

DÜŞEY KURPLARDA ROBUST APLİKASYON HESAPLARI

Orhan Kurt¹

¹KOÜ, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Umuttepe, Kocaeli, orhnkrt@yahoo.com

ÖZET

Uygulamada kullanılan düşey karp aplikasyon elemanı hesapları, bazı geometrik kabullere dayanan geleneksel bağıntılar ile yapılır. Bu geometrik kabullerin en önemlilerinden birisi, kurbun başlangıç ve bitiş noktalarının yaklaşık eşit kabul edilmesidir. Bu koşul her zaman doğru olmadığından, bu koşula bağlı türetilen bağıntılar da doğru olamazlar. Bu çalışmada, dairesel ve parabolik kurpların aplikasyon elemanlarının hesaplanması için iki yeni yöntem önerilmekte, klasik bağıntıların doğru sonuç üretmedeki yetersizliği irdelenmekte ve önerilen yeni bağıntıların her koşulda doğru sonuçlar verdiği teorik ve sayısal olarak gösterilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Dairesel ve parabolik düşey kurplar, düşey karp aplikasyonu, modelleme ve parametre kestirimi.

ABSTRACT

ROBUST COMPUTATIONS OF SETTING OUT FOR VERTICAL CURVES

In practice, the elements of setting out of the vertical curves (circular or parabolic) are computed the conventional formulas based on some geometric acceptances for simplicity. Most important one of those geometric acceptances is admitted that the height of PVC (Point of the Vertical Curve) and the height of PVT (Point of the Vertical TAgency) of all vertical curves are approximately equal. Since this is not correct for all vertical curves, the formulas developed on the idea are not correct. In this study, it is proposed two new robust methods for computing the the elements of setting out of circular and parabolic vertical curves by the author and it is showed that the conventional formulas are incorrect all the time and it is demonstrated that the new methods are robust for all stuation in computation of the vertical setting out elements theoretically and numerically.

Keywords: Circular and parabolic curves, setting out of the curves, modelling and parameter estimation.

1. GİRİŞ

Düşey aliyman geçişlerini yumuşatmak için kullanılan düşey kurplar dairesel ve parabolik olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Parabolik düşey kurpların geometrik ilişkisi daha iyi kurulduğundan daha doğru aplikasyon değerleri üretmekte ve bu nedenle daha fazla tercih edilmektedir. Parabolik düşey kurplar; başlangıç ve bitiş noktaları tarafına düşen teğet uzunlukların eşit olup olmamasına göre iki gruba ayrılır. Teğet uzunlukları eşit olan parabolik kurplara simetrik parabolik kurplar, eşit olmayanlara da simetrik olmayan parabolik kurplar denir. Çalışmada, simetrik parabolik kurplar ile dairesel kurplar esas alınmıştır. Çalışmanın temel amacı; düşey kurpların geometrilerini tam yansıtan aplikasyon bağıntılarını geliştirmeye yardımcı olacak farklı bakış açıları sunmaktır. Bu temel amaç doğrultusunda, konu bütünlüğünün bozulmaması için simetrik olmayan kurplar üzerinde durulmamıştır. Uygulayıcılar, çalışmada sunulan bakış açılarını kullanarak, simetrik olmayan kurplarla ilgili yeni bağıntılar türetilirler. Düşey kurplar ile ilgili ayrıntılı bilgilere (Bıçakçı, 1987; Irvin, 1988; Tüdeş, 1989; Baban, 2000; Yayla, 2002; Kurt, 2006) kaynaklarından ve (URL:1,2,3,4) internetten adreslerinden ulaşılabilir.

Düşey kurpların aplikasyon noktalarının hesaplanmasında genellikle başlangıç ve bitiş nokta kotları yaklaşık eşit kabul edilir, bağıntıların çıkarımı sırasında da bazı kabuller yapılır. Çalışmada; uygulamada kullanılan bağıntıların çıkarımına ayrıntılı olarak girilmeyecek, önerilen yeni bağıntılar çıkarılırken gerekli görülen eksikliklerden bahsedilecektir. Klasik düşey karp aplikasyonları ile ilgili ayrıntılı bilgi edinebilmek için kaynaklar bölümünde verilen yayınlardan yararlanılabilir (Bıçakçı, 1987; Irvin, 1988; Tüdeş, 1989; Baban, 2000; Yayla, 2002; Kurt, 2006).

2. DÜŞEY KURPLAR

Matematik temel olarak daireyi ve parabolü esas alarak oluşturulan kurplar; sırasıyla dairesel ve parabolik kurplar olarak adlandırılır. Her hangi bir tür düşey karp tasarlanırken, başlangıç noktasındaki eğim (g_O), bitiş noktasındaki eğim (g_F), düşey kurbun boyu (L) ve başlangıç noktasının kotunun (H_O) verilmesi yeterlidir (Şekil 1 ve 3). Kurbun diğer elemanları ve düşey aplikasyon elemanlarının hesaplanmasında kullanılan fonksiyonlar bu elemanlardan hesaplanmaktadır. Alt başlıklarda bu işlemlerin nasıl gerçekleştirildiği açıkça gösterilmektedir.

