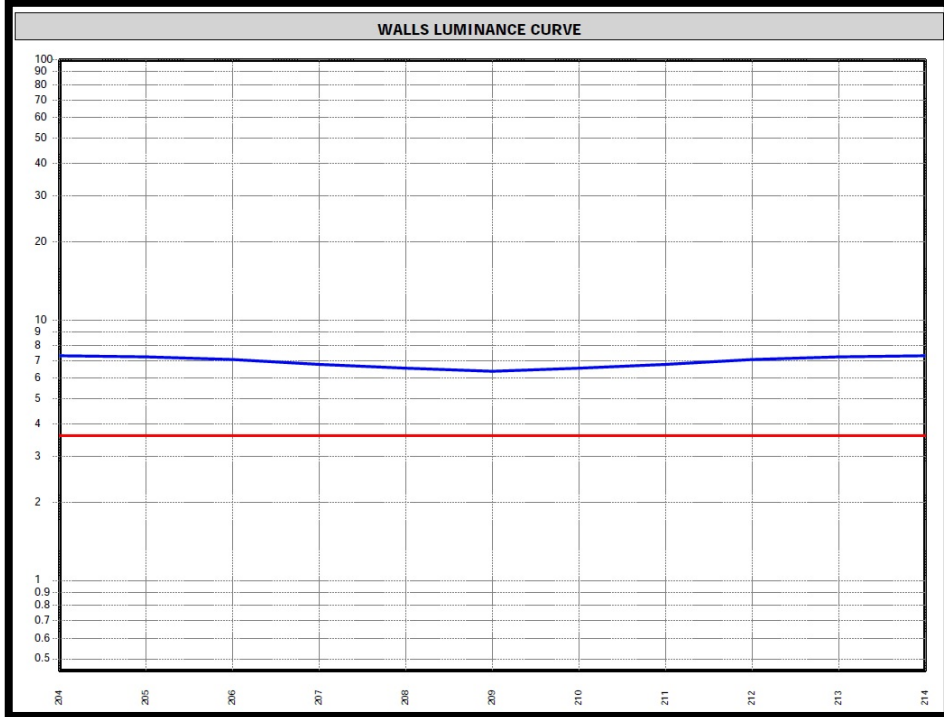
Tablo 6.40 İç Bölge Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	204 - 214		
Average Road Illuminance (Lux)	126.81		
Max Road Illuminance (Lux)	146		
Min Road Illuminance (Lux)	95.5		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.75		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	56.1		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	75.7		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	37.1		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.66		
Required Road Luminance (cd/sqm)	6		
Average Road Luminance (cd/sqm)	7.24		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	10.4		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	4.6		
Overall Road Luminance Uniformity	0.64		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	9.5	7.9	9.1
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	6.6	5.8	6.3
Longitudinal Uniformity	0.69	0.73	0.69
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	3.6		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	6.92		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	7.9		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	6.3		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.91		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	3.6		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	6.92		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	7.9		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	6.3		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.91		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.13		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.2		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.08		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.57		
Maximum Veiling Luminance	0.26		
Maximum Treshold Increment (%)	3.54		

