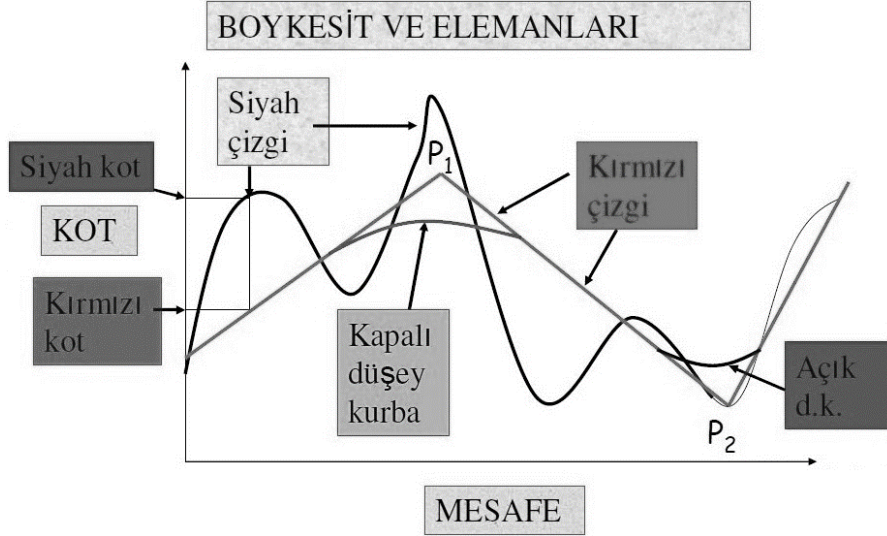


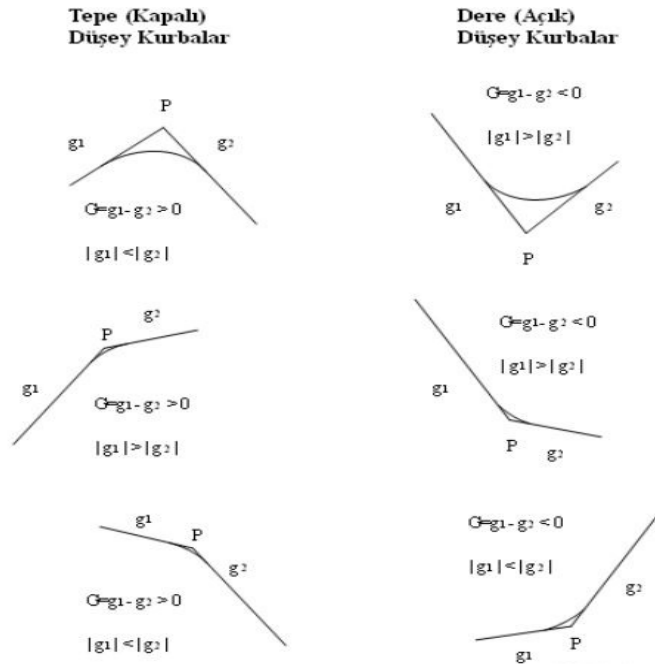
DÜŞEY KURBALAR

Bir yol boy kesitinde çizilen kırmızıçizgi doğru parçaları ile bunların birbirine bağlanmasını sağlayan eğri kısımlardan oluşur.



Bu eğri kısımların olmaması durumunda kırmızı hatların kolları bu kesişim noktalarında kırıklık ve süreksizlik oluşturacaktır. Bu durumda görüş uzunluğunda bir kısalma oluşacağı gibi hızlı seyreden araçlar için konfor bozulmasına sebep olacaktır. Bu sakıncaları gidermek için kırmızı hat kolları arasına uygun uzunluk ve yarıçapa sahip düşey kurp yerleştirilir. Motorlu taşıtın üzerinde seyrettiği kırmızı çizgi kolu taşıtın gidiş yönüne göre rampa yukarı (eğim değerleri pozitif) ve rampa aşağı (eğim değerleri negatif) olmak üzere 2 tür eğim değeri vardır.

