İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI EĞRİLERİN GEÇİŞ EĞRİSİ OLARAK KULLANILABİLİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ARSLAN

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

ARALIK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI EĞRİLERİN GEÇİŞ EĞRİSİ OLARAK KULLANILABİLİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRIMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ARSLAN
501101610

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ergin TARI

ARALIK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101610 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Abdullah ARSLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **" Farklı Eğrilerin Geçiş Eğrisi Olarak Kullanılabilirliliğinin Araştırıması "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Ergin TARI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Yrd. Doç. Dr. Rushan Ziatdinov** Fatih Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Himmet Karaman İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 30.01.1013
Savunma Tarihi : 25.01.2013

Bugünlere gelmemde emeği geçen herkese,

ÖNSÖZ

Geçiş eğrileri günümüzde Türkiye'de de önemli hale gelmiştir. Yüksek hızlı tren uygulamasıyla birlikte Türkiye de hızlı tren kategorisine dahil olmuştur. Bu konuda bize düşen görev işi yürütmekte olan yabancılardan ziyade kendi içimizde bu işi halletmektir. 2000' li yıllara doğru ülkemizde bu konuda ciddi çalışmalar yapılmıştır. Teoride elde edilen sonuçlar pratiğe dökülebilirse sadece maddi olmamakla birlikte ciddi getiriler sağlanabilir. Bunu gerçekleştirmek için de kendi içimizde sorun yaratan bir toplum olmaktan ziyade uzlaşma, müzakere kültürüne sahip bir toplum olmamız gerekir. Bu çalışma ile birlikte herhangi bir eğrinin geçiş eğrisi olarak kullanılabilirliği test edilebilecektir. Böylelikle çalışmamızın bu alanda yapılacak çalışmalara katkıda bulunması içten temennimizdir.

Gerek tez harici gerek de tezle alakalı olsun hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, sahip olduğu ve olabileceği vasıflarla aslında çok daha iyi yerlerde olması gerektiğine inandığım danışmanım Prof. Dr. Ergin Tarı' ya, tez dönemim boyunca bana zaman ayırıp destek veren Yrd.Doç.Dr. Rushan Ziatdinov'a ve başta annem ve babam olmak üzere tüm sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2012

Abdullah Arslan
(Geomatik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **x**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **19**
2. YOL-ARAÇ KİNEMATİĞİ TEMEL KAVRAMLARI **23**
2.1 Yanal Sademe 25
3. GEÇKİ YATAY GEOMETRİSİ **27**
3.1 Geçki Yatay Geometrisi Eğrilerinin Sağlaması Gereken Koşullar 27
3.2 Geçiş Eğrilerinin Eğrilik ve Dever Fonksiyonları 30
3.2.1 Klotoit bileşik eğrisi 30
4. LOG ESTETİK EĞRİLERİ **33**
4.1 Log Estetik Eğrilerinin Eşitlikleri ve Özellikleri 34
4.2 Log Estetik Eğrilerinin Eğrilik Fonksiyonlarının Elde Edilmesi 35
4.3 Log Estetik Eğrilerinin Dever Fonksiyonlarının Elde Edilmesi 40
4.4 Log Estetik Eğrilerinin Yanal Sademe Fonksiyonlarının Elde Edilmesi 41
4.5 Log Estetik Eğrilerinin Yanal Sademe Fonksiyonlarına Göre İncelenmesi 44
5. KARŞILAŞTIRMA **47**
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **49**
KAYNAKLAR **51**
EKLER **53**
ÖZGEÇMİŞ **57**

KISALTMALAR

CAD **:** Computer Aided Design
LCHs **:** Logarithmic Curvature Histograms

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Demiryolları İçin Önerilen Yatay Kurb Yarıçapları 24
Çizelge 2.2 : Bazı Ülke Demiryolları En Yüksek Hızları. 25
Çizelge 2.3 : Dünyadaki Bazı Demiryolu Firmalarının Geometrik Tasarım Değerlerinin Karşılaştırılması. 26

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1 : Bileşik geçiş eğrili model 19
Şekil 2 : Geçki Yatay Geometrisi Eğrilerinin Sağlaması Gereken Koşulların Geometrik Anlamı 28
Şekil 3 : Sıçrama biçiminde süreksizlik 29
Şekil 4 : Kırıklık biçiminde süreksizlik 29
Şekil 5 : Logaritmik eğrilik diyagramında α parametresinin geometrik anlamı (Yoshida and Saito, 2006) 33
Şekil 6 : α=1,2,3 eğrileri için eğrilik diyagramı 38
Şekil 7 : a=10 eğrisi için eğrilik diyagramı 38
Şekil 8 : α=1,2,3 eğrileri için dever diyagramı 41
Şekil 9 : α=1,2,3 eğrileri için yanal ivme diyagramı 42
Şekil 10: α=1,2,3 eğrileri için yanal sademe diyagramı 44
Şekil 11: α = 1,2,3,4,5,6,7 ve 10 için sademe değerleri 45
Şekil 12: Klotoit için yanal sademe diyagramı 47
Şekil 13: Klotoit ve log estetik eğrileri için yanal sademe diyagramı 48

FARKLI EĞRİLERİN GEÇİŞ EĞRİSİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Geçiş eğrileri günümüz geçki tasarımında son derece önem taşımaktadır ve yaygın olarak karayollarında ve demiryolarında kullanılmaktadır. Yakın zamanda demiryollarında yüksek hızlarla uğraşılması sonucu mevcut eğrilerin yetersiz kaldığı tespit edilmiş ve daha iyi yol araç kinematiği özelliklerine sahip eğriler gündeme getirilmiştir. Bloss Eğrisi, Sinüsoid, Kosinüsoid, Tarı 1, Tarı 2 gibi eğriler sahip oldukları gelişmiş özellikler ile yol araç kinematiğinin en önemli kriteri olan yanal sademe üzerinde anlamlı değişiklikler meydana getirmişlerdir.

Bu çalışmada ise farklı bir eğri olan log estetik eğrileri analiz edilip geçiş eğrisi olarak geçki tasarımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Log estetik eğrilerinin temel özelliği ise sahip olduğu şekil parametresi α'nın değerlerine göre farklı eğrilik fonksiyonlarının elde edilmesidir. Yani değişik eğriliğe sahip eğrilerin ortaya çıkmasıdır.

Çalışmanın ilk aşamasında log estetik eğrilerinin eğrilik fonksiyonları incelenmiştir ve terminolojik terimlerin gerektirdiği gerekli dönüşümler yapılmıştır. Yani log estetik eğrilerinin eğrilik fonksiyonları geçiş eğrisi-daire yayi-geçiş eğrisi bileşik eğrisi yapısında kullanılabilecek hale uyarlanmıştır. Bu eğrilerin bir geçiş eğrisinin birleşim noktalarında sağlaması gereken şartlardan ne kadarını sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir ve tespit edilmiştir. Eğrilik diyagramları çizdirilerek sıçrama, kırılma süreksizlikleri hakkında bilgi edinilmiştir.

Log estetik eğrilerini klasik geçiş eğrisi klotoit ile yanal sademe yönünden karşılaştırmak için öncelikle eğrilerin eğrilik ve dever fonksiyonları, yanal sademe fonksiyonunda kullanılabilecek şekilde türetilmiştir. Eğrilerin yanal sademe fonksiyonları elde edildikten sonra bir demiryolu güzergahı büyüklükleri kullanılarak sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri elde elde edilmiştir ve diyagramları çizdirilmiştir. Log estetik eğrileri, yanal sademe diyagramları ile birleşim noktası kırılma ve sıçrama süreksizlikleri, yanal sademe genliği yönünden birbirleriyle ve klasik geçiş eğrisi ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada araştırılan log estetik eğrileri hem birleşim noktası koşullarına göre hem de yanal sademe diyagramlarına göre klotoite benzer özellikler göstermiştir. Yanal sademe maksimum değerleri α'nın farklı değerlerine göre az da olsa değişkenlik göstermiştir yani sonuca anlamlı etki yapmamıştır. İncelenen kriterlere göre log estetik eğrileri geçiş eğrisi olarak kullanılabilir sonucuna varılmıştır fakat klotoitten gelişmiş özelliklere sahip çıkmamıştır.

THE IMPLEMENTATION RESEARCH OF DIFFERENT CURVES AS A TRANSITION CURVE

SUMMARY

Any motor vehicle follows a transition path as it enters or leaves a circular horizontal curve. The steering change and the consequent gain or loss of lateral force can not be effected instantly. For most curves, the average driver can follow a suitable transition path within the limits of normal lane width. Hovewer, combinations of high speed and sharp curvature lead to longer transition paths, which can result in shifts in lateral position and sometimes actual encroachment on adjoining lanes. In such instances, incorporation of transition curves between the tangent and the sharp circular curve, as well as between circular curves of substantially different radius, may be appropiate in order to make it easier for a driver to keep his or her vehicle within its own line.

Transition curves are extremely important and are widely used the design of today's route alignment. They are used for joining straight line with a circle or for joining a circle of a radius R_1 with a circle of a radius R_2. Spiral curve (clothoid) is the most common used transition curve, which responded the demands of the 100 km/h - 120 km/h speeds in route alignment. Inadequacy of existing curves has been identified due to dealing with 200 km/h - 500 km/h speeds in railways. The curves such as Bloss Curve, Sinusoid, Cosinusoid, Tari 1, Tari 2, which were come up, have better specifications of the road vehicle kinematics. So that, they have bring about significant changes on the lateral change of acceleration is the most important criteria of road vehicle kinematics.

Important components of road vehicle kinematics are:

- vehicle speed, acceleration, velocity models
- technical and physical specifications of vehicles, air conditions
- horizontal-vertical geometry of route
- superelevation, superelevation functions
- transition curves, transition curve functions
- lateral change of acceleration, lateral change of acceleration functions.

Lateral change of acceleration is the change of the resultant acceleration occurring along the curve normal with respect to the time. It can be expressed as $Z = \frac{d\vec{a}}{dT}\ \overrightarrow{n}$ where $\vec{a}$ is resultant acceleration formed by all free forces and tangental acceleration expressed as $\vec{a} = \frac{dv}{dT}\vec{t} + \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}\left(k.v^2 - g.\frac{u}{b}\right).\vec{n}$

where,

k : curvature of orbiting curve defined on a horizontal plane (1/m)

g : gravitational acceleration (9.81 m/sn^2)

b : horizontal width of the road platform (m)

u : superelevation (m)

v : velocity (m)

The equation of lateral change of acceleration is derived from using lateral change of acceleration and tangential acceleration equations, expressed as $Z = \frac{da}{dl}\ \vec{n} = \frac{b.v}{\sqrt{u^2+b^2}}\left(3.k.a_t + v^2\frac{dk}{dl} - \frac{k.v^2.u+g.b}{u^2+b^2}\frac{du}{dl}\right)$.

In this study, log aesthetic curves, which are generally used for industrial design, has been researched for implementation of a transition curve. The main characteristic of log aesthetic curves is shape parameter α, which determines the curvature of log aesthetic curves. Exactly, when the parameter α is changed, another log aesthetic curve is derived since the curvature changed.

In the first step of study, curvature functions of log aesthetic curves analyzed and made the necessary transformations required by the terminological terms. That is, curvature functions of log aesthetic curves adapted to be used in the structure of transition curve-circular arc-transition curve combined curve.

There are some conditions on the connection points of two curves, must be required by transition curves. These conditions are;

i. Common Connection Point:
   - The coordinates of two curves must be equal on the connection points.

ii. Common Tangent:
   - The tangents of two curves must be equal on the connection points.

iii. Equal Radius of Curvature:
   - The radius of two curves must be equal on the connection points. Thus, discontinuities in the form of jump are eliminated in the curvature diagram

   This condition is only satisfied by transition curves. However, they do not satisfy the discontinuities in the form of breaking.

iv. Common Tangent of Curvature Functions:
   - The first derivative of curvature functions of two curves must be equal on the connection points.

   Thus, curvature functions have common tangent on the connection points and eliminate the discontinuities in the form of breaking.

v. Equal Radius of Curvature of Curvature Functions:
   - The second derivative of curvature functions of two curves must be equal on the connection points.

   This condition that is satisfied by a few transition curves needed for high speed railways.

Log aesthetic curves analyzed with respect to these five conditions. Although first, second and third conditions satisfied by log aesthetic curves, the fourth condition is not satisfied.

- where α=1→ $k' = \frac{L.R}{(-l+L.R+L)^2}$ is obtained.

Applying the boundry conditions, $k'(0) \rightarrow \frac{L.R}{(L.R+L)^2} \neq 0$ and $k'(L) \rightarrow \frac{1}{L.R} \neq 0$, do not satisfy the condition 4.

- where α=2→$k' = \frac{2.R+1}{2.L.(R+1)^2.\left(\frac{(-2.R-1).l}{L.(R+1)^2}+1\right)^{3/2}}$ is obtained.

Applying the boundry conditions, $k'(0) \rightarrow \frac{2.R+1}{2.L.(R+1)^2} \neq 0$ and $k'(L) \rightarrow \frac{2.R+1}{2.L.(R+1)^2.\left(\frac{(-2.R-1)}{(R+1)^2}+1\right)^{3/2}} \neq 0$, do not satisfy the condition 4.

- where α=3→$k' = \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3.\left(\frac{(-3.R^2-3.R-1).l}{L.(R+1)^3}+1\right)^{4/3}}$ is obtained.

Applying the boundry conditions, $k'(0) \rightarrow \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3} \neq 0$ and $k'(L) \rightarrow \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3.\left(\frac{(-3.R^2-3.R-1)}{(R+1)^3}+1\right)^{4/3}} \neq 0$, do not satisfy the condition 4.

Curvature and superelevation functions of log aesthetic curves obtained to be used in lateral change of acceleration function in order to compare lateral change of acceleration of clothoid and lateral change of acceleration of log aesthetic curves. Lateral change of acceleration values obtained and drawn their diagrams with respect to equation 3 and constant velocity motion model with railway project quantities.