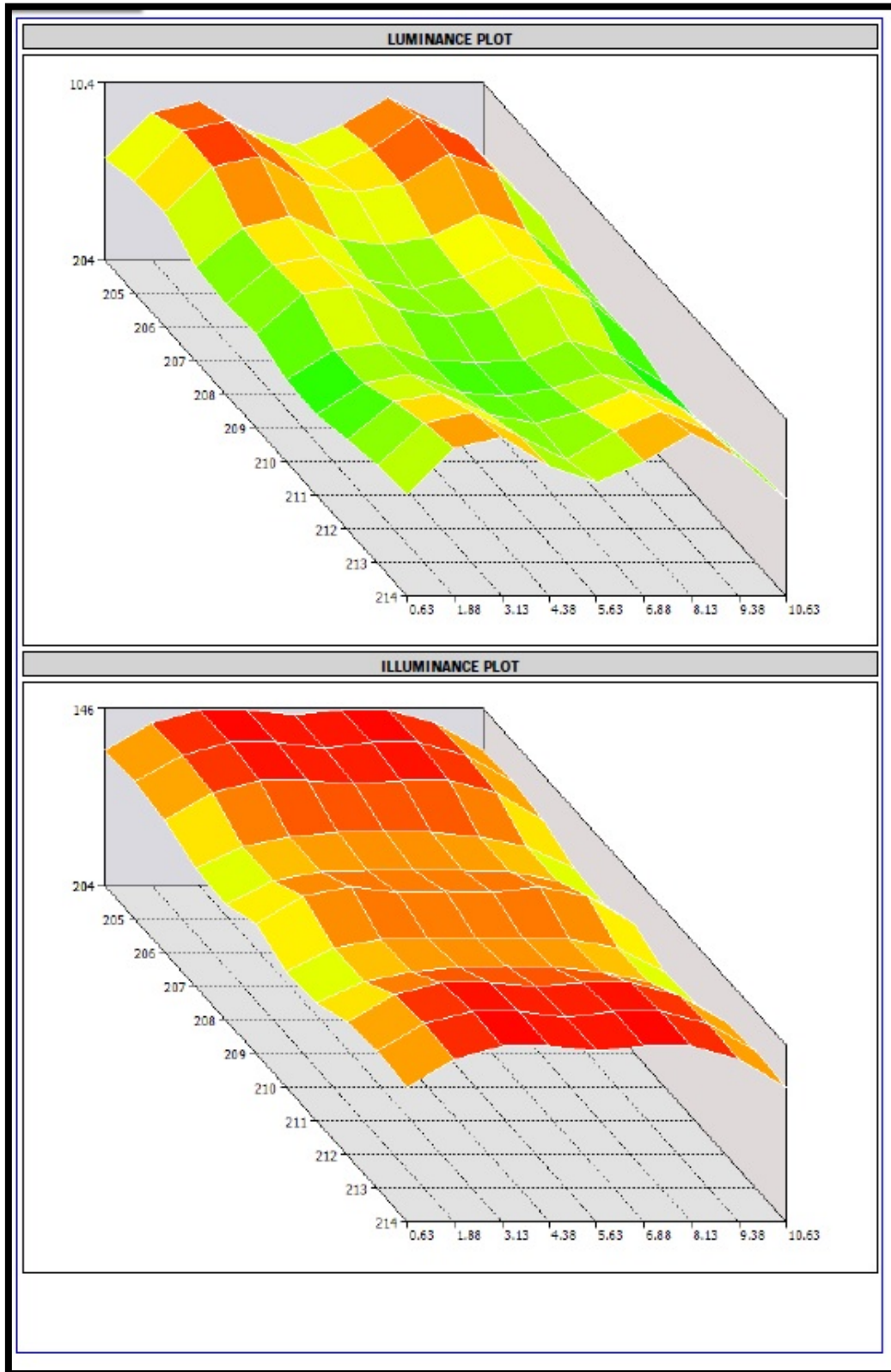
Tablo 6.41.a İç Bölge Parlaklık Eğrisi



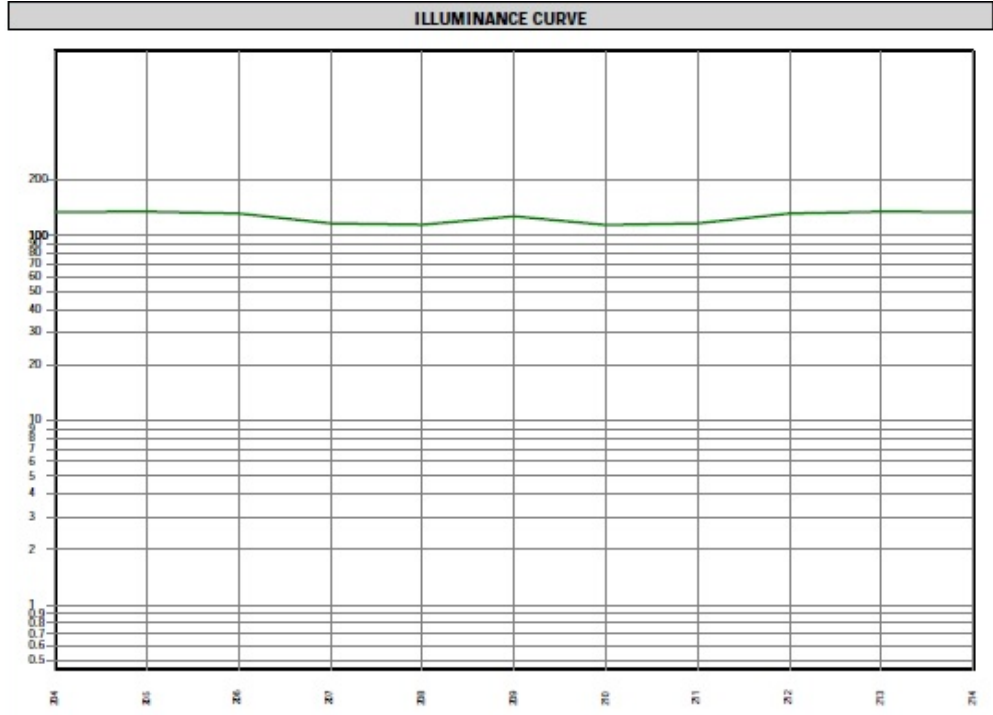
Tablo 6.41.b İç Bölge Duvar Parlaklık Eğrisi



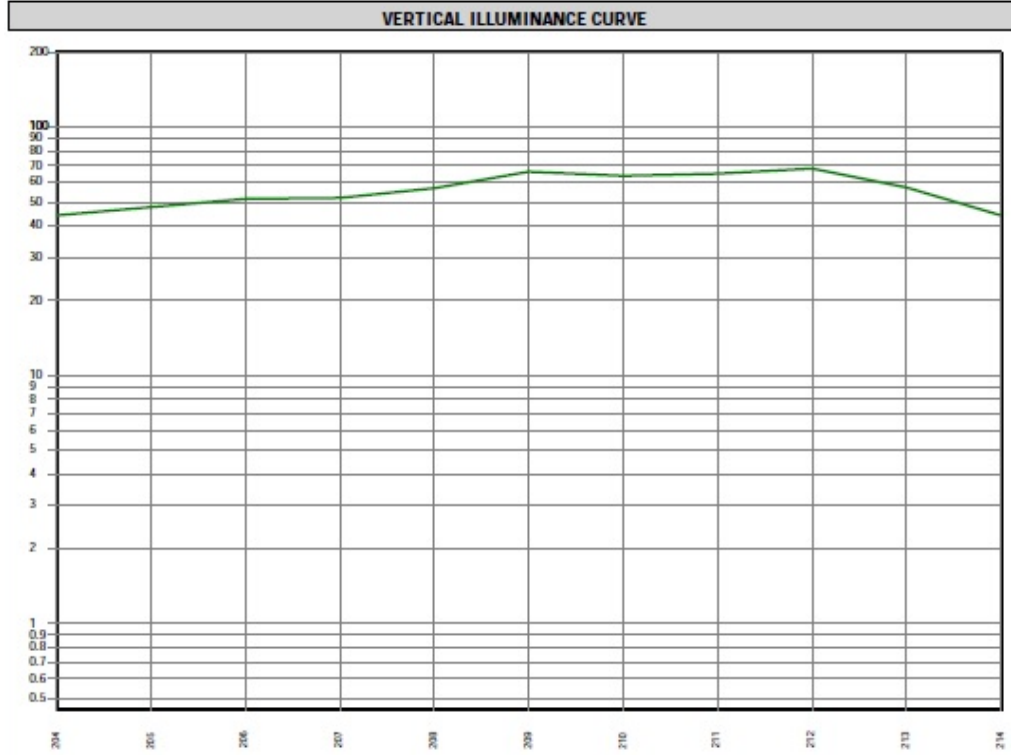
İç Bölge Kademe Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.42 İç Bölge Aydınlık Eğrisi

