

Dairesel ve Parabolik Düşey Kurpların Kısıtlı Çözümleri (The Restricted Solutions of Circular and Parabolic Vertical Curves)

Sebahattin BEKTAŞ, Yasemin ŞİŞMAN

Ondokuzmayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Atakum, SAMSUN
sbektas@omu.edu.tr

ÖZET

Yollardaki eğim farklılıklarını gidermek için düşey kurplar kullanılır. Düşey karp eğrisinin belirlenmesinde bazı kabullerle çözüm yapılmaktadır. Yol projeleri yapım öncesinde projelendirilen büyük mühendislik çalışmalarıdır. Topoğrafik yapıya uygun olarak oluşturulan yol projelerinde; düşey kurbun eğimleri, yatay uzunluğu, başlangıç ve bitiş noktalarının yükseklikleri bilinmesi durumunda bilinmeyen sayısından fazla ölçü ortaya çıkar. Fazla ölçü sayılı bir problemin hata teorisine uygun çözümü için dengeleme hesabı yapılır. Ancak dengeleme hesabıyla çözümde tüm ölçü değerleri (düşey karp elemanlarının) düzeltme değeri kadar değişir. Oysa düşey karp hesabında topoğrafik yapıya ve trafik güvenliğine uygun olacak şekilde oluşturulan ölçü değerlerinin değişmesi istenmez. Düşey karp hesabı ayrıca trafik güvenliği öncelikli şart olacak şekilde bilinmeyen sayısı kadar ölçünün sabit, diğer ölçüler değişken alınarak da yapılabilir.

Yapılan bu çalışmada parabolik ve dairesel düşey kurpların matematiksel fonksiyonlarının belirlenmesi ve fazla ölçü sayılı parabolik düşey kurplar için farklı çözüm yolları açıklanmıştır. Tüm ölçüler kullanılarak yapılan dengeleme hesabı çözümü ve yeterli ölçü sabit alınarak yapılan alternatif çözümler açıklanmış ve sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Düşey karp, parabolik düşey karp, dengeleme hesabı, kısıtlı çözüm.

ABSTRACT

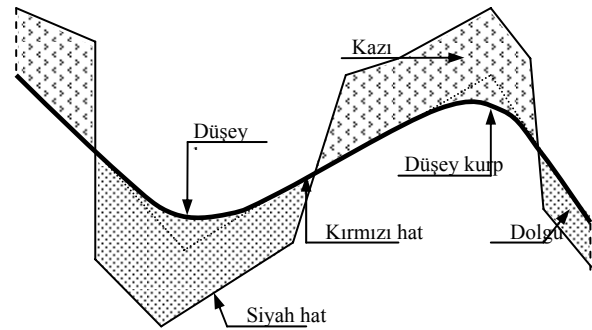
The vertical curves are used to remove the sudden variances of slope on the roads. Some approximations are used in the determination of the vertical curve function. The road project is an important engineering study that designed before the construction. In the road projects created as suitable for the topographic structure; if the slopes of the vertical curve, its horizontal length and the heights of the start and end points are known, more measurements come out than the number of the unknown. The solution of a problem with more measurement numbers according to the error theory is made through adjustment calculation. All the measurement value (the elements of vertical curve) changes because of their residuals obtained from the adjustment. However, changing of curve elements does not prompt to in the vertical curve calculation. The measurements, equal to the unknown number, are taken as constant to obtain the solution without adjustment.

In this project, the mathematical functions of the parabolic and circular vertical curves are explained. Besides, the solutions of parabolic vertical curves with more measurement numbers are investigated. The numerical applications have been made for the determining of the vertical curves function using all measurement and using required measurement.

Key words: Vertical curve function, parabolic vertical curve, adjustment calculus, restricted solution.

1. GİRİŞ

Düşey kurplar, değişik eğimlerdeki iki kırmızı çizgiyi birleştirerek doğrultulardaki ani eğim değişikliklerini ortadan kaldırmak için kullanılan eğrilerdir. Farklı eğime sahip olan iki kırmızı çizgi arasına, demiryolu, karayolu ve diğer yollarda motorlu taşıtların ani düşey ivmelere maruz kalmalarını önlemek amacıyla düşey karp yerleştirilir (Bayırtepe,2011; Yurdakul, 2006; Henao ve Acevedo, 2010; Hawkins, 2007).



