

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Demir, Ard, Yat, Kur, Bir, Eğri,
ve Dev, Son,

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih Bengi

1987

130
146/3
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
1113
5500

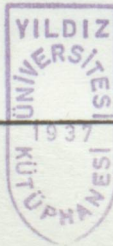
DEMİRYOLLARINDA ARDIŞIK YATAY KURBALARDA
BİRLEŞTİRME EĞRİSİ ve DEVER SORUNLARI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)
İNŞ. MÜH. FATİH BENGİ

İSTANBUL- 1987

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
146
Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.
Tarih : 15.10.1991
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 5500. TL.
Ayniyat No : 1/15
Kayıt No : 47738
UDC : 624.378.242
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No 45514

DEMİRYOLLARINDA ARDIŞIK YATAY KURBALARDA BİRLEŞTİRME EĞRİSİ ve DEVER SORUNLARI



(YÜKSEK LİSANS TEZİ)
İNS. MÜH. FATİH BENGİ

İSTANBUL- 1987

Tez çalışmamı yöneltip sürekli ilgi ve desteğini gördüğüm, değerli fikirlerinden yararlandığım Doç.Dr. Aydın EREL'e

Çalışma boyunca yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm Ulaştırma Anabilim Dalı Yük. İnş. Mühendisleri Mustafa ILICALI ile Tevfik ÇELİK'e en derin saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca devamlı desteğini gördüğüm değerli arkadaşım inş. Müh. İsmail ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda yardımlarını gördüğüm T.D.D.D. Haydarpaşa Garı yetkili ve çalışanlarına şükranlarımı arz ederim.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	SAYFA
ÖZET	
SUMMARY	
GİRİŞ	1
BÖLÜM I	
KURBA VE DEVER	3
1.1. Deverin Lüzumu	3
1.1.1. Teorik dever	5
1.1.1.1. Eksik dever	5
1.1.1.1.1. Fazla dever	6
1.1.2. Dever hesabında hızın seçimi	6
1.1.3. Deverin sakıncaları	7
1.1.4. Deverin uygulaması	7
BÖLÜM II	
BİRLEŞTİRME EĞRİLERİ	9
2.1. Birleştirme Eğrisinin Lüzumu	9
2.2. Eğrilerin Özellikleri	11
2.3. Eğrinin Uygulanması	11
2.4. Dever Rampası	13
2.4.1. Rampa çeşitleri	13
2.4.2. Rampa eğimi	13
2.5. Bugünkü Birleştirme Eğrileri ve Özellikleri	13
2.5.1. Kübik parabol	13
2.5.2. Petersen b. e.	17
2.5.3. Plob b. e.	18
2.5.4. Klein b. e.	19

		SAYFA
BÖLÜM III	KURBALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ	20
3.1.	Aynı Yönlü Kurbalar	20
3.2.	Zıt Yönlü Kurbalar	21
3.3.	Daire Yayı Açınım Uzunluğunun Rakordmanına Elverişli Olmaması Hali	22
BÖLÜM IV	BİRBİRİNE ÇOK YAKIN ZIT YÖNLÜ KURBALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ	24
4.1.	Ters Kurbalar Arasındaki Uzaklığın Birleştirme Eğrileri İçin Yetersiz Olması	27
4.1.1.	Teğetler arası mesafe 20 mt'den fazla ise	27
4.1.2.	Teğetler arası mesafe 20 mt'den az ise	33
4.2.	Ters Kurbaların Birbirine Teğet olması	36
BÖLÜM V	KURBALARIN ÖTELENMESİNDE TOPRAK İŞİ HESABI	45
5.1.	Enkesit Boyutları Artışı Hesabı	48
5.2.	Arazideki Alan ve Hacim Artışı	53
5.2.1.	Alan artışı hesabı	57
5.2.2.	Hacim artışı hesabı	62

	SAYFA
BÖLÜM VI FİZİBİLİTE HESABI	65
6.1. Maliyetlerin Hesabı	66
6.1.1. Kamulaştırma maliyeti	66
6.1.2. Toprak işleri maliyeti	66
6.1.3. Yapım giderleri	67
6.1.4. Diğer maliyetler	67
6.2. Kazançların Hesabı	68
6.2.1. Hızın yükselmesi	68
6.2.2. Kapasite artışı	71
6.2.3. Diğer kazançlar	72
6.3. Gelir-Gider Karşılaştırması	74
6.4. ÖRNEK	76
SONUÇ	88
SEMBOLLER	89
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Gerek demiryollarında seyir hızlarının devamlı artması, gerekse konforlu ve emniyetli bir ulaştırmanın sağlanması için, mevcut güzergahların düzeltilmesi çalışmalarında iki ters kurbanın birleştirilmesi çok önemlidir. Çünkü demiryol arabalarının raydan çıkmaları ve yol üst yapısı elemanlarının aşınması en çok bu kesimlerde olmaktadır.

Bu çalışmada birbirine çok yakın zıt yönlü kurbaların birleştirilmesi ve bu kesimdeki hareket koşulları incelenmiştir. Bu maksatla yapılan araştırmalar 6 bölüm halinde belirtilmiştir.

İlk üç bölümde konuyla ilgili tüm mevcut bilgiler sırasıyla tetkik edilmiştir. Birinci bölümde demiryolu taşıtlarının kurbadaki seyirleri, ikinci bölümde; doğrudan kurbaya giriş, üçüncü bölümde; bir kurbadan başka bir kurbaya geçiş hareketleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise çalışmanın temelini teşkil eden zıt yönlü kurbalarda yapılması gereken değişiklikler anlatılmıştır.

Beşinci bölümde önerilen çözümün arazi üzerinde yarattığı değişiklikler incelenmiştir.

Altıncı ve son bölümde de önerilen çözümün neler getirip neler götürdüğü araştırılarak sayısal uygulama yapılmıştır.

SUMMARY

Railway lines are comprised of circular strings and their joint tangent. A centrifugal force proportional to half diameter of the curve and speed of travel makes effect to the railway cars travelling on the curves of rail lines. To reduce this effect, horizontal rolling surface line is ensured to be curved by increasing the height of outward rail superelevation amounts at the curves. For this purpose, increasing the height of outward rails are done by gradual increase at certain distances. The section that connects the curves to the straight lines safely is called joint curve.

If two opposite curve is very close to each other, the joint curve at that point gains importance. Because if a straight line, not less than the opening of rigid axle, is not located, the rail car passing at that place will be endangered due to the fact that superelevation heights at the two curves will be at the reverse sides.

With the increase of travel speed at railway lines, during the improvement of existing lines to determine the new destinations for safe and comfortable travel conditions is the theme of this thesis and a method that will ensure the best joint between two curves's studied upon. For this purpose, making use of available data, in order to place a straight line between two curves, increasing the half diameter of curves has been preferred. Investigations have been done to determine goods and bads of this practise.

As a result it is observed that the cost of surpassing the curves is much less than the gain obtained by speed and safe.

GİRİŞ

Zamanımızda kitle taşınlarında hız, emniyet, konfor ve ekonomik olma şartları aranmaktadır. Demiryolları ile taşınlar, diğer ulaşım imkanlarına göre nisbeten az bir enerji sarfiyatı göstermesi ve emniyetli olması sebebiyle arttığından, seyir hızlarında arttırılması gerekmektedir. Bu maksatla yeni hatların projelendirilmesi işleminde ve mevcut hatların yüksek hızlara göre düzeltilmesi çalışmalarında, en önemli güzergah elemanı kurbalardır.

Mevcut hatların iyileştirilmesi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri iki ters kurba arasında demiryol taşıtının hızlı, konforlu ve güvenli olarak seyrini sağlamaktır. Bu amaçla iki ters kurba birleştirme eğrileri arasına, taşıtın emniyetli geçişini sağlayacak kadar bir düz kısım yerleştirmek için güzergahta bir takım değişiklikler yapılmalıdır. Bunun için kurba yapı çapı ve birleştirme eğrisi en iyi neticeyi sağlayacak şekilde değiştirilmelidir.

Eğer ters kurbaların birleştirilmesi iyi yapılmazsa, hız düşeceğinden kapasite azalacak, merkezkaç kuvvetlerin tesiri ile de konfor ve emniyet şartları kötüleşecek maliyetler artacaktır. Bu yüzden kurbada yapılacak değişikliklerde, hiçbir şekilde eski

konumdan daha elverişsiz bir durumla karşılaşmamak için, tüm etkenler göz önünde tutulmuştur.

Yapılan çalışmada üç önemli parametre olan hız, konfor ve emniyet en gayri müsait durumlarda bile istenilen sınırlar içinde kalacak optimum çözüm aranmıştır. Ayrıca mevcut güzergah uzunluğu ile yol eksenini en az değiştirecek şekilde çözüme gidilmiştir.

$$F = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

değerinde bir merkezkaç kuvveti tesir eder. (Şekil 1)

Merkezkaç kuvvetinin tesiri ile;

- 1) Araba kurba dışına doğru kayarak, bu den ve manterin aşınmasına, sürtünme ile de bir direnme doğurmasına
- 2) Arabaya $M_d = F \cdot h$ (t m) lik devirici bir momentin uygulanmasına
- 3) Arabaya ve içindeki yük ile yolcuya, kurba dışına doğru v^2 / R (m/s²) lik ivme uygulanmasına
- 4) Bu kuvvetlerin eğik bileşenlerinin, hattın dış rayın bağlantıların ve altındaki balastın istekine nazaran denge noktası aşınmasına yol açar.

Merkezkaç kuvvetinin etkisini karşılamak üzere, bir merkezkaç kuvveti oluşturmak için, doğrudan yatay olan yuvarlanma yüzeyi, kurba dışı rayına doğru yükselen bir eğik yüzey olarak oluşturulur. Dış rayın iç rayına göre (dış yükseklik farkına " Elevation " denir. (Şekil 2) Merkezkaç kuvveti verilen

BÖLÜM I

1. KURBA VE DEVER:

1.1. Deverin lüzumu:

(R)yarıçaplı daire yayı şeklinde bir kurbada, (G)ağırlığında bir demiryol arabasının, (V)hızıyla hareketi esnasında, arabanın(M)ağırlık merkezi, yuvarlanma yüzeyinden(h)yüksekliğinde ve hat genişliğinde(e) ise, arabanın ağırlık merkezine

$$F = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

değerinde bir merkezkaç kuvvet tesir eder.(Şekil 1)

Merkezkaç kuvvetin tesiri ile;

1) Arabakurba dışına doğru kayarak, buden ve mantarın aşınmasına, sürtünme ilede bir direnim doğmasına

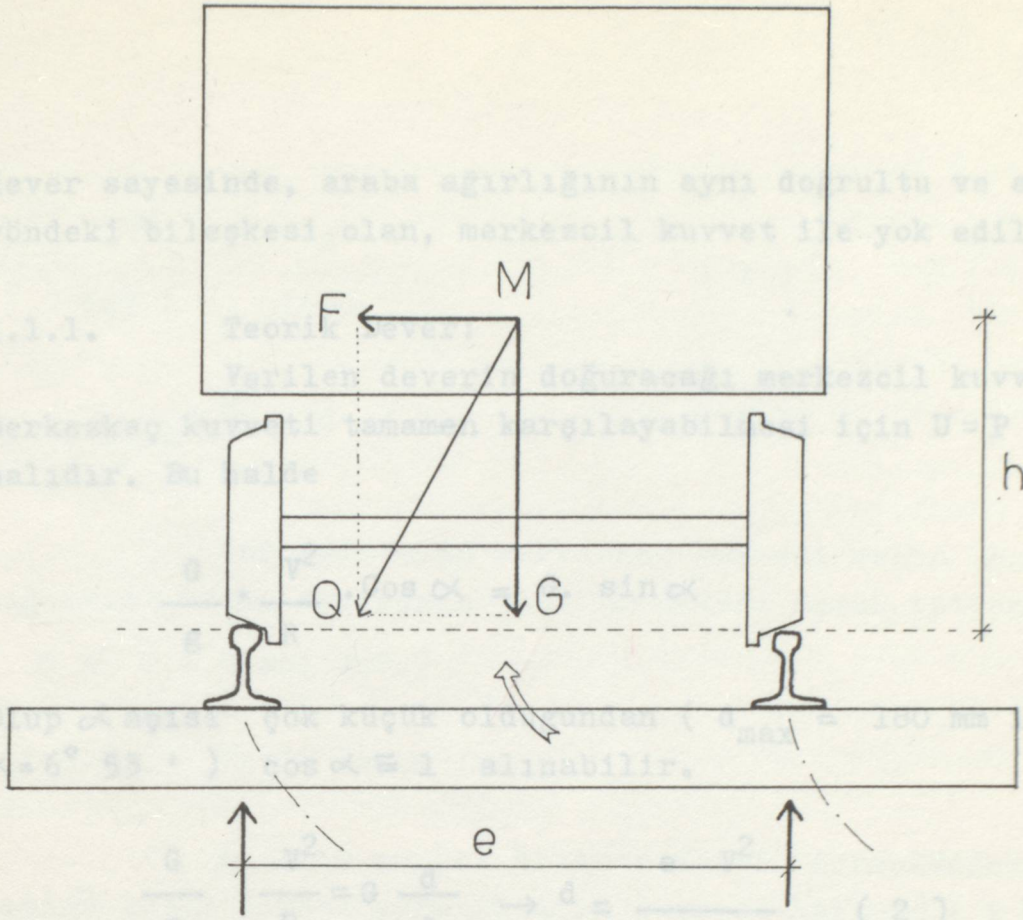
2) Arabaya $M_d = F \cdot h$ (t m) lık devirici bir momentin uygulanmasına

3) Arabaya ve içindeki yük ile yolcuya, kurba dışına doğru v^2 / R (m/sn²) lik ivme uygulanmasına

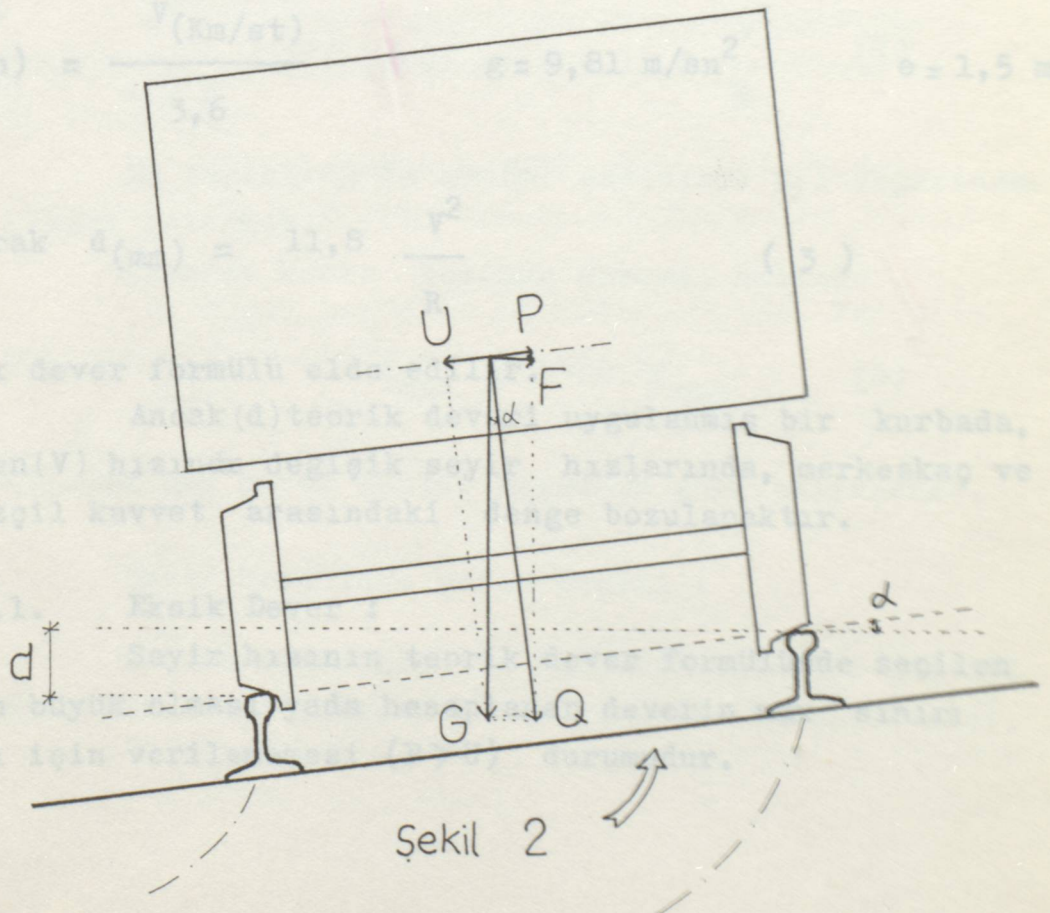
4) Bu kuvvetlerin eğik bileşenlerinin, hattın dış rayın bağlantılarının ve altındaki balastın içtekine nazaran daha çabuk aşınmasına

yol açar.

