

EK 1

ULUSLARARASI AYDINLATMA KOMİSYONU

(INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION-C. I. E.)

C. I. E. YAYIN NO: 88 (1990)

TÜNEL VE ALGEÇİT AYDINLATMALARI İÇİN REHBER KİTAP

(GUIDE FOR THE LIGHTING OF ROAD TUNNELS AND UNDERPASSES)

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	3
2. TÜNEL AYDINLATMALARINDA AMAÇLAR VE İSTEKLER	3
3. TEKNİK TERİMLER	4
3.1. Bölgeler ve ilişkilendirilmiş görme sorunları.....	4
3.1.1. Dış bölge (access zone).....	5
3.1.2. Eşik bölgesi (threshold zone)	5
3.1.3. Geçiş bölgesi (transition zone)	6
3.1.4. İç bölge (interior zone)	6
3.1.5. Çıkış bölgesi (exit zone).....	6
3.2. Parıltılar.....	7
3.2.1. Dış bölge parıltısı (access zone luminance)	7
3.2.2. Eşik bölgesi parıltısı (threshold zone luminance	7
3.2.3. Eşik bölgesi ve “dış bölge parıltıları arasındaki oran ($k=l_h/l_{20}$).....	7
3.2.4. Geçiş bölgesi parıltısı (transition luminance)	7
3.2.5. İç bölge parıltısı (interior zone luminance)	7

3.3. Fren mesafesi ve hız (stopping distance and speed)	9
3.3.1. "Tünel aydınlatma tasarım hızı" (designated speed)	9
3.3.2. Fren mesafesi (stopping distance).....	9
3.4. Aydınlatma sistemi ve kontrast (lighting system and contrast)	9
4. TRAFİK VE YOL DURUMLARI (traffic and road conditions)	10
4.1. Araç kullanma işinin zorluğu (difficulty of the driving task)	10
4.2. Hız ve görülebilirlik (speed and visibility).....	10
5. GÜNDÜZ AYDINLATMASI (daytime lighting).....	11
5.1. Dış bölge'de parlılık (luminance in the access zone.....	11
5.1.1. Birinci yöntem (first method).....	13
5.1.2. İkinci yöntem (second method).....	14
5.1.3. İki metodun kullanımı (use of the two methods).....	15
5.2. Eşik bölgesi parlılığı (luminance in the threshold zone).....	15
5.2.1. Tünel boyutlarının etkisi (influence of tunnel dimensions).....	15
5.2.2. Eşik bölgesi aydınlatma seviyesi (lighting level in threshold zone.....	16
5.2.3. Eşik bölgesinin uzunluğu (length of the threshold zone).....	20
5.2.4. Duvarların parlılığı (luminance of the walls).....	20
5.3. Geçiş bölgesinin (transition zone) uzunluk ve parlılığı.....	20
5.4. İç bölge'de parlılık (luminance in the interior zone	21
5.5. Çıkış bölgesi aydınlığı (lighting of the exit zone.....	22
5.6. Günlüğü değişimi ve aydınlatma kontrolü (daylight variation and lighting control.....	22
5.7. Eşdağılım (uniformity).....	24
5.8. Kamaşma kısıtlaması (glare restriction).....	25
5.9. Işık titremesinden kaçınma (avoidance of flicker).....	26
6. GECE AYDINLATMASI (nighttime lighting)	26
7. YARDIM AYDINLATMASI (emergency lighting).....	27
7.1. Genel (general)	27
7.2. Sürücülere uyarı (warning to drivers)	27
7.3. Sürdürülecek aydınlatma (the lighting to be maintained).....	27
7.4. Güç beslemeleri (power supplies).....	28
8. BAKIM (maintenance)	28
8.1. Lamba değiştirme (relamping).....	29
8.2. Aydınlatma armatürlerinin temizlenmesi (cleaning of the luminaires).....	29
8.3. Tünel duvarlarının temizlenmesi (cleaning of the tunnel walls)	29
8.4. Denetim ışıkölçerlerinin bakımı (maintenance of the control photometers).....	29
9-10. KAYNAKÇA VE EK.....	30

1. GİRİŞ (introduction)

C. I. E. , 1973'de “**Tünel Aydınlatmaları Konusunda Uluslararası Öneriler**” in (International recommendations for Tunnel Lighting) ilk baskısını yayınladı (C. I. E. yayın no :26). Daha sonra, tünel aydınlatmaları ile ilgili tüm sorunlara doyurucu yanıtlar vermeyen “1973 Önerileri”, pratik deneyimlerden arındırılmaya başlandı. Bu yüzden 1975'de C. I. E. , bir alt komitenin tünel aydınlatma esasları incelemesini kararlaştırdı. 1985 'de bu alt komite, **gündüz bir tünelin girişine yaklaşan araç sürücülerine gereken aydınlatma**'yı konu alan önemli deneyleri yeniden gözden geçiren detaylı bir C. I. E. teknik raporu hazırlayıp yayınladı. (**C. I. E. yayın no: 61-1984 - Tünel Giriş Aydınlatması- Eşik Bölgesindeki Parlıltıyı Belirleme Esaslarına Bir Bakış**) (Tunnel Entrance Lighting -Survey Of Fundamentals for Determining The Luminance In The Threshold Zone). Bu rapor, farklı tünel aydınlatma tesislerinin pratik deneyimi ile diğer bilgi arasında bağ kurarak, sunulan bu kitapta verilen önerilerin geçmişini şekillendirdi. C. I. E. yayın no 26/1 ile C. I. E. yayın no 61 de kullanılan teknik terim ve bazı tanımlar farklı olabilir.

Sunulan bu kitap, **P.I.A.R.C.** (Permanent International Association of Road Congresses)'nın **karayolu tünelleri komitesinin “aydınlatma çalışma grubu”** nun yakın işbirliği ile C. I. E. TC 4 - 08 komitesi uzmanları tarafından hazırlanmış ve C. I. E. 'nin “26/1 1973 **tünel aydınlatmaları için uluslararası öneriler** (International Recommendations For Tunnel Lighting) adlı yayının yerini almıştır

2. TÜNEL AYDINLATMALARINDA AMAÇLAR VE İSTEKLER (aims and requirements of tunnel lighting)

Tünel aydınlatmasında (tunnel lighting) amaç ; gece ve gündüz, “**Tünel Aydınlatma Tasarım Hızı**” (designated speed) ile akan trafiğin, yolun tünel dışındaki yakın bölümlerinde var olandan daha az olmayan bir emniyet ve rahatlık ile tünele yaklaşmasını, tünelden geçmesini ve tüneli terketmesini sağlamaktır. Bu ; ilk olarak, araçlar ve onların hareketlerini içeren **engel'lerin** (obstacles) varlığı ile ilgili yol tekniklerinin gelişmesiyle, ikinci olarak ise yolun tünel dışındaki yakın bir uzantısında mümkün olan en uzak **Görüş Alanını** (visual scene) deneyimli sürücüye tünel içinde de aynı güven duygusu ile verecek yeterli bilgiye ulaşıldığında başarılıdır. Bir tünele yaklaşan araç sürücüsünde bu emniyet duygusu korunmalıdır ; aksi taktirde sürücüler büyük olasılıkla tehlike içeren bir durum yaratarak ansızın yavaşlayacaklardır.

Bir tünel aydınlatma tesisinde dikkate alınan fotometrik karakteristiklerden önemli olanlar şunlardır :

- Yolda ve tünel içi duvarların alt bölümlerindeki “parıltı”¹ seviyesi
- Yol üzerinde **Parıltı Dağılım Düzgünlüğü** (uniformity of the luminance distribution)

¹ (ÇEVİRENİN NOTU:) **luminance** (CIE 845-01-35)

- “Kamaşma”nın² kontrolü
- “Işık Titremesi”nden³ kaçınma

Parıltı (luminance) seviyeleri için bu kitapta verilen öneriler, korunmuş minimum değerler olarak düşünülmelidir. Olağanüstü durumlarda, etkisini azaltmaksızın bu korunan değerleri düşürebilmek amacıyla uygun bir “değer düşme faktörü”⁴ hesaplara dahil edilmelidir. Bu kitapta verilen önerilerin uygulanması, hemen tüm pratik koşullar altında amacına ulaşan **Aydınlatma Tesisleri** (lighting installations) meydana getirecektir.

3. TEKNİK TERİMLER (terminology)

Bu kitabın şartları içinde bir yol üzerindeki her örtü (cover), örtünün doğası ve uzunluğu hesaba katılmaksızın “tünel” kavramı içinde yer alır. “**Güneş ışığı engelleyici**”leri⁵ (**sunshades**), “güneşışığından yararlanma düzeneği”⁶ veya diğer güneşışığı kırııcı yapıları tünelin parçası olarak düşünülür.

3.1. BÖLGELER VE İLİŞKİLENDİRİLMİŞ GÖRME SORUNLARI (zones and associated vision problems)

Tünel aydınlatmasından beklenen, tünelin içinde veya dışında yola ait ayrıntıların görülmesi için gerekli olan, sürücü **Görsel Uyum** (visual adaptation) seviyeleri arasındaki farkın azaltılması yada yokedilmesidir.

“Güneşışığı”nın⁷ olduğu saatler tünel aydınlatması için en kritik saatlerdir, çünkü **İnsan Görme Sistemi** (**human visual system**) ; “ışılıtlı”⁸ tünel dışı ile “görece ışıltısız”⁹ tünel içi kadar birbirinden farklı **Aydınlık Seviyeleri**’nde (illumination levels) uzay ile ilgili detayların farkına aynı anda varamaz. **Görme Sistemi** (visual system) ; hernekadar güneşışığından bir tünel **Karanlığına** (darkness) girildiği zaman olduğu gibi, **Ortam Aydınlığı**’nda (ambient illumination) oluşan yüksek düşüşlere uyum sağlayabiliyorsa da, bu işlem (uyum) düşüşün büyüklüğüne göre değişken bir zaman alır. “Aydınlatma düzeyi”¹⁰ seviyeleri arasındaki daha büyük fark, daha uzun süreli “göz uyumu”¹¹ demektir. Verilen herhangi bir hız ise ; tünel içi ve dışı ortam **aydınlık** (illumination) seviyeleri arasındaki farkın daha büyümesi, sürücü görme sisteminde ise azalmış duyarlılık durumunun sürdüğü mesafenin artması demektir. Tünellerde beş ayrı **Aydınlatma**

² glare (CIE 845-02-52)

³ flicker (CIE 845-02-49)

⁴ maintenance factor (CIE 845-09-59)

⁵ shading (CIE 845-09-105)

⁶ louvre (CIE 845-10-38)

⁷ daylight (CIE 845-09-84)

⁸ bright (CIE 845-02-29)

⁹ dark (CIE 845-02-33)

¹⁰ illuminance (CIE 845-04-69)

¹¹ adaptation (CIE 845-02-07)

Bölgesi (illumination zone) tanımlanmıştır. Şekil 3. 1 bir tünelin boyuna kesitinde beş Bölgenin şematik gösterilişidir.

3.1.1. DIŞ BÖLGE (access zone)

“Dış Bölge”, yaklaşan bir sürücünün tünelin içini görebilmesi gereken, yolun hemen tünel girişindeki uzantısıdır. “Dış Bölge”deki konumlardan görüleceği üzere, pek çok faktör tünel içindeki yolda **Görebilirlik**’i (visibility) etkiler. Bunlar ; tünelin hem içi hemde dışındaki yolda nesnelerin **Parıltı Kontrastı**’nın (luminance contrast) azalmasına yol açan serbest atmosfer ışığı ile oluşan **Kamaşma** (glare) etkilerinin örtüşmesi için ve “Dış Bölge”deki sürücülerin tünel içindeki yol üzerindeki nesneleri görebilmelerini sağlamak amacıyla “**Eşik Bölgesi**” (threshold zone) sınırları içinde “**yetersiz aydınlık**” (insufficient illumination) içerirler. Tünel içinde önleri açık sürücülerde yeterli bir güven yok ise “**Kara Delik Etkisi**” (black hole effect) meydana gelir ve genel bir sonuç olarak sürücü yavaşlar. Belirli rahat bir “**görebilirliğin**” (visibility) verilmesi için, sürücünün önünde hiç bir araç olmaması en çok istenen durumdur.

3.1.2. EŞİK BÖLGESİ (threshold zone)

Tünel girişi içinde ilk uzantıdır (**şekil 3.1**). Bu bölgenin aydınlatması, dışarıdan tünele yaklaşmakta olan sürücünün Görsel Algısına dayandırılır ve sıra ile “dış bölge”deki Parıltı’ya (luminance) bağlıdır. “Eşik bölgesi”nin uzunluğu, belirlenmiş maksimum trafik hızına bağlı olarak, **Fren mesafesi**’ne (stopping distance) karşılık gelen uzunluğa eşit olmalıdır. Bu ; tünel girişindeki trafiğin Fren mesafesinden bakıldığında nesnelerin görülebilmesi için, “eşik bölgesi” sonu uzaklığının bir karşıt arka plan oluşturmak zorunda oluşundandır.

3.1.3. GEÇİŞ BÖLGESİ (transition zone)

“Geçiş Bölgesi”, tünelde “Eşik Bölgesi”ni izleyen bölgedir (**Bak şekil 3.1**). “Eşik Bölgesi”nin sonu ve “Geçiş Bölgesi” içinde **Aydınlatma Seviyesi** (lighting level), “İç bölge” (interior zone)’nin aydınlatma seviyesine indirilir. Bu indirme, daha düşük aydınlatma seviyelerine geçişlerde Uyum için gereken yeter zamanı sürücülere vermek, veya daha doğru olarak uygun konfor ve görebilirliğin birleşik kaybında güçlü Uyum eksikliğinden kaçınmak için derece derece yapılır. “Geçiş bölgesi”nin uzunluğu, belirlenmiş maksimum hıza (bak bölüm 3.3.1) ve “eşik bölgesi” sonu ile “İç bölge” arasındaki aydınlatma seviyeleri arasındaki farka bağlıdır (bak bölüm 5.3).

