

DEMIRYOL KURBALARINDA DEVER RAMPASININ  
SINOSOID OLMASI HALINDE KURBALARIN DOZEL-  
TILMESI İÇİN YENİ BİR METOD BULUNMASI

M. Korkut ARBERK

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1991

DEMIRYOL KURBALARINDA DEVER RAMPASININ  
SINOSOID OLMASI HALINDE KURBALARIN DOZELTILMESI İÇİN  
YENİ BİR METOD BULUNMASI

M. Korkut ARBERK

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Ulaştırma Bilim Dalında

DOKTORA TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Oral TOMAY

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ  
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

Eylül-1991

M. Korkut ARBERK'in DOKTORA TEZİ olarak hazırladığı "Demiryol Kurbalarında Dever Rampasının Sinusoid Olması Halinde Kurbaların Düzeltilmesi İçin Yeni Bir Metod Bulunması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Uye: Prof. Dr. İnal SEÇKİN

Uye: Prof. Dr. Güngör EVREN

Uye: Prof. Dr. Oral TUMAY

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
27.11.1991. gün ve 298-3.... sayılı kararıyla  
onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA  
Enstitu Müdürü

## ÖZET

Çağımızda katar hızlarının artması, kurbalardan konforlu ve emniyetli geçişi sağlayabilecek yeni rakordman egrilerinin bulunup kullanılmasını gerekli kılmıştır. Dever rampasının sinüsoid olması halinde ortaya çıkan sinüsoidal rakordman egrisi bunların çok konforlu olanlarından bir tanesidir.

Deverin lineer değişimine göre, önceleri kolayca yapılmakta olan bozulmuş kurbaların düzeltilmesine ilişkin hesaplar, deverin ve dolayısıyla rakordman egrisinin sinüsoidal olması halinde, ancak bilgisayar kullanılarak çözülebilecek bir nitelik kazanmış bulunmaktadır.

Çözüm için gerekli bilgisayar programının geliştirilmesine esas olacak temel bilgiler giriş bölümünü izleyen 2.nci bölümde "Yolun Geometrik Şeklinin Belirlenmesi" başlığı altında verilmiştir. Daha sonraki 3.ncü bölümde, bozulmuş kurbaların düzeltilmesi için gerekli matematiksel bağıntılar ve bu konudaki literatür etüd edilerek hem hesap hem de uygulama açısından kolaylık sağlayabilecek yöntemlerin bulunmasına çalışılmıştır. Rakordman egrilerinin değişmez diye bilinen başlangıç ve bitim noktaları araştırma konusu edilerek bu noktaların kurbaların düzeltilmesindeki önemi ve minimum ripajla düzeltmeye uygun olan, gerçek yerlerinin bulunmasının gerekliliği ortaya çıkarılmıştır.

Son bölüm olan 4.ncü bölümde ise geliştirilen bilgisayar programının uygulandığı örnek bir çözüme kısa açıklamalarla birlikte yer verilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** DEMIRYOLU; KURBALAR; KURBALARIN DOZELTILMESI; DEVER; RAKORDMAN EGRISI; SEHIMLER DIYAGRAMI; DEMIRYOLUNUN BAKIMI; YOKSEK HIZLI DEMIRYOLLAR

## ABSTRACT

In our century increased speeds of trains make us develop and use the new easement curves to provide a comfortable and secure transportation. When the superelevation is sinusoidal then one of the most comfortable curves is the sinusoidal easement curve.

Calculations to improve the distorted curves were done very easily when the superelevations change linearly but when the superelevation and spiral curve are sinusoidal then we need a computer usage to solve the problem.

The main ideas to improve the necessary program for computer aided solution are presented under the headline named "Determination of the Geometrical Railroad Shape" in the second chapter. Then in the third chapter, the mathematical expressions for improving the distorted curves and topics related to this field are investigated. According to these investigations some methods that supply the easiness for calculations and applications are proposed. The beginning and the end points of the easement curve which are known as they can not be replaced are taken into the consideration. As a result it has been found that these points are very important for improving the distorted curves and also it is necessary to find the real places of these points with minimum work.

In the fourth chapter developed computer program is presented according to relations and principles explained in the second and third chapters.

KEY WORDS: RAILWAYS; RAILROAD TRACKS; CURVES; CORRECTION OF CURVES; TRACK MAINTENANCE; SUPERELEVATION; EASEMENT (TRANSITION) CURVE; SPIRALS; HIGH SPEED TRACK

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında kıymetli görüşlerinden, yapıcı yardımlarından ve uyarılarından her zaman yararlandığım sayın hocam Prof. Mehmet BOZKURT'a ve tezin bitirilmesi aşamasında danışmanlığımı üstlenen sayın hocam Prof. Dr. Oral TUMAY'a değerli ilgi ve katkıları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin bilgisayarla yazımında büyük yardımını gördüğüm arkadaşım Yrd.Doç.Dr.İlker ÖZDEMİR'e ,şekillerin çizimini yapan bölüm sekreterimiz Münevver ASLI'ya , ayrıca sürekli teşvikleriyle destekleyen bütün üniversitemiz mensuplarına ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

M.Korkut ARBERK

Eskişehir, Eylül 1991

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. YOLUN GEOMETRİK ŞEKLİNİN BELİRLENMESİ .....	4
2.1. Yola Gelen Etkiler .....	4
2.2. Yola Enine Egim Verilmesi "Dever" .....	5
2.3. Yokedilememiş Yanal Etkilerin Hesabı .....	7
2.4. Yanal Etkilerin En Büyük Değeri "Konfor Sayısı" .....	9
2.5. Dever Hesabında Kullanılacak Hızın Belirlenmesi .....	11
2.6. Egriligin Değişimi ve Rakordman Egrisi .....	13
2.7. Deverin Lineer Değişimi .....	15
2.8. Deverin Sinüsoidal Değişimi .....	17
2.9. Rakordman Egrisinin Uygulanması .....	20
2.10 Rakordman Egrisinde Sınırlamalar .....	25
2.10.1. Dever miktarının en büyük değeri ...	25
2.10.2. Dever artışının -rampa eğiminin- en büyük değeri .....	27

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.10.3. Rakordman boyunun en küçük değeri ..	28
3. GEOMETRİK SEKLİN DÜZELTİLMESİ .....	32
3.1. Geometrik Seklin Düzeltilme Nedenleri .....	32
3.2. Sehimler Diyagramının Tanımı .....	33
3.3. Arazideki Bir Kurbanın Sehimler Diyagramının Elde Edilmesi .....	37
3.4. Düzeltmeden önceki ve Sonraki Diyagramlar Arasındaki Bağlıntılar.....	42
3.4.1. Birleşik egrinin başlangıç ve bitim noktaları yer değiştirmez .....	42
3.4.2. Birleşik egrinin açınım uzunluğu değişmez .....	43
3.4.3. Sehimler diyagramlarının alanları eşittir .....	43
3.4.4. Sehimler diyagramlarının teget noktalarına göre momentleri eşittir..	45
3.4.5. Sehimler diyagramı alanlarının ağırlık merkezlerinin absisleri değişmez .....	49
3.4.6. Ölçülen sehimler toplamı,uygula- nan sehimler toplamına eşittir ....	49
3.4.7. Ölçülen sehimler momentlerinin toplamı uygulanan sehimler momentlerinin toplamına eşittir.....	51
3.5. Geometrik Seklin Düzeltilmesini Kolaylaştıran İşlemler .....	52
3.5.1. Sehimler diyagramının bölgelere ayrılması .....	53



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.2. Sehimler diyagramı uç noktalarının kaydırılarak gerçek uç noktalarının bulunması .....	57
3.6. Ripaj Değerlerinin Hesabı .....	65
3.7. Kaynak Araştırması Özeti .....	68
3.7.1. Kaynak Özetleri .....	73
4. BILGISAYAR KULLANILARAK ÖRNEK UYGULAMA YAPILMASI	81
4.1. İzlenen Yöntemin Anahatlarının Belirlenmesi.	81
4.2. Kurb Parametrelerinin Seçilmesi .....	83
4.3. Seçilen Parametrelerin Yaklaşık Değerlerinin Belirlenmesi .....	87
4.4. İlk Yaklaşımın Yapılması .....	94
4.5. Araştırmanın Geliştirilmesi ve Sonucun Elde Edilmesi .....	96
4.6. Ripajların Hesabı ve Yeni Sehimler Diyagramının Çizilmesi .....	108
5. SONUÇ .....	111
6. ARAŞTIRMA TEKNİĞİNE AIT BILGISAYAR PROGRAMI .....	113
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	124
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	$V > V_h$ olan katarların sayıları
$\alpha$	Yol yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$\alpha'$	Açısal hız
$\alpha''$	Açısal ivme
b	$V < V_h$ olan katarların sayıları
$\beta$	Bileşke kuvvetin düşeyle yaptığı açı
c	Yanal ivme
d	Dever
e	Hat genişliği
$\epsilon$	Sehim farkı
F	Merkezkaç kuvvet (Bölüm 1'de)
F	Egrilikler diyagramı alanı (Bölüm 2'de)
f	Arazide ölçülen sehim değerleri
$\phi$	Birleşim noktasında tegetler arasındaki açı
$\bar{\phi}$	Birleşim noktasındaki tegetin x eksenini ile yaptığı açı
g	Yerçekimi ivmesi
G	Araç ağırlığı
$G_a$	$V > V_h$ olan katarların ağırlıkları
$G_b$	$V < V_h$ olan katarların ağırlıkları
i	Dever rampasının yatayla yaptığı açı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
K	Bileşke kuvvetin yol yüzeyine paralel bileşeni
L	Rakordman eğrisi uzunluğu
$\lambda$	İki sehim noktası arasındaki uzaklık
M	Egrilikler diyagramının momenti
m	Kurb yarıçapının küçültülme miktarı
m	Rampa eğim sayısı
n	Toplam katar sayısı
n	Son sehim noktası
o	İlk sehim noktasından önceki nokta
$\Omega$	Sarsma
$P_d$	Tırmanma ivmesi (düşey ivme)
Q	Bileşke kuvvet
R	Kurb yarıçapı
$R_0$	m kadar küçültülmüş kurb yarıçapı
r	Ripaj miktarı
$\rho$	Egrilik yarıçapı
s	$2\lambda$ uzunluğundaki kirişe ait sehim
t	Kurb başlangıcına olan uzaklık
$\theta$	Kurbu oluşturan tegetler arasındaki açı
v	Katar hızı (m/sn)

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
V	Katar hızı (km/sa)
V <sub>d</sub>	Tırmanma hızı (düşey hız)
V <sub>h</sub>	Hesap hızı
Δx	Hata miktarı

## 1. GİRİŞ

Çağımızda, devletlerarası ve bir ülkenin çeşitli bölgeleri arasındaki ticari, sosyal, ekonomik ve kültürel ilişkiler önemli ölçüde gelişmiştir. Gelişen bu ilişkilerin sonucu olarak ortaya çıkan büyük hacimlerdeki yolcu ve yük taşınması gereksinimi, günümüzün ilerleyen tekniği de kullanılarak deniz, nehir, boru, hava ve kara taşımacılığı olarak isimlendirilen değişik ulaşım türleri ile hızlı ve güvenli bir şekilde karşılanmaktadır.

Hemen hemen hergün karşılaşılan ve kullanılan sürekli bir ulaşım türü olan kara ulaşımı, hacminin ve yoğunluğunun da diğer ulaşım türlerine oranla daha fazla olması nedeniyle en önemli ulaşım türü olarak göze çarpmaktadır. Bu önemli ve sık karşılaşılan ulaşım türü, "yol" adı verilen, yeryüzünü ağ gibi kaplayan özel bir yapıyla gerçekleştirilmektedir. Kara ulaşımını sağlayan yolların "karayolu" ve "demiryolu" olmak üzere iki ayrı türü olup bunların da değişik genişlikte ve kalitede olanları bulunmakla birlikte, kara ulaşımının candamarları olan yollara geometrik şekilleri açısından bakıldığında aralarında büyük benzerlikler olduğu, hepsinin de ardarda sıralanmış doğru ve eğrilerden oluştuğu göze çarpmaktadır.

Bir bölgeden diğerine gitmek için yollardan faydalanmak isteyen araçlar değişik kalite ve türde de yapılmış olsa doğru ve eğrilerden oluşan ve bu nedenle "doğru ve eğri

zinciri" olarak tanımlanabilecek olan yolların üzerlerinden geçmek zorundadırlar. Bu geçiş sırasında araçların hareketlerine karşı gelen ve "direnim" adı verilen birtakım kuvvetler ortaya çıkmaktadır. Tabii olarak araçların bu kuvvetleri yenerek "dogru ve egri zinciri" 'ni katetmeleri ve varmak istedikleri yere ulaşmaları gerekmektedir.

Yolların "alinyman" denilen dogru kısımlarında giden araçlar, araç ile hava arasında oluşan sürtünmelerin neden olduğu direnimlerle araç ile yol arasındaki sürtünmelerden kaynaklanan direnimlerin etkisi altında kalırlar. Yolun egimi de direnim etkisi gösterir ve direnimlere ilave edilir. Ayrıca yolun kalitesi ile ters orantılı olan yol kusurları da araçların çeşitli dinamik tesirler altında parazit hareketler yaparak direnim oluşmasına neden olurlar. Bu direnimlerin de yukarıda sayılan direnimlere eklenmesi gerekir.

Yolların "kurba" denilen egrilerden oluşan kısımlarında giden araçlar ise yolun dogru kısımlarında karşılaştıkları direnimlere ilaveten yolun egriligi ile dogru orantılı olan ve kurba direnimi olarak adlandırılan direnimlere de maruz kalırlar.

Yolun dogru kısımlarında olsun, egri kısımlarında olsun araçlar, motorlarında ürettikleri güç sayesinde karşılaştıkları bu direnimleri yenerler ve hareketlerini sağlarlar; ancak bu hareketin güvenli ve konforlu da olması, bir başka deyişle çeşitli yol kusurları ile yolun

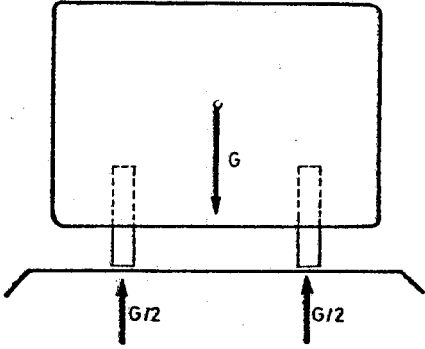
geometrik özelliklerinden oluşacak dinamik etkilerin en az ve tahammül edilebilir bir düzeyde de olması istenir.

Yola iyi bakım yapılarak yol kusurlarının giderilmesi ve böylelikle yol kusurlarından kaynaklanan dinamik kuvvetlerin ortaya çıkmalarının önlenmesi mümkün olursa da yolun geometrisinden kaynaklanan dinamik etkilerden kurtulmak veya bunların minimum düzeyde kalmalarını sağlamak için, yola inşaat sırasında uygun bir geometrik şekil vermekten başka çare yoktur. Bu amaç için yolun geometrisi ile bu geometriye bağlı olarak oluşması mümkün görülen dinamik etkiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi lazımdır. İzleyen bölümde bu ilişkiler incelenip formüle edilmekte ve pratikten elde edilen bilgiler de gözönüne alınarak ulaşımda en büyük amaç olan hızlı, güvenli ve konforlu bir hareketin sağlanması için gerekli olan yol geometrik şeklinin belirlenmesine çalışılmaktadır.

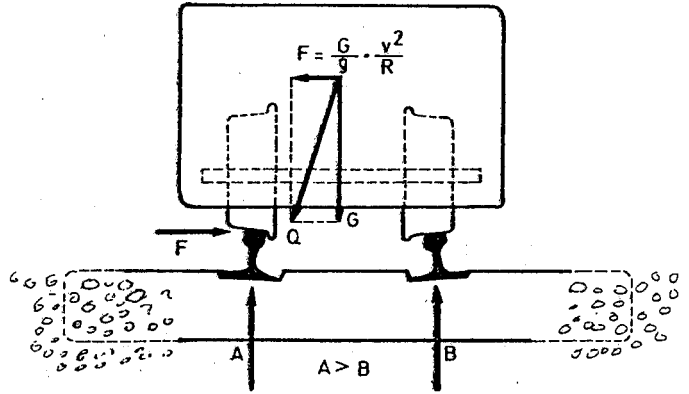
## 2.YOLUN GEOMETRİK ŞEKLİNİN BELİRLENMESİ

### 2.1.Yola Gelen Etkiler

Yolların doğru kısımlarında araç ağırlığının doğrultusu yol yüzeyine dik durumdadır ve  $G$  ağırlığı, sağ ve sol taraftaki tekerlekler aracılığıyla yola eşit olarak dağılır (Şekil 2.1). Yolun eğri kısımlarında ise bu diklik, eğrilik yarıçapı  $R$  ile ters, katar hızı  $v$ 'nin karesiyle doğru orantılı olarak ortaya çıkan  $F$  merkezkaç kuvveti tarafından bozulmakta ve  $F$  kuvvetinin araç ağırlığıyla olan bileşkesi



Şekil 2.1



Şekil 2.2

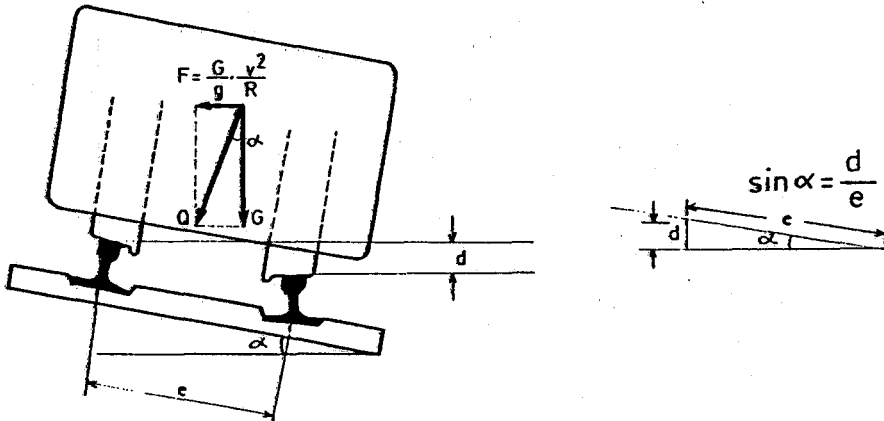
yol yüzeyine eğik olarak etkimektedir. Bu eğik kuvvetin yol yüzeyine paralel bileşeni de yanıl bir kuvvet olduğundan aracı yana doğru iter. Kara ulaşımının bir türü olan demiryollarında, araba tekerleklerinde "buden" denilen ve demiryol arabalarının raydan çıkmasını engelleyen çıkıntılıların bulunması nedeniyle bu yanıl etki kurbun dış tarafında bulunan dış raya iletilir ve  $F$  yanıl kuvveti dış ray tarafından karşılanmış olur (Şekil 2.2). Ayrıca  $F$  yanıl kuvvetinin



oluşturacağı moment nedeniyle dış raya ilave kuvvetler de gelir. Dış raya gelen kuvvetlerin artması, yolun dış ray tarafındaki bölümünün daha çok yıpranmasına ve daha çabuk bozulmasına neden olur. Bu durum arzu edilmeyen, çözüm bulunarak düzeltilmesi gereken bir durumdur.

## 2.2. Yola Enine Egim Verilmesi "Dever"

Egriligin bulunduğu yerlerde merkezkaç kuvvet daima ortaya çıkacağına ve yolların eğri kısımlarından da hiçbir zaman vazgeçilemeyeceğine göre kurblarda oluşacak merkezkaç kuvvetlerin  $G$  araç ağırlığı ile olan  $Q$  bileşkeleri de her zaman yol yüzeyine eğik olacak demektir. İstenmeyen, fakat kaçınılmaz olan bu eğik kuvvetlerden kurtulmak, daha doğrusu bu kuvvetlerin etkisini zararsız hale getirmek için yapılması mümkün olan tek şey ise yol yüzeyini bu eğik kuvvetlere dik olana kadar döndürmek, yani yola enine egim vermektir (Şekil 2.3). Böylece bileşke kuvvetlerin yol yüzeyine paralel bileşenlerinin oluşması önlenerek yanıl kuvvet ortadan kaldırılmış olmaktadır.



Şekil 2.3

Demiryollarında yola enine eğim verilmesi, raylardan dış taraftakinin iç taraftakine göre  $d$  kadar yükseltilmesiyle gerçekleştirilir. Dever ismini verdiğimiz bu yükseklik farkı dolayısıyla yol yüzeyi  $\alpha$  açısı kadar dönmüş olur. Hat genişliği  $e$  ile gösterildiğine göre, (Şekil 2.3) 'den yararlanılarak;

$$\sin \alpha = \frac{d}{e}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{G} = \frac{\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}}{G} = \frac{v^2}{g R} \quad (1)$$

eşitlikleri yazılabilir.  $\alpha$  açısının değeri küçük olduğundan  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$  alınır;

$$\frac{d}{e} = \frac{v^2}{g R} \quad \text{ve buradan} \quad d = \frac{e v^2}{g R} \quad (2)$$

bulunur. Ülkemizde geçerli olan  $e = 1,5 \text{ m.}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  değerleriyle, pratikte deveri  $\text{mm.}$ , hızı da  $\text{km/sa}$  birimleriyle kullanmamızı sağlamak için  $d(\text{mm}) = 1000 d(\text{m})$  ve  $v(\text{m/s}) = V/3,6$  ( $\text{km/sa}$ ) eşitliklerini yerlerine yazarak

$$d = \frac{1000 \cdot 1,5 \cdot v^2}{9,81 \cdot 3,6^2 \cdot R}$$

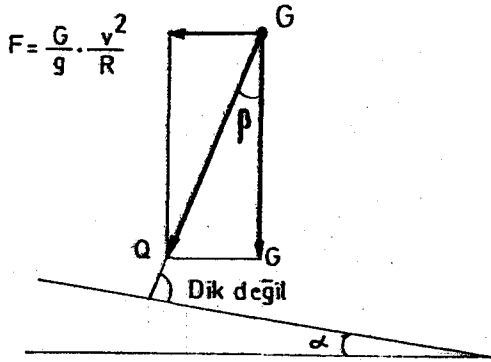
ve buradan da

$$d = 11,8 \frac{v^2}{R} \quad (\text{mm.}) \quad (3)$$

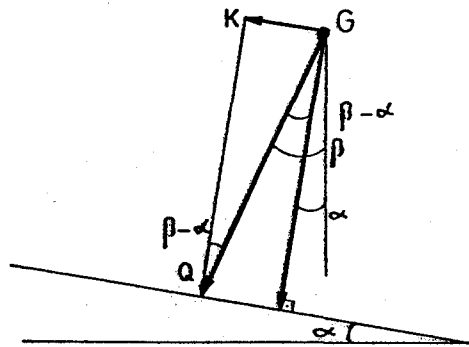
formülü elde edilir. Yol yüzeyinin bileşke kuvvete dik olana kadar döndürüldüğü, hiçbir yanal etkinin kalmadığı duruma karşılık gelen bu  $d$  değerine "teorik dever" adı verilir.

### 2.3.Yokedilememiş Yanal Etkilerin Hesabı

Egrilik yarıçapının R kadar olduğu bir kesimden  $V_h$  hızı ile geçecek olan katarlar için gerekli d teorik deveri yukarıda çıkardığımız formülden hesaplanmış ve yolun bu kesimine uygulanmış olsun. Bir hattan değişik türde, ağırlıkları ve hızları farklı katarlar da geçecektir. Bunlardan hızı  $V_h$  hızından farklı olanlar için d değeri uygun olmayacak ve bileşke kuvvetin düşeyle yaptığı  $\beta$  açısı d teorik deverine karşılık gelen  $\alpha$  açısından farklı olacaktır (Şekil 2.4). Q bileşke kuvvetinin yol yüzeyine dik olmaması anlamına gelen bu durumda Q bileşke kuvvetinin yol yüzeyine paralel olan K bileşeni, yokedilememiş yanal bir kuvvet olarak ortaya çıkacak demektir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4



Şekil 2.5

Katar hızına bağlı olarak  $\beta$  ve  $\alpha$  açılarının birbirlerine göre  $\beta > \alpha$  ve  $\beta < \alpha$  olmak üzere iki değişik durumda olmaları mümkündür. K yanal kuvveti de  $\beta$  ve  $\alpha$  açılarının durumlarına göre birbirine zıt olmak üzere iki yönde

ortaya çıkar. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 'deki çizimler  $\beta > \alpha$  durumuna yani  $V > V_h$  hızına göre yapılmış olup K kuvveti yolun o noktasındaki kurbun normalı yönündedir (kurb dışına doğrudur). K kuvvetinin değeri için Şekil 2.5 'den

$$K = Q \cdot \sin(\beta - \alpha) \quad (4)$$

yazılabilir. Q bileşke kuvvetinin değeri de Şekil 2.4 'den

$$Q = F / \sin \beta \quad (5)$$

olarak bulunur ve  $\sin(\beta - \alpha) = \sin \beta \cdot \cos \alpha - \cos \beta \cdot \sin \alpha$  trigonometrik eşitliğiyle birlikte (4) de yerine konulursa

$$K = \frac{F}{\sin \beta} (\sin \beta \cdot \cos \alpha - \cos \beta \cdot \sin \alpha)$$

$$K = F \cdot \left( \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (6)$$

elde edilir. Yine Şekil 2.4 'den hesaplanacak

$$F = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}, \quad \tan \beta = \frac{F}{G} = \frac{v^2}{g R} \quad (7)$$

değerleriyle (1) deki  $\sin \alpha = d/e$  değeri (6) da yerine yazılır ve  $\alpha$  açısının küçük olmasından dolayı  $\cos \alpha$  yaklaşık 1'e eşit alınır K yanal kuvveti için (8) formülü

$$K = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \left( 1 - \frac{d/e}{v^2/g R} \right) \Rightarrow K = \frac{G v^2}{g R} - \frac{G d}{e} \quad (8)$$

olarak bulunur.  $\beta < \alpha$  durumu için de benzer işlemler yapılarak yönü kurb merkezine doğru olan K kuvveti için,

$$K = \frac{G d}{e} - \frac{G v^2}{g R} \quad (9)$$

formülünü elde etmek mümkündür. K yanal kuvvetini veren (8) ve (9) formüllerindeki (-) işaretinin yanındaki terimlerin aynı oldukları, sadece K yanal kuvvetinin yönüne göre yer değiştirdikleri görülmektedir. Buradaki  $v^2$  'li terim merkezkaç kuvvetin, diğer terim ise merkezkaç kuvveti yenmek için yola dever vererek oluşturulan karşıt kuvvetin -veya merkezciil kuvvet ismi de verilebilen kuvvetin- etkisini göstermektedir.

#### 2.4 Yanal Etkilerin En Büyük Değeri "Konfor Sayısı"

Belirli bir  $V_h$  hızına göre, teorik dever formülü kullanılarak bulunmuş d deverinin uygulandığı bir kesimden,  $V_h$  hızından farklı V hızlarıyla geçen katarların maruz kalacakları kuvvetler ( (8) ve (9) formülleriyle hesaplanabilen K yanal kuvvetleri) yolcuların rahatsız olmaması ve yüklerin buldukları yerlerden kaymaması için belli bir değeri aşmamalıdır. Ancak bir hat üzerinde çeşitli türde katarlar işletilmektedir ve bunların birbirinden çok farklı olabilen G ağırlıklarına göre hesaplanarak bulunacak K yanal kuvvetleri de değişik değerler alacaktır. Bu durumda K yanal kuvvetlerinin her tür katar için geçerli olacak  $K_{max}$  gibi tek bir en büyük değerle genel olarak sınırlandırılması mümkün olamaz. Yanal kuvvet sınırlamasını genel olarak yapabilmek için (8) formülünün her iki yanının G ile bölünmesiyle

$$\frac{K}{G} = \frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{d}{e}$$

elde edilir ki buradaki K/G terimi katarın beher birim ağırlığı başına düşen yanal kuvveti ifade eder. Böylece katar ağırlığından bağımsız olup yanal kuvvet yüzdesi veya "konfor sayısı" diye isimlendirilen ve  $\gamma$  ile gösterilen bu oranla yanal kuvvetlere genel bir sınırlama getirilmiş olur. Uygulamada kullanılan  $V$  (km/sa),  $d$  (mm),  $R$  (m) birimleriyle,  $e = 1500$  mm,  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> değerlerinin yerine konması sonucu

$$\gamma = \frac{K}{G} = \frac{v^2}{127 \cdot R} - \frac{d}{1500} \quad (10)$$

formülü elde edilir.  $\beta < \alpha$  durumu için de benzer düşünüşle

$$\gamma = \frac{K}{G} = \frac{d}{1500} - \frac{v^2}{127 \cdot R} \quad (11)$$

yazmak mümkündür. Birim ağırlık başına düşen yanal kuvvet miktarını karakterize eden

$$\gamma = \frac{K}{G} \quad (12)$$

konfor sayısının 0,10 ila 0,06 arasında seçilebilen farklı  $\gamma_{\max}$  değerlerine yükselmesine kadar izin verilebileceği değişik ülkelerde yapılan deney sonuçları gözönünde tutularak belirlenmiştir. Buna göre  $K$  yanal kuvvetinin alabileceği enbüyük değer (12) formülünde  $\gamma$  yerine  $\gamma_{\max}$  yazılmasıyla

$$K_{\max} = \gamma_{\max} \cdot G \quad (13)$$

olarak bulunur. 70 kg ağırlığındaki bir insan için yanıl kuvvet, konfor sayısı  $V_{\max} = 0,10$  alınarak hesaplanacak olursa  $K_{\max} = 0,1 \cdot 70 = 7$  kg bulunur ki bu değer bir insanın rahatsız olmadan etkisinde kalabileceği yanıl kuvvetin yaklaşık değerini göstermektedir (Bozkurt, 1960).

## 2.5. Dever Hesabında Kullanılacak Hızın Belirlenmesi

Bir hat üzerinden  $V_h$  hızıyla geçen katarlar için gerekli d dever miktarının (3) formülüyle

$$d = 11,8 \frac{V_h^2}{R} \quad (14)$$

şeklinde hesaplanabileceği ve d kadar dever verilmiş bulunan hattın bu kesiminden  $V_h$  hızından farklı hızlarda geçen katarların (8) ve (9) formülleriyle hesaplanabilen

$$K = \frac{G v^2}{g R} - \frac{G d}{e} \quad K = \frac{G d}{e} - \frac{G v^2}{g R} \quad (15)$$

yanıl kuvvetlerinin etkisinde kaldıkları yukarıda açıklanmıştı. Bu formüllerdeki K kuvvetleri d deverinin birer fonksiyonudurlar; d deverinin ise  $V_h$  hızının bir fonksiyonu olduğu (14) formülünden bellidir. Öyleyse sözü edilen yanıl kuvvetler  $V_h$  hıza bağlı bulunmaktadır. Yanıl kuvvetlerin iki yönde, normal yönünde ve eğrilik merkezi yönünde, olabilecekleri de açıklanmıştı. İki zıt yönde olabilen ve bazen dış, bazen de iç raylara gelen bu ilave kuvvetlerin eşit değerlerde olmalarının sağlanması halinde hattın her

iki rayının da eşit kuvvetler altında eşit miktarlarda aşınması ve böylelikle rayların yenilenme sürelerinin, dolayısıyla da hattın ömrünün uzatılması mümkün olacaktır. Öyleyse  $V_h$  hızını, yanıl kuvvetlerin her iki yönde eşit olarak ortaya çıkmasını sağlayacak şekilde belirlemeye çalışmak gerekmektedir. Bu amaçla (15) formülleri  $\beta > \alpha$  durumundaki a katar için ve  $\beta < \alpha$  durumundaki b katar için ayrı ayrı yazılır ve birbirlerine eşitlenirse

$$\sum_{a=1}^a \left( \frac{G_a v_a^2}{g R} - \frac{G_a d}{e} \right) = \sum_{b=1}^b \left( \frac{G_b d}{e} - \frac{G_b v_b^2}{g R} \right)$$

olur. Parantezler açılıp gerekli işlemler yapıldıktan sonra

$$\frac{1}{g R} \left( \sum_{a=1}^a G_a v_a^2 + \sum_{b=1}^b G_b v_b^2 \right) = \frac{d}{e} \left( \sum_{a=1}^a G_a + \sum_{b=1}^b G_b \right) \quad (16)$$

elde edilir. Hatta işleyen katar sayısı n ile gösterilir ve

$$n = a + b$$

$$\sum_{n=1}^n G_n = \sum_{a=1}^a G_a + \sum_{b=1}^b G_b$$

$$\sum_{n=1}^n G_n v_n^2 = \sum_{a=1}^a G_a v_a^2 + \sum_{b=1}^b G_b v_b^2$$

eşitlikleri de gözönünde tutulursa (16) formülünden

$$d = \frac{e}{g R} \cdot \frac{\sum_{n=1}^n G_n v_n^2}{\sum_{n=1}^n G_n}$$



sonucuna varılır. Pratikte geçerli olan  $e=1,5$  m.,  $g=9,81\text{m/s}^2$   $d(\text{mm})$  ve  $V$  (km/sa) değerleri de yerlerine yazılacak olursa

$$d = \frac{11,8}{R} \cdot \frac{\sum_{n=1}^n G_n V_n^2}{\sum_{n=1}^n G_n} \quad (\text{mm}) \quad (17)$$

bulunur.  $d$  'nin bu değerinin (14) formülünde yerine yazılmasıyla da  $V_h$  değeri için;

$$V_h = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n G_n v_n^2}{\sum_{n=1}^n G_n}} \quad (18)$$

bulunur. "Hesap hızı" olarak tanımlanan bu  $V_h$  hızı teorik dever formülünde yerine konularak değişik yarıçaplı kurbalar için  $d$  değerleri hesaplanır ve bulunan değerler hatta uygulanırsa rayların eşit sürelerde eskimesi sağlanmış ve böylelikle en ekonomik çözüm gerçekleştirilmiş olur.