Merkezkaç kuvvetin etkisini karşılamak üzere, bir merkezci kuvvet oluşturmak için, doğruda yatay olan yuvarlanma yüzeyi, kurbada dış raya doğru yükselen bir eğik yüzey olarak oluşturulur. Dış rayın iç raya göre(d)yükseklik farkına " Dever " denir.(Şekil 2) Merkezkaç kuvvet verilen



Şekil 1



Şekil 2

dever sayesinde, araba ağırlığının aynı doğrultu ve aksi yöndeki bileşkesi olan, merkezci kuvvet ile yok edilir.

1.1.1. Teorik Dever:

Verilen deverin doğuracağı merkezci kuvvetin, merkezkaç kuvveti tamamen karşılayabilmesi için $U = P$ olmalıdır. Bu halde

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \cos \alpha = G \cdot \sin \alpha$$

Olup α açısı çok küçük olduğundan ($d_{\max} = 180 \text{ mm}$ için $\alpha = 6^\circ 53'$) $\cos \alpha \cong 1$ alınabilir.

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} = G \cdot \frac{d}{e} \rightarrow d = \frac{e \cdot v^2}{g \cdot R} \quad (2)$$

$$V_{(\text{m/sn})} = \frac{V_{(\text{Km/st})}}{3,6} \quad g = 9,81 \text{ m/sn}^2 \quad e = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{alınarak } d_{(\text{mm})} = 11,8 \cdot \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

teorik dever formülü elde edilir.

Ancak (d) teorik deveri uygulanmış bir kurbada, seçilen (V) hızından değişik seyir hızlarında, merkezkaç ve merkezci kuvvet arasındaki denge bozulacaktır.

1.1.1.1. Eksik Dever :

Seyir hızının teorik dever formülünde seçilen hızdan büyük olması yada hesaplanan deverin max sınırı aştığı için verilememesi ($P > U$) durumudur.

$$\gamma = \frac{v^2}{127 R} - \frac{d}{1500} \quad (4)$$

$$\Delta de = 11,8 \frac{v^2}{R} - d \quad (5)$$

Yok edilmemiş merkezkaç kuvveti veren bu bağıntıda konfor sayısının belli bir değeri aşması istenmez.

($\gamma < 0,1$ Olmalıdır.)

1.1.1.2. Fazla Dever :

Katarın gerçek hızının dever formulündeki hızdan küçük olması yada katarın durması halinde ($P < U$) söz konusudur.

$$\gamma = \frac{d}{1500} - \frac{v^2}{127 R} \quad (6) \quad \Delta df = d - 11,8 \frac{v^2}{R} \quad (7)$$

Bu bağıntıda da konfor sayısının 0,1 değerinden büyük olması istenmez.

Katarın kurba kesimde durması halinde

$$V = 0 \quad \text{için} \quad d_{\max} = 1500 \cdot \gamma_{\max} \quad (8)$$

verilebilecek max dever konfor koşuluna göre belirlenir.

1.1.2. Dever Hesabında Hızın Seçimi :

Bir kurbadan çeşitli hızlarda katarlar geçtiği için dever hesabında seçilecek hız çok önem kazanmaktadır.

d teorik deveri uygulanmış bir kurbada, seçilen V hızında yüksek hızlarda yok edilemeyen merkezkaç kuvvet (Δd_e eksik deveri) düşük hızlarda ise yok edilemeyen merkezçil kuvvet (Δd_f fazla deveri) meydana geleceğinden, konfor sayısının aşılmasına neden olacaktır. Bu nedenle bir ortalama hız seçilerek meydana gelecek etkilerin incelenmesi gerekir. Hızın seçiminde ;

a) En hızlı ve en yavaş katar geçişlerinde dahi, yok edilemeyen merkezkaç yada merkezçil kuvvetlerin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması ,

b) İç ve dış raydaki aşınmanın eşit olması için, hattan geçen bütün katarlar tarafından uygulanacak, yok edilemeyen merkezçil ve merkezkaç kuvvetlerin toplamının birbirine eşit olması dikkate alınır.

1.1.3. Deverin Sakıncaları:

Deverin gerekliliğine karşın bazı mahsurları vardır. Bunlar;

1) Kurbalarda uygulanacak sanat yapılarına, normal gabariye göre bir miktar genişlik ve yükseklik fazlası verilmesi

2) Kurbada durma halinde arabanın düşeyliğini kaybederek, kapılının açılıp kapanmasının zorlaşması

3) Düşük hızlarda merkezçil kuvvet fazlalığı sebebiyle konfor koşulunun bozulması.

Bütün bu nedenlerden dolayı deverin belli bir değeri aşması istenmez.

1.1.4. Deverin uygulanması:

Dever, dış ray içtekine göre d kadar yükselmekle veya iç rayı dışa göre d kadar alçaltmakla yahutda dış rayın d/2 kadar yükseltip iç rayı d/2 kadar alçaltmak suretiyle üç şekilde verilebilir.

Deverin en yaygın uygulama şekli, iç ray kotu sabit bırakılarak dış rayın yükseltilmesidir.

Bu durumda hat eksenini $d/2$ kadar yükselir. dış rayın yükseltilmesi de iki şekilde yapılmaktadır.

1) Balast tabakası kalınlığının, dış rayda dever miktarı kadar artırılması ile,

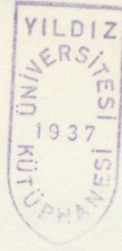
2) Balast tabakası kalınlığını değiştirmeden, alt yapı platformuna yuvarlanma yüzeyini paralel bir eğim verebilme ile.

İlk yöntemde, balast tabakasının kalınlığı ile elastikiyeti, aynı oranda değiştiğinden, dış raydaki reaksiyon kuvveti büyüyeceğinden balast tabakası çabuk aşınarak, poz ve bakım işleri zorlaşır. Bu yüzden dever $40 \sim 50$ mm'yi geçtiği zaman, iç ray kotu sabit kalaçak şekilde platform kotunu, dış tarafta dever miktarı kadar, artırmak suretiyle ikinci yöntem uygulanır.

Yükseltilmeye başlanarak kurbaya girişte (d) kadar yükseltilmiş olur. (Şekil 3 b) Bu halde doğru (L) kesiminde arabalara, merkezkaç kuvvet tesiri etmediği halde, gittikçe artarak kurbaya başında $\frac{d}{2}$ değerine varan bir merkezkaç kuvvet tesiri altında "kalacağından, iç ray doğru kayacak kurbaya başına gelineğinde, merkezkaç kuvvetinin tesiri ile denge sağlanacaktır. (Şekil 3c)

2) Dış rayın yükseltilmesine, kurbaya başından başlanabilir. (Şekil 3 d) Bu durumda, merkezkaç kuvvetinin tesiri ile arabalar dış rayı doğru kayarak, gittikçe artan merkezkaç kuvvet tesiri ile (L) kadar sonra denge sağlanacaktır. (Şekil 3 e)

3) Dış ray kurbadan ($\frac{1}{2}$) kadar önce yükseltilmeye başlanıp kurbadan ($\frac{1}{2}$) kadar sonra gerekli dever sağlanıy. (Şekil 3 f) Bu halde ise, ilk önce dış raylar, iç rayı doğru kayarlar, daha sonra ani olarak dış rayı kayarlar (Şekil 3 g)



BÖLÜM II

2. BİRLEŞTİRME EĞRİLERİ

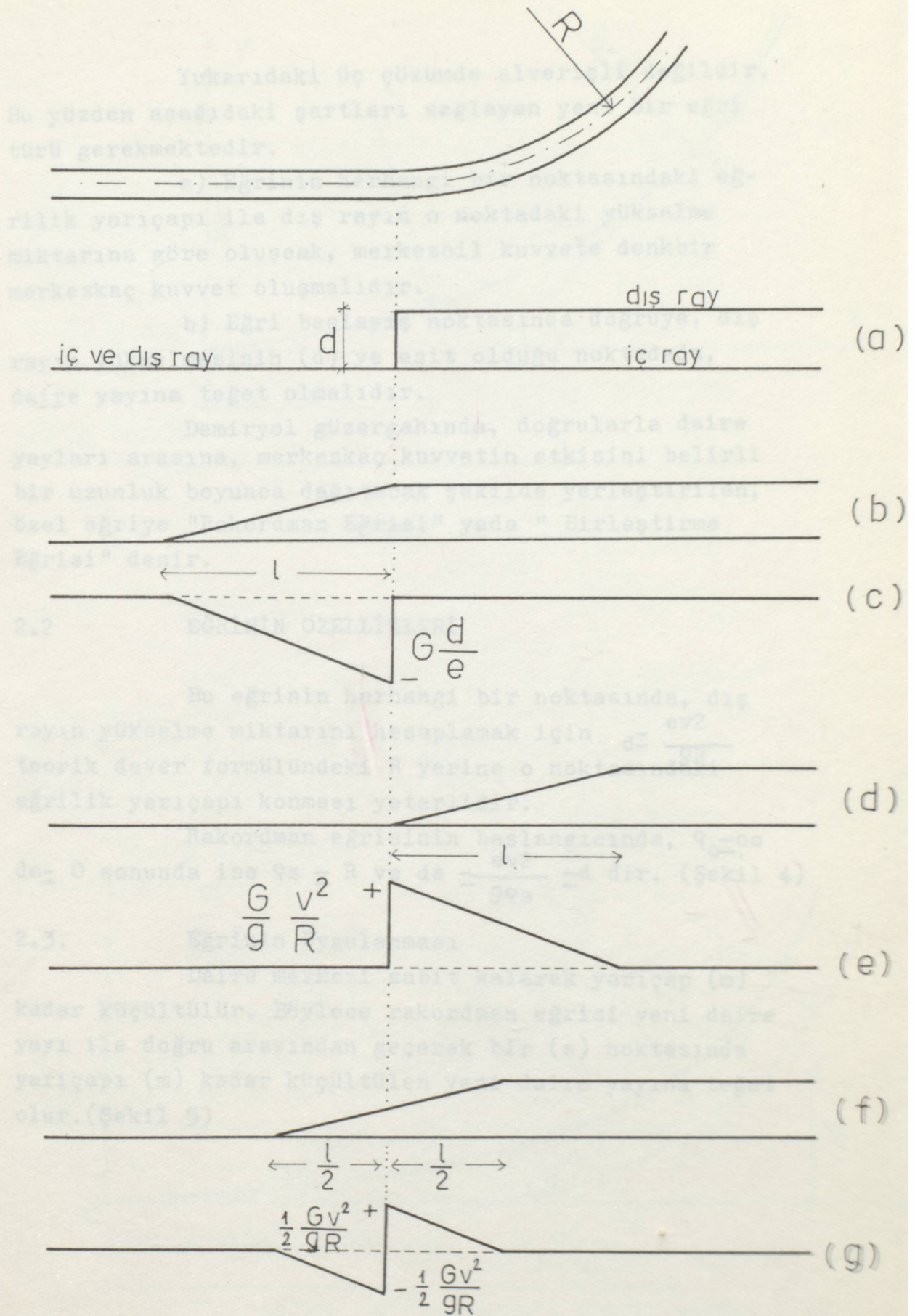
2.1. Birleştirme Eğrisinin lüzumu

Doğrularda hattı oluşturan iki ray dizisi, aynı kotta olduğu halde, dış ray dizisi dever miktarı kadar, yüksekte olduğundan hattın doğru ile kurba kesiminin birleştiği dış ray dizisinde, dever miktarı kadar bir düşey fark teşkil edecektir. (Şekil 3 a) Dingillerin bu kesimi rahat ve güvenli bir şekilde aşmasını sağlamak için dever uygun bir uzunluk boyunca yavaş yavaş artırılması icap eder. Bu ise üç türlü yapılabilir.

1) Dış ray doğru kurbadan önce (L)uzaklığında yükseltilmeye başlanarak kurbaya girişte (d) kadar yükseltilmiş olur. (Şekil 3 b) Bu halde doğru (L) kesiminde arabalara, merkezkaç kuvvet tesir etmediği halde, gittikçe artarak kurba başında $G \frac{d}{e}$ değerine varan bir merkezci kuvvet tesiri altında kalacağından, iç raya doğru kayacak kurba başına gelindiğinde, merkezkaç kuvvetinin tesiri ile denge sağlanacaktır. (Şekil 3c)

2) Dış rayın yükseltilmesine, kurba başından başlanabilir. Şekil 3 d) Bu durumda, merkezkaç kuvvetin tesiri ile arabalar dış raya doğru kayarak, gittikçe artan merkezci kuvvet tesiri ile (L) kadar sonra denge sağlanacaktır. (Şekil 3 e)

3) Dış ray kurbadan ($\frac{1}{2}$) kadar önce yükseltilmeye başlanıp kurbadan ($\frac{1}{2}$) kadar sonra gerekli dever sağlanır. (Şekil 3 f) Bu halde ise, ilk önce dingiller, iç raya doğru kayarlar, daha sonra ani olarak dış raya kayarlar (Şekil 3 g)



Yukarıdaki üç çözümde elverişli değildir. Bu yüzden aşağıdaki şartları sağlayan yeni bir eğri türü gerekmektedir.

a) Eğrinin herhangi bir noktasındaki eğrilik yarıçapı ile dış rayın o noktadaki yükselme miktarına göre oluşacak, merkezci kuvvete denkbir merkezkaç kuvvet oluşmalıdır.

b) Eğri başlayış noktasında doğruya, dış rayın yükselmesinin (d) ye eşit olduğu noktadada, daire yayına teğet olmalıdır.

Demiryol güzergahında, doğrularla daire yayları arasına, merkezkaç kuvvetin etkisini belirli bir uzunluk boyunca dağıtacak şekilde yerleştirilen, özel eğriye "Rakordman Eğrisi" yada " Birleştirme Eğrisi" denir.

2.2

EĞRİNİN ÖZELLİKLERİ

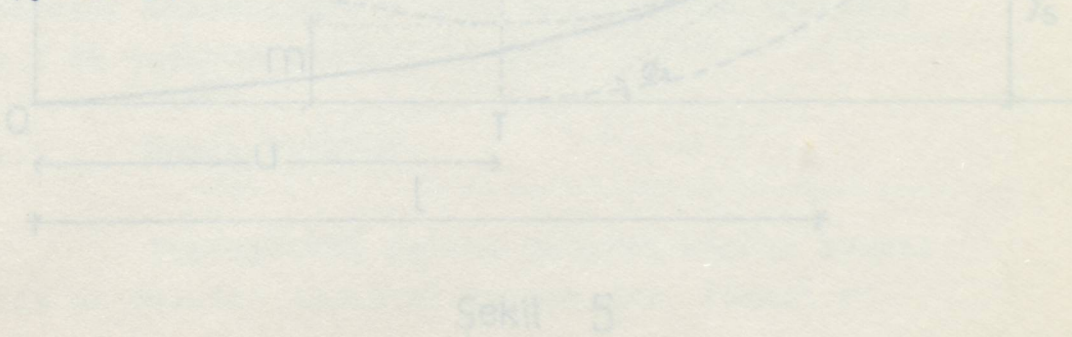
Bu eğrinin herhangi bir noktasında, dış rayın yükselme miktarını hesaplamak için $d = \frac{ev^2}{9R}$ teorik deyer formülündeki R yerine o noktasındaki eğrilik yarıçapı konması yeterlidir.

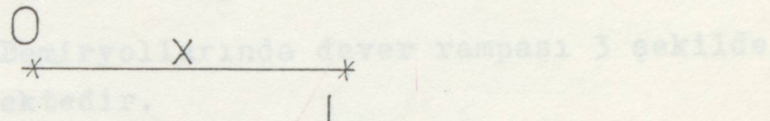
Rakordman eğrisinin başlangıcında, $q_0 = \infty$ $d_0 = 0$ sonunda ise $q_s = R$ ve $d_s = \frac{ev^2}{9q_s} = d$ dir. (Şekil 4)

2.3.

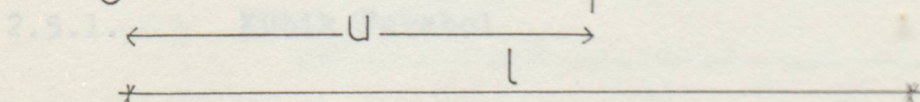
Eğrinin Uygulanması

Daire merkezi sabit kalarak yarıçap (m) kadar küçültülür. Böylece rakordman eğrisi yeni daire yayı ile doğru arasından geçerek bir (s) noktasında yarıçapı (m) kadar küçültülen yeni daire yayına teğet olur.(Şekil 5)





e) Basit paraşekil 4 (Şekil 7c)



Sekil 5

2.4. DEVER RAMPASI

Gerekli dever miktarının elde edildiği L uzunluğundaki rampaya "Dever Rampası" rampanın noktaya "Rampa Başlangıcı" bittiği noktaya ise "Rampa Sonu" denir. (Şekil 6)

2.4.1. Rampa Çeşitleri

Demiryollarında dever rampası 3 şekilde tatbik edilmektedir.

- a) Doğrusal rampa (Şekil 7a)
- b) S-Formlu eğrisel rampa (Şekil 7b)
- c) Basit parabolik rampa (Şekil 7c)

2.4.2. Rampa Eğimi

Demiryolu taşıtlarının konstrüktif yapısı icabı rampa eğiminin belli bir değerden büyük olması istemez. Ayrıca hareket konforunu iyileştirmek için rampa eğimini mümkün mertebe küçük tutmak lazımdır.

