

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karayollarında Yol ve Tünel Aydınlatması

Yüksek Lisans Tezi

Ramazan Yüksel

1991

2 152  
121

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

z. lektör  
25-00012

KARAYOLLARINDA  
YOL ve TÜNEL  
AYDINLATMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elektrik Müh. Ramazan YÜKSEL

İSTANBUL 1991

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 152  
121

Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.

Tarih : 16.04.1992

Fatura : - - - - -

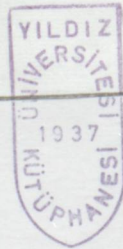
Fiyatı : 25.000. TL.

Ayniyat No : 1/2

Kayıt No : 48332

UDC : 621.3 378.242

Ek :

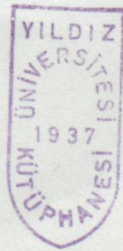


YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



# KARAYOLLARINDA YOL ve TÜNEL AYDINLATMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elektrik Müh. Ramazan YÜKSEL



İSTANBUL 1991

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında bilgileri ile bana yol gösteren ve yardımcı olan Hocam Sn.Doç.Dr.Selim AY'a, yardımlarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen T.C.Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü'nden Trafik ve Teknik Emniyet Başmühendisi Sn.Fatma ÇAKICI'ya, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim aynı kuruluş elemanlarından Tesisat Şefi Sn.Murat ERDEN'e, Elektrik Mühendisi Sn.Mustafa ÇELENLİOĞLU'na bu vesile ile sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

1. AYDINLATMA	1
1.1. Aydınlatmanın amacı	1
2. NEDEN YOL AYDINLATMASI	4
2.1. Aydınlatma ve kazalar	5
2.1.1. Aydınlatma derecesi ve kazalar	6
2.2. Aydınlatma ve saldırı	9
3. FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER	11
3.1. Işık gücü	11
3.2. Işık akısı	11
3.3. Işık şiddeti	11
3.4. Aydınlık düzeyi	11
3.5. Parıltı	12
4. IŞIK KAYNAKLARI	13
4.1. Işıksal etkinlik ve etkinlik faktörü	13
4.2. Deşarj lambaları	15
4.2.1. Deşarj lambalarının çalışma prensibi	16
4.2.2. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar	18
4.2.3. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar	20
4.2.4. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar	21
4.2.5. Yol aydınlatmasında kullanılan ışık kaynakları	23
4.3. Işık kaynaklarında ömür	23
4.3.1. Ekonomik ömür	24
4.3.2. Ortalama ömür	25
4.3.3. İrdeleme	26
5. YOL AYDINLATMA AYGITLARI (ARMATÜRLER)	29
5.1. Fotometrik değerler	30
5.2. Armatürde kamaşma ve parıltı	31
5.3. Isıl karakteristikler	33
5.4. Mekanik ve aerodinamik karakteristikler	33
5.5. Titreşim ve darbelere dayanıklılık	34
5.6. Ağırlık, boyut, biçim	34
5.7. Elektriksel karakteristikler	34
5.8. Kir ve toza dayanıklılık	35
5.9. Estetik karakteristikler	35

<b>6. YOL AYDINLATMASININ ESASLARI ve KALİTE PARAMETRELERİ</b>	36
6.1. Yol aydınlatmasının esasları	36
6.2. Görüş esasları	38
6.2.1. Görebilme mesafesi	38
6.2.2. Tanıyabilme mesafesi	39
6.2.3. Tepki (Refleks) gücü	40
6.2.4. Görsel kılavuzlama	41
6.2.5. Sonuç	42
6.3. Kalite parametreleri	45
6.3.1. Kontrast (aydınlık-karalık farkı) duyarlılığı	45
6.3.2. Ortalama yol yüzeyi parıltısı	47
6.3.3. Bileşke düzgünlük	47
6.3.4. Kamaşma	48
6.3.5. Boyuna, enine düzgünlük faktörü	49
6.3.6. Işık rengi	50
6.3.7. Kalite parametrelerinin yol aydınlatmasına etkisi	51
<b>7. AYDINLATMA DÜZENLERİ</b>	55
7.1. Yol tipleri ve aydınlatma düzeni	55
7.2. Kavşaklar, Meydanlar ve aydınlatma düzenleri	56
7.2.1. Kavşak tipleri	56
7.2.2. Aydınlatma düzenleri	56
7.3. Virajlar	62
7.4. AYdınlatma direkleri	63
<b>8. YOL AYDINLATMA HESAPLARI</b>	71
8.1. Aydınlık düzeyi yöntemi ile yol aydınlatması hesabı	71
8.1.1. Yol yüzeyindeki bir noktanın aydınlak düzeyinin hesaplanması	71
8.1.2. Ortalama aydınlık düzeyinin hesaplanması	73
8.2. Parıltı yöntemi ile yol aydınlatması hesabı	75
8.2.1. Yol yüzeylerinin yansıtma özellikleri	78
8.2.2. Yol yüzeylerinin sınıflandırılması	80
8.2.3. Yol yüzeyi parıltısının grafik yöntem ile hesaplanması	81
8.2.3.1. Kullanılan diyagramlar	81
8.2.3.2. Eş aydınlık düzeyi diyagramı ve EP diyagramı yardımıyla parıltı hesabı	83

8.2.4. Yol yüzeyi parıltısının nümerik yöntem ile hesaplanması	83
8.2.4.1. Bilgisayar yardımı ile yol aydınlatma hesabı	83

## 9. TÜNEL AYDINLATMASI

9.1. Tünel aydınlatmasının amacı ve gerekliliği	93
9.1.1. Adaptasyon bölgeleri	94
9.2. Trafik, yol şartları ve tünel uzunluğu	95
9.2.1. Hız ve görüş	96
9.2.2. Kritik uzunluk	97
9.2.3. Durma mesafesi	97
9.3. Aydınlatma sistemi ve kontrast	99
9.3.1. Optikal sistemler ve ışığın dağılımı	101
9.4. Adaptasyon bölgeleri ve aydınlık seviyesi	105
9.4.1. Giriş bölgesi (Entrance Zone)	105
9.4.1.1. Giriş bölgesinde parıltı	105
9.4.2. Eşik bölgesi (Threshold Zone)	109
9.4.2.1. Eşik bölgesinde parıltı	109
9.4.3. Geçiş bölgesi (Transition Zone)	115
9.4.4. İç bölge (Interior Zone)	117
9.4.5. Çıkış bölgesi (Exit Zone)	118
9.5. Gece aydınlatma hali	119
9.6. Tünel aydınlatmasında dikkat edilecek hususlar	119
9.6.1. Parıltıyı sınırlandırma	119
9.6.2. Titreme (Flicker) etkisi	120

## ÖZET

Karayollarında trafik yoğunluğunun giderek arttığı günümüzde, özellikle yüksek hızlı taşıt trafiği olan otoyol ve ekspres yollarda ve yoğun yaya trafiğinin'de olduğu şehir içi yollarında, sürücüler için görüş rahatlığının sağlanması ve kazaların azaltılmasının önemi kişiler ve ülke için önemlidir.

Özellikle son yıllarda Türkiye'de gelişmelere paralel olarak kalite ve standart yüksek otoyol inşaatlarına ağırlık verilmiştir. Otoyollar ile birlikte köprülerin, viadüklerin, yeraltı geçişlerinin ve tünellerin sayısı da artmaya başlamış yolların iyi bir şekilde aydınlatılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Kalite ve standart yüksekliğinin göstergelerinden birisi de yolun iyi bir şekilde aydınlatılmış olmasıdır. Özellikle karayolu yeraltı geçişleri ve tünellerinin aydınlatılması görüş rahatlığının sağlanması ve kazaların önlenmesi bakımından yol aydınlatmasına nazaran apayrı bir özellik ve hassasiyet istemektedir. Bunun yanında tüneller kapalı bir alan olduğundan acil durumlar için tünellerin içinde yardımcı sistem ve teçhizatlara (telefon, yangın ihbar, acil çıkış, havalandırma vb. gibi) ihtiyaç vardır.

Bu yüksek lisans tez çalışması yol aydınlatılması ve tünel aydınlatması olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde önce karayolu aydınlatmasının gerekliliği üzerinde durulmuş, daha sonra kullanılan eleman ve teçhizatlara değinilmiş en son olarak ta yol aydınlatma hesap yöntemleri anlatılmış ve bilgisayarla uygulama yapılmıştır. İkinci bölümde ise tünel aydınlatmasının gerekliliği, aydınlatmanın şekil ve esasları incelenmiştir.

V

## SUMMARY

As the traffic volume on the roads increases; especially on high speed roads like expressways, motorways and also on urban roads having a large number of pedestrians in addition to the vehicles, it is becoming very important to provide more comfort and safety for the drivers, to be able to prevent the accidents which cost much for the economic and human life of the country.

Especially in recent years, the length of motorways constructed in higher standards is increasing very rapidly as being parallel to the other developments in Turkey. On these motorways there are many viaducts, tunnels, underpasses and interchanges; those must be lighted to be able to provide safety and comfort for the drivers and pedestrians.

A good illumination is necessary for the road to higher the level of service and quality of that road. Illumination of underpasses and especially tunnels is much more important as compare to the normal road lighting and needs more precise study in the design and execution.

In tunnels it is also needed to establish the systems for emergency such as communication, fire and emergency outlets and air condition.

This master thesis covers two main sections. The first section is about road lighting and the other is about tunnel lighting.

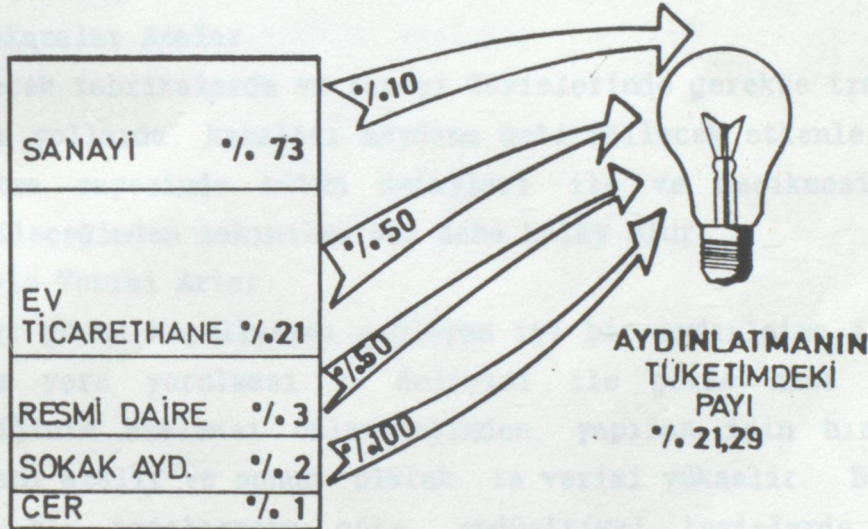
In the first section due importance and necessity of road lighting is mentioned, the equipment and materials used for this work is explained. The calculations of road lighting design done by computer and also method of calculations is explained, the computer outputs are included into the thesis report.

In the second section the necessity of tunnel lighting is mentioned, the principles and types of tunnel lighting systems, the method of calculations of the lighting design are explained.

## 1. AYDINLATMA

İnsan, hayatı boyunca bütün çalışmalarında ışığa çok bağlıdır. Doğal ışık (güneş, ay ve yıldızların ışığı) yetmediği takdirde sun'i (yapay) ışıkla aydınlanmak zorunluluğu duyulur. Uygulamalı ilimlerin gelişmesine kadar, yani 19. yüzyıl'ın ortalarına kadar henüz daha çıra, mum ve yağ lambaları ile yapılan sun'i aydınlatma, akkor telli lambaların bulunmasıyla süratle gelişmeye başlamış ve sonraki yıllarda flüorasan lambalarla başlamak üzere deşarj lambalarındaki gelişmelere paralel olarak bugünkü düzeyine ulaşmıştır.

Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %21'i aydınlatmada kullanılmaktadır. Türkiye'de elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımı ve aydınlatmanın tüketimdeki payı Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Elektrik Enerjisi Tüketiminin Sektörlere göre Dağılımı

### 1.1. Aydınlatmanın Amacı:

Bugün artık gerek bireylerin özel isteklerine cevap vermek ve gerekse normal ve olağanüstü durumlar karşısında bulunan toplumların çeşitli sorunlarını çözmek amacı ile iyi aydınlanmak bir zorunluluk halini almıştır.

İyi bir aydınlatma ile özetle aşağıdaki yararlar sağlanır.

a)Gözün Görme Yeteneği Artar.

Etrafımızdaki cisimleri gözün görme yeteneği sayesinde görmekteyiz. Gözün görme yeteneği denince aydınlık-karanlık farkı duyarlığı (kontrast duyarlığı), şekil duyarlığı (keskinlik) ve görme hızı anlaşılır. Bunların artırılabilmesi, ancak fizyolojik optik esaslara uygun yapılmış iyi bir aydınlatma ile mümkün olur.

b)Göz Sağlığı Korunur

Gözün iyi aydınlatılmamış bir ortam nedeni ile yorulması ve rahatsız olması göz sağlığına olumsuz yönde etki yapar. Gözün yapısı, işleyişi, özellikleri ve fizyolojik-optik esaslar gözönüne alınarak yapılan iyi bir aydınlatma göz sağlığının korunması sağlayabileceği gibi aynı zamanda psikolojik olarak da olumlu etkiler yaratır.

c)Kazalar Azalır.

Gerek fabrikalarda ve sanayi tesislerinde gerekse trafiği yoğun olan yollarda, kazaları meydana getirebilecek etkenler iyi bir aydınlatma sayesinde bütün detayları ile ve gecikmesiz olarak görülebileceğinden sakınılmaları daha kolay olur.

d)İş Verimi Artar.

İyi görme koşullarını sağlayan iyi bir aydınlatma ile, gözün gereksiz yere yorulması ve dolayısı ile görme hızı ve görüş keskinliğinin azalması önleneceğinden, yapılan işin hızı artar, hata oranı azalır ve sonuç olarak iş verimi yükselir. Bu konuda yapılan bir araştırmaya göre, endüstriyel tesislerde aydınlık düzeyinin 200 lx'den 300 lx'e çıkarılması halinde iş veriminin %1,6 ,500 lx'e çıkarılması halinde ise % 3,1 oranında arttığı belirlenmiştir.

e)Ekonomik Potansiyel Artar.

Endüstride gece vardiyalarında iş veriminin gündüz elde edilen ile aynı olması iyi bir aydınlatma ile mümkündür ve fabrikaların kapasitelerini arttırıcı etki yapar. Ayrıca eğitim ve öğretimde de gece yapılan çalışmaların teşviki ve verimliliği de yine iyi bir aydınlatma sayesinde olur.

f)Güvenlik Sağlanır.

İyi bir aydınlatmanın en önemli yararlarından biri de güvenliğin sağlanmasına olan katkısıdır. Meşru olmayan davranışlar

genellikle karanlık veya iyi aydınlatılmamış ortamlarda gerçekleştirilir. "Bir sokak lambası bir polise bedeldir" sözü bu gerçeği açıkça vurgulamaktadır.

g)Estetik hislere ve konfor ihtiyaca cevap verilir.

Günümüzde, belirli bir yaşam standardının üstünde estetik duygular cevaplandırılması gerekli hayati ihtiyaçlar halindedir. Bu psikolojik ihtiyaçlardan başka görme konforu ile ilgili fizyolojik ihtiyaçlar da iyi bir aydınlatma ile karşılanarak insanlara huzur ve ferahlık sağlanır.

Yukarıda sayılan yararları sağlayan iyi bir aydınlatma daima ekonomiktir. Çünkü sağlanan her bir yarar ülke ve kişilerin ekonomilerine kendi yönünden olumlu katkılar yapacağı gibi elektrik enerjisinden ve büyük tasarruf sağlanır. [2, 3, 7]

## 2. NEDEN YOL AYDINLATMASI

Karayollarında herhangi bir taşıtı kullanan bir sürücü, önünde uzanan yolun kendi görüş alanı içinde kalan bölümüne ilişkin ayrıntılı görsel bilgiye sahip olmak zorundadır. Özellikle şehirlerarası yollarda (otoyollar, ekspres yollar) 120 km/h e varan yüksek taşıt hızları için sürücü:

- a)Yolun 5-15 sn. içinde geçeceği bölgesini rahatlıkla görebilmeli;
- b)Yolun bu bölümüne göre kendi konum ve hareketlerini gözleyebilmeli.
- c)Kendi görüş alanı içinde kalan diğer taşıtların hareketlerini izleyebilmeli.
- d)Önünde uzanan yol üzerinde var olabilecek engelleri ve bunların konumlarını iyi seçebilmelidir.

Hareket halinde olan bir taşıt sürücüsünün görüş alanı içinde sürekli değişen bir görüntü vardır. Yol üzerindeki çeşitli işaretler, yoldaki trafik ışıkları, diğer taşıtların çeşitli ışıklı işaretlerini ve sürekli yer değiştirmeleri sürücü için devamlı olarak değişen bir görüntü oluşturur. Aynı zamanda yol ayrılmaları, kavşaklar ve yol dönüşleri de sürücünün görüş alanı içinde kolayca algılanabilmesi gereken görsel bilgilerdir.

Gece trafiğinde kazaların önlenmesi bakımından iyi bir yol aydınlatmasının önemi büyüktür. Aydınlatılmamış yollarda, aksi yönden gelen taşıtların farlarının sürücülerin gözlerini kamaştırması, yolun gidişinin yalnızca taşıt ışıkları ile belirlenememesi ve özellikle yağışlı havalarda yol örtüsünün büyük ölçüde aynasal yansıtma özelliği kazanması sonucu taşıt ışıklarının yolu aydınlatmada hemen hemen hiçbir yarar sağlamamaları kazalara neden olur. Hatta aydınlatmanın iyi yapılmaması halinde bile yine yukarıdaki sonuçlar meydana gelebilir. Günümüzde özellikle yüksek hız limiti alan otoyollarda meydana gelebilecek kazaların önemi büyüktür.

Bu konuda Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) ve çeşitli ülkeler tarafından araştırmalar, deneyler yapılmış ve aydınlatma ile kaza, saldırı, trafik düzeni arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Aşağıdaki satırlarda bu araştırma sonuçları verilmektedir. [2. 10]

### 2.1. Aydınlatma ve Kazalar:

Yol aydınlatmasının gece yapılan kazalar üzerindeki etkisi ile ilgili ilk araştırmalar 1850'lerde İngiltere'de "Taşımacılık ve Yol Araştırma Laboratuvarı" tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar ölüm ve ağır yaralanmalarla sonuçlanan kazaların yol aydınlatmaları sayesinde %30 azaltılabileceğini göstermektedir.

1980 yılında CIE tarafından yapılan ve yaklaşık 50 deneye dayanan sonuçlara göre iyi bir yol aydınlatması yapıldığı zaman ölü ve yaralanmalarla sonuçlanan kazaların sayısında:

- karışık trafikli şehir yollarında %30,
- Şehirlerarası yollarda %45,
- Otoyollarda %50 (ve daha çok),

azalmanın meydana gelebileceği tesbit edilmiştir.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından daha önce aydınlatılmamış 64 ayrı yol üzerinde yapılan bir araştırma sonucu söz konusu yolların aydınlatılmaları halinde;

- Ölümlerle sonuçlanan kazalarda %50,
- Ciddi hasar meydana getiren kazalarda %67,
- Hafif kazalarda %84'lük bir azalma meydana geldiği saptanmıştır.

1987-1988 yılında şehir içi ve şehir dışı 244 yol üstünde yapılan 30 değişik araştırmanın sonucu CIE tarafından rapor haline getirilmiştir.

Bu rapora göre yol aydınlatmaları sonunda:

- Yaya kazaları %57'den %45'e
- Ölümlerle sonuçlanan kazalar %65'den %48'e,
- Ağır yaralanmalarla sonuçlanan kazalar %30'dan %24'e,
- Bütün kazaların toplam sayısı ise %53'den %14'e inmiştir.

1973 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığının yaptığı araştırmalar, aydınlatmanın, Belçika ulusal yollarının güvenliğini nasıl etkilediğini incelemektedir.

İstatistiklere göre gece kaza yapma riski, gündüze oranla 1,6 kat daha fazladır. Yaralanmalarla son bulan kazalar 5,4, sadece

maddi zarar gösteren kazalar ise 2,1 kat daha fazla oranla geceleri yapılmaktadır.

Bütün bunlar gözönüne alınırsa, sürücülerin görüş algılamalarının arttırılması sonucu kaza oranlarının azaltılabileceği söylenebilir. Bunun sağlanması için teorik olarak yol aydınlatma sistemlerinin, gece görüş algılamasını gün ışığındaki seviyeye çıkarmaları gerekmektedir. Ancak hiç bir aydınlatma sistemi bunu başaramamaktadır. Bu tip aydınlatma sistemi için kabul edilebilir minimum standart kalite bulunmaya çalışılmaktadır.

Bu araştırmaya göre en önemli üç kriter:

- Yolların aydınlanma seviyelerinin yüksekliği.
- Aydınlatıcıların aydınlanmanın sağlanmasıdır.
- Yolda lineer aydınlanmanın sağlanmasıdır. [2, 8, 10]

#### 2.1.1. Aydınlatma Derecesi ve Kazalar:

Yolların aydınlatılması ile kaza oranının azaltılacağı ispatlanmasına rağmen kaza oranı ile aydınlatma derecesi arasındaki ilişki çok az bilinmektedir. İngiltere'de çeşitli aydınlatma dereceli birçok yollarda yapılan bir deneye göre kaza oranının, 1,2 ila 2,0 cd/m<sup>2</sup> ışık yoğunluklu olan yollarda 0,3 ila 1,2 cd/m<sup>2</sup> ışık yoğunluklu yollara göre %20 ila %30 arasında daha düşük olduğu geçici sonucu çıkmaktadır. Fakat bu buradan gerekli aydınlatma derecesi konusunda sonuçlar çıkarabilmek için tam bir fikir vermez.

Yapılan araştırmaların sonucuna göre Belçika'da Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, taşıt yoğunluğunun 600'e ulaştığı tüm yollara aydınlatma sistemlerinin yerleştirilmesine ve otobanlarda sürekli aydınlatmanın yapılmasına karar vermiştir.

1981-1983 yılları arasında benzin fiyatlarının artması ve bazı ekonomik sebepler sonucu Belçika hükümeti, otoyollarda 00:30-05:30 arası aydınlatmanın kapatılmasına veya aynı saatler içinde aydınlatmanın azaltılmasına karar vermiştir. Bazı teknik sebeplerden dolayı bu kararın tüm yollarda uygulanamamasına ve 1984'de de tamamen kaldırılmasına rağmen bu süre içinde kaza oranlarında artış görülmüştür. Bu oranlar aşağıda belirtilmektedir.

a) 00:30-05:30 Arası Aydınlatmanın Kapatılması:

Kazalar : % 6,3 artmıştır.

Ölümler : % 38,5 artmıştır.

Ağır yaralanmalar : % 108 artmıştır.

b) 00:30-05:30 Arası Aydınlatmanın Azaltılması:

Kazalar : %23,9 artmıştır.

Ölümler : % 10 artmıştır.

Ağır yaralanmalar : % 98,6 artmıştır.

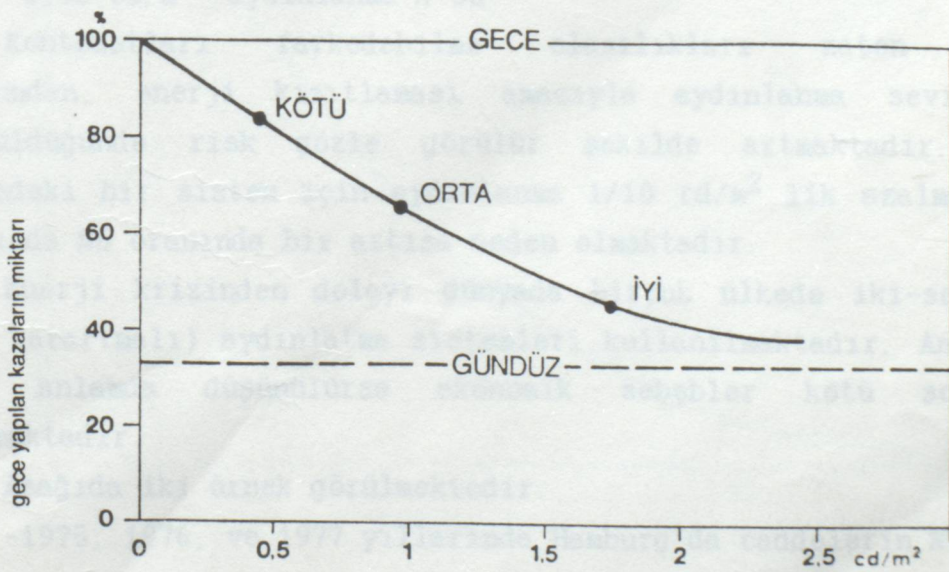
Bu oranlar, aydınlatmanın trafik kazaları üstündeki etkisi ve yollarda minimum  $2 \text{ cd/m}^2$  aydınlanmanın sağlanmasının gerekliliği konusunda daha önce yapılan araştırmaların sonuçlarını doğrulamaktadır. Diğer araştırmalar da şu şekilde sıralanabilir.

1988 yılında yukarıdakine benzer iki araştırma da İngiltere de "Yol Taşımacılığı Araştırma Laboratuvarı" tarafından yapılmıştır.

%99 güvenirliliği olan ilk araştırmanın istatistiklerine göre iyi yol aydınlatması, yapılan kazaların sayısını %50 oranında azaltmaktadır.

İkinci rapor da daha önce varılan sonuçları doğrulamaktadır. Aydınlanmanın  $2 \text{ cd/m}^2$ 'den az olmaması koşuluyla yol aydınlatmaları sürücülerin yararına olmaktadır.

Mr.P.LEMAIGRE VOREANUX'un çalışmaları, gece aydınlanma seviyesinin azalmasına karşılık yaralanmalarla sonuçlanan kazaların artışını göstermektedir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Gece aydınlanma seviyesi ile kazalar arasındaki ilişki

CIE yayınının 12.2 no'lu önerisine göre (Şekil 2.2) kötü bir aydınlatma sisteminden iyi bir aydınlatma sistemine doğru gidildikçe kaza sayısı %40 oranından azalmaktadır.



COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE  
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION  
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION  
ULUSLARARASI AYDINLANMA KOMİSYONU

RECOMMENDATIONS FOR THE LIGHTING OF ROADS  
FOR MOTORIZED TRAFFIC

RECOMMANDATIONS EN ECLAIRAGE PUBLIC  
POUR LA CIRCULATION AUTOMOBILE

MOTORLU ARAÇ TRAFİĞİ İÇİN  
YOL AYDINLATMA ÖNERİLERİ

Şekil 2.2. CIE Sembolü

1981 yılında J.VALIN'ın yaptığı çalışmalara göre kontrastların %95 oranında farkedilebilme olasılıkları aşağıda belirtildiği gibidir.

- 0,25 cd/m<sup>2</sup> aydınlanma % 2
- 0,50 cyd/m<sup>2</sup> aydınlanma % 30
- 1,00 cd/m<sup>2</sup> aydınlanma % 51
- 2,00 cd/m<sup>2</sup> aydınlanma % 62

Kontrastları farkedebilme olasılıkları zaten düşük olduğundan, enerji kısıtlaması amacıyla aydınlanma seviyeleri düşürüldüğünde risk gözle görülür şekilde artmaktadır. Orta kalitedeki bir sistem için aydınlanma 1/10 cd/m<sup>2</sup> lik azalma kaza sayısında %5 oranında bir artışa neden olmaktadır.

Enerji krizinden dolayı dünyada birçok ülkede iki-seviyeli (yarı karartmalı) aydınlatma sistemleri kullanılmaktadır. Ancak bu genel anlamda düşünülürse ekonomik sebebler kötü sonuçlar doğurmaktadır.

Aşağıda iki örnek görülmektedir.

-1975, 1976, ve 1977 yıllarında Hamburg'da caddelerin %40'ın-

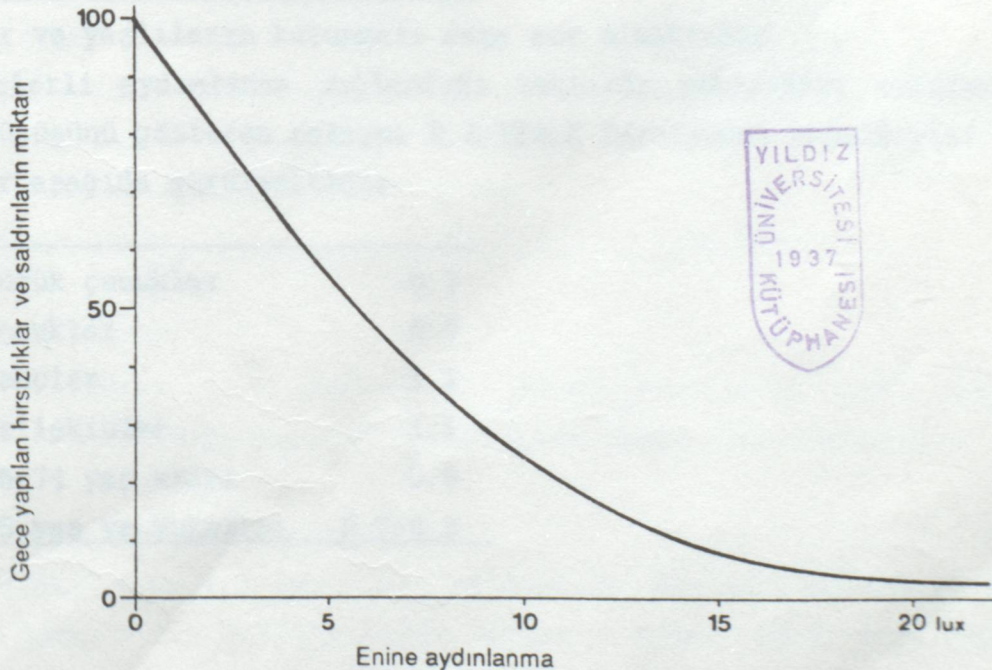
da 21:00-05:00 saatleri arasında elektrik gücü tasarrufu yapılmış;  $17,6 \times 10^6$  DM kaza artışında harcanmıştır.

-1973 ve 1974 yıllarından Cheshire'de (İngiltere) şehir aydınlatma seviyesi %50 oranında düşünülmüştür. Bu iki yılda 100.000 f'luk elektrik gücü tasarrufu yapılmış;  $6 \times 10^6$  £ kaza artışında harcanmıştır. [8]

## 2.2. Aydınlatma ve Saldırı:

1981 yılında Lyon kentinde J.C. Marinier tarafından ciddi bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma "Aydınlatma/Emniyet" oranıyla yakından ilgili olan, insanlara karşı yapılan saldırılarla ilgilidir. Bu saldırıların %90'ı gece meydana gelmektedir. Her suç işlendiğinde, tarih, zaman, ve adreslerle beraber olay yerinin aydınlatma seviyesi de yazılmış, ölçümler civar alanla ilgili özellikler gözönüne alınarak tamamlanmıştır. Ana bilgiler (yer, zaman, suç tipi) her gün şehir caddelerinde meydana gelen saldırı ve hırsızlıkları kayıtlara geçirmekle sorumlu olan belediye araştırma bölümünden elde edilmiştir.

Aşağıda Şekil 2.3'de gösterilen eğri bu çalışmalara dayanılarak çıkarılmıştır.



Şekil 2.3. Aydınlanma seviyesi ile emniyet oranı arasındaki ilişki.

Aydınlanmanın 15 lüx (yaklaşık  $1.3 \text{ cd/m}^2$ ) olduğu bölgelerde polisin etkinliğinin artması ve saldırganların çekingenliği sebebiyle saldırıların dikkat çekecek kadar azaldığı görülmektedir.

Saldırı genellikle kaldırımlarda meydana geldiğinden bu bölgede yeterli aydınlanmanın sağlanması gerekmektedir.

HPS (yüksek-güç sodyum) aydınlatıcılarla donatılmış modern, yüksek verimli cadde aydınlatmaları sürücüler için yolu iyi bir şekilde aydınlatmakla beraber kaldırımlarda da yayaları saldırılara karşı koruyarak uygun aydınlanmayı sağlamaktadır.

Belçika'daki istatistiklere göre geceleri yaya yaralanmaları diğer yaralanmaların yaklaşık iki katı; ölüm riski ise %50 oranında daha fazladır.

Yaş ortalamalarına göre düzenlenmiş istatistik sonuçları aşağıda görülmektedir.

Küçük çocuklar	21
Çocuklar	15
Gençler	8
Yetişkinler	14
65-74 yaş arası	14
75 yaş ve yukarısı	28

Çocuklar ve yaşlıların korunması daha zor olmaktadır.

Yeterli aydınlanma sağlandığı takdirde yukarıdaki oranların büyük düşüşünü gösteren çalışma R.A.WEALE tarafından yapılmıştır ve sonuçlar aşağıda görülmektedir.

Küçük çocuklar	0.7
Çocuklar	0.9
Gençler	1.1
Yetişkinler	1.1
65-74 yaş arası	0.8
75 yaş ve yukarısı	0.7-0.3

### 3. FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER

#### 3.1. Işık Gücü:

Gözün duyarlılığı dalga boyuyla değişir. Maksimum duyarlık 555 nm. dalga boyunda yayılan gücün 1 Watt'ı bir "ışık-watt" olarak tanımlanabilir. Hesaplamalara göre 555 nm. dalga boyunda yapılan gücün bir watt'ı 683 lümene eşittir. Aynı şekilde 490 nm dalga boyunda yayılan gücün 1 watt'ı:  $0,2 \times 683 = 137$  lümandır.

Böylece lümen, insan gözünün spektral duyarlığına karşı saniyede yayılan belli bir enerji miktarı olarak tanımlanabilir. [8]

#### 3.2. Işık Akısı:

Işık akısı  $\phi$  harfi ile gösterilir. Birimi lümandır (lm). Işık akısı, bir ışık kaynağı tarafından saniyede yayılan toplam ışık miktarını gösteren bir kavramdır. İnsan gözünün spektral duyarlığına karşı bir ışık kaynağı tarafından saniyede yayılan enerjidir. [6, 8]

Aşağıda bazı ışık kaynaklarının yaymış olduğu ışık akısı miktarları görülmektedir.

Bisiklet farı	3 W	30 Lm
Enkandesan lamba	74 W	900 Lm
Floresan lamba	65 W	5.000 Lm
Yüksek-basınçlı sodyum lambası	100 W	10.000 Lm
Alçak-basınçlı sodyum lambası	180 W	32.000 Lm
Yüksek-basınçlı civa lambası	1.000 W	58.000 Lm
Metal halide lamba	2.000 W	190.000 Lm

#### 3.3. Işık Şiddeti:

Işık şiddeti I ile gösterilir. Birimi candela'dır (cd). Işık şiddeti, saniyede yayılan ışığın belli bir yönde yoğunlaşmasıdır.

#### 3.4. Aydınlık Düzeyi:

Aydınlık düzeyi E harfi ile gösterilir. Birimi lüks'tür (lx). Aydınlık düzeyi, bir yüzeyin birim alanına düşen ışık veya ışık

akısı miktarıdır. [8]

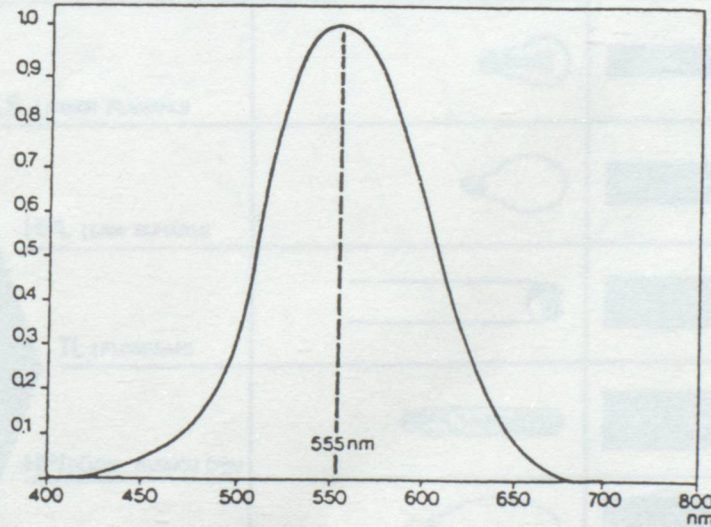
$$\text{lüks (lx)} = \text{lm/m}^2$$

Aşağıda aydınlık düzeylerine ilişkin örnekler görülmektedir.

Yaz; öğle saatleri; bulutsuz bir hava	100.000 lux
Yol aydınlatması	5-30 lux
Açık bir gecede dolunay	x.25 lux

### 3.5. Parıltı:

Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi  $\text{cd/m}^2$ 'dir Parıltı, belirli bir yönde yüzey birim alanında düşen bir aydınlanma şiddetidir. Yüzeyin kendisi ışık yayabilir veya başka kaynaklardan yayılan ışığı yansıtabilir. Aynı aydınlık düzeyine sahip fakat değişik yansıtma özellikleri olan yüzeylerin değişik parıltıları vardır. (Örneğin asfaltların değişik yansıtma özellikleri mevcuttur.) [6]



Şekil 3.1. Spektral göz duyarlılığı veya fotokopik görüş için eğri.

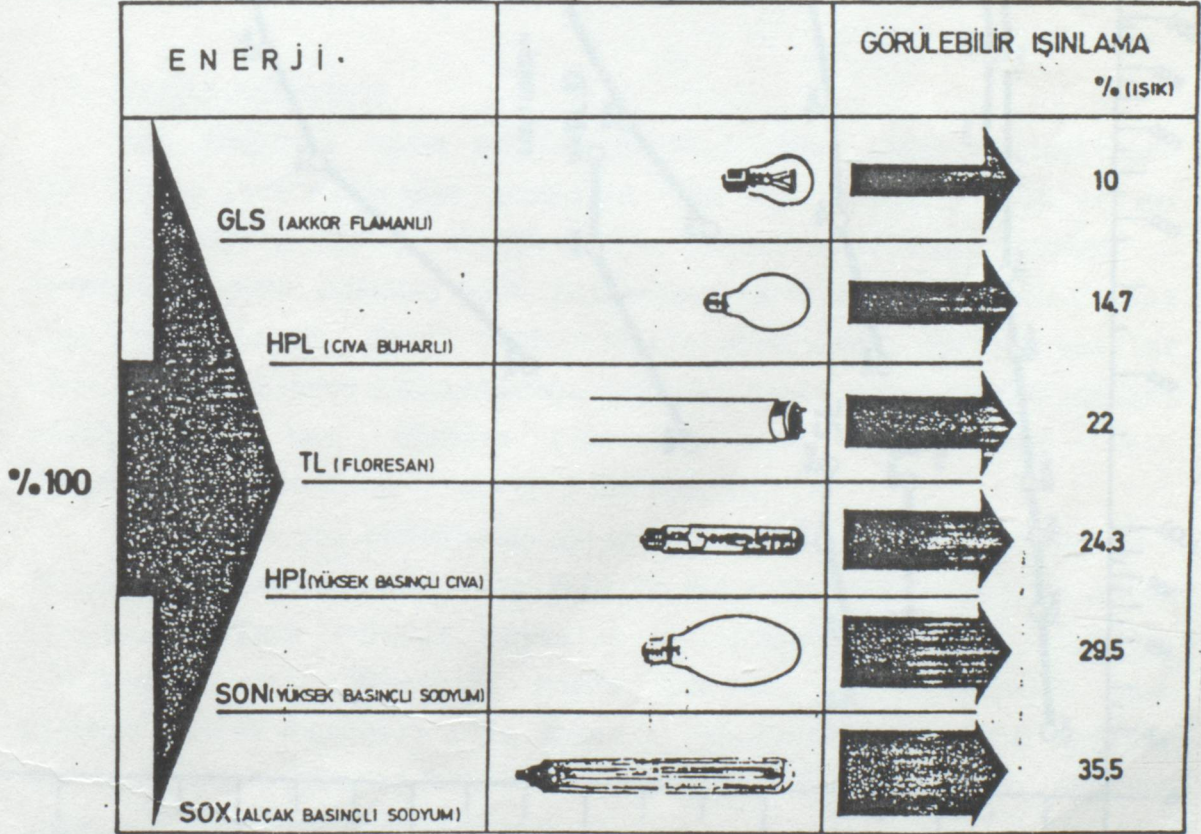
#### 4. IŞIK KAYNAKLARI

İyi bir aydınlatma yapılabilmesi üç ana hususun aynı zamanda gerçekleştirilmesi ile mümkün olur.