2.1 Sapma Açısı ve Eğim Açısının Hesaplanması

Her iki düşey karp türünde (daireysel yada parabolik) aliyman geçişleri sırasında oluşan sapma açısı (Δ) ve düşey karp başlangıç (O) ile düşey karp bitiş noktası (F) arasındaki eğim açısının (Φ) hesaplanması, benzer şekilde gerçekleştirilir.

Düşey Kurplarda Robust Aplikasyon Hesapları

Başlangıç ve bitiş noktalarındaki eğim açıları $\alpha = \arctan(g_O)$ ve $\beta = \arctan(g_F)$ olan bir düşey kurbun sapma açısı aşağıdaki genel bağıntı ile kolayca hesaplanabilir.

$$\Delta = \begin{cases} |\alpha| + |\beta| & , \quad \text{sign}(g_O) \neq \text{sign}(g_F) \\ |\alpha - \beta| & , \quad \text{sign}(g_O) = \text{sign}(g_F) \end{cases} \quad (1)$$

Yukarıda verilen (1) bağıntısı sözel olarak; Δ sapma açısı ; 1) İşaretçe farklı eğimlerin eğim açılarının mutlak değerleri toplamına, 2) işaretçe aynı olan eğimlerin eğim açılarının farklarının mutlak değerine, eşittir. ($\text{sign}(x < 0) = -1$, $\text{sign}(x > 0) = 1$, $\text{sign}(x = 0) = 0$) şeklinde de ifade edilebilir. Başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki eğim açısı sapma açısına bağlı olarak (2) bağıntısı ile kolayca hesaplanabilir.

$$\Phi = \alpha + \text{sign}(g_F - g_O) \frac{\Delta}{2} \quad (2)$$

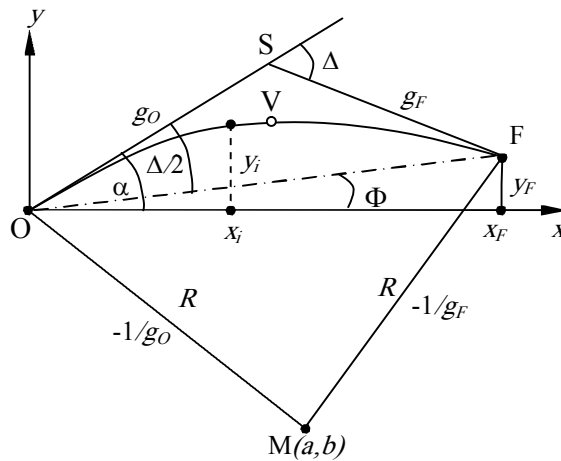
$g_F - g_O = 0$ durumunda düşey karp oluşmaz, bu durumda başlangıç ve bitiş noktası aynı doğru üzerinde yer alır. Bitiş noktasının (F) başlangıç noktasına (O) ötelenmiş yüksekliği $y_F = L \tan \Phi$ bağıntısı ile hesaplanırken, başlangıca olan yatay uzaklığı (koordinatı) $x_F = L$ düşey kurbun yatay uzunluğuna eşit olur (Şekil 1, Şekil 3).

2.2 Dairesel Düşey Kurplar

Dairesel düşey kurpların tasarlandığı projelerde düşey karp boyu yerine dairenin yarıçap (R) değeri verilmektedir (Şekil 1). Çalışmada bütünlüğün sağlanabilmesi için, kurbun yarıçapı kurbun boyuna bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R = \frac{L}{2 \cos \Phi \sin(\Delta/2)} \quad (3)$$

Yarıçapa ve verilene bağlı olarak hesaplanan diğer büyüklükler (kiriş uzunluğu, developman boyu, bisektris uzunluğu, ...vb.), giriş bölümünde verilen ders kitaplarından yada ulaşım (yol bilgisi) ile ilgili herhangi bir kayanaktan yararlanılarak kolayca hesaplanabilir. Benzer durum uygulamada kullanılan daireysel karp aplikasyon noktası hesaplarında kullanılan bağıntıları için de izlenilebilir. Bu bağıntılar; çıkarımlarına girilmeden doğrudan verilecek ve sadece katkı yapılan bölümler ve çıkarımda yapılan kabullerden bahsedilecektir.



Şekil 1: Dairesel düşey kurbun elemanları

Uygulamada yaygın olarak kullanılan daireysel karp aplikasyon bağıntısı; kurbun orta noktasına olan V noktasına göre aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$y_i = y_V + \sin g(g_F - g_O) \frac{(x_i - x_V)^2}{2R} \quad (4a)$$

$$H_i = H_O + y_i \quad (4b)$$

$$x_V = t \cos \Phi \approx L/2, \quad y_V = g_O x_V + \text{sign}(g_F - g_O)(R/\cos(\Delta/2) - R), \quad t = R \tan(\Delta/2)$$

(4) bağıntısının hesaplanma aşamasında ve bu bağıntının çıkarılmasında bazı kabuller yapıldığı açıkça görülmektedir (Şekil 1).