Şekil 1. Bir yol güzergahının düşey profili,
(Bektaş, 2009)

Uygulamada; 1., 2. ve 3. sınıf yollarda birbirini izleyen iki kırmızı çizgi eğimlerinin farkının %0.5 den büyük olması durumunda bu iki çizgi arasına düşey karp uygulanır, (Şekil 1). Daha düşük standartlı yollarda ise bu fark %1 olarak kabul edilir (Topbaş vd., 2002; Topbaş ve Soyca, 2006). Düşey karp eğrisi olarak simetrik ya da simetrik olmayan eğriler kullanılır, (Anderson ve Mikhail, 1998; Kavanagh, 2005; Moffit ve Bossler, 1998; Ghilani ve Wolf, 2008). Simetrik eğri

kullanılması durumunda dairesel düşey kurplar, simetrik olmayan eğriler kullanıldığında ise parabolik düşey kurplar söz konusu olur (Easa and Kikuchi, 2009). Düşey kurpların belirlenmesi özellikle trafik güvenliği açısından çok önemlidir ve bu amaçla birçok çalışma yapılmıştır (Henao and Acevedo, 2010; Hawkins, 2007; Zhang vd., 2008, Easa ve Hassan, 2000; Dabbour, vd., 2002; Telli ve Baybura, 2005; Kurt, 2011).

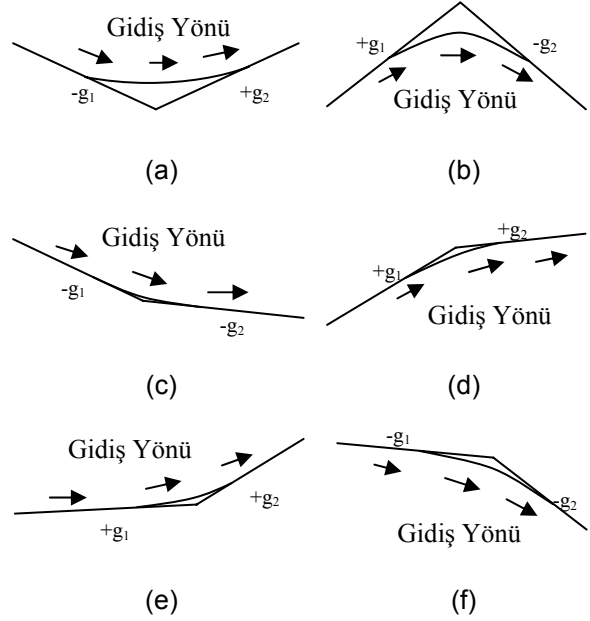
Literatürde düşey kurpların hesabında, hata düzeyi dikkate alınmayan ihmal ve varsayımlarla karmaşık çözümler yapılmıştır, (Kurt, 2011; Coşkun ve Baykal, 2009). Söz konusu yaklaşık hesap yolunun başlıca nedeni, geçmiş yıllarda yaşanmış olan sayısal hesap yapma zorluğudur. Günümüzde hesaplama araçları oldukça gelişmiştir ve yüksek standartlı karayolları ve demiryollarında kot ve kilometre hesabında yüksek duyarlılıkları çözümler gerekmektedir. Düşey karp hesabı ile ilgili karşılaşılan diğer bir sorun, parabolik düşey karp hesaplarına ilişkin açıklamaların oldukça karmaşık ve zor anlaşılır olmasıdır (Coşkun ve Baykal, 2009). Disiplinler arası bir çalışma şekli olan düşey karp hesabında kesin ve kolay çözüm yöntemleri istenmektedir.

Arazi yapısına uygun olarak yapılan yol projelerinde maliyet çok önemlidir. Yol projelerinde kazı ve dolgu işlemleri maliyeti artıran unsurlardır ve maliyeti azaltabilmek için kazı ve dolgu miktarının eşit olması istenir. Bu amaçla; yol projeleri yapılırken topoğrafyaya uygun olacak şekilde eğim belirlenir ve düşey karp projelerinde; düşey kurbun eğimleri, yatay eksenindeki uzunluğu, başlangıç ve bitiş noktalarının yükseklikleri bilinir. Bu durumda bilinmeyen sayısından fazla ölçü ortaya çıkar. Bu durum ölçüler ve bilinmeyenler arasında çelişkiye yol açar. n adet ölçüden u adet bilinmeyen tek anlamlı olarak ancak dengeleme hesabı ile elde edilir, fakat dengeleme hesabı çözümünde tüm ölçüler düzeltme değeri aldığı için değişkendir. (Ghilani ve Wolf, 2006; Bektaş ve Şişman, 2010). Dengeleme hesabı yapılmadan çözüm için sadece u bilinmeyen sayısı kadar ölçü sabit, $f = n - u$ fazla ölçü sayısı kadar ölçü değişken alınarak yapılır.