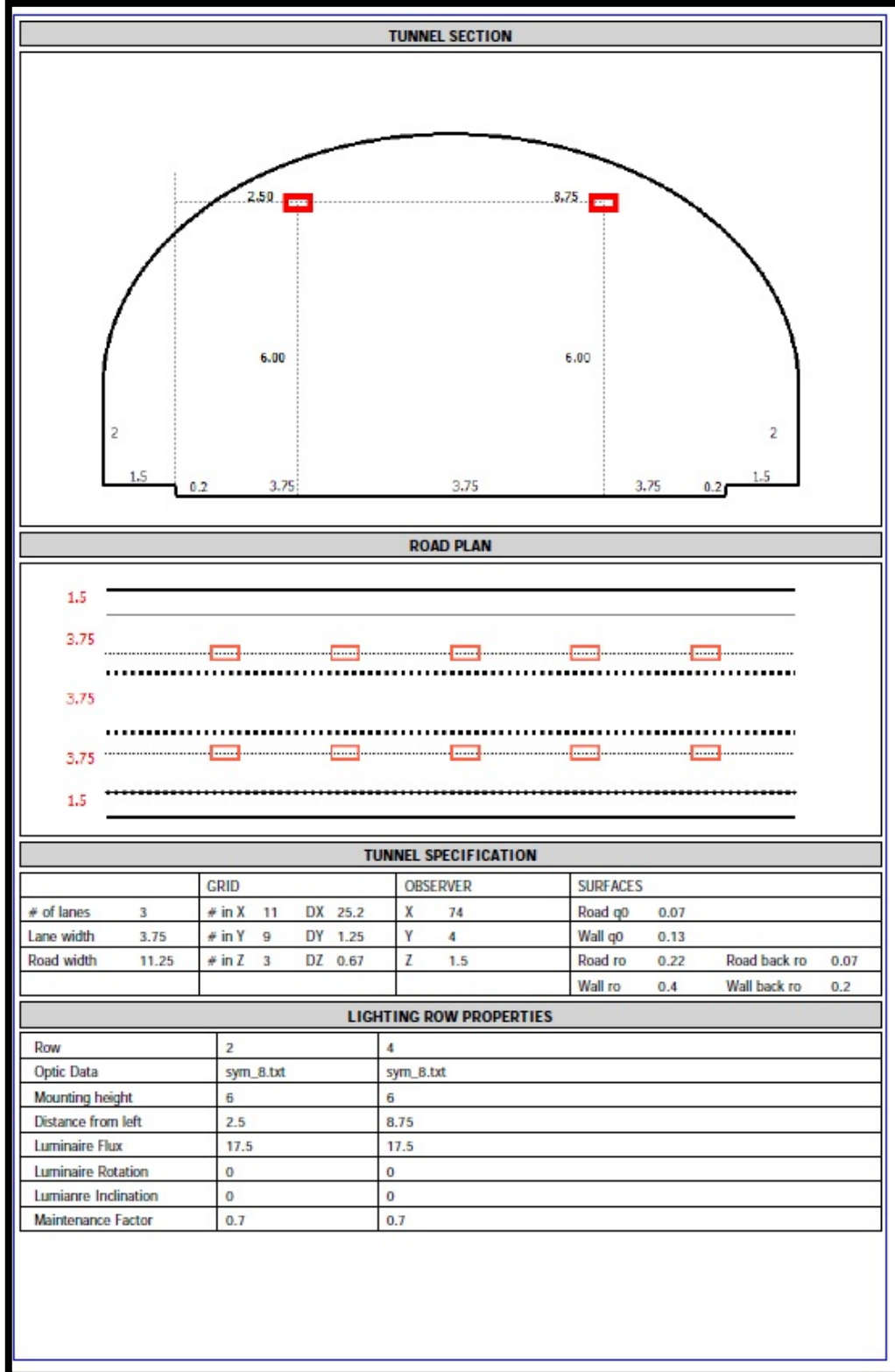


Tablo 6.43 İç Bölge Dikey Aydınlık Eğrisi



6.5.5.14 Gece Kademesi Aydınlatma Hesaplar

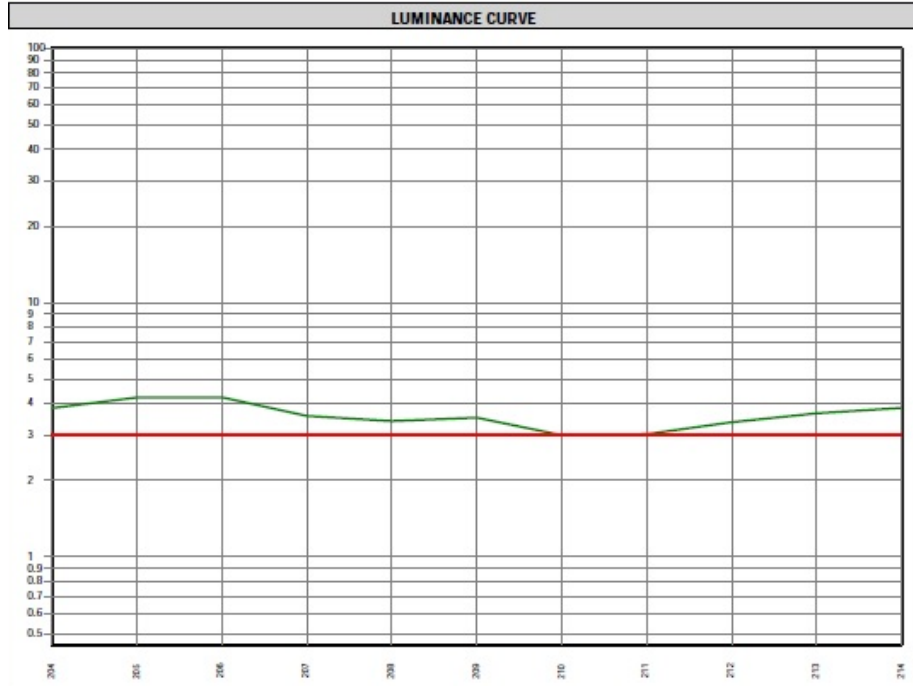
Tablo 6.44 Gece Kademesi Tünel Kesiti



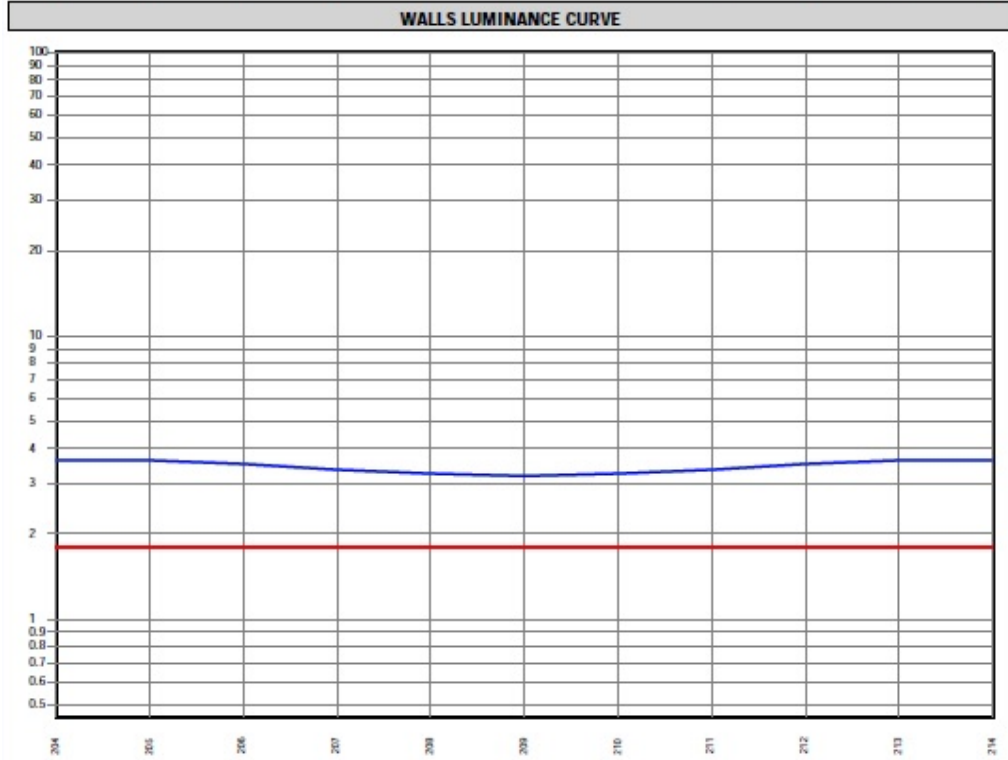
Tablo 6.45 Gece Kademesi Hesap Özeti

SUMMARY			
Grid starts-ends	204 - 214		
Average Road Illuminance (Lux)	63.4		
Max Road Illuminance (Lux)	73		
Min Road Illuminance (Lux)	47.7		
Overall Road Illuminance Uniformity	0.75		
Average Road Vertical Illuminance (Lux)	28.06		
Max Road Vertical Illuminance (Lux)	37.9		
Min Road Vertical Illuminance (Lux)	18.5		
Overall Road Vertical Illuminance Uniformity	0.66		
Required Road Luminance (cd/sqm)	3		
Average Road Luminance (cd/sqm)	3.62		
Max. Road Luminance (cd/sqm)	5.2		
Min. Road Luminance (cd/sqm)	2.3		
Overall Road Luminance Uniformity	0.63		
Longitudinal	Lane-1	Lane-2	Lane-3
Observer position on Y direction	1.88	5.63	9.38
Maximum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	4.8	3.9	4.6
Minimum Luminance on Observer Axis (cd/sqm)	3.3	2.9	3.1
Longitudinal Uniformity	0.69	0.74	0.67
Required Left Wall Luminance (cd/sqm)	1.8		
Average Left Wall Luminance (cd/sqm)	3.46		
Max. Left Wall Luminance (cd/sqm)	3.9		
Min. Left Wall Luminance (cd/sqm)	3.2		
Overall Left Wall Luminance Uniformity	0.92		
Required Right Wall Luminance (cd/sqm)	1.8		
Average Right Wall Luminance (cd/sqm)	3.46		
Max. Right Wall Luminance (cd/sqm)	3.9		
Min. Right Wall Luminance (cd/sqm)	3.2		
Overall Right Wall Luminance Uniformity	0.92		
Average Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.13		
Max. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.2		
Min. Contrast Coefficient of Road (cd/sqm/Lux)	0.08		
Overall Contrast Coefficient of Road Uniformity	0.57		
Maximum Veiling Luminance	0.13		
Maximum Treshold Increment (%)	3.35		

