

# SÜRAT YOLLARINDA KULLANILAN İKİNCİ NESİL GEÇİŞ EĞRİLERİNİN KULLANILABİLİRLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

E.CAN<sup>1</sup>, Ş.KUŞÇU<sup>2</sup>, H.ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Serbest Mühendis [eray.c@mynet.com.tr](mailto:eray.c@mynet.com.tr)

<sup>2</sup>Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, [senolkuscu@yahoo.com.tr](mailto:senolkuscu@yahoo.com.tr), [sahin@karaelmas.edu.tr](mailto:sahin@karaelmas.edu.tr)

## Özet

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte, karayolları ve demiryollarında kullanılan yüksek proje hızlarının uygulanabilir olması, bu yollarda yol-araç dinamiği özelliğine uygun geçki elemanlarının kullanılmasını gerekli kılmıştır. Yüksek hızların söz konusu olduğu yollarda, iki doğru parçasının (alinymanın) dairesel bir kurpla birleştirilmesi yeterli olmamakta bunun yerine araçları etkileyen merkez kaç kuvvetinin ani etkisinin yavaş yavaş artmasını ya da azalmasını sağlayan geçiş eğrileri kullanılmaktadır. Halen uygulamada klasik geçiş eğrileri kullanılmaktadır. Fakat bu eğrilerin yüksek proje hızlarında eğrilik yarıçapı lineer olarak arttığından merkezkaç kuvveti ilişkili emniyet, kapasite, konfor sağlama konularında yetersiz kalmakta ve bunun yerine ikinci nesil geçiş eğrileri olarak adlandırılan yeni eğriler önerilmektedir (Baykal, 1996; Tari, 1997). Söz konusu yeni nesil geçiş eğrileri, yol araç dinamiğini belirlemede önemli bir faktör olan yanal sademe bağıntıları göz önünde bulundurularak belirlenmektedir.

Bu çalışmada daha önce üstünde çalışılmış olan ayrıca TARI 1, ve TARI 2 şeklinde adlandırılan yeni nesil geçiş eğrilerinin matematiksel eşitlikleri incelenmiş ve daha önce üretilmiş olan yanal sademe bağıntısı değerlendirilmiştir. Bu bağıntılardan yararlanılarak eğrilerin analitik ortamda nasıl bir durum izlediğini anlamak amacıyla program geliştirilmiş ve bu program sonucunda çizilen grafiklerin yarıçap, yol uzunluğu, dever ve hız gibi değişken değerlerle yanal sademeye bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmeye çalışılmıştır. Grafikler incelendiğinde klasik geçiş eğrilerine göre ikinci nesil geçiş eğrilerinin üstünlüğü ortaya çıkmış ve daha önceden bilinen kriterlere göre de bu eğrilerin uygun özellikte olduğu görselleştirilmiştir. Ayrıca Tari 1 ve Tari 2 eğrilerinin çizim programına ait kodlar, programın anlaşılması bakımından Ek 1 de örnek olarak verilmiştir. Klotoid ve Bloss eğrilerinin çizim programları da bunlara benzer olup sadece matematiksel eşitlikleri değişiklik arz etmiştir.

**Anahtar kelimeler :** Geçiş eğrisi, İkinci nesil eğriler, Yanal sademe, Yatay geometri

## EVALUTION OF NEW GENERATION TRANSITION CURVES FOR HIGHWAYS

### Abstract

In the recent years with developments in sciences on account of high speeds on motorways and railways have got better the horizontal geometry of roads with respect to road dynamic. This condition are provided only suitable transition curves. Generally transition curves are used two straight lines with a circle but this conceive not adequate for high speed project and road dynamic. So it was necessary to investigations new solutions. New transition curves are defined with lateral change of acceleration. This equation can be used all stipulation related to horizontal geometry and vehicle motion. New(Tari1, Tari2) and classical transition curve (Clothoid and blossom) are compared with lateral change of acceleration.

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu  
2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu  
23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul

*In this article known mathematics functions (curvature and superelevation functions) are examined for classical and new transition curve and then developed new programme. Besides all transition curves which mentioned in this article are examined with diagrams of lateral change of acceleration. New and classical transition curves according to these diagrams are compared and understood that suitable by known criterias. To give an example of Tari 1's and Tari 2's programme codes and illustrated with diagrams.*