Bu bağıntılardan elde edilen sonuçlar (5) bağıntıları ile kısmen düzeltilebilir. (5) bağıntısı; düşey aplikasyon elemanlarına, eğim açısı Φ kadar benzerlik dönüşümü uygulamaya karşılık gelmektedir.

$$y_i = y_V + \cos \Phi \operatorname{sign}(g_F - g_O) \frac{(x_i - x_V)^2}{2R} + \sin \Phi (x_i - x_V) \quad (5)$$

Yukarıda kısaca özetlenen klasik aplikasyon bağıntıları hatalı sonuçlar üretir. Φ açısı kadar dönüklüğe karşılık gelen bir bağıntı ile desteklenen (4) bağıntısı, (5) bağıntısına dönüşür ve (5) bağıntısı (4) den daha iyi sonuç üretir.

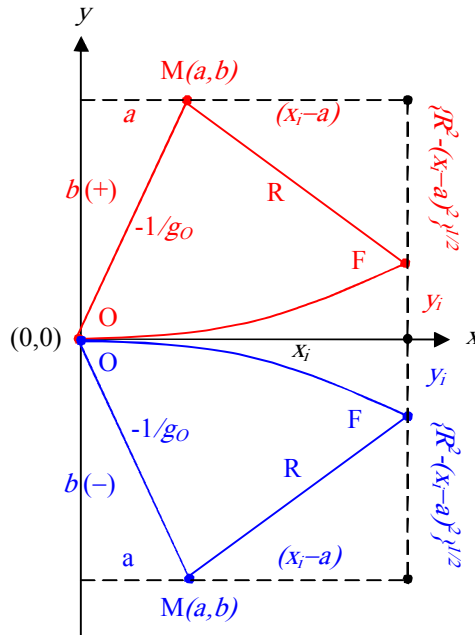
Robust Dairesel Kurp Aplikasyon Bağıntıları: Çember merkezinin koordinatları $M(a,b)$ bulunur. O ve F noktasından M noktasına olan doğruların eğimi sırası ile $-1/g_O$ ve $-1/g_F$ dir. Başlangıç koordinatları ve eğimleri bilinen \overline{OM} ve \overline{FM} doğrularının kesişimi düşey kurbun merkez koordinatlarını verir (Şekil 1).

$$\overline{OM}: -\frac{1}{g_O} = \frac{b - y_O}{a - x_O} \quad \text{ve} \quad \overline{FM}: -\frac{1}{g_F} = \frac{y_F - b}{x_F - a} \quad (6)$$

Bu bağıntılar düzenlenir ve çözümlerse dairenin merkez koordinatları elde edilir.

$$b = \frac{x_F + g_F y_F}{g_F - g_O} = \frac{L + g_F L \tan \Phi}{g_F - g_O} \quad \text{ve} \quad a = -g_O b \quad (7)$$

Bu bağıntıların sadece $g_F - g_O = 0$ durumunda çözüm üretmeyeceği ve bu durumun da düşey kurp oluşmayacağı açıkça görülmektedir.



Şekil 2: Yeni yaklaşımın geometrik yorumu

Merkez koordinatları bilinen çember denkleminde yararlanılarak aplikasyon elemanları hesaplanır. Yeni dairesel kurp bağıntıları, düşey kurbun tekne ve tepe durumuna göre farklılık gösterir. Tepe durumunda b negatif, tekne durumunda pozitif değer alır (Şekil 2).

$$y_i = b - \operatorname{sign}(b) \sqrt{R^2 - (x_i - a)^2} \quad \text{ve} \quad H_i = H_O + y_i \quad (8)$$

(8) bağıntısı her tür eğim ve uzunluktaki dairesel kurplarda daima doğru sonuçlar vermektedir.

2.3 Parabolik Düşey Kurplar

Parabol denklemini esas alan düşey kurplardır ve daha yaygın olarak kullanılırlar. Parabolik düşey kurbun uygulamada kullanılan bağıntıları ile önerilen bağıntılar arasındaki farklılık, yeni yaklaşımın aplikasyon elemanı hesaplayan bağıntılarının çıkarımı aşamasında tartışılacaktır.

Verilenlerden yararlanarak (g_O, g_F, L, H_O) düşey kurbun denklemi aşağıdaki şekilde çıkarılır (Şekil 3). Düşey kurbun giriş ve teğet uzunlukları (simetrik düşey kurplarda) hesaplanmak istenirse (9) bağıntılarından yararlanılabilir.

$$k = \frac{L}{\cos \Phi} \quad \text{ve} \quad t = \frac{k}{\sqrt{2+2\cos \Delta}} = \frac{L}{\cos \Phi \sqrt{2+2\cos \Delta}} \quad (9)$$

Parabol denkleminin oluşturulması aşamalarında, denklemin kendisi ve türevlerinden yararlanılarak a, b ve c katsayılarının, verilen elemanlar ile ilişkisi kurulmaya çalışılır. Parabol denklemi ve türevi (10) bağıntıları ile verilir.

$$y = a x^2 + b x + c \quad \text{ve} \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 2a x + b \quad (10)$$

Başlangıç noktasında (O) türev g_O ya eşittir. (11a) eşitliği düzenlenerek (11b) de b katsayısı hesaplanır.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 2a x_O + b = g_O \quad (11a)$$

$$b = g_O \quad (11b)$$

Bitiş noktasında (F) türev g_F ya eşittir. (12a) eşitliği düzenlenerek (12b) de a katsayısı hesaplanır.