Eğimler arazide en fazla 6 değişik süreksizlik gösterir (Tepe 3 ve Dere 3 olmak üzere).
Örnek: $g_1 = +\%8$, $g_2 = -\%8$ ise $G = |+\%0,08 - (-\%0,08)| = 0,16$ (Kapalı düşey kurba)



- Yol eksenini boyunca, tüm ölçümler yatay düzlemde yapıldığı kabul edilir. ($T1PT2=T1BT2=T1MT2$)
- Eğri, P some noktası ile T1-T2 girişinin M orta noktasını birleştiren doğrunun tam ortasından geçer ($PB= PM/2$)

- Kırmızı çizgi eğimleri farklı olduğu sürece T1 ve T2 kotları birbirinden farklıdır.
- Aksi belirtilmedikçe, düşey kurbalar some noktasına göre simetriktir (PT1= PT2).
- $e = \frac{L \cdot G}{8}$
- $y = \frac{G \cdot x^2}{2L}$

9.1.1. Tepe (Kapalı) Düşey Kurba

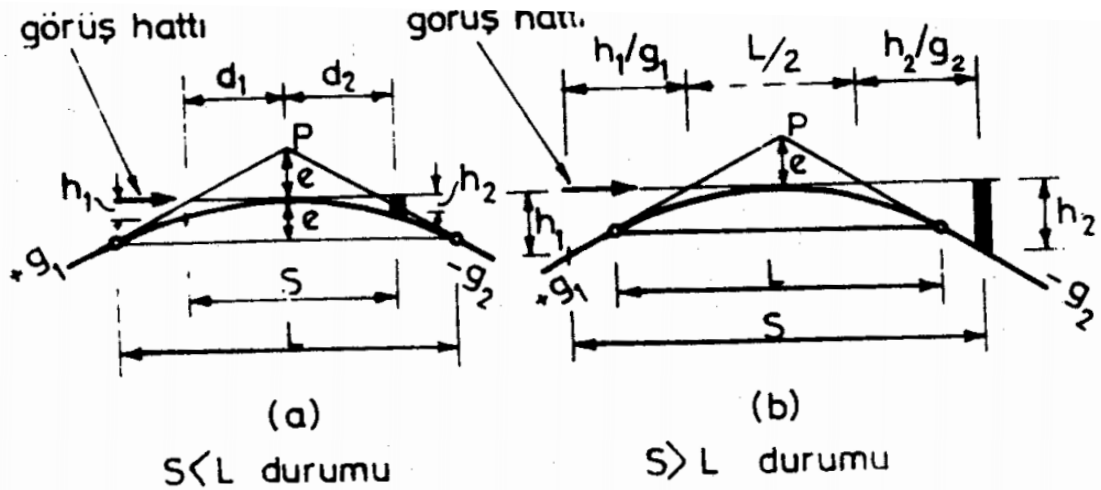
Tepe düşey kurba hesabında

Duruş - görüş uzunluğu dikkate alınacaksa,

AASHTO tarafından önerilen ve KGM tarafından kabul edilen sürücü görüş yüksekliği $h_1=1,14$ m ve karşılaşılabilecek engel yüksekliği $h_2=0,15$ m değerleri aşağıdaki formüllerde yerine yazılır.

$$S < L \Rightarrow L = \frac{GS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \Rightarrow \frac{GS^2}{4,2}$$

$$S > L \Rightarrow L = 2S - \frac{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{G} \Rightarrow 2S - \frac{4,2}{G}$$



Geçiş görüş uzunluğuna göre ($h_1=1,14$ ve $h_2= 1,37$ m).