## 2.6. Egriliğin Değişimi ve Rakordman Egrisi

Egrilik yarıçapının  $R$  kadar olduğu bir yerde oluşacak yanal kuvvetlerin, kabul edilen konfor sayısına bağlı olarak en fazla hangi değerlere yükselmesine izin verileceği ve  $V_h$  hesap hızına göre gerekli deverin nasıl hesaplanacağı yukarıda açıklandığı gibidir. Egriliğin ise egrilik yarıçapı

R 'nin tersine yani  $1/R$  'ye eşit olduğu bilinmektedir. Bu durumda bir hattın herhangi bir yerine verilmesi gerekli deyer miktarının hesaplanabilmesi için hattın egriliginin deyişiminin bilinmesine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bir yolun projesi yapılırken gelişigüzel egriler değil hesaplanması kolay olan geometrik egriler ve bunlarla birlikte doğrular kullanılmaktadır. Geometrik egriler genellikle doğrular arasındaki köşeleri yoketmek, dönüşleri yumuşatmak için konan daire parçalarıdır. Egriliği  $1/R$  olan böyle bir daire parçası boyunca  $R$  yarıçapı ve buna bağlı olarak  $d$  deveri sabit degerler alırlar. Doğru kısımlarda ise de-ver yoktur. Deversiz bir kesimden deverli bir kesime aniden geçmek mümkün değildir. Deverin tedrici bir şekilde oluşturulması gerekir. Deverin bu yumuşak deyişimi sırasında egriliğin de devere bağlı olarak uyumlu bir şekilde deyişmesi gerekecektir. Egriliğin deyişmesi içinse hattın bu kesimine egriliği deyişken olan bir egrinin uygulanması gerekir. İşte egriliğin ve deverin uyumlu ve tedrici bir şekilde deyişmesini sağlayan ve böylece doğru ile daire parçalarının uygun bir şekilde birleştirilmelerini mümkün kılan bu egrilere "rakordman egrisi" veya "birleştirme egrisi" adı verilir. Deverin, doğrudaki sıfır degerinden daire parçasındaki  $d$  degerine kadar artması sırasında egrilik de sıfırdan  $1/R$  'ye kadar artar. Bu arada  $R$  degeri de  $\infty$  'dan  $R$  'ye kadar azalır. Deverin sıfırla  $d$  sınırları arasında arzu edilen şartları da sağlayacak şekildeki  $d_t$  deyişimi ( $t$  başlangıca olan uzaklık), lineer, parabolik, sinüsoidal veya üstel fonksiyon

olarak seçildiği takdirde  $f_t$  eğriliginin değişimi (14) teorik dever formülünde  $R = f_t$  konularak elde edilecek

$$\frac{1}{f_t} = \frac{d_t}{11,8 V_h^2} \quad (19)$$

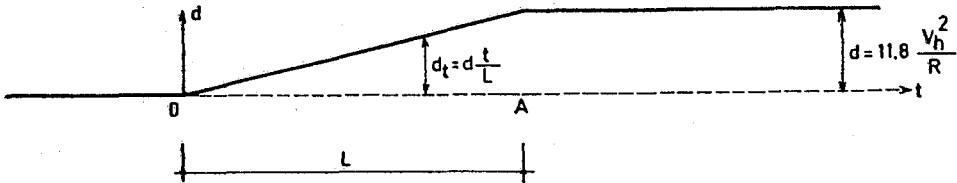
formülünden anlaşılacağı üzere benzer değişimler gösterecek ve buna bağlı olarak rakordman eğrilerinin alacağı formlar da farklı olacaktır. İzleyen paragraflarda deverin lineer ve sinüsoidal değişimlerine karşılık, rakordman eğrilerinin alacağı formların bulunup incelenmesine çalışılmaktadır.

## 2.7. Deverin Lineer Değişimi

Deverin  $L$  rakordman eğrisi boyunca  $0 - d$  sınırları arasında (Şekil 2.6) da görüldüğü üzere

$$d_t = d \cdot \frac{t}{L} \quad (20)$$

denklemine göre lineer olarak değişmesi halinde  $1/f_t$  eğriliginin değişimi de (19) dan



Şekil 2.6

$$\frac{1}{F_t} = \frac{d}{11,8 V_h^2 L} t \quad (21)$$

olur. Analitik geometriden bilinen ve herhangi bir eğri için geçerli olan

$$\frac{1}{F_x} = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} \quad (22)$$

egrilik formülündeki eğimi ifade eden  $y'$  teriminin çok küçük olup karesinin 1 ile toplanırken ihmal edilmesiyle birlikte hesapları kolaylaştırmak için yapılmasında fayda görülen  $t = x$  kabulü sonucu elde edilecek

$$t = x \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{F_x} = y'' \quad \text{ve} \quad F_t = F_x \quad (23)$$

değerleri ve bunlarla beraber  $d$ 'nin (14) deki

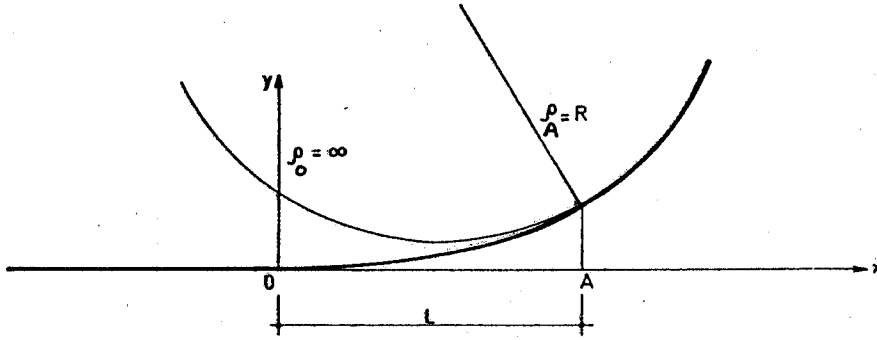
$$d = 11,8 \frac{V_h^2}{R}$$

değerinin (21) de yerine konması sonucu, rakordman eğrisinin

$$y'' = \frac{1}{R L} x$$

şeklindeki diferansiyel denklemi elde edilir. Bunun çözümü için integralinin alınmasından sonra şekil 2.7 'de görülen  $(x = 0, y' = 0)$  sınır şartının yerine konmasıyla

$$y' = \frac{1}{2 R L} x^2 + C_1 \quad (x=0, y'=0 \Rightarrow C_1=0) \quad \Rightarrow \quad y' = \frac{x^2}{2 R L}$$



Sekil 2.7

elde edilir. Bu fonksiyonun da integralinin alınıp şekil 2.7 'deki  $(x = 0, y = 0)$  sınır şartının yerine konmasıyla

$$y = \frac{1}{6 R L} x^3 + C_2 \quad (x=0, y=0 \Rightarrow C_2=0)$$

$$y = \frac{x^3}{6 R L} \quad (24)$$

bulunur. Rakordman eğrisi denklemleri olarak bulunan bu ifade 3. dereceden bir parabolüdür ve "kübik parabol" diye isimlendirilir.

### 2.8. Deverin Sinüsoidal Değişimi

Deverin lineer olarak değişmesi halinde şekil 2.6 'da görüldüğü üzere dever rampasının 0 ve A noktalarında köşeler -kırık noktalar- oluşmakta ve katarlar bu noktalardan geçerken şokların etkisinde kalmaktadırlar. Hızlı katarlarda bu şokların büyük ve rahatsız edici boyutlara yükselmesi bu konuda önlem alınmasını gerektirmektedir. En iyi önlem

de sebebi ortadan kaldırmak yani şokların oluşmasına neden olan kırık noktaları yoketmektir. Bu gayeyle deverin lineer değişimini ifade eden (20) formülüne -periodu L kadar olan- sinüslü bir terim ilave edilirse

$$d_t = d \frac{t}{L} - A \cdot \sin \frac{2\pi}{L} t$$

olur. Buradaki A katsayısının değerini bulabilmek için

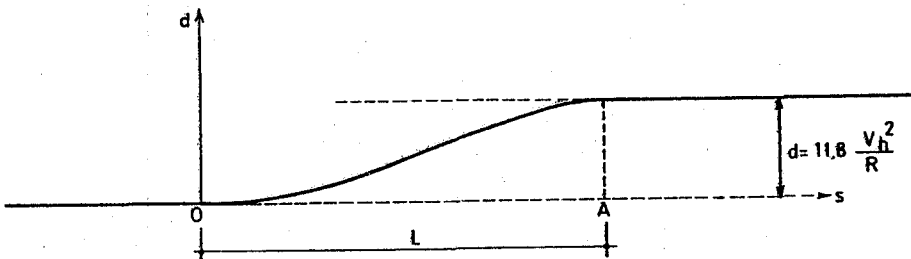
$$d'_t = \frac{d}{L} - A \frac{2\pi}{L} \cos \frac{2\pi}{L} t$$

denkleminde  $t = 0$  ,  $d'_0 = 0$  sınır şartları yerine konarak

$$0 = \frac{d}{L} - A \frac{2\pi}{L} \Rightarrow A = \frac{d}{2\pi}$$

$$d_t = d \left( \frac{t}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} t \right) \quad (25)$$

bulunur. Sınır şartlarını sağlayan, lineer değişim halindeki köşeleri ortadan kaldıran ve uyumlu bir süreklilik sağlayan (25) denkleminde ait eğri şekil 2.8 'de görülmektedir.



Sekil 2.8

Deverin bu şekilde sinüsoidal bir değişim göstermesine karşılık rakordman eğrisinin alacağı formu bulabilmek için (19), (23) ve (25) denklemlerinden

$$y'' = \frac{1}{f_x} = \frac{d_x}{11,8 V_h^2} = \frac{d}{11,8 V_h^2} \left( \frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right)$$

yazılır ve deverin A 'daki en büyük değeri olan

$$d = 11,8 \frac{V_h^2}{R}$$

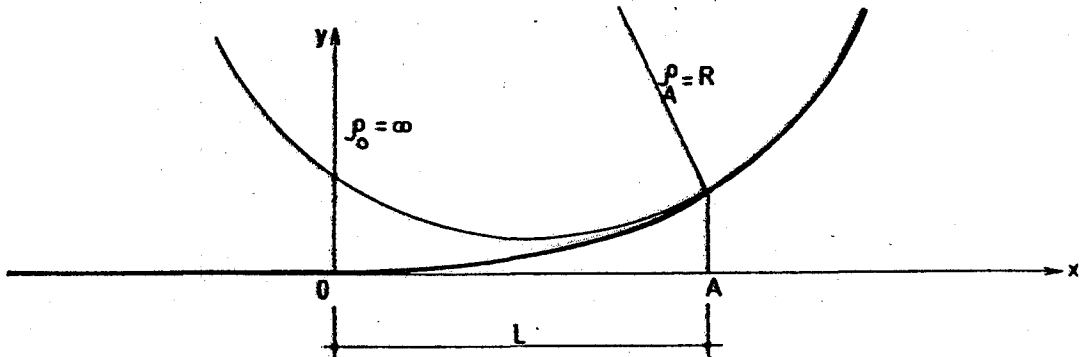
değeri de yerine konularak rakordman eğrisinin diferansiyel denklemi olarak

$$y'' = \frac{1}{R} \left( \frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right)$$

elde edilir. Çözüm için önce iki defa integral alınır ve sonra şekil 2.9 'da görülen sınır şartları kullanılarak

$$y = \frac{x^3}{6 R L} - \frac{L}{4 \pi^2 R} \left( x - \frac{L}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (26)$$

"Klein rakordman eğrisi" denklemi elde edilir (Bıçakçı, 1977)

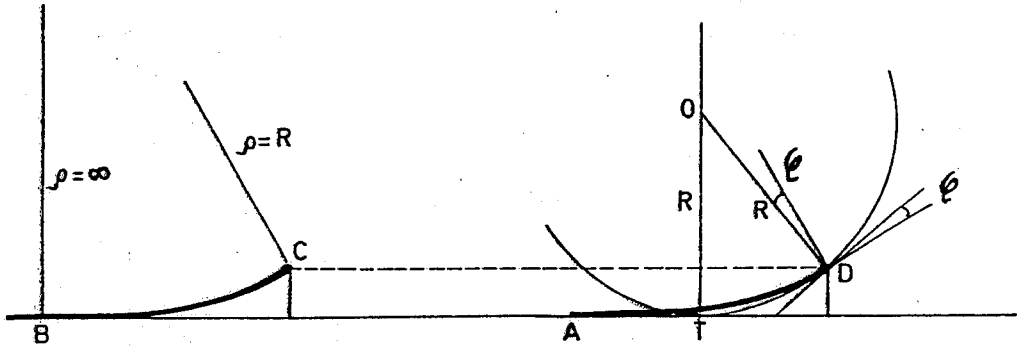


Sekil 2.9

## 2.9. Rakordman Eğrisinin Uygulanması

Doğru ile  $R$  yarıçaplı daire arasına yukarıda denklemlerini bulduğumuz rakordman eğrilerinin nasıl yerleştirileceğini araştıralım.

"Chaves Sistemi" 'nde rakordman eğrisi doğru üzerindeki bir  $B$  noktasından itibaren başlanmak suretiyle -eğrilik yarıçapı  $\rho = \infty$  'dan  $\rho = R$  olana kadar- çizilir (Şekil 2.10) Sonra  $BC$  rakordman eğrisi,  $C$  noktası daireye değene kadar kaydırılır. Böylece rakordman eğrisi doğru ile daire arasında  $A-D$  şeklinde yerleştirilmiş olur (Bozkurt, 1960).

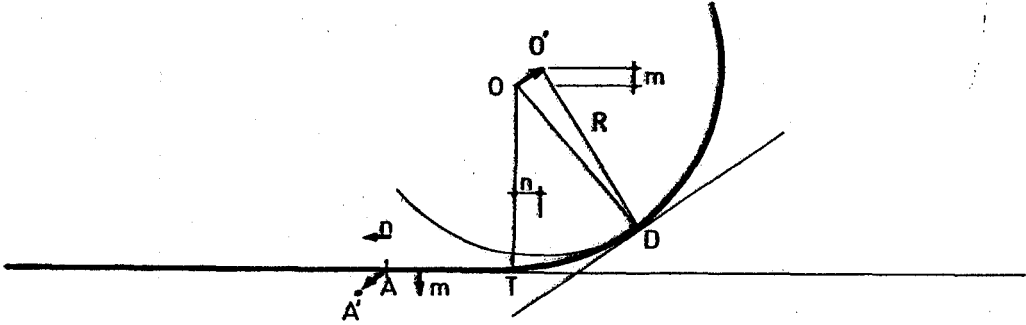


Şekil 2.10

$D$  noktasında rakordman eğrisinin tegeti ile kurba tegetinin arasında  $\epsilon$  açısı oluşması nedeniyle meydana gelen kırıklığın dışında bu yerleştirme uygundur. Normal hızdaki katarların işlediği hatlarda  $D$  noktasındaki kırıklığın kabaca düzeltilmesiyle yetinilebilirse de hızlı trenlerin işlediği hatlarda  $\epsilon$  açısının tamamen yok edilmesi gerekmektedir.



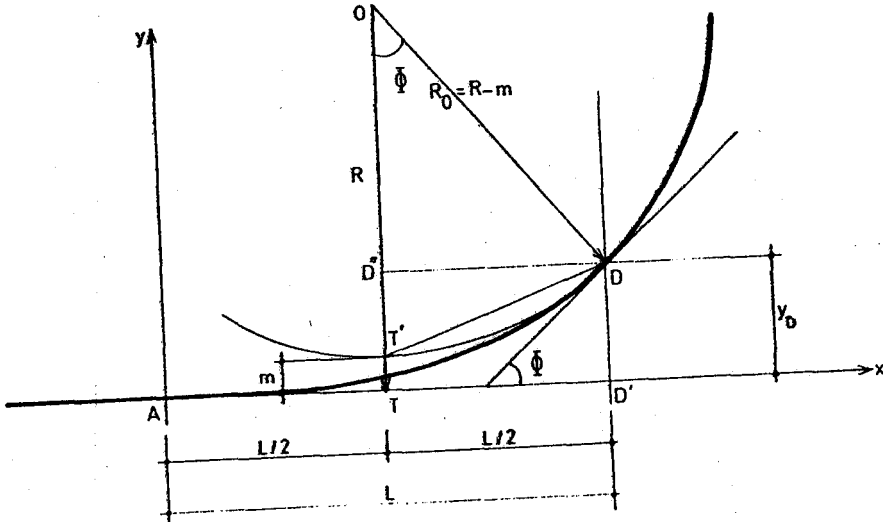
Bu amaçla rakordman eğrisinin D noktasındaki normalini üzerinde R kadar gidilerek O' noktası bulunursa görülür ki O' merkezli R yarıçaplı daire istenilen şartları sağlayan ve D noktasındaki kırıklığı yokeden bir dairedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11

Yalnız bu defa daire merkezi  $m$  kadar yukarı,  $n$  kadar da yana kaymış olur. Dairenin yeniden aplikasyonunu gerektiren bu şekil yerine daire merkezinin sabit tutulup rakordman eğrisinin  $m$  kadar aşağıya,  $n$  kadar da sola doğru (geriye doğru) kaydırılması düşünülmüştür. Rakordman eğrisinin  $n$  kadar sola kaydırılması, A başlangıç noktasının da  $n$  kadar sola -A" 'ye alınması anlamını taşır ve sakıncalı bir durum yaratmaz. Fakat  $m$  kadar aşağıya kaydırılması yolun doğru kısımlarının da  $m$  kadar kaydırılmasını gerektirir ki bu da uygulanabilir bir çözüm değildir. İstenilenin gerçekleştirilmesi için başka bir çözüm yolu olarak R yarıçapının  $m$  kadar küçültülmesi de düşünülmüştür. Bu durumda R

yarıçapı biraz azalarak  $R_0 = R - m$  değerini almış olur ama demiryollarında  $R$ 'lerin çok büyük,  $m$  değerlerinin ise çok küçük olması bu değişikliğin yapılmasının uygun olduğunu göstermiştir. Şimdi bu düşüncelere uyan bir rakordman eğrisi çizerek, -kurbun yana kayma miktarı da denilen-  $m$  kurb yarıçapının azaltılma miktarını ve aplikasyon için gerekli diğer bazı büyüklükleri, bilinen değerlere bağlı olarak hesaplamaya çalışalım (Şekil 2.12).



Şekil 2.12

A-D rakordman eğrisi olarak  $y_1$  "kübik parabol" ve  $y_2$  "Klein" denklemlerini birlikte gözönüne alalım:

$$y_1 = \frac{x^3}{6 R_0 L}, \quad y_2 = \frac{x^3}{6 R_0 L} - \frac{L}{4 \pi^2 R_0} \left( x - \frac{L}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (27)$$

Bu denklemlerin birinci ve ikinci türevleri;

$$y_1' = \frac{x^2}{2 R_0 L}, \quad y_2' = \frac{1}{R_0} \left[ \frac{x^2}{2 L} - \frac{L}{4 \pi^2} \left( 1 - \cos \frac{2\pi}{L} x \right) \right] \quad (28)$$

$$y_1 = \frac{x}{R_0 L}, \quad y_2 = \frac{1}{R_0} \left( \frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (29)$$

dir.  $y_D$  ve  $y_D'$  degerleri için (27) ve (28) de  $x = L$  yazılarak

$$y_{1D} = \frac{L^2}{6 R_0}, \quad y_{2D} = \frac{L^2}{6 R_0} - \frac{L^2}{4 \pi^2 R_0} = \frac{L^2}{707 R_0} \quad (30)$$

$$y_{1D}' = \operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{L}{2 R_0}, \quad y_{2D}' = \operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{L}{2 R_0} \quad (31)$$

elde edilir. Şekil 2.12 'deki  $D''T'$  degerini bulabilmek için

$$(D''D)^2 = D''T' \cdot [2 \cdot R_0 - D''T']$$

eşitliğindeki  $2 \cdot R_0 \cdot (D''T')$  çarpımının yanında  $(D''T')^2$  'nin ihmal edilmesiyle

$$D''T' = \frac{(D''D)^2}{2 R_0} \quad (32)$$

bulunur.  $D''D$  degeri ise  $\sin \bar{\alpha} = \operatorname{tg} \bar{\alpha}$  kabulüyle

$$\frac{D''D}{R_0} = \sin \bar{\alpha} \Rightarrow \frac{D''D}{R_0} = \operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{L}{2 R_0} \Rightarrow D''D = \frac{L}{2} \quad (33)$$

oldugundan

$$D''T' = \frac{L^2}{8 R_0} \quad (34)$$

olarak bulunur.  $m$  degeri için

$$m = DD' - D''T' = y_D - \frac{L^2}{8 R_0}$$

yazılabilir.  $y_D$  'nin (30) daki değerleriyle

$$m_1 = \frac{L^2}{6 R_0} - \frac{L^2}{8 R_0} = \frac{L^2}{24 R_0}, \quad m_2 = \frac{L^2}{707 R_0} - \frac{L^2}{8 R_0} = \frac{L^2}{60,8 R_0} \quad (35)$$

bulunur.  $m_1$  ve  $m_2$  değerlerinin pratikte karşılaşılabilecek değerleri hakkında bir fikir sahibi olmak için  $L = 300$  m ve  $R = 2000$  m. alınarak

$$m_1 = 1,88 \text{ m.} \quad \text{ve} \quad m_2 = 0,74 \text{ m.}$$

bulunur ki  $R = 2000$  m.'nin yanında bu değerleri ihmal etmekle yanlış bir kabul yapılmadığı anlaşılmış olur. Bulunan değerlere göre uygulama pratikte şöyle yapılır. Doğru ile dairenin birleştiği noktadan itibaren  $L/2$  kadar ileride ve geride noktalar işaretlenir. Gerideki A noktası rakordman eğrisinin başlangıç noktası olur. ilerdeki D' noktasından ise  $y_D$  ordinatı kadar alınarak D bitim noktası bulunur. Aradaki değerler istenilen aralıklara ait apsislerin rakordman eğrilerine ait denklemlerdeki yerlerine yazılarak hesaplanabilir. Daire parçası ise  $m$  kadar kurb merkezi tarafına kolayca kaydırılabilir. Böylece rakordman eğrisi ve daire parçası araziye uygulanmış olur.

Rakordman eğrisi boyunca dış raya verilmesi gerekli deyer miktarları da (25) denkleminde  $t = x$  konarak bulunacak

$$d_{1x} = d \frac{x}{L} \quad \text{ve} \quad d_{2x} = d \left( \frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (36)$$

formülleriyle istenilen  $x$  uzaklıkları için hesaplanabilir.

## 2.10. Rakordman Egrisinde Sınırlamalar

Buraya kadar, merkezkaç kuvvetin istenmeyen yanal etkisini yoketmek veya azaltmak için gerekli deverin nasıl hesaplanacağı, deverin sıfır değerinden  $d$ 'ye kadar lineer veya sinüsoidal değişimlerle tedrici olarak arttırılması hallerinde rakordman egrilerine ait denklemlerin alacağı şekiller ve uygulamada kullanılacak değerlerin hesap tarzları incelenmiştir. Elde edilen değerlerin sınırları olup olmadığı hakkında pek bilgi verilmemiştir. Yalnızca yanal kuvvet yüzdesi -konfor sayısı- için 0,10 max. değerinin aşılması gerektiğinden söz edilmiştir. Konfor sayısındaki bu sınırlamaya benzer şekilde diğer büyüklükler için de bazı sınırlamalara gerek vardır. Mesela  $d$  dever miktarının çok büyük olamayacağını, aksi takdirde demiryolunun luna-parklardaki üstüvaneye -içinde motosikletlerin döndüğü silindirik yüzeylere- dönürebileceğini söylemek mümkündür. Rampa eğimi, rakordman boyu gibi değerlere ait sınırların tesbiti için de buraya kadar hiç değinilmemiş bazı dinamik etkilerden ve bunların rahatsız edici boyutlarından söz etmek gerekir. İzleyen paragraflarda dever, dever rampası eğimi ve rakordman boyu gibi önemli büyüklüklerin sınır değerlerinin nasıl belirleneceği sırasıyla gösterilmektedir.

### 2.10.1. Dever miktarının en büyük değeri

Merkezkaç kuvvetin etkisini azaltmak veya tamamen yoketmek için konfor sayısının aşılmasına dikkat de edilerek

aşağıdaki (3) formülü

$$d = 11,8 \frac{v^2}{R}$$

ile hesaplanan dever miktarı, yüksek hızlı katarların küçük yarıçaplı kurbalardan geçmesi hali için hesaplandığı zaman büyük değerler alır. Bu durumda yol enine eğimi ile birlikte  $\alpha$  açısı da büyümüş olacaktır.

Deverin ve  $\alpha$  açısının büyük olduğu yüksek hızlara göre inşa edilmiş bir kurbadan küçük hızlı katarların geçmesi halinde ise # 2.3. 'de incelenen  $\beta < \alpha$  durumu ortaya çıkar. Bu duruma ait (9) denkleminin  $G$  ile bölünmesiyle elde edilecek

$$\gamma = \frac{d}{e} - \frac{v^2}{g R} \quad (37)$$

ifadesindeki birinci terim  $d$  'nin büyük olması nedeniyle,  $v^2$  'li ikinci terime göre daha büyüktür ve aradaki fark hızın küçük değerlerinde  $\gamma_{\max}$  'ı aşabilir. En uygunsuz durum ise katarların kurbada durması anlamına gelen  $v = 0$  hali olup bu durumda bile konfor sayısının aşılmaması için

$$\gamma = \frac{d}{e} \leq \gamma_{\max} \quad (38)$$

olması gerekir.  $\gamma_{\max} = 0,10$  ve  $e = 1500$  mm. değerlerinin (38) 'de yerine yazılmasıyla deverin alabileceği en büyük değer olarak

$$d_{\max} = \gamma_{\max} \cdot e = 0,10 \cdot 1500 = 150 \text{ mm.}$$

bulunur. Konfor sayısının daha küçük alındığı ülkelerde  $d_{max}$  da küçük değerler alır. Mesela  $V_{max} = 0,06$  için  $d_{max} = 90$  mm. olur. Deverin en büyük değeri olarak böyle küçük sayıların alınması halinde o hatta yapılabilecek  $V_{max}$  'da küçülür. Bu arzu edilmediğinden ve katarların çok yavaş gitmesiyle durması da ancak arızı olarak ortaya çıktığından bu gibi durumlar için konfor sayısından biraz fedakarlık yapılarak  $V_{max} = 0,1$  karşılığı olan  $d_{max} = 150$  mm. değeri deverin alınabilecek en büyük sınır değeri olarak kabul edilmiştir ve yıllardanberi pekçok ülkede uygulanmaktadır.

#### 2.10.2. Dever artışının -rampa eğiminin- en büyük değeri

Deverin rakordman eğrisi boyunca sıfırdan  $d$  değerine kadar lineer veya sinüsoidal değişimi sırasında dever rampası eğiminin belli bir değerden daha büyük olmaması gerekir. Buna sebep, eğimin büyük olması halinde ortaya çıkan dinamik etkilerin rahatsız edici boyutlara ulaşmasını engellemektir.

Tırmanma hızı diye tanımlanan ve katarın  $d$  yükseklik farkını katedebilmesi için gerekli olan  $V_d$  düşey hızı, tırmanma ivmesi denilen ve  $P_d$  ile gösterilen düşey doğrultudaki bir ivmeyle sağlanabilir.  $V_d$  düşey hızının  $d$  yüksekliğine ulaştıktan sonra sıfıra indirilmesi için de yine  $-P_d$  kadar bir ivme gereklidir. Rakordman eğrisi boyunca katarın yol enine eğimine uygun olarak  $\alpha$  açısı kadar  $\alpha'$  açısal hızıyla dönebilmesi için de önce  $\alpha''$  ve sonra  $-\alpha''$

açısal ivmelerine gereksinim vardır. Gerek  $P_d$  ,  $-P_d$  tırmanma ivmeleri gerekse  $\alpha''$  ,  $-\alpha''$  açısal ivmeleri yol tarafından araç hızına bağlı olarak kataraya uygulanacaktır. Bu ivmeler araç hızına olduğu kadar dever rampasının eğimine de bağlıdır. Yüksek hızların gerçekleştirilmesi istendiğine göre yapılacak tek şey rampa eğimini küçük tutmaktır. Uzun yıllar süren tecrübeler sonucu dever rampası eğiminin -bir başka deyişle dever artışının- en büyük değeri için:

$$\text{tg } i \leq \frac{1}{10 V} \quad (39)$$

formülü elde edilmiştir. Burada  $V$  km/sa. cinsinden katar hızını göstermektedir. Rampa eğim sayısı diye tanımlanan ve  $\text{tg } i = 1/m$  eşitliğini sağlayan  $m$  değeri için de (39) 'dan

$$m \geq 10 V \quad (40)$$

eşitsizliğini -sınır şartı olarak- yazmak mümkündür (Evren, 1979).

### 2.10.3. Rakordman boyunun en küçük değeri

Dever miktarı ile rampa eğimi -veya rampa eğim sayısı- bilindiğine göre deverin lineer ve sinüsoidal değişimlerine ait (20) ve (25) denklemlerinde  $d_t = d_x$  ve  $t = x$  yazarak bulunacak olan

$$d_{1x} = d_1 \frac{x}{L_1} \quad \text{ve} \quad d_{2x} = d_2 \left( \frac{x}{L_2} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L_2} x \right) \quad (41)$$

denklemlerinin türevleri alınırsa, rampa eğimlerinin degi-



şimlerini gösteren

$$d_{1x}' = \frac{d}{L_1} \quad \text{ve} \quad d_{2x}' = d_2 \left( \frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_2} \cos \frac{2\pi}{L_2} x \right) \quad (42)$$

denklemleri elde edilir. Burada  $d_{1x}'$  sabittir,  $d_{2x}'$  'nün max. degeri ise  $x = L_2/2$  noktasındadır. Bu degerler  $1/m$  degerini hiçbir zaman aşmamalıdır. Yani

$$\frac{d_1}{L_1} < \frac{1}{m} \quad \text{ve} \quad \frac{2 \cdot d_2}{L_2} < \frac{1}{m} \quad (43)$$

olmalıdır. Bu eşitsizliklerden rakordman boylarının

$$L_1 > d_1 \cdot m \quad L_2 > 2 \cdot d_2 \cdot m \quad (44)$$

şartlarını sağlaması gerektiği veya bir başka ifadeyle

$$L_{1\min} = d_1 \cdot m \quad L_{2\min} = 2 \cdot d_2 \cdot m \quad (45)$$

olması gerektiği ortaya çıkar. Burada  $d_1$  yerine  $d_2$  konularak sinüsoidal rakordman için gerekli  $L_{\min}$  'un lineer rakordmana göre iki kat olduğu kolayca gösterilebilir.

Rakordman eğrisi boyunun rampa eğimine bağlı olarak bu şekilde sınırlandırılmasının yanısıra "sarsma" diye tanımlanan, yanal ivmenin birim zamandaki değişimine eşit olan ivme degerine göre kontrolü da gerekir. Çünkü merkezkaç kuvvetin sebep olduğu yanal ivme, konfor sayısının aşılmasına neden olmasa bile artışının kısa zamanda olması, yine rahatsız edici bir etki olarak ortaya çıkmakta ve hiçbir zaman arzu edilmemektedir.

Yanal ivme  $c$  için (8) formülündeki yanal kuvvetin  $m$  kütlesine bölünmesiyle

$$c = \frac{K}{m} = \frac{K}{G/g} = \frac{v^2}{R} - \frac{d}{e/g} \quad (46)$$

elde edilir. Deverin  $d_x$ , eğrilik yarıçapının  $r_x$  olduğu bir noktada ise

$$c_x = \frac{v^2}{r_x} - \frac{d}{e/g} \quad (47)$$

yazılabilir. Buradaki  $r_x$  yerine (23) 'deki gibi  $r_x = 1/y''$  alınır,  $y''$  ile  $d_x$  değişkenlerinin lineer ve sinüsoidal değişimlerine ait (29) ile (41) denklemlerindeki karşılıkları da yerlerine konulursa ( $R_0 = R$  alınarak)

$$c_{1x} = \frac{v_1^2}{R_1} \frac{x}{L_1} - \frac{d_1}{L_1} \frac{x}{e} g \quad (48)$$

$$c_{2x} = \frac{c_2^2}{2R_2} \left( \frac{x}{L_2} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L_2} x \right) - \frac{d_2}{e/g} \left( \frac{x}{L_2} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L_2} x \right)$$

$$c_{2x} = \left( \frac{v_2^2}{2R_2} - \frac{d_2}{e/g} \right) \left( \frac{x}{L_2} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L_2} x \right) \quad (49)$$

elde edilir. Sarsma ifadelerini bulabilmek için (48) ve (49) nolu denklemlerin zamana göre türevleri aşağıdaki

$$\Omega = \frac{dc}{dt} = \frac{dc}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

eşitlikleri de gözönünde tutularak alınırsa

$$Q_1 = \frac{v_1^3}{R_1 L_1} - \frac{d_1 v_1}{L_1 e} g \quad (50)$$

$$Q_2 = \left( \frac{v_2^3}{R_2} - \frac{d_2 v_2}{e/g} \right) \left( \frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_2} \cos \frac{2\pi x}{L_2} \right) \quad (51)$$

bulunur.  $Q_1$  'in sabit olduğu,  $Q_2$  'nin ise  $L_2/2$  de

$$Q_1(L_2/2) = \frac{2v_2^3}{R_2 L_2} - \frac{2d_2 v_2}{L_2 e} g \quad (52)$$

max. değerini aldığı kolayca görülür. Katarın sarsıntısız, arzu edilen düzeyde konforlu hareket edebilmesi için, gerek  $Q_1$  gerekse  $Q_{2max}$  değerinin  $0,5 \text{ m/sn}^3$  değerini aşmaması gerekmektedir. Bu değerlerin (50) ve (52) de yerine konmasıyla  $L_{1min}$  ve  $L_{2min}$  rakordman boyları için

$$L_{1min} = \frac{2 v_1^3}{R_1} - \frac{2 d_1 v_1}{e} g \quad (53)$$

$$L_{2min} = \frac{4 v_2^3}{R_2} - \frac{4 d_2 v_2}{e} g \quad (54)$$

elde edilir. Yarıçapı ve dever miktarı aynı olan bir kurbta aynı hız değeri için sinüsoidal rakordman eğrisi boyunun lineer rakordmana göre iki kat olduğu (53) ve (54) denklemlerinden de kolayca görülmektedir.

Rakordman boyunun en küçük değerini belirlemek için sarsmaya göre (53) ve (54) denklemleriyle; rampa eğim sayısına göre de (45) denklemleriyle kontroller yapılır ve bunlardan büyük olan değer  $L_{min}$  olarak alınması gerekir.

