

170785



GEÇKİ DÜŞEY GEOMETRİSİNDE MODERN
EĞRİLERİN SADEME YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Kazım TELLİ

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

2005



GEÇKİ DÜŞEY GEOMETRİSİNDE MODERN EĞRİLERİN SADEME
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Kazım TELLİ

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

2005

“Bu tez çalışması “ 042.Muh.04 ” numaralı proje olarak AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.”

TC
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEÇKİ DÜŞEY GEOMETRİSİNDE MODERN EĞRİLERİN SADEME
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Ali Kazım TELLİ

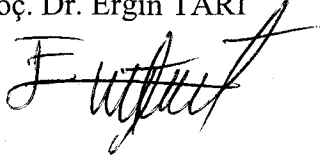
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Anabilim Dalı
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA

AFYON
2005

Ali Kazım TELLİ nin yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Geçki Düşey Geometrisinde Modern Eğrilerin Sademe Yönünden Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

12.12.2005

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ergin TARI
(Başkan)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA
(Danışman)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mevlüt GÜLLÜ
(Üye)



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..27.12.2005... Gün
ve 2005/22-1..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doc. Dr. Süleyman TAŞGETİREN
MÜDÜR

Enstitü Müdürü

ÖZET

Geçki düşey geometrisindeki eğri kısımlar düşey kurb olarak tanımlanır. Güzergâh konforunun artırılması ve güvenliğin sağlanması amacıyla taşıta etkiyen kuvvet vektörlerindeki değişimin düzenli hale getirilmesi amacıyla düşey kurblar kullanılır.

Günümüzde düşey kurbların tasarımında yeni eğriler kullanılmaya başlanmıştır. Bu modern eğriler, yol konforunu, hareket dinamiği açısından en iyi bir düzeye getirmeyi amaçlarlar. Bu yeni tip düşey kurblardan bazıları, birleşik olarak tasarlanmıştır. Bileşik eğrileri 2-3 parçalı ve geçiş eğrili olabilmektedir. Yatay geometride önceden beri kullanılan geçiş eğrileri, düşey geometride daha yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır.

Güzergâh geometrisini konfor açısından değerlendirme ölçütü sademedir. Değerlendirmek için bir karayolları ve demiryollarını düşünerek iki test yolu planlanmıştır. Bu test yollarına göre modern eğrilerin sademe grafikleri çıkarılmıştır. Grafikler ve sademe bağıntısı eğrilerin karşılaştırılmasını sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Sademe, Düşey kurb, Araç dinamiği

ABSTRACT

In the vertical alignment geometry, curved part is defined vertical curve. We use vertical curves for increasing alignment comfort and making reliable. On the profile, these curves seem very well and curves useful to connect two tangent grades at the vertical point of intersection.

Today, new curves began to use at the vertical curve design. These modern curves purposes that bring the road comfort best level as movement dynamic. Some of these new vertical curves are designed compound. Compound curves can be with 2-3 part and transition curve. Transition curves that already used in horizontal geometry are being used in vertical geometry newly.

Jerk (rate of change of acceleration) is a criterion of alignment geometry comfort. To compare, two test route planned like highways and railways. Jerk graphics has issued as these test routes. Graphics and jerk formulas are provided to compare the curves.

Keywords: Jerk (rate of change of acceleration), Vertical curve, Vehicle dynamic

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. DÜŞEY KURBLAR VE SADEME	3
2.1 Düşey Eğri Elemanı: Parabol.....	3
2.2 Düşey Kurb Tasarımları	4
2.2.1 Dairesel düşey kurb	5
2.2.2 Basit parabolik düşey kurb	5
2.2.3 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb	7
2.2.4 Verilen bir noktadan geçen simetrik düşey kurb	8
2.2.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb.....	9
2.2.6 Verilen noktadan geçen üç yaylı düşey kurb	10
2.2.7 Bileşik düşey kurb	11
2.3 Düşey Kurb Boyunun Bulunması.....	16
2.4 Yanal Sademe	16
2.5 Dikey Sademe.....	20
3. DÜŞEY GEOMETRİ ELEMANLARININ EĞİM VE EĞRİLİK FONKSİYONLARI.....	25
3.1 Doğru parçasının eğim ve eğrilik fonksiyonları	25
3.2 Dairesel Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları.....	26
3.3 Basit Parabolik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları.....	26
3.4 Simetrik Olmayan Parabolik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları	27
3.5 Verilen Bir Noktadan Geçen Simetrik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları	27
3.6 Eşit Yaylı Simetrik Olmayan Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları ..	28
3.7 Bileşik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları.....	29

4.	DÜŞEY GEÇKİ BÖLÜMLERİNİN YANAL SADEME FONKSİYONLARI	31
4.1	Doğru Parçasının Yanal Sademe Fonksiyonu	31
4.2	Dairesel Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu	31
4.3	Basit Parabolik Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu	31
4.4	Simetrik Olmayan Parabolik Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu	32
4.5	Eşit Yaylı Simetrik Olmayan Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu	32
4.6	Bileşik Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu	33
5.	SAYISAL UYGULAMA	34
5.1	Yüksek Hızlı Karayolları Uygulaması	36
5.1.1	Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe fonksiyonları	37
5.1.1.1	Doğru parçası	37
5.1.1.2	Dairesel tepe kurb	38
5.1.1.3	Parabolik düşey kurb	39
5.1.1.4	Simetrik olmayan parabolik düşey kurb	40
5.1.1.5	Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb	42
5.1.1.6	Bileşik düşey kurb	44
5.1.2	Sabit pozitif ve negatif ivmeli hareket modellerinde yanal sademe fonksiyonları	47
5.1.2.1	Doğru parçası	48
5.1.2.2	Dairesel tepe kurb	48
5.1.2.3	Simetrik parabolik düşey kurb	50
5.1.2.4	Simetrik olmayan parabolik düşey kurb	52
5.1.2.5	Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb	54
5.1.2.6	Bileşik düşey kurb	56
5.2	Yüksek Hızlı Demiryolu Sistemleri Uygulaması	58
5.2.1	Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe fonksiyonları	59
5.2.1.1	Doğru parçası	60
5.2.1.2	Dairesel tepe kurb	60
5.2.1.3	Simetrik parabolik düşey kurb	62
5.2.1.4	Simetrik olmayan parabolik düşey kurb	63

5.2.1.5	Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb.....	64
5.2.1.6	Bileşik düşey kurb	66
5.2.2	Sabit pozitif ve negatif ivmeli hareket modellerinde yanal sademe fonksiyonları	69
5.2.2.1	Doğru parçası.....	70
5.2.2.2	Dairesel tepe kurb	70
5.2.2.3	Simetrik parabolik düşey kurb.....	72
5.2.2.4	Simetrik olmayan parabolik düşey kurb	74
5.2.2.5	Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb.....	76
5.2.2.6	Bileşik düşey kurb	78
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
	KAYNAKLAR.....	86
	TEŞEKKÜR	88
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
\vec{z}	: Yanal Sademe $\left[\frac{m}{sn^3} \right]$
a	: Serbest kuvvetlerin doğurduğu bileşke ivme $\left[\frac{m}{sn^2} \right]$
t	: Zaman $[sn]$
\bar{N}	: Eğri normali doğrultusundaki birim vektör
b	: Yol platformunun yatay genişliği $[m]$
g	: Gravite $(9.81 \frac{m}{sn^2})$
v	: Aracın ani hızı $\left[\frac{m}{sn} \right]$
u	: Dever $[m]$
k_y	: Aracın hareket yörüngesinin (geçkinin) yatay düzlemde tanımlanmış eğriliği $\left[\frac{1}{m} \right]$
a_T	: Aracın hız vektörünün büyüklüğünü değiştiren bileşke teğetsel ivme $\left[\frac{m}{sn^2} \right]$
l	: Yörünge eğrisinin yatay izdüşüm uzunluğu (formüllerde doğal değişken) $[m]$
k_D	: Düşey düzlemde geçki eğriliğinin yola bağlı değişimi $\left[\frac{1}{m} \right]$
w	: Geçki boyuna eğiminin yola bağlı değişimi
w_1	: Birinci kırmızı kol eğimi
w_2	: İkinci kırmızı kol eğimi
L	: Düşey kurb toplam boyu (eğrinin x eksenindeki izi)
L_1	: Birinci kurb boyu
L_2	: İkinci kurb boyu

l	:	Bileşik düşey kurbda geçiş eğrisi boyu
L_c	:	Bileşik düşey kurbda parabol boyu
y_{DDK}	:	Dairesel düşey kurb ordinatı
y_{PDK}	:	Basit parabolik düşey kurb ordinatı
y_{SOP}	:	Simetrik olmayan parabolik düşey kurb ordinatı
y_{VNGS}	:	Verilen noktadan geçen simetrik düşey kurb ordinatı
y_{EYSO}	:	Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb ordinatı
y_{BDK}	:	Birleşik düşey kurb ordinatı
R	:	Yarıçap [m]

Kısaltmalar

Açıklama

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASCE	:	American Society of Civil Engineers
TRB	:	Transportation Research Board
MDT	:	Montana Department of Transportation
IDOT	:	Illinois Department of Transportation
SC	:	Transition to Curve (geçişten eğriye)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Boykesitte düşey kurbun yerleşimi	4
Şekil 2.2: Simetrik parabolik düşey kurb	5
Şekil 2.3: Simetrik olmayan düşey kurb.....	7
Şekil 2.4: Verilen noktadan geçen parabolik kurb.....	8
Şekil 2.5: Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb	9
Şekil 2.6: Üç yaylı zorunlu noktadan geçen düşey kurb	11
Şekil 2.7: Geçişli tepe düşey kurb (Easa ve Hassan, 2000a)	11
Şekil 2.8: Eğrisel yörünge üzerinde hareket eden cisme etki eden serbest ivmeler (Baybura 2001)	18
Şekil 5.1: Düşey kurbun geometrisi.....	35
Şekil 5.2:Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel tepe kurb	39
Şekil 5.3: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik tepe kurb	40
Şekil 5.4: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik tepe kurb	42
Şekil 5.5: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb	43
Şekil 5.6: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik tepe kurb	46
Şekil 5.7: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesele düşey kurb	49
Şekil 5.8: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesele düşey kurb	50
Şekil 5.9: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb.....	51
Şekil 5.10: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb.....	52
Şekil 5.11: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	53

Şekil 5.12: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	54
Şekil 5.13: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	55
Şekil 5.14: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	56
Şekil 5.15: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb	57
Şekil 5.16: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb	58
Şekil 5.17: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel tepe kurb	61
Şekil 5.18: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik tepe kurb	62
Şekil 5.19: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik tepe kurb	64
Şekil 5.20: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb	66
Şekil 5.21: 400 km/sa hız için K-değerini gösteren grafik	67
Şekil 5.22: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik tepe kurb	69
Şekil 5.23: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesele düşey kurb	71
Şekil 5.24: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesele düşey kurb	72
Şekil 5.25: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb.....	73
Şekil 5.26: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb.....	74
Şekil 5.27: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	75

Şekil 5.28: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	76
Şekil 5.29: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	77
Şekil 5.30: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	78
Şekil 5.31: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb	79
Şekil 5.32: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb	80
Şekil 6.1: Demiryolu sistemlerinde sabit hızlı hareket modeli uygulamasıyla tüm eğrilerin yanal sademe grafikleri	82

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1: Test yolunun özellikleri.....	36
Tablo 5.2: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: doğru parçası .38	
Tablo 5.3: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: dairesel tepe kurb.....	38
Tablo 5.4: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: parabolik tepe kurb.....	40
Tablo 5.5: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: simetrik olmayan parabolik tepe kurb	41
Tablo 5.6: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb	43
Tablo 5.7: K-değeri (Easa ve Hassan, 2000a)	44
Tablo 5.8: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: bileşik tepe kurb	46
Tablo 5.9: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: doğru parçası.....	48
Tablo 5.10: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: dairesel düşey kurb.....	49
Tablo 5.11: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: parabolik düşey kurb.....	51
Tablo 5.12: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	53
Tablo 5.13: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	55
Tablo 5.14: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanıl sademe değeri: bileşik düşey kurb.....	57
Tablo 5.15: Test yolunun özellikleri.....	59
Tablo 5.16: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: doğru parçası.....	60
Tablo 5.17: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: dairesel tepe kurb.....	61
Tablo 5.18: Sabit hızlı hareket modelinde yanıl sademe değeri: parabolik tepe kurb.....	62

Tablo 5.19: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik tepe kurb	63
Tablo 5.20: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb	65
Tablo 5.21: K-değerleri (Easa ve Hassan, 2000a)	67
Tablo 5.22: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: bileşik tepe kurb	68
Tablo 5.23: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: doğru parçası	70
Tablo 5.24: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: dairesel düşey kurb.....	71
Tablo 5.25: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: parabolik düşey kurb.....	73
Tablo 5.26: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	75
Tablo 5.27: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb.....	77
Tablo 5.28: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: bileşik düşey kurb.....	79
Tablo 6.1: Tüm uygulamalar, eğriler ve hareket modellerinde yanal sademe değerleri	84

1. GİRİŞ

Karayolu, demiryolu gibi hareket dinamiğinin önemli olduğu bir güzergâhı olan mühendislik yapılarında iki doğru parçasını birleştirmek amacıyla kurb kullanılır. Bu kurlardan düşey geometriye yerleştirilmiş olanlara düşey kurb denilmektedir.

Günümüzde güzergâhı olan birçok mühendislik yapısında, özellikle karayollarında, düşey kurb olarak ikinci dereceden parabol kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerden olan Almanya'da ise düşey kurlar çember yayından geliştirilmektedir. Bununla birlikte ikinci dereceden paraboller oldukça sınırlı bir eğrilik değişimine sahiptir. Çember yayları ise sabit eğriliğe sahiptir. Oysa yolun yatay geometrisinde olan durum bundan farklıdır. Yatay geometride geçiş eğrileri kullanılmaktadır. Geçiş eğrileri hareket dinamiğine olumsuz etki eden sıçrama biçimindeki eğrilik değişimlerini mümkün olduğunca yok ederler. Buna göre hareket dinamiğinin olumsuz etkilerini düşey geometride de ortadan kaldırmak için düşey geçiş eğrileri kullanılmalıdır.

Esasen kurb tasarımlarında görüş uzunlukları, drenaj ve konfor kriterleri göz önünde bulundurularak kurb tasarımları ortaya konulmaktadır. Bu tezde konfor ölçütü esas alınmıştır. Yatay ve düşey kurlarda konfor ölçütü sademe değeridir. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1994) standartlarına göre yatay kurlar için $0.3-1 m/sn^3$, düşey kurlar için $0.05-0.1 m/sn^3$ en büyük sademe değerleri olarak kabul edilmiştir (Easa ve Hassan, 2000a). Bu değerler sademe için sınır değerlerdir.

Sademe değerlerinin elde edilebilmesi için Baybura (2001) de elde edilmiş yanal sademe bağıntısı kullanılmıştır. Bir düşey kurbun, düşey geometriye yerleştirilebilmesi için kırmızı kol eğimleri ve düşey kurb boyunun bilinmesi gerekir. Bazı durumlarda birden fazla parçadan oluşan düşey kurlarda her bir eğri parçasının uzunluğunun ayrı ayrı bilinmesi gerekir. Bu parametreleri elde etmek için bir test yolu planlamak ve mevcut düşey kurb tasarımlarını bu güzergâha göre yerleştirmek gerekir.

Mevcut dūşey kurb tasarımlarının genel formūlleri bu tezde özūmlenerek eđim ve eđrilik formūlleri elde edilmiřtir.

Genel formūlleri elde edilen tūm dūşey kurblar, Baybura (2001) de geliştirilmiř sademe formūlüyle incelenmiřtir. Farklı hareket modellerine göre sademe grafikleri incelenmiř ve hızlı bir yol için en iyi tasarım belirlenmiřtir.



2. DÜŞEY KURBLAR VE SADEME

Düşey geometride iki kırmızı çizgiyi birleştirmek amacıyla eğriler geliştirilmiştir. Tüm eğrilerin tanımı, içerisinde en az ikinci dereceden değişken bulunan fonksiyonlar şeklindedir. Bugüne kadarki düşey geometrilerde çoğunlukla parabol kullanılmıştır ve halen kullanılmaya devam edilmektedir. Bunun yanında daire yayı ile kırmızı çizgilerin bağlanması da mümkündür. Son 10 yılda ikinci dereceden düşey kurblar (parabol) American Society of Civil Engineers (ASCE), Transportation Research Board (TRB) gibi kurumların bilimsel dergilerinde defalarca incelenmiş ve yeni uygulama yöntemleri aranmıştır. Easa ve Hassan (2000a ve 2000b) düşey geometriye geçiş eğrisi uygulaması eklemiştir. Bu uygulama düşey kurblarda geçiş eğrisi kullanılmasından dolayı bir dönüm noktasıdır.

2.1 Düşey Eğri Elemanı: Parabol

Parabol bir koninin bir düzlemlerle kesişmesiyle elde edilen şekildir. Parabol bir değişkenin diğer bir değişkenle tanımlandığı denklemdir. n. dereceden başlayan ve derecesi azalarak giden tanımlayıcı değişken aşağıdaki genel denklem formuyla gösterilebilir,

$$y = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \dots + a_2 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_0 \quad (2.1)$$

ikinci dereceden (kuadratik) parabol için genel denklem,

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (2.2)$$

üçüncü dereceden (kübik) parabol için genel denklem,

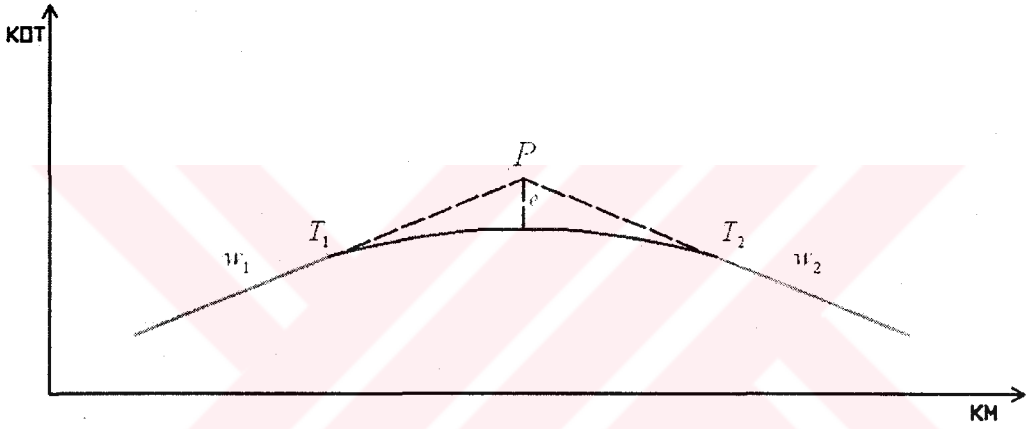
$$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır. (2.1), (2.2), (2.3) de geçen,

- x : Bir analitik düzlemde sağa eksen,
y : Bir analitik düzlemde yukarı eksen,
a, b, c, d : Parabolü tanımlayan parametrelerdir.

Bu denklemler; bir koordinat düzleminde her bir x ve y koordinatları için işaretlenirse kendilerine özgü çizgi şekiller oluştururlar ki bu şekiller çeşitli kurb tasarımlarında kullanılmaktadır.

2.2 Düşey Kurb Tasarımları



Şekil 2.1: Boykesitte düşey kurbun yerleşimi

(Şekil 2.1) de görüldüğü gibi w_1 boyuna eğimiyle gelen kırmızı çizgi ile w_2 eğimiyle giden kırmızı çizgi düşey kurb some noktası P de kesişmiştir. Düşey kurb, kırmızı kollar üzerindeki T_1 ile T_2 noktalarını birbirine bağlamaktadır. P noktası ile düşey kurb arasındaki düşey mesafe e ile gösterilmiştir.

Düşey geometride klasik dairesel kurb ve parabolik kurbun yanında yeni simetrik olmayan parabolden, eşit yaylı simetrik olmayan parabolden, üç eşit yaylı parabolden ve bileşik parabollerden oluşan kurblar önerilmiştir. Bu düşey kurb tasarımlarının bağıntılarını ifade etmek için bu çalışmada bir düzen geliştirilmiştir,

$$y_{indis}(x) = a_i \cdot x^2 + b_i \cdot x + c_i \quad (2.4)$$

(2.4) de indis yazan kısma düşey kurb isminin baş harfleri büyük olarak yazılmıştır. Polinomun değişkenlerinin katsayıları olan a_i, b_i, c_i nin indisi olan (i) harfinin yerine düşey kurbun sırasına göre bir rakam gelmektedir. Ancak, bazı düşey kurlarda değişkenlerin katsayıları doğrudan genel formülün üzerine yazılmıştır.

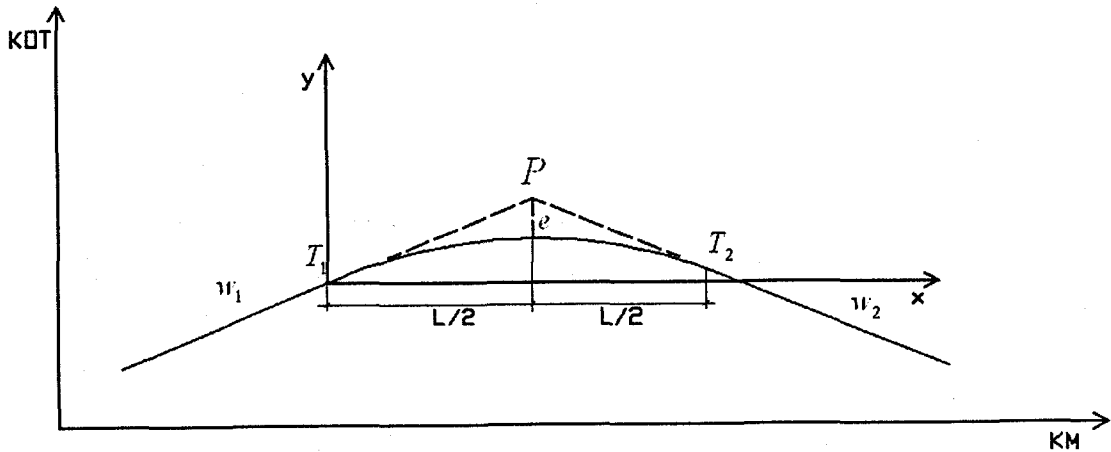
2.2.1 Dairesel düşey kurb

Dairesel düşey kurbun kesin hesabı Baykal ve Coşkun (1998) tarafından yayınlanmıştır.

$$y_{DDK}(x) = \mp \sqrt{R^2 - \left(x \mp \frac{-w_1 \cdot R}{\sqrt{1+w_1^2}} \right)^2} \mp \frac{-R}{\sqrt{1+w_1^2}} \quad (2.5)$$

(2.5) de dairesel dere kurb için (\mp) operatörü yerine (-), dairesel tepe kurb için (\mp) operatörü yerine (+) yazılır.

2.2.2 Basit parabolik düşey kurb



Şekil 2.2: Simetrik parabolik düşey kurb

Günümüzde, ülkemizde kullanılan düşey kurlar, ikinci dereceden parabollerle oluşturulurlar. (2.2) ye göre bir tepe kurbun beklenen şekli ise (Şekil 2.2) de

görülmektedir. Bu tür kurlar; simetrik düşey kurb, parabolik düşey kurb, düşey kurb ve simetrik parabolik düşey kurb olarak isimlendirilmektedir (URL1, URL2).

Sağa eksen x, yukarı eksen y eksenini göstermektedir. Görüldüğü gibi orijin noktasında x=0; y=0 koordinatları geçerlidir. (2.2) denkleminde x=0 için y değeri de sıfır olmalıdır. Buna göre,

$$c = 0 \quad (2.6)$$

olur. Eğrinin soldaki kırmızı kola teğet olması için bu noktadaki eğimi kırmızı kolun eğimiyle aynı olmalıdır ki bu da w_1 ile gösterilir. Genel denklemin birinci türevinin sıfır noktasındaki karşılığı orijindeki teğetin eğimini verir.

$$y' = 2 \cdot a \cdot x + b \quad (2.7)$$

$$y'_{\text{orijin}} = b = w_1 \quad (2.8)$$

(2.8) de görüldüğü gibi $b = w_1$ değerini almıştır. Eğrinin son noktası, eğrinin x – ekseninde aldığı yol olan L uzaklığı ile sonraki kırmızı çizgiye ulaşmaktadır. Yani $x = L$ noktasında düşey kurb bitip kırmızı çizgi başlar. Bu noktadaki ikinci kırmızı çizginin eğimine w_2 denir ve (2.7) nin birinci türevine eşitlenirse,

$$y' = 2 \cdot a \cdot x + w_1 \quad (2.9)$$

$$y'_L = 2 \cdot a \cdot L + w_1 = w_2 \quad (2.10)$$

olur. (2.10) da gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$a = \frac{w_2 - w_1}{2 \cdot L} \quad (2.11)$$

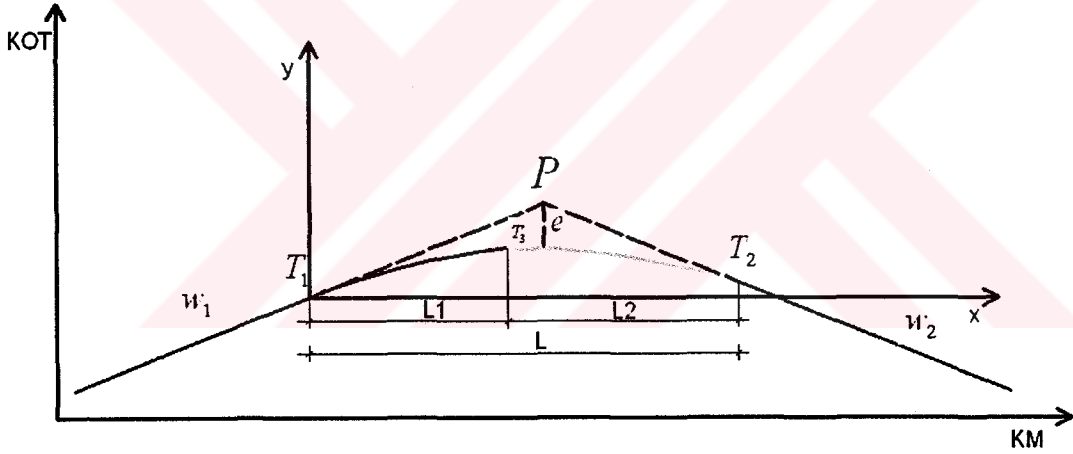
bulunur. Tamamı çözülmüş olan kuadratik parabolün son şekli,

$$y_{BPDK}(x) = \frac{w_2 - w_1}{L} \cdot x^2 + w_1 \cdot x \quad (2.12)$$

olarak elde edilir.