Dever rampası eğimi demiryollarında en fazla $\frac{1}{400}$ olarak kabul edilmiştir. Birinci sınıf hatlarda bu değer $\frac{1}{1000}$ alınmaktadır.

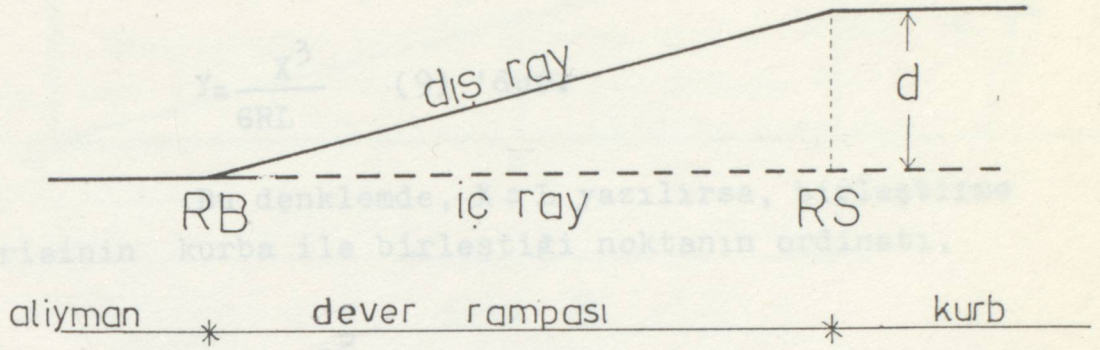
2.5. BUGÜNKÜ BİRLEŞTİRME EĞRİLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Birleştirme eğrilerinden aranan önemli özelliklerin başında, aliymandan kurbaya rahat bir geçişin sağlanması ve kurbun az miktarda yana kaydırılmasıdır. Kullanılmakta olan birleştirme eğrileri Tablo I de topluca gösterilmiştir.

2.5.1. Kübik Parabol

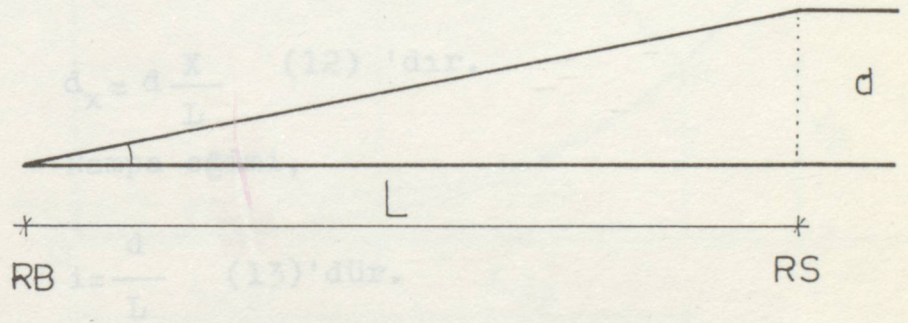
Birleştirme eğrisi boyunca konfor ivmesi eğrilik ve deverin değişimi lineer dir. (Şekil 8)

Dik eksen takımındaki ifadesi,

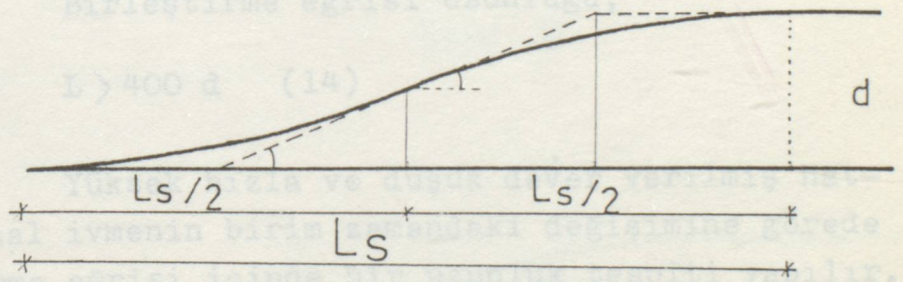


Şekil 6

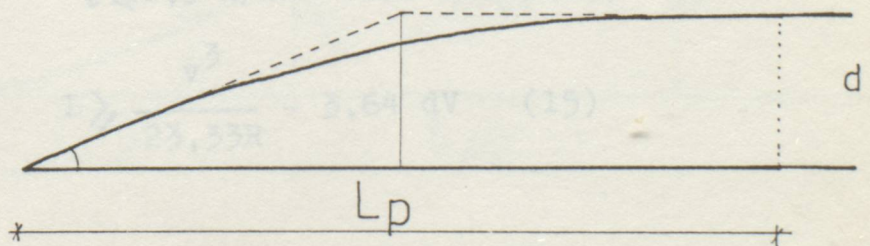
(a)



(b)



(c)



Şekil 7

Dik eksen takımındaki ifadesi,

$$Y = \frac{X^3}{6RL} \quad (9) \text{ 'dur.}$$

Bu denklemde, $X=L$ yazılırsa, birleştirme eğrisinin kurba ile birleştiği noktanın ordinatı,

$$Y_A = \frac{L^2}{6R} \quad (10) \text{ bulunur. Şekil-9.}$$

Kurbanın yana kayma miktarı,

$$M = \frac{L^2}{24} \cdot R \quad (11) \text{ 'dır Şekil-9.}$$

Deverin değişimi,

$$d_x = d \frac{X}{L} \quad (12) \text{ 'dır.}$$

Rampa eğimi,

$$i = \frac{d}{L} \quad (13) \text{ 'dür.}$$

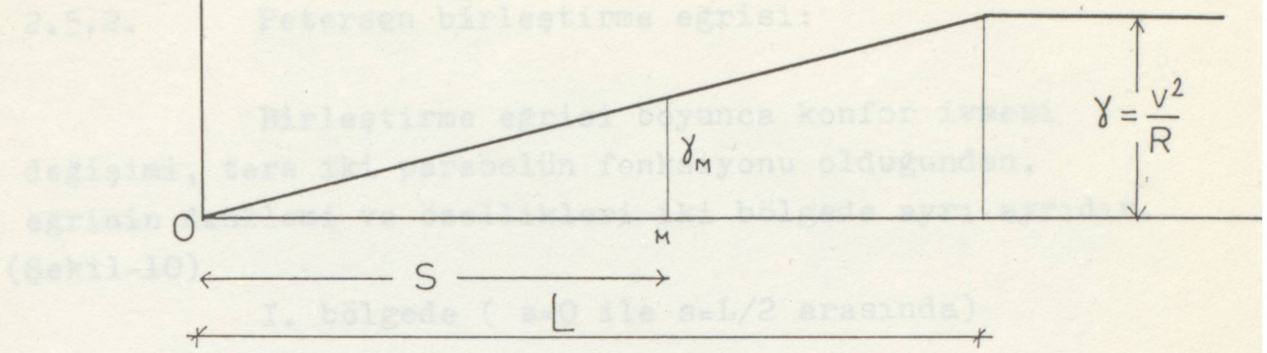
Birleştirme eğrisi uzunluğu,

$$L > 400 d \quad (14)$$

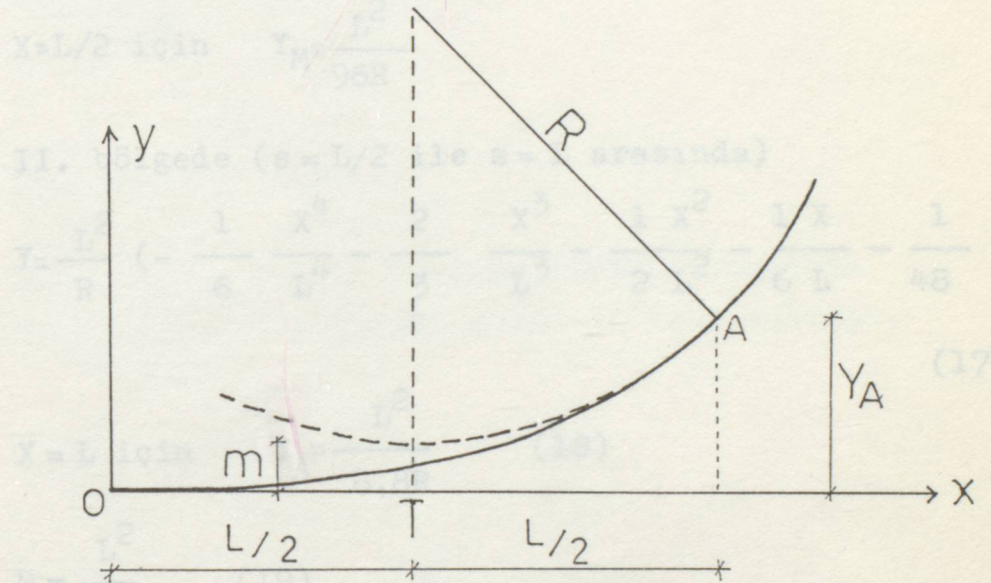
Yüksek hızla ve düşük dever verilmiş hatlarda yanall ivmenin birim zamandaki değişimine görede birleştirme eğrisi içinde bir uzunluk tespiti yapılır.

$\delta \leq 0,5 \text{ m/sn}^3$ esas alınırssa,

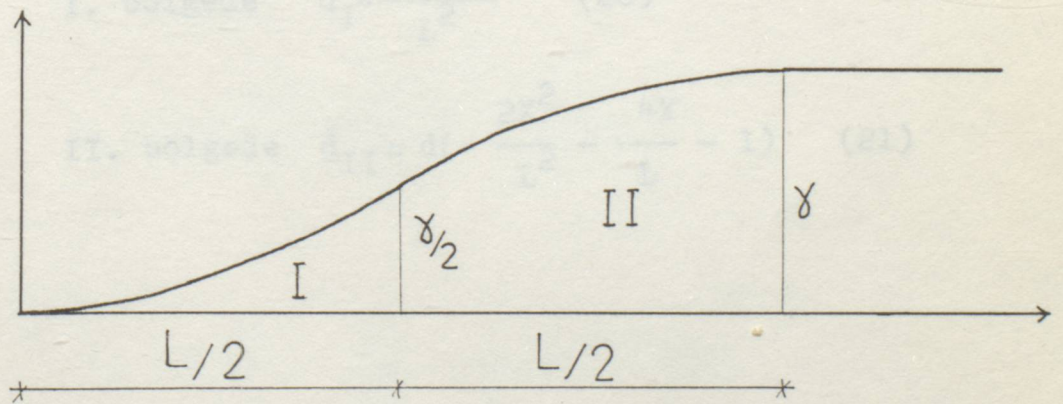
$$L \gg \frac{v^3}{23,33R} - 3,64 dV \quad (15)$$



Şekil 8



Şekil 9



Şekil 10

2.5.2. Petersen birleştirme eğrisi:

Birleştirme eğrisi boyunca konfor ivmesi değişimi, ters iki parabolün fonksiyonu olduğundan, eğrinin denklemi ve özellikleri iki bölgede ayrı ayrıdır. (Şekil-10)

I. bölgede ($s=0$ ile $s=L/2$ arasında)

$$Y = \frac{4X^2}{6RL^2} \quad (16)$$

$$X=L/2 \text{ için } Y_M = \frac{L^2}{96R}$$

II. bölgede ($s=L/2$ ile $s=L$ arasında)

$$Y = \frac{L^2}{R} \left(-\frac{1}{6} \frac{X^4}{L^4} - \frac{2}{3} \frac{X^3}{L^3} - \frac{1}{2} \frac{X^2}{L^2} - \frac{1}{6} \frac{X}{L} - \frac{1}{48} \right) \quad (17)$$

$$X=L \text{ için } Y_A = \frac{L^2}{6,8R} \quad (18)$$

$$M = \frac{L^2}{48R} \quad (19)$$

Deverin değişimi:

$$\text{I. bölgede } d_I = \frac{2dX^2}{L^2} \quad (20)$$

$$\text{II. bölgede } d_{II} = d \left(-\frac{2X^2}{L^2} - \frac{4X}{L} - 1 \right) \quad (21)$$

Rampa eğimi:

$$\text{I. bölgede } \dot{I}_I = \frac{2d}{L} \quad (22)$$

$$\text{II. bölgede } \dot{I}_{II} = \frac{2d}{L} \cdot \left(-\frac{2X}{L} - 2 \right) \quad (23)$$

$$L \geq 800 d \quad (24)$$

$$L \geq \frac{V^3}{11,66R} - 7,28 dV \quad (25)$$

2.5.3. Bloß birleşme eğrisi:

Birleştirme eğrisi boyunca konfor ivmesinin üçüncü dereceden S-formlu değişimi şekil-10'daki gibidir.

$$Y = \frac{1}{R} \left(-\frac{X^5}{10L^3} - \frac{X^4}{4L^2} \right) \quad (26)$$

$$X = L \text{ için, } Y_A = \frac{L^2}{6,33R} \quad (27)$$

$$M = \frac{L^2}{30,32R} \quad (28)$$

$$d_x = d \left(-\frac{2X^3}{L^3} - \frac{3X^2}{L^2} \right) \quad (29)$$

$$\dot{I}_x = 6 \frac{d}{L} \left(-\frac{X^2}{L^2} - \frac{X}{L} \right) \quad (30)$$

$$L \gg 600 d \quad (31) \quad L \gg \frac{v^3}{15,55R} - 5,46 dV \quad (32)$$

2.5.4. Klein birleştirme eğrisi:

Birleştirme eğrisi boyunca konfor ivmesinin değişimi sinüs fonksiyonudur. Bu fonksiyonun diyagramı şekil-10'daki gibidir.

$$Y = \frac{x^3}{6RL} - \frac{L}{4\pi^2 R} \left(x - \frac{L}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right) \quad (33)$$

$$X = L \text{ için, } Y_A = \frac{L^2}{7,07R} \quad (34)$$

$$M = \frac{L^2}{60,8R} \quad (35)$$

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

$$\dot{I}_X = \frac{d}{L} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L} \right) \quad (37)$$

$$L \gg 800 d \quad L \gg \frac{v^3}{11,66R} - 7,28 dV$$

BÖLÜM .111

3. KURBALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ

Birbirini izleyen iki kurba için iki durum söz konusudur.

1. Daire yaylarının merkezleri aynı tarafta olan aynı yönlü kurbalar,

2. Daire yaylarının merkezleri birinde sağ diğesinde sol tarafta olan zıt yönlü kurbalar.

3.1. Aynı Yönlü Kurbalar :

(R_1) ve (R_2) Yarı Çaplı (O_1) ve (O_2) merkezli kurbaların arasına (L_1) ve (L_2) birleştirme eğrileri bulunduğu üç farklı durumla karşılaşılır.

a) $\overline{T_1 T_2} > U_1 + U_2$ ise :

Demiryolu arabasının ön ve arka dingilleri arasındaki rijit aralık (r) ise

$\overline{P_1 P_2} < r$ bile olsa araba önemli bir burulmaya maruz kalmaz. (Şekil 11).

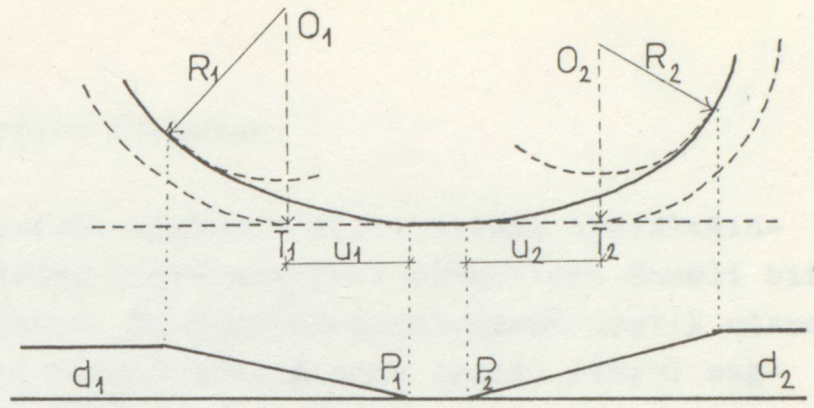
b) $\overline{T_1 T_2} < U_1 + U_2$ ise

Bu durum birleştirme eğrilerinin birbirlerini kesip kurbanın sürekliliğini bozduğundan sakıncalıdır.