Yapılan bu çalışmada; parabolik ve dairesel düşey kurplara ilişkin direk çözüm eşitlikleri verilmiştir. Ayrıca fazla ölçü sayılı problem olarak ele alınabilecek parabolik düşey karp eğrisi belirlenmesinde kullanılan çözüm yöntemleri sayısal bir uygulama ile analiz edilmiş ve trafik güvenliği dikkate alınarak maliyet açısından en uygun yöntem belirlenmiştir.

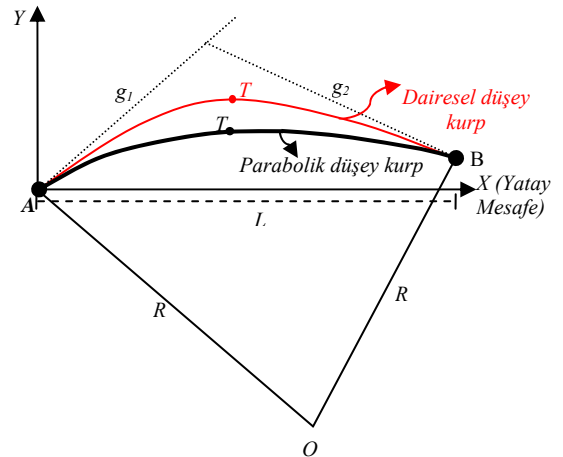
2. DÜŞEY KURPLAR

Düşey kurplar arazi koşullarına göre tekne (dere, açık) ve tepe (kapalı) olmak üzere iki şekilde oluşur (Bayırtepe, 2011; Hawkins, 2007; Easa ve Hassan, 2000). Tekne ve tepe kurplarda g_1 ve g_2 eğimleri (+) ya da (-) işaret alabilirler, (Şekil 2).



Şekil 2. Tekne ve tepe düşey kurplar

Simetrik ve simetrik olmayan şekilde oluşturulabilen düşey kurpların genel ifadesi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Parabolik ve dairesel düşey karp

Düşey kurplarda; A düşey kurbun başlangıç noktasını, B düşey kurbun son noktasını, L düşey kurbun yatay eksenindeki uzunluğu, T düşey kurbun dönüş noktasını, O dairesel

düşey kurbun merkezini; R dairesel düşey kurbun yarıçapını göstermektedir.

Düşey kurpların hesabında; A düşey karp başlangıç noktasını orijin olarak alan 2 boyutlu dik koordinat sistemi tanımlanır. Bu koordinat ekseninin yatay eksenini A ve B noktalarını birleştiren yatay doğrultu, düşey eksenini ise noktaların yükseklik değerleri oluşturur (Şekil 3). Bu şekilde oluşturulan bir koordinat sisteminde $A(0, H_A)$; $B(L, H_B)$; $T(X_T, Y_T)$; $O(X_M, Y_M)$ ile gösterilir.

Düşey karp eğrisi olarak simetrik düşey karp için daire yayları; simetrik olmayan düşey karp için ise 2 derece paraboller kullanılmaktadır, (Telli ve Baybura, 2005; Kissam, 1966; Easa, 1999; Uren ve Price, 2006).

a. Parabolik Düşey Kurplar

İkinci derece parabolik düşey kurbun matematiksel eşitliği g_1 ve g_2 eğimleri, L düşey karp boyu ve H_A başlangıç noktasının yüksekliği ile belirlenir. Başlangıç noktasının yüksekliği sıfır alınarak da çözüm yapıldığında ΔH yükseklik farkları çözümden kullanılır. 2. derece parabolik düşey karp denklemi;

$$Y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

şeklinde ve bu eşitliğin katsayılarının belirlenmesi için aşağıdaki koşullar yazılır.

- A başlangıç noktasında için hesaplanacak yükseklik değeri $Y = H_A$ olmalıdır. (1) eşitliğinde A noktasının koordinat değerleri yerine yazılırsa $c = H_A$ olur.