Diagrams of lateral change of acceleration of log aesthetic curves analyzed with respect to:

- Continuity of diagrams of lateral change of acceleration
- Magnitudes of diagrams of lateral change of acceleration

criterion.

The diagrams of lateral change of acceleration of log aesthetic curves have discontinuities in the form of jump such as diagrams of lateral change of acceleration of clothoid. It is clear that the magnitude of any discontinuity at a point affects travel comfort, change of geometry, and wear. So that, the results of research of log aesthetic curves illustrate similarities to clothoid in terms of road vehicle kinematics.

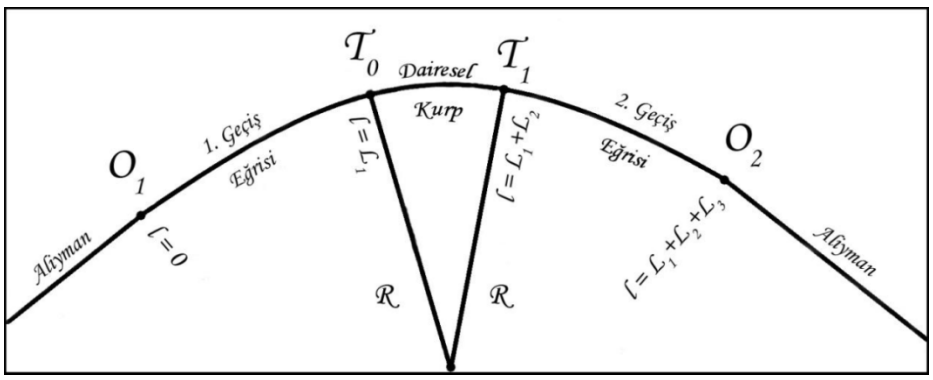
The magnitudes of diagrams of lateral change of acceleration of log aesthetic curves which are about 0,26-0,38 m/s^3 jumps at connection points. The maximum magnitude proportionally increases 0,02 m/s^3 depending on shape parameter α value. The maximum values of lateral change of acceleration are less the boundary values given in the literature.

As a result, log aesthetic curves can be implemented as a transition curve but they do not have more specifications than clothoid in terms of road vehicle kinematics. If they had much more specifications than clothoid, they would create a new generation as a transition curve.

1. GİRİŞ

Bir motorlu taşıt, dairesel yatay eğriye girerken veya çıkarken geçiş güzergahını takip eder. Yöndeki değişiklik ve bunun sonucunda yanal kuvvette oluşan kazanç veya kayıp anlık olarak etkilenemez. Ortalama bir sürücü, birçok eğri için normal trafik şeridi genişliğinin sınırları içinde uygun bir geçiş güzergahını takip edebilir. Fakat yanal durumda değişikliğe ve bazen de yan şerit ihlaline sebebiyet veren, yüksek hız ve keskin eğriliğin birlikte bulunması durumunda daha uzun bir geçiş güzergahı gerekmektedir. Bu gibi durumlarda, yarıçapları oldukça farklı dairesel eğriler arasına geçiş eğrilerinin eklenmesine ek olarak teğet ve keskin dairesel eğriler arasına geçiş eğrilerinin eklenmesi, sürücünün aracını kendi şeridinde tutmasında kolaylık sağlaması için uygun olabilir (Aashto, 2001).

Geçiş eğrileri günümüz geçki tasarımında son derece önem taşımaktadır. Geçki yatay geometrisinin tasarımında, geçkide bulunan doğru parçalarının R yarıçaplı daire yayıyla birleştiği veya farklı eğrilerle birleştiği noktalarda ortaya çıkan ani merkez kaç kuvvet etkisi, sürücüler için güvenlik sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca yüksek hızlı projelerde bu olumsuz etki ciddi bir şekilde hissedilmekte ve tehlike oluşturmaktadır. Bunun için projelerdeki dever uygulamalarının yanı sıra ek uygulamalar gerekmektedir. Bu sebeple yüksek hızlı kara ve demiryollarında yatay geometrinin tasarımında kurblarda çeşitli kombinasyonlarda geçiş eğrileri uygulanmaktadır (Can ve diğ, 2005). Şekil 1'de yaygın kullanılan geçiş eğrisi geometrisi görülmektedir.



Şekil 1: Bileşik geçiş eğrili model

Bilgisayar teknolojisinin gelişmediği ve yüksek hızlı araçların da var olmadığı geçmiş yıllarda konfor gereksinimleri olmadığı için günümüzde kullanılan geometrik standartlar da göz önüne alınmıyordu. İki alinyimanı birleştirmek için sadece daire yayı kullanılıyordu. Ancak, daire yayının alinyimanlara teğet olduğu noktalarda ortaya çıkan merkezkaç kuvvet etkisi başta güvenlik olmak üzere bir takım hususun önem kazanmasına sebep olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte hem konfor hem yol güvenliği açısından da bu hususlar dikkate alınmaktan daha çok zorunluluk halini almıştır. İlk başlarda dever uygulaması ile giderilmeye çalışılan sorun ulaşım yapılarının yaygınlaşması ve hızların artması sonucu ilk olarak demiryolu geçkilerinde geçiş eğrileri uygulanmaya başlanmıştır. Daha sonra proje hızının yüksek olduğu karayolu projelerinde de geçiş eğrileri uygulanmaya başlamıştır (Tari, 1997).

Bilgisayarların kullanım alanına girmesinden önceki yıllarda tüm uygulayıcıların yaşamış olduğu hesap sıkıntısı, geçiş eğrilerine ilişkin hesapların yapılabilir olmasını önemli kılmıştır. Bu yıllarda demiryollarında kübik parabol, karayollarında 2R yarıçaplı dairesel kurb ve Searles Eğrisi yaygın olarak kullanılmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte hesap yapma sıkıntısı tümüyle ortadan kalkmış, yol araç dinamiğine ilişkin nitelikleri daha üstün olan ve bu nedenler yüksek hız isteklerine daha iyi yanıt veren klotoit, uygulamada kullanılan tek geçiş eğrisi durumuna gelmiştir (Tari, 1997).

Yakın zamanda demiryollarında 250 km/sa'yı aşan hatta 500 km/sa'lara kadar hızlarla uğraşılması sonucu mevcut eğrilerin yetersiz kaldığı tespit edilmiş ve klotoitten daha iyi yol araç dinamiği özelliklerine sahip eğriler gündeme getirilmiştir. Bloss Eğrisi, Sinüsoid, Kosinüsoid, Tarı 1, Tarı 2 gibi eğriler ilk zamanlarda kullanılan eğrilere göre yeni bir nesil açmıştır. Sahip oldukları gelişmiş özellikler ile de yol araç dinamiğinin en önemli kriteri olan yanal sademe üzerinde anlamlı değişiklikler meydana getirmişlerdir (Tari, 1997).

Bu çalışmanın amacı ise farklı bir eğri olan log estetik eğrilerinin analiz edilerek geçiş eğrisi olarak geçki tasarımında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. "Fitting G2 multispiral transition curve joining two straight lines" (Ziatnidov ve diğ, 2012), "Analytic parametric equations of log aesthetic curves in terms of incomplete gamma funtions" (Ziatnidov ve diğ., 2011), "Interactive aesthetic curve segments multispiral curves" (Yoshida ve Saito, 2006) çalışmalarında geçen log estetik eğrilerinin (LACs)

eğrilik fonksiyonundan yola çıkarak bu eğrilerin bir geçiş eğrisinin sağlaması gereken şartlardan ne kadarını sağlayıp sağlamadığı incelenerek geçiş eğrisi olarak uygunlukları hakkında karar vermektir. Bu çalışma için bir demiryolu güzergahı kullanılarak, gerekli hesaplamaların yapılmasından sonra klasik geçiş eğrisi ve yeniş nesil geçiş eğrileri ile kıyaslanarak elde edilen değerlerin görselleştirilerek anlatılması esas alınmıştır.

Çalışmanın iki aşamada gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Birinci aşama mevcut makalelerin incelenerek Log-estetik eğrileri hakkında bilgi edinilmesi ve geçiş eğrisi tasarımında temel parametre olan eğrilik fonksiyonlarının bu eğriler için elde edilmesidir. Yani gerekli terminolojik terimlerin gerektirdiği dönüşümler yapılarak bu eğrilerin eğrilik fonksiyonlarının kurbda kullanılan yarıçap değerlerine göre uydurulması amaçlanmıştır. Bu aşama ile eğrilerin analitik olarak kullanılabilirlikleri analiz edilerek uygunluklarının nedenleri ile açıklanması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşaması ise bir demiryolu güzergahı üzerinde eğrilik fonksiyonlarının ayrı ayrı kullanımı ile sademe değerlerinin elde edilerek bu değerlerin sademe diyagramlarının çizdirilerek uygunluklarının incelenmesi ve eğrilerin aplikasyonu için gerekli elemanlar olan teğet açısı ve X,Y koordinat değerlerinin elde edinimini esas alınmaktadır.

2. YOL-ARAÇ KİNEMATİĞİ TEMEL KAVRAMLARI

Bir kara ya da demir yolunun projelendirilmesinde dikkate alınan temel ilkeler şunlardır:

- Güvenlik
- Ekonomi
- Konfor
- Hız ve Düzenlilik (Verimlilik)
- Çevreye Uyum (Baykal, 2009)

Bu kriterlere göre yol geometrisi belirlenirken; yolun güvenli olması, ekonomik olması, konfor ve verimliliğin sağlanması, ayrıca tesis edileceği çevrede, çevreye uyumlu olması amaçtır. Gelişmiş ülkelerin çoğunda bu standartların tümü göz önünde bulundurulurken esas olarak yolun güvenliği, konforu ve verimliliği ön planda olmaktadır. Avrupa ülkelerinde 140-150 km/sa' ya varan proje hızları üzerinden yol geometrisi tasarlanmaktadır. Proje hızının bu denli yüksek olması yolun güvenliğini ve konforunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkiyi azaltmak için de uygun geometrinin tespit edilmesi gerekmektedir (Tuncel, 2010).

Yüksek hızda aynı zamanda güvenlik ve konforun sağlanabilmesi için araç ve yol kinematiğinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Yol ve araç kinematiğini etkileyen faktörleri, aracın hızı, aracın teknik özellikleri, yolun yatay-dikey-enine geometrisi, hava şartları olarak sıralayabiliriz. Yol tasarımı yaparken oluşturulacak yol geometrisini etkileyecek faktörler için en düşük ve en yüksek değerlerin belirlenmesi gerekir. Bunlara örnek olarak yolda uygulanacak düşey ve yatay eğrilerde en düşük ve en yüksek yarıçaplar, ayrıca izin verilecek en büyük dever değerlerini ve en yüksek proje hızlarını verebiliriz (Tuncel, 2010).

Çizelge 2.1: Demiryolları için önerilen yatay kurb yarıçapları (Lindhal, 2001)

Proje Hızı (km/sa)	200	250	280	300	330	350
Önerilen yarıçap (m)	3200	5000	6300	7200	8700	9800

Çizelge 2.2 : Bazı Ülke Demiryolları En Yüksek Hızları (Baykal,2009)

Ülke	V_{maks} km/sa
İrlanda	175
Yunanistan	200
İsviçre	200
Portekiz	250
Türkiye	250
İngiltere	250
İspanya	300
İtalya	300
Almanya	300
Fransa	300
İsveç	350
Japonya	350
Çin	400

Çizelge 2.3 : Dünyadaki Bazı Demiryolu Firmalarının Geometrik Tasarım Değerlerinin Karşılaştırılması (Lindhal, 2001)

Proje/Organizasyon	Maksimum Tasarım Hızı (km/sa)	Maksimum Servis Hızı (km/sa)	Min Yatay Eğri Yarıçapı (m)	Min Düşey Eğri Yarıçapı (m)
Tokaido Shinkansen	-	200	2500	10000
Sanyo Shinkansen	-	180	4000	15000
Tokyo-Joetsu Shinkansen	-	180	4000	15000
Hannover - Würzburg	280	65	7000	22000
Köln-Rheim/ Mann	300	160	3350	-
TGV Paris - Sud Est	300	180	4000	12000 14000
TGV Atlantique	350	180	6250	-
Botniabanan (partly)	250	150	3200	11000

Yol araç kinematiğinin önemli bileşenleri şunlardır;

- araç hızı, araç hızı değişimi ve hız modelleri,
- araçların teknik özellikleri ve fiziksel durumları,
- hava koşulları,
- yolun yatay – düşey geometrisi ve fiziksel özellikleri (en küçük daire yayı yarıçapları, geçiş eğrisi uygulanıp uygulanmadığı, uygulanan geçiş eğrileri boyunca eğriliğin değişim fonksiyonu, en büyük dever değerleri ve dever değişim fonksiyonları, boyuna eğimler, düşey eğrilerin büyüklüğü ve eğriliklerin değişim fonksiyonları) (Baykal, 2009)

Özellikle son bileşendeki yol araç kinematiğini etkileyen büyüklüklerden kısaca bahsedilmek gerekirse;

- Zaman (T) : (saniye: sn, saat:s)
- Yol (l,L) : başlangıçtan seçilen bir noktaya kadar geçki boyunca olan ve toplam geçki yatay geometrisi uzunluğudur. (metre: m, kilometre:km)
- Hız (v) : yolun zaman göre türevidir. (m/sn, km/s)
- İvme (a) : hızın zaman göre türevidir yani $a = \frac{dv}{dT} = \frac{d^2l}{dT^2}$ 'dır. (m/sn^2)
- Gravite (g) : sabit kabul edilir. (9,81 m/sn^2)
- Sademe (Z) : ivmenin zaman göre türevidir yani $Z = \frac{da}{dT} = \frac{d^2v}{dT^2} = \frac{d^3l}{dT^3}$ dir. (m/sn^3)

Sademe seyahat konforunun belirlenmesinde en etkili faktör olduğundan eğrilerin sademe fonksiyonlarının elde edilmesi ve değerlerinin hesaplanıp analiz edilmesi gerekir. Bu konuda özellikle yanal sademe üzerinde yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu yüzden yanal sademe kavramı detaylı olarak ele alınacaktır.

