

“L. T. P.” (ÇOK KISA TÜNELLERE GÜNDÜZ AYDINLATMASI GEREKİP GEREKMEDİĞİNE KARAR VERME KRİTERİ)

Elek. Müh. K.Kurtuluş İZBEK
kurtulus.izbek@emo.org.tr

ÖZET:

*Bilindiği gibi, bir tünele **gündüz saatlerinde** yapay aydınlatma gerekip gerekmediğine, eğer gerekiyorsa da bunun seviyesine Şekil 1’de verilen özel “sorgu yöntemi” ile karar verilmektedir [1][2]. Uzunluğu ne olursa olsun tüm tüneller için ortaya konan bu yöntem, aşağıda değinilecek bazı özel durumlarda “çok kısa tüneller” için yetersiz kalmaktadır. “LTP analiz yöntemi”, böyle kısa bir tünele **gündüz aydınlatması** gerekip gerekmediğine karar verme yöntemidir. O halde bu yöntem, kısa tünellerde “gece aydınlatması” ile hiç ilgilenmez. Yani “LTP yöntemi”ni incelemeyi amaçlayan bu çalışma, kısa tünellerde sadece “gündüz aydınlatması” karar kriterleri ile ilgilenirken, “gece aydınlatması” karar kriterleri ile ise hiç ilgilenmeyecektir. (Tünel aydınlatma tekniğinde, tamamen ayrı bir başlık altında incelenen “gece aydınlatması kriterleri” ve örnekler için bakınız Kaynak No=3, Bölüm B.2.2).*