- Herhangi bir fonksiyonun bir noktadaki türevi eğimini verdiği için A noktasında parabolik düşey karp eşitliğinin türevi $Y' = g_1$ olmalıdır. (1) eşitliğiyle verilen parabolün türevi, $Y' = 2ax + b$ 'dir. Bu eşitlikte A noktasının koordinat değerleri yerine yazılırsa $Y' = g_1 = b$ olur.

- Benzer şekilde parabolün B bitim noktasında türevi $Y' = g_2$ olmalıdır. B noktasının koordinat değerleri $Y' = 2ax + b$ eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$2aL + g_1 = g_2; \quad a = \frac{g_2 - g_1}{2L}$$

eşitliği elde edilir, (Bayırtepe, 2011; Kurt, 2011). Parabolik Düşey karp için belirlenen a, b ve c değerleri (1) eşitliğinde yerine yazıldığında;

$$Y = \left(\frac{g_2 - g_1}{2L}\right)x^2 + g_1x + H_A \quad 0 \leq x \leq L \quad (2)$$

İkinci derece parabolik düşey kurbun matematiksel eşitliği elde edilir. Bu eşitlikle düşey kurbun istenen noktasının koordinat değerleri hesaplanabilir.

Parabolik düşey kurbun tepe (ya da çukur) noktasının koordinatları bulunmak istenirse, (1) eşitliğindeki parabol denkleminin türevi sıfıra eşitlenerek eğimin sıfır olduğu nokta aranır. Tepe noktasının X koordinatı;

$$Y' = 2ax + b = 0$$

$$Y' = 2 \frac{g_2 - g_1}{2L} X_T + g_1 = 0 \Rightarrow X_T = \frac{-g_1 L}{g_2 - g_1} \quad (3)$$

eşitliği elde edilir. Tepe noktasının Y değeri ise (1) eşitliğinde X değeri yerine yazılarak hesaplanır.

b. Dairesel Düşey Kurplar

Parabolik düşey kurpta olduğu gibi dairesel düşey kurpta da matematiksel eşitlik g_1, g_2 eğimleri ve L düşey karp boyu ve A başlangıç noktasının yüksekliği H_A ile belirlenir. Şekil.3'teki gibi bir dairesel düşey kurbun yarıçapı;

$$R = \frac{L}{\left| \frac{|g_1|}{\sqrt{1+g_1^2}} - \text{sign}(g_1 g_2) \frac{|g_2|}{\sqrt{1+g_2^2}} \right|} \quad (4)$$

ve dairenin merkezinin koordinatları;

$$X_M = \frac{-g_1 L}{g_2 - g_1}; \quad Y_M = \text{sign}(g_2 - g_1) \sqrt{R^2 - X_M^2} \quad (5)$$

eşitlikleriyle bulunur. Dairesel düşey kurbun denklemi ise;

$$Y = Y_M - \text{sign}(g_2 - g_1) \sqrt{R^2 - (X - X_M)^2} + H_A \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Dairesel düşey kurbun tepe (çukur) noktasının X koordinatı;

$$X_T = \frac{g_1 R}{\sqrt{1+g_1^2}} \quad (7)$$

Y koordinatı ise X koordinatının (6) eşitliğinde yerine yazılmasıyla bulunur.

3. DÜŞEY KURPLARIN KISITLI ÇÖZÜMLERİ

Parabolik ve dairesel düşey kurpların eşitliklerinin matematiksel olarak belirlenmesinde 3 ölçü değerinin bilinmesi yeterlidir. Bu ölçüler klasik çözümde g_1, g_2 eğimleri ve L düşey karp boyudur. Bu durumda A başlangıç noktasının yüksekliği $H_A = 0$ alınır. Fakat yol çalışmalarında bazen bu ölçülere ek olarak düşey kurbun son noktasının yüksekliği H_B ya da kurbun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yükseklik farkı $\Delta H = H_A - H_B$ 'de belirlidir. Bu durumda tanımlanan düşey karp probleminde fazla ölçü vardır ve klasik çözümden farklı çözüm söz konusudur. Fazla ölçü sayılı düşey karp hesabında tüm ölçülere uygun düşey karp fonksiyonu belirlenemez. Bu durumda; parabolik düşey karp denkleminin elde edilmesinde çözüm için yazılan 3 koşula ilaveten 1 koşul daha yazılmalıdır.