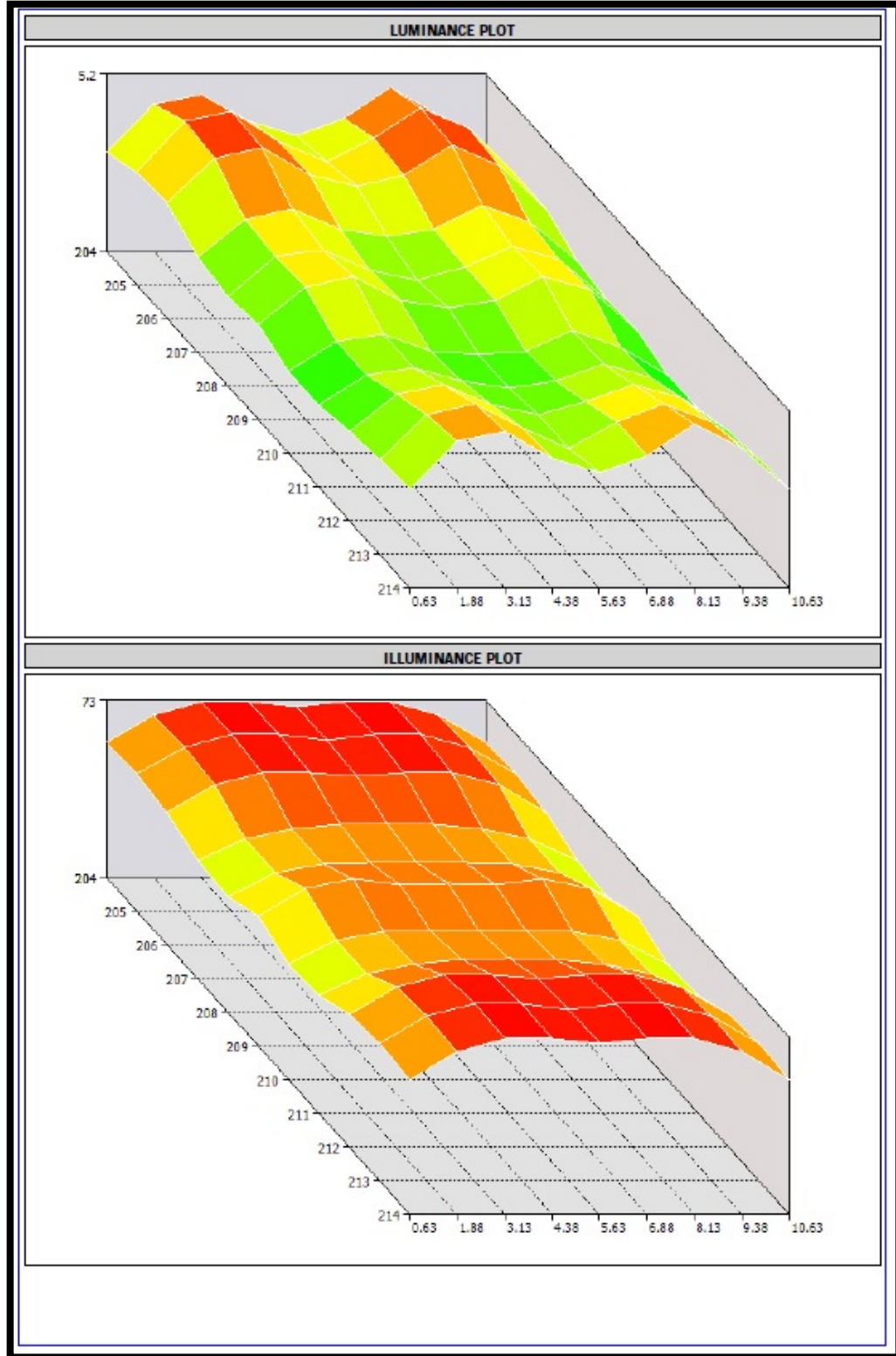
Tablo 6.46.a Gece Kademesi Parlaklık Eğrisi



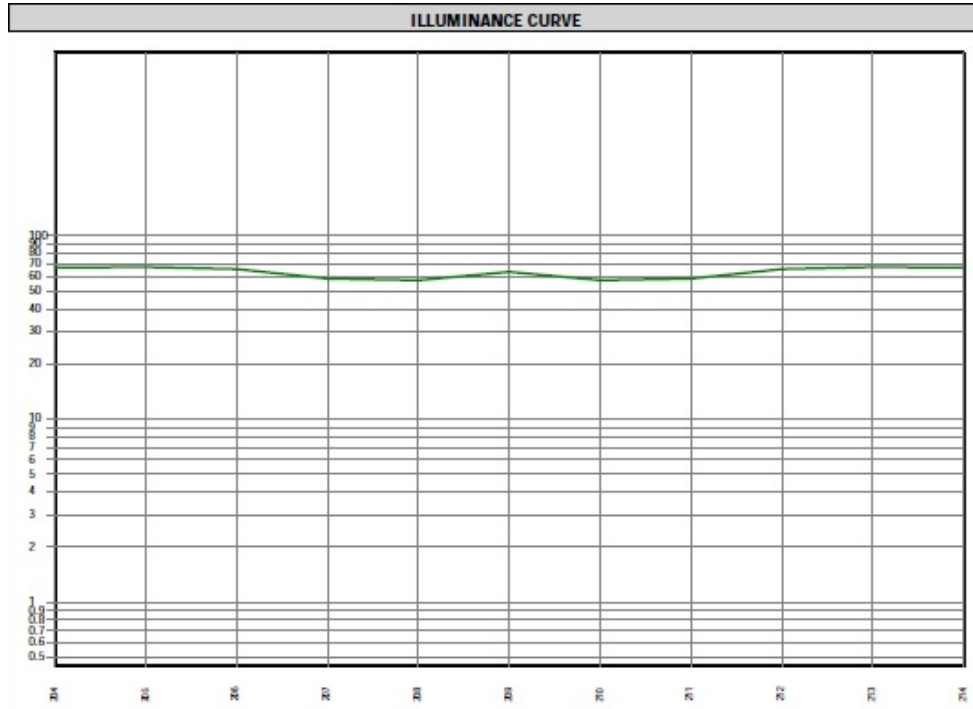
Tablo 6.46.b Gece Kademesi Duvar Parlaklık Eğrisi



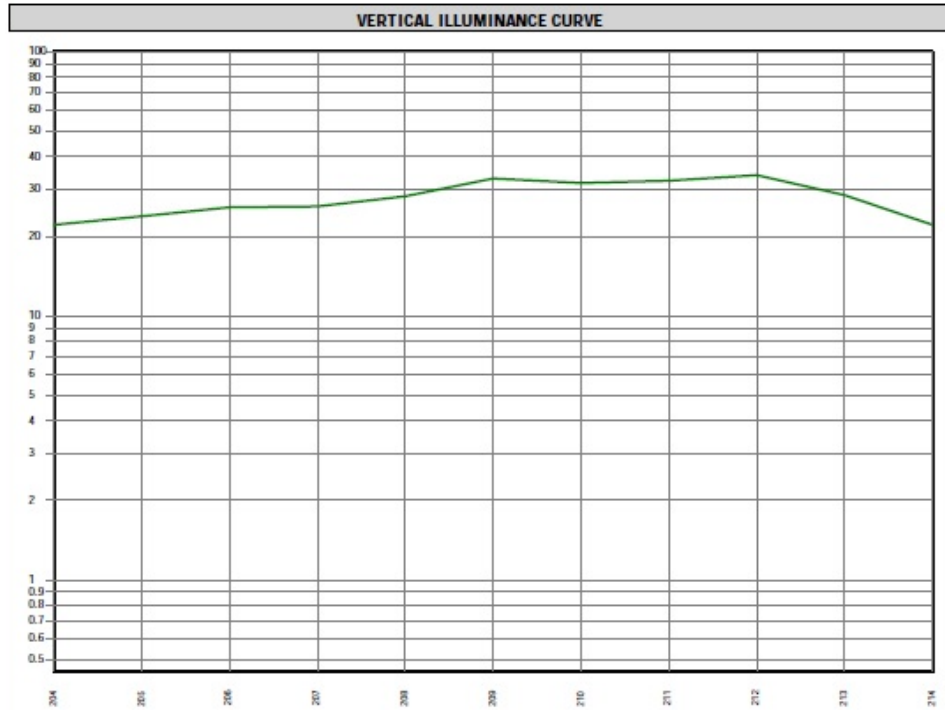
Şekil 6.14 Gece Kademesi Parlaklık - Gölge Çıktısı