2.1 Yanal Sademe

Yanal sademe, özellikle yüksek hız öngörülen demir yollarında yolculuk konforunu değerlendirmede kullanılan en önemli ölçütlerden biridir (Baykal ve diğ,1996). Bu yüzden farklı eğriliklerde geçki tasarımlarında da, bu çalışma için de yanal sademe ölçütü dikkate alınan en önemli büyüklüktür. Yanal sademe temel olarak yanal ivmenin zamana göre türevidir. Fakat yapılan çeşitli detaylı araştırmalarla birlikte birkaç bileşeninin daha olduğu belirtilmektedir.

Yanal sademe, eğrisel yörünge üzerinde (v) ani hızıyla hareket eden (m) kütleli araca etki eden serbest kuvvetlerin meydana getirdiği bileşke ivmenin, yörünge eğrisinin normali doğrultusunda zamana göre değişimi olarak tanımlanır (Baykal ve diğ, 1996).

$$Z_y = \frac{d\vec{a}}{dT}\ \vec{n} \qquad \textbf{(2.1)}$$

$\vec{a}$: Serbest kuvvetlerin oluşturduğu bileşke ivme

$\vec{n}$: Eğri normali doğrultusundaki birim vektör

$$\vec{a} = \frac{dv}{dT}\vec{t} + \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}}\left(k.v^2 - g.\frac{u}{b}\right).\vec{n} \qquad \textbf{(2.2)}$$

b : Yol platformunun yatay genişliği

u : Dever

k : Yatay eğrilik

a_t : Aracın hız vektörünün büyüklüğünü değiştiren bileşke teğetsel ivme

(2.2) eşitliği (2.1) eşitliğinde yerine koyulursa ve yola göre kısmı türevlenirse:

$$Z_y = \frac{da}{dl}\ \vec{n} = \frac{b.v}{\sqrt{u^2 + b^2}}\left(3.k.a_t + v^2\frac{dk}{dl} - \frac{k.v^2.u + g.b}{u^2 + b^2}\frac{du}{dl}\right) \qquad \textbf{(2.3)}$$

eşitliği elde edilir ki bu bağıntıyla her türlü hareket, yatay geometri ve dever koşullarına uygun yanal sademe değerleri elde edilebilir (Baykal ve diğ, 1996).

Bundan sonraki ilgili bölümlerde yola bağlı türevler alınırken yatay eğrilik, dever, ani taşıt hızının yola göre değişen büyüklükler olduğu düşünülerek, yol platformu eğik genişliği, gravite ve teğetsel ivme sabit kaldığı varsayılmıştır. (Baykal, 2009).

Sademe değeri için çeşitli çalışmalara göre sınır değerleri;

- (Schofield, 2001)'e göre şehirler arası yollarda $Z_{sınır}$ 0,3 m/sn^3 , yerleşim bölgelerinde $Z_{sınır}$ 0,6 m/sn^3 ,
- (Esveld, 1989)'a göre demir yollarında $Z_{sınır}$ 0,2 m/sn^3,
- (Förstberg, 2000)'e göre demir yollarında $Z_{sınır}$ 0,4 m/sn^3,
- (Umar ve Yayla, 1997)' ya göre kara yollarında $Z_{sınır}$ 0,6 m/sn^3,
- (Uren ve Price, 1985)' e göre $Z_{sınır}$ 0,6 m/sn^3

olan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere karayollarında maksimum sademe değeri $Z_{sınır}$ 0,6 m/sn^3 ve demiryollarında ortalama sademe değeri olarak $Z_{sınır}$ 0,3 m/sn^3 değerleri yaklaşık olarak referans alınabilir.

3. GEÇKİ YATAY GEOMETRİSİ

Geçki yatay geometrisi büyük ölçekli (1/1000, 1/2000) ve eş yükselti eğrili harita üzerinde yeryüzünün topografik yapısı dikkate alarak tasarımlanır.

Geçki yatay geometrisi belirli özelliklere sahip düzlem eğriler uç uca eklenerek oluşturulur. Bu eğriler eğrilik fonksiyonlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

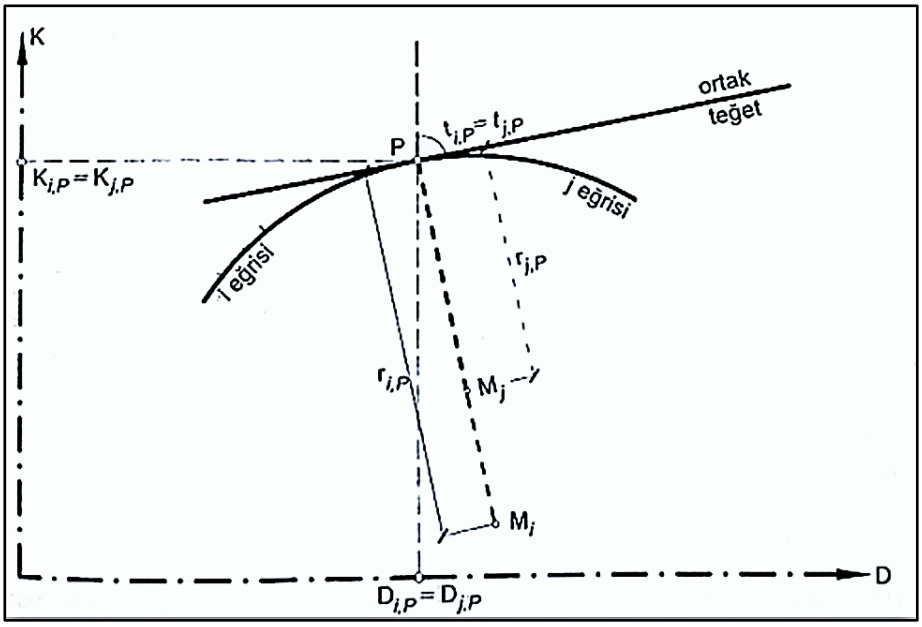
a) **1. Sınıf Eğriler :** Bu eğriler sabit eğriliğe sahip eğrilerdir. Yani doğru parçası, daire yayı gibi eğrilerdir.
b) **2. Sınıf Eğriler :** Bu eğriler sabit bir eğriliğe sahip değillerdir yani değişken eğriliğe sahiptirler. Sinüsoid, klotoid, bloss eğrisi gibi eğriler bunun yaygın bilinen örnekleridir.

Bunların dışında geçmişte iki doğru parçasını tek eğri ile birleştiren spline fonksiyonları ile yapılan çalışmalara da rastlanılmaktadır (Baykal, 2009).

3.1 Geçki Yatay Geometrisi Eğrilerinin Sağlaması Gereken Koşullar

Geçki yatay geometrisinde kullanılan eğriler ;

i. Doğru parçası
ii. Daire Yayı
iii. Geçiş eğrileri - dever rampaları



Şekil 2: Geçki Yatay Geometrisi Eğrilerinin Sağlaması Gereken Koşulların Geometrik Anlamı

Geçki yatay geometrisinde yer alan i eğrisi ile bu eğriyi izleyen j eğrisi Baykal (2009)'a göre sağlaması gereken koşullar:

i. **Ortak P Değme Noktasına Sahip Olma:**

Yani i eğrisine ait son nokta ile j eğrisine ait ilk nokta her iki eğrinin ortak noktası olur.

$$D_{i,P} = D_{j,P} \quad , \qquad K_{i,P} = K_{J,P} \tag{3.1}$$

ii. **P Noktasında Ortak Teğete Sahip Olma :**

Yani eğrilerin P noktasında eşit açıklık açısına sahip olması. Bu koşulla P değme noktasında her iki eğriye ait eğrilik yarıçapı doğrultuları çakıştırılmış olur. Ancak eğrilik yarıçapları eşit olmaz.

$$t_{i,P} = t_{j,P} \tag{3.2}$$

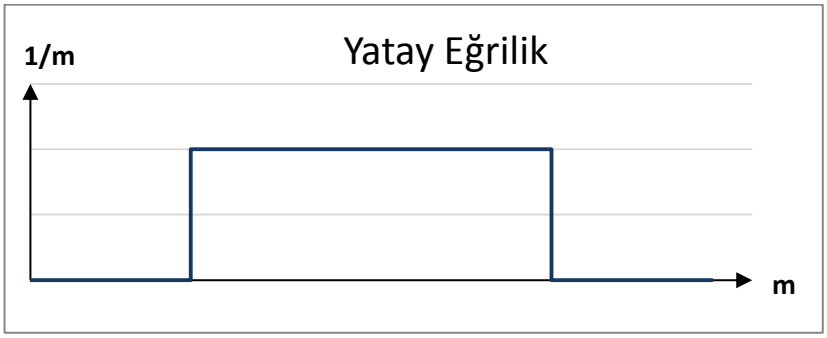
(3.1) ve (3.2) koşullarını tüm geçiş eğrileri sağlamalıdırlar.

iii. **Eşit Eğrilik Yarıçapına (Eşit Eğriliğe) Sahip Olma:**

Yani geçki yatay geometrisinin eğrilik diyagramındaki sıçrama biçimindeki süreksizlikleri önleyen bu koşul, hızların artmasına bağlı olarak yolculuk güvenliği ve konforu açısından önem kazanmış ve geçiş eğrilerinin kullanılması sonucunu doğurmuştur.

$$r_{i,P} = r_{j,P} \tag{3.3}$$

Yalnızca geçiş eğrilerince sağlanan koşul 3, yüksek hızlar için gerekli fakat yeterli değildir. Çünkü P noktasındaki kırık biçimindeki süreksizliklerin önüne geçememektedir.



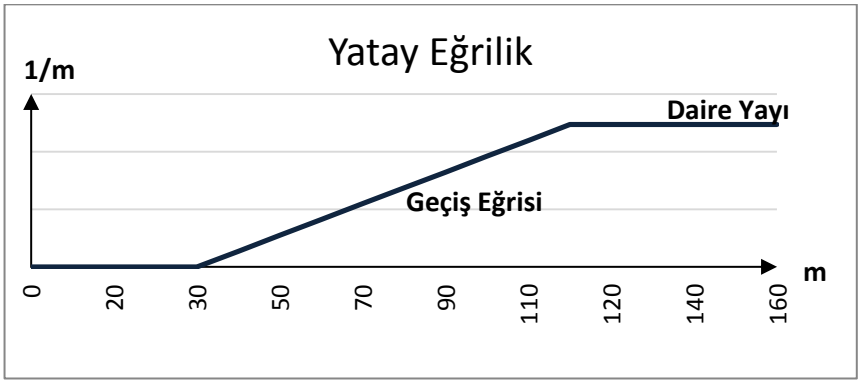
Şekil 3: Sıçrama biçiminde süreksizlik

iv. **Eğrilik Fonksiyonlarının Ortak Teğete Sahip Olması:**

Yani i ve j eğrilerinin eğrilik fonksiyonları $k_i=k_i(l)$ ve $k_j=k_j(l)$ 'ye göre birinci türevlerinin P noktasında eşit olmasıdır.

$$k'_{i,p} = k'_{j,p} \tag{3.4}$$

Böylelikle $k_i(l)$ ve $k_j(l)$ eğrilik fonksiyonları P noktasında ortak teğete sahip olurlar ve eğrilik diyagramındaki kırık biçimindeki süreksizlikleri giderirler. Yüksek hızlı demiryollarında konfor için önemli olan bu koşulu, kullanımı yaygın geçiş eğrisi olan klotoit sağlamamaktadır.



Şekil 4: Kırıklık biçiminde süreksizlik

v. **Eğrilik Fonksiyonlarının Eşit Eğriliğe (eğrilik yarıçapına) Sahip Olması:**

Yani i ve j eğrilerinin eğrilik fonksiyonları $k_i=k_i(l)$ ve $k_j=k_j(l)$ 'ye göre ikinci türevlerinin P noktasında eşit olmasıdır.

$$k''_{i,p} = k''_{j,p} \quad \textbf{(3.5)}$$

Çok hızlı demir yollarında önem kazanan bu koşul az sayıda geçiş eğrisi tarafından sağlanmaktadır.

Çizelge 3: Birleşim noktaları için sınır koşulları

$l = 0 \rightarrow k = 0$	$l = 0 \rightarrow k' = 0$	$l = L \rightarrow k' = 0$	$l = L \rightarrow k = 1/R$
Kurbun başlangıç noktasında eğri alinymanla teğet olmalıdır.	Eğri başlangıç noktasında alinyimana teğet olmalıdır.	Eğri bitiş noktasında alinyimana teğet olmalıdır.	Geçiş eğrisi daire yayı ile birleştiği noktalarda dairenin eğrilik değerine sahip olmalıdır.

3.2 Geçiş Eğrilerinin Eğrilik ve Dever Fonksiyonları

3.2.1 Klotoit bileşik eğrisi

Klotoit eğrisinin temel özelliği eğriliğinin lineer değişmesidir.

$k(l) = a + b.l$ eğrilik fonksiyonundaki a ve b katsayılarını bulmak için bölüm 3.1'de ifade edilen koşullardan sınır geçiş eğrisinin başlangıç ve bitiş sınır koşulları elde edilir ve bu koşullara göre denklemler oluşturularak katsayılar elde edilir.

Çizelge 3'teki sınır koşullarına göre;

0 = a + b.0 'dan a = 0 bulunur.

1/R = a + b.L 'den b = 1/L.R bulunur.

Bulunan a ve b değerleri fonksiyonda yerine konulur ve klotoidin eğrilik fonksiyonu $k(l) = \frac{l}{L.R}$ elde edilir.

Daire yayına kadar bu şekilde artarak devam eden eğrilik fonksiyonu daire yayı boyunca 1/R değeri ile ve 2. klotoit başlangıcından itibaren $k(l) = \frac{(L-l)}{L.R}$ fonksiyonu ile azalarak devam eder eğrilik değeri sıfır olan alinymanla birleşerek sonlanır.

$$k(l) = \begin{cases} \frac{l}{L_1.R} & , \quad 0 \le l \le L_1 \\ \frac{1}{R} & , \quad L_1 \le l \le L_1 + L_2 \\ \frac{(L_3 - l)}{L_3.R} & , \quad L_1 + L_2 \le l \le L_1 + L_2 + L_3 \end{cases} \quad \textbf{(3.6)}$$

Uygulamalarda L.R=A^2 sabit eşitliği ile tanımlanan A parametresinden R yarıçap değerleri her nokta için elde edilmektedir.

Dever uygulaması için kullanılacak fonksiyonun eğrilik fonksiyonlarıyla benzer yapıya sahip olması gerektiği öngörülmektedir. (Esveld, 1989) Yani klotoit eğrisi için dever fonksiyonu $u(l) = \frac{u_{maks.l}}{L}$ elde edilmektedir.

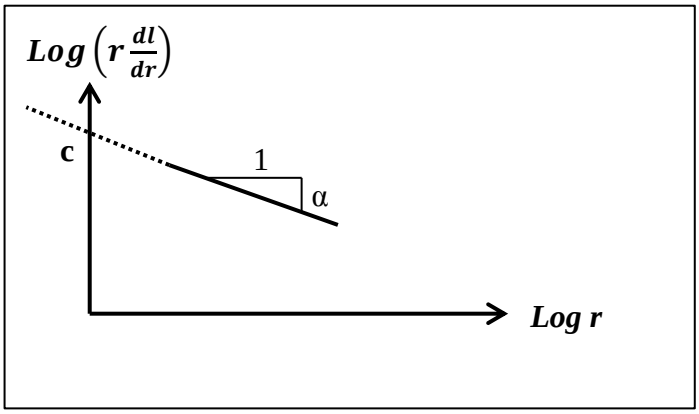
$$u(l) = \begin{cases} \frac{u_{maks.l}}{L_1} & , \quad 0 \leq l \leq L_1 \\ u_{maks} & , \quad L_1 \leq l \leq L_1 + L_2 \\ \frac{u_{maks}.(L_3 - l)}{L_3} & , \quad L_1 + L_2 \leq l \leq L_1 + L_2 + L_3 \end{cases} \quad \textbf{(3.7)}$$

4. LOG ESTETİK EĞRİLERİ

Log estetik eğrileri endüstriyel tasarım gereksinimlerini karşılamak üzere görsel hoş şekiller tasarlamak için geliştirilmiştir. Log-estetik eğrileri kesin integrallerle ve eğri parçaları elde etmek için kullanılabilen uyarlanabilir gauss kareleme yöntemleriyle tanımlanırlar. Bugüne kadar, bu integraller şekil parametresi α'nın sadece kısıtlı değerleri (0, 1, 2) için analitik olarak değerlendirilmiştir (Ziatnidov ve diğ, 2012).

2000'li yıllarda tanıtılan log-estetik eğrileri tekdüze (monoton) değişen eğrilik gösterirler çünkü doğrusal logaritmik eğrilik diyagramları (LCGs) vardır. Logaritmik eğrilik diyagramları doğrusal olan eğriler ve logaritmik eğrilik diyagramları doğrusala yakın olan quasi-log estetik eğrileri, log estetik eğrileri olarak adlandırılırlar (Yoshida and Saito, 2006).

Bu iki tür eğri de estetik şekil modelleme için kullanılabilir ve yeni nesil CAD (Bilgisayar destekli çizim) sistemlerinin önemli bir bileşeni olabilirler. Log estetik eğrileri de bilgisayar destekli estetik tasarım anlamında düşünülebilir ki bunda tasarımcılar bir eğrinin eğrilik veya eğrilik yarıçapı grafiklerine bakarak eğrilerin kalitelerini değerlendirirler (Ziatnidov ve diğ, 2012).



Şekil 5: Logaritmik eğrilik diyagramında α parametresinin geometrik anlamı (Yoshida and Saito, 2006)

4.1 Log Estetik Eğrilerinin Eşitlikleri ve Özellikleri

Log-estetik eğrilerinin bir eğrilik yarıçapına sahip olduğu ve bunun da yay uzunluğunun fonksiyonu olduğu şekilde tanımlanmıştır.

$$log\left(r\frac{dl}{dr}\right) = a.log(r) + c \qquad \textbf{(4.1)}$$

Eşitlik 4.1'deki c sabiti= -log λ olarak ve bir log-estetik eğrisinin türünü belirleyen şekil parametresi α eğimli bir doğrunun kesişiminin koordinatları (0,c) (Bkz. Şekil5) göz önüne alınarak eşitlik (4.1) yeniden düzenlenirse eşitlik (4.2) elde edilir.

$$\frac{dl}{dr} = \frac{r^{\alpha-1}}{\lambda} \qquad \textbf{(4.2)}$$

yani α'nın farklı değerlerine değerleri için eğrilik değişeceğinden farklı eğriler elde edilir.

Bir log-estetik eğrisinin bir formülünü elde etmek için eğri üzerinde bir referans noktası (P_R) göz önünde bulundurmanız gerekir. Bu nokta eğri üzerinde eğrilik yarıçapı 0 (sıfır) ve ∞ (sonsuz) olan noktalar haricinde her nokta olabilir.

Daha sonra eşitlik (4.2)'nin yarıçap r'ye göre integrali alınarak Cesaro Eşitliği olarak bilinen esas log estetik eğri eşitliği elde edilir (Ziatnidov ve diğ, 2011).

$$\mathrm{r(l)} = \begin{cases} e^{\lambda.l} & , \quad \alpha = 0 \\ (\lambda.\alpha.l + 1)^{1/\alpha} & , \quad diğer \end{cases} \qquad \textbf{(4.3)}$$

α = log estetik eğrisinin birinci parametresi olan α logaritmik eğrilik diyagramındaki eğimdir.

λ = log estetik eğrisinin ikinci parametresidir. $\lambda = e^{-c}$ yani $0 < \lambda < \infty$ değer aralığıyla yaygınlıkla bilinen düzenli bir eğri eğriliğinin geometrik yorumu ortaya çıkar.

$$\kappa = \frac{1}{r} = \frac{d\theta}{dl} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Log estetik eğrilerinin aplikasyonu için gerekli elemanlar olan teğet açıları ve X,Y koordinatları elde edilmelidir.

Bunun için eşitlik (4.3) eşitlik (4.4)'te yerine konulur ve 0'dan *l*'ye kadar *l*'ye göre integre edilirse Whewell Eşitliği elde edilir ki bu da teğet açısını yay uzunluğuna göre veren eşitliktir (Ziatnidov ve diğ, 2011).

$$\theta(l) = \begin{cases} \dfrac{1 - e^{-\lambda.l}}{\lambda}, & a = 0, \\ \dfrac{\log(\lambda.l + 1)}{\lambda}, & a = 1, \\ \dfrac{(\lambda.\alpha.l + 1)^{1-\frac{1}{\alpha}} - 1}{\lambda.(\alpha - 1)}, & diğer \end{cases} \quad \textbf{(4.5)}$$

Eşitlik (4.2) ve (4.4)‘ ten;

$$\frac{d\theta}{dr} = \frac{dl}{r.dr} = \frac{r^{a-2}}{\lambda} \quad \textbf{(4.6)}$$

şitliği elde edilir. Devamında eşitliğin teğet açısına göre integrali alınırsa log estetik eğrilerinin yarıçap uzunluklarını teğet açısına göre veren eşitlik elde edilir.

$$r(\theta) = \begin{cases} e^{\lambda.\theta}, & \alpha = 1 \\ ((\alpha - 1).\lambda.\theta + 1)^{\frac{1}{\alpha-1}}, & diğer \end{cases} \quad \textbf{(4.7)}$$

Eşitlik (4.7)’nin eğri üzerindeki bir noktanın teğet açısına göre (ψ) integrali alınır ve böylelikle eğri üzerindeki bir noktanın koordinatlarını veren eşitlikler elde edilir.

$$x(\psi) = \int_0^{\psi} r(\theta).\cos\theta\,.d\theta \quad \textbf{(4.8)}$$

$$y(\psi) = \int_0^{\psi} r(\theta).\sin\theta\,.d\theta \quad \textbf{(4.9)}$$

Bu integralleri çözmek için eksik (tamamlanmamış) gama fonksiyonları kullanılır ve X, Y değerleri analitik olarak elde edilir (Ziatnidov ve diğ, 2011).

4.2 Log Estetik Eğrilerinin Eğrilik Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Bölüm 4.1’de log estetik eğrilerinin yay uzunluklarına göre yarıçap değerlerini veren eşitlik (4.3), $\kappa = \frac{1}{r}$ ifadesinde yerine koyularak log estetik eğrilerinin yay uzunluğuna göre eğrilik fonksiyonu elde edilir.

$$\kappa = (\lambda.\alpha.l + 1)^{-1/\alpha} \quad \textbf{(4.10)}$$

Eğrilik değerlerini yay uzunluğuna göre değişimini veren eşitlik (4.10)’u geçiş eğrisi olarak geçki tasarımında kullanmak için λ parametresini bölüm 3.1’de belirtildiği üzere:

l=0 için κ(0)=0 yani eğrilik değeri alinyimandan (κ=0) başlayarak.

l=L için κ(L)=1/R değerine yani daire yarıçapına eşitlenmesi gerektiğinden R'ye bağlı elde etmek gerekir.

α'nın farklı değerleri için sınır değerlerine göre λ değerleri hesaplanarak ayrı ayrı eğrilik fonksiyonları elde edilir:

- α=1 için $\kappa = (\lambda . l + 1)^{-1}$

  $\kappa(0)$ ve $\kappa(L)$' den ve $\lambda = \frac{R-1}{L}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{(R-1).l}{L} + 1\right)^{-1} \qquad \textbf{(4.11)}$$

  (4.11) eşitliği elde edilir.

- α=2 için $\kappa = (2.\lambda . l + 1)^{-1/2}$

  $\kappa(0)$ ve $\kappa(L)$' den ve $\lambda = \frac{R^2-1}{2.L}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{(R^2-1).l}{L} + 1\right)^{-1/2} \qquad \textbf{(4.12)}$$

  (4.12) eşitliği elde edilir.

- α=3 için $\kappa = (3.\lambda . l + 1)^{-1/3}$

  $\kappa(0)$ ve $\kappa(L)$' den ve $\lambda = \frac{R^3-1}{3.L}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{(R^3-1).l}{L} + 1\right)^{-1/3} \qquad \textbf{(4.13)}$$

  (4.13) eşitliği elde edilir.

α'nın 1,2,3 değerlerine göre elde edilen (4.11) ,(4.12), (4.13) denklemlerinde κ(0)=0 eşitliği sağlanmamaktadır. Çünkü $\kappa = (\lambda . \alpha . 0 + 1)^{-1/\alpha}$ ifadesi α'nın değerinden bağımsız olarak her zaman 1 (bir) çıkmaktadır. Bu sorunu çözmek için eğrilik fonksiyonu $\kappa = (\lambda . l + 1)^{-1} + \gamma$ varsayılmıştır ɣ ve λ parametreleri sınır koşullarına göre tekrar elde edilmiştir.

- α=1 için $\kappa = (\lambda . l + 1)^{-1} + \gamma$

  $\kappa(0)$ ve $\kappa(L)$‘ den $\gamma = -1$ ve $\lambda = -\frac{l}{L.R+L}$ elde edilir ve eşitlikte yerlerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{-l}{L.R + L} + 1\right)^{-1} - 1 \qquad \textbf{(4.14)}$$

  (4.14) eşitliği elde edilir.

- α=2 için $\kappa = (2.\lambda . l + 1)^{-1/2} + \gamma$

  k(0) ve k(L)‘ den $\gamma = -1$ ve $\lambda = -\frac{-2.R-1}{2.L.(R+1)^2}$ elde edilir ve eşitlikte yerlerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{(-2.R - 1).l}{L.(R + 1)^2} + 1\right)^{-1/2} - 1 \qquad \textbf{(4.15)}$$

  (4.15) eşitliği elde edilir.

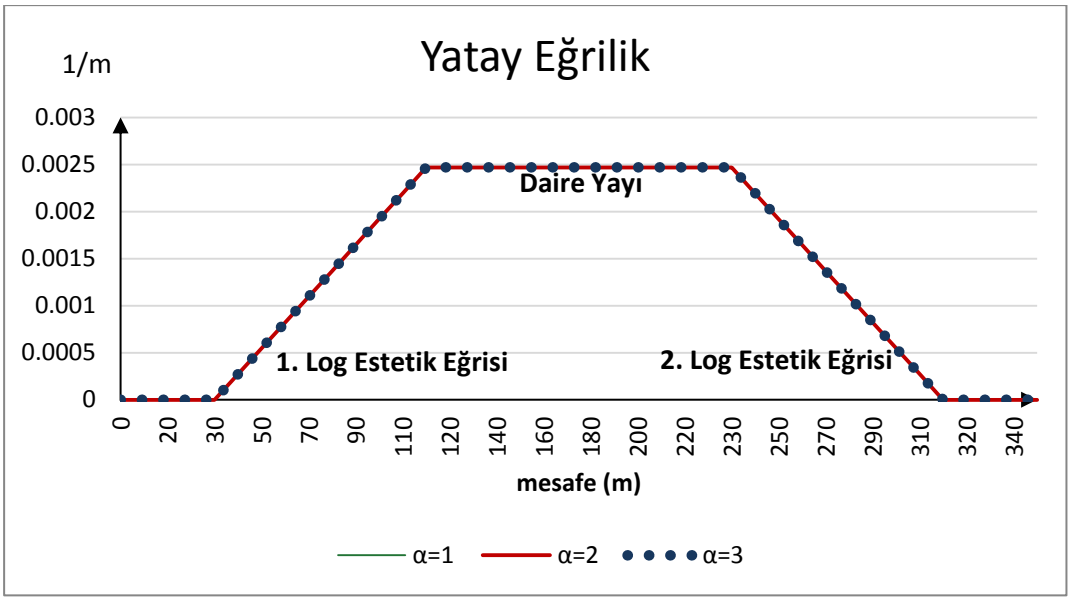
- α=3 için $\kappa = (3.\lambda . l + 1)^{-1/3} + \gamma$

  $\kappa(0)$ ve $\kappa(L)$‘ den $\gamma = -1$ ve $\lambda = -\frac{(-3.R^2-3.R-1)}{3.L.(R+1)^3}$ elde edilir ve eşitlikte yerlerine yazılır.

$$\kappa = \left(\frac{(-3.R^2 - 3.R - 1).l}{L.(R + 1)^3} + 1\right)^{-1/3} - 1 \qquad \textbf{(4.16)}$$

  (4.16) eşitliği elde edilir.