- (1) eşitliğiyle verilen parabol denklemi B bitim noktasında $Y = H_B$ olmalıdır. B noktasının koordinat değerleri (1) eşitliğinde yerine yazılır ve $c = H_A$ olarak alınır;

$$Y = H_B = aL^2 + bL + H_A$$

eşitliği elde edilir. Yazılan tüm koşullar özetlenirse,

$$\begin{aligned} c &= H_A \\ b &= g_1 \\ 2aL + b &= g_2 \\ aL^2 + bL + H_A &= H_B \end{aligned} \quad (8)$$

şeklinde 3 bilinmeyenli 4 denklemden oluşan denklem sistemi elde edilir. Bu eşitliklerde ölçü sayısı bilinmeyen sayısından fazla olduğu için aşırı sınırlandırılma söz konusudur ve denklem sistemini tam sağlayan bilinmeyen değerleri ölçülerin sabit kalması koşuluyla belirlenemez.

3 bilinmeyen, 4 ölçü (g_1, g_2, L ve $\Delta H = H_B - H_A$) içeren parabolik düşey karp fonksiyonu belirleme probleminde çözüm

dengeleme hesabı yapılarak ya da bazı değerlerin sabit kalması koşulu altında diğer ölçülerin değişken olarak alınarak yapılabilir.

a. Dengeleme Hesabı İle Çözüm

(8)'de verilen denklem sistemi fazla ölçü içermektedir ve böyle bir sistemde en uygun parametrik çözümü dengeleme hesabı ile En Küçük Kareler (EKK) ilkesine göre yapılır. Bu sistemin normal denklemler kurularak EKK çözümü (Kurt, 2011)'de gösterilmiştir. İkinci derece parabolik düşey karp için aynı çözüm normal denklemleri kurmaksızın (8) eşitliğindeki parametre değerleri (1) eşitliğinde yerine yazılarak direk yapılabilir.

$$\begin{aligned} a &= \frac{g_2 - g_1}{2L}, \quad b = \frac{H_B - H_A}{L} - aL, \quad c = H_A \\ Y &= \frac{g_2 - g_1}{2L} x^2 + \left(\frac{H_B - H_A}{L} - aL \right) x + H_A \end{aligned} \quad (9)$$

Dengeleme hesabı çözümünde her bir ölçü değeri için v düzeltme değerleri hesaplanır ve v_i düzeltme değerleri ölçülere eklenir. Bu durumda dengeleme hesabı ile çözümde her ölçü değeri kendi düzeltme değeri kadar değişir..

b. Ölçülerden Bir Kısmı Sabit Alınarak Çözüm,

(8)'de verilen denklem sisteminde 4 ölçü değerinden 3'ü sabit alınarak diğer ölçü değeri tutularak çözüm yapılabilir. Bu durumda alternatif çözümler elde edilir.

1. $\Delta H = (H_B - H_A)$ değişken; g_1, g_2 ve L sabit çözümü klasik çözüm olarak da adlandırılır. Bu durumda düşey karp denkleminde g_1, g_2 ve L sabit $\Delta H = (H_B - H_A)$ değişken alınarak (2) eşitliğine göre çözüm yapılır.

2. g_1, g_2 ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, L değişken çözümünde, L karp boyu;

$$L = \frac{2(H_B - H_A)}{g_1 + g_2} \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanır. Parabolik düşey karp fonksiyonunun katsayıları ise (10) eşitliğiyle hesaplanan L karp boyu kullanılarak;

$$a = \frac{g_2 - g_1}{2L}; \quad b = g_1; \quad c = H_A$$

eşitliklerinden belirlenir. Bu katsayılar (1) eşitliğinde yerine yazılarak ikinci derece parabolik düşey karp denklemi elde edilir.

3. g_1 , L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_2 değişken çözümünde parabolik düşey karp parametreleri;

$$a = \frac{2(g_2 - g_1) + L(H_B - H_A - g_1 L)}{4L + L^3}; b = g_1; c = H_A$$

eşitlikleri ile belirlenir ve bu katsayılar (1) eşitliğinde yerine yazılarak ikinci derece parabolik düşey karp denklemi elde edilir.