Tablo 6.47 Gece Kademesi Aydınlık Eğrisi

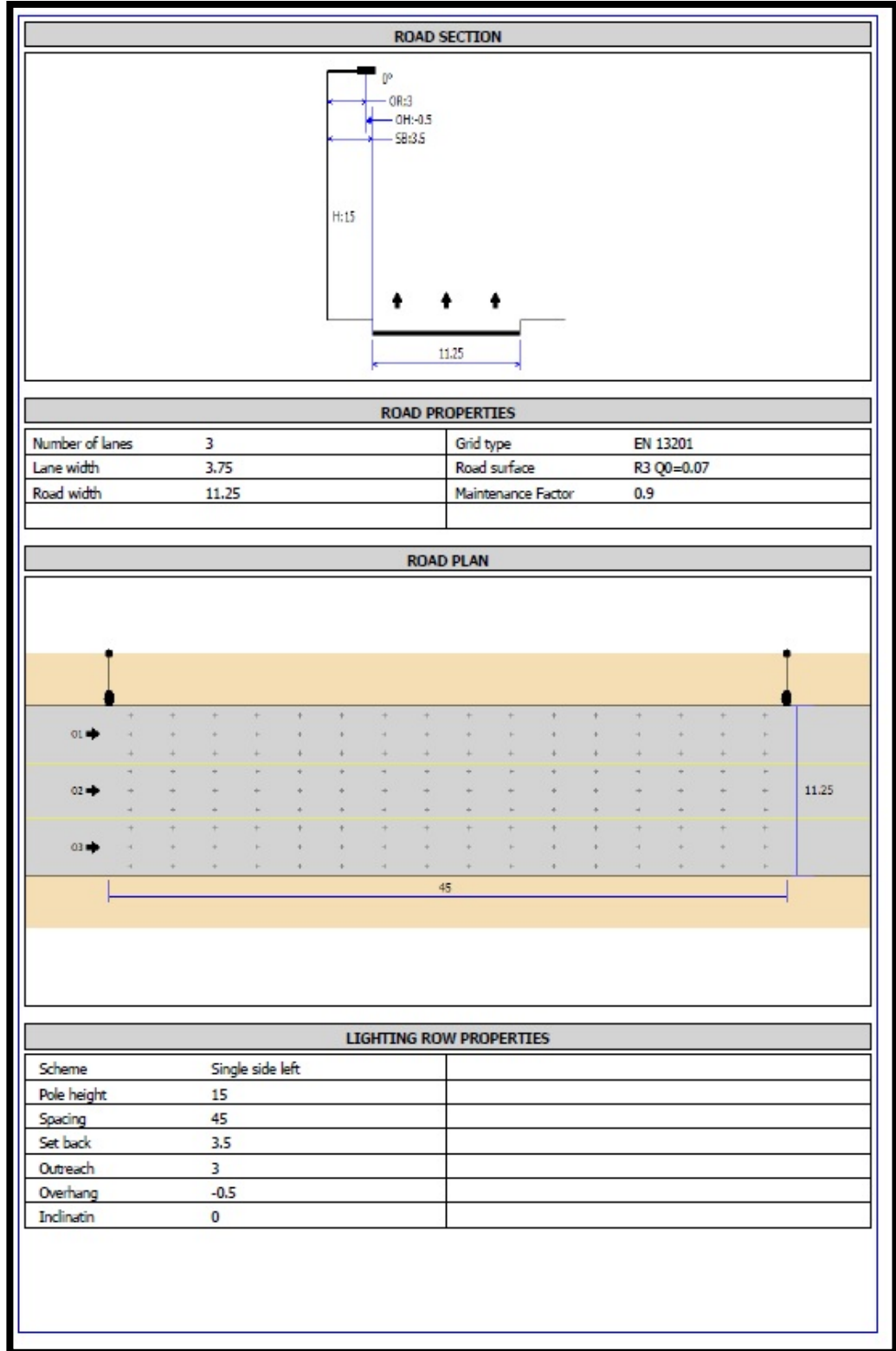


Tablo 6.48 Gece Kademesi Dikey Aydınlık Eğrisi

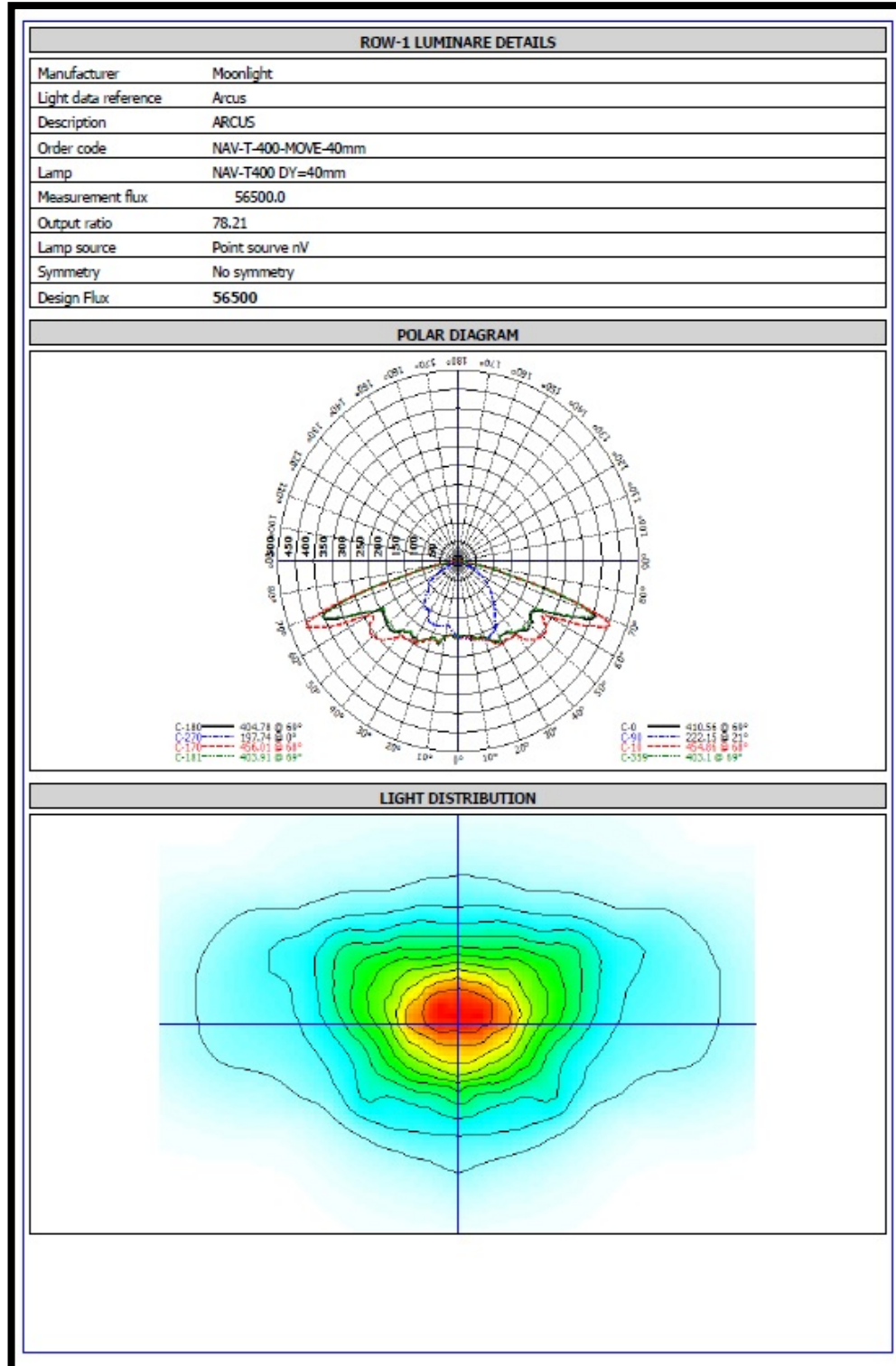


YAKLAŞIM YOLLARI

Tablo 6.49 Yaklaşım Yolları Kesiti



Şekil 6.15 Armatür Karakteristiği



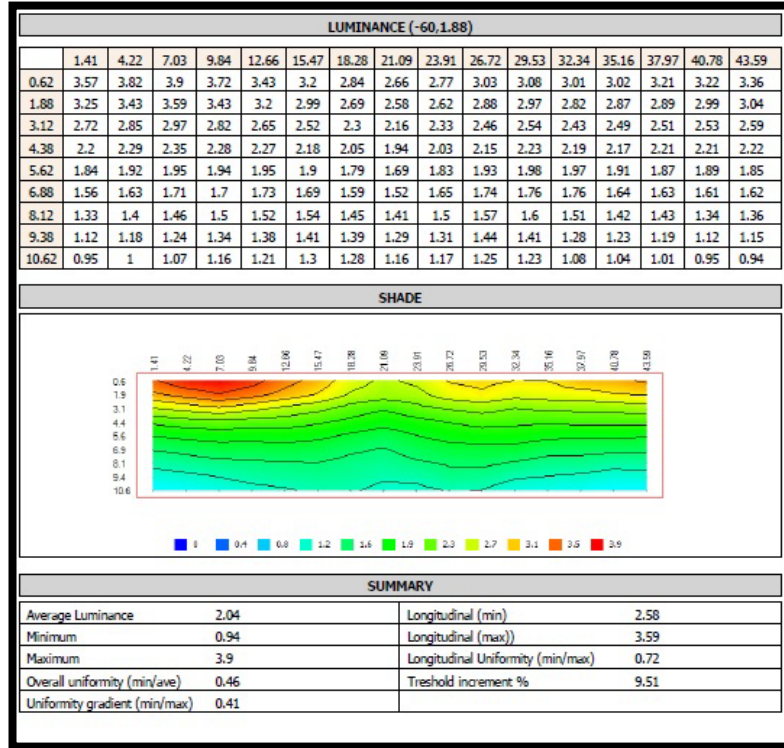
Tablo 6.50 Aydınlatma Sistemi Özeti

LIGHTING SYSTEM SUMMARY				
ILLUMINANCE				
E average (Lux)	32.32			
E min (Lux)	20.71			
E max (Lux)	50.49			
Overall Uniformity (min/ave)	0.64			
Uniformity Gradient	0.41			
Surround ratio right	0.6			
Surround ratio left	0.57			
LUMINANCE				
OBSERVER-->		O1	O2	O3
Observer position (y)		1.88	5.62	9.38
L average (cd/sqm)	2.04	2.04	2.22	2.35
L min (cd/sqm)		0.94	0.99	1.04
L max (cd/sqm)		3.9	3.96	3.96
Overall Uniformity (min/ave)	0.44	0.46	0.45	0.44
Uniformity Gradient (min/max)		0.24	0.25	0.26
Longitudinal uniformity (Lmin/Lmax)	0.72	0.72	0.83	0.76
Longitudinal ULmin		2.58	1.92	1.25
Longitudinal ULmax		3.59	2.32	1.65
Threshold increment (%)	9.51	9.51	7.5	4.65

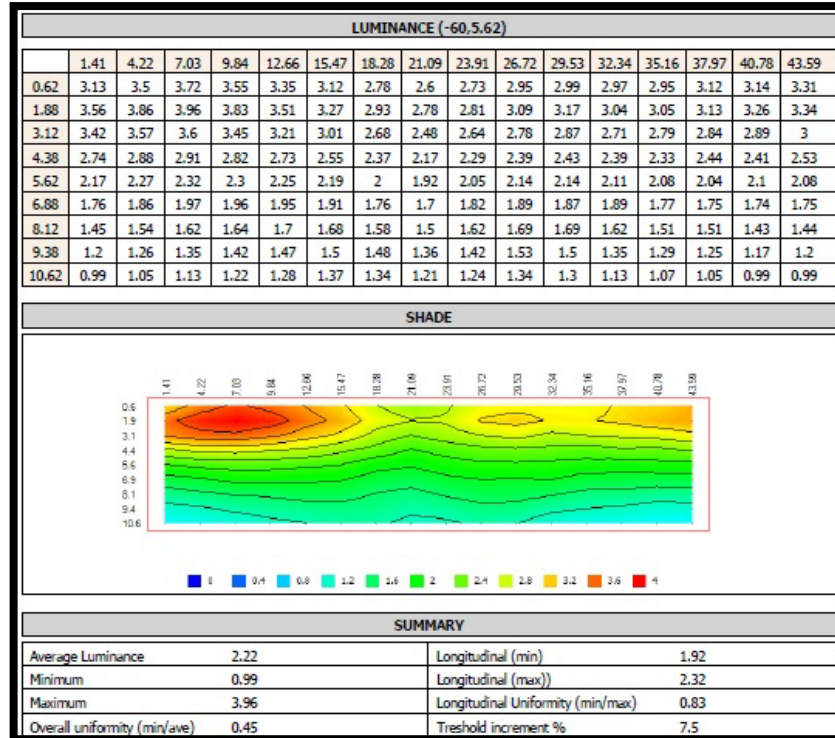
Tablo 6.51.a Aydınlik Akısı

ILLUMINANCE																