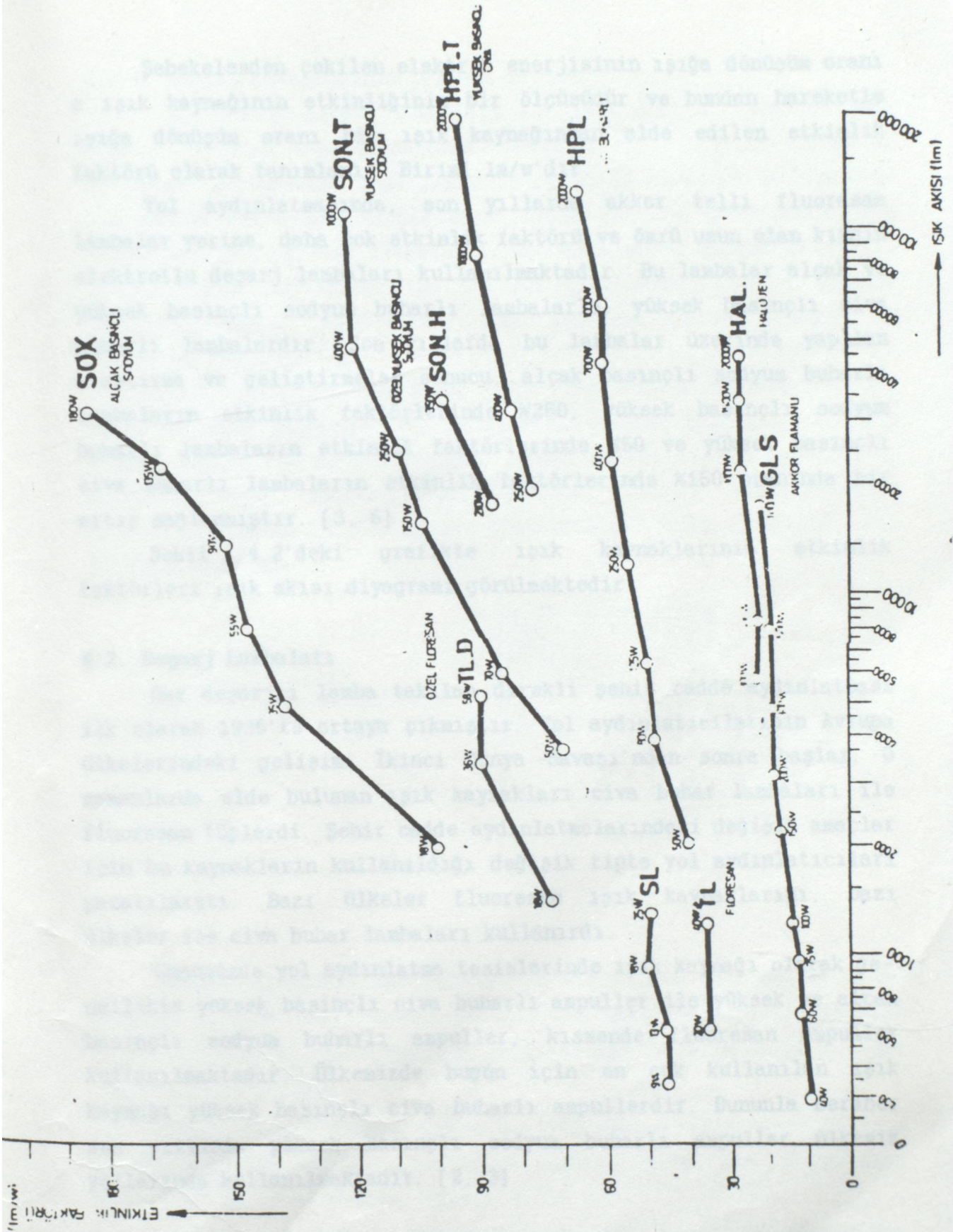
- 1-Etkin ve amaca uygun ışık kaynağı
- 2-Etkin ve uygun aydınlatma armatürü
- 3-Aydınlatma tekniğinin esaslarına uygun projelendirme

##### 4.1. Işıksal Etkinlik ve Etkinlik Faktörü:

Şebekeden çekilen elektriksel gücü, akkor hale gelen flamanın ışık yayması veya gazlarda deşarj prensibinden hareketle ışığa dönüştüren elemanlara ışık kaynağı denir. Ancak ışığa dönüşümün oranı çok önemlidir. Şebekelerden çekilen 100 birimlik elektrik enerjisinin ışığa dönüşüm oranları muhtelif ışık kaynakları için aşağıda Şekil 4.1'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.1. Çeşitli ampüllerde harcanan elektrik enerjisinin ışığa dönüşüm oranları.



ŞEKİL 4.2 Aydınlatmada kullanılan ampullerin ışıksal etkinlik faktörü, ışık akısı değerleri

Şebekelerden 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'dır.

Yol aydınlatmasında, son yıllarda akkor telli fluoroasan lambalar yerine, daha çok etkinlik faktörü ve ömrü uzun olan kızgın elektrotlu deşarj lambaları kullanılmaktadır. Bu lambalar alçak ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla, yüksek basınçlı civa buharlı lambalardır. Son yıllarda bu lambalar üzerinde yapılan araştırma ve geliştirmeler sonucu, alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların etkinlik faktörlerinde %250, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların etkinlik faktörlerinde %50 ve yüksek basınçlı civa buharlı lambaların etkinlik faktörlerinde %150 oranında bir artış sağlanmıştır. [3, 6]

Şekil 4.2'deki grafikte ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri ışık akısı diyagramı görülmektedir.

#### 4.2. Deşarj Lambaları

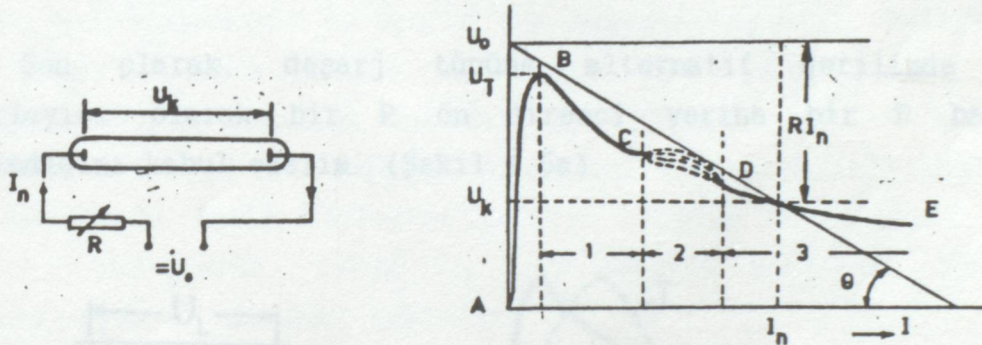
Gaz deşarjlı lamba takılan direkli şehir cadde aydınlatması ilk olarak 1935'te ortaya çıkmıştır. Yol aydınlatıcılarının Avrupa ülkelerindeki gelişimi İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra başlar. O zamanlarda elde bulunan ışık kaynakları civa buhar lambaları ile fluoroasan tüplerdi. Şehir cadde aydınlatmalarındaki değişik amaçlar için bu kaynakların kullanıldığı değişik tipte yol aydınlatıcıları yaratılmıştı. Bazı ülkeler fluoroasan ışık kaynaklarını, bazı ülkeler ise civa buhar lambaları kullanırdı.

Günümüzde yol aydınlatma tesislerinde ışık kaynağı olarak genellikle yüksek basınçlı civa buharlı ampuller ile yüksek ve alçak basınçlı sodyum buharlı ampuller, kismende fluoroasan ampuller kullanılmaktadır. Ülkemizde bugün için en çok kullanılan ışık kaynağı yüksek basınçlı civa buharlı ampullerdir. Bununla beraber son yıllarda yüksek basınçlı sodyum buharlı ampuller ülkemiz yollarında kullanılmaktadır. [2, 3]

#### 4.2.1. Deşarj Lambalarının Çalışma Prensipleri

İlke olarak deşarj lambaları ile ışık üretimi, eskiden beri bilinen Geissler Tüpü'ne dayanır. Geissler tüpü, basıncı birkaç mm Hg sütunu mertebesine indirilmiş ve içinde 2 elektrok bulunan bir cam tüpten ibarettir. Elektrotlara doğru gerilim uygulanınca, tüp içinde bulunan serbest elektronlar hızlanırlar ve çarpma suretiyle iyonizasyonla çoğalarak, tüp tutuşur (Ateşlenir). Tüpün tutuşma gerilimi, tübün boyutlarına, tüp içindeki gazın cinsine ve basıncına bağlıdır.

Tübün tutuşmasından önce, tübe uygulanması gereken gerilim büyük ve akım küçüktür. Tüp tutuştuktan sonra, tüpten geçen akım büyür. İletkenlik de büyüdüğünden tübün uçları arasındaki gerilim küçülür. Genel olarak deşarj tübünün  $U=f(I)$  karakteristiği aşağıdaki şekil 4.3. a'da gösterildiği gibi negatif bir karakteristiktir.



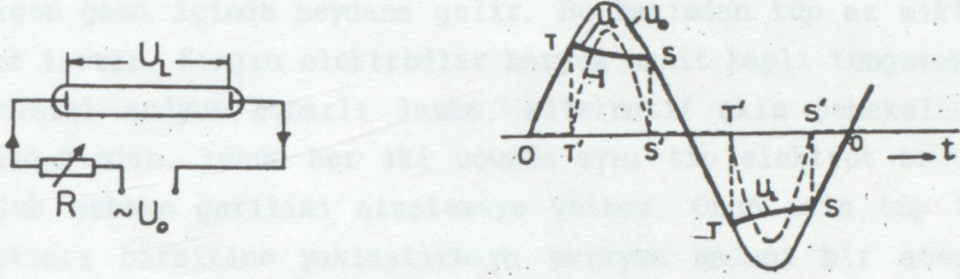
Şekil 4.2. Bir deşarj lambasının dış karakteristiği.

Akım sınırlayabilmek için devreye seri bir öndirenç bağlamak şarttır. Ayrıca öndirençteki gerilim düşümünü karşılayabilmek için  $U_0$  gerilimini  $U_k$  geriliminden öndirençteki gerilim düşümü kadar büyük seçmek gerekir.

Şimdi deşarj tübüne doğru gerilim yerine alternatif gerilim uygulandığı ve akım sınırlayıcı olarak gene bir R direnci bağlandığını kabul edelim. (Şekil 4.4a)

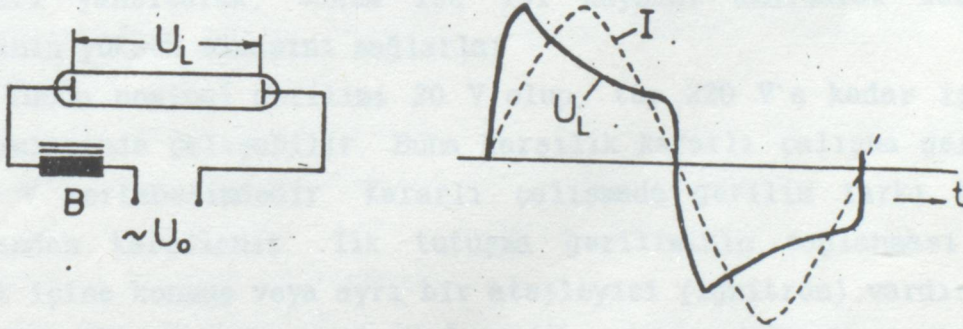
Şekil 4.4.b'deki grafikten görülmektedir ki, lamba akımı sa-

dece T ile S arasındaki aralıkla devreden geçmektedir ve akımın başlangıç noktası ile gerilimin başlangıç noktası arasında bir faz farkı vardır. Buna  $\cos\phi$  yerine "distorsiyon faktörü" demek daha doğru olur.



Şekil 4.4. Alternatif akımla çalışma.

Son olarak, deşarj tüpüne alternatif gerilimde akım sınırlayıcı olarak bir R ön direnci yerine bir B balastı bağlandığını kabul edelim. (Şekil 4.5a)



Şekil 4.5. Alternatif gerilimde ve devreye balast bağlanması durumunda deşarj lambasının akım, gerilim eğrileri.

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. [6]

#### 4.2.2. Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar.

Bunlar kızgın elektrodlu, alçak basınçlı ve alçak gerilimli deşarj lambalardır. Tüp içinde oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum madeni vardır. Tübün sıcaklığı 250 ila 300°C'ya çıktığı zaman sodyum madeni buharlaşır ve tübün basıncı birkaç mmHg aşamasına iner. Deşarj, önce yardımcı bir gaz içinde, örneğin neon veya argon gazı içinde meydana gelir. Bu bakımdan tüp az miktarda asal gaz içerir. Kızgın elektrodlar baryum oksit kaplı tungstendir. Kural olarak sodyum buharlı lamba, alternatif akım şebekelerinde kullanıldığından, tübün her iki ucunda aynı tip elektrot bulunur. 220 v'luk şebeke gerilimi ateşlemeye yetmez. Onun için tüp içine elektrotları birbirine yaklaştırmaya yarayan madeni bir ateşleme teli konmuştur.

Bu sayede gerilim uygulandıktan sonra ana dolgu gazında (neon veya argon) küçük ışıklı deşarj yolları oluşur ve ön deşarj başlar. İyonizasyon yardımıyla ön deşarj ana deşarjı başlatır. Dolayısıyla tüp ısınır, sodyum madeni buharlaşır ve ışıklı plazma dolgu gazından sodyum buharına intikal eder. Deşarj tüpü U şeklinde bükülmüş ve havası boşaltılmış, iç cidarı indium oksitle kaplanmış bir dış tübün içine yerleştirilmiştir. İndium oksit kızıl ötesi ışınları yansıtarak, vakum ise ısı kaybını azaltarak lambanın veriminin yüksek olmasını sağlarlar.

Tübün nominal gerilimi 20 V olup, tüp 220 V'a kadar işletme gerilimlerinde çalışabilir. Buna karşılık kararlı çalışma gerilimi 50,60 V mertebesindedir. Kararlı çalışmada gerilim farkı balast tarafından karşılanır. İlk tutuşma geriliminin sağlanması için balast içine konmuş veya ayrı bir ateşleyici (ignitron) vardır.

En çok kullanılan alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların karakteristik değerleri aşağıda tabloda gösterilmiştir. (Tablo 4.1)

Balast şebekeye endüktif bir yük etkisi yaptığından, şebekeye paralel bir kondansatör bağlamak suretiyle  $\cos\phi$  kompanse edilebilir. Bazen deşarj lambaları radyo parazitlerine sebep olabilir. Onun için balastın iki yarım sargı şeklinde yapılması ve araya aşağı yukarı 0,1 mF'lık bir kondansatör bağlanması uygun olur.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların etkinlik faktörü çok

Tablo 4.1. En çok kullanılan 220 V'luk alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların karakteristik değerleri.

Lamba gücü (W)	Balast kaybı (W)	Işık akısı (lm)	Etkinlik faktörü (lm/W)		Ortalama parlıtı (cd/cm <sup>2</sup> )	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

yüksek olmasına rağmen renginin olumsuzluğu sebebiyle (sarı ışık verdiklerinden) iç aydınlatmada pek kullanılmazlar. Buna mukabil bir dış aydınlatma tesisinde mesala yol aydınlatmasında ve rengin önemli olmadığı yükleme boşaltma işyerlerinde, demiryolu güzergahlarında, kazan tesislerinde ve benzeri yerlerde bu lambalar çok kullanılırlar ve büyük enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. [3, 6]

Bunun yanında T.E.K. Genel Müdürlüğü D.A.P.T. Dairesi Başkanlığının "Türkiye Yolları Aydınlatması İçin Tip Projelerinin" hazırlanmasında alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar tercih edilmemiştir. Bunun nedeni:

-Işık rengi monokromatik sarı olduğu için bilhassa şehiriçi trafiğinde araç renklerinin tam olarak algılanamaması,

-Optik bakımdan hassas kontrol yapılamayan büyük gövdeli armatürlere ihtiyaç göstermesi,

-Halkın bu lambaların ışık rengini benimsememesidir.

Alçak basınçlı sodyum buhar lambaları 50 yıldan uzun bir süredir kullanılmaktadır. Bu ışık kaynaklarının kullanımı Avrupa ülkelerinde oldukça değişiktir. İngiltere gibi bazı ülkeler bu aydınlatıcıları alışveriş merkezlerinde kullanmaktadır. Fransa'da ise bu aydınlatıcılardan hemen hemen hiç yoktur. Şu anda Hollanda ve Belçika başta olmak üzere bazı ülkeler bu aydınlatıcıları, zayıf renk balansının önemli olmadığı trafik yoğunluğu çok olan otomobil-

lerle sınırlı yollardan kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılan kaynaklar daha yüksek güçte lambalardır. 135 ve 180 watt. [3, 9]

#### 4.2.3. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar:

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

Bu lambalar, renk seçimi bakımından alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan üstündür. Buna karşılık etkinlik faktörleri balast kaybı hariç 90 ila 120 lm/w mertebesindedir. Bu lambalarda da balast ve ateşleyici (ignitron) kullanılır. Dış balonu armut şeklinde olanlarında balonun iç cidarı dağıtıcı toz ile kaplanmıştır. Tüp şeklinde alanlarda ise dış tüp saydamdır. Bu tür lambalar civa buharlı lambalara göre takriben %15 az enerji tüketirken yaklaşık %25 daha fazla ışık akısı üretirler.

En çok kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların karakteristik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Tablo 4.2)

Tablo 4.2. Ençok kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların karakteristik değerleri.

Tip	Başlık	Işık akısı (lm)	Etkinlik faktörü (lm/W)	Min.Besleme gerilimi (V)	Max. uzunluk (mm)	Max. çap (mm)
SON	150 W E40/45	13500	90	200	227	92
SON	250 W E40/45	25000	100	200	227	92
SON	400 W E40/45	47000	117	210	292	122
SON-T	150 W E40/45	14000	93	200	211	47
SON-T	250 W E40/45	27000	108	200	257	57
SON-T	400 W E40/45	47500	118	210	283	47
SON-H	210 W E40	17000	85	200	227	92
SON-H	350 W E40	34500	97	200	292	122

Not: Işık akıları 100 saat yandıktan sonraki değerlerdir.

Yüksek basınçlı sodyum buhar lambaları 1960'ların ortasına doğru piyasaya çıkmıştır. 400 wattlık ilk lambalardan sonra 250 watt olanları da üretilmiştir. Yüksek verimliliklerinden ve uygun renklerinden (altın beyazı) dolayı bu ışık kaynakları ani bir başarı elde etmiş ve bütün Avrupa'da büyük şehir merkezlerinin aydınlatılması için kullanılmaya başlanmıştır. Böylece ışık kaynağı üreticileri yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba üretimlerini daha düşük güç aralıklarına yöneltmişlerdir. [3, 6]

#### 4.2.4. Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar:

Yüksek basınçlı civa buharlı lambalarda civa buharının yükseldikçe civa buharı uzun dalga boylu termik yoldan ışık yaymaya başlar. Dolayısıyla lambanın parıltısı ve etkinlik faktörü büyür. Bugün kullanılan civa buharlı lambaların ortalama basınçları 1 at dir.

Lambanın yapısı ilke bakımından sodyum lambasına benzer. Burada da elektron bakımından zengin Wehmelt elektrotları kullanılır. Yalnız civa buharlı lambalarda elektrotları ek olarak ısıtmaya ihtiyaç yoldur. Büyük bir R direnci üzerinden bağlı bulunan yardımcı h elektrodu deşarjı başlatır; ilk elektrikli parçacıkları oluşturur ve elektrotların 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.

Civanın buharlaşma sıcaklığı sodyumunkinden daha küçük olduğundan buharlaşması da daha çabuk olur ve lamba, bu yüzden 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 soğumasını 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 8A arasındadır. [6]

Aşağıdaki tabloda yol aydınlatmasında en çok kullanılan civa buharlı lambaların karakteristik değerleri verilmiştir. (Tablo 4.3)

Tablo 4.4. Çeşitli ışık kaynaklarının karakteristik değerleri.

İŞİK KAYNAĞI	Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Işıksal Etkinlik Faktörü (*) (lm/W)	Ömrü (**) (Saat)	Işık Rengi
Yüksek basınçlı civa buharlı ampul (HPL)	125	5100	40	8000	Mavimsi Beyaz
	250	11500	46		
	400	20000	50		
Özel yüksek basınçlı sodyum buharlı ampul (***) (SON-H)	210	18000	85	8000	Beyazimsı Sarı
	350	34000	97		
Yüksek basınçlı sodyum buharlı ampul (SON-SON/T)	150	14000	93	12000	Beyazimsı Sarı
	250	27000	108		
	400	47500	118		
Alçak basınçlı sodyum buharlı ampul (SOX)	35	4800	137	12000	Sarı
	90	13500	150		
	135	22500	166		
	180	33000	183		

\* Balast kaybı hariç.

\*\* Ekonomik ömür tanımına göre.

\*\*\* Özel balast ve ateşleyici gerektirmeden yüksek basınçlı civa buharlı ampul balastı ile kullanılır.

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 lambaların ışık rengi oldukça iyidir ve içine katkı maddeleri sayesinde gün ışığına yakın bir ışık rengi verebilirler.

Tablo 4.3. Yüksek basınçlı HPL civa buharlı lambaların karakteristik değerleri.

Lamba gücü (W)	Balast kaybı (W)	Işık akısı (lm)	Etkinlik faktörü (lm/W)	Ortalama parlıltı (cd/m <sup>2</sup> )	Boyutlar (mm)
			Balastlı	Balastsız	Çap Boy
50	9	2000	34	40	4 55 130
80	9	3800	43	48	5 70 156
125	12	5100	37	40	7 75 170
250	16	11500	43	46	10 90 226
400	25	20000	47	50	11 120 290
700	35	40000	54	57	13 150 343
1000	45	55000	52	55	15 165 380
2000	70	130000	63	65	25 185 420

#### 4.2.5. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları

Etkinlik faktörlerinin yüksekliği deşarj ampüllerinin enerji tasarrufu bakımından başlıca tercih nedeni olmakla birlikte kullanıldığı yerlere göre ışık renginin de büyük önemi olduğu inkar edilemez. Bilhassa yol aydınlatmasında enerji tasarrufunun yanısıra ışık renginin de önemli olduğu şehiriçi yollarında buna dikkat edilmesi gerekir. [3] (Tablo 4.5)

Tablo 4.5. Yol türüne göre tavsiye edilen ışık kaynakları.

AYDINLATILACAK YER	ÖNEM VERİLMESİ GEFEKEN	TAVSİYE EDİLEN İŞİK KAYNAĞI
OTOYCLLAR	EKONOMİ	SOX
EXPRES YOLLAR	EKONOMİ	SOX
ÇEVRE YOLLARI	EKONOMİ+RENK	SOX - SON/H
ŞEHİRİÇİ YOLLARI	EKONOMİ+RENK	SON/H - SOX
KONUTLU ALANLAR 1	RENK+EKONOMİ	SON/H
KONUTLU ALANLAR 2	RENK+EKONOMİ	SON/H - HPL

#### 4.3. Işık Kaynaklarında Ömür:

Deşarj ampüllerinde ömür tanımı günümüzde birbirinden çok farklı biçimlerde verilmekte, bunun yanısıra bu ampülleri üreten firmalarda ömür deneylerini değişik standartlara göre yapmaktadırlar.

Sonuç olarak da değişik üretici firmaların ampul kataloglarında aynı tip ampuller için birbirinden çok farklı ömür süreleri verilmekte, başka bir deyişle farklı koşullarda yapılan ölçmelerle bulunan yüksek ömür süreleri, temelde diğerlerine göre herhangi bir farklılığı bulunmayan değişik markalı aynı tip ampul-

lerin bazılarının diğerlerine göre üstünlüğü olarak yanlış yorumlanmaktadır.

Cadde aydınlatmalarında aşağıdaki üç kriteri sağlayacak tipte aydınlatıcılar seçilmelidir.

-Uzun ömür

-Işık akısında yavaş düşüş

-İyi verim

Cadde aydınlatma sistemlerinde aydınlatıcıların kullanım zamanı yaklaşık 4400 saattir. Bilgi vermek amacıyla söylenirse, yüksek basınçlı civa buharı aydınlatıcıların (HPMV) ve yüksek basınçlı sodyum aydınlatıcıların ömürleri 8000 saattir. Bu tip aydınlatıcılar için tablo 4.6'da 4000 ve 8000 saatten sonra ışık akısı düşüşleri gösterilmiştir. [3, 8]

#### 4.3.1. Ekonomik Ömür:

İstatistiksel bakımdan anlamlı miktarda, 100 saat kullanılmış ampulden oluşan bir aydınlatma tesisinde, belirli koşullarda\* başlangıçta elde edilen toplam ışık akısının, ampullerin kullanılamaz hale gelmeleri ve aynı zamanda ışık akılarının azalmasından dolayı %30'una düşmesi için geçen süredir.

N: Başlangıçta tesiste bulunan toplam ampul sayısı.

$\phi_{01}$ : Ampüllerin herbirinin başlangıç ışık akısı

te: Ekonomik ömür süresi

$\phi_{1te}$ : Bu süre sonunda bir ampulün ışık akısı

n: te süre sonunda hala kullanılabilir durumda olan ampul sayısı

Tesisin başlangıçtaki toplam ışık akısı:

$$\phi_0 = N \cdot \phi_{01} \quad (4.1)$$

Tesisin te süre sonundaki toplam ışık akısı:

$$\phi_{te} = n \cdot \phi_{1te} , \quad \phi_{te} = \frac{n}{N} \cdot \frac{\phi_{1te}}{\phi_{01}} \cdot \phi_0 \quad (4.2)$$

olur. Buradan aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$K_{1e} = \frac{\phi_{1te}}{\phi_{01}} \cdot K_{2e} = \frac{n}{N} \quad (4.3)$$

$K_{1e}$  : Ekonomik ömür süresi sonunda ampüllerin ışık akılarının azalma oranı. Şekil 4.6a

$K_{2e}$  : Tüm tesisteki ampüllerin ekonomik ömür boyu kullanılabilme oranı. Şekil 4.6b

Tanımında da belirtildiği gibi ekonomik ömür;

$$K_{1e} \cdot K_{1e} \cong 0.7 \quad (4.4)$$

olduğu ana kadar geçen süredir.

\* Ampulün imal edildiği nominal gerilimden ve kıyaslama balastı ile (IEC'ye göre) (Uygulamadaki koşullara göre)

#### 4.3.2. Ortalama Ömür

İstatistiksel bakımdan anlamlı miktarda 100 saat kullanılmış ampulden oluşan bir aydınlatma tesisinde, belirli koşullarda\*, ampüllerin %50'sinin kullanılamaz hale gelmesi için geçen süredir.

$t_0$ : Ortalama ömür süresi

$\phi_{1t0}$ : Bu süre sonunda ampüllerin ışık akısı

$n$ :  $t_0$  süre sonunda hala kullanılabilir durumda olan ampul sayısı

Ekonomik ömürde olduğu gibi tesisin  $t_0$  süre sonunda toplam ışık akısı:

$$\phi_{t0} = \frac{n}{N} \cdot \frac{\phi_{1t0}}{\phi_{01}} \cdot \phi_0 \quad (4.5)$$

olur. Burada da yine aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$K_{10} = \frac{\phi_{1t0}}{\phi_{01}} \quad , \quad K_{20} = \frac{n}{N} \quad (4.6)$$

$K_{10}$ : Ortalama süresi sonunda ampullerinin ışık akılarının azalma oranıdır. (Şekil 4.7a)

$K_{20}$ : Tüm tesisteki ampullerin ortalama boyu kullanılabilme oranı (Şekil 4.7b)

Tanımında da belirtildiği gibi ortalama ömür  $K_{10}=0,5$  olduğu ana kadar geçen süredir. Buna göre de;

$$K_{10} \cdot K_{20} < 0,5$$

olacağı açıkça görülmektedir.

\*Gerilim, ampulün nominal gücünde çalışması sağlanacak şekilde ayarlanacak (Teorik koşullara uygun)

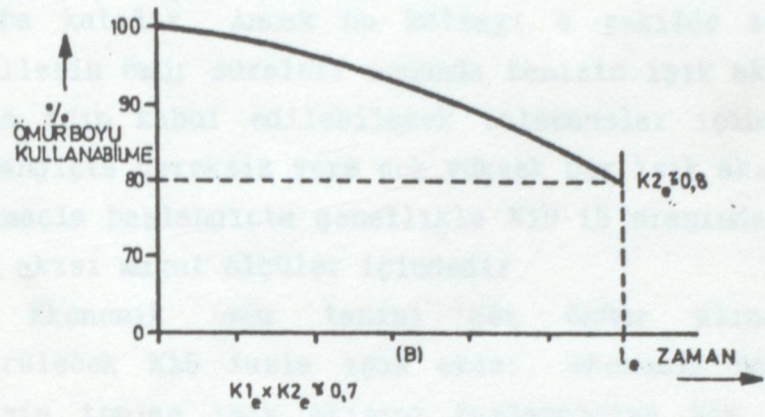
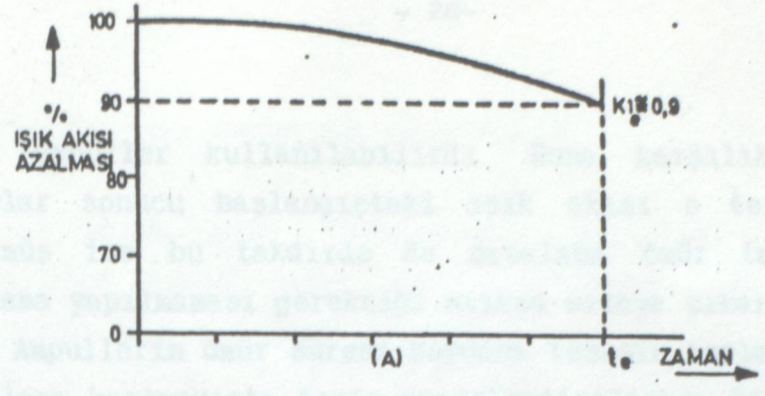
#### 4.3.3. İrdeleme

İrdeleme aydınlatma tesisinin ekonomikliği, tesisin şebekeden çektiği toplam güce karşılık verdiği ışık akısı miktarı ile değerlendirilir. Tesisin şebekeden çektiği toplam güç  $P(W)$  ve buna karşılık elde edilen toplam ışık akısı  $\Phi$  (lm) ise, tesisin bileşke etkinlik faktörü:

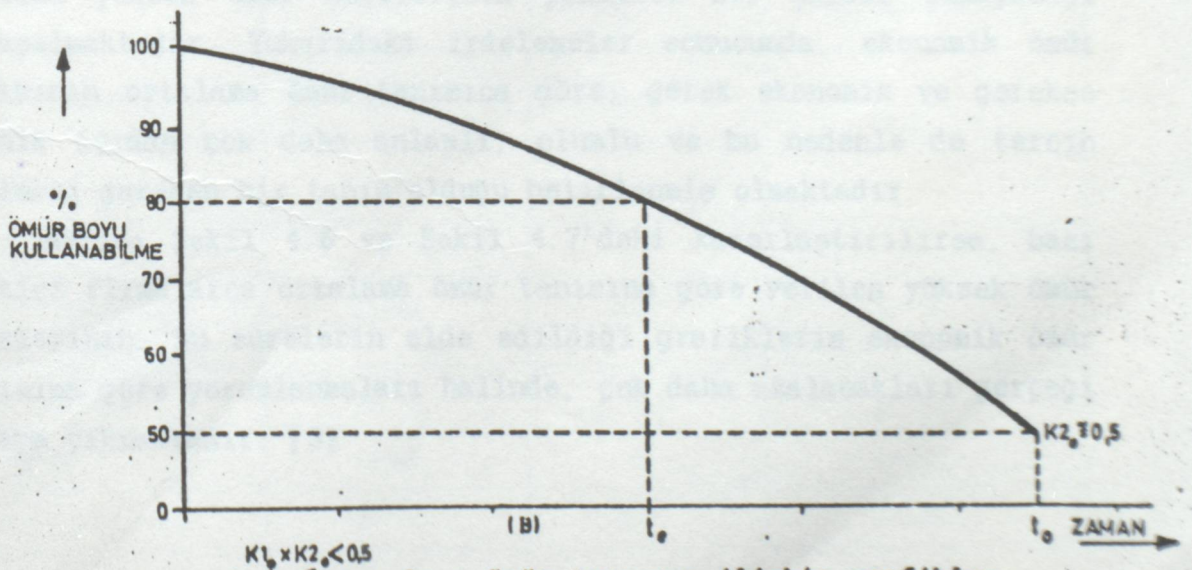
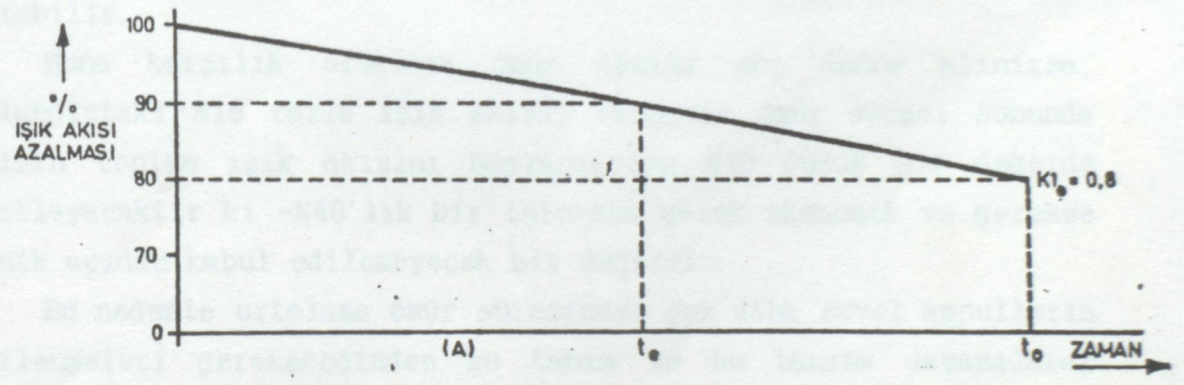
$$e_b = \frac{\Phi}{P} \quad (lm/w) \quad (4.8)$$

şeklinde tanımlanır.

Ortalama ömür tanımı ise tesisin bileşke etkinlik faktörünün başlangıçtaki %50'sinden daha az olması (örneğin %45) halinde tesisteki ampullerin yenilenmelerini öngörmektedir ki bu, kanımızca ekonomik değildir. Şöyleki, eğer bir tesisin toplam ışık akısı, dolayısıyla elde edilen aydınlık düzeyi %55 azalınca kadar ampuller yenilenmeden o tesis hala kullanılabiliriyorsa o takdirde başlangıçtaki %100 ışık akısı gereksiz yere fazla alınmış demektir ve bunun yerine daha az sayıda veya ışıksal etkinlik faktörü daha



ŞEKİL 4.6 Ekonomik ömür tanımına ilişkin grafikler



ŞEKİL 4.6 Ortalama ömür tanımına ilişkin grafikler

düşük ampuller kullanılabilirdi. Buna karşılık eğer yapılacak hesaplar sonucu başlangıçtaki ışık akısı o tesis için gerekli görülmüş ise bu takdirde de ortalama ömür tanımına dayanarak uygulama yapılmaması gerektiği açıkça ortaya çıkar.

Ampullerin ömür süresi boyunca tesisin toplam ışık akısındaki zayıflama başlangıçta tesis projelendirilirken bir kat sayı olarak hesaba katılır. Ancak bu katsayı o şekilde seçilmeidir ki hem ampullerin ömür süreleri sonunda tesisin ışık akısının azalması, o tesis için kabul edilebilecek toleranslar içinde kalsın, hem de başlangıçta gereksiz yere çok yüksek bir ışık akısı gerektirmesin. Bu amaçla başlangıçta genellikle %10-15 oranında öngörülecek fazla ışık akısı makul ölçüler içindedir.

Ekonomik ömür tanımı göz önüne alınırca, başlangıçta öngörülecek %15 fazla ışık akısı, ekonomik ömür süresi sonunda tesisin toplam ışık akısını başlangıçtan %15 düşük bir değerde sınırlandıracaktır. Hesaplanan aydınlık düzeyi veya parlıltı değerlerinde ömür süresi boyunca  $\pm$  %15'lik bir tolerans kabul edilebilir.

Buna karşılık ortalama ömür tanımı göz önüne alınırca, başlangıçtaki %15 fazla ışık akısı, ekonomik ömür süresi sonunda tesisin toplam ışık akısını başlangıçtan %40 düşük bir değerde sınırlandıracaktır ki -%40'lık bir tolerans gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan kabul edilemeyecek bir değerdir.

Bu nedenle ortalama ömür süresinden çok daha evvel ampullerin yenilenmeleri gerekeceğinden bu tanım ve bu tanıma dayanılarak verilen yüksek ömür sürelerinin pratikte bir anlamı olmayacağı anlaşılmaktadır. Yukarıdaki irdelemeler sonucunda, ekonomik ömür tanımının ortalama ömür tanımına göre, gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan çok daha anlamlı, olumlu ve bu nedenle de tercih edilmesi gereken bir tanım olduğu belirlenmiş olmaktadır.

Ayrıca Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki karşılaştırılırsa, bazı üretici firmalarca ortalama ömür tanımına göre verilen yüksek ömür sürelerinin, bu sürelerin elde edildiği grafiklerin ekonomik ömür tanımına göre yorumlanmaları halinde, çok daha azalacakları gerçeği ortaya çıkmaktadır. [3]

## 5. YOL AYDINLATMA AYGITLARI (ARMATÜRLER)

Bilindiği gibi aydınlatma armatürleri içlerindeki ışık kaynağından çıkan ışığı amaca en uygun biçimde ve muhtelif düzenlerle, dağıtan, yönlendiren ve aynı zamanda ışık kaynağını dış etkilerden koruyan ışık kaynağı için gerekli yardımcı elektriksel elemanları (duy, balast, ateşleyici, kondansatör vs.) muhafaza eden, muhtelif montaj tertiplerine haiz bir elemandır.

Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler, içlerindeki ışık kaynağının ürettiği ışığı, yola uygun şekilde dağıtacak, kamaşma meydana getirmeyecek ve düzenli bakım yapılma koşulu ile özelliklerini zamanla değiştirmeyecek şekilde imal edilmelidirler.