3.1.4. İÇ BÖLGE (interior zone)

“İç Bölge”, tünelin “Geçiş Bölgesi”ni izleyen uzantısıdır (bak bölüm 3.1). Genellikle, “aydınlatma”¹² “iç bölge”nin tüm uzunluğu boyunca sabit bir seviyede korunur.

¹² **lighting** (CIE 845-09-01)

Araç hızına bağlı olarak, “Geçiş Bölgesi”ndeki Parıltı’nın kademeli olarak azaltılması ; tam karanlık uyumu için “İç Bölge”de ulaşılan en düşük **aydınlık** (illumination) seviyesine izin vermiyebilir. Bu yüzden, gündüz saatleri süresince, “İç bölge”de doyurucu bir görüş için yeterince yüksek aydınlık (illumination) seviyelerine gereksinme duyulur. (**bak bölüm 5.4**)

3.1.5. ÇIKIŞ BÖLGESİ (exit zone)

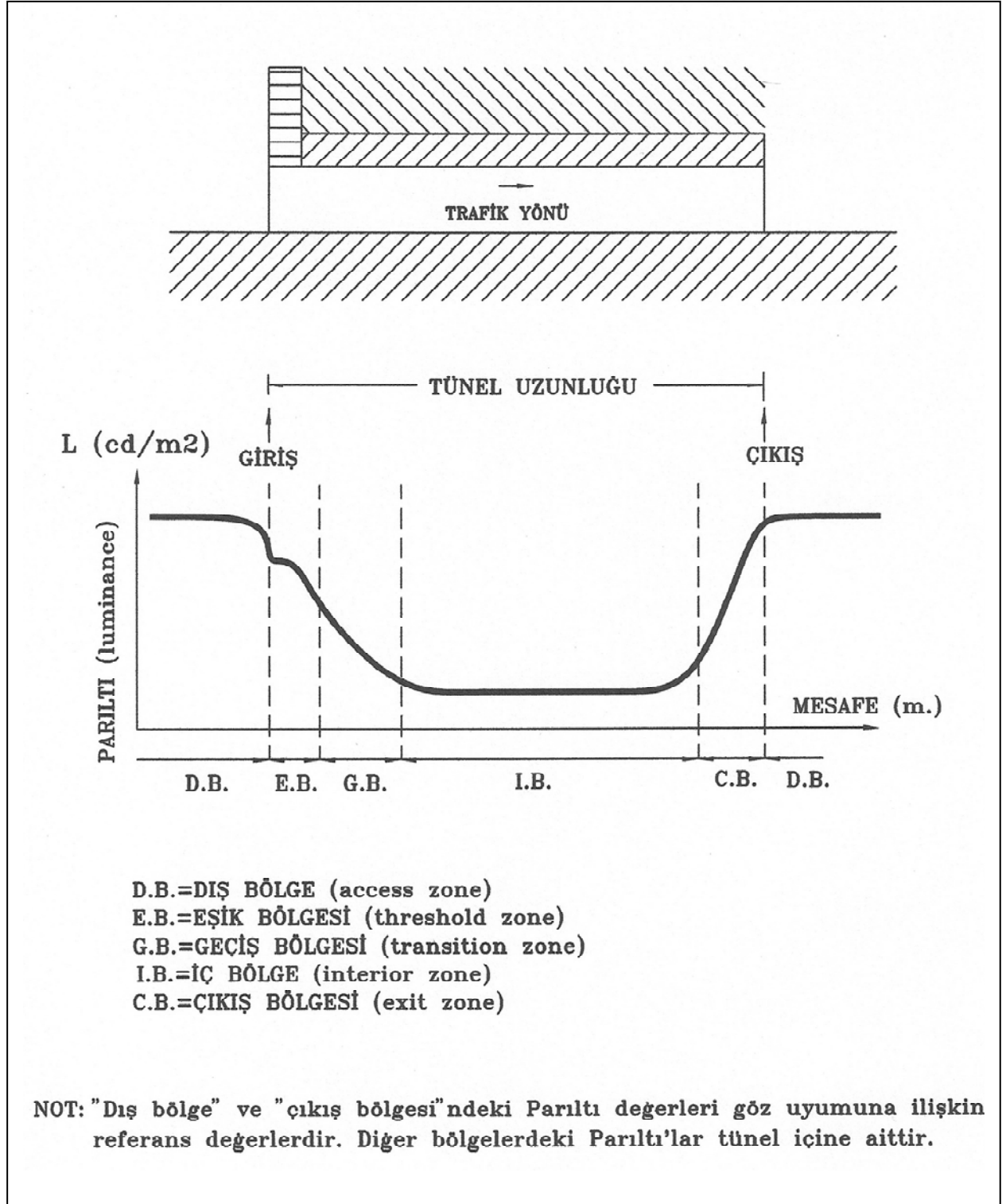
“Çıkış Bölgesi”, çıkışa yaklaşan sürücünün görme yetisinin tünel dışındaki “ışıltililik”tan¹³ etkilendiği yerdeki tünel uzantısıdır (**bak şekil 3.1**). “Çıkış bölgesi”nde görülebilirlik ve rahatlık açısından durum çok kritik değildir, çünkü “çıkış bölgesi”ndeki nesneler ışıltılı tünel çıkışına karşı **karaltı** (silhouette) halinde net olarak göze çarparlar. Bununla birlikte, sıkışık trafikte, sonuç olarak birbirini izleyen araçlar arasındaki yol alma mesafesinin kısa olduğu durumda, tünel çıkışı dışındaki yüksek **ışıltililik** (brightness) ; bir sürücünün, önde giden bir aracın manevrasına ilişkin hükmünü zorlaştırır. Bu durum, ışıltılı tünel çıkışının büyük bölümünü kapatan, önde ve ileride giden daha büyük bir aracın **Görece ışıltısız** (dark) karaltısı görüldüğünde önem kazanır. (**bak bölüm 5.5**)

3. 2. PARILTILAR (luminances)

3.2.1. DIŞ BÖLGE PARILTISI -L₂₀- (access zone luminance)

Pratik amaçlar için, “eşik bölgesi”nde ihtiyaç duyulan Parıltı üzerindeki “dış bölge” Parıltı’larının etkisi ; tünel ağzının dörtte bir yüksekliğinde bir noktaya merkezlenmiş ve tünele yaklaşan sürücünün gözünden itibaren 20 derecelik bir açının sınırlarını birleştiren görünüşün koniksel alanı içindeki Parıltı’larının güvenilir ortalama değeri aracılığı ile onaylanabilir. Bu Parıltı, “dış bölge Parıltısı” olarak adlandırılan L₂₀ dir. Bu Parıltı’nın ölçüldüğü konuma, **bölüm 3.2.3 ve 5.1** de değinilmiştir.

¹³ **brightness** /veya/ **luminosity** (CIE 845-02-28)



Şekil 3.1. Tek Yönlü Bir Tünelin Tipik Boyuna Kesiti

3.2.2. “EŞİK BÖLGESİ” PARILTISI (threshold zone luminance)

“Eşik bölgesi”nde herhangi bir yerdeki ortalama yol yüzeyi Parıltısı (L_{th}) “eşik bölgesi Parıltısı” olarak adlandırılır (bak şekil 5.9).

3.2.3. “EŞİK BÖLGESİ” VE “DIŞ BÖLGE” PARILTILARI ARASINDAKİ ORAN ($k = L_{th}/L_{20}$)

“Eşik bölgesi”nin başlagıcındaki ortalama yol yüzey Parıltısı (L_{th}) ile “dış bölge”de tünel önünde “fren mesafesi”ne eşit bir mesafede ölçülmüş Parıltı (L_{20}) arasındaki orandır. (bak bölüm 5.2.2 ve tablo 5.4)

3.2.4. GEÇİŞ BÖLGESİ PARILTISI (transition luminance)

“Geçiş bölgesi”nde herhangi bir yerdeki yol yüzey Parıltısının ortalama değeri, “Geçiş Bölgesi Parıltısı” (L_{tr}) olarak adlandırılır. (bak şekil 5.9)

3.2.5. “İÇ BÖLGE “ PARILTISI (interior zone luminance)

“İç bölge”de ortalama yol yüzey Parıltısının değeri, “iç bölge parıltısı” (L_{in}) olarak adlandırılır.

3.3. FREN MESAFESİ VE HIZ (stopping distance and speed)

3.3.1. TÜNEL AYDINLATMA TASARIM HIZI (designated speed)

“Tünel Aydınlatma Tasarım Hızı”, 2. bölümde açıklanmış amacı yerine getirmek zorunda olan tünel aydınlatması için gereken maksimum sürücü hızıdır.

3.3.2. FREN MESAFESİ (stopping distance)

Fren mesafesi ; bir aracın sevki, “Tünel Aydınlatma Tasarım Hızı”nda kullanımı ve emniyet içinde tam olarak durdurulması için gereken mesafedir. Fren mesafesi, hem fren reaksiyonu sırasında (tehlikenin algılanmasından frene basıldığı ana kadar alınan yolu) hemde fren yapılırken alınan yolu kapsar.

3.4. AYDINLATMA SİSTEMİ VE “KONTRAST”¹⁴ (lighting system and contrast)

Bir nesnenin daha yüksek Parıltı Kontrastı onun daha iyi görülebilirliğini sağlar. Bir nesnenin Parıltı kontrastı, kullanılan aydınlatma sistemine ; tünel duvarlarının ve yol yüzeyinin “yansıtma faktörü”¹⁵ özelliklerine bağlıdır.

¹⁴ **contrast** (CIE 845-02-47)

Güçlü yol yüzey Parıltıları (L) ve zayıf düşey **Aydınlatma Düzey**'leri (illuminances)(Ev) yani sonuçta **yüksek L/Ev oranları oluşturan bir aydınlatma sistemi**, yol üzerindeki nesneler için görece yüksek Kontrast değerleri verir. Böyle bir sistem ; ışık dağılımının sadece boyuna asimetric olduğu ve tercihan araç sürücülerine doğru yönlendirildiği zaman elde edilecektir. Bu sistem "**zıt-yönlü aydınlatma**" (counter beam lighting -C. B. L.) olarak adlandırılır. Aydınlatma sisteminin asimetrisinin büyüklüğü ; özel şartlarında, birazdan açıklanacak olan "DÜZGÜN IZGARA" metodu ile yolun üzerinden elde edilen L/Ev oranının minimum değeri olarak tanımlanır. **Düşey Aydınlatma Düzeyleri** (vertical illuminances), yaklaşan sürücüyü karşılayan, yolun 0,1 m. üstündeki düzlemlere ilişkindir. Düzgün Izgara, birbirine bitişik iki "aydınlatma armatürü" ¹⁶ arasında, üç adedi yol dikine 4 adedi de boyuna doğrultuda olmak üzere trafik yolunda 12 nokta ile tanımlanır (**Şekil 3. 2**). L/Ev oranının hesaplanmasında gözönüne alınacak Aydınlatma Armatürü sayısı, her ölçüm noktasının önündeki **armatür montaj yüksekliğinin beş katı** (5 h), her ölçüm noktasının arkasında ise **12 katı (12 h)** büyüklüğündeki bir alan yardımıyla belirlenir (**bak şekil 3. 2**). Düşey Aydınlatma Düzey'leri hesabında, hem direkt ve hemde indirekt katılımların gözönünde bulundurulması gerekir.

4. TRAFİK VE YOL DURUMLARI (traffic and road conditions)

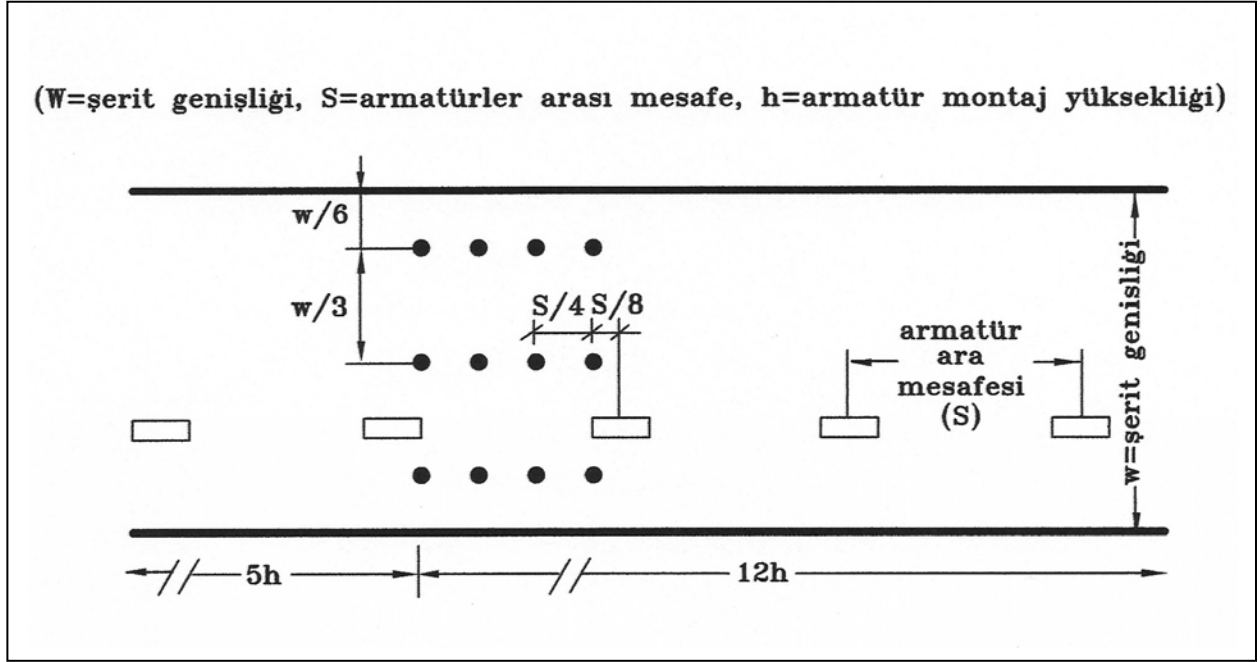
4.1. ARAÇ KULLANMA İŞİNİN ZORLUĞU (difficulty of the driving task)

Bir yolda araç kullanma işinin zorluk derecesi, genellikle trafiğin hızı, yoğunluğu ve düzeninden ; ve yol ile yakın çevresinin durumundan etkilenir. Trafik yoğunluğunun, hız ve yol dağılımı ile ilgisi olabilir. Düzenli yollarda olduğu gibi, arttırılmış trafik yoğunluğu bir tünelde kaza riskini yükseltir. "İç Bölge" (interior zone)'de aydınlık (illumination) seviyeleri, trafik yoğunluğu ile artar. (**Bak Tablo 5.5**)

Bu kitapta verilen öneri değerleri normal trafik koşulları için öngörülen minimum değerler olup, trafik yoğunluğunun daha fazla, fren mesafesinin daha uzun olduğu veya genel yol koşullarının ideal koşullardan daha kötü olduğu durumlarda verilenlerden daha yüksek değerler düşünülmelidir.