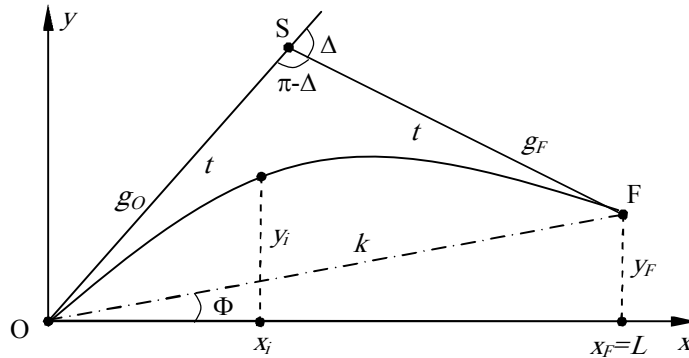
$$\frac{\partial y}{\partial x} = 2a x_F + b = g_F \quad (12a)$$

$$a = \frac{g_F - g_O}{2x_F} = \frac{g_F - g_O}{2L} \quad (12b)$$

Başlangıç noktasındaki $y_O = x_O = 0$ değerleri parabol denkleminde yerine konularak $c=0$ olarak bulunur. Yukarıdaki açıklamalar ışığında, anonim hale gelmiş bir çok yerli ve yabancı kaynakta parabolik düşey kurbun denklemi,

$$y_i = a x_i^2 + b x_i = \frac{g_F - g_O}{2L} x_i^2 + g_O x_i \quad (13)$$

olarak elde edilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Parabolik düşey kurbun elemanları

Yukarıda çıkarılan parabolik düşey kurbun denklemi ile hesaplanan aplikasyon noktalarına ait yükseklik bilgilerinin doğru hesaplanabileceği tek durum $g_O = -g_F$ durumudur. Bu koşul sağlanmadığı bütün koşullarda hesaplanan aplikasyon nokta bilgilerinde yapılan hatalar, başlangıç/bitiş eğimlerin aldığı değerlere ve kurbun uzunluğuna bağlı olarak anlamlı büyüklüklere ulaşmaktadır.

Bu bağıntılara göre yapılan hata miktarları kurb başlangıcına göre artarak gitmekte ve kurbun bitiş noktasında maksimum değerine ulaşmaktadır. Maksimum hata miktarı; bitiş noktasının (F) koordinatlarının parabol denkleminde yerine konulması ile elde edilir.

$$y_F = a x_F^2 + b x_F + c \quad (14a)$$

$$c = y_F - \frac{g_O + g_F}{2} x_F \quad (14b)$$

Sabit olması gereken c katsayısının parabol başlangıcına olan uzaklıklara göre büyüdüğü ve sadece $\Phi=0$ (yada $g_O = -g_F$) koşulu altında $c=0$ durumunu sağladığı açıkça görülmektedir.

Robust Aplikasyon Elemanlarının Hesaplanması; Parabolik düşey kurbun ara elemanlarının her birinin robust olarak hesaplanması için aşağıdaki şekilde bir çözüm izlenmesi gerekmektedir. Yukarıda verilen parabol denklemi için aşağıda matris vektör yapısında verilen dört koşulun aynı anda sağlanması gerekmektedir.

$$\begin{bmatrix} x_F^2 & x_F & 1 \\ 2x_F & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_F \\ g_F \\ g_O \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Yukarıda kurulan doğrusal denklem sisteminde yukarıdan aşağıya doğru;

1. bitiş noktasının koordinatları parabol denklemini sağlamalı,
2. parabolün bitiş noktasındaki eğimi g_F ye eşit olmalı,
3. parabolün başlangıç noktasındaki eğimi g_O eşit olmalı,
4. başlangıç noktasının koordinatları parabol denklemini sağlamalı,

şeklinde sıralanmıştır. Bilinmeyen sayısından fazla olan ve aynı bir parabole ait olan bu denklem sistemi tutarlı bir denklem sistemidir. (15) denklemleri; parabol denklemindeki katsayıların, yuvarlatma hatası sınırları içerisinde doğru (robust) bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Denklem sırasının yukarıdaki şekilde seçilmesinin nedeni, herhangi bir matris tersi algoritması ile çözüm yapıldığında, yuvarlatma hatalarının en küçük olmasını sağlamaktır. Bu durum normal denklemler aşamasında açık bir şekilde görülmektedir.

$$\begin{bmatrix} x_F^4 + 4x_F^2 & x_F^3 + 2x_F & x_F^2 \\ & x_F^2 + 2 & x_F \\ sim & & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_F^2 y_F + 2x_F g_F \\ x_F y_F + g_F + g_O \\ y_F \end{bmatrix} \quad (16)$$