Birçok unsurun en uygun şekilde bir araya gelmesinden oluşan aydınlatma armatürüne uygun armatür veya başka bir deyişle etkin aydınlatma armatürü diyebiliriz. Bu arada şunu belirtmemizde fayda vardır, her etkin veya etkinliği çok yüksek olan aydınlatma armatürü uygun armatür olmayabilir veya bunun tersi de doğrudur. Armatürleri kullanım yeri ve amacına uygun olarak seçmek ve buna uygun fotometrik özellikleri taşıyan armatürleri kullanmak, enerji tasarrufu bakımından oldukça önemli hususlardır. [3, 8]

Yukarıda Tablo 5.1'de kullanılan ışık kaynakları ile beraber aydınlatıcıların verimi karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5.1. Aydınlatıcıların karşılaştırılması.

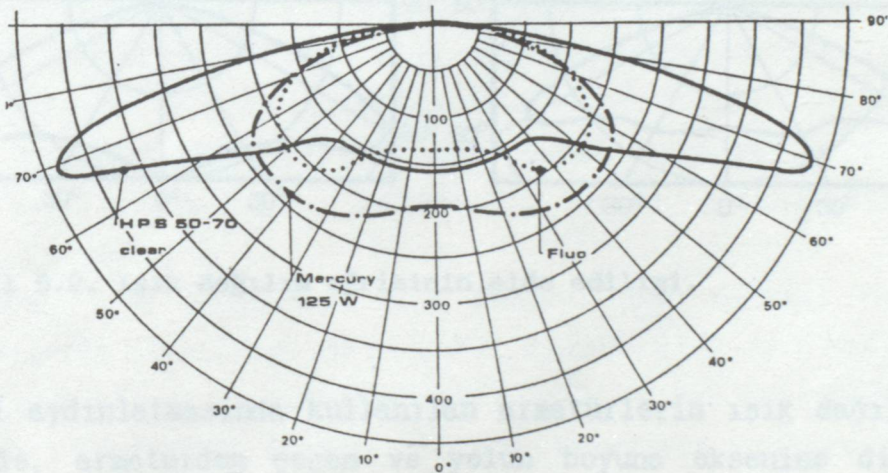
Lamba Tipi	Lamba aydınlanma etkinliği	Armatür verimi (*) %	Lamba+Armatür aydınlanma etkinliği
H.P.M.V. Kaplamalı	45-56	25-30	11 - 13 14 - 17
H.P.M.V. Kaplamalı	38-55	20	8 - 11
Floresan	15	10	1,5
H.P.S. Kaplamalı	55-100	25-30	14 - 25 17 - 30
H.P.S. Şeffaf	56-110	45	29 - 50
L.P.S.	77-144	25	19 - 36
L.P.S. Yeni Üretim	109-170	25	27 - 43

\* genişlik / yükseklik = 1 oranı için yol yüzeyindeki verim.

### 5.1. Fotometrik Değerler:

Yol aydınlatma armatürlerinin en önemli kısımlarını ışığı yansıtıcı ve dağıtıcı elemanlar oluştururlar. Yol aydınlatma armatürlerinde de diğer tüm aydınlatma armatürlerinde olduğu gibi ışığı yansıtmak ve uygun şekilde dağıtmak amacı ile kullanılan elemanların yapıldıkları malzemelerin, armatürün içindeki ışık kaynağı tarafından üretilen ışığı armatürden dışarıya en verimli şekilde yayacak özellikte olmaları gerekir. (Armatür verimi: Bir aydınlatma armatüründen çıkan ışık akısının, armatürün içindeki ışık kaynağının ürettiği ışık akısına oranı olarak tanımlanır.

( $\eta_{\text{ayg}} = \Phi_{\text{ayg}} / \Phi_L$ ) bakımından uygun seçilmiş bu elemanlar yardımı ile bir yol aydınlatma armatürünün ışık dağılım yüzeyine (Armatürden uzayın çeşitli doğrultularında çıkan ışık şiddeti vektörlerinin çıkan ışık şiddeti vektörlerinin uç noktalarının oluşturduğu yüzey) amaca uygun bir biçim verilebilir.

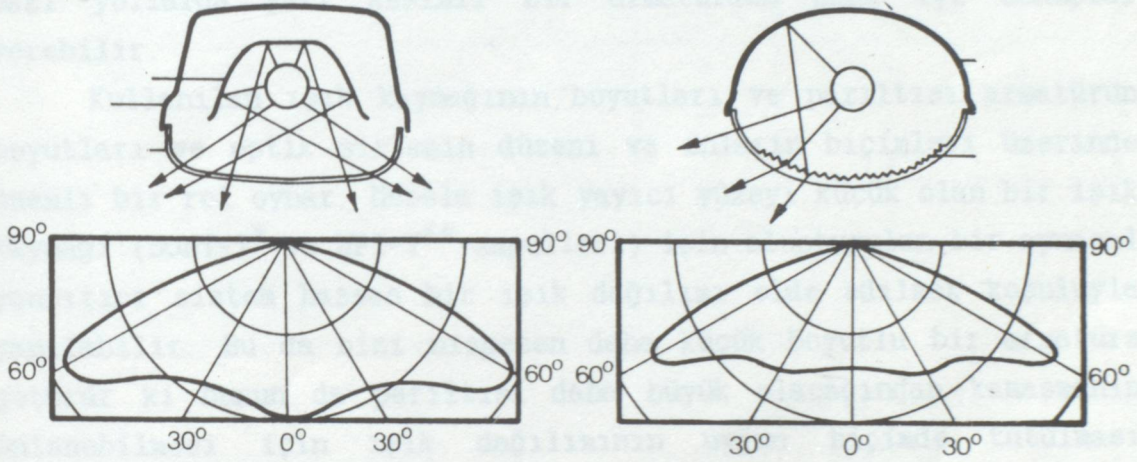


Şekil 5.1. Bir yol aydınlatma armatürünün ışık dağılım eğrisi.

Şekil 5.1'de bir yol aydınlatma armatürünün ışık dağılım yüzeyinin armatürden geçen ve maksimum ışık şiddeti vektörünün bulunduğu düşey düzlem ile ara kesiti olan "Işık Dağılım Eğrisi" görülmektedir. Bu şekilde bir dağılım yol aydınlatması için genellikle en uygun dağılımdır. Şekil 5.1'de görülen yanlara açılmış kesik çizgili dar dağılımlar, armatürün içindeki ışık

kaynağının iki yanında bulunan yansıtıcılar ile elde edilir. Düşey doğrultudaki diğerlerine göre daha geniş olan dairesel ışık dağılımı ise, büyük bir kısmı, ışık kaynağından direkt olarak gelen ışık ışınlarından oluşmakla beraber, kısmen de kaynağın arkasındaki, daha başka bir deyimle armatürün tavanındaki, yansıtıcı ile elde edilirler.

Yukarıda açıklanan iki ayrı ışık dağılımının bileşkesi Şekil 5.1'de sürekli çizgi ile gösterilen "Işık Dağılım Eğrisi"dir. Bu ve buna benzer şekildeki ışık dağılım eğrileri, armatür içindeki yansıtıcı veya armatür kapağındaki kırıcı elemanlar yardımı ile bazen de her ikisi birden kullanılarak elde edilirler. (Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Işık dağılım eğrisinin elde edilişi.

Yol aydınlatmasında kullanılan armatürlerin ışık dağılımları genellikle, armatürden geçen ve yolun boyuna eksenine dik olan düşey düzleme göre simetriktirler. Bununla beraber bazı armatürlerin ışık dağılım yüzeyleri, armatürden geçen düşey doğrultu etrafında dönel simetriye de sahip olabilirler. [1, 3, 8]

## 5.2. Armatürde kamaşma ve parıltı:

Yol aydınlatma armatürlerinin optik özellikleri bakımından sınıflandırılması, çok önemli bir husus olan kamaşma sınırlandırılmasına göre yapılır. Meydana getirdikleri kamaşma derecesi bakımından yol aydınlatma armatürleri, armatürden geçen ve yol eksenine paralel

düsey düzlemdaki ışık dağılım eğrilerinin biçimine göre ekranlı (cut-off), yarı ekranlı (semi cut-off), ekransız (non cut-off) olmak üzere üç ana gruba ayrılabilirler. Bu sınıflama yalnızca armatürlerin kamaşma sınırlamasını esas alarak yapılmış olup, bu armatür tipleri kullanılarak yapılan yol aydınlatmalarının kaliteleri hakkında tam doğru bir fikir vermeyebilir.

Örneğin, en az kamaşma yaratan ekranlı bir armatür kullanılarak yapılmış bir yol aydınlatması, belirli bir yol yüzeyi için, aydınlatma düzgünlüğü bakımından yarı kesimli bir armatüre göre çok daha kötü sonuçlar verebilir. Buna karşılık kesimli bir armatür de, kullanılan ışık kaynağının ışık şiddetine ve yol yüzeyi parıltısına bağlı olan "Aydınlatma kamaşma derecesi" bakımından bazı yollarda yarı kesimli bir armatürden daha iyi sonuçlar verebilir.

Kullanılan ışık kaynağının boyutları ve parıltısı armatürün boyutları ve optik sistemin düzeni ve onların biçimleri üzerinde önemli bir rol oynar. Mesela ışık yayıcı yüzeyi küçük olan bir ışık kaynağı (SONT-T\* ve MPI-T\*\* ampulleri) için oluşturulan bir aynasal yansıtıcı sistem hassas bir ışık dağılımı elde edilmek koşuluyla yapılabilir. Bu da bizi nispeten daha küçük boyutlu bir armatüre götürür ki bunun da parıltısı daha büyük olacağından kamaşmanın önlenmesi için ışık dağılımının uygun biçimde tutulması zorunluluğu vardır.

Küçük ışık kaynakları ile kullanılacak aynasal yansıtıcı reflektörlerde olabilecek en ufak bir düzgünsüzlük ışık dağılımında önemli bozukluklara ve bunun sonucu olarak da yol düzeyindeki bazı bölgelerde istenenden farklı aydınlık düzeyleri oluşmasına neden olabilir.

Yol aydınlatmasında kullanılacak armatürlerin seçimi, kamaşma sınırlaması, yoldaki parıltı düzeyi, aydınlatma düzgünlüğü ve ekonomiklik gözönüne alınarak yapılmalı ve konunun uzmanlarınca bilgisayar kullanılarak uygulanan "Parıltı Yöntemi" ne göre

(x) SONT-T: Tüp biçimi yüksek basınçlı sodyum buharlı ampul

(xx) MPI-T: Tüp biçimi yüksek basınçlı cıva buharlı ampul

yapılacak hesaplamalar sonucu belirlenmelidir. [3]

Tablo 5.2'de yalnızca kamaşma sınırlandırmasına göre çeşitli yol türleri için tavsiye edilen aygıt tipleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Çeşitli yol tipleri için tavsiye edilen armatür tipleri.

Y O L T Ü R Ü		A R M A T Ü R T İ P İ		
		KESİMLİ (cut_off)	YARI KESİMLİ (semi cut_off)	KESİMSİZ (non cut_off)
ŞEHİRRARASI YOLLAR	Çok yoğun trafikli otoyollar kompleks kavşaklar, ekspresyollar, ana yollar	3	2	0
	Tali yollar, çok amaçlı tali yollar	2	3	0
	Çevre yollar, radyal yollar	3	2	0
SEHIR YOLLARI	Ana caddeler, bulvar vb	2	3	0
	Tali caddeler semt yolları	0	3	1
	Kavşaklar, meydanlar, vb.	3*		
		2	3	2

0 : Kullanılması uygun olmaz

1 : Kullanılabilir

2 : Tatmin edici sonuç verir

3 : Kullanılması en uygundur

\* : Yüksek direklerle aydınlatma için

### 5.3. Isıl Karakteristikler

#### a) Isıya Dayanıklılık:

Armatür gövdesinin ve armatürün içindeki elemanların imal edildikleri malzemelerin ışık kaynağı tarafından üretilen ısıya dayanıklı olmaları gerekir.

#### b) Çalışma Sıcaklığı:

Armatür içindeki ortam sıcaklığı ışık kaynağının kararlı çalışması için gerekli olan düzeyde olmalıdır. Buna etki eden önemli faktörlerden birisi armatürün hacmi ve armatür gövdesinin imal edildiği malzemenin türüdür.

### 5.4. Mekanik ve Aerodinamik Karakteristikler

#### Montaj Güvenirliliği:

Aydınlatma armatürü ve içindeki tesbit parçaları uygun biçimde dayanıklı ve kolay kullanılabilir olmalı, armatürün direğe veya istenen bir yere güvenilir bir şekilde tesbitini sağlamalıdır. Armatürün tesbit sistemindeki zayıflık nedeni ile armatür tesbit konumunda zamanla meydana gelebilecek ufak değişikliklerin dahi yol üzerindeki aydınlık düzeyi dağılımına olumsuz etkileri düşünülürde bunun önemi daha da belirginleşir.

### 5.5. Titreşim ve Darbelere Dayanıklılık

Armatürün içindeki ışık kaynağı ve yardımcı elektriksel elemanların (duy, bağlantı kabloları, balast vs.) ile yansıtıcıların da armatürün tesbit edildiği yerdeki rüzgar, trafik v.b. gibi çeşitli kaynaklı titreşimler nedeni ile zamanla konumlarını değiştirmeyecek şekilde sıkıca tesbit edilmiş olmaları gerekir.

Bilhassa nispeten az bir yüksekliğe monte edilen armatürlerin kötü niyetli kişilerce maruz bırakılabilecekleri darbelere de belirli bir ölçüde dayanıklı olmaları istenir.

### 5.6. Ağırlık, Boyut ve Biçim

Gerek tesbit edildiği elemanın (direk, konsol, askı teli v.b) mekanik dayanıklılığı bakımından gerekse kullanım kolaylığı bakımından aydınlatma armatürlerinin olabildiğince hafif olması istenir. Armatürün ağırlığı fazlalattıkça direk, konsol veya askı telinin mekanik mukavemeti de yüksek olacağından bu husus tesis maliyetini arttırıcı yönde etki yapar. Ayrıca fazla ağır olan armatürlerin titreşimi esnasında tesbit noktalarına daha fazla yük getirecekleri de açıktır.

### 5.7. Elektriksel Karakteristikler

Yardımcı Elektriksel Elemanlar Bölümü:

Bu bölüm armatürün içindeki kaynağının çalışabilmesi için gerekli balast, ateşleyici, v.b. elemanları ihtiva ettiğinden bu elemanların birbirlerine ve armatür gövdesine bağlantılarının güvenilir biçimde yapılabilmesi için gerekli düzeni haiz olmalı

kısa devre, elektriksel kaçak ve benzeri gibi istenmeyen durumların ortaya çıkmaması için uygun malzeme kullanılmalı ve koruma tedbirleri (topraklama, sıfırlama) alınmalıdır.

Bağlantı kabloları ve klemensler armatürün içinde ışık kaynağından dolayı ve/veya elektriksel elemanlar bölümünde balasttan dolayı meydana gelebilecek sıcaklığa dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır.

### 5.8. Kir ve Toza Dayanıklılık

Armatürlerin kullanıldığı yerlerde havada mevcut olabilecek korozyona sebep olucu gazlar, bilhassa rutubetli bir ortamda, aşındırıcı ve yıpratıcı etkisi çok fazla olan kimyasal bileşikler oluştururlar. Böyle ihtimallerin bulunması halinde armatürün yapıldığı malzeme büyük önem kazanır. Hatta bazı durumlarda eğer armatür o tür malzemeden yapılmışsa sadece rutubetten dahi etkilenecek kısa sürede paslanır.

Atmosferik etkilere dayanıklılık armatürün kendisinin yapıldığı malzeme yönünden önemli olduğu kadar içindeki elemanlar bakımından da dikkat edilmesi gereken bir husustur.

### 5.9. Estetik Karakteristikler

Armatürlerin gece koşullarında görünüş ve biçimlerinin önemi az olmasına karşın gündüz, biçimi, rengi, direk üzerinde duruşu ile estetik hislere hitap etmektedir. Gündüz kullanılma süresinin gece kullanılma süresinden daha fazla olması da meselenin önemini daha iyi vurgulamaktadır. Armatürün görünüşü, biçimi, rengi kullanıldığı çevre ile mümkün olduğu kadar uyum sağlamalıdır. Yaya yollarında ve şehir içi yollarda bu husus daha da önem kazanmaktadır. [3]

## 6. YOL AYDINLATMASININ ESASLARI VE KALİTE PARAMETRELERİ

### 6.1. Yol Aydınlatmasının Esasları:

Bir sürücünün normal görüş alanını önem sırasına göre aşağıdakiler oluşturmaktadır:

- yolun kendisi
- yol işaretiyle birlikte yol kenarları
- aydınlatma spotlarıyla birlikte gökyüzü

Görülmesi gereken engellerin bu görüş alanına girmesi gerekmektedir. Görüş ayırdetmesi ve ayırdetmenin hızı görüş alanının aydınlanması ve kontrast katsayıları ile ilgili olduğundan, aydınlanma mekanizmasına büyük önem verilmesi gerekmektedir.

Bütün ışık kaynakları yansıtma yoluyla aydınlık üretir ve bunu yol yüzeyine dağıtır. Aydınlığın özellikleri aşağıdakilere bağlıdır:

- yol yüzeyi (aydınlık veya karanlık);
- yüzeyin durumu (düz ya da engebeli, kuru ya da ıslak);
- ışığın yüzeyde yarattığı aydınlanma şiddeti;
- kaynağın asıldığı yerin yüksekliği ve izleyiciye göre uzaklığı,
- ışık kaynağının tipi ve flux'ı
- her türlü doğal durum (kuru yapraklar, kum, kar, vs...).

Aydınlatılmış bir yol ve yakın çevresi, karanlığın başladığı andan itibaren göz'e, gündüz'e göre bambaşka bir görünüm arzeder. Gündüz, sürücü yatay düzleme göre üst ve alt yarı görüş alanlarına sahiptir. Üst yarı görüş alanı genellikle gökyüzüdür ve alt yarı görüş alanına göre daha aydınlıktır. Gece aydınlatılmış bir yolda ise durum farklıdır. Üst yarı görüş alanı yani gökyüzü üzerindeki taşıtlar yol'a göre daha az aydınlık görünürler. Gündüz cisimler genellikle belirgin bir şekilde görülebildiği halde gece bunun tersi olur. Yol üzerindeki diğer taşıtlar ve engeller gündüze göre daha zayıf bir kontrast ile görülürler. Aydınlik düzeyleri ve parlaklıkları daha küçük değerlere inerler. Aydınlik ve renk farklarının, şekil, hareket ve uzaklığın fark edilmesi güçleşir.

Gece trafiğinde kazaların önlenmesi bakımından iyi bir yol aydınlatmasının önemi büyüktür. Aydınlatılmamış yollarda, aksi yön-

den gelen taşıtların farlarının sürücülerin gözlerini kamaştırması, yolun gidişinin yalnızca taşıt ışıkları ile belirlenememesi ve özellikle yağışlı havalarda yol örtüsünün büyük ölçüde aynasal yansıtma özelliği kazanması sonucu taşıt ışıklarının yolu aydınlatmada hemen hemen hiç bir yarar sağlamamaları kazalara neden olur. Hatta aydınlatmanın iyi yapılmaması halinde bile yine yukarıdaki sonuçlar meydana gelebilir. Günümüzde, özellikle yüksek hızı limiti olan otoyollarda, meydana gelebilecek kazaların önemi büyüktür.

Yol aydınlatmasında sürücülerin görsel rahatlıklarının ve trafik güvenliğinin sağlanması en önemli hususlar olduğundan, yol üzerindeki taşıtların ve var olabilecek engellerin kolayca görülebilmeleri gerekir. Bu nedenle yol aydınlatmasında kullanılacak ışık kaynağının rengi de önem kazanmaktadır. Kullanılacak ışığın rengi, yol üzerindeki kontrastları olabildiğince artıracak ve doğal görüş engellemelerinde (sis, tipi v.b.) iyi sonuç verebilecek bir renk olmalıdır.

Sürücülerin görsel rahatlıklarının tam olarak sağlanabilmesi için aydınlatılmış bir yolda yolun enine ve boyuna doğrultusunda, aydınlığın bölgeden bölgeye çok fazla değişmemesi gerekir. Yol üzerinde ard arda aydınlık ve karanlık bölgelerin meydana gelmesi gözü yorar ve trafik güvenliğini azaltır. Kullanılan aydınlatma armatürleri uygun yükseklik ve uygun açıklıkta tesis edilerek bu durum ortadan kaldırılabilir.

İyi bir yol aydınlatması sürücülerin görsel rahatlığını ve trafik güvenliğini sağlamanın yanında ekonomik de olmalıdır. Yol aydınlatmasında genellikle ilk tesis masrafları fazla değildir. Bir örnek olmak üzere bir oto yol'un 1 km'sinin yapım maliyeti, aynı yolun 1 km'sinin aydınlatma tesisatının ilk tesis maliyetinin yaklaşık olarak 100 katıdır. Bununla birlikte aydınlatma tesisatının işletme masraflarının da düşük tutulması gerekir. Bu amaçla öncelikle seçilecek yüksek verimli aydınlatma armatürleri ile birlikte, günümüzde her alanda enerji tasarrufuna gidilmek zorunluluğu bulunduğundan, yol aydınlatma tesislerinde, mümkün olduğu kadar az güç harcanmasına karşılık fazla ışık akısı veren

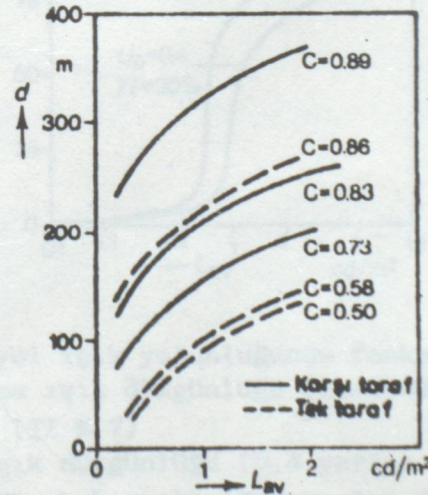
yani ışıksal etkinlik faktörü yüksek ışık kaynakları kullanılmalı, aynı zamanda bunların ömürlerinin uzun olmasına dikkat edilmelidir. Bu arada kullanılan yol örtüsünün yansıtma özelliklerinin de aydınlatmanın ekonomikliğine etkisi büyüktür.

Özetle iyi bir yol aydınlatma hem ilk tesis ve işletme masrafları açısından ekonomik olmalı, hem de sürücüler için gerekli görsel rahatlığı ve trafik güvenliğini sağlamalıdır. [3, 8]

## 6.2. Görüş Esasları

### 6.2.1. Görebilme Mesafesi:

Belirtilen aydınlatma şartlarında erişilebilen görme gücünün en makul ölçüsü, yol üstünde bulunan bir engelin tanınabildiği mesafedir. Bir deneyde Economopoulos, çeşitli aydınlatma seviyelerinde ve iki hareket hızında meskun mahal dışındaki bir aydınlatılmış yolda görülebilme mesafesini tesbit etti. Sürücü 5 km. uzunluğundaki bir yol kesimi üstünde yansıtma derecesi %11 olan 20x20 cm. büyüklüğündeki mat bir levhadan oluşan 3 engeli tanınması gerekiyordu. Yol üstünde bulunan engellerin durumunu sürücü bilmiyordu ve yol kaplaması farklı kontrastlar oluşturacak şekilde görünüyordu. Farklı aydınlatma seviyesi, sürücünün farklı geçirgenlik dereceli gözlük taşıması suretiyle elde edildi. Yol aydınlatması CIE'ye göre "light glare control" (Özel aydınlatıcı indeks SLI=4) olarak düzenlenen aydınlatıcılardaki alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan oluşuyordu. Sonuçlar Şekil 6.1'de verilmiştir.

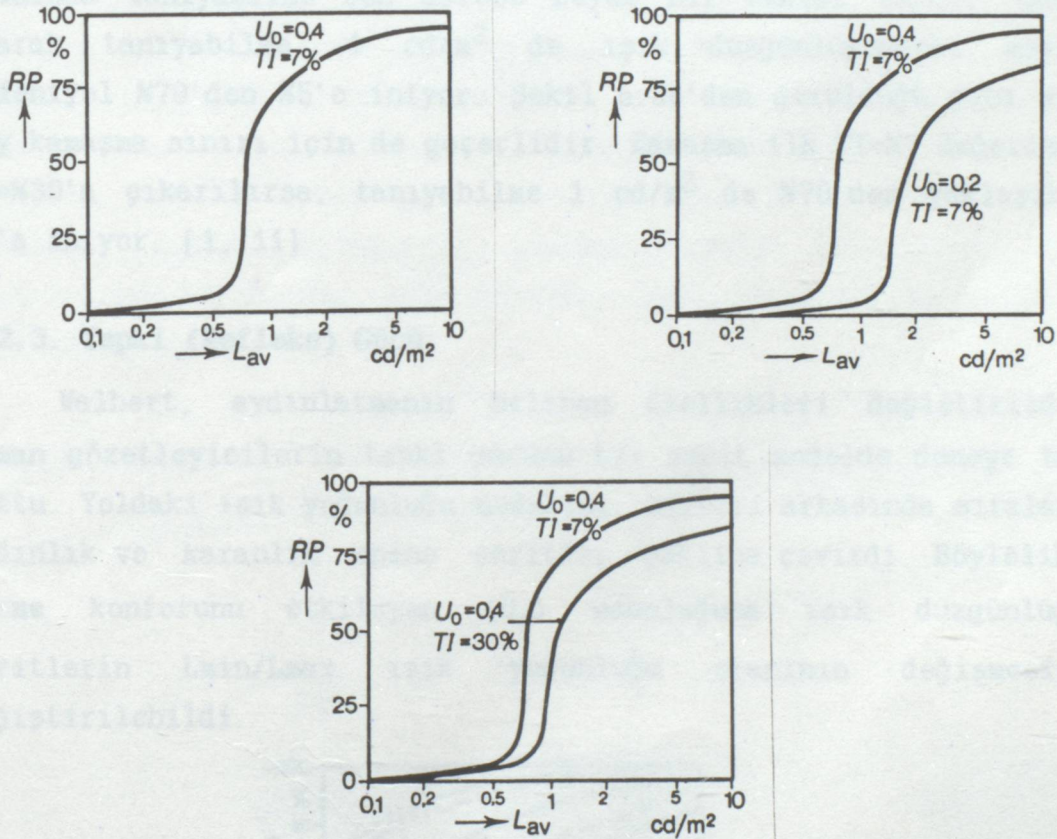


Şekil 6.1. Kenar uzunluğu 20 cm'lik engellerle (yansıtma derecesi %11) en uzakta olan kısım arasında parametro olarak C kontrastlı bir aydınlatma tesisi için  $L$ , büyüyen ortalama yol ışık yoğunluğuna bağlı olarak büyüyen (d) görünebilme mesafesi.

Burada, 40 km/h ve 80 km/h'lik iki hareket hızındaki görebilme uzaklıkları, ortalama yol ışık yoğunluğunun fonksiyonu olarak ve parametre olarak cisim kontrastı ile belirtilmiştir. [11]

### 6.2.2. Tanıyabilme Mesafesi:

Waldram, bir yolun çeşitli yerlerinde belirlenen aydınlatma şartlarında tanınabilen cisimlerin tarif edilen bir kümesinden, cisimlerin sayısının tahmin edilebildiği, bir usul açıklanmıştır. Bu sırada cisimlerin kümesi, yayaların elbise yansıma derecesinin belli bir değeri aşmadığı varsayımını belirten bir eğri ile tarif edilmiştir. Örnek olarak bu cisimlerden %80'i görülebiliyorsa, tanıyabilme 80 olur.



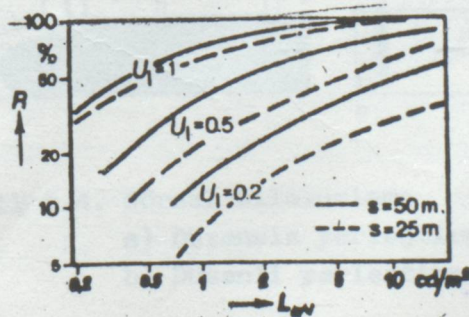
Şekil 6.2. Ortalama yol ışık yoğunluğunun fonksiyonu olarak "RP tanıyabilme"

- Ortalama ışık düzgünlüğü ( $U_0=0,4$ ) ve ortalama kamaşma sınırı ( $TI \% 7$ )
- Kötü ışık düzgünlüğü ( $0,4$  yerine  $U_0=0,2$ )
- Daha yüksek kamaşma ( $\% 7$  yerine  $TI=\% 30$ )

Tanıyabilmenin hesaplanması, cisimlerin sürekli olarak yolun en çok karanlık ve dolayısıyla en tehlikeli yerlerinde bulunduğu büyük sayıdaki aydınlatma durumları için yapılmıştır. Bu sırada Lav ışık yoğunluğu,  $U_0$  aydınlatma düzgünlüğü ve TI kamaşma sınırı (Eşik değeri seviyesi) gibi ışık tekniği büyüklüklerinin tanıyabilme'ye etkisi kontrol edildi. Tüm sonucu tanıyabilmenin %'si olarak ordinata ve ortalama ışık yoğunluğunun  $cd/m^2$  olarak apsise taşındığı şekil 6.2b ve 6.2c'de gösterilmiştir. Bir toplam ışık düzgünlüğü için ( $U_0=0.4$ ) ve kamaşma sınırınının ( $TI=\%7$ ) geçerli olduğu şekil 6.2a, özellikle ışık yoğunluğunun  $0.5 cd/m^2$  ile  $2 cd/m^2$  arasındaki alanda tanıyabilmeye yaptığı çok büyük etkiyi açıkça gösterir. Şekil 6.2b'de  $U_0$  0,4'den 0,2'ye düşürüldü. Görüldüğü gibi aydınlatma düzgünlüğünün de yeniden özellikle 0,5 ila  $2 cd/m^2$  alanında tanıyabilme son derece büyük bir etkisi vardır. Örnek olarak tanıyabilme,  $1 cd/m^2$  de ışık düzgünlüğündeki azalma nedeniyle  $\%70$ 'den  $\%5$ 'e iniyor. Şekil 6.2c'den görüldüğü gibi aynı şey kamaşma sınırı için de geçerlidir. Kamaşma ilk  $TI=\%7$  değerinden  $TI=\%30$ 'a çıkarılırsa, tanıyabilme  $1 cd/m^2$  de  $\%70$ 'den yaklaşık  $\%30$ 'a iniyor. [1, 11]

### 6.2.3. Tepki (Refleks) Gücü:

Walhert, aydınlatmanın bilinen özellikleri değiştirildiği zaman gözetleyicilerin tepki gücünü bir sabit modelde deneye tabi tuttu. Yoldaki ışık yoğunluğu modelini, birbiri arkasında sıralanan aydınlık ve karanlık enine şeritler şekline çevirdi. Böylelikle görme konforunu etkileyen ( $U_0$ ) uzunluğuna ışık düzgünlüğü, şeritlerin  $L_{min}/L_{max}$  ışık yoğunluğu oranınının değişmesiyle değiştirilebildi.

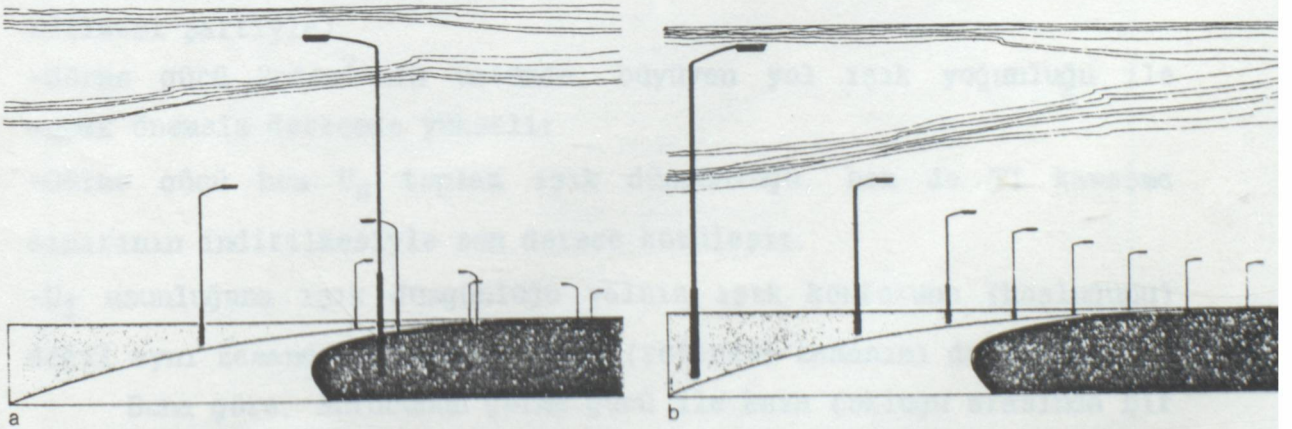


Şekil 6.3.

Şeridin genişliğini değiştirerek aydınlatıcı mesafesinin etkisi öğrenildi. Tepki gücü, şeritlerin alanındaki 8/60 Grat büyüklüğündeki iki cismin zuhuru ile gözetleyicinin tanıma anı arasındaki süre kaydedilmek suretiyle tesbit edildi. Şekil 6.3, en uzakta kalan kısımda %30 kontrastlı cisimlerin R nisbi tepki gücünü gösteriyor. Tepki gücü, büyüyen yol ışık yoğunluğu ile yükselir, gerçekte daha düşük olanda seviyesi yüksek olandan daha kuvvetlidir. Azalan uzunluğuna ışık düzgünlüğü ile tepki gücü açıkça düşer ve mesafe ne kadar küçük olursa, tepki gücü de ışık düzgünlüğünün bütün değerleri için o kadar daha az olur. Sonuncu olay, düşük aydınlatıcı mesafelerinde başlayan en kuvvetli ışık yoğunluğu değişimleri ile açıklanabilir.

#### 6.2.4. Görsel Kılavuzlama:

Sürücü yolun gidişini, yol ayrılmalarını ve kavşakları önceden kolaylıkla fark edebilmelidir. Gidiş-geliş trafik yönleri birbirinden ayrılmış yollarda (genellikle otoyollar ve şehir içi ana caddeleri) yol ortasındaki refüjden veya yol kenarlarından, ekspres yol ve diğer yol tiplerinde yol kenarlarından normal boydaki (6-16m) direklerle yapılan klasik aydınlatma görsel kılavuzlama bakımından, eğer direkler uygun yerleştirilirse oldukça iyi sonuç verir.



Şekil 6.4. Görsel Kılavuzlama  
a) Düzensiz yerleştirme  
b) Düzenli yerleştirme

Oto-korkuluklar (guard-rail), üzerine taşıt ışıkları düştüğünde parlayan kenar işaretleri ve aydınlatılmış yol levhaları yardımı ile görsel kılavuzlama sağlanabilir.

Özetlemek gerekirse iyi bir görsel kılavuzlama için bir yol aydınlatmasının projelendirilmesinde görsel kılavuzlama çok önemlidir.

- a)Etrafı açık geliş ve gidişi ayrı olan yollarda lambalar orta şeride (refüje) yerleştirilmelidir.
- b)Virajlarda direkler, virajın dış tarafına yerleştirilmelidir.
- c)Kavşaklara gelen farklı karakterdeki yollarda farklı renklerde ışık kaynakları kullanılırsa, görsel kılavuzlama aynı zamanda trafiği kolaylaştırıcı etki yapar.
- d)Şehirlerarası ana yollar, örneğin sodyum buharlı lambalarla ve çıkış yolları da civa buharlı lambalarla aydınlatılırlarsa iyi bir görsel kılavuzlama elde edilmiş olur.
- e)Refüjde boyuna askı düzeniyle (Katener sistem) iyi bir kılavuzlama elde edilir. [2, 3, 10]

#### 6.2.5. Sonuç

Yukarda belirtilenlerin ışığında şu sonuçlar ortaya çıkar:

-Yol trafiğindeki alışılmış görme şartlarında görme gücü,  $2cd/m^2$ 'ye kadar büyüyen yol ışık yoğunluğu ile dik olarak yükselir. ( $U_0=0.4$  ortalama ışık düzgünlüğü değeri ve  $TI=10$  kamaşma sınırının kabul edilmesi şartıyla).

-Görme gücü  $2cd/m^2$ 'nin üstünde, büyüyen yol ışık yoğunluğu ile ancak önemsiz derecede yükselir.

-Görme gücü hem  $U_0$  toplam ışık düzgünlüğü, hem de  $TI$  kamaşma sınırının indirilmesiyle son derece kötüleşir.

- $U_1$  uzunluğuna ışık düzgünlüğü yalnız ışık konforunu (hoşluğunu) değil aynı zamanda sürücünün tekpi (refleks) zamanını da etkiler.

Buna göre, sürücünün görme gücü ile kaza çokluğu arasında bir ilişki olduğu kabul edildiğinde trafik emniyetini yükseltmek için onun tüm amacını yol aydınlatması yerine getirecekse, aydınlatma kalitesinin yeter bir derecede olması çok büyük önem arzeder.

Sürücünün kendini ayarlayıp hemen tepki gösterecek şekilde engelleri çok önceden tanıyabilmesi için, genel görme şartları, trafiğin şekli, hızı ve yoğunluğu, yolun yapısı ve durumuna bağlı olarak yol ışık yoğunlukları 0,5 ile 2 cd/m<sup>2</sup> arasında öngörölmelidirler.

Unsurların bu ilişkileri, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu yönetmeliklerinin eklerinde bulunurlar. Çıkış noktası olarak, görme emniyeti ve trafik emniyeti bakımından yol aydınlatmasında yeterli olması gereken zorunlulukların, beklenen trafiğin yoğunluğuna, hızına ve oluşumuna ve yolun tipine bağlı olduğu düşüncesidir. Bu faktörleri tümü ile birlikte yol kategorileri belirlerler. Tablo 6.1'de CIE Yönetmeliklerinde belirtilen şekliyle 5 yol sınıfı verilmiştir.

Tablo 6.1. Yol sınıflandırılması.

Yol Kategorisi	Trafiğin tipi ve yoğunluğu(**)	Yolun Tipi	Örnekler
A	Yoğun ve yüksek hızda motorlu araç trafiği	Taşıma yolları ayrı, geçişleri olmayan yollar.	Otobanlar
B		Motorlu trafik için önemli trafik yolları, yavaş trafik ve/veya yayalar için ayrı taşıma yolları	Ekspres yollar Ana yollar
C	Yoğun ve orta hızda motorlu araç trafiği(**) veya orta hızda karışık trafik	Tüm amaçlar için önemli, kırsal veya şehir içi yollar	Ring yollar Radyal yollar
D	Büyük bir kısmını yavaş trafiğin yayaların oluşturduğu yoğun karışık trafik	Şehir içi veya alışveriş merkezlerinde resmi bina ve alanlar civarında motorlu trafiğin yavaşladığı veya yayalarla içiçe olduğu yollar.	Ana yollar Ticari yollar Alışveriş yolları
E	Sınırlı hızda karışık trafik ve orta derecede trafik yoğunluğu	İş merkezlerinden uzakta bulunan yerleşimleri merkezlere bağlayan yollar ve A-D arası tip yollar	Toplayıcı yollar Şehir içi caddeler vs.