Elde edilen eğrilik fonksiyonları L=90m uzunluğundaki bir geçiş eğrisi olarak kullanılarak R=405m yarıçapına sahip daire yayı ile birleştirilerek eğrilik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6: α=1,2,3 eğrileri için eğrilik diyagramı

Eğrilik diyagramlarının hemen hemen aynı çıkması sonucu α olarak α=10, 100 değerleri için de eğrilik fonksiyonları elde edilmiştir.

- α=10 için $\kappa = (10.\lambda.l + 1)^{-1/10} + \gamma$

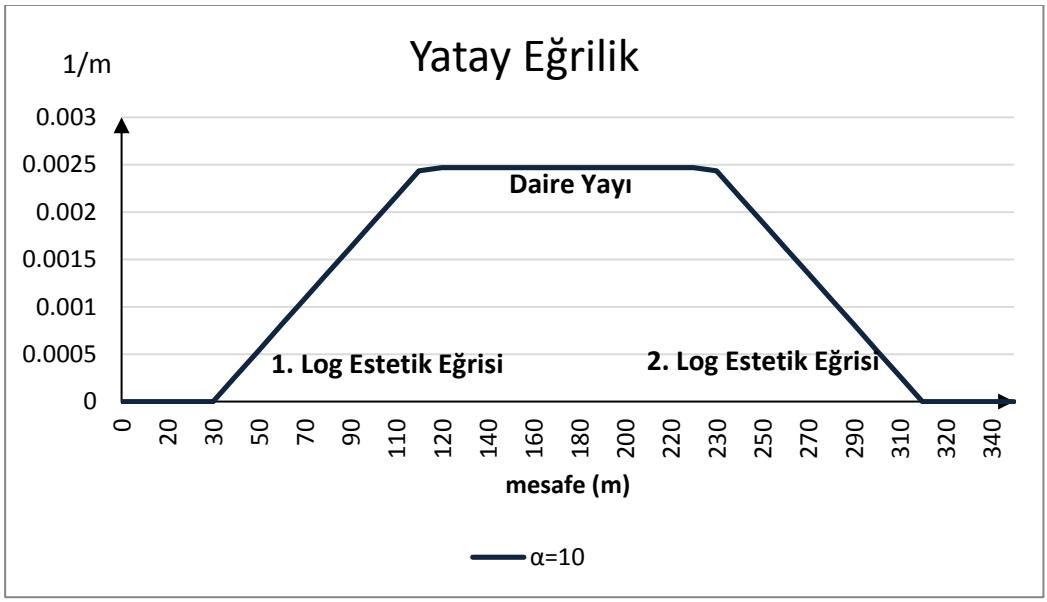
  k(0) ve k(L)‘ den ɣ = -1

  ve $\lambda = \frac{(-10.R^9-45.R^8-120.R^7-210.R^6-252.R^5-210.R^4-120.R^3-45.R^2-10.R-1)}{10.L.(R+1)^{10}}$ elde

  edilir ve eşitlikte yerlerine yazılır.

  $\kappa = \left(\frac{(-10.R^9-45.R^8-120.R^7-210.R^6-252.R^5-210.R^4-120.R^3-45.R^2-10.R-1).l}{10.L.(R+1)^{10}} 1\right)^{-1/3} -$

  1 eşitliği elde edilir.



Şekil 7: a=10 eğrisi için eğrilik diyagramı

- α=100 için $\kappa = (100.\lambda.l + 1)^{-1/100} + \gamma$

  k(0) ve k(L)‘ den ɣ = -1 ve

  $\lambda = \frac{(-100.R^{99} - 4950.R^{98} - 161700.R^{97} - \ \dots\ - 161700.R^{3} - 4950.R^{2} - 100.R - 1)}{(100.L.R^{100} + 10000.L.R^{99} + \ \dots\ + 1000.L.R + 100.L)}$ elde edilir.

  ɣ ve λ yerine koyulur ve

  $\kappa = \left(\frac{(-100.R^{99} - 4950.R^{98} - 161700.R^{97} - \ \dots\ - 161700.R^{3} - 4950.R^{2} - 100.R - 1).l}{(100.L.R^{100} + 10000.L.R^{99} + \ \dots\ + 1000.L.R + 100.L)} + 1\right)^{-1/100} - 1$ eşitliği elde edilir. Elde edilen eşitlik Ek 1’ de mevcuttur.

α=100 için eğrilik bulunan eğrilik fonksiyonu çok fazla satır kapladığından diyagramı çizdirilmemiştir fakat diyagramın aynı α=1,2,3,10 diyagramları ile çok benzer olması beklenmektedir çünkü fonksiyon her artan α değeri için binom açılımı eğilimi göstermektedir.

Log estetik eğrilerinin eğrilik diyagramlarına bakıldığı zaman (Bkz. Şekil 6 ve 7) birleşme noktalarında bölüm 3.1’de bahsedilen koşul 4’ün sağlanmadığı anlaşılmaktadır. (Bkz. Bölüm 3.1) Bu koşula göre log estetik eğrilerinin birleşim noktalarında teğetlerinin daire yayı ve alinyimanla teğet olması yani sıfır olması beklenir. Log estetik eğrilerinin teğetlerini elde etmek için eğrilik fonksiyonlarının birinci türevleri elde edilmelidir.

l=0 → k'(0)=0

l=L → k'(L)=0 olmalıdır.

- α=1 için $k' = \frac{L.R}{(-l + L.R + L)^2}$:

$$k'(0) \to \frac{L.R}{(L.R + L)^2} \neq 0 \qquad \textbf{(4.17)}$$

$$k'(L) \to \frac{1}{L.R} \neq 0 \qquad \textbf{(4.18)}$$

(4.17) ve (4.18) eşitsizlikleri ile koşul 4 sağlanmamaktadır.

- =2 için $k' = \frac{2.R+1}{2.L.(R+1)^2.\left(\frac{(-2.R-1).l}{L.(R+1)^2}+1\right)^{3/2}}$:

$$k'(0) \to \frac{2.R + 1}{2.L.(R + 1)^2} \neq 0 \qquad \textbf{(4.19)}$$

$$k'(L) \to \frac{2.R + 1}{2.L.(R + 1)^2.\left(\frac{(-2.R - 1)}{(R + 1)^2} + 1\right)^{3/2}} \neq 0 \qquad \textbf{(4.1)}$$

(4.19) ve (4.20) eşitsizlikleri ile koşul 4 sağlanmamaktadır.

- α=3 için $k' = \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3.\left(\frac{(-3.R^2-3.R-1).l}{L.(R+1)^3}+1\right)^{4/3}}$:

$$k'(0) \rightarrow \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3} \neq 0 \quad \textbf{(4.21)}$$

$$k'(L) \rightarrow \frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3.\left(\frac{(-3.R^2-3.R-1)}{(R+1)^3}+1\right)^{4/3}} \neq 0 \quad \textbf{(4.22)}$$

(4.21) ve (4.22) eşitsizlikleri ile koşul 4 sağlanmamaktadır.

Koşul 4'ün sağlanmaması sonucu eğrilik diyagramlarında kırık biçiminde süreksizlikler meydana gelmektedir. (Bkz. Şekil 4)

4.3 Log Estetik Eğrilerinin Dever Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Bölüm 3.2.1'de bahsedildiği üzere dever fonksiyonu eğrilik fonksiyonuna benzerlik gösterdiğinden α değerleri için eğrilik fonksiyonlarına bağlı olarak dever fonksiyonları elde edilmiştir:

- α=1 için $u = (\lambda.l+1)^{-1} + \gamma$

  $u(0)$ ve $u(L)$' den $\gamma = -1$ ve $\lambda = -\frac{u}{L.u+L}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$u(l) = \left(\frac{-l.u}{L.u+L}+1\right)^{-1} - 1 \quad \textbf{(4.23)}$$

  (4.23) eşitliği elde edilir.

- α=2 için $u = (2.\lambda.l+1)^{-1/2} + \gamma$

  $u(0)$ ve $u(L)$' den $\gamma = -1$ ve $\lambda = \frac{-2.u-u^2}{2.L.(u+1)^2}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$u(l) = \left(\frac{-l.(u^2+2.u)}{L.(u+1)^2}+1\right)^{-1/2} - 1 \quad \textbf{(4.24)}$$

  (4.24) eşitliği elde edilir.

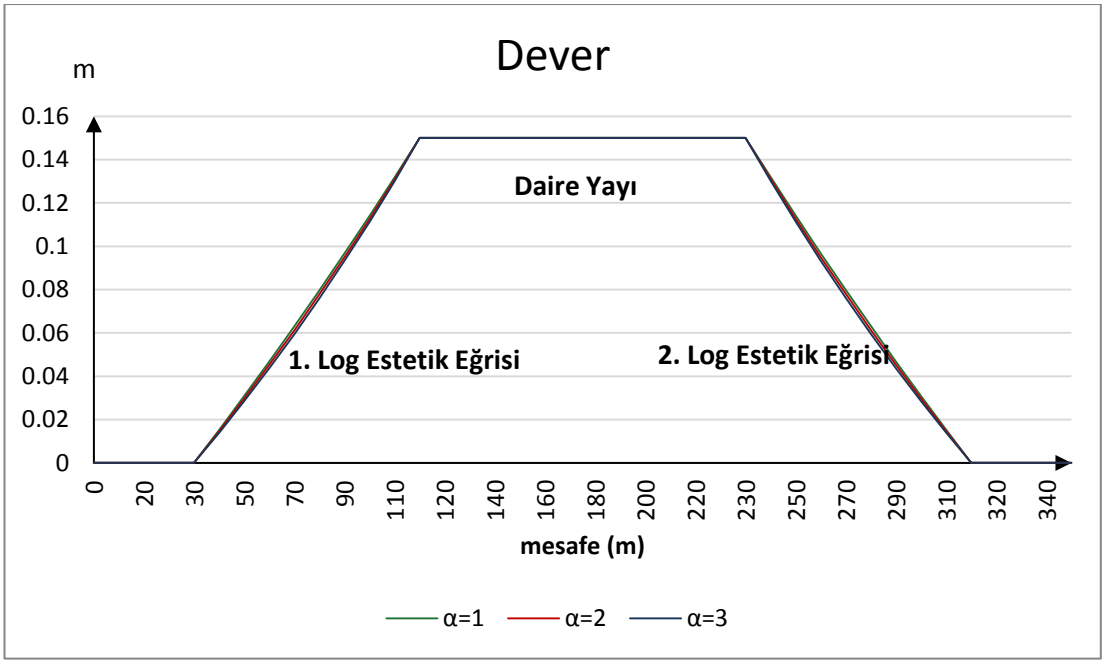
- α=3 için $u = (3.\lambda.l+1)^{-1/3} + \gamma$

  $u(0)$ ve $u(L)$' den $\gamma = -1$ ve $\lambda = \frac{-u^3-3.u^2-3.u}{3.L.(u+1)^3}$ elde edilir ve eşitlikte yerine yazılır.

$$u(l) = \left(\frac{-l.(u^3 + 3.u^2 + 3.u)}{L.(u+1)^3} + 1\right)^{-1/3} - 1 \qquad \textbf{(4.25)}$$

(4.25) eşitliği elde edilir.

(4.23), (4.24), (4.25) dever fonksiyonları için u_{maks}=0.15m olacak şekilde dever diyagramı çizdirilmiştir.



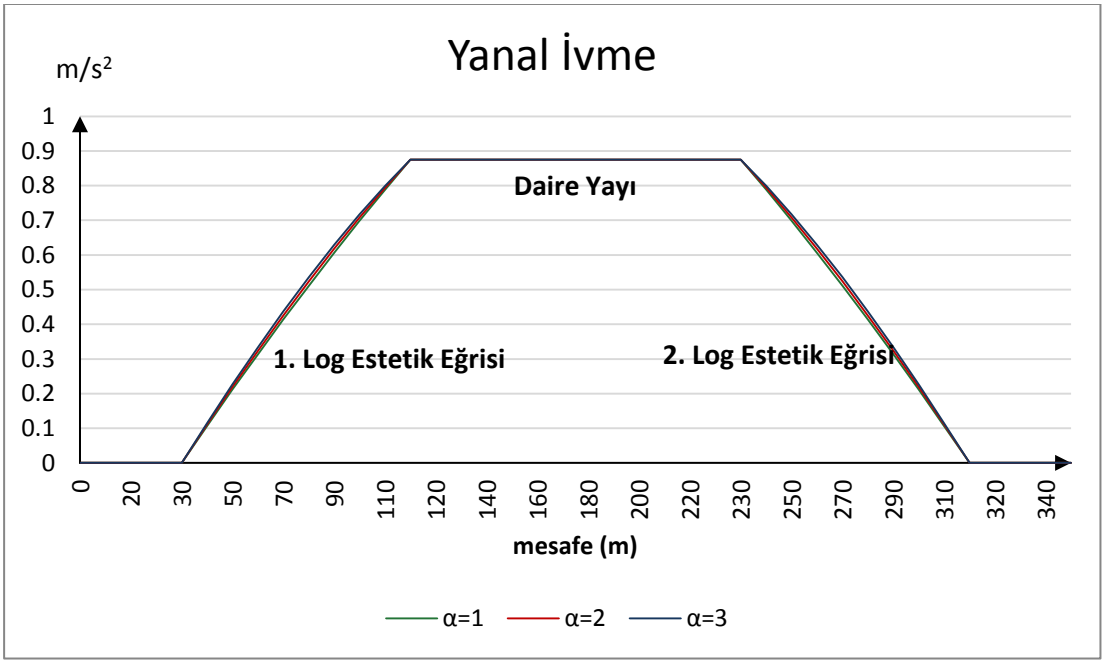
Şekil 8: α=1,2,3 eğrileri için dever diyagramı

4.4 Log Estetik Eğrilerinin Yanal Sademe Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Bölüm 2' de açıklandığı üzere yanal ivme, yanal sademe ile doğrudan ilgilidir. Eşitlik (2.2) ile eğri üzerindeki yanal ivme değerleri;

Yol platformunun yatay genişliği	: 1,435 m
Dairesel eğrilik yarıçapı	: 405 m
log estetik eğrileri için minimum eğrilik yarıçapı	: 405m
Maksimum dever	: 0,15 m
Geçiş eğrisi uzunluğu	: 90 m
Proje hızı	: 100 m/s

Yayla (2009) referans alınarak bir demiryolu projesi için tasarlanan büyüklükler kullanılarak log estetik eğrilerinin yanal ivme değerleri sabit hızlı hareket modelinde elde edilmiştir.



Şekil 9: α=1,2,3 eğrileri için yanal ivme diyagramı

Eğrilerin sademe değerlerini elde etmek için öncelikle log estetik eğrilerinin sademe fonksiyonları elde edilmelidir. Eşitlik (2.3)'e göre eğrilerin sademe fonksiyonlarının elde edilebilmesi için eğrilerin eğrilik ve dever fonksiyonlarının yay uzunluğuna göre anlık değişimlerini yani türevlerini elde etmek gerekir. Bu sebeple log estetik eğrilerinin eğrilik ve dever fonksiyonlarının yay uzunluğuna göre türevleri alınarak (2.3) eşitliğinde yerine yazılır ve log estetik eğrilerinin sademe fonksiyonları elde edilir.

α=1 için eğrilik fonksiyonunun birinci türevi:

$$\frac{\partial k(l)}{\partial l} = \frac{L.R}{(-l + L.R + L)^2} \qquad \textbf{(4.26)}$$

α=1 için dever fonksiyonunun birinci türevi:

$$\frac{\partial u(l)}{\partial l} = \frac{u.(L.u + L)}{(-l.u + L.u + L)^2} \qquad \textbf{(4.27)}$$

(4.26) ve (4.27) eşitlikleri elde edilir ve eşitlik (2.3)'te yerine yazılırak α=1 olan log estetik eğrisinin yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

$$Z_{\alpha,1} = \frac{da}{dl}\ \overrightarrow{n}$$

$$= \frac{b.v}{\sqrt{u^2+b^2}}\left(3.k.a_t + v^2\frac{L.R}{(-l+L.R+L)^2} - \frac{k.v^2.u+g.b}{u^2+b^2}\frac{u.(L.u+L)}{(-l.u+L.u+L)^2}\right) \quad \textbf{(4.28)}$$

(4.28) eşitliği elde edilir.

Aynı şekilde α=2 ve α=3 log estetik eğrileri için de eğrilik ve dever fonksiyonlarının türevleri alınır ve (2.3) eşitliğinde yerine yazılarak eğrilerin yanal sademe fonksiyonları elde edilir.

α=2 olan log estetik eğrisinin sademe fonksiyonu:

$$Z_{\alpha,2} = \frac{da}{dl}\ \overrightarrow{n}$$

$$= \frac{b.v}{\sqrt{u^2+b^2}}\left(3.k.a_t + v^2\frac{2.R+1}{2.L.(R+1)^2.\left(\frac{(-2.R-1).l}{L.(R+1)^2}+1\right)^{3/2}} - \frac{k.v^2.u+g.b}{u^2+b^2}\frac{u^2+2.u}{2.L.(u+1)^2.\left(\frac{-l.(u^2+2.u)}{L.(u+1)^2}+1\right)^{3/2}}\right) \quad \textbf{(4.29)}$$

(4.29) eşitliği elde edilir.

α=3 olan log estetik eğrisinin sademe fonksiyonu:

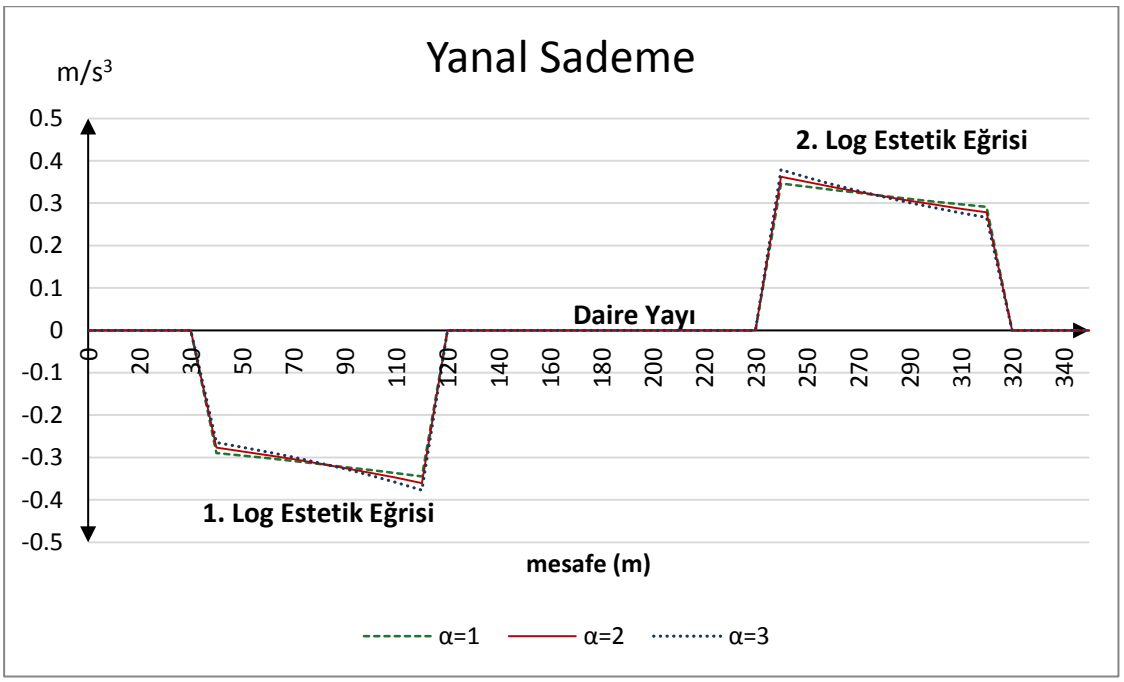
$$Z_{\alpha,3} = \frac{da}{dl}\ \overrightarrow{n}$$

$$= \frac{b.v}{\sqrt{u^2+b^2}}\left(3.k.a_t + v^2\frac{3.R^2+3.R+1}{3.L.(R+1)^3.\left(\frac{(-3.R^2-3.R-1).l}{L.(R+1)^3}+1\right)^{4/3}} - \frac{k.v^2.u+g.b}{u^2+b^2}\frac{u^3+9.u^2+3.u}{3.L.(u+1)^3.\left(\frac{-l.(u^3+9.u^2+3.u)}{L.(u+1)^3}+1\right)^{4/3}}\right) \quad \textbf{(4.30)}$$

(4.30) eşitliği elde edilir.

4.5 Log Estetik Eğrilerinin Yanal Sademe Fonksiyonlarına Göre İncelenmesi

Bölüm 4.4 te elde edilen yanal sademe fonksiyonları (4.28), (4.29, (4.30) ve bölüm 4.4'teki büyüklükler kullanılarak log estetik eğrilerinin yanal sademe değerleri sabit hızlı modelde elde edilmiştir.



Şekil 10: α=1,2,3 eğrileri için yanal sademe diyagramı

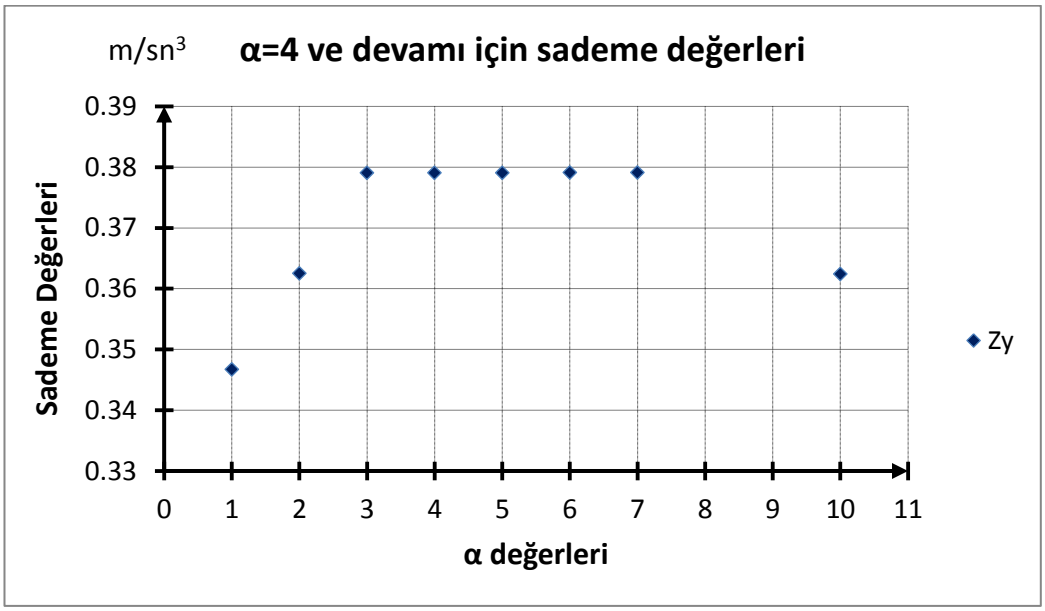
Bölüm 4.3'te belirtildiği üzere koşul 4'ün sağlanmaması ile eğrilik diyagramlarında çıkan kırılma süreksizlikleri sonucu ana noktalarda yanal sademe diyagramında istenmeyen durum olan sıçrama süreksizliği ortaya çıkmaktadır. Şekil 10'a göre üç eğri için de sademe değerleri ana noktalarda sıçrama göstermektedir. Sıçramalar arası yani 0+030 ile 0+0120 ve 0+230 ile 0+320 kilometreleri arası sademe değerleri ise 0,26-0,38 m/s^3 arasında değişmektedir. Diyagramdan anlaşılacağı üzere maksimum genlik α değerine göre az miktar da olsa değişkenlik göstermektedir.

- α=1 için maksimum genlik ±0,34 m/s^3
- α=2 için maksimum genlik ±0,36 m/s^3
- α=3 için maksimum genlik ±0,38 m/s^3

Bu şekilde α değerlerine göre bir artış eğilimi göstermektedirler. Aynı şekilde diyagramın sıçramalar arası kalan kısımlarında da α değerlerine göre eğim oranı değişmektedir. Yani α değeri büyüdükçe sıçrama noktaları arasındaki genlik farkı da artmaktadır.

- α=1 için ekstremum genlikler ±0,29 - 0,34 m/s^3
- α=2 için ekstremum genlikler ±0,28 - 0,36 m/s^3
- α=3 için ekstremum genlikler ±0,26 - 0,38 m/s^3

Yanal sademe değerlerinin α değerlerine göre ortalama 0,02 m/s^3 artış göstermesi üzerine α=4 ve sonrası için yanal sademe değerlerinin nasıl devam ettiği araştırıldı ve hepsi için aynı büyüklükler ile yanal sademe değerleri hesaplandı. (Bkz. Şekil 11)

