

KARAYOLLARINDA KULLANILAN DÜŞEY KURPLAR VE OPTİMİZASYONU

Arzu TOPBAŞ SOYCAN, Metin SOYCAN

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

Geliş Tarihi:19.10.2001

VERTICAL CURVES AND VERTICAL CURVES OPTIMIZATION USED IN HIGHWAY

SUMMARY

The profile consists of a curved segment between straight segments. But data points do not completely lie on tangents or parabolic curves. Usually, straight segments and parabolic curves are visually fitted to the profile. Both of these methods are time consuming and may not be sufficient accuracy. Therefore a linear optimization model used that determines the best parabolic curve and tangents that fit a given profile. In this study, firstly profile and vertical curve information is given and then vertical curve is mathematically expressed, finally, types of vertical curves and optimum vertical curve are explained by using linear optimization method.

ÖZET

Boykesit, veri noktaları tam olarak düşey kurba kolları ya da parabolik kurplar üzerinde olmayan, doğru parçaları ve bunlar arasına yerleştirilen kurplardan oluşur. Doğru parçaları ve parabolik kurplar boykesite görsel olarak uydurulur. Ancak bu metod zaman tüketimidir ve yeterli doğrulukta olmayabilir. Bu nedenle boykesite en uygun eğimlerin ve parabolik kurpların belirlenmesinde lineer bir optimizasyon yöntemi kullanılır. Bu çalışmada, önce boykesit ve düşey karp bilgileri verilmiş, daha sonra düşey kurplar matematiksel olarak ifade edilmiş, düşey karp çeşitleri ve lineer optimizasyon yöntemi kullanılarak optimum düşey karp tasarımı anlatılmıştır.

1. GİRİŞ

Yolun geçki eksenini boyunca alınan kesiti boykesitidir. Aliyman ve kurplardan oluşan geçki ekseninin plandaki izdüşümü belli bir ölçekle bir doğru boyunca çizilir. Bu doğru üzerinde geçki aplikasyon noktalarının kilometreleri gösterilir ve bu noktaların arazi kolları belli bir kıyas kotu seçilerek düşey düzlem üzerinde işaretlenir. İşaretlenen bu noktaların birleştirilmesi ile elde edilen kırık çizgiye siyah çizgi adı verilir ve bu siyah çizgi arazinin geçki eksenini boyunca doğal durumunu gösterir. Siyah çizgiden sonra geçki boyunca çeşitli kurallar dahilinde kırmızı çizgi (eğim çizgisi) geçirilir. Kırmızı çizgi, yolun tesviyesi sonucunda yol ekseninin boykesitteki durumunu gösteren bir hattır. Kırmızı çizgi geçirilirken; yolun sınıfı, arazinin topoğrafik durumu ve yolu kullanacak olan trafikteki hakim taşıt cinsine bağlı olarak maksimum eğim belirlenir. Proje hızının yüksek olduğu yüksek standartlı yollarda öngörülen yüksek işletme hızını sağlayabilmek için arazi durumu uygun ise boyuna eğimin mümkün olduğunca küçük tutulmasına çalışılır. Yine yüksek standartlı ve ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu yollarda taşıtların işletme maliyetini azaltmak için küçük eğimler kullanılmalıdır. Dağlık kesimlerde yapım zorluğu nedeniyle boyuna eğimin yüksek tutulduğu yerlerde işletme maliyetini azaltmak amacıyla rampa uzunluğu azaltılmaya çalışılmalıdır. Bu kesimlerde eğim en küçük değerinde tutulmaya çalışılırken rampa uzunluğu en fazla 1.0~1.5km alınır. Arazi durumu nedeniyle

yüksek eğimli ve uzun bir rampa kullanımı zorunlu oluyorsa, ağır taşıtların güvenlik ve kapasiteyi azaltıcı etkilerini azaltmak amacıyla tırmanma şeridi yapılması önerilir. KGM(Karayolları Genel Müdürlüğü) tarafından Türkiye'de uygulanan maksimum boyuna eğim; I.Sınıf yollar için %7, II.Sınıf yollar için %8, III.Sınıf yollar için %9, köy yolları için %15 ve otoyollar içinse %4 zorunlu hallerde %5'dir.KGM tarafından kabul edilen boyuna eğimin minimum değeri %0.35 olup tavsiye edilen değer %0.5'dir. Ayrıca iklim koşulları, drenaj durumu, kaplama cinsi gibi faktörler boyuna eğimin sınır değerlerini etkileyen diğer faktörlerdir.(14)