**Keywords:** Lateral Change of Acceleration, Transition Curve, Road Dynamic,

## 1. Giriş

Günümüzde yüksek hızların söz konusu olduğu projelerde geçki yatay geometrisinin tasarımı önem arz etmektedir. (Trietsch, 1987; Chew, ve dig.1989) Geçki yatay geometrisinin tasarımında, geçkide bulunan iki doğru parçası R yarıçaplı bir dairesel kurp ile birleştirilmesi durumunda alinymanın dairesel kurp ile birleştiği noktalarda ortaya çıkan ani merkez kaç kuvvet etkisi, sürücüler için güvenlik sorununu ortaya çıkartmaktadır. Ayrıca yüksek hızlı projelerde bu olumsuz etki çok daha tehlikeli olmaktadır. Bunun için projelerdeki dever uygulamaları da soruna tam bir çözüm olmamaktadır. Bu durumdan dolayı yüksek hızlı kara ve demiryollarında yatay geometrinin tasarımında kurp ile alinyman arasına geçiş eğrileri uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, Tari 1 ve Tari 2 olarak adlandırılan ve 2. nesil geçiş eğrileri olarak nitelendirilen eğrilerin daha önce çıkartılmış matematiksel eşitlikleri göz önünde bulundurulmuş ve program yaparken bu denklemlerden yararlanılmıştır. Böylelikle klasik eğriler ile ikinci nesil eğrilerinin analizi, çıkarılan grafik üzerinden yapılmıştır. Her bir grafik koordinat düzleminde ayrı ayrı programa çizdirilmiş ve eğrilerin daha önceden belirlenen kriterlere uygun davranışlar gösterdiği anlaşılmıştır. Program; hız, yarıçap, eğri uzunluğu ve dever gibi değişken değerlerin girilmesine olanak sağlamakla beraber aynı zamanda, eğrilerin çizildiği koordinat sisteminin başlangıç ve bitiş değerlerinin program kullanıcısı tarafından belirlenmesine imkan vermektedir.

Ayrıca geçiş eğrilerinin klasik eğrilere nazaran daha üstün oldukları çizilen grafiklerde görselleştirilmiştir. Tari 1 ve Tari 2 eğrilerinin grafik programlarının kodları örnek teşkil etmesi bakımından bilinen matematiksel eşitliklerden yararlanılarak Ek 1 de verilmiş olup, diğer klasik geçiş eğrilerinin kodları da bunlara benzerlik göstermekte ve sadece matematiksel eşitlikleri farklılık arz etmektedir. Grafiklerden önce programın temelini oluşturan matematiksel eşitliklerin kısaca tanımı yapılmıştır.

## 2. Yanal Sademe

Eğrisel bir yatay geometride v hızıyla giden m kütleli bir araç söz konusu olduğunda bu araca serbest ve dengelenemeyen kuvvetler etki eder. Bu kuvvetler hareketli vasıtada bir bileşke ivmeye sebep olur. Yanal sademe, bu bileşke ivmenin eğrisel yolun normali doğrultusunda zamana göre değişimi olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

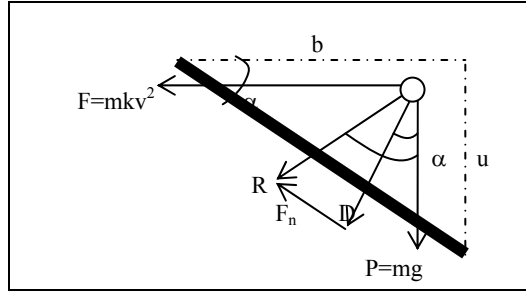
$$z = \frac{da}{dt} \vec{n} \quad (2.1)$$

buradaki formülde;

$z$  : yanal sademe ( $m/sn^3$ ),  $a$  : bileşke ivme,  $t$ : zaman,  $\vec{n}$  : birim vektör şeklinde tanımlanmıştır.

Eğrisel yatay bir geometride giden bir araca ağırlık kuvveti, merkezkaç kuvveti ve motor kuvveti etki eder. Burada merkezkaç ve ağırlık kuvvetlerinin bileşkesi (R) yol platformuna dik (D) ve yol platformuna

paralel  $F_n$  bileşenlerine ayrılır. Etki tepki kuralı uyarınca D kuvveti dengelenir ve serbest kuvvetler olarak  $F_n$  ve  $F_t$  kalır.