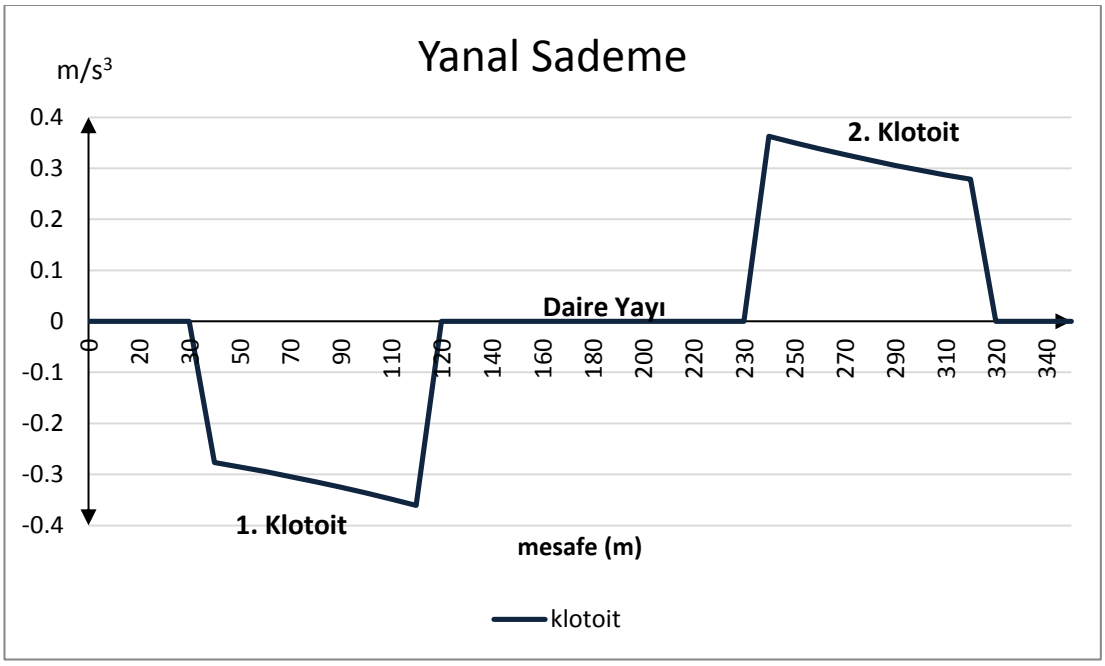


Şekil 11: α = 1,2,3,4,5,6,7 ve 10 için sademe değerleri

5. KARŞILAŞTIRMA

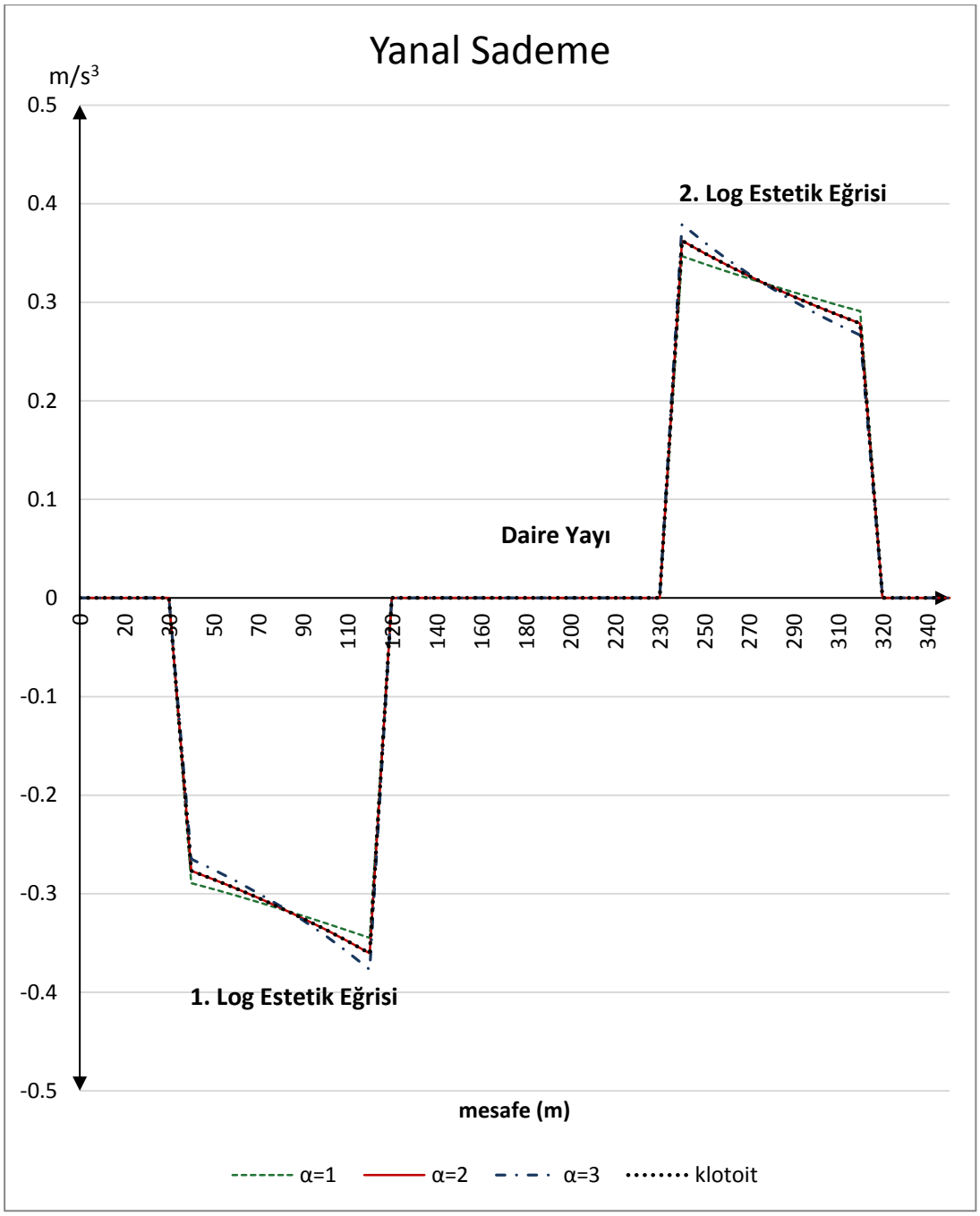
Log estetik eğrilerinin farklı α değerlerine göre elde edilen sademe değerleri genel olarak birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Eğrilik fonksiyonları farklı gözükmesine rağmen elde edilen sademe fonksiyonları benzer şekilde birleşim noktalarında sıçrama süreksizliğine sahiptir.

Bölüm 4.4'teki büyüklüklerin aynıları kullanılarak klotoit için de sademe değerleri elde edilmiştir.



Şekil 12: Klotoit için yanal sademe diyagramı

Klotoit için elde edilen yanal sademe diyagramı log estetik eğrileri için elde edilen yanal sademe diyagramına (Bkz. Şekil 10) benzerlik göstermektedir.



Şekil 13: Klotoit ve log estetik eğrileri için yanal sademe diyagramı

Şekil 12'ye göre ise klotoit ile α=2 olan log estetik eğrisinin yanal sademe diyagramları çakışıktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada genellikle endüstriyel ürünlerin tasarımında kullanılan log estetik eğrilerinin geçki yatay geometrisinde geçiş eğrisi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Araştırılan eğriler için geçiş eğrilerinin yaygın tasarım biçimi olan bileşik eğri (geçiş eğrisi- dairesel kurb-geçiş eğrisi) yapısı kullanılmıştır. Log estetik eğrilerini bu yapıda kullanmak için eğrilerin eğrilik, dever, sademe büyüklüklerinin matematiksel fonksiyonlarının elde edilmesi, Bölüm 4'de açıklanmıştır. Eğrilik ve yanal sademe fonksiyonları sabit hızlı hareket modeli ile elde edilen değerler görselleştirilmiştir.

Log estetik eğrilerinin yol araç dinamiğine ilişkin geçiş eğrisi olarak kullanılabilirliğinin kesin ve somut olarak belirlenebilmesi için;

- Bölüm 3.1'de belirtilen birleşim noktası koşulları,
- kırılma veya sıçrama biçimindeki eğrilik süreksizlikleri,
- yanal sademe genliği,
- kırılma veya sıçrama biçimindeki yanal sademe süreksizlikleri

durumları göz önüne alınarak analizler ve çıkarımlar yapılmıştır.

Log estetik eğrileri Bölüm 3.1'deki koşullardan ilk üçünü sağlamasına rağmen yüksek hızlar için gerekli olan koşul 4'ü sağlamamaktadır (Bkz. Şekil 6 ve 7). Bu sebeple meydana gelen kırık biçimindeki süreksizlik olumsuz bir etki yaratmıştır. Eğer log estetik eğrileri koşul 4'ü sağlamış olsalardı yol araç kinematiği yönünden klotoitten daha üstün özelliklere sahip bir eğri sınıfı ortaya çıkartabilirdi.

Yol araç kinematiği açısından eğrilerin kullanılabilirliğini belirleyen en önemli unsur yanal sademedir. Log estetik eğrilerinin yanal sademe diyagramları ise sıçrama biçiminde süreksizlik göstermektedir (Bkz. Şekil 10, 11 ve 12). Bu kurba giriş ve çıkışlarda ani sarsıntı meydana getireceğinden yüksek hızlı projelerde istenmeyen bir durumdur.

Bölüm 4.5'te elde edilen sademe değerlerinin genliği α değeri arttıkça artış göstermesine rağmen Bölüm 2.1'de literatürlerde belirtilen referans değerlerine uygundur.

Yapılan araştırma kapsamında log estetik eğrilerinin geçiş eğrisi olarak klotoitten çok farklılık göstermediği anlaşılmaktadır ve benzer özelliklere sahip oldukları saptanmıştır. Sonuç olarak log estetik eğrileri geçiş eğrisi olarak kullanılabilirler ama tercih edilmelerini gerektirecek daha üstün özelliklere sahip değillerdir çünkü klotoit ile benzer özelliklere sahip olmalarına rağmen hesap yükleri daha fazladır. Hali hazırda klotoit eğrisini kullanan birçok program mevcuttur ve klotoit ile benzer sonuç veren log estetik eğrilerini kullanılmalarına gerek yoktur. Eğer log estetik eğrileri daha üstün özelliklere sahip olsaydılar algoritmaları log estetik eğrilerinin fonksiyonları olan yeni geçki tasarımı programları oluşturulabilirdi.

KAYNAKLAR

Aashto, (2001). A Policy on Geometric Design of Highway and Streets Fourth Edition. *American Association of State Hıghway and Transportation Officals.*

Baykal, O. (2009). Mühendislik Ölçmeleri Cilt-1 Kara ve Demir Yollarında Geçki Geometrisi Tasarımı ve Aplikasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, ISBN 978-975-511-524-5*

Baykal, O., Tari, E., Coskun, Z. ve Sahin, M. (1997). New transition curve joining two straight lines. *Journal of Transportation Engineering, Volume 123, Issue Number 5, Pages 337-345, ISSN 0799-947X*

Can, E., Kuşçu, Ş. ve Şahin, H. (2005). Sürat yollarinda kullanilan ikinci nesil geçiş eğrilerinin kullanilabilirliklerinin değerlendirilmesi. *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 2. Mühendislik Ölçmleri Sempozyumu STB Komisyonu, 23-25 Kasım 2005, İstanbul*

Esveld, E. (2001). Modern Track Railway Second Edition. *Delft University of Technology, Netherlands, ISBN 90-800324-3-3*

Lindhal, M. (2001). Track geometry for high spedd railways, A literatue survey and simulation of dynamic vehicle response. *TRITA-FKT Report 2001:54, ISSN 1103-470X, Royal Instıtute of Technology, Stockholm.*

Tarı, E. (1997). Geçki Tasarımında Yeni Eğri Yaklaşımları, *Doktora Tezi*, *Mayıs 1996, İstanbul.*

Tuncel, U. (2010). Yol Geometrik Standartlarının Trafik Kazalarına Etkisi Afyonkarahisar Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2010, Afyon.*

Yayla, N. (2009). Karayolu Mühendisliği. *Ders Kitabı, 2009, İstanbul.*

Yoshida, S. ve Saito, T. (2006). Interactive aesthetic curve segments. *The Visual Computer, Volume 22, Issue 9-11, August 2006.*

Ziatdinov, R., Yoshida, N. ve Kim, T. (2011). Analytic parametric equations of log-aesthetic curves in terms of incomplete gamma functions. *Computer Aided Geometric Design, Volume 29, Issue 2, March, 2011, Pages 129-140, ISSN 0167-8396*

Ziatdinov, R., Yoshida, N. ve Kim, T. (2012). Fitting G2 multispiral transition curve joining two straight lines. *Computer Aided Geometric Design, Volume 44, Issue 6, June 2012, Pages 591-596, ISSN 0010-4485*