$$S < L \Rightarrow L = \frac{GS^2}{10}$$

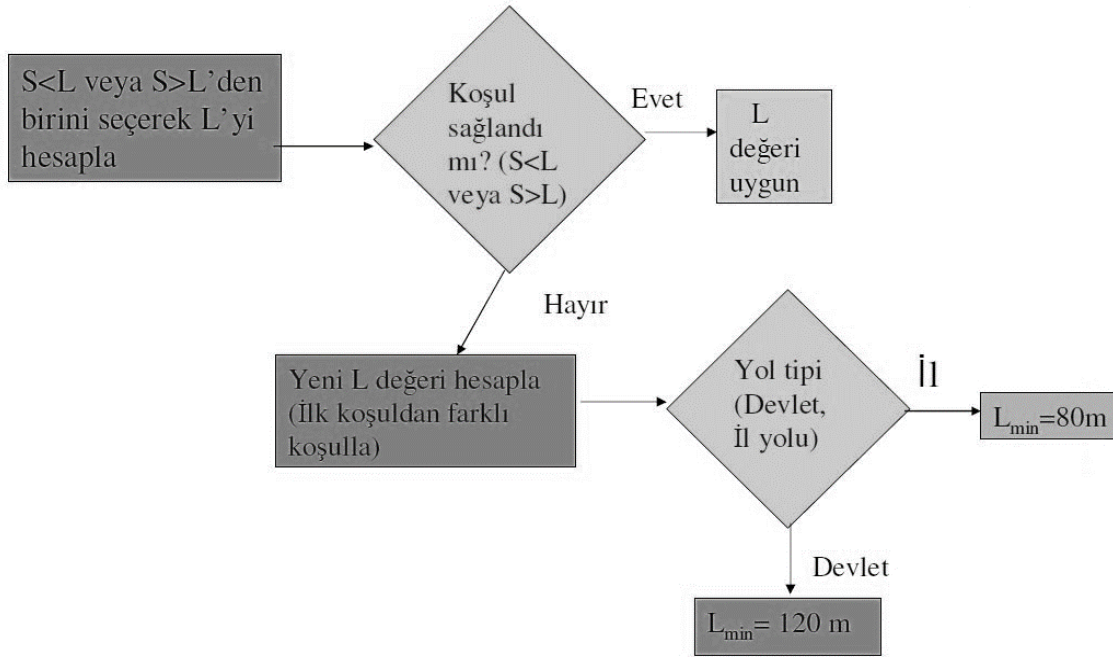
$$S > L \Rightarrow L = 2S - \frac{10}{G}$$

$S < L$ veya $S > L$ kriterlerinden birini seçerek, L' 'yi hesapla ve koşulun sağlanıp sağlanmadığını kontrol et. (Örnek: $S > L$ ise, L ile S' 'yi karşılaştıır) Koşul sağlanmışsa L uygundur.

• İlk kabul edilen koşul sağlanmadıysa, diğer kritere göre L' 'yi hesapla. Koşul sağlanmışsa L uygundur.

• Her iki koşulda sağlanmadıysa; Devlet yollarında $L_{min} = 120$ m, İl yollarında $L_{min} = 80$ metre seçilir.

• Hesaplanan L değerleri yukarıdaki değerlerden küçükse, minimum değerler kullanılır*****.



ÖRNEKLER

Örnek 1: Proje hızı 80 km/h olan bir yolda eğimleri %4,2 ve -%2,6 olan 2 kırmızı çizgi kolu arasında parabolik düşey kurp uygulanacaktır. Fren emniyet uzunluğu (duruş - görüş uzunluğu) esas alınarak yapılacak hesaplama ile düşey kurp uzunluğunu bulunuz. Ayrıca T1 teğet noktasından itibaren her 25 m'de bir alınan kesitlere ait kırmızı kotları hesaplayınız. Some noktasının km'si 12+460, kotu 372 m'dir. $T_r=1$ sn, $f=0,3$. (Duruş - görüş uzunluğu için fren emniyet mesafesini bulunuz. Hesap kolaylığı ve emniyet uzunluğu için $s=0$ alınır).