4. g_2 , L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_1 değişken çözümünde parabolik düşey karp katsayıları;

$$a = \frac{g_2 L - (H_B - H_A)}{L^2}; b = g_2 - 2aL; c = H_A$$

şeklinde elde edilir ve bu katsayılar (1) eşitliğinde yerine yazılarak ikinci derece parabolik düşey karp denklemi elde edilir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Düşey karp denkleminin belirlenmesi ile ilgili açıklamaların ışığında iki sayısal uygulama yapılmıştır. Uygulama 1'de klasik çözüm olarak adlandırılan g_1, g_2 eğimleri ve L karp boyu kullanılarak parabolik ve dairesel düşey kurbun denklemi belirlenmeye çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulama 2'de ise g_1, g_2 , L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ ölçüleri ile ikinci derece parabolik düşey karp fonksiyonu belirlemek için 3. Bölümde açıklanan çözümler uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Uygulama 1: Tepe şeklinde bir düşey karpda $H_A = 100m.$, $g_1 = \%6$, $g_2 = -\%5$ ve $L = 200m.$ olarak verilmektedir. İkinci derece parabolik ve dairesel düşey karp denklemleri, başlangıç noktasından itibaren her 50m.'de bir düşey karp yükseklikleri ve düşey kurbun tepe noktasının koordinatları belirlenmek istenmektedir.

Parabolik ve dairesel düşey karp için; düşey karp denklemi (2) ve (6) eşitliğinden; tepe noktası koordinatları (3) ve (7) eşitliğinden, ara nokta koordinatları ise yine (2) ve (6) düşey karp eşitliklerinde X koordinat değerleri yerine

yazılarak bulunmuş ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Uygulama 2: Tepe şeklinde bir düşey kurbun $H_A = 100m.$, $g_1 = \%7$, $g_2 = -\%4$, $L = 200m.$ ve $H_B = 105m.$ ölçülerine göre ikinci derece parabolik eşitliğinin belirlenmesi istenmektedir. Düşey karp fonksiyonunun belirlenmesinde farklı çözümler yapılmıştır. Bu çözümlerin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, fazla ölçü sayılı düşey karp fonksiyonu belirlemede çözümlerin istenilen sonucu verip vermedikleri araştırılmış, (+) istenilen durumun gerçekleştiğini, (-) gerçekleşmediğini gösterecek şekilde Tablo 3 düzenlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Düşey karp olarak kullanılan parabolik düşey karp ve dairesel düşey karp eşitlikleri için yapılan uygulama 1'de her iki çözümde de yaklaşık aynı koordinat değerleri bulunmuştur. Bu durum verilen kurbun ölçü değerleri ile direk ilgilidir.

İkinci derece parabolik düşey karp eşitliğini belirlemek için yapılan uygulama 2'de ise 5 farklı çözüm yapılmıştır. Yapılan çözümün sonuçlarından aşağıdaki irdemeler yapılmıştır.

- Dengeleme hesabı ile çözümde g_1, g_2 , L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ ölçülerinin tümü kullanılarak EKK yöntemine göre çözüm yapılmış ve ölçü değerlerinin tümüne v düzeltmeleri getirilmiştir. Çözüm sonuçları incelendiğinde g_1, g_2 eğimlerinin bu düzeltme değerlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Düşey karp hesaplarında g_1, g_2 eğimlerinin değişmesi genellikle istenmeyen bir durumdur. Zira başlangıçta belirlenen g_1, g_2 eğimleri arazinin topoğrafik yapısına en uygun eğim değerleridir. g_1, g_2 eğimleri yol çalışmasında maliyeti artıracak kazı-dolgu çalışmalarını en aza indirecek şekilde planlanırlar. Bu durumda g_1, g_2 eğimlerinin değişmesi maliyeti direkt olarak artıracak ve yol için yapılan planlamanın değişmesi durumunu ortaya çıkaracaktır.

- $\Delta H = (H_B - H_A)$ değişken, g_1, g_2 ve L sabit çözümünde $\Delta H = (H_B - H_A)$ 'nin yani B bitiş noktasının yükseklik değeri H_B 'nin bilinmemesi yol projeleri için istenen bir durum değildir. Yol projeleri planlama aşamasında düşey kurbun başlangıç ve bitiş noktasının

yükseklik değerlerinin bilinmesi güzergâhın belirlenmesi ve maliyetin hesaplanması açısından önemli bir faktördür. Bu nedenlerle bu çözüm uygulamada istenen çözüm şekli değildir.