¹⁵ **reflectance** (CIE 845-04-58)

¹⁶ **luminaire** (CIE 845-10-01)



Şekil 3.2. Tünel Aydınlatma Sistemine Ait “L/Ev Oranı”nın Tanımında Dikkate Alınacak Armatürler ve Ölçüm Noktaları

Tablo 3.1. Aydınlatma Sistem Tanımları

L/Ev oranını temel alan iki aydınlatma kategorisi şöyle tanımlanır:

AYDINLATMA SİSTEMİ	L/Ev ORANI
SİMETRİK AYDINLATMA	$\leq 0,2$
ZİT YÖNLÜ AYDINLATMA	$\geq 0,6$

NOT:

- 1- 0,2 ve 0,6 arasında L/Ev oranlı aydınlatma sistemlerine nadiren rastlanır. Böyle sistemler, bu kitapta simetrik aydınlatma için verilen önerilere uymalıdır.
- 2- Dikkate alınan L ve Ev fotometrik değerleri sadece yapay aydınlatmayla ilgilidir.

4.2. HIZ VE GÖREBİLİRLİK (speed and visibility)

Belirlenmiş daha yüksek hız, araçların Fren mesafesinin daha uzun olması anlamına gelir. Bu ise, "Dış Bölge" 'de access zone) hızı daha fazla olan araç sürücüsünün, tünel içinde görebilmesi gereken "tünel ağzından sonraki mesafe"nin daha uzun olması demektir. Tünelden daha uzak konumlarda "Dış Bölge" (access zone) Parıltı'sı, daha çok özellikle L_{20} Parıltı'sı ; genellikle daha yüksektir. Yine, daha uzun mesafelerde, tünel içindeki bir nesne, araç sürücüsünün gözünden itibaren daha küçük bir açının yayı içinde kalır ki bu, görüş'ün daha az olmasının nedenidir. Ayrıca, tünel girişinden (bakan) bir araç sürücüsü için daha uzun mesafe ; **serbest atmosfer ışığı** (atmospheric stray light) nedenli azalmış görebilirliğin daha büyük potansiyeli demektir.

Daha uzun Fren mesafesi veya daha yüksek hız, veya her ikisi için ; "Eşik bölgesi" (threshold zone) ve "dış bölge" (access zone) Parıltı'larının oranı olan L_{th} / L_{20} , daha büyük olmalıdır. Bu kitapta verilen öneriler Fren mesafesi ile ilgilidir. Fren mesafesi ile hız arasındaki gerçek ilişki, yerel trafik yasalarına bağlı olup dikkate alınmalıdır, örneğin izin verilen minimum lastik yüzeyi, yol yüzeyinin tipi ve koruma bakımları, hava koşulları gibi. Bu yüzden "Tünel Aydınlatma Tasarım Hızı"na karşılık gelen Fren mesafesine karar vermek için yerel şartlar temel alınmalıdır.

5. GÜNDÜZ AYDINLATMASI (daytime lighting)

5.1. DIŞ BÖLGE'DE PARILTI (luminance in the access zone)

Bir tünele yaklaşırlarken, "sürücü gözleri"nin uyum sağladığı Parıltı değerinin belirlenmesi ; tünelin "Eşik Bölgesi"nde (threshold zone) gereken Parıltı değerine temel oluşturur. Göz Uyum Parıltı'sını etkileyen iki faktör vardır:

- 1- Tünel girişinin çevresinde, farklı Parıltı'ların oluşturduğu "örtü eşdeğer parıltısı" ¹⁷ (**Lseq**)
- 2- Sürücünün "görüş alanı"nın¹⁸ merkezindeki Parıltı (örneğin öndeki yolda ve tünel girişinde)

Sürücü Göz Uyumuna karar vermede, "Örtü Eşdeğer Parıltı'sı"nın gözönünde tutulan anahtar faktör olduğu C. I. E. 61 yayınında gösterilmiştir.

Fakat pratikte, özellikle de tünelin tasarımının başlangıcında, Örtü Eşdeğer Parıltı'sına karar vermek çoğu kez zordur. Böyle durumlarda pratik deneyimlere dayandırılıp kullanılabilen

¹⁷ **equivalent veiling luminance** (CIE 845-02-58)

¹⁸ **field of view** (baş kımıldatmaksızın görülebilen doğrultuların geometrik yeri)

çok tahmin vardır. (**Bak. örneğin, bibliografy 10 nolu kaynak**) Bununla beraber, genellikle en çok kullanılan, "dış bölge"(access zone) Parıltı'sı olan L_{20} kavramıdır. Bu miktar, tam bir doğruluk derecesi ile ölçülebilir. Pek çok tünel için, bu kitabın sonraki bölümlerinde açıklanan metodlardan birinin kullanılması, L_{20} 'nin belirlenmesi için yeterlidir. "Örtü Eşdeğer Parıltısı" ile L_{20} arasındaki karşılıklı ilişki normal şartlarda istatistiksel olarak oldukça iyidir, fakat istisnai durumlarda **Dağılma** (spread) herşeye rağmen önemlidir, öyleki özelliği olan durumlarda ikisi arasında önemli bir farklılık olabilir. Bu haller, 20 derecelik bir alan içinden görülen gökyüzü yüzdesinin çok yüksek veya çok düşük olduğu yerlerdeki, Dış Bölge (access zone)'deki Parıltı seviyesinin bir uçtan bir uca çok yüksek olduğu (öğle güneşi gibi), veya alçak güneşin yaklaşık 20 derecelik bir alandan ışıdığı yerlerdeki durumları kapsarlar.

Uygulamada, Örtü Eşdeğer Parıltı'sına karar vermenin hem doğru hemde kolay bir yöntemi halen gözden geçirilmektedir.

Burada yapılan öneriler, bu yüzden L_{20} kavramına dayandırılır fakat geçici gibi gözden geçirilmelidir. (Ek'e bakınız)

Eşik bölgesi (threshold zone)'nin başlangıcında gereken Parıltı değeri, "günümüz tüneli" önünde referans alınan "fren mesafesi"ne eşit bir mesafede oluşan L_{20} değerine dayandırılmak zorundadır. Benzer gündüz koşullarında, farklı yaklaşma ve çevre şartlarında tüneller önemli şekilde farklı L_{20} değerleri vereceklerdir.

Bir tünel aydınlatma tesisinin tasarımı için, yıl boyunca yeterli sıklıkta oluşan en yüksek L_{20} değerini bilmeye gerek vardır .

Mevsim ve hava koşullarına bağlı olduğu için bu L_{20} değeri gerçekte ölçülemez, bu yüzden L_{20} nin değerlendirilmesi için "**hereunder**" olarak açıklanan basitleştirilmiş (şu) iki yöntem kullanılabilir :

5.1.1. BİRİNCİ YÖNTEM

Notlar bölümündeki yorumları dikkate alarak L_{20} (cd/m^2) değerleri tablosundan L_{20} 'nin seçimi:

Tablo 5.1 (L₂₀ Tablosu) 20° lik Konik Görüş Alanı İçindeki Ortalama Parlıltı (cd/m²) Değerleri

	20° LİK KONİK GÖRÜŞ ALANINDAKİ GÖKYÜZÜ YÜZDESİ (%)									
	% 35		%25		%10		% 0			
GÖRÜŞ ALANINDAKİ PARLAKLIK DURUMU	NORMAL az çok (*1) (*1)	KARLI az çok (*1) (*1)	NORMAL az çok (*1) (*1)	KARLI az çok (*1) (*1)	NORMAL az çok (*2) (*2)	KARLI az çok (*3) (*3)	NORMAL az çok (*2) (*2)	KARLI az çok (*3) (*3)	NORMAL az çok (*2) (*2)	KARLI az çok (*3) (*3)
FREN MESAFESİ 60 m.	(*) (*)	(*) (*)	4000 5000	4000 5000	2500 3500	3000 3500	1500 3000	1500 4000	1500 3000	1500 4000
FREN MESAFESİ 100m. - 160m. ARASI	4000 6000	4000 6000	4000 6000	4000 6000	3000 4500	3000 5000	2500 5000	2500 5000	2500 5000	2500 5000

NOT(1) : Tünel yönüne bağlı başlıca sonuçlar :

- AZ: Kuzey yarı kürede (tünele) güney girişi
- ÇOK: Kuzey yarı kürede (tünele) kuzey girişi
- Doğu ve batı girişleri için “AZ” ve “ÇOK” arasında orta değerler seçilmelidir.

NOT(2) : Çevre ışıltılılığı'na bağlı başlıca sonuçlar :

- AZ : Düşük çevre “yansıtma faktör”leri¹⁹
- ÇOK : Yüksek çevre “yansıtma faktör”leri

NOT(3) : Tünel yönüne bağlı başlıca sonuçlar :

- AZ: Kuzey yarı kürede (tünele) kuzey girişi
- ÇOK: Kuzey yarı kürede (tünele) güney girişi
- Doğu ve batı girişleri için “AZ” ve “ÇOK” arasında orta değerler seçilmelidir.

NOT(4): 60 metrelik bir Fren mesafesi için, %35 gökyüzü yüzdesi ile pratikte karşılaşılmaz.

DİKKAT: “Kuzey girişi”, “güneye doğru ilerleyen araç sürücüsü”nün gireceği tünel girişidir.
 “Güney girişi”ise, (TAM TERSİ) kuzeye doğru yol alan sürücünün gireceği tünel girişidir.

¹⁹ reflectance

5.1.2. İKİNCİ YÖNTEM (second method)

Bu yöntemde L_{20} nin değerlendirilmesi, tünel girişi çevresinin bir taslak resminden elde edilir ve :

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_r + \varepsilon L_e + \tau L_{th} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Burada :

L_c : gökyüzü Parıltı'sı γ : gökyüzünün yüzdesi (%)

L_r : yol Parıltı'sı ρ : yolun yüzdesi (%)

L_e : çevre Parıltı'sı ε : çevrenin yüzdesi (%)

L_{th} : "eşik bölgesi" Parıltı'sı τ : tünel girişinin yüzdesi (%)

Yukarıdaki bağıntıda $\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1$ 'dir

NOT: Formüldeki " L_{th} değeri", tanımlanması gereken bilinmeyen'dir.

100 ve 160 m. lik Fren Mesafeleri için γ değeri küçüktür (%10 dan küçük) ve L_{th} , diğer Parıltı'lara göre zaten küçük olduğundan L_{th} terimi ihmal edilebilir büyüklüktedir.

60 m. fren mesafesi için şu yazılabilir: $L_{20} = (\gamma L_c + \rho L_r + \varepsilon L_e) / (1 - \tau k)$

Tablo 5. 4 den " k " nın hiçbir zaman 0, 1 değerini aşmadığı görülecektir. Bu yüzden " k " ihmal edilebilir. Böylece $L_{20} = \gamma L_c + \rho L_r + \varepsilon L_e$ olur.

($\gamma + \rho + \varepsilon < 1$) olduğunu gözönünde tutunuz.)

$\gamma, \rho, \varepsilon$ değerleri tam belirlenemediği zaman, 5.1 - 5.8 şekilleri karşılaştırılarak tayin edilebilir. Eğer hiçbir doğru yerel değer mevcut değil ise L_c, L_r ve L_e nin kcd/m² cinsinden tanımlanmış aşağıdaki değerleri kullanılabilir.

Tablo 5.2.

ARAÇ SÜRME YÖNÜ (kuzey yarıküre)	L_c (kcd/m ²) (GÖKYÜZÜ)	L_r (kcd/m ²) (YOL)	DAĞLIK	L_e (ÇEVRE) (kcd/m ²)		
				YERLEŞİM YERİ (BİNALAR)	KARLI	ÇAYIRLIK
kuzey (*)	8	3	3	8	15 (V) 15 (H)	2
doğu-batı	12	4	2	6	10 (V) 15 (H)	2
güney (*)	16	5	1	4	5 (V) 15 (H)	2

(V) : Sürücüyü karşılayan, esas olarak dik yüzeyli dağlık bölge -**vertical**-

(H) : "Yatay"a yakın düz arazi, ("tam yatay"dan daha az veya daha çok)- **horizontal**

NOT: Tablo 5.2'de araç sürme yönü güney yarımküre ise, (*) ile işaretli güney ve kuzey seçenekleri yer değiştirir.