Şekil 2.1 Yolda Hareket Halinde Bulunan Araca Etki Eden Kuvvetler

$$F_n = m(kv^2 - g \tan \alpha) \cos \alpha \quad \text{olur;} \quad (2.2)$$

buradaki;

$$\tan \alpha = \frac{u}{b} \quad \cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \quad \text{olup; } \vec{a}_n \text{ yanal ivmesi için}$$

$$\vec{a}_n = \left( kv^2 - \frac{g}{b} u \right) \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \quad (2.3)$$

bağıntısı elde edilir. Yukarıdaki eşitliklerde geçen;

$\vec{a}_n$  : yanal ivme,  $\vec{a}_t$  : teğetsel ivme (motor kuvvetinden meydana gelen), k: yörünge eğrisinin eğriliği ( $1/r$ ), u : dever, b: yol genişliği, v: araç hızı, g: gravite ( $9.81 \text{ m/sn}^2$ ) olup, motor kuvvetinin oluşturduğu teğetsel ivme de;

$$\vec{a}_t = \frac{dv}{dT} \vec{t} \quad \text{şeklinde ifade edilir (Thomas ve Finnney, 1992, s.797).} \quad (2.4)$$

bu iki ivmenin oluşturduğu bileşke ivme ise;

$$\vec{a} = \frac{dv}{dT} \vec{t} + \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left( kv^2 - g \frac{u}{b} \right) \vec{n} \quad \text{şeklinde yazılabilir.} \quad (2.5)$$

bu eşitliğin yola göre kısmi türev alındığında:

$$\frac{d\vec{a}}{dl} = \frac{dv}{dT} \frac{d\vec{t}}{dl} + \frac{d}{dl} \left\{ \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left( kv^2 - \frac{gu}{b} \right) \vec{n} \right\} \quad \text{olur.} \quad (2.6)$$

$$\frac{d\vec{t}}{dl} = k_e \vec{n} \quad (2.7)$$

olur. (Redheffer, 1996, s.279; Tarı, 1997). Buradaki  $k_e$  eğik düzlemdeki yol platformunun eğriliği olarak tanımlanmıştır. Bu eğriliğin yatay düzlemdeki iz düşüm eşitliği ise;

$$k_e = k \cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} k \quad (2.8)$$

şeklindedir. (2.7) ve (2.8) bağıntıları (2.6) eşitliğinde yerine konulursa ve eşitliğin her iki yanını  $\vec{n}$  eğri normalini doğrultusundaki birim vektör ile çarpılırsa;

$$\frac{da}{dl} \vec{n} = \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left( k \frac{dv}{dT} + v^2 \frac{dk}{dl} + 2kv \frac{dv}{dl} - \frac{kv^2u + gb}{u^2 + b^2} \frac{du}{dl} \right) \quad (2.9)$$

(Tarı, 1997) şeklinde bir bağıntı elde edilir. Burada orantının özelliklerinden de faydalanarak aşağıdaki bağıntıları (2.9) bağıntısında uygulanırsa:

$$\frac{da}{dT} = \frac{da}{dl} \frac{dl}{dT} = \frac{da}{dl} v \quad \text{buradan} \quad \frac{da}{dl} = \frac{1}{v} \frac{da}{dT} \quad (2.10)$$

$$\frac{dv}{dT} = \frac{dv}{dl} \frac{dl}{dT} = \frac{dv}{dl} v \quad \text{buradan} \quad \frac{dv}{dl} = \frac{1}{v} \frac{da}{dT} = \frac{a_t}{v} \quad (2.11)$$

elde edilir (Tarı, 2002).

(2.9) eşitliğinde, (2.10) ve (2.11) eşitlikleri yerine uygulandığında;

$$z = \frac{da}{dT} \vec{n} = \frac{bv}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left( 3ka_t + v^2 \frac{dk}{dl} - \frac{kv^2u + gb}{u^2 + b^2} \frac{du}{dl} \right) \quad (2.12)$$

yanal sademe bağıntısı elde edilmiş olur (Baykal, 1996; Tarı, 2002).

### 3. Sabit Hızlı Hareket Modelinde Eğrilerin Yanal Sademe Fonksiyonları

Buradaki sabit hızlı hareket modelinde araç hareketinin sabit olduğu düşünülmüş ve eğrilerin yanal sademe fonksiyonları buna göre oluşturulmuştur (Tarı 1997; 2003).

#### 3.1 Klotoit Bileşik Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Sabit Hızlı Hareket Modelinde İncelenmesi

1.klotoit için  $t = l/L$  dönüşümü yapıldığında

$$k_{k,l}(l) = \frac{l}{L_1 R} \quad 0 \leq l \leq L_1 \quad \text{eğrilik fonksiyonu ve,} \quad (3.1.1)$$

$$u_{k,l}(l) = \frac{ul}{L_1} \quad (3.1.2)$$

dever fonksiyonu eşitliklerinden yararlanılarak,  $l$ 'ye göre türev alındığında ve genel yanal sademe bağıntısında yerine konulduğunda 1.klotoitin yanal sademe fonksiyonu;

$$z_{k,l}(t) = \frac{L_1^2 v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{L^3 R (t^2 \tan^2 \alpha_m + \frac{L_1^2}{L^2})^{3/2}} \quad 0 \leq t < \frac{L_1}{L} \quad (3.1.3)$$

şeklinde ifade edilir. (Tarı, 1997). Burada:

$$\tan \alpha_m = \frac{u}{b} \quad (3.1.4)$$

ifade etmektedir.