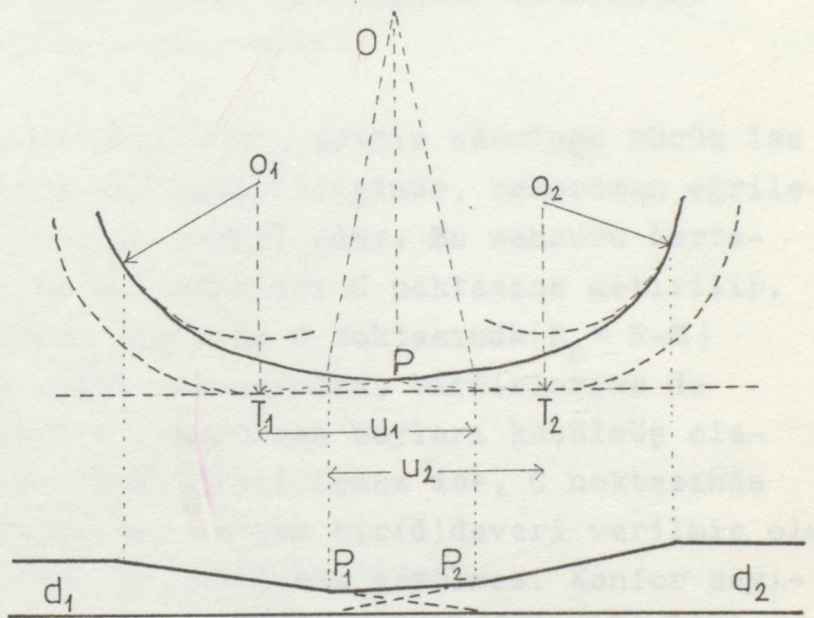
(Şekil 12). Bu yüzden birleştirme eğrilerinin ayrıca rakordmanı gereklidir. Bunun için iki birleştirme eğrisine teğet olan bir oskilatör daire yayı alınır.

c) $\overline{T_1 T_2} = 0$ ise:

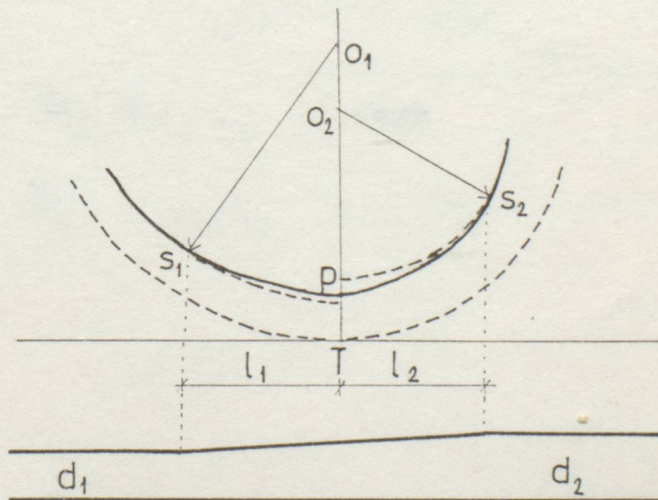
Nadiren karşılaşılan bu sakıncalı durumda daire yayları bir rakordman eğrisi vasıtasıyla birleştirilir. (Şekil-13)



Şekil 11



Şekil 12



Şekil 13

3.2. Zıt yönlü kurbalar:

λ uzunluğu arabanın rijit dingil aralalığından küçük ise buradan geçen arabanın dingilleri önemli bir burulmaya maruz kalır. Bu yüzden λ uzunluğunun pratik olarak en az 20 mt (rijit dingil aralığından fazla) olması sağlanmalıdır. (Şekil-14)

3.3. Daire yayı açınım uzunluğunun rakordmana elverişli olması hali:

Daire yayının (T_1BT_2) açınım uzunluğu küçük ise birleştirme eğrileri yerleştirildiğinde, rakordman eğrileri keşişerek kırık nokta teşkil eder. Bu mahsuru bertaraf etmek için (S_1 ve S_2) noktaları C noktasına getirilir. Böylece iki rakordman eğrisinde C noktasında ($R_0 = R-M$) yarıçaplı daireye teğet olacağından, birbirlerine de teğet olurlar. Fakat (L_0) rakordman boyları küçülmüş olduğundan, rakordman eğimi büyütülemez ise, C noktasında gerekli (d_0) deverinden daha küçük bir (d) deveri verilmiş olur. Ancak pratikte bu hal pek mahsurlu görülmez. Konfor sayısının aşılma durumu varsa rakordman eğrisinin eğimi biraz artırılabilir. (Şekil-15)

Herhangi bir kurbada bu durumla karşılaşmamak için ;

$$\overline{ST}_1 = \overline{ST}_2 < l_0 - U_0 \quad \text{veya}$$

$$R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} < l_0 - U_0$$

olmamalıdır.

BÖLÜM IV

4. BİRBİRİNE ÇOK YAKIN ZIT YÖNLÜ KURBALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ

Zıt yönlü(R_1) ve(R_2) yarıçaplı iki kurbanın ortak teğet doğrusu $\overline{T_1 T_2}$ ise, bu kurbaların rakordmanı için(O_1) daire yayının yarı çapı(M_1),(O_2) daire yayının ise (M_2) kadar küçültecektir. (T_1 ve T_2) noktalarından itibaren (U_1 ve U_2) uzunlukları alınarak(P_1 ve P_2) rakordman başlangıçları tesbit edilerek, (P_1 ve P_2) den itibaren (L_1 ve L_2) rakordman boyları alınmak suretiyle, (S_1 ve S_2) teğet noktalarını bulmak içinde, Y_{S1} ve Y_{S2} ordinatlarının alınması kafi gelecektir. (Şekil 14).

Ancak, burada üç durum söz konusudur.

$$1) \overline{T_1 T_2} > U_1 + U_2 \text{ ise,}$$

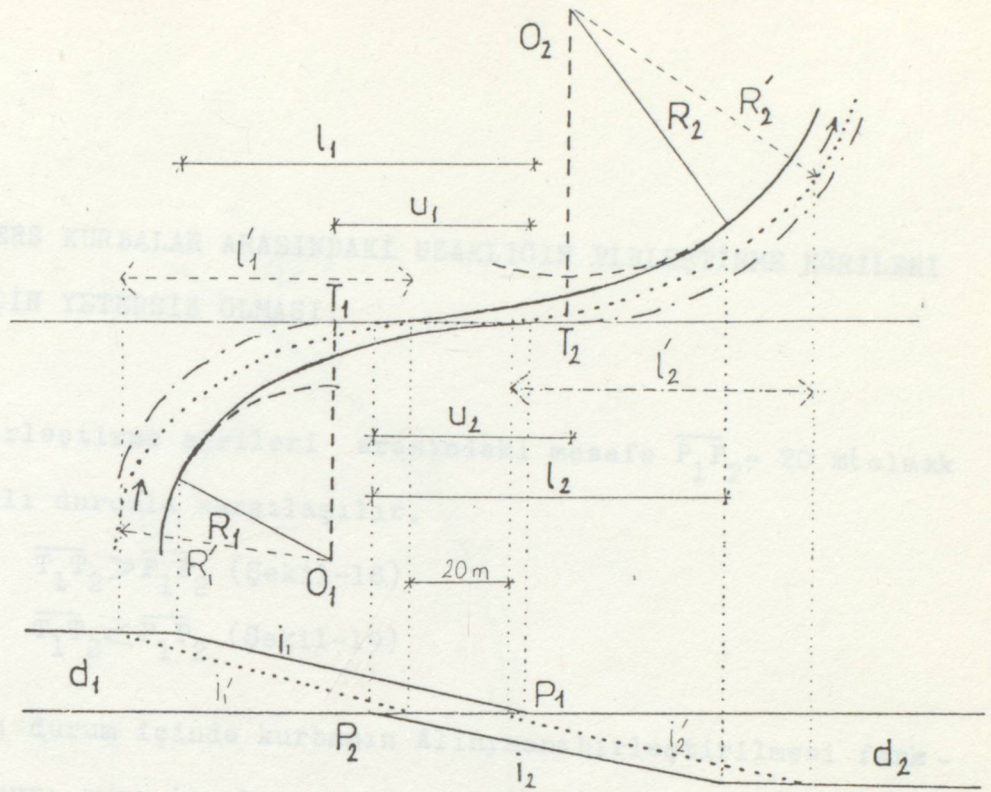
Şekil 14 'de görülen bu durumda iki hal söz konusudur.

a) $\overline{P_1 P_2} > 20$ mt ise; rakordman eğrilerinin yukarıda anlatıldığı biçimde uygulanmasında hiç bir sakınca yoktur. Çünkü arabaların rijit dingil aralığı bu mesafeden küçük olduğundan, araba burulmaya maruz kalmadan, bir birleştirme eğrisinden diğerine rahatça geçecektir.

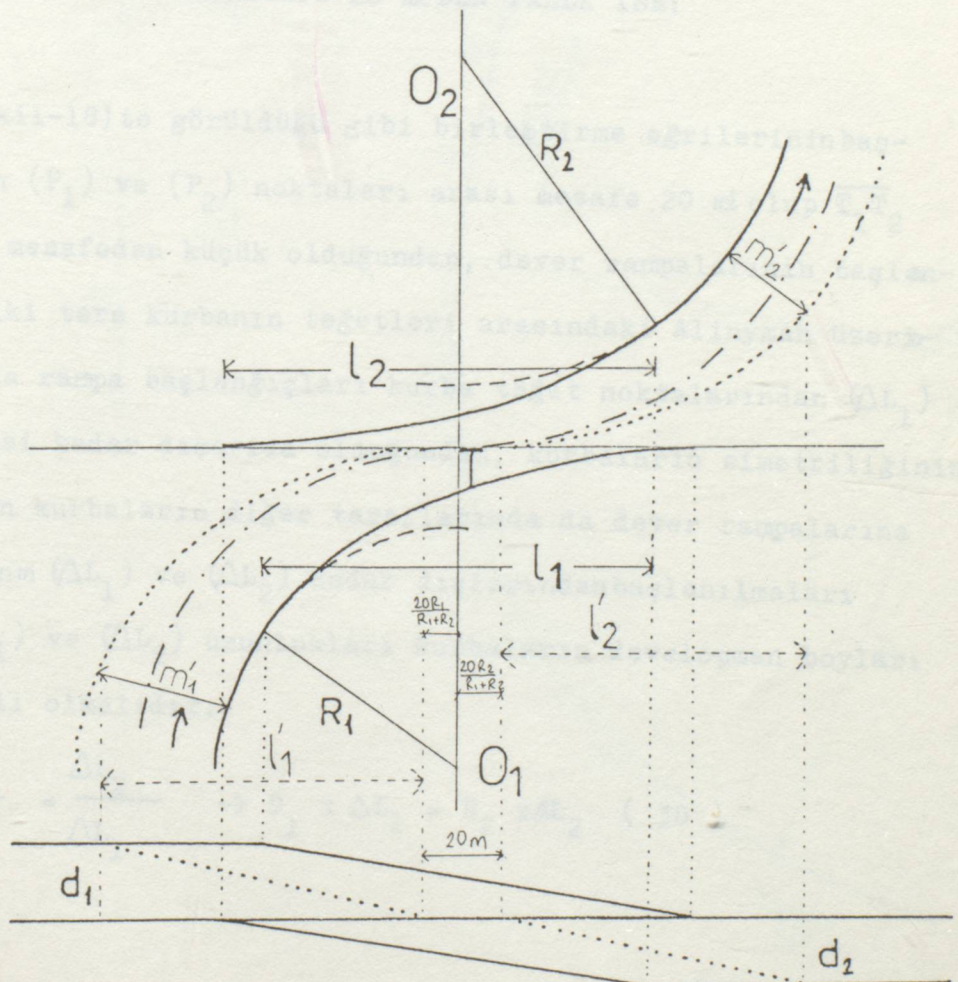
b) $\overline{P_1 P_2} < 20$ m ise; bu mesafe arabanın rijit dingil aralığından küçük olduğundan, arabada burulma olmaması için bu mesafenin en az 20 m'ye çıkarılması lazımdır.

2) $\overline{T_1 T_2} < U_1 + U_2$ ise, Şekil 16'da görülen bu durumda, birleştirme eğrileri birbirlerine teğet olmayıp güzergahta bir süreksizlik meydana geleceğinden, birleştirme eğrilerinin ayrıca rakordmanı gereklidir.

3) $\overline{T_1 T_2} = 0$ ise, Şekil 17 'de çok nadir görülen bu durumda, iki ters kurba birbirine teğet olduğundan, birleştirme eğrileri bir önceki durumda olduğu gibi güzergahta süreksizlik oluşturacağından, daire yaylarının bir rakordman eğrisi ile birleştirilmesi icap eder.



Şekil 16



4.1. TERS KURBALAR ARASINDAKİ UZAKLIĞIN BİRLEŞTİRME EĞRİLERİ
İÇİN YETERSİZ OLMASI:

Birleştirme eğrileri arasındaki mesafe $\overline{P_1P_2} = 20$ m olmak üzere iki farklı durumla karşılaşılır.

1) $\overline{T_1T_2} > \overline{P_1P_2}$ (Şekil-18)

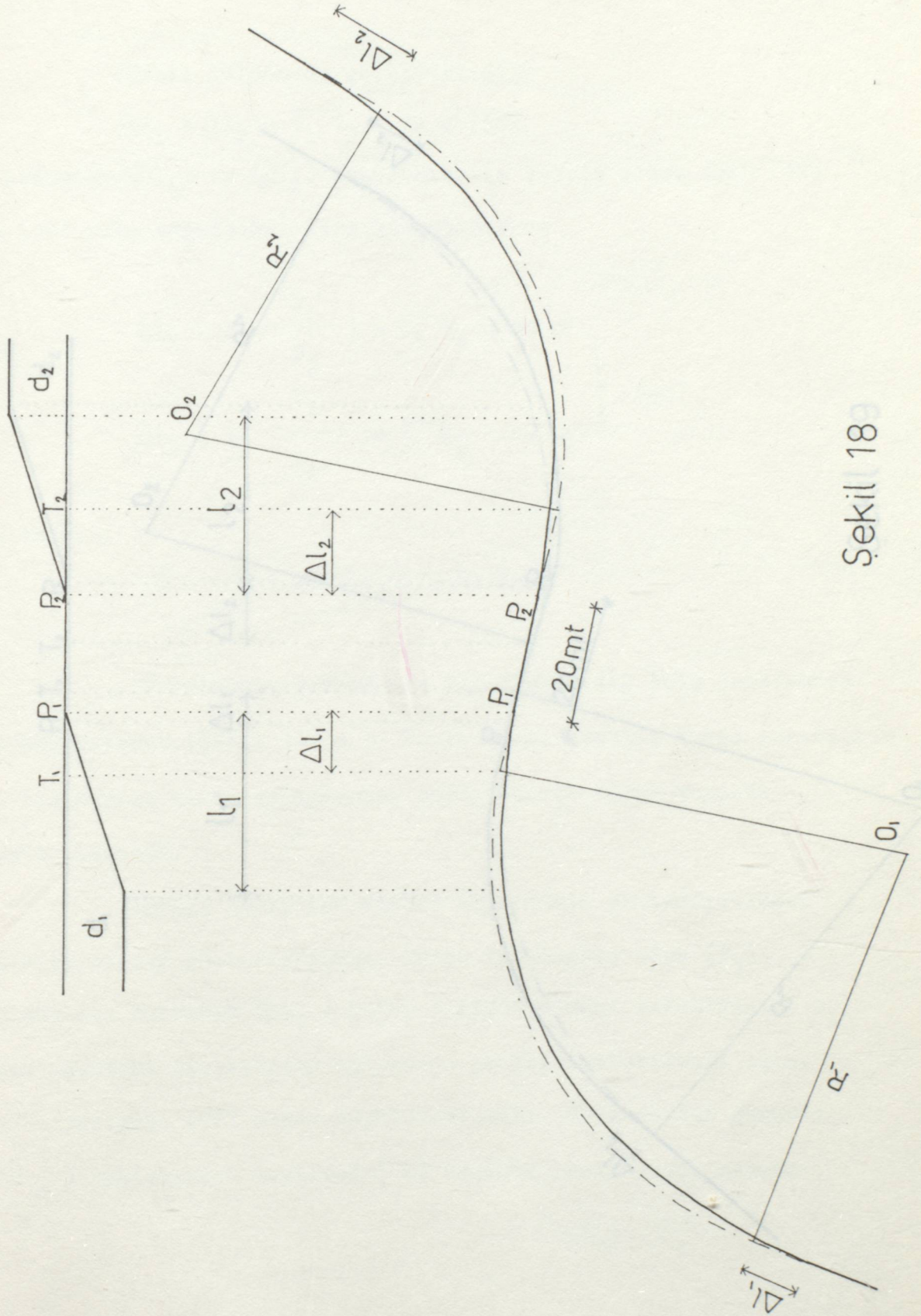
2) $\overline{T_1T_2} < \overline{P_1P_2}$ (Şekil-19)

İki durum içinde kurbanın Alinyman birleştirilmesi farklı olduğundan ayrı ayrı incelenecektir.