	1.41	4.22	7.03	9.84	12.66	15.47	18.28	21.09	23.91	26.72	29.53	32.34	35.16	37.97	40.78	43.59
0.62	50.36	50.36	45.01	37.59	32.09	28.95	23.98	20.71	20.72	24.37	28.29	32.44	37.47	45.6	48.79	50.49
1.88	49.59	49.74	45.2	39.09	32.95	30	24.91	22.07	21.43	25.26	29.72	32.98	38.13	44.84	50.12	50.09
3.12	48.97	48.64	43.19	37.03	33.01	30.07	25.31	21.96	22.17	25.27	30.02	32.9	37.26	41.9	47.11	47.89
4.38	46.58	45.19	39.92	35.47	33.33	30.25	25.96	22.32	22.26	25.66	30	32.67	35.11	41.13	44.68	46.45
5.62	43.05	41.14	38.26	34.87	32.46	29.04	26.03	22.9	22.87	26.08	29.82	32.38	34.66	38.43	41.83	42.34
6.88	38.72	37.11	36.28	34.2	31.76	29.32	26.25	23.36	23.39	26.28	29.15	31.89	33.51	35.75	37.59	38.92
8.12	33.82	33.06	32.51	31.79	30.32	29.03	26	23.67	23.75	26.23	28.9	30.58	31.74	33.15	32.51	33.29
9.38	28.55	28.01	28.27	29.09	27.96	27.51	26.27	23.26	23.28	26.28	27.66	27.63	29.07	28.9	27.46	28.88
10.62	24.29	24.13	24.65	25.34	24.74	26.08	24.88	21.9	22.19	24.88	26.01	24.86	25.17	25.38	24.22	24.04
SHADE																
SUMMARY																
Average Illuminance	32.32					Overall uniformity (min/ave)					0.64					
Maximum	50.49					Uniformity gradient (min/max)					0.41					
Minimum	20.71															