(\*) Söz konusu olan tip ve yoğunluktaki trafik için yol yerleşim planı standartların altındaysa aydınlatma kalitesi belirtilenden daha yüksek olabilir. Buna karşılık olarak beklenen trafik yoğunluğu için yol yerleşim planı standartların üstündeyse ekonomik nedenlerden dolayı aydınlatmanın kalitesinde ufak bir azalma yapılabilir.

(\*\*) Hız sınırı yaklaşık 70 km/saat.

Buradan görüleceği gibi, yol ışık yoğunluğu bakımından çevre aydınlığının, Lav, G ve TI'nin yönetmeliklerindeki değerlerine de bir etkisi vardır.

Yol aydınlatmasının ışık yoğunluğu anlayışına güvenilmediği hallerde, 1 cd/m<sup>2</sup>'lik yol ışık yoğunluğuna erişmek için yol kaplamasının yansım özelliklerine ve aydınlatma tesisinin özelliklerine göre yaklaşık 10 ilâ 20 lüx arasında bir aydınlatma şiddetinin gerekli olduğu eklenmelidir.

Yol çevresinde yeter derecede aydınlanmasını garanti etmek için CIE-Yönetmeliklerinde, hareket şeridinin her iki tarafındaki 5 m genişliğindeki bir şeridin, hareket şeridi üzerinde 5 m. ile sınırlanan şeritte mevcut olan aydınlatma şiddetini en az %50'si ile aydınlatılmış olması istenilir. [11]

Tablo 6.2. Fotometrik değerler ve yol sınıfları.

Yol kate.si	Çevre	Aydınlanma sev. (**) Yol yüzeyindeki ortalama aydınlanma I cd/m <sup>2</sup>	Lineerlik Oranları		Parlaklık kısıtlaması	
			Bütün Lineerlik U <sub>0</sub>	Uzunl.sına Lineerlik U <sub>1</sub>	Parlaklık Kontrol İşareti G	Eşik Artışı T1%
A	herhangi	2	0.4	0.7	6	10 (**)
B	1 aydınlık	2	0.4	0.7	5	10
	2 karanlık	1			6	10 (**)
C	1 aydınlık	2	0.4	0.5	5	20 (**)
	2 karanlık	1			6	10
D	aydınlık	2	0.4	0.5	4	20
E	1 aydınlık	1	0.4	0.5	4	20
	2 karanlık	0.5			5	20 (**)

(\*) Tavsiye edilen aydınlanma seviyesi yol yüzeyinde muhafaza edilebilen ortalamadır. Bu seviyenin muhafaza edilmesi için aydınlatıcının tipine göre en fazla 0.8 aşınma faktörü ve çevrenin hava kirlenmesi göz önüne alınmalıdır. Daha fazla detay için Teknik Raporu inceleyiniz.

(\*\*) TI kavramıyla ilgili sınırlı deneyler gözönüne alınarak belirtilen değerlerin 2/3'ünün geçilmemesi tavsiye edilir.

### 6.3. Kalite Parametreleri

Gece görme koşullarında sürücülerin yol üzerindeki diğer taşıtlar ve var olabilecek engeller hakkında güvenilir ve zahmetsiz bir algılama yapabilmelerinin yalnızca iyi bir yol aydınlatması sayesinde olabileceği daha önce belirtilmişti.

İyi bir yol aydınlatması aşağıdaki 5 ana husus'un gerçekleştirilmesiyle sağlanır;

- 1.Yeterli bir parlıltı düzeyi,
- 2.Parıltı düzgünlüğü,
- 3.Sınırlanmış kamaşma,
- 4.Görsel kılavuzlama,
- 5.Işık rengi.

Bunlardan ilk üçü, yol aydınlatmasındaki Fotometrik büyüklüklerin fonksiyonudur. Bu büyüklüklerin gerekli ve yeter olan değerleri yol üzerinde, normal trafik koşullarında yapılan uzun araştırmalar ve deneyler sonucu saptanmıştır.

Görsel duyum insan gözündeki retina tarafından algılanan, gözün görüş alanındaki parıltı dağılımına bağlıdır. Aydınlatma için kalite parametreleri bu nedenle parıltının fonksiyonu olarak belirlenir. Parıltı ise hemen hemen tüm yol aydınlatma tesislerinde, çok çeşitli olabilen yol yüzeylerinin yansıtma özelliklerine bağlıdır.

#### 6.3.1.Kontrast (Aydınlık-Karanlık farkı) Duyarlılığı

Etrafımızdaki cisimleri ancak göz yardımı ile ve gözün görme yeteneği sayesinde görmekteyiz. Gözün görme yeteneği deyince, aydınlık-karanlık farkı duyarlılığı (kontrast duyarlılığı), şekil duyarlılığı ve görme hızı anlaşılır.

Bir cisim ancak, kendisinin parıltısı ile fonu'nun parıltısı arasında, belirli bir parıltı farkı (kontrast) varsa algılanabilir. Bir cismin algılanabilir olması için gerekli kontrast ihtiyacı, cismin görüldüğü açıya ve gözlemcinin görüş alanındaki parıltı dağılımına bağlıdır. Cismin gözlendiği daha büyük bir açı ve daha büyük bir fon parıltısı için gözün kontrast duyarlılığı artar.

Bir cisimle fonu arasındaki mutlak parıltı farkı veya kontrast;

$$\Delta L = |L_f - L_c| \quad (6.1)$$

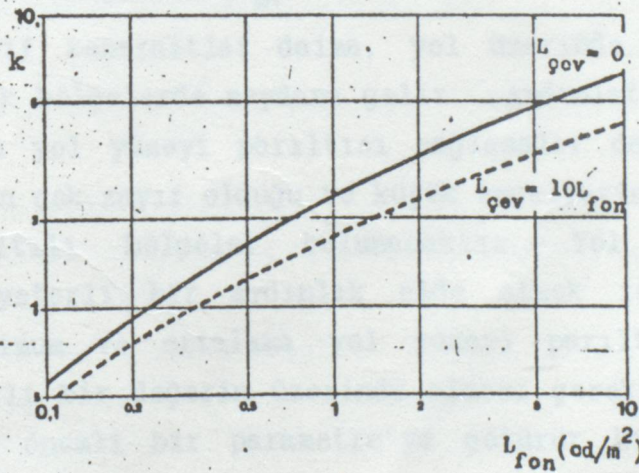
olarak tanımlanır. Burada,  $L_f$  fon parliltısını,  $L_c$  ise cisim parliltısını göstermektedir. Bağıl parliltı kontrastı ise;

$$\frac{|\Delta L|}{L_f} = \frac{|L_f - L_c|}{L_f} \quad \text{olur.} \quad (6.2)$$

Bağıl parliltı kontrastı gerçekte ortamın aydınlık düzeyine bağıl değildir. Çünkü parliltılar, mevcut aydınlık düzeyi ile doğru orantılı olarak değıştiğinden, bağıl parliltı kontrastının değeri belirli bir cisim ve fon'u için sabit kalır. Bununla beraber aydınlık düzeyinin artması ile gözün bağıl parliltı farklarına karşı duyarlılığı artar; dolayısıyla bağıl parliltı kontrast duyumunu eşiğı olan  $|\Delta L_e|/L_f$  değeri küçülür. (Burada  $\Delta L_e$  mutlak kontrast doyumunu eşiğini gösterir). Buna karşılık bağıl parliltı kontrast doyumunu eşiğinin tersi olan kontrast duyarlılığının değeri büyür.

Kontrast duyarlığı;

$$k = \frac{L_f}{|\Delta L|} \quad (6.3)$$



bağıntısı ile tanımlanır. Şekil 6.5'de gözün kontrast duyarlılığı ile fon parlantısı arasındaki bağıntı görülmektedir. Buna göre, daha yüksek fon parlantılarında daha yüksek kontrast duyarlılığı elde edileceği anlaşılmaktadır.

### 6.3.2. Ortalama Yol Yüzeyi Parlantısı ( $L_0$ )

Yol aydınlatmasında cisimlerin (yol üzerindeki taşıtlar ve var olabilecek engeller) fonu, sürücünün görüş alanını oluşturan yol yüzeyidir. Bu nedenle daha yüksek bir ortalama yol yüzeyi parlantısı, daha yüksek bir fon parlantısı sağlar ve Şekil 6.5'den görüldüğü gibi daha yüksek bir kontrast duyarlılığı elde edilir.

Gece aydınlatılmış bir yolda, normal trafik koşullarında (taşıtların yakın farları yanık olarak) yol üzerindeki cisimler, sürücü tarafından cismin fonuna göre daha karanlık (siluet olarak) görülürler. Bu nedenle, ortalama yol yüzeyi parlantısının tek başına artması, dolayısıyla yoldaki cisimlerin fon parlantılarının artması, sadece sürücünün göz duyarlılığını arttırmakla kalmaz, bunun yanında yol üzerindeki cisimlerin kontrastlarını da artırır. Bu nedenle algılama için ilk önemli parametre "Ortalama Yol Yüzeyi Parlantısı,  $L_0$ "dır.

### 6.3.3. Bileşke Düzgünlük ( $U_0$ )

En zayıf kontrastlar daima, yol üzerinde, parlantısı düşük olan karanlık bölgelerde meydana gelir. Aydınlatma tesisleri, iyi bir ortalama yol yüzeyi parlantısı sağlasalar dahi yol üzerinde, kontrastların çok zayıf olduğu ve küçük engellerin algılanamayacağı düşük parlantılı bölgeler bulunacaktır. Yol üzerindeki tüm noktalarda yeterli bir aydınlık elde etmek için, görüş alanı içindeki minimum ve ortalama yol yüzeyi parlantıları arasındaki farkın belirli bir değerin üzerinde olması gerekir. Bu zorunluluk bizi ikinci önemli bir parametre'ye götürür ki bu da "Bileşke Düzgünlük"

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_0}$$

dir.

#### 6.3.4. Kamaşma

Algılamamanın güvenilirliğini etkileyen önemli bir faktör de "Kamaşma" dır. Kamaşma, sağlam bir gözün dış etkenlerle geçici olarak etrafındaki cisimleri göremez hale gelmesine denir. Eğer gözün görme alanındaki parıltı çok büyük değerler alırsa göz kamaşır; buna Direkt Kamaşma denir. Eğer kamaştırıcı kaynak gözün görme alanının dışında ise bu tip kamaşmaya da Endirekt kamaşma denir. [10]

Yol aydınlatmasında iki türlü kamaşma sözkonusudur.

##### 1)Psikolojik kamaşma

1)Psikolojik kamaşma: Psikolojik kamaşma, görme yeteneğinde herhangi bir azalma olmaksızın sürücüde hoş olmayan bir duygu uyandırır ve seyahat konforunu önler. Psikolojik kamaşma, kamaşma sınırlama sayılarıyla tanımlanır. Deneysel incelemeler göstermiştir ki, yapay ışıkla aydınlatılmış bir yolun psikolojik kamaşmasında aşağıdaki büyüklükler tesir eder.

1. Işık kaynaklarının parıltıları
2. Yol kaplamasının ve yolun yakın çevresinin parıltısı, bu arada yolun 60 km ile 160 km'lik bölümünün ortalama parıltısı
3. Işık kaynakları ile sürücünün gözlem doğrultusu arasındaki açılar
4. Gözlemciye göre aydınlatma aygıtının ışık yayan yüzeyinin görüldüğü uzay açısı
5. Görüş alanındaki ışık kaynaklarının sayısı
6. Işık rengi
7. Işık kaynaklarının görünen yüzeylerindeki parıltının düzgünlüğü

G kamaşma sınırlama sayısıdır.

G = 1 ise tahammül edilemeyecek derecede fazla kamaşma

G = 3 ise rahatsız edice kamaşma

G = 5 ise izin verilebilen kamaşma

G = 7 ise tatmin edici derecede az kamaşma

G = 9 ise farkedilmeyecek kadar az kamaşma söz konusudur.

2) Fizyolojik kamaşma: Fizyolojik kamaşma, gözün görme yeteneğini azaltır, bununla ilgili çalışmalar Holladay tarafından yapılmıştır.

Holladay'a göre kamaşma, eşdeğer örtü parıltısından ileri gelir. Perdeleme parıltısı

$$L_{\bar{o}} = K \sum_{i=1}^n \frac{E_{Gi}}{\theta_i^2} \quad (6.5)$$

ampirik formülü ile verilir. Burada

$E_{Gi}$  : i. kamaşma kaynağının sürücünün gözünde bakış doğrultusunda dik düzlemde meydana getirdiği aydınlık düzeyini, (lx) olarak;

$\theta_i$  : Bakış doğrultusu ile i. kamaşma kaynağının göze gelen ışık doğrultusu arasındaki açıyı;

K : Sürücünün yaşına bağlı bir katsayıyı (ortalama K=10 alınır.);

n : Sürücünün görüş alanındaki kamaşma kaynağı sayısını gösterir.

Kamaşma olmadığı zaman ancak görülebilen eşik kontrastında bir cisim, kamaşma olduğu zaman mevcut kontrastlar yükselmedikçe görülemez. Ek noktası gereksinmesinin değeri; Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından belirlenen ve  $8^\circ$  lik açı altında görülen bir cisim için gerekli Bağlı Eşik Kontrastı Artışı, "Eşik Artışı" olarak bilinir. (EA) Böylece kamaşmanın algılama üzerindeki etkisi eşik artışı ile belirlenmiş olmaktadır.

Eşik artışı EA, perdeleme parıltısının belirlenmesi için şekiller (Landolt diskleri) kullanarak ve ortalama yol yüzeyi parıltısı ile birlikte kontrast duyarlılığı eğrisi yardımı ile belirlenebilir. Bu yolla ispat edilebilir ki;  $0,05-5 \text{ cd/m}^2$  arasındaki yol yüzeyi parıltıları için;

$$\%EA = \frac{6,5 \cdot L_{\text{perde}}}{(L_0)^{0,8}} \quad (6.6)$$

ampirik formülü yardımı ile hesaplanabilir.

### 6.3.5. Boyuna, Enine Düzgünlük Faktörü ( $U_L$ )

Görsel rahatlık açısından, sürücünün önünde uzanan yol parçasındaki ardarda aydınlık ve karanlık bölgeler oldukça rahatsız edici olabilir. Yol üzerinde ardarda aydınlık ve karanlık bölgele-

rin bulunması "Zebra Etkisi" olarak anılır ve yoldaki aydınlık-karanlık noktalar arasındaki parıltı farkının sınırlanmasıyla; başka bir deyişle yol yüzeyindeki minimum ve maksimum parıltılar arasındaki farkın belirli bir değerin altında kalmasıyla azaltılabilir ve yok edilebilir. Bunun içinde "Düzensizlik Faktörü" denen yeni bir parametre tanımlanır. Bu parametre "enine düzensizlik faktörü" ve "boyuna düzensizlik faktörü" olarak ayrı ayrı tanımlanabilir, fakat esas önemli olan yolun boyuna doğrultudaki parıltı düzensizlik faktörü "Boyuna Düzensizlik" dır:

$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (6.7)$$

Yukarıdaki bağıntıda  $L_{\min}$  ve  $L_{\max}$ , sürücünün görüş alanı içinde, yolun 1/4 ünde bulunduğu kabul edilen bir gözlem noktasından yolun boyuna eksenine paralel olarak geçen doğrultu üzerindeki minimum ve maksimum parıltılardır. [10]

### 6.3.6 Işık Rengi

Kavşaklarda ve özellikle ana yol ile birçok tali yolun birleştiği kesimlerde uzaktan bakıldığı zaman meydana gelebilecek bir karışıklığı önlemek amacı ile ana yol ve tali yollar için ayrı ayrı ışık renkleri seçilebilir.

Günümüzde yol aydınlatmasında en çok kullanılan ışık kaynakları yüksek ve alçak basınçlı sodyum buharlı, yüksek basınçlı civa buharlı ve metal halojenüz katkılı yüksek basınçlı civa buharlı ampuller ile kısmen fluoresan ampullerdir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı ampuller beyazımsı-sarı ışık rengine sahiptirler. Bu ışıkta renkler iyi seçilebilir ve kontrastlar artar. Alçak basınçlı sodyum buharlı ampullerin ışık rengi tek renkli (monokromatik) sarıdır. Kontrastlar çok iyi olmakla birlikte bu ışıkta renkler pek iyi seçilemezler.

Yüksek basınçlı civa buharlı ampullerin verdiği ışık mavimsi-beyaz renktedir. Bu ışıkta kontrastlar çok iyi olmamakla birlikte renkler oldukça iyi seçilebilir. Metal halojenür katkılı

belirleme için çeşitli yol aydınlatma tesislerinde yapılan araştırmalar sonucu, gözlemcilerin yoldaki fotometrik parametrelerle yüksek basınçlı civa buharlı ampullerin ışık rengi içine konan özel katkı maddeleri sayesinde oldukça iyileştirilmiş olup gün ışığına daha yakın bir ışık rengi verebilirler. [2, 6, 10]

### 6.3.7. Kalite Parametrelerinin Yol Aydınlatmasına Etkisi

Fotometrik parametrelerin algılayabilirliğe etkisini gösterebilmek için, çok sayıda cisim üzerinde, çeşitli yollarda ve çeşitli koşullar altında, genellikle yol üzerindeki en tehlikeli bölge olan karanlık kısımlarda, parlıtı düzeyi, düzgünlük ve kamaşma ile ilgili birçok deney ve hesaplamalar yapılmıştır.

Cisimlerin, yol üzerinde, belirli koşullarda görülebilme olasılığı, aydınlatma tesisatının "Belirleme Gücü, BeC" olarak tanımlanır. Bu tanımla ilgili olarak yapılan bazı deney ve hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Tablo 6.3'de gösterilmiştir. Bu deneylerde, fotometrik parametrelerin algılayabilirliğe olan etkisini göstermek için gerekli koşullar, ortalama yol yüzeyi parlıtısını ( $L_0$ ) bileşke düzgünlüğün ( $U_0$ ) ve eşik artışının (EA) çeşitli şekillere değiştirilmesi ile sağlanmıştır.

Tablo 6.3. Fotometrik parametrelerin belirleme gücüne etkisi.

Durum	1.durum'a göre değişiklik yapılan parametre	$L_0$ cd/m <sup>2</sup>	$U_0$ —	EA %	BeG %
1	—	2	0,4	7	85
2	Ortalama Parlıtı $L_0$	1	0,4	7	70
3	Bileşke Düzgünlük $U_0$	2	0,2	7	55
4	Kamaşma EA	2	0,4	30	70

Algılamamanın güvenilirliği fizyolojik bir kavram olduğu halde, görsel rahatlık psikolojik bir kavramdır. Yol aydınlatma tesislerinin görsel rahatlık derecesi, çok sayıda gözlemciye, çeşitli aydınlatma koşulları altında yorumları sorulmak sureti ile

belirlenmiştir. Çeşitli yol aydınlatma tesislerinde yapılan araştırmalar sonucu, gözlemcilerin yoldaki fotometrik parametrelerin değişimlerine göre, aydınlatmanın kalitesi hakkındaki yorumları Tablo 6.4'de "9 nokta değerlendirme" şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 6.4. Gözlemcilerin aydınlatmanın kalitesi hakkındaki yorumları.

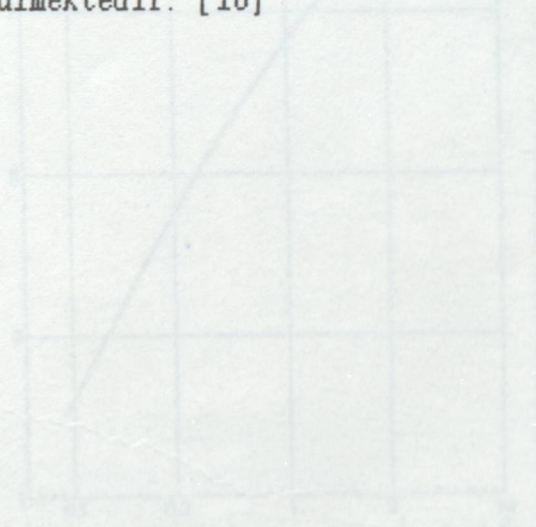
Değerlendirme	Parıltı Düzeyi , Düzensizlik	Kamaşma
1	Kötü	Tahammül edilemeyen
3	Yetersiz	Rahatsız edici
5	Fena değil	İzin verilebilir
7	İyi	Tatmin edici
9	Çok iyi	Fark edilemeyen

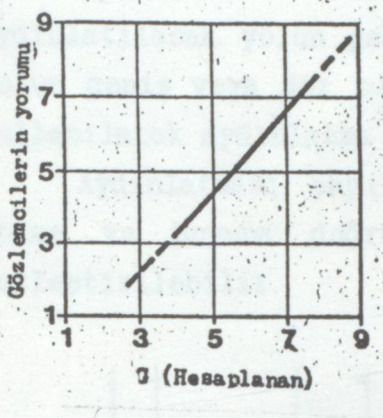
Şekil 6.6'da, çeşitli yol aydınlatma koşullarında, değişik ortalama yol yüzeyi parıltıları olması hallerinde, gözlemcilerin yorumları sorularak alınan cevaplar ortalama yol yüzeyi parıltısı-

nın fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Buna göre, yaklaşık olarak  $1.5 \text{ cd/m}^2$  lik ortalama yol yüzeyi parlıtısı için, 9 nokta değerlendirmesinde 7 (iyi) değeri bulunmaktadır.

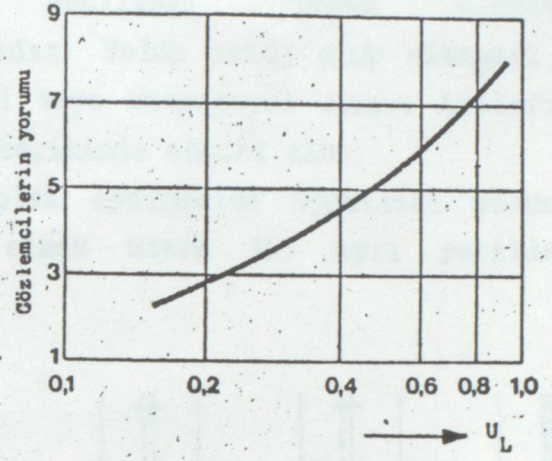
Daha önce tanımlanan boyuna düzgünlük faktörü  $U_L$ , yol üzerine boyuna doğrultudaki parlıtı farklarından doğan ve görsel rahatsızlığa neden olan "Zebra etkisi" nin derecesi hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Şekil 6.7'de çeşitli yol aydınlatma koşullarına çok sayıda gözlemcinin 9 nokta değerlendirmesine göre yorumları,  $U_L$  nin fonksiyonu olarak verilmiştir. Buna göre, 7 değerini elde edebilmek için yani yol yüzeyindeki parlıtının boyuna doğrultudaki düzgünlüğünün iyi olarak yorumlanabilmesi için  $U_L$  nin en az 0.7 olması gerekmektedir.

Şekil 6.8'de ise rahatsız edici kamaşma derecesinin, hesaplar sonucu bulunan değerleri ile gözlemcilerin yorumları sonucu elde edilen değerleri arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Bu şekilde, parlıtı kontrol sabiti C nin hesaplanan değerlerinin, gözlemcilerin yorumları ile birbirini tam olarak tutmadığı ancak çok yakın oldukları görülmektedir. [10]

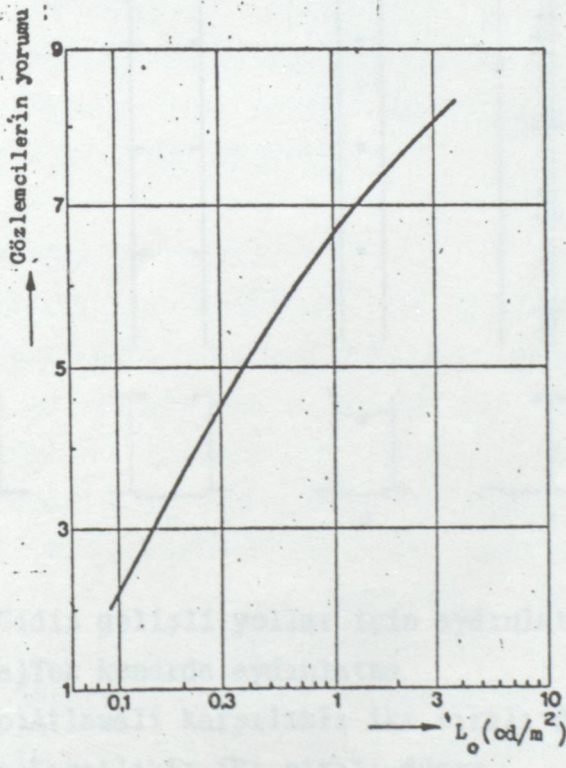




Şekil 6.8.



Şekil 6.7



Şekil 6.6

Şekil 6.6. Ortalama parıltıya göre 9 nokta değerlendirmesi.

Şekil 6.7. Boyuna düzgünlüğe göre 9 nokta değerlendirmesi.

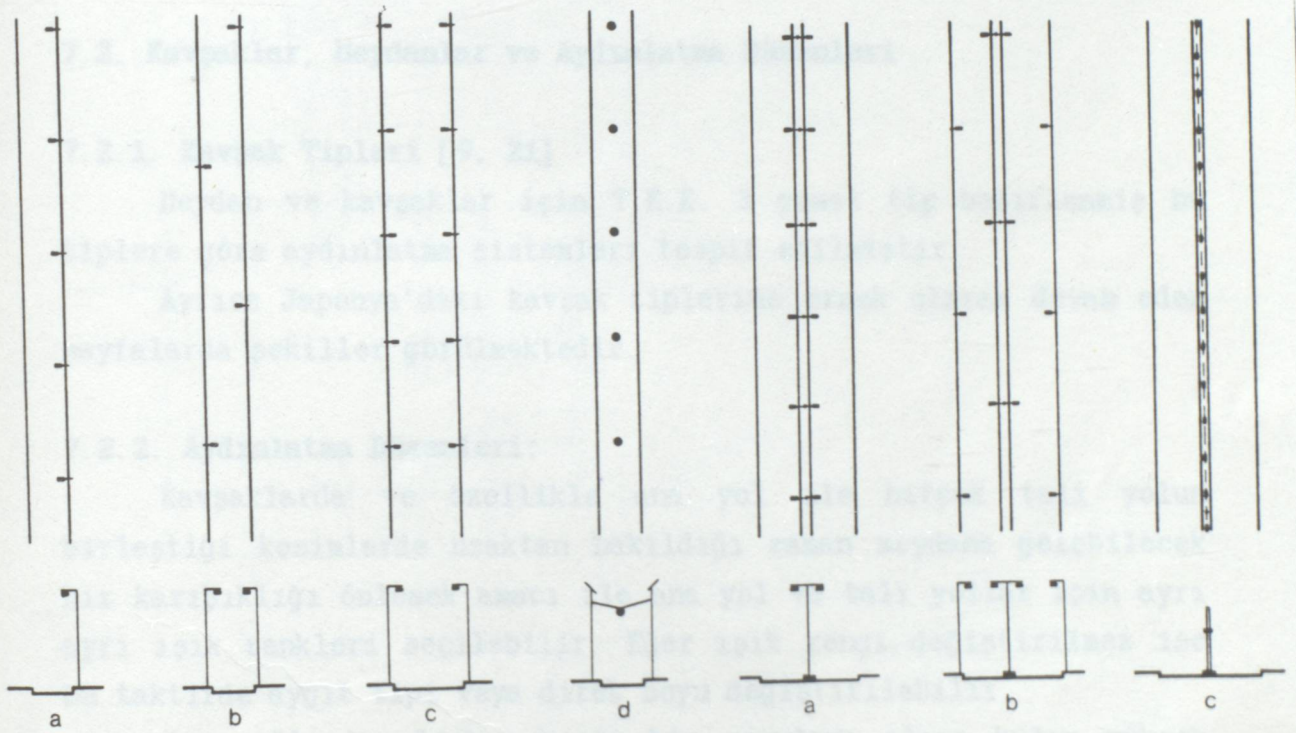
Şekil 6.8. Kamaşmanın değerlendirilmesi.

## 7. AYDINLATMA DÜZENLERİ

### 7.1. Yol Tipleri ve Aydınlatma Düzeni

Aydınlatma düzenlerinin seçilmesi, büyük ölçüde aydınlatılacak yolun şekline bağlıdır. Yolda refüj olup olmaması, yolun geniş veya dar oluşu, otoyol veya ekspresyol olması halleri kullanılacak aydınlatma düzeninin seçiminde etkili olur.

Aydınlatması yapılan bir yolda aydınlatma aygıtları yolun enine ve boyuna doğrultularda olmak üzere iki ayrı şekilde yerleştirilebilir.



Şekil 7.1. Gidiş gelişli yollar için aydınlatma düzenleri.

a) Tek kenarda aydınlatma

b) Atlamalı karşılıklı iki sıralı düzen

c) Karşılıklı iki sıralı düzen

Otoyollar ve bölünmüş yollar için aydınlatma düzenleri

d) Refüjde konsollu yerleştirme düzeni

e) Refüjde konsollu yerleştirme ve karşılıklı iki sıralı düzen

f) Boyuna askı düzeni

Yolun enine doğrultuda yerleştirmede, aygıtın boyuna ekseni yolun boyuna eksenine dik olur ve aygıtların ışık dağılımları, maksimum ışık şiddetleri yol boyunca dağılacak şekildedir. Bu yerleştirme şekli için yukarıdaki aydınlatma düzenlerinden biri seçilebilir:

Aydınlatılacak yola uygun aydınlatma düzeninin seçilmesinde etkili olan diğer faktörler de:

- a. Ekonomik
- b. Bakım kolaylığı
- c. Görsel kılavuzlamanın sağlanmasıdır. [1, 10]

## **7.2. Kavşaklar, Meydanlar ve Aydınlatma Düzenleri**

### **7.2.1. Kavşak Tipleri [9, 21]**

Meydan ve kavşaklar için T.E.K. 3 genel tip belirlenmiş bu tiplere göre aydınlatma sistemleri tespit edilmiştir.

Ayrıca Japonya'daki kavşak tiplerine örnek olarak devam eden sayfalarda şekiller görülmektedir.

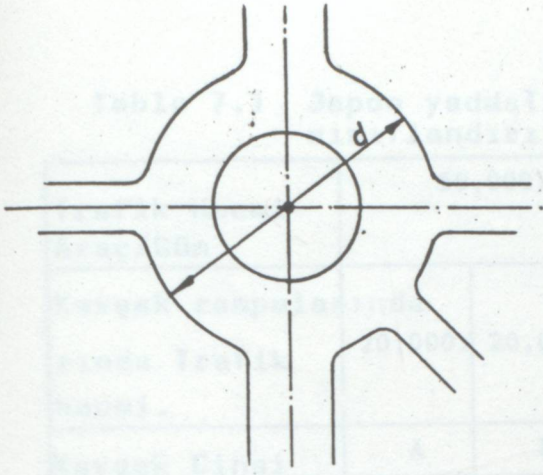
### **7.2.2. Aydınlatma Düzenleri:**

Kavşaklarda ve özellikle ana yol ile birçok tali yolun birleştiği kesimlerde uzaktan bakıldığı zaman meydana gelebilecek bir karışıklığı önlemek amacı ile ana yol ve tali yollar için ayrı ayrı ışık renkleri seçilebilir. Eğer ışık rengi değiştirilmez ise bu taktirde aygıt tipi veya direk boyu değiştirilebilir.

Son yıllarda oldukça geniş bir uygulama alanı bulan yüksek direklerle (18-30m) yapılan aydınlatma ekonomik bakımdan büyük yararlar sağlamakla birlikte yollarda görsel kılavuzlama bakımından yetersiz kalmaktadır. Ancak kavşaklarda, uzaktan bakıldığında sürücüler için karışıklığa neden olabilecek, çok sayıda normal boydaki direk ile yapılan aydınlatma yerine az sayıda yüksek direk ile yapılan aydınlatma daha iyi sonuç vermektedir. Aşağıda şekil 7.4'de bazı kavşaklar ve direklerin yerleştiriliş biçimleri görülmektedir.

Kompleks kavşaklarda ve Otoyol girişlerindeki para girişleri

## KAVŞAK TIPLERİ



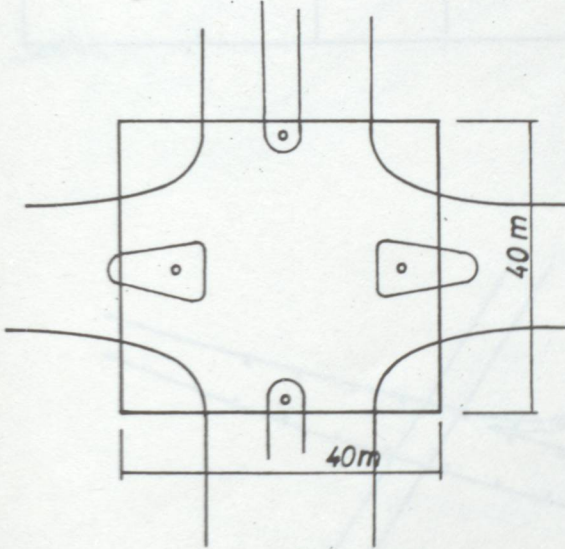
$h_1 : 20m$

$h_2 : 25m$

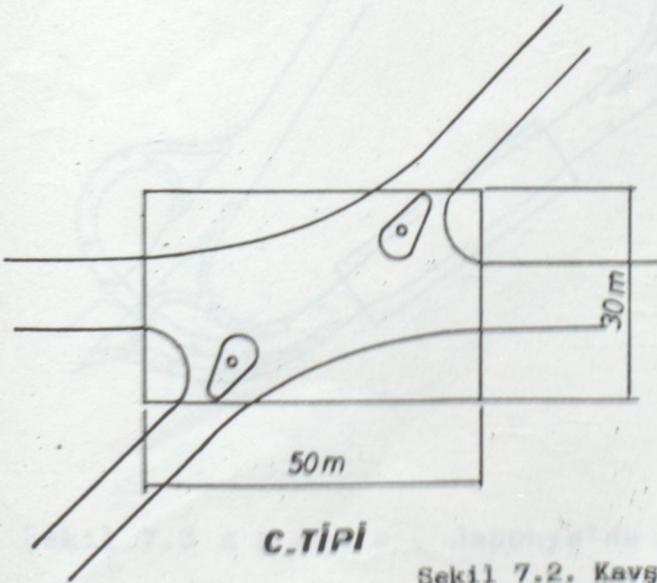
$d_1 : 40m$

$d_2 : 30m$

**A. TIPI**



**B. TIPI**

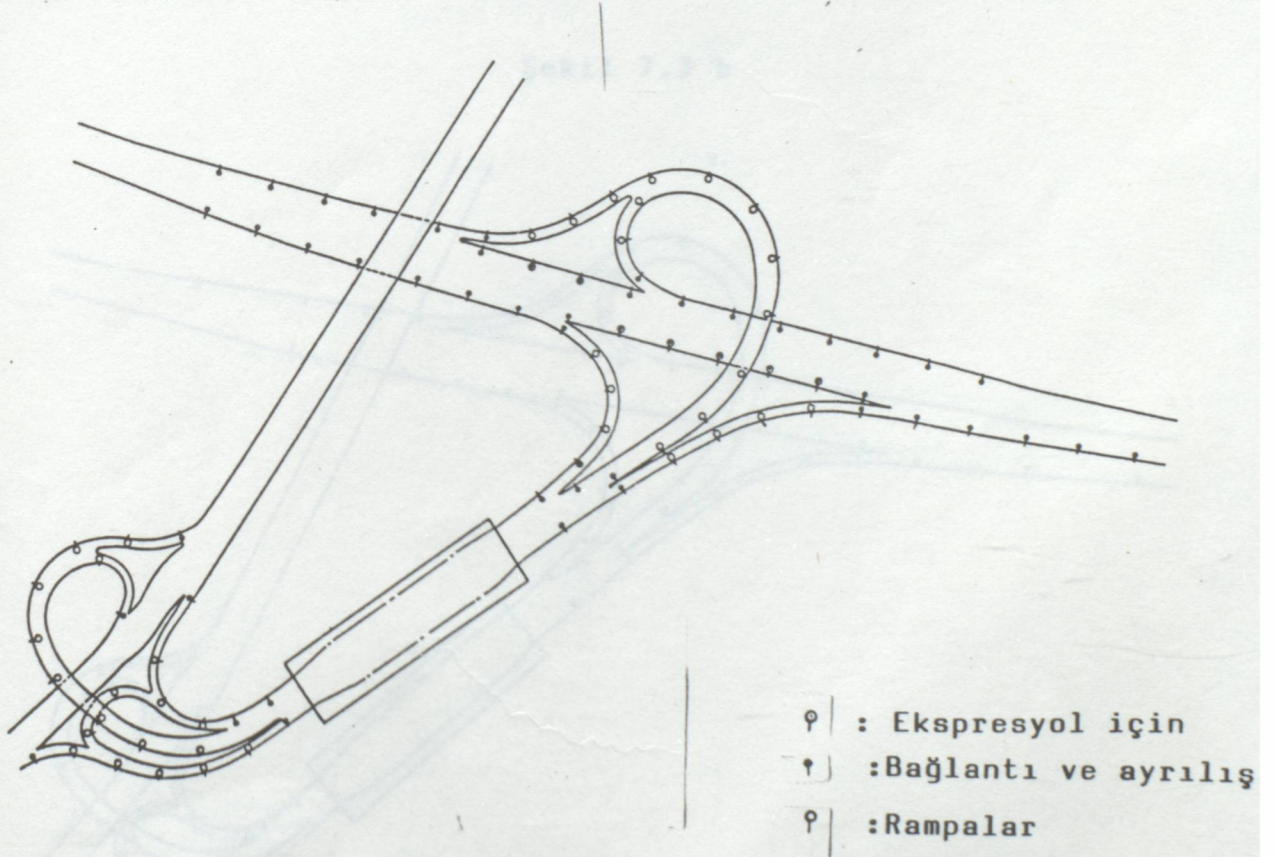


**C. TIPI**

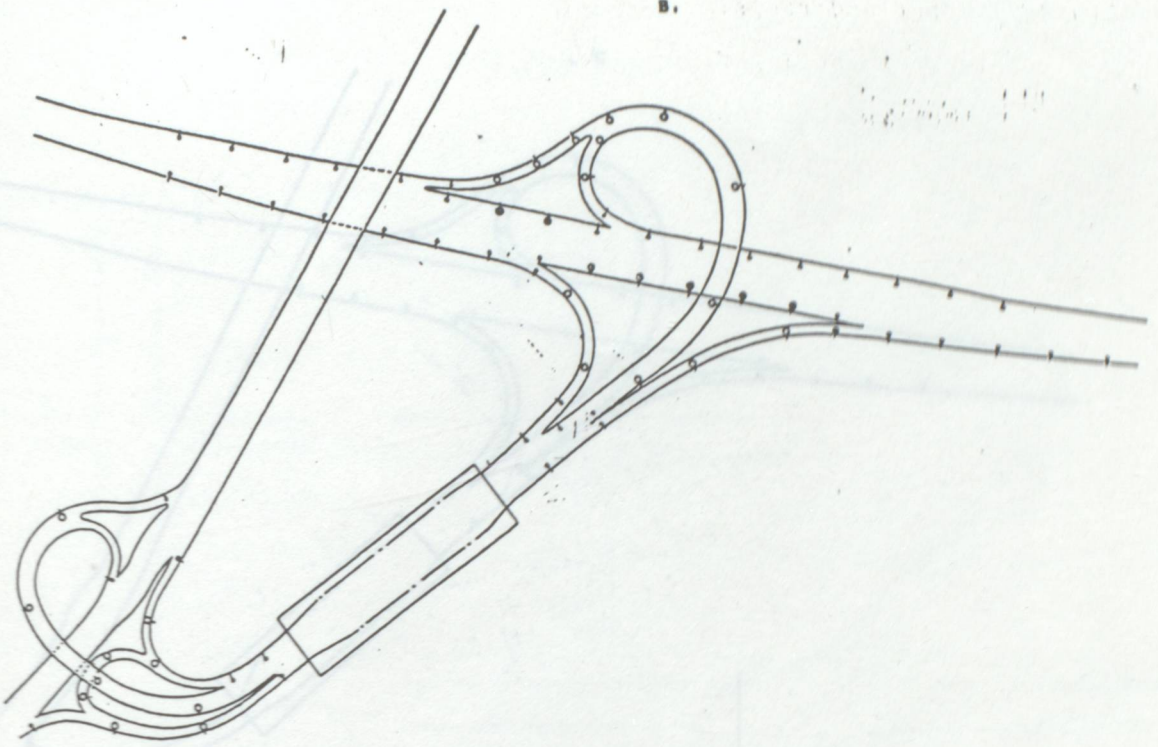
Şekil 7.2. Kavşak tipleri.