2.2.3 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb

Simetrik olmayan kurlar sıklıkla bir yapı üstünde görüş sağlamak ya da güzergâhın sonraki kesimiyle ilgili sınırlamalara uymak için gereklidir. Bu kurlar düşey kurb some noktasına (P) göre simetrik olmamalarının dışında, simetrik kurlara benzerler (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Simetrik olmayan düşey kurb

Bu tür kurların genel formülü,

$$y_{SOP1} = \frac{w_2 - w_1}{2 \cdot L} \cdot \frac{L_2}{L_1} \cdot x_1^2 + w_1 \cdot x_1 \quad , \quad 0 \leq x_1 \leq L_1 \quad (2.13)$$

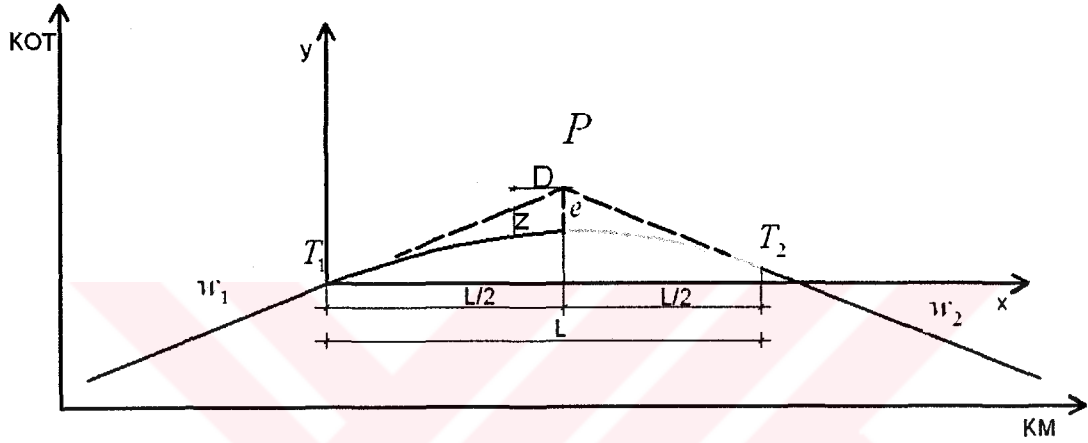
$$y_{SOP2} = \frac{w_2 - w_1}{2 \cdot L} \cdot \frac{L_1}{L_2} \cdot x_2^2 - w_2 \cdot x_2 + w_1 \cdot L_1 + w_2 \cdot L_2 \quad , \quad L_1 \leq x_2 \leq L \quad (2.14)$$

dür. Some noktasının solunda (2.13) ve sağında (2.14) ile ifade edilir. Değişken dönüşümü,

$$x_2 = L_1 + L_2 - x_1 \quad (2.15)$$

ile yapılır (Montana Road Design Manual 2000).

2.2.4 Verilen bir noktadan geçen simetrik düşey kurb



Şekil 2.4: Verilen noktadan geçen parabolik kurb

Bu tip düşey kurlar, zorunlu noktadan geçen ikinci dereceden parabolik simetrik düşey kurb olarak adlandırılır. Mevcut yapıları korumak ve onlara uymak amacıyla, düşey kurbun zorunlu bir noktadan geçmesi gerekebilir. Örneğin bir karayolunun bir başka yolu kestiği yerde oluşan eş düzey kavşakta, her iki yolun proje kotlarının aynı olması gerekir.

Verilecek değerlere göre değişik çözümler üretilebilir. Eğer (Şekil 2.4) de D ve z büyüklükleri verilmişse düşey kurbun genel formülü,

$$y_{VNGS}(x) = \frac{-z}{\left(\frac{L}{2} - D\right)^2} \cdot x^2 + w_1 \cdot x \quad (2.16)$$

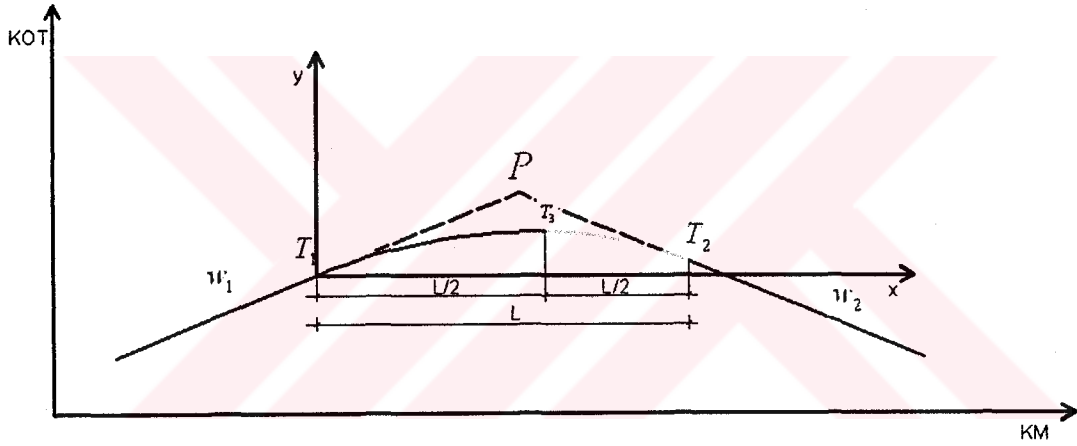
olarak elde edilir (Montana Road Design Manual 2000). (2.16) deki,

- D : Zorunlu nokta ile some noktası arasının x eksenine izdüşüm uzunluğu,
z : Zorunlu noktanın düşey aliymanla düşey mesafesi

dir. Verilen bu üç parabolik düşey kurbun dışında benzer formüllerle elde edilen değişik çözümler üretilebilir.

2.2.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

Simetrik olmayan düşey kurb L_1 ve L_2 teğet uzunlukları boyunca iki yaydan oluşur (Şekil 2.3). Bu farklı tasarım, (Şekil 2.5) de eşit teğet uzunluklu iki parabolik yayın birleştirilmesiyle elde edilmiştir (Easa ve Hassan, 1998).



Şekil 2.5: Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

Bu kurbun genel formülü;

$$y_{EYSO1} = a_5 \cdot x^2 + b_5 \cdot x + c_5 \quad , \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2} \quad (2.17)$$

$$y_{EYSO2} = d_5 \cdot (L-x)^2 + e_5 \cdot (L-x) + f_5 \quad , \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L \quad (2.18)$$

iki polinom denkleminde gösterilebilir. Denklemlerdeki katsayılar;

$$a_5 = \frac{(w_2 - w_1) \cdot \left(3 - 4 \cdot \frac{L_1}{L}\right)}{2 \cdot L} \quad (2.19)$$

$$d_5 = \frac{(w_2 - w_1) \cdot \left(-1 + 4 \cdot \frac{L_1}{L}\right)}{2 \cdot L} \quad (2.20)$$

$$b_5 = w_1 \quad (2.21)$$

$$e_5 = -w_2 \quad (2.22)$$

$$c_5 = 0 \quad (2.23)$$

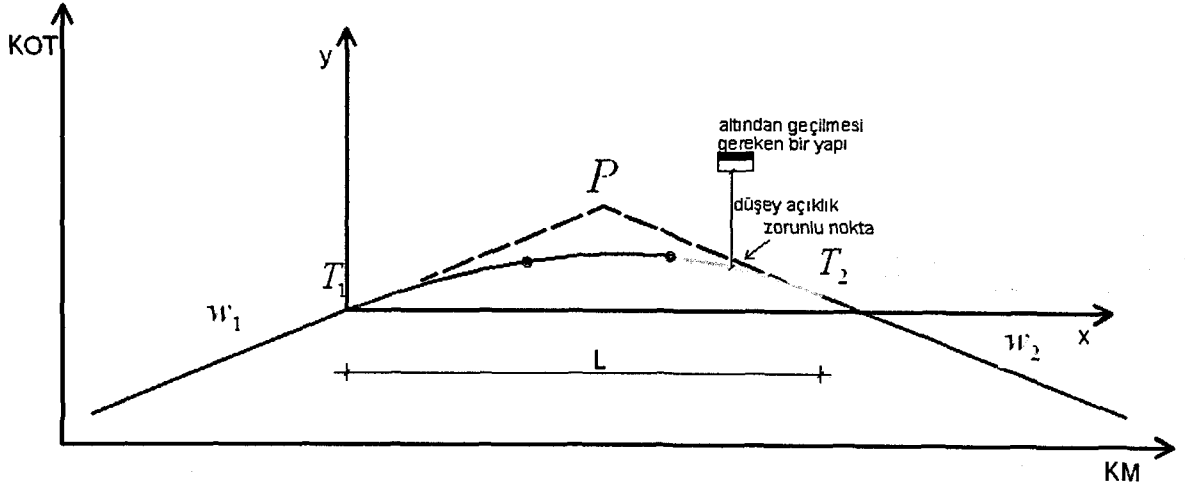
$$f_5 = -\left(d_5 \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 + e_5 \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - a_5 \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 - b_5 \cdot \frac{L}{2} - c_5\right) \quad (2.24)$$

formüllerleriyle ifade edilir. Verilen formüllerde küçük yay boyunun (L_1), toplam kurb uzunluğuna (L) oranı $0.25 < \frac{L_1}{L} < 0.75$ aralığında olmalıdır (Easa ve Hassan, 1998).

2.2.6 Verilen noktadan geçen üç yaylı düşey kurb

(Şekil 2.6) da görüldüğü gibi düşey kurbun sağlaması gereken düşey açıklık mesafesini koruyabilen bir tasarıma sahiptir. Easa (1998) de bu kurbun çözümü için tekrarlı (iteratif) bir yol önermiştir. Kurbun iki özel durumu bulunmaktadır. Birinci özel durumda, eğer zorunlu nokta verilmezse; kurb, eşit yaylı simetrik olmayan kurba dönüşmektedir. İkinci özel durumda ise üç eşit yaylı simetrik kurba dönüşür.

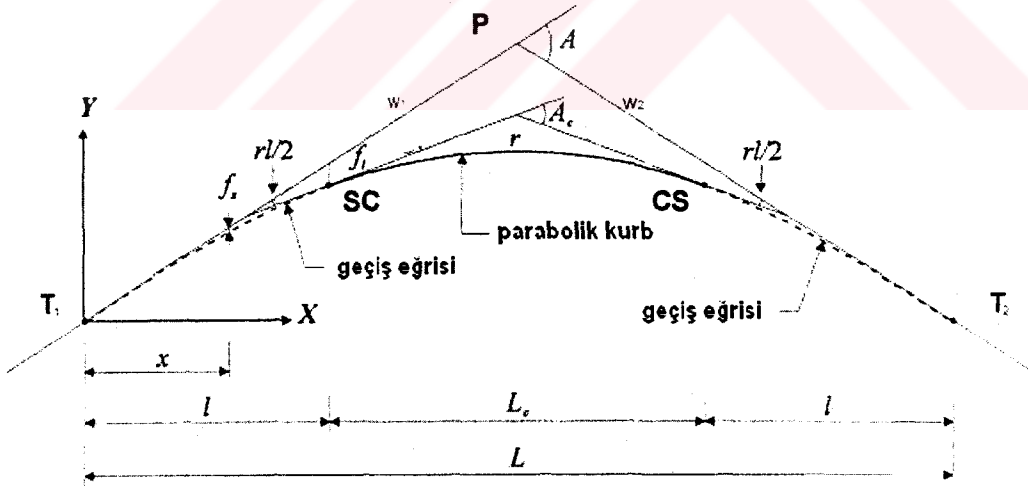
Bu tezin konusu zorunlu noktalar olmadığı için üç yaylı kurbun kendisi yerine birinci özel durumu, eşit yaylı simetrik olmayan kurb incelenmiştir.



Şekil 2.6: Üç yaylı zorunlu noktadan geçen düşey kurb

2.2.7 Bileşik düşey kurb

Yatay kurlarda, geçiş eğrileri sürücü konforunu, görüş uzaklığını, karayolu estetiğini ve trafik güvenliğini artırır. Parabolik düşey kurlar, teğete doğrudan bağlanırlar. Aralarında bir geçiş eğrisi yoktur. Bileşik düşey kurbda teğetle parabol arasına bir geçiş eğrisi (kübik polinom) yerleştirmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Geçişli tepe düşey kurb (Easa ve Hassan, 2000a)

Bu yeni düşey kurbdaki geçiş eğrisi, teğetten parabole geçişi yumuşatır. Bu yumuşatma eğrilik değişimiyle ilgilidir. Aynı şekilde ters tarafta parabolden teğete geçişi de yumuşatır.

Bu yeni bileşik eğrinin formülasyonu simetrik olmayan düşey kurbda da görüldüğü gibi birden fazla (üç) formülle oluşturulur. (Şekil 2.7) de bileşik düşey kurb görülmektedir. İlk parça, teğetten geçiş eğrisine (T_1) noktası ile geçiş eğrisinden parabole (SC) noktası $0 < x < l$ aralığında formüle edilir. SC noktasıyla parabolden geçiş eğrisine (CS) noktası $l < x < l + L_c$ aralığındaki basit düşey kurbun hesabı yapılır. CS noktası ile geçiş eğrisinden teğete (T_2) olan nokta arası ise $l + L_c < x < 2 \cdot l + L_c$ aralığında hesaplanır. Geçiş eğrisi kısımlarının kurb boyları birbirine eşittir. Etkin bir çözüm için bu tezde formüller yeniden düzenlenmiştir.

Bileşik düşey kurbun yeniden çözümünde bileşik kurbun üç parçalı olması nedeniyle her parça farklı bir fonksiyonla ifade edilir, (Şekil 2.7) de görülen,

- l : Birinci ve üçüncü yay parçalarının düşey izdüşüm uzunluğu,
 L_c : İkinci yay parçasının düşey izdüşüm uzunluğu,
SC : Geçiş eğrisinden parabole geçiş noktası,
CS : Parabolden geçiş eğrisine geçiş noktası,

dır (Easa ve Hassan, 2000a). Eğrilerin fonksiyonları,

$$y_{BDK1} = a_7 \cdot x^3 + b_7 \cdot x^2 + c_7 \cdot x + d_7, \quad 0 \leq x \leq l \quad (2.25)$$

$$y_{BDK2} = e_7 \cdot x^2 + f_7 \cdot x + g_7, \quad l \leq x \leq l + L_c \quad (2.26)$$

$$y_{BDK3} = h_7 \cdot x^3 + i_7 \cdot x^2 + k_7 \cdot x + m_7, \quad l + L_c \leq x \leq 2 \cdot l + L_c \quad (2.27)$$

dır. Eşitliklerde geçen,

y_{BDK1} : Bileşik düşey kurbun birinci parçasının fonksiyonu,

y_{BDK2} : Bileşik düşey kurbun ikinci parçasının fonksiyonu,

y_{BDK3} : Bileşik düşey kurbun üçüncü parçasının fonksiyonu,

$a_7, b_7, c_7, d_7, e_7, f_7, g_7, h_7, i_7, k_7, m_7$: Fonksiyonlardaki bilinmeyenlerdir.

Bilinmeyenlerin çözümü; her bir fonksiyonun ayrı ayrı incelenmesi ve tümünün birleşme noktalarında konum, eğim ve eğrilik değerleriyle eşitlenmesiyle olur.

Birinci kurb parçasının incelenmesi:

(Şekil 2.7) de,

$$x = 0 \rightarrow y_{BDK1} = 0 \quad (2.28)$$

(2.25) e (2.28) uygulanırsa,

$$d_7 = 0 \quad (2.29)$$

elde edilir. (2.25) in orijindeki birinci türevi,

$$x = 0 \rightarrow y'_{BDK1} = w_1 \quad (2.30)$$

(2.30) ya göre,

$$c_7 = w_1 \quad (2.31)$$

elde edilir. İnceleme sonucunda (2.25) da bilinmeyenler yerine (2.29) ve (2.31) yazılırsa,

$$y_{BDK1} = a_7 \cdot x^3 + w_1 \cdot x \quad (2.32)$$

elde edilir. a_7 nin bulunabilmesi için diğer parçaların incelenmesine ihtiyaç vardır.

İkinci kurb parçasının incelenmesi:

İkinci parçayı birinci parçadan faydalanarak incelemek gerekir. (2.32) in birinci ve ikinci türevleri,

$$y'_{BDK1} = 3 \cdot a_7 \cdot x^2 + w_1 \quad (2.33)$$

$$y''_{BDK1} = 6 \cdot a_7 \cdot x \quad (2.34)$$

İkinci parçanın birinci ve ikinci türevleri,

$$y'_{BDK2} = 2 \cdot e_7 \cdot x \quad (2.35)$$

$$y''_{BDK2} = 2 \cdot e_7 \quad (2.36)$$

(Şekil 2.7) de SC noktasında birinci ve ikinci parçanın eğim ve eğrilik değerleri eşit olmalıdır. Öyleyse,

$$x = l \text{ için (2.32) = (2.26)} \quad (2.37)$$

$$x = l \text{ için (2.33) = (2.35)} \quad (2.38)$$

$$x = l \text{ için (2.34) = (2.36)} \quad (2.39)$$

dir. (2.37), (2.38) ve (2.39) den,

$$g_7 = a_7 \cdot l^3 \quad (2.40)$$

$$f_7 = w_1 - 3 \cdot a_7 \cdot l^2 \quad (2.41)$$

$$e_7 = 3 \cdot a_7 \cdot l \quad (2.42)$$

katsayıları elde edilir. İnceleme sonucunda (2.26) de (2.40), (2.41), (2.42) yerine konularak,

$$y_{BDK2} = 3 \cdot a_7 \cdot l \cdot x^2 + (w_1 - 3 \cdot a_7 \cdot l^2) \cdot x + (3 \cdot a_7 \cdot l^2 - 2 \cdot a_7 \cdot l^3) \quad (2.43)$$

elde edilir.

Üçüncü kurb parçasının incelenmesi:

İkinci parçanın incelemesinde olduğu gibi üçüncü parça incelenirken birinci ve ikinci parçadan faydalanılır. (Şekil 2.7) de T_2 noktasında üçüncü parçanın eğriliği sıfırdır, buna göre,

$$y'_{BDK3} = 3 \cdot h_7 \cdot x^2 + 2 \cdot i_7 \cdot x + k_7 \quad (2.44)$$

$$y''_{BDK3} = 6 \cdot h_7 \cdot x + 2 \cdot i_7 \quad (2.45)$$

$$x = 2 \cdot l + L_c \rightarrow y''_{BDK3} = 0 \quad (2.46)$$

ve (2.46) den

$$i_7 = -3 \cdot h_7 \cdot (2 \cdot l + L_c) \quad (2.47)$$

elde edilir. (Şekil 2.7) de CS noktasında ikinci ve üçüncü parçanın eğrilikleri eşit olmalıdır. Buna göre CS noktasında (2.43) un ikinci türeviyle (2.45) eşit olmalıdır,

$$h_7 = -a_7 \quad (2.48)$$

olur. Bunun yanında (Şekil 2.7) de CS noktasında ikinci ve üçüncü parçaların eğimleri de eşit olmalıdır, buna göre CS noktasında (2.43) un birinci türeviyle (2.44) eşit olmalıdır. Bu durumda,

$$k_7 = 3 \cdot a \left(-l^2 - 2 \cdot l \cdot L_c - L_c^2 \right) + w_1 - 3 \cdot a_7 \cdot l^2 \quad (2.49)$$

yazılır. (2.48) ve (2.49) ile ikinci ve üçüncü parçaların eğim ve eğrilik değerleri (Şekil 2.7) deki CS noktasında süreklilik kazanmıştır. Konum değerlerinin de CS noktasında sürekli olması için (2.27) ile (2.43) in eşit olması gerekir. Buna göre,

$$m_7 = 4 \cdot a_7 (l + L_c)^3 - (3 \cdot a_7 \cdot l + 3 \cdot a_7 \cdot L_c) \cdot (l + L_c)^2 + a_7 \cdot l^3 \quad (2.50)$$

yazılıp son olarak üçüncü parçanın (şekil) de T_2 noktasındaki eğimi w_2 ye eşitlenirse,

$$a_7 = \frac{w_2 - w_1}{6 \cdot l \cdot (l + L_c)} \quad (2.51)$$

elde edilerek tüm bilinmeyenler bilinenler cinsinden ifade edilmiş olur.

2.3 Düşey Kurb Boyunun Bulunması

Düşey kurların boyunu belirlemede temel ölçütler; drenaj, estetik, görüş uzunluğu ve sürüş konforudur. Drenaj; yüzey suyunun zararlı etkilerini önlemek amacıyla getirilmiş bir düşey kurb boyu belirleme ölçütüdür. Görüş uzunlukları; emniyetli duruş ve emniyetli geçiş uzunlukları olarak ikiye ayrılırlar. Her iki durumda da sürücünün karşısına çıkabilecek tehlikeli durumu yeterli tepki ve fren mesafesinden görebilmesi için gerekli uzaklıktır (Umar ve Yayla 1998). Sürücü konforu; sürüş esnasında eğrilik değişiminin olduğu bir noktada, sürücüyü rahatsız eden etkiyle ilgilidir. Özellikle dere düşey kurlarda eğrilik yarıçapı doğrultusundaki, yerçekimi ivmesiyle aynı yönde oluşan merkezkaç ivmesi sürücü konforunu olumsuz etkiler. Bu tezde konfor açısından düşey kurlar karşılaştırılmaktadır.

2.4 Yanal Sademe

Geçki yatay geometrisinde kullanılan eğrilerin, yol-araç dinamiği yönünden karşılaştırılmasında en uygun ölçüt sademedir (Baybura, 2001).

Eğrisel bir yörünge üzerinde hareket eden bir cisme, hızı sabit de olsa, hızının doğrultusundaki değişim nedeniyle bir merkezci ivme etki eder (Tarı, 1997). Hausmann ve Slack'e göre ivme, hızın zamana göre değişimi olarak

tanımlandığına göre, hızın gerek doğrultusunda gerekse büyüklüğündeki bir değişim bir ivme doğurur. Eğrisel yörünge boyunca hızının büyüklüğü değişen bir cisim merkezci ivmeden başka teğetsel bir ivmeye de sahiptir (Tarı, 1997).