Çözüm 1: Hesap kolaylığı ve emniyet uzunluğu için $s=0$ alınır. Çünkü görüş uzunluğu bize çıkışta gerekir. Çıkışta s pozitif olduğundan fren emniyet mesafesi $s=0$ 'a göre hesaplanandan daha küçük olacaktır. İnışta ise görüş uzunluğu, kapalı kurba göre değil açık kurba göre yapılmalıdır. $P_{km}=12+460$ (p: some noktası) $P_{kot}=372$ m

$$S = L_{fe} = 0,278 \cdot v \cdot t_r + 0,00394 \frac{v^2}{f \pm s}$$

$$S = L_{fe} = 0,278 \cdot 80 \cdot 1 + 0,00394 \frac{80^2}{0,3}$$

$$S = 106,3 \text{ m}$$

Kurp boyu hesabı için önce $S>L$ varsayalım;

$$G = |4,2 - (-2,6)| = \%6,8 = 0,068 \quad (G = g_1 - g_2)$$

$$L = 2S - \frac{4,2}{G} = 2 \times 106,3 - \frac{4,2}{0,068} = 150,85 \text{ m}$$

106,3 > 150,85 olmadığından $S<L$ ye göre hesaplar tekrarlanacaktır.

Kurp boyu hesabı için $S<L$ varsayalım;

$$S < L \quad L = \frac{GS^2}{4,2} = \frac{0,068 \times 103,6^2}{4,2} = 182,95 \cong 190 \text{ m}$$

106,3 < 190 sağlamıştır.

$$T_{1km} = P_{km} - \frac{L}{2} = (12 + 460) - \frac{190}{2} = (12 + 365)m$$

$$T_{2km} = P_{km} + \frac{L}{2} = (12 + 460) + \frac{190}{2} = (12 + 555)m$$

$$B_{km} = P_{km} = (12 + 460) m$$

$$T_{1kot} = P_{kot} - g_1 \frac{L}{2} = 372 - 0,042 \frac{190}{2} = (368,01)m$$

$$T_{2kot} = P_{kot} - g_2 \frac{L}{2} = 372 - 0,026 \frac{190}{2} = (369,53)m$$

$$B_{kot} = P_{kot} - e = 372 - \frac{0,068 \times 190}{8} = 370,39 m$$

Parabolün denklemi: $y = \frac{G}{2L} x^2 \Rightarrow y = \frac{0,068}{2 \times 190} x^2$

Kesit	Km'si	x	r=0,042x	T1kot+r	y=0,0001789x ²	T1Kot+r-y
T ₁	12+365	0	0	368,01	0	368,01
1	12+390	25	1,05	369,06	0,11	368,95
2	12+415	50	2,10	370,11	0,45	369,66
3	12+440	75	3,15	371,16	1,00	370,16
M	12+460	95	3,99	372,0	1,61	370,39
4	12+465	100	4,20	372,21	1,79	370,42
5	12+490	125	5,25	373,26	2,8	370,46
6	12+515	150	6,30	374,31	4,03	370,28
7	12+540	175	7,35	375,36	5,48	369,88
T ₂	12+555	190	7,98	375,99	6,46	369,53

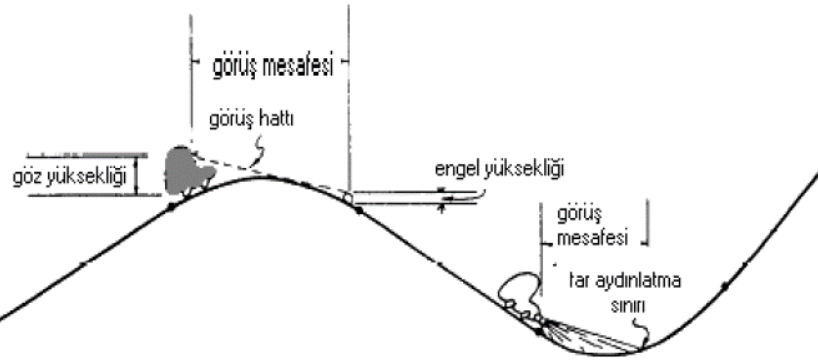
9.1.2. Açık (Dere) Düşey Kurba Hesabı

Açık düşey kurbalarda, gündüz görüş problemi yoktur (üst geçit veya benzeri engeller yoksa). Fakat gece görüş mesafesi far aydınlatma mesafesi ile sınırlıdır.