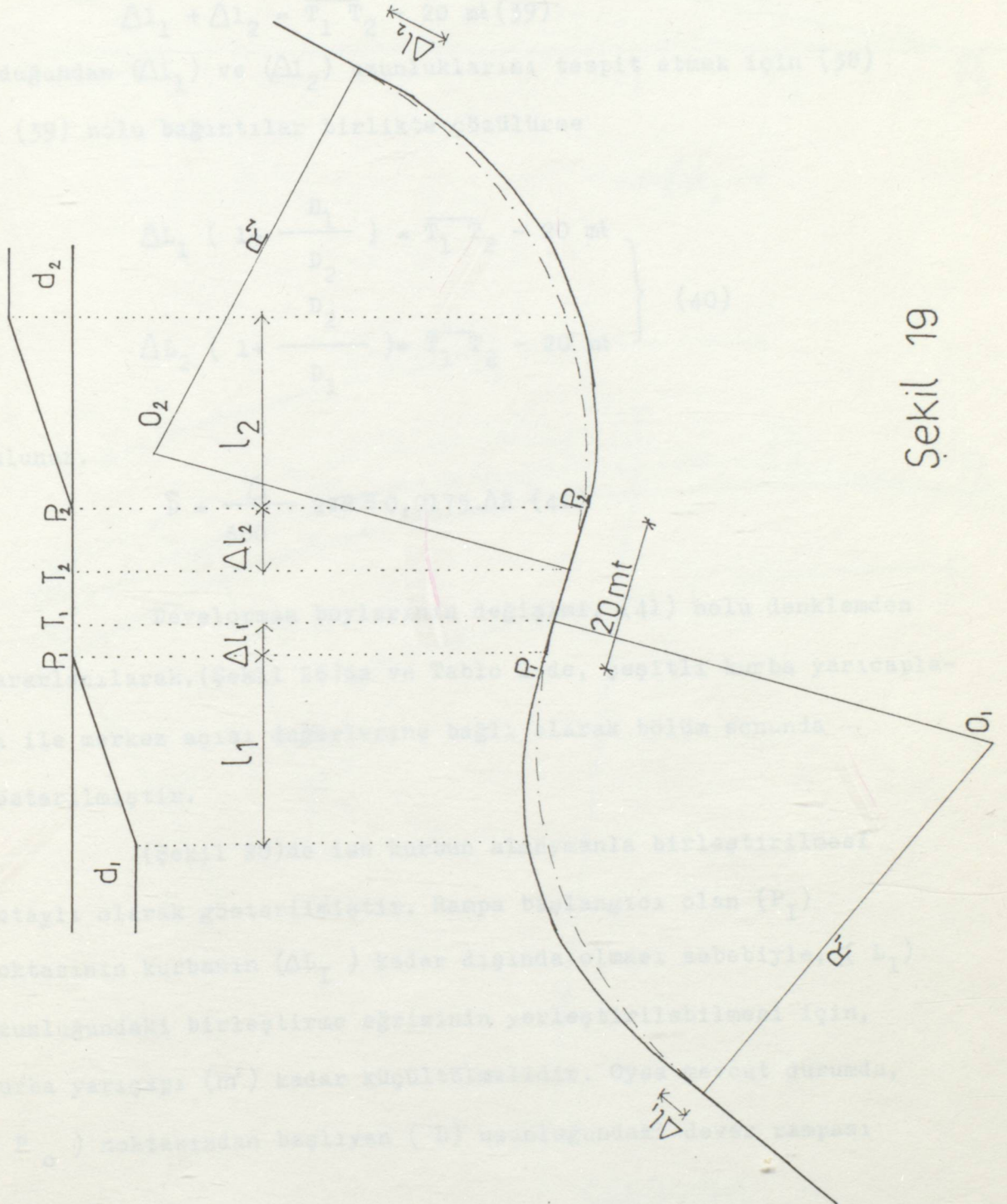
4.1.1. TEĞETLER ARASI MESAFE 20 m'DEN FAZLA İSE:

(Şekil-18)te görüldüğü gibi birleştirme eğrilerinin başlanğıçları olan (P_1) ve (P_2) noktaları arası mesafe 20 m olup $\overline{T_1T_2}$ teğetler arası mesafeden küçük olduğundan, dever rampalarının başlanğıç noktaları iki ters kurbanın teğetleri arasındaki Alinyman üzerindedir. Bu durumda rampa başlanğıçları kurba teğet noktalarından (ΔL_1) ve (ΔL_2) mesafesi kadar dışarıda olduğundan, kurbaların simetriliğinin bozulmaması için kurbaların diğer taraflarında da dever rampalarına teğet noktalarının (ΔL_1) ve (ΔL_2) kadar dışlarından başlanılmaları gerekir. Bu (ΔL_1) ve (ΔL_2) uzunlukları kurbaların developman boyları ile ters orantılı olmalıdır.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} \rightarrow D_1 \times \Delta L_1 = D_2 \times \Delta L_2 \quad (38)$$



Şekil 18



Şekil 19

(Şekil 18)den de görüldüğü gibi

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 = \overline{T_1 T_2} - 20 \text{ mt} \quad (39)$$

olduğundan (Δl_1) ve (Δl_2) uzunluklarını tespit etmek için (38)

ve (39) nolu bağıntılar birlikte çözülürse

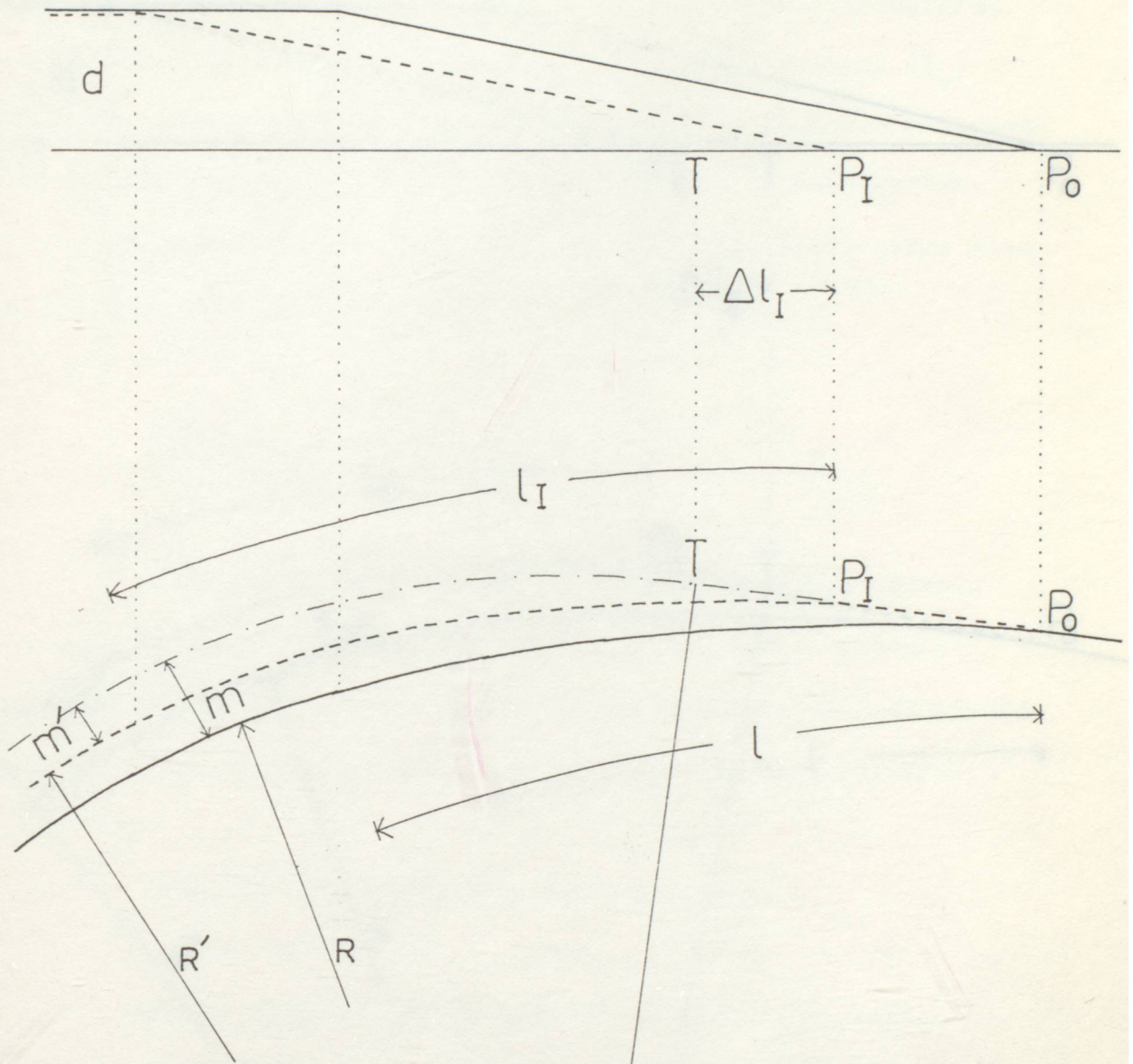
$$\left. \begin{aligned} \Delta L_1 \left(1 + \frac{D_1}{D_2} \right) &= \overline{T_1 T_2} - 20 \text{ mt} \\ \Delta L_2 \left(1 + \frac{D_2}{D_1} \right) &= \overline{T_1 T_2} - 20 \text{ mt} \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

bulunur.

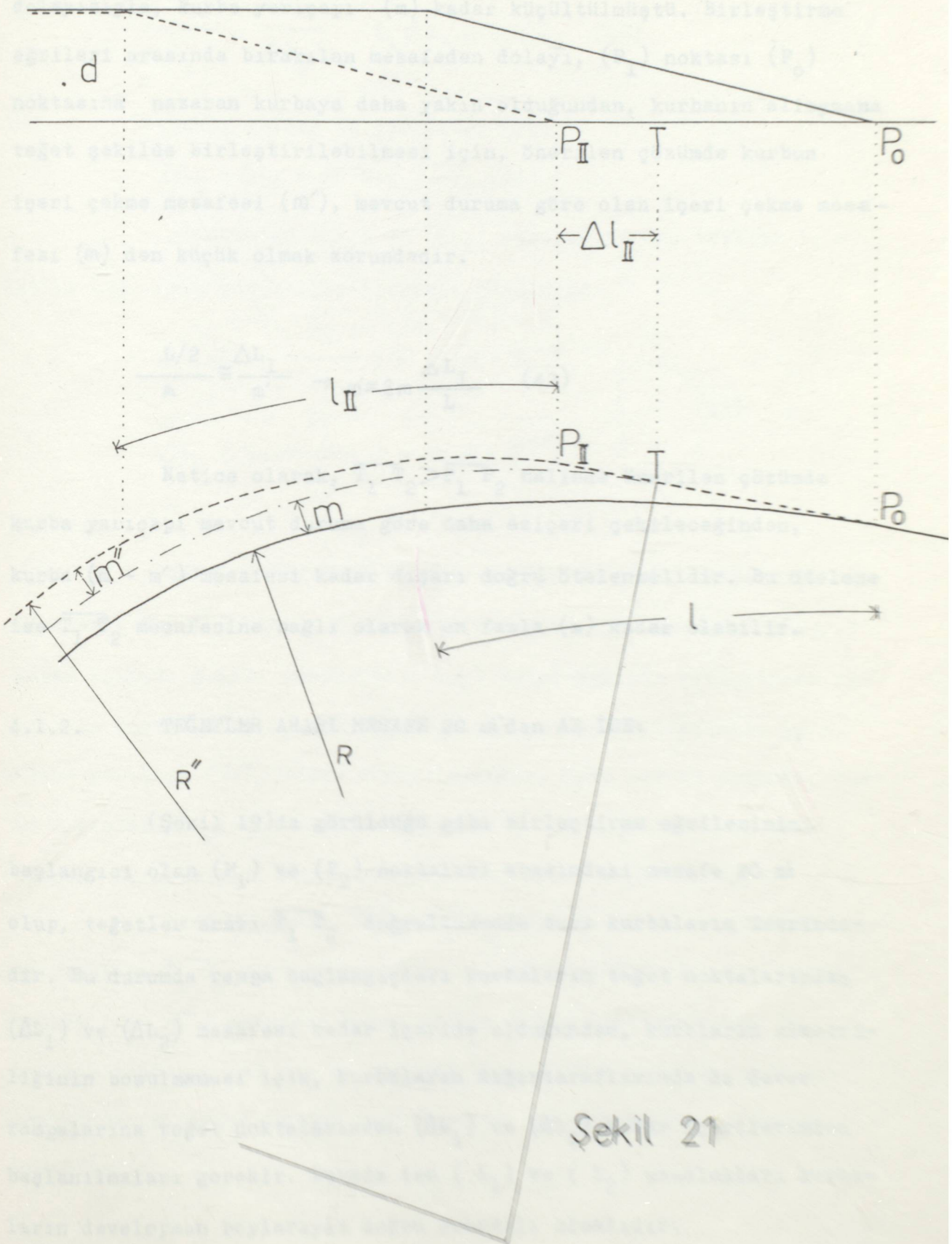
$$\overline{D} = \frac{\Delta}{360} 2\pi R \approx 0,0175 \cdot \Delta R \quad (41)$$

Developman boylarının değişimi, (41) nolu denklemden yararlanılarak, (Şekil 26)da ve Tablo 2 de, çeşitli kurba yarıcapları ile merkez açısı değerlerine bağlı olarak bölüm sonunda gösterilmiştir.

(Şekil 20)de ise kurbun alınymanla birleştirilmesi detaylı olarak gösterilmiştir. Rampa başlangıcı olan (P_I) noktasının kurbanın (ΔL_I) kadar dışında olması sebebiyle, (L_I) uzunluğundaki birleştirme eğrisinin yerleştirilebilmesi için, kurba yarıçapı (m') kadar küçültülmelidir. Oysa mevcut durumda, (P_O) noktasından başlayan (L) uzunluğundaki dever rampası



Şekil 20



Şekil 21

dolayısıyla, kurba yarıçapı (m) kadar küçültülmüştü. Birleştirme eğrileri arasında bırakılan mesafeden dolayı, (P_I) noktası (P_O) noktasına nazaran kurbaya daha yakın olduğundan, kurbanın alinymana teğet şekilde birleştirilebilmesi için, önerilen çözümde kurbun içeri çekme mesafesi (m'), mevcut duruma göre olan içeri çekme mesafesi (m) den küçük olmak zorundadır.

$$\frac{L/2}{m} \approx \frac{\Delta L_I}{m'} \rightarrow m' \approx 2m \frac{\Delta L_I}{L} \quad (42)$$

Netice olarak, $\overline{T_1 T_2} > \overline{P_1 P_2}$ halinde önerilen çözümde kurba yarıçapı mevcut duruma göre daha az içeri çekileceğinden, kurba (m - m') mesafesi kadar dışarı doğru ötelenmelidir. Bu öteleme ise $\overline{T_1 T_2}$ mesafesine bağlı olarak en fazla (m) kadar olabilir..

4.1.2. TEĞETLER ARASI MESAFE 20 m'den AZ İSE:

(Şekil 19)da görüldüğü gibi birleştirme eğrilerinin başlangıcı olan (P₁) ve (P₂) noktaları arasındaki mesafe 20 m olup, teğetler arası $\overline{T_1 T_2}$ doğrultusunda ters kurbaların üzerindedir. Bu durumda rampa başlangıçları kurbaların teğet noktalarından (ΔL_1) ve (ΔL_2) mesafesi kadar içeride olduğundan, kurbların simetrlığının bozulmaması için, kurbaların diğertaraflarında da dever rampalarına teğet noktalarından (ΔL_1) ve (ΔL_2) kadar içerilerinden başlanılmaları gerekir. Burada ise (L₁) ve (L₂) uzunlukları kurbaların developman boylarıyla doğru orantılı olmalıdır.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\Delta L_1}{\Delta L_2} \quad D_1 \Delta L_2 = D_2 \Delta L_1 \quad (43)$$

(Şekil 19)dan da görüldüğü gibi

$$\Delta L_1 + \Delta L_2 = 20 \text{ mt} - \overline{T_1 T_2} \quad (44)$$

olduğundan (ΔL_1) ve (ΔL_2) uzunluklarının tespiti için

(43) ve (44) nolu bağıntılar birlikte çözülürse

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_1 \left(1 + \frac{D_2}{D_1} \right) &= 20 \text{ mt} - \overline{T_1 T_2} \\ \Delta L_2 \left(1 - \frac{D_1}{D_2} \right) &= 20 \text{ mt} - \overline{T_1 T_2} \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

bulunur.

(Şekil 21)de daha detaylı görüldüğü gibi, rampa başlangıcı olan (P_{II}) noktasının kurbanın alinyman doğrultusunda (ΔL_{II}) kadar içeride olması sebebiyle (L_{II}) uzunluğundaki birleştirme eğrisinin kurba ve alinymana teğet olarak yerleştirilebilmesi için, kurba yarıçapı (m'') kadar büyütülmelidir. Oysa mevcut durumda, kurba dışındaki (P_o) noktasından başlayan (L) uzunluğundaki dever rampası dolayısıyla, kurba yarıçapı (m) kadar küçültülmüştü.

Netice olarak, $\overline{T_1 T_2} < \overline{P_1 P_2}$ halinde önerilen çözümde kurba yarıçapı $\overline{T_1 T_2}$ mesafesine bağlı olarak büyütüleceğinden, kurba toplam ($m + m''$) mesafesi kadar dışarı doğru ötelenmelidir. Bu öteleme miktarı, (m) den az olmamak üzere, (ΔL) uzunluğu arttıkça büyüyecektir. (Şekil 22)den faydalanarak öteleme miktarını hesaplayabilirsiniz.