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

$$\vec{z} = \frac{da}{dt} \cdot \vec{N} \quad (2.52)$$

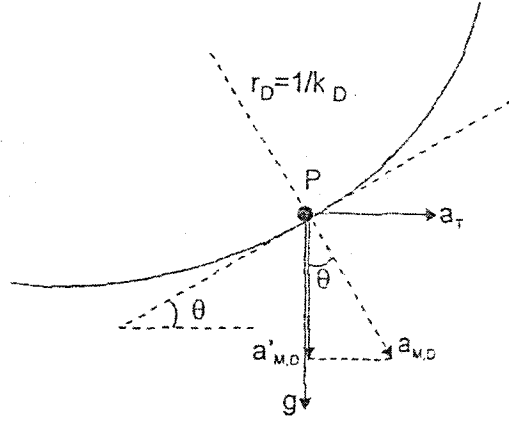
\vec{z} : Yanal Sademe $\left[\frac{m}{sn^3} \right]$

a : Serbest kuvvetlerin doğurduğu bileşke ivme $\left[\frac{m}{sn^2} \right]$

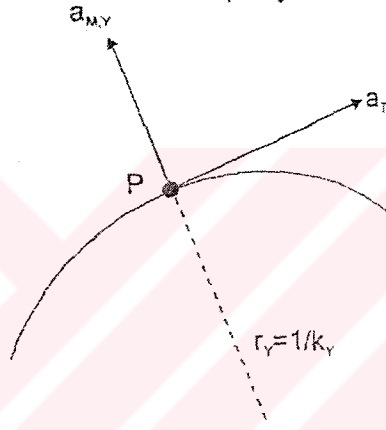
t : Zaman $[sn]$

\vec{N} : Eğri normaline doğrultusundaki birim vektör

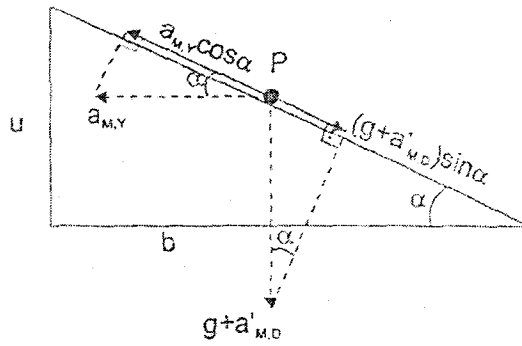
olarak yazılabilir.



a) Boykesit



b) Yatay izdüşüm



c) P noktasındaki enkesit

Şekil 2.8: Eğrisel yörünge üzerinde hareket eden cisme etki eden serbest ivmeler (Baybura 2001)

Her türlü hareket ve (Şekil 2.8b ve Şekil 2.8c) de görülen yatay geometri ve dever koşullarına uygun yanıl sademe bağıntısı Baykal (1996) da,

$$\vec{z} = \frac{da}{dt} \cdot \vec{N} = \frac{b \cdot v}{\sqrt{u^2 + b^2}} \cdot \left[3 \cdot k_y \cdot a_T + v^2 \cdot \frac{dk_y}{dl} - \frac{(k_y \cdot u \cdot v^2 + g \cdot b)}{(u^2 + b^2)} \cdot \frac{du}{dl} \right] \quad (2.53)$$

olarak verilmiştir. Burada,

- b : Yol platformunun yatay genişliği $[m]$
- g : Gravite $(9.81 \frac{m}{sn^2})$
- v : Aracın ani hızı $\left[\frac{m}{sn} \right]$
- u : Dever $[m]$
- k_y : Aracın hareket yörüngesinin (geçkinin) yatay düzlemde tanımlanmış eğriliği $\left[\frac{1}{m} \right]$
- a_T : Aracın hız vektörünün büyüklüğünü değiştiren bileşke teğetsel ivme $\left[\frac{m}{sn^2} \right]$
- l : Yörünge eğrisinin yatay izdüşüm uzunluğu (formüllerde doğal değişken) $[m]$

dir. (2.53) bağıntısında b , g ve a_T terimlerinin sabit kaldığı varsayılmıştır ayrıca (Şekil 2.8a) da açıkça görüldüğü gibi

- k_D : Düşey düzlemde geçki eğriliğinin yola bağlı değişimi $\left[\frac{1}{m} \right]$
- w : Geçki boyuna eğiminin yola bağlı değişimi

göz ardı edilmiştir. Baybura (2001) de bu parametrelerin de formüle eklenmesi sonucu yeni sademe bağıntısı elde etmiştir. Bu sademe bağıntısı,

$$\begin{aligned} \bar{z} = \frac{d\bar{a}}{dt} \cdot \bar{N} = \frac{b \cdot v}{\sqrt{u^2 + b^2}} & \left\{ 3 \cdot k_Y \cdot a_T + v^2 \frac{dk_Y}{dl} \mp \frac{u \cdot v^2}{b\sqrt{1+w^2}} \cdot \frac{dk_D}{dl} + \left(\frac{-k_Y \cdot v^2 \cdot u}{u^2 + b^2} - \frac{g}{b} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{g \cdot u^2}{b(u^2 + b^2)} \mp \frac{k_D \cdot v^2}{b\sqrt{1+w^2}} \mp \frac{-k_D \cdot v^2 \cdot u^2}{b\sqrt{1+w^2}(u^2 + b^2)} \right) \frac{du}{dl} \right. \\ & \left. \mp \frac{-u \cdot k_D \cdot v^2 \cdot w}{b(1+w^2)^{3/2}} \cdot \frac{dw}{dl} \mp \frac{2 \cdot u \cdot k_D \cdot a_T}{b\sqrt{1+w^2}} \right\} \end{aligned} \quad (2.54)$$

olarak ifade edilmiştir. (2.54) de $k_D=0$ yazılarak (2.53) eşitliğine kolaylıkla ulaşılır. O halde Baykal (1996) da türetilen (2.53) eşitliği, (2.54) un $k_D=0$ özel haline karşılık gelmektedir. (2.54) deki (\mp) operatörleri, dere (açık) düşey kurb için (-), tepe (kapalı) düşey kurb için (+) olarak uygulanmalıdır.

2.5 Dikey Sademe

Dikey sademe, eğrisel bir yörünge üzerinde v ani hızıyla hareket eden m kütleli araca etki eden serbest kuvvetlerin meydana getirdiği bileşke ivmenin, yörünge eğrisinin binormali doğrultusunda zamana göre değişimidir.

Bu yeni formül, Baybura (2001) de üretilen yanal sademe formülüne benzer bir biçimde elde edilmiştir. (Şekil 2.8) de görülen ivme vektörlerinin yol platformuna paralel izdüşümleri yanal sademe formülünde kullanılmıştır. Aynı ivme vektörlerinin platforma **dik** yöndeki (normal) bileşenlerinin zamana bağlı değişimi dikey sademe bağıntısını verecektir.

Düşey eğrilikten kaynaklanan düşey merkezkaç ivmesi,

$$a_{M.D} = k_D \cdot v^2 \quad (2.55)$$

dir. (2.55) ün dikey bileşeni,

$$a'_{M.D} = k_D \cdot v^2 \cdot \cos \theta \quad (2.56)$$

dir. Yatay geometrinin eğriliğinden kaynaklanan yatay merkezkaç ivmesi,

$$a_{M,Y} = k_Y \cdot v^2 \quad (2.57)$$

dir. Düşey yönde etki eden $a_{M,D}$, $a_{M,Y}$ ve g büyüklüklü ivme vektörleri P noktasındaki enkesite taşınırsa (Şekil 2.8c) elde edilir. Bu ivmelerin yol platformuna **dik** bileşkesi,

$$a_{Nd} = -k_y \cdot v^2 \cdot \sin(\alpha) - g \cdot \cos(\alpha) \mp k_d \cdot v^2 \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) \quad (2.58)$$

olarak yazılır. (2.58) de (\mp) operatörü, tepe kurlarda (+), dere kurlarda (-) değerini alır. Yörünge eğrisinin yatay teğeti doğrultusundaki serbest ivme,

$$\bar{a}_T = \frac{dv}{dt} \cdot \bar{T} \quad (2.59)$$

olacağından araca etki eden serbest bileşke ivme,

$$\bar{a}_{Bd} = \bar{a}_{Nd} + \bar{a}_T = a_{Nd} \cdot \bar{B} + a_T \cdot \bar{T} \quad (2.60)$$

elde edilir. (2.58) ve (2.59) (2.60) da yerine yazılırsa,

$$\bar{a}_{Bd} = \frac{dv}{dt} \cdot \bar{T} + (-k_y \cdot v^2 \cdot \sin \alpha - g \cdot \sin \alpha \mp k_D \cdot v^2 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha) \cdot \bar{B} \quad (2.61)$$

olur. (Şekil 2.8a ve 2.8c) gereğince,

$$\tan \theta = w, \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+w^2}} \quad (2.62)$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} \quad (2.63)$$

yazılır ve (2.61) de yerine konulursa,

$$\begin{aligned} \bar{a}_{Bd} = & \frac{dv}{dt} \cdot \bar{T} + (-k_Y \cdot v^2 \cdot \frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} - g \cdot \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}} \\ & \mp k_D \cdot v^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+w^2}} \cdot \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}) \cdot \bar{B} \end{aligned} \quad (2.64)$$

olur. (2.64) ün yola göre türevi,

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{a}_B}{dl} = & \frac{dv}{dt} \cdot \frac{d\bar{T}}{dl} + \left[\frac{d}{dl} \left(-\frac{k_Y \cdot v^2 \cdot u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{g \cdot b}{\sqrt{u^2+b^2}} \mp \frac{k_D \cdot v^2 \cdot b}{\sqrt{1+w^2} \sqrt{u^2+b^2}} \right) \right] \cdot \bar{B} \\ & + \left(\frac{k_Y \cdot v^2 \cdot u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{g \cdot b}{\sqrt{u^2+b^2}} \mp \frac{k_D \cdot v^2 \cdot b}{\sqrt{1+w^2} \sqrt{u^2+b^2}} \right) \cdot \frac{d\bar{B}}{dl} \end{aligned} \quad (2.65)$$

olur. Frennet formülleri gereği,

$$\frac{d\bar{T}}{dl} = k_e \cdot \bar{N}, \quad \frac{d\bar{N}}{dl} = -k_e \cdot \bar{T} + \tau \cdot \bar{B} \quad (2.66)$$

yazılabilir (Borisenko ve Tarapov, 1968). Burada,

\bar{B} : Yörünge eğrisinin binormali doğrultusundaki birim vektör,

τ : Bir uzay eğrisi olan taşıt yörüngesinin burulması,

k_e : Yörünge eğrisinin eğriliğidir (Sokolnikoff ve Redheffer, 1966).

k_e eğriliğinin, (Şekil 2.8c) de eğik yol platformu düzleminde tanımlanmış olduğu kabul edilerek yeterli yaklaşıklıkla,

$$k_e = k_Y \cdot \cos \alpha \quad (2.67)$$

yazılır (Baybura 2001).

(2.66) ve (2.67) (2.65) de yerine konduktan sonra eşitliğin her iki yanını \vec{N} ile çarpılır ve $\vec{N} \cdot \vec{N} = 1$, $\vec{T} \cdot \vec{N} = \vec{B} \cdot \vec{N} = 0$ olduğuna dikkat edilirse

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{a}_B}{dl} \cdot \vec{B} &= \frac{dv}{dt} \cdot k_y \cdot \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \\ &+ \frac{d}{dl} \left(-\frac{k_y \cdot v^2 \cdot u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{g \cdot b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \mp \frac{k_D \cdot v^2 \cdot b}{\sqrt{1+w^2} \sqrt{u^2 + b^2}} \right) \end{aligned} \quad (2.68)$$

sonucuna varılır. (2.68) in sağ yanındaki 2.terimde, l ye bağlı değişken oldukları kabul edilen k_y , k_D , u, w ve v ye göre kısmi türevler alındıktan sonra,

$$\frac{d\vec{a}_B}{dl} = \frac{d\vec{a}_B}{dt} \cdot \frac{dt}{dl} = \frac{d\vec{a}_B}{dt} \cdot \frac{1}{\frac{dl}{dt}} \Rightarrow \frac{d\vec{a}_B}{dl} = \frac{d\vec{a}_B}{dt} \cdot \frac{1}{v} \quad (2.69)$$

$$\frac{dv}{dt} = a_T, \quad \frac{dv}{dl} = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dt}{dl} = a_T \cdot \frac{1}{\frac{dl}{dt}} \Rightarrow \frac{dv}{dl} = \frac{a_T}{v} \quad (2.70)$$

yerine konarak aşağıdaki dikey sademe bağıntısı elde edilir,

$$\begin{aligned} \vec{z}_D &= \frac{d\vec{a}}{dt} \cdot \vec{B} \\ &= \frac{u \cdot v}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left\{ \begin{aligned} &-2 \cdot k_y \cdot a_T + \frac{a_T \cdot b \cdot k_y}{u} \mp \frac{2 \cdot a_T \cdot b \cdot k_D}{u \cdot \sqrt{1+w^2}} \\ &-v^2 \frac{dk_y}{dl} \mp \frac{b \cdot v^2}{u \sqrt{1+w^2}} \cdot \frac{dk_D}{dl} \mp \frac{-b \cdot k_D \cdot v^2 \cdot w}{u \cdot (1+w^2)^{3/2}} \cdot \frac{dw}{dl} \\ &+ \left(\frac{b \cdot g}{b^2 + u^2} + \frac{k_y \cdot v^2 \cdot u}{b^2 + u^2} - \frac{k_y \cdot v^2}{u} \mp \frac{-b \cdot k_D \cdot v^2}{(b^2 + u^2) \cdot \sqrt{1+w^2}} \right) \cdot \frac{du}{dl} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (2.71)$$

(2.71) bağıntısını kontrol etmek amacıyla birim analizi yapıldığında,

$$z_D \rightarrow \left[\frac{m}{sn^3} \right]$$

elde edilir.

Literatürde dikey sademe bağıntısı bulunamamıştır. Düşey kurlarda geçerli en büyük yanal sademe değeri için deneysel testler gereklidir (Easa 2000a). Yanal sademe formülü yanında bazı dikey ivme bağıntıları verilmiştir. Örneğin Lindahl (2001) raporunda düşey geometri eğriliğini yok sayan bir dikey ivme bağıntısı sunulmuştur. Bunun yanında Presle ve Hasslinger (1998) in verdikleri düşey sademe bağıntısında birim uyumsuzluğu vardır. Nasıl ki yanal sademe, yatay sademe değilse; dikey sademe de düşey sademe değildir. Lindahl (2001) de φ_z enine eğim, a_z dikey ivme olmak üzere verilen dikey ivme bağıntısı,

$$a_z = \frac{v^2}{R} \cdot \sin(\varphi_z) + g \cdot \cos(\varphi_z) \quad (2.72)$$

dir. Presle ve Hasslinger (1998) in verdikleri bağıntı,

$$\left| \frac{d\beta_v}{dt} \right| = \frac{1}{g} \cdot \left| \frac{da_v}{dt} \right| = \left| \frac{dK_v}{ds} \cdot \frac{v^3}{g} \right| \leq \beta_{vo} \quad (2.73)$$

dır, bağıntının birim analizi,

$$\frac{m}{sn^3} = \frac{1}{sn} = \frac{1}{sn} \leq \frac{1}{sn}$$

olur.

3. DÜŞEY GEOMETRİ ELEMANLARININ EĞİM VE EĞRİLİK FONKSİYONLARI

Bir polinomun eğim fonksiyonu onun birinci türevine eşittir. Bu,

$$w(x) = \frac{dy}{dx} \quad (3.1)$$

dir. Bir polinomun eğrilik fonksiyonu,

$$k(x) = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (3.2)$$

formülüyle bulunur.

3.1 Doğru parçasının eğim ve eğrilik fonksiyonları

Doğru parçasının eğimi kırmızı kol eğimine eşittir. Doğru parçasının eğriliği sıfırdır. İfadesi şu şekilde,

$$y_{Dogru} = w_1 \cdot x \quad (3.3)$$

olur. (3.3) ün birinci türevinin alınmasıyla, doğrunu eğim denklemi,

$$w_{Dogru}(x) = w_1 \quad (3.4)$$

elde edilir. (3.3) ün (3.2) de yerine konmasıyla, eğrilik denklemi,

$$k_{Dogru}(x) = 0 \quad (3.5)$$

bulunur.

3.2 Dairesel Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

(2.5) in birinci türeviyle daireSEL tepe düşey kurbun eğim fonksiyonu,

$$w_{DDK}(x) = -\frac{-\frac{w_1 \cdot R}{\sqrt{1+w_1^2}} + x}{\sqrt{R^2 - \left[-\frac{w_1 \cdot R}{\sqrt{1+w_1^2}} + x\right]^2}} \quad (3.6)$$

elde edilir. Eğrilik fonksiyonu geometrik olarak,

$$k_{DDK}(x) = \frac{1}{R} \quad (3.7)$$

belirlidir.

3.3 Basit Parabolik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

(2.12) nin birinci türevi simetrik parabolün eğim fonksiyonunu,

$$w_{BP}(x) = \frac{w_2 - w_1}{L} \cdot x + w_1 \quad (3.8)$$

verir. (2.12), (3.2) de uygulanırsa,

$$k_{BP}(x) = \frac{w_2 - w_1}{L \cdot \left(1 + \left(w_1 + \frac{(w_2 - w_1) \cdot x}{L}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (3.9)$$

parabolik düşey kurbun eğrilik fonksiyonu elde edilmiş olur.

3.4 Simetrik Olmayan Parabolik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

İki parçalı eğrinin eğim fonksiyonu (2.13) ve (2.14) e (3.1) in uygulanmasıyla,

$$1.kısım \quad w_{SOP1}(x) = w_1 + \frac{L_2 \cdot (w_2 - w_1) \cdot x}{L_1 \cdot L}, \quad 0 \leq x \leq L_1 \quad (3.10)$$

$$2.kısım \quad w_{SOP2}(x) = \frac{L_1 \cdot (w_2 - w_1) \cdot (L_1 + L_2 - x)}{L_2 \cdot L}, \quad L_1 \leq x \leq L \quad (3.11)$$

bağıntılarından elde edilir. Eğrinin eğrilik fonksiyonu (2.13) ve (2.14) ün (3.2) de uygulanmasıyla,

$$k_{SOP1}(x) = \frac{L_2 \cdot (w_2 - w_1)}{L_1 \cdot L \cdot \left(1 + \left(w_1 + \frac{L_2 (w_2 - w_1) \cdot x}{L_1 \cdot L} \right)^2 \right)^{3/2}}, \quad 0 \leq x \leq L_1 \quad (3.12)$$

$$k_{SOP2}(x) = \frac{L_1 \cdot (w_2 - w_1)}{L_2 \cdot L \cdot \left(1 + \left(w_2 + \frac{L_1 (w_2 - w_1) \cdot (L - x)}{L_2 \cdot L} \right)^2 \right)^{3/2}}, \quad L_1 \leq x \leq L \quad (3.13)$$

elde edilir.

3.5 Verilen Bir Noktadan Geçen Simetrik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

(2.16) in birinci türevi kurbun,

$$w_{VNGS}(x) = w_1 - \frac{2 \cdot x \cdot z}{\left(-D + \frac{L}{2} \right)^2} \quad (3.14)$$

eğim fonksiyonunu verir. (2.16) in (3.2) de uygulanmasıyla eğrilik fonksiyonu,

$$k_{VNGS}(x) = \frac{2 \cdot z}{\left(\left(-D + \frac{L}{2} \right)^2 \cdot \left(1 + \left(w_1 + \frac{2 \cdot xz}{\left(-D + \frac{L}{2} \right)^2} \right)^2 \right) \right)^{3/2}} \quad (3.15)$$

elde edilir.

3.6 Eşit Yaylı Simetrik Olmayan Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

Kurbun eğim fonksiyonları (2.17) ve (2.18) ün (3.1) e uygulanmasıyla,

$$w_{EYSO1} = w_1 + \frac{\left(3 - \frac{4 \cdot L_1}{L} \right) \cdot (w_2 - w_1) \cdot x}{L}, \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2} \quad (3.16)$$

$$w_{EYSO2}(x) = w_2 - \frac{\left(-1 + \frac{4 \cdot L_1}{L} \right) \cdot (w_2 - w_1) \cdot (L - x)}{L}, \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L \quad (3.17)$$

elde edilir. Kurbun eğrilik fonksiyonları (2.17) ve (2.18) ün (3.2) ye uygulanmasıyla,

$$k_{EYSO1}(x) = \frac{\left(3 - \frac{4 \cdot L_1}{L} \right) \cdot (w_2 - w_1)}{L \cdot \left(1 + \left(w_1 + \frac{\left(3 - \frac{4 \cdot L_1}{L} \right) \cdot (w_2 - w_1) \cdot x}{L} \right)^2 \right)^{3/2}}, \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2} \quad (3.18)$$

$$k_{EYSO2}(x) = \frac{\left(-1 + \frac{4 \cdot L_1}{L}\right) \cdot (w_2 - w_1)}{L \cdot \left[1 + \left(w_2 - \frac{\left(-1 + \frac{4 \cdot L_1}{L}\right) \cdot (w_2 - w_1) \cdot (L - x)}{L}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L \quad (3.19)$$

elde edilir.

3.7 Bileşik Düşey Kurbun Eğim ve Eğrilik Fonksiyonları

Bileşik düşey kurb üç parçalıdır (Şekil 2.7). Her parça için eğim fonksiyonu, (2.25), (2.26) ve (2.27) nin (3.1) e uygulanmasıyla,

$$w_{BDK1}(x) = w_1 + \frac{(w_2 - w_1) \cdot x^2}{2 \cdot l \cdot (L_c + l)}, \quad 0 \leq x \leq l \quad (3.20)$$

$$w_{BDK2}(x) = w_1 - \frac{l \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot (l + L_c)} + \frac{(w_2 - w_1)x}{l + L_c}, \quad l \leq x \leq l + L_c \quad (3.21)$$

$$w_{BDK3}(x) = w_1 - \frac{l \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot (l + L_c)} - \frac{(l + L_c) \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot l} + \frac{(2 \cdot l + L_c) \cdot (w_2 - w_1)x}{l \cdot (l + L_c)} - \frac{(w_2 - w_1)x^2}{2 \cdot l \cdot (l + L_c)}, \quad l + L_c \leq x \leq 2 \cdot l + L_c \quad (3.22)$$

elde edilir. Bileşik düşey kurbun eğrilik fonksiyonu, (2.25), (2.26) ve (2.27) nin (3.2) de uygulanmasıyla,

$$k_{BDK1}(x) = \frac{(w_2 - w_1) \cdot x}{l \cdot (l + L_c) \cdot \left[1 + \left(w_1 + \frac{(w_2 - w_1) \cdot x^2}{2 \cdot l \cdot (l + L_c)}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad 0 \leq x \leq l \quad (3.23)$$

$$k_{BDK_2}(x) = \frac{(w_2 - w_1)}{(l + L_c) \cdot \left(1 + \left(w_1 - \frac{l \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot (l + L_c)} + \frac{(w_2 - w_1) \cdot x}{l + L_c} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (3.24)$$

$$l \leq x \leq l + L$$

$$k_{BDK_3}(x) = \frac{\frac{(2 \cdot l + L_c) \cdot (w_2 - w_1)}{l \cdot (l + L_c)} - \frac{(w_2 - w_1) \cdot x}{l \cdot (l + L_c)}}{\left(1 + \left(w_1 - \frac{l \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot (l + L_c)} - \frac{(l + L_c) \cdot (w_2 - w_1)}{2 \cdot l} + \frac{(2 \cdot l + L_c) \cdot (w_2 - w_1) \cdot x}{(l + L_c) \cdot l} - \frac{x^2 \cdot (w_2 - w_1)^2}{2 \cdot l \cdot (l + L_c)} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (3.25)$$

$$l + L_c \leq x \leq 2 \cdot l + L$$

elde edilir.



4. DÜŞEY GEÇKİ BÖLÜMLERİNİN YANAL SADEME FONKSİYONLARI

Eğrilerin yanal sademe fonksiyonları (2.54) de geçen parametrelerin yerine konulmasıyla elde edilir. Ancak yanal sademe bağıntıları oldukça uzun olduğundan sonuç bağıntıları teze eklenmemiştir. Bu bölümde bağıntıların nasıl türetildiğine yer verilmiştir.

4.1 Doğru Parçasının Yanal Sademe Fonksiyonu

(3.4), (3.5) in (2.54) de yerine konulmasıyla doğru parçasının yanal sademe fonksiyonu,

$$z_{dogru} = 0 \quad (4.1)$$

elde edilir.

4.2 Dairesel Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu

Hesaplarda düşey geometrinin 3 farklı elemanı ayrı ayrı ele alınmalıdır:

1. eleman (T_1 öncesi doğru parçası (Şekil 2.1)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.
2. eleman ($T_1 - T_2$ arası dairesel tepe düşey kurb (Şekil 2.1)): (3.6) ve (3.7) nin (2.54) de yerine konmasıyla dairesel düşey kurbun yanal sademe fonksiyonu elde edilir.
3. eleman (T_2 sonrası doğru parçası (Şekil 2.1)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.

4.3 Basit Parabolik Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu

1. eleman (T_1 öncesi doğru parçası (Şekil 2.2)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.

2. eleman ($T_1 - T_2$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.2)): (3.8) ve (3.9) un (2.54) de yerine konulmasıyla basit parabolik düşey kurbun yanıl sademe fonksiyonu elde edilir.

3. eleman (T_2 sonrası doğru parçası (Şekil 2.2)): (4.1) de görüldüğü gibi yanıl sademe değeri sıfırdır.

4.4 Simetrik Olmayan Parabolik Düşey Kurbun Yanıl Sademe Fonksiyonu

Hesaplarda düşey geometrinin 4 farklı elemanı ayrı ayrı ele alınmalıdır:

1. eleman (T_1 öncesi doğru parçası (Şekil 2.3)): (4.1) de görüldüğü gibi yanıl sademe değeri sıfırdır.

2. eleman ($T_1 - T_3$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.3)): (3.10) ve (3.12) nin (2.54) de yerine konulmasıyla simetrik olmayan kurbun birinci parçasının yanıl sademe fonksiyonu elde edilir.

3. eleman ($T_3 - T_2$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.3)): (3.11) ve (3.13) ün (2.54) de yerine konulmasıyla simetrik olmayan kurbun ikinci parçasının yanıl sademe fonksiyonu elde edilir.

4. eleman (T_2 sonrası doğru parçası (Şekil 2.3)): (4.1) de görüldüğü gibi yanıl sademe değeri sıfırdır.

4.5 Eşit Yaylı Simetrik Olmayan Kurbun Yanıl Sademe Fonksiyonu

1. eleman (T_1 öncesi doğru parçası (Şekil 2.5)): (4.1) de görüldüğü gibi yanıl sademe değeri sıfırdır.

2. eleman ($T_1 - T_3$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.5)): (3.16) ve (3.18) in (2.54) de yerine konulmasıyla eşit yaylı simetrik olmayan kurbun birinci parçasının yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

3. eleman ($T_3 - T_2$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.5)): (3.17) ve (3.19) un (2.54) de yerine konulmasıyla eşit yaylı simetrik olmayan kurbun ikinci parçasının yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

4. eleman (T_2 sonrası doğru parçası (Şekil 2.5)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.