5.1.3. İKİ METODUN KULLANIMI (use of the two methods)

Tablo 5. 1 in kullanımını kolaylaştırmak için tipik tünel girişlerinin sekiz adet çizgi taslak resmi verilmiştir (**şekil 5. 1den şekil 5. 8 ‘e kadar**). Fotoğraflardan yola çıkılarak hazırlanmış bu resimlerde, "Dış Bölge "(access zone) Parıltı'sını belirleyen 20 derecelik konik alanların görüntüleri üstüste konmuştur. Her taslak resmin altında ; 20 derecelik alan içinde görünen gökyüzünün oranı, her birinin gerçek fotoğrafı alınan tünel girişinden sonraki Fren mesafesi ile birlikte verilmiştir.

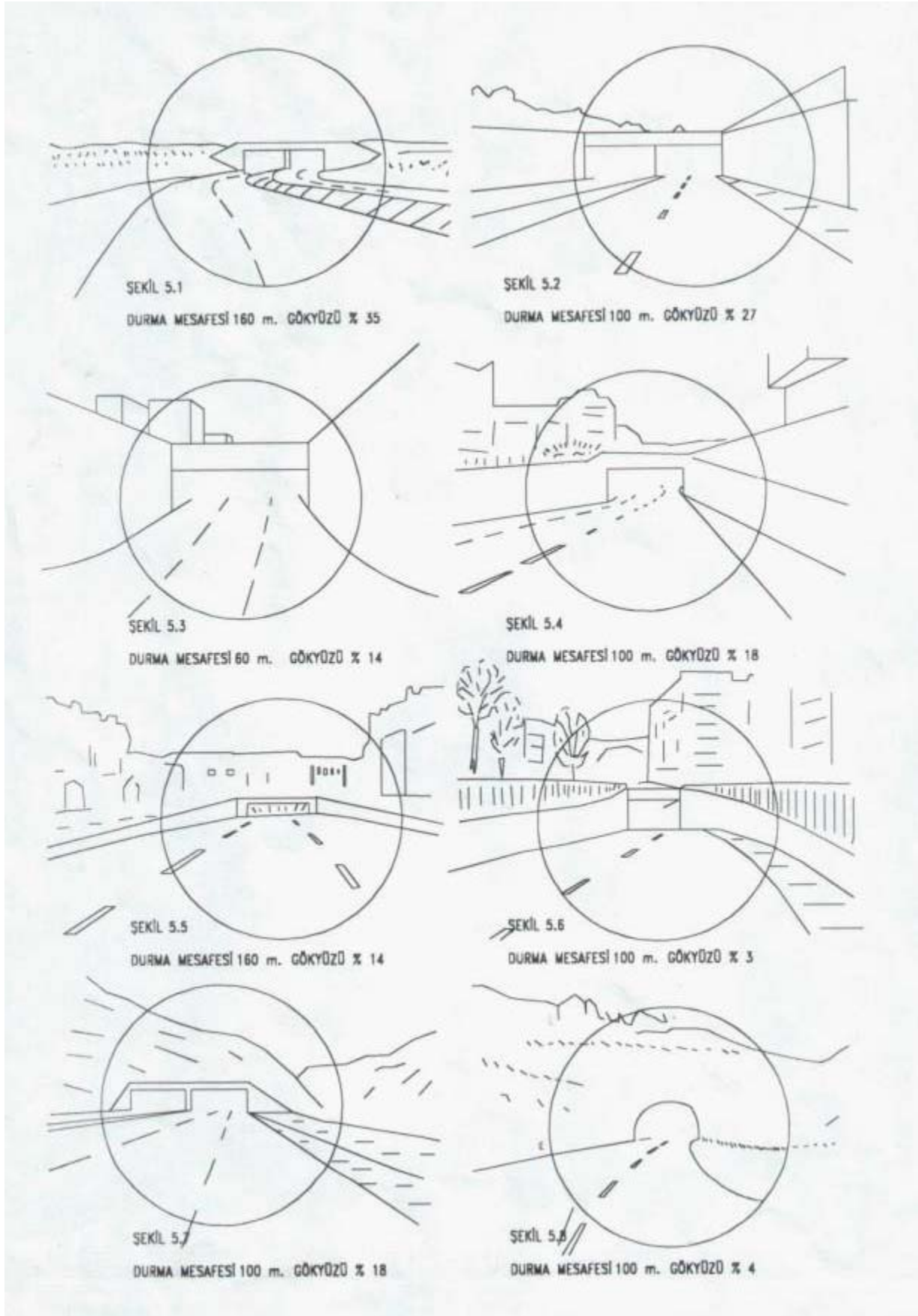
Herhangibir tünel girişinde L_{20} değerine katkıda bulunan gökyüzünün yüzde oranını tahmin etmek için, durma noktasından bir fotoğraf çekilmelidir . Tünelin yüksekliği gibi, resmin içinde bilinen bir boyut aracılığıyla, tab edilen fotoğraftaki 20 derecelik koninin çapı belirlenebilir. Eğer tünel henüz inşa edilmemiş olsa bile, inşaat süresince hemen hemen değişmeyecek kadar uzun bir ufuk çizgisi bir fotoğrafta kullanılabilir. Aksi taktirde derecelendirilmiş bir resim (a scale drawing) kullanılmalıdır. Sonra fotoğraf veya resim, onu daha çok andıran taslakçizim ve işaret edilmiş belirli gökyüzü yüzde değeri ile karşılaştırılmalıdır. Gökyüzü yüzdesinin tabloda görülenler arasında kalması halinde, L_{20} 'nin Ara Oransal Değerinin bulunması (interpolation) gerekir. Tablonun kullanılmasıyla ulaşılan L_{20} değerleri çok yaklaşık değerler olup, bunların kullanımı, yalnızca "tünel girişi" ile ilgili eldeki bilgi çok sınırlı ise önerilir.

Bölüm 5.1.2 de açıklanan L_{20} 'ye karar verme yöntemi, "tünel girişi" ile ilgili elde yeter bilgi var ise kullanılmalıdır. Uygulamada, tünel aydınlatma tasarımına ilişkin ilk yargıya Tablo 5.1 kullanılarak varılabilir ; ancak daha ayrıntılı bilgi edinildiğinde 5.1.2 yöntemiyle elde edilen bir L_{20} değerine dayalı olarak aydınlatma tasarımı son halini alır.

5. 2. EŞİK BÖLGESİ PARILTI'SI (threshold zone luminance)

5. 2. 1. TÜNEL BOYUTLARININ ETKİSİ (influence of tunnel dimensions)

Genel olarak, tünel girişinden önce Fren mesafesi'ne eşit bir mesafeden bakıldığında gün ışığı ile aydınlık halde bulunan tünel çıkışı, Görüş Alanı'nın büyük bir bölümünü kapsıyor ise, bir tünel veya altgeçitte Gündüz Aydınlatması'na (extra daytime lighting) gerek yoktur. Buna karşın, az önceki aynı konumdan bakıldığında ; tünel çıkışı, içinde araçlar gibi engellerin gizlenebildiği karanlık bir çerçeve (a dark frame) içinde görünüyor ise, tünel Gündüz Aydınlatmasına gerek gösterir. "**Karanlık tünel çerçevesi içinde gizlenmiş nesneler**"ın olasılığı'nı arttıran üç neden vardır: (1)-Tünelin uzunluğu (2)-Gözün hedef aldığı nesnelerin -örneğin bisikletli ve yaya- taşıtlardan daha küçük olması (3)-Tünel içindeki yolda seviye değişmesi (**yokuş**) veya yolun bir açıyla dönmesi (**viraj**), öyleki tünel giriş ağzı önündeki referans Fren mesafesi'nden bakıldığında çıkış'ın tam olarak görünmediği durum. Bununla birlikte, içine giren gün ışığının derecesi yüksek olduğunda ; çıkışı tam görülemeyen kısa bir tünel Ek Aydınlatma olmaksızın yeterince **İşıltılı** (**bright**) olabilir. Kesit alanı geniş, düz veya yokuşaşağı kavisli yolu ile açık alana çıkışı olan, güneye bakan bir tünel, maksimum gün ışığının içine girmesine izin verir. Buna karşın, çıkışın bir yarmaya veya yüksek binalarla



Şekil 5.1- 5.8 (Sekiz adet “tipik tünel girişi taslak resmi”- Tablo 5.1 rehberi)

kuşatılan bir alana açıldığı veya çıkıştan sonraki yolun yokuş yukarı olduğu yerlerde ve kuzeye bakan tünellerde tünele giren günışığı çok az olacaktır. Bununla beraber, tünele çok miktarda gün ışığı girdiği durumda ; tünel duvarlarındaki küçük dereceli “yansıma”²⁰ Görebilirliği şiddetle azaltacaktır. Daha yüksek trafik yoğunluğuyla ; büyük bir taşıtın ışıltılı arka plan görüntüsünü kapatma riski artar, ve böylece tünel Ek Aydınlatma ile donatılmamış ise yetersiz “görüş” riski yükselir.

Yukarıdaki faktörleri temel alan Tablo 5.3, bir tünel veya altgeçidin, ya bir Ek Aydınlatmaya gerek göstermediğine ; yada gündüz aydınlatmasının tamamınamı yoksa %50 sine mi gerek olduğuna karar vermek için bir rehberdir. Faktörlerin bazıları için bu rehberlik, kesin koşullar içinde değil sadece niteliksel koşullar içinde verilmiştir. Bu bir belirsizliğe neden olduğu zaman, kısa tüneller daha çok “görebilirlik” problemleri verme eğiliminde olduklarından daha tutucu bir yol izlenmesi önerilebilir. Bu, geçici Görsel Uyum problemlerinden dolayıdır (örneğin Görüş Alanı içindeki ışıltılı tünel çıkışının tamamı veya bir bölümünden ötürü, Karanlık Çerçevenin düşük aydınlatma seviyesine Görsel Uyum olmaz.) Bölüm 5.2 ve 5.5 , (tünelerde) gündüz aydınlatmasının tam (%100) aydınlatma seviyelerini tanımlar.

5.2.2. EŞİK BÖLGESİ AYDINLATMA SEVİYESİ (lighting level in the threshold zone)

Eşik Bölgesi’nin başlangıcında gerek duyulan “korunan ortalama yol yüzey Parıltısı” L_{th} ’a, farkı Fren Mesafeleri ve farklı L/Ev oranları için **Tablo 5.4**’de verilen “ L_{th}/L_{20} ” oranlarından karar verilir.

Tablo 5.4’de gösterildiği gibi, “**zıt-yönlü aydınlatma sistemi**” (counter beam lighting) için daha düşük oranlar kullanıldığında dikkat edilmelidir. Daha küçük L_{th} değerlerinin kabulüyle, **kara delik etkisi**’nde (black hole effect), simetrik aydınlatma sistemi için verilen L_{th} değerleri ile elde edilenin üstünde artış olabilir ve sürücülerin rahatlık duygusu azalabilir. Bununla birlikte, “zıt-yönlü aydınlatma sistemi” (C.B.L.), küçük nesneler ile yol yüzey arka planı arasında daha yüksek kontrast yaratır. Bu yüzden, daha küçük Parıltı değerleri ile daha yüksek bir Görebilirlik seviyesi elde edilir ve Görsel Uyum’un tamamlanmasından önce nesneler farkedilir.

Tabloda verilenlerin arasında kalan Fren mesafesi değerleri için, “doğrusal ara değer bulma”ya (a linear interpolation) izin verilir.

²⁰ **reflection** (CIE 845-04-42)

Tablo 5.4. Dış Bölge ve Eşik Bölgesi Parıltıları Arasında Önerilen Oranlar ($k=L_{th}/L_{20}$)

	SİMETRİK AYDINLATMA SİSTEMİ ($L/E_v \leq 0,2$)	ZIT-YÖNLÜ AYDINLATMA SİSTEMİ ($L/E_v \geq 0,6$)
FREN MESAFESİ	$k=L_{th}/L_{20}$	$k=L_{th}/L_{20}$
60 m.	0,05	0,04
100 m.	0,06	0,05
160 m.	0,10	0,07

NOTLAR:

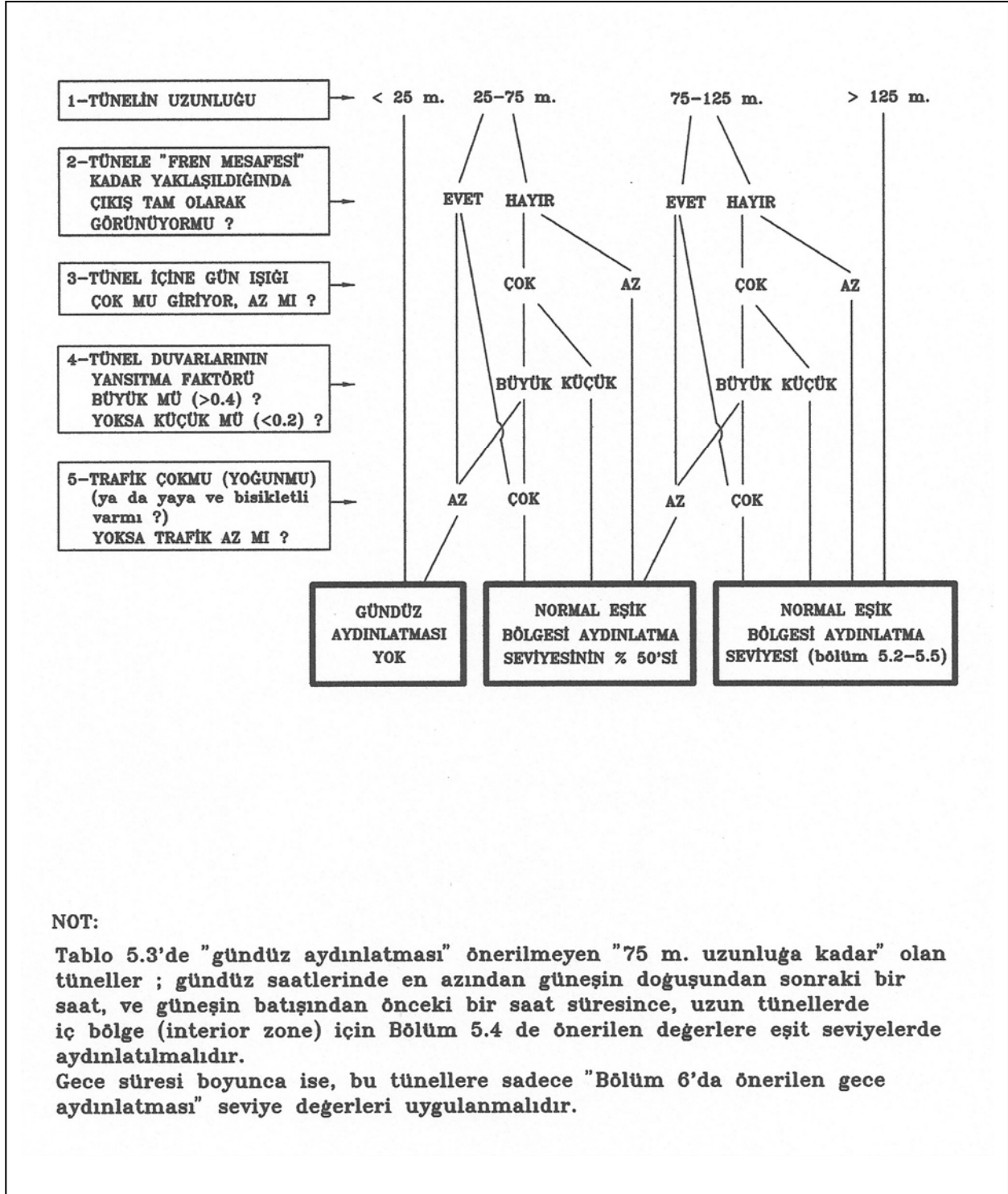
NOT 1 : $0,2 < L/E_v < 0,6$ şartını sağlayan aydınlatma sistemlerine nadiren rastlanır. Böyle bir aydınlatmada, Simetrik Sistem için önerilen k değerleri kabul edilir.

NOT 2 : Yüksek L/E_v oranlı (zıt-yönü aydınlatma -C. B. L.) tesis uygulamalarının sınırlı uluslararası deneyimi karşısında, ve bu tür tesislere ilişkin tüm görüşlere uluslararası katılım gereği, bu tesisler için nisbeten yüksek L_{th} / L_{20} değerleri belirtilir. Bu ; her şart altında elde edilen konfor ve emniyet derecesinin, küçük L/E_v oranlı geleneksel tesislerin çoğunda başarılı olmuş olanlar ile, en azından karşılaştırılabilmesini sağlamak için yapılır. Belirtilen tüm L_{th}/L_{20} değerleri ; prensip olarak, normal ve yüksek trafik koşulları içindir. Bu koşulların net bir şekilde çok uygun olduğu yerlerde, Tablo 5.4'deki oranlar, verilen değerlerin %75 ine kadar indirilebilirler. Bu faktör, sadece, aşağıdaki talepler tam olarak karşılandığında dikkate alınmalıdır :

- tünel içinde tek yönlü trafik
- Yavaş ve hızlı trafiğin birbirine katılmaması
- Dış (access), Eşik (threshold), ve Geçiş (transition) bölgelerinin başlangıç ve bitimlerinde şerit değişikliği olmaması
- tünel içinde araç durdurulmasına izin olmaması
- Düşük trafik yoğunluğu (örneğin saatte 100 araçtan az)
- düz (virajsız) tünel

NOT 3 : “zıt-yönlü aydınlatma” (C.B.L.) için ; bu sistemde deneyimli bazı ülkeler, tablo 5. 4. ün ikinci sütununda verilenlerden daha düşük değerler kullanırlar. Ortalamanın üstünde yoğun trafik için, diğer ülkeler ; simetrik ve “zıt-yönlü aydınlatma” (C.B.L.) sistemleri için aynı değerleri uyguluyor gibi görünüyorlar.

NOT 4 : Eşik Bölgesi (threshold zone), güneş ışığı geçirmeyen gün ışığı panjur (louvre) veya perdeleriyle (screenings) gerçekleştirildiğinde, simetrik aydınlatma için kullanılan “k” faktörü uygulanmalıdır. Bazen, yatay panjur veya pencereler veya düşey dehlizler (baca) gibi güneş ışığını hiç kesmeyen perdeler kullanılır. Işık dağılım şekil düzeninden oluşan Işık Titremesi (flicker) problemleri ve yol yüzeyindeki gölgelerden oluşan problemler özenle dikkate alınmalıdır. Bu problemler yeter derecede çözülebildiği zaman, (örneğin tünel doğrultu yönü, coğrafi enlemi, iklim koşulları, tünelin yapısı dikkate alınarak) k faktörü 0,3 olmalıdır.



Şekil 5.3. Farklı Tünel Uzunlukları İçin Tünellerin Gündüz Aydınlatılması

5.2.3. EŞİK BÖLGESİNİN UZUNLUĞU (length of the threshold zone)

Eşik bölgesinin toplam uzunluğu en azından Fren mesafesi kadar olmalıdır. Bu mesafenin ilk yarısında, aydınlatma seviyesi, Eşik Bölgesinin başlangıcındaki değer olan L_{th} 'a eşit olmalıdır. Fren mesafesinin yarısından ileriye doğru, aydınlatma seviyesi ; Eşik Bölgesinin sonunda 0,4 L_{th} 'a eşit bir değere derece derece ve doğrusal olarak azalabilir (bak Şekil 5.9). Eşik Bölgesinin ikinci yarısındaki kademeli azaltma, adımlar halinde yapılabilir. Bu taktirde, bir kademe ile sonraki kademe arasındaki Parıltı (luminance) oranı, yinede 3/1'i aşmamalı ve aydınlatma seviyesi, eğride gösterilen limit değerinin altına düşmemelidir.

5.2.4. DUVARLARIN PARILTISI (luminance of the walls)

Tünel duvarlarının 2 metre yüksekliğe kadar olan kısmında ortalama Parıltı, ortalama yol yüzey Parıltısı'ndan az olmamalıdır.

5. 3. GEÇİŞ BÖLGESİNİN UZUNLUĞU VE PARILTISI (length and luminance of the transition zone)

Geçiş Bölgesi (transition zone) içinde, Eşik Bölgesinden (threshold zone) İç Bölge (interior zone)'ye doğru Parıltı derece derece azaltılır. Tünel eksen boyunca Parıltı'da önerilen azaltma, 0 m noktasında eğri başlangıç bölümünde, şekil 5. 9 da gösterildiği gibi verilir. Bununla birlikte uygulamada, bu eğride (aşağıda verilen) bazı sapmalara izin verilebilir :

- Eğri, az miktarda görsel rahatsızlık veren bir duruma karşılık gelir. Bazen biraz daha dik bir eğri, beklenildiği gibi daha fazla rahatsızlık ile birlikte kabul edilebilir.
- Maksimum izin verilen düşüşleri 3/1 olan birkaç kademe kullanılarak, eğriye yakın eğriler kullanılabilir ; ancak aydınlatma seviyesi eğride gösterilen limitin altına düşmemelidir.
- Eşik Bölgesi (threshold zone)'nde değişmeyen Parıltı, yada İç Bölge (interior zone)'de önerilenden daha yüksek Parıltı olduğu zaman ; Geçiş Bölgesi (transition zone)'nin uzunluğu "Şekil 5.9" da gösterilenden bir miktar daha kısa olabilir. Şimdiki durumda, Şekil 5.9 eğrisinden ne kadar büyük bir sapmanın olabileceğini kesinlikle belirtmek olası değildir. Ayrıca, bu alanda devam eden araştırmaların, yakın gelecekte daha kesin bir "öneri"ye rehberlik edeceği umulmaktadır.

Şekil 5.9'un uygulamasında, Parıltı ; İç Bölge seviyesinin üç katına ulaştığında eğri İç Bölgeye ulaşır.

2 metre yüksekliğe kadar olan tünel duvarlarının ortalama Parıltısı, ortalama yol yüzey Parıltı'sından az olmamalıdır.

5.4. İÇ BÖLGE'DE PARILTI (luminance in the interior zone)

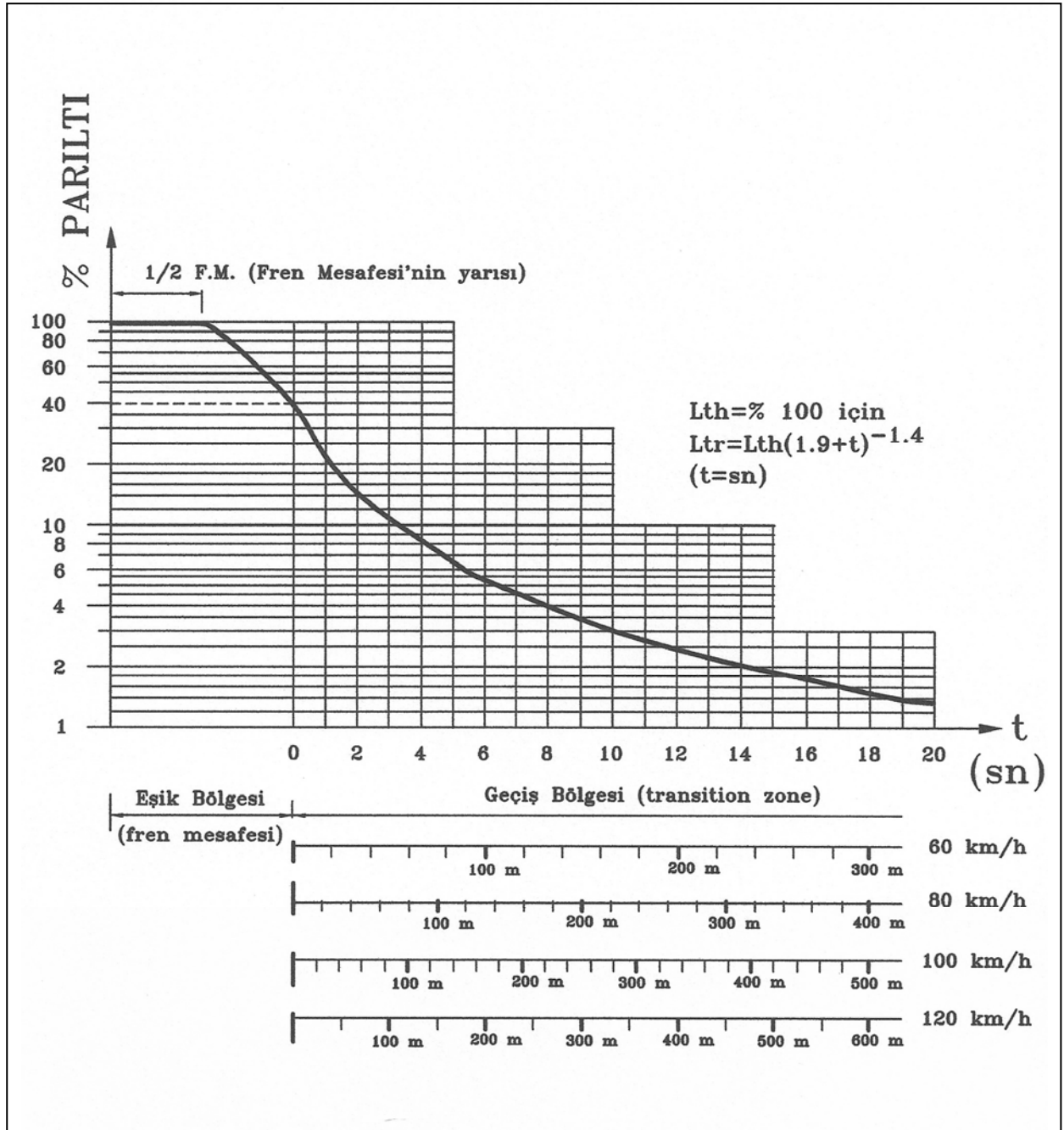
Bir tünelin İç Bölgesi (interior zone)'nde (korunan) ortalama yol yüzey Parıltısı, trafik akışına göre 160 m. , 100 m. ve 60 m. 'lik üç ayrı fren mesafesi için verilir.

Tablo 5.5. “İç Bölge” de Önerilen Ortalama “Parıltı” Değerleri (cd/m²)

İÇ BÖLGE (INTERIOR ZONE) ORTALAMA YOL YÜZEY “PARILTI” DEĞERLERİ (cd/m²)			
	SAATTE TRAFİK AKIŞI (araç/saat)		
FREN MESAFESİ	DÜŞÜK (100 araca kadar)	ORTA (100 -1000 araç)	YÜKSEK (1000 araçtan çok)
160 m.	5 (cd/m ²)	10 (cd/m ²)	15 (cd/m ²) ²¹
100 m.	2 (cd/m ²)	4 (cd/m ²)	6 (cd/m ²)
60 m.	1 (cd/m ²)	2 (cd/m ²)	3 (cd/m ²)

NOT: Verilen değerler yol yüzeyi için olduğu kadar tünel duvarlarının 2 m.' lik yüksekliğe kadar olan bölümleri için de geçerlidir.

²¹ C.I.E.'nin henüz üzerinde çalıştığı bildirilen yeni ön-çalışmasına göre (CIE 88-2), “iç bölge”de daha detaylı 7 ayrı sınıflandırma yapılmakta ; ve bu tabloda yer alan maksimum “parıltı” değeri olan 15 cd/m² değeri 10 cd/m² 'ye düşürülmektedir. (160 m.'lik fren mesafesi için).