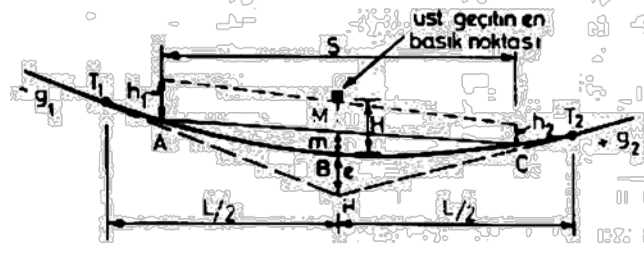
$$S < L \quad L = \frac{GS^2}{2(h+S.tga)} \Rightarrow S < L \quad L = \frac{GS^2}{1,22+0,035S}$$

$$S > L \quad L = 2S - \frac{2(h+S.tga)}{G} \Rightarrow S > L \quad L = 2S - \frac{1,22+0,035S}{G}$$

h= farın yerden yüksekliği (0,61 m); a= farın taşıt ekseninden düşey sapması (1 Derece kabul edilir.); S= duruş görüş uzunluğu; G= eğim farkı (g₁-g₂)



9.1.3. Üst Geçit Olması Durumunda Düşey Kurba Hesabı



Şekil 9.8. $S < L$ durumunda üst geçidin görüşü sınırlandırılması

L= Düşey kurba uzunluğu;

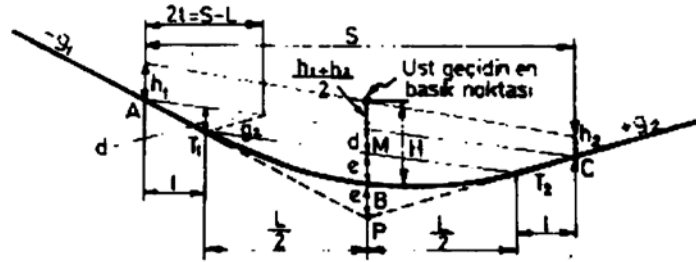
S= Görüş uzunluğu;

G= eğim farkı

h_1 = sürücünün görüş yüksekliği;

h_2 = yol üzerindeki engelin düşey yüksekliği;

H= üst geçidin serbest yüksekliği



Şekil 9.9. $S > L$ durumunda üst geçidin görüşü sınırlandırılması

L= Düşey kurba uzunluğu;

S= görüş uzunluğu;

G= Eğim farkı;

H= Üst geçidin serbest yüksekliği

h_1 = Sürücünün görüş yüksekliği;

h_2 = Yol üzerindeki engelin düşey yüksekliği;

$$S < L \quad L = \frac{GS^2}{8(H - \frac{h_1 + h_2}{2})}$$

$$S > L \quad L = 2S - \frac{8}{G} \left(H - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)$$

Not: Genellikle $H=4,4$ m; $h_1=1,83$ m; $h_2=0,46$ m alınır.

ÖRNEKLER

Örnek 1: Eğimleri sırasıyla $g_1=-\%3$; $g_2=\%4$ olan 2 kırmızı kol arasına parabolik düşey kurp yerleştirilecektir. Ancak aynı yerde üst geçit vardır. Görüş mesafesi $S=400$ m, Some noktası $P_{km}=4+320$ m, $P_{kot}=122$ m, üst geçit serbest yüksekliği $H= 4,40$ m, sürücü göz yüksekliği $h_1=1,83$ m, engel yüksekliği $h_2=0,46$ m.

a) Düşey kurp uzunluğu $L=?$

b) Düşey kurbun başlangıç ve bitiş km'si? ($T_{1km}=?$, $T_{2km}=?$)

c) Kurbun başı ve sonu ile birlikte $L/4$, $L/2$ ve $3L/4$ noktalarındaki kırmızı kotlar=?