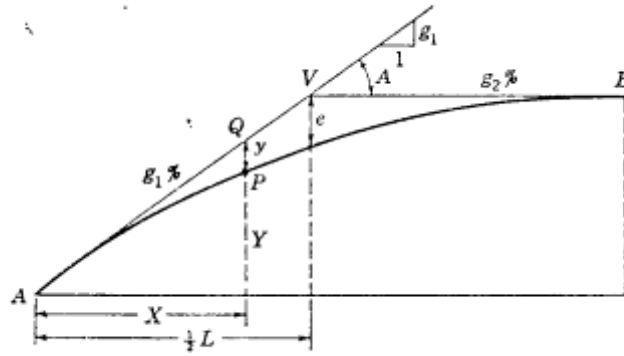
2. DÜŞEY KURPLAR

Kırmızı çizginin eğim değiştiği yerlerde, görüş uzunluğunun kısılmasıyla güvenlik azalır ve hızın fazla olması halinde ani eğim değişmesi nedeniyle düşey ivme ve sarsıntı yolculuk konforunu düşürür. Bu sakıncaları gidermek için kırmızı çizginin farklı eğimdeki iki kolu arasına uygun uzunlukta düşey kurplar yerleştirilir. Güvenlik, konfor ve görüş açısından çok önemlidirler. Düşey kurbun uygulanabilmesi için birbirini izleyen iki kırmızı çizgi kolunun eğimlerinin cebrik farkının %0.5'den büyük olması gerekir. Daha düşük standartlı yollarda bu cebrik fark %1 kabul edilir.

Düşey karp boyunca tüm mesafeler yatay olarak teğetlerden kurba olan tüm sapmalarda düşey olarak ölçülür. Bir düşey kurbun uzunluğu onun yatay izdüşümüdür.

Yolun boyuna eğimleri uygun bir düşey kurpla birbirine bağlanır. Ancak her noktada yol yüksekliğini hesaplamak için matematiksel bir fonksiyona gereksinim vardır. Bu durumda uygun bir parabolik fonksiyon kullanılır.

2.1. Simetrik Kurplar



Şekil 1. Simetrik kurplar

Şekil 1'de X ve Y, A orijininde karp üzerindeki herhangi bir P noktasının yatay ve düşey koordinatlarını verir.

g_1, g_2 : AV ve VB teğetlerinin eğimleridir. Artan eğimler için (+), azalan eğimler için (-) değer kullanılır.

$G=g_2-g_1$: Teğet eğimlerinin cebirsel farkı ya da bunların birbirinden uzaklaşma (ayrılma) oranlarıdır.

YTÜD 2002/4

L: Kurban toplam uzunluğu (Düşey kurplarda L uzunluğunun yatay izdüşümüyle aynı olduğu varsayılır.)

e: Düşey sapma

Matematiksel olarak eğimler parabolün A ve B noktalarında g_1 ve g_2 değerine sahiptir. Aynı zamanda parabollerin eğimlerindeki değişim oranı sabit olduğundan aşağıdaki irdelemeler dikkate alınır. Tanıma göre;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = r = \text{sabit} \quad (1.1)$$

alınarak integral;

$$\frac{dy}{dx} = rx + c \quad (1.2)$$

dir. $x=0$ olduğunda $\frac{dy}{dx} = g_1$; $x=L$ olduğunda $\frac{dy}{dx} = g_2$ sınır değerleri (1.2)'de konarak

$g_1=0+c$, $g_2=rL+c$ ya da

$$r = \frac{g_2 - g_1}{L} \quad (1.3)$$

Böylece;

$$\frac{dy}{dx} = \left(\frac{g_2 - g_1}{L} \right) x + g_1 \quad (1.4)$$

elde edilir. Tekrar integral alınırsa;

$$Y = \left(\frac{g_2 - g_1}{L} \right) \frac{x^2}{2} + g_1 x + c' \quad (1.5)$$

Fakat $c'=0$, $x=0$ olduğunda $Y=0$ 'dır.

Benzer üçgenlerden;

$$(Y+y)/x=g_1/l \quad (1.6)$$

$$y = -\frac{1}{2} \left(\frac{g_2 - g_1}{L} \right) x^2 \quad (1.7)$$

y , (Q'dan) yukarı yerine aşağı doğru ölçülmesiyle işaret (-)'den (+)'ya değişir.

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{g_2 - g_1}{L} \right) x^2 \quad (1.8)$$

Böylece bir doğrudan düşey kurba olan düşey sapma PC'den uzaklığın karesi olarak değişir. V'de

$$y=e \text{ ve } x = \frac{1}{2}L$$

ve;

$$e = \left(\frac{g_2 - g_1}{8} \right) L = \frac{1}{8}GL \quad (1.9)$$

e, kurban orta noktası V'den kurp ortasına düşey mesafe olduğundan tüm kapalı kurplar için aşağı doğru negatif yönde, açık kurplarda pozitif yönde ölçülür.

Şekil 2 ve 3'de parabolik karp özelliğinden dolayı M, AB kirişinin ortası ve C parabolün ve V ile M'in orta noktasıdır.