Kurp için yanal sademe fonksiyonu ise;

$$k_{k,2}(t) = \frac{1}{R}, \quad u_{k,2}(t) = u \quad (3.1.5)$$

ifadeleri dikkate alınarak ve de  $l$ 'ye göre türev alındığında ayrıca (2.12) de yerine konulduğunda

$$z_{k,2}(t) = 0 \quad \frac{L_1}{L} \leq t < \frac{L_1 + L_2}{L} \quad (3.1.6)$$

şeklinde yazılır.

2.klotoid eğrisinin yanal sademe fonksiyonu ise

$$k_{k,3}(l) = \frac{1}{RL_3}(L-l) \quad L_1 + L_2 \leq l \leq L \quad \text{eğrilik fonksiyonu ve} \quad (3.1.7)$$

$$u_{k,3} = \frac{u}{L_3}(L-l) \quad (3.1.8)$$

dever fonksiyonunu dikkate alınarak  $l$ 'ye göre türev alındığında ve (2.12) de yerine konulduğunda bağıntı;

$$z_{k,3}(t) = -\frac{L_3^2 v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{L^3 R((1-t)^2 \tan^2 \alpha_m + \frac{L_3^2}{L^2})^{3/2}} \quad \frac{L_1 + L_2}{L} \leq t \leq 1 \quad (3.1.9)$$

şeklini alır (Tarı, 1997).

### 3.2 Bloss Bileşik Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Sabit Hızlı Hareket Modelinde İncelenmesi

1.Bloss için  $t = l/L$  dönüşümü yapılırsa;

$$k_{b,1}(l) = \frac{1}{R} \left( 3 \frac{l^2}{L_1^2} - 2 \frac{l^3}{L_1^3} \right) \quad 0 \leq l \leq L_1 \quad \text{eğrilik fonksiyonu ve;} \quad (3.2.1)$$

$$u_{b,1}(l) = u \left( 3 \frac{l^2}{L_1^2} - 2 \frac{l^3}{L_1^3} \right) \quad (3.2.2)$$

dever fonksiyonu eşitliklerinden yararlanılarak  $l$ 'ye göre türev alındığında ve genel yanal sademe bağıntısında yerine konulduğunda 1.bloss eğrisinin yanal sademe fonksiyonu;

$$z_{b,1}(t) = \frac{N_{b,1} v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{R(1 + Q_{b,1}^2 \tan^2 \alpha_m)^{3/2}} \quad 0 \leq t \leq \frac{L_1}{L} \quad (3.2.3)$$

şeklinde yazılır (Tarı, 1997). Burada;

$$N_{b,1} = \frac{6Lt}{L_1^2} - \frac{6L^2 t^2}{L_1^3}, \quad Q_{b,1} = \frac{3L^2 t^2}{L_1^2} - \frac{2L^3 t^3}{L_1^3} \quad (3.2.4)$$

ifade eder (Tarı, 1997). Kurp için;

$$k_{b,2}(t) = \frac{1}{R}, \quad u_{b,2}(t) = u \quad (3.2.5)$$

ifadeleri dikkate alınarak ve de  $l$ 'ye göre türev alındığında ayrıca (2.12) de yerine konulduğunda

$$z_{b,2}(t) = 0 \quad \frac{L_1}{L} \leq t \leq \frac{L_1 + L_2}{L} \quad (3.2.6)$$

şeklini alır.

2.bloss eğrisinin yanal sademe fonksiyonu ise  $t = l/L$  dönüşümü yapılır,

$$k_{b,3}(l) = \frac{1}{R} \left( 3 \frac{(L-l)^2}{L_3^2} - 2 \frac{(L-l)^3}{L_3^3} \right) \quad L_1 + L_2 \leq l \leq L_1 + L_2 + L_3 \quad \text{eğrilik fonksiyonu ve,} \quad (3.2.7)$$

$$u_{b,3}(l) = u \left( 3 \frac{(L-l)^2}{L_3^2} - 2 \frac{(L-l)^3}{L_3^3} \right) \quad \text{dever fonksiyonu dikkate alınır;} \quad (3.2.8)$$

ve  $l$ 'ye göre türev alındığında ve (2.12) de yerine konulduğunda bağıntı;

$$z_{b,3}(t) = \frac{N_{b,2} v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{R(1 + Q_{b,2}^2 \tan^2 \alpha_m)^{3/2}} \quad \frac{L_1 + L_2}{L} \leq t \leq 1 \quad (3.2.9)$$

şeklinde yazılır(Tarı, 1997). Burada;

$$Q_{b,2} = \frac{3L^2(1-t)^2}{L_3^2} - \frac{2L^3(1-t)^3}{L_3^3}, \quad N_{b,2} = \frac{6L^2(1-t)^2}{L_3^3} - \frac{2L^3(1-t)}{L_3^2} \quad (3.2.10)$$

(Tarı, 1997) ifade etmektedir.