Çözüm 1:

a-) $G = -0,03 - (0,04) = -0,07$

$S > L$ varsayalım;

$$S > L \quad L = 2S - \frac{8}{G} \left(H - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)$$

$$L = 2 * 400 - \frac{8}{0,07} \left(4,4 - \frac{1,83 + 0,46}{2} \right) = 428 \text{ m}$$

$400 > 428 \text{ m}$ şartı sağlamamıştır. O zaman diğer koşul incelenecektir.

$$S < L \quad L = \frac{GS^2}{8 \left(H - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}$$

$$L = \frac{0,07 \cdot 400^2}{8 \left(4,4 - \frac{1,83 + 0,46}{2} \right)} = 430 \text{ m}$$

$400 < 430 \text{ m}$ şartı sağlanmıştır.

b-) $T_{1\text{km}} = (4 + 320) - 430/2 = (4 + 105) \text{ m}$

$T_{2\text{km}} = (4 + 320) + 430/2 = (4 + 535) \text{ m}$

c-) $T_{1\text{kot}} = P_{\text{kot}} + g_1 * L/2 = 122 + 0,03(430/2) = 128,45 \text{ m}$

$T_{2\text{kot}} = P_{\text{kot}} + g_2 * L/2 = 122 + 0,03(430/2) = 130,60 \text{ m}$

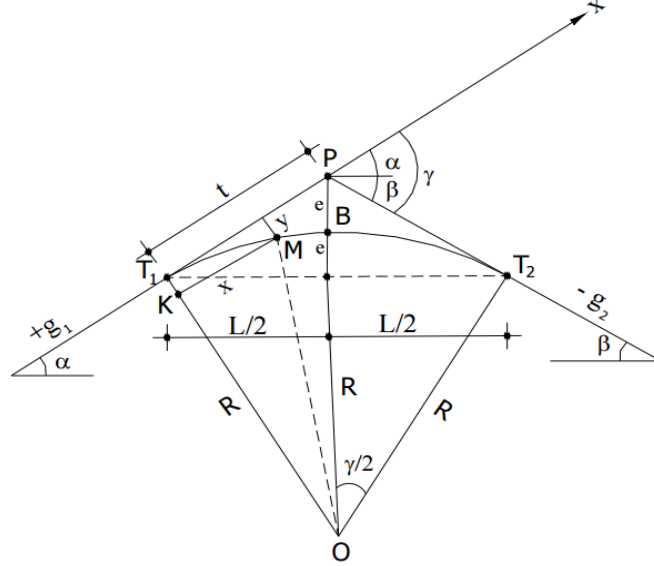
$B_{\text{kot}} = P_{\text{kot}} + e = 122 + ((430 * 0,07)/8) = 125,76 \text{ m}$

Parabolün denklemi: $y = \frac{G}{2L} x^2 \Rightarrow y = \frac{0,07}{2 \times 430} x^2 = 0,000081395x^2$
 $y = 0,000081395x^2$

Kesit	Km'si	x	r=0,03x	$T_{1\text{kot}}-r$	$y = 0,000081395x^2$	$T_{1\text{kot}}+r+y$
T_1	4+105	0	0	128,45	0,00	128,45
1	4+212,5	107,5	3,23	125,22	0,94	126,16
B	4+320	215	6,45	122	3,76	125,76
2	4+427,5	322,5	9,687	118,77	8,47	127,24
T_2	4+535	430	12,90	115,55	15,05	130,60

9.2. Dairesel Düşey Kurbalar

Boykesitte kırmızı çizgi kolları arasına yerleştirilen bir diğer eğri ise daire yayıdır. Bu şekilde R yarıçaplı dairelerden yararlanarak teşkil edilen düşey kurbalara dairesel düşey kurba adı verilir. Dairesel düşey kurba karakteristikleri belirlenirken parabolik düşey kurba bahsinde söz edilen kabuller geçerlidir. Bunun yanı sıra R yarıçaplı daire kullanımı dolayısıyla şekilden de yararlanılır.



K daire sabiti; $K=e/t^2$ için $y=Kx^2$ parabolüne karşı gelir. $K=1/(2R)$

Düşey kurbanın uzunluğu; $L=RG$

$$t = \frac{R.G}{2} \quad e = \frac{t^2}{2R} \quad L = 2t$$

$$e = \frac{R^2 G^2}{4.2R} = \frac{RGG}{8}; RG = L; e = \frac{LG}{8}$$

Bulunur ki, bu değer parabol için bulunan bağıntının aynısıdır.