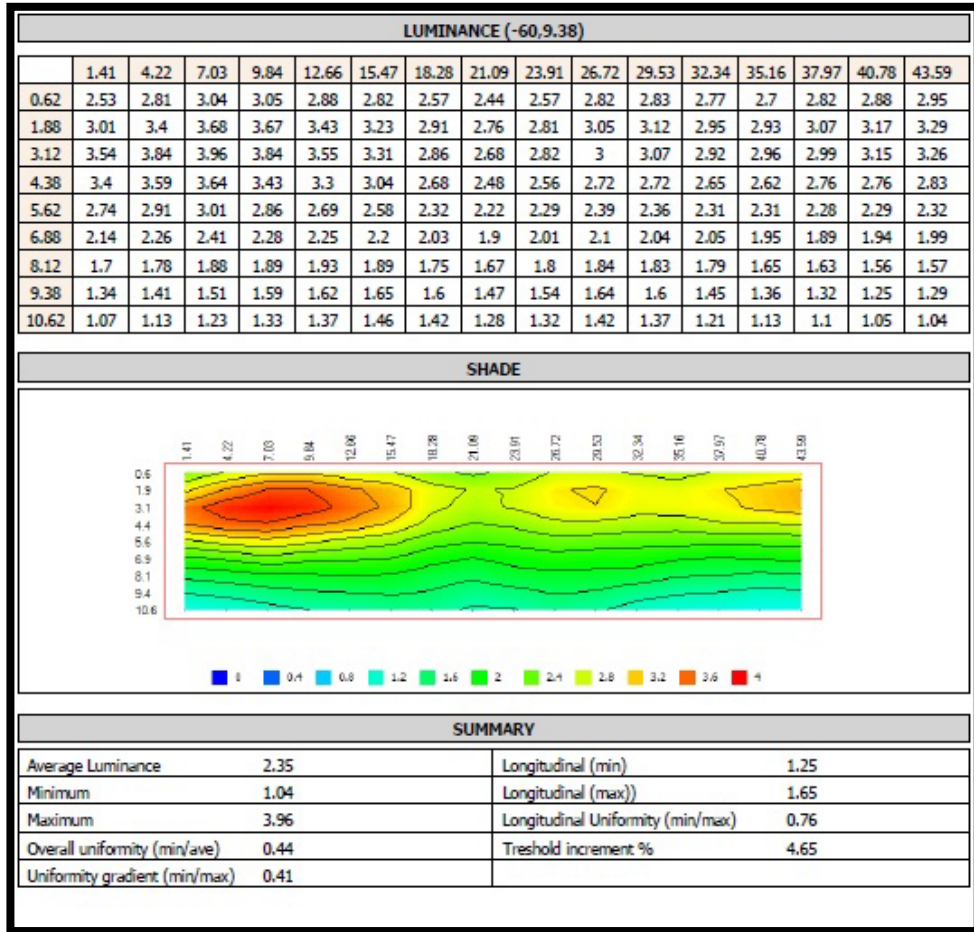
Tablo 6.51.b Aydınlık Akısı



Tablo 6.51.c Aydınlık Akısı



Tablo 6.51.d Aydınlık Akısı



7 SONUÇLAR

Bir tünel için yapılacak aydınlatmada gündüz ve gece gereksinimleri birbirinden çok farklıdır.

Bir tünel aydınlatmasında, tünelin uzunluğuna bakmaksızın yapılacak gece aydınlatması ile kritik uzunluktan daha uzun tüneller için yapılacak gündüz aydınlatması arasında bir ayırım yapmak gerekir.

Geceleyin tünel açık yola benzer şekilde aydınlatılabilir. Ancak tünelde aydınlık düzeyi açık yola göre biraz daha yüksek tutulmalıdır. Bunun nedeni de tünelden geçişi daha emniyetli kılmak ve akustik bakımdan tünel içindeki gürültüyü hesaba katmaktır.

Gündüz aydınlatmasında tünelin ilk kısmındaki aydınlatmanın karanlık adaptasyonunu hesaba katacak şekilde yapılması gerekir. Yüksek parıltılı bir yerden düşük parıltılı bir yere geçişteki adaptasyon güçlüğü dolayısıyla gece aydınlatmasına göre çok daha ağır şartlan yerine getirmek zorundadır.

Adaptasyonu sağlamak ve ekonomik çözüm temin etmek için tüneller farklı parıltı bölgelerine ayrılarak incelenir. Bunlar sırayla eşik bölgesi, geçiş bölgesi, iç bölge ve çıkış bölgesidir.

Tünel bölgelerinin uzunluğu ve bu bölgelerde sağlanması gereken parıltı seviyeleri; tünel uzunluğu, tünel yüksekliği, tünelde müsaade edilen hız limiti, yol eğimi, seçilen aydınlatma sistemi ve dış bölge parıltı seviyesi gibi çeşitli parametrelere bağlıdır.

Tünelin ilk kısmının aydınlatılmasında tünele yaklaşırken açık yolda mevcut olan dış bölge parıltısı belirleyici rol oynar. Dış bölge parıltı düzeyi, tünelin bulunduğu sahada yaklaşım süresince sürücünün görüş alanını kaplayan gökyüzü, çevre ve yol yüzeylerinin parıltıları dikkate alınarak uzun periyotlar boyunca yapılan direkt ölçümlerden veya bu mümkün değilse tünel konumuna uygun kabullerden yararlanılarak belirlenmelidir.

Tavsiye edilen eşik bölgesi parıltı düzeyi, dış bölge parıltısının bir oranı olarak verilmelidir. Bu konuda Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE) simetrik ve zıt ışıklı aydınlatma sistemleri için ayrı ayrı, fren mesafelerine bağlı olarak belirlediği oranlar alınabilir.

Geçiş bölgesindeki parıltı dağılımı, eşik bölgesi parıltısı %100 kabul edilerek azalan bir eğri şeklinde gerçekleştirilmelidir.. Eğrinin şekli uzun adaptasyon deneyleri sonucunda bulunmuştur. Ancak lamba sayısının veya ışık akısının azaltılması ile parıltının sürekli değişimini sağlamak hayli zordur. Bu nedenle eğrinin basamaklar şeklinde oluşturulması yoluna gidilir. Fakat birbirini takip eden basamakların parıltı değerleri arasındaki oran hiçbir zaman 3/1'den büyük olmamalıdır. Bölgedeki parıltı dağılımı, eşik ve iç bölge parıltı düzeylerine bağlı olduğu için geçiş genellikle 2 ile 4 basamak şeklinde gerçekleştirilir.

Tünel iç bölgesinde sağlanması gereken parıltı düzeyi CIE tarafından trafik yoğunluğu ve fren mesafesine bağlı olarak 1 cd/m^2 ile 15 cd/m^2 arasında önerilmektedir. Ancak karanlık adaptasyonunun uzun sürede gerçekleşmesi nedeniyle bu bölgedeki parıltı asla 3 cd/m^2 den daha düşük olmamalıdır.