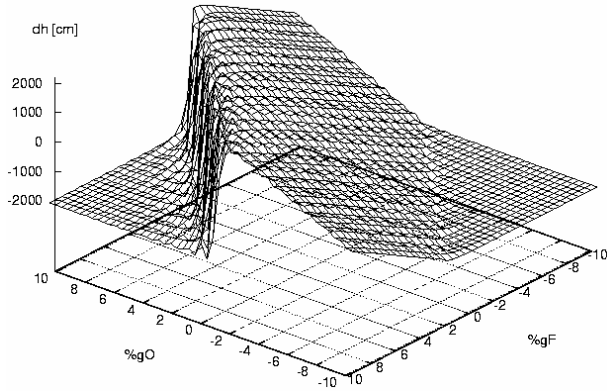
Normal denklemlerden a , b ve c parametrelerinin korelasyonlu olduğu ve klasik çıkarımlarda olduğu gibi birbirinden bağımsız hesaplanamayacağı açıktır. Parametreler sadece $g_O = -g_F$ koşulu altında birbirlerinden bağımsız olarak hesaplanabilir. (16) daki çözüm sonucunda $\hat{a} \neq a$, $\hat{b} \neq b$ ve $\hat{c} = 0 \neq c$ olan robust katsayılar hesaplanır. Bu robust katsayılar ile uygulamada yagın olarak kullanılan katsayılar sadece $g_O = -g_F$ koşullu sağlandığında eşit olurlar.

$$\hat{y}_i = \hat{a} x_i^2 + \hat{b} x_i \text{ ve } H_i = H_O + \hat{y}_i \quad (17)$$

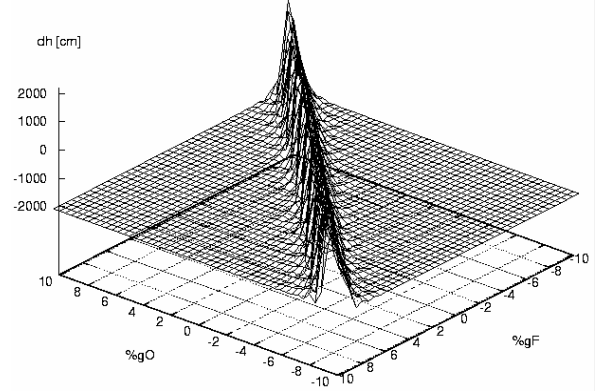
(17) bağıntılarıyla her durum için doğru aplikasyon elemanları hesaplanırken, (13) bağıntısı ile hesaplanan aplikasyon elemanları, Φ ve L aldığı bütün değerler için doğru olarak hesaplanamaz.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Yukarıda, klasik düşey kurb aplikasyon bağıntıları ile hesaplanan aplikasyon elemanlarının hatalı oldukları teorik olarak gösterilmiştir. Yukarıdaki savların doğruluğunu belirginleştirmek için, teorik çıkarımlar sayısal uygulamalarda kullanılmış ve sonuçlara gidilmiştir. Sayısal uygulamalar bölümünde C++ ortamında geliştirilen yazılımlar kullanılmıştır.

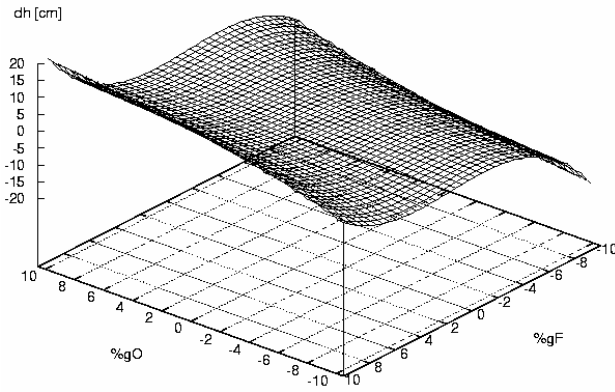


(a) $L= 1.0$ km

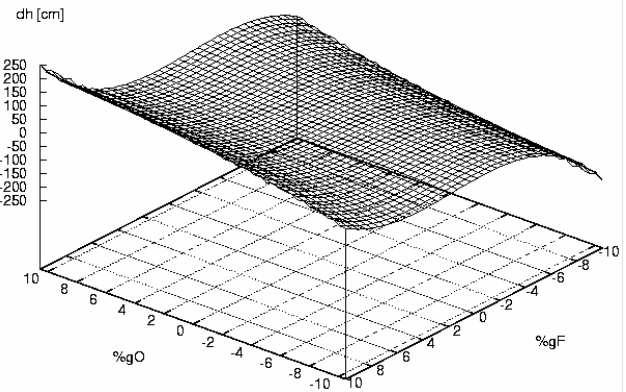


(b) $L= 10.0$ km

Şekil 4: Klasik dairesel düsey karp aplikasyon bağıntısı (4)'ün eğim kombinasyonlarına göre hata grafiği.