• g_1, g_2 ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, L değişken çözümünde hem eğimler hem de yükseklik farkının biliniyor olması yol projeleri için maliyet hesaplaması açısından istenen durumdur. Bu şekilde yapılan çözümde trafik güvenliği dikkate alınarak yolun güzergâh uzunluğu değiştirilebilir ve çalışma bölgesi için uygun projeler türetilebilir.

• g_1, L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_2 değişken ve g_2, L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_1 değişken çözümü eğim değerleri sabit kalmayacağı için yine yol projeleri için maliyet artıran topoğrafik yapıya uymayan çözümler oluşturabilir ve uygulamada istenen bir yöntem olmaz.

Tablo 1. Düşey karp denklemi belirleme (Uygulama 1: $H_A = 100m.$, $g_1 = \%6$, $g_2 = -\%5$ ve $L = 200m.$)

	Parabolik düşey karp	Dairesel düşey karp
Denklem	$Y = -0.000275x^2 + 0.06x + 100$	$Y = -1817.727 + \sqrt{1820.997^2 - (X - 109.091)^2} + 100$
Tepe Noktası Koordinatı	$X_T = 109.09; Y_T = 103.273$	$X_T = 109.09; Y_T = 103.271$
Ara Nokta Koordinatları	$X_A = 0.000; Y_A = 100.00$	$X_A = 0.000; Y_A = 100.000$
	$X_1 = 50.000; Y_1 = 102.312$	$X_1 = 50.000; Y_1 = 102.312$
	$X_2 = 100.000; Y_2 = 103.250$	$X_2 = 100.000; Y_2 = 103.248$
	$X_3 = 150.000; Y_3 = 102.812$	$X_3 = 150.000; Y_3 = 102.811$
	$X_B = 200.000; Y_B = 101.000$	$X_B = 200.000; Y_B = 101.000$

Tablo 2. Parabolik Düşey karp denklemi belirleme (Uygulama 2: $H_A = 100m.$, $g_1 = \%7$, $g_2 = -\%4$, $L = 200m.$, $H_B = 105m.$)

Yöntem	Düşey Karp Denklemi	Değişen Parametre Değerleri
Dengeleme Hesabı (EKK yöntemi)	$Y = -0.000275x^2 + 0.08x + 100$	$g_1 = \%8, g_2 = \% - 3$
g_1, g_2 ve L sabit, $\Delta H = (H_B - H_A)$ değişken	$Y = -0.000275x^2 + 0.07x + 100$	$H_B = 103.000 m.$
g_1, g_2 ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, L değişken	$Y = -0.000165x^2 + 0.07x + 100$	$L = 333.33m.$
g_1, L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_2 değişken	$Y = -0.000225x^2 + 0.07x + 100$	$g_2 = -\%2$
g_2, L ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, g_1 değişken	$Y = -0.000325x^2 + 0.09x + 100$	$g_1 = \%9$

Tablo 3. Parabolik düşey karp çözüm yöntemlerinin analizi

Parametre	H_A	g_1	g_2	L	H_B
Dengeleme Hesabı Çözümü	(+) 100.00	(-) %8	(-) -%3	(+) 200.00	(+) 105.00
$\Delta H = (H_B - H_A)$ Değişken Çözüm	(+) 100.00	(+) %7	(+) -%4	(+) 200.00	(-) 103.00
L Değişken Çözüm	(+) 100.00	(+) %7	(+) -%4	(-) 333.33	(+) 105.00
g_1 Değişken Çözüm	(+) 100.00	(-) %9	(+) -%4	(+) 200.00	(+) 105.00
g_2 Değişken Çözüm	(+) 100.00	(+) %7	(-) -%2	(+) 200.00	(+) 105.00

6. SONUÇLAR

Düşey karp hesabı disiplinler arası ve oldukça yüksek maliyetli bir mühendislik uygulamasıdır. Bu çalışmada düşey karp olarak kullanılan parabolik ve dairesel eğriler için genel eşitlikler çıkarılmış ve ikinci derece parabolik düşey karp için farklı çözüm yolları araştırılmıştır. En uygun yöntemin belirlenmesinde dikkate alınacak ilk faktör trafik güvenliği olmalıdır. Bu çalışmada maliyet faktörü dikkate alınarak yöntemlerin uygunluğuna karar verilmiştir. Sayısal olarak yapılan Uygulama 1 çözümü ile parabolik dairesel düşey karpun ara noktalarının koordinatları hesaplanmış ve iki düşey karp hesap yöntemi arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir.