Gözün düşük parıltı düzeyinden yüksek parıltı düzeyine geçişi (aydınlık adaptasyonu) çok hızlı olduğundan, genel olarak tünel çıkışı için herhangi bir önlem almaya gerek yoktur. Ancak olağan dışı haller dikkate alınarak tünelin en azından son 60 m'lik kısmının iç bölge parıltı seviyesinin 5 katı düzeyinde aydınlatılması faydalı olur.

Kaliteli bir tünel aydınlatması için düzgünlük, titreşim etkisi ve kamaşma gibi faktörleri de göz önünde bulundurmak gerekir. Lamba ve armatür seçimi ile bunların yerleştiriliş biçimi bu faktörlere göre belirlenmelidir [9].

Tünel aydınlatmasında kullanılan ışık kaynaklarında en ekonomik ve kullanışlı olanı alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardır fakat bilhassa gece aydınlatmasında yol durumunu en iyi gösteren ve sürücüye iyi bir kılavuzlama sağlayarak rehber görevi

gören devamlı hat şeklinde aydınlatmaya en uygun ışık kaynakları floresan tip armatürlerdir.

Çin kademe balastlar yardımıyla tünel içindeki parlaklık kademeli olarak ayarlanabilir. Fakat bu işlem hem tesisat hem de kullanılan malzeme bakımından ekonomik olmayabilir.

Egzoz gazını fazla bulunduğu ortamlarda ışık akısı fazla olan alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların etkinliği daha fazladır.

Tünel aydınlatmasında kullanılan lüminansmetreler, eşik parlaklığının ayarlanmasında büyük kolaylıklar sağlar.

Lüminansmetreler dış parlaklığa göre iç parlaklığı kontrol ettiklerinden dolayı ciddi bir enerji tasarrufu da sağlanmış olur.

Simetrik, zıt ışıklı ve eş yönlü aydınlatma sistemleri tünel aydınlatmasında kullanılan aydınlatma çeşitleridir.

Fren mesafesini düşürmek ve hız limitini azaltmak, üç aydınlatma sistemi için de tehlikeli olan L_{atm} düşürmek için tek yoldur.

Üç sistem için, aynı önemde görülemez bölgeler vardır, $k = L_a / L_{20}$ oranını düşürmek için bir sebep yoktur.

Eş yönlü aydınlatma için üstün bir sebep öne sürülemez, çünkü sistem simetrik ve zıt ışıklı aydınlatmanın üstünde herhangi bir avantaja sahip değildir. Bundan da ötesi, yüksek bir kurulum maliyeti istemektedir. Koyu renk engellerin koyu renk araçlar gibi görülebilmeleri çok zayıftır. Özellikle ışık kaynaklarının ışık yayılımlarından dolayı arabanın arka camında farkına varılabilen bir titreşim (flicker) etkisi söz konusu değildir.

Eş yönlü aydınlatmanın, tünel duvarları ve yol yüzeylerinin ışıkla birleştirilmesinde kullanılması gerekir.

Devamlı bir hat üzerine monte edildiği zaman simetrik sistem iyi bir rehber olarak çalışır. Arka camdaki titreşim (flicker) etkisi rahatsız etmez, sürücüyü şaşırtmaz ve hareket eden araçların algılanmasını sağlar.

Zıt ışıklı aydınlatma, iyi bir kontrast algılaması, kurulu güçte azalma ve kabul edilebilir bir seviyede kamaşma sağlar.

Yukarıda sonuçları açıklanan bu çalışmada tünel aydınlatma hesaplamaları yapılırken uygun ışık kaynaklarının seçimine dikkat edilmelidir. Çok sayıda armatür kullanıldığından hesaplardaki herhangi bir ihmalde aydınlatma açısından uygun fakat ekonomik olmayan sonuçlar çıkabilir.

Hesaplamalarda, çeşitli aydınlatma sistemlerinin ölçüm sonuçları dikkate alınmalıdır. Bir simülasyon veya yaklaşık değil de gerçek hava koşulları ve araç trafiğinde ölçümler yapılmalıdır.

Yoldaki cismin görülebilir olması emniyet açısından daha iyidir. Buna göre uygun aydınlatma sistemi duruma göre seçilmelidir.

Tünel aydınlatılmasında hesaplamalar tamamen göz ile ilgili olduğundan dolayı çeşitli kabullere göre yapılmaktadır. Bu kabuller çeşitli tavsiyelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Ülkeden ülkeye değişen gün ışığı seviyeleri belirlenip bunun belli bir standarda oturtulması gereklidir.

Hesaplamalarda belirtilen tavsiyelere uyulmalı ve bunlar geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

ÖZKAYAM., Aydınlatma tekniği. İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fak., Gen. 2. Baskı, 1994

ONAYGİL S., Özel dış aydınlatma konulan, Bölüm I-1L İ.T.Ü.E.E.M.F

CDE, Publication No: 88, Technical Report, Guide for the lighting of road tunnels and underpasses, 1990

BOMMEL W.J.M., BOER J.B., Road Lighting, Philips Technical Library,60-77, 270-285, 1980

Dennemann, j. W.: Low pressure sodium lamps. IEE Proceedings, 128 A 397-414,1981

Sürelî Yayınlar

*ÖZKAYA M., Tünel aydınlatması, Kaynak Dergisi No: 15,30-34, 1983 [9] KGM
Seminar, Tunnel Lighting, Ankara, [29 Nisan 1997]*

Diğer Yayınlar

ONAYGİL S.,Tünel Aydınlatmasında Eşik Bölgesi Parıltısının Tayini, Doktora Tezi, İ.T.Ü.F.BE, 1990

R. Mete SUCUGİL , Marmara Üniv. Fen. Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi 2000

YÜKSEL R, Karayollarında yol ve tünel aydınlatması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü.F.B.E, İstanbul, 1991

PHILIPS LIGHTING, Lighting Manual, Fifth Edition, 308-323, LIDAC, 1993

Siteco Aydınlatma Kataloğu 2011 www.siteco.com.tr [20.03.2013]

KGM İstatistik Verileri 2011 www.kgm.gov.tr [20.03.2013]

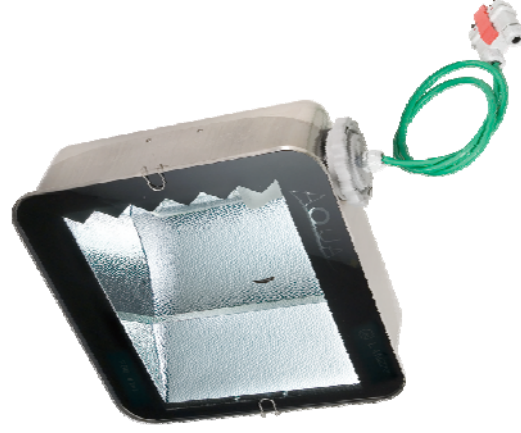
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Tünel Uygulama Projeleri 2010

Lanzini Aydınlatma Kataloğu 2011 www.lanzini.com.tr [20.03.2013]

YILMAZ K.K. , Tüne Aydınlatması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.F.B.E, İstanbul, 1994

EKLER

Ek-1 Tünel Aydınlatma Armatürleri



Kaynak: Lanzini Aydınlatma Sistemleri

Ek-2 Tünel Aydınlatma Armatürleri



Kaynak: Siteco Aydınlatma

Ek-3 Tünel Giriş ve Geçiş Bölgeleri



Kaynak: Karayolları Genel Müdürlüğü

Ek-4 Tünel Giriş ve Geçiş Bölgeleri



Kaynak: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi