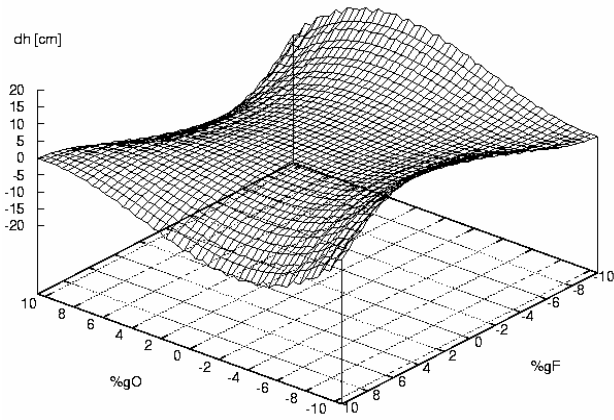


(a) $L= 1.0$ km

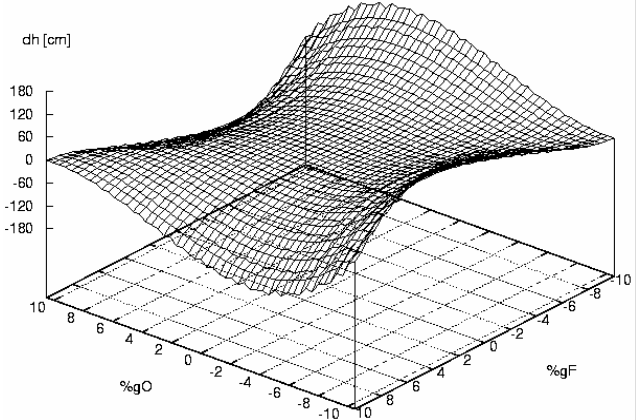


(b) $L= 10.0$ km

Şekil 5: Düzeltmiş klasik dairesel düsey karp aplikasyon bağıntısı (5)'in eğim kombinasyonlarına göre hata grafiği.

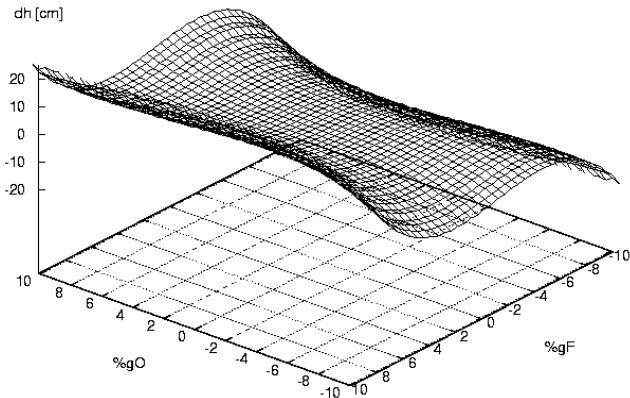


(a) $L= 1.0$ km

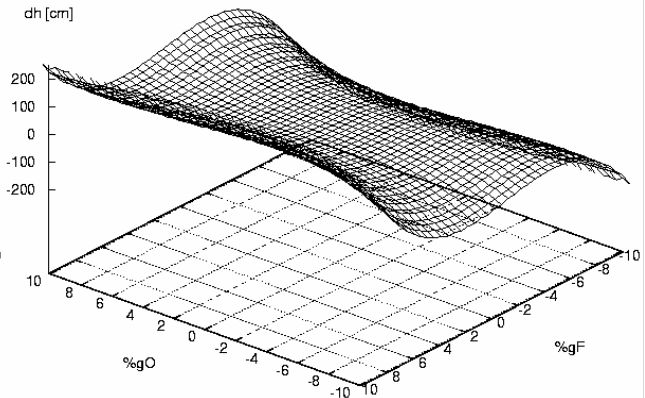


(b) $L= 10.0$ km

Şekil 6: Klasik parabolik düsey karp aplikasyon bağıntısı (13)'ün eğim kombinasyonlarına göre hata grafiği.



(a) $L= 1.0$ km



(b) $L= 10.0$ km

Şekil 7: Klasik parabolik (13) ile düzeltmiş klasik dairesel (5) düsey karp aplikasyon bağıntılarının karşılaştırılması.

Sayısal uygulama bölümünde dört farklı kurp boyu ($L=1.0, 2.5, 5.0, 10.0km$) belirlenmiş, TEM de %7-8 ve devlet karayollarında %10-12 olan maksimum düşey eğim değerlerinin ortalaması %10 olarak alınmış ve başlangıç noktasının eğimi için $-10.5\% \leq g_O \leq +10.5\%$, bitiş noktasının eğimi için $-10.0\% \leq g_F \leq +10.0\%$ aralıkları seçilmiştir. Her bir eğim değeri %1 oranında değiştirilmiş ve bu aralıktaki bütün eğim kombinasyonları her bir L değerine göre; klasik dairesel düşey kurp aplikasyon bağıntıları (4), düzeltilmiş klasik dairesel düşey kurp aplikasyon bağıntıları (5), klasik parabolik düşey kurp aplikasyon bağıntıları (13) ile hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, olması gereken bitiş noktası değeri ile karşılaştırılmış, farklar her bir L değerine göre eğim kombinasyonlarının yüzey fonksiyonu şeklinde gösterilmiştir (sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6).

$$\hat{y}_F = L \tan \Phi$$

$$dh_D = \hat{y}_F - D(g_O, g_F, L)$$

$$dh_P = \hat{y}_F - P(g_O, g_F, L)$$

$$dh_{PD} = P(g_O, g_F, L) - D(g_O, g_F, L)$$

Gerçek aplikasyon değeri (=yeni yaklaşımın düşey kurp aplikasyon bağıntıları)

Gerçek aplikasyon değeri – Klasik dairesel düşey kurp bağıntısı (4) yada (5)