### 3. GEOMETRİK ŞEKLİN DOZELTİLMESİ

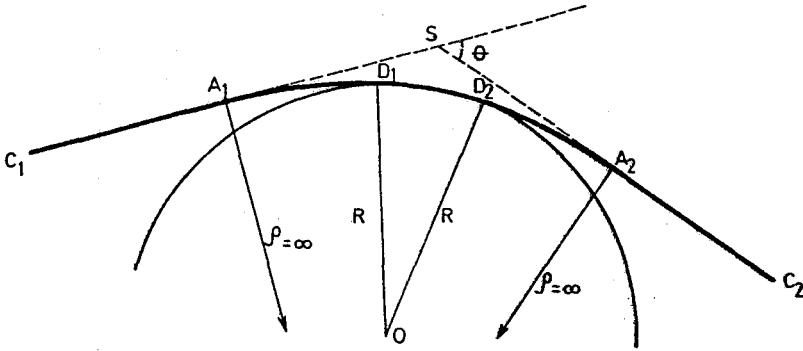
#### 3.1. Geometrik Şeklin Düzeltilme Nedenleri

Doğrular, daire parçaları ve bunları birbirine bağlayan rakordman egrilerinden oluşan bir demiryolu hattı, katarların geçişi sırasında ortaya çıkan çeşitli dinamik etkilerin arzulan sınırlar dahilinde kalmasını sağlayacak şekilde (2. bölümde açıklanan esaslara göre) hesaplanmış ve bilinen aplikasyon yöntemleri kullanılarak araziye uygulanmış olsun. Uygulamada ne kadar hassas davranılırsa davranılsın elde edilen form, yüksek hızlı katarların rahatça geçebilmesini sağlayacak düzgünlükteki ideal formda olamamaktadır. Hattın arzu edilen nitelikte inşa edildiği varsayılsa bile çeşitli doğal olaylarla katarların hat üzerindeki hareketi sırasında ortaya çıkan dinamik kuvvetler yüzünden ilk durum korunamayacak ve zamanla ideal formdan uzaklaşılacaktır. Hattın ideal formdan ayrılması ise dinamik etkilerin daha da büyümesine, bozulmanın giderek hızlanıp hattın kısa zamanda kullanılmaz hale gelmesine neden olacaktır. Dolayısıyla ister ilk yapım sırasında oluşmuş olsun, isterse işletme sırasında ortaya çıkmış olsun, bu bozuklukların düzeltilerek hattın ideal formuna veya ideal form olmasa bile buna en yakın forma getirilmesi gerekmektedir. Özellikle hattın egrilerden oluşan kısımlarında güçlük gösteren bu düzeltme işlemi "sehimler metodu" denilen bir metotla periyodik olarak yapılmakta ve hat ideal formunda tutulmaya çalışılmaktadır.

İzleyen paragraflarda sehimler metodunun dayandığı teorik kurallar ve buna ait uygulamanın pratikte nasıl yapıldığı açıklanmaktadır.

### 3.2. Sehimler Diyagramının Tanımı

Aralarında  $\theta$  açısı bulunan  $SC_1$ ,  $SC_2$  doğruları,  $A_1D_1$  ve  $D_2A_2$  rakordman eğrileri tarafından  $D_1D_2$  daire parçası ile birleştirilmiş olsun (Şekil 3.1).



Şekil 3.1

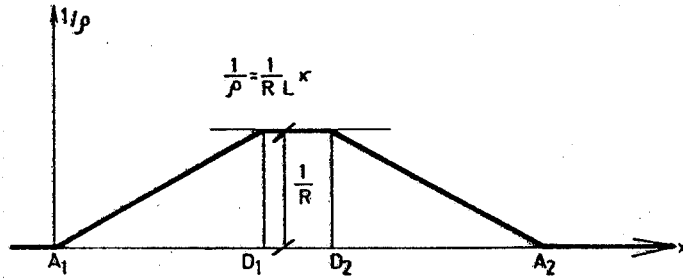
$D_1D_2$  daire parçası boyunca  $R$  eğrilik yarıçapıyla  $1/R$  eğriligi sabittir. Rakordman eğrilerindeyse, eğrilik yarıçapları  $f = \infty$  ile  $f = R$  sınır değerleri arasında değişirken eğrilikler de  $1/f = 0$  ile  $1/f = 1/R$  değerleri arasında, kullanılan rakordman eğrisinin cinsine göre değişirler.

$A_1D_1$  ve  $D_2A_2$  rakordman eğrilerinin kübik parabol olmaları halinde eğriligin değişimine ait denklem,  $1/f = y''$

eşitliğinde  $y''$  yerine (29) 'daki degerinin yazılması sonucu

$$\frac{1}{f} = y'' = \frac{1}{R L} x \quad (55)$$

olarak bulunur. Bu denklem lineer bir değişimi göstermekte olup  $D_1D_2$  arasındaki daire parçasının sabit olan  $1/R$  eğriligi de beraber gözönüne alındığı takdirde  $A_1A_2$  birleşik egrisine ait eğrilikler diyagramı aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi olur (Şekil 3.2).

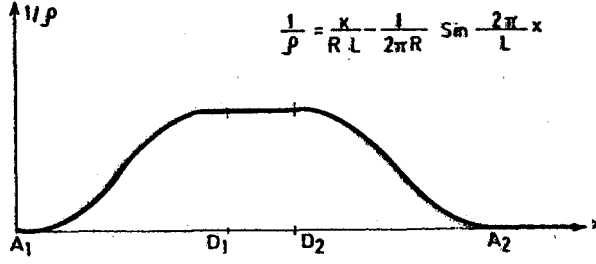


Şekil 3.2

Rakordman eğrilerinin sinüsoidal olmaları halindeyse eğriligin değişimini gösteren formül;

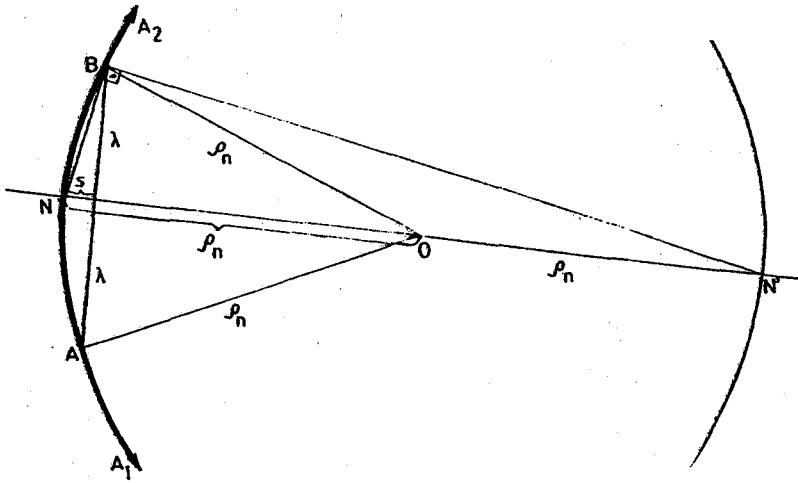
$$\frac{1}{f} = y'' = \frac{x}{R L} - \frac{1}{2 \pi R} \sin \frac{2 \pi}{L} x \quad (56)$$

şeklinde olur ve buna ait eğrilikler diyagramı da şekil 3.3 'de görüldüğü gibidir. Eğrilikler diyagramları bu şekilde belirlendikten sonra bunların sehimler diyagramlarıyla olan ilişkilerini bulabilmek amacıyla  $A_1A_2$  birleşik egrisi üze-



Şekil 3.3

rinde eğri açınım uzunluğuna göre birbirlerine yakın sayılabilecek  $2 \cdot \lambda$  kadar uzaklıkta olmak üzere A ve B noktalarını alalım (Şekil 3.4). AB yayının ortasındaki N noktasına ait  $r_n$  eğrilik yarıçapının AB yayı boyunca değişmediği kabul edilebilir. O zaman A, N, B noktaları aynı dairenin üzerinde oluyorlar demektir. Bu durumda ANB yayı ile AB kirişi arasında oluşan sehim s ile gösterilir ve NO'nun uzantısının  $r_n$  yarıçaplı daireyi kestiği noktaya da N' denecek olursa ortaya çıkan NBN' üçgeninin B açısı dik



Şekil 3.4

olur ve  $\lambda^2 = s.(2 f_n - s)$  yazılabilir. Bu eşitlikteki  $f_n$  yarıçapı 1000 m. , 2000 m. gibi büyük değerler almaktadır, s değeri ise 100 mm.(= 0,1 m.) civarındadır ve  $2.f_n$  değerinin yanında ihmal edilebilir. Böylece  $\lambda^2 = s.2.f_n$  bağıntısı ve buradan da s sehimi için;

$$s = \frac{\lambda^2}{2 f_n} \quad (57)$$

elde edilir. Bu eşitliğe dikkatle bakılacak olursa s 'in  $1/f_n$  eğriligi ile  $\lambda^2/2$  sabit değerinin çarpımından ibaret olduğu kolayca görülebilir ve N noktasının geometrik yerinden ibaret olan sehimler diyagramının, eğrilikler diyagramıyla benzer diyagramlar olduğu anlaşılmış olur. Öyleyse sehimler diyagramının denklemini elde edebilmek için eğrilikler diyagramının  $\lambda^2/2$  sabit değeriyle çarpılması yeterli olacak demektir.

Rakordman eğrilerinin kübik veya sinüsoidal olması hallerinde sehimler diyagramlarına ait denklemlerin bulunabilmesi için (55) ve (56) denklemleriyle verilen eğrilik fonksiyonlarının yukarıdaki düşünceye göre  $\lambda^2/2$  sabitiyle çarpılması sonucu ;

$$s_1 = \frac{\lambda^2}{2 R L} x \quad (58)$$

$$\text{ve } s_2 = \frac{\lambda^2}{2 R L} x - \frac{\lambda^2}{4 \pi R} \text{Sin} \frac{2 \pi}{L} x \quad (59)$$

değerleri elde edilir. Eğriligin değişmediği  $D_1D_2$  daire



parçasından ibaret olan kısımda ise sehimler diyagramı için (57) denkleminde  $r_n = R$  konularak

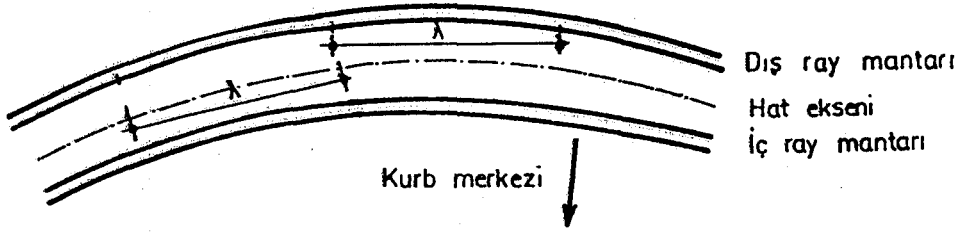
$$s = \frac{\lambda^2}{2R} \quad (60)$$

sabit degeri bulunur. Bu durumda  $A_1A_2$  birleşik egrisine ait sehimler diyagramlarının yeniden çizilmesine gerek olmadığı, şekil 3.2 ile şekil 3.3 'de görülen diyagramların düşey ölçeklerinin  $\lambda^2/2$  kat büyük alınması şartıyla sehimler diyagramlarını da gösterecekleri anlaşılmiş olur.

### 3.3. Arazideki Bir Kurbanın Sehimler Diyagramının

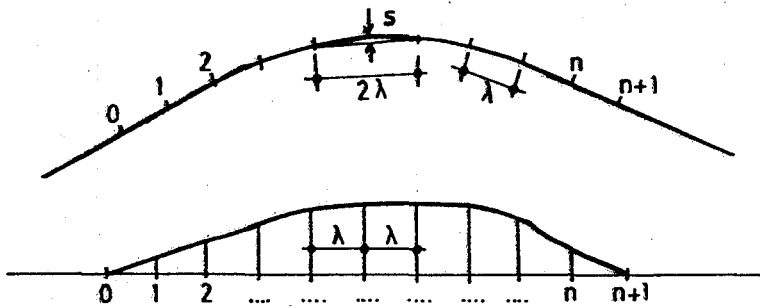
#### Elde Edilmesi

İster ilk yapımdan sonraki rötüş gayesiyle olsun, isterse periyodik bakım gayesiyle olsun, geometrik şekli düzeltilecek olan bir kurbanın -birleşik egrinin- ripaj denilen küçük düzeltme miktarlarının hesaplanabilmesi için kurbanın o andaki durumuyla bu duruma en iyi uyan teorik formlar arasında bir karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma kurbları en iyi karakterize eden özelliklerinden biri olan sehimler diyagramlarının karşılaştırmasıyla yapılmakta olduğundan öncelikle düzeltilecek kurbanın sehimler diyagramının elde edilmesi lazımdır. Bunun için  $A_1A_2$  birleşik egrisini oluşturan raylardan dış taraftakinin -kurb merkezinin aksi tarafında olanının- mantarı üzerine, mantarın hat eksenini tarafındaki kenarına gelecek şekilde  $\lambda$  kadar aralıklarla işaretler konur (Şekil 3.5).



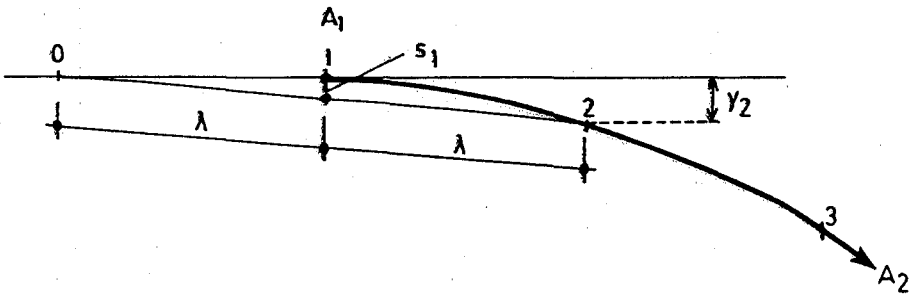
Şekil 3.5

Sehim noktası olarak tanımlanan bu noktaların herbirindeki sehimler, o noktanın komşu olduğu sehim noktaları arasına tel germek suretiyle  $-2\lambda$  uzunluğundaki kirişlere göre ölçülerek belirlenir. Sehimlerin sıfır olduğu baştaki ve sondaki noktalara 0 ve  $n+1$  numaraları verildiği takdirde arada  $n$  tane pratik olarak sehimi ölçülebilmiş nokta kalır ki bunlara ait grafik  $A_1A_2$  birleşik eğrisine ait sehimler diyagramıdır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6

Küçük de olsa ölçülebilmüş değerlere sahip bulunan 1 ve n noktaları  $A_1A_2$  birleşik egrisinin  $A_1$  başlangıç ve  $A_2$  bitim noktaları olarak alınacaklardır. Rakordman egrilerinin kübik parabol veya sinüs egrisini olması durumlarına ait şekil 3.2 ve şekil 3.3 'de görülen teorik sehimler diyagramlarındaki  $A_1$  ve  $A_2$  noktalarında sehimlerin sıfır değerlerini almalarına karşılık burada sıfırdan farklı değerleri olan 1 ve n noktalarının  $A_1$  ve  $A_2$  noktaları olarak alınmalarının sebebi pratikte sehimler diyagramını  $\lambda$  aralıklarla nokta nokta elde ederken  $2\lambda$  uzunluktaki kirişlere ait sehim değerlerinin kullanılması;  $2\lambda$  uzunluktaki kirişlerden 1 ve n noktalarına ait olanlarının ise bu noktalarda sıfırdan farklı birer sehim değerine sahip olmalarındandır. Sıfırdan farklı olan bu sehimlerin varlığını gösterebilmek ve yaklaşık değerlerini belirleyebilmek amacıyla  $A_1A_2$  birleşik egrisinin alinymanla birleştiği  $A_1$  başlangıç noktasının önce bir sehim noktası üzerine rastladığını varsayalım (Şekil 3.7).



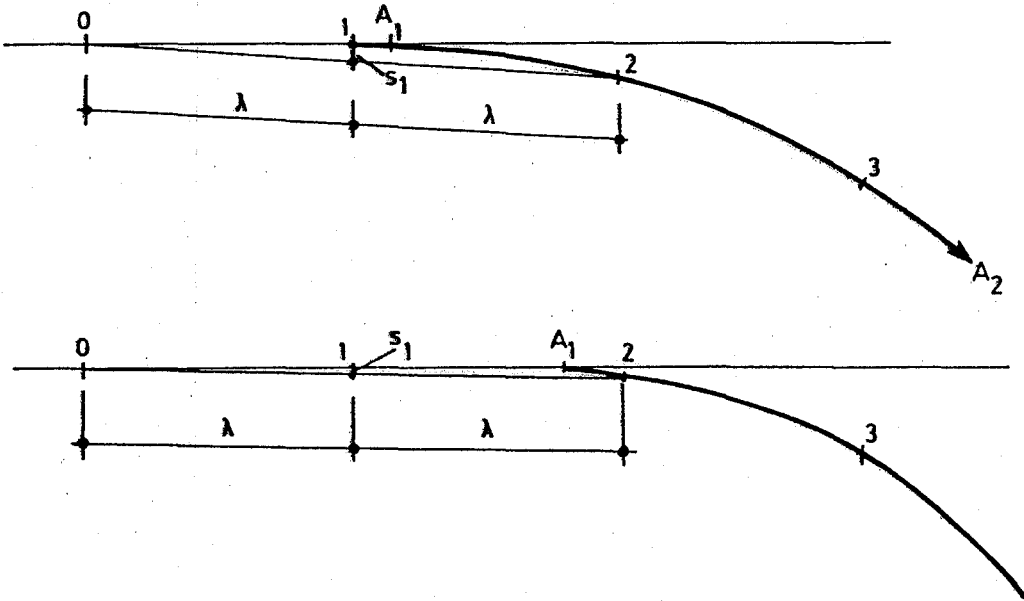
Şekil 3.7

Egrilik yarıçapının sonsuz olmasından dolayı  $A_1$  noktasındaki sehimin sıfır olması gerekirken pratikte belirli bir  $s_1$  değerine sahip olmasının nedeni  $2\lambda$  uzunluğundaki kirişin bir ucunun doğru üzerinde olmasına karşılık diğer ucunun rakordman eğrisi üzerinde olması ve şekil 3.7 'de de görüldüğü üzere bu noktada bir sehimin ölçülmesine neden olmasındandır. Sehimin  $s_1$  değerinin hesabı için 2 noktasındaki  $y_2$  ordinatına tales bağıntısının uygulanmasıyla

$$s_1 = \frac{y_2}{2} \quad (61)$$

elde edilir.

$A_1$  noktasının sehim noktalarından birine rastlamaması halindeyse durum şekil 3.8 'de görüldüğü gibi iki türlü olabilir. Bunlardan birincisinde  $A_1$  noktası 1 'e yakın



Şekil 3.8

ikincisinde ise 2 'ye yakın olup  $A_1$  noktası her iki durumda da 1 ve 2 noktaları arasındadır. Bunların dışında olması mümkün değildir. Çünkü  $A_1$  noktası 2-3 arasında olsa o zaman 0 , 1 , 2 noktaları alinyman üzerinde olurdu ve 1 noktasındaki sehimin sıfır olması gerekirdi.  $A_1$  'in 0-1 arasında olması halindeyse 1 noktası rakordman eğrisi üzerine gelirdi ve 0 noktasında bir sehimin ölçülmesi gerekirdi. Öyleyse her iki durumda da ilk sehim ölçülen noktanın 1 noktası olarak alınması prensibine uymamaktadır ve  $A_1$  ancak 1-2 arasında olabilecek demektir.

$A_1$  'in 1 noktasına yakın olması halinde  $s_1$  değeri,  $A_1$  'in 1 ile çakışmasına karşılık gelen ve (61) formülüyle verilen

$$s_1 = \frac{y}{2} = \frac{\lambda^3}{12 R L} = \frac{20^3}{12 \cdot 2000 \cdot 300} = 0.001 \text{ m.} = 1 \text{ mm.}$$

değerine çok yakındır.  $A_1$  'in 1 'den iyice uzaklaşıp 2 'ye yaklaşması halindeyse  $s_1$  değeri de sıfıra yaklaşır. Kurba yarımçapının büyük, rakordman eğrisinin uzun ve sinüsoidal olması durumlarında bu değerler daha da küçük olacaktır. Hatta  $A_1$  'in 2 'ye çok yakın olduğu durumlarda, bu değerlerin sıfır olarak ölçülmesi bile mümkündür. Bu durumda sehim ölçülebilecek ilk nokta 2 noktası olduğundan 2 noktası 1 noktası olarak yani  $A_1$  noktası olarak alınacak demektir ki  $A_1$  'in 2 'ye yakın olması nedeniyle yapılabilecek en uygun kabul de zaten budur ve burada bu işlemin otomatik olarak yapılmakta olduğu ortaya çıkmaktadır.

$A_1$  'in yani rakordman egrisinin başlangıç noktasının, 1 mm. civarındaki küçük sehim degerlerinin ölçülmesine bağlı olarak, yukarıda açıklandığı şekilde belirlenmesinde yapılacak hatanın kabul edilebilecek düzeyde olduğunu da söylemek mümkündür. Çünkü pratikte yapılan ölçmelerde hata ve yuvarlatma sınırı da zaten 1 mm. mertebesindedir.

### 3.4. Düzeltmeden Önceki ve Sonraki Diyagramlar

#### Arasındaki Bağıntılar

Daire parçaları ile rakordman egrilerinden oluşan bir kurbanın -birleşik egrinin- düzeltmeden önceki ve sonraki durumları arasında bazı geometrik bağıntılar vardır. Bu bağıntılar bilindiği takdirde birleşik egrinin düzeltilmesi için gerekli hesapların kolaylıkla yapılması mümkündür. İzleyen paragraflarada bu bağıntılarının bulunmasına çalışılmaktadır (Bozkurt, 1960).

#### 3.4.1. Birleşik egrinin başlangıç ve bitim noktaları

yer degiştirmez

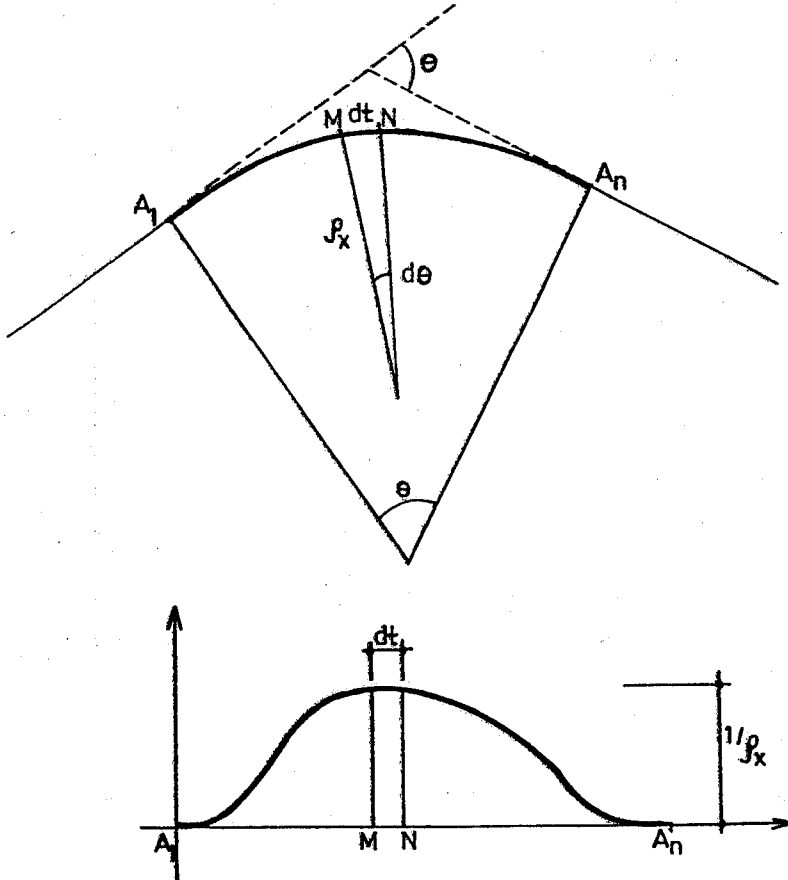
Birleşik egrinin  $A_1$  başlangıç ve  $A_n$  bitim noktaları aynı zamanda birleşik egrinin teget olduğu doğrulara da aittirler. Kurbanların düzeltilmesi sırasında doğruların yer degiştirmesi sözkonusu olmadığına göre  $A_1$  ve  $A_n$  noktaları düzeltmeden sonra da yer degiştirmeyip aynı kalacaklar demektir.

### 3.4.2. Birleşik egrinin açının uzunluğu değişmez

Birleşik egrinin  $A_1$  ,  $A_n$  uç noktalarının değişmediği yukarıda açıklanmıştır. Yer değiştirmeyen bu noktaların arasında kalan rayların düzeltme sırasında uzayıp kısaltmaları da sözkonusu olamayacağına göre birleşik egrinin açının uzunluğu da değişmeyip aynı kalacak demektir.

### 3.4.3. Sehimler diyagramlarının alanları eşittir

$A_1A_n$  birleşik eğrisi üzerinde aralarında  $dl$  uzaklığı bulunan  $M$  ve  $N$  noktalarını gözönüne alalım (Şekil 3.9).  $MN$  arasında değişmediğini kabul edebileceğimiz eğrilik



Sekil 3.9

yarıçapı  $r_x$  olsun. 0 zaman eğrilik miktarı da  $1/r_x$  olacaktır. MN noktalarının  $A_1A_n$  arasındaki değişimine bağlı olarak  $1/r_x$  eğrilik değerleri bir grafik üzerinde gösterilecek olursa şekil 3.9 'daki eğrilikler diyagramı elde edilir. Bu diyagramla x eksenini arasında kalan F alanı için şekilden

$$F = \int_{A_1}^{A_n} \frac{1}{r_x} dt$$

yazılıp, dt yerine  $r_x$  ve  $d\theta$  cinsinden karşılığı olan

$$dt = r_x \cdot d\theta$$

değerinin konulmasıyla

$$F = \int_{A_1}^{A_n} d\theta$$

elde edilir ki, bu integralin  $\theta$  'ya eşit olacağı şekil 3.9 'dan kolayca görülmektedir. Böylece eğrilikler diyagramının alanı

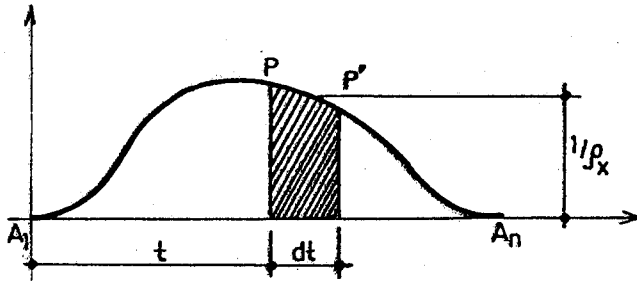
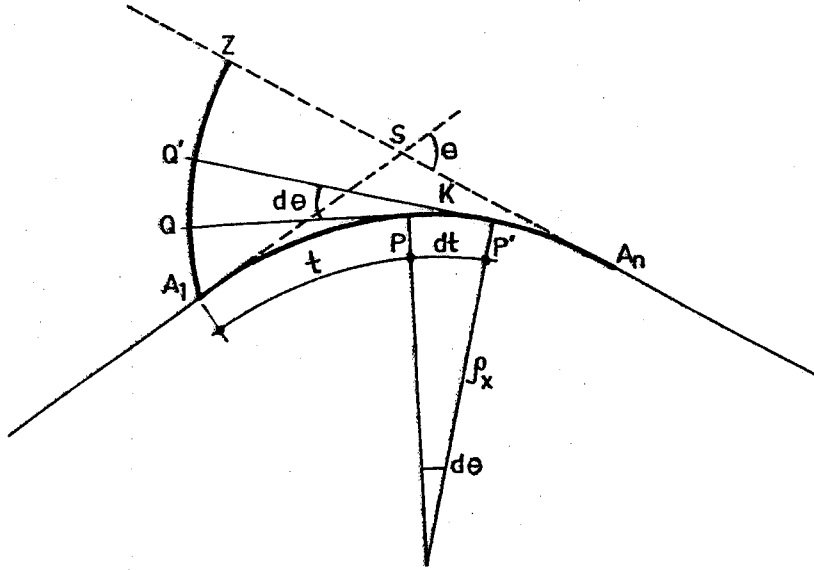
$$F = \theta$$

olarak bulunmuş olur. Birleşik eğrinin teget olduğu doğruların arasındaki açı olan  $\theta$  açısı kurbanın düzeltilmesinden sonra da değişmeyeceğine göre eğrilikler diyagramının alanı da değişmeyecek demektir. Böylece (57) formülüyle verilen ve eğrilikler diyagramının  $\lambda^2/2$  katı olan sehimler diyagramının alanı da değişmeyip sabit kalacak demektir.



3.4.4. Şahimler diyagramlarının teget noktalarına göre momentleri eşittir

$A_1A_n$  birleşik egrisi üzerindeki bir  $P$  noktasının tegeti üzerinde  $PQ = A_1P$  olmak üzere alınan  $Q$  noktasının,  $P$ 'nin  $A_1-A_n$  arasındaki değişimine göre geometrik yeri  $A_1Z$  egrisidir (Şekil 3.10).  $P$ 'ye  $dt$  kadar yakın  $P'$  noktasından



Şekil 3.10

çizilen tegetin  $PQ$  ile yaptığı açı  $d\theta$ ,  $PQ$  ile kesim noktası  $K$  ve  $A_1Z$  egrisiiyle kesim noktası  $Q'$  olsun.  $P$  ile  $P'$

noktaları birbirine çok yakın alındığı için PP' arasındaki eğrilik yarıçapının fazla değişmediği ve ortalama bir değer olarak  $r_x$  değerinin alınabileceğinin kabulüyle (esasen birleşik eğrinin daire parçasından ibaret olan kısmında  $r_x$  zaten sabittir ve  $r_x = R$  'dir.)

$$d\theta = \frac{dt}{r_x}$$

yazılabilir. Diğer yandan  $d\theta$  açısı için

$$d\theta = \frac{QQ'}{KQ} = \frac{QQ'}{PQ + dt/2}$$

yazmak mümkündür.  $d\theta$  açısı için yazılan bu iki değer birbirine eşitlenir ve buradan  $QQ'$  değeri çekilecek olursa

$$\frac{dl}{r_x} = \frac{QQ'}{PQ+dt/2}, \quad QQ' = PQ \frac{dt}{r_x} + \frac{dt^2}{2 r_x}$$

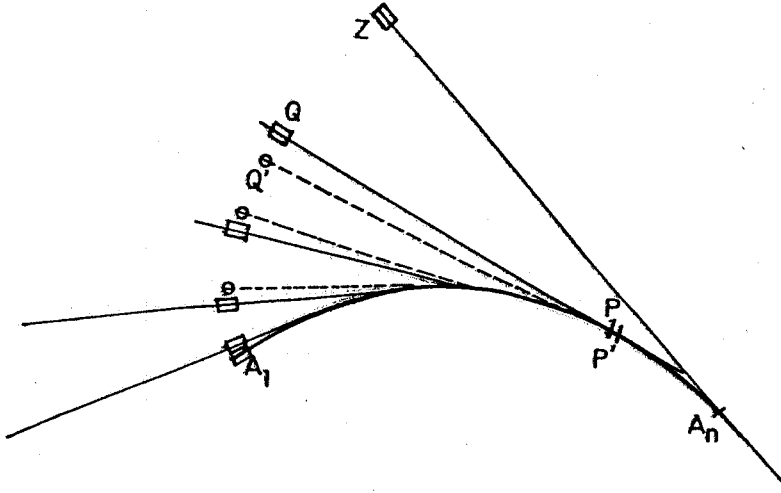
elde edilir. Sağ taraftaki ikinci terim,  $dt$  gibi çok küçük bir değer karesinin,  $2 r_x$  gibi büyük bir değere bölümden ibaret olup ihmal edilebilir ve

$$QQ' = PQ \frac{dt}{r_x} \quad (61)$$

olur. Buradaki  $PQ$  değeri  $A_1P$  'ye yani  $t$  'ye eşittir. İkinci terim olan  $dt/r_x$  terimiye şekil 3.10 'daki eğrilikler diyagramında görülen taralı yamuk alanına eşittir. Zira  $dt$  ve  $1/r_x$  terimlerinden biri yamugun yüksekliği, diğeryise

alt ve üst taban ortalamasıdır. Bu durumda QQ' değerinin, eğrilikler diyagramındaki taralı küçük alanla bu alanın  $A_1$  noktasına olan uzaklığının çarpımından oluştuğu, başka bir deyişle taralı alanın  $A_1$  noktasına göre momentine eşit olduğu ortaya çıkmaktadır. PP' elemanter alanının  $A_1A_n$  arasında değişmesi halindeyse tüm eğrilikler diyagramı alanının  $A_1$  noktasına göre momenti söz konusu olacaktır ve QQ' eğrisi de bu durumda  $A_1Z$  'ye eşit olacağından, tüm eğrilikler diyagramının  $A_1$  noktasına göre momenti  $A_1Z$  eğrisinin uzunluğuna eşit olacak demektir.

$A_1A_n$  birleşik eğrisinin düzeltilmesiyle  $A_1Z$  eğrisinin pek fazla değişmeyeceğini söylemek de mümkündür. Söyle ki:  $A_1$  ve  $A_n$  noktalarının düzeltmeden sonra aynı kaldığı # 3.4.1. de gösterilmişti. # 3.4.2. 'deyse birleşik eğrinin açınım uzunluğunun değişmediği ispatlanmıştı. Bu durumda  $A_1A_n$  'e eşit olan  $A_nZ$  uzunluğu ve dolayısıyla Z noktası da düzeltmeden sonra değişmeyecek demektir. Ayrıca düzeltmeden önceki ve sonraki  $A_1Z$  eğrilerinin oluşum şekilleri gözönüne alınırsa, bu eğrilerin  $A_1$  ve Z noktalarındaki normallerinin kurbun düzeltilmesinden etkilenmeyen  $A_1S$  ile  $A_nS$  doğruları oldukları kolayca görülebilir. Öyleyse düzeltmeden önceki ve sonraki  $A_1Z$  eğrileri,  $A_1$  ve Z noktalarında çakışmaktadırlar. Ara noktadaki farklılıkların mertebesini görebilmek için de yeni bir şekil (Şekil 3.11) çizilecek olursa,  $A_1Z$  eğrileri üzerindeki noktaların bu eğri üzerinde yerdeğiştirmekte oldukları anlaşılır. Düzeltmeden önceki



Şekil 3.11

$P'$  noktası, düzeltmeden sonra kendisine çok yakın olan  $P$  noktasına gelecektir. Bunlara ait  $Q$  ve  $Q'$  noktaları ise birbirinden epeyce açılmış olabilirler ama  $P$  ile  $P'$ 'nin yakınlığı ve  $PQ = P'Q'$  eşitliği nedeniyle  $Q$ ,  $Q'$  noktalarının yer değiştirmesi sadece  $A_1Z$  eğrisi üzerinde olacaktır. Demek ki  $A_1Z$  eğrisine ait  $Q$ ,  $Q'$  ve benzeri ara noktalar  $A_1Z$  eğrisi üzerinde kayacaklardır. Bu durumda  $A_1Z$  eğrisinin şekli ve boyu da değişmeyecek demektir. Böylece  $A_1Z$  eğrisinin uzunluğuna eşit olan eğrilikler diyagramı alanının  $A_1$  noktasına göre momenti de kurbanın düzeltilmesinden sonra aynı kalacak demektir. Haliyle esas ispatlamaya çalışılan, eğrilikler diyagramının  $\lambda^2/2$  katı olan sehimler diyagramı alanının  $A_1$  teğet noktasına göre olan momentinin, düzeltmeden önceki ve sonraki durumlarda hesaplanacak değerlerinde bir değişme olmayacağı da böylece anlaşılmış olur. Benzer şekilde  $A_n$  teğet noktası

için de aynı ispat yapılabileceğinden, sözkonusu değişmeyen moment değerinin  $A_n$  noktasına göre hesaplanabileceği de açıkça görülmektedir.