Tablo 7.1 Japon yada Trafik hacmine göre kavşakların sınıflandırılması.

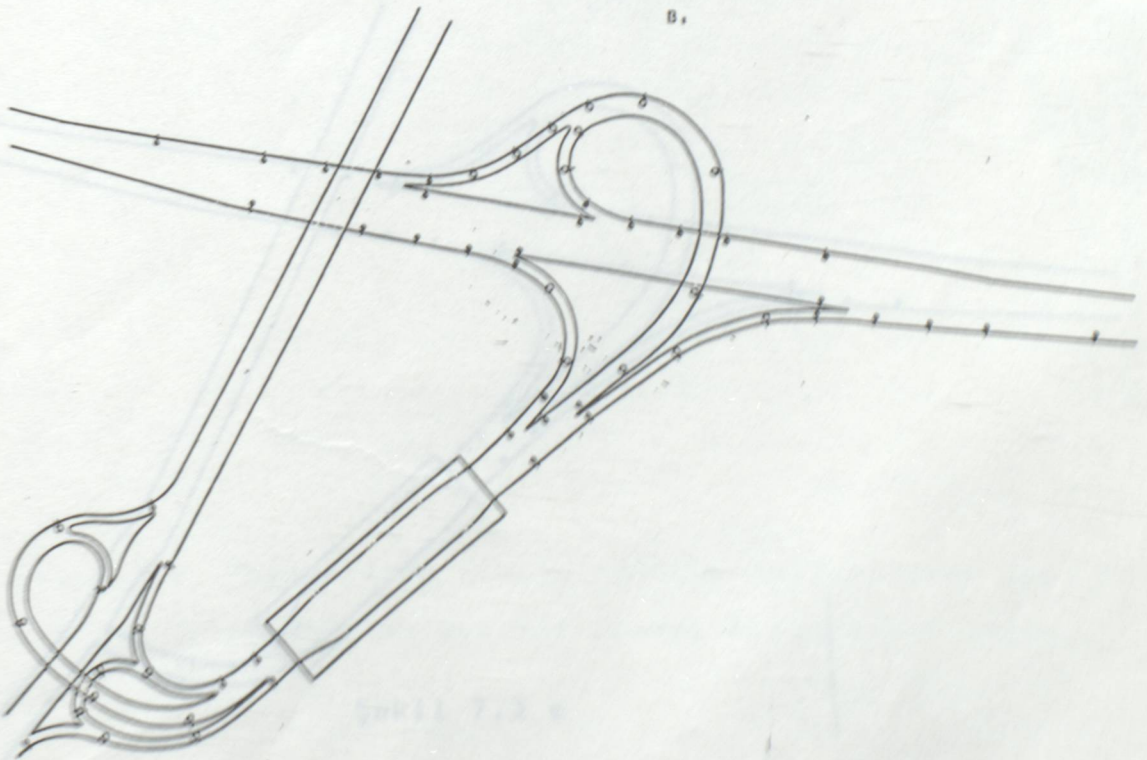
Trafik Hacmi Araç/Gün	50,000>	50,000< 20,000>	50,000< 15,000>	20,000< 15,000<	10,000< 5,000>	10,000< 5,000<
Kavşak rampalarında rında Trafik hacmi.	20,000>	20,000<	15,000>	15,000<	5,000>	5,000<
Kavşak Cinsi	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C	D	
Not		A'nın % 75'i	75% of A	50% of A	A'nın % 50'si	



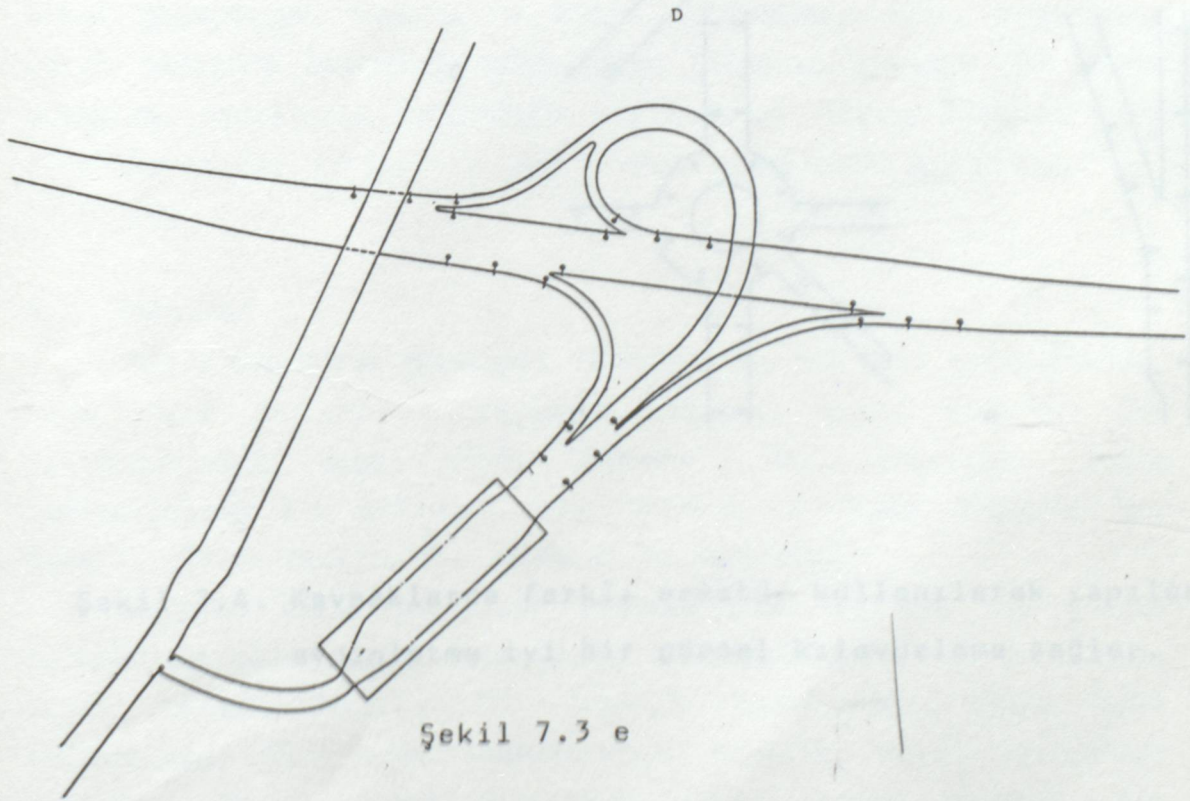
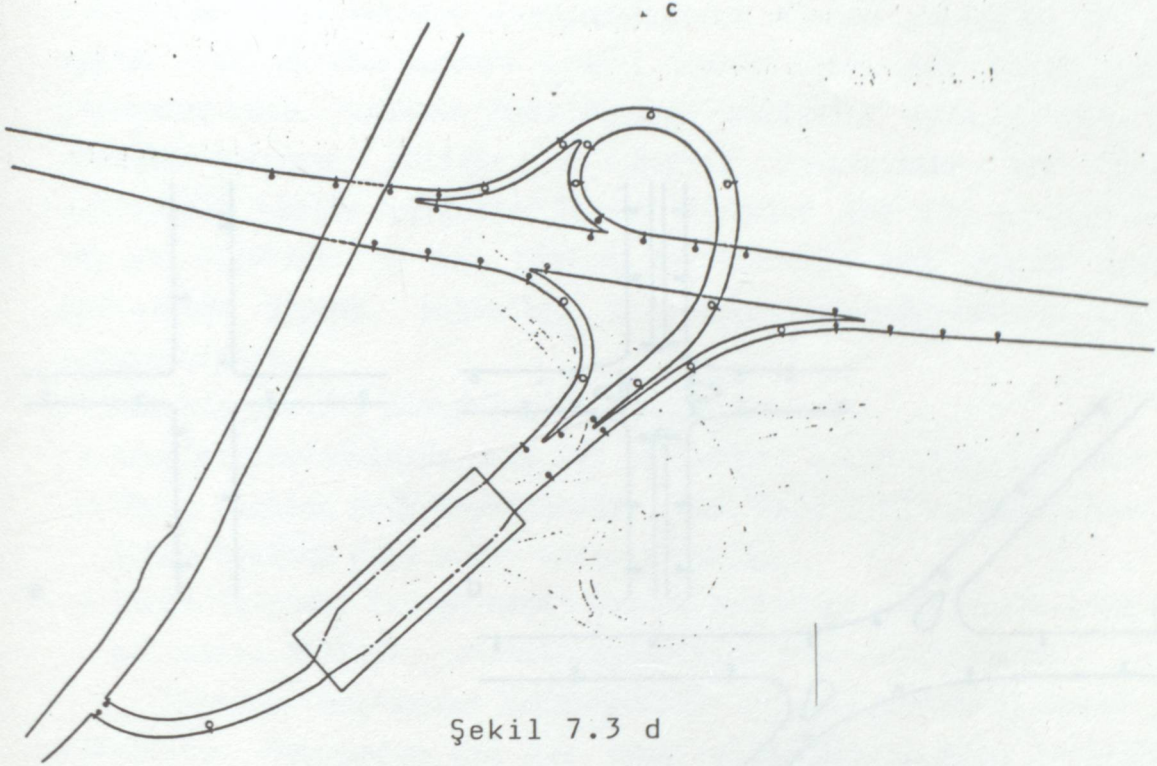
Şekil 7.3 a b c d e . Japonya'da kavşakların aydınlatılması.

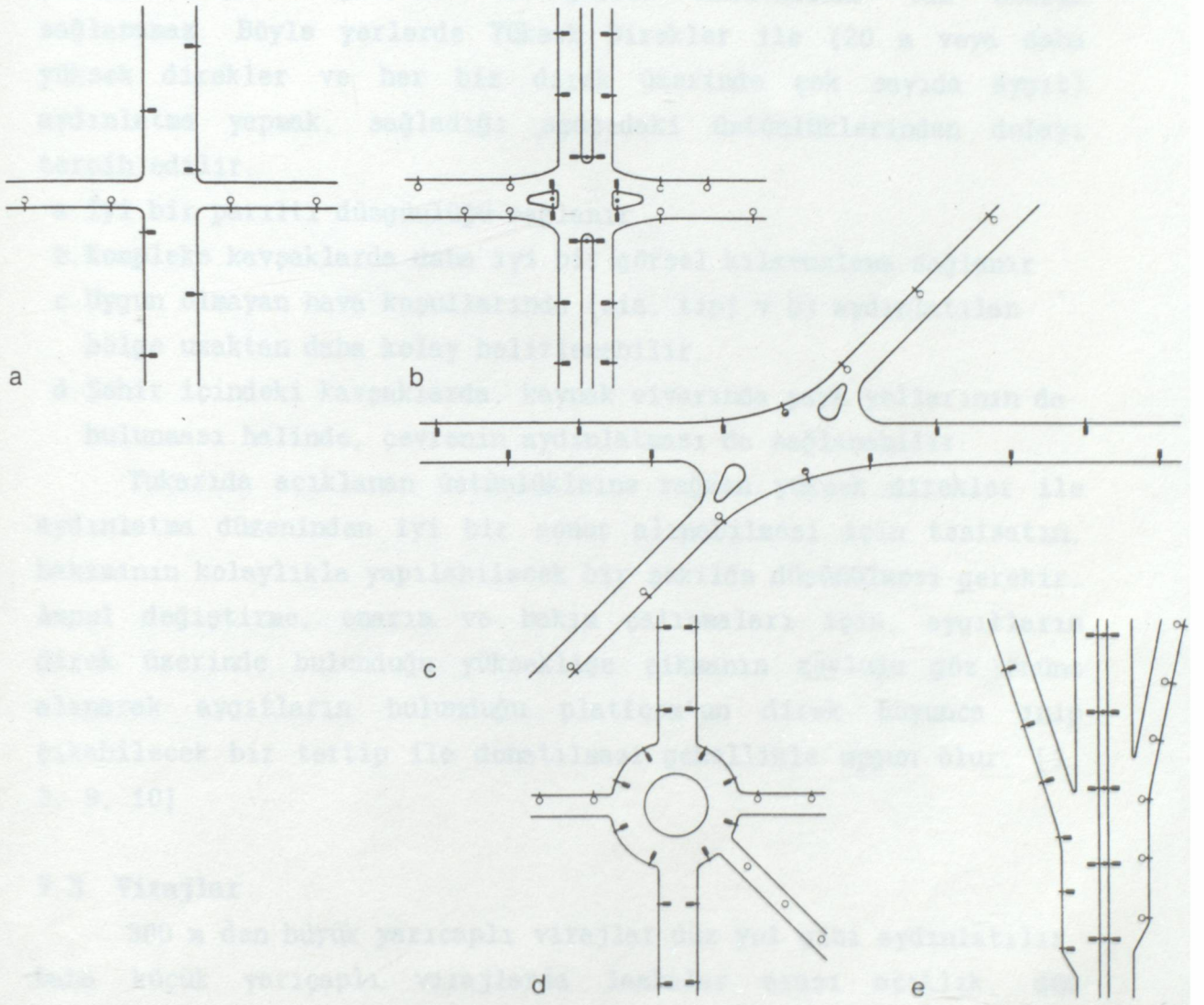


Şekil 7.3 b



Şekil 7.3 a





Şekil 7.4. Kavşaklarda farklı armatür kullanılarak yapılan aydınlatma iyi bir görsel kılavuzlama sağlar.

bölgesinde, normal boydaki direkler üzerine yerleştirilen aydınlatma aygıtlarının (aydınlatılacak alanın genişliği ve çok sayıda yol ayrılmalarının olması nedeni ile) çok fazla olması gerekeceğinden, uzaktan bakıldığında sürücüler için karışık bir görüntü meydana getirir ve görsel kılavuzlama tam olarak sağlanamaz. Böyle yerlerde Yüksek Direkler ile (20 m veya daha yüksek direkler ve her bir direk üzerinde çok sayıda aygıt) aydınlatma yapmak, sağladığı aşağıdaki üstünlüklerinden dolayı tercih edilir.

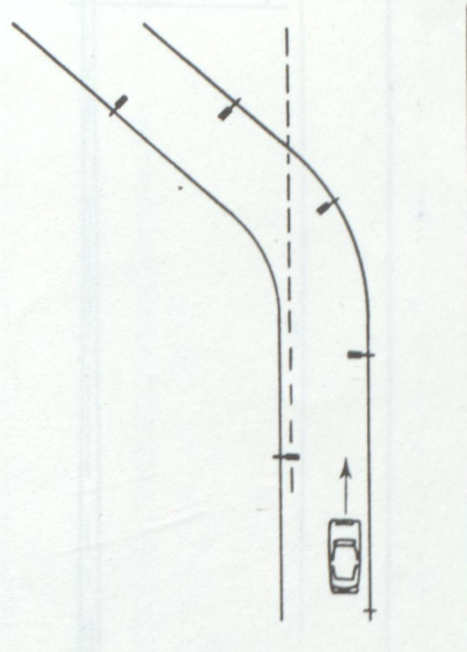
- a. İyi bir parıltı düzgünlüğü sağlanır.
- b. Kompleks kavşaklarda daha iyi bir görsel kılavuzlama sağlanır
- c. Uygun olmayan hava koşullarında (sis, tipi v.b) aydınlatılan bölge uzaktan daha kolay belirlenebilir.
- d. Şehir içindeki kavşaklarda, kaynak civarında yaya yollarının da bulunması halinde, çevrenin aydınlatması da sağlanabilir.

Yukarıda açıklanan üstünlükleine rağmen yüksek direkler ile aydınlatma düzeninden iyi bir sonuç alınabilmesi için tesisatın, bakımının kolaylıkla yapılabilecek bir şekilde düşünülmesi gerekir. Ampul değiştirme, onarım ve bakım çalışmaları için, aygıtların direk üzerinde bulunduğu yüksekliğe çıkmanın zorluğu göz önüne alınarak aygıtların bulunduğu platform'un direk boyunca inip çıkabilecek bir tertip ile donatılması genellikle uygun olur. [1, 3, 9, 10]

### 7.3. Virajlar

300 m den büyük yarıçaplı virajlar düz yol gibi aydınlatılır. Daha küçük yarıçaplı virajlarda lambalar arası açıklık, düz yollardakinden daha küçük tutulur. Yol genişliği lâmba yüksekliğinin 1,5 katından daha küçükse, o zaman lâmbalar bir taraflı olarak virajın dış tarafına yerleştirilir.

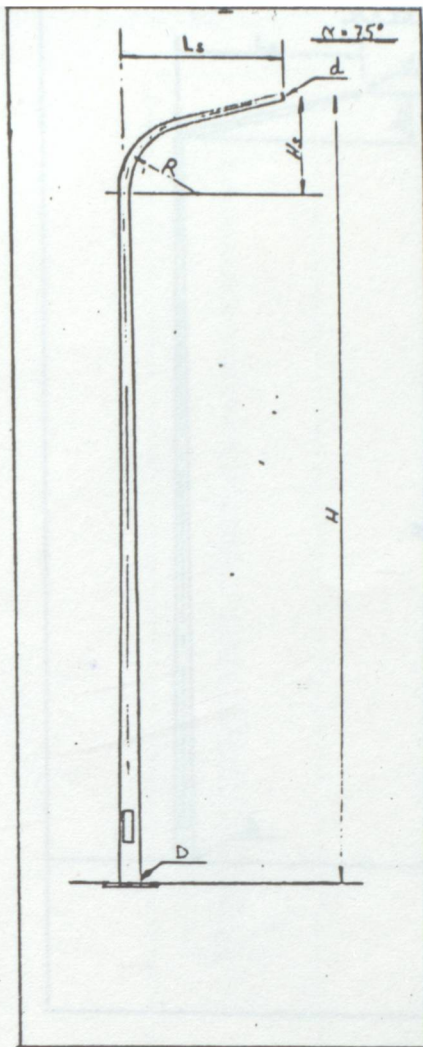
Böylece yolun parıltısı yeterli olur ve iyi bir görsel kılavuzlama elde edilir. Daha geniş yollarda iki taraflı karşılıklı düzen tercih edilir. İki taraflı kaydırılmış düzen asla kullanılmaz. Virajlarda lâmbalararası açıklık, viraj yarıçapına bağlıdır. Genel olarak virajlarda lambalararası açıklık, düz yollardaki açıklığın 0,5 ile 0,75 katı alınır. [1, 9]



Şekil 7.5. Virajların eğriliğinde ışık kaynakları dışarıya yerleştirilir.

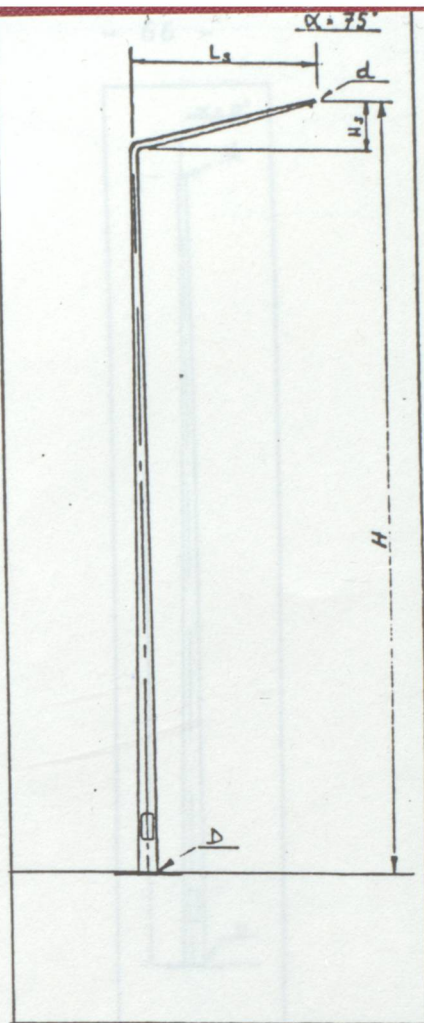
#### 7.4. Aydınlatma Direkleri

Devam eden sayfalarda piyasada kullanılan muhtelif elektrik direklerine örnekler ve şekiller verilmiştir.



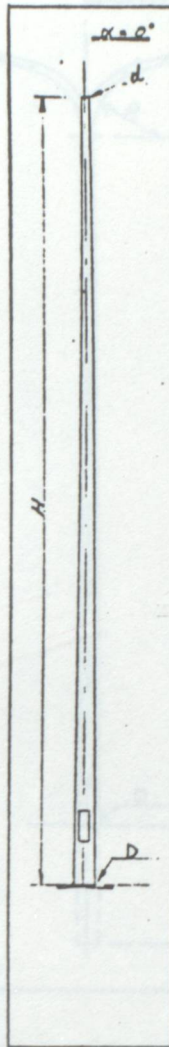
DK FOGONAL - RUZGAR: 126km/h - Alfa = 75

Kod	H	Ls	R	d	D	s	Hs	L	F	Mmax	Pl, Cv	W
	m	m	m	mm	mm	mm	m	m	kg	kgm	Kafak	cm <sup>3</sup>
0-1001	3	1	0.5	60	101	3	0.65	3.65	31.1	543	A.A.A	34
0-1002	3.5	1	0.5	60	101	3	0.65	4.15	13.3	235	A.A.A	15
0-1003	4	1	0.5	60	101	3	0.65	4.65	14.9	235	A.A.A	15
0-1004	5	1	0.5	60	101	3.5	0.65	5.65	21.1	271	A.A.A	17
0-1005	5	1.5	0.5	60	156	3.5	0.79	6.03	52.7	689	A.A.C	43
0-1006	6	1	0.5	60	156	3.5	0.65	6.65	58.1	689	A.A.C	43
0-1007	6	1.5	0.5	60	156	3.5	0.79	7.03	61.4	689	A.A.C	43
0-1008	7	1	0.5	60	156	3.5	0.65	7.65	66.9	689	A.A.C	43
0-1009	7	1.5	0.5	60	156	3.5	0.79	8.03	70.2	689	A.A.C	43
0-1010	8	1.5	0.5	60	191	4	0.79	9.03	123.1	1166	B.B.D	73
0-1011	8	2	1	60	191	4.5	1.3	9.31	142.8	1302	B.B.D	81
0-1012	9	1.5	1	60	191	4.5	1.17	9.93	152.3	1302	B.B.D	81
0-1013	9	2	1	60	228	4.5	1.3	10.31	202.8	1862	B.B.E	116
0-1014	10	2	1	60	228	4.5	1.3	11.31	222.4	1862	B.B.E	116
0-1015	10	2.5	1	60	250	5	1.44	11.69	288.9	2584	B.B.E	162
0-1016	11	2.5	1	60	250	5	1.44	12.69	313.6	2584	B.B.E	162
0-1017	11	3	2	60	295	5.5	2.34	12.85	432	3979	C.C.F	249
0-1018	12	2.5	1	60	295	5.5	1.44	13.69	460.3	3979	C.C.F	249
0-1019	12	3	2	60	295	6	2.34	13.85	500	4319	C.C.F	270
0-1020	15	2.5	1	60	295	6	1.44	16.69	612.2	4319	C.C.F	270
0-1021	15	3	1	96	360	6.5	1.57	17.08	762.4	6947	D.C.G	434
0-1022	15	3	2	96	360	6.5	2.34	16.85	752.1	6947	D.C.G	434
0-1023	20	3	2	96	410	8	2.34	21.85	1427.8	10801	E.D.H	675
0-1024	20	3.5	2	96	432	8	2.47	22.24	1555.1	12296	E.D.H	769



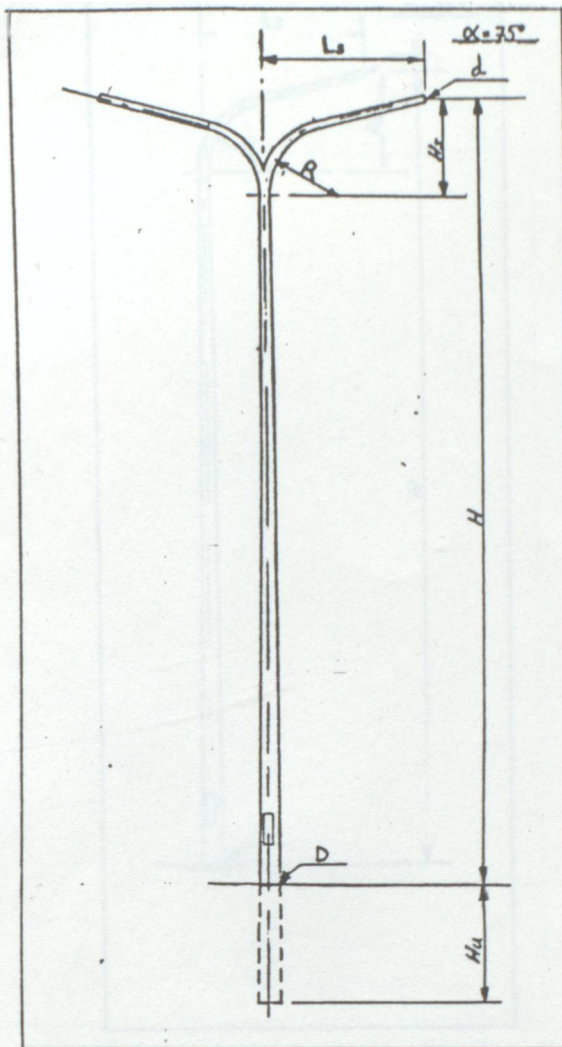
OKTOSONAL - RUZGAR: 126 km/h - Alfa = 75

Kod	H m	Ls m	d mm	D mm	s mm	Hs m	L m	P kg	Mmax kgm	Pl, Cu Karak	W cm <sup>3</sup>
0-1001	3	1	60	98	3	0.27	3.77	11.1	216	A.A.A	14
0-1002	3.5	1	60	103	3	0.27	4.27	14.2	245	A.A.A	15
0-1003	4	1	60	108	3	0.27	4.77	17.8	277	A.A.A	17
0-1004	5	1	60	118	3	0.27	5.77	26	321	A.A.B	20
0-1005	5	1.5	60	122	3.5	0.4	6.15	34.4	401	A.A.B	25
0-1006	6	1	60	128	3.5	0.27	6.77	41.7	455	A.A.B	28
0-1007	6	1.5	60	132	3.5	0.4	7.15	46.5	489	A.A.B	31
0-1008	7	1	60	138	3.5	0.27	7.77	55	548	A.A.B	34
0-1009	7	1.5	60	142	3.5	0.4	8.15	60.5	586	A.A.B	37
0-1010	8	1.5	60	152	4	0.4	9.15	87.1	725	A.A.C	45
0-1011	8	2	60	155	5	0.54	9.53	118.1	946	A.A.C	59
0-1012	9	1.5	60	162	5	0.4	10.15	134	1044	B.B.C	65
0-1013	9	2	60	165	5	0.54	10.53	144.2	1106	B.B.C	69
0-1014	10	2	60	175	5	0.54	11.53	172.9	1278	B.B.C	80
0-1015	10	2.5	60	179	6	0.67	11.92	221.8	1592	B.B.C	100
0-1016	11	2.5	60	189	6.5	0.67	12.92	282.2	1781	B.B.D	111
0-1017	11	3	60	193	7	0.8	13.31	322.6	2004	B.B.D	125
0-1018	12	2.5	60	199	7	0.67	13.92	352.8	2168	B.B.D	136
0-1019	12	3	60	203	7	0.8	14.31	372.9	2277	B.B.D	142
0-1020	15	2.5	60	229	8	0.67	16.92	595.8	3208	B.B.E	201
0-1021	15	3	60	233	8.5	0.8	17.31	662.5	3536	B.B.E	221
0-1022	15	3	60	233	8.5	0.8	17.31	662.5	3536	B.B.E	221
0-1023	20	3	60	283	10.5	0.8	22.31	1359.5	6519	C.C.F	407
0-1024	20	3.5	60	287	10.5	0.94	22.68	1404.9	6736	C.C.F	421

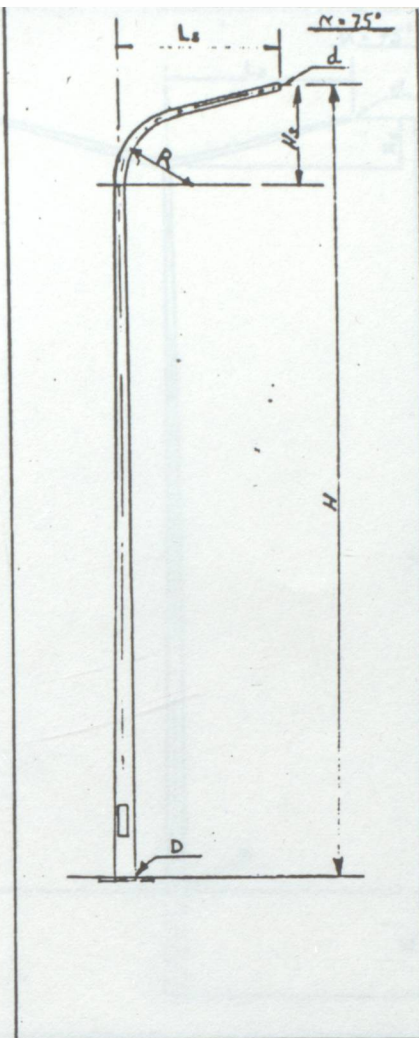


OKTOGONAL-RUZGAR: 126km/h - Alfa= 0.

Kod	H	d	D	s	L	P	Mmax	Fl, Cv	W
	m	mm	mm	mm	m	kg	kgm	Kapak	cm <sup>3</sup>
0-0001	3	60	101	3	3	9.6	235	A.A.A	15
0-0002	3.5	60	101	3	3.5	11.2	235	A.A.A	15
0-0003	4	60	101	3	4	12.8	235	A.A.A	15
0-0004	5	60	101	3	5	16	235	A.A.A	15
0-0006	6	60	101	3	6	19.2	235	A.A.A	15
0-0008	7	60	101	3.5	7	26.1	271	A.A.A	17
0-0010	8	60	156	3.5	8	69.9	689	A.A.C	43
0-0012	9	60	156	3.5	9	78.7	689	A.A.C	43
0-0014	10	60	156	4	10	99.9	780	A.A.C	49
0-0016	11	60	191	4	11	149.9	1166	B.B.D	73
0-0018	12	60	191	4.5	12	184	1302	B.B.D	81
0-0020	15	60	250	5	15	370.7	2584	B.B.E	162
0-0023	20	60	295	7	20	855.8	4990	C.C.F	312
0-0025	24	86	360	9	24	1483.3	9427	D.C.G	589
0-0026	30	86	410	12	30	2940.5	15750	E.D.H	984
0-0027	36	86	475	14	36	4968.8	26149	F.E.H	1634

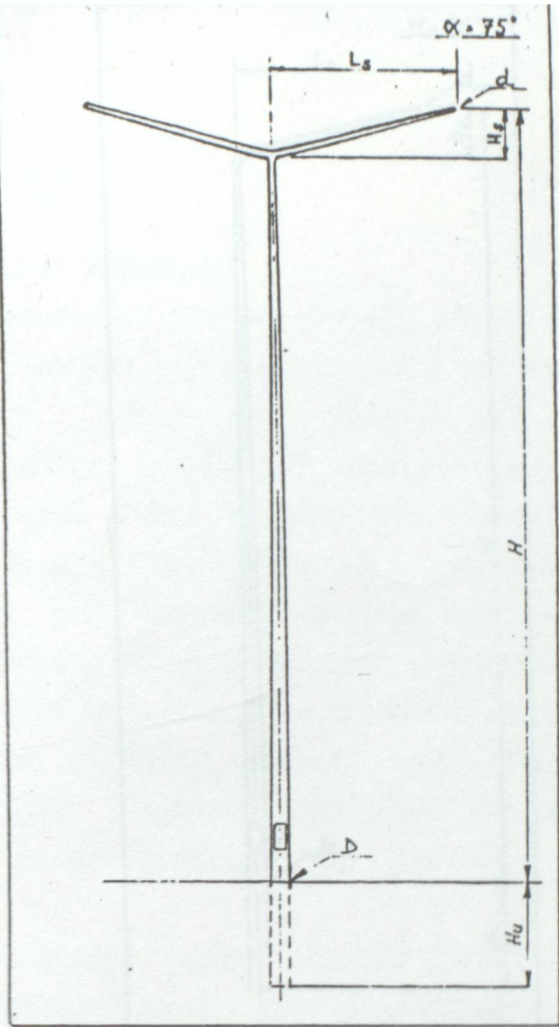


Kod	H m	Ls m	R m	d mm	D mm	s mm	Hs m	L m	P kg	Mmax kgm	Hu m	Karak	li cm?
C-2001	3	1	0.5	60	105	3	0.65	4.45	33.5	249	0.8	A	16
C-2002	3.5	1	0.5	60	110	3	0.65	4.95	37.4	280	0.8	A	18
C-2003	4	1	0.5	60	115	3	0.65	5.45	41.6	313	0.8	A	20
C-2004	5	1	0.5	60	125	3	0.65	6.45	50.4	359	0.8	B	22
C-2005	5	1.5	0.5	60	128	3	0.79	6.83	56.9	387	0.8	B	24
C-2006	6	1	0.5	60	135	3	0.65	7.45	60	435	0.8	B	27
C-2007	6	1.5	0.5	60	138	3.5	0.79	7.83	77.9	538	0.8	B	34
C-2008	7	1	0.5	60	145	3.5	0.65	8.45	82.1	552	0.8	C	35
C-2009	7	1.5	0.5	60	148	4	0.79	8.83	103.1	667	0.8	C	42
C-2010	8	1.5	0.5	60	158	4.5	0.79	9.83	133	875	0.8	C	55
C-2011	8	2	1	60	161	5	1.3	10.11	161.3	1007	0.8	C	63
C-2012	9	1.5	1	60	167	5	1.17	10.73	168.6	1106	0.8	C	69
C-2013	9	2	1	60	171	5.5	1.3	11.11	200	1275	0.8	C	80
C-2014	10	2	1	60	181	6	1.3	12.11	244.2	1586	0.8	C	99
C-2015	10	2.5	1	60	185	7	1.44	12.49	304.9	1742	0.8	D	109
C-2016	11	2.5	1	60	195	7	1.44	13.49	337.7	1992	0.8	D	125
C-2017	11	3	2	80	217	8	2.34	13.65	482.7	2921	0.8	D	183
C-2018	12	2.5	1	80	229	8	1.44	14.89	512.8	3104	1.2	E	194
C-2019	12	3	2	100	251	8	2.34	15.05	620.4	3895	1.2	E	243
C-2020	15	2.5	1	100	279	8	1.44	17.89	740.2	4765	1.2	F	298
C-2021	15	3	1	120	303	8	1.57	18.28	862.1	5846	1.2	F	365
C-2022	15	3	2	140	321	8	2.34	18.05	953.2	6720	1.2	F	420
C-2023	20	3	2	200	519	8	2.34	28.05	2120.3	10570	2	H	1160
C-2024	20	3.5	2	340	502	8	2.47	24.24	2544.9	22093	2	I	1300



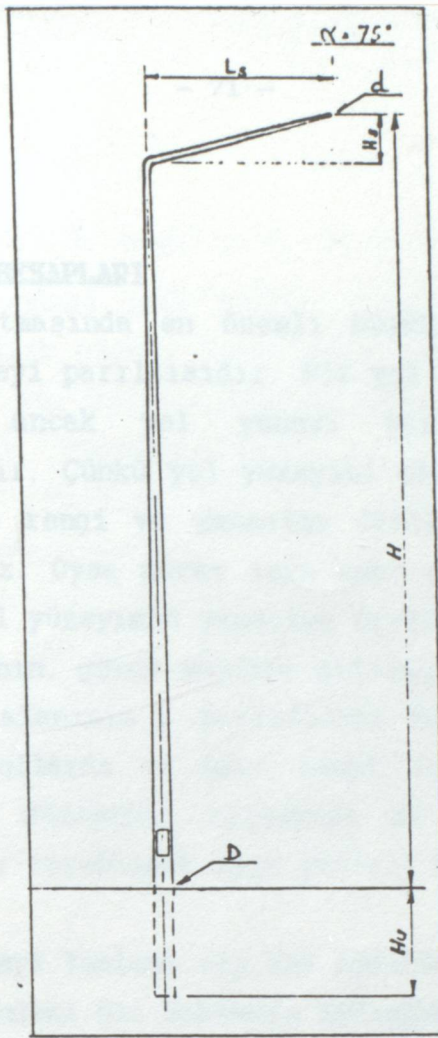
DA: RESEL - RUZGAR: 126 km/h - Alfa = 75

Kod	H m	Ls m	R m	d mm	D mm	s mm	Hs m	L m	P kg	Mmax kgm	Pl, Cu Kapak	W cm <sup>3</sup>
C-1001	3	1	0.5	60	97	3	0.65	3.65	21.1	203	A.A.A	13
C-1002	3.5	1	0.5	60	102	3	0.65	4.15	24.8	231	A.A.A	14
C-1003	4	1	0.5	60	107	3	0.65	4.65	28.6	261	A.A.A	16
C-1004	5	1	0.5	60	117	3	0.65	5.65	36.9	326	A.A.A	20
C-1005	5	1.5	0.5	60	120	3	0.79	6.03	40.2	329	A.A.B	21
C-1006	6	1	0.5	60	127	3	0.65	6.65	45.9	374	A.A.B	23
C-1007	6	1.5	0.5	60	130	3	0.79	7.03	49.5	402	A.A.B	25
C-1008	7	1	0.5	60	137	3.5	0.65	7.65	64.9	521	A.A.B	33
C-1009	7	1.5	0.5	60	140	3.5	0.79	8.03	69.4	557	A.A.B	35
C-1010	8	1.5	0.5	60	150	4.5	0.79	9.03	105.4	768	A.A.C	48
C-1011	8	2	1	60	153	5	1.3	9.31	122.3	886	A.A.C	55
C-1012	9	1.5	1	60	159	5	1.17	9.93	134.3	979	B.B.C	61
C-1013	9	2	1	60	163	5	1.3	10.31	141.8	1038	B.B.C	65
C-1014	10	2	1	60	173	5.5	1.3	11.31	178.8	1312	B.B.C	82
C-1015	10	2.5	1	60	177	6	1.44	11.69	204.9	1497	B.B.C	94
C-1016	11	2.5	1	60	187	7	1.44	12.69	270.5	1790	B.B.D	112
C-1017	11	3	2	60	189	8	2.34	12.85	315	2059	B.B.D	129
C-1018	12	2.5	1	60	197	8	1.44	13.69	346.9	2302	B.B.D	144
C-1019	12	3	2	60	199	8	2.34	13.85	353.2	2349	B.B.D	147
C-1020	15	2.5	1	80	247	8	1.44	16.69	538.2	3757	B.B.E	235
C-1021	15	3	1	100	271	8	1.57	17.08	624.8	4424	C.C.F	277
C-1022	15	3	2	120	289	8	2.34	16.85	679.1	5185	C.C.F	324
C-1023	20	3	2	260	479	8	2.34	21.85	1592	15316	G.E.H	957
C-1024	20	3.5	2	260	482	8	2.47	22.24	1629	15620	G.E.H	976