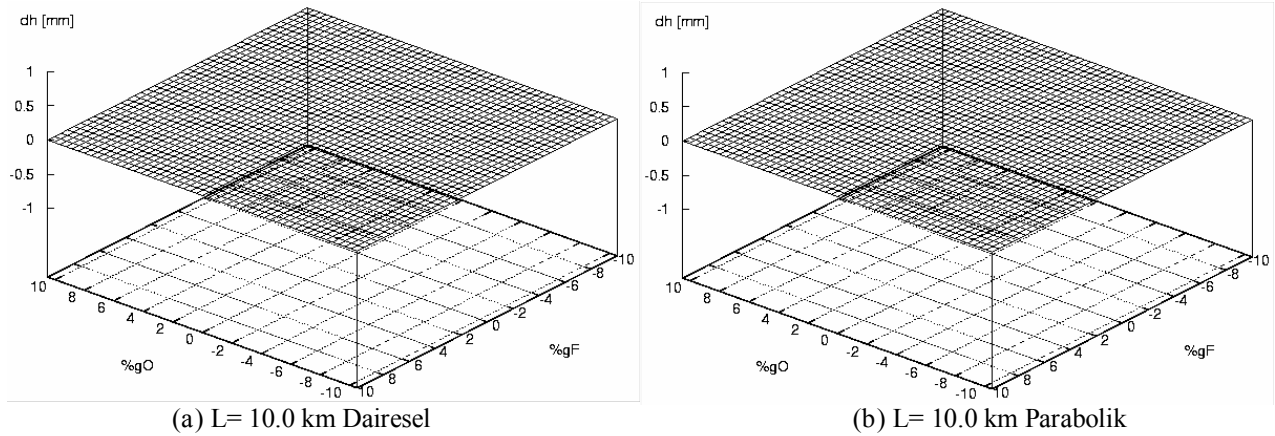
Gerçek aplikasyon değeri – Klasik parabolik düşey kurp bağıntısı (13)

Klasik parabolik ap.değ. (13) – Klasik düzeltilmiş dairesel ap.değ. (5)

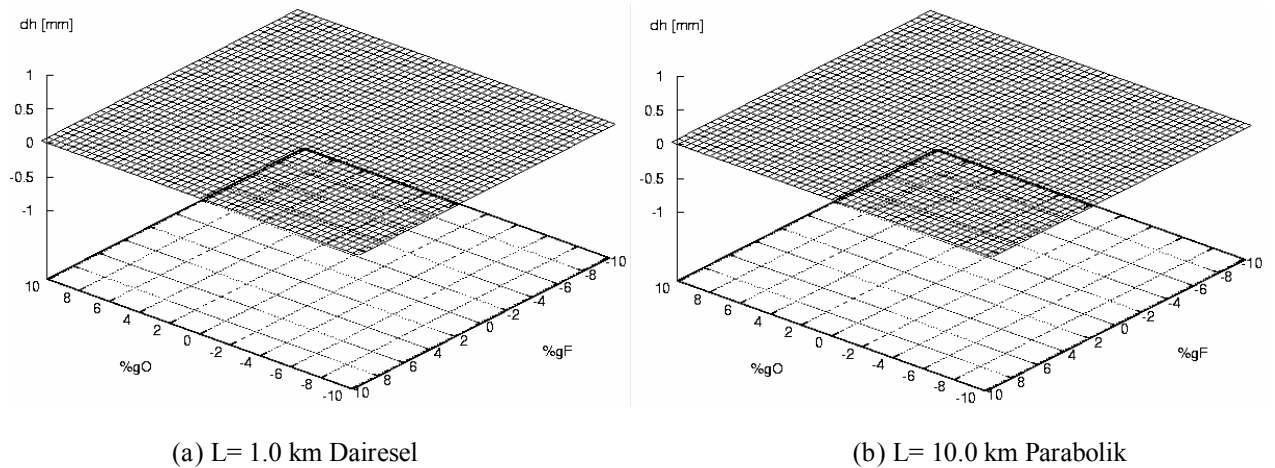
Dört L değeri için çizilen yüzey fonksiyonlarının çizdirilmesi sonucunda; L 'nin değişen değerlerine bağlı olarak sadece hata sınırlarının büyüdüğü ve yüzey şeklinin aynı kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, şekillerde en küçük ($1.0km$) ve en büyük ($10.0km$) değerleri gösterilmiştir (Şekil 4, 5, 6 ve 7). Diğer L değerleri için, çizilen hata yüzeyi sınırları doğrusal olarak değişim göstermektedir.

Uygulamada kullanılan bağıntılar (4) kullanıldığında Şekil 4 deki sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde; düzeltilmiş klasik dairesel kurp bağıntısı (5) ile elde edilen aplikasyon değerlerinin, klasik parabolik kurp aplikasyon bağıntıları ile elde edilen aplikasyon değerlerine yaklaştığı görülür.

Şekil 5 ile Şekil 6 karşılaştırıldığında, klasik parabolik aplikasyon bağıntılarının klasik dairesel aplikasyon bağıntılarından biraz daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 7'de, klasik parabolik aplikasyon bağıntısı (13) ile düzeltilmiş dairesel aplikasyon bağıntısı (5) arasındaki farkların grafiği çizilmiştir.