### 3.4.5. Sehimler diyagramı alanlarının ağırlık merkezlerinin absisleri değişmez

Birleşik egrinin düzeltilmesinden önceki ve sonraki sehimler diyagramı alanlarının değişmediği # 3.4.3. 'te, bu alanların teget noktalarına göre alınan momentlerinin sabit kaldığı da # 3.4.4. 'de gösterilmiştir. Ağırlık merkezinin absisi ise değişmeyen bu değerlerin birbirine bölümünden oluşmaktadır. Öyleyse ağırlık merkezinin absisine ait

$$x = \frac{M}{F} \quad (62)$$

değeri de değişmeyip aynı kalacak demektir.

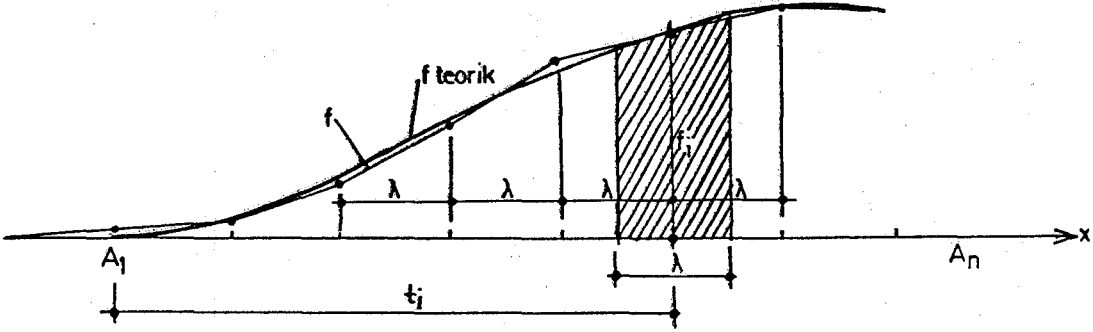
### 3.4.6. Ölçülen sehimlerin toplamı uygulanan sehimlerin toplamına eşittir

Düzeltililecek birleşik egrinin arazide yapılan ölçmeler sonucu elde edilen ve  $\lambda$  aralıklarla alındığı için kırık çizgiler şeklinde olan  $f$  sehimler diyagramıyla, sürekli bir eğri şeklindeki teorik sehimler diyagramlarının birbirlerine çok yakın olmaları, hatta büyük bir bölümünde çakışmaları nedeniyle,  $\lambda$  genişliğindeki bir diliminin

şekil 3.12 'de görülmekte olan taralı dF alanı için büyük bir yaklaşıklıkla

$$dF = \lambda \cdot f_i \quad (63)$$

yazmak mümkündür. Teorik sehimler diyagramının tüm alanı



Şekil 3.12

F ile gösterilir ve (63) eşliği A<sub>1</sub> noktasından A<sub>n</sub> noktasına kadar uygulanırsa

$$F = \int_{A_1}^{A_n} dF \cdot dx = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot f_i = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n f_i$$

$$F = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n f_i \quad (64)$$

elde edilir ki bunun anlamı teorik sehimler diyagramı alanının, ölçmelerden elde edilen sehimler toplamıyla, λ değerinin çarpımına eşit olduğudur. Benzer şekilde, düzeltme yapılırken birleşik eğriye uygulanmış bulunan s sehimler toplamının λ ile çarpılmasından elde edilecek değerin F'

teorik sehimler diyagramı alanına eşit olacağı gösterilebilir. Başka bir deyişle;

$$F' = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n s_i \quad (65)$$

yazılabilir. (64) ve (65) formüllerindeki F ve F' değerleri teorik sehimler diyagramlarının düzeltmeden önceki ve sonraki değerleri olup # 3.4.3.'e göre birbirlerine eşittirler. Buna göre;

$$\lambda \cdot \sum_{i=1}^n f_i = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n s_i$$

yazılabilir ve sadeleştirme yapılarak

$$\sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n s_i \quad (66)$$

bulunur. Böylece arazide ölçülen f sehimlerine ait toplamın düzeltmeden sonraki uygulanmış s sehimlerinin toplamına eşit olacağı gösterilmiş olur.

### 3.4.7. Ölçülen sehimlerin momentlerinin toplamı uygulanan sehimlerin momentlerinin toplamına eşittir

Sekil 3.12 'deki taralı alanın  $A_1$  teget noktasına göre alınan momentini dM ile gösterirsek, bu deger büyük bir yaklaşıklıkla  $t_i \cdot dF$  'e eşittir ve

$$dM = t_i \cdot dF = t_i \cdot l \cdot f_i$$

yazılabilir. Bu eşitliğin  $A_1$  'den  $A_n$  'e kadar uygulanması sonucu (64) bağıntısına benzer şekilde

$$M = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot f_i \quad (67)$$

bağıntısı elde edilir. Düzeltmeden sonraki durum için de (65) 'e benzeyen

$$M' = \lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot s_i \quad (68)$$

bağıntısı yazılabilir. 3.4.4. 'e göre M ve M' değerlerinin eşit olması gerektiğinden (67) ve (68) den (66) denklemine benzeyen

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^n t_i \cdot s_i \quad (69)$$

bağıntısı elde edilir ki bu da iddiamızı ispatlayan bağıntıdır.

### 3.5. Geometrik Seklin Düzeltilmesini Kolaylaştıran

#### İşlemler

Sehimler diyagramından faydalanılarak bir kurbun düzeltilmesi için gerekli hesaplar yapılırken, düzeltilecek kurbun uzunluğuna ve dolayısıyla sehim noktası sayısına bağlı olarak, yapılacak işlem sayısı ve işlemler sırasında ortaya çıkan rakamların mertebeleri de büyümektedir. Ayrıca arazide yapılan ölçmelerle elde edilen sehimler diyagra-



mının başlangıç ve bitim noktalarının belirlenmesindeki küçük hatalar da yine uzun kurblarda ripaj miktarlarının büyümesine ve kurbun düzeltilmesinin güçleşmesine neden olabilmektedirler.

Arzu edilmeyen bu durumdan kurtulmak için kurbun düzeltilmeden önceki ve sonraki sehimler diyagramları arasında bulunan ve yukarıda maddeler halinde açıklanmış bulunan bağıntıların uygulanması sırasında hesapları kolaylaştırabilecek bazı işlemler yapılabileceğinin bilinmesinde ve gerektiğinde bunların uygulanmasında fayda vardır.

Aşağıda açıklanan bu işlemler yardımıyla, bilgisayarla yapılmasına rağmen çok uzun zaman alan hesapların daha kısa zamanda yapılması ve ayrıca çözümü zor gibi görünenlerin de kolay bir çözüme kavuşturulmaları sağlanmış olur.

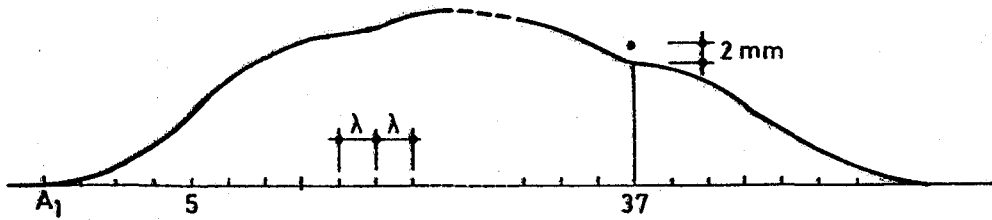
### 3.5.1. Sehimler diyagramının bölgelere ayrılması

Birleşik egrinin herhangi bir yerinde herhangi bir nedenle oluşacak şekil değiştirmelerden dolayı bu noktanın yakınlarındaki noktalarda da bazı yerdeğiştirmelerin olacağı düşüncesi akla gelmektedir ve zaten olmaktadır da. Fakat sözkonusu noktadan uzaklaştıkça atrik böyle bir ihtimal düşünülemez.

Momentler toplamının kurbun düzeltilmesinden sonra da aynı kalacağını ifade eden # 3.4.7. 'deki (69) nolu

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^n t_i \cdot s_i$$

formülü de bu fikri destekler. Örneğin, şekil 3.13 'deki A<sub>1</sub> noktasına göre alınan moment, 37 noktasındaki sehimin her-



Şekil 3.13

hangi bir amaç nedeniyle 2 mm. artırılması halinde

$$2 \cdot (37-1) \cdot \lambda = 72 \cdot \lambda$$

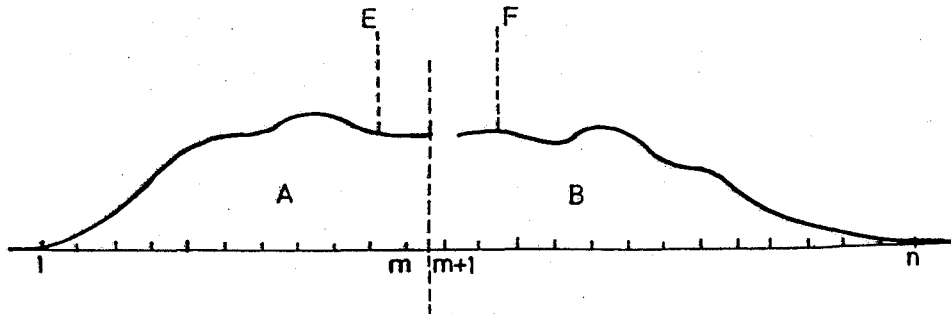
kadar artacaktır. Bu mertebedeki bir azalma ise, yine 37 noktasına yakın noktalardaki sehim değişiklikleriyle oluşturulabilir. 37 'den epeyce uzak olan 5 noktasındaki ripajla momentin 72.λ kadar azaltılabilmesi için bu noktada

$$72 \cdot \lambda = (5-1) \cdot \lambda \cdot df$$

$$df = 18 \text{ mm.}$$

lik bir sehim azalmasının (ripaj değil) olması gerekir ki bu mertebede bir değişiklik pratikte söz konusu değildir ve 72 . λ değerindeki momentin dengelenebilmesi için moment

kolunun uzun olması gerektiği, yani yapılacak değişikliğin 37 noktasına yakın olması gerektiği ortaya çıkmış olur. Böylece bir noktadaki yerdeğiştirmenin yakın civarına etkideği ve kendisinden uzaklara etkimedığı anlaşılmış olur. Buna göre boyu uzun olan kurbalarda sehimler diyagramının uygun forma getirilmesi sırasında diyagramın tümü için momenti sabit tutmaya çalışırken diyagramı uygun bölgelere ayırıp bu bölgelere ait momentleri ve sehimler toplamlarını sabit tutmaya çalışmakta ve böylece daha küçük ve daha az sayıdaki rakamlarla uğraşıp çözüme daha çabuk ulaşmakta yarar vardır. Ancak pratik olarak mantıklı ve uygun olan bu şekildeki bölgelere ayırma işleminin matematik uygunluğunu da göstermek gerekir. Bunun için, sehimler diyagramını  $1$ 'den  $m$ 'e ve  $m+1$ 'den  $n$ 'e kadar olmak üzere A ve B gibi iki bölgeye ayıralım (Şekil 3.14). Daha sonra sehimler toplamının sabit kalma şartı olan (66) ve momentler toplamının sabit kalma şartı olan (69) denklemlerini bu bölgelere ayrı ayrı uygulayalım.



Şekil 3.14

$$\sum_{i=1}^m f_i = \sum_{i=1}^m s_i, \quad \sum_{i=m+1}^n f_i = \sum_{i=m+1}^n s_i \quad (70)$$

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot s_i, \quad \sum_{i=m+1}^n \lambda_i \cdot f_i = \sum_{i=m+1}^n \lambda_i \cdot s_i \quad (71)$$

olur. Buradaki (70) denklemlerinin taraf tarafa toplanmasıyla;

$$\sum_{i=1}^m f_i + \sum_{i=m+1}^n f_i = \sum_{i=1}^m s_i + \sum_{i=m+1}^n s_i$$

ve buradan da ;

$$\sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n s_i$$

elde edilir ki bu sonuç (66) şartının tüm diyagrama uygulanması halinde yazılabilecek eşitliğin aynıdır. Benzer şekilde (71) denklemlerinin taraf tarafa toplanmasıyla da;

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot s_i$$

momentler toplamının sabit kalma kuralının tüm diyagrama uygulanmasına karşılık olan (69) denklemi ortaya çıkar. Bu sonuçlara göre bir kurbun düzeltilmesi için gerekli hesapları yaparken, sehimler diyagramını bölgelere ayırmanın matematik uygunluğu da gösterilmiş olmaktadır.

Uzun kurblara uygulanmasında yarar olan bu işlem, ancak ayırım yerinin uygun seçilmesi halinde, bir başka de-

yişle sehimler diyagramında şekil 3.14 'de görüldüğü üzere pek fazla bozulmamış, düzgün E-F gibi bir bölgesinin bulunması halinde olumlu sonuç verir. Bu hususa çok dikkat edilmeli ve sehimler diyagramında sürekliliği bozacak kırık noktalar, basamaklar oluşturulmaması gerektiği hatırdan çıkarılmamalıdır.

### **3.5.2. Sehimler diyagramı uç noktalarının kaydırılarak gerçek uç noktalarının bulunması**

Düzeltilmesi gerekli bir birleşik egrinin düzeltilmeden evvelki başlangıç ve bitim noktaları, bir başka deyişle uç noktaları, daha önce # 3.4.1. 'de açıklandığı üzere kurbanın düzeltilmesinden sonra da aynı kalacak, yani değişmeyeceklerdir. Şimdi bu kurala ters gibi görünen ve bu yüzden bu kuralı çığneyeceği sanılabilecek, fakat tam aksine bu kuralın sağlanmasını gerçekleştirmek amacıyla yapılabilecek bir işlemin açıklanmasına çalışılacaktır. Bu işlem sehimler diyagramının başlangıç ve bitim noktalarının bir miktar ileri-geri kaydırılması işlemi olup uygulamada büyük kolaylıklar sağlayacak, hatta bazen küçük ripajlarla düzeltilmesi imkansız gibi görünen kurbların kolayca düzeltilmesini bile mümkün kılacaktır.

Sehimler diyagramı # 3.3 'de açıklandığı üzere arazi-  
de  $\lambda$  aralıklarla yapılan ölçmeler sonucu nokta nokta elde edilmekte ve kırık çizgilerden oluşan bir poligon görünümünde ortaya çıkmakta idi. Bu diyagramdaki sıfırdan

farklı değeri olan ilk sehim noktasının, birleşik egrinin başlangıç noktası olarak alındığı ve bu nedenle yapılmakta olan hatanın da kabul edilebilir bir düzeyde olduğu yine aynı paragrafta açıklanmıştı. Küçük olmasından dolayı kabul edilebilen bu hata nedeniyle kurbun başlangıç noktasının belirlenmesinde 0 ile  $\lambda/2$  değerleri arasında değişen bir hatanın olması ihtimal dahilindedir. Ayrıca ilk sehimlerin çok küçük mertebelerde olması nedeniyle bunların yanlışlıkla sıfır olarak ölçülmeleri de sözkonusu olup bu durumda kurbun başlangıç noktası, normalde  $\lambda/2$  değerinde olabilen hataya  $\lambda$  kadarlık bir değerin daha eklenmesiyle

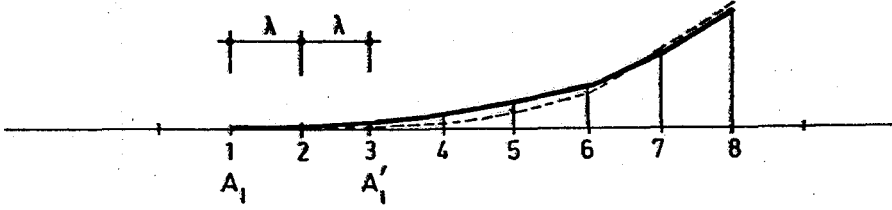
$$\Delta x = \lambda/2 + \lambda = 1,5.\lambda$$

kadarlık önemli sayılabilecek bir farkla boyuna istikamette ötelenmiş olarak belirlenecek demektir.

Sinüsoidal dever rampası uygulanan kurblarda ise özellikle başlangıçtaki sehimlerin çok daha küçük değerler alması, bu tip kurbların başlangıç noktalarının yanlış belirlenme ihtimalini ve mertebesini daha da arttırmaktadır. Ölçmelerde dıyarlı davranılıp hatanın azaltılmasına gayret edilmesi halinde bile hatanın tamamen ortadan kaldırılacağıni söylemek mümkün değildir.

Ayrıca kurbun başlangıcından hemen sonraki çok küçük sehim değerleri ölçülmekte olan bölümü, çeşitli nedenlerle kurb dışına doğru küçük deplasmanlar yaparak yolun doğru kısmının uzantısı üzerine gelmiş ve yolun doğru kısmının devamı görünümünü almış da olabilir. (Şekil 3.15 'deki

2 ve 3 noktaları).



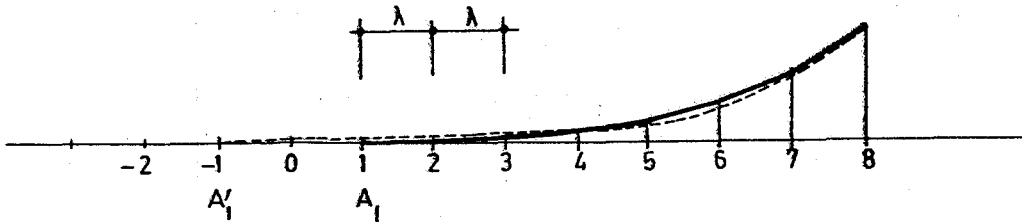
Şekil 3.15

Bu durumda sehim ölçülecek ilk nokta  $\lambda$ ,  $2.\lambda$  hatta  $3.\lambda$  kadar ileriye kurbun içine doğru kayacak ve kurbun  $A_1'$  başlangıç noktasının belirlenmesindeki hata miktarı da

$$\Delta x = \lambda/2 + 3.\lambda = 3,5.\lambda$$

değerine kadar yükselebilecektir.

Kurb başlangıcına bitişik olan yolun doğru kısmı üzerindeki sehim noktaları da (Şekil 3.16 'daki 0, -1 noktaları)



Şekil 3.16

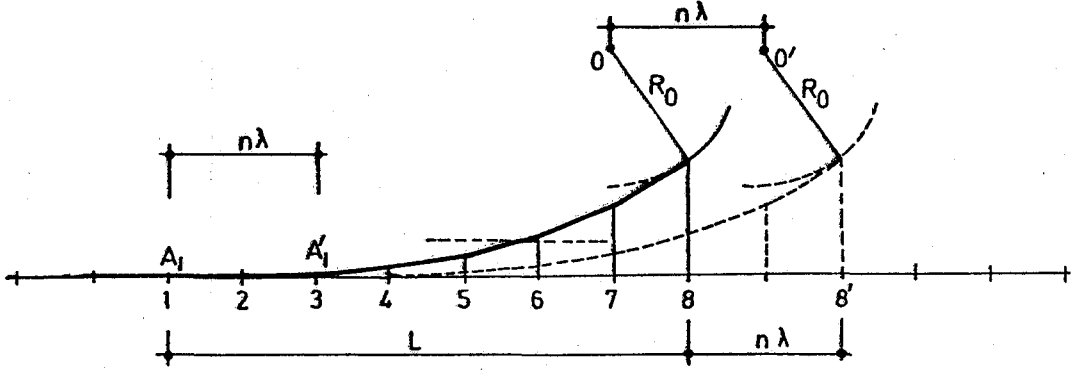
ları) yine çeşitli nedenlerle küçük deplasmanlar yaparak buralarda sehimlerin ölçülmesine ve yolun bu bölümünün kurb görünümü almasına neden olabilirler. Bu durumda da kurbun başlangıcı yine  $3,5.\lambda$  'lik bir hatayla fakat bu defa ters yönde yani geriye, alinymana doğru kaymış olarak belirlenecek demektir.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan anlaşılacağı üzere bir kurbun başlangıç noktası, o kurbun deformasyon şekline ve arazideki ölçmelerin presizyonuna bağlı olarak  $\pm 3,5.\lambda$  mertebesine varabilen hata miktarlarıyla yanlış bir şekilde belirlenebilecek demektir. Bu durumdaki kurbaların düzeltilmesi sırasında büyük güçlüklerle karşılaşılacağını tahmin etmek ise zor değildir.

Teorik formunu büyük bir bölümünde kaybetmemiş, sadece başlangıç noktası civarında hafifçe deformasyona uğramış bir kurb gözönüne alalım. Bu kurbun düzeltilmesi için başlangıç noktası civarındaki sehim noktalarına sözkonusu deformasyonları giderecek yende küçük deplasmanlar (ripajlar) yaptırılmasının yeterli olacağı açıktır. Dolayısıyla bu kurbun kolaylıkla düzeltilmesi gerekir. Ancak kurbun başlangıç noktası, bu civarda olduğu varsayılan küçük deformasyonlar nedeniyle  $A_1$  yerine  $n.\lambda$  kadar ilerideki  $A_1'$  noktası olarak belirlenecek olursa (şekil 3.17), bu noktanın aynı zamanda kurbun bu kesiminde bulunan rakordman eğrisinin de başlangıç noktası olması nedeniyle rakordman eğrisinin başlangıç noktası da  $n.\lambda$  kadar ötelenmiş olarak belirlenmiş demektir.



Rakordman egrisinin bu yeni başlangıç noktasına göre düzeltilmesi iki değişik şekilde yapılabilir.



Şekil 3.17

Bunlardan birincisi rakordman egrisinin  $R_0$  ve  $L$  parametrelerinin hiç değiştirilmeden uygulanmasıdır. Bu durumda rakordman egrisinin 8 bitim noktası  $n\lambda$  kadar ileriye 8' noktasına ve bununla birlikte kurbun daire kısmı da yine  $n\lambda$  kadar ileriye kayacaktır ki bu da kurbun tümünün yerdeğiştirmesi anlamına gelir. Tabii kurbun bu kadar büyük bir değişikliğe uğratılması -hem de hiç gerek yok iken- gayet anlamsızdır. Dolayısıyla bu düşünce pratikte uygulanabilecek bir çözüm yolu olamaz.

$R_0$  ve  $L$  parametrelerinin değiştirilmesiyle gerçekleştirilmeye çalışılacak ve pratikte uygulanabilecek ikinci çözüm tarzı içinse öncelikle kurbun daire parçasından oluşan bölümünün, özellikle 0 merkezinin yerdeğiştirmemesi-

ni düşünmek gerekmektedir.  $R_0$  yarıçapının birkaç cm. değiştirilmesi bazen yarar sağlayabilir ve bu işlem zaten pratikte de mümkündür. Ancak bu durumda kurbun daire kısmına ait yarıçapının değiştirilmesi gerekecektir. Halbuki deformasyonun sadece başlangıç noktası civarında olduğu, daire parçasından oluşan kısımda herhangi bir değişiklik olmadığı varsayılmıştı. Öyleyse  $R_0$  'ın değiştirilmesi başlangıçtaki varsayıma aykırıdır ve parametrelerin değiştirilmesini öngören bu düzeltme tarzında değiştirilecek tek parametre olarak geriye sadece, denklemleri

$$y = \frac{x^3}{6 R_0 L} \quad \text{veya}$$

$$y = \frac{x^3}{6 R_0 L} - \frac{L}{4 \pi^2 R_0} \left( x - \frac{L}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{L} x \right)$$

şeklinde olabilen rakordman eğrilerinin  $L$  boyları kalmaktadır. Bu arada bir rakordman eğrisinin alinymanla  $R_0$  yarıçaplı daire arasına yerleştirilmesi sırasında yarısının doğru, yarısının daire üzerine rastladığı hatırlanacak olursa (# 2.9. formül 33)  $L$  boyu değiştirilerek düzeltilecek olan rakordman eğrisinin doğru tarafındaki ucunun  $n.\lambda$  kadar yerdeğiştirmesi halinde diğer ucunun da  $n.\lambda$  kadar, ancak ters yönde yerdeğiştireceği ortaya çıkmaktadır. Buna göre şekil 3.17 'deki başlangıç noktası  $n.\lambda$  kadar kurb içine doğru kaymış, dolayısıyla boyu  $n.\lambda$  kadar kısalmış bulunan rakordman eğrisinin düzeltilebilmesi için diğer taraftaki yarısının da  $n.\lambda$  kadar kısaltılması, yani boyu-

nun toplam olarak  $2.n.\lambda$  kadar azaltılması gerekecektir.

Başlangıç noktasının şekil 3.17 'deki aksine  $n.\lambda$  kadar ters tarafa kaymış olarak belirlenmesi halindeyse L boyu  $2.n.\lambda$  kadar uzayacaktır.

Rakordman eğrisinin L boyunun  $\pm 2.n.\lambda$  kadar değiştirilmesiyle uygulanabilecek bu yöntem, L boyunun kısalmasıyla artan dever rampası eğiminin sınır değeri aşması hali dışında kalan diğer durumlara uygulandığında sonuca ulaşırsa da boyları epeyce farklı iki rakordman eğrisinin birbirine dönüştürülmesi anlamına gelmesi ve bunun için de tüm rakordman eğrisi boyunca ripaj yapılmasını gerektirmesi nedeniyle iş hacminin artmasına neden olacağından pratikte kullanılabilecek uygun bir çözüm olarak görülmemektedir.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan çıkan sonuç, daire parçasından oluşan bölümü bozulmamış, sadece başlangıç noktası civarında küçük deformasyonlara uğramış ve sırf bu nedenle başlangıç noktası yanlış belirlenmiş bir kurbun kolay kolay düzeltilemeyeceğidir.

Bir de hiç bozulmamış, teorik formunu tamamen muhafaza eden ve hiçbir düzeltmeye ihtiyacı olmayan bir kurb gözönüne alalım. Ancak bu kurbun da arazideki ölçümlere göre sehimler diyagramı elde edilirken ölçme hataları nedeniyle yine başlangıç noktası yanlış belirlenmiş olsun. Bir önceki kurbun düzeltilmesi amacıyla yapılması tasarlanmış bulunan işlemlerin bu kurb için de aynen düşünül-

mesi mümkündür ve tabii varılacak sonuç da yine "kolay kolay düzeltilemez" veya "düzeltirse bile epeyce işçi-saat harcamak pahasına düzeltilebilir" şeklinde olacaktır.

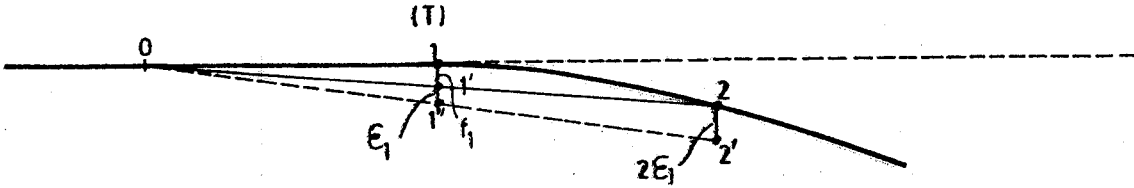
Birkaç noktada yapılacak küçük ripajlarla düzeltilmesi mümkün olan veya düzeltilmesi için hiçbir işlem gerektirmeyen, çok az bozulmuş veya hiç bozulmamış kurbaların yukarıda açıklandığı üzere "düzeltilemez" veya "çok zor düzeltilebilir" kurbalar şeklinde görülür olmalarının nedeni, başlangıç noktalarının yanlış olarak belirlenmeleri ve yanlış olarak belirlenmiş olan bu noktalara başlangıç noktaları oldukları için "değişmeyen noktalar" gözüyle bakılıp değiştirilememeleri veya değiştirilmesine girişilmemesi ve böylece yanlışlığın yanlışlık olarak kalmasıdır.

Başlangıç noktaları # 3.4.1. 'e göre değişmezler ama bunlar gerçek başlangıç noktalarıdır. Yanlış belirlenmiş noktalar ise gerçek noktalar değildirler. Fakat bunların gerçek noktalar olup olmadıkları düşünülmeden hareket edilirse yukarıda açıklanan yanlışlıkların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Öyleyse yapılması gereken şey başlangıç noktalarının gerçek başlangıç noktaları olup olmadıkları bilinmiyorsa bu noktaların araştırma yapılarak bulunması, ondan sonra kurbun düzeltilmesine girişilmesidir. Kesin olarak bilinen başlangıç noktaları için ise araştırmaya gerek olmadan kurbun düzeltilmesine geçilebilir. Başlangıç noktaları bilindiği için araştırma gerektirmeyen ve kolaylıkla düzeltilmesi mümkün olan kurbalarda, bu durumun

sürekliliği için, başlangıç noktaları araştırma sonucu bulunmuş kurblardaysa tekrar bir araştırma yapılmasına meydan verilmemesi için, bilinen veya bulunan gerçek başlangıç noktalarının kaybolmayacak şekilde röperlenmesinin gerektiği önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3.6. Ripajların Hesabı

Yolun doğru kısmı üzerinde bulunan ve bu nedenle yer değiştirmede düşünülen 0 ve 1 noktaları (0 ve T noktaları) sabit olduğuna göre 1 noktasında ölçülmüş bulunan  $f_1$  sehiminin (Şekil 3.18)



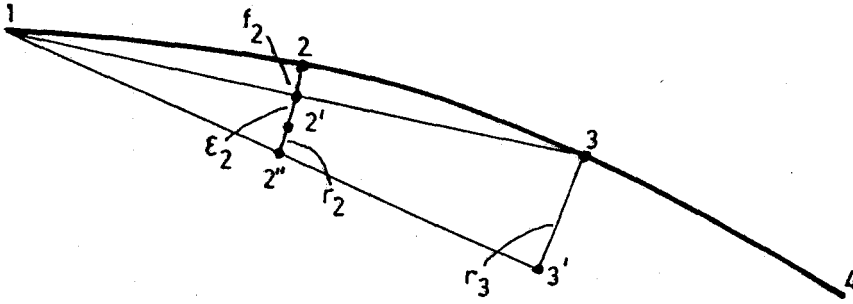
Şekil 3.18

hesaplanan  $s_1$  sehimi değerine dönüştürülmesi için gerekli  $\epsilon_1 = (s_1 - f_1)$  sehimi farkı ancak 2 noktasının 2' noktasına  $2\epsilon_1$  kadar kaydırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Zira Şekil 3.18 'de görüldüğü üzere 0-2-2' üçgenindeki 1-1' ve 2-2' doğru parçaları, (1 ve 2 noktalarındaki eğrilik yarıçaplarının 0-1 ve 1-2 uzaklıklarına göre çok büyük olmaları nedeniyle) birbirlerine paralel alınabileceklerinden ve 0-1

uzaklığının 1-2 'ye eşit olmasından dolayı  $1'1'' = \epsilon_1$  mesafesi Thales bağıntısına göre 2 2' uzaklığının, diğer bir ifadeyle 2 noktasına ait  $r_2$  ripajının yarısı

$$\epsilon_1 = r_2/2 \quad ==> \quad r_2 = 2 \epsilon_1 \quad (72)$$

kadar olacak demektir. Tabii bu durumda 2 noktasında oluşturulması gereken  $\epsilon_2$  sehimi farkı  $r_2$  ripajının da fazladan eklenmesi nedeniyle  $\epsilon_2 + r_2$  değerine yükselmiş olacaktır. Bu farkın önceki noktaların oynatılmadan sağlanması da ancak 3 noktasının  $r_3$  ripajıyla mümkün olabilir. (Şekil 3.19)



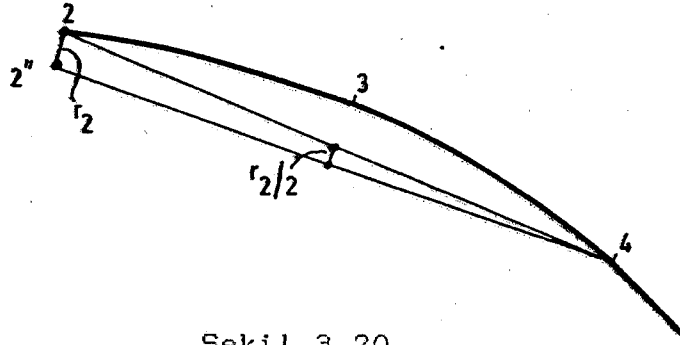
Şekil 3.19

$r_3$  değerinin,  $\epsilon_2 + r_2$  değerinin 2 katı kadar olması gerektiği de şekil 3.19 'dan (daha önce 2 noktasındaki benzer olarak) kolayca görülmektedir. Dolayısıyla

$$\epsilon_2 + r_2 = r_3 / 2$$

$$r_3 = 2 (\epsilon_2 + r_2) = 2 (\epsilon_2 + 2 \epsilon_3) \quad (73)$$

olacaktır. 3 noktasının 3' ye  $r_3$  kadar kaydırılması sonucu 3 noktasında olması gereken  $s_3$  sehim de artık  $\epsilon_3$  sehimi farkı yerine  $\epsilon_3 + r_3$  sehimi farkının oluşturulmasıyla



Şekil 3.20

sağlanacak demektir. Ancak, daha önceki noktaların hesabından farklı olarak burada 2 noktasının yer değiştirmiş olmasının da gözönüne alınması gerekmektedir (Şekil 3.20). 2 noktası 2'' ye geldiği için 3 noktasının sehimi zaten şekil 3.20 den görüldüğü gibi  $r_2/2$  kadar değişmiştir. Öyleyse 3 noktasında oluşturulması gereken sehim farkı artık  $\epsilon_3 + r_3$  değil,  $\epsilon_3 + r_3 - r_2/2$  olmuştur. 3 noktasındaki bu değer sağlanması için ise 4 noktasında bu değer 2 katı kadar ripaj yapılması gereklidir. Bu durumda  $r_4$  değeri

$$r_4 = 2(\epsilon_3 + r_3 - r_2/2) = 2(\epsilon_3 + 2\epsilon_2 + 4\epsilon_1 - 2\epsilon_1/2)$$

olacak demektir. Bu denklemde  $r_3$  ve  $r_2$  değerleri yerine yazılacak olursa

$$r_4 = 2(\epsilon_3 + 2\epsilon_2 + 4\epsilon_1 - 2\epsilon_1/2) = 2(\epsilon_3 + 2\epsilon_2 + 3\epsilon_1)$$

bulunur. 4 noktası için de benzer şekilde düşünülerek 4 noktasında oluşturulması gereken  $\epsilon_4 + r_4$  sehim farkının 3 noktasının 3' ye gelmesi nedeniyle  $\epsilon_4 + r_4 - r_3/2$  değerine dönüştüğü ve bunun da 5 noktasındaki  $r_5 = 2(\epsilon_4 + r_4 - r_3/2)$  ripajıyla sağlanabileceği hesaplanabilir. Burada  $r_4$  ve  $r_3$

değerlerinin yerine yazılmasıyla da

$$r_5 = 2[\epsilon_4 + 2 \epsilon_3 + 4 \epsilon_2 + 6 \epsilon_1 - 2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_1)/2]$$

$$r_5 = (\epsilon_4 + 2 \epsilon_3 + 3 \epsilon_2 + 4 \epsilon_1) \quad (74)$$

bulunur. Böylece işlemlere devam edilirse

$$r_1 = 0$$

$$r_2 = 2 \epsilon_1$$

$$r_3 = 2(\epsilon_2 + 2 \epsilon_1)$$

$$r_4 = 2(\epsilon_3 + 2 \epsilon_2 + 3 \epsilon_1)$$

$$r_5 = 2(\epsilon_4 + 2 \epsilon_3 + 3 \epsilon_2 + 4 \epsilon_1)$$

.....