Düşey Karp Tipi	Yol sınıfına göre min. Karp yarıçapı R(m)				
	Arazi Durumu	I	II	III	IV
Tepe Tipi	Düz	25000	15000	10000	5000
	Engabeli	15000	10000	5000	2500
	Dağınık	5000	2500	1500	1000
Dere Tipi	Düz	8000	5000	3000	2000
	Engabeli	5000	3000	2000	1500
	Dağlık	2000	1500	1200	1000

ÖRNEKLER

Örnek 1: Eğimleri sırasıyla $g_1=-\%1,6$; $g_2=-\%5$ olan 2 kol arasına 2000 m yarıçaplı dairesel düşey karp yerleştirilecektir. Some noktası $P_{km}=0+700$ m, $P_{kot}=96,8$ m

a-) Düşey karp uzunluğu $L=?$, düşey kurbun başlangıç ve bitiş km'si? ($T_{1km}=?$, $T_{2km}=?$)

b-) Kurbun başı ve sonu ile birlikte, B_{kot} , 0+685 m, 0+720 m noktalarındaki kırmızı kotlar=?

Çözüm 1:

a-) $L = 2t \quad t = \frac{R.G}{2} \quad G = |-0,016 - (-0,05)| = 0,034$

$t = 2000 \times 0,034/2 = 34$ m

$$L = 2t = 34 \times 2 = 68 \text{ m}$$

$$P_{km} = 0 + 700 \text{ m}, P_{kot} = 96,8 \text{ m}$$

$$T_{1km} = 0 + 700 - 68/2 = (0 + 666) \text{ m}$$

$$T_{2km} = 0 + 700 + 68/2 = (0 + 734) \text{ m}$$

$$\text{b-)} T_{1kot} = P_{kot} + g_1 * L/2 = 96,8 + 0,016(68/2) = 97,34 \text{ m}$$

$$T_{2kot} = P_{kot} - g_2 * L/2 = 96,8 - 0,05(68/2) = 95,10 \text{ m}$$

$$B_{kot} = P_{kot} - e = 96,8 - ((34)^2 / (2 * 2000)) = 96,51 \text{ m} \quad e = \frac{t^2}{2R}$$

$$\text{Parabolün denklemleri: } y = \frac{x^2}{2R} = \frac{x^2}{2 \times 2000} = 0,00025x^2$$

Kesit	Km'si	x	r=0,016x	T _{1kot-r}	y = 0,00025x ²	T _{1kot-r-y}
T ₁	0+666	0	0	97,34	0	97,34
1	0+685	19	0,3	97,04	0,09	96,95
B	0+700	34	0,54	96,8	0,29	96,51
2	0+720	54	0,86	96,48	0,73	95,75
T ₂	0+734	68	1,09	96,25	1,15	95,10

Düşey kurlarda L boyu hesabı nasıl yapılır?

Özetlendiğinde;

Tepe (Kapalı) düşey kurlarda karp boyu (L)

1. Yol tek platformlu ve çift yönlüyse, bir taşıtın önündeki taşıtı geçmesi için gerekli güvenli geçiş görüş uzunluğuna göre,
2. Yol çift platformlu ve tek yönlüyse şoförün önündeki belli yükseklikteki engeli görüp güvenle durabilmesi için gerekli duruş görüş uzunluğuna göre,

Açık (dere) düşey kurlarda karp boyu (L)

1. Gece farının aydınlatması durumunda, güvenle durulabilecek görüş uzunluğuna göre,
 2. Üst geçit mevcutsa, bu geçitin en düşük kirişinin belirlediği gabariden engeli görüp, şoförün güvenle durabileceği duruş görüş uzunluğuna göre, belirlenmelidir.
- Burada verilen L değerleri minimum değerler olup yapım şartları elverdiği takdirde daha uzun alınabilir.