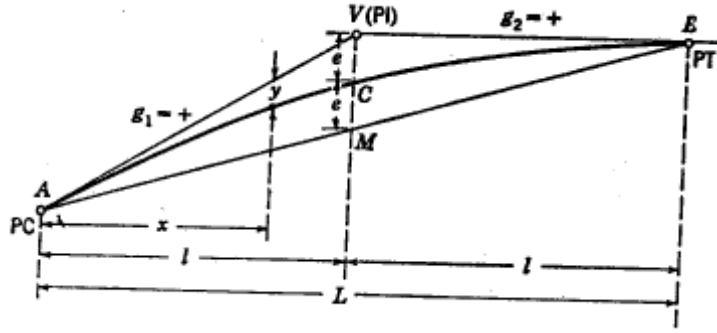
$$e = \frac{1}{2}VM$$

Şekil 3'den ;

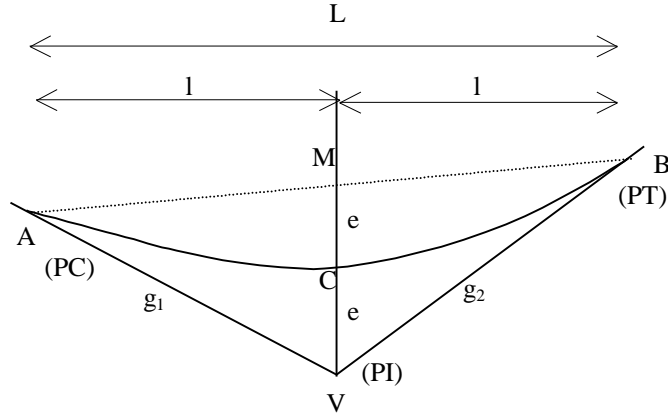
$$DB = (g_2 - g_1)l \quad (1.10)$$

Benzer üçgenlerden;

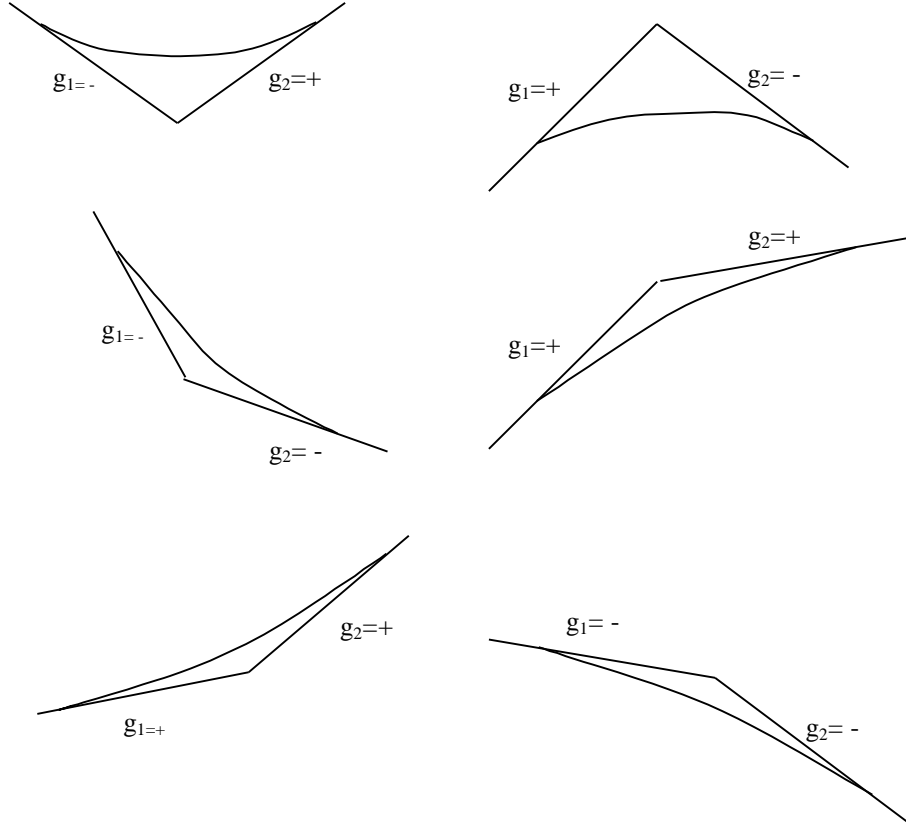
$$VM = \frac{1}{2}DB = \frac{1}{2}(g_2 - g_1)l \quad (1.11)$$



Şekil 2. Kapalı düşey karp



Şekil 3. Açık düşey karp



Şekil4. Eğime göre oluşan düşey kurp çeşitleri

Böylece;

$$e = VC = \frac{1}{2} VM = \frac{1}{4} (g_2 - g_1)L = \frac{1}{8} (g_2 - g_1)L \quad (1.12)$$