4.6 Bileşik Düşey Kurbun Yanal Sademe Fonksiyonu

Hesaplarda düşey geometrinin 5 farklı elemanı ayrı ayrı ele alınmalıdır:

1. eleman (T_1 öncesi doğru parçası (Şekil 2.7)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.

2. eleman ($T_1 - SC$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.7)): (3.20) ve (3.23) in (2.54) de yerine konulmasıyla bileşik kurbun birinci parçasının yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

3. eleman ($SC - CS$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.7)): (3.21) ve (3.24) ün (2.54) de yerine konulmasıyla bileşik kurbun ikinci parçasının yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

4. eleman ($CS - T_2$ arası parabolik tepe düşey kurb (Şekil 2.7)): (3.22) ve (3.25) ün (2.54) de yerine konulmasıyla bileşik kurbun üçüncü parçasının yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

5. eleman (T_2 sonrası doğru parçası (Şekil 2.7)): (4.1) de görüldüğü gibi yanal sademe değeri sıfırdır.

5. SAYISAL UYGULAMA

Sademe, konfor açısından bir ölçüttür. Her bir düşey kurb tasarımı için sademe grafiklerinin yorumlanması gerekir. Düşey kurbun dere veya tepe olmasına göre farklı sonuçlar elde edilebilecektir. Bu bölümde test edilen düşey kurblarda tepe düşey kurb model alınmıştır, bu kararın özel bir nedeni yoktur.

Ulaştırma yapısı üzerinde hareket edecek her bir araç farklı hareketler yapabileceğinden, bu hareketlerin tümünü modelleyerek yanal sademe açısından incelemek olanaksızdır. Bu nedenle, yanal sademeye ilişkin araştırmalarda genel olarak kullanılan,

- Sabit hızlı hareket
- Sabit pozitif ivmeli hareket
- Sabit negatif ivmeli hareket

modelleri Tarı (1997), Tarı ve Baykal (1998), Baybura (2001) bu çalışmada da temel alınacaktır.

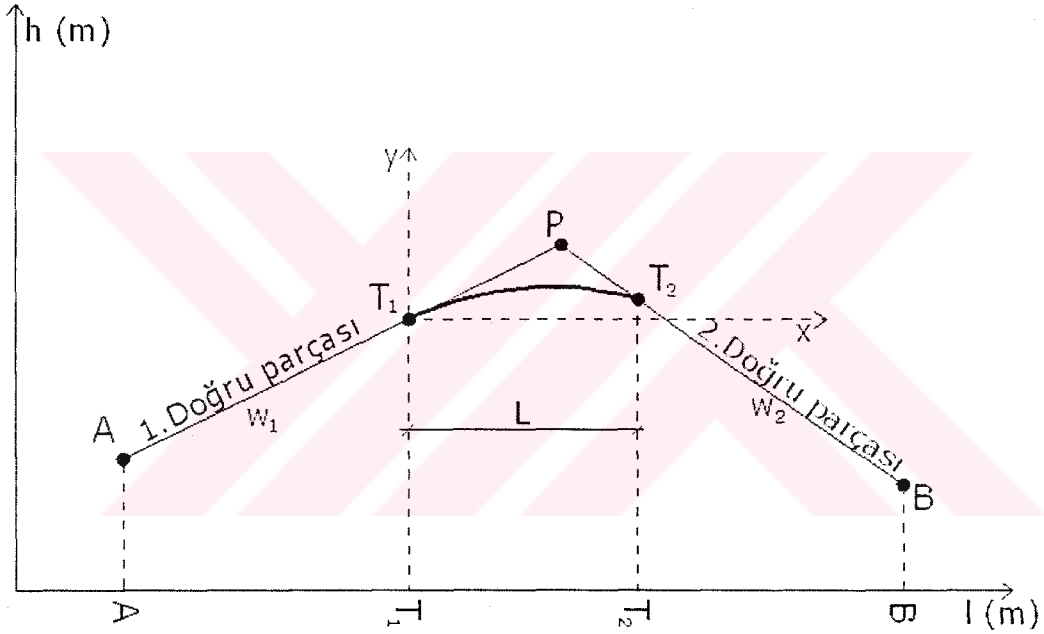
Yanal sademe hesaplarında geçki yatay ve düşey geometrisinin de bilinmesi zorunludur. Yatay ve düşey geometri tasarımında kullanılan geçki elemanlarının konumlarının ve büyüklüklerinin değiştirilmesiyle sonsuz sayıda geçki elde edilir. Bunların tümünü dikkate almak mümkün olmayacağından, araştırmalar aşağıdaki geometrik verilere göre yapılmıştır.

- Geçki yatay geometrisinin
 - Baştan sona tek bir doğru parçasından,
- Geçki düşey geometrisinin
 - Baştan sona tek bir doğru parçası,
 - Doğru parçası – dairesel tepe kurb – 2. doğru parçası,
 - Doğru parçası – simetrik parabolik tepe kurb – 2. doğru parçası
 - Doğru parçası – asimetric tepe kurb – 2. doğru parçası

- Doğru parçası – zorunlu tepe kurb – 2. doğru parçası
- Doğru parçası – eşit yaylı asimetrik – 2. doğru parçası
- Doğru parçası – bileşik tepe kurb – 2. doğru parçası

geometrisine sahip olduğu kabul edilmiştir. İzleyen bölümlerde hareket modelleri ile geçki yatay ve düşey geometrilerinin kombinasyonları için (2.54) eşitliğine göre farklı yanal sademe çözümleri elde edilmiştir.

Her bir düşey kurbun analizinde (Şekil 5.1) kullanılmıştır.



Şekil 5.1: Düşey kurbun geometrisi

(Şekil 5.1) de,

$$l = x + L_{T1} \quad (5.1)$$

dönüşümü yapılabilir. (5.1) dönüşümü düşey kurb üzerindeki noktaların başlangıca uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılabilir.

5.1 Yüksek Hızlı Karayolları Uygulaması

Easa ve Hassan (2000a) da bir yolda $v=110$ km/s için boyuna eğim değerleri $+0.03$ ve -0.01 olarak kullanılmıştır. Kurb boyu 392 m hesaplanmıştır. Dairesel düşey kurb yarıçapı Baybura (2001) den alınan bağıntı ile,

$$R_D = \frac{L}{\sin(\text{Arc tan } w_1) + \sin(\text{Arc tan } w_2)} \quad (5.2)$$

$$R_D = 9803.429 \text{ m} \quad (5.3)$$

hesaplanmıştır. (2.54) bağıntısının kullanılabilmesi için,

$v = v(l)$: Aracın ani hızının geçki boyunca (yola bağlı) değişimi,
 a_T : Araca etki eden bileşke teğetsel ivme

bilinmeli, diğer bir deyişle aracın hareketi modellenmelidir. Bu bölümde eğrileri mukayese edebilmek ve konfor açısından değerlendirebilmek için eğrilerin test yolundaki sademe fonksiyonları elde edilerek grafik olarak gösterilmiştir. Bu amaçla, bir test yolunun planlanması yapılmıştır. Her bir eğri için aynı özellikleri gösteren yolda, eğrilerin kendi özellikleri ortaya çıkacaktır. Bu test yolunun özellikleri,

$b = 3.50m$	Yol platformunun genişliği
$g = 9.81 \frac{m}{sn^2}$	Yer çekimi ivmesi
$v = 110 \frac{km}{s}$	Proje hızı
$u = 0.07$	Dever
$w(x)$	Boyuna eğim
$k_y = 0$	Yatay eğrilik (aliymanda = 0)
$k_D(x)$	Düşey eğrilik fonksiyonu
$L = 392.00m$	Düşey kurb boyu
$w_1 = +0.03$	Birinci kırmızı kol eğimi
$w_2 = -0.01$	İkinci kırmızı kol eğimi
$R = 9803.439m$	Dairesel düşey kurb yarıçapı

Tablo 5.1: Test yolunun özellikleri

olarak seçilmiştir.

Test yolunun geometrik tasarımı (Şekil 5.1) de gösterilmektedir. Geçki ana noktalarının kilometreleri için,

$$L_A = 0 + 000, \quad L_{T_1} = 0 + 300, \quad L_{T_2} = L_{T_1} + L = 0 + 692, \quad L_B = 0 + 992 \quad (5.4)$$

değerleri kullanılmıştır.

5.1.1 Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe fonksiyonları

Bu hareket modelinde hız sabittir ve

$$v = 110 \text{ km/s}, \quad a_T = 0 \quad (5.5)$$

olarak seçilmiştir. Yatay geometri baştan sona tek bir doğru parçasıdır.

5.1.1.1 Doğru parçası

Bu geometri uyarınca,

$$w_1 = +0.03, \quad k_D = 0 \quad (5.6)$$

yazılıp (2.54) de yerine konursa, hem tepe hem de dere kurb formülü için,

$$z_{dogru} = 0 \quad (5.7)$$

sonucu bulunur (Tablo 5.2).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
A	0
B	0
Z _{Max.} :	0
Z _{Min.} :	0

Tablo 5.2: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: doğru parçası

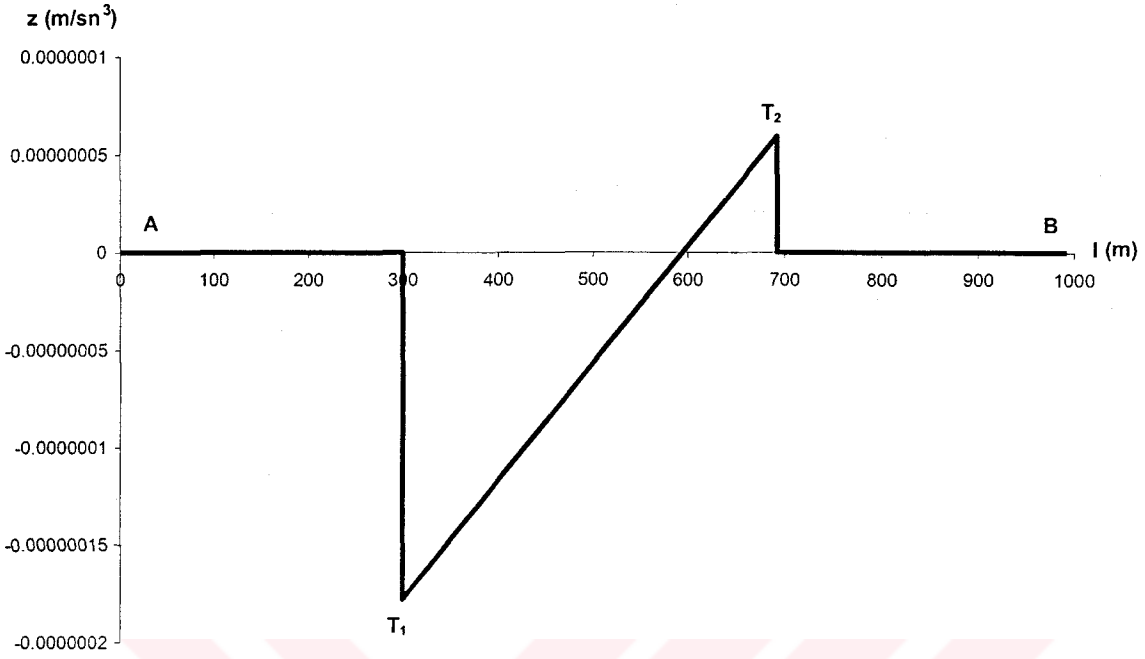
5.1.1.2 Dairesel tepe kurb

(3.6), (3.7) ve (5.5) (2.54) de yerine konularak, (Tablo 5.1) deki değerler yardımıyla daireysel düşey kurbun test yolundaki yanal sademe fonksiyonu elde edilir. Fonksiyonu elde ederken (5.1) değişken dönüşümü uygulanır (Şekil 5.1). Düşey geometride doğru parçasının bulunduğu kısımlarda yanal sademe değeri sıfırken, düşey geometrinin eğri kısımlarına gelindiğinde yola bağlı olarak yanal sademenin değiştiği görülür.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.3) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.2) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük (max. $|z| = +0.0000002 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı T_1 , T_2 noktalarında ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 5.2).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
T ₁	-0.0000002
T ₂	+0.0000001
Z _{Max.} :	+0.0000001
Z _{Min.} :	-0.0000002

Tablo 5.3: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: daireysel tepe kurb



Şekil 5.2: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel tepe kurb

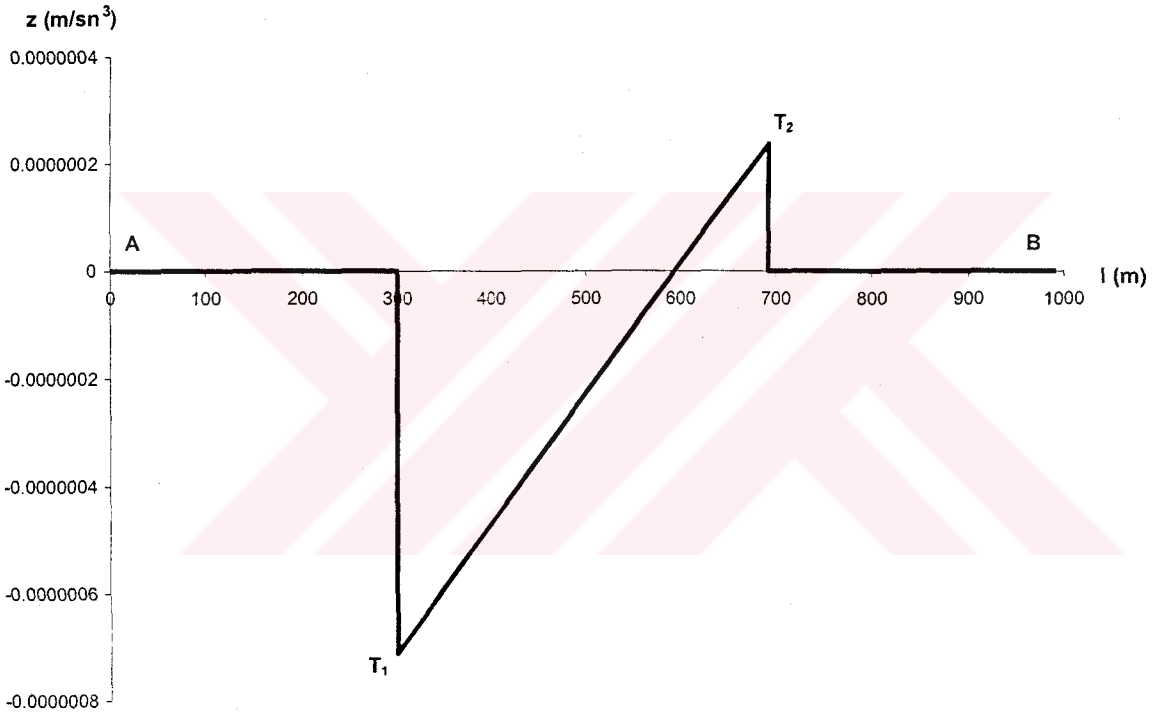
5.1.1.3 Parabolik düşey kurb

(2.54) de (Tablo 5.1) değerleriyle (3.8), (3.9) ve (5.5) yerine konmasıyla test yoluna ilişkin yanal sademe fonksiyonu elde edilir. (Şekil 5.1) deki koordinat sistemine göre (5.1) değişken değişimi yapılarak (Şekil 5.3) elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.4) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.3) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. |z| = +0.0000007 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı T_1 , T_2 noktalarında ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 5.3) (Tarı, 1997).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
T ₁	-0.0000007
T ₂	+0.0000003
Z _{Max.} :	+0.0000003
Z _{Min.} :	-0.0000007

Tablo 5.4: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: parabolik tepe kurb



Şekil 5.3: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik tepe kurb

5.1.1.4 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb

(5.1) değişken dönüşümü (2.54) bağıntısına uygulanarak yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

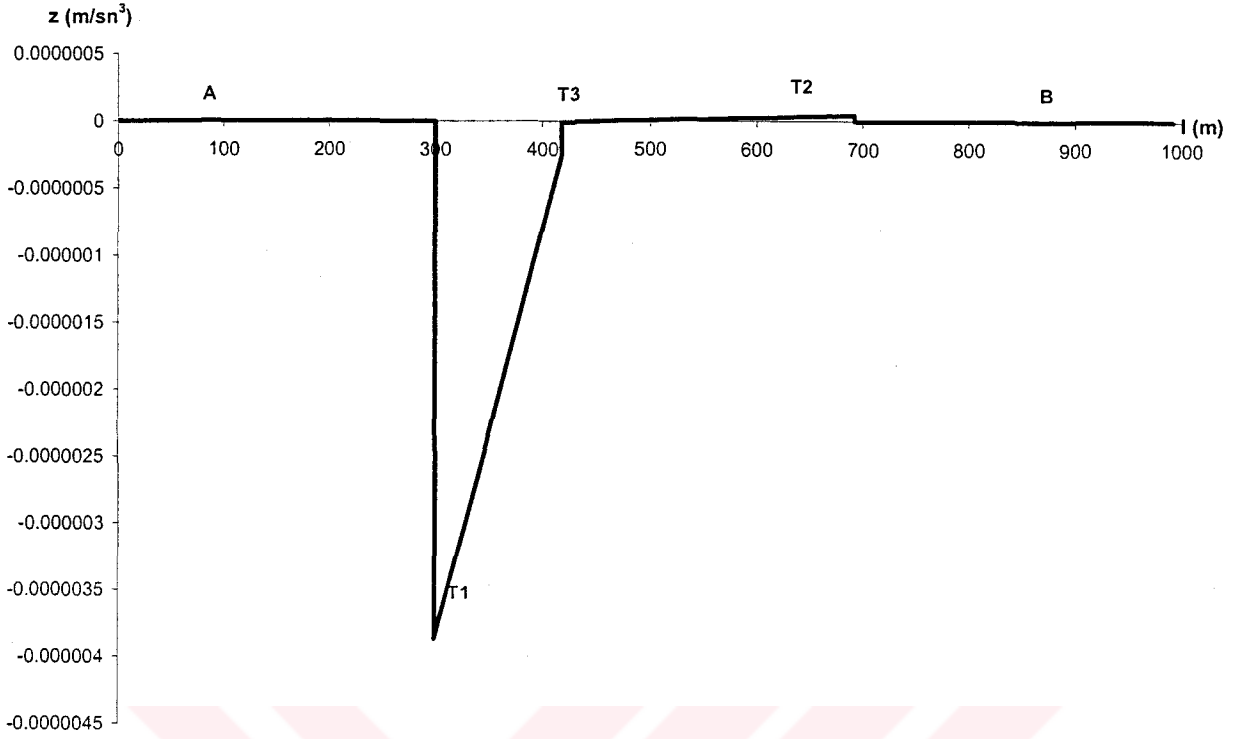
(3.10) ve (3.12) ve (Tablo 5.1) değerleri (2.54) de yerine konarak, simetrik olmayan parabolik düşey kurbun birinci parçası için yanal sademe elde edilir.

(3.11) ve (3.13) ve (Tablo 4.1) deęerleri (2.54) de yerine konarak simetrik olmayan parabolik dūşey kurbun ikinci parçası için yanal sademe elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.5) de verilmiştir, yanal sademe diyagramları ise (şekil 5.4) de gōsterilmiřtir. Sayısal olarak çok k (max. $|z| = +0.000004 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı kritik noktalarda ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (şekil 5.4). (Tablo 5.5) de T_3 noktası için iki farklı sayısal değer hesaplanmıştır. Bunun sebebi, T_3 noktasını ilgilendiren iki farklı yanal sademe fonksiyonu olmasıdır (Bknz: Bölüm 4).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.000004000
T_3 (2. parça)	-0.000000300
T_3 (3. parça)	-0.000000009
T_2	+0.000000040
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.000000040
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.000004000

Tablo 5.5: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik tepe kurb



Şekil 5.4: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik tepe kurb

5.1.1.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

Yanal sademe fonksiyonunun bulunması için öncelikle her iki parçanın eğim ve eğrilik fonksiyonlarının her bir parça için uygulanması gerekir. (3.16) ve (3.18) ve (Tablo 5.1) değerleri (2.54) de yerine konarak birinci parçanın yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

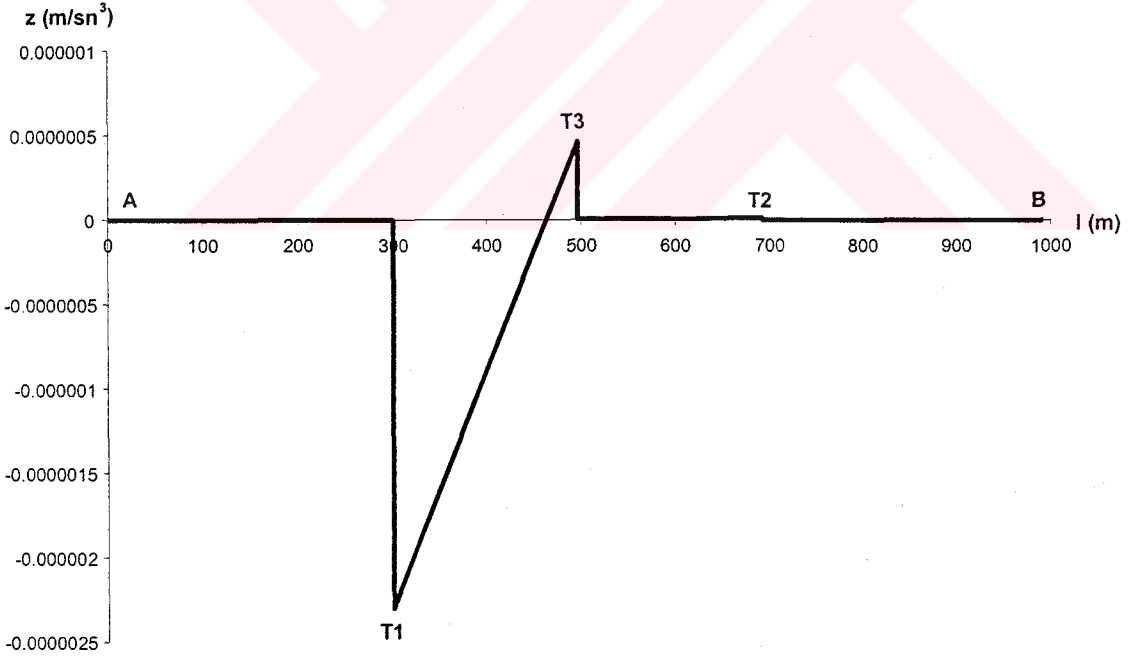
Düşey kurbu (Şekil 5.1) e yerleştirebilmek için (5.1) değişken dönüşümünü yapmak gerekir. (3.17) ve (3.19) formülleri ve (Tablo 5.1) değerleri (2.54) de yerine konarak ikinci parçanın yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.6) da verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.5) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. |z| = +0.000002 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı kritik noktalarda

ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 4.5). T_3 noktası iki fonksiyonu ilgilendirdiği için iki yanal sademe değerine sahiptir.

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.000002000
T_3 (2. parça)	+0.000000500
T_3 (3. parça)	+0.000000006
T_2	+0.000000010
$Z_{Max.}$:	+0.000000500
$Z_{Min.}$:	-0.000002000

Tablo 5.6: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb



Şekil 5.5: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb

5.1.1.6 Bileşik düşey kurb

Her bir parçasının ayrı bir konum, eğim ve eğrilik fonksiyonu vardır. Buna göre bileşik kurbun yanal sademe fonksiyonu da üç parçalı olacaktır.

l boyunun bulunması için Easa ve Hassan (2000a) da verilen,

$$l = \frac{0.0215 \cdot r \cdot v^3}{C} \quad (5.8)$$

bağıntısı kullanılmıştır. (5.8) de,

- r : 0.01/ K
 C : Sademe
 K : Eğrilik oranı
 v : Hız

olmak üzere, (5.8) bağıntısındaki sademe değeri AASHTO üst sınırı olan

$$C = 0.05 \text{ m/sn}^3 \quad (5.9)$$

alınır. K – değeri bu hızda ($v=110 \text{ km/s}$) bir yol için

v [km/sa]	K [m]
30	3
40	5
50	9
60	14
70	22
80	32
90	43
100	62
110	80
120	102

Tablo 5.7: K -değerleri (Easa ve Hassan, 2000a)

$$K = 80 \text{ m} \quad (5.10)$$

elde edilmiştir.

(5.9), (5.10) ve $v = 110 \text{ km/s}$ değerleri (5.8) de yerine konularak yuvarlatılırsa,

$$l = 71.54 \cong 72 \text{ m} \quad (5.11)$$

sonucu bulunur. İkinci parçanın boyu; Easa ve Hassan (2000a) kullandığı bağıntıyla,

$$L_c = \frac{w_2 - w_1}{r} - l \quad (5.12)$$

$$L_c = 248 \text{ m} \quad (5.13)$$

elde edilir.

Bileşik düşey kurbun birinci parçasının yanal sademe fonksiyonu; (2.54) de (3.20), (3.23) ve (Tablo 5.1) ve (5.11), (5.13) değerlerinin yerine konulmasıyla elde edilir.

İkinci parçanın yanal sademe fonksiyonu; (5.11), (5.13), (3.21), (3.24) ve (Tablo5.1) değerlerinin (2.54) de yerine konulmasıyla elde edilir.