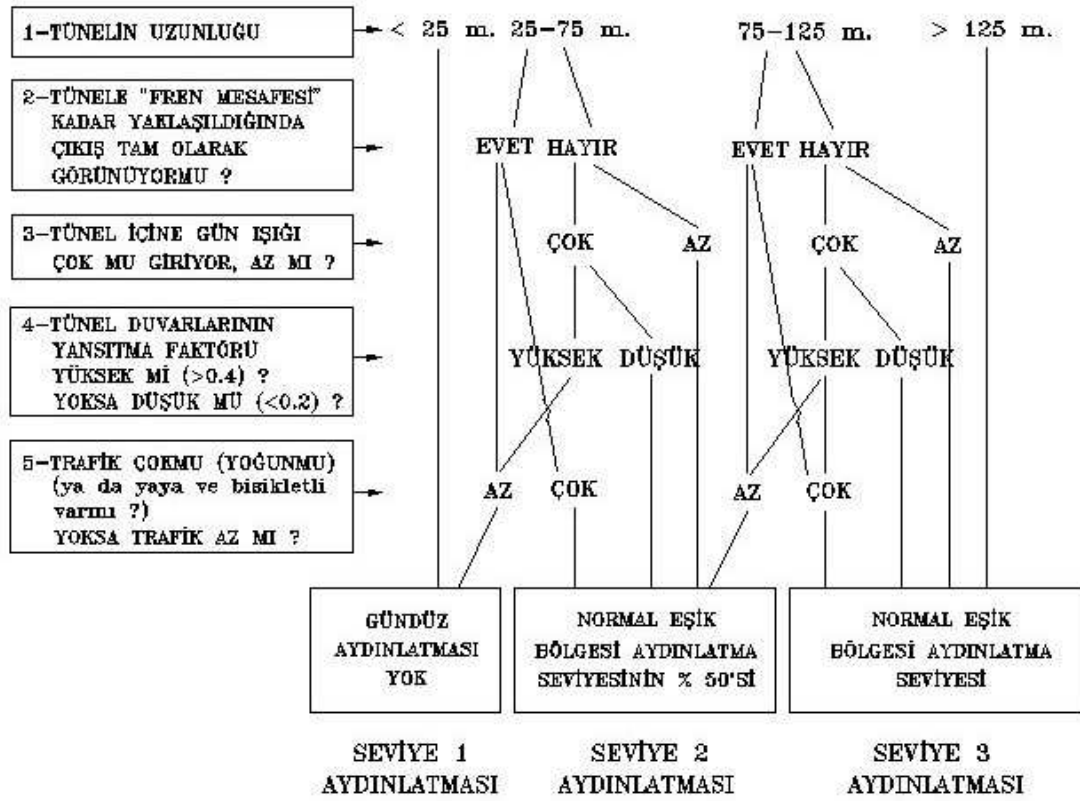
1- GENEL

Şekil 1’den görüldüğü üzere, optik şartları ne olursa olsun, 25 m.’den daha kısa olan tüneller gündüz hiç aydınlatılmazken; uzunlukları 125 m.’yi aşan tüneller gündüzleri daima “%100 Lth seviyesinde” aydınlatılırlar. Eğer tünel uzunluğu 25 m.-125 m. aralığında ise, Şekil 1’de sorgulanan **öznel optik şartlara bağlı olarak**, o tünel gündüz aydınlatılmayabileceği gibi, “%50 Lth” veya “%100 Lth” seviyelerinden biri ile aydınlatmak da gerekebilir. (“%50 Lth”, “%100 Lth” seviyeleri için bkz Kaynak No=3, Bölüm B.3.2)

Şekil 1’deki sorgu yönteminde yer alan sorgular, özellikle çok kısa tüneller için yetersizdir. Burada (2) ve (3) numaralı sorgular özel önemdedir. Özellikle (2) numaralı sorguya (“**Tünele fren mesafesi (F.M.) kadar yaklaşıldığında “tünel çıkışı” tam olarak görünüyor mu?**”) verilecek görünüşte mantıklı bir “evet” cevabı, o tüneli aydınlatmamamıza neden olarak o tünelde ciddi kazalar yaşanmasına neden olabilir. Kaldı ki gerçekte burada sorulan şey, “çıkış’ın görülüp görülmemesi” değil, “**tehlikeli nesnelerin (araç, yaya) çıkış fonunda**

görüle-bilmesini güvence altına alacak olan “negatif kontrast bölgesi”nin yeterli boyut ve “parıltı değeri”ne sahip olup olmadığı’dır. Bundan ötürüdür ki anılan sorguya ancak, tünel girişinden “fren mesafesi” kadar geriden çekilmiş bir fotoğraf üzerinde yapılacak bir “LTP analizi” ile cevap verilebilir [4].

“Çok kısa tüneller”e veya “LTP kriteri”ne [1] ve [2] no’lu kaynakta özel bir başlık ayırmayan C.I.E., çok kısa tünellere nedense gereken önemi vermemiştir. Kaynak No:2, “LTP” kavramına sadece 12. sayfada ve bir cümle ile şöyle değinmektedir: “Fig. 4.1 offers a first approximation. For a detailed lighting design, the possibilities to look through the tunnel must be determined graphically (“Şekil 4.1”, ilk kaba tahmin sonuçlarını vermektedir. Detaylı bir tasarım için, “tünel girişinden bakıldığında görünen çıkış” -**Look through- LT-** grafik yöntemle belirlenmelidir.) İşte CIE88-2004’ün burada sözünü ettiği “grafik yöntem”in günümüzde en yaygın kullanılan tipi “LTP yöntemi”dir. (Bir başka yöntem tipi için ise bakınız [5] no’lu kaynak)



Şekil 1. Tünellerde "gündüz aydınlatılması" karar yöntemi (CIE-88-2004'de Şekil 4.1)

2- TEMEL SORUN ve "LTP":

Uygulamada "kısa" bir tünel, genellikle Şekil 2'deki gibi, bir başka yolun (ya da bir demiryolunun) altından geçen bir yol parçasıdır. Son yıllarda özellikle "kent içi trafiği" rahatlatmak adına "aç-kapa" (cut and cover) yöntemiyle tesis edilen "yol altından geçen yol" (kısa tünel) sayısı ülkemizde her geçen gün arttığından konuya gereken önem verilmelidir.

Şekil 2'den görüldüğü gibi, gündüz aydınlatılmamış kısa bir tünelde; fren mesafesi (F.M.) kadar uzaktan bakan sürücü, "tünel girişi"nin görüntüsü içinde, *parıltı* açısından farklı şu iki alanı görür :

- "Tünel çıkışı"na ait yüksek *parıltı*'lı (aydınlık) bölge
- "Tünel çıkışı" görüntüsünü çevreleyen düşük *parıltı*'lı (karanlık) bölge