Aynı zamanda;

$$DB = 4e = \frac{1}{2} (g_2 - g_1)L \quad (1.13)$$

(1.8) eşitliği (1.9) eşitliğine bölünürse;

$$y = \left(\frac{x}{L}\right)^2 4e \text{ ya da } y = \left(\frac{x}{L}\right)^2 e \quad (1.14)$$

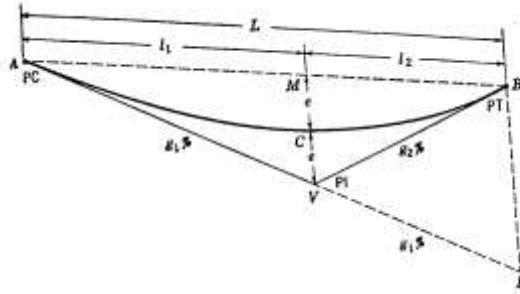
ve (1.8) eşitliğini aynı zamanda şu şekilde yazılırsa:

$$y = \frac{1}{2} rx^2 \quad (1.15)$$

$$r = \frac{g_2 - g_1}{L} : \text{eğim değişimi oranı}$$

(1.14) ve (1.15) eşitliklerinden gerekli karp yüksekliği bulunur.(7)

2.2. Simetrik olmayan kurplar



Şekil 5. Simetrik olmayan karp

Eşit olmayan AV ve VB doğru parçalarının birleşmesiyle Simetrik olmayan parabolik düşey karp oluşur. V noktasından çizilen bir düşey hat AB kirişini M noktasında ve kurbu C noktasında keser. C ve M noktaları karpun ve kirişin orta noktaları değildir.Şekil 5'den; e: V noktasından kurba olan düşey uzaklık

l_1, l_2 : AC ve CB kurplarının uzunlukları

$L=l_1+l_2$: Karpun toplam uzunluğu(Bu karpun yatay izdüşümüyle aynı olduğu varsayılır.)

$G=g_2-g_1$: AV ve VB düşey karp kolları eğimlerinin cebirsel farkı

$$DB = (g_2 - g_1)l_2 \quad (1.16)$$

Benzer üçgenlerden;

$DB/VM=L/l_1$ ya da

$$DB = \frac{L}{l_1} VM = \frac{L}{l_1} 2e \quad (1.17)$$

(1.16) ve (1.17) eşitliklerinden;

$$e = \frac{g_2 - g_1}{2L} l_1 l_2 \quad (1.18)$$

$l_2=l_1=L/2$ olursa (1.18) eşitliği (1.9) eşitliğine dönüşür.

Karp üzerindeki herhangi bir nokta için E_x yüksekliği, karpun sol parçası AC ile şöyle bulunur:

$$E_x = E_a + g_1 x + \left(\frac{x}{l_1}\right)^2 e \quad (1.19)$$

E_a : A noktasının yüksekliği

E_x yüksekliği, karpun sağ parçası BC ile şöyle bulunur:

YTÜD 2002/4

$$E_x = E_b - g_2 x + \left(\frac{x}{l_2}\right)^2 e \quad (1.20)$$

E_b : B noktasının yüksekliği

Eğer r_1 ve r_2 değerleri AV ve VB eğimlerinin eğim değişim oranıysa şu eşitlikler yazılabilir:

$$r_1 = \frac{g_2 - g_1}{L} l_2 \quad \text{ve} \quad r_2 = \frac{g_2 - g_1}{L} l_1 \quad (1.21)$$

$$e = \frac{g_2 - g_1}{2L} l_1 l_2$$

e 'yi (1.21) eşitliğine bölünürse;

$$\frac{e}{r_1} = \frac{1}{2} l_1^2 \quad \text{ve} \quad \frac{e}{r_2} = \frac{1}{2} l_2^2$$

$$e = \frac{1}{2} r_1 l_1^2 \quad \text{ve} \quad e = \frac{1}{2} r_2 l_2^2 \quad (1.22)$$

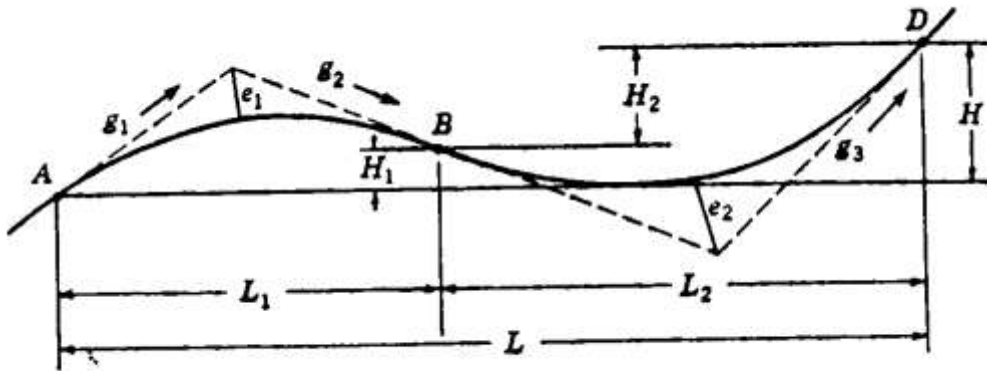
(1.22) eşitliği (1.19) ve (1.20)'de yerine konulursa;

$$E_x = E_a + g_1 x + \left(\frac{1}{2} r_1\right) x^2 \quad (1.23)$$

$$E_x = E_b - g_2 x + \left(\frac{1}{2} r_2\right) x^2 \quad (1.24)$$

elde edilir.(7)

2.3. Ters düşey kurplar



Şekil 6. Ters düşey karp

YTÜD 2002/4

B noktasında ortak bir teğete sahip AB ve BD düşey kurpları, iki yol arasında bir değişme rampası için düşey alıyman oluştururlar. Bu tür kurplarda verilen formüller aşağıdaki şartları gerektirir:

g_1, g_3 : Eğimler

g_2 : Ortak eğim

L_1, L_2 : Birinci ve ikinci kurbun uzunluğu; $L=L_1+L_2$

E_a, E_b, E_d : A, B ve D noktalarının yükseklikleri

$H_1 = E_b - E_a$: B ve A'nın yükseklik farkı

$H_2 = E_d - E_b$: D ve B'nin yükseklik farkı

$H = E_d - E_a$: D ve A'nın yükseklik farkı

r_1, r_2 : Birinci ve ikinci kurbun eğim değişim oranı

$$r_1 = \frac{g_2 - g_1}{L_1} \text{ ya da } L_1 = \frac{g_2 - g_1}{r_1} \quad (1.25)$$

$$r_2 = \frac{g_3 - g_2}{L_2} \text{ ya da } L_2 = \frac{g_3 - g_2}{r_2} \quad (1.26)$$

(1.25) ve (1.26)'yı toplarsak

$$L = \frac{g_2 - g_1}{r_1} + \frac{g_3 - g_2}{r_2} \quad (1.27)$$

(1.27)'den g_2 'yi bulursak;

$$g_2 = \frac{r_1(r_2L - g_3) + r_2g_1}{r_2 - r_1} \quad (1.28)$$

(1.28) eşitliğinden bulunan g_2 değeri kullanılarak (1.25) ve (1.26) eşitliklerinden L_1 ve L_2 değerleri hesaplanır.

$$\text{YükB} = \text{YükA} + g_1 \frac{1}{2}L_1 + g_2 \frac{1}{2}L_1$$

$$E_b = E_a + (g_1 + g_2) \frac{1}{2}L_1$$

$$H_1 = E_b - E_a = (g_1 + g_2) \frac{1}{2}L_1 \quad (1.29)$$

$$\text{YükD} = \text{YükB} + g_2 \frac{1}{2}L_2 + g_3 \frac{1}{2}L_2$$

$$E_d = E_b + (g_2 + g_3) \frac{1}{2}L_2$$

$$H_2 = E_d - E_b = (g_2 + g_3) \frac{1}{2}L_2 \quad (1.30)$$

$$H = H_1 + H_2 \quad (1.31)$$

Bu eşitliklerde ileri doğru artan eğimler için (+), azalan eğimler için (-) işaret kullanılır. r_1 (ya da r_2) değerleri açık karp için pozitif, kapalı karp için negatiftir.(7)

3. DÜŞEY KURP UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

Düşey kurp uzunluğunun belirlenmesinde görüş ve konfor önemli kriterlerdir. İki ve üç şeritli bölünmemiş yollarda kapalı düşey kurplarda; bir sürücünün önündeki bir taşıtı sollayıp geçebileceği ve bu sırada karşı yönden gelen taşıyla aynı şerit üzerinde karşılaşabileceği düşünülerek gerekli minimum görüş uzaklığı belirlenir. Böylece bu yollarda düşey kurp uzunluğu en az sollama ile geçiş uzunluğuna eşit alınır. Bölünmüş yollarda ise karşı yönden taşıt gelme olasılığı olmadığından gerekli minimum görüş uzaklığı, sürücü için aynı şerit üzerinde bulunabileceği varsayılan bir engele çarpmadan durabilmesi için yeterli uzunluk olan duruş görüş uzunluğu kadar olmalıdır.(8)

Hesaplarda sollayan ve karşı yönden gelen taşıtların hızı proje hızına eşit, sollanan taşıtın hızı ise sollayan taşıttan 15km/st küçük alınır. Duruş görüş uzunluğuna göre yapılan hesaplarda proje hızı kullanılır. Sürücü görüş yüksekliği taşıt tipine göre 1.0~1.40m arasında, yol üzerinde bulunabilecek engelin yüksekliği de 0.25m'nin altında alınır.(14)

Konfor bakımından düşey kurplardan geçişte yolcuların belli bir değerden büyük ivmeye maruz kalmaları istenmez. $0.3\sim 0.5\text{m/sn}^2$ olan ivme değerlerinin yolcuyla rahatsız etmeyeceği kabul edilmektedir. Bu yöntemle bulunacak düşey kurp uzunluğu kapalı düşey kurplar için minimum görüş uzaklığı koşuluna göre hesaplanan uzunluğun yanında çok küçük bir değerdir. Böylece görüş uzunluğu esas alınarak hesaplanan kapalı düşey kurplar için konfor sorunu yok demektir. Açık kurp hesaplarında ise konfor, esas alınan kriterlerden biridir. Kapalı düşey kurplarda hesap; duruş görüş ya da geçiş görüş uzunluğuna göre belirlendiğinde önce $S < L$ veya $S > L$ kabulleriyle ilgili bağıntılardan L uzunluğu hesaplanır. Bulunan sonuç kabule uygunsa aynen alınır, değilse diğer duruma ait bağıntı kullanılarak L uzunluğu hesaplanır. Kapalı düşey kurplarda devlet yolları için konfor açısından minimum 120m, il yolları içinde minimum 80m'lik kurp uzunluğunun istenmesi dikkate alınmalıdır.

Açık düşey kurplarda ise üst geçit veya benzeri görüşü sınırlayan bir engel yoksa gündüz için görüş uzunluğu sorunu yoktur. Ancak gece yolculuğunda kurbun eğrilik derecesi far ışığı ile sağlanan görüş uzunluğu üzerinde etkili olacaktır. Böylece L kurp uzunluğu hesaplanırken genellikle far ışığı altındaki duruş görüş uzunluğu esas alınır. Ayrıca açık düşey kurplarda, konfor, estetik ve yüzeysel drenaj kriterleride dikkate alınmalıdır.

Bir demiryolu ya da bir başka karayolu altından geçirilmesi istenen yolların bu kesimleri boykesitte genellikle açık düşey kurp içine düşer. Böyle bir durumda düşey kurp uzunluğu, proje hızına göre zorunlu minimum görüş uzunluğunu sağlayacak kadar olmalıdır.(14)

4. BOYKESİTLER İÇİN OPTİMUM DÜŞEY KURPLARIN BELİRLENMESİNDE LİNEER OPTİMİZASYON

Boykesit, veri noktaları tam olarak düşey kurba kolları üzerinde ya da parabolik kurplarda olmayan, iki doğru parçası arasına yerleştirilen bir kurp parçasından oluşur. Doğru hatlar ve parabolik kurplar görsel olarak boykesite uydurulur. Ancak bu metot zaman tüketimidir ve yeterli doğrulukta olmayabilir. Bu nedenle boykesite en uygun parabolik kurp ve düşey kurba kollarının belirlenmesinde lineer bir optimizasyon yöntemi kullanılır. Hem eğimler hem de parabolik kurplar eş zamanlı olarak boykesit datasına uydurulur. Modelin karar değişkeni, parabolik kurbun başlangıç ve son bölümüyle birinci ve ikinci eğimleridir. Modelin amaç fonksiyonu; gözlenmiş boykesit ve düşey kurp arasındaki kesin sapmalar toplamını minimum yapmaktır.

$$y-y_1+e_i^-+e_i^+=0; i=1,2,\dots,M \quad (1.43)$$

$$y-y_1+r_i^-+r_i^+=0; i=1,2,\dots,N \quad (1.44)$$

$$y-y_1+g_i^-+g_i^+=0; i=1,2,\dots,K \quad (1.45)$$

$$e_i^+, e_i^-, r_i^+, r_i^-, g_i^+, g_i^- \geq 0; \forall i \quad (1.46)$$

e_i^+, e_i^- : Birinci eğimdeki i noktasının pozitif ve negatif sapmaları

r_i^+, r_i^- : Parabolik kurptaki i noktasının pozitif ve negatif sapmaları

g_i^+, g_i^- : İkinci eğimdeki i noktasının pozitif ve negatif sapmaları

Burada (1.43), (1.44), (1.45)'in y değişkeni $x=x_i$ için sırasıyla (1.37), (1.39), (1.40)'ın yerine geçmesiyle elde edilir. Örneğin (1.43)'de herhangi bir i noktası için ya e_i^- (eğer $y < y_i$) ya da e_i^+ (eğer $y > y_i$) diğer biri sıfır olacak şekilde pozitif bir değer alır. Parabolik kurbun ortasında uzanan düşey kesişme noktasını sağlamak için aşağıdaki kısıtlar eklenmelidir.

$$(g_1/L/2)+(g_2L/2)=y_2-y_1$$

$L=x_2-x_1$ alınarak şu değer elde edilir;

$$2(y_2-y_1)-(g_1+g_2)(x_2-x_1)=0 \quad (1.47)$$

Lineer optimizasyon pozitif olan tüm karar değişkenlerini gerektirdiğinden g_1 ve g_2 pozitif ya da negatif olabilir. Bu değerlerin herbiri şu şekilde modelde yerini almalıdır:

$$g_1=g_{11}-g_{12} \quad (1.48)$$

$$g_2=g_{21}-g_{22} \quad (1.49)$$

Eşitlik (1.41)-(1.49) bir lineer optimizasyon modeli sunar. Modelin özeti Tablo 1'deki gibidir. Bu modelde x_1 ve x_2 bilinen $y_1, y_2, g_{11}, g_{12}, g_{21}$ ve g_{22} karar değişkenleridir. Model $(M+N+K+1)$ kısıtlarını ve $(2M+2N+2K+6)$ karar değişkenlerini gerektirir. Tablo 1'in lineer optimizasyon yöntemi LINDO gibi bir optimizasyon yazılımı kullanılarak kolayca çözülebilir. Bu yazılım 4500'e kadar değişken ve 800 kısıtı içeren çok büyük problemleri çözebilir.(2)

Tablo 1. Lineer optimizasyon modeli (MinZ)

$$\text{Minimum } Z = \sum_{i=1}^M (e_i^- - e_i^+) + \sum_{i=1}^N (r_i^- + r_i^+) + \sum_{i=1}^K (q_i^- + q_i^+)$$

$$y_1+(g_{11}-g_{12})(x_1-x_1)-y_1+ e_i^- - e_i^+ = 0 ; i=1,2,\dots,M$$

$$y_1+(g_{11}-g_{12})(x_1-x_1)+ \frac{(g_{21}-g_{22}-g_{11}+g_{12})}{2(x_2-x_1)}(x_1-x_1)^2 - y_1 + r_i^- - r_i^+ = 0 ; i=1,2,\dots,N$$

$$y_2+(g_{21}-g_{22})(x_1-x_2)-y_1+ g_i^- - g_i^+ = 0 ; i=1,2,\dots,K$$

$$2(y_2-y_1)-(g_{11}-g_{12}+g_{21}-g_{22})(x_2-x_1) = 0$$

$$e_i^+, e_i^-, r_i^+, r_i^-, g_i^+, g_i^- \geq 0; \forall i$$

$$g_{11}, g_{12}, g_{21}, g_{22}, y_1, y_2 \geq 0$$

5. UYGULAMA

Burada anlatılan optimizasyon yöntemi, kapalı bir düşey kurbun boykesit verilerine uygulanmıştır. Boykesit verileri aşağıda tablo 2'de verilmiştir. $x_1=90m$, $x_2=210m$ olduğu

varsayılmıştır. $g_{11}=3.16$, $g_{22}=-1.78$, $y_1=4.812$, $y_2=5.643$ 'dir. Temel alınan tablo 1'e uyan model tablo 3'te gösterilmiştir. Lindo yazılımı kullanılarak optimum değerler elde edilmiş ve sonuçlar tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Boykesit verileri

Elemanlar	Nokta	x_i	y_i
İlk düşey kurp kolu	1	20	2.6
	2	40	3.1
	3	60	3.9
	4	80	4.4
Parabolik kurp	5	100	5.1
	6	120	5.6
	7	140	6.0
	8	160	6.0
	9	180	6.1
	10	200	5.8
İkinci düşey kurba kolu	11	220	5.4
	12	240	5.2
	13	260	4.7
	14	280	4.4

Tablo 3. Optimizasyon modeli

$$\text{MinZ}=\text{EN1}+\text{EP1}+\text{EN2}+\text{EP2}+\text{EN3}+\text{EP3}+\text{EN4}+\text{EP4}+\text{RN1}+\text{RP1}+\text{RN2}+\text{RP2}+\text{RN3}+\text{RP3} \\ +\text{RN4}+\text{RP4}+\text{RN5}+\text{RP5}+\text{RN6}+\text{RP6}+\text{QN1}+\text{QP1}+\text{QN2}+\text{QP2}+\text{QN3}+\text{QP3}+\text{QN4}+\text{QP4}$$

$$Y_1 - 70G_{11} + 70G_{12} - \text{EP1} + \text{EN1} = 2.6$$

$$Y_1 - 50G_{11} + 50G_{12} - \text{EP2} + \text{EN2} = 3.1$$

$$Y_1 - 30G_{11} + 30G_{12} - \text{EP3} + \text{EN3} = 3.9$$

$$Y_1 - 10G_{11} + 10G_{12} - \text{EP4} + \text{EN4} = 4.4$$

$$Y_1 + 9.58G_{11} - 9.58G_{12} + 0.42G_{21} - 0.42G_{22} - \text{RP1} + \text{RN1} = 5.1$$

$$Y_1 + 26.25G_{11} - 26.25G_{12} + 3.75G_{21} - 3.75G_{22} - \text{RP2} + \text{RN2} = 5.6$$

$$Y_1 + 39.58G_{11} - 39.58G_{12} + 10.42G_{21} - 10.42G_{22} - \text{RP3} + \text{RN3} = 6.0$$