DAIRESEL - RUZGAR: 126x75 - A) fae 75

Kod	H m	Ls m	d mm	D mm	s mm	Hs m	L m	P kg	Mmax kgm	Hu m	Pl, Cu Karak	W cm <sup>3</sup>
C-2001	3	1	60	106	3	0.27	4.57	33	256	0.8	-.A	16
C-2002	3.5	1	60	111	3	0.27	5.07	37	287	0.8	-.A	18
C-2003	4	1	60	116	3	0.27	5.57	41.2	321	0.8	-.A	20
C-2004	5	1	60	126	3	0.27	6.57	50.2	368	0.8	-.B	23
C-2005	5	1.5	60	130	3	0.4	6.95	56.5	396	0.8	-.B	25
C-2006	6	1	60	136	3	0.27	7.57	59.8	445	0.8	-.B	28
C-2007	6	1.5	60	140	3	0.4	7.95	66.5	476	0.8	-.B	30
C-2008	7	1	60	146	3.5	0.27	8.57	82	563	0.8	-.C	35
C-2009	7	1.5	60	150	3.5	0.4	8.95	90	601	0.8	-.C	38
C-2010	8	1.5	60	160	4	0.4	9.95	118.1	800	0.8	-.C	50
C-2011	8	2	60	163	4.5	0.54	10.33	144.2	945	0.8	-.C	59
C-2012	9	1.5	60	170	4.5	0.4	10.95	151.1	1037	0.8	-.C	65
C-2013	9	2	60	173	4.5	0.54	11.33	162.8	1095	0.8	-.C	68
C-2014	10	2	60	183	5.5	0.54	12.33	223.2	1370	0.8	-.D	86
C-2015	10	2.5	60	187	6	0.67	12.72	260.6	1565	0.8	-.D	98
C-2016	11	2.5	60	197	6.5	0.67	13.72	313.1	1919	0.8	-.D	120
C-2017	11	3	60	201	6.5	0.8	14.11	333	2016	0.8	-.D	126
C-2018	12	2.5	60	211	6.5	0.67	15.12	359	2278	1.2	-.D	142
C-2019	12	3	60	215	6.5	0.8	15.51	379.7	2384	1.2	-.D	149
C-2020	15	2.5	60	241	8	0.67	18.12	575.7	3543	1.2	-.E	221
C-2021	15	3	100	285	7.5	0.8	18.51	725.8	4744	1.2	-.F	297
C-2022	15	3	100	285	7.5	0.8	18.51	725.8	4744	1.2	-.F	297
C-2023	20	3	220	463	8	0.8	24.31	1783.2	14149	2	-.H	884
C-2024	20	3.5	220	467	8	0.94	24.68	1842.7	14425	2	-.H	902



DAIRESEL - RUZGAR: 126 km/h - Alfa = 75

Kod	H	Ls	d	D	s	Hs	L	P	Mmax	Hu	Kapak	W
	m	m	mm	mm	mm	m	m	kg	kgm	m		cm <sup>3</sup>
C-1001	3	1	60	106	3	0.27	4.57	28	256	0.8	A	16
C-1002	3.5	1	60	111	3	0.27	5.07	32	287	0.8	A	18
C-1003	4	1	60	116	3	0.27	5.57	36.2	321	0.8	A	20
C-1004	5	1	60	126	3	0.27	6.57	45.1	368	0.8	B	23
C-1005	5	1.5	60	130	3	0.4	6.95	48.7	396	0.8	B	25
C-1006	6	1	60	136	3	0.27	7.57	54.8	445	0.8	B	28
C-1007	6	1.5	60	140	3	0.4	7.95	58.7	476	0.8	B	30
C-1008	7	1	60	146	3	0.27	8.57	65.2	488	0.8	C	31
C-1009	7	1.5	60	150	3.5	0.4	8.95	80.9	601	0.8	C	38
C-1010	8	1.5	60	160	3.5	0.4	9.95	94.3	706	0.8	C	44
C-1011	8	2	60	163	4	0.54	10.33	113.8	848	0.8	C	53
C-1012	9	1.5	60	170	4	0.4	10.95	124	929	0.8	C	58
C-1013	9	2	60	173	4	0.54	11.33	130.4	981	0.8	C	61
C-1014	10	2	60	183	5	0.54	12.33	185	1256	0.8	D	79
C-1015	10	2.5	60	187	5.5	0.67	12.72	213.3	1446	0.8	D	90
C-1016	11	2.5	60	197	5.5	0.67	13.72	239.3	1648	0.8	D	103
C-1017	11	3	60	201	6	0.8	14.11	272.6	1874	0.8	D	117
C-1018	12	2.5	60	211	6	0.67	15.12	303.4	2117	1.2	D	132
C-1019	12	3	60	215	6	0.8	15.51	315.7	2215	1.2	D	138
C-1020	15	2.5	60	241	7.5	0.67	18.12	504.8	3342	1.2	E	209
C-1021	15	3	60	245	7.5	0.8	18.51	522.3	3479	1.2	E	217
C-1022	15	3	60	245	7.5	0.8	18.51	522.3	3479	1.2	E	217
C-1023	20	3	140	303	8	0.8	24.31	1254.5	9554	2	G	597
C-1024	20	3.5	180	427	8	0.94	24.60	1477.4	11582	2	H	724

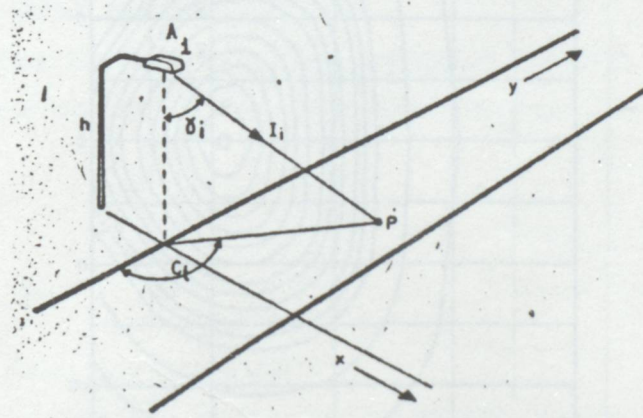
## 8. YOL AYDINLATMA HESAPLARI

Yol aydınlatmasında en önemli büyüklükler yoldaki aydınlık düzeyi ve yol yüzeyi parlıltısıdır. Bir yol aydınlatmasının kalitesi gerçek olarak, ancak yol yüzeyi parlıltısına bağlı olarak değerlendirilebilir. Çünkü yol yüzeyini oluşturan yol kaplamasının türü, dolayısıyla rengi ve yansıtma özellikleri yoldaki aydınlık düzeyini etkilemez. Oysa görme için esas olan, yol yüzeyine gelen ışık akısının, yol yüzeyinin yansıtma özelliklerine göre yansıyarak göz'e gelen kısmının, gözde meydana getirdiği aydınlık düzeyidir.

Yani görme alanının L parlıltısına bağlıdır. Bununla beraber önemli olmayan yollarda ve bazı şehir içi yollarda, çoğu zaman yoldaki aydınlık düzeyinin bilinmesi de aydınlatmanın kalitesi hakkında bir karar verebilmek için yeterli olur. [10]

### 8.1. Aydınlık Düzeyi Yöntemi ile Yol Aydınlatması Hesabı

#### 8.1.1. Yol Yüzeyindeki Bir Noktanın Aydınlık Düzeyinin Hesaplanması



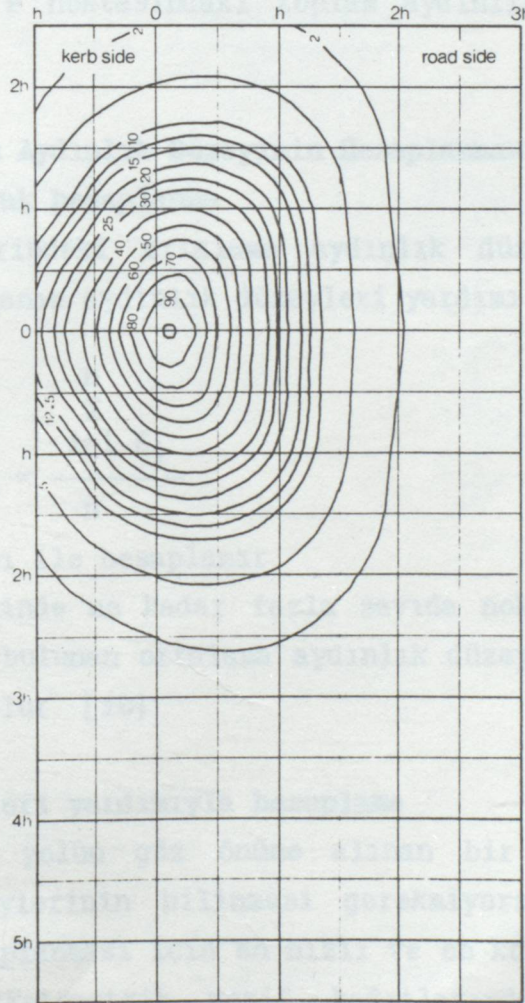
Şekil 8.1. Yol üzerindeki bir P noktasının aydınlık düzeyinin hesaplanması.

Aydınlatılmış bir yol üzerindeki bir P noktasının aydınlık düzeyi, aydınlatma tesisatındaki tüm aygıtların bu noktada oluşturdukları kısmi aydınlık düzeylerinin toplamıdır;

$$E_p = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(\gamma_i \cdot C_i) \cdot \cos^3 \gamma_i}{h^2} \quad (8.1)$$

Bu formülde  $I_i(\gamma, C)$ , i. aygıtın  $C_i$  ve  $\gamma_i$  açıları ile belirlenen P noktası doğrultusundaki ışık şiddeti ve h da aygıt yüksekliğidir. (Şekil 8.1) Aydınlik düzeyi hesaplanan noktadan itibaren noktanın her iki tarafına, yol boyunca 3'er aygıttan sonraki aygıtların, bu noktanın aydınlık düzeyine olan etkileri ihmal edilebilir. Yukarıdaki formül yardımı ile yol üzerindeki birçok noktanın aydınlık düzeyi hesaplanabilir.

Eğer bulunan değerler yol planı üzerinde işaretlenir ve eş aydınlık düzeyli noktalar birleştirilirse "Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramı" elde edilir. Bu diyagramlar her aygıt tipi için hazırlanan fotometrik veri kağıtlarında, her yükseklik için ve maksimum aydınlık düzeyinin yüzdesi olarak verilirler ve "Bağlı Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramı" olarak anılırlar. (Şekil 8.2)



Şekil 8.2. Bağlı eş aydınlık düzeyi diyagramı.

i aygıtın P noktasında oluşturduğu aydınlık düzeyini bulmak için, saydam bir kağıda çizilmiş olan Bağlı Eş Aydınlık Düzeyi diyagramının merkezi, bu diyagram ile aynı h ölçeğinde çizilmiş olan yol planı üzerinde i. aygıtın izdüşümü olan Ai noktası ile çakıştırılır. Bu sırada diyagram eksenini yol eksenine paralel olmalıdır. Diyagramda okunan değer

$$E_{\max} = a \frac{\Phi L}{h^2} \quad (8.2)$$

ile çarpılır. Burada  $\Phi L$  kullanılacak ışık kaynağının ışık akısı, h aygıt yüksekliğidir. a aygıt tipine bağlı bir katsayı olup diyagramın altında verilir. P noktasındaki aydınlık düzeyine ihmal edilemeyen katkıları bulunan diğer aygıtlar için de aynı işlem tekrarlanarak P noktasındaki toplam aydınlık düzeyi bulunur. [1, 10]

### 8.1.2. Ortalama Aydınlık Düzeyinin Hesaplanması

#### 1) Nümerik olarak hesaplama

Yol üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi  $E_0$  yol üzerinde seçilen n noktanın aydınlık düzeyleri yardımı ile

$$E_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (8.3)$$

formülü yardımı ile hesaplanır.

Yol üzerinde ne kadar fazla sayıda noktanın aydınlık düzeyi hesaplanırsa, bulunan ortalama aydınlık düzeyi değeri de gerçeğe o derece yakın olur. [10]

#### 2) Verim eğrileri yardımıyla hesaplama

Düz bir yolun göz önüne alınan bir bölümündeki noktasal aydınlık düzeylerinin bilinmesi gerekmiyorsa, ortalama aydınlık düzeyinin hesaplanması için en hızlı ve en kolay yol, aygıtlar için hazırlanmış "Fotometrik veri" kağıtlarında verilen yararlanma faktörü (verim) eğrileri ile birlikte;

$$E_0 = \frac{\eta \cdot \Phi_L}{a \cdot b} \quad (8.4)$$

formülünü kullanmaktır. Burada:

$\Phi_L$  : Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı

b : Yol genişliği

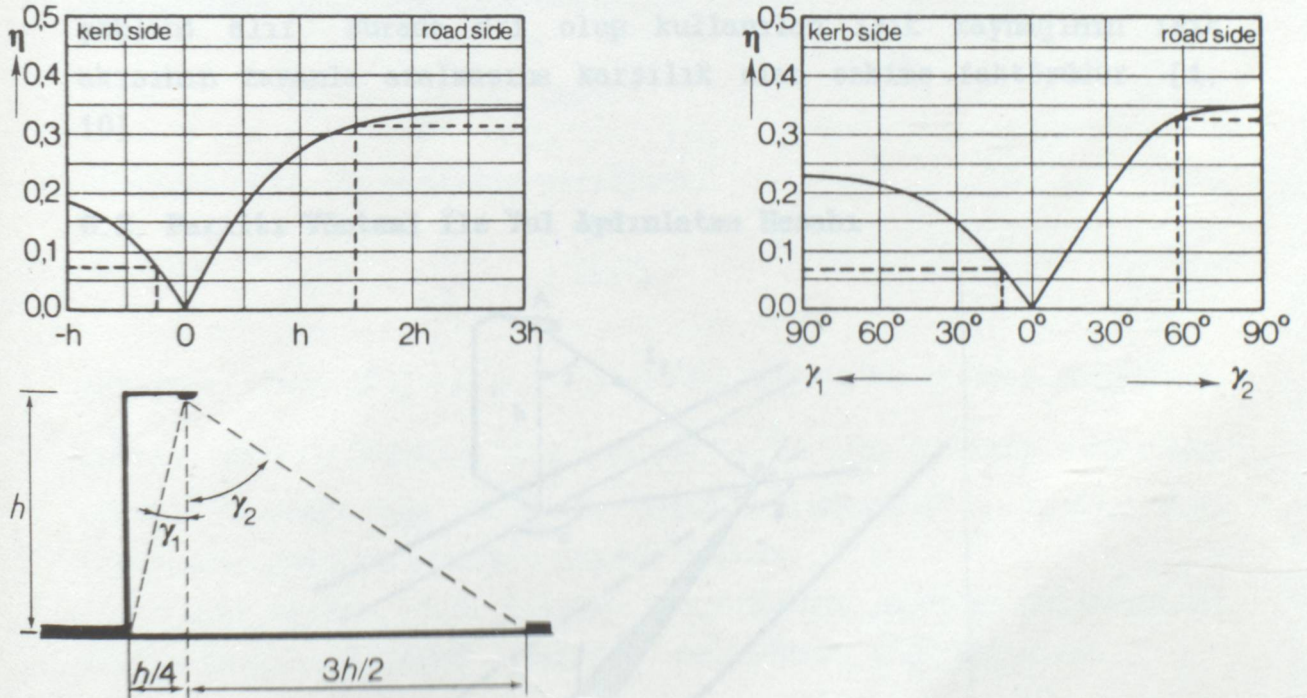
a : Aygıtlar arası açıklık

$\eta$  : Yararlanma faktörü (Verim)

dır.

Dış aydınlatmada yararlanma faktörü; aygıttan çıkan ışık akısının yola düşen bölümünün, kullanılan ışık kaynağının (lambanın) ışık akısına oranı olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{yararlanılan}}}{\Phi_L} \quad (8.5)$$



Şekil 8.3. Yararlanma faktörü eğrileri.

a)  $\gamma$  açısına göre

b)  $\tan \gamma = y/h$ 'a göre.

"Fotometrik veri" kağıtlarında, her aygıt için yararlanma faktörü eğrileri: iki şekilde verilir. (Şekil 8.3)

- 1)Yolun enine eksenindeki yol sınırlarını  $\gamma$  açısı değerlerine bağlı olarak,
- 2)Yolun enine eksenindeki yol sınırlarını h birim olarak alınmak üzere  $\tan \gamma = y/h$  değerlerine bağlı olarak

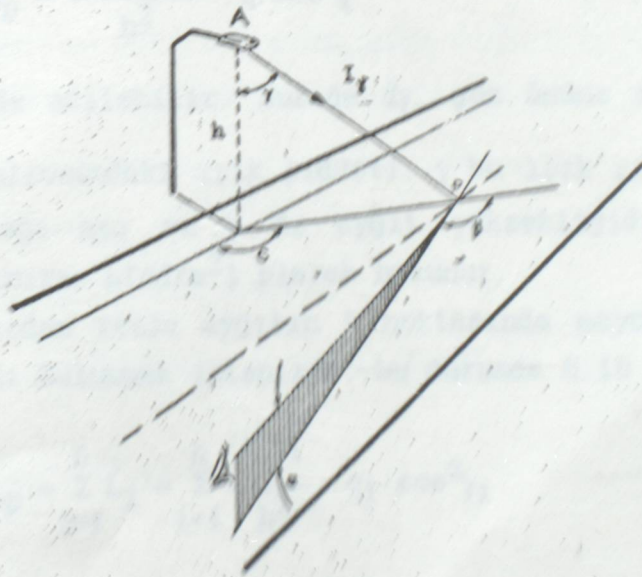
İkinci tip diyagram verilen bir yol kesiti için  $\eta$  değerlerinin daha kolay bulunmasını sağlar. Birinci tip diyagram aydınlatma aygıtının yatayla bir açı yapacak şekilde yerleştirilmesi halinde yeni yararlanma faktörünün belirlenmesini sağlar.

Işık kaynaklarının eskime faktörleri de hesaba katılırsa 8.4 formülü

$$E_0 = \frac{\eta \cdot \Phi_L}{a \cdot b} \cdot d \quad (8.6)$$

şeklini alır. Burada  $d < 1$  olup kullanılan ışık kaynağının ışık akısının zamanla azalmasına karşılık olan eskime faktörüdür. [1, 10]

## 8.2. Parıltı Yöntemi İle Yol Aydınlatma Hesabı



Şekil 8.4. Parıltı faktörü q'nun belirlenmesi ve yol üzerindeki P noktasının parıltısının hesaplanması için gerekli açılar,

Günümüzde Yol Aydınlatması, hemen hemen tüm dünya ülkelerinde, yol yüzeyi parıltısını esas alan ve buna göre aydınlatmanın kalitesini belirleyici bazı tanımlar içeren "Parıltı Yöntemi" ne göre yapılmaktadır.

Yol yüzeyi parıltısının hesaplanabilmesi için; aydınlatılan yola ait yol yüzeyinin (yol kaplamasının) yansıtma özelliklerinin bilinmesi gerekir. Çünkü yol üzerindeki bir noktanın parıltısı ile o noktadaki yatay aydınlık düzeyi arasında

$$L = q.E \quad (8.7)$$

bağıntısı vardır. Bir yol yüzeyinin yansıtma özelliğini belirleyen  $q$  katsayısına "Parıltı Faktörü" denir. Parıltı faktörü belirli bir yol yüzeyi için, Şekil 8.4'de görüldüğü gibi, yol yüzeyindeki parıltısı hesaplanacak noktanın, aygıtlara ve gözlemciye göre konumuna bağlıdır;

$$q = q(\alpha, \beta, \gamma) \quad (8.8)$$

Yol üzerinde, göz önüne alınan bir aygıtın, bir P noktasında oluşturduğu yatay aydınlık düzeyi;

$$E_P = \frac{I \gamma}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (8.9)$$

olduğuna göre, bu noktanın parıltısı;

$$L_P = \frac{I \gamma}{h^2} \cdot q \cdot \cos^3 \gamma \quad (8.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $I\gamma$ , göz önüne alınan aygıtın P noktası doğrultusundaki ışık şiddeti,  $\gamma$  bu ışık şiddeti vektörünün düşeyle yaptığı açı ve  $h$  de aygıt yüksekliğidir.  $I(\text{cd})$ ,  $h(\text{m})$  cinsinden alınırsa  $L(\text{cd}/\text{m}^2)$  olarak bulunur.

Eğer birden fazla aygıtın P noktasında meydana getirdikleri toplam parıltı bulunmak istenirse, bu durumda 8.10 bağıntısı;

$$L_P \text{ top} = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n \frac{I \gamma_i}{h^2} \cdot q_i \cos^3 \gamma_i \quad (8.11)$$

şeklini alır.



Yukarıdaki bağıntıdan (8.13) görüldüğü gibi yol yüzeyi parıltısı kullanılan aygıtların C ve  $\gamma$  açıları ile belirlenen ışık dağılım biçimlerine, yol yüzeyinin  $\beta$  ve  $\gamma$  doğrultularına bağlı yansıtma özelliklerine ve aydınlatma tesisatında kullanılan aygıtların yüksekliğine bağlıdır.

### 8.2.1. Yol Yüzeylerinin Yansıtma Özellikleri

Üzerine ışık düşen ve ışığı geçirici olmayan malzemeden yapılmış bir yüzey, üzerine düşen ışığın bir kısmını yansıtır ve bir kısmını da yutar. Yüzeğe gelen ışık akısı  $\Phi_g$  ve yansıyan ışık akısı  $\Phi_{yans}$  ile gösterilirse Yansıtma Faktörü;

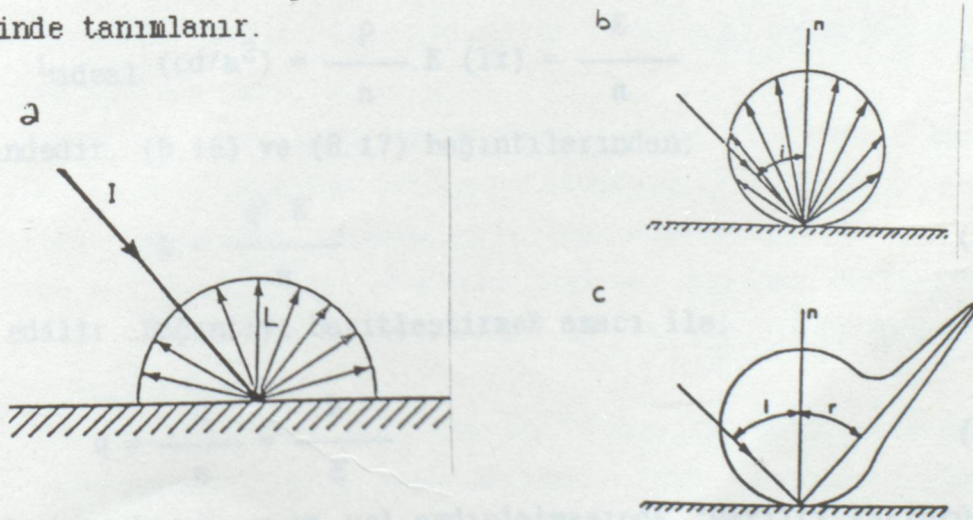
$$\rho = \frac{\Phi_{yans}}{\Phi_g} \quad (8.14)$$

olur.

Yüzeyde yutulan ışık akısı  $\Phi_{yut.}$  ile gösterilirse, Yutma Faktörü de;

$$\rho = \frac{\Phi_{yut.}}{\Phi_g} \quad (8.15)$$

şeklinde tanımlanır.



Şekil 8.5.

Bir yüzeye gelen ışığın yansımaları, aşağıdaki üç şekilde olur:

1. Aynasal yansımalar: Yüzeye gelen ışığın tümü, dağılmadan ve yansımalar kurallarına uygun olarak yansır. (Şekil 8.6a)

2. Yayınık yansımalar: Yüzeye gelen ışığın tümü düzgün dağılılarak yansır. (Şekil 8.6b)

3. Karma yansımalar: Yüzeye gelen ışık hem yayınık hem de aynasal karakterde yansır. (Şekli 8.6c). Bu durumda aşağıdaki iki hal söz konusu olabilir;

a-Aynasal karakteri de olan yayınık yansımalar

b-Yayınık karakteri de olan aynasal yansımalar

Eğer ışığı yansıtıcı yüzey optik bakımdan pürüzlü ise veya yüzeyde optik yoğunlukları farklı parçacıklar varsa, böyle yüzeylerde yansımalar genellikle yayınık olur.

Üzerine ışık düşen herhangi bir yüzeyin parıltısı  $L$  ve aynı koşullarda ideal yayıcı bir yüzeyin parıltısı  $L_{ideal}$  ise, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE'ye göre "Parıltı Faktörü";

$$q' = \frac{L}{L_{ideal}} \quad (8.16)$$

şeklinde tanımlanır. İdeal yayıcı bir yüzeyin, yansıtma faktörü  $\rho_{ideal}=1$  olduğundan, parıltısı,

$$L_{ideal} \text{ (cd/m}^2\text{)} = \frac{\rho}{\pi} \cdot E \text{ (lx)} = \frac{E}{\pi} \quad (8.17)$$

şeklindedir. (8.16) ve (8.17) bağıntılarından;

$$L = \frac{q' \cdot E}{\pi} \quad (8.18)$$

elde edilir. Bağıntıyı basitleştirmek amacı ile;

$$q = \frac{q'}{\pi} = \frac{L}{E} \quad (8.19)$$

olarak tanımlanır.  $q$  ya yol aydınlatmasında "Parıltı Faktörü" adı verilir.

Yol yüzeyleri, bileşimlerindeki maddelerin fiziksel özellik-

lerine (renk, boyut, biçim vb.) ıslak ve kuru oluşlarına ve yol'un kullanım süresine (yaşına) bağlı olarak, değişik yansıtma özellikleri gösterirler. Bu durumda

$$L = q.E$$

bağıntısı tam doğru sonuç vermez.

Yol yüzeyi ince yapılı malzeme içeriyorsa, kuru halde yayıcı yansıtma özelliği gösterdiği halde, yüzeydeki küçük pürüzler ıslanıp su ile dolduğu zaman aynasal yansıtma özelliği gösterir. Buna karşılık yol yüzeyi kaba yapılı malzeme içeriyorsa, kuru halde yayıcı yansıtma özelliği gösteriyorsa ıslak halde de yüzeyin kaba olan pürüzleri, ıslandığı zaman su ile tamamen dolmayacağı için, yüzey hala yayıcı yansıtma özelliği gösterebilir.

Yol yüzeylerinin içerdikleri malzemelerin renkleri de yol aydınlatmasında verimlilik bakımından oldukça önemlidir. Açık renkli malzeme içeren yol yüzeyleri kullanılarak, aynı aydınlık düzeyi için, koyu renkli malzeme içeren yol yüzeylerine göre daha yüksek parlaltılar elde edilebilir. [8, 10]

### 8.2.2. Yol Yüzeylerinin Sınıflandırılması:

Yol yüzeyindeki parlaltı dağılımını hesaplayabilmek için, yol yüzeyinin indirgenmiş parlaltı faktörü için verilmiş eşdeğer konular diyagramı (EP diyagramı), sabit konular diyagramı (CP diyagramı) veya  $\gamma$  ve  $\beta$ 'nin çeşitli değerleri için  $r(\tan \gamma, \beta)$  değerlerini veren yansıtma tablosu gereklidir.

Parlaltı yönteminin uygulamadaki esas zorluğu, bir yol yüzeyine ilişkin yansıtma tablosunu oluşturmaktır. Numerik hesaplar (özellikle bilgisayar yardımı ile yapılan hesaplar) için 1 yol yüzeyine ait  $r$  değerleri standart tablolar halinde verilirler. ( $r$  tabloları) Ayrıca bölüm 8.2.2.'de EP ve CP diyagramının elde edilişi açıklanacaktır.

Yol yüzeylerinin yansıtma özelliklerini belirleyebilmek ve yol yüzeylerinin sınıflandırabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Halen kullanılmakta olan CIE tarafından da tavsiye edilen bazı yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- 1)de BOER, WESTERMANN, VERMEULEN

- 2)RANGE'e göre belirlenen yöntemi
- 3)ROCK/SMIATEK'e göre belirleme yöntemi
- 4)MASSART'a göre belirleme yöntemi
- 5)ERBAY'a göre belirleme yöntemi

Bu belirleme yöntemlerine göre yol yüzeyleri standart sınıflara ayrılabilir.

### 8.2.3. Yol Yüzeyi Parıltısının Grafik Yöntem ile Hesaplanması:

#### 8.2.3.1. Kullanılan Diyagramlar:

Grafik yöntem ile yol üzerindeki bir noktanın parıltısının hesaplanmasında kullanılan çeşitli diyagramlar şunlardır:

1)Eş Işık Şiddeti Diyagramı: Bir yol aydınlatma aygıtının yol üzerindeki ışık dağılımı hakkında tam bilgi sahibi olmak için bu aygıta ilişkin diyagramın bilinmesi gerekir. Bu diyagram, yatay bir düzlemden h yüksekliğindeki aygıt için, düzlem üzerinde aygıttan eş şiddette ışık alan noktaların birleştirilmesi ile elde edilir.

2)Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramı:

(bkz. bölüm 8.1.1.)

3)EP ve CP Diyagramı: Bütün doğrultularda ışık şiddeti sabit olan h yüksekliğindeki bir aygıtın, yol yüzeyindeki bir P noktasına aynı parıltıyı oluşturan konumları birleştirilirse r değeri için "Eşdeğer Konumlar Diyagramı, EP diyagramı" elde edilir.

Eğer tüm doğrultularda ışık şiddeti sabit olan h yüksekliğindeki bir aygıt, yol yüzeyindeki P noktasının üzerinde olursa ve yol yüzeyindeki eş parıltılı noktalar birleştirilirse, bu durumda "Sabit Konumlar Diyagramı, CP diyagramı" elde edilir. CP diyagramı ile EP diyagramı gerçekte birbirlerinden farklı değildirler, sadece gözlemcinin bakış yönü değişiktir.

4-Eş Parıltı Diyagramı: Yol üzerindeki bir P noktasının parıltısının 8.11 formülü ile hesaplandığı bölüm 8.2'de anlatılmıştır. Bu formül yardımı ile yol üzerindeki birçok noktanın parıltısı hesaplanır ve belirli bir h ölçeğinde çizilmiş olan yol planı üzerinde eş parıltılı noktalar birleştirilirse "Eş Parıltı Diyagramı" elde edilir. Aygıtların ışık dağılımına ve yol yüzeylerini yansıtma özelliklerine bağlı olan bu diyagramlar ait

oldukları aygıtla ilişkin fotometrik veri kağıtlarında standart yol yüzeyleri için ayrı ayrı ve diyagramdaki eş parıltı eğrileri, maksimum parıltının yüzdeleri olarak verilirler.

### 8.2.3.2. Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramı ve EP Diyagramı Yardımıyla Parıltı Hesabı

1. EP diyagramı ile aynı h ölçeğinde bir yol planı çizilir ve yoldaki aydınlatma düzenine göre aygıtların izleri bu yol planı üzerinde işaretlenir.

2. EP diyagramı saydam bir kağıda (örneğin aydınlatma kağıdı) çizilir ve yol planı üzerine merkezi parıltısı hesaplanacak P noktası ile çakışacak şekilde konur ve ekseni gözlemciden geçecek şekilde döndürülür.

3. Aygıtların izleri olan noktalardaki q değerleri EP diyagramından okunur.

4. Eş Aydınlik düzeyi Diyagramı ile aynı h ölçeğinde diğer bir yol planı çizilir ve yine aygıtların izleri bu yol planı üzerinde işaretlenir. Eğer EP diyagramı ile Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramının ölçekleri aynı ise bir tek yol planı yeterli olur.

5. Eş Aydınlik Düzeyi diyagramı da saydam bir kağıda çizilir ve kendisi ile aynı h ölçeğinde çizilmiş olan yol planı üzerine, merkezi P noktasına en yakın aygıt'ın izi ile çakışacak ve ekseni de yolun boyuna eksene paralel olacak şekilde konur.

6. P noktasında bu aygıtın oluşturduğu aydınlık düzeyi değeri okunur. Bundan sonra Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramının merkezi, yol üzerindeki diğer aygıtların izleri ile de benzer şekilde çakıştırılacak her bir aygıt'ın P noktasında oluşturduğu kısmi aydınlık düzeyi değeri okunur. Ancak bu işlem fazla zaman alır ve pratik değildir. Bunun yerine P noktasından itibaren P noktasının her iki tarafında ve P noktasından geçen, yolun boyuna eksene paralel doğrultu üzerinde, iki aygıt arası açıklık a olmak üzere; a, 2a, 3a, ... uzaklıkta, p', p'', p''', ... yardımcı noktaları işaretlenir. Bu şekilde Eş Aydınlik Düzeyi Diyagramının merkezinin P noktasına en yakın aygıtın izi ile yukarıda açıklandığı gibi bir defa çakıştırılması ile diğer aygıtların da P noktasında oluştur-

dukları kısmi aydınlık düzeyi değerleri okunabilir.

7. Her bir aygıt için bulunan q ve E değerleri çarpılarak

$$L_i = q_i \cdot E_i$$

bağıntısı uyarınca, aygıtların P noktasında oluşturdukları kısmi parıltı değerleri ve P noktasındaki parıltı değeri

$$L_p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot E_i$$

olarak bulunur.

#### 8.2.4. Yol Yüzeyi Parıltısının Nümerik Yöntem ile Hesaplanması

##### 8.2.4.1. Bilgisayar Yardımı ile Yol Aydınlatma Hesabı

Sürücünün görüş alanındaki Ortalama Yol Yüzeyi Parıltısının, Parıltı Dağılımının, Düzgünlük Değerlerinin ve Kamaşmanın hesaplanması günümüzde bilgisayar yardımı ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Böyle bir hesaplamanın bilgisayar'a yaptırılabilmesi için genel olarak aşağıdaki bilgilerin bilinmesine ve bilgisayar'a verilmesine gerek vardır.