Şekil 22

$$N = \sqrt{R_o^2 + (L + \Delta L)^2}$$

$$m'' = \sqrt{R_o^2 + (L + L)^2 - R_o - y} \quad (46)$$

$$N = R_o + y + m'$$

$$y = y_A \cdot \cos \phi, \quad \cos \phi = \frac{R_o}{R_o + m'' + y}$$

$$y_A = \frac{L^2}{6R} \sim \frac{L^2}{7,07R} \quad (\text{Tablo I b})$$

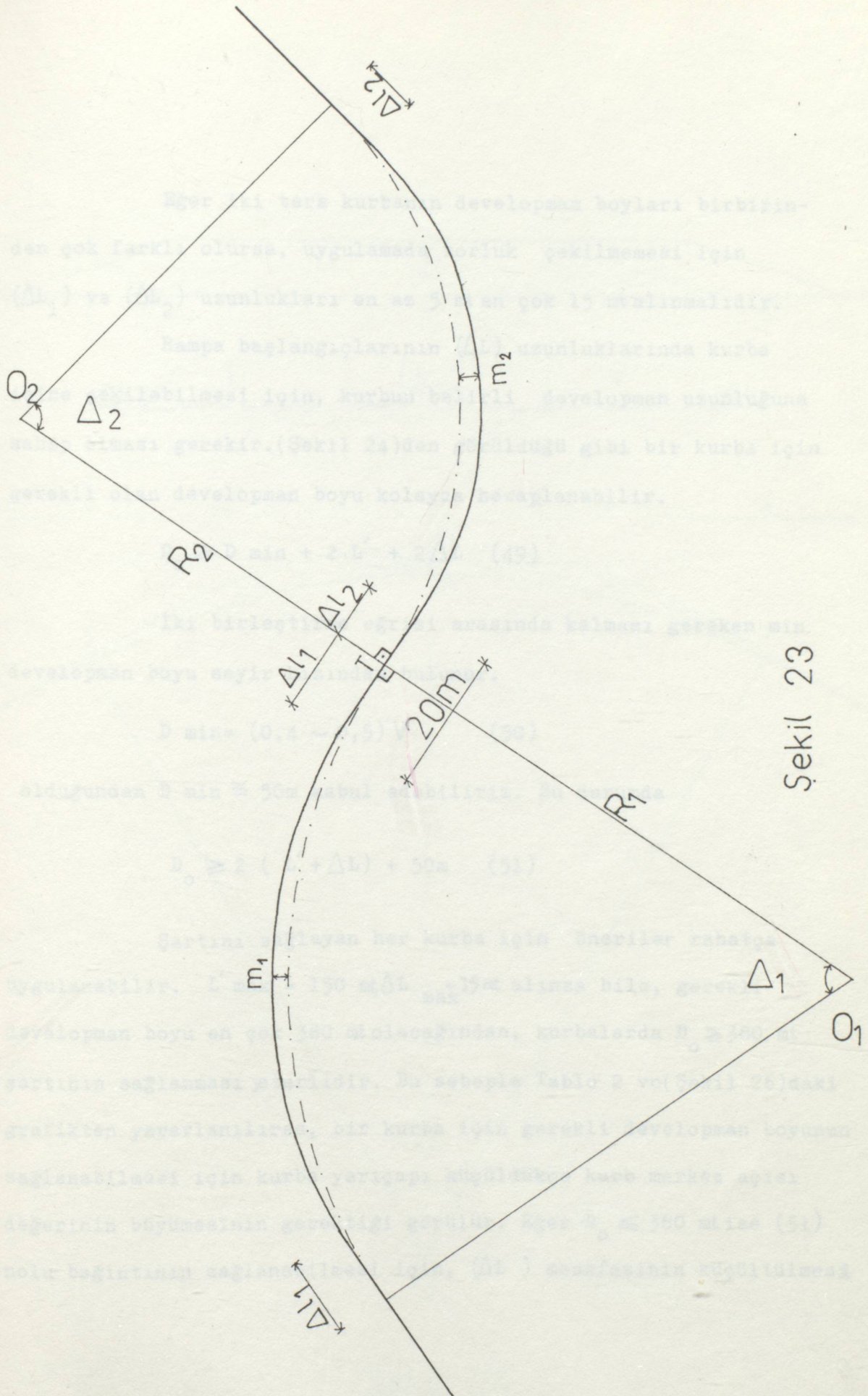
4.2. TERS KURBALARIN BİRBİRİNE TEĞET OLMASI:

(Şekil 23)de görüldüğü gibi $\overline{T_1 T_2} = 0$ özel hali olan bu durum $\overline{T_1 T_2} < 20$ m haline benzer özelliktedir. Bu durumda birleştirme eğrileri arasında bırakılması gereken 20 m'lik $\overline{P_1 P_2}$ uzunluğu, kurbaların developman boylarıyla orantılı olarak ve $\overline{O_1 O_2}$ doğrultusuna dik olmak üzere, (ΔL_1) ve (ΔL_2) uzunluklarında ters kurbalara taksim edilir.

$$\Delta L_1 + \Delta L_2 = \overline{P_1 P_2} = 20 \text{ m} \quad (47)$$

(43) ve (47) numaralı bağıntılar birlikte çözülerek (ΔL_1) ve (ΔL_2) tespit edilir.

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_1 \left(1 + \frac{D_2}{D_1} \right) &= 20 \text{ m} \\ \Delta L_2 \left(1 + \frac{D_1}{D_2} \right) &= 20 \text{ m} \end{aligned} \right\} \quad (48)$$



Şekil 23

Eğer iki ters kurbanın developman boyları birbirinden çok farklı olursa, uygulamada zorluk çekilmemesi için (ΔL_1) ve (ΔL_2) uzunlukları en az 5 m'ten çok 15 m alınmalıdır.

Rampa başlangıçlarının (ΔL) uzunluklarında kurba içine çekilebilmesi için, kurban belirli developman uzunluğuna sahip olması gerekir. (Şekil 24)den görüldüğü gibi bir kurba için gerekli olan developman boyu kolayca hesaplanabilir.

$$D_o \geq D_{\min} + 2 L' + 2 \Delta L \quad (49)$$

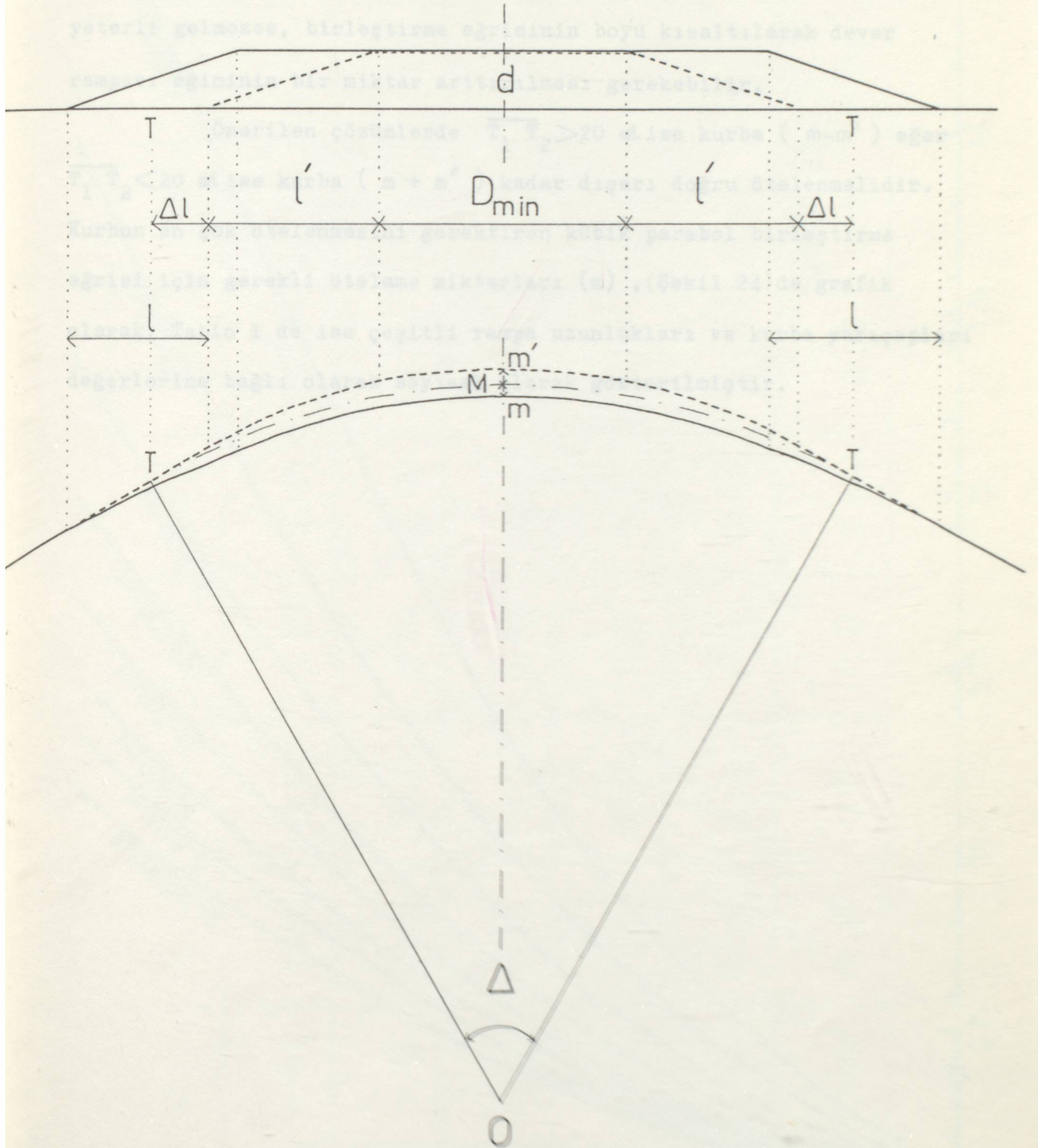
İki birleştirme eğrisi arasında kalması gereken min. developman boyu seyir hızından bulunur.

$$D_{\min} = (0,4 \sim 0,5) V \quad (50)$$

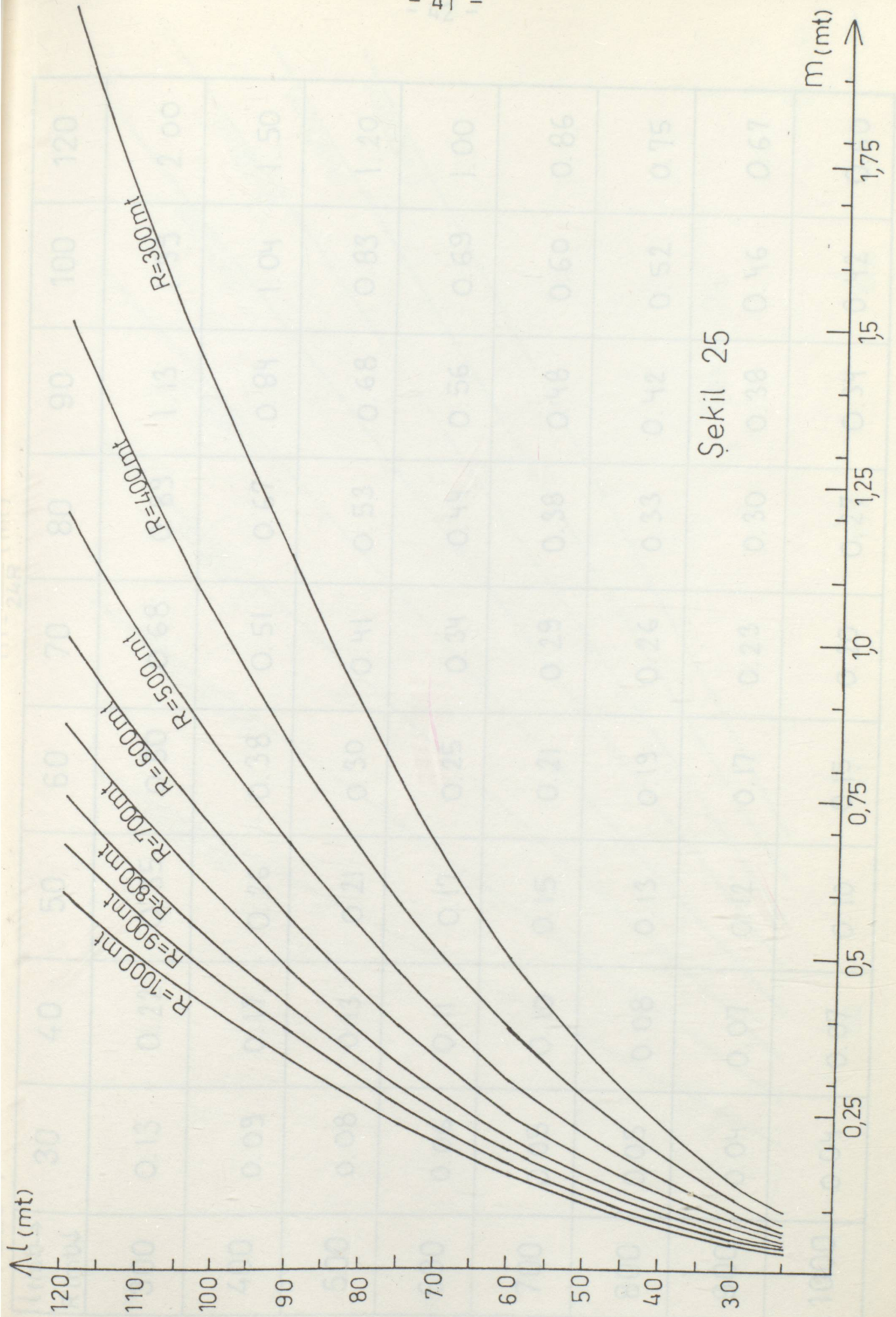
olduğundan $D_{\min} \cong 50m$ kabul edebiliriz. Bu durumda

$$D_o \geq 2 (L' + \Delta L) + 50m \quad (51)$$

Şartını sağlayan her kurba için öneriler rahatça uygulanabilir. $L'_{\max} = 150m$, $\Delta L_{\max} = 15m$ alınsa bile, gerekli developman boyu en çok 380 m olacağından, kurbalarda $D_o \geq 380m$ şartının sağlanması yeterlidir. Bu sebeple Tablo 2 ve (Şekil 26)daki grafikten yararlanılırsa, bir kurba için gerekli developman boyunun sağlanabilmesi için kurba yarıçapı küçüldükçe kurba merkez açısı değerinin büyümesinin gerektiği görülür. Eğer $D_o \leq 380m$ ise (51) nolu bağıntının sağlanabilmesi için, (ΔL) mesafesinin küçültülmesi