Anılan "karanlık" bölgedeki araç ve yayaların, sürücü tarafından "daha

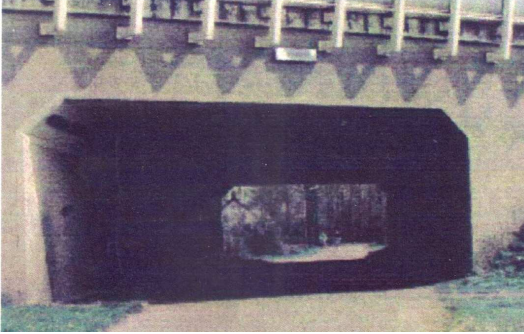
belirgin" şekilde görülebilmesinin önşartı olarak; böyle kısa bir tüneldeki "aydınlık bölge"nin, "karanlık bölge" yanında olabildiğince büyük olması istenir. "Tünel giriş kapısı"nın görüntüsü, "aydınlık" ve "karanlık bölge"nin toplamından oluştuğundan, bu durum genel olarak şöyle de ifade edilebilir: Gündüz aydınlatılmamış çok kısa bir tünelde, *görünen "aydınlık bölge"*nin "*tünel giriş kapısı*" içinde kapladığı alan'ın % oranı arttıkça, tünel içindeki kaza riski azalır.. İşte böyle kısa bir tünele gündüz aydınlatması gerekip gerekmediğine, "GÖRÜNEN ÇIKIŞ"ın (look through) bu oransal büyüklüğü ile karar verilir. GÖRÜNEN ÇIKIŞ YÜZDESİ (Look through percentage-LTP) adı verilen bu oran şu formül ile ifade edilir

:

$$LTP = 100 \times (\text{Aydınlık çıkış alanının görünen kısmı}) / (\text{tünel giriş alanının görünen kısmı})$$

Aşağıda göreceğimiz gibi, belirli bir kısa tünel için hesaplanacak olan bu LTP oranı, sadece o tünelin gündüz aydınlatılıp aydınlatılmayacağı kararını belirlemekle kalmaz ; eğer aydınlatılacaksa, aydınlatma seviyesinin ne olması gerektiği konusunda da tasarımcıyı bilgilendirir. Çünkü “daha büyük” bir LTP oranı, aynı tüneli *optik anlamda* daha “kısa” yaparak daha düşük bir aydınlatma seviye ve maliyeti gerektirir. (Çok kısa tünellerde, “daha düşük aydınlatma seviyesi”, çoğu kez o tünelin aydınlatılmaması anlamına gelir).

Genel kural olarak, bir tünelin uzunluğunun arttırılması, o tünele ait LTP oranının küçülmesi sonucunu doğurur. Ama optik şartlar ve yol eğimleri (viraj, yokuş) her zaman bu kuralı bozabilir. Örneğin, daha uzun bir tünele ait LTP oranı, *daha kısa olan* bir başka tünele göre “daha yüksek” olabilir (ki bu durumda uzun olan tünel, kısa olan diğer tünele göre optik anlamda “daha kısa”dır).



Şekil 2. Tipik bir “kısa karayolu tüneli”

Bir tünele ait LTP oranının büyüklüğünü belirleyen dört temel faktör şunlardır :

- Tünel boyutları** -yükseklik, en, uzunluk-. (“Uzunluk”, diğerlerine göre daha etkindir. Uzunluk arttıkça “LTP” değeri düşer.)
- Tünelin üzerinde yer aldığı yol parçasının % yatay ve/veya düşey**

eğim değerleri (“viraj” ve “yokuş”a ait % eğimler ki bu değerler arttıkça “LTP” küçülür.)

- Fren mesafesi -F.M.-** (“Araç hızı”na bağlı olan FM, her özel tünel için elbet sabittir. LTP analizinde dikkate alınacak “tünel giriş görüntüsü”, “giriş”ten F.M. kadar geriden görülen özel görüntüdür. FM arttıkça, “LTP gözlemcisi” tünel girişinden “daha geriden” gözlem yapacaktır. Halbuki gözlem mesafesi arttıkça, “karanlık” ve “aydınlık” bölgelerin her ikisinde de ; “yakından” bakıldığında net görülebilen bazı kısımlar giderek net görülmemeye başlar. Görmeye engel olmasa bile, sürücüdeki emniyet duygusunu azaltan bu durum, LTP değerinde küçük de olsa bir azalma (aydınlatma talebinde yükselme) olduğu anlamına gelir.
- Tünel giriş ve çıkışındaki “günışığı”nın (daylight) coğrafi ve yerel niteliği (Örneğin kuzey yarıkürede, “kuzey” yönündeki “karlı”, “dağlık” arazideki bir tünel çıkışı, diğerleri yanında daha yüksek parlıltı değerlerine sahip bir “aydınlık çıkış alanı” verir.)