1. Aydınlatma Düzeni'ne ilişkin bilgiler:

Aygıtların yerleştirme düzeni,

Aygıtlar arası açıklık

Aygıt Yüksekliği

Aygıtların izlerinin yol kenarına uzaklığı

2. Aygıtlara İlişkin bilgiler:

Kullanılan ışık kaynağının ışık akısı ve eskime faktörü

Aygıtın ışık dağılım tablosu

Aygıt eğim açısı

3. Yol'a ilişkin bilgiler:

Yol genişliği

Yoldaki şerit sayısı

Bir şerit'in genişliği

Refüj olup olmadığı, varsa refüj genişliği

Yol dönüşü olması halinde yolun eğrilik yarıçapı

Yol yüzeyinin yansıtma tablosu

4. Gözlemciye-ilişkin bilgiler:

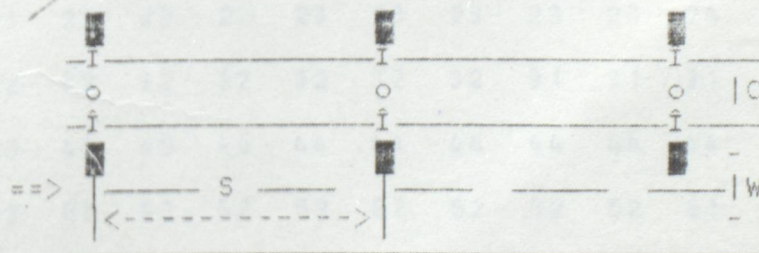
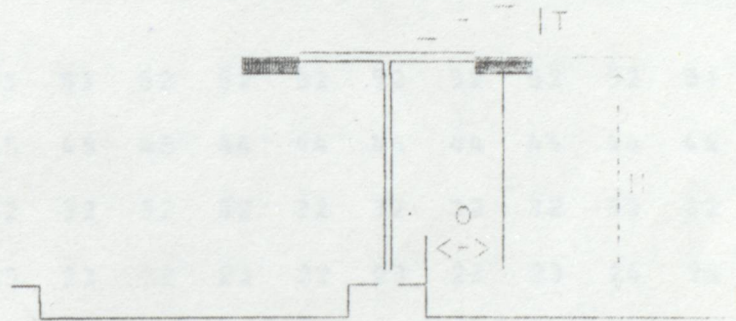
Gözlemci konumu

Date : 1991/0

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting De  
 Lighting Design and Engineering Centre | R.O.A.D 2.01 Spring  
 Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek.lisans tezi  
 Project number : 1  
 Designer : ramazan yuksel

Type of arrangement : Central  
 Type of road surface : Asphalt CIE R3  
 Luminance coeff.(q0) : 0.07  
 Luminaire type : SGS 202/T400  
 Lamp type : SONT 400W  
 Flux : 47.00 kLumen  
 Measuring code : LVW 4106  
 Maintenance factor : 1.00



Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [Deg.]	Width [m]	Number of lanes	C
0	50.00	15.00	15.00	3.75	3	0.00

PHILIPS LIGHTING B.V.  
Lighting Design and Engineering Centre  
Computer Aided Lighting Design

Date : 1991/02/

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Design  
Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring  
Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tez  
Object number : 1

Horizontal illuminance in Lux (maintainance)

	* lane				* lane				* lane						
X[m]	0.1	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6
Y[m]															
50.0	54	54	53	53	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51	51
45.0	45	45	45	45	45	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
40.0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
35.0	23	23	23	23	23	23	22	23	23	23	24	24	24	24	24
30.0	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	19
25.0	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	18
20.0	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19
15.0	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24
10.0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	31	31	31	32	32
5.0	45	45	45	45	45	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
0.0	54	54	53	53	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51	51

Average : 30 lux  
Min/Max : 0.28  
Min/Average : 0.49

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Desi  
 Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring 19  
 Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tezi  
 Project number : 1  
 Designer : ramazan yüksel

Luminance distribution in cd/sqm towards observer (maintained)

Observer position: X= 2.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	* lane				* lane				* lane				*		
* X[m]	0.1	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6
Y[m]															
50.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
45.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9
40.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
35.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1
30.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1
25.0	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2
20.0	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3
15.0	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3
10.0	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1
5.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0
0.0	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0

Average : 2.3 cd/sqm

U0 : 0.86

G : 7.4

Observer position:

UL : 0.80 X= 0.6 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

UL : 0.79 X= 1.9 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

UL : 0.80 X= 3.1 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

TI [%] : 8.2 X= 2.8 [m] Y= -87.1 [m] Z= 1.5 [m]

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting  
 Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring  
 Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tezi  
 Project number : 1  
 Designer : ramazan yüksel

Semi-cylindrical illuminance in lux (maintained)

	* lane				* - lane				* lane						
X[m]	0.1	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7
50.0	1.7	1.7	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3	3.7	4.1	4.4	4.7	5.1	5.5	5.8	6.1
45.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	3.0
40.0	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
35.0	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1
30.0	8.1	8.1	8.0	8.0	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
25.0	9.0	8.9	8.9	8.9	9.1	9.2	9.3	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0	10.1	10.1
20.0	11.0	11.0	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2
15.0	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.7	13.9	14.1	14.2	14.4	14.5	14.6	14.7	14.7
10.0	15.4	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.4	15.5	15.7	15.8	16.0	16.0	16.0
5.0	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.5	13.5	13.5
0.0	1.7	1.7	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3	3.7	4.0	4.4	4.7	5.1	5.4	5.8	6.1

Height of the calculation grid : 1.5 [m]  
 Aiming direction of the cylinders : along the road

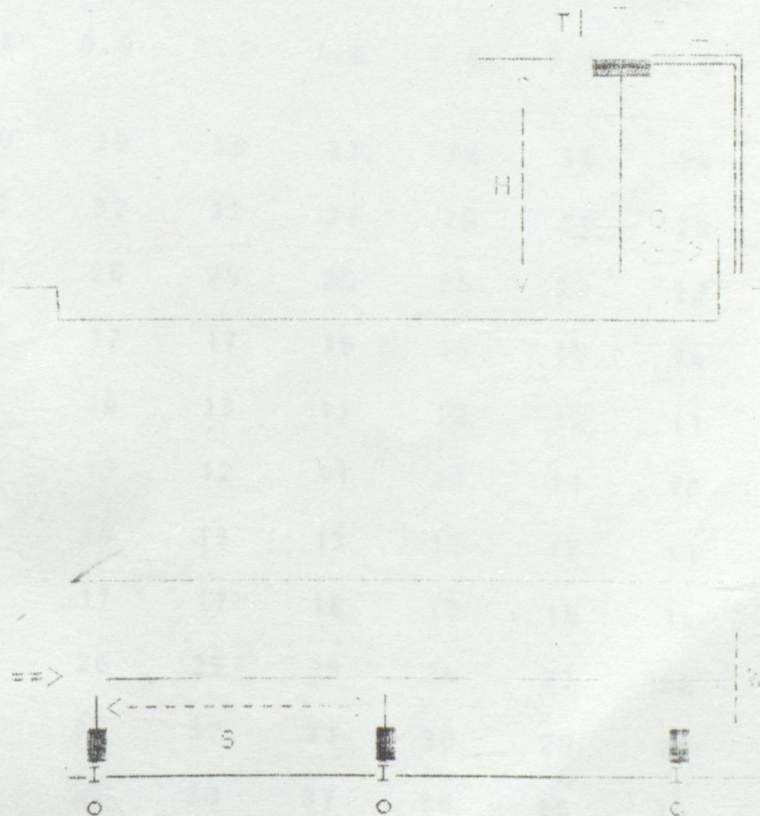
PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Design  
 Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01. Spring 1990  
 Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tezi  
 Project number : 2  
 Designer : ramazan yükse1

Type of arrangement : Single-sided right  
 Type of road surface : Asphalt CIE R3  
 Luminance coeff.(q0) : 0.07  
 Luminaire type : SGS 201/250-1500  
 Lamp type : SON 250W  
 Flux : 25.00 kLumen  
 Measuring code : LVO 7104  
 Maintenance factor : 1.00

Horizontal Illuminance

x(m)	0.2	0.5	1.0	2.0
40.0	40	40	39	38
35.0	33	33	32	31
30.0	27	27	26	25
25.0	21	21	20	19
20.0	15	15	14	13
15.0	9	9	8	7
10.0	3	3	2	1



Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [Deg.]	Width [m]	Number of lanes
0.50	40.00	12.00	15.00	3.50	2

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Design  
Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring 1991  
Computer Aided Lighting Design - 2 - Philips Lighting B.V. Date : 1991/02/

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Design  
Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring 1991  
Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tezi  
Project number : 2  
Designer : ramazan yüksel

Horizontal illuminance in Lux (maintained)

	lane					lane				
X[m]	0.2	0.5	0.9	1.2	1.6	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3
40.0	40	40	39	38	37	36	35	34	32	31
36.0	33	33	32	32	31	30	29	28	27	26
32.0	27	27	26	25	25	24	23	22	21	20
28.0	18	18	17	17	16	15	15	14	14	13
24.0	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10
20.0	13	13	12	12	11	11	11	10	10	9
16.0	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10
12.0	18	18	17	17	16	15	15	14	14	13
8.0	27	27	26	25	25	24	23	22	21	20
4.0	33	33	32	32	31	30	29	28	27	26
0.0	40	40	39	38	37	36	35	34	32	31

Average : 21 lux  
Min/Max : 0.23  
Min/Average : 0.43

```

=====
PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting De
Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring
Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.
=====

```

```

Project name      : yüksek lisans tezi
Project number    : 2
Designer          : ramazan yuksele
=====

```

Luminance distribution in cd/sqm towards observer (maintained)

Observer position: X= 2.6 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	*	lane					*	lane					*
X[m]	0.2	0.5	0.9	1.2	1.6	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3			
40.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3			
36.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3			
32.0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4			
28.0	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4			
24.0	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4			
20.0	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4			
16.0	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3			
12.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2			
8.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2			
4.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2			
0.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3			

```

Average          : 1.4 cd/sqm
U0               : 0.01

```

```

G               : 6.6

```

Observer position:

```

UL              : 0.01 X= 0.9 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
UL              : 0.02 X= 2.6 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
TI [%]         : 4.5 X= 2.6 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

```

### 9. TÜNEL AYDINLATMASI

Özellikle bütün dünyadaki yol aydınlatma uygulamaları kaliteyi yükseltme ve seyahat güvenliğini sağlamak amacıyla olmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda - 4 - Date : 1991/0

PHILIPS LIGHTING B.V. | Computer Aided Lighting Design and Engineering Centre | R O A D 2.01 Spring Computer Aided Lighting Design | Philips Lighting B.V.

Project name : yüksek lisans tezi  
Project number : 2  
Designer : ramazan yüksek

Semi-cylindrical illuminance in lux (maintained)

#### 9.1. Tünel Aydınlatmasının Amacı ve Özellikleri

	* lane					* lane					*
X[m]	0.2	0.5	0.9	1.2	1.6	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3	
Y[m]											
40.0	5.6	4.9	4.2	3.6	3.0	2.4	1.8	1.2	0.7	1.0	
36.0	2.7	2.4	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	
32.0	2.3	2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	
28.0	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	
24.0	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.5	
20.0	7.6	7.3	7.1	6.8	6.5	6.3	6.0	5.7	5.4	5.1	
16.0	10.5	10.2	9.9	9.5	9.2	8.8	8.4	7.9	7.5	7.1	
12.0	13.2	12.8	12.4	11.9	11.4	10.9	10.4	9.9	9.4	8.8	
8.0	15.7	15.2	14.7	14.2	13.6	13.0	12.4	11.7	11.0	10.4	
4.0	11.8	11.4	11.0	10.6	10.1	9.7	9.3	9.0	8.7	8.3	
0.0	5.6	4.9	4.2	3.6	3.0	2.3	1.8	1.2	0.7	1.0	

Height of the calculation grid : 1,5 [m]  
Aiming direction of the cylinders : along the road

## 9. TÜNEL AYDINLATMASI

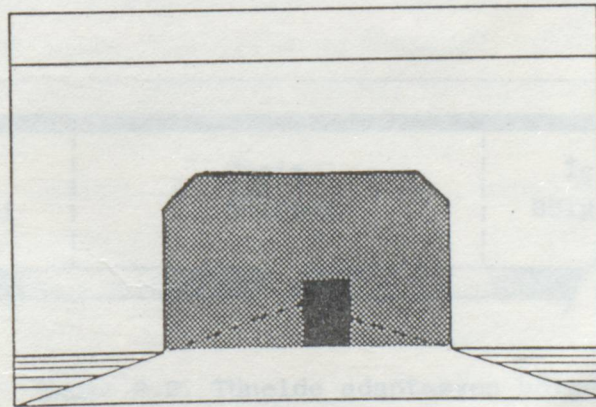
Günümüzde, bütün dünyadaki yol ağlarında iyileştirme, kaliteyi yükseltme ve seyahat mesafesini kısaltmak söz konusu olmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda aynı sebeplerle Otoyol yapımı hızlandırılmış ve kısa zamanda hizmete sokulmaya başlanmıştır.

Yoldaki seyahat mesafesini kısaltmak ve sürücüyü zorlayıcı, rahatsız edici rampalar azaltmak için yol güzergahındaki engeller (dağ, tepe vb.) yüzeyden değil, bu engeller içinde tünel açılarak geçilmektedir. Böylece yol güzergahı üzerindeki tünel sayıları artmakta ve bu tünellerin de gece ve gündüz esnasında aydınlatılmaları gerekmektedir.

### 9.1. Tünel Aydınlatmasının Amacı ve Gerekliliği:

Tünel aydınlatmasının temel amacı, seyahat esnasında yolun sürücüye sağladığı güvenlik ve konfor derecesini, gece ve gündüz esnasında tünele yaklaşan, tünelden geçen ve tünelden ayrılan sürücüye de aynı şekilde sağlamaktır.

Gündüz saatleri esnasında tünel girişine yaklaşan sürücünün gözleri yüksek gün ışığı aydınlık seviyesine adapte olmuştur. Tünel uzun ve tünelin içindeki aydınlık dışardakinden çok düşükse tünel girişi dışarıdan "kara delik" olarak görünür ve içerideki detaylar görülemez. (Şekil 9.1).



Şekil 9.1. Uzun bir tünelin girişinde karadelik etkisi.

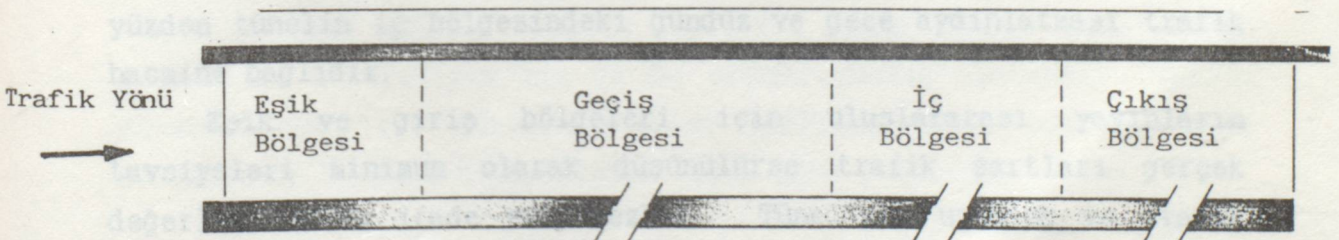
Yaklaşan sürücüye tünel içindeki görülebilir yapmak önemlidir. Bunu için tünel girişindeki aydınlanma seviyesi artırılmalıdır. Şayet aydınlanma seviyesi gerekenden düşük olursa güvenlik derecesi sağlanamaz. Bu durumda düşük aydınlanma seviyesine girilirken kara delik görüntüsünün vermiş olduğu psikolojik etkiden dolayı ve giriş bölgesinde herhangi bir engel olması durumunda sürücü ani olarak fren yapar. Bu sebeple istenmeyen durumlara, kazalara ve trafik yoğunluğuna sebep olunur.[1]

İstenilen görme koşullarını yerine getirebilmek, güvenlik ve konfor derecesini sağlayabilmek için tünel girişinde ve tünel içinde aydınlatmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

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

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

### 9.1.1. Adaptasyon Bölgeleri



Şekil 9.2. Tünelde adaptasyon bölgeleri.

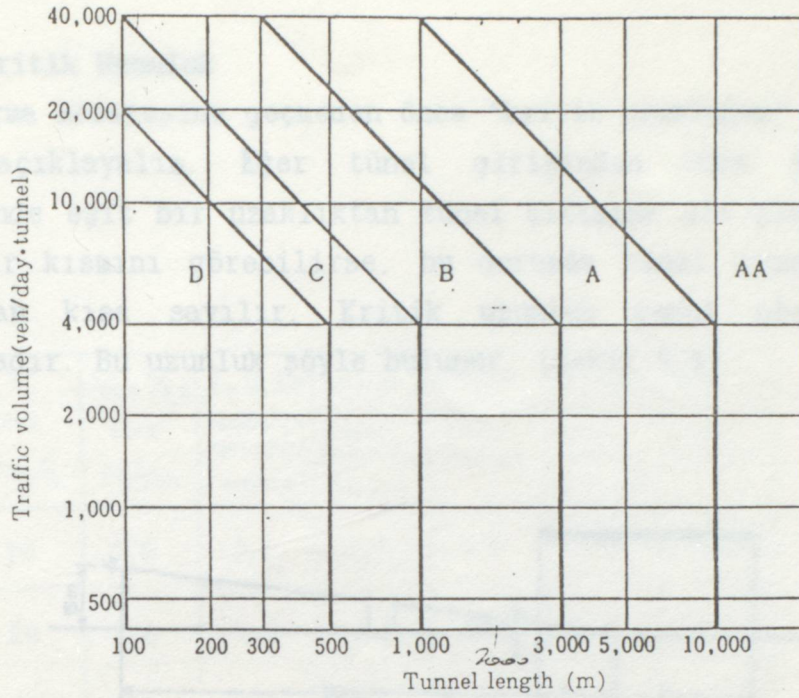
Kritik uzunluktan daha uzun tünellerde gündüz aydınlatması, gece aydınlatmasına göre çok daha ağır koşulları yerine getirmek zorundadır. Gündüzün aydınlatma sorunu adaptasyonla ilgilidir. Yani gündüz parıltısına adapte olmuş insan gözü, birdenbire tünel girişindeki çok düşük parıltı düzeyine girince karanlık adaptasyonu sebebiyle 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. Bu sistemdeki bir aydınlatmanın yapılabilmesi için tünel girişi ve içi adaptasyon bölgeleri şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu bölgeler aşağıdadır. [1, 16]

- 1)Giriş bölgesi (Access Zone)
- 2)Eşik bölgesi (Threshold Zone)
- 3)Geçiş bölgesi (Transition Zone)
- 4)İç bölge (Interior Zone)
- 5)Çıkış bölgesi (Exit Zone)

## 9.2. Trafik, Yol Şartları ve Tünel Uzunluğu

Araç kullanma (sürme) işinin zorluk derecesi genel olarak bir yolda yapılan hızdan, trafiğin hacminden, yol çevresi ve kompozisyonundan etkilenir. Bu zorluk, trafik hacmindeki artış, hızdaki artış ile, yol çeşitliliği ve çevresinin karışıklığı ile artar. Trafik hacmi hız ve yol düzeni ile ilişkilendirilebilir. Bir tünel içindeki trafik hacmi özellikle potansiyel tehlikeye sebeptir. Bu yüzden tünelin iç bölgesindeki gündüz ve gece aydınlatması trafik hacmine bağlıdır.

Eşik ve giriş bölgeleri için uluslararası yayınların tavsiyeleri minimum olarak düşünülürse trafik şartları gerçek değerler olarak ifade edilemezler. Tünelleri uzunluk ve trafik yoğunluklarına göre beş sınıfa ayırabiliriz. Şekil 9.3'teki grafikte bu sınıflandırmanın nasıl yapıldığı görülmektedir. [16, 17, 21]



Şekil 9.3. Tünel sınıflarının tesbitine ilişkin grafik (AA, A, B, C, D sınıfları)

### 9.2.1. Hız ve Görüş:

Tünel aydınlatması, hız ile veya özellikle proje hızı ile ilgili olduğu kadar görüş şartları üzerinde de fevkalade önemlidir.

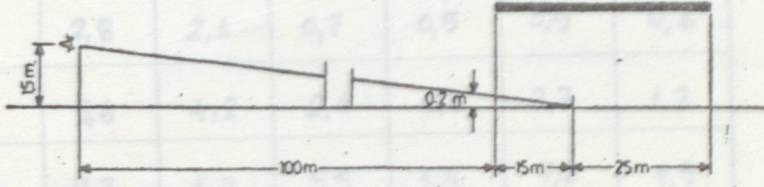
Proje hızı ne kadar yüksekse durma mesafesi de o oranda büyümektedir. Giriş bölgesi (access zone) içindeki bir sürücü için bunun anlamı şudur. Tünele girildiği anda görüş mesafesinin yüksekliği dolayısıyla hız da bu oranda yüksek olacaktır. Tünele girmekte olan bir sürücünün tünel girişinde hava tabakası daha geniştir ve bu yüzden atmosferik ışınma daha yorucudur.

Yüksek proje hızı ile birlikte görüşteki bu negatif faktörleri telafi edebilmek için daha büyük durma mesafelerinde giriş (entrance) ve eşik (threshold) bölgeleri arasındaki  $L_{th}/L_{20}$  oranı daha yüksek olmak zorundadır.

Duruş mesafesi ve hız arasındaki gerçek ilişki dikkate alınan yerel trafik kanunlarına, örneğin izin verilen minimum ve maksimum hıza, yol yüzeyinin tipine, hava sıcaklığı gibi şartlara bağlıdır.

### 9.2.2. Kritik Uzunluk

Durma mesafesine geçmeden önce "kritik uzunluğun" ne olduğunu kısaca açıklayalım. Eğer tünel girişinden önce sürücü fren mesafesinde eşit bir uzaklıktan tünel çıkışına ait görüş alanının geniş bir kısmını görebilirse, bu durumda tünel uzunluğu kritik uzunluktan kısa sayılır. Kritik uzunluk genel olarak 40 m. civarındadır. Bu uzunluk şöyle bulunur. (Şekil 9.4)



Şekil 9.4. Kritik uzunluğun saptanması.

Gündüzün bir tünele girişte, tünel çıkışından takriben 25 m içerideki aydınlık düzeyi, bir cismin görülmesine yeter kabul edilir. Aydınlatılmış yol kaplaması 20 cm standard yükseklikteki bir cismin üst kısmının tünel girişinden 100 m. mesafeden ve 1,5 m yükseklikten görmeye imkan verir. Böylece cisimden, tünelin çıkışı tarafından aydınlatılan kısma kadar olan mesafe 15 m'dir. Bu 40 m kuralı, yalnız düz ve trafik yoğunluğu çok yüksek olmayan tüneller için geçerlidir. Eğer tünelde viraj varsa veya tünelin trafik yoğunluğu çok yüksekse, o zaman tünelin kısa da olsa aydınlatması gerekir. [1, 16]

### 9.2.3. Durma Mesafesi:

Tünele yaklaşan sürücüler herhangi bir engel halinde zamanında durabilmelidir. Güvenli durma mesafesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. (Tablo 9.1) [16]

Reaksiyon mesafesi (d) =  $V_0 \cdot t_r$

Durma mesafesi =  $(V_0 \cdot t_r + \frac{V_0^2}{2a})$

D = Ortalama fren ivmesi

otomobil için mesafe için  $t_r = 0,6$

V Hız km/h	$V_0 = \frac{V}{3,6}$ Hız m/san	d = $V_0 \cdot t_r$ reaksiyon mesafesi (metre)	KURU ASFALT		STABİLİZE	
			fren mesafe f = 0,6	fren zamanı	fren mesafe f = 0,45	fren zamanı
10	2,8	2,1	0,7	0,5	0,9	0,6
20	5,6	4,2	2,6	0,9	3,7	1,3
30	8,3	6,3	5,9	1,4	7,8	1,9
40	11,1	8,4	10,4	1,9	13,9	2,5
50	13,9	10,5	16,3	2,4	21,7	3,2
60	16,7	12,5	23,4	2,8	31,3	3,8
70	19,4	14,6	31,9	3,3	42,5	4,4
80	22,2	16,7	41,7	3,8	55,6	5,0
90	25,0	18,8	52,7	4,3	70,3	5,7
100	27,8	20,8	65,1	4,7	86,8	6,3
110	30,6	22,9	78,8	5,2	105,0	6,9
120	33,3	25,0	93,8	5,7	125,0	7,6

Tablo 9.1.

Reaksiyon mesafesi (d) =  $V_0 \times 0,75$

$$\text{Durma mesafesi} = (V_0 t_r + \frac{V_0^2}{2b})$$

b = Ortalama fren ivmesi

otomobil, ağır vasıta için  $b=4 \text{ m/s}^2$

römork ve traktör için  $b=2,5 \text{ m/s}^2$

80 km/h için hesaplama yapılırsa

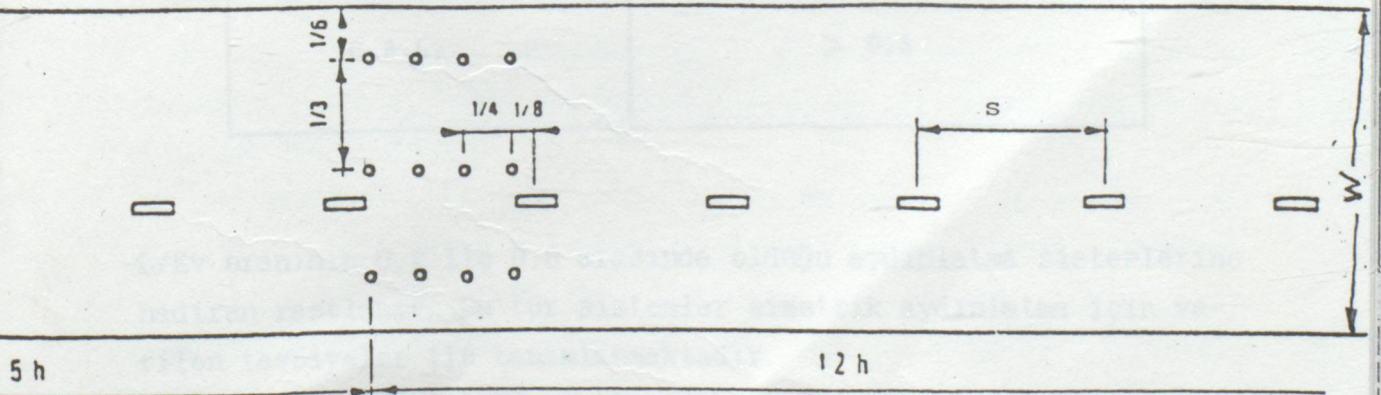
$$\text{Durma mesafesi} = 22,2 \times 0,75 + \frac{(22,2)^2}{2 \times 4} = 16,65 + 61,60 \approx 78,25$$

80 km/h için durma mesafesi 78,25 m.dir.

### 9.3. Aydınlatma Sistemi ve Kontrast

Yol üzerindeki bir obje ile onun gerisindeki gölgesi arasındaki parıltı kontrastı ne kadar yüksek ise objenin görünebilirliği o ölçüde iyi olacaktır. Parıltı kontrastı özellikle objelerin yansıtma özelliğine, yol yüzeyi ve tünel çeperlerine, ayrıca kullanılan aydınlatma sisteminin tipine bağlıdır.

Yüksek yol yüzeyi parıltısı (L) üreten bir aydınlatma sistemi ve düşük dikey aydınlanma Ev (yüksek L/Ev oranı gibi) çoğu objeler için yüksek kontrast değeri verir. Böyle bir sistem ancak ışık



Şekil 9.5. L/Ev oranının tesbiti

s= Işık kaynakları arasındaki mesafe.

w= Trafik şeridinin genişliği.

dağılımının boyuna asimetric ve tercihen sürücüyle dik olarak gelmesi durumunda elde edilir. Bu sistem "Karşılıklı ışınma aydınlatması (Counter Beam Lighting)" olarak isimlendirilir. Aydınlatma sisteminin asimetri derecesi düzenli bir şebeke üzerinde elde edilen L/Ev oranının minimum değeri olarak tanımlanır. Düşey aydınlanma yaklaşan sürücülerin yüzlerine yol yüzeyinden yaklaşık 10 cm yukarıdan itibaren görülür. Düzenli bir şebekede bitişik iki armatür arasında bir şeritte enine 3, boyuna her bir sırada 4 adet olmak üzere 12 nokta ile aydınlatılacaktır. (Şekil 9.5)

L/Ev oranının hesabı için dikkate alınan her hesap noktasının önünde 5h kadar, arkasında ise 12h kadar bir mesafe düşünülür. (Şekil 9.5) L/Ev oranının hesabında şebeke ve armatürler dikkate alınır. L/Ev oranı iki tip aydınlatma sistemi için aşağıdaki şekildedir. (Tablo 9.2)

Tablo 9.2. Aydınlatma sisteminin belirlenmesi.

Aydınlatma Sistemi	L/E <sub>v</sub> Oranı
"symmetrical"	≤ 0.2
C.B.L.	≥ 0.6

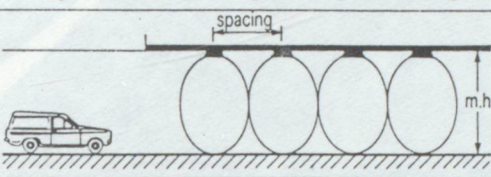
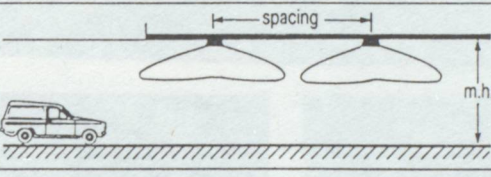
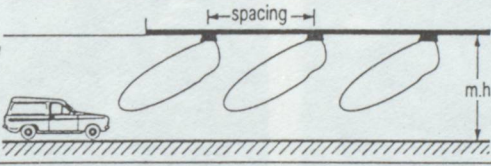
-L/Ev oranının 0,2 ile 0,6 arasında olduğu aydınlatma sistemlerine nadiren rastlanır. Bu tür sistemler simetrik aydınlatma için verilen tavsiyeler ile tanımlanmaktadır.

-Fotometrik değerler olarak alınan L ve Ev yalnız suni aydınlatma-

ların uygulanmasında dikkate alınırlar. [16]

### 9.3.1. Optikal Sistemler ve Işığın Dağılımı:

Optikal sistemler ışığın dağılım şekli ile ilgilidir. Tünel aydınlatmasında ışığın dağılımı biçimi üç şekilde olabilir. (Şekil 9.6)

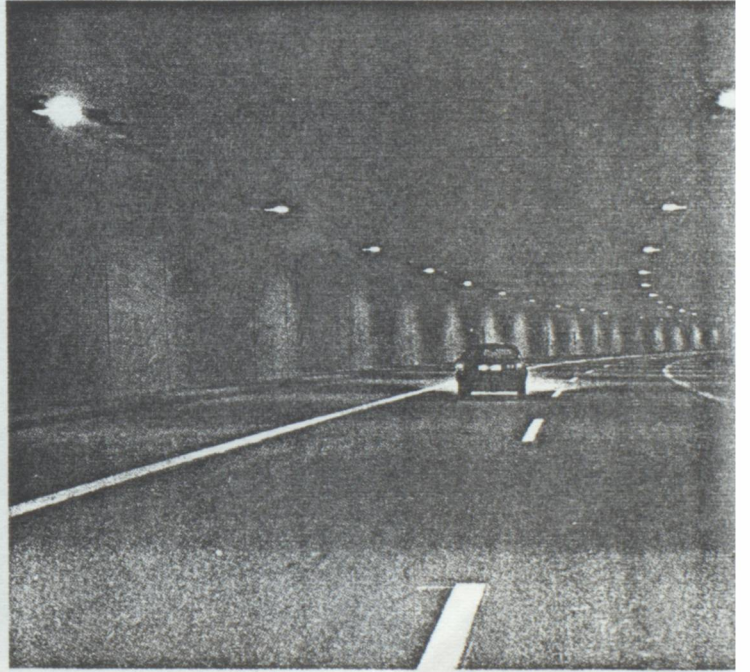
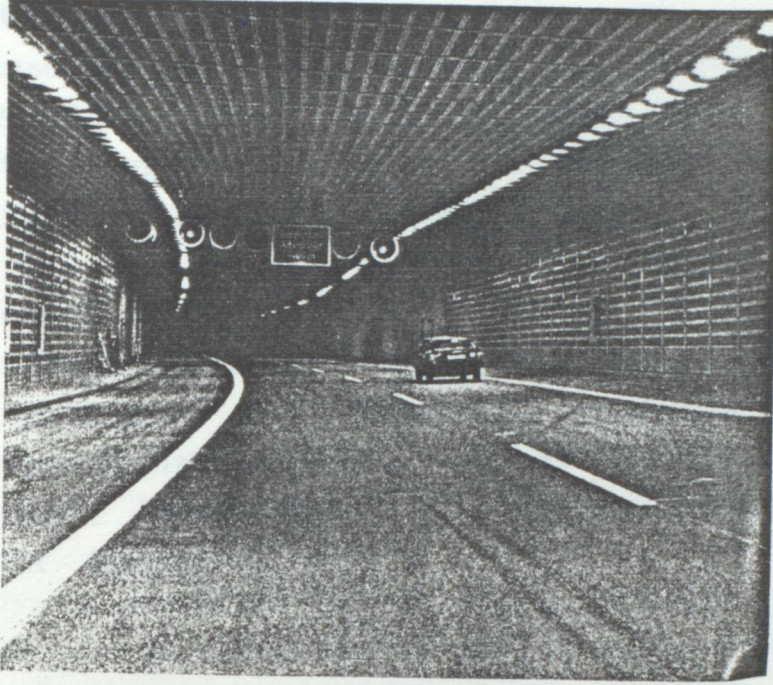
Işık kaynaklarının yerleştirilişi.		max. sp/m.h. ratio	preferred lamp type	efficiency cd/W ( $q_0=0.1$ )
transverse		1.5	TLD SOX-E	2.0 4.0
		2.0	SON-T	2.8
longitudinal		3.5	SOX-E	4.5
		4	SON-T	3.5-4
countercast		2-2.5	SON-T	4.5

Şekil 9.6. Işığın dağılımı.

#### a) Transverse:

Burada aydınlatma, tünelin eksenine dik açı şeklinde ışık yayar. Bu tip ışık dağılımı için en iyi bilinen armatürler fluoreasn tüplerdir. Bu tip optikal sistemde fluoreasan tüp ve sox kullanmak çok uygundur.

Bu sistemin avantajları iyi görüş sağlaması, minimum kamaşma aydınlığın araçların içine işlemesi ve basit anahtar düzenlemelerdir. Dezavantajlar ise daha çok armatür ihtiyacı ve dikkatli bir şekilde planlama yapılmazsa titreme (flicker) etkisinin varolmasıdır.



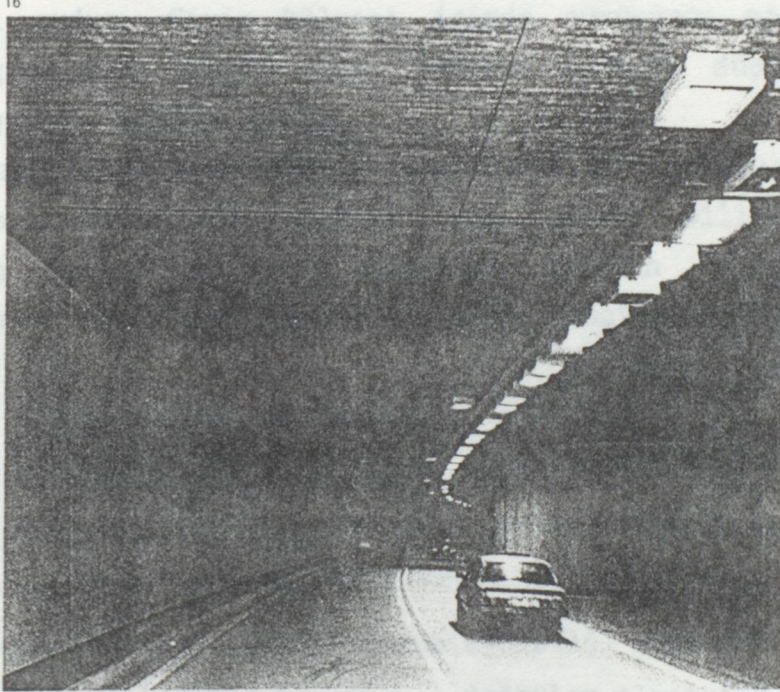
Şekil 9.7 a,b,c. Almanya'da yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılan Birth-Velbert Tüneli.  
a) Eşik bölgesi  
b), c) Geçiş bölgesi

**b) Longitudinal:**

Burada aydınlatma daha çok ışık saçır ve tünel eksenine daha az paraleldir. Buradaki optikal sistemde SONT-T gibi noktasal aydınlatma kaynakları kullanmak çok uygundur. Ayrıca sox gibi lineer ile de kullanılabilir. (Şekil 9.7a,b,c)

**c) Countercast:**

Buradaki aydınlatmada trafik akış yönüne ve tünel eksenine karşı ışık saçılır. Bu tip aydınlatma ile kamaşma yaratılmaksızın yol üzerine maksimum aydınlanma üretilir. Yoldaki objeler kontrast ile görülür. Burada SONT-T gibi nokta aydınlatma kaynakları kullanılır. (Şekil 9.7d)



Şekil 9.7.d. Countercast aydınlatmasına bir örnek.

Bu aydınlatmanın avantajları yüksek verimdir. Dezavantajlar ise kara delik etkisi yaratması, kamaşma, gölge ve düzgün olmayan duvar aydınlığına sebep olmasıdır. [18]

#### 9.4. Adaptasyon Bölgeleri ve Aydınlık Seviyesi:

(bkz. Şekil 9.8)

##### 9.4.1. Giriş Bölgesi: (Entrance Zone)

Giriş bölgesi mevcut yola hemen bitişen tünelin giriş kısmıdır ki tünele yaklaşan sürücüler tünelin içini kısmen görebilmelidir ve herhangi bir engel halinde zamanında durabilmelidir. Engeller ve onun fonu arasındaki aydınlanma kontrastı, objelerin görülebilmesi için yeterli olmalı ve mesafe aracın durma mesafesine eşit veya daha büyük olacak şekilde kafi derecede olmalıdır.

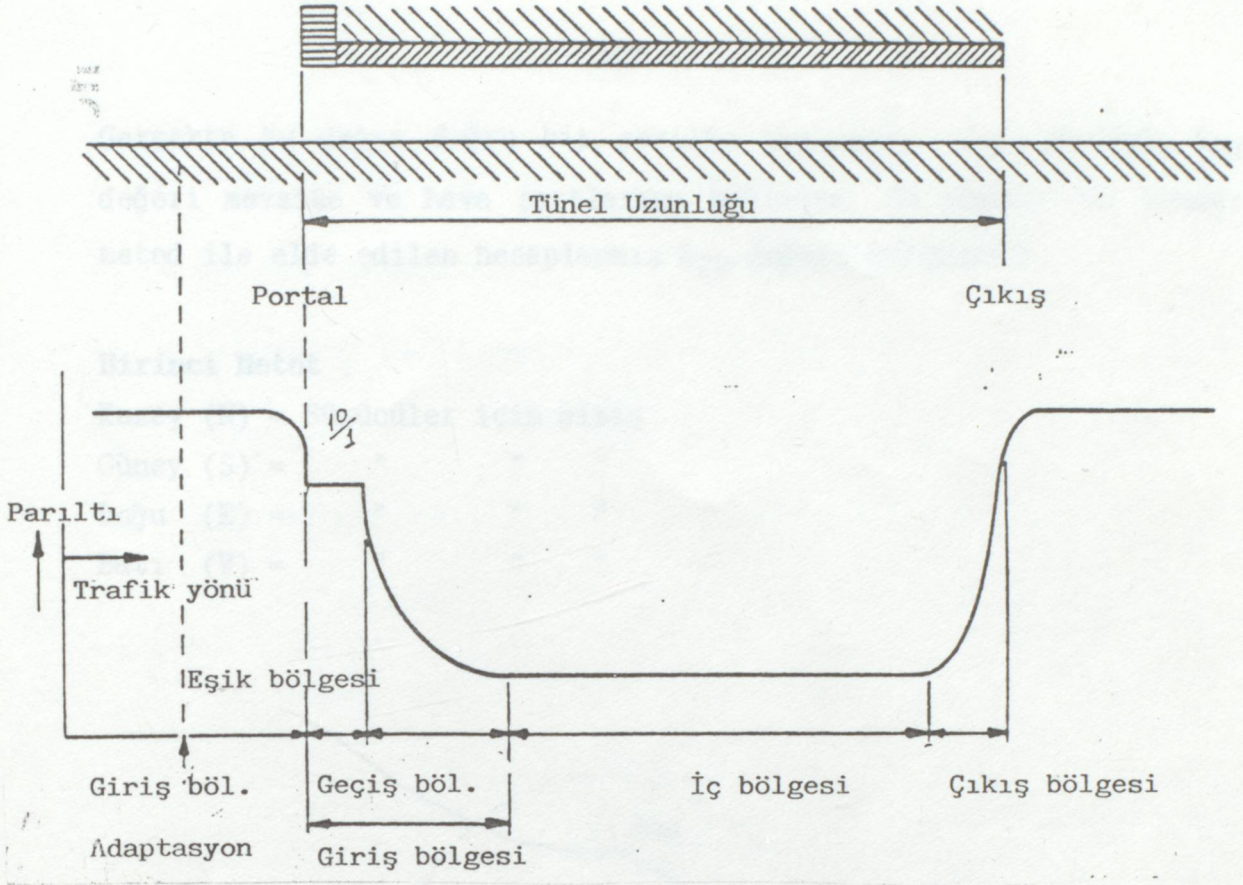
Trafik güvenliği ve konforunun en kritik halinin gündüz vaktinde ortaya çıktığı kabul edilir. Gündüz başlıca adaptasyon problemi şudur. Giriş bölgesi içinde sürücünün gözü en yüksek günlük parıltıya adapte olur. Tünelin içindeki düşük parıltıları açıkça görmek oldukça zordur.

Tünel portalı ve sürücü arasındaki hava tabakası içinde ışık dağılması, atmosferik başıboş ışık olarak bilinir ve tünele yaklaşan aracın ön camı karanlık tünelin içinde detayların görünmesini engelleyen parlak bir perde oluşturur. [16]

##### 9.4.1.1. Giriş Bölgesinde Parıltı:

Giriş bölgesindeki parıltı,  $L_{20}$  olarak adlandırılır. Eşik bölgesi başlangıcında gerekli olan parıltı değeri tünel girişinde duruş mesafesine eşit bir mesafede elde edilen  $L_{20}$  giriş bölgesi parıltısına bağlıdır. Hakim gündüz aydınlığı esnasında farklı çevre ve görüntüler sebebiyle  $L_{20}$  farklı değerler olacaktır.

$L_{20}$ 'ın maksimum değerini bilmek gerekmektedir. Duruş mesafesinin referans alındığı bir mesafede bir yıl içinde yeterli sayıda alınan verilerle bu maksimum  $L_{20}$  değeri elde edilebilir.



Şekil 9.8. Tek gidişli bir tünelin boyuna kesiti.



Şekil 9.9. Malezya'da IPOH tünelinin giriş bölgesinin görünüşü.

Gerçekte bu değer doğru bir şekilde ölçülemez. Çoğu durumda  $L_{20}$  değeri mevsime ve hava şartlarına bağlıdır. Bu yüzden iki benzer metod ile elde edilen hesaplanmış  $L_{20}$  değeri kullanılır.