Şekil 24

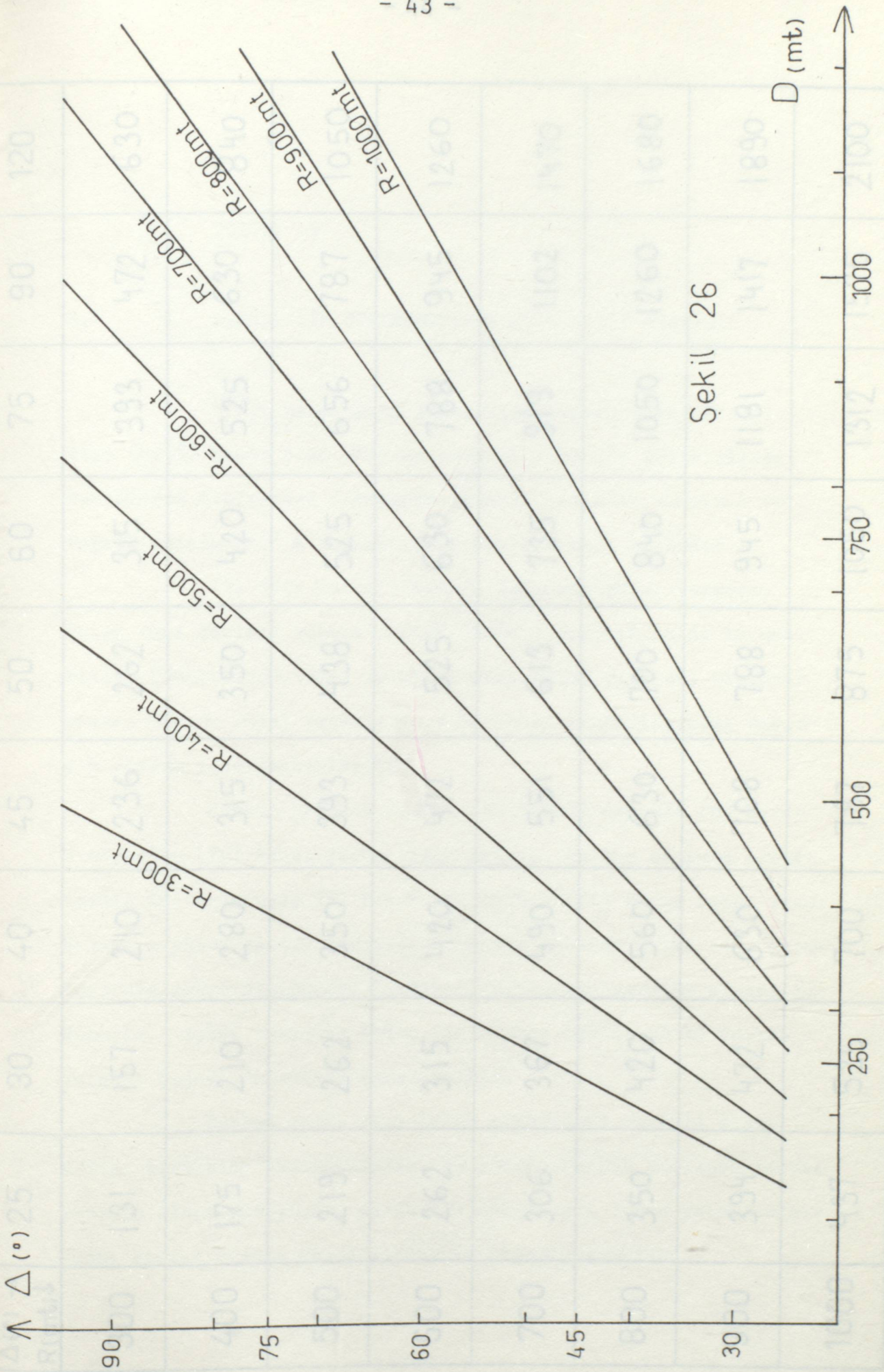


Şekil 25

TABLO 1

$m = \frac{1}{24R} \text{ (mt)}$

$l \text{ (mt)} \rightarrow$ $R \text{ (mt)} \downarrow$	30	40	50	60	70	80	90	100	120
300	0.13	0.22	0.35	0.50	0.68	0.89	1.13	1.39	2.00
400	0.09	0.17	0.26	0.38	0.51	0.67	0.84	1.04	1.50
500	0.08	0.13	0.21	0.30	0.41	0.53	0.68	0.83	1.20
600	0.06	0.11	0.17	0.25	0.34	0.44	0.56	0.69	1.00
700	0.05	0.10	0.15	0.21	0.29	0.38	0.48	0.60	0.86
800	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.33	0.42	0.52	0.75
900	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23	0.30	0.38	0.46	0.67
1000	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.27	0.34	0.42	0.60



TABLO 2

D=0,0175 RΔ (mt)

$\Delta(^{\circ}) \rightarrow$ R(mt)↓	25	30	40	45	50	60	75	90	120
300	131	157	210	236	262	315	393	472	630
400	175	210	280	315	350	420	525	630	840
500	219	262	350	393	438	525	656	787	1050
600	262	315	420	472	525	630	788	945	1260
700	306	367	490	551	613	735	919	1102	1470
800	350	420	560	630	700	840	1050	1260	1680
900	394	472	630	708	788	945	1181	1417	1890
1000	437	525	700	787	875	1050	1312	1575	2100

BÖLÜM V

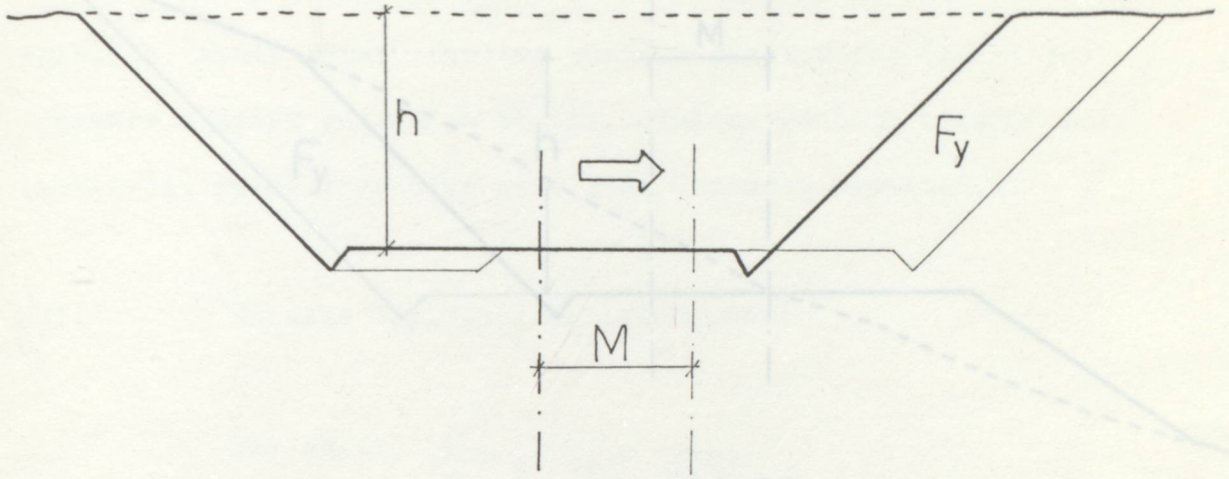
5. KURBALARIN ÖTELENMESİNDE TOPRAK İŞİ HESABI:

$\overline{T_1 T_2}$ uzunluğuna göre kurba merkezindeki $(m-m')$ veya $(m+m'')$ kadar olan öteleme mesafesi (M) ile gösterilirse; kurbaların ötelenmesi durumunda gerekli istimlak alanının n ve toprak işinin $(M)' e$ bağlı olarak hesaplanması lazımdır.

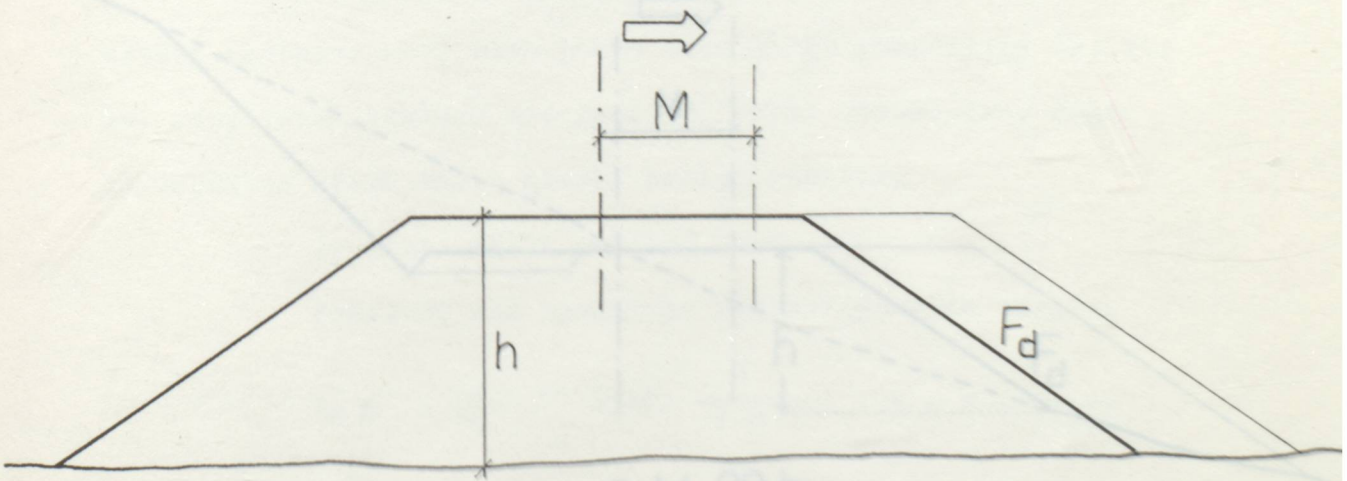
İki ters kurba arazinin durumuna göre, yarmada, dolgu veya karışık enkesit olmak üzere 3 değişik halde bulunabilir. (Kurbaların tünel ve köprü gibi sanat yapıları üzerinde olması durumu ihmal edilmiştir.) Kurbalar birbirlerinden bağımsız olarak inceleneceklerdir.

Kurbun yarmada olduğu (şekil-27) durumda (M) kadar ötelemekten (F_y) kadar yarma alanı artışı, kurbun dolguda olduğu (şekil-28) durumunda (M) kadar ötelemekten (F_d) kadar dolgu alanı artışı meydana gelir. Karışık enkesitte bulunan kurba ise, yarma tarafına doğru ötelenirse (şekil-29-a) kurbun yarmada olması durumuyla, dolgu tarafına doğru ötelenirse (şekil-29-b) kurbun dolguda olması durumuyla karşılaştırılır.

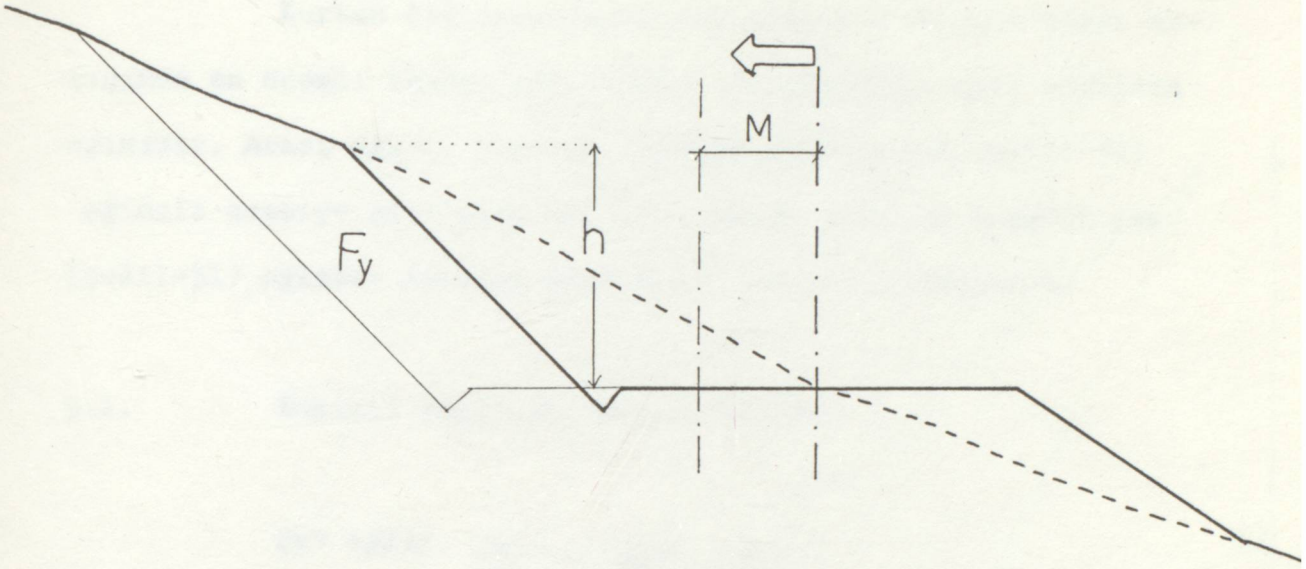
Kurbun yarma veya dolgu kısmındaki enkesit alanı artışı birbirine benzemektedir. Bu yüzden kurbun ötelenmesindeki ankesit alanı artışında, yarma ile dolgu aynı tipte yalnızca şev eğimi farklı olarak gösterilecek ve hesaplanacaktır.



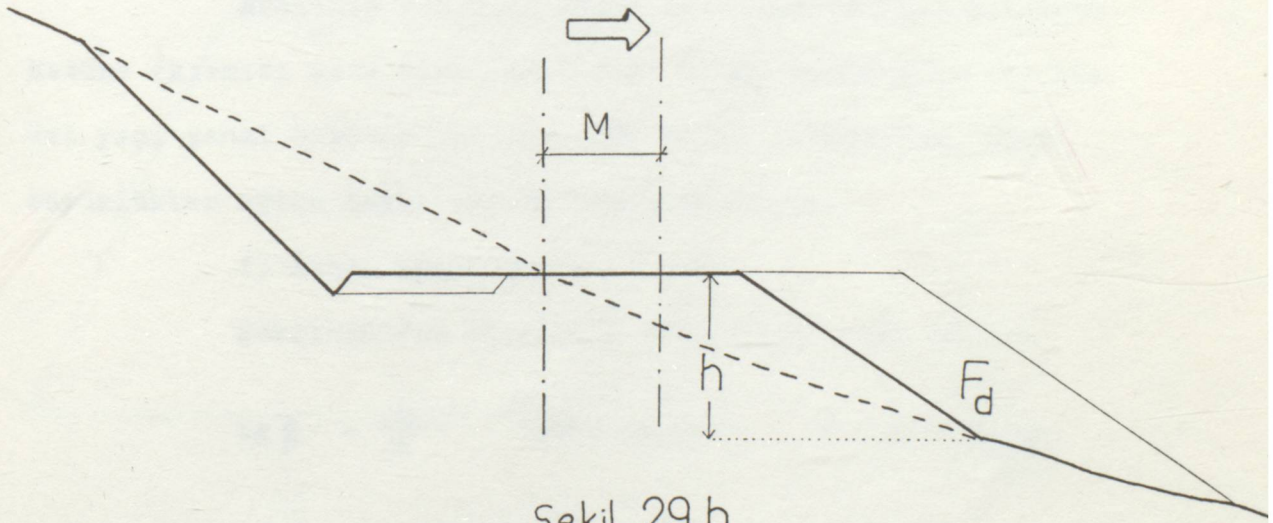
Şekil 27



Şekil 28



Şekil 29 a



Şekil 29 b

Kurbun ötelenmesinden meydanageleken enkesit alanı artışıında en önemli faktör şekillerden de görüldüğü gibi arazinin eğimidir. Arazi eğimi, öteleme yönünde pozitif ise (şekil-30) eğimsiz araziye göre alan artışı, öteleme yönünde negatif ise (şekil-31) eğimsiz araziye göre alan azalması olmaktadır.

5.1. Enkesit Boyutları Artışı Hesabı:

$$\text{Şev eğimi, } \frac{1}{n} = \operatorname{tg} \alpha \quad (52)$$

$$\text{Arazi eğimi, } m = \operatorname{tg} \beta \quad (53)$$

olmak üzere şev ve arazi eğimleri yatay düzlemle yaptıkları açıya göre (Şekil-32'te) gösterilmişlerdir.

Arazinin durumuna göre, kret noktasından platform üstüne (kırmızı kot) olan yarma veya dolgu yüksekliği (h) ile üst yapı yanal öteleme mesafesi (M) belli olduğundan, diğer büyüklükler eğime bağlı olarak hesaplanabilir.

I) Arazi eğimi pozitif ise;

Şekil-30'dan aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

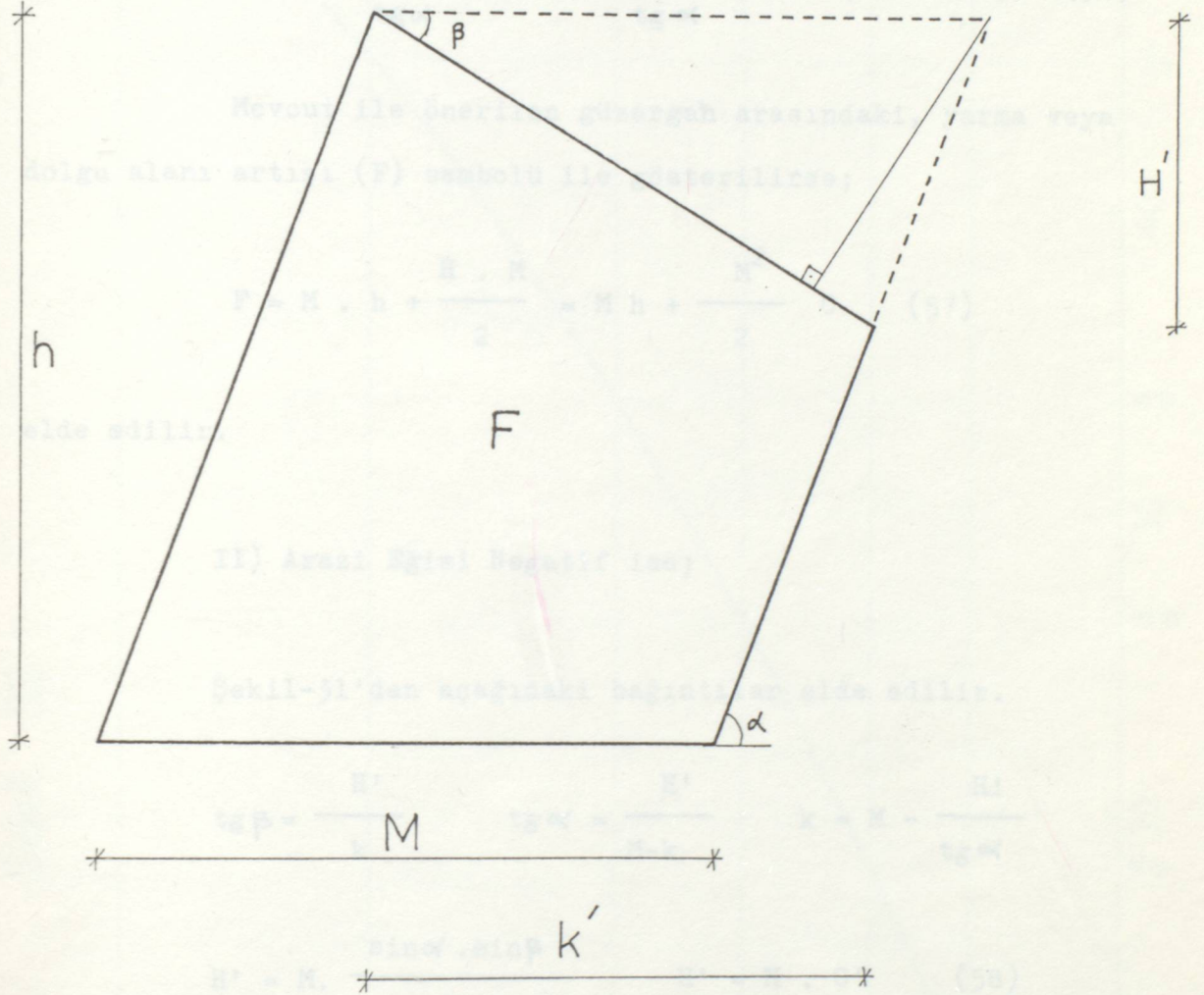
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{K} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{K-M} \quad k = M + \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$H = M \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} \quad H = M \cdot C \quad (54)$$

$$C = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} = \frac{m}{1-n \cdot m} \quad (55)$$

Mevcut ile Üzerilen güzergahın yatay noktasal aralık-
daki yatay mesafe (K) sembolü ile gösterilirse;

$$K = M + \frac{MC}{\sin \beta} = M \left(1 + \frac{C}{M \sin \beta} \right) = M (1 + nC) \quad (56)$$



Şekil 31

Mevcut ile önerilen güzergahın kret noktaları arasındaki yatay mesafe (k) sembolü ile gösterilirse;

$$k = M + \frac{MC}{\operatorname{tg} \alpha} = M \left(1 + \frac{C}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = M (1 + nC) \quad (56)$$

Mevcut ile önerilen güzergah arasındaki, yarma veya dolgu alanı artışı (F) sembolü ile gösterilirse;

$$F = M \cdot h + \frac{H \cdot M}{2} = M h + \frac{M^2}{2} C \quad (57)$$

elde edilir.