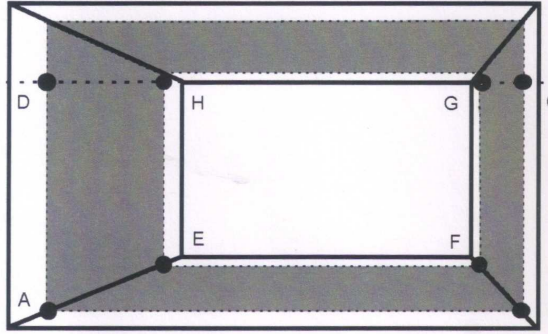
3 BİR TÜNELDE “LTP”nin BELİRLENMESİ:

Şekil 3’den görüldüğü üzere, $LTP=100(EFGH \text{ alanı}) / (ABCD \text{ alanı})$ ’dır. (Burada ABCD alanı “tünel girişi”, EFGH ise “tünel çıkışı”nın görünen kısmıdır.

Araç ve yaya gibi “tehlikeli engel” barındırma olasılığı olan “yol ve duvarlardaki karanlık bölge”ler

değerlendirilirken, böyle bir olasılık içermeyen “tavan”daki “karanlık bölge”ler dikkate alınmaz

Günlüğü etkisiyle, genellikle “giriş”in 5 m., “çıkış”ın ise 10 m. içeride görüldüğü kabul edilir (Bkz Şekil 4).



Şekil 3. görünen çıkış yüzdesi (Look through percentage-LTP)

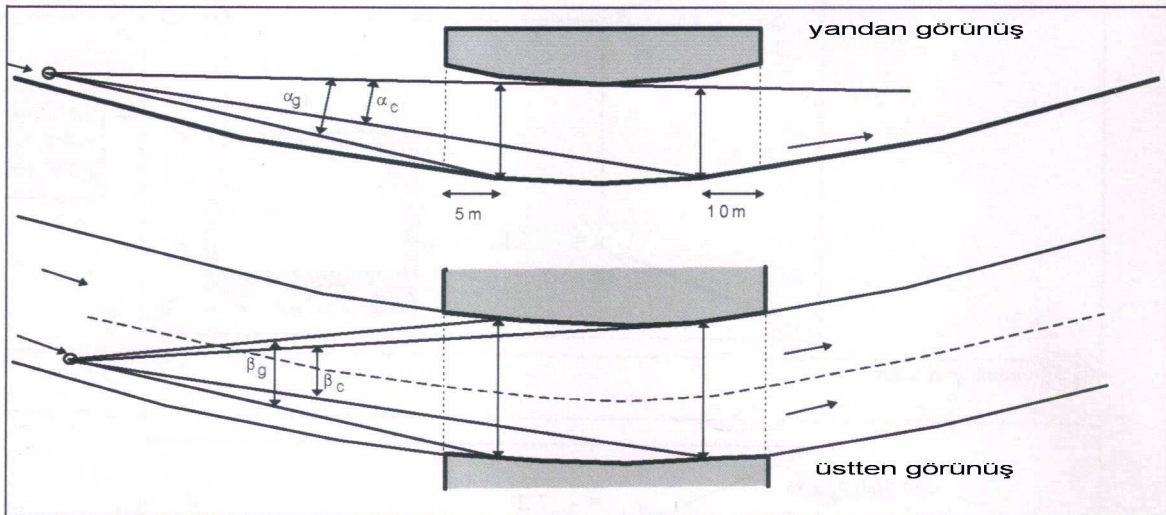
Şekil 3’de örneklenen perspektif görünüş, fren mesafesi (FM) kadar “giriş”in gerisinden çekilen bir fotoğraf tan yararlanılarak çizilir. Bu perspektif görünüşün merkezi; yatayda yolun 1,2 m. yukarisından, düşeyde ise sürücünün o an içinde bulunduğu yol şeridinin tam ortasından geçen iki doğrunun kesim noktası olmalıdır.