Şekil 5.9. Farklı Bölgelerdeki Aydınlatma Seviyesinin Şematik Gösterilişi

5.5. ÇIKIŞ BÖLGESİ AYDINLATMASI (lighting of the exit zone)

Çevre aydınlık seviyesindeki artışlara karşı görsel uyum çabuk olduğundan, bu amaç için, tünel çıkışları ek bir aydınlatma gerektirmez. Yinede, Çıkış Bölgesi'nde (exit zone) ek aydınlatmanın (şu) yararları olabilir :

- Çıkıştaki Kamaşma Etkisi (glare effect) nedeniyle, geniş araçların arkasında gözle kolay farkedilemeyecek olan küçük araçları, izlenen trafikte dolaysız şekilde belirgin kılmak.
- Özellikle araç sollanırken, tüneli terkeden sürücülerin aynalarıyla “arka görüş” ‘e yeterince sahip olmalarını olası kılmak .

Bir örnek olarak, tek yönlü bir tünelde aşırı yoğun trafikte araçlar (özellikle de kamyonlar) tünel çıkış görüntüsünü görsel olarak kapatırlar. Eğer bu koşullar altında duvarlar (ve tavan), tünel çıkışından tünelin son kısmına giren günışığını içeriye yansıtmak için yeterince parlak değilse, tünelin son 60 metresine, İç Bölge (interior zone)'nin beş katı bir seviyede yapay bir aydınlatma tesis edilmesi istenebilir.

5.6. GÜNIŞIĞININ DEĞİŞMESİ VE AYDINLATMA KONTROLU (daylight variation and lighting control)

Günişığı koşullarının değişmesiyle Dış Bölge (access zone) Parıltısı değişir. Mademki Eşik (threshold) ve Geçiş (transition) bölgelerinin ideal Parıltı seviyeleri, Dış Bölge (access zone) Parıltı'sının sabit oranlarıdır, o halde bu bölgelerdeki yapay aydınlatmanın otomatik kontrolünü sağlamak gerekir. (Aydınlatma Armatürlerini) devreye alıp çıkarma kademeli olarak yapılabilir. Hernekadar, “3 katında” bir ani azaltma, ekonomik ve konfor nedenleriyle tercih ediliyor ise de ; “5 kat”a kadar yapılan azaltmalar kabul dileyebilir. Eşik Bölgesi (threshold zone)'nde gereken minimum seviyeye, k Parıltı oranı ile Ani Parıltı (instantaneous luminance) değeri L_{20} 'nin çarpılmasıyla her zaman karar verilebilir.

L_{20} Parıltı'sı, 20° çaplı (20 derecelik konik açıyla bakıldığında görülen dairenin çapı) bir alan üzerindeki ortalama Parıltı'dır, ve bu amaç için, tünel ağzından fren mesafesi kadar uzaktan öyle bir yöntemle ölçülmelidir ki ; ölçüm alanı, L_{20} 'nin orjinal ölçümü için kullanılan alana mümkün olduğunca yakın olsun. Kesintisiz ölçme yapabilmesi için Parıltıölçer, eğer yol sola doğru bir kavis yapmıyor ise yolun sol kaldırımında 2-5 metre arası bir yüksekliğe monte edilmelidir. Yolun sola doğru kavis yaptığı durumda ise, “parıltıölçer” ; ölçüm alanı merkezi karşısına, veya yolun sağına yerleştirilmelidir. Parıltıölçer ölçüm alanının ortalamasını ölçmeli ve $V\lambda$ 'yı doğrulamalıdır. Isıya karşı duyarlılığı en aza indirilmiş ve uzun vadede kararlı kılınmış olmalıdır.

Uygulanan “k” Parıltı oranı, Eşik Bölgesi (threshold zone)'ndeki aydınlatmanın kontrast kalitesine ve trafiğin sınırlanmış hızına bağlıdır (bak Tablo 5.4)

Eşik Bölgesi (threshold zone)'ndeki gerekli L_{th} Ani Parıltısı, L_{20} ve “k”dan türetilir.

Eşik Bölgesi'ndeki Etkin Parıltı (effective luminance), Aydınlatma Armatürlerini besleyen elektrik devrelerinin ayarına bağlıdır.

Ömürlerini doldurup devre dışı kalan lambalar ve zamanla yol yüzey yansımada oluşan değişim göz önüne alındığında, Eşik Bölgesi (threshold zone) Parıltı'sıyla ilgili daha doğru bilgi elde etmek için, içerideki Parıltı ikinci bir "parıltıölçer" ile ölçülebilir.

Eşik Bölgesi (threshold zone) 'nde var olan Etkin Parıltı ile olması gereken L_{th} Parıltı'sı arasındaki fark ; aydınlatma gruplarının elektriki anlamda devreye alınıp çıkarılması kararının ölçütüdür.

Etkin Parıltı'nın, araç sürücülerinin göz konumundan ölçülemeyeceği hesaba katılmalıdır. Uygulamada karşılaşılan nedenlerden ötürü yükseklik, en yüksek kamyon yüksekliğinden - örneğin 4, 5 metreden - daha fazla olmalıdır. Bu yüzden ölçülen değer, araç sürücüsünün gördüğü Parıltı'dan farklıdır. Bir düzeltme faktörü yılda bir kez ölçülerek hesaplara konmalıdır. Bu faktör, kaldırımın yansıtma durumuna (specularity) bağlı olup çoğunlukla 1,2 - 2,0 arasındadır. Genellikle Eşik Bölgesindeki Etkin Parıltı ile L_{th} arasındaki daha küçük fark, daha iyi kontrol ve daha düşük maliyet demektir. Kademe sayısı ne kadar çok olursa o kadar daha iyi kontrol sağlanır. Her montaj şeklinde en ekonomik çözüm için ; temel olarak, enerji, lamba ve çalışma giderleri gözönünde bulundurulur. Çoğu durumda aydınlatma kademeleri 10 -25 cd/m² aralığındadır. Aydınlatma kontrol sisteminin farklı unsurları içindeki "yanıt verme dinamiklerine dikkat edilmelidir. Kontrol sisteminin çıkış (output) dinamikleri, uygulamada aydınlatmada karşılaşılan değişikliklere en seri karşılık verme ihtiyacına cevap verebilmelidir. Örneğin yeterli yol aydınlatma enerjisinin yanıt süresi genellikle HPS lambalar için 3 dakika, LPS lambalar için 15 dakikadır ; ve yine, bir dağ veya binanın gölgede bıraktığı güneş nedeniyle gökyüzü Parıltı'sında aşırı değişimler olabilir. Bulutların neden olduğu L_{20} ' deki kısa süreli hızlı değişiklikler nemsinmemelidir. Diğer taraftan, güneşin, dağların veya binaların arkasından doğuş ve batışının neden olduğu L_{20} ' deki hızlı bir değişime, makul bir süre içinde tepki verilmelidir. Aydınlatma kontrolü, en azından, L_{20} ' nin gerçek değerlerini ve Eşik bölgesindeki (Threshold zone) Etkin Parıltı'yı ve aydınlatma programını gösterebilmelidir. Kalite teminatı için, bu değerlerin bir yazıcı çıktısıyla alınması veya istatistiki bir fonksiyona sahip olunması önerilir.

5.7. EŞDAĞILIM (uniformity)

Yol yüzeyinde ve duvarların 2 metreye kadar olan bölümünde Parıltının Eşdağılımı sağlanmalıdır. Duvarların alçak kısımları, yolun yaptığı gibi trafik için bir fon etkisi yapar ; bu yüzden ikisi aynı tarzda düşünülmelidir. Tünel içinin temiz olduğu durumda, yol yüzeyinde ve duvarların iki metreye kadar olan bölümlerinde ; "parıltı"nın **minimum değerinin ortalama değerine olan oranı**'nın en az 0,4 olması önerilir.²²

²² $L_{min}/L_{ort} = U_o > 0,4$ (en az 0,4)

Her yol şeridi boyunca, 0,6 oranında Boyuna Eşdağılım (longitudinal uniformity), yol için önerilir. ²³

“Zıt-yönlü aydınlatma sistemi” (counter beam lighting system)’ nin söz konusu olduğu durumda duvarların aydınlatılması ; arkada yeteri kadar parlak bir fon sağlanması ile, L/Ev oranını azaltacak olan çok aşırı duvar yansımalarından sakınma arasında bir uzlaşmadır.

NOT: Yukarıdaki 0,4 ve 0,6 değerleri, C. I. E. Yayın No: 12/2 (RECOMMENDATIONS FOR THE LIGHTING OF ROADS FOR MOTORIZED TRAFFIC) 'de normal yol aydınlatmaları için verilen değerlerdir ve anılan yayında düzeltmeler yapılır ise bu 0,4 ve 0,6 değerleri üzerinde tekrar düşünülmelidir.

5.8. KAMAŞMA KISITLAMASI (glare restriction)

Kamaşma yol görüşünü azalttığından sınırlanması önemlidir. Tünel aydınlatmasında, C. I. E. Yayın No: 31 (GLARE AND UNIFORMITY IN STREETLIGHTING)'de açıklandığı gibi, sadece fizyolojik (disability) kamaşma dikkate alınmalıdır. Eşik Artış Değeri (threshold increment-T. I.), gün ışığı süresince Çıkış Bölgesi (exit zone) hariç tutulmak üzere, bir tünel içindeki tüm bölge ve kademelerde %15 den daha az olmalıdır. T. I. değeri aşağıdaki formüllerden hesaplanacaktır :

$$T.I. = 65L_v / L_r^{0,8} \quad (L_r \leq 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için})$$

$$T.I. = 95L_v / L_r^{1,05} \quad (L_r > 5 \text{ cd/m}^2 \text{ için})$$

Burada :

L_r : Fona şekil veren kaldırım ve duvarların ortalama Parıltısı

L_v : Yataydan 20 derece yukarıya kadar olan görüş alanı içinde kalan Aydınlatma Armatürlerinin oluşturduğu örtü Parıltısı

5.9. IŞIK TİTREMESİNDEN KAÇINMA (avoidance of flicker)

Işık titreme duygusu, örneğin “gün ışığı alan” ²⁴ tünel duvarları veya uygun olmayan şekilde aralıklarla konmuş Aydınlatma Armatürlerinin meydana getirdiği Parıltı’daki periyodik uzaysal değişiklikler içinden geçerek araç kullanıldığı zaman görülür. Işık titremesinden dolayı maruz kalınan görsel rahatsızlık şunlara bağlıdır :

²³ $L_{min}/L_{max}=U=0,6$ (NOT: “0,6” oranı, “metin”de ; “önerilen değer” olarak geçmektedir. (“En az” değil). Öyle anlaşılıyor ki bu değer, “tünele has zorluklar” nedeniyle bu şekilde “önerilmektedir. Çünkü “yol aydınlatması” için bu değer “en az” olarak ifade edilir)

²⁴ Burada geçen sıfat “**louvered**”dir. (“**louvered tunnel walls**” ; Özel bir yapısal tasarım ile, içine sınırlı miktarlarda “azaltılmış gün ışığı” girmesi sağlanan bir tünelin (yada tünel bölümünün) duvarları ; **ŞEKLİNDE TERCÜME EDİLEBİLİR.**)

- a) saniyede Parıltı değişim sayısı (titreme frekansı)
- b) deneyin toplam süresi
- c) peryodik değişimin tekrarlanan dizilerinden (cycle) biri içinde, aydınlıktan karanlığa geçiş değişim derecesi
- d) her bir peryotta, Parıltı eğrisinin en üst (aydınlık) ve en alt (karanlık) değerleri arasındaki oran (**luminance modulation depth**)

a, b ve c şıkları araç hızına ve Aydınlatma Armatürleri arası mesafeye ; c ve d şıkları ise Aydınlatma Armatürleri arası mesafeye ve bu aygıtların ışıksal karakteristiklerine bağlıdır.

Genel olarak 2, 5 hz 'in altında ve 15 hz'in üstündeki frekanslarda ışık titreme etkisi ihmal edilebilir.

Bir Aydınlatma Armatürünün Parlak Alanı'nın (flashed area) sonu ile bir sonraki Aydınlatma Armatürünün Parlak Alanı'nın başlangıcı arasındaki mesafe, Parlak Alan'ın uzunluğundan daha kısa olduğu zaman algılanan ışık titremesi, en azından yapay aydınlatma konusunda ihmal edilebilir olarak gösterilir.

Tünelin uzantısı içinde, ışık titreme frekansını hesaplamak için birimi m. / sn. olan araç hızı, birimi m. olan aydınlatma armatürleri arası mesafeye bölünür. **Örneğin, araç hızı 60 km / saat (ki bu hız 16,6 m / sn. demektir) ve Aydınlatma Armatürleri arası mesafe 4 m. ise ; ışık titreme frekansı $16,6 / 4 = 4,2$ hz dir.**

6. GECE AYDINLATMASI (nighttime lighting)

6. 1. Eğer tünel aydınlatılmış bir yol bölümü üzerinde ise, tünel içi aydınlatma, en azından dıştaki yol aydınlatmasına eşit seviye ve düzgünlükte olmalıdır.
6. 2. Eğer tünel aydınlatılmamış bir yolun bölümü ise, tünel içinde her şerit için ; $L_{ort} = 1$ cd/m² lik ortalama Parıltı, **$L_{min}/L_{ort} = 0,4$ oranlı ortalama Parıltı Düzgünlük Oranı (overall uniformity) ve $L_{min}/L_{max} = 0,6$ oranlı Boyuna Parıltı Düzgünlük Oranı'nın (longitudinal uniformity) sağlanması gerekir.** Bunlar, gündüz aydınlatılmayan kısa tünellere de uygulanır.
6. 3. Tünel çıkışı dışındaki yol, tünel içinde izin verilen hızda giden bir aracın en az 5 saniyede katedeceği mesafe boyunca aydınlatılmalıdır. Yolun ortalama Parıltı'sı, tünel içinde çıkışa yakın noktalardaki Parıltı'nın 1/ 3 ünden az olmamalıdır.
6. 4. Tünelin giriş ve/veya çıkışı gün ışığı kesen paravanlarla donatıldığında, tünel içi gece aydınlatma sistemi paravanlar altında da devam ettirilir.