EKLER

EK 1: α=100 için elde edilen λ değeri

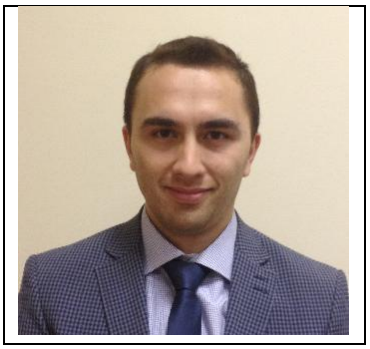
$$
\begin{aligned}
\lambda = \big(&-100\,R^{99} - 4950\,R^{98} - 161\,700\,R^{97} - 3\,921\,225\,R^{96} - \\
&75\,287\,520\,R^{95} - 1\,192\,052\,400\,R^{94} - 16\,007\,560\,800\,R^{93} - \\
&186\,087\,894\,300\,R^{92} - 1\,902\,231\,808\,400\,R^{91} - \\
&17\,310\,309\,456\,440\,R^{90} - 141\,629\,804\,643\,600\,R^{89} - \\
&1\,050\,421\,051\,106\,700\,R^{88} - 7\,110\,542\,499\,799\,200\,R^{87} - \\
&44\,186\,942\,677\,323\,600\,R^{86} - 253\,338\,471\,349\,988\,640\,R^{85} - \\
&1\,345\,860\,629\,046\,814\,650\,R^{84} - 6\,650\,134\,872\,937\,201\,800\,R^{83} - \\
&30\,664\,510\,802\,988\,208\,300\,R^{82} - 132\,341\,572\,939\,212\,267\,400\,R^{81} - \\
&535\,983\,370\,403\,809\,682\,970\,R^{80} - \\
&2\,041\,841\,411\,062\,132\,125\,600\,R^{79} - \\
&7\,332\,066\,885\,177\,656\,269\,200\,R^{78} - \\
&24\,865\,270\,306\,254\,660\,391\,200\,R^{77} - \\
&79\,776\,075\,565\,900\,368\,755\,100\,R^{76} - \\
&242\,519\,269\,720\,337\,121\,015\,504\,R^{75} - \\
&699\,574\,816\,500\,972\,464\,467\,800\,R^{74} - \\
&1\,917\,353\,200\,780\,443\,050\,763\,600\,R^{73} - \\
&4\,998\,813\,702\,034\,726\,525\,205\,100\,R^{72} - \\
&12\,410\,847\,811\,948\,286\,545\,336\,800\,R^{71} - \\
&29\,372\,339\,821\,610\,944\,823\,963\,760\,R^{70} - \\
&66\,324\,638\,306\,863\,423\,796\,047\,200\,R^{69} - \\
&143\,012\,501\,349\,174\,257\,560\,226\,775\,R^{68} - \\
&294\,692\,427\,022\,540\,894\,366\,527\,900\,R^{67} - \\
&580\,717\,429\,720\,889\,409\,486\,981\,450\,R^{66} - \\
&1\,095\,067\,153\,187\,962\,886\,461\,165\,020\,R^{65} - \\
&1\,977\,204\,582\,144\,932\,989\,443\,770\,175\,R^{64} - \\
&3\,420\,029\,547\,493\,938\,143\,902\,737\,600\,R^{63} - \\
&5\,670\,048\,986\,634\,686\,922\,786\,117\,600\,R^{62} - \\
&9\,013\,924\,030\,034\,630\,492\,634\,340\,800\,R^{61} - \\
&13\,746\,234\,145\,802\,811\,501\,267\,369\,720\,R^{60} - \\
&20\,116\,440\,213\,369\,968\,050\,635\,175\,200\,R^{59} - \\
&28\,258\,808\,871\,162\,574\,166\,368\,460\,400\,R^{58} - \\
&38\,116\,532\,895\,986\,727\,945\,334\,202\,400\,R^{57} - \\
&49\,378\,235\,797\,073\,715\,747\,364\,762\,200\,R^{56} - \\
&61\,448\,471\,214\,136\,179\,596\,720\,592\,960\,R^{55} - \\
&73\,470\,998\,190\,814\,997\,343\,905\,056\,800\,R^{54} - \\
&84\,413\,487\,283\,064\,039\,501\,507\,937\,600\,R^{53} - \\
&93\,206\,558\,875\,049\,876\,949\,581\,681\,100\,R^{52} - \\
&98\,913\,082\,887\,808\,032\,681\,188\,722\,800\,R^{51} - \\
&100\,891\,344\,545\,564\,193\,334\,812\,497\,256\,R^{50} -
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&98\,913\,082\,887\,808\,032\,681\,188\,722\,800\,R^{49} - \\
&93\,206\,558\,875\,049\,876\,949\,581\,681\,100\,R^{48} - \\
&84\,413\,487\,283\,064\,039\,501\,507\,937\,600\,R^{47} - \\
&73\,470\,998\,190\,814\,997\,343\,905\,056\,800\,R^{46} - \\
&61\,448\,471\,214\,136\,179\,596\,720\,592\,960\,R^{45} - \\
&49\,378\,235\,797\,073\,715\,747\,364\,762\,200\,R^{44} - \\
&38\,116\,532\,895\,986\,727\,945\,334\,202\,400\,R^{43} - \\
&28\,258\,808\,871\,162\,574\,166\,368\,460\,400\,R^{42} - \\
&20\,116\,440\,213\,369\,968\,050\,635\,175\,200\,R^{41} - \\
&13\,746\,234\,145\,802\,811\,501\,267\,369\,720\,R^{40} - \\
&9\,013\,924\,030\,034\,630\,492\,634\,340\,800\,R^{39} - \\
&5\,670\,048\,986\,634\,686\,922\,786\,117\,600\,R^{38} - \\
&3\,420\,029\,547\,493\,938\,143\,902\,737\,600\,R^{37} - \\
&1\,977\,204\,582\,144\,932\,989\,443\,770\,175\,R^{36} - \\
&1\,095\,067\,153\,187\,962\,886\,461\,165\,020\,R^{35} - \\
&580\,717\,429\,720\,889\,409\,486\,981\,450\,R^{34} - \\
&294\,692\,427\,022\,540\,894\,366\,527\,900\,R^{33} - \\
&143\,012\,501\,349\,174\,257\,560\,226\,775\,R^{32} - \\
&66\,324\,638\,306\,863\,423\,796\,047\,200\,R^{31} - \\
&29\,372\,339\,821\,610\,944\,823\,963\,760\,R^{30} - \\
&12\,410\,847\,811\,948\,286\,545\,336\,800\,R^{29} - \\
&4\,998\,813\,702\,034\,726\,525\,205\,100\,R^{28} - \\
&1\,917\,353\,200\,780\,443\,050\,763\,600\,R^{27} - \\
&699\,574\,816\,500\,972\,464\,467\,800\,R^{26} - \\
&242\,519\,269\,720\,337\,121\,015\,504\,R^{25} - \\
&79\,776\,075\,565\,900\,368\,755\,100\,R^{24} - \\
&24\,865\,270\,306\,254\,660\,391\,200\,R^{23} - \\
&7\,332\,066\,885\,177\,656\,269\,200\,R^{22} - \\
&2\,041\,841\,411\,062\,132\,125\,600\,R^{21} - \\
&535\,983\,370\,403\,809\,682\,970\,R^{20} - \\
&132\,341\,572\,939\,212\,267\,400\,R^{19} - 30\,664\,510\,802\,988\,208\,300\,R^{18} - \\
&6\,650\,134\,872\,937\,201\,800\,R^{17} - 1\,345\,860\,629\,046\,814\,650\,R^{16} - \\
&253\,338\,471\,349\,988\,640\,R^{15} - 44\,186\,942\,677\,323\,600\,R^{14} - \\
&7\,110\,542\,499\,799\,200\,R^{13} - 1\,050\,421\,051\,106\,700\,R^{12} - \\
&141\,629\,804\,643\,600\,R^{11} - 17\,310\,309\,456\,440\,R^{10} - \\
&1\,902\,231\,808\,400\,R^{9} - 186\,087\,894\,300\,R^{8} - \\
&16\,007\,560\,800\,R^{7} - 1\,192\,052\,400\,R^{6} - 75\,287\,520\,R^{5} - \\
&3\,921\,225\,R^{4} - 161\,700\,R^{3} - 4950\,R^{2} - 100\,R - 1\Big)\Big/ \\
\Big(&100\,L\,R^{100} + 10\,000\,L\,R^{99} + 495\,000\,L\,R^{98} + 16\,170\,000\,L\,R^{97} + \\
&392\,122\,500\,L\,R^{96} + 7\,528\,752\,000\,L\,R^{95} + \\
&119\,205\,240\,000\,L\,R^{94} + 1\,600\,756\,080\,000\,L\,R^{93} + \\
&18\,608\,789\,430\,000\,L\,R^{92} + 190\,223\,180\,840\,000\,L\,R^{91} + \\
&1\,731\,030\,945\,644\,000\,L\,R^{90} + 14\,162\,980\,464\,360\,000\,L\,R^{89} + \\
&105\,042\,105\,110\,670\,000\,L\,R^{88} + 711\,054\,249\,979\,920\,000\,L\,R^{87} + \\
&4\,418\,694\,267\,732\,360\,000\,L\,R^{86} + 25\,333\,847\,134\,998\,864\,000\,L\,R^{85} + \\
&134\,586\,062\,904\,681\,465\,000\,L\,R^{84} + \\
&665\,013\,487\,293\,720\,180\,000\,L\,R^{83} +
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&3\,066\,451\,080\,298\,820\,830\,000\,L\,R^{82} + \\
&13\,234\,157\,293\,921\,226\,740\,000\,L\,R^{81} + \\
&53\,598\,337\,040\,380\,968\,297\,000\,L\,R^{80} + \\
&204\,184\,141\,106\,213\,212\,560\,000\,L\,R^{79} + \\
&733\,206\,688\,517\,765\,626\,920\,000\,L\,R^{78} + \\
&2\,486\,527\,030\,625\,466\,039\,120\,000\,L\,R^{77} + \\
&7\,977\,607\,556\,590\,036\,875\,510\,000\,L\,R^{76} + \\
&24\,251\,926\,972\,033\,712\,101\,550\,400\,L\,R^{75} + \\
&69\,957\,481\,650\,097\,246\,446\,780\,000\,L\,R^{74} + \\
&191\,735\,320\,078\,044\,305\,076\,360\,000\,L\,R^{73} + \\
&499\,881\,370\,203\,472\,652\,520\,510\,000\,L\,R^{72} + \\
&1\,241\,084\,781\,194\,828\,654\,533\,680\,000\,L\,R^{71} + \\
&2\,937\,233\,982\,161\,094\,482\,396\,376\,000\,L\,R^{70} + \\
&6\,632\,463\,830\,686\,342\,379\,604\,720\,000\,L\,R^{69} + \\
&14\,301\,250\,134\,917\,425\,756\,022\,677\,500\,L\,R^{68} + \\
&29\,469\,242\,702\,254\,089\,436\,652\,790\,000\,L\,R^{67} + \\
&58\,071\,742\,972\,088\,940\,948\,698\,145\,000\,L\,R^{66} + \\
&109\,506\,715\,318\,796\,288\,646\,116\,502\,000\,L\,R^{65} + \\
&197\,720\,458\,214\,493\,298\,944\,377\,017\,500\,L\,R^{64} + \\
&342\,002\,954\,749\,393\,814\,390\,273\,760\,000\,L\,R^{63} + \\
&567\,004\,898\,663\,468\,692\,278\,611\,760\,000\,L\,R^{62} + \\
&901\,392\,403\,003\,463\,049\,263\,434\,080\,000\,L\,R^{61} + \\
&1\,374\,623\,414\,580\,281\,150\,126\,736\,972\,000\,L\,R^{60} + \\
&2\,011\,644\,021\,336\,996\,805\,063\,517\,520\,000\,L\,R^{59} + \\
&2\,825\,880\,887\,116\,257\,416\,636\,846\,040\,000\,L\,R^{58} + \\
&3\,811\,653\,289\,598\,672\,794\,533\,420\,240\,000\,L\,R^{57} + \\
&4\,937\,823\,579\,707\,371\,574\,736\,476\,220\,000\,L\,R^{56} + \\
&6\,144\,847\,121\,413\,617\,959\,672\,059\,296\,000\,L\,R^{55} + \\
&7\,347\,099\,819\,081\,499\,734\,390\,505\,680\,000\,L\,R^{54} + \\
&8\,441\,348\,728\,306\,403\,950\,150\,793\,760\,000\,L\,R^{53} + \\
&9\,320\,655\,887\,504\,987\,694\,958\,168\,110\,000\,L\,R^{52} + \\
&9\,891\,308\,288\,780\,803\,268\,118\,872\,280\,000\,L\,R^{51} + \\
&10\,089\,134\,454\,556\,419\,333\,481\,249\,725\,600\,L\,R^{50} + \\
&9\,891\,308\,288\,780\,803\,268\,118\,872\,280\,000\,L\,R^{49} + \\
&9\,320\,655\,887\,504\,987\,694\,958\,168\,110\,000\,L\,R^{48} + \\
&8\,441\,348\,728\,306\,403\,950\,150\,793\,760\,000\,L\,R^{47} + \\
&7\,347\,099\,819\,081\,499\,734\,390\,505\,680\,000\,L\,R^{46} + \\
&6\,144\,847\,121\,413\,617\,959\,672\,059\,296\,000\,L\,R^{45} + \\
&4\,937\,823\,579\,707\,371\,574\,736\,476\,220\,000\,L\,R^{44} + \\
&3\,811\,653\,289\,598\,672\,794\,533\,420\,240\,000\,L\,R^{43} + \\
&2\,825\,880\,887\,116\,257\,416\,636\,846\,040\,000\,L\,R^{42} + \\
&2\,011\,644\,021\,336\,996\,805\,063\,517\,520\,000\,L\,R^{41} + \\
&1\,374\,623\,414\,580\,281\,150\,126\,736\,972\,000\,L\,R^{40} +
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&901\,392\,403\,003\,463\,049\,263\,434\,080\,000\,L\,R^{39} + \\
&567\,004\,898\,663\,468\,692\,278\,611\,760\,000\,L\,R^{38} + \\
&342\,002\,954\,749\,393\,814\,390\,273\,760\,000\,L\,R^{37} + \\
&197\,720\,458\,214\,493\,298\,944\,377\,017\,500\,L\,R^{36} + \\
&109\,506\,715\,318\,796\,288\,646\,116\,502\,000\,L\,R^{35} + \\
&58\,071\,742\,972\,088\,940\,948\,698\,145\,000\,L\,R^{34} + \\
&29\,469\,242\,702\,254\,089\,436\,652\,790\,000\,L\,R^{33} + \\
&14\,301\,250\,134\,917\,425\,756\,022\,677\,500\,L\,R^{32} + \\
&6\,632\,463\,830\,686\,342\,379\,604\,720\,000\,L\,R^{31} + \\
&2\,937\,233\,982\,161\,094\,482\,396\,376\,000\,L\,R^{30} + \\
&1\,241\,084\,781\,194\,828\,654\,533\,680\,000\,L\,R^{29} + \\
&499\,881\,370\,203\,472\,652\,520\,510\,000\,L\,R^{28} + \\
&191\,735\,320\,078\,044\,305\,076\,360\,000\,L\,R^{27} + \\
&69\,957\,481\,650\,097\,246\,446\,780\,000\,L\,R^{26} + \\
&24\,251\,926\,972\,033\,712\,101\,550\,400\,L\,R^{25} + \\
&7\,977\,607\,556\,590\,036\,875\,510\,000\,L\,R^{24} + \\
&2\,486\,527\,030\,625\,466\,039\,120\,000\,L\,R^{23} + \\
&733\,206\,688\,517\,765\,626\,920\,000\,L\,R^{22} + \\
&204\,184\,141\,106\,213\,212\,560\,000\,L\,R^{21} + \\
&53\,598\,337\,040\,380\,968\,297\,000\,L\,R^{20} + \\
&13\,234\,157\,293\,921\,226\,740\,000\,L\,R^{19} + \\
&3\,066\,451\,080\,298\,820\,830\,000\,L\,R^{18} + \\
&665\,013\,487\,293\,720\,180\,000\,L\,R^{17} + \\
&134\,586\,062\,904\,681\,465\,000\,L\,R^{16} + \\
&25\,333\,847\,134\,998\,864\,000\,L\,R^{15} + 4\,418\,694\,267\,732\,360\,000\,L\,R^{14} + \\
&711\,054\,249\,979\,920\,000\,L\,R^{13} + 105\,042\,105\,110\,670\,000\,L\,R^{12} + \\
&14\,162\,980\,464\,360\,000\,L\,R^{11} + 1\,731\,030\,945\,644\,000\,L\,R^{10} + \\
&190\,223\,180\,840\,000\,L\,R^{9} + 18\,608\,789\,430\,000\,L\,R^{8} + \\
&1\,600\,756\,080\,000\,L\,R^{7} + 119\,205\,240\,000\,L\,R^{6} + \\
&7\,528\,752\,000\,L\,R^{5} + 392\,122\,500\,L\,R^{4} + \\
&16\,170\,000\,L\,R^{3} + 495\,000\,L\,R^{2} + 10\,000\,L\,R + 100\,L\Big)
\end{aligned}
$$

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Abdullah Arslan

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 1987

Adres: İTÜ İnşaat Fakültesi L/201

E-Posta: arslanab@itu.edu.tr, arslan.abd@hotmail.com

Lisans: İTÜ Geomatik Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Çukurova Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde ÖYP araştırma görevlisi - 2011 Ağustos

İstanbul Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde 35.madde ile ÖYP araştırma görevlisi- 2011 Eylül - halen

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Arslan A**. ve Tarı E. 2012: Farklı Eğrilerin Geçiş Eğrisi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Poster Sunumu). *6. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu – Afyon Kocatepe Üniversitesi* Ekim 3-5, 2012 Afyon, Türkiye.