Şekil 8: Yeni yaklaşım ile dairesel bağıntısı (8)'in ve parabolik düşey kurp aplikasyon bağıntısı (17)'nin eğim kombinasyonlarına göre hata grafiği.



Şekil 9: Yeni parabolik (17) ve yeni dairesel düşey kurp aplikasyon bağıntılarının eğim kombinasyonlarına göre hata grafiği.

Yeni dairesel (8) ve yeni parabolik (17) düşey karp aplikasyon bağıntıları da aynı koşullarda test edilmiştir. Şekil 8 yeni aplikasyon fonksiyonları ile hesaplanan değerlerin olması gereken değerler farklarının eğim kombinasyonlarına göre grafiklerini göstermektedir. Şekil 9 ise yeni parabolik ile yeni dairesel düşey bağıntıları ile üretilen sonuçlarının karşılaştırılmasını temsil etmektedir. Yeni yaklaşımların hata yüzeylerini gösteren şekillerin (Şekil 8 ve 9) hatayı temsil eden düşey eksenlerinin *milimetre birimli* ve klasik yaklaşımlar ile elde edilen hata yüzeylerini gösteren şekillerin (Şekil 4, 5, 6 ve 7) düşey eksenlerinin *santimetre birimli* olduğunu gözden kaçırılmamalıdır.

Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde, yeni aplikasyon bağıntılarının her koşul altında doğru (sağlam) aplikasyon elemanı değerleri ürettiği görülmektedir. Önerilen bağıntılar, her iki düşey karp türünün geometrik yapısını tam yansıttığından, daha uzun mesafelerde ve daha büyük (yol şartnamelerinde verilen değerlerin çok üzerinde) eğim değişimlerinde de doğru sonuçlar üreteceği açıktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşey kurpların (dairesel, parabolik) aplikasyon elemanlarının hesaplanması için önerilen yeni aplikasyon bağıntılarının, düşey kurpların geometrik yapısını oldukça iyi yansıttığı açık bir şekil gösterilmiş ve çıkarımlar sayısal uygulamalar ile desteklenmiştir. Bu çalışmada;

- düşey kurbun sapma açısı ile düşey kurbun başlangıç ve bitiş noktaları arasında oluşan eğim açısının hesaplanması standart hale getirilmiştir,
- klasik ve yeni aplikasyon bağıntıları standartlaştırılmıştır,
- klasik dairesel düşey karp aplikasyon hesapları iyileştirilmiş ve klasik parabolik karp aplikasyon doğruluğuna yaklaştırılmıştır,
- dairesel ve parabolik kurpların uzunluğundan ve başlangıç/bitiş noktaları arasında oluşan eğimlerin değişiminden etkilenmeyen yeni dairesel ve parabolik düşey karp aplikasyon bağıntıları geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Baban E., 2000, *Yol Projesi Tatbikat Dersleri*, Birsen Yayınevi, ISBN:975-511-235-9, Çağaloğlu Yokuşu Evren Çarşısı No:29/13, 34440/Çağaloğlu/İSTANBUL, e-posta: birsenyayin@isbank.net.tr.

Bıçakçı O., 1987, *Ulaşım I*, K.T.Ü, M.M.F., Genel Yayın No: 109, Fakülte Yayın No:36, Trabzon.

Irvine W., 1988, *Surveying For Construction*, Third Edition, ISBN:0-07-707041-0, McGraw-Hill Book Company, Berkshire, England.

Kurt O., 2006. *Ulaşım*, Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, İhsaniye Meslek Yüksek Okulu, Harita-Kadastro Programı, Kocaeli.

Tüdeş T., 1989. *Aplikasyon*, 3. Baskı, KTÜ, Müh.-Mim, Fakültesi, Genel Yayın Nn.147, Fakülte Yayın No.42 Trabzon.

Yayla N., 2002, *Karayolu Mühendisliği*, Birsen Yayınevi, ISBN:975-511-287-1, Çağaloğlu Yokuşu Evren Çarşısı No:29/13, 34440/Çağaloğlu/İSTANBUL, e-posta: birsenyayin@isbank.net.tr.

URL 1, The Free Encyclopedia, *Parabola*, http://en.wikipedia.org/wiki/Parabola#Equation_in_Cartesian_coordinates, 23 Aralık 2010.

URL 2, The Free Encyclopedia, *Fundamentals of Transportation/Vertical Curves*, http://en.wikibooks.org/wiki/Fundamentals_of_Transportation/Vertical_Curves, 23 Aralık 2010.

URL 3, The Free Encyclopedia, *Geometric Design – Vertical Curve Design*, <http://www.wikiengineer.com/Transportation/VerticalCurves>, 23 Aralık 2010.

URL 4, Highway Engineering, *Field Formulas*, 1998, Engineering Publications, Transportation Building, Olympia, <http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M22-24/FieldFormulas.pdf>, 23 Aralık 2010.

URL 5, GNU Plot, *Gnuplot Homepage*, <http://www.gnuplot.info/>, 23 Aralık 2010.

URL 6, The Dev C++ Resource Site, *Dev-C++ Compiler*, <http://www.bloodshed.net/dev/devcpp.html/>, 23 Aralık 2010.