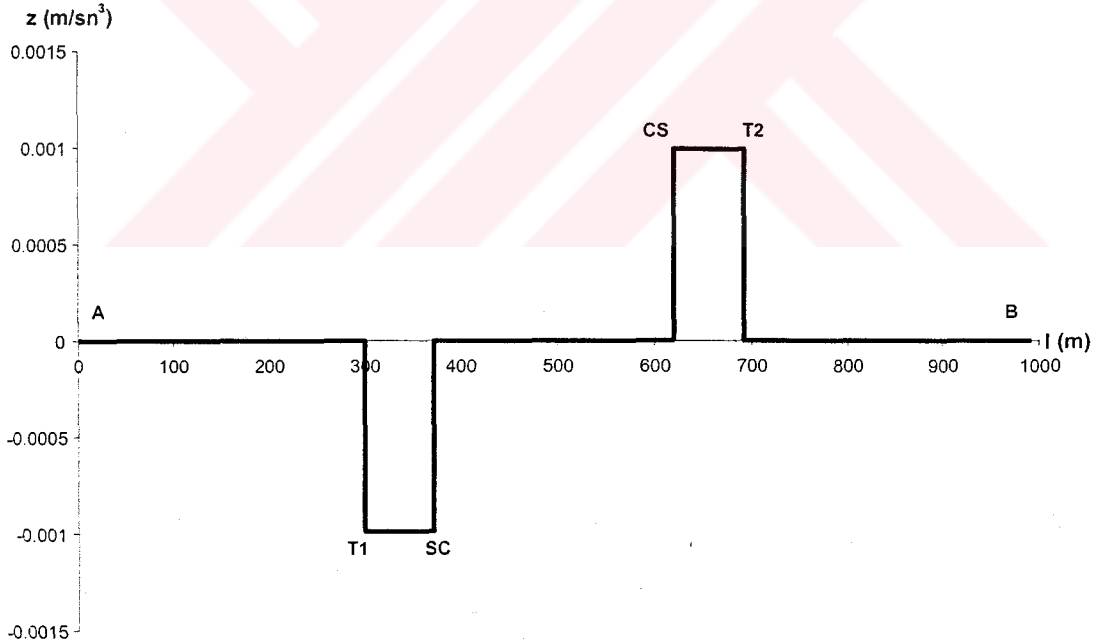
Üçüncü parçanın yanal sademe fonksiyonu; (5.11), (5.13), (3.22), (3.25) ve (Tablo5.1) değerlerinin (2.54) de yerine konulmasıyla elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.8) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.6) da gösterilmiştir. Sayısal olarak çok büyük ($\max. z = +0.00099 \text{ m/sn}^3$) olan bu değer önemli yanı (5.9) da verilen sademe değerinin altında kalmasıdır (Şekil 4.7). SC noktası eğrinin birinci ve

ikinci parçasının fonksiyonlarını ilgilendirdiği için CS noktası eğrinin ikinci ve üçüncü parçalarını ilgilendirdiği için ikişer yanal sademe değerine sahiptirler.

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0010000
SC (2. parça)	-0.0010000
SC (3. parça)	-0.0000010
CS (3. parça)	+0.0000002
CS (4. parça)	+0.0010000
T_2	+0.0010000
$Z_{Max.}$:	+0.0010000
$Z_{Min.}$:	-0.0010000

Tablo 5.8: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: bileşik tepe kurb



Şekil 5.6: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik tepe kurb

5.1.2 Sabit pozitif ve negatif ivmeli hareket modellerinde yanal sademe fonksiyonları

Bu hareket modellerinde,

v_a : A noktasındaki ani taşıt hızı,

v_b : B noktasındaki ani taşıt hızı,

olduğuna göre,

$$v(l) = v_a + (v_b - v_a) \cdot \frac{l - L_A}{L_B - L_A}, \quad a_T = \frac{v_b^2 - v_a^2}{2 \cdot (L_B - L_A)} = \text{sabit}, \quad L_A \leq l \leq L_B \quad (5.14)$$

olur. (5.14) den,

$$\begin{aligned} v_b > v_a \text{ için } a_T > 0 \text{ (pozitif ivmeli hareket)} \\ v_b < v_a \text{ için } a_T < 0 \text{ (negatif ivmeli hareket)} \end{aligned} \quad (5.15)$$

modelleri elde edilir. İzleyen bölümlerde farklı geçki geometrileri dikkate alınarak türetilecek yanal sademe fonksiyonları, her iki hareket modeli için geçerli olacak, ancak sayısal hesaplarda (5.15) dikkate alınacaktır.

Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde değerlerine göre başlangıç ve bitiş noktalarındaki hız değerleri,

$$\begin{aligned} v_a &= 0 \text{ km/sa} \\ v_b &= 110 \text{ km/sa} \end{aligned} \quad (5.16)$$

alınmıştır. Sabit negatif ivmeli hareket modelinde,

$$\begin{aligned} v_a &= 110 \text{ km/sa} \\ v_b &= 0 \text{ km/sa} \end{aligned} \quad (5.17)$$

olur.

5.1.2.1 Doğru parçası

(4.4) e göre her türlü hareket modelinde doğru parçasının yanal sademe değeri,

$$z_{dogru} = 0 \quad (5.18)$$

sıfırdır. Başlangıç, bitiş noktaları ile en büyük ve en küçük değerlere sahip olduğu noktalardaki sademe değerleri, doğru parçası için (Tablo 5.9) da verilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
A	0	0
B	0	0
Z _{Max.} :	0	0
Z _{Min.} :	0	0

Tablo 5.9: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: doğru parçası

5.1.2.2 Dairesel tepe kurb

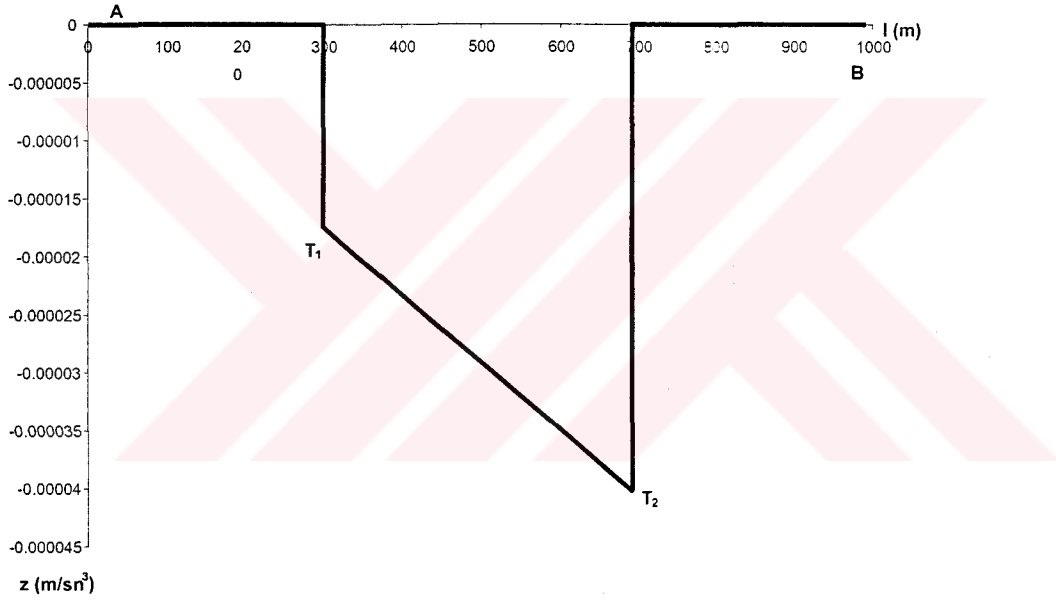
(3.6), (3.7), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.16) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.6), (3.7), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.17) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

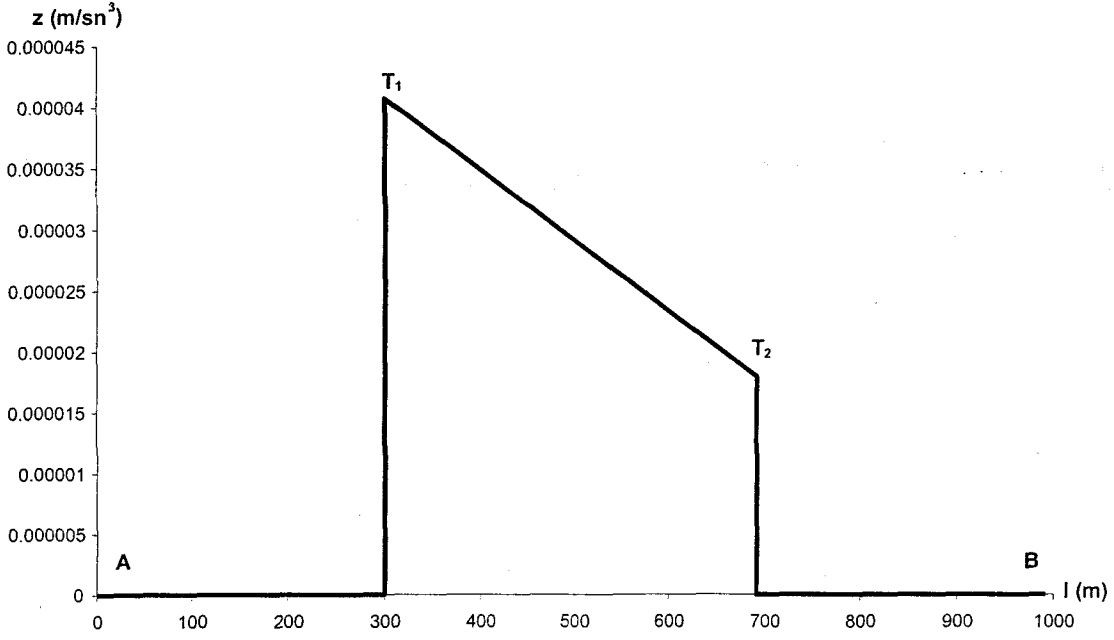
Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.10) da verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.7 ve 5.8) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T ₁	-0.00002	+0.00004
T ₂	-0.00004	+0.00002
Z _{Max.} :	-0.00002	+0.00004
Z _{Min.} :	-0.00004	+0.00002

Tablo 5.10: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: dairesel düşey kurb



Şekil 5.7: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel düşey kurb



Şekil 5.8: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel düşey kurb

5.1.2.3 Simetrik parabolik düşey kurb

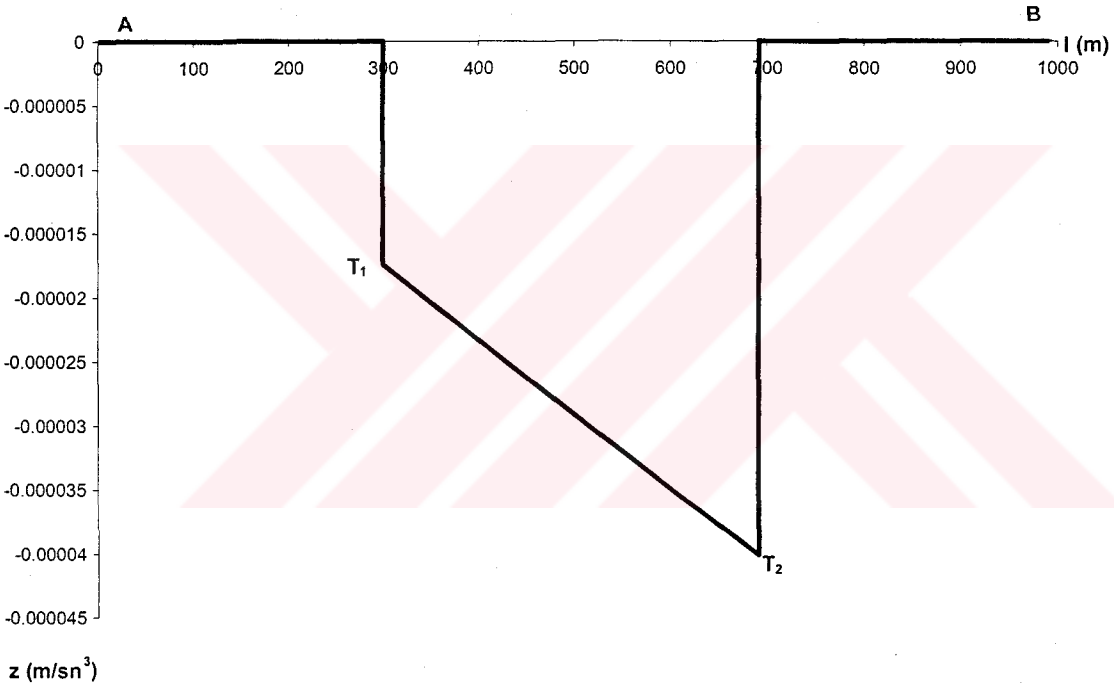
(3.8), (3.9), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.16) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.8), (3.9), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.17) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

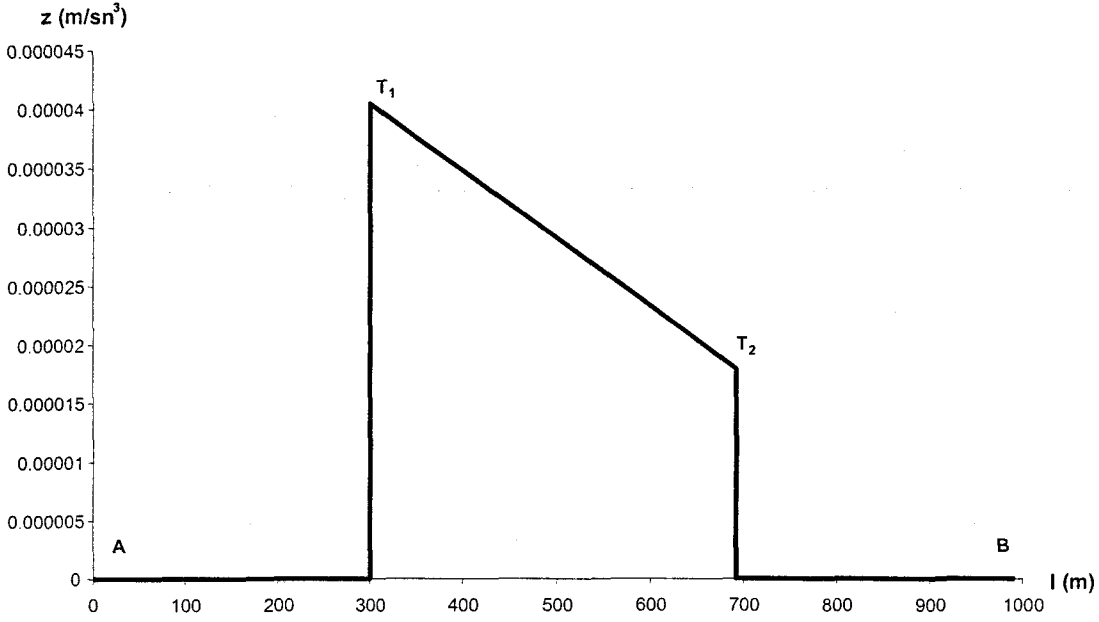
Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.11) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.9 ve 5.10) da gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.00002	+0.00004
T_2	-0.00004	+0.00002
$Z_{Max.} :$	-0.00002	+0.00004
$Z_{Min.} :$	-0.00004	+0.00002

Tablo 5.11: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: parabolik düşey kurb



Şekil 5.9: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb



Şekil 5.10: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: parabolik düşey kurb

5.1.2.4 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb

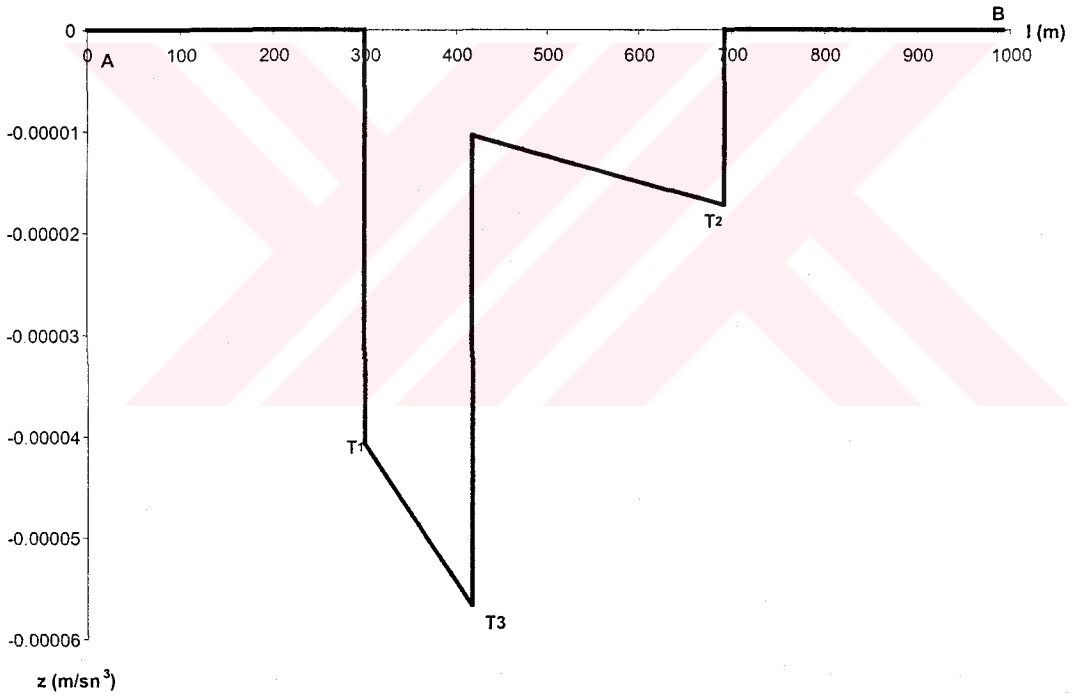
(4.7) deki değişken dönüşümü (2.54) bağıntısına uygulanarak yanıl sademe fonksiyonu elde edilir.

(3.10), (3.12), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.16) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

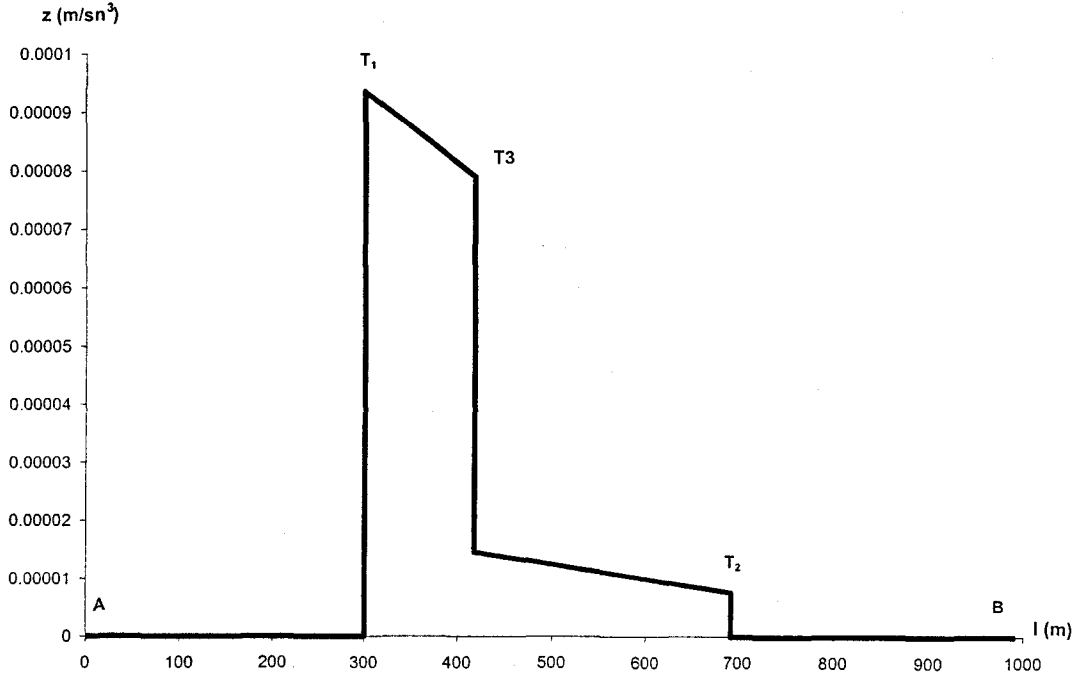
(3.10), (3.12), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.17) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir. Kritik noktalarda hesaplanan yanıl sademe değerleri (Tablo 5.12) de verilmiş, yanıl sademe diyagramları ise (Şekil 5.11 ve 5.12) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T ₁	-0.00004	+0.00010
T ₃ (2. parça)	-0.00010	+0.00010
T ₃ (3. parça)	-0.00001	+0.00002
T ₂	-0.00002	+0.00001
Z _{Max.} :	-0.00001	+0.00010
Z _{Min.} :	-0.00010	+0.00001

Tablo 5.12: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.11: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.12: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb

5.1.2.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

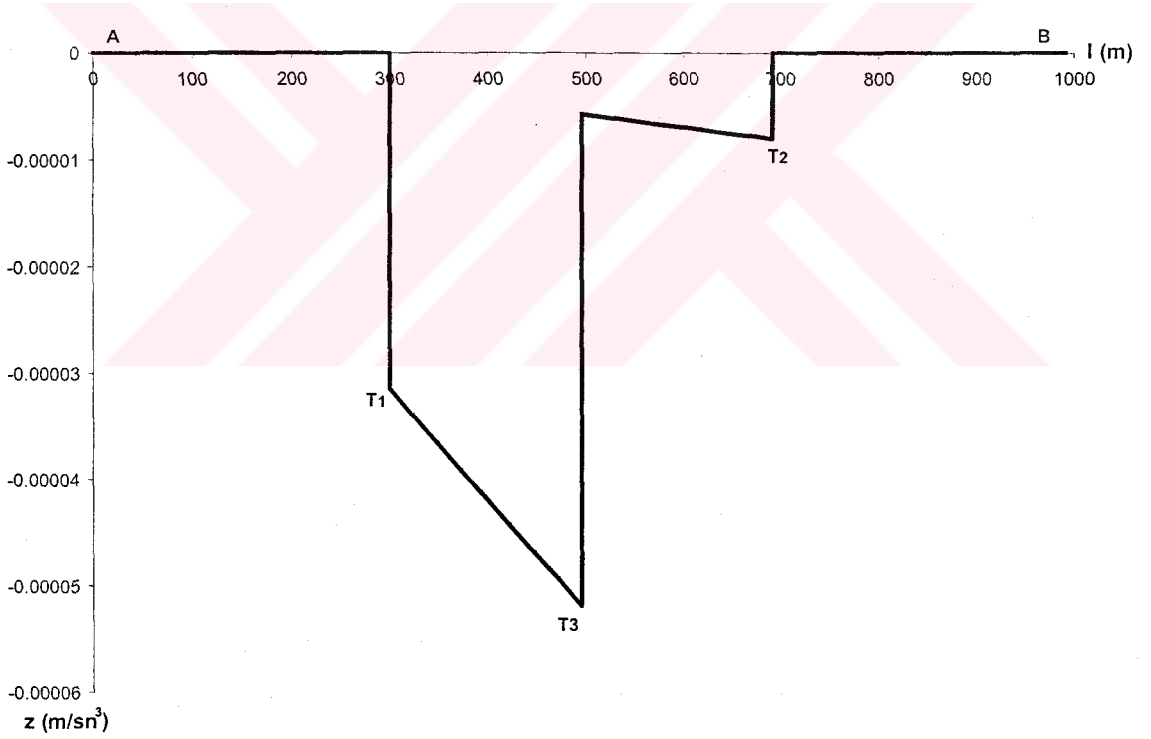
(3.16), (3.18), (3.17), (3.19), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.16) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.16), (3.18), (3.17), (3.19), (5.14) ile (Tablo 5.1) ve (5.17) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

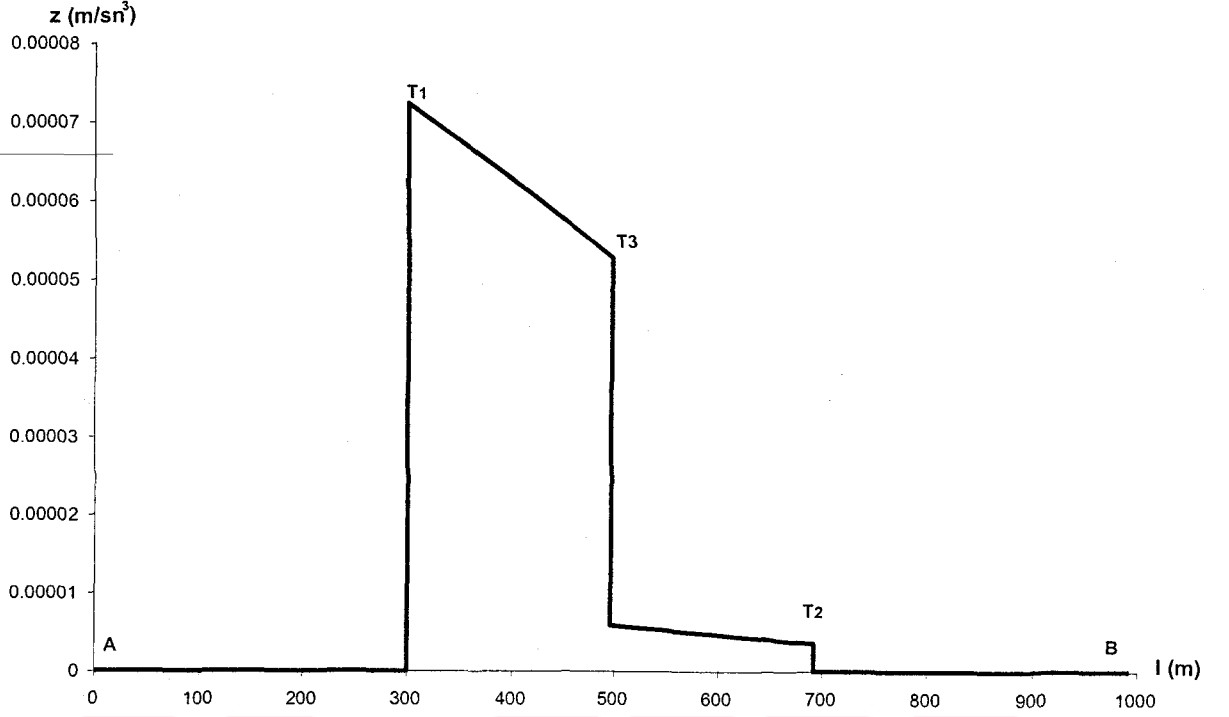
Kritik noktalarda hesaplanan yanıl sademe değerleri (Tablo 5.13) de verilmiş, yanıl sademe diyagramları ise (Şekil 5.13 ve 5.14) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T ₁	-0.00003	+0.00007
T ₃ (2. parça)	-0.00005	+0.00006
T ₃ (3. parça)	-0.00001	+0.00001
T ₂	-0.00001	+0.00001
Z _{Max.} :	-0.00001	+0.00007
Z _{Min.} :	-0.00005	+0.00001

Tablo 5.13: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.13: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.14: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb

5.1.2.6 Bileşik düşey kurb

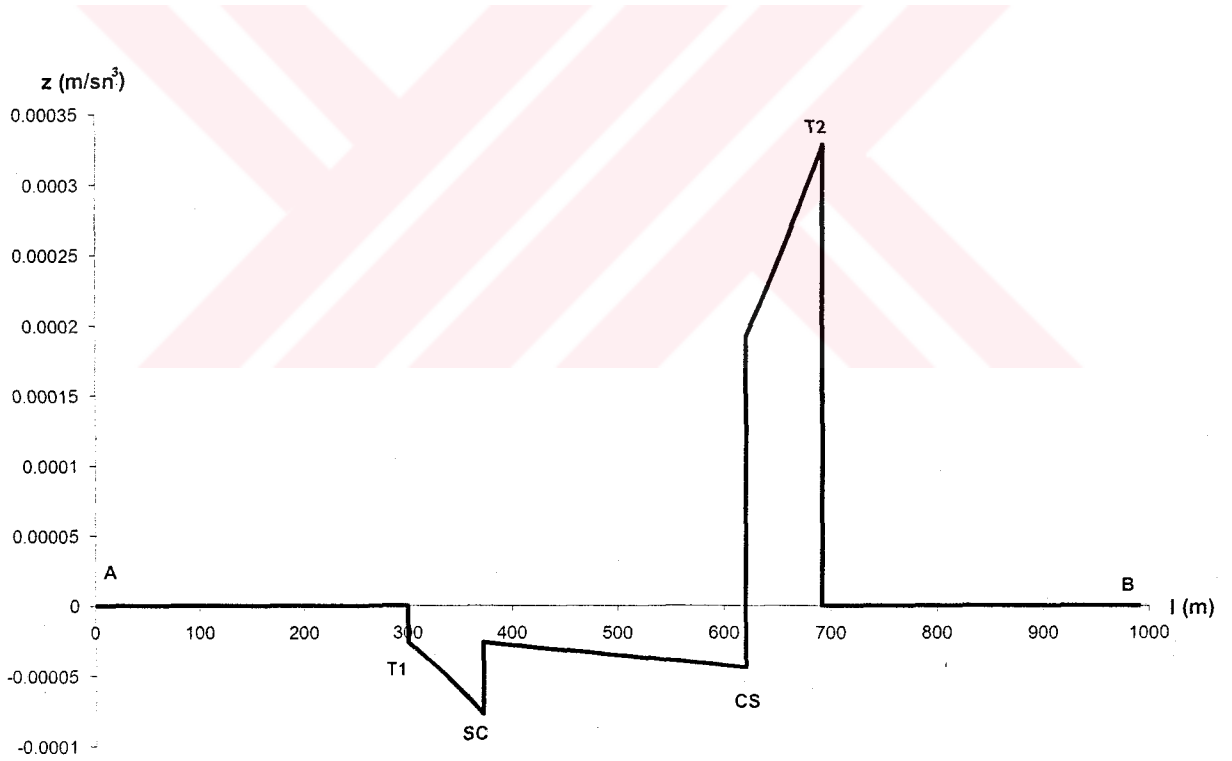
(3.20), (3.23), (3.21), (3.24), (3.22), (3.25) ile (Tablo 5.1), (5.11), (5.13) ve (5.16) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.20), (3.23), (3.21), (3.24), (3.22), (3.25) ile (Tablo 5.1), (5.11), (5.13) ve (5.17) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

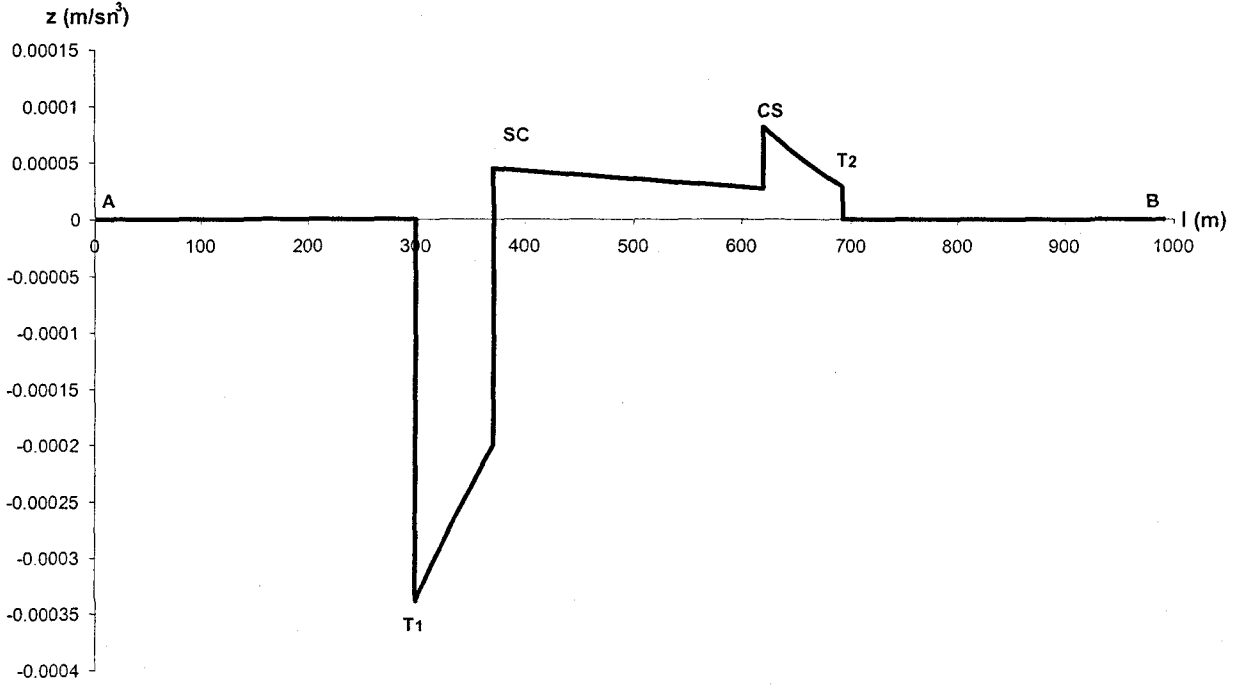
Kritik noktalarda hesaplanan yanıl sademe değerleri (Tablo 5.14) de verilmiş, yanıl sademe diyagramları ise (Şekil 5.15 ve 5.16) da gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T ₁	-0.00005	-0.00040
SC (2. parça)	-0.00010	-0.00020
SC (3. parça)	-0.00005	+0.00005
CS (3. parça)	-0.00005	+0.00005
CS (4. parça)	+0.00020	+0.00010
T ₂	+0.00030	+0.00005
Z _{Max.} :	+0.00030	+0.00010
Z _{Min.} :	-0.00005	-0.00040

Tablo 5.14: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: bileşik düşey kurb



Şekil 5.15: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb



Şekil 5.16: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: bileşik düşey kurb

5.2 Yüksek Hızlı Demiryolu Sistemleri Uygulaması

Baybura (2001) de hızlı bir demiryolunda $v=400$ km/s için maksimum boyuna eğim Honnecker (1993) e göre 0.06 olarak kullanılmıştır. Ayrıca minimum düşey kurb yarıçapı $R_{D,D} = 7700m$ alınmıştır. Minimum kurb yarıçapına göre, (5.2) den minimum kurb boyu $L = 922.35m$ hesaplanmıştır.

(2.54) bağıntısının kullanılabilmesi için,

$v = v(l)$: aracın ani hızının geçki boyunca (yola bağlı) değişimi,

a_T : araca etki eden bileşke teğetsel ivme

değerleri bilinmeli, diğer bir deyişle aracın hareketi modellenmelidir.

Bu bölümde eğrileri mukayese edebilmek ve konfor açısından değerlendirebilmek için eğrilerin test yolundaki sademe fonksiyonları elde edilecek ve grafik olarak gösterilecek.

Bu amaçla, bir test yolunun planlanması gerekmektedir. Her bir eğri için aynı özellikleri gösteren yolda, eğrilerin kendi kabiliyetleri ortaya çıkacaktır. Bu test yolunun özellikleri (Tablo 5.15) de verilmiştir.

$b = 1.435m$	Yol platformunun genişliği
$g = 9.81 \frac{m}{sn^2}$	Yer çekimi ivmesi
$v = 400 \frac{km}{s}$	Proje hızı
$u = 0.24$	Dever
$w(x)$	Boyuna eğim
$k_y = 0$	Yatay eğrilik (aliymanda = 0)
$k_D(x)$	Düşey eğrilik fonksiyonu
$L = 922.35m$	Düşey kurb boyu
$w_1 = +0.06$	Birinci kırmızı kol eğimi
$w_2 = -0.06$	İkinci kırmızı kol eğimi
$R = 7700m$	Dairesel düşey kurb yarıçapı

Tablo 5.15: Test yolunun özellikleri

Test yolunun geometrik tasarımı (Şekil 5.1) de gösteriliyor. Geçki ana noktalarının kilometreleri için,

$$L_A = 0 + 000, \quad L_{T_1} = 0 + 330, \quad L_{T_2} = L_{T_1} + L = 1 + 252.35, \quad L_B = 1 + 300 \quad (5.19)$$

değerleri kullanılmıştır.

5.2.1 Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe fonksiyonları

Bu hareket modelinde,

$$v = 400 \frac{km}{s}, \quad a_T = 0 \quad (5.20)$$

olarak seçilmiştir. Yatay geometri baştan sona tek bir doğru parçasıdır.

5.2.1.1 Doğru parçası

Bu geometri uyarınca,

$$w = +0.06, k_D = 0 \quad (5.21)$$

parametreler, (2.54) da yerine konulursa, hem tepe hem de dere kurb formülü için

$$z_{dogru} = 0 \quad (5.22)$$

sonucunu üretir (Tablo 5.16).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
A	0
B	0
Z _{Max.} :	0
Z _{Min.} :	0

Tablo 5.16: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: doğru parçası

5.2.1.2 Dairesel tepe kurb

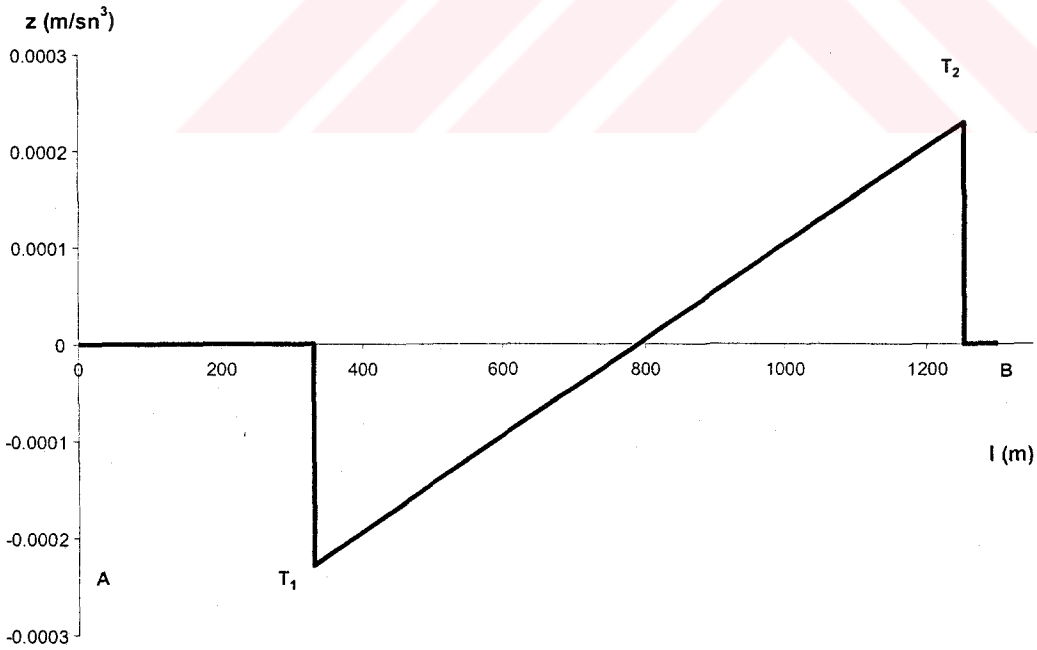
(3.6) ve (3.7) (2.54) da yerine konularak, (Tablo 5.15) deki değerler yardımıyla daireysel düşey kurbun test yolundaki yanal sademe fonksiyonu elde edilir. Fonksiyonu elde ederken (Şekil 5.1) deki koordinat sistemleri dikkate alınmalıdır. Düşey geometride doğru parçasının bulunduğu kısımlarda yanal sademe değeri sıfırken, düşey geometrinin eğri kısımlarına gelindiğinde yola bağlı olarak yanal sademenin değiştiği görülür.

(l,h) ve (x,y) koordinat sistemleri arasında (5.1) dönüşümü söz konusudur (Şekil 5.1).

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.17) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.17) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. z = +0.0002 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı T_1, T_2 noktalarında ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 5.17).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0002
T_2	+0.0002
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.0002
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.0002

Tablo 5.17: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: dairesel tepe kurb



Şekil 5.17: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel tepe kurb

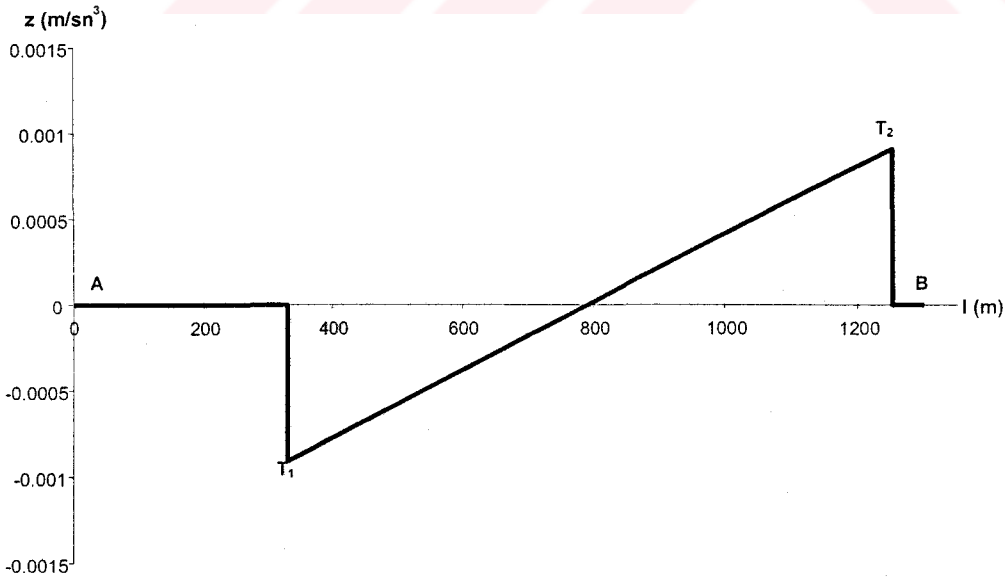
5.2.1.3 Simetrik parabolik düşey kurb

(2.54) bağıntısında (Tablo 5.15) değerleriyle (3.8), (3.9) bağıntılarının yerine konulmasıyla test yoluna ilişkin yanal sademe fonksiyonu elde edilir. (Şekil 5.1) deki koordinat sistemine göre (2.54) bağıntısında (5.1) değişken değişimi yapılarak (Şekil 5.18) diyagramı elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.18) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.18) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. z = +0.0009 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı T_1 , T_2 noktalarında ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 5.18).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0009
T_2	+0.0009
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.0009
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.0009

Tablo 5.18: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: parabolik tepe kurb



Şekil 5.18: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik tepe kurb

5.2.1.4 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb

(Şekil 2.3) de görüldüğü gibi simetrik olmayan parabolik düşey kurlar iki parçalıdır. (5.1) deki değişken dönüşümü (2.54) bağıntısına uygulanarak yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

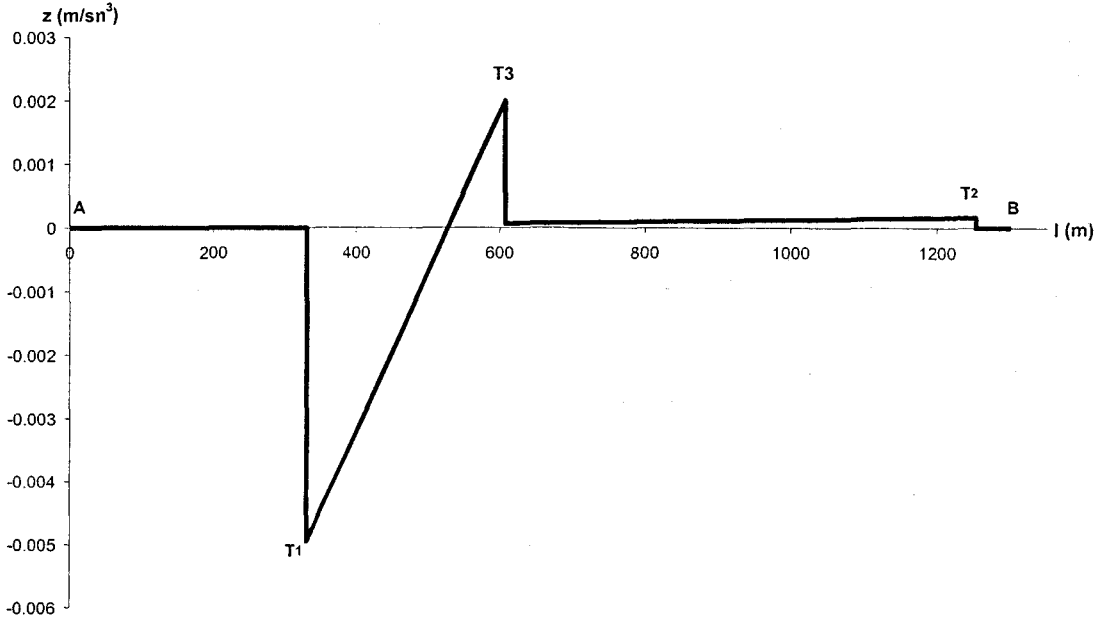
(3.10) ve (3.12) bağıntıları ve (Tablo 5.15) değerleri ile (2.54) bağıntısı simetrik olmayan parabolik düşey kurbun sol parçası için elde edilir.

(3.11) ve (3.13) bağıntıları ve (Tablo 5.15) değerleri ile (2.54) bağıntısı simetrik olmayan parabolik düşey kurbun sağ parçası için elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.19) da verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.19) da gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. z = +0.0020 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı kritik noktalarda ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (Şekil 5.19).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0049
T_3 (2. parça)	-0.0020
T_3 (3. parça)	+0.0001
T_2	+0.0002
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.0020
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.0049

Tablo 5.19: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik tepe kurb



Şekil 5.19: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik tepe kurb

5.2.1.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

(Şekil 2.5) de görüldüğü gibi eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurlar iki parçalıdır. Bu tür kurların temel özelliği her bir parçasının yatay izdüşüm uzunluğunun eşit olmasıdır, yani kurb boyları eşittir. Düşey kurbu (Şekil 5.1) e yerleştirebilmek için (5.1) dönüşümünü yapmak gerekir.

Yanal sademe fonksiyonunun bulunması için öncelikle her iki parçanın eğim ve eğrilik fonksiyonlarının her bir parça için uygulanması gerekir. (3.16) ve (3.18) formülleri ve (Tablo 5.15) değerleri (2.54) da yerine konarak birinci parçanın yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

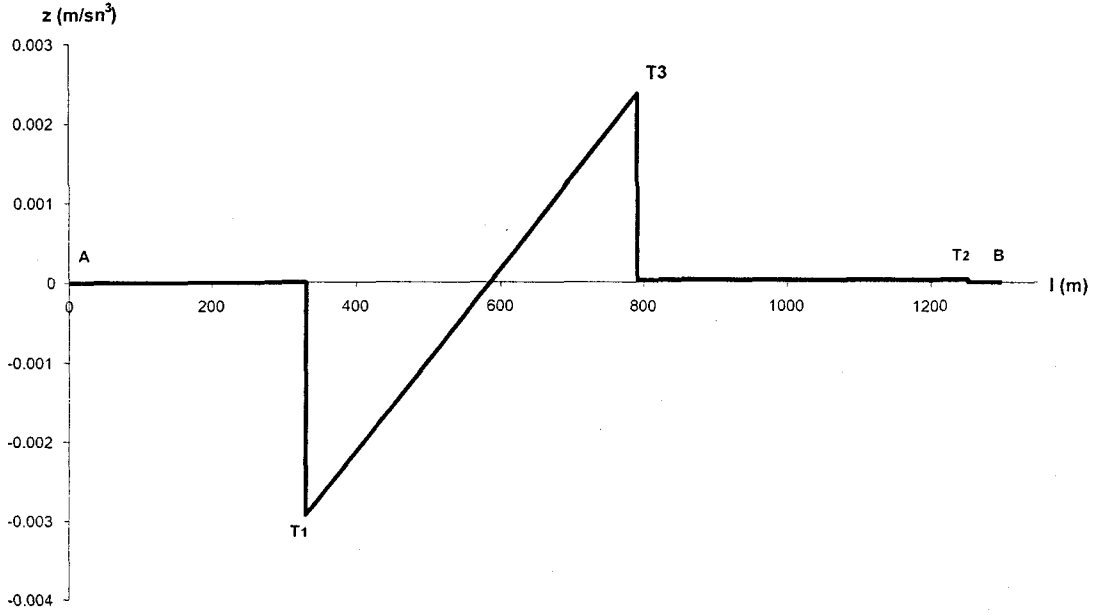
(3.17) ve (3.19) formülleri ve (Tablo 5.15) değerleri (2.54) da yerine konarak ikinci parçanın yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.20) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (şekil 5.20) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok küçük ($\max. z = +0.0024 \text{ m/sn}^3$) olan bu etkinin önemli yanı kritik noktalarda ortaya çıkan sıçrama biçimindeki düzensizliklerdir (şekil 5.20) (Tarı, 1997).

PCC noktası eğrilerin birleşim noktasıdır (Tablo 5.20)

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0029
T_3 (2. parça)	+0.0024
T_3 (3. parça)	+0.0000
T_2	+0.0000
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.0024
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.0029

Tablo 5.20: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb



Şekil 5.20: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb

5.2.1.6 Bileşik düşey kurb

Bu tezde l boyunun bulunması için (5.8) kullanılmıştır. Burada,

r	:	$0.01/K$
C	:	Sademe
K	:	Eğrilik oranı

olmak üzere, sademe değeri AASHTO üst sınırı olan $C = 0.05 \text{ m/sn}^3$ alınır. K – değeri bu hızda ($v = 111.1 \text{ m/sn}$) bir yol için henüz verilmemiştir. K – değerini elde etmek için (Tablo 5.21) değerleriyle regresyon analizi yapılmıştır.