.....

$$r_n = 2(\epsilon_{n-1} + 2 \epsilon_{n-2} + 3 \epsilon_{n-3} + \dots + (n-1)\epsilon_1) \quad (75)$$

sonucu ortaya çıkacaktır. Tabii  $r_n$  noktası 2. teğet noktası olarak alınacaktır ve bu noktada da yer değiştirme sözkonusu olmadığına göre (doğru üzerinde olduğu için)  $r_n$ 'in sıfır olması gerekecektir.

### 3.7. Kaynak Araştırması Özeti

Tez konusu ile ilgili temel bilgilerin hazırlanmasında "Demiryol Kurbaları" (Bozkurt, 1960) isimli kitap ana kaynak olarak alınmıştır. Kurbaların geometrisi, merkezkaç kuvvet, dever, konfor sayısı, proje hızı hesap hızı ilişkileri ve rakordman eğrisi ile ilgili bilgiler bu kitapta mevcuttur; ayrıca rakordman eğrisi olarak kübik parabol kullanılması halinde, kurbaların sehimler diyagramı yardı-



miyla düzeltilmeleri konusu da aynı kitapta bir örnekle birlikte yer almaktadır.

Dever rampasının ve dolayısıyla rakordman egrisinin sinüsoidal olması durumuna ilişkin geometrik ve dinamik bilgilerin temininde ise "Demiryollarında yeni bir birleştirme egrisinin araştırılması" konulu doktora tezi (Bıçakçı, 1977) kaynak oluşturmuştur. Rakordman egrilerinin her iki halindeki yol geometrisine ve dinamik etkilere ait sınır değerleri içinse hem bu kitaplardan, hem de "Demiryollarında kurbalara ilişkin sorunlar ve çözüm önerileri" başlıklı Teknik Rapor'dan (Evren, 1979) yararlanılmıştır.

Sinüsoidal dever rampalı kurbalarla ilgili bilgilerin bu şekilde elde edilmesinden ve kurbaların düzeltilmesine ait kuralların temel bilgi oluşturacak şekilde düzenlenmesinden sonra bilgisayarla yapılacak çözümde yararlanılacak kaynakların araştırılmasına geçilmiştir. Yöneylem Araştırması, Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Amaç Programlama gibi optimizasyon teknikleriyle ilgili konulardaki derslerin izlenmesi sırasında belirlenen bazı kitaplar (Gottfried, 1973; Ignizio, 1976; Kara, 1986; Lootsma, 1972; Shoop, 1979) bu konuda fikir oluşmasında ve çözüm tekniğinin belirlenmesine karar verilmesinde etkili olan kaynaklar olmuşlardır.

Konuyla ilgili olarak dünya literatürünün taranmasına geçildiğinde ilk farkedilen şey bu konuda yapılan çalışma-

ların çok az olduğu ve dolayısıyla da yardımcı kaynak bulmakta çok zorlanılacağı olmuştur. Kişisel araştırmaların yanısıra YÖK ve TOBITAK'ın kaynak tarama servislerine de başvurulmuş ancak bu kuruluşlardan temin edilebilen makale sayısı YÖK'ten 1, TOBITAK'tan 2 olmak üzere sadece 3 makalede kalmıştır. Rail International dergisinin 1986, 1988 ve 1990 yıllarındaki sayılarında bulunan 3 makale nedeniyle aylık olarak yayınlanan bu derginin son yıllarda bu konuda iyi bir kaynak olabileceği intibaı edinilmiştir.

Kaynak taramasında dikkati çeken bir diğer husus da bulunabilen çok az sayıdaki makalelerin sonunda verilen referanslardaki kaynak sayısının azlığı ve bunlardan konuyla direkt ilgili olanların sayısının da 1-2 civarında kalmasıdır. Bu nedenle "bir makale..., bir kitap... bulunsa onun referanslarından başka kaynakların teminine geçilebilir." düşüncesi hayal kırıklığıyla sonuçlanmıştır. Umitsizliğe düşülerek "acaba ben mi bulamıyorum..." fikrine kapıldığı bir sırada J. Gubar'ın 1990 nisanında Rail International dergisinde yayınlanan makalesinin 2. sayfasında rastlanan

"There is little written on the subject of transition curve design. Often authors approach the problem from various different angles, applying theories refuted by other contributors."

satırları, bu konudaki yazıların azlığını teyid ederek yüreklere su serpen, bu konuda araştırma yapanlara teselli veren satırlar olmuş ve alıntı yapılmaya hak kazanmışlardır.

Uzak geçmişe doğru yapılan araştırmada Chappellet ismi 1930'lu yıllardan itibaren demiryolunun değişik konularındaki pekçok makalesiyle dikkati çekmiş, bunlardan kurbaların düzeltilmesi konusunda yazılmış olup 1931 ve 1954 yıllarında yayınlanmış iki makalesi temin edilerek incelenmiştir.

Belçika Devlet Demiryolları tarafından 1954 yılında yayınlanan ve kurbaların düzeltilmesi için gerekli ripaj miktarlarını mekanik olarak hesaplamakta kullanılan "MEDICO" aletini tanıtan kitap ile 1968 yılında S.N.C.F. tarafından çıkarılan 147 sayfalık kitap niteliğindeki bir broşür de etüd edilen diğer geçmişe ait kaynakları oluşturmuşlardır.

M. Bozkurt'un 1963 yılında ITÜ dergisinde yayınlanan "Açılar Diyagramı Metodu ile Demiryol Kurbalarının Düzeltilmesi veya Zemine Tatbiki" başlıklı makalesi de tezin hazırlanmasında yönlendirici etkisi olan bir başka kaynak olarak bu kaynakların arasına katılmıştır.

İçinde bol miktarda uygulama örnekleri bulunan B. Berksoy'un "Fleş Metoduyla Kurbaların Düzeltilmesi" isimli kitabı da ülkemizde halen güncelliğini yitirmemiş olmasına rağmen artık uzak geçmiş sayılabilecek 1966 baskı tarihini taşımaktadır.

Son on yılın, bir başka deyişle, yakın geçmişin yeni kaynaklarının araştırılmasına geçildiğinde, daha önce de ifade edildiği üzere dikkati çeken en büyük husus olarak kaynak azlığı kendini göstermektedir. Bulunup incelenebi-

len kaynaklardan ise bu konuda fazla kaynak olmayışının nedeni olarak yıllar önce yerleşmiş bulunan sehimler metodu uygulamasına halen eski demiryollarında ölçme hassasiyetinin ve hızının arttırılarak aynen devam ettirilmesine karşılık, yeni yapılan hızlı demiryollarında bu metodun yerine, sabit noktalara göre güzergahın teorik formunun aynen uygulanmaya çalışılması prensibinin getirilmiş olması görülmektedir. Teorik formun aynen oluşturulmasındaki veya muhafaza edilmesindeki zorluklar nedeniyle yıllar önce ortaya çıkarılmış olan sehimler metodu yerine, bugünkü modern alet, makine ve bilgisayarlar sayesinde bu zorlukların etkisinin azaltılmış olmasından yararlanılarak yola teorik formunu aynen vermeye çalışan uygulama metodlarına yönelinmiştir. Tabii bu durumda kurbaların düzeltilmesi meselesi sadece bir aplikasyon uygulaması niteliği kazanmış olmaktadır.

Kaynak araştırması konusundaki bu kısa açıklamalardan sonra zorluklarla temin edilebilen az sayıdaki kaynakların tanıtılmasının çok yararlı olacağı, diğer araştırmacılara kolaylık sağlayacağı düşünülmüş ve bu amaçla kısa özetler şeklinde bilgi verilmesine çalışılmıştır. Özetlerin bir bakıma tarihsel gelişimi yansıtabileceği de düşünüldüğü, hatta arzulandığı için özetlerin kronolojik bir sıralama izlenerek sunulması tercih edilmiştir.

### 3.7.1. Kaynak Özetleri

M. J. Chappellet tarafından 1931 yılında yazılan ve "Congrès des Chemins de Fer" isimli aylık derginin Temmuz sayısında yayınlanan makalede sehimlerin değiştirilmesi yoluyla bir kurbun periyodik düzetmesinin nasıl yapılacağı kaleme alınmıştır. Sehimler diyagramının ağırlık merkezinin ve alanının değişmemesi prensiplerinin uygulandığı makalede kurbun iki başındaki rakordman egrilerinin, daire şeklindeki esas kurb ile birleştiği kısımlarındaki, kurb girişi ve kurb çıkışı olarak isimlendirilen bölümlerine daha küçük yarıçaplı kurbların simetrik olarak yerleştirilmiş olması dikkat çekicidir. 9 sayfalık makalede 5 şekille birlikte sayısal bir örnekle tablosu da yer almaktadır. Makalenin sonunda hiçbir referans bulunmamakta, sadece sayfa altlarında deginmelerin açıklamaları yapılırken referanslar verilmektedir. Bu tarz açıklamalara 4 değişik yerde rastlanılmıştır.

M. J. Chappellet tarafından 1954 yılında, aylık olarak çıkan "Congrès des Chemins de Fer" isimli derginin Temmuz sayısında yayınlanan 29 sayfalık uzun sayılabilecek makalesinde, sehimlerle, sehimleri oluşturan kirişlerin yolun doğru kısmıyla yaptıkları açılar arasındaki bağıntılardan yararlanılarak kurbaların düzeltilmesine ait hesaplar değişik örneklerle anlatılmaktadır. 19 şekil aracılığıyla sunulan makalede direkt hesap yapılmasıyla, bu metotla hesap yapılması halinde arada oluşacak farklar da

konu edilmiş bulunuyor. Referanslar metin içinde değinmeler şeklinde verilmiş durumda.

S.N.C.F.B. tarafından 1954 yılında yayınlanan ve "MEDİKO" aletinin tanıtımını yapıp kullanımını, verdiği ön bilgilerden sonra anlatan 85 sayfalık bu kitap, normal kitaplardan biraz daha küçük boyutlarda düzenlenmiş bulunuyor. Kurbaların düzeltilmesine ait hesapları, ripaj değerlerinin bulunması işlemlerini, sehimler diyagramı aracılığıyla ve mekanik olarak yapabilen bu alet tüm yönleriyle tanıtılıyor, ayrıca örnek hesaplar da veriliyor. 55 şekil ihtiva eden kitapçığın 23 sayfalık son bölümünde sehimlerin ölçülmesi ve ripajların işaretlenmesi usulleri de anlatılıyor.

M. Bozkurt'un 1960 yılında yayınladığı "Demiryol Kurbaları" isimli kitabı İTÜ Teknik Okulu Kütüphanesinin 19 Nolu yayını olarak çıkarılmış tam bir ders kitabı niteliğinde olup bu tezin hazırlanmasında yararlanılan 1 nolu temel kaynağı oluşturmaktadır. Kurbaların zemine aplikasyonu yöntemlerinden, düzeltilmesine kadar, gereken tüm bilgileri içeren kitapta düşey kurbalar konusuyla kısa rayların ve kaynaklı uzun boylu rayların kullanılması konularına da yer verilmiş bulunuyor. Kitabın sonunda, hesap kolaylığı sağlayan 40 sayfalık tablolar bölümü, günümüzün elektronik hesap makineleri nedeniyle maalesef güncelliğini yitirmiş bulunuyor. 170 sayfalık kitap 83 şekil ve 11 referans ihtiva ediyor.

M. Bozkurt'un 1963 yılında ITU dergisinin 21. cildinin 1. sayısında yayınlanan 5 sayfalık makalesinde açılar diyagramı metoduyla kurbaların düzeltilmesi metodu 6 şekil aracılığıyla anlatılmış. Sehimleri oluşturan kirişlerin, yolun o noktasındaki tegetine paralel olana kadar döndürülmesi için gerekli deplasman miktarlarının hesaplanması ve bu değerlerin, olması gereken miktarlara göre değiştirilmesi esasına dayanan metot 7 referans verilerek anlatılmış bulunuyor.

B. Berksoy'un 1966 yılında yayınladığı 147 sayfalık kitap, fleş metodu ile kurbaların düzeltilmesini, gerekli ön bilgileri de vererek anlatıyor. TCDD'deki 10 yıllık fiili uygulamanın verdiği bilgi ve tecrübe sonucu yazıldığı ifade edilen kitapta 10 değişik kurbun düzeltilmesi sayısal örnekler halinde verilmiş bulunuyor. Kontr kurblarla ilgili 3, Matisa aleti ("MEDİKO" aleti) ile yapılan 2 ve çizimle yapılan çözüm yöntemine ait 1 örneğe kitapta yer verilmiş bulunuyor. 31 şekil bulunan kitabın sayfaları arasına uygulama sırasında çekilmiş 28 tane fotoğraf da eklenerek anlatımın kuvvetlendirilmesine çalışılmış.

S.N.C.F. tarafından 1968 yılında 25 Nolu broşür olarak yayınlanan ve kendi personelinin hizmet içi eğitimini sağlamak amacıyla hazırlanmış olan bu broşür aslında bir ders kitabı niteliğinde. Kurbalarla ilgili gerekli ön bilgilerin verilmesiyle giriş yapılan kitapta, kurbaların sehimler diyagramı aracılığıyla düzeltilmesi konulu bölümüne daha fazla ağırlık verilmiş. Düzeltmeyle ilgili

teorik hesapların yapılmasından sonra, pratik olarak düzeltme yapabilen "MEDİKO" aletinin kullanımından ve onun ardından da ardışık noktalarla gruplar oluşturularak yapılabilen diğer yaklaşık düzeltme yöntemlerinden söz ediliyor. Kitabın son bölümünde ise kontr-kurblar yardımıyla mevcut kurbların yarıçaplarının büyütülmesi usullerine yer verilmiş bulunuyor. 143 sayfalık broşürde numaralanmamış pekçok şeklin dışında 23 sayfa tutan tablolar ve tam sayfa büyüklüğündeki şekiller ek olarak verilmiş bulunuyor.

O. Bıçakçı'nın 1976 yılının Aralık ayında kabul edilen doktora tezinde yeni bir birleştirme eğrisi olarak  $e^x$  eğrisi önerilmiş ve bu durumda çeşitli parametrelerle dinamik etkilerin durumu incelenmiş. Tezde diğer rakordman eğrisi türleriyle, önerilen eğrinin çeşitli açılardan karşılaştırılması da yapılıyor. Sinüsoidal rakordman eğrisi ile ilgili bilgilere bu nedenle sayfaları arasında yer veren tezden büyük ölçüde yararlanılmış bulunuluyor. 158 sayfalık tezde 55 şekil 9 tablo ve 38 referans yer alıyor.

M. Velebit, R. B. Schattke ve S. G. Citko'nun 1982 Ocak ayında ortaklaşa yayınladıkları 10 sayfalık makalelerinde bozulmuş kurbaların sehimler diyagramının, "Koşi" metodu kullanılarak düzeltilmeye çalışılması bir yöntem haline getirilerek sunuluyor. Seçilen (tanımlanan) çözüm fonksiyonunun bulunmasında tam sayı kısıtlamalarının uygulandığı ve konuya quadratik bir optimizasyon problemi olarak yaklaşılmasıyla çözüme ulaşılabildiği belirtiliyor. Kurbların düzeltme sonunda ilk orijinal şekline gelmeye-



bilecegi de bildirilen makalede 5 şekil, 1 tablo ile birlikte 2 de referansa yer verilmiş bulunuyor.

G. Janin'in 1982 yılının Haziran ayında, aylık olarak yayınlanan "Revue Général des Chemins de Fer" dergisinde yayınlanan makalesi "Yol Geometrisinin Bakımı" başlığını taşıyor ve dolayısıyla da tez konusuyla ilişkisi pek fazla değil. "Mauzin" arabasıyla elde edilen, yol ölçmelerine ait nivelman, dever, ekartman ve ivme grafiklerinin arasında fleş ölçmelerine ait grafiklerin de bulunması bu makalenin kaynaklar arasına girmesine sebep olmuş bulunuyor. 16 sayfalık makalede 15 şekil ve 4 tablo yer alıyor.

M. Agostinacchio ile M. Bocci tarafından hazırlanarak 1984 Eylülünde "Vie e Trasporti" dergisinde yayınlanan İtalyan dilinde yazılmış 14 sayfalık makale "Demiryolu Güzergahlarının Bakımı: Analitik Metotla Kurbaların Düzeltilmesi" başlığını taşımakta olup rakordman eğrilerinin kübik parabol olması durumunda sehimler diyagramı aracılığıyla ve analitik bir metot olan "Hallade Metodu" yardımıyla geliştirilen algoritmaların bilgisayara uygulanmasını konu edinmiş bulunuyor. Eski grafik metotlara karşı garanti üstünlüğü getirdiği ve basit hesap esaslarıyla peronlarda da düzeltme yapılabilmesinin sağlandığı öne sürülen metodun İtalya'nın Ancona şehrindeki Yol ve Ulaştırma Enstitüsünün İnşaat Mühendisliği Fakültesince geliştirildiği ifade ediliyor. 14 şekil ve 8 referans ihtiva eden makale ile birlikte metoda ait bir bilgisayar programı da verilmiş bulunuyor.

W. Glawischnig tarafından 1985 haziranında verilen bir konferansta "DRIVER" olarak tanıtılan kurbaların düzeltilmesi yönteminin "A New Concept for Automatic Curve Correction" başlığı altında açıklanması bu makalenin konusunu oluşturuyor. Yolun doğru kısımlarının düzeltilmesinde ön ölçümlere gerek duymayan, başarı oranı yüksek ve basit bir metot olan bu yöntemde, kurbaların düzeltilmesi için sehimlerin ölçülmesine yine gerek duyulmaktadır. Ardışık 4 noktanın bir daire üzerinde olması varsayımından hareket eden ve laserle belirlenmiş sabit iki nokta arasındaki kirise olan uzaklıkların ölçülmesi ve bilahare "Versine" karşılaştırmasıyla olması gereken değerleri otomatik olarak hesaplayıp uygulayabilen bu metotla ayrıca kot düzeltmeleri de ardışık 3 nokta aracılığıyla yapılabilir. Makalede metodun basitliği nedeniyle zaman tasarrufu ve ekonomik optimizasyonun sağlandığı da ileri sürülmektedir. 5 sayfalık yazıda 11 şekil ve 3 referans bulunmaktadır. Referanslardan 1.si konferans başlığı ile aynı başlığı taşımakta olup C. Esveld, H. Quee, ve F. Schippers tarafından Rail Engineering International dergisinin Ekim-Aralık 1982 sayısında yayınlanmış bir makale olarak tanıtılıyor.

P. Schuhr tarafından 1986 yılının Ocak ayında "Rail International" dergisinde yayınlanan 5 sayfalık makalede rakordman egrilerinin diyagramlar aracılığıyla hesaplanmasında "Romberg" eşitliğinden nasıl yararlanılacağı açıklanıyor ve "uygulama için geliştirilen" BASIC diliyle yazılmış bir bilgisayar programı ekte sunuluyor. Sehimler

diyagramı gibi, arazideki ölçmeler sonucu elde edildiği için poligon şeklinde olan bir diyagramın alanının teorik ve sürekli sehimler diyagramındaki gerçek değeri yerine yine bu diyagram yardımıyla fakat poligon şeklinde hesaplanması halinde e arada oluşacak farklarının istenen bir e sayısından daha küçük kalmasının "Romberg" eşitliği yardımıyla sağlanmasının mümkün olduğunu anlatan yazar, hazırladığı bilgisayar programında 4 değişik tip rakordman egrisine de yer vermiş bulunuyor. İstlenen başka tip egrilerin de programa eklenmesinin mümkün olabileceği belirtilen makalede 5 şekil ve 10 referansla birlikte kısa bir bilgisayar programı da yer alıyor.

R. B. Lewis 1988 yılının Temmuz ayında yayınlanan "Rail International" dergisindeki "Doğruda ve Kurblarda Yol Ölçmeleri" isimli 7 sayfalık makalesinde yol sehimlerinin ölçülmesinin "Yüksek hız yol kayıt araçları" ile 180 km/saat hızlarla giderken bile yapılabildiğinden söz etmektedir. Jiroskop ile donatılmış bu araçlar kurb tegetinden itibaren olan sapsmaları açısal olarak ölçebilmekte, açılardan da sehimleri hesaplayabilmektedirler. Çok gelişmiş bu arabalarla değişik kiriş uzunlukları ve aralıklarla çeşitli kurb ve alinyman ölçüleri, değişik dalga boylu titreşimlerle ve bilgisayar aracılığıyla fevkalade hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. 9 şekil, 11 referans ihtiva eden ve demiryol güzergahlarındaki halihazır (aktüel) duruma ait değişik değerlerin ölçülerek belirlenmesindeki tekniğin konu edildiği makalede bilahare

bu degerlere göre düzeltmelerin nasıl yapılacağına ise hiç değinilmiyor.

J. Gubár isimli Macar mühendisin "Demiryollarında Rakordman Eğrisi Planlama Metotları" isimli 13 sayfalık makalesi "Rail International"'in Nisan 1990 sayısında yayınlanmış olup bugün için en son ve en yeni kaynak olmak sıfatını taşımaktadır. Makalenin bir başka ilginç yanı da demiryolculugun bu çok önemli konusundaki literatürün azlığına değinen satırları haiz olmasıdır. Bu satırlar bilindiği üzere alıntı yapılmasına sebep olmuşlardır. Makalenin kendi referanslarının da bu iddiayı ispatlarcasına iki kaynaktan ibaret kalmış olması yine dikkat çekici bir husustur. Makalede yol geometrisinin dinamik kuvvetlere bağlı olarak oluşması temelden ele alınmakta, bilahare rakordman eğrisinin ortaya çıkışı ve dinamik kuvvetlerin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli rakordman eğrilerinin geometrik yolla oluşturulması, matematik düşünce kullanılarak anlatılmaktadır. Makalede 15 şekil yer almaktadır.

#### 4. BİLGİSAYAR KULLANILARAK KURBALARIN DÜZELTİLMESİ

##### 4.1. İzlenen Yöntemin Anahatlarının Belirlenmesi

Bozulmuş kurbaların 3.bölümde açıklanan esaslara uyularak düzeltilmelerinde bilgisayarın araç olarak kullanılması ve böylece bilgisayarın hızından yararlanılması fikri, tez konusunun belirlenmesinden hemen sonra ortaya çıkmıştır. Zira deverin ve dolayısıyla rakordman eğrisinin sinüsoidal olması halinde kurbaların düzeltilmesine ilişkin hesaplar, deverin lineer olması halindeki gibi kolayca yapılamamakta, bilgisayar kullanımını gerekli kılacak bir nitelik göstermektedirler.

Bilgisayar kullanılması fikrinin bu şekilde ortaya çıkmasından ve çözüme temel alınmasından sonra sıra çözüm tekniğinin belirlenmesine gelmektedir. Bilgisayarla çözüm tekniğinin esasını oluşturan nümerik metodlardan matematikte "ardışık yaklaşımlar metodu" diye bilinen metodla, son yıllarda işletmecilik ve endüstri mühendisliği alanında geniş uygulama alanı bularak büyük gelişmeler gösteren "lineer programlama", "lineer olmayan programlama", "amaç programlama" gibi araştırma ve optimizasyon teknikleri, bu konuda yararlanılabilecek metodlar olarak görülmektedir (Gottfried et al., 1973; Ignizio, 1976; Kara, 1986; Lootsma, 1972).

Bu metodların gelişmiş olanlarının herhangi bir probleme uygulanmasında, problemin gereği olan fiziksel özelliklerin ve bağıntıların kesin matematik ifadeler halinde

hesaba katılmalarının yanısıra, kesin bir değer veya bağintıyla ifade edilemeyen fakat geręekleřtirilmesi arzu edilen, çok önemli istek ve amaçlar da (bir işletmede maliyetin en az, karın en fazla olması gibi) hesaba katılabilmektedir.

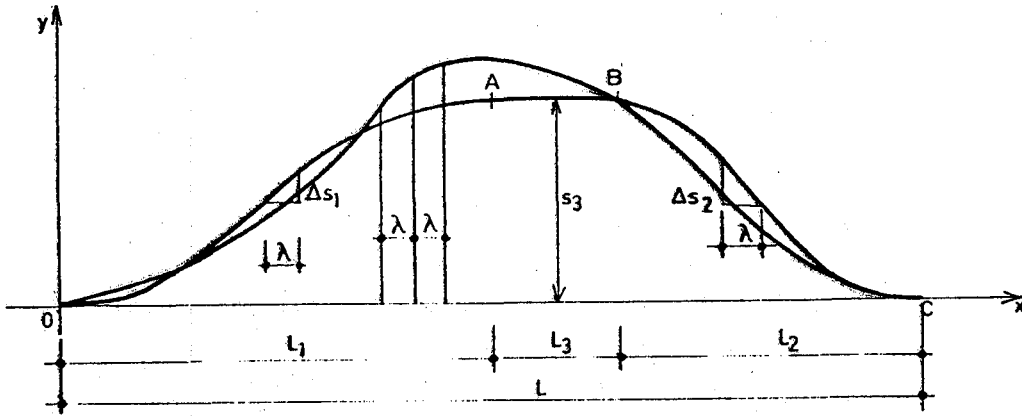
Kurbaların düzeltilmesi konusunda da önceki bölümlerde açıklandığı üzere pek çok kesin fiziksel ve matematiksel bağintıyla birlikte, kesin bir değere eşitlenemeyen fakat amaç olarak ortaya konulabilecek, kurbun en kısa sürede, en az maliyetle düzeltilmesi anlamına gelen, toplam ripaj miktarının minimum olması isteği vardır. Kesin bağintıların yanında amaç Şeklinde bağintıları da olan ve böylelikle yukarıda sözü edilen araştırma tekniklerinin kullanılmasına uygunluğu ortaya çıkan kurbaların düzeltilmesi probleminin, bu tekniklerle ve bilgisayar kullanılarak zm için sözü edilen araştırma ve optimizasyon teknikleri etüd edilmiş, bunların ana fikirleriyle birlikte konunun kendine özgü yönleri de gözönünde tutularak yeni bir yöntemin geliştirilmesine çalışılmıştır.

izleyen bölümlerde detaylarıyla açıklanacak ve örnek zm de verilecek olan yöntemin esasını, önce arazide mevcut olan düzeltilecek kurbanın halihazır durumunun yeterli sayıdaki karakteristik değeriyle yaklaşık olarak belirlenmesi ve daha sonra da bu yaklaşık forma gereken her türlü Şartı ve amacı sağlayarak uyan kesin zmn bulunması olarak özetlemek mümkündür. Mevcut kurbun yaklaşık olarak belirlenmesi için öncelikle yapılması gereken Şey

ise bu belirlemede kullanılacak kurbu karakterize edebilecek olan parametrelerin seçilmesidir.

#### 4.2. Kurb Parametrelerinin Seçilmesi

Sinüsoidal dever rampaları olan iki rakordman eğrisi ile bunların arasındaki  $R$  yarıçaplı daire parçasından oluşan bir kurbanın düzeltilmesi, daha önce # 3.3. 'de açıklandığı üzere sehimler diyagramları aracılığı ile yapılmaktadır. Düzeltilmesi düşünülen kurbanın, düzeltmeye temel oluşturacak sehimler diyagramı, arazide  $\lambda$  aralıklarla ölçülen sehim değerlerinin şekil 4.1 'de görüldüğü üzere bir grafik üzerinde gösterilmesiyle elde edilmektedir. Düz-



Şekil 4.1

gün olmayan bu diyagramın gerekli tüm şart ve amaçları sağlayarak düzeltilmesi halinde ortaya çıkacak olan düzgün sehimler diyagramı da aynı şekil üzerinde -tahmini olarak- gösterilmiştir. İki diyagramın birbiriyle karşılaştırılabilmesi, gerekli hesapların yapılabilmesi ve sonuca ulaş-

labilmesi için düzeltilmiş kurbaya ait sehimler diyagramının matematik formüllerle ifade edilmesine gerek vardır.

Sehimler diyagramının ortasındaki  $s_3$  sabit ordinatlı kısmı, kurbun  $R_0$  yarıçaplı daire parçasından oluşan bölüme aittir ve daha önce # 3.2. 'de elde edilmiş bulunan (60) formülüyle

$$s_3 = \frac{\lambda^2}{2 R_0} \quad (76)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Her iki yandaki sinüsoidal eğrilerden sol taraftaki 1. rakordman egrisine ait olan kısım ise aynı bölümdeki (59) formülüyle daha önce

$$s_1 = \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} x - \frac{\lambda^2}{4 \pi R_0} \sin \frac{2 \pi}{L_1} x \quad (77)$$

olarak hesaplanmış bulunmaktadır. Sağ taraftaki,  $x = L - L_2$  ile  $x = L$  apsisleri arasında bulunan 2. rakordman egrisine ait sehimler diyagramı için de (77) denkleminde

$$s_2 = \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_2} (L-x) - \frac{\lambda^2}{4 \pi R_0} \sin \frac{2 \pi}{L_2} (L-x) \quad (78)$$

yazılması mümkündür.

Sehimler diyagramının bu şekilde 3 parça halinde genel matematik formülleriyle ifade edilmesinden sonra yapılması gereken şey bu formüllerdeki parametrelerin bulunmasıdır. (76), (77) ve (78) denklemlerinde bilinmeyen olarak gözüken parametreler  $R_0$ ,  $L_1$  ve  $L_2$  değerleridir. Ancak arazide



$\lambda$  aralıklarıyla ölçülerek elde edilmiş s sehimlerinden oluşan düzgün olmayan sehimler diyagramından bu değerleri direkt ve doğru olarak elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle düzgün olmayan sehimler diyagramından, daha kolay, daha doğru ve daha uygun bir şekilde yararlanılmasını sağlayabilecek başka parametrelerin belirlenmesi ve daha sonra da bunlardan  $R_0$ ,  $L_1$  ve  $L_2$  değerlerinin hesaplanmasına geçilmesi gerekmektedir.

Kurbun ortasındaki  $R_0$  yarıçaplı daire parçasının sehimler diyagramındaki karşılığı olan  $s_3$  ordinatlı kısmında  $s_3 = \lambda^2 / 2 R_0$  (76) formülünden kolayca anlaşılacağı üzere  $s_3$  değeri değişmeyip sabit kalmaktadır. Bu durumda arazi ölçmelerine bağlı olan, düzgün olmayan sehimler diyagramının orta kısmından sabit  $s_3$  değeri yaklaşık olarak elde edilecek demektir ve bu da aynı zamanda (76) formülüne göre  $R_0$ 'ın belirlenmesi anlamına gelmektedir. Öyleyse  $s_3$  değerinin kurbun düzeltilmesinde kullanılacak 1. parametre olarak seçilmesi uygun olacak demektir.

Sehimler diyagramının bir başka belirgin özelliği de, rakordman eğrilerine karşılık gelen sinüsoidal kısımlarının tam orta noktaları civarındaki eğimlerinin fazla değişim göstermemeleri, lineer değişime çok yakın olmalarıdır. Bu özellik sayesinde sehimler diyagramının bu kesimindeki eğimleri, düzgün olmayan sehimler diyagramından kolayca -tabii yine yaklaşık olarak- hesaplanabilir. Daha sonra bu eğimlerden  $L_1$ ,  $L_2$  değerlerinin hesaplanmasına geçilebilir. Söyle ki: (77) denkleminin türevi alınır ve  $x = L_1 / 2$  konursa

$$m_1 = s_1' = \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} - \frac{\lambda^2 2 \pi}{4 \pi R_0 L_1} \text{Cos} \frac{2 \pi}{L_1} x$$

$$m_1 = s_1'(L/2) = \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} - \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} \text{Cos} \frac{2 \pi L_1}{L_1 2}$$

$$m_1 = \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} + \frac{\lambda^2}{2 R_0 L_1} = \frac{\lambda^2}{R_0 L_1}$$

ve buradan da

$$L_1 = \frac{\lambda^2}{m_1 R_0} \quad (79)$$

elde edilir. Benzer şekilde  $L_2$  değeri için de

$$L_2 = \frac{\lambda^2}{m_2 R_0} \quad (80)$$

bulunması mümkündür. Diğer taraftan  $m_1$  ve  $m_2$  eğimleri yerine bunların  $\lambda$  aralıklarındaki karşılıkları olan  $\Delta s$  sehim farklarının kullanılması halinde hesapların daha da kolaylaşacağı düşünülebilir. Zira  $\Delta s$  sehim farkları, elimizde mevcut bulunan  $s$  sehim değerlerinden

$$\Delta s = s_n - s_{n-1} \quad (81)$$

formülüyle kolayca hesaplanabilirler. Daha sonra  $m$  ve  $\Delta s$  değerleri arasında bulunan

$$m_1 = \frac{\Delta s_1}{\lambda} \quad , \quad m_2 = \frac{\Delta s_2}{\lambda} \quad (82)$$

bağıntılarından yararlanılarak  $m_1$ ,  $m_2$  eğimlerinin hesaplanmasına geçilebilir. Öyleyse  $\Delta s_1$  ve  $\Delta s_2$  değerlerinden yani rakordman eğrisinin orta noktası civarındaki sehim farkları ortalamalarından, (82) formülleriyle kolayca hesaplanabilecek olan  $m_1$  ve  $m_2$  değerlerinin 2. ve 3. parametreler olarak seçilmesi uygun olacak demektir.

Böylece düzeltilmiş sehimler diyagramının belirlenmesinde kullanılacak parametreler olarak  $s_3$ ,  $m_1$  ve  $m_2$  değerleri seçilmiş olmaktadır. Bunlardan  $s_3$  ün (76) formülünde yerine konmasıyla  $R_0$ , daha sonra  $m_1$ ,  $m_2$  eğimlerinin (79), (80) formüllerinde yerine konmasıyla da  $L_1$ ,  $L_2$  boyları bulunabilir. Böylelikle, düzeltilmiş sehimler diyagramı ve dolayısıyla düzeltilmiş kurbaya ait karakteristikler belirlenmiş olur.

#### 4.3. Seçilen Parametrelerin Yaklaşık Değerlerinin Belirlenmesi

Düzeltilmiş kurbanın bulunmasında aracılık yapacak parametreler olarak seçilen  $s_3$ ,  $m_1$  ve  $m_2$  değerlerinin bilgisayar kullanılarak araştırılmasında iki önemli kısım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi başlangıçta bu parametrelere verilecek uygun yaklaşık değerlerle, bunların değişeceği uygun sınırların belirlenmesidir. İkinci kısım ise bu parametrelerin uygun sınırlar içindeki değişimleri sırasında, çözüm olabilecek değerlerin belirlenmesinde kullanı-

lacak şartların ve amaçların bu araştırmaya katılması ve bunların da sağlandığı çözümün elde edilmesidir.

Araştırma başlangıcında  $s_3$ ,  $m_1$  ve  $m_2$  parametrelerine verilecek uygun başlangıç değerleriyle bunların alt ve üst sınır değerleri şekil 4.2 'de görülen hattın sehimler diyagramından elde edileceklerdir.

Düzgün olmayan bu diyagramdan sözkonusu parametrelerin yaklaşık değerleri doğrudan elde edilmek istenirse bulunacak sonuçlar gerçeğe çok yakın sonuçlar olmayacaktır, onun için bu diyagramı daha düzgün bir hale getirmekte ve ondan sonra parametrelerin değerlerini belirlemede yarar vardır. Diyagramda bir ön düzeltme yapılması anlamına gelecek olan bu işlem için, yıllardanberi kullanılmakta olan "MEDICO" aletinin (S.N.C.F.B., 1954) ve ardışık noktalardan gruplar oluşturulması yöntemlerinin (S.N.C.F., 1954) ana fikri olan, bir noktadaki ripajın komşu iki noktayı etkilemesi prensibine benzer düşünüşle kurbun başından sonuna kadarki bütün sehim değerlerinin

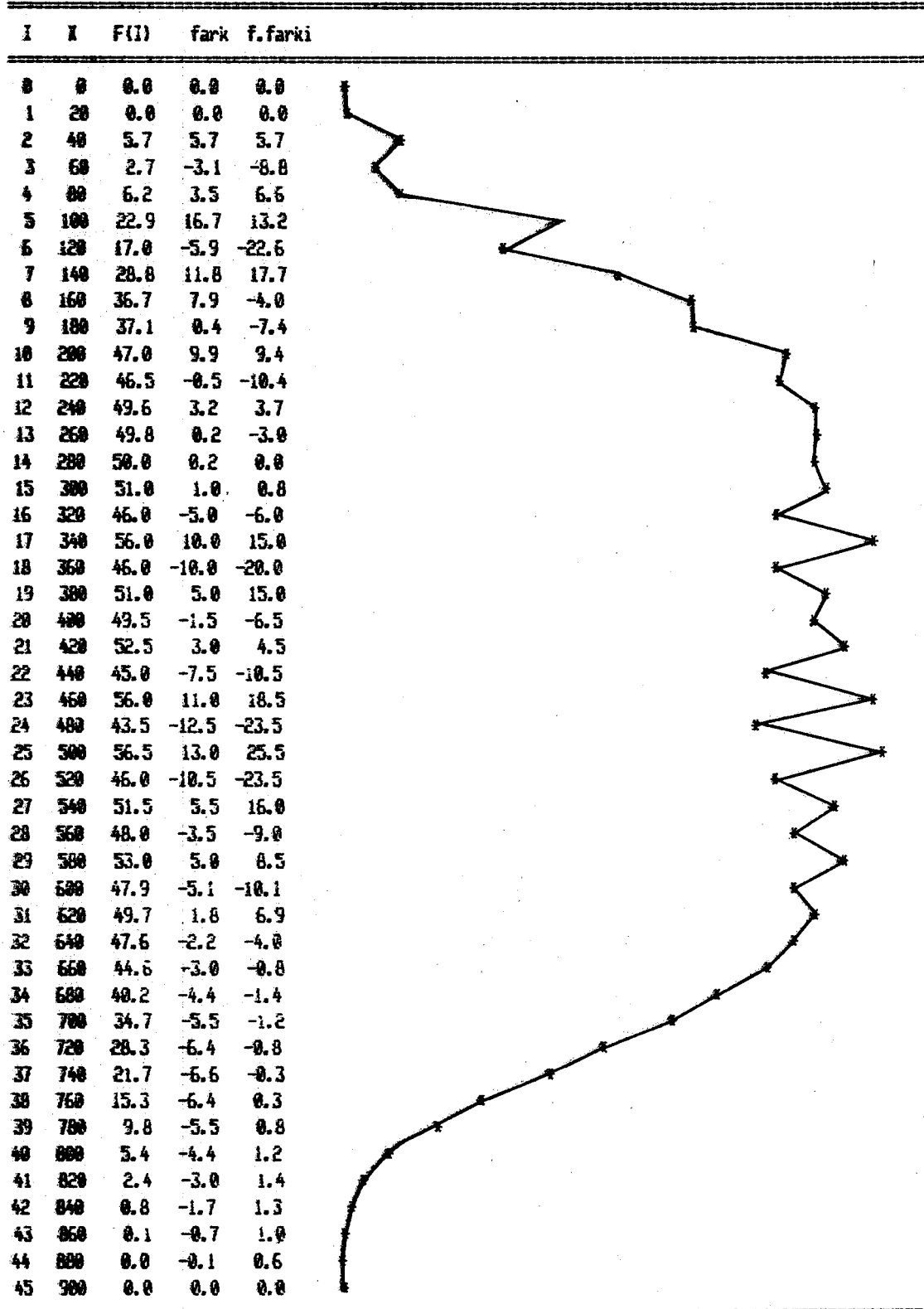
$$s_i = (s_{i-1} + s_i + s_{i+1}) / 3 \quad (83)$$

(83) formülüne göre birkaç defa dengelenmesi halinde sehimler diyagramının şekil 4.3, şekil 4.4 ve şekil 4.5 'de görüldüğü üzere giderek daha düzgün bir şekil aldığı ve gerekli parametrelerin yaklaşık değerlerinin bu düzgün diyagramlardan hesaplanmasının daha kolay olacağı ortaya çıkmaktadır. Ancak (83) formülüne göre yapılan bu dengelemelerin sehimler diyagramının özelliklerini bozmayaca-

\*\*\*\*\*

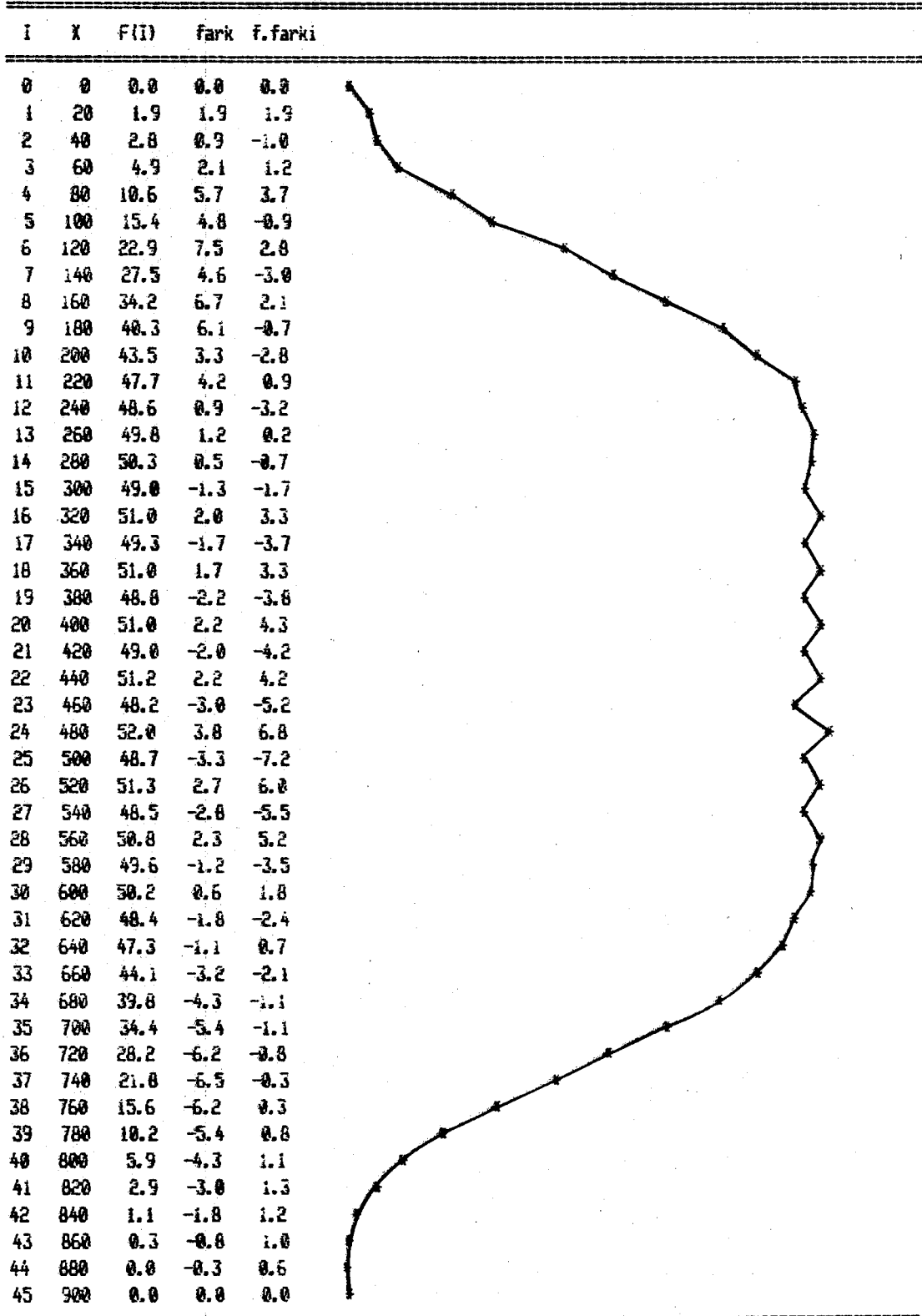
HATTIN SEHİMLER DİYAGRAMI

\*\*\*\*\*



Sekil 4.2

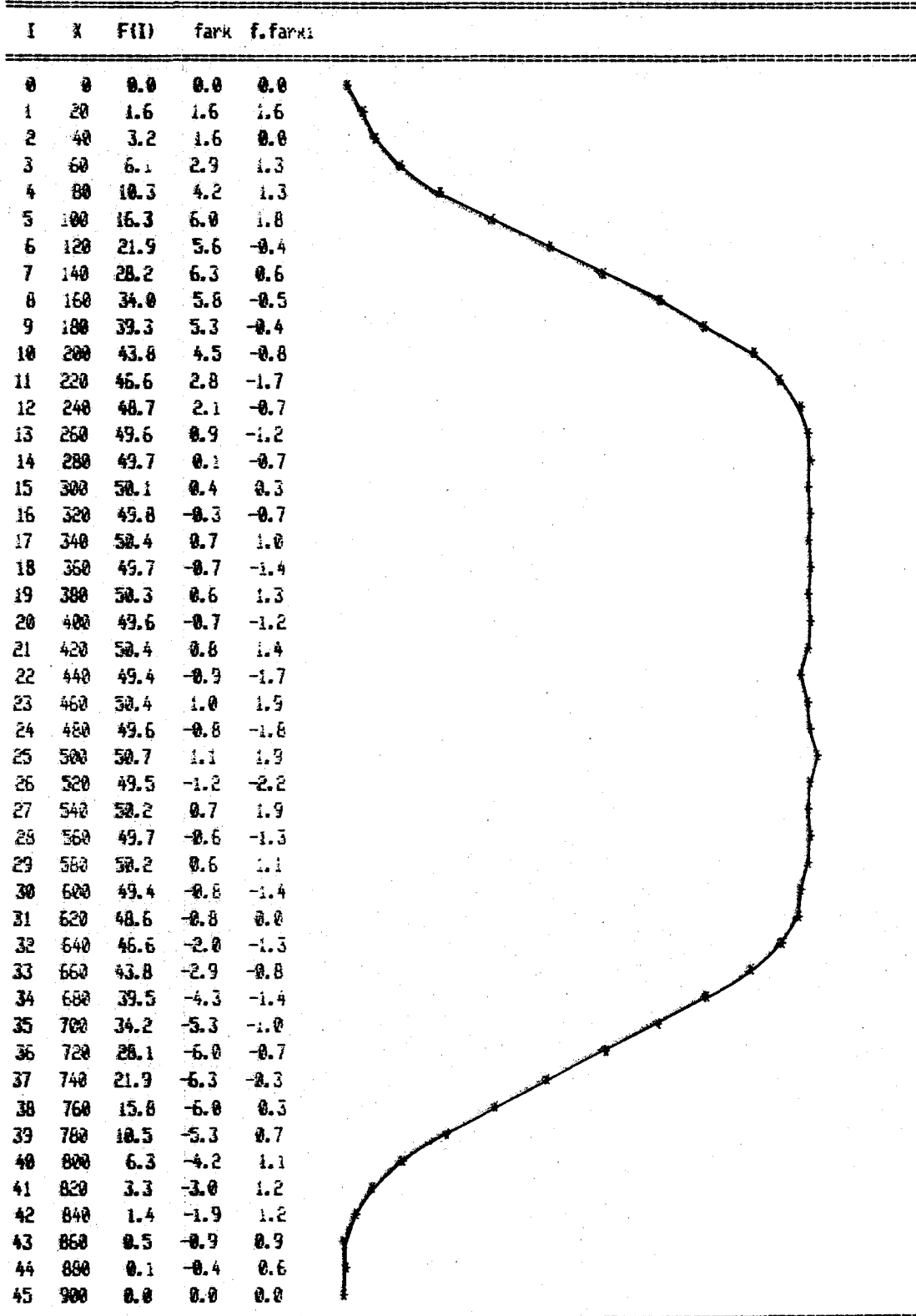
\*\*\*\*\* I . DENGELYMEDEN SONRAKI SEHIMLER DIVAGRAFI \*\*\*\*\*



Sekil 4.3

## \*\*\*\*\* 2 . DENGELERDEN SONRAKI SICIMLER DİYAGRAMI \*\*\*\*\*

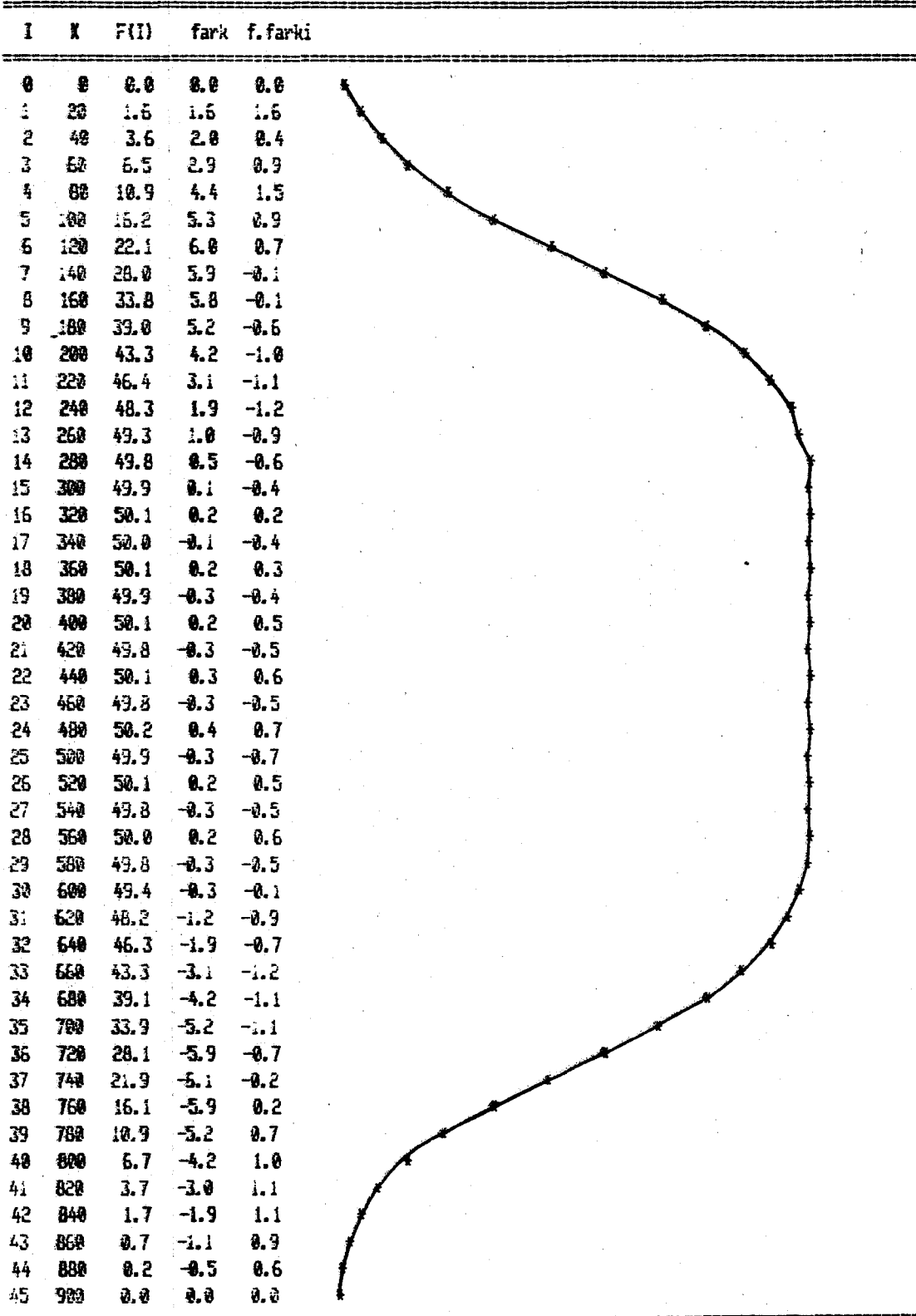
I= 15 den 29 ye kadar S3ort= 50.0056 S3max= 50.6667  
 I= 6 den 8 ye kadar K1ort= 5.90308 K1max= 6.28400  
 I= 36 den 38 ye kadar K2ort= 6.10252 K2max= 6.27189



Sekil 4.4

\*\*\*\*\* 3. DENGELIMEDEN SONRAKI SEHİMLER DİYAGRAMI \*\*\*\*\*

I= 15 den 29 ye kadar S3ort= 49.9789 S3max= 50.2407  
 I= 5 den 8 ye kadar K1ort= 5.8954 K1max= 5.97944  
 I= 36 den 38 ye kadar K2ort= 5.94292 K2max= 6.10252



Sekil 4.5



gını da göstermek gerekir. Bunun için diyagram üzerindeki  $j$  noktasının  $s_j$  değerini gözönüne alalım.  $s_j$  değeri, (83) formülünün  $j-1$  noktasına uygulanması halinde bu değer  $s_j/3$  kadarı bu noktaya;  $j$  ve  $j+1$  noktalarına uygulandığında da yine  $s_j/3$  değerleri kadar bu noktalara dağılacaktır. Bunun anlamı  $s_j$  değerinin 3 eşit parçaya bölünerek  $j-1$ ,  $j$  ve  $j+1$  noktalarına eşit olarak dağılması demektir ki bu durumda hem sehimler diyagramı alanı hem de momenti değişmeyecek demektir. Ancak, dengeleme sayısı arttırılacak olursa sehimler diyagramının alan ve momentinin değişmemesine rağmen rakordman egrisine ait kısımların büyüdüğü, daire parçasından oluşan kısmın ise küçüldüğü görülmektedir. Şekil 4.4 'de görülen 2. dengelemeden sonraki durum yeterli düzgünlüktedir ve denemelere göre iki dengeleme yapılması en uygun ve yeterli dengeleme sayısı olarak bulunmuştur.

2. dengeleme sonunda epeyce düzgün duruma gelmiş olan sehimler diyagramının ordinatları, ordinat farkları ve bu farkların farkları hesaplanarak, bu değerler yardımıyla ordinatların ve eğimlerin sabit veya sabite yakın olduğu bölgeler belirlenmekte, daha sonra da bu bölgelerdeki ortalama değerler hesaplanarak  $s_3$ ,  $m_1$  ve  $m_2$  parametrelerinin ilk yaklaşık değerleri elde edilmektedir. Ancak  $m_1$  ve  $m_2$  eğimleri yerine

$$K_1, K_2 = \frac{\lambda}{m_{1,2}} 1000 \quad (\text{mm}) \quad (84)$$

bağıntısına göre bunların  $\lambda$  (m.) aralığındaki ordinat farkları (sehim farkları) olan  $K_1$ ,  $K_2$  (mm.) değerlerinin kullanılması daha kolay olduğundan bilgisayarla çözümde  $m_1$ ,  $m_2$  parametreleri yerine  $K_1$ ,  $K_2$  değerleri kullanılmıştır. 2. dengelemeden sonraki nispeten düzeltilmiş sehimler diyagramından (şekil 4.4)  $s_3$  parametresi için  $s_3 = 50$  mm. ve  $K_1$ ,  $K_2$  değerleri için de  $K_1 = 5,9$ ,  $K_2 = 6,1$  yaklaşık değerlerinin hesaplandığı görülmektedir.  $s_3$ 'ün yaklaşık değerinin bu yöntemle belirlenmesinde büyük bir yaklaşıklık bulunmasına karşılık  $K_1$  ve  $K_2$  değerleri gerçektekine göre bir miktar daha az olmaktadır. Bunun sebebi rakordman egrisinin orta noktasına ait eğiminin civarına göre daha büyük olması, yani bu noktada bir maksimum oluşturmasıdır. Tabii  $K$  değerinin,  $\lambda$  gibi büyük bir aralık için hesaplanmasının da bunda etkisi vardır ve yapılan hesaplar sonucunda bu etkinin  $\lambda = 20$  m. için yüzde 10 civarında olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda 2. dengeleme sonuçlarına göre  $s_3$  değerinin aynen,  $K_1$  ve  $K_2$  değerlerinin ise 1,1 katsayısı ile arttırılarak alınması halinde bu parametrelerin en yaklaşık değerlerinin elde edileceği anlaşılmaktadır.

#### 4.4. İlk Yaklaşımın Yapılması

$s_3$ ,  $K_1$  ve  $K_2$  parametrelerinin yaklaşık değerlerinin yukarıda açıklandığı şekilde belirlenmesinden sonra, bu değerler civarında uygun çözüm aranmasına geçilebilir. Parametrelerin, biraz altındaki ve biraz üstündeki değer-

T1 = 1500 T2 = 615000 S3max = 56.5 Fmax = 56.5 L = 850 m.  
 G = 0 G1 = 0 G2 = 0 Dtx1 = 0 Dtx2 = 0 A = 0

\*\*\* 1 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-1

S3 sinirlari 49 - 51 Step= 1 ToleransT1-T3= 200  
 K1 sinirlari 6.5 - 6.9 Step= .2 ToleransT2-t4= 4000  
 K2 sinirlari 6.6 - 7 Step= .1  
 Olcek1= .05 olcek2= .00025 Olcek3= .0004 Olcek4= .00025 Olcek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	4000 mm.
1 tab karşılığı değerler→)			20 mm.	4000 mm.m.	2500 mm.	4000 mm.	
49.0000	6.5000	6.6000	:	:	+	+	: 173124 8571.3
49.0000	6.5000	6.7000	:	:	+	+	: 172455 8480.8
49.0000	6.5000	6.8000	:	:	+	+	: 171820 8394.3
49.0000	6.5000	6.9000	:	:	+	+	: 171218 8311.5
49.0000	6.5000	7.0000	:	:	+	+	: 170646 8232.3
49.0000	6.7000	6.6000	:	:	+	+	: 157877 7808.1
49.0000	6.7000	6.7000	:	:	+	+	: 157207 7717.6
49.0000	6.7000	6.8000	:	:	+	+	: 156573 7631.1
49.0000	6.7000	6.9000	:	:	+	+	: 155971 7548.4
49.0000	6.7000	7.0000	:	:	+	+	: 155399 7469.1
49.0000	6.9000	6.6000	:	:	+	+	: 143328 7084.2
49.0000	6.9000	6.7000	:	:	+	+	: 142658 6993.7
49.0000	6.9000	6.8000	:	:	+	+	: 142024 6907.2
49.0000	6.9000	6.9000	:	:	+	+	: 141422 6824.4
49.0000	6.9000	7.0000	:	:	+	+	: 140850 6745.2
50.0000	6.5000	6.6000	:	:	+	+	: 166487 8026.2
50.0000	6.5000	6.7000	:	:	+	+	: 165768 7930.1
50.0000	6.5000	6.8000	:	:	+	+	: 165086 7838.1
50.0000	6.5000	6.9000	:	:	+	+	: 164438 7750.1
50.0000	6.5000	7.0000	:	:	+	+	: 163824 7666
50.0000	6.7000	6.6000	:	:	+	+	: 150756 7235.6
50.0000	6.7000	6.7000	:	:	+	+	: 150037 7139.5
50.0000	6.7000	6.8000	:	:	+	+	: 149355 7047.5
50.0000	6.7000	6.9000	:	:	+	+	: 148707 6959.6
50.0000	6.7000	7.0000	:	:	+	+	: 148093 6875.4
50.0000	6.9000	6.6000	:	:	+	+	: 135736 6485.3
50.0000	6.9000	6.7000	:	:	+	+	: 135017 6389.1
50.0000	6.9000	6.8000	:	:	+	+	: 134335 6297.2
50.0000	6.9000	6.9000	:	:	+	+	: 133688 6209.2
50.0000	6.9000	7.0000	:	:	+	+	: 133073 6125
51.0000	6.5000	6.6000	:	:	+	+	: 160243 7507.3
51.0000	6.5000	6.7000	:	:	+	+	: 159471 7405.3
51.0000	6.5000	6.8000	:	:	+	+	: 158739 7307.8
51.0000	6.5000	6.9000	:	:	+	+	: 158045 7214.4
51.0000	6.5000	7.0000	:	:	+	+	: 157385 7125.1
51.0000	6.7000	6.6000	:	:	+	+	: 144023 6688.9
51.0000	6.7000	6.7000	:	:	+	+	: 143251 6586.9
51.0000	6.7000	6.8000	:	:	+	+	: 142520 6489.3
51.0000	6.7000	6.9000	:	:	+	+	: 141825 6396
51.0000	6.7000	7.0000	:	:	+	+	: 141165 6306.6
51.0000	6.9000	6.6000	:	:	+	+	: 128534 5912
51.0000	6.9000	6.7000	:	:	+	+	: 127762 5810
51.0000	6.9000	6.8000	:	:	+	+	: 127031 5712.5
51.0000	6.9000	6.9000	:	:	+	+	: 126336 5619.1
51.0000	6.9000	7.0000	:	:	+	+	: 125676 5529.8

Sekil 4.6

leri arasında, uygun artışlarla (steplerle) değiştirilmesi sırasında, önceden belirlenmiş olan şartlarla amaçların sağlanıp sağlanmadığını izlemek, değişim özelliklerini değerlendirmek mümkün olur (Şekil 4.6).

#### 4.5. Araştırmanın Geliştirilmesi ve Sonucun

##### Elde Edilmesi

$s_3$  değerinin 49 mm. ile 51 mm. arasındaki 1 mm.lik artışlarla değişmesine karşılık K1 ve K2 değerlerinin de 6,5-6,9 ve 6,6-7,0 mm. değerleri arasında 0,2 ve 0,1 mm.'lik artışlarla değişmesi sırasında; sehimler diyagramı alanının, başlangıç noktasına göre olan momentinin, max. ve min. ripaj değerlerinin ve toplam ripajla son noktada oluşan ripaj değerinin değişimi "+" işaretinden oluşan bir grafik olarak şekil 4.6 'da görülmektedir.

Şeklin incelenmesi sonunda sehimler diyagramı alanlarının, parametrelerin bütün değerleri için bile az geldiği  $s_3$  'ün ortalama değer olan 50 mm.nin üzerine çıkarılarak 51 mm. alınması halinde bile bunun sağlanamadığı görülmektedir. Bu arada moment değeri de genelde az gelmekte ancak parametrelerin büyük değerleri civarında yeterli olabilmekte, eğimlerin büyük değerleri içinse fazlalık bile oluşturmaktadırlar. Bu durumda moment dengesi için eğimlerin büyük değerlerinden kaçınmak, alan dengesi içinse bütün parametreleri büyütme gibi bir paradoksla karşılaşmaktadır. Sadece  $s_3$  'ün arttırılmasıyla alanın büyü-

tölmek istenmesi akla gelirse de bu durumda; hem  $s_3$  'ün ortalama 50 mm. lik değerinden iyice uzaklaşılacak hem de  $s_3$  'e bağlı olan R kurb yarıçapının küçültölmesine gidilecek demektir ki bu da uygun bir gelişme sağlamayacaktır. Öyleyse yapılacak başka bir şey kalmaması gibi bir durum ortaya çıkmış olmaktadır. Fakat kurbun, tekniğine uygun yapıldığı, düzeltilmesinin mümkün olacağı da bilindiğine göre ortada bir yanlışlığın olması gerektiği sonucuna varmak zor değildir. Bu yanlışlık ise kurbun başlangıç noktalarından birinin daha önce # 3.5.2 'de açıklandığı üzere yanlış olarak belirlenmiş olması olasılığıdır. Bu olasılık gözönüne alınarak şekil 4.4 ve şekil 4.5 'e dikkatlice bakılacak olursa kurbun başlangıç noktasının, bitim noktasına göre daha fazla bir eğimle birleştiği neredeyse kırık bir nokta oluşturduğu görölebilir ve başlangıç noktasının bir miktar kurb içine doğru kaymış olarak alındığı ortaya çıkar. Bu durumda başlangıç noktasının biraz dışarıya doğru kaydırılmasıyla hem şekilde görölen kırıklık azalarak iyileşme olacak, hem de sehimler diyagramının uzaması nedeniyle, alanıyla momenti de artmış olacaktır. İstenen bütün şartları sağlamaya yönelik bu değişime,  $T_1$  başlangıç noktasının  $\lambda$  kadar kurb dışına doğru kaydırılmasıyla başlanır ve yine aynı parametreler için ilk yaklaşım grafiği yeniden çizilecek olursa (Şekil 4.7) de görölen durum elde edilir. Bu şeklin incelenmesi sonucunda yine alan azlığı görölmesine karşılık, farkın azaldığı ve toplam ripaj değerlerinde de azalma oluştuğu izlenmektedir. Öyleyse başlangıç noktasının ötelenmesi

T1 = 1500 T2 = 645000 S3max = 56.5 Fmax = 56.5 L = 880 m.  
 G = 1 G1 = 1 G2 = 0 Dtx1 = 0 Dtx2 = 0 A = 0

\*\*\* 1 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14

S3 sinirlari 49 - 51 Steo= 1 ToleransT1-T3= 200  
 K1 sinirlari 6.5 - 6.9 Steo= .2 ToleransT2-t4= 40000  
 K2 sinirlari 6.6 - 7 Steo= .1  
 Olcek1= .05 olcek2= .00025 Olcek3= .0004 Olcek4= .00025 Olcek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax		
1 tab karsiligi degerler-->			20 mm.	4000 mm.m.	2500 mm.	4000 mm.		
49.0000	6.5000	6.6000	:	: /	++		: 100284	5047.1
49.0000	6.5000	6.7000	:	: /	++		: 99614	4956.6
49.0000	6.5000	6.8000	:	: /	++		: 98980	4870.1
49.0000	6.5000	6.9000	:	: /	++		: 98378	4787.3
49.0000	6.5000	7.0000	:	: /	+++		: 97806	4708.1
49.0000	6.7000	6.6000	:	: /	+++		: 84207	4261.9
49.0000	6.7000	6.7000	:	: /	+++		: 83537	4171.3
49.0000	6.7000	6.8000	:	: /	+++		: 82903	4084.8
49.0000	6.7000	6.9000	:	: /	+++		: 82301	4002.1
49.0000	6.7000	7.0000	:	: /	+++		: 81729	3922.8
49.0000	6.9000	6.6000	:	: /	+++		: 68872	3517.1
49.0000	6.9000	6.7000	:	: /	+++		: 68202	3426.6
49.0000	6.9000	6.8000	:	: /	+++		: 67568	3340.1
49.0000	6.9000	6.9000	:	: /	+++		: 66966	3257.3
49.0000	6.9000	7.0000	:	: /	+++		: 66394	3178.1
50.0000	6.5000	6.6000	:	: /	+++		: 92735	4445.4
50.0000	6.5000	6.7000	:	: /	+++		: 92016	4349.3
50.0000	6.5000	6.8000	:	: /	+++		: 91334	4257.3
50.0000	6.5000	6.9000	:	: /	+++		: 90686	4169.4
50.0000	6.5000	7.0000	:	: /	+++		: 90072	4085.2
50.0000	6.7000	6.6000	:	: /	+++		: 76144	3631.9
50.0000	6.7000	6.7000	:	: /	+++		: 75425	3535.8
50.0000	6.7000	6.8000	:	: /	+++		: 74743	3443.8
50.0000	6.7000	6.9000	:	: /	+++		: 74096	3355.8
50.0000	6.7000	7.0000	:	: /	+++		: 73481	3271.6
50.0000	6.9000	6.6000	:	: /	+++		:	+ 60310 2859.9
50.0000	6.9000	6.7000	:	: /	+++		:	+ 59590 2763.8
50.0000	6.9000	6.8000	:	: /	+++		:	+ 58908 2671.8
50.0000	6.9000	6.9000	:	: /	+++		:	+ 58261 2583.9
50.0000	6.9000	7.0000	:	: /	+++		:	+ 57647 2499.7
51.0000	6.5000	6.6000	:	: /	+++		: 85600	3870.6
51.0000	6.5000	6.7000	:	: /	+++		: 84828	3768.6
51.0000	6.5000	6.8000	:	: /	+++		: 84096	3671.1
51.0000	6.5000	6.9000	:	: /	+++		: 83402	3577.8
51.0000	6.5000	7.0000	:	: /	+++		: 82742	3488.4
51.0000	6.7000	6.6000	:	: /	+++		: 68490	3028.3
51.0000	6.7000	6.7000	:	: /	+++		: 67718	2926.3
51.0000	6.7000	6.8000	:	: /	+++		: 66986	2828.8
51.0000	6.7000	6.9000	:	: /	+++		: 66292	2735.4
51.0000	6.7000	7.0000	:	: /	+++		: 65632	2646
51.0000	6.9000	6.6000	:	: /	++		:	+ 52157 2228.9
51.0000	6.9000	6.7000	:	: /	++		:	+ 51385 2126.9
51.0000	6.9000	6.8000	:	: /	++		:	+ 50653 2029.4
51.0000	6.9000	6.9000	:	: /	++		:	+ 49959 1936.1
51.0000	6.9000	7.0000	:	: /	++		:	+ 49299 1846.7

Sekil 4.7

T1 = 1500 T2 = 675000 S3max = 56.5 Fmax = 56.5 L = 900 m.  
 G = 2 G1 = 2 G2 = 0 Dtx1 = 0 Dtx2 = 0 A = 0

\*\*\* 1 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14

S3 sinirlari 49 - 51 Step= 1 ToleransT1-T3= 200  
 K1 sinirlari 6.5 - 6.9 Step= .2 ToleransT2-t4= 40000  
 K2 sinirlari 6.6 - 7 Step= .1  
 Olcek1= .05 Olcek2= .0025 Olcek3= .0004 Olcek4= .00025 Olcek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	Tool.	Ripaj	Rson
1 tab karsiligi degerler-->			20 mm.	4000 mm. m.	2500 mm.	4000 mm.	( 4000 mm. eklenecek.)		
49.0000	6.5000	6.6000	∴	∴	++	∴ +	23635	1424.9	
49.0000	6.5000	6.7000	∴	∴	++	∴ +	22965	1334.4	
49.0000	6.5000	6.8000	∴	∴	++	∴ +	22330	1247.8	
49.0000	6.5000	6.9000	∴	∴	++	∴ +	21728	1165.1	
49.0000	6.5000	7.0000	∴	∴	++	∴ +	21157	1085.8	
49.0000	6.7000	6.6000	∴	∴	++	∴ +	8052	617.6	
49.0000	6.7000	6.7000	∴	∴	++	+ 7383	527.1		
49.0000	6.7000	6.8000	∴	∴	++	+ 6748	440.5		
49.0000	6.7000	6.9000	∴	∴	++	+ 6146	357.8		
49.0000	6.7000	7.0000	∴	∴	++	+ 5574	278.5		
49.0000	6.9000	6.6000	∴	∴	++	∴ +	9450	-147.9	
49.0000	6.9000	6.7000	∴	∴	++	∴ +	10120	-238.4	
49.0000	6.9000	6.8000	∴	∴	++	∴ +	10754	-325	
49.0000	6.9000	6.9000	∴	∴	++	∴ +	11356	-407.7	
49.0000	6.9000	7.0000	∴	∴	++	∴ +	11928	-487	
50.0000	6.5000	6.6000	∴	∴	++	∴ +	15108	764.6	
50.0000	6.5000	6.7000	∴	∴	++	∴ +	14389	668.5	
50.0000	6.5000	6.8000	∴	∴	++	∴ +	13706	576.6	
50.0000	6.5000	6.9000	∴	∴	++	∴ +	13059	488.6	
50.0000	6.5000	7.0000	∴	∴	++	∴ +	12445	404.4	
50.0000	6.7000	6.6000	∴	∴	++	+ 2382	-71.8		
50.0000	6.7000	6.7000	∴	∴	++	+ 3101	-168		
50.0000	6.7000	6.8000	∴	∴	++	+ 3783	-259.9		
50.0000	6.7000	6.9000	∴	∴	++				
51.0000	6.5000	6.6000	∴	∴	++	+ 7017	131.9		
51.0000	6.5000	6.7000	∴	∴	++	+ 6245	29.9		
51.0000	6.5000	6.8000	∴	∴	++	+ 6189	-67.6		
51.0000	6.5000	6.9000	∴	∴	++	+ 6572	-160.9		
51.0000	6.5000	7.0000	∴	∴	++	+ 7054	-250.3		
51.0000	6.7000	6.6000	∴	∴	++	∴ +	11205	-734.3	
51.0000	6.7000	6.7000	∴	∴	++	∴ +	11977	-836.3	
51.0000	6.7000	6.8000	∴	∴	++				

Sekil 4.8

olumlu sonuç vermiş demektir. Bu ötelemenin sürdürülmesi ve  $2 \lambda$  değerine yükseltilmesi halinde elde edilecek sonuç ise (şekil 4.8) bir öncekine göre çok daha olumludur ve en iyi sonucun  $s_3 = 50 \text{ mm.}$ ,  $K_1 = 6,7$  ve  $K_2 = 6,7$  değerleri civarında olduğu şeklindedir. Ancak kurbun bitim noktasındaki sıfır olması gereken ripaj değerinin henüz gerçekleştirilemediği de görülmektedir. Bundan sonra yapılacak iş, sınırları, stepleri, tolerans ve ölçekleri uygun miktarlarda değiştirerek ve giderek hassasiyet derecesini arttırarak araştırmaya devam etmektir. 2., 3., 4.,.....ve 5. yaklaşımları yaparak şekil 4.8, şekil 4.9 ,.....ve şekil 4.14 'de görüldüğü üzere sonuca gittikçe yaklaşılabilir. Son aşama olarak da " Pattern Search " metodunun kullanılmasıyla (Gottfried, et al.,1973) en hassas ve en kesin sonuca erişilir (şekil 4.15).



T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      G1 = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      A = 0

\*\*\*\*\*

\*\*\* 1. YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1985-10-14

\*\*\*\*\*

S3 sinirlari 49.5 - 50.5      Step= .5      ToleransT1-T3= 20  
 K1 sinirlari 6.6 - 6.7      Step= .05      ToleransT2-t4= 20000  
 K2 sinirlari 6.6 - 6.7      Step= .05  
 D1cek1= .5      D1cek2= .0005      D1cek3= .005      D1cek4= .0005

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	Topl.Rida;	Rson
1 tab karsiligi degerler-->			2 mm.	2000 mm.m.	200	mm.2000 mm.	( 2000 mm.eklenecek.)	
49.5000	6.6000	6.6000	: /	: /	++	+	10620	674.9
49.5000	6.6000	6.6500	: /	: /	++	+	10268	627.8
49.5000	6.6500	6.6000	: /	: /	++	+	6433	470.9
49.5000	6.6500	6.6500	: /	: /	++	+	6081	423.7
50.0000	6.6000	6.6000	: /	: /	++	+	6273	340.8
50.0000	6.6000	6.6500	: /	: /	++	++	5908	292.2
50.0000	6.6500	6.6000	: /	: /	++	+ 1934	133.1	
50.0000	6.6500	6.6500	: /	: /	++	+ 1569	84.5	
50.5000	6.6000	6.6000	/ :	/ :	++	+ 2033	13.5	
50.5000	6.6000	6.6500	/ :	/ :	++	+ 2121	-36.6	
50.5000	6.6500	6.6000	/ :	/ :	++	+ 3122	-197.9	
50.5000	6.6500	6.6500	/ :	/ :	++	+ 3499	-247.9	

T1 = 1500 T2 = 675000 S3max = 56.5 Fmax = 56.5 L = 900 m.  
 G = 2 B1 = 2 B2 = 0 Dtx1 = 0 Dtx2 = 0 A = 0

\*\*\* 2 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14

S3 sinirlari 49.8 - 50.2 Step= .2 ToleransT1-T3= 4  
 K1 sinirlari 6.65 - 6.68 Step= .01 ToleransT2-t4= 4000  
 K2 sinirlari 6.65 - 6.68 Step= .01  
 Olcek1= 2.5 Olcek2= .0025 Olcek3= .02 Olcek4= .001 Olcek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	Tool.Ripaj	Rson
1 tab karsiligi degerler--))			.4 mm.	400 mm.m.	50 mm.	1000 mm.	( 1000 mm.eklenecek.)	
49.8000	6.6500	6.6700	: +	: +	+: +	: +	3189	200.5
49.8000	6.6600	6.6600	: /	: /	+: +	:+	2439	169
49.8000	6.6600	6.6700	: /	: /	+: +	:+	2368	159.6
49.8000	6.6700	6.6500	: /	: /	+: +	+ 1805	137.7	
49.8000	6.6700	6.6600	: /	: /	+: +	+ 1734	128.2	
49.8000	6.6700	6.6700	: /	: /	+: +	+ 1664	118.7	
50.0000	6.6500	6.6500	: /	: /	++	+ 1569	84.5	
50.0000	6.6500	6.6600	: /	: /	++	+ 1497	74.9	
50.0000	6.6500	6.6700	: /	: /	++	+ 1426	65.4	
50.0000	6.6600	6.6500	: /	: /	++	+ 708	43.3	
50.0000	6.6600	6.6600	: /	: /	++	+ 636	33.7	
50.0000	6.6600	6.6700	: /	: /	++	+ 565	24.2	
50.0000	6.6700	6.6500	: /	: /	++	+ 208	2.2	
50.0000	6.6700	6.6600	: /	: /	++	+ 256	-7.4	
50.0000	6.6700	6.6700	: /	: /	++	+ 327	-16.9	
50.2000	6.6500	6.6500	/ :	/ :	++	+ 312	-49.3	
50.2000	6.6500	6.6600	/ :	/ :	++	+ 385	-59	
50.2000	6.6500	6.6700	/ :	/ :				

T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      G1 = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      A = 0

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* 3 . YAKLASIK GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14  
 \*\*\*\*\*

S3 sinirlari 49.95 - 50.05      Step= .05      ToleransT1-T3= 2  
 K1 sinirlari 6.66 - 6.67      Step= .005      ToleransT2-t4= 2000  
 K2 sinirlari 6.66 - 6.67      Step= .005  
 D1cek1= 5      d1cek2= .005      D1cek3= .02      D1cek4= .0025      D1cek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	Tol. Risaj	Rson
1 tab karşılığı değerler-->			.2 mm.	200 mm.m.	50 mm.	400 mm.	( 400 mm. eklenecek.)	
49.9500	6.6600	6.6600	:	:	++	+	1077	67.4
49.9500	6.6600	6.6650	:	:	++	+	1041	62.7
49.9500	6.6600	6.6700	:	:	++	+	1006	57.9
49.9500	6.6650	6.6600	:	:	++	+ 664	46.9	
49.9500	6.6650	6.6650	:	:	++	+ 629	42.2	
49.9500	6.6650	6.6700	:	:	++	+ 593	37.4	
49.9500	6.6700	6.6600	:	:	++	+ 353	26.4	
49.9500	6.6700	6.6650	:	:	++	+ 317	21.7	
49.9500	6.6700	6.6700	:	:	++	+ 282	16.9	
50.0000	6.6600	6.6600	:	:	++	+ 636	33.7	
50.0000	6.6600	6.6650	:	:	++	+ 600	29	
50.0000	6.6600	6.6700	:	:	++	+ 565	24.2	
50.0000	6.6650	6.6600	:	:	++	+ 215	13.2	
50.0000	6.6650	6.6650	:	:	++	+ 179	8.4	
50.0000	6.6650	6.6700	:	:	++	+ 143	3.6	
50.0000	6.6700	6.6600	:	:	++	+ 256	-7.4	
50.0000	6.6700	6.6650	:	:	++	+ 292	-12.2	
50.0000	6.6700	6.6700	:	:	++	+ 327	-16.9	
50.0500	6.6600	6.6600	:	:	++	+ 197	.1	
50.0500	6.6600	6.6650	:	:	++	+ 226	-4.7	
50.0500	6.6600	6.6700	:	:	++	+ 259	-9.5	
50.0500	6.6650	6.6600	:	:	++	+ 344	-20.5	
50.0500	6.6650	6.6650	:	:	++	+ 380	-25.3	
50.0500	6.6650	6.6700	:	:	++			

Şekil 4.11

T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      G1 = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      A = 0

\*\*\*\*\*

\*\*\* 4 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14

\*\*\*\*\*

S3 sinirlari 49.99 - 50.01      Step= .01      ToleransT1-T3= 2  
 K1 sinirlari 6.66 - 6.67      Step= .005      ToleransT2-t4= 2000  
 K2 sinirlari 6.66 - 6.67      Step= .005  
 Dlicek1= 5      dlicek2= .005      Dlicek3= .04      Dlicek4= .0025      Dlicek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax
1 tab karsiligi degerler-->>			.2 mm.	200 mm.m.	25 mm.	
49.9900	6.6600	6.6600	: /	: /	++	+ 724 40.5
49.9900	6.6600	6.6650	: /	: /	++	+ 688 35.7
49.9900	6.6600	6.6700	: /	: /	++	+ 653 30.9
49.9900	6.6650	6.6600	: /	: /	++	+ 302 19.9
49.9900	6.6650	6.6650	: /	: /	++	+ 266 15.1
49.9900	6.6650	6.6700	: /	: /	++	+ 231 10.4
49.9900	6.6700	6.6600	: /	: /	++	+ 169 -5.6
49.9900	6.6700	6.6650	: /	: /	++	+ 203 -5.4
49.9900	6.6700	6.6700	: /	: /	++	+ 239 -10.2
<hr/>						
50.0000	6.6600	6.6600	: /	: /	++	+ 636 33.7
50.0000	6.6600	6.6650	: /	: /	++	+ 500 29
50.0000	6.6600	6.6700	: /	: /	++	+ 565 24.2
50.0000	6.6650	6.6600	: /	: /	++	+ 215 13.2
50.0000	6.6650	6.6650	: /	: /	++	+ 179 8.4
50.0000	6.6650	6.6700	: /	: /	++	+ 143 3.6
50.0000	6.6700	6.6600	: /	: /	++	+ 256 -7.4
50.0000	6.6700	6.6650	: /	: /	++	+ 292 -12.2
50.0000	6.6700	6.6700	: /	: /	++	+ 327 -16.9
<hr/>						
50.0100	6.6600	6.6600	: /	: /	++	+ 548 27
50.0100	6.6600	6.6650	: /	: /	++	+ 512 22.2
50.0100	6.6600	6.6700	: /	: /	++	+ 477 17.4
50.0100	6.6650	6.6600	: /	: /	++	+ 128 6.4
50.0100	6.6650	6.6650	: /	: /	++	+ 93 1.6
50.0100	6.6650	6.6700	: /	: /	++	+ 95 -3.1
50.0100	6.6700	6.6600	: /	: /	++	+ 344 -14.1
50.0100	6.6700	6.6650	: /	: /	++	+ 380 -18.9
50.0100	6.6700	6.6700	: /	: /	++	

Sekil 4.12

T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      G1 = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      R = 0

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* 5 . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14  
 \*\*\*\*\*

S3 sinirlari 49.995 - 50.005 Step= .005 ToleransT1-T3= 1  
 K1 sinirlari 6.666 - 6.669 Step= .001 ToleransT2-t4= 1000  
 K2 sinirlari 6.666 - 6.669 Step= .001  
 Dizek1= 10      dizek2= .01      Dizek3= .08      Dizek4= .025      Dizek5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax		
i tap karsiligi degerier--))			.1 mm.	100 mm.m.	12.5 mm.	200 mm.	( 200	
49.9950	6.6660	6.6660			++	+ 140	6.7	
49.9950	6.6660	6.6670			++	+ 132	5.7	
49.9950	6.6660	6.6680			++	+ 125	4.8	
49.9950	6.6660	6.6690			++	+ 118	3.8	
49.9950	6.6670	6.6660			++	+ 76	2.6	
49.9950	6.6670	6.6670			++	+ 69	1.6	
49.9950	6.6670	6.6680			++	+ 62	.7	
49.9950	6.6670	6.6690			++	+ 57	-.3	
49.9950	6.6680	6.6660			++	+ 89	-1.5	
49.9950	6.6680	6.6670			++	+ 96	-2.5	
49.9950	6.6680	6.6680			++	+ 103	-3.4	
49.9950	6.6680	6.6690			++	+ 111	-4.4	
49.9950	6.6690	6.6660			++	+ 169	-5.6	
49.9950	6.6690	6.6670			++	+ 176	-6.6	
49.9950	6.6690	6.6680			++	+ 183	-7.5	
49.9950	6.6690	6.6690			++	+ 190	-8.5	
<hr/>								
50.0000	6.6660	6.6660			++	+ 97	3.3	
50.0000	6.6660	6.6670			++	+ 90	2.4	
50.0000	6.6660	6.6680			++	+ 83	1.4	
50.0000	6.6660	6.6690			++	+ 76	.5	
50.0000	6.6670	6.6660			++	+ 63	-.8	
50.0000	6.6670	6.6670			++	+ 70	-1.7	
50.0000	6.6670	6.6680			++	+ 77	-2.7	
50.0000	6.6670	6.6690			++	+ 84	-3.6	
50.0000	6.6680	6.6660			++	+ 133	-4.9	
50.0000	6.6680	6.6670			++	+ 140	-5.8	
50.0000	6.6680	6.6680			++	+ 147	-6.8	
50.0000	6.6680	6.6690			++	+ 154	-7.7	
50.0000	6.6690	6.6660			++	+ 56	0	
50.0050	6.6660	6.6660			++	+ 62	-1	
50.0050	6.6660	6.6670			++	+ 69	-2	
50.0050	6.6660	6.6680			++	+ 76	-2.9	
50.0050	6.6670	6.6660			++	+ 105	-4.2	
50.0050	6.6670	6.6670			++	+ 112	-5.1	
50.0050	6.6670	6.6680			++	+ 119	-6.1	
50.0050	6.6670	6.6690			++	+ 126	-7	
50.0050	6.6680	6.6660			++	+ 177	-8.3	
50.0050	6.6680	6.6670			++	+ 184	-9.2	
50.0050	6.6680	6.6680			++	+ 191	-10.2	
50.0050	6.6680	6.6690			++	+ 198	-11.1	
50.0050	6.6690	6.6660			++			

Sekil 4.13

T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      Gi = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      A = 0

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* S . YAKLASIM GRAFIGI. \*\*\* 1989-10-14  
 \*\*\*\*\*  
 S3 sinirlari 49.999 - 50.001 Step= .001 ToleransT1-T3= 1  
 K1 sinirlari 6.6665 - 6.6675 Step= .0005 ToleransT2-t4= 1000  
 K2 sinirlari 6.6665 - 6.668 Step= .0005  
 Dicesk1= 10 Dicesk2= .01 Dicesk3= .08 Dicesk4= .005 Dicesk5= 0

S3	K1	K2	T1-T3	T2-T4	Rmin	Rmax	200 mm.
1 tab karsiligi degerler-->			.1 mm.	100 mm.m.	12.5 mm.		
49.9990	6.6665	6.6665			++		+ 68 1.5
49.9990	6.6665	6.6670	:	:	++		+ 65 1
49.9990	6.6665	6.6675	:	:	++		+ 61 .5
49.9990	6.6670	6.6665	:	:	++		+ 59 -0.6
49.9990	6.6670	6.6670	:	:	++		+ 62 -1.1
49.9990	6.6670	6.6675	:	:	++		+ 66 -1.5
50.0000	6.6665	6.6665			++		+ 60 .8
50.0000	6.6665	6.6670	:	:	++		+ 56 .3
50.0000	6.6665	6.6675	:	:	++		+ 54 -0.2
50.0000	6.6670	6.6665	:	:	++		+ 66 -1.3
50.0000	6.6670	6.6670	:	:	++		+ 70 -1.7
50.0000	6.6670	6.6675	:	:	++		+ 73 -2.2
50.0010	6.6665	6.6665			++		+ 52 .1
50.0010	6.6665	6.6670	:	:	++		+ 52 -0.4
50.0010	6.6665	6.6675	:	:	++		+ 55 -0.8
50.0010	6.6670	6.6665	:	:	++		+ 74 -1.9
50.0010	6.6670	6.6670	:	:	++		+ 78 -2.4
50.0010	6.6670	6.6675	:	:	++		+ 81 -2.9

T1 = 1500      T2 = 675000      S3max = 56.5      Fmax = 56.5      L = 900 m.  
 G = 2      G1 = 2      G2 = 0      Dtx1 = 0      Dtx2 = 0      A = 0

=====\*\*\*\*\* P ARASTIRMASI BASLIYOR. \*\*\*\*\*=====

1989-10-14 15.46.35

Baslangic degerleri:

S3= 50      K1= 6.66666      K2= 6.66666      kat1= 1      Teos3= .00001      Teok1= .00001      Teok2= .00001  
 \*\*\*\* G= 2      G1= 2      G2= 0      dtx1= 0      dtx2= 0

Bu degerler icin SART KONTROLLARI yapiliyor....SARTLAR SAĞLANIYOR ve bu baslangic noktasi ( Wo ) icin  
 Ro AYAC DEGERLERI belirleniyor.

W1=S3	W2=K1	W3=K2	R degerleri	Teo(1)=Teos3	Teo(2)=Teok1	Teo(3)=Teok2
50	6.66666	6.66666	0 0 .001 .375 48	.00001	.00001	.00001
50	6.66666	6.66666	Ro=( 0 0 7.32422E-04 .375 48 )	temel nokta		1989-10-14

Ribaylar toplaninin en kucuk degeri= 48 ve W1= 50 W2= 6.66666 W3= 6.66666 bulunur.1989-10-14 15.46.55  
 0      0      7.32422E-04      .375      48

#### 4.6. Ripajların Hesabı ve Yeni Şahimler

##### Diyagramının Çizilmesi

Kesin sonuca varıldıktan sonra şahim noktalarında yapılacak ripajların miktarlarını veren ripaj tablosu bilgisayardan kolaylıkla alınabilir (Şekil 4.16). Ayrıca şahimler diyagramının ilk durumu ile çözüm oluşturan son durumunu aynı şekil üzerinde bir arada görmek de mümkündür (Şekil 4.17).



)))))))))

TABLO 1 yaniliyor

(((((((

I	X	F(I)	S(I)	E(I)	E1(I)	E2(I)	Ripaj(I)
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	40	0.00	0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00
3	60	0.00	0.75	-0.75	-0.10	-0.10	-2.00
4	80	5.73	2.43	3.30	-0.05	-0.95	3.00
5	100	2.68	5.42	-2.74	2.45	1.50	2.00
6	120	6.17	9.78	-3.60	-0.29	1.21	-5.00
7	140	22.89	15.32	7.57	-3.89	-2.68	2.00
8	160	17.00	21.68	-4.68	3.68	1.00	0.00
9	180	28.82	28.32	0.50	-1.00	0.00	-1.00
10	200	36.68	34.68	2.00	-0.50	-0.50	2.00
11	220	37.12	40.22	-3.10	1.50	1.00	-1.00
12	240	46.98	44.58	2.40	-1.60	-0.60	0.00
13	260	46.47	47.57	-1.10	0.80	0.20	0.00
14	280	49.65	49.25	0.40	-0.30	-0.10	0.00
15	300	49.80	49.90	-0.10	0.10	-0.00	0.00
16	320	50.00	50.00	0.00	0.00	-0.00	0.00
17	340	51.00	50.00	1.00	0.00	-0.00	2.00
18	360	46.00	50.00	-4.00	1.00	1.00	-4.00
19	380	56.00	50.00	6.00	-3.00	-2.00	2.00
20	400	46.00	50.00	-4.00	3.00	1.00	0.00
21	420	51.00	50.00	1.00	-1.00	-0.00	0.00
22	440	49.50	50.00	-0.50	0.00	-0.00	-1.00
23	460	52.50	50.00	2.50	-0.50	-0.50	3.00
24	480	45.00	50.00	-5.00	2.00	1.50	-3.00
25	500	56.00	50.00	6.00	-3.00	-1.50	3.00
26	520	43.50	50.00	-6.50	3.00	1.50	-4.00
27	540	56.50	50.00	6.50	-3.50	-2.00	2.00
28	560	46.00	50.00	-4.00	3.00	1.00	0.00
29	580	51.50	50.00	1.50	-1.00	-0.00	1.00
30	600	48.00	50.00	-2.00	0.50	0.50	-2.00
31	620	53.00	50.00	3.00	-1.50	-1.00	1.00
32	640	47.90	49.90	-2.00	1.50	0.50	0.00
33	660	49.75	49.25	0.50	-0.50	-0.00	0.00
34	680	47.57	47.57	0.00	0.00	-0.00	0.00
35	700	44.58	44.58	0.00	0.00	-0.01	0.00
36	720	40.22	40.22	0.00	0.00	-0.01	0.00
37	740	34.68	34.68	0.00	0.00	-0.01	0.00
38	760	28.32	28.32	0.00	0.00	-0.01	0.00
39	780	21.68	21.68	0.00	0.00	-0.01	0.00
40	800	15.32	15.32	0.00	0.00	-0.01	0.00
41	820	9.78	9.78	0.00	0.00	-0.01	0.00
42	840	5.42	5.42	0.00	0.00	-0.01	0.00
43	860	2.43	2.43	0.00	0.00	-0.01	0.00
44	880	0.75	0.75	0.00	0.00	-0.01	0.00
45	900	0.10	0.10	0.00	0.00	-0.01	0.00
46	920	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
47	940	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00

RIPAJLAR TOPLAMI (Toplam Ripaj)= 48 mm.



## 5. SONUÇ

Sinüsoidal dever rampalı kurbaların düzeltilmesini gerçekleştirebilecek yeni bir metod bulunması konusunun, tez konusu olarak öngörülmesinden sonra başlanan bu çalışma sonunda, istenilen hedefe erişilmiş ve sinüsoidal dever rampalı, bozulmuş kurbaların düzeltilmesini, bilgisayar aracılığıyla gerçekleştiren, uygulamaya yönelik bir metodun bulunması gerçekleştirilmiştir.

Sinüsoidal dever rampalı kurbalarda, birleştirme eğrisinin de sinüsoidal bir fonksiyon (Klein eğrisi) şeklinde olması, ortaya büyük güçlüklerin çıkmasına neden olmuştur. Zira bu sinüslü terim, çalışmaları, bir çok tepeleri olan bir ülkedeki en yüksek tepeyi bulmaya benzeyen güç bir probleme dönüştürmüştür. Bu zor problemin çözümünü gerçekleştirmek içinse, bilgisayarla olmasına rağmen uzun zaman alan ve konuyu bilen kişilerin sürekli denetimini gerektiren bir nitelikte de olsa, bozuk kurbaların düzeltilmesini gerçekleştirebilen bir bilgisayar programının geliştirilmesi sağlanmıştır.

Kurbun ikinci teget noktasındaki ripaj değerinin, hesaplardaki yuvarlatma hataları nedeniyle sıfır çıkmaması halinde, daha önceleri başvurulmuş, kurbun ideal formundan bir miktar feda edilerek düzeltilmesi metoduna karşılık, geliştirilen yeni metodda, artık buna gerek kalmamakta, hesapların bilgisayarla, yuvarlatma yapılmadan, hassas bir

şekilde yapılabilmesi sayesinde kurbun düzeltilmesi, hem teorik formunun tamamen korunması, hem de teget noktasındaki ripajının sıfır olmasının sağlanmasıyla yapılabilmektedir.

Bozulmuş sinüsoidal dever rampalı kurbaların bilgisayar aracılığı ile düzeltilmesi çalışmalarının sonunda elde edilen bir diğer önemli sonuç da, kurbaların başlangıç ve bitim noktalarının bilinmesinin, düzeltme çalışmalarında fevkalade önemli bir rol oynadığının ortaya çıkarılması olmuştur.

Sözkonusu noktaların bilinmemesi halinde bunların araştırılıp bulunmasının öncelikle yapılması gereken bir husus olduğu, bu noktalar bulunmadan yapılacak araştırma çalışmalarının hiçbir zaman kurbaların düzeltilmesini ekonomik olarak gerçekleştiremeyeceği ortaya çıkarılmıştır.

Geliştirilen bilgisayar programında bu noktaların araştırılıp bulunması sırasında ekonomi de gözetilebilmekte, kurb boyunca yapılacak ripajlar toplamının minimum olması da sağlanabilmektedir. Tabii bulunan bu noktaların ilerideki periyodik bakımlar sırasında yeniden araştırılmasına gerek kalmaması için emniyetli bir şekilde röperlenmesinin yararlı olacağını belirtilmesi ve önerilmesi de faydalı bir nokta olarak görülmektedir.

## 6. ARASTIRMA TEKNIGINE AIT BILGISAYAR PROGRAMI

Sinüsoidal dever rampaları bulunan kurbaların düzeltilmeleri konulu tez çalışmalarına başlandığı 1980 yılı sıralarında akademiye yeni alınmış bulunan ve o zaman için harika bir alet gözüyle bakılan " Interdata " markalı bilgisayarla başlayan çalışmalarıma 1982 yılından itibaren " Monroe " adlı PC 'lerde devam edilmiştir. EC 8800 serisi olan bu bilgisayarlar PC ve ileri BASIC sahibi olmalarına rağmen günümüzde hakim olan IBM PC 'lerle maa- lesef uyumlu degillerdir. Bugün için hız bakımından da yaklaşık 4 kat geride kalmış olan bu bilgisayarlarla ya- zılmış olan programın tamamı, izleyen sayfalarda yer almaktadır. Çok emek verilmiş olan bu programın bu sayfa- larda hatıra olarak kalmaması için ilk fırsatta günümüz PC 'lerine çevrilmesi ve bu sırada daha da geliştirilmesini arzuladığımı da bu arada belirtmek isterim.

```

10 NU TRACC
20 EXTEND
30 SINGLE
40 OPEN "or:" AS FILE 1
50 ; #1 CHR$(29)
60 ! ; #1 "DOK : ekim15 15-10-1989 saat 13 50 den ..... 'a kadar " ; : : #1 TIME$
70 ; #1
80 READ NX, YX, GX, G1X, G2X, EnbykX, YakInox, Dtx1, Dtx2, A1X
90 DATA 44, 20, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 0
100 READ WnX, AnX, An1X, An2X, KatX
110 DATA 3, 5, 2, 3, 4
120 READ A$, B$, C$, D$, E$, P$
130 DATA 'grafikcizm', 'tabloiyao', 'grafik2cizm', 'tablo2yaam', 'ykorfcizm', 'atarastyaama'
140 Aax=2+N1+2*G1 : Bbx=3*Aax : L7X=G1+1-G1X : L6X=L7X-1 : Lk3X=G1+N1+G2X
150 L=(NX-1+G1X+G2X)*Y1+Dtx1+Dtx2 : L8=L7X*Y1-Dtx1
160 Y1X=1000*YX : Y2=1000*YX*YX*YX : Y3=500*YX*YX : Y4=2*Y1

```

```

DIM X(AaX), F(AaX), Df(AaX), Ddf(AaX), S(AaX), E(AaX), E1(AaX), Eei(AaX), Ripaj(AaX), Tep(WnX), D(AaX), Dd(AaX), Fo(AaX), F1(AaX)
DIM K1(BbX), K2(BbX), S3(BbX), T7(BbX), T8(BbX), L1(BbX), L2(BbX), Ripajmax(BbX), Ripajmin(BbX), Eri(BbX), Er2(BbX)
DIM W(WnX), W8(WnX), W1(WnX), W2(WnX), W3(WnX), Tep(WnX), R(AaX), R0(AaX), A(AaX), Aitsinirlar(WnX), Ustsinirlar(WnX)
DEF FNS1(X1)=(X1/L1-SIN(Y4*X1/L1)/Y4)*Y3/Re
DEF FNS2(X2)=(X2/L2-SIN(Y4*X2/L2)/Y4)*Y3/Re
FOR IX=0 TO AaX : X(IX)=IX*YX : NEXT IX
FOR IX=1+6X TO N2+6X
  READ F(IX) : F1(IX)=F(IX)
  T1=T1+F(IX) : T2=T2+(IX-6X-1)*YX*F(IX) : IF F(IX) > S3max S3max=F(IX)
NEXT IX
DATA 0, 5.7323, 2.6778, 6.1737, 22.8913, 17.0018, 28.8212, 36.6774, 37.1249, 46.9888, 46.4683, 49.6471, 49.8034, 50
DATA 51, 46.56, 46.51, 49.5, 52.5, 45.56, 43.5, 56.5, 46.51, 5, 48,
DATA 53, 47.9034, 49.7471, 47.5683, 44.5888, 40.2249, 34.6774, 28.3212, 21.6788, 15.3226, 9.7751, 5.4192, 2.4317, .7529, .0956, 8
T2=T2+61X*YX*T1+Dtx1*T1
! : #1, 'T1 =' ; T1 ; '   T2 =' ; T2 ; '   S3max =' ; S3max ;
REM "S3, K1 ve K2 'nin yaklasik degerleri, sinirlari belirliyor."
A5=4 : GOSUB 6200
A6=.3 : A7=.9
FOR IX=6X+1 TO N2+6X : REM "                               S3ort icin hesap yapiliyor."
  IF ABS(Ddf(IX)) <= A6 Ddf(IX)=0
  IF ABS(Df(IX)) <= A6 Df(IX)=0
  IF F1(IX) < Fmax A7 GOTO 410
  IF Df(IX)=0 AND Ddf(IX)=0 GOTO 400 ELSE GOTO 410
  Q4=Q4+1 : Q5=Q5+IX : Q6=Q6+F1(IX)
NEXT IX
S3ort=Q6/Q4 : S3basi=INT(Q5/Q4+.6-Q4/2) : S3sonu=INT(S3basi+Q4-1)
FOR IX=6X+5 TO S3basi-3 : REM "                               K1ort ve K2ort icin hesap yapiliyor."
  IF Df(IX) < Dfmin A7 460
  Q1=Q1+1 : Q2=Q2+IX : Q3=Q3+Df(IX)
NEXT IX
FOR IX=S3sonu+3 TO N2+6X-4
  IF Df(IX) < Dfmin A7 500
  Q7=Q7+1 : Q8=Q8+IX : Q9=Q9+ABS(Df(IX))
NEXT IX
K1ort=Q3/Q1 : K1basi=INT(Q2/Q1+.6-Q1/2) : K1sonu=K1basi+Q1-1
K2ort=Q9/Q7 : K2basi=INT(Q8/Q7+.6-Q7/2) : K2sonu=K2basi+Q7-1
IF A4=4 500
FOR IX=6X+1 TO N2+6X : F1(IX)=F(IX) : NEXT IX
A5=A5 : Fmax=0 : Dfmax=0 : Dfmin=0 : GOSUB 6200
S3ort=0 : K1ort=0 : K2ort=0
FOR IX=S3basi TO S3sonu : S3ort=S3ort+F1(IX) : NEXT IX : S3ort=S3ort/(S3sonu-S3basi+1)
FOR IX=K1basi TO K1sonu : K1ort=K1ort+D(IX) : NEXT IX : K1ort=K1ort/(K1sonu-K1basi+1)
FOR IX=K2basi TO K2sonu : K2ort=K2ort+D(IX) : NEXT IX : K2ort=ABS(K2ort)/(K2sonu-K2basi+1)
S3alt=INT(S3ort-.5) : S3ust=INT(S3ort+.5) : IF S3ust < Fmax S3ust=INT(Fmax)
K1alt=.1*INT(10*K1ort-1) : K1ust=.1*INT(10*K1ort+5)
K2alt=.1*INT(10*K2ort-1) : K2ust=.1*INT(10*K2ort+8)
GOTO 620 : ; #1 '   Fmax =' ; Fmax ; '   L =" ; L ; ' m.'
; #1 '   G =' ; G ; '   G1 =' ; G1 ; '   G2 =' ; G2 ; '   Dtx1 =' ; Dtx1 ; '   Dtx2 =' ; Dtx2 ; '   A =' ; A ; ' ; #1
IF A6() "grafikiciz" GOTO 730
IF A5().1 GOTO 626 ELSE ; #1 '   ***** HATTIN SEHIMLER DIYAGRAMI ***** ; #1 : GOTO 530
; #1 '   ***** ' ; A5 ; '. DENGELEMEDEN SONRAKI SEHIMLER DIYAGRAMI ***** ' ; #1
; #1 : ; #1 : GOTO 644 : ; #1 'I=' ; S3basi ; 'den' ; S3sonu ; 'ye kadar ' ; ' S3ort=' ; S3ort ; '   S3max=' ; Fmax
; #1 'I=' ; K1basi ; 'den' ; K1sonu ; 'ye kadar ' ; ' K1ort=' ; K1ort ; '   K1max=' ; Dfmax
; #1 'I=' ; K2basi ; 'den' ; K2sonu ; 'ye kadar ' ; ' K2ort=' ; K2ort ; '   K2max=' ; ABS(Dfmin)