### 3.3 Tarı 1 Bileşik Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Sabit Hızlı Hareket Modelinde İncelenmesi

Tarı 1 için  $t = l/L$  dönüşümü yapılırsa ve

$$k_{1,1}(l) = \frac{1}{R} \left\{ a \left( \frac{l}{L_1} \right)^5 + b \left( \frac{l}{L_1} \right)^4 + c \left( \frac{l}{L_1} \right) \right\} \quad 0 \leq l \leq L_1 \quad \text{eğrilik fonksiyonu ile} \quad (3.3.1)$$

$$u_{1,1}(l) = \frac{ul^3}{L_1^3} \left( \frac{6l^2}{L_1^2} - \frac{15l}{L_1} + 10 \right) \quad \text{dever fonksiyonu eşitliklerinden yararlanılarak;} \quad (3.3.2)$$

Ayrıca  $l$ 'ye göre türev alındığında ve genel yanal sademe bağıntısında yerine konulduğunda tarı 1'in yanal sademe fonksiyonu;

$$z_{1,1}(t) = \frac{N_{1,1} v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{R(1 + Q_{1,1}^2 \tan^2 \alpha_m)^{3/2}} \quad 0 \leq t \leq \frac{L_1}{L} \quad (3.3.3)$$

şeklinde yazılır (Tarı, 1997). Burada;

$$Q_{1,1} = \frac{6L^5 t^5}{L_1^5} - \frac{15L^4 t^4}{L_1^4} + \frac{10L^3 t^3}{L_1^3}, \quad N_{1,1} = \frac{30L^4 t^4}{L_1^5} - \frac{60L^3 t^3}{L_1^4} + \frac{30L^2 t^2}{L_1^3} \quad (3.3.4)$$

(Tarı, 1997) ifade etmektedir. Kurp için ise;

$$k_{1,2}(t) = \frac{1}{R}, \quad u_{1,2}(t) = u \quad (3.3.5)$$

ifadeleri dikkate alınarak ve de  $l$ 'ye göre türev alındığında ayrıca (2.12) de yerine konulduğunda;

$$z_{1,2}(t) = 0 \quad \frac{L_1}{L} \leq t \leq \frac{L_1 + L_2}{L} \quad (3.3.6)$$

2.Tarı 1'in yanal sademe fonksiyonu ise eğrilik fonksiyonu ve;

$$k_{1,3}(l) = \frac{(L-l)^3}{RL_3^3} \left( \frac{6(L-l)^2}{L_3^2} - \frac{15(L-l)}{L_3} + 10 \right) \quad L_1 + L_2 \leq l \leq L_1 + L_2 + L_3 \quad (3.3.7)$$

dever fonksiyonu dikkate alınarak;

$$u_{1,3}(l) = \frac{u(L-l)^3}{L_3^3} \left( \frac{6(L-l)^2}{L_3^2} - \frac{15(L-l)}{L_3} + 10 \right) \quad t = l/L \text{ dönüşümü uygulandığında;} \quad (3.3.8)$$

$l$ 'ye göre türev alındığında ve (2.12) de yerine konulduğunda bağıntı;

$$z_{1,3}(t) = \frac{N_{1,2}v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{R(1 + Q_{1,2}^2 \tan^2 \alpha_m)^{3/2}} \quad \frac{L_1 + L_2}{L} \leq t \leq 1 \quad (3.3.9)$$

şeklini alır buradaki (Tarı, 1997);

$$Q_{1,2} = \frac{6(L-Lt)^5}{L_3^5} - \frac{15(L-Lt)^4}{L_3^4} + \frac{10(L-Lt)}{L_3^3} \quad (3.3.10)$$

$$N_{1,2} = \frac{30(L-Lt)^4}{L_3^5} - \frac{60(L-Lt)^3}{L_3^4} + \frac{30(L-Lt)}{L_3^3} \quad (3.3.11)$$

ifade eder (Tarı, 1997).