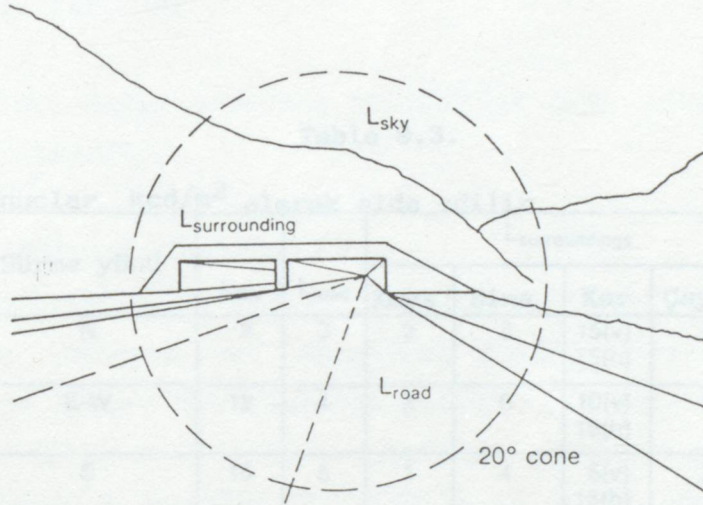
**Birinci Metot :**

Kuzey (N) = Sürücüler için giriş

Güney (S) = " " "

Doğu (E) = " " "

Batı (W) = " " "



$$L_{20} \approx \gamma L_{sky} + \rho L_{road} + \varepsilon L_{surrounding}$$

Şekil 9.10. Tünel girişinin görünüşü.

$L_{20}$  değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$L_{20} \approx \gamma \cdot L_c + \rho \cdot L_R + \varepsilon \cdot L_E + \tau \cdot L_{th}$$

Burada:

$L_C$  = Gökyüzü parıltısı  $\gamma$  = Gökyüzünün %'si

$L_R$  = Yol yüzeyi parıltısı  $\rho$  = Yol'un %'si

$L_E$  = Çevre parıltısı  $\epsilon$  = Çevrenin %'si

$L_{th}$  = Eşik bölgesi parıltısı  $\tau$  = Tünel girişinin %'si

$\gamma + \rho + \epsilon + \tau = 1$  dir.

Tablo 9.3.

Sonuçlar  $kcd/m^2$  olarak elde edilir.

Sürme yönü	$L_{sky}$	$L_{road}$	$L_{surroundings}$			
			Kaya	Bina	Kar	Çayır
N	8	3	3	8	15(v) 15(h)	2
E-W	12	4	2	6	10(v) 15(h)	2
S	16	5	1	4	5(v) 15(h)	2

Not: Bu formülde  $L_{th}$  bilinmemektedir. 100 m ve 160 m'deki durma mesafesinde  $\tau$  değeri ve  $L_{th}$  oldukça küçüktür. Bu yüzden diğer terimler yanında ihmal edilebilir.

60 m'lik duruş mesafesi için bu formül şöyle yazılabilir.

$$L_{20} = \frac{\gamma \cdot L_C + \rho \cdot L_R + \epsilon \cdot L_E}{1 - \tau \cdot k}$$

Tablo 9.5'den görülebileceği gibi k değeri asla 0,1'i aşmaz. Bu yüzden  $\tau$  ve k değeri de ihmal edilebilir.

ve  $L_{20} = \gamma.L_C + \rho.L_R + \epsilon.L_E$  olur.

$\gamma$ ,  $\epsilon$  ve  $\rho$  değerleri doğru saptanamadığı zaman bunların değerleri Şekil 11'de karşılaştırmadan çıkarılabilir. [16, 17]

#### İkinci Metod:

Aşağıdaki Tablo 9.4'den Şekil 11'de görülen gökyüzünün görüş açısının yüzdesinden ve normal, karla örtülü civar için durma mesafesi de dikkate alınarak  $L_{20}$  değeri  $cd/m^2$  olarak saptanabilir. [16, 18]

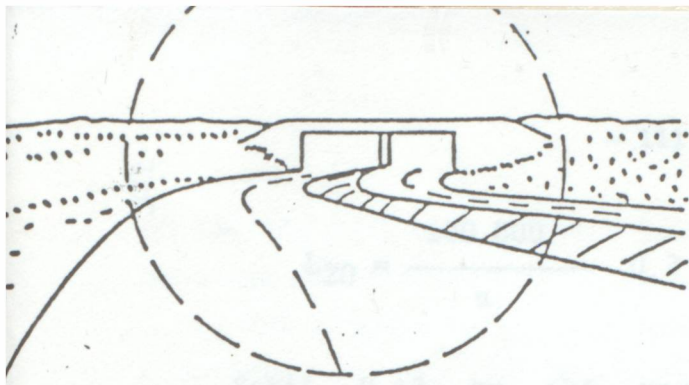
Not: 60 m'deki duruş mesafesi ve %35'lik hava (atmosfer) yüzdesi pratikte yetersizdir.

#### 9.4.2. Eşik Bölgesi (Threshold Zone)

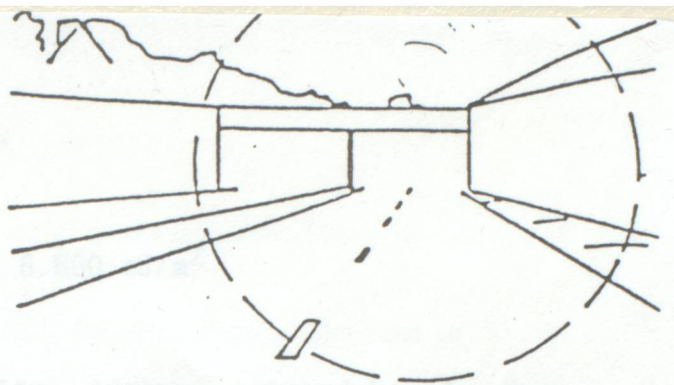
Eşik bölgesi bir tünelin ilk bölümüdür. (Şekil 8) Bu bölgenin aydınlanması yaklaşan bir sürücünün görsel algılama yeteneğine dayanır. Eşik bölgesinin uzunluğu trafik için hıza ve uygun durma mesafesine bağlıdır. Tüneldeki engellerin yaklaşım yolu üzerine bulunan sürücü tarafından görülebilmesi için tünel girişi ve tünelin ilk kısmının, yani "eşik bölgesi" nin parlaltı düzeyi oldukça yüksek olmalıdır.

##### 9.4.2.1. Eşik Bölgesindeki Parlaltı:

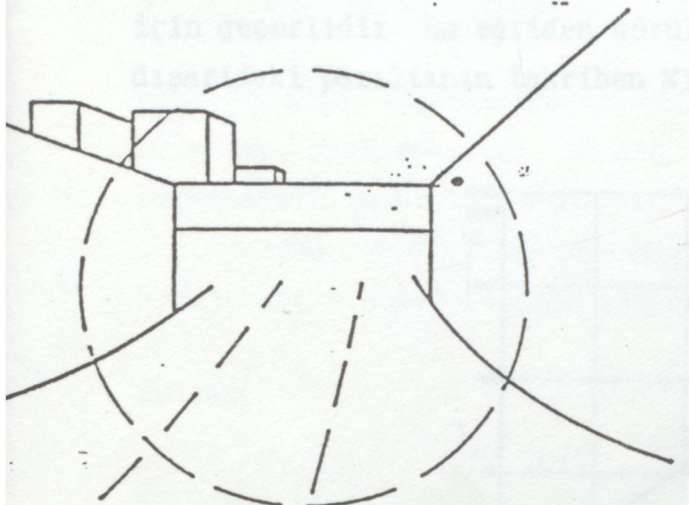
Eşik bölgesinin başlangıcında gereken ortalama yol yüzeyi parlaltısı  $L_{th}$ 'dir. Eşik bölgesinin ilk yarısında gerekli maksimum aydınlık  $L_{20}$ 'ın maksimum değerine, aydınlatma sistemi tarafından üretilen kontrastlara ve durma mesafesine bağlıdır. Bu bölgenin parlaltı düzeyi özellikle  $L_{20}$  (dış parlaltı) düzeyine bağlıdır. Güneşli bir günde dışarıdaki yol üzerinde parlaltı değeri  $6500 cd/m^2$  olabilir. (3000 ile  $8000 cd/m^2$  arası) Bu değer dışarıdaki yol döşemesinin %20 değerinde bir yansıtma faktörü halinde takriben 100.000 lüx'lük yatay aydınlık düzeyine karşılıktır.



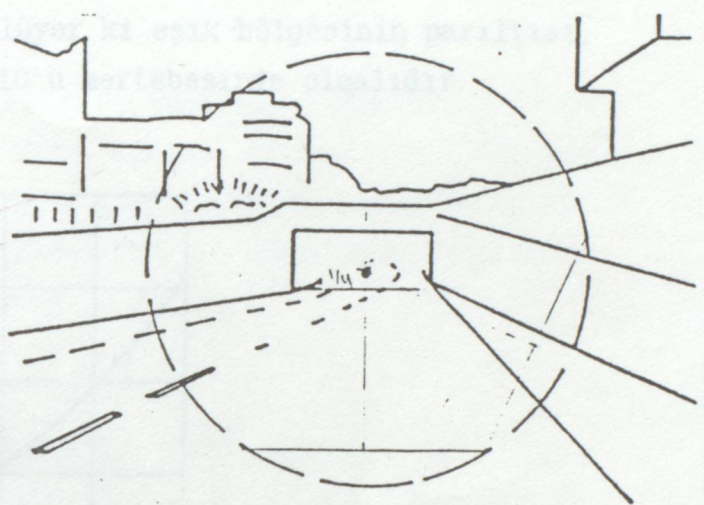
Doğru Mesafesi 160 m Gökyüzü 35%



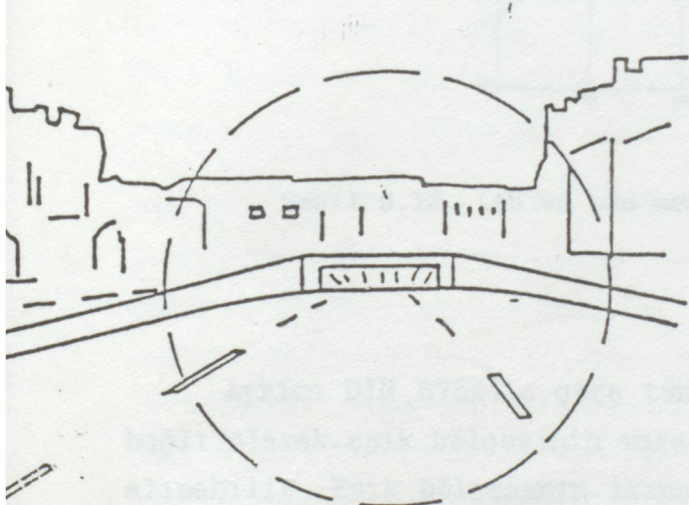
100 m 27%



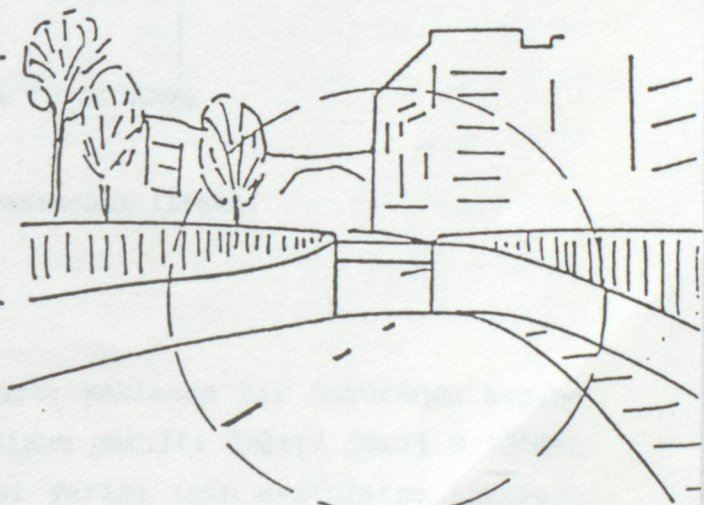
60 m 14%



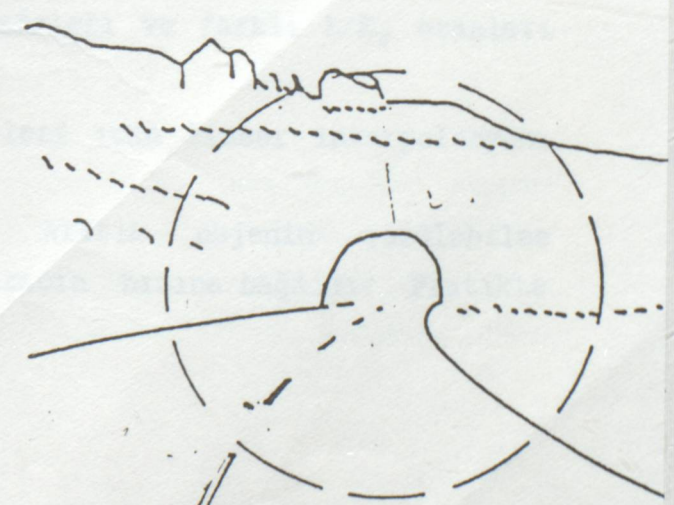
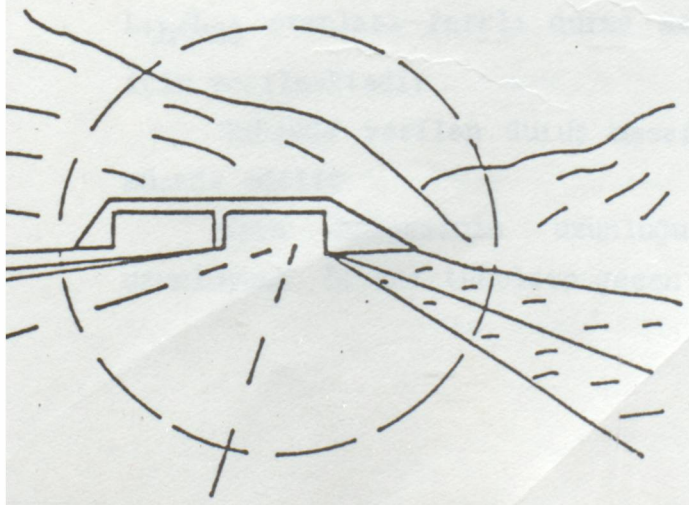
100 m 18%



160 m 14%

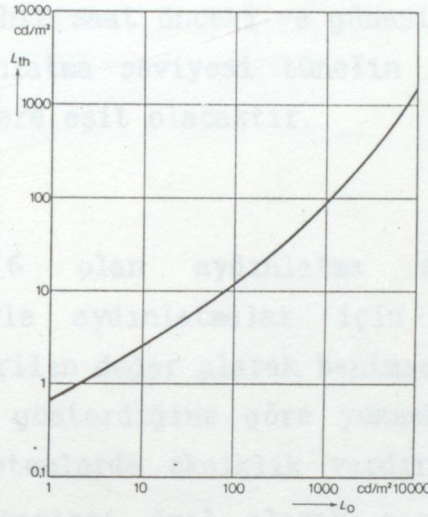


100 m 3%



$$L_{20} = \frac{100.000}{\pi} \cdot 0,2 = 6.500 \text{ cd/m}^2$$

Şekil 9.12 bu iki parıltı düzeyi arasındaki  $L_{th}/L_{20}$  oranlarını göstermektedir. Bu eğri normal ve yoğun trafik koşulları için geçerlidir. Bu eğriden görülüyor ki eşik bölgesinin parıltısı, dışarıdaki parıltının takriben %10'u mertebesinde olmalıdır.



Şekil 9.12. Lth ve L20 arasındaki ilişki.

Ayrıca DIN 67524'e göre tünele yaklaşan bir sürücünün hızına bağlı olarak eşik bölgesinin maksimum parıltı değeri Şekil 9.13'den alınabilir. Eşik bölgesinin ikinci yarısı için aydınlatma seviyesi yavaş bir şekilde Lth'nin %40'ına kadar azaltılır. Tablo 9.5'de de  $L_{th}/L_{20}$  oranları farklı durma mesafeleri ve farklı  $L/E_v$  oranları için verilmektedir.

Tabloda verilen duruş mesafeleri için lineer interpolasyona müsaade edilir.

Eşik bölgesinin uzunluğu, kritik objenin görülebilme uzunluğuna, bu dar tünelden geçen aracın hızına bağlıdır. Pratikte

50 ilâ 100 km/h araç hızları için eşik bölgesi uzunluğu 40 ilâ 80 m arasında değişir.

DIN 67524'e göre eşik bölgesinin uzunluğu, araçların durma uzunluğuna eşittir. Bu uzunluk da araç hızına bağlıdır. Eğer araç hızı 110 km/h ise eşik bölgesinin uzunluğu 195 m 80 km/h ise 100 m ve 70 km/h ise 80 m olur.

Not: 75 m'nin üzerindeki tüneller için yukarıdaki Şekil 9.14'deki bilgiler önerilebilir. Yalnız şuna dikkat edilmelidir. Güneşin batmasından en az bir saat önceki ve güneşin doğmasından en az bir saat sonraki aydınlatma seviyesi tünelin iç bölgesinde (interior zone) önerilen değere eşit olacaktır.

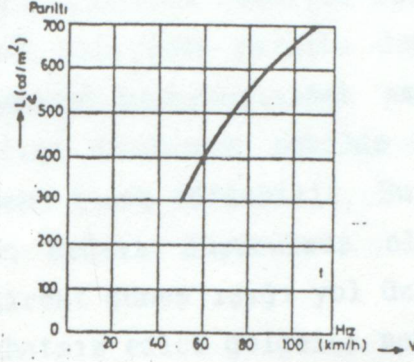
#### Notlar:

1)  $0,2 < L/Ev < 0,6$  olan aydınlatma sistemleri ile nadir karşılaşılır. Böyle aydınlatmalar için k değeri simetrik sistemler için önerilen değer olarak benimsenir.

2) Deneylerin gösterdiğine göre yüksek L/Ev oranlı (Counter Beam Lighting) sistemlerde eksiklik vardır. Bu tip uygulamalarda yüksek  $L_{th}/L_{20}$  değerleri özel olarak seçilir. Özel olan bütün  $L_{th}/L_{20}$  değerleri bütün trafik koşulları için geçerlidir. Koşulların çok uygun olduğu durumlarda Tablo 9.5'deki oranlar onların ifade ettiği değerlerin 0,75'ine düşürülebilir. Bu faktör sadece aşağıdaki durumlar için düşünülür.

- Her tünel içinde tek yönlü trafik
- Kar yağışı ve hızlı trafik olmayacak
- Girişte ve çıkışta, giriş ve eşik bölgelerinde şerit değişimi olmayacak
- Tünel içinde durmaya müsaade edilmeyecek
- Düşük trafik hacmi (örneğin <100 araç/saat)
- Boyuna tünel profili dik olacak.

3) "Counter Beam Lighting" için bazı memleketler deneme yapmışlardır ve Tablo 9.5'nin 2. sütununda verilen değerlerden daha düşük değerler kullanmışlardır. Ortalamanın üzerinde yoğunluklu trafiğe sahip diğer memleketlerde simetrik ve Counter Beam



Şekil 13. Araç hızına bağlı olarak eşik bölgesine ait maksimum parıltı değeri değişimi (DIN 67524'e göre).

Tablo 9.5. Eşik bölgesi ile giriş bölgesi arasında parıltıların tavsiye edilen oranı.

$k = L_{Th} / L_{20}$

	Simetriksele aydınlatma sistemi ( $L/E_v \leq 0.2$ )	Counter Beam Aydınlatma Sistemi ( $L/E_v \geq 0.6$ )
Durma Mesafesi	$L_{Th}/L_{20}$	$L_{Th}/L_{20}$
60m	0.05	0.04
100m	0.06	0.05
160m	0.10	0.07

Lighting sistemleri için aynı değerler kullanılmıştır.

4)Bazen tünel girişinde parlıltı değerini yükseltmek yerine, karanlık adaptasyonunu kolaylaştırmak amacı ile tünel girişinden önce yol parlıltısını düşürecek şekilde bir loşlaştırıcı (Raster, Non-Sunlight screen) ilave edilebilir. Bu sayede gün ışığındaki yol parlıltısı istenen değere düşürülmüş olur. Loşlaştırıcılar öyle yapılmalıdır ki direkt güneş ışığı yol üzerinde ve loşlaştırıcılara ait duvarlarda rahatsız edici gölgeler meydana getirmesin.

Loşlaştırıcı uzunluğunu kısa tutmak amacıyla geçiş bölgesinin ilk kısmı eşik bölgesine katılabilir. Böylece eşik bölgesi uzunluğu, loşlaştırıcı uzunluğu ile geçiş bölgesinin ilk kısmına ait birinci adaptasyon bölgesi uzunluğu toplamına eşit olur.

Loşlaştırıcı, sıcaklığın sıfırın altında olan bölgelerde donma tehlikesi yaratır. Çünkü loşlaştırıcının ekranlaması sonucu, direkt güneş ışığının ısı etkisi azalır. Dolayısı ile tünel girişinde tehlikeli, buzlanmalar olabilir. Bu durumda loşlaştırıcı bölgesine ait yol örtüsünün ısıtılması gerekir. Dolayısıyla loşlaştırıcı ile yapılan elektrik enerjisi istifadesi yolun ısıtma masrafları yanında kaybolmuş olur. Dışarıdaki parlıltı düzeyi, tünel dışındaki adaptasyon parlıltısını düşürmek sureti ile de istenen parlıltı düzeyine indirilebilir. Bu amaçla tünel girişinin etrafı, koyu renk yol örtüsü ile veya tünel girişi çevresine ağaç ve çalılar dikmek suretiyle de daha karanlık hale getirilebilir.

Loşlaştırıcı kullanılması durumunda Tablo 9.5'deki k değerleri 0,3 olarak seçilmelidir.

5)Eşik bölgesinin toplam uzunluğu en az durma mesafesine eşit olmalıdır. Bu mesafenin ilk yarısında da parlıltı seviyesi  $L_{th}$ 'ye eşit olmalıdır. Bu değer eşik bölgesinin başlangıcındaki değerdir. Durma mesafesinin yarısından sonra aydınlatma seviyesi yavaş ve lineer bir şekilde eşik bölgesinin sonundaki değere kadar azaltılmalıdır. Yani  $0,4.L_{th}$ 'ye eşit olmalıdır. Eşik bölgesinin son bölümünde azalma kademeli ve yavaş bir şekilde yapılmalıdır. Kademeler arasındaki aydınlık oranı 3/1'i aşmamalıdır ve aydınlatma seviyesi lineer azaltma şeklinde olan azaltmada gösterilen limitin altına düşmemelidir.

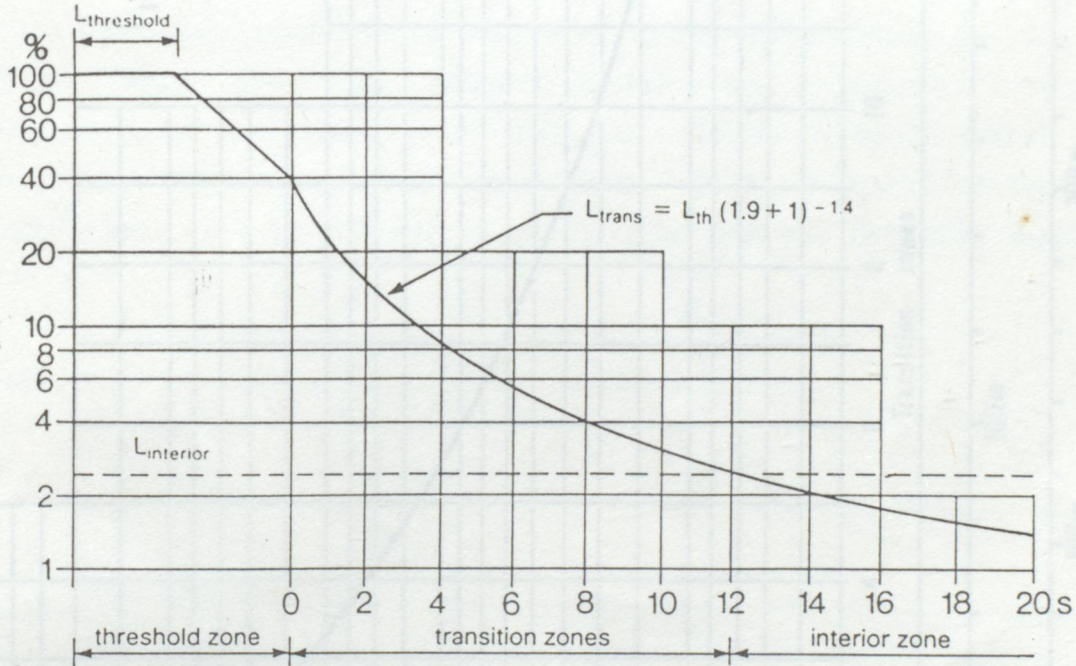
6) 2 m yükseklikteki tünel duvarlarının ortalama aydınlığı en az yol yüzeyi aydınlığı kadar büyük olmalıdır. [1, 16, 18]

#### 9.4.3. Geçiş Bölgesi (Transition Zone):

Geçiş bölgesi eşik bölgesinden sonra gelir. Geçiş bölgesindeki yol yüzeyi parlaklığı seviyesi tünelin sonuna doğru azaltılır ve tünelin iç bölgesinde (interior zone) gereken değere erişilir.

Geçiş bölgesindeki parlaklık azalmasının müsaade edilebilen oranı geçiş bölgesinde bulunulan zamanın bir fonksiyonu olarak Şekil 9.15 ve Şekil 9.16'de verilmiştir.

Şekil 9.15. Geçiş bölgesindeki parlaklıkların tesbiti için grafik.

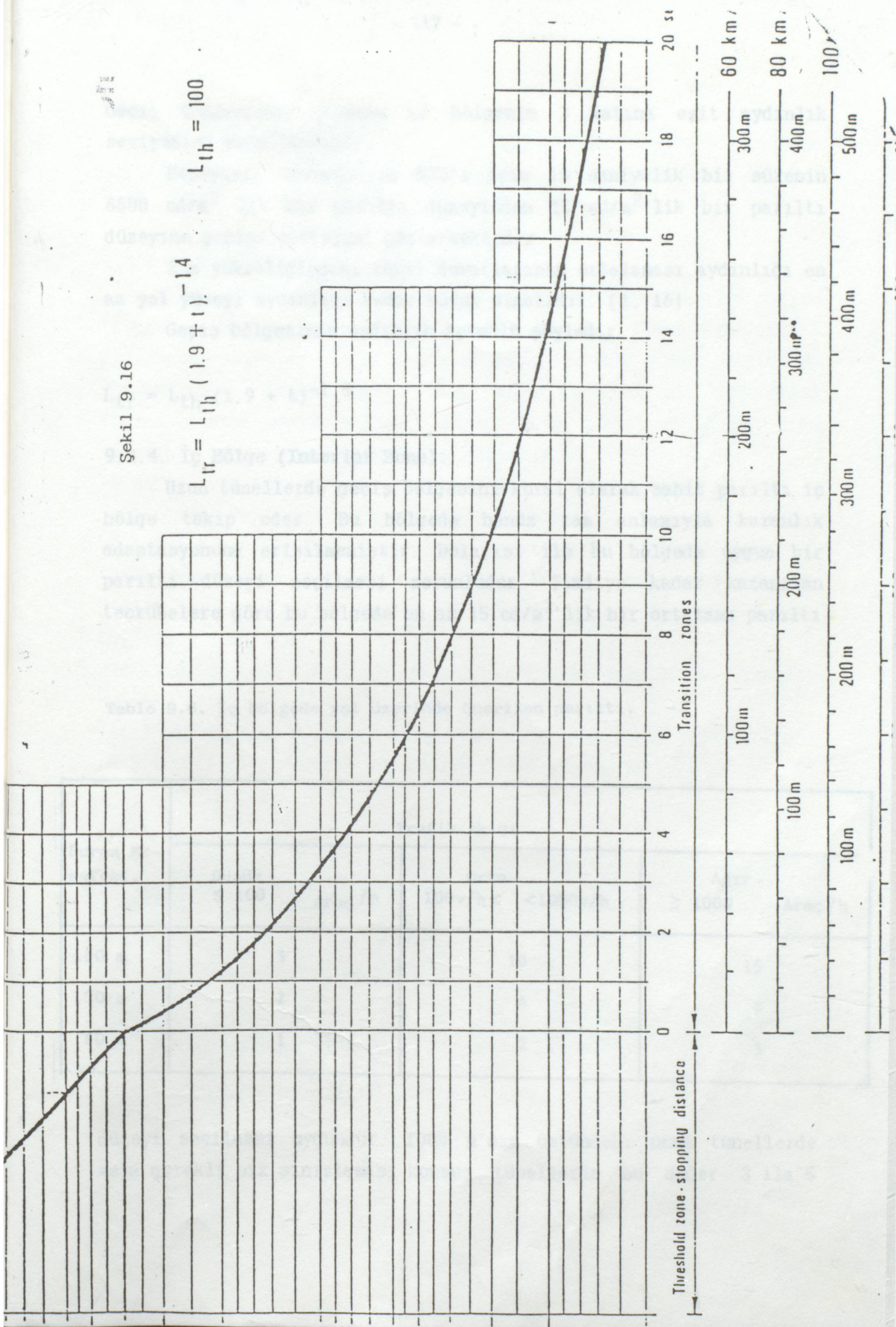


Şekil 9.15. Çeşitli bölgelerdeki parlaklıkların tesbiti için grafik.

Bu eğrilerden her sürat için müsaade edilen aydınlık azalması bu bölgede bulunulan zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilir. Pratik olarak aydınlık azalması kademeli olmalıdır. Birbirini takip eden kademeler arasındaki oran 3/1 olmalıdır. Aydınlatma seviyesi Şekil 9.16'de gösterilen limitten hiç bir zaman daha az olmamalıdır

Sekil 9.16

$$L_{tr} = L_{th} (1.9 + t)^{-1.4} \quad L_{th} = 100$$



Geçiş bölgesinin sonunda iç bölgenin 3 katına eşit aydınlık seviyesine erişilmelidir.

Deneyler, sürücülerin %75'i için 15 saniyelik bir sürenin 6500 cd/m<sup>2</sup> lik bir parlıltı düzeyinden 15 cd/m<sup>2</sup> lik bir parlıltı düzeyine geçişe yettiğini göstermektedir.

2 m yükseliğindeki tünel duvarlarının ortalaması aydınlığı en az yol yüzeyi aydınlığı kadar büyük olmalıdır. [1, 16]

Geçiş bölgesinin aydınlık formülü şöyledir.

$$L_{tr} = L_{th} (1.9 + t)^{-1.4}$$

#### 9.4.4. İç Bölge (Interior Zone):

Uzun tünellerde geçiş bölgesini kural olarak sabit parlıltı iç bölge takip eder. Bu bölgede henüz tam anlamıyla karanlık adaptasyonuna erişilmemiştir. Dolayısı ile bu bölgede uygun bir parlıltı düzeyi seçilmesi zorunludur. Şimdiye kadar kazanılan tecrübelerle göre bu bölgede en az 15 cd/m<sup>2</sup> lik bir ortalama parlıltı

Tablo 9.6. İç bölgede yol üzerinde önerilen parlıltı.

Durma Mesafesi.	Trafik Akışı		
	Düşük ≤ 100 Araç/h	Orta 100v/h < <1000v/h	Ağır ≥ 1000 Araç/h
160 m	5	10	15
100 m	2	4	6
60 m	1	2	3

düzeyi seçilmesi uygundur. 1000 m'nin üstündeki uzun tünellerde veya gerekli hız sınırlaması konmuş tünellerde bu değer 3 ila 5

$cd/m^2$ 'ye kadar indirilebilir.

Aşağıda tabloda tünelin iç bölgesindeki aydınlık seviyesi trafik akışına göre üç durmu mesafesi için verilmektedir. (Tablo 9.6) [16]

#### 9.4.5. Çıkış Bölgesi (Exit Zone):

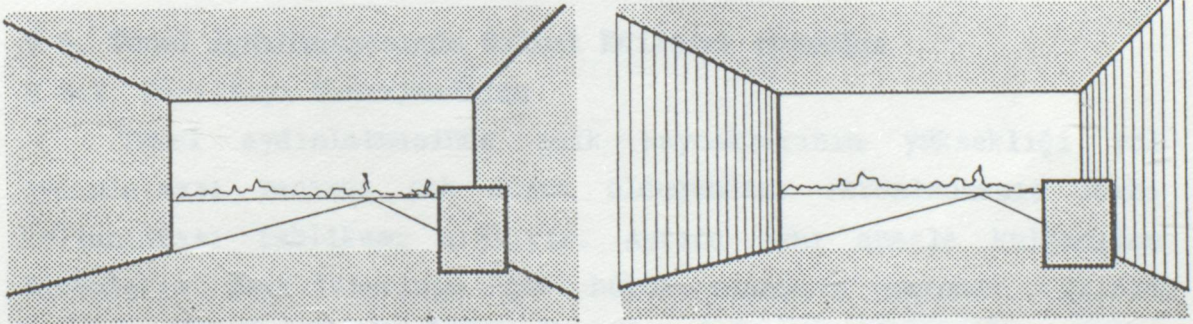
Gözün düşük parlıltı düzeyinden yüksek parlıltı düzeyine geçişi (aydınlık adaptasyonu) çok hızlı olduğundan, tünel çıkışındaki aydınlatma koşulları tünel girişine göre çok daha elverişlidir. Bu yüzden genel olarak tünel çıkışı için herhangi bir aydınlatma önlemi olmaya gerek yoktur. Ancak tünel çıkışı da giriş gibi aydınlatılırsa aşağıdaki yararlar sağlanır.

-Tünelin çıkışında güneşiği kamaşma yaptığı zaman küçük araçları takip eden büyük araçları görülebilir yapmak

Örneğin tek yönlü bir tünelde ağır vasıta trafiği olduğu zaman çıkış kapalı bir blok halinde görülebilir. Bu koşullar altında tünelin duvarları yeteri kadar parlamaz ise çıkışta suni aydınlatma yapılmalıdır.

-Tünelden ayrılan araçların aynasında gerideki araçları görülebilir yapmak

-Acil bir durumda ve bakım esnasında trafik değiştirilirse yani gidiş tüneli giriş olarak kullanırsa aydınlatma yararlı olur. [1,16]



Şekil 9.17. Duvarların değişikliğine göre çıkış bölgesinin görünüşü.

### 9.5. Gece Aydınlatması Hali:

Aydınlatma tekniği bakımından geceleyin, gündüz durumuna göre ters bağıntılar vardır. Zira geceleyin tünel dışındaki parıltı tünel içindekinden daha düşüktür. Dolayısıyla tünel çıkışındaki "kara delik" adaptasyon sorunu söz konusu değildir. Tünel içindeki parıltının dışarıdaki parıltıya oranı 3/1'den büyük olmamak koşulu ile herhangi bir güçlük yoktur. Fakat tünel geceleyin de gündüz koşullarına göre aydınlatılırsa, o zaman bu koşul yerine gelmez. Gündüzün tünelin girişindeki yüksek aydınlık düzeyine geceleyin gerek yoktur. Ayrıca tünel içindeki parıltı, lambaların bir kısmının devre dışı bırakılması ile bütün tünel içinde ortalama 2 ila 3  $cd/m^2$  mertebesine kadar indirilmelidir.

Tünel aydınlatılmayan yolun bir parçası ise tünel içinde ortalama aydınlık  $L_{AV}$ 'yı 1  $cd/m^2$  seçmek önemlidir. Tünelin her şeridi için toplam uniformity  $L_{min}/L_{AV} = 0,4$  ve boyuna uniformity  $L_{min}/L_{max} = 0,6$  olmalıdır. Bu kısa tüneller için gündüzleri uygulanabilir.

Karanlık adaptasyonunu kolaylaştırmak amacı ile, kötü aydınlatılmış çıkış yollarında tünelden sonra sürücünün hızı ile en az 5 saniye süre geçecek kadar kısım yani takriben 200 m uzunluğundaki yol kısmı uygun şekilde aydınlatılmalıdır. [1, 16, 17]

### 9.6. Tünel Aydınlatmasında Dikkat Edilecek Hususlar

#### 9.6.1. Parıltıyı Sınırlandırma:

Tünel aydınlatmasında ışık kaynaklarının yüksekliği yol aydınlatması yanında çok düşük olduğundan, ekranlanmamış lamba kullanılması tehlikesi arttırır. Ayrıca aynı amaçla kullanılan lambaların parıltılarının çok büyük olmaması gerekir. Yalnız parıltı düzeyi yüksek olan eşik bölgesinde ekranlama pek o kadar kritik değildir ve dolayısı ile parıltısı nisbeten yüksek olan ışık kaynakları da kullanılabilir. Bu sayede sürücüye bir tünele giriş doğrultusunda yol almakta olduğu hatırlatılmış olur. Gün ışığı ile tünel girişindeki yapay aydınlatma arasında renk farkı tesis temek suretiyle de aynı etki yapılabilir.

Burada eşik kazancı T.I. bütün bölgeler için %15'den daha az olmalıdır.

T.I. değeri aşağıdaki gibi hesaplanır

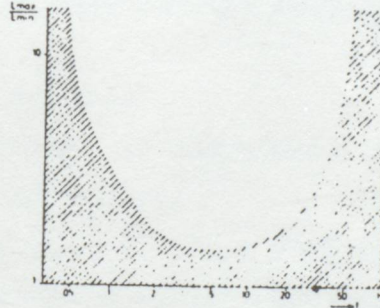
$$T.I = \frac{65xL_v}{L_R x 0,8} \quad L_R \leq 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için}$$

$$T.I = \frac{65xL_v}{L_R x 1,05} \quad L_R > 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için}$$

$L_R$ : Asfalttaki ve duvarlardaki ortalama aydınlık

$L_v$ : Yataydan  $20^\circ$  yukarıdaki görüş alanında bütün ışık kaynakları tarafından yaratılan aydınlık. [16]

#### 9.6.2. Titreme (Flicker) Etkisi:



*Şekil 18. Titreme frekansı ve  $L_{max}$ :  $L_{min}$ 'e göre müsaade edilen sınırlar (taralı alan).*

Eğer ışık kaynakları arka arkaya kesintili bir şekilde yerleştirilirse, o zaman gerek doğrudan doğruya aygıtlar dolayısıyla ve gerekse onların yansıtıcı yüzeylerde yansımaları dolayısı ile titreme etkileri meydana gelebilir ve bu durum sürücülerini rahatsız eder. Flicker etkisi flicker frekansına flicker'in toplam süresine bağlıdır. Flicker frekansı ise seyehat hızına ve ışık kaynağının yerleşimine bağlıdır. Genel olarak



YÜKSEL, Ramazan

1966 yılında İstanbul'da doğdu. Sırasıyla Fatih İlkokulu, Muğğazi Ortaokulu'nu bitirdi. Sultanahmet End.Mes.Lisesi ve Maçka Teknik Lisesi'ne devam etti. 1983 yılında Maçka End.Mes.Lisesi Elektronik bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırdı.

Üniversite öğrenimi devam ederken 2 yıl süre yarım gün (part time) şeklinde bir televizyon fabrikasında ve özel bir firmada Elektronik teknisyeni olarak, yine özel bir firmada elektrik proje uzmanı olarak çalıştı. 1986 yılında T.C. Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü'nde elektronik teknisyeni görevi ile çalışmaya başladı. 1988 yılında Yıldız Üniversitesi'nden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. Halen T.C. Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü'nde Elektrik Mühendisi görevi ile çalışmaya devam etmektedir.