Ancak henüz inşa edilmemiş (bu yüzden de henüz FM’den çekilmiş bir fotoğrafı olmayan) bir tünelde, üstelik yatay ve/veya düşey yol eğimleri (viraj, yokuş) de varsa, anılan perspektif görünüşü çizmek zordur. Böyle durumlarda, Şekil 4’ rehberliğinde LTP değeri aşağıdaki şu yöntemle hesaplanır:

$$\begin{aligned} LTP &= 100(\text{EFGH alanı})/(\text{ABCD alanı}) \\ &\Rightarrow = 100(\text{EF})(\text{FG})/(\text{AB})(\text{BC}) \Rightarrow \\ &= 100[(\text{EF})/(\text{AB})][(\text{FG})/(\text{BC})] \end{aligned}$$

burada küçük açılar söz konusu olduğundan \Rightarrow $LTP=100(\beta_c/\beta_g)(\alpha_c/\alpha_g)$

Burada “ β_c ” ve “ α_c ”, görünen “çıkış”a ait ; “ β_g ” ve “ α_g ” ise görünen “giriş”e ait yatay ve düşey eğimlerin belirlediği açılar’dır. Verilen formül, hem “viraj”, hem de “yokuş” içeren tüneller içindir. Sadece “yatay eğim”e sahip bir tünelde $LTP_{\text{düşey}}=100(\alpha_c)/(\alpha_g)$, ve sadece düşey eğime sahip bir tünelde $LTP_{\text{yatay}}=100(\beta_c/\beta_g)$ olacaktır



Şekil 4. “giriş” ve “çıkış”ın görünen bölümlerinin görsel açıları

4- HESAPLANAN “LTP” DEĞERİNİN YORUM VE KULLANIMI:

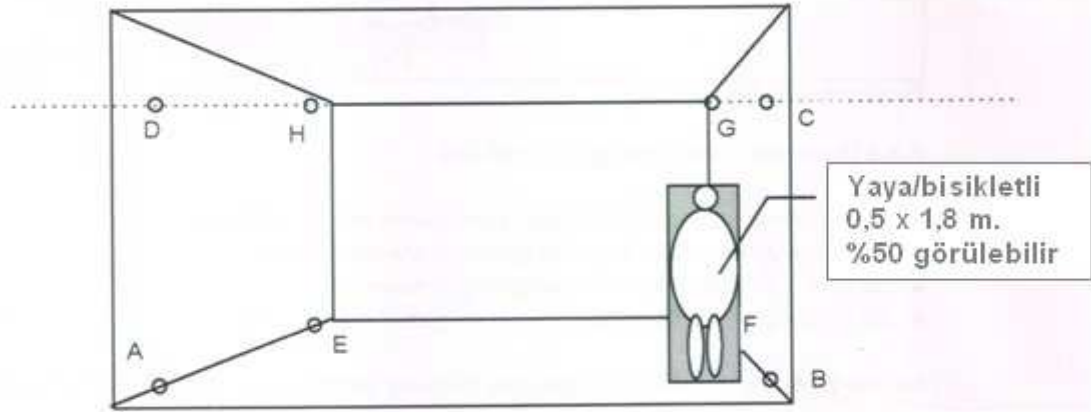
Bir tünele ait hesaplanan “LTP” değeri eğer :

- LTP < %20 ise;** o tünel gündüz *Şekil 1* ‘den bulunacak seviyede AYDINLATILIR.
- LTP > %50 ise ;** o tünel gündüz HİÇ AYDINLATILMAZ.
- Eğer **LTP %20-%50 arasında bir değerde ise,** “son karar”ı verebilmek için ise aşağıdaki özel “görüntü analizi” ayrıca yapılmalıdır :

Ülkemizde yaygın görüldüğü gibi, eğer o tünel “yaya ve bisikletli” trafiğine de açık ise, irdelenecek ölçüt, bir yayaya ait 0,5x1,8 m. boyutlarındaki özel dikdörtgenin görüntüsüdür. *Şekil 5* ‘deki gibi, gerekli ölçek uyarlaması yapılarak perspektif görünüşte en sağdaki yol

şeridinin ortasına yerleştirilecek bu dikdörtgenin en az %50 si sürücü tarafından “görülebilir” ise o tünele gündüz aydınlatması gerekmez. Aksi taktirde o tünel gündüz *Şekil 1* ‘den bulunacak seviyede AYDINLATILIR.(NOT: Son paragrafta değinilen “%50 görme” şartı, şüphesiz ki “negatif kontrastın yanı sıra “pozitif kontrast” halini de kapsar. Ancak “anılan dikdörtgen” genellikle “karanlık bölge”nin içinde yer alacağından, “%50 görme şartı” çoğunlukla baskın şekilde “negatif kontrast” hali için söz konusu olacaktır. O halde anılan dikdörtgenin “%50 görülme şartı” için şu iki şart ileri sürülebilir:

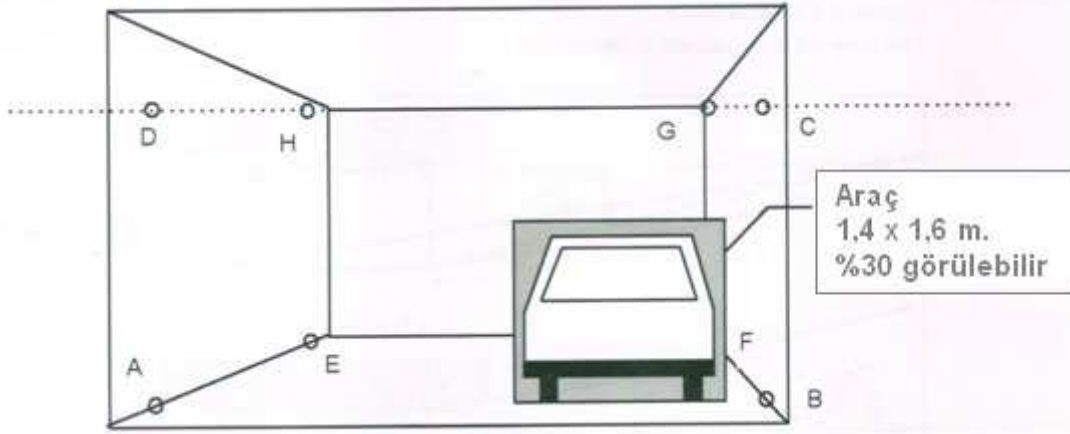
- Arkada fon görevi gören “**çıkış’taki aydınlık bölge**” ile anılan dikdörtgenin en az %50 si çakışmak zorundadır (geometrik şart).
- “Çıkış”, yeterli kontrast değeri üretebilecek kadar “aydınlık” olmalıdır. (optik şart))



Şekil 5. Yaya (veya bisikletli) ölçütü perspektif görünüşü

Eğer tünel “yaya ve bisikletli” trafiğine kapalı ise, irdelenecek ölçüt, bir araca ait 1,4x1,6m. boyutlarındaki özel dikdörtgenin görüntüsüdür. *Şekil 6* ‘deki gibi, gerekli ölçek uyarlaması yapılarak sırayla her yol şeridinin ortasına yerleştirilecek bu

dikdörtgenin en az %30 u sürücü tarafından “görülebilir” ise o tünele gündüz aydınlatması gerekmez. Aksi taktirde o tünel gündüz *Şekil 1* ‘den bulunacak seviyede aydınlatılır.



Şekil 6. Araç perspektif ölçütü görünüşü

Kısaca yaya için %50, araç için %30 olarak verilen minimum “görülme” şartı, çok kısa bir tünelin “aydınlatılmama” şartıdır.

O halde çok kısa tünellerde LTP ‘nin bir miktar artırılmasıyla *o tüneli gündüz saatlerinde aydınlatmamayı güvence altına almak*, daha inşaat aşamasında alınacak şu üç basit önlemle her zaman mümkün olabilir:

- Tünel “giriş” ve “çıkış” kapılarının, *gerekenden bir miktar daha büyük* yapılması (İnşaat projeleri hazırlanmış kısa bir tünelde, henüz daha inşaat başlamadan önce tünelin LTP’si hesaplanmalıdır. Eğer bulunan değer, tünelde *gündüz aydınlatması gerektiren* bir seviyede ise ; bu aydınlatmadan kaçınılabilmek adına mevcut tasarımda değişikliğe gidilerek tünel “giriş” ve “çıkış” kapılarına ait “yükseklik” ve/veya “genişlik” değerleri bir miktar artırılabilir. Böylelikle tünel, gündüz aydınlatmasına ihtiyaç göstermeyen “daha büyük” yeni bir LTP değeri kazanır.)
- Tünel duvarlarının “yansıtma faktörü” (reflectance) yüksek bir malzemeyle kaplanması
- Eğer mümkünse, tünel tavanında içeriye “ışık girebilecek” boşluklar bırakılması.

Bu önlemlerden biri veya birkaçı, tünele ait LTP değerini “*o tünelde aydınlatma gerektirmeyecek*” değerlere yükselterek, “tesis gideri”nden başka, uzun yıllar “aydınlatma enerjisi”nden de tasarruf edilmesini sağlayabilir.