### 3.4 Tarı 2 Bileşik Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Sabit Hızlı Hareket Modelinde İncelenmesi

Tarı 2 'nin yanal sademe fonksiyonunu;

$$k_2(t) = \frac{823543}{6912R} (t^7 - 4t^6 + 6t^5 - 4t^4 + t^3) \quad (3.4.1)$$

$$u_2(t) = \frac{823543u}{6912} (t^7 - 4t^6 + 6t^5 - 4t^4 + t^3) \quad (3.4.2)$$

(Tarı, 1997)buradaki  $t = l/L$  dönüşümü yapılmış eğrilik ve dever fonksiyonu eşitliklerinin  $l$  değişkenine göre türevleri alınırsa ve genel yanal sademe fonksiyonunda yerine konulursa ;

$$z_2(t) = \frac{N_2v(v^2 - gR \tan \alpha_m)}{LR(1 + Q_2^2 \tan^2 \alpha_m)^{3/2}} \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (3.4.3)$$

(TARI 1997) şeklinde ifade edilir.

$$Q_2 = \frac{823543}{6912}(t^7 - 4t^6 + 6t^5 - 4t^4 + t^3) \quad (3.4.4)$$

$$N_2 = \frac{823543}{6912}(7t^6 - 24t^5 + 30t^4 - 16t^3 + 3t^2) \quad (3.4.5)$$

şeklinde yazılır (Tarı, 1997).

#### 4.Eğrilerin Yanal Sademe Diyagramlarında Gösterilmesi

Klasik geçiş eğrilerinin (klotoid,bloss) ve ikinci nesil eğriler olarak adlandırılan Tarı 1 ve Tarı 2'nin yanıl sademe grafiklerinin çizilebilmesi için aşağıdaki değerler dikkate alınmıştır.

Geçiş eğrilerinin ve arada kullanılan kurbun uzunlukları:  $L_1 = L_2 = L_3 = 500m$

Dever:

$$u = 0.15m$$

Toplam eğri uzunluğu

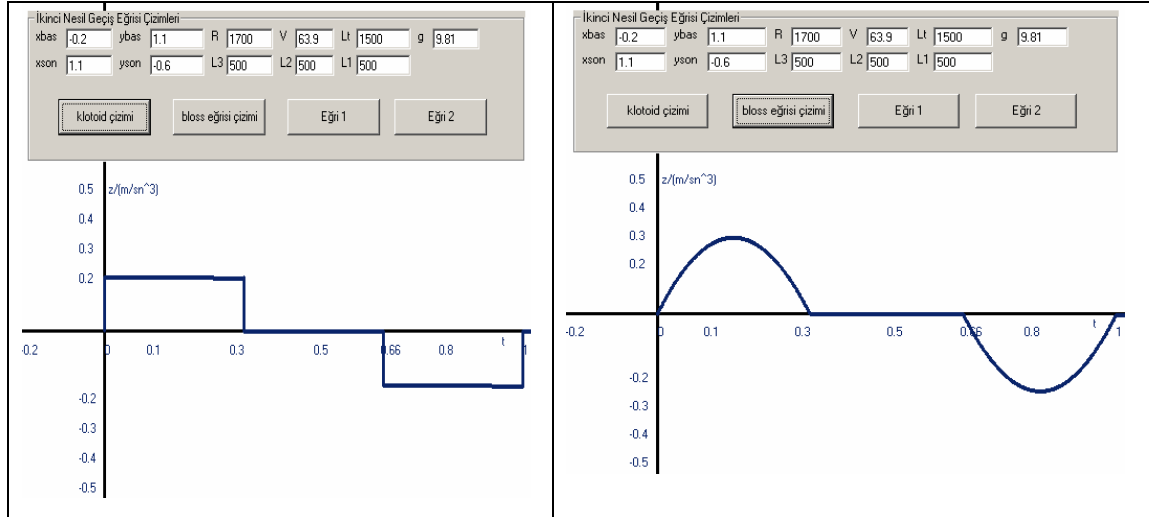
$$L = 1500m$$

Yarıçap

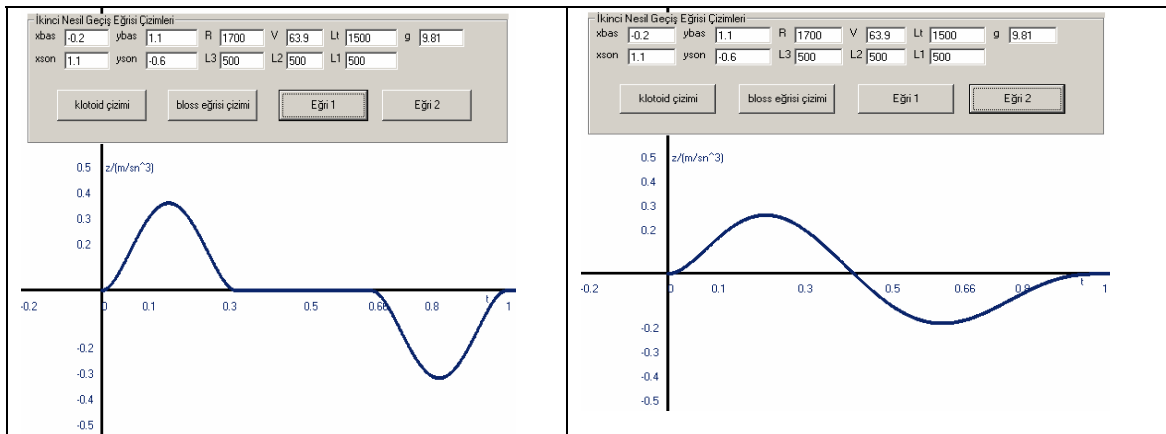
$$R = 1700m$$

Araç hızı

$$v = 230km / saat$$



Şekil 4.1 Klotoid ve Bloss Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Grafik Gösterimi



Şekil 4.2 Tarı 1 ve Tarı 2 Eğrisinin Yanal Sademe Fonksiyonunun Grafik Gösterimi



## Sonuçlar ve Öneriler

Geçiş eğrilerini konu alan bu bildiriye, bilinen geçiş eğrilerinin matematiksel formülleri incelenmiş ve bu formüller yardımıyla da eğrilerin grafiğini çizerek program yazılmıştır. Sonuç ürün olarak, yazılan program çerçevesinde bu fonksiyonların hız, dever, yol ve yarıçap, değişkenlerine bağlı grafikleri elde edilmiştir. Örnek olması açısından Tarı 1 ve Tarı 2 eğrilerinin kod dizimleri Ek 1 de verilmiş olup bu eğriler için bilinen matematiksel eşitliklerden yararlanılmıştır. Geçiş eğrilerinin birbirleri ile karşılaştırılmasında yanal sademe fonksiyonu önemli bir rol oynar. İdeal olan durum bütün eğri boyunca yanal sademe fonksiyonunun sürekli olmasıdır. Ancak bu durum uygulamada her zaman sağlanamaz. Bu koşulun sağlanamamasının önemli nedenlerinden bir tanesi sıçramadır. Sıçrama durumu eğrilerin birbirleri ile karşılaştırılmasında önemli kriterlerden biridir. Bu durum yanal sademede meydana gelen süreksizlik ve ani değişimler olarak tanımlanır.

Sıçrama süreksizliği yol yatay geometrisini oluşturan elemanların birbirleri ile birleştiği noktalarda meydana gelir. Şekil 4.1 incelendiğinde klotoidin birleşme noktalarında ani süreksizlikler (sıçrama) meydana geldiği ve yol emniyeti bakımından 2. nesil eğrilerine nazaran daha güvensiz olduğu görülmektedir. (Tarı, 1997) Eğrilerin karşılaştırılmasında kullanılan diğer bir kriter de kırılmadır. Kırılma; yanal sademe fonksiyonunun düzenli değişiminin, iki geçiş elemanının birleşim noktasındaki bozulması olarak tanımlanır. Bu değişimde geçi elemanının birleşme noktasındaki teğetlerinin eğimleri arasındaki fark önemli olmaktadır. Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde bu kriter bakımından bloss eğrisine nazaran Tarı 1 ve Tarı 2'nin öne çıktığı görülmektedir. (Tarı, 1997).

Eğrilerin karşılaştırılmasında kullanılan son kriterde yanal sademe büyüklükleri arasında karşılaştırma yapılarak elde edilmiş olup yanal sademe  $z \leq 0.3m/s^3$  olduğunda 1.grup;  $0.3m/sn^3 \leq z \leq 0.6m/sn^3$  olduğunda ise 2.grup kategorisinde değerlendirilmektedir (Tarı, 1997). Şekil 4.2 incelendiğinde Tarı 2 nin en ideal eğri olduğu anlaşılmaktadır.

## Kaynaklar

### A-Uluslararası Makaleler

Baykal, O., (1996), Concept of Lateral Change of Acceleration, *ASCE Journal of Surveying Engineering*, Vol.122, No.3, pp. 132-141

Baykal, O., Tarı, E., Çoşkun Z., Şahin, M., (1997), A New transition Curve Joining Two Straight Lines *ASCE Journal of Transportation Engineering*

Sharpe, R.J., Thorne, R.W., (1982) Numerical Method For Extracting An Arc Length Parameterization Parametric Curves, *Computer Aided Design*, Vol.14, No.2, pp 79-81.