```

```

644 ; #1 STRING$(98,61)
650 ; #1 " I X F(I) fark f.farki" : REM yuvarlatilmis";
660 REM ; #1 " farklar Df(I) Ddf(I)" : ; #1 STRING$(98,61)
666 ; #1 STRING$(98,61)
670 FOR IX=L6X TO Lk3X+1
680 C7=INT(F1(IX)+37.5)
690 ; #1 USING '### ###.## ##.# ##.#' IX X(IX) F1(IX) D(IX) Dd(IX);
700 ; #1 TAB(C7) "*" : REM ; ; #1 USING '#####.#' TAB(95) Df(IX) TAB(104) Ddf(IX)
710 NEXT IX
720 ; #1 STRING$(98,61) : STOP
730 ZTenyi=990000 : REM " .....SINIRLAR..STEPLER..TOLERANSLAR..OLCEKLER....."
740 ! GOTO 770 : REM "##### ISTDINDIGI TAKDIRDE parametrelere belirli degerler veriliyor. #####"
750 S3alt=50 : S3ust=50.1 : K1alt=5.66667 : K1ust=6.8 : K2alt=5.66667 : K2ust=6.8
760 YakInoX=5 : Teos3=.01 : Tepk1=.01 : Tepk2=.02 : KatX=1 : GOTO 890 : REM 770,890 veya 3110 'a gidilecek
770 Altsinirlar(1)=S3alt : Ustsinirlar(1)=S3ust
780 Altsinirlar(2)=K1alt : Ustsinirlar(2)=K1ust
790 Altsinirlar(3)=K2alt : Ustsinirlar(3)=K2ust
800 FOR IX=1 TO WnX : REM ' ))))))))))) Yeni Sinirlar ve yeni Stepler Hesaplaniyor. ((((((((((
810 Fark=Ustsinirlar(IX)-Altsinirlar(IX) : IF Fark(.001 Fark=.001
820 GOSUB 8500
830 Tep(IX)=Step : Altsinirlar(IX)=Altsinirlar(IX)-Step : Ustsinirlar(IX)=Ustsinirlar(IX)+Step
840 NEXT IX
850 Teos3=Tep(1) : Tepk1=Tep(2) : Tepk2=Tep(3)
860 S3alt=Altsinirlar(1) : K1alt=Altsinirlar(2) : K2alt=Altsinirlar(3)
870 S3ust=Ustsinirlar(1) : K1ust=Ustsinirlar(2) : K2ust=Ustsinirlar(3)
880 IF YakInoX=0 A1=.1 : A2=.1 : A3=.1 : A4=1 : A5=2 : GOTO 940
890 IF YakInoX=1 A1=1 : A2=1 : A3=1.25 : A4=2 : A5=1.6 : GOTO 940
900 IF YakInoX=2 A1=5 : A2=5 : A3=5 : A4=4 : A5=1.5 : GOTO 940
910 IF YakInoX=3 A1=10 : A2=10 : A3=5 : A4=10 : A5=1.4 : GOTO 940
920 IF YakInoX=4 A1=10 : A2=10 : A3=10 : A4=10 : A5=1.3 : GOTO 940
930 IF YakInoX=5 A1=20 : A2=20 : A3=20 : A4=20 : A5=1.25
940 Tol1=20/A1 : Tol2=20000/A2
950 D1cek1=.5*A1 : D1cek2=.0005*A2 : D1cek3=.004*A3 : D1cek4=.00025*A4
960 IF E$(0'Ykorfiz' 1020
970 ; #1 STRING$(91,42)
980 ; #1 CHR$(30X) ' *** 'YakInoX';.' ' YAKLASIM GRAFIGI. *** ' ; ; #1 CHR$(29) ; ; #1 TIME$
990 ; #1 STRING$(91,42)
1000 GOSUB 7000
1010 GOSUB 8300
1020 REM " ++++++ ARASTIRMA baslangici ++++++"
1030 Yeni3alt=200 : Yeni3alt=20 : Yeni3ust=20 : Yeni3ust=0 : Yeni3ust=0 : Yeni3ust=0 : V=0
1040 K1a=K1alt : K1u=K1ust : K2a=K2alt : K2u=K2ust
1050 FOR S3=S3alt TO S3ust STEP Teos3
1060 Re=Y3/S3 : Z7min=990000 : K3=Y2/Re/300 : K4=Y2/Re/(L-300) : ; 'R='Re,'K3='K3,'K4='K4
1070 K1alt=K1a : K1ust=K1u : K2alt=K2a : K2ust=K2u
1200 GOTO 1240 : IF (K1ust)/K3 K1ust=5.66667
1210 ; "K1ust buyuk (';K1u;") 1(300m.oluyor.K1ust=";K1ust;"aliniyor(L=300m)"
1220 IF (K2ust)/K3 K2ust=5.66667
1230 ; "K2ust buyuk (';K2u;") 1(300m.oluyor.K2ust=";K2ust;"aliniyor(L=300m)"
1240 FOR K1=K1alt TO K1ust STEP Tepk1
1250 M1=Y1X/K1
1260 L1=Y2/Re/K1
1270 T3=0 : T4=0 : T5=0 : Z1=0 : Z2=0
1280 FOR K2=K2alt TO K2ust STEP Tepk2
1290 ; S3,K1,K2 : ! ; GRN S3, RED K1, blu K2
1300 M2=Y1X/K2
1310 L2=Y2/Re/K2
1320 L3=L-L1-L2
1330 IF M1(1600 OR M2(1600 GOTO 2900 : REM *** SAGLANACAK SARTLARIN Birircisi **
1340 IF L3(0 2900
1350 Ta3=.5*S3*(2*L-L1-L2)/YX
1360 IF ABS(T1-Ta3))Tol1 GOTO 2900 : REM ' ** ALAN KONTROLU **

```

```

1370 Ta4=.5*S3*(L4-L*L2+.282673*(L2*L2-L1*L1))/YX
1380 IF ABS(T2-Ta4))To12 GOTO 2900 : REM ' ** MOMENT KONTROLU **
1390 REM '
1400 Lk1X=INT((L1+L8)/YX) : Lk2X=INT((L1+L3+L8)/YX)
1420 FOR IX=L7X TO Lk1X
1430 X1=X(IX)-L7X*YX+Dtx1
1440 S(IX)=FNS1(X1)
1450 NEXT IX
1470 FOR IX=Lk1X+1 TO Lk2X
1480 S(IX)=S3
1490 NEXT IX
1510 FOR IX=Lk2X+1 TO Lk3X
1520 X2=L8+L-X(IX)
1530 S(IX)=FNS2(X2)
1540 NEXT IX
1550 T5=T3 : T6=T4
1560 T3=0 : T4=0
1570 REM '          eeeeeeee          T3 Schimler toplami hesaplaniyor          eeeeeeee'
1580 FOR IX=L7X TO Lk3X
1590 T3=T3+S(IX)
1600 NEXT IX
1610 IF ABS(T1-T3))To11 2900
1620 IF T5=0 1680
1630 IF T1)T3 AND T3)T5 2910
1640 IF Z1=0 1680
1650 IF T1)T3 AND T3)T5 2910
1660 Z1=Z1+1
1670 REM '          eeeeeeee          T4 Schimlerin momentleri toplami hesaplaniyor.          eeeeeeee'
1680 FOR IX=L7X TO Lk3X
1690 T4=T4+(IX-L7X)*S(IX)*YX
1700 NEXT IX
1710 T4=T4+Dtx1*T3
1720 ; , 'T1=';T1,'T2=';T2,'t3=';T3,'t4=';T4
1730 ; , , 'Ta3=';Ta3,'Ta4=';Ta4
1740 IF ABS(T2-T4))To12 2900
1750 IF T6=0 1800
1760 IF T2)T4 AND T4)T6 2910
1770 IF Z2=0 1800
1780 IF T2)T4 AND T4)T6 GOTO 2910
1790 Z2=Z2+1
1800 Ripajmax=0 : Ripajmin=0 : REM '          ))))          Ripajlar hesaplaniyor.          (((((
1810 E1(L6X)=0 : Ee1(L6X)=0 : Er1=0 : Er2=0
1820 FOR IX=L6X TO Lk3X+1
1830 E(IX)=F1(IX)-S(IX)
1840 E1(IX+1)=E1(IX)+E(IX)
1850 Ee1(IX+1)=Ee1(IX)+E1(IX+1)
1860 Ripaj(IX+1)=2*Ee1(IX+1)
1870 IF Ripaj(1+IX) 0 1900
1880 Er1=Er1+Ripaj(IX+1)
1890 GOTO 1910
1900 Er2=Er2+Ripaj(1+IX)
1910 IF Ripaj(IX+1))Ripajmax Ripajmax=Ripaj(IX+1)
1920 IF Ripaj(1+IX) (Ripajmin Ripajmin=Ripaj(1+IX)
1940 NEXT IX
1950 Rson=Ripaj(Lk3X) : Rson=.1*INT(10/Rson)
1960 REM '          ***** YAKLASIM GRAFIGI ciziliyor.....*****'

```





```

2450 FOR IX=L6% TO Lk3%+1
2460 B=.01*INT(F(IX)*100+.5)
2470 C=.01*INT(S(IX)*100+.5)
2480 D=.01*INT(E(IX)*100+.5)
2490 E=INT(Ripaj(IX+1)+.5)
2500 ; #1 USING "### ##" IX X(IX);
2510 ; #1 USING "#####.##" B;C;D;E1(IX);Ee1(IX);E
2520 NEXT IX
2530 ; #1 STRING$(102,42)
2540 ; #1 " RIPAJLAR TOPLAMI (Toplam Ripaj)=";INT(Z8);'mm.' : STOP
2550 IF C$(0)'grafik2ciz' GOTO 2800 : REM '(*ykrfcizme" denemesi lazim.)'
2560 ; #1 ' )))))))' GRAFIK 2 ciziliyor ((((((((' ; #1
2570 GOSUB 7000
2580 GOSUB 8000
2590 GOSUB 8100
2600 ; #1 STRING$(102,42)
2610 ; #1 " I X F(I) S(I) E(I) Ripaj"
2620 ; #1 STRING$(102,42)
2630 FOR IX=L6% TO Lk3%+1
2640 B=INT(F1(IX)+27.5) : C=INT(S(IX)+27.5)
2650 ; #1 USING '### ###.## #.##.#' IX X(IX) F1(IX) S(IX);
2660 IF B=C 2740
2690 IF B<C 2720
2700 ; #1 TAB(C) "+" TAB(B) "*" TAB(88) " " : ; #1 USING '###.# ###.#' E(IX) Ripaj(IX+1) : GOTO 2750
2720 ; #1 TAB(B) "*" TAB(C) "+" TAB(88) " " : ; #1 USING '###.# ###.#' E(IX) Ripaj(IX+1) : GOTO 2750
2740 ; #1 TAB(B) "*" TAB(88) " " : ; #1 USING '###.# ###.#' E(IX) Ripaj(IX+1)
2750 NEXT IX
2760 ; #1 STRING$(102,42)
2770 ; #1 " RIPAJLAR TOPLAMI (Toplam Ripaj)=";INT(Z8);'mm.' : STOP
2780 FOR U=1 TO 9 : ; #1 : NEXT U
2790 GOTO 2840
2800 IF V.1 2830
2810 GOSUB 7000
2820 GOSUB 8000
2830 GOSUB 8100
2840 V=V+1
2850 IF D$(0)'tablo2yao' GOTO 2900 : REM ' ((( Table 2 icin degerler depolaniyor. )))'
2860 K1(V)=K1 : K2(V)=K2 : S3(V)=S3
2870 T7(V)=T1-T3 : T8(V)=T2-T4 : L1(V)=L1 : L2(V)=L2
2880 Ripajmax(V)=Ripajmax : Ripajmin(V)=Ripajmin : Er1(V)=Er1 : Er2(V)=Er2
2890 ; K2 : ! ; YEL K2
2900 NEXT K2
2910 NEXT K1
2920 ; #1 STRING$(80,45)
2930 NEXT S3
2940 IF E$(0)'ykrfciz' 3000
2950 S3alt=Yenis3alt : S3ust=Yenis3ust
2960 K1alt=Yenik1alt : K1ust=Yenik1ust
2970 K2alt=Yenik2alt : K2ust=Yenik2ust
2980 IF Yakino% = Enbyk% GOTO 3000

```

```

2990 YakinoX=YakinoX+1 : GOTO 770
000 V1=V : ; #1 : ; #1 : ; #1
010 IF D$( )'tablo2yap' 3090
020 ; #1 '          )))))))))))      TABLO 2 yaniliyor          (((((((((( : ; #1
030 GOSUB 7000
040 GOSUB 8000
050 FOR V=1 TO V1
060 ; #1 TAB(1) V TAB(10) K1(V) TAB(17) K2(V) TAB(27) S3(V) TAB(37) T7(V) TAB(47) T8(V) TAB(57) L1(V)
070 ; #1 TAB(67) L2(V) TAB(77) Risa_max TAB(85) Risa_min TAB(93) Er1(V) TAB(101) Er2(V)
080 NEXT V
090 IF P$( )'oatarastyap' GOTO 8800
095 TRACE
100 S3alt=S3eniye : K1alt=K1eniye : K2alt=K2eniye : kat1=2 : Z7eniye=990000
110 ; #1 '          =====***** P ARASTIRMASI BASLIYOR. *****' : ; #1
120 W0(1)=S3alt : W0(2)=K1alt : W0(3)=K2alt : Teo(1)=Teo3 : Teo(2)=Teok1 : Teo(3)=Teok2
130 ; #1 TIME$ : ; #1 'Baslangic degerleri:'
140 ; #1 '=====
150 ; #1 'S3=';W0(1);'K1=';W0(2);'K2=';W0(3);' kat1=';kat1;' Teo3=';Teo(1);' Teok1=';Teo(2);' Teok2=';Teo(3)
160 ; #1 ' *** G=';G1;' G1=';G1;' G2=';G2;' dtx1=';Dtx1;' dtx2=';Dtx2
170 FOR J=1 TO WnX : W(J)=W0(J) : NEXT J
180 ; #1 'Bu degerler icin SART KONTROLLARI yaniliyor....';
190 GOSUB 5000
200 IF Sarr$='+' GOTO 3200
210 IF L1)L W(2)=W(2)+ABS(.2*W(2)+.1) : ; #1 ' l1)1 ', 'K1=';W(2);'aliniyor....'; : GOTO 3180
220 IF L2)L W(3)=W(3)+ABS(.2*W(3)+.1) : ; #1 ' L2)1 ', 'K2=';W(3);'aliniyor....'; : GOTO 3180
230 IF L1(300 OR M1(1600 W(2)=W(2)-ABS(.2*W(2)+.1) : ; #1 ' l1(300 veya M1(1600 ', 'K1=';W(2);'aliniyor....'; : GOTO 3180
240 IF L2(300 OR M2(1600 W(3)=W(3)-ABS(.2*W(3)+.1) : ; #1 ' L2(300 veya M2(1600 ', 'K2=';W(3);'aliniyor....'; : GOTO 3180
250 IF L3(0 AND L1)L2 W(2)=W(2)+ABS(.2*W(2)+.1) : ; #1 ' L3(0 ve l1)L2 ', 'K1=';W(2);'aliniyor....'; : GOTO 3180
260 IF L3(0 AND L1(L2 W(3)=W(3)+ABS(.2*W(3)+.1) : ; #1 ' L3(0 ve l1(L2 ', 'K2=';W(3);'aliniyor....'; : GOTO 3180
270 IF L3(0 AND L1=L2 W(2)=W(2)+ABS(.2*W(2)+.1) : ; #1 ' L3(0 ve l1=L2 ', 'K1=';W(2);'aliniyor....'; : GOTO 3180
280 ; #1 'SARTLAR SAELANIYOR ve bu baslangic noktası ( W0 ) icin R0 AMAC DEGERLERI belirleniyor.'
290 ; #1 STRING$(110,61)
300 ; #1 'W1=S3          M2=K1          M3=K2          R degerleri          Teo(1)=Teo3          Teo(2)=Teok1          Teo(3)=Teok2'
310 ; #1 STRING$(110,61)
320 GOSUB 5200
330 GOSUB 5400
340 FOR J=1 TO AnX : R0(J)=R(J) : A(J)=R(J) : NEXT J
350 ; #1 : FOR K=1 TO WnX : ; #1 W(K), : NEXT K : ; #1 ' R0=(';R0(1);R0(2);R0(3);R0(4);R0(5);') temel nokta', TIME$
360 OPEN "null:" AS FILE 1 : ; KatX : ! ; CYA KatX
370 Teomax=0 : I2=0 : I3=0 : ; #1 ' W0 NOKTASI CIVARINDA ARASTIRMA BASLIYOR...'

```

```

3380 FOR J=1 TO Wn%
3390 ; RED W(J),Tep(J),
3400 ; #1 'W(';J;') degeri Tep(';J;')=';Tep(J);' kadar arttiriliyor....';
3410 IF Tep(J).00001 GOTO 3680
3420 W(J)=W(J)+Tep(J)
3430 ; BLU W(J)
3440 ; #1 ' 1.DEFA SART KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5000
3450 IF Sarti='+' GOTO 3560
3460 ; #1 'W(';J;') degeri -2*Tep(';J;')=';-2*Tep(J);' kadar arttiriliyor....';
3470 W(J)=W(J)-2*Tep(J)
3480 ; #1 ' 2. DEFA SART KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5000
3490 IF Sarti='- ' GOTO 3620
3500 ; #1 ' 2. Defa 1.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5200
3510 IF Birgrupamaclar='-' ; #1 ' 1.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3620
3520 IF R(1))0 OR R(2))0 GOTO 3650
3530 ; #1 ' 2. Defa 2.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI YAPILYOR....'; : GOSUB 5400
3540 IF Ikigrupamaclar='-' ; #1 ' 2.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3620
3550 GOTO 3650
3560 ; #1 ' 1. Defa 1.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5200
3570 IF Birgrupamaclar='-' ; #1 ' 1.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3460
3580 IF R(1))0 OR R(2))0 GOTO 3660
3590 ; #1 ' 1. Defa 2.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI YAPILYOR....'; : GOSUB 5400
3600 IF Ikigrupamaclar='-' ; #1 ' 2.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3460
3610 GOTO 3660
3620 ; #1 'W(';J;') degeri Tep(';J;')=';Tep(J);' kadar arttirilerek GERIYE donuluyor....';
3630 W(J)=W(J)+Tep(J)
3640 I3=I3+1 : GOTO 3670
3650 Tep(J)=-Tep(J)
3660 FOR K=1 TO An% : A(K)=R(K) : NEXT K
3670 IF ABS(Tep(J))>Tepmax Tepmax=ABS(Tep(J)) : I2=J
3680 NEXT J
3690 ; #1 'W1 noktası kontrol ediliyor ve....';
3700 IF I3<=Wn%-1 GOTO 3740
3710 ; #1 'tep-1*teo aliniyor....';
3720 Tep(I2)=-1*Tep(I2) : IF ABS(Tep(I2)).00001 GOTO 3720
3730 GOTO 3350
3740 Kati=Kat% : FOR J=1 TO Wn% : W1(J)=W(J) : NEXT J : ; VEL Kat%
3750 ; #1 'W0 ve W1 e gore W2 noktası bulunuyor. (';Kati;'kat%')....'; : GOTO 3770
3760 ; #1 ' (';Kati;'kat%')....';
3770 FOR J=1 TO Wn% : W2(J)=W0(J)+Kati*(W1(J)-W0(J)) : W(J)=W2(J) : NEXT J
3780 ; #1 ' 3. DEFA SART KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5000
3790 IF Sarti='- ' GOTO 3910
3800 ; #1 ' 3. Defa 1.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI yapiliyor....'; : GOSUB 5200
3810 IF Birgrupamaclar='-' ; #1 ' 1.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3910
3820 IF R(1))0 OR R(2))0 GOTO 3850
3830 ; #1 ' 3. Defa 2.Grup AMAC degerleri hesaplaniyor ve KONTROLLARI YAPILYOR....'; : GOSUB 5400
3840 IF Ikigrupamaclar='-' ; #1 ' 2.Grup amaclar IYILESMIYOR....'; : GOTO 3910
3850 FOR J=1 TO Wn%
3860 W0(J)=W2(J)
3870 W(J)=W2(J)
3880 NEXT J : OPEN 'or:' AS FILE 1

```

```

3890 ; #1 '***** W2 noktasi UYGUN; Temel nokta olarak Wo=W2 aliniyor.' ; ; #1 STRING$(40,43)
3900 GOTO 3340
3910 IF Kati)2.i Kati=Kati-1 ; ; Kati ; ; MAG Kati : GOTO 3760
3920 FOR J=1 TO Wn%
3930 W0(J)=W1(J)
3940 W(J)=W1(J)
3950 NEXT J : OPEN 'or:' AS FILE 1
3960 ; #1 '***** W2 noktasi UYGUN DEGIL; Temel nokta olarak Wo=W1 aliniyor.' ; ; #1 STRING$(33,45)
3970 FOR K=1 TO An% : R0(K)=A(K) : NEXT K : GOTO 3350
5000 REM '          eeeeeee SART KONTROLU ICIN ALT PROGRAM eeeee'
5010 S3=W(1) : K1=W(2) : K2=W(3) : Sart$='+'
5020 Re=Y3/S3
5030 M1=Y1X/K1
5040 L1=Y2/Re/K1
5050 M2=Y1X/K2
5060 L2=Y2/Re/K2
5070 L3=L-L1-L2
5080 IF L1)L OR L2)L OR M1(1600 OR M2(1600 OR L1(300 OR L2(300 OR L3(0 Sart$='-') : ; #1 'Sartlar saglanmiyor....':
5090 RETURN
5200 REM '          eeeeeee 1.GRUP AMACLAR ICIN ALT PROGRAM eeeee'
5210 T3=.5*S3*(2*L-L1-L2)/Y% : Birgrupamaciar$='+' : R(1)=INT(ABS(T1-T3)+.5) : IF R(1)(1 R(1)=0
5220 T4=.5*S3*(L*L-L*L2+.282673*(L2*L2-L1*L1))/Y% : R(2)=INT(ABS(T2-T4)+.5) : IF R(2)(1000 R(2)=0
5230 FOR K=i TO An1%
5240 IF R(K) A(K) 5270
5250 IF R(K)+50)A(K) Birgrupamaciar$='-') : GOTO 5270
5260 NEXT K
5270 RETURN
5400 REM '          eeeeeeeeeeeeeeeeeee 2.GRUP AMACLAR ICIN ALT PROGRAM eeeeeee
5410 REM ' eeeeeee * S * HESAPLANIYOR. eeeeeee'
5420 Lk1X=INT((L1+L8)/Y%) : Lk2X=INT((L1+L3+L8)/Y%)
5430 FOR Ix=L7% TO Lk1%
5440 X1=X(Ix)-L7%*Y%+Dtx1
5450 S(Ix)=FNS1(X1)
5460 NEXT Ix
5470 FOR Ix=Lk1X+1 TO Lk2%
5480 S(Ix)=S3
5490 NEXT Ix
5500 FOR Ix=Lk2X+1 TO Lk3%
5510 X2=L+L8-X(Ix)
5520 S(Ix)=FNS2(X2)
5530 NEXT Ix
5540 T3=0 : T4=0 : REM '          eeeeeeeeeee T3 hesaplaniyor eeeeeeeee'
5550 FOR Ix=L7% TO Lk3%
5560 T3=T3+S(Ix)
5570 NEXT Ix
5580 REM '          eeeeeeeeeeeeeee T4 hesaplaniyor eeeeeeeee'
5590 FOR Ix=L7%+1 TO Lk3%
5600 T4=T4+(Ix-L7%)*S(Ix)*Y%
5610 NEXT Ix
5620 T4=T4+Dtx1*T3
5630 Rioajmax=0 : Rioajmin=0
5640 E1(L6X)=0 : Ee1(L6X)=0 : Er1=0 : Er2=0

```

```

5650 FOR IX=L6X TO L6X+1
5660 E(IX)=F(IX)-S(IX)
5670 E1(IX+1)=E1(IX)+E(IX)
5680 Ee1(IX+1)=Ee1(IX)+E1(IX+1)
5690 Ripaj(IX+1)=2*Ee1(IX+1)
5700 IF Ripaj(1+IX) (0 5730
5710 Eri=Er1+Ripaj(IX+1)
5720 GOTO 5740
5730 Er2=Er2+Ripaj(1+IX)
5740 IF Ripaj(IX+1))Ripajmax Ripajmax=Ripaj(IX+1)
5750 IF Ripaj(1+IX) (Ripajmin Ripajmin=Ripaj(1+IX)
5760 NEXT IX
5770 R(An1X+1)=ABS(T1-T3) : IF YakinoX)4.1 GOTO 5790
5780 IF R(An1X+1) (1 R(An1X+1)=0
5790 R(An1X+2)=ABS(T2-T4) : IF YakinoX)4.1 GOTO 5810
5800 IF R(An1X+2) (1000 R(An1X+2)=0
5810 R(AnX)=INT(Er1-Er2+.5)
5820 ; #1 : FOR K=1 TO Mx : ; #1 W(K), : NEXT K
5830 FOR K=1 TO An : ; #1 .001*INT(R(K)*1000+.5) ; : NEXT K : ; #1 ' ',
5840 FOR K=i TO Mx : ; #1 Tep(K), : NEXT K : ; #1
5850 Ikggrupamaciars='+'
5860 FOR K=1+An1X TO An2
5870 IF R(K)A(K) 5910
5880 IF R(K)A(K) GOTO 5900
5890 NEXT K
5900 Ikggrupamaciars='- '
5910 RETURN
6200 FOR J=1 TO A5
6210 FOR IX=GX+1 TO NX+GX
6220 Fo(IX)=(F1(IX-1)+F1(IX)+F1(IX+1))/3
6230 NEXT IX
6240 FOR IX=GX+1 TO NX+GX : F1(IX)=Fo(IX) : NEXT IX
6250 NEXT J
6260 FOR IX=GX+15 TO NX+GX-14
6270 IF F1(IX))Fmax Fmax=F1(IX)
6280 NEXT IX
6300 FOR IX=GX+1 TO NX+GX
6310 Df(IX)=F1(IX)-F1(IX-1) : D(IX)=Df(IX) : IF Df(IX) (0 A=Df(IX) : IF A)Dfmax Dfmax=A : GOTO 6330
6320 IF Df(IX) (0 A=Df(IX) : IF A(Dfmin Dfmin=A
6330 Ddf(IX)=Df(IX)-D(IX-1) : Dd(IX)=Ddf(IX)
6340 NEXT IX
6350 RETURN
7000 ; #1 ' S3 sinirlari ' ;S3alt;'-' ;S3ust TAB(33) 'Step=' ;Teps3;TAB(50) 'ToleransT1-T3=' ;Tol1
7010 ; #1 ' K1 sinirlari ' ;K1alt;'-' ;K1ust TAB(33) 'Step=' ;Tepk1;TAB(50) 'ToleransT2-t4=' ;Tol2
7020 ; #1 ' K2 sinirlari ' ;K2alt;'-' ;K2ust;TAB(33) 'Step=' ;Tepk2
7030 RETURN

```

```

00 : #1 STRING$(102,61)
10 : #1 " S3      K1      K2      T1-T3      T2-T4      L1      L2      Rmax      Rmin      Er1      Er2      Rson"
20 : #1 STRING$(102,61)
30 RETURN
40 : #1 USING "###.## #.# ##.## ### #####" S3 K1 K2 T1-T3 T2-T4;
40 : #1 USING " ###.## ###.## #####" L1 L2 Rmax Rmin;
50 : #1 USING " #####" Er1 Er2 Rson
60 RETURN
70 : #1 'Olcek1=';Olcek1,'olcek2=';Olcek2,'Olcek3=';Olcek3,'Olcek4=';Olcek4,'Olcek5=';Olcek5
110 : #1 STRING$(110,45)
20 : #1 " S3      K1      K2      T1-T3      T2-T4";TAB(72) 'Rmin      Rmax' TAB(112) "Tool.Ripa; Rson"
30 : #1 "1 tab karsiligi degerler--> ";1/Olcek1;'mm.      ';1/Olcek2;'mm.m.      ';
40 : #1 1/Olcek3;' mm.      ',1/Olcek4;'mm. (';1/Olcek4;'mm eklenecek.)'
50 : #1 STRING$(110,45)
60 RETURN
700 REM '          STEP miktarlarinin hesabi icin ALT PROGRAM
10 Drc=.1
20 IF Fark>1 GOTO 8540
30 Fark=10*Fark : Drc=Drc*.1 : GOTO 8520
40 IF Fark<1.5 Step=2*Drc : GOTO 8590
50 IF Fark<3 Step=5*Drc : GOTO 8590
60 IF Fark<7.5 Step=10*Drc : GOTO 8590
70 IF Fark<12.1 Step=20*Drc : GOTO 8590
80 IF Fark>12 Step=30*Drc
90 RETURN
00 OPEN "pr:" AS FILE 1
10 : #1 : ; #1 'Ripajlar toplaminin en kucuk degeri=';R0(5);' ve W1=';W0(1);' W2=';W0(2);' W3=';W0(3);' bulunur.' TIME$
20 FOR J=1 TO Amx : ; #1 R0(J), : NEXT J : ; #1 : ; #1 STRING$(61,61)
30 STOP
10 END

```

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

Agostinacchio, M. and Bocci, M., 1984, Manutenzione delle strade ferrate: la correzione delle curve con metodo analitico, Vie E Trasporti, Settembre 1984, 535-548.

Berksoy, B., 1966, Demiryol kurbalarında fleş metodu ile düzeltme, Uygun Matbaası, İstanbul, 147 s.

Bıçakçı, O., 1977, Demiryollarında yeni bir birleştirme egrisinin araştırılması, Doktora Tezi, İ.T.O., İstanbul, 158 s.

Bozkurt, M., 1963, Açılar diyagramı metodu ile demiryol kurbalarının düzeltilmesi veya zemine tatbiki, İ.T.O. Dergisi Cilt.21, Sayı.1, 23-27 s.

Bozkurt, M., 1960, Demiryolu kurbaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Teknik Okulu Kütüphanesi, Sayı.19, 170 s.

Chappellet, M. J., 1954, Méthodes de levé de plan des voies en courbe au moyen des diagrammes des flèches, Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de Fer, Juillet 1954, 841-869.



- Chappellet, M. J., 1931, Régularisation systématique d'un piquetage de courbe par correction des flèches, Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de Fer, Juillet 1931, 652-660.
- Evren, G., 1979, Demiryollarında kurbalara ilişkin sorunlar ve çözüm önerileri, I.T.O. İnşaat Fak. Teknik Rapor, No.37, 71 s.
- Glawischnig, W., 1985, "DRIVER" A new concept for automatic curve correction, Conference on Railway Engineering, Brisbane, June 1985, 17-19.
- Gottfried, B.S. and J., Weisman, 1973, Introduction to optimization theory, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 571 p.
- Gubár, J., 1990, Railway transition curve planning method, Rail International, April 1990, 31-43.
- Ignizio, J. P., 1976, Goal programming and extensions, Lexington Books, London.
- Janin, G., 1982, La maintenance de la géométri de la voie, Revue Générale des Chemins de Fer, Juin 1982, 331-346.
- Kara, I., 1986, Yöneylem Araştırması: Doğrusal olmayan modeller, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını, No.139, Eskişehir, 346 s.

- Lewis, R. B., 1988, The measurement of track alignment and curvature, Rail International, July 1988, 17-23.
- Lootsma, F. A. (Edi:), 1972, Numerical methods for non-linear optimization, Academic Press, New York, 440 p.
- Schuhr, P., 1986, Application of the ROMBERG equation for the calculation of transition curves from diagrams of curves, Rail International, January 1986, 17-20.
- Shoup, T.E., 1979, A practical guide to computer methods for engineers, 255 p.
- S.N.C.F., 1968, Cahiers de Formation Professionnelle des Cadres du Service Actif, Le tracé de la voie, Devers et gauche pour les circulations, Correction du tracé des courbes, Etablissement et vérification du piquetage, S.N.C.F., Service V. B., Nord, Brochure No.25, Novembre 1968, 147 p.
- S.N.C.B., 1954, Service de la voie, Rectification des courbes utilisation de l'appareil "MEDICO", Société Nationale des Chemins de Fer Belges, 86 pp.
- Velebit, M., Schattke, R.B. and Citko, S.G., 1982, Optimization method for railroad curve alinement, Transportation Engineering Journal of American Society of Civil Engineers, Vol.108, No.TE1, January 1982, 41-50.