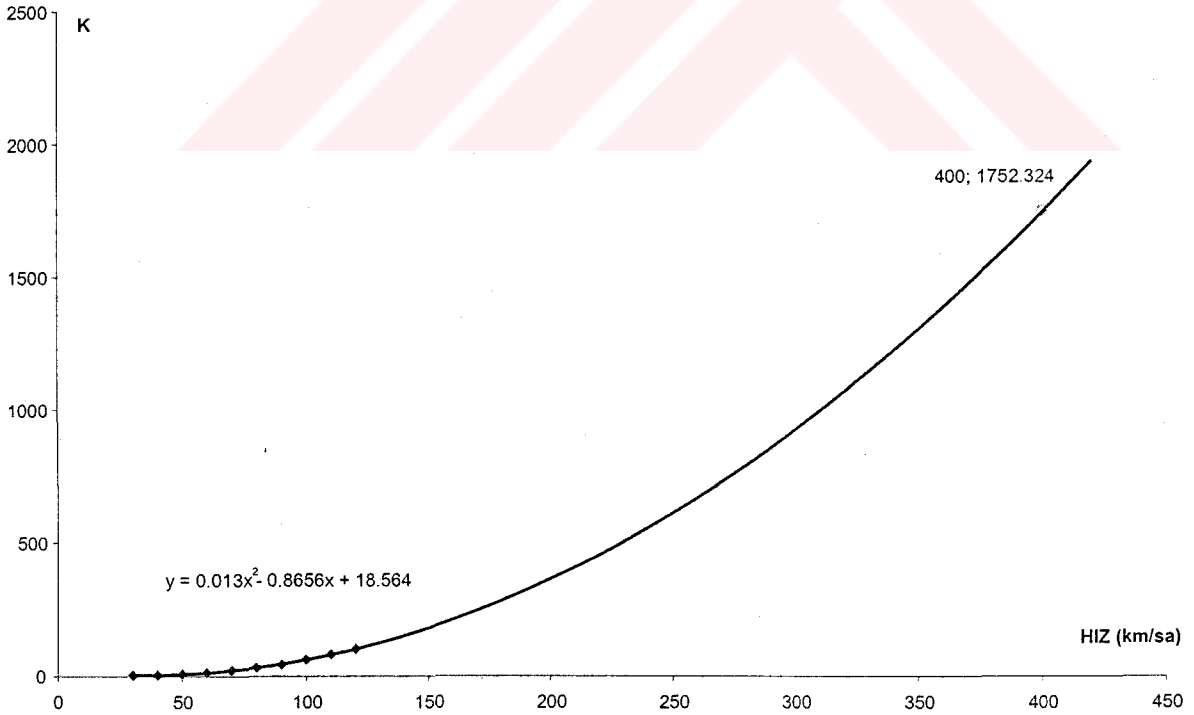
v [km/s]	K [m]
30	3
40	5
50	9
60	14
70	22
80	32
90	43
100	62
110	80
120	102

Tablo 5.21: K-değerleri (Easa ve Hassan, 2000a)

(Tablo 5.21) değerleri yardımıyla 400 km/sa hız için K-değeri (Şekil 5.21) de görüldüğü gibi

$$K = 1752 \text{ m} \quad (5.23)$$

elde edilmiştir.



Şekil 5.21: 400 km/sa hız için K-değerini gösteren grafik

(5.23), (5.9) ve $v = 400 \text{ km/s}$ değerleri (5.8) de yerine konularak yuvarlatılırsa

$$l = 160 \text{ m} \quad (5.24)$$

sonucu bulunur. Bileşik düşey kurbun birinci parçasının yanal sademe fonksiyonu; (2.54) bağıntısında (5.24), (3.20), (3.23) ve (Tablo 5.15) değerlerinin yerine konulmasıyla elde edilir.

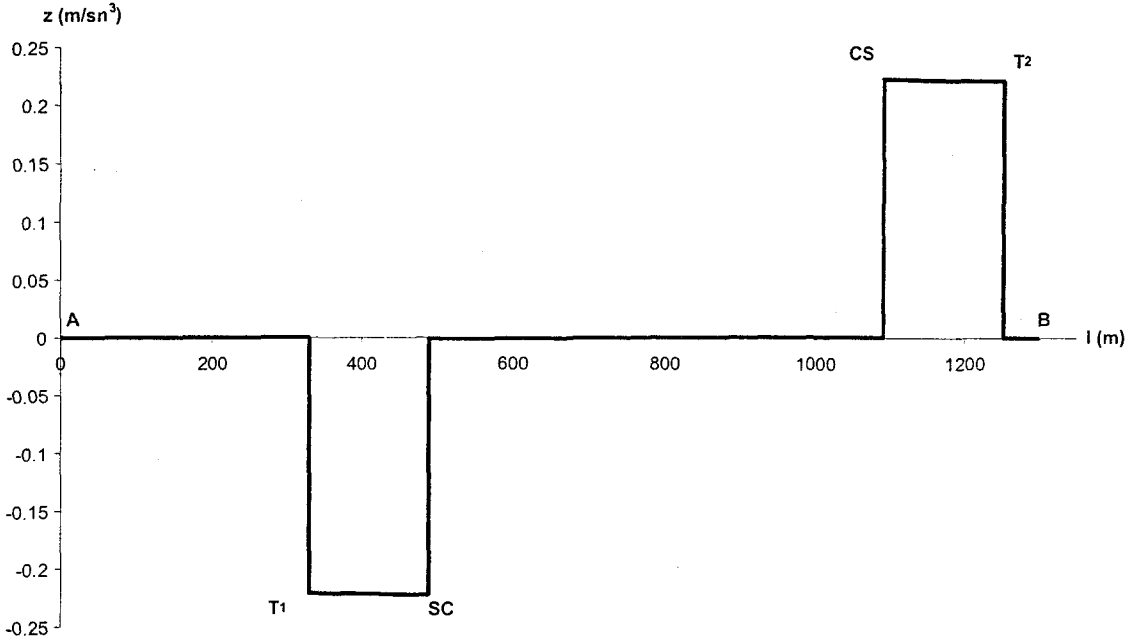
İkinci parçanın yanal sademe fonksiyonu; (5.24), (3.21), (3.24) ve (Tablo 5.15) değerlerinin (2.54) da yerine konulmasıyla elde edilir.

Üçüncü parçanın yanal sademe fonksiyonu; (5.24), (3.22), (3.25) ve (Tablo 5.15) değerlerinin (2.54) da yerine konmasıyla elde edilir.

Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.22) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.22) de gösterilmiştir. Sayısal olarak çok büyük ($\max. z = +0.2227 \text{ m/sn}^3$) olan bu değer önemli yanı (5.9) da verilen sademe değerini aşmasıdır (Şekil 5.22).

Ana Nokta	Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
TS	-0.2210
SC (2. parça)	-0.2227
SC (3. parça)	-0.0011
CS (3. parça)	+0.0011
CS (4. parça)	+0.2227
ST	+0.2210
$Z_{\text{Max.}}$:	+0.2227
$Z_{\text{Min.}}$:	-0.2227

Tablo 5.22: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe değerleri: bileşik tepe kurb



Şekil 5.22: Sabit hızlı hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik tepe kurb

5.2.2 Sabit pozitif ve negatif ivmeli hareket modellerinde yanal sademe fonksiyonları

Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde (5.19) değerlerine göre başlangıç ve bitiş noktalarındaki hız değerleri,

$$\begin{aligned} v_a &= 0 \text{ km/s} \\ v_b &= 400 \text{ km/s} \end{aligned} \quad (5.27)$$

alınmıştır. Sabit negatif ivmeli hareket modelinde,

$$\begin{aligned} v_a &= 400 \text{ km/s} \\ v_b &= 0 \text{ km/s} \end{aligned} \quad (5.28)$$

dir.

5.2.2.1 Doğru parçası

(5.21) ve (5.27) değerlerinin (2.54) da yerine yazılmasıyla,

$$z_{dogru} = 0 \quad (5.29)$$

olur. Başlangıç, bitiş noktaları ile en büyük ve en küçük değerlere sahip olduğu noktalardaki sademe değerleri, doğru parçası için (Tablo 5.23) de verilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn ³) (2.54)' a göre
A	0	0
B	0	0
Z _{Max.} :	0	0
Z _{Min.} :	0	0

Tablo 5.23: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: doğru parçası

5.2.2.2 Dairesel tepe kurb

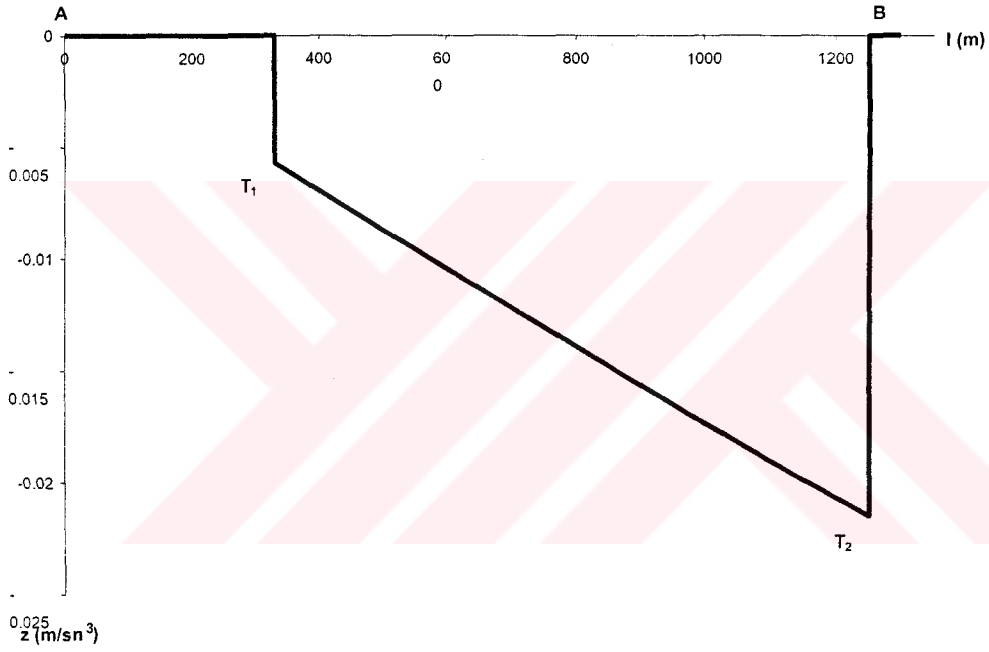
(3.6), (3.7), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.27) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.6), (3.7), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.28) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

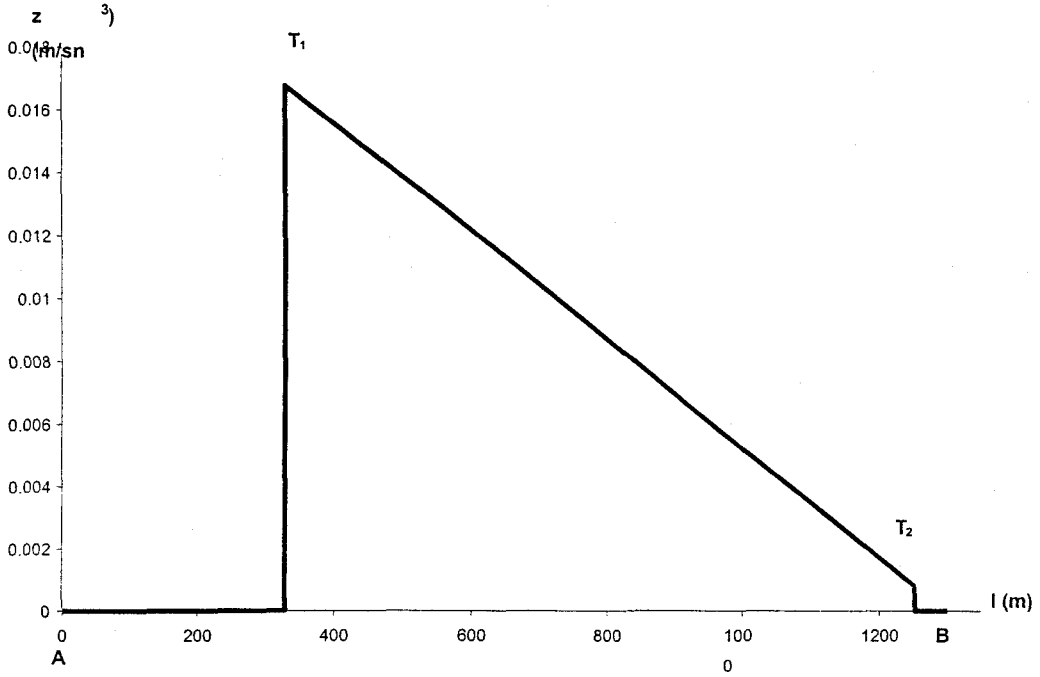
Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.24) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.23 ve 5.24) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T ₁	-0.0057	+0.0167
T ₂	-0.0215	+0.0008
Z _{Max.} :	-0.0215	+0.0167
Z _{Min.} :	-0.0057	+0.0008

Tablo 5.24: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: dairesel düşey kurb



Şekil 5.23: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel düşey kurb



Şekil 5.24: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: dairesel düşey kurb

5.2.2.3 Simetrik parabolik düşey kurb

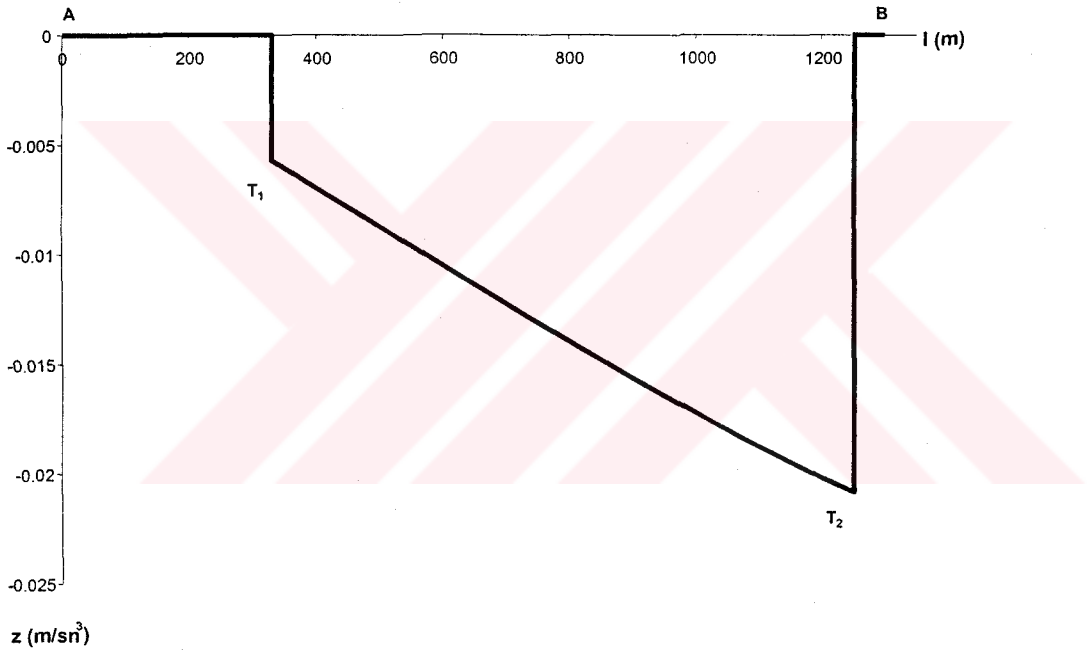
(3.8), (3.9), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.27) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.8), (3.9), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.28) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

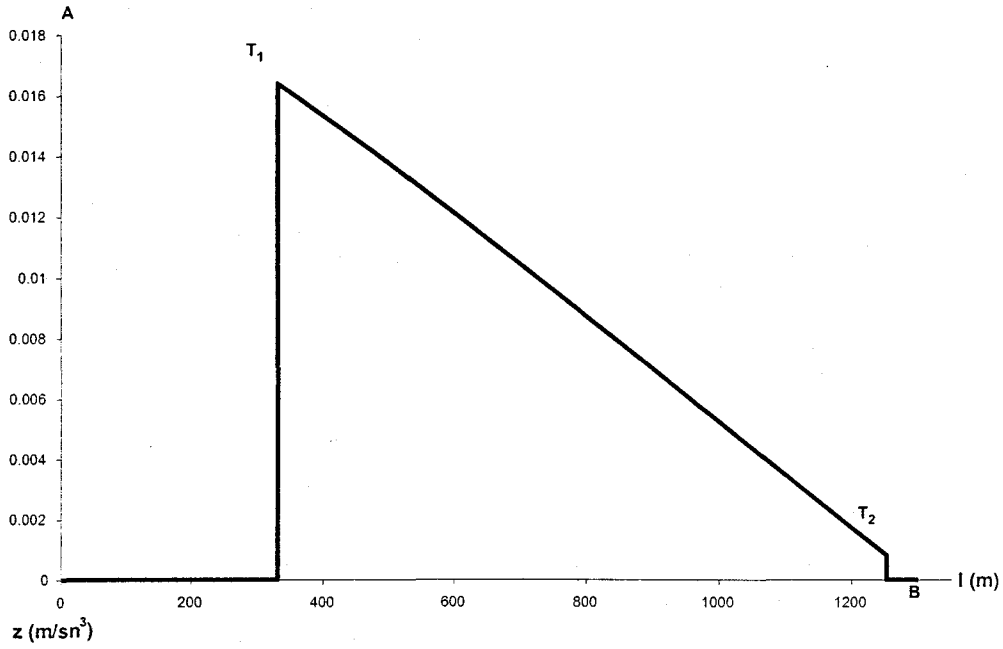
Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.25) da verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.25 ve 5.26) da gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0057	+0.0164
T_2	-0.0208	+0.0008
$Z_{Max.}$:	-0.0208	+0.0164
$Z_{Min.}$:	-0.0057	+0.0008

Tablo 5.25: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: parabolik düşey kurb



Şekil 5.25: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb



Şekil 5.26: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: parabolik düşey kurb

5.2.2.4 Simetrik olmayan parabolik düşey kurb

(Şekil 2.3) de görüldüğü gibi simetrik olmayan parabolik düşey kurlar iki parçalıdır. (5.1) değişken dönüşümü (2.54) bağıntısına uygulanarak yanal sademe fonksiyonu elde edilir.

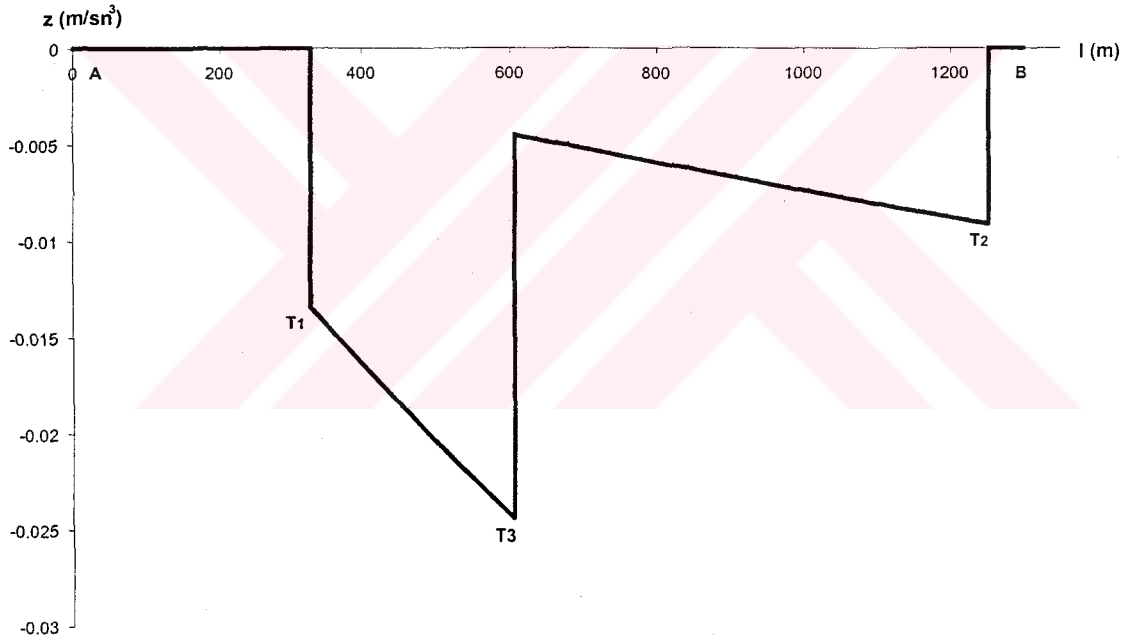
(3.10), (3.12), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.27) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.10), (3.12), (5.25) formülleri ile (Tablo 5.15) ve (5.28) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

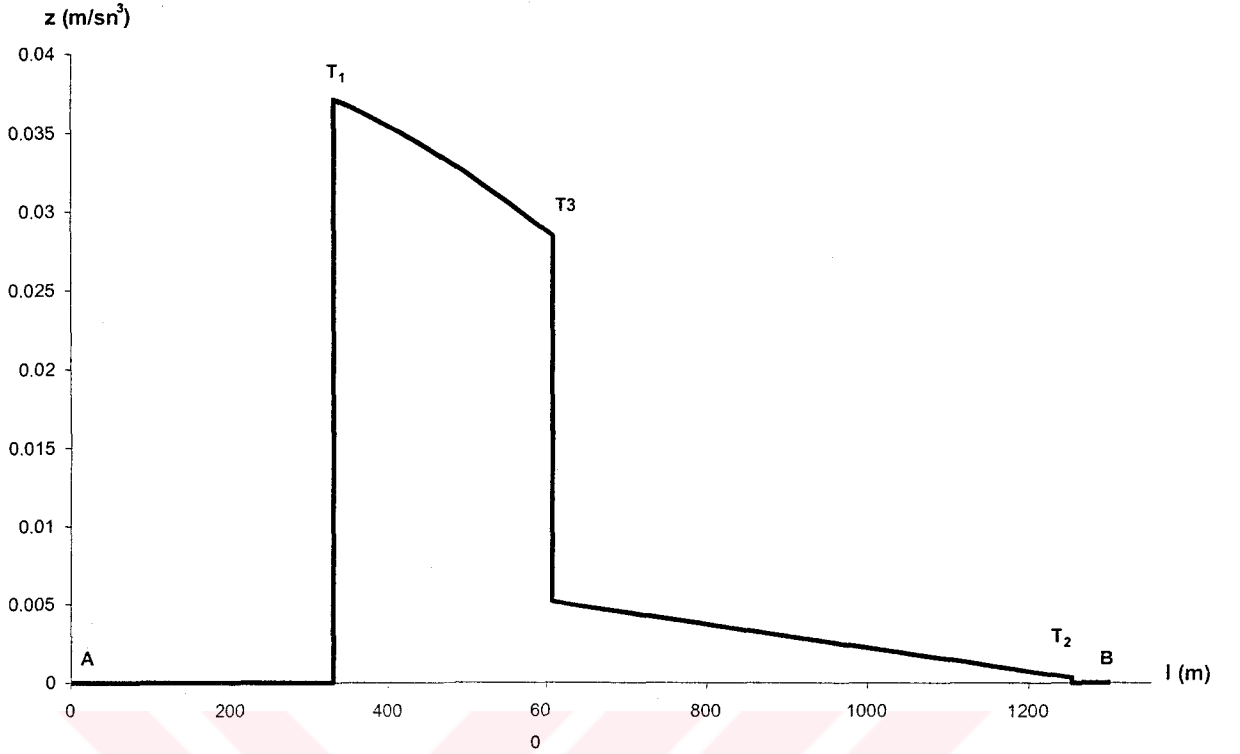
Kritik noktalarda hesaplanan yanal sademe değerleri (Tablo 5.26) de verilmiş, yanal sademe diyagramları ise (Şekil 5.27 ve 5.28) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0134	+0.0371
T_3 (2. parça)	-0.0244	+0.0284
T_3 (3. parça)	-0.0045	+0.0052
T_2	-0.0091	+0.0004
$Z_{Max} :$	-0.0045	+0.0371
$Z_{Min} :$	-0.0244	+0.0004

Tablo 5.26: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.27: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.28: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: simetrik olmayan parabolik düşey kurb

5.2.2.5 Eşit yaylı simetrik olmayan düşey kurb

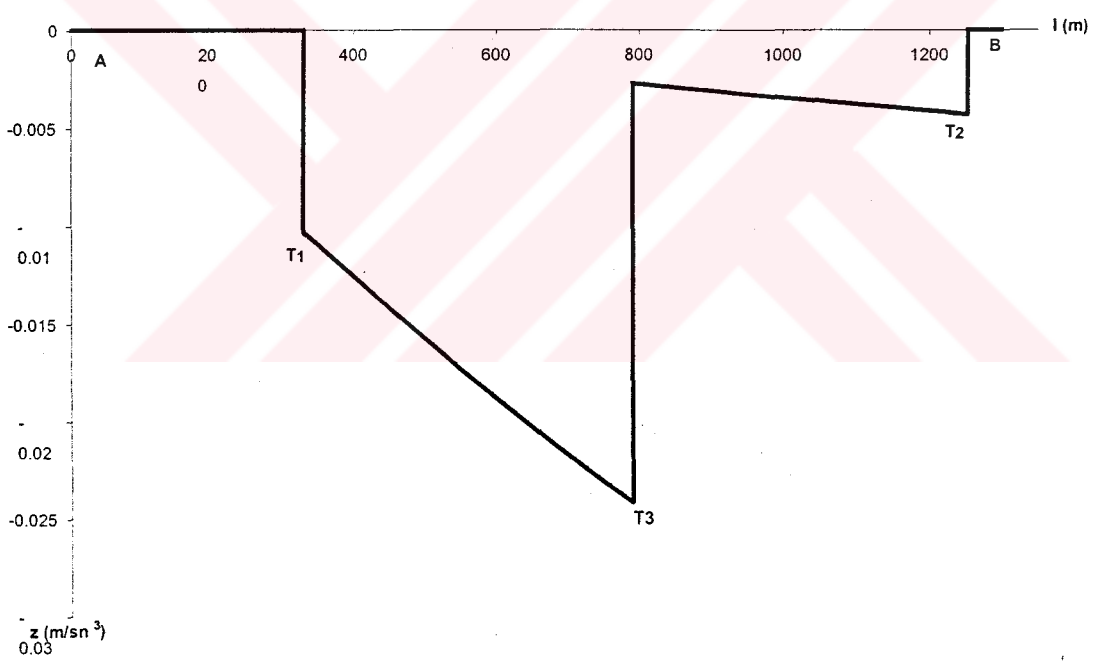
(3.16), (3.18), (3.17), (3.19), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.27) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.16), (3.18), (3.17), (3.19), (5.25) ile (Tablo 5.15) ve (5.28) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