Tarı, E., (2003), The New Generation Curves, *ARI*, Vol.54, No.1, pp 34-41

Tarı, E., Baykal, O., (1998), An Alternative Curve In The Use of High Speed Transportation Systems, *ARI*, Vol.51, N.2, pp.126-135

### B-Kitap İçinde Bölüm

Umar, F., Yayla, N., (1997), Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı

### C-Mesleki Teknik Rapor

Evren, G., (1979), Demir Yollarında Kurbalara İlişkin Sorunlar ve Çözüm Önerileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Teknik Rapor No.37

### D-Doktora, Y.Lisans Tezi

Tarı, E., (1997), Geçki Tasarımında Yeni Eğri Yaklaşımları, *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK 1 Tarı 1 ve Tarı 2 Eğrilerine Ait Programın Kod Dizilimi

```
Private Sub Command1_Click() (Tar1)
Dim xbas, xson, ybas, yson, R, V, Lt, L1, L2, L3, g
xbas = Val(Text1)
xson = Val(Text2)
ybas = Val(Text3)
yson = Val(Text4)
R = Val(Text5)
V = Val(Text6)
Lt = Val(Text7)
L1 = Val(Text8)
L2 = Val(Text9)
L3 = Val(Text10)
g = Val(Text11)
Scale (xbas, ybas)-(xson, yson)
Line (0, ybas)-(0, yson), i
Line (xbas, 0)-(xson, 0), i
Dim x4, y4, Q5, N5, Q6, N6
For x4 = 0 To 1.5 Step 0.001
Q5 = ((6 * Lt ^ 5 * x4 ^ 5) / L1 ^ 5) - ((15 * Lt ^ 4 * x4 ^ 4) / L1 ^ 4) + ((10 * Lt ^ 3 * x4 ^ 3) / L1 ^ 3)
N5 = ((30 * Lt ^ 4 * x4 ^ 4) / L1 ^ 5) - ((60 * Lt ^ 3 * x4 ^ 3) / L1 ^ 4) + ((30 * Lt ^ 2 * x4 ^ 2) / L1 ^ 3)
Q6 = (6 * (Lt - Lt * x4) ^ 5 / (L3 ^ 5)) - (15 * (Lt - Lt * x4) ^ 4 / (L3 ^ 4)) + (10 * (Lt - Lt * x4) ^ 3 / (L3 ^ 3))
N6 = (-30 * (Lt - Lt * x4) ^ 4 / (L3 ^ 5)) + (60 * (Lt - Lt * x4) ^ 3 / (L3 ^ 4)) - (30 * (Lt - Lt * x4) ^ 2 / (L3 ^ 3))
Select Case x4
Case 0 To (L1 / Lt): y4 = (N5 * V * (V ^ 2 - g * R * 0.1)) / (R * (1 + Q5 ^ 2 * 0.1 ^ 2) ^ 1.5)
Case (L1 / Lt) To ((L1 + L2) / Lt): y4 = 0
Case ((L1 + L2) / Lt) To (Lt / Lt): y4 = (N6 * V * (V ^ 2 - g * R * 0.1)) / (R * (1 + Q6 ^ 2 * 0.1 ^ 2) ^ 1.5)
Case Else
End Select
PSet (x4, y4)
Next
Private Sub Command2_Click() (Tar2)
Dim xbas, xson, ybas, yson, R, V, Lt, L1, L2, L3, g
xbas = Val(Text1)
xson = Val(Text2)
ybas = Val(Text3)
yson = Val(Text4)
R = Val(Text5)
V = Val(Text6)
Lt = Val(Text7)
L1 = Val(Text8)
L2 = Val(Text9)
L3 = Val(Text10)
g = Val(Text11)
Scale (xbas, ybas)-(xson, yson)
Line (0, ybas)-(0, yson), i
Line (xbas, 0)-(xson, 0), i
Dim x5, y5, Q7, N7
For x5 = 0 To 1.5 Step 0.001
Q7 = (823543 / 6912) * (x5 ^ 7 - 4 * x5 ^ 6 + 6 * x5 ^ 5 - 4 * x5 ^ 4 + x5 ^ 3)
N7 = (823543 / 6912) * (7 * x5 ^ 6 - 24 * x5 ^ 5 + 30 * x5 ^ 4 - 16 * x5 ^ 3 + 3 * x5 ^ 2)
y5 = (N7 * V * (V ^ 2 - g * R * 0.1)) / (Lt * R * (1 + Q7 ^ 2 * 0.1 ^ 2) ^ 1.5)
PSet (x5, y5)
Private Sub Form_Load()
Text1 = -0.2: Text2 = 1.1: Text3 = 1.1: Text4 = -0.6: Text5 = 1700: Text6 = 69.4: Text7 = 1500: Text8 = 500:
Text9 = 500: Text10 = 500: Text11 = 9.81
End Sub
```