$$Y_1 + 49.58G_{11} - 49.58G_{12} + 20.42G_{21} - 20.42G_{22} - \text{RP4} + \text{RN4} = 6.0$$

$$Y_1 + 56.25G_{11} - 56.25G_{12} + 33.75G_{21} - 33.75G_{22} - \text{RP5} + \text{RN5} = 6.1$$

$$Y_1 + 59.58G_{11} - 59.58G_{12} + 50.42G_{21} - 50.42G_{22} - \text{RP6} + \text{RN6} = 5.8$$

$$Y_2 + 10G_{21} - 10G_{22} - \text{QP1} + \text{QN1} = 5.4$$

$$Y_2 + 30G_{21} - 30G_{22} - \text{QP2} + \text{QN2} = 5.2$$

$$Y_2 + 50G_{21} - 50G_{22} - \text{QP3} + \text{QN3} = 4.7$$

$$Y_2 + 70G_{21} - 70G_{22} - \text{QP4} + \text{QN4} = 4.4$$

$$2Y_2 - 2Y_1 - 120G_{21} + 120G_{22} - 120G_{11} + 120G_{12} = 0$$

Tablo 4. Optimum çözüm

MinZ=0.754518

Değişkenler	Değerler
EP2	0.132106
EN3	0.035787
EP4	0.096319
RP1	0.007692
RN2	0.024585
RN3	0.121740
RP4	0.016722
RN5	0.109200
QP1	0.065550
QN2	0.089633
QP3	0.055184
Y ₁	4.812372
G ₁₁	0.031605
G ₂₂	0.017759
Y ₂	5.643142

Tablo 4'te bulunmayan değişkenlerin değerleri '0'a eşit olduğu için yazılmamıştır.

6. SONUÇLAR

Günümüzde yapılan istatistiksel sonuçlara göre, meydana gelen trafik kazalarının en çok olduğu yerler, yatay ve düşey kurpların bulunduğu kesimlerdir. Bu sonuçta bize karayolu projelerinde kurpların tasarımına ne kadar önem verilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle karayolu projeleri yapılırken, kurplar mevcut standartları sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır. Görüş, konfor gibi unsurlar dikkate alınarak, yatay ve düşey kurpların projelendirilmesi bunlara göre yapılmalıdır.

Parabolik düşey kurpların oluşturulmasında kullanılan lineer optimizasyon yöntemi, eğim ve parabolik kurpların eşzamanlı olarak boykesit datasına uydurulması nedeniyle zaman ve doğruluk açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Böylece boykesit ve düşey kurp arasındaki kesin sapmalar toplamı minimum yapılarak daha uygun düşey kurplar elde edilebilmektedir. Ancak kullanımı günümüzde çok yaygın değildir. Bu yöntemin kullanımının yaygınlaşmasıyla daha uygun sonuçlar daha kısa zamanda elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Easa, S.M.: Three-Arc Vertical Curve For Constrained Highway Aligments, Journal of Transportation Engineering, March-April 1998.
- [2] Easa, S.M.: Optimum Vertical Curves for Highway Profiles, Journal of Surveying Engineering, August 1999.
- [3] Easa, S.M., Hassan, Y.: Design Requerements of Equal-Arc Unsymetrical Vertical Curves, Journal of Transportation Engineering, September-October 1998.

YTÜD 2002/4

- [4] Easa, S.M., Hassan, Y.:Development of Transitioned Vertical Curve II Sight Distance, Transportation Research Part A, 2000.
- [5] Hassan, Y., Easa, S.M.: Design of Sag Vertical Curves In Three-Dimensional . Alignments, Journal of Transportation Engineering, January-February,1998.
- [6] Hassan, Y., Easa, S.M.:Design Considerations of Sight Distance Red Zones on Crest Curves, Journal of Transportation Engineering, July-August,1998.
- [7] Hickerson, T.F.: Route Location And Design, 1953.
- [8] Macpherson, G.: Highway Transportation Engineering Planning, 1997.
- [9] Mannering, F.L., Klareski, W.P.: Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, 1990.
- [10] Oglsby, C.H.,Hicks, R.G.:Highway Engineering, Fourth Edition,
- [11] Sonuç, T.: Karayolu Tekniği, Cilt 1, 1983.
- [12] Taiganidis, I: Aspects of Stopping Sight Distance on Crest Vertical Curves, Journal of Transportation Engineering, July-August,1998.
- [13] Thomas, N.E., Hafeez, B., Evans, A.: Revised Design Parameter for Vertical Curves, Journal of Transportation Engineering, July-August,1998.
- [14] Umar, F., Yayla, N.: Yol İnşaatı, 1998.
- [15] Wright, P.H.,Paquette, R.J.: Highway Engineering, Fifth Edition, 1997.

PDF Source : [Sigma](#)