7. YARDIM AYDINLATMASI (emergency lighting)

7.1. GENEL (general)

Güç besleme sisteminde bir arıza durumunda, aydınlatmanın en küçük kademesini devrede tutarak aşağıdakileri güvence altına alacak bir Yardım besleme sisteminin sağlanması gerekir :

- a) Türlü çarpışmalarla sonuçlanması mümkün ani frenler karşısında tünel içindeki sürücülerin hata anındaki içgüdüsel reaksiyonlarını en aza indirmek
- b) Bir kez hız sınırlaması ortaya konmuş trafik için, yeterli aydınlatmanın makul şekilde sağlanması.
- c) Tünel içindeki bir kaza sonrasında ilk yardım ekiplerinin çabalarına yardımcı olmak

7.2. SÜRÜCÜLERİ UYARMA (warning to drivers)

Yetersiz aydınlatmayla donatılmış bir tünele yaklaşan araç sürücülerini uyarmak amacıyla, tünel giriş ağzından on metrenin birkaç katı mesafe öncesine, tünel içindeki yasal hızın geçici olarak azaltıldığını belirten bir işaret konmalıdır. Mesajın sadece gerektiği zamanlarda iletilmesi için, işaret ışıklı yazı tipinde olmalıdır.

7.3. SÜRDÜRÜLECEK AYDINLATMA (the lighting to be maintained)

Eşik (threshold zone) ve Geçiş (transition zone) bölgeleri düşünüldüğünde, sürdürülmesi gereken aydınlatma seviyeleri, uyarı işareti (levhası) ile bildirilen “azaltılmış hız” ile ilgili olacaklardır. Tünel içinde İç Bölge (interior zone)’de enerji kesildiğinde devreye girecek olan yedek güç, en azından “gece aydınlatması” nı karşılamalıdır.

7.4. GÜÇ BESLEMELERİ (power supplies)

Tünelde en kritik anların, normal aydınlatmaların devre dışı kaldığı zaman meydana geldiği yukarıda şık 7. 1 de belirtilmiş idi. Bu yüzden, normal (şebeke) gerilimin kesilmesinden sonra çok kısa bir sapma süresi içinde (0, 5 saniyeden az) Yardım Aydınlatması'nın devreye girmesi gerekir. Bu sonucu başarmak için aşağıdaki üç şıktan biri gereklidir :

- 1- Birbirinden bağımsız düşünülebilen, otomatik çalışan ve uygulamada yükü bir anda diğerine aktarabilen birbirine eş iki ayrı şebekeye sahip olmak. Devreye alıp çıkarmadaki sorunlardan kaçınmak için aydınlatmanın bir bölümünü bir şebekeden kalanını diğerinden beslemek mümkündür. Bu durumdaki zorluk, tamamen bağımsız iki güç kaynağına sahip olmaktır. İki besleme hatının farklı yollar izlemesi zorunluluğu sonucu bunun extra yatırım maliyeti gerektirmesi temel durumdur. Ancak, büyük

bölgeleri kapsıyan genel bir elektrik kesintisi durumunda (aynı ring üzerinden besleniliyor ise) “eş yedek şebeke” de sorunu çözmez.

- 2- Bir Yardım generatörü ve akü grubundan şebekeyi beslemek: Enerji kesildiği andan itibaren, generatörün nominal devrine çıkıp gereken aydınlatma gücünü karşılamaya başladı ana kadar geçen süre içinde, akü grubu "yeter sistemi" besleyebilmelidir.
- 3- Her zaman devrede olan ve saniyeden küçük sürelerde Yardım aydınlatması yükünün an azından bir bölümünü karşılayacak kapasitede bir YARDIM SİSTEMİ bulundurmak.

Bu çözümlerden biri veya diğerleri arasında yapılacak bir seçim, yerel şartlar ve oradaki görelî maliyetlerle ilgilidir. Yardım aydınlatması devrelerinde kullanılan lambaların ateşleme yada tekrar ateşleme özellikleri gözönünde bulundurulmalıdır. Havalandırma, trafik işaretleri, yağmur suyu deşarj pompaları gibi diğer tüm tünel tesisatları için gereken Yardım şebekesi oluşturma gereksinimi, ” yardım sistemi seçimi” nde hesaba katılmalıdır. Genellikle aydınlatılmayan “ kısa” tünellere Yardım aydınlatması gerekmez.

8. BAKIM (maintenance)

Aydınlatma tesisinin bakımı, lamba yenilenmesini, Aydınlatma Armatürlerinin ve tünel duvarlarının temizliğini, Aydınlatma Armatürleri ve elektrik devrelerinin çeşitli tümleşik bakımlarını kapsar.

8.1. LAMBA DEĞİŞTİRME (relamping)

Kaynaklarca üretilen Işık Akısı zamanla azalır. En uygun lamba yenileme süresine karar vermek için, ışığın "çıkış değişimi" izlenmelidir. Lambaların gruplar halinde düzenli olarak yenilenmesi tercih edilir. Bu grup halinde yenileme, kullanılan lambaların ömrüne ve lümen düşümlerine bağlı olarak uygulanmalıdır.

8. 2. AYDINLATMA ARMATÜRLERİNİN TEMİZLENMESİ (cleaning of the luminaires)

Aydınlatma Armatürlerinin temizliği bir gereksinimdir, aksi taktirde akı kayıpları, sonunda neredeyse toplam akıya eşit olur.

Aydınlatma armatürlerine toz girişi yeterince engellenirse ; camların ve armatürün temizliği, ışık çıkışını yeterince sürdürür. İstenen verimin korunması amacıyla, temizlikler arasındaki süre çokça değişebilir.

8.3. TÜNEL DUVARLARININ TEMİZLENMESİ (cleaning of the tunnel walls)

Herne kadar tünel duvarlarının temizlenmesinin toplam verime etkisi iç yansımaların katkısına göre az ise de, (temiz) duvarların daha yüksek yansıtma oranı tünel duvarları önünde görülen nesnelerin daha yüksek Parıltı kontrastına (ve böylece daha net görüşe) neden olduğundan ; ve temiz duvarların optik rehberliğe sunduğu anlamlı katkılardan dolayı, tünel duvarlarının temiz olması arzu edilir.

Temizliğin sıklığı ; trafik koşullarına, duvar kaplama malzemesine, ve korunması arzulanan verimden kaynaklanan çok faktöre göre değişir.

8.4. DENETİM IŞIKÖLÇERLERİNİN BAKIMI

(maintenance of the control photometers) ²⁵

Tünelde Parıltı (luminance) seviyesinin denetimi için Dış Bölge (access zone) ve Eşik Bölgesi (threshold zone)'nde kullanılan ışıkölçerlerin periyodik kontrolünün yapılması önemlidir. Her iki ışıkölçerin kalibrasyonu, laboratuvar standartlarında yılda en az bir kez ; ve farklı devrelerin enerji tüketimleri de ya bir önceki yılın aynı ayına ait enerji tüketimi ile ya da benzer tünellerde tüketilen enerji ile kıyaslanarak kontrol edilmelidir.

8.5. AYDINLATMA ARMATÜRLERİYLE İLGİLİ ÇEŞİTLİ BAKIMLAR

Bu (bakım) ; armatürün monte edildiği parçaların, kilitleme sistemlerinin, su geçirmez conta ve parçaların v. b. kontrolünü ve yenilenmesini kapsar. Bu bakım, proje safhasında ayrıntılara özel önem verilerek daha kolay yapılır, örneğin :

- Aydınlatma Armatürlerinin I. E. C. Yayın No: 598 e göre IP65 koruma sınıfına uygun olması
- Lamba ve ek parçalara (dışarıdan) ulaşma olanağı yaratılarak (gerektiğinde) parçaların çabuk değiştirilebilmesi
- İnsan eli için kolay ve büyük Aydınlatma Armatürleri sistemi
- Tünel içinde kullanılan Aydınlatma Armatürleri ve diğer malzemelerin paslanmaya karşı direnci
- İzin verilen maksimum trafik yüksekliğinden en az 25 cm yukarıda Aydınlatma Armatürleri tesisi

²⁵ photometer (CIE 845-05-15)

9. KAYNAKÇA ("C.I.E.88" yayınının kendi kaynakçası)

1. CIE-Publication no:12. 2 (1977) "Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized Traffic"
2. CIE-Publication no:26/1 (1973) "International recommendations for tunnel lighting"
3. CIE-Publication no:30. 2 (1982) "Calculation and Measurements of Luminance and Illuminations in Road Lighting"
4. CIE-Publication no:31A (1976) "Glare and Uniformity in Road Lighting Installations"
5. CIE-Publication no:61 (1984) "Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone"
6. British Standards Institution BS 5489 part 7 "Code of Practice for the Lighting of Tunnels"
7. "Guide de l'Eclairage des Tunnels" Ministere de l'Urbanisme, du Logement et des Transports (CETU-LYON-FRANCE-MAI 1985)
8. Leitsatze der Schweizertischen Lichttechnischen Gesellschaft (SLG) Offentliche Beleuchtung Strassentunnls, galerias und Unterführungen SN 418915 (1983)
9. P. I. A. R. C. Technical Report:Tunnel Lighting-Brussel Congress Sept. 1987
10. ADRIAN W. K. "Adaptation Luminance when Approaching a Tunnel in Daytime" Lighting Research and Technology no:3 -1987
11. BLASER P. "Die Gegenstrahlbeleuchtung in der Einfahrzone von Strassen tunnel" -Bull. SEV/VSE 72 (1981) NO:17
12. BONOMO M. "Stato dell'Arte nell'Illuminazione delle Galleria Stradali" LUCE no: 3/1986
13. BONOMO M. "L'Illuminazione dei Tratti Iniziali delle Galleria Autostradali. Gli Esperimenti di Visibilita Effettuati nella Galleria Olimpia" LUCE no: 1/1980
14. BOURDY C. , CHIRONA. , COTTIN C. , MONOT A. -"Visibility at a Tunnel Entrance and the Effect of Temporal Adaptation" CIE Venice 1987 408
15. GALLATI F. , MIELLER E. , RIEMEESCHNEIDER W. -"Werte Lichttechnischer Groessen in der Annaeherungs und Einfahrzone eines Tunnel" CIE amsterdam Sept. 1983
16. KETVIRTIS A. , FIES ENG P. -"Visibility Study for Long Vehicular Tunnels" Journal of IES Jan 1975
17. LANE J. C. , LAMB P. J. -"Lighting for Motorway Tunnels" IPLE Lighting Journal 50 -1985
18. MC CULLOUGH VA. , KETVIRTIS A. -"Vertical Illumination as a Criterion for Energy-Effective Tunnel Lighting Design" Journal of IES -Oct. 1983
19. NARISADA K. , YOSHIKAWA K. , YOSHIMURAY. -"Adaptation Luminance of Driver's Eye Approaching a Tunnel Entrance in Daytime"-CIE Kyoto Publ.
20. NARISADA K. , YOSHIMURA Y. , UCHIMARU T. -"Predetermination of the Luminance in the Access Zone for the Lighting Design of Mountain Tunnels" CIE Venice 1987-407
21. PADMOS P. -"Glare and Tunnel Entrance Lighting:Effects of Straylight from Eye, Atmosphere and Windscreen" CIE journal (1984)
22. RIEMENSCHNEIDER W. -"Die Regelung der Beleuchtung im Tunnel Licht 6/81
23. SARTEEL F. -"Note on the Principles of the New Recommendations on the Lighting of the Entrances of the Road Tunnels"
24. SCHREUDER D. A. -"The Lighting of Vehicular Traffic Tunnels" Centrex Eindhoven (1964)
25. SCHREUDER D. A. -"Entrance Lighting for Road Traffic Tunnels" IPLE Lighting Journal (1983)
26. VAN BOMMEL W. J. M. -"Tunnel Lighting Practice World-Wide" Lighting Research and Technology no:2 -1981
27. VAN BOMMEL W. J. M. -"The measured Equivalent Adaptation Luminance at the " Lighting approaches to Sub-Aqueous Road Tunnels" Lighting Research and Technology no:3

EK (C.I.E. 88'e aittir)

Bu kitapta itiraf edildiği gibi, L_{20} kavramına dayandırılan öneriler hala geçici olup başka yöntemler gözden geçirilmektedir (bak bölüm 5. 1.). Lseq yönteminde daha çok deneyim elde etmek amacıyla, bu yöntemin prensipleri aşağıda verilmiştir.

1- ÖRTÜ EŞDEĞER PARILTISI'NIN (Lseq) (equivalent veiling luminance) BELİRLENMESİ İÇİN YÖNTEM :

Örtü Eşdeğer Parıltısı'nın hesabı, şekil A 1 de gösterilen kutupsal diyagrama temel oluşturmuş Holladay-Stiles geliştirilmiş formülüne dayanır:

$$L_{seq} = 9,2 \times \sum_{i=1}^n \frac{E_{gli}}{\theta_i^2} \quad (\text{cd/m}^2)$$

Burada :

E_{gli} : kamaşma kaynağının gözde oluşturduğu Aydınlik Düzeyi (lüks)

θ_i : kamaşma kaynağı ile göz uyum çizgisi arasındaki açı (derece)

Bu polar diagram, tünel görüntüsü üzerine tutulmalı, tünel ağzı Görü Alanını tanımlayan grafiğin merkezine yerleştirilmelidir. Eğer 130-160 m. uzaklıktan bakılırsa, tünel ağzının yüksekliği, yaklaşık 2 derecelik bir açı altından görülür.