Yapılan ikinci uygulamada parabolik düşey karp için 5 farklı çözüm yöntemi denenmiştir. Bu çözüm yöntemlerinden düşey karpun eğimleri ve nokta yükseklikleri değişmediği için maliyet açısından en uygun olanı g_1, g_2 ve $\Delta H = (H_B - H_A)$ sabit, L değişken çözümü olduğuna karar verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Anderson, J. M. ve Mikhail, E. M. 1998, **Surveying: Theory and Practice**, New York: McGraw-Hill.
- Bayırtepe, H. 2011, **Düşey Kurplar, Ders notu**, http://www.mf.gazi.edu.tr/insaat/hocalar/myweb11/im351/dusey_kurplar.htm
- Bektaş, S. ve Şişman, Y. 2010, **The comparison of L1 and L2-norm minimization methods**, International Journal of the Physical Sciences, Vol. 5(11), pp. 1721-1727.
- Bektaş, S. 2009, **Pratik Jeodezi**, OMÜ yayınları, ISBN 978-975-7636-65-6, Samsun.
- Coşkun M. Z. ve Baykal, O. 2009, **Dairesel Düşey Kurpların Kesin Hesabı**, İTÜ Mühendislik Dergisi, Cilt:8, Sayı:3, 3-11.
- Dabbour E., Raahemifar, K. ve Easa S. 2002, **Optimum Vertical Curves For Highway Profiles using Nonlinear Optimization**, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montréal, Québec, Canada, 1-9.
- Easa S.M. ve Kikuchi S. 2009, **Generalized Method for Estimating Best-Fit Vertical Alignments for Profile Data**, World Academy of Science, Engineering and Technology, 57, 693-701.
- Easa S. M. ve Hassan Y. 2000, **Development of transitioned vertical curve I Properties**, Transport Res A-Pol, 34, 481-496.
- Easa S.M. ve Hassan Y. 2000, **Development of Transitioned Vertical Curve II Sight Distance**, Transport Res A-Pol, 34, 565-584.
- Easa, S. M. 1999, **Optimum Vertical Curves for Highway Profiles**, J Surv Eng-ASCE, 125, 3, 147-157.
- Ghilani, C.D. ve Wolf P.R. 2008, **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics**, 12th Edition, Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice-Hall.
- Hawkins H.G. 2007, **How Modern Headlamp Performance Impacts Sag Vertical Curve Design**, J Transp Eng-ASCE, Vol. 133, No. 4, 223-231.
- Henao, J.J.P. ve Acevedo E.Y.S. 2010, **Implementation of Transition Curves in Vertical Alignment of Roads**, IV Simposio Internacional de Diseño Geométrico de Carreteras, Valencia, Spain, 1-28.
- Kavanagh, B.F. 2005, **Surveying: Principles and Applications**, New York: Prentice Hall.
- Kissam, P. 1966, **Highway Curves**, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., London.
- Kurt, O. 2011, **Düşey Kurplarda Robust Aplikasyon Hesapları**, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 1-8.
- Moffitt, F. H. ve Bossler, J. D. 1998, **Surveying**, New York: Addison Wesley.
- Telli, A.K. ve Baybura T. 2005, **Modern Düşey Kurpların Sademe Yönünden Karşılaştırılması**, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ – İstanbul, 301-312.

- Topbaş Soycan, A. 2006, **Karayolu Proje Elemanlarının Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topbaş Soycan, A. ve Soycan, M. 2002, **Karayollarında Kullanılan Düşey Kurplar ve Optimizasyonu**, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, Sayı:4, 6-19.
- Uren, J. ve Price, W.F. 2006, **Surveying for Engineers**, 4th Edition, Palgrave Macmillan, New York, USA.
- Wolf, R.P. ve Ghilani, D.C. 2006, **Adjustment Computations Spatial Data Analysis**, Wiley, New Jersey, Canada.
- Yurdakul, Y. 2006, **Köy yollarının Geometrik Tasarımı, Yapılandırılması, İşaretlenmesi Ve Trafik Güvenliği Yönünden İrdelenmesi**, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zhang H., Huang Y. ve Deng K. 2008, **Safety Analysis on Road Sight Distance**, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, Hunan, China, 461-465.