SONUÇ:

Çok kısa tünellerde aydınlatma karar aşamasında, CIE önerileri yanında “LTP analizi” de mutlaka yapılmalıdır. Çünkü *Şekil 1* ‘de, adı geçen (2) no’lu sorgu ; özellikle “eğimli” (yokuş, viraj) tünellerde doğru sonuç vermeyebilir. Böyle özel durumlarda, **bazen “tünel çıkışı” görünmekle birlikte, tünel içindeki tehlikeli nesnelere (araç, yaya) yeterince görülemez.** Bu durum “yokuş” tünelleri değerlendiren *Tablo 1* ‘den [4] ve “virajlı” tünelleri değerlendiren *Tablo 2* ‘den de [4] açıkça görülmektedir. (Aynı anda hem “yokuş” ve hem de “viraj” içeren özel bir tünel söz konusu olduğunda *Tablo 1* ve *Tablo 2* elbet geçerli değildir. Böyle özel tünellerde, yukarıdaki detayı verilen bir LTP hesabı ayrıca yapılmalıdır.)

TABLO 1. Yolu “virajsız” ama “yokuş” olan tünellerde denenmiş LTP analiz sonuçları
(NOT: Her iki tablo, eni 9-12 m, yüksekliği 4,5-6 m. olan tüneller içindir)

hız	fren mesafesi	gündüz aydınlatma gereklimi ?	yoldaki yokuşun eğimi 0° (viraj yok)	yoldaki yokuşun eğimi 2° (viraj yok)	yoldaki yokuşun eğimi 4° (viraj yok)
50 km/h	50 m.	EVET	L > 120m	L > 100m	L > 80m
		BELKİ	50m < L < 120m	50m < L < 100m	40m < L < 80m
		HAYIR	L < 50m	L < 50m	L < 40m
80 km/h	100 m.	EVET	L > 200m	L > 150m	L > 80m
		BELKİ	90m < L < 200m	60m < L < 150m	50m < L < 80m
		HAYIR	L < 90m	L < 60m	L < 50m
100 km/h	150 m.	EVET	L > 200m	L > 150m	L > 80m
		BELKİ	120m < L < 200m	70m < L < 150m	50m < L < 80m
		HAYIR	L < 120m	L < 70m	L < 50m
120 km/h	200 m.	EVET	L > 200m	L > 150m	L > 70m
		BELKİ	150m < L < 200m	70m < L < 150m	50m < L < 70m
		HAYIR	L < 150m	L < 70m	L < 50m

TABLO 2. Yolu “yokuş”suz ama virajlı” tünellerde denenmiş LTP analiz sonuçları

hız	fren mesafesi	gündüz aydınlatma gereklimi ?	Kurp (viraj) yarıçapı		Kurp (viraj) yarıçapı	
50 km/h	50 m.	EVET	85 m	L > 20m	170 m	L > 50m
		BELKİ		L < 20m		20m < L < 50m
		HAYIR		L < 20m		L < 20m
80 km/h	100 m.	EVET	250 m	L > 50m	500 m	L > 70m
		BELKİ		30m < L < 50m		50m < L < 70m
		HAYIR		L < 30m		L < 50m
100 km/h	150 m.	EVET	450 m	L > 55m	900 m	L > 90m
		BELKİ		40m < L < 55m		60m < L < 90m
		HAYIR		L < 40m		L < 60m
120 km/h	200 m.	EVET	750 m	L > 60m	1500 m	L > 100m
		BELKİ		50m < L < 60m		65m < L < 100m
		HAYIR		L < 50m		L < 65m

LTP analizine ait görsel pratik veren bir program <http://www.ile.org.uk/uploads/File/LTP1.zip> adresinden (URL) yüklenebilir. (Tünel ve “tehlikeli nesne”ye ait boyutların değiştirilebildiği bu program, farklı nesne ve gözlemci konumları karşısındaki farklı LTP sonuçlarını görsel olarak vermektedir.)

KAYNAKLAR:

[1] CIE no:88-1990 /Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses

[2] CIE no:88-2004 /Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses

[3] Tünel Aydınlatma Tekniği /prensipler, kriterler, örnekler/ K. Kurtuluş İZBEK

[4] Lighting applications-tunnel lighting / DS-CEN-CR 14380 / Danish standarts

[5] Cetu Dossier pilote des tunnels- Novembre 2000-Centre d’Etude des tunnels France