2 derecelik (bu) açının çevresel alanı, göz ortamında E_{gl}/θ^2 ile orantılı dağınık ışıklar üreten farklı "i" kamaşma kaynakları gibi düşünülen bölgelere bölünür. Bölgelerin büyüklüğü öyle bir yöntemle seçilir ki, içlerinde oluşan ortalama Parıltı her zaman aynı miktarda dağınık ışıklar oluştursun. (2.)

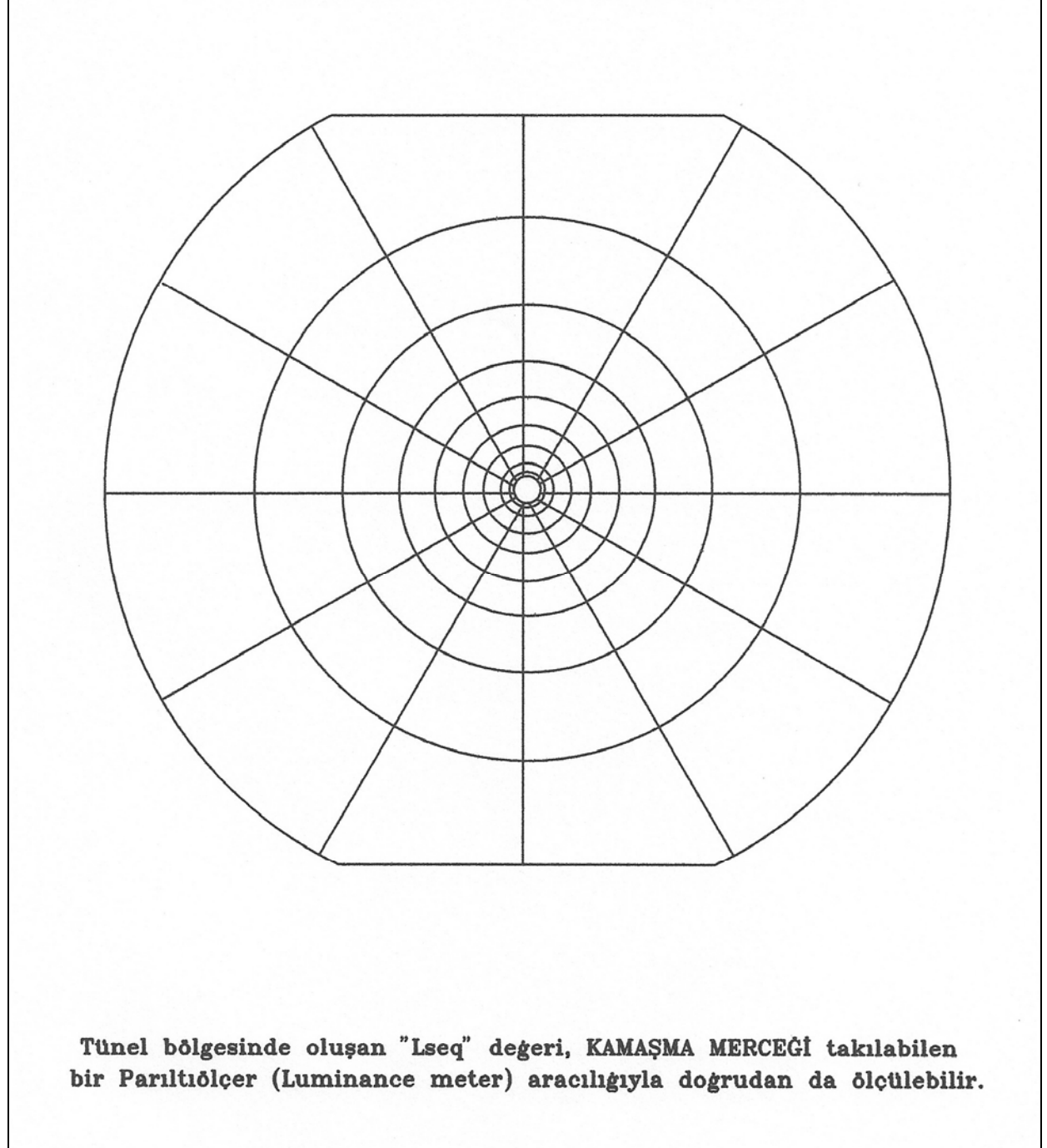
Görsel alan bölümlerinin (bu) ayrıntılı özeti sayesinde, tüneli çevreleyen alandaki Parıltı'ların yarattığı Örtü Eşdeğer Parıltısı'nın toplam miktarını buluruz. Yaklaşık 2 derecelik açısal büyüklükteki göz ağtabakasının en net görüşü sağlayan bölgesinin (fovea) merkezi tünel açıklığı içine düşmeli ve Lseq değerlendirmesine dahil edilmemelidir.

Bununla beraber, tünelin parlak çıkışının görülebilir olduğu ve kısmen foveal (göz ağ tabakası) alanını örttüğü durumda, merkezdeki 2 derecelik açı içindeki L_{th} değerinden daha büyük olabilen Parıltı foveal uyumunu etkiler. Bu ; görülmeleri zorunlu olan ve parlak çıkışa karşı silüetler şeklinde görünmedikçe tüneldeki nesneleri gizleyen hedeflerin daha yüksek Eşik (threshold) kontrastını gerektirir. Aydınlatılmış tünel'in girişinde bu etki, yukarıda verilen şartları azaltır.

Şekil A. 1, tünel görünüşünün üzerine konan bölge polar diagramı gösterir. Farklı bölge'lerdeki ortalama Parıltılar ilave edilmiştir. Toplam Örtü Eşdeğer Parıltısı şu formül ile bulunur:

$$L_{seq} = 0,513 \times 10^{-3} \times \sum L_i \quad (\text{cd/m}^2) \quad \text{Burada "Li", Bölge'lerin ortalama Parıltı'sıdır (cd/m}^2\text{).}$$

Tünel çevresinin ölçülmüş Parıltı değerlerinin elde mevcut olmaması durumunda, bu kitabın 5. 2 tablosu referans bilgi olarak kullanılmalıdır.



Şekil A.1. İçinde Parıltı'nın Merkezi Dairede Eşit Miktarlarda Dağılmış Işık Oluşturduğu Bölgeleri Gösteren Polar Diyagram (Merkezdeki daire, 2° lik alanı gösterir)

2. EŞİK BÖLGESİNDE (threshold zone) AYDINLATMA SEVİYESİ

Eşik Bölgesi'nde ihtiyaç duyulan ortalama yol yüzey Parlıltı'sı olan L_{th} , aşağıdaki formüle göre Örtü Eşdeğer Parlıltısı (L_{seq}) ile belirlenebilir :

$$L_{th} = \frac{L_{seq}}{6C - 1} \quad (1) \quad (\text{burada ; } L_{seq} \text{ 'in birimi } \mathbf{cd/m^2} ; C \text{ ise, görölmek zorunda olan ve}$$

görsel işi açıklamakta kullanılan hedef'in fotometrik kontrastıdır)

Eşik Bölgesi'nde gereken Parlıltı (L_{th}) ile, farklı kontrast hedeflerinin görünürlüğünü koruyan L_{seq} arasındaki ilişki Şekil A. 2 de gösterilmiştir. Şekil A. 2 den ; verilen bir kontrast görünürlüğü ile hedefi korumak için, daha yüksek L_{seq} sonucu veren “daha parlak çevreler” söz konusu olduğunda Eşik Bölgesi'ndeki Parlıltı'nın artırılması gerektiğini öğreniyoruz.

Aynı yolla L_{th} ; L_{th} aydınlık seviyesi “Öznel Sınıflandırma”ların (subjective ratings -SRN değerleri) deneysel sonuçlarından da hesaplanabilir. Formül (1) ayrıca -şöyle de- yazılır :

$$L_{th} = L_{seq} \times 10^{SRN-4,1/6} \quad (\mathbf{cd/m^2})$$

Öznel Sınıflandırma Numaraları SRN (Subjective Rating Numbers), tünele yaklaşıldığında Eşik Bölgesindeki aydınlatma seviyesinin öznel değerlendirmesini açıklar. (1) Sonuçlar Şekil A. 2 'de kesik çizgilerle gösterilmiştir. SRN ile ilgili ölçütler Tablo A. 1. 'de verilmiştir.

Tablo A. 1.

S R N	ÖLÇÜT
9	Mükemmel
7	İyi, girişte sürücüde emniyet duygusu var
5	Orta, emniyetli giriş için yeterli
3	Yetersiz, giriş çok karanlık
1	Kara delik (etkisi)

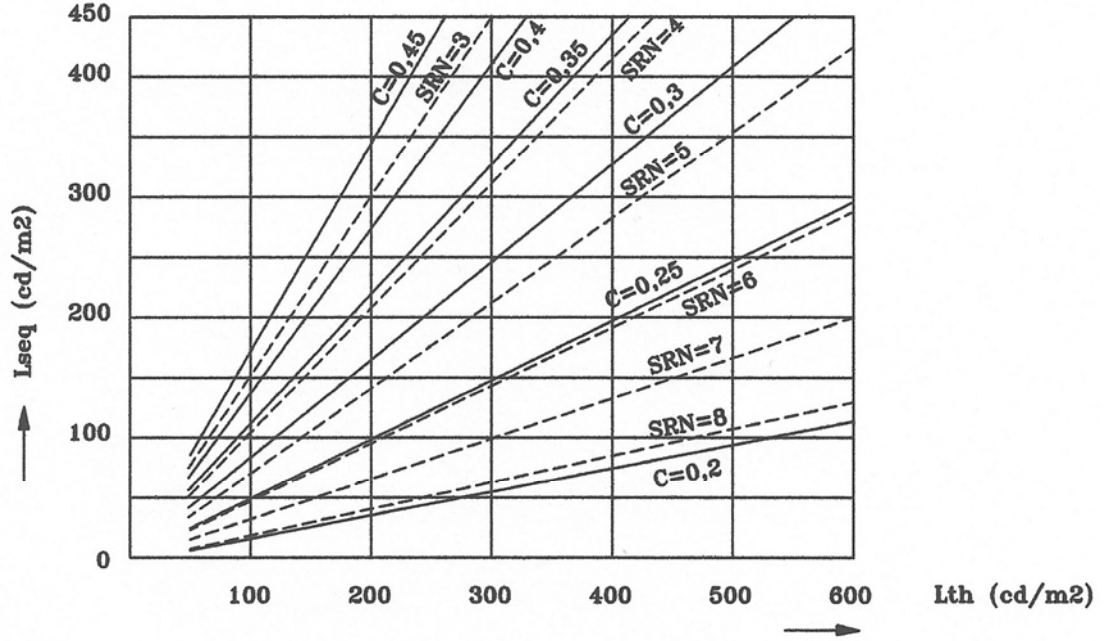
3. ÖNERİLEN L_{th} SEVİYESİ

Önerilen minimum L_{th} seviyesi Şekil A. 2'deki SRN:5 in kullanımı ile elde edilebilir. Bu durumda, 60-160 m. arasındaki fren mesafesinden belirlenen L_{seq} yardımıyla $L_{th}=1, 4 \times L_{seq}$ elde edilir.

Onlardan üretilen aydınlatma sistemi ne olursa olsun, L_{th} seviyesi için elde edilen değerler uygulanır.

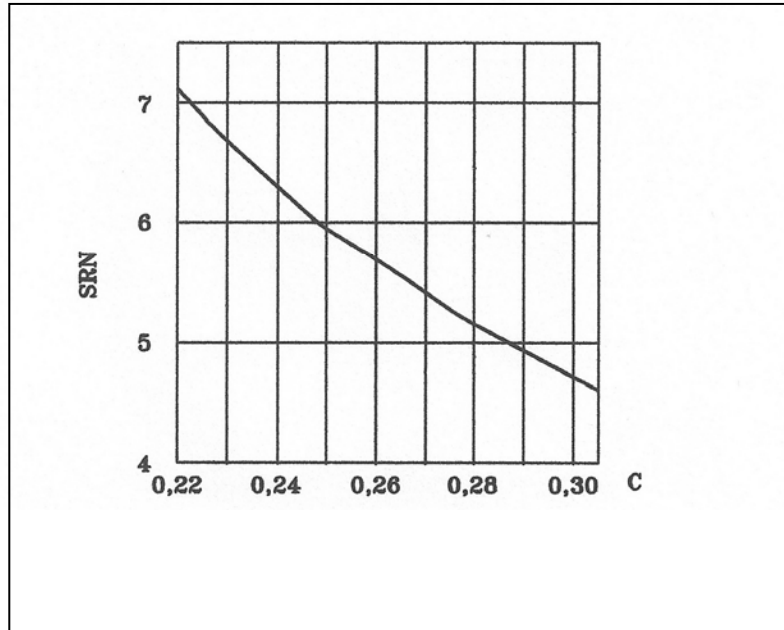
C =hedefin kontrastı

SRN=Öznel sınıflandırma numarası (subjective rating number)



Hedefin görünürlüğü ile Öznel Sınıflandırma arasında güçlü bir ilişki bulundu. Buna göre, hedef kontrast ölçütü, Şekil A.3 de gösterilen SRN değerlerine dönüştürülebilir.

Şekil A.2. Örtü Eşdeğer Parıltısı'na (L_{seq}) Bağlı Eşik Bölgesi Parıltısı (L_{th})



Şekil A.3. Eşik Bölgesinde Tam Algılanan Hedefin Kontrastı