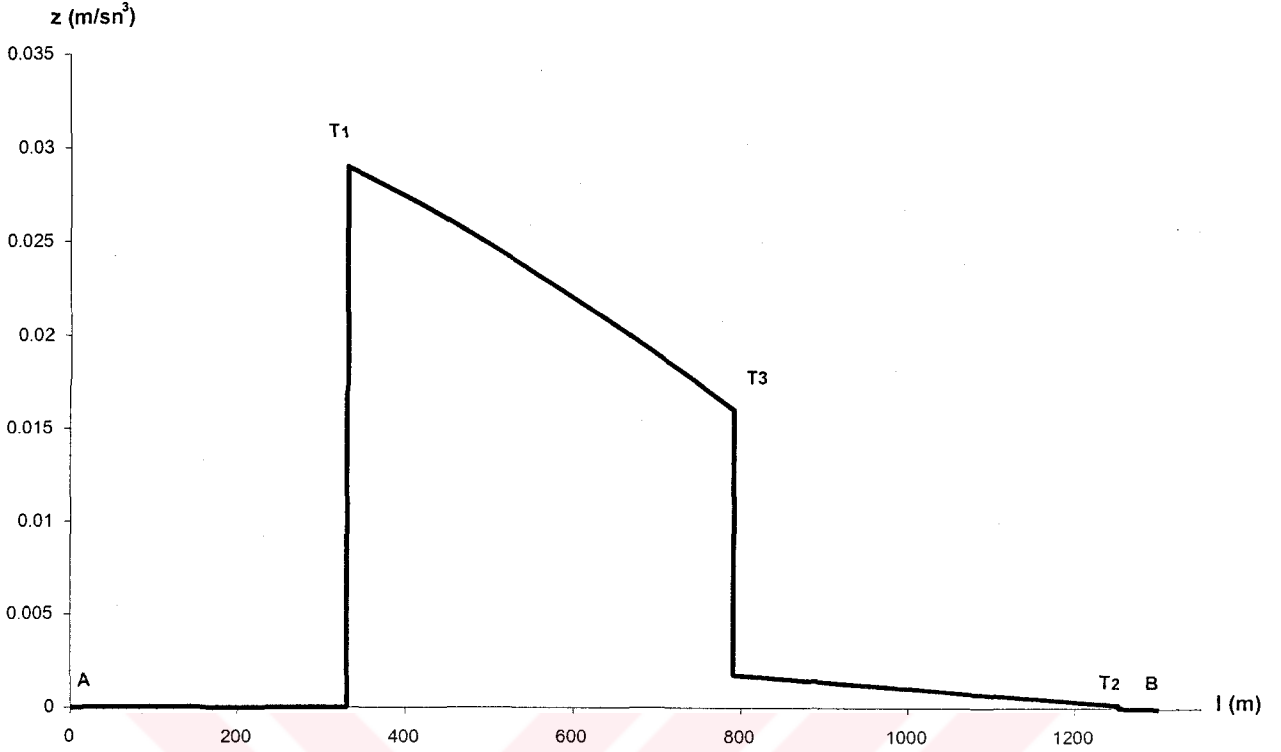
Kritik noktalarda hesaplanan yanıl sademe değerleri (Tablo 5.27) de verilmiş, yanıl sademe diyagramları ise (Şekil 5.29 ve 5.30) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklükleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0103	+0.0290
T_3 (2. parça)	-0.0242	+0.0160
T_3 (3. parça)	-0.0027	+0.0018
T_2	-0.0043	+0.0002
$Z_{Max.}$:	-0.0027	+0.0290
$Z_{Min.}$:	-0.0242	+0.0002

Tablo 5.27: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.29: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb



Şekil 5.30: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe diyagramı: eşit yaylı simetrik olmayan parabolik düşey kurb

5.2.2.6 Bileşik düşey kurb

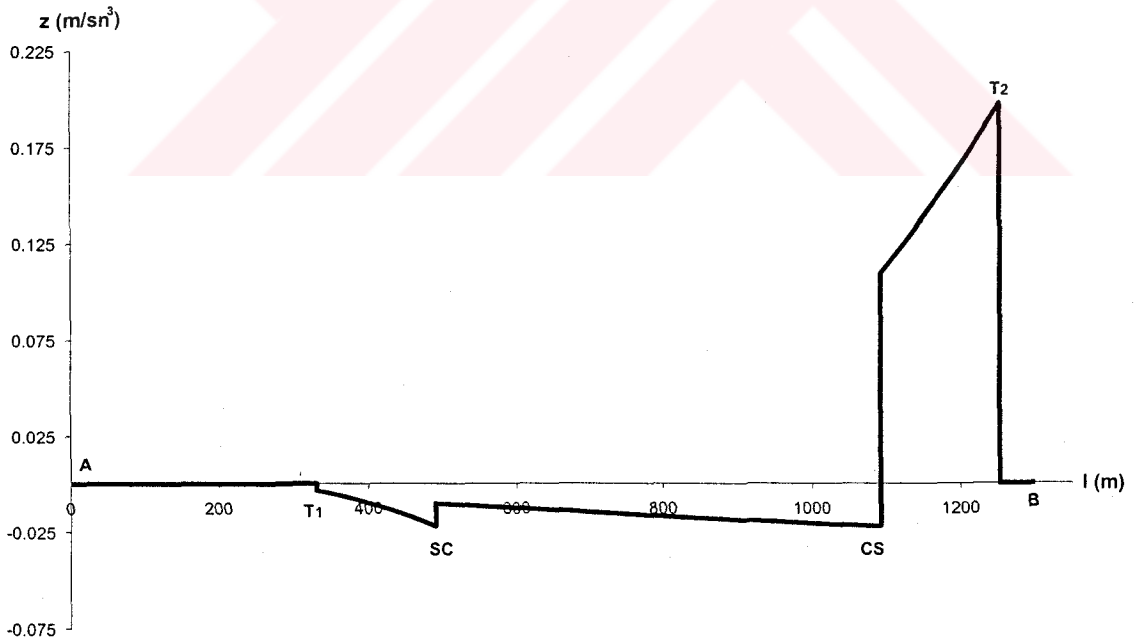
(3.20), (3.23), (3.21), (3.24), (3.22), (3.25), (5.25) ile (Tablo 5.15), (5.24) ve (5.27) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

(3.20), (3.23), (3.21), (3.24), (3.22), (3.25), (5.25) ile (Tablo 5.15), (5.24) ve (5.28) değerleri (2.54) de yerine yazılarak sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanıl sademe fonksiyonunun istenilen test yolu için değerleri elde edilir.

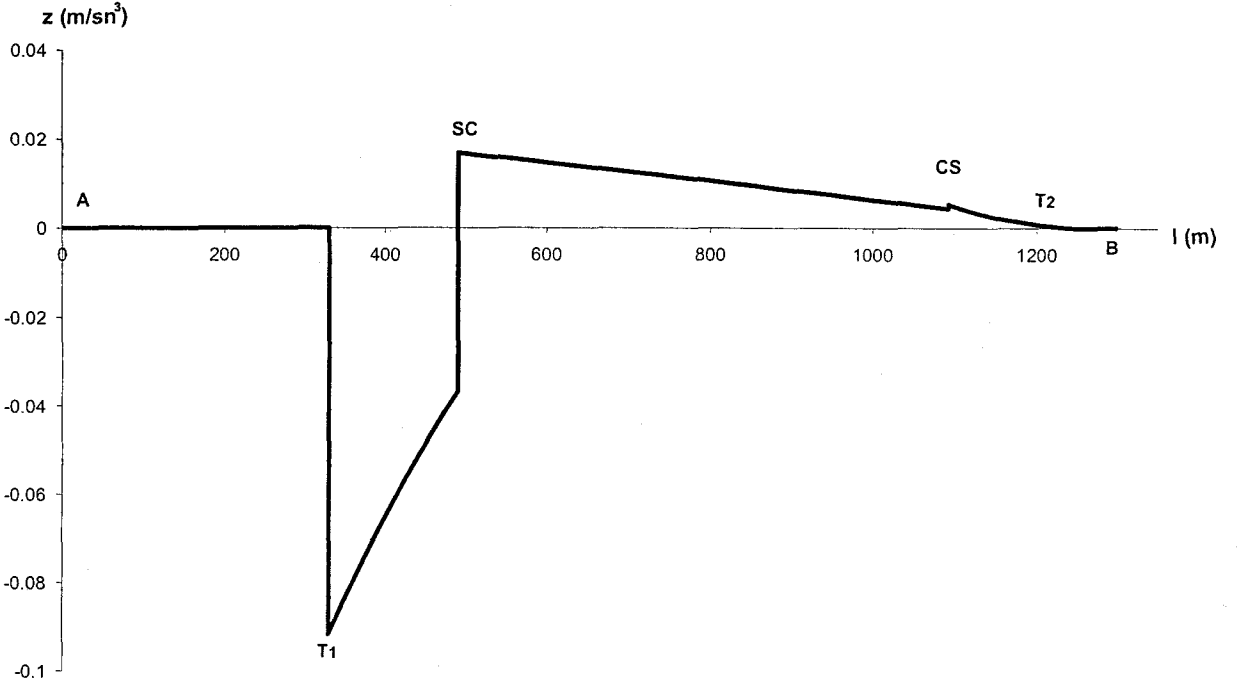
Kritik noktalarda hesaplanan yanıl sademe değerleri (Tablo 5.28) de verilmiş, yanıl sademe diyagramları ise (Şekil 5.31 ve 5.32) de gösterilmiştir.

Ana Nokta	(Sabit Pozitif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklikleri (m/sn^3) (2.54)' a göre	(Sabit Negatif İvmeli) Ana noktalardaki yanal sademe büyüklikleri (m/sn^3) (2.54)' a göre
T_1	-0.0036	-0.0918
SC (2. parça)	-0.0222	-0.0369
SC (3. parça)	-0.0103	+0.0167
CS (3. parça)	-0.0223	+0.0044
CS (4. parça)	+0.1092	+0.0053
T_2	+0.1976	+0.0000
$Z_{Max.}$:	+0.1976	+0.0167
$Z_{Min.}$:	-0.0223	-0.0918

Tablo 5.28: Sabit ivmeli hareket modellerinde yanal sademe değerleri: bileşik düşey kurb



Şekil 5.31: Sabit pozitif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb



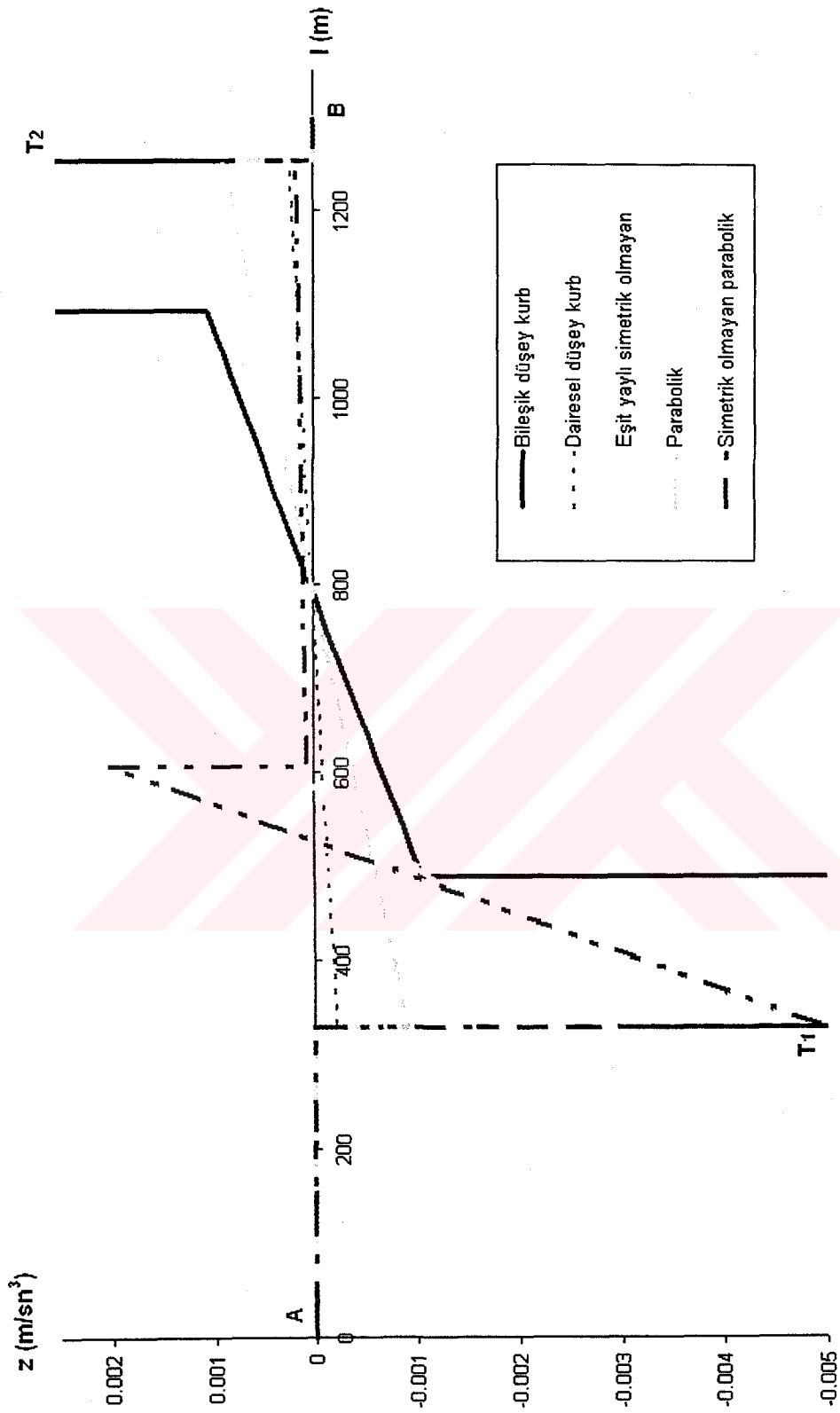
Şekil 5.32: Sabit negatif ivmeli hareket modelinde yanal sademe diyagramı: bileşik düşey kurb

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle karayolları olmak üzere birçok mühendislik yapısında kurlar kullanılmaktadır. Güzergâhın düşey geometrisindeki eğri kısımlara düşey kurb denilmektedir. Düşey kurlar; çeşitli tasarımlarla oluşturulmaktadır. Bu tasarımlardan en bilinenleri ve kullanılanları daire yayından ve ikinci dereceden parabolle oluşturulan kurlardır. Ancak taşıtların hareket dinamiği açısından incelemelerinde görülmüştür ki eğriliği sabit ya da sınırlı bir aralıkta değişen eğriler, taşıtları olumsuz etkilemektedir. Yatay kurlarda olduğu gibi düşey kurlarda da taşıtların tepe düşey kurlarda havalanmasına veya dere düşey kurlarda lastiklerin sürtünmesinin istenilenden daha fazla olmasını önlemek amacıyla geçiş eğrilerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

(Şekil 6.1) Bölüm 5 de verilen demiryolu sistemleri sayısal uygulamasından faydalanılarak hazırlanmıştır. (Şekil 5.17), (Şekil 5.18), (Şekil 5.19), (Şekil 5.20), ve (Şekil 5.22) nin aynı koordinat sisteminde birleştirilmesiyle oluşturulan (Şekil 6.1) in sağa ekseni kilometreyi, yukarı ekseni yanal sademe değerlerini göstermektedir. Bileşik düşey kurbun yanal sademe sınır değerleri oldukça büyük olduğu için (Şekil 5.22) kesilerek eklenmiştir.

(2.54) bağıntısı analitik olarak incelenirse; yatay eğrilik ve dever değişimi yok kabul edilirse, geriye düşey eğrilik ve boyuna eğim değişken olarak kalır. Dairesel, parabolik, simetrik olmayan parabolik, eşit yaylı simetrik parabolik düşey kurların eğrilik değişimi oldukça küçüktür veya sıfırdır. Bu nedenle bu düşey kurların ürettikleri sademe değeri yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte, eğer (Şekil 6.1) deki A ve B noktalarını boyuna eğim farkları %12 olan iki düz çizgiyle (kırmızı çizgi) birleştirilirse bu tasarımın sademe grafiğindeki değerler (4.1) bağıntısına göre baştan sona sıfır çıkar. Bu nedenle, eğrilik değişimi sabit olan düşey kurlar konfor açısından yetersiz olarak ele alınmalı fakat kullanılmasında bir mahzur görülmemelidir.



Şekil 6.1: Demiryolu sistemlerinde sabit hızlı hareket modeli uygulamasıyla tüm eğrilerin yanal sademe grafikleri

Tarı (1997) nın sunduğu,

— tanım aralığında sıçrama biçiminde yanal sademe süreksizlikleri (Kriter 1),

— tanım aralığından yanal sademenin genliği (Kriter 2),

— tanım aralığında kırılma biçiminde yanal sademe süreksizlikleri (Kriter 3),

kriterlerine göre (Şekil 6.1) incelendiğinde dairesel düşey kurbun; en küçük sıçrama değerine ve en küçük genliğe sahip olduğu ve parabolle birlikte kırılma biçiminde süreksizliği olmadığı görülmektedir. Buna rağmen, Baybura (2001) dairesel düşey kurb yerine parabolik düşey kurbu ve yeni eğriler geliştirilmesini önermiştir.

(Tablo 6.1) Bölüm 5 de verilen sayısal uygulama sonuçlarından faydalanılarak oluşturulmuştur. (Tablo 6.1) in oluşturulmasında; (Tablo 5.2), (Tablo 5.3), (Tablo 5.4), (Tablo 5.5), (Tablo 5.6), (Tablo 5.8), (Tablo 5.9), (Tablo 5.10), (Tablo 5.11), (Tablo 5.12), (Tablo 5.13), (Tablo 5.14), (Tablo 5.16), (Tablo 5.17), (Tablo 5.18), (Tablo 5.19), (Tablo 5.20), (Tablo 5.22), (Tablo 5.23), (Tablo 5.24), (Tablo 5.25), (Tablo 5.26), (Tablo 5.27), (Tablo 5.28) kullanılmıştır.

(5.9) bağıntısındaki AASHTO sademe üst sınırından büyük olan yanal sademe değerleri, bileşik tepe düşey kurb kullanılan demiryolu uygulamasında görülmektedir (Tablo 6.1). Bu istenmeyen sonuç düşey kurbun boyuyla ilgilidir. Bileşik düşey kurbun birinciyle üçüncü ve ikinci parçalarının kurb boyunu hesaplamak için (5.8) ve (5.12) kullanılmıştır. (5.8) in elde edilebilmesi için K-değerinin bilinmesi gerekir. Ancak (5.20) de verilen 400 km/sa hızında bir yol için K-değeri verilmediğinden (Şekil 5.21) de görülen regresyon analiziyle istenen değere ulaşılmıştır. Bu da regresyon analizinin fonksiyonel modelinin yanlış olduğunu göstermektedir.

(Tablo 6.1) de genel olarak yanal sademe değerlerinin oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; yatay kurb olmayan düşey geometrilere, bileşik sademe vektörünün yanal izdüşümü olan yanal sademeye, düşey geometri etkisinin yok denecek kadar az olduğudur.

Düşey kurb / Uygulama		Max Min	(Sabit Hızlı) Yanal sademe büyükükleri (m/sn ³) (2.54) e göre	(Sabit Pozitif İvmeli) Yanal sademe büyükükleri (m/sn ³) (2.54) e göre	(Sabit Negatif İvmeli) Yanal sademe büyükükleri (m/sn ³) (2.54) e göre
Doğru parçası	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	0	0	0
		Z _{Min.} :	0	0	0
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	0	0	0
		Z _{Min.} :	0	0	0
Dairesel tepe kurb	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0000001	-0.00002	+0.00004
		Z _{Min.} :	-0.0000002	-0.00004	+0.00002
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0002000	-0.02150	+0.01670
		Z _{Min.} :	-0.0002000	-0.00570	+0.00080
Parabolik tepe kurb	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0000003	-0.00002	+0.00004
		Z _{Min.} :	-0.0000007	-0.00004	+0.00002
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0009000	-0.02080	+0.01640
		Z _{Min.} :	-0.0009000	-0.00570	+0.00080
Simetrik olmayan parabolik tepe kurb	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	+0.00000004	-0.00001	+0.00010
		Z _{Min.} :	-0.00000400	-0.00010	+0.00001
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0020000	-0.00450	+0.03710
		Z _{Min.} :	-0.0049000	-0.02440	+0.00040
Eşit yaylı simetrik olmayan tepe kurb	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	+0.00000050	-0.00001	+0.00007
		Z _{Min.} :	-0.00000200	-0.00005	+0.00001
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0024000	-0.00270	+0.02900
		Z _{Min.} :	-0.0029000	-0.02420	+0.00020
Bileşik düşey tepe kurb	Karayolları uygulaması	Z _{Max.} :	+0.0010000	+0.00030	+0.00010
		Z _{Min.} :	-0.0010000	-0.00005	-0.00040
	Demiryolu uygulaması	Z _{Max.} :	+0.2227000	+0.19760	+0.01670
		Z _{Min.} :	-0.2227000	-0.02230	-0.09180

Tablo 6.1: Tüm uygulamalar, eğriler ve hareket modellerinde yanal sademe değerleri

Eğrileri konfor yönünden sınıflandıran (2.53), (2.54) yanal sademe bağıntılarının ışığında (2.71) dikey sademe bağıntısı üretilmiştir.

Bu sonuçlara göre yapılabilecek öneriler,

1. Yanal sademe bağıntısıyla yatay geometri olmadan geçki düşey geometrisinin incelenmesi, düşey kurlar için bir ölçüt olmamalı,
2. (2.54) ve (2.71) bağıntılarıyla bileşke sademe bağıntısı üretilmeli ve sademe vektörünün yönü belirlenmeli,

şeklinde sıralanabilir.



KAYNAKLAR

Baybura, T., 2001, “Geçki Düşey Geometrisinin Yanal Sademeye Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri, İstanbul.

Baykal, O., Coşkun, M.Z., 1998, “Dairesel Düşey Kurbuların Kesin Hesabı”, İTÜ dergisi, İstanbul.

Baykal, O., 1996, “Concept Of Lateral Change Of Acceleration”, ASCE Journal Of Surveying Engineering, USA.

Easa, S.M., Hassan, Y., 2000b, “Development of Transitioned Vertical Curve II Sight Distance”, Transportation Research Part A, USA.

Easa, S.M., Hassan, Y., 2000a, “Development of Transitioned Vertical Curve I Properties”, Transportation Research Part A, USA.

Easa, S.M., 1998, “Three-Arc Vertical Curve For Constrained Highway Alignments”, Journal of Transportation Engineering, USA.

Easa, S.M., Hassan, Y., 1998, “Design Requirements of Equal-Arc Unsymmetrical Vertical Curves”, Journal of Transportation Engineering, USA.

Tarı, E., 1997, “Geçki Tasarımında Yeni Eğri Yaklaşımları”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri, İstanbul.

Umar, F., Yayla, N., 1998, “Yol İnşaatı”, İTÜ yayınları, İstanbul.

Montana Department Of Transportation MDT: Montana Road Design Manual, 2000

Presle, G., Hasslinger, H. L., 1998, "Entwicklung und Grundlagen neuer Gleisgeometrie", ZEV+DET Glas. Ann. 122, Germany.

Lindahl, M., 2001, "Track Geometry for High-Speed Railways", Department of Vehicle Engineering Royal Institute of Technology, Stockholm.

URL1: <http://www.mdt.state.mt.us/roaddesign/manual.shtml>, 03.05.2005
(Montana Department Of Transportation MDT)

URL2: <http://www.dot.state.il.us>, 03.05.2005 (Illinois Department Of Transportation IDOT)



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Tamer Baybura ya tez konumun belirlenmesinden tamamlanmasına kadar gösterdiği yakın ilgiden dolayı, bölüm başkanı ve jüri üyesi Yrd.Doç.Dr. Mevlüt Güllü ye tezimin yazımı için bölüm kaynaklarını kullandırmasından ve gösterdiği esnek yöneticilik anlayışından dolayı, jüri üyesi Doç.Dr. Ergin Tarı ya yapıcı eleştirileri ve katılımlarından dolayı, öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. İbrahim Yılmaz a tezin biçimine ve ifade bütünlüğüne katkılarından dolayı, diğer Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümü elemanlarına, Fen Bilimleri Enstitüsü müdürü ve personeline, Bilimsel Araştırma Projeleri komisyon üyeleri ve personeline teşekkür ederim.



ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Afyon da doğdu. Şehri ve Selahattin Telli ailesinin 6 çocuğundan ilkidir. İlk, orta öğrenimini Bolvadin de tamamladı. Lise öğrenimini Endüstri Meslek Lise Harita – Kadastro bölümünde, 1996 yılında tamamladı. 1996 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2001 yılında mezun oldu. 2001 de askerlik hizmetini görmek üzere Yozgat ilinde askeri coğrafya amaçlı bilgi toplama görevini yedek subay olarak yürüttü ve 2003 de tamamladı. 2003 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans programına kayıt yaptırdı. 2004 yılında AKÜ Afyon Mühendislik Fakültesine araştırma görevlisi oldu.