II) Arazi Eğimi Negatif ise;

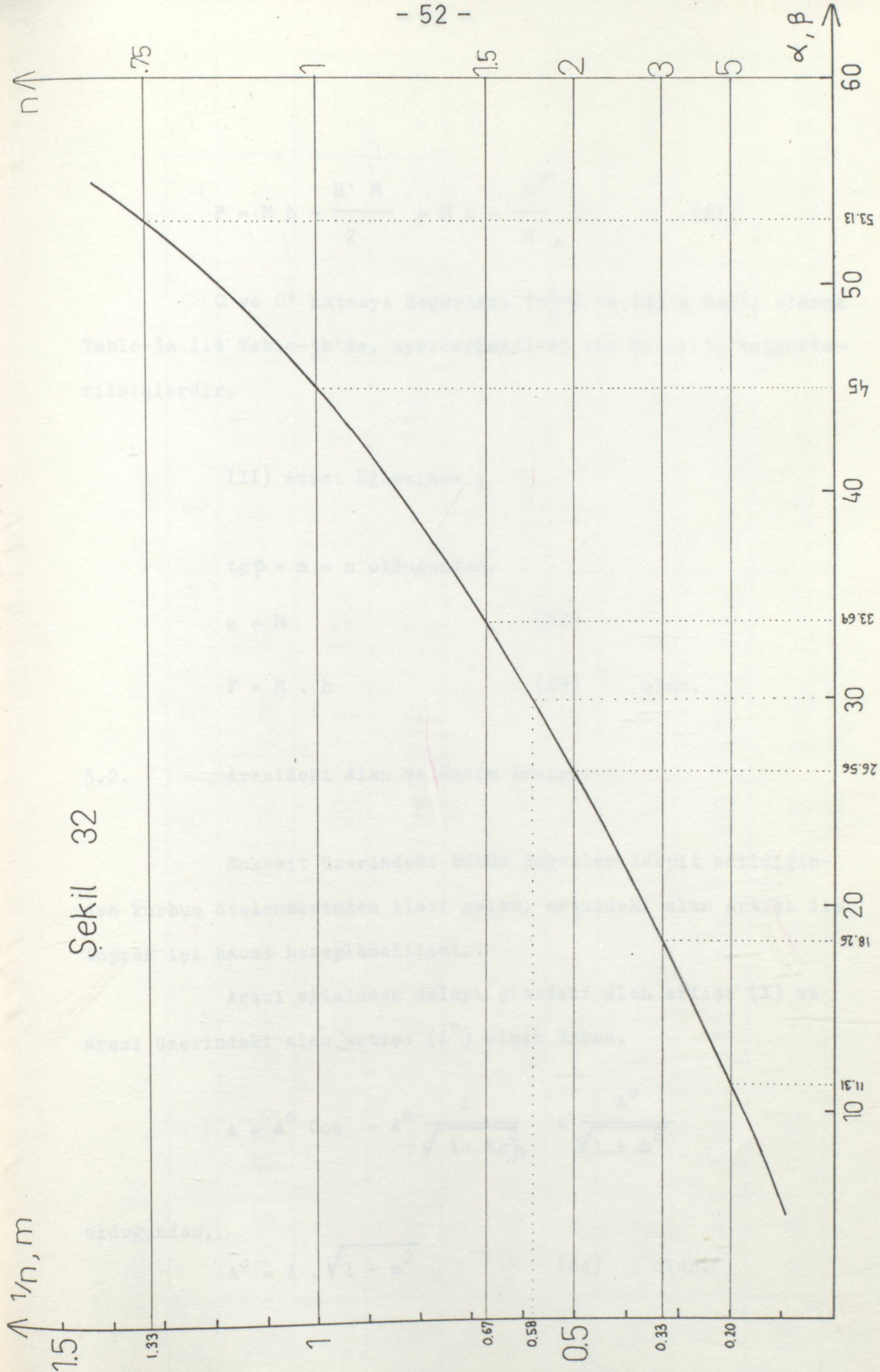
Şekil-31'den aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H'}{k} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{H'}{M-k} \quad k = M - \frac{H'}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$H' = M \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad H' = M \cdot C' \quad (58)$$

$$C' = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} = \frac{m}{1+nm} \quad (59)$$

$$k = M - \frac{M C'}{\operatorname{tg} \alpha} = M \left(1 - \frac{C'}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = M(1 - nC') \quad (60)$$



Şekil 32

$$F = M h - \frac{H' M}{2} = M h - \frac{M^2}{2} C' \quad (61)$$

C ve C' katsayı değerleri ($\frac{1}{n}$) ve (m)'e bağlı olarak Tablo-3a ile Tablo-3b'de, ayrıca(Şekil-33 ile Şekil-34'te)gösterilmişlerdir.

III) Arazi Eğimsizse ;

$$\operatorname{tg} \beta = m = 0 \text{ olduğundan,}$$

$$k = M \quad (62)$$

$$F = M \cdot h \quad (63) \quad \text{olur.}$$

5.2. Arazideki Alan ve Hacim Artışı:

Enkesit üzerindeki bütün değerler tespit edildiğinden kurbun ötelenmesinden ileri gelen, arazideki alan artışı ile toprak işi hacmi hesaplanabilir.

Arazi eğiminden dolayı plandaki alan artışı (A) ve arazi üzerindeki alan artışı (A^0) olmak üzere,

$$A = A^0 \cos \beta = A^0 \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} = \frac{A^0}{\sqrt{1 + m^2}}$$

olduğundan,

$$A^0 = A \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad (64) \quad \text{olur.}$$

TABLO 3a

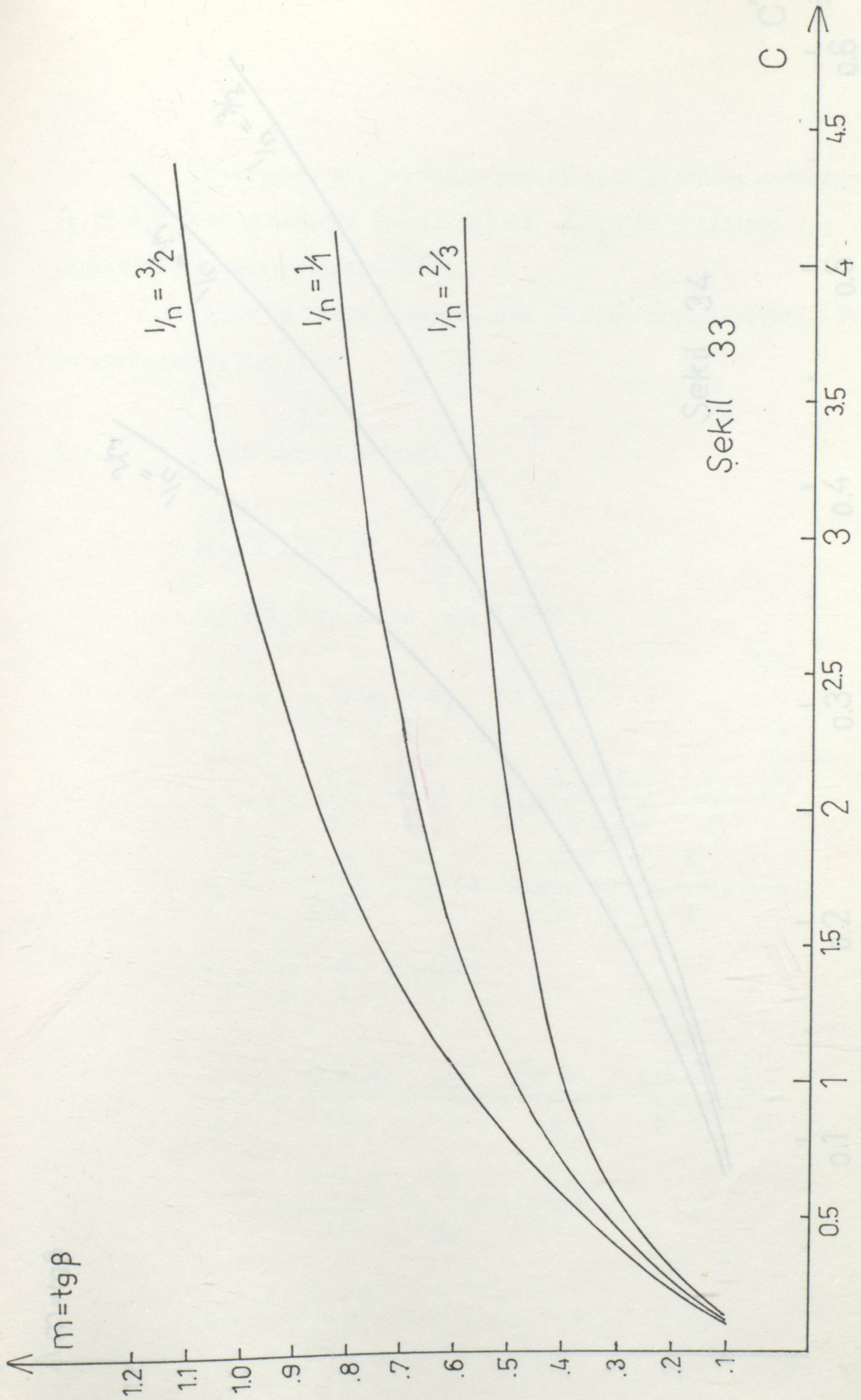
$$C = \frac{m}{1 - mn}$$

$\downarrow \frac{1}{n} \rightarrow m$	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2
$\frac{2}{3}$	0.118	0.286	0.545	1.00	2.00	6.00	∞	—	—	—	—	—
1	0.111	0.250	0.429	0.666	1.00	1.50	2.333	4.00	9.00	∞	—	—
1.5	0.107	0.231	0.375	0.545	0.750	1.00	1.312	1.714	2.250	3.00	4.125	6.00

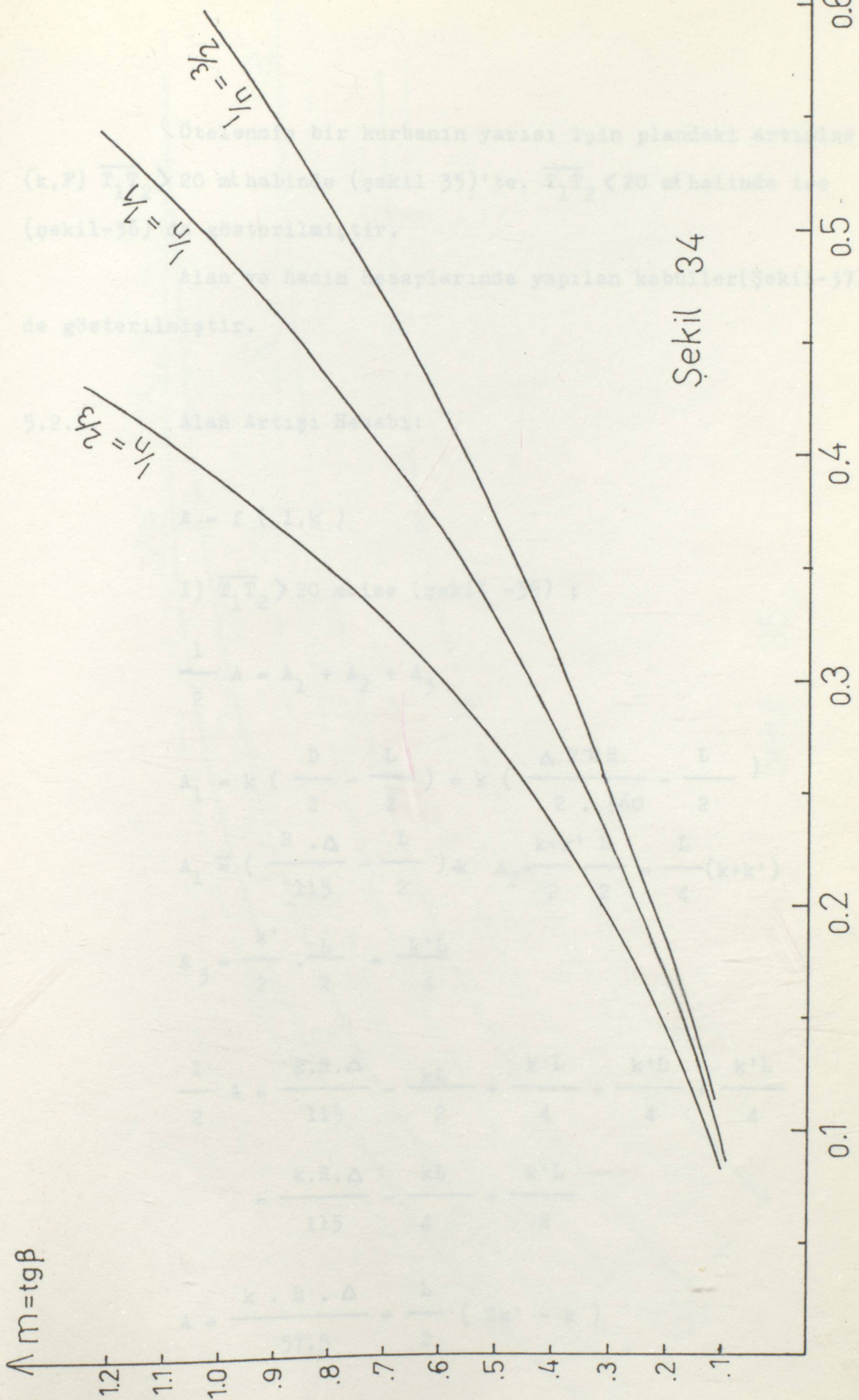
TABLO 3b

$$C' = \frac{m}{1 + mn}$$

$\downarrow \frac{1}{n} \rightarrow m$	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2
$\frac{2}{3}$	0.087	0.154	0.207	0.250	0.286	0.316	0.341	0.364	0.383	0.40	0.415	0.429
1	0.091	0.167	0.231	0.286	0.333	0.375	0.412	0.444	0.474	0.50	0.524	0.545
1.5	0.094	0.176	0.250	0.312	0.375	0.429	0.477	0.522	0.563	0.60	0.635	0.667



Şekil 33



Ötelenmiş bir kurbanın yarısı için plandaki artışlar $(k,F) \overline{T_1 T_2} > 20$ m'thalinde (şekil 35)'te, $\overline{T_1 T_2} < 20$ m'thalinde ise (şekil-36)'da gösterilmiştir.

Alan ve hacim hesaplarında yapılan kabüller(Şekil-37) de gösterilmiştir.

5.2.1. Alan Artışı Hesabı:

$$A = f(1, k)$$

I) $\overline{T_1 T_2} > 20$ m'tise (şekil -35) ;

$$\frac{1}{2} A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_1 = k \left(\frac{D}{2} - \frac{L}{2} \right) = k \left(\frac{\Delta \cdot 2 \pi R}{2 \cdot 360} - \frac{L}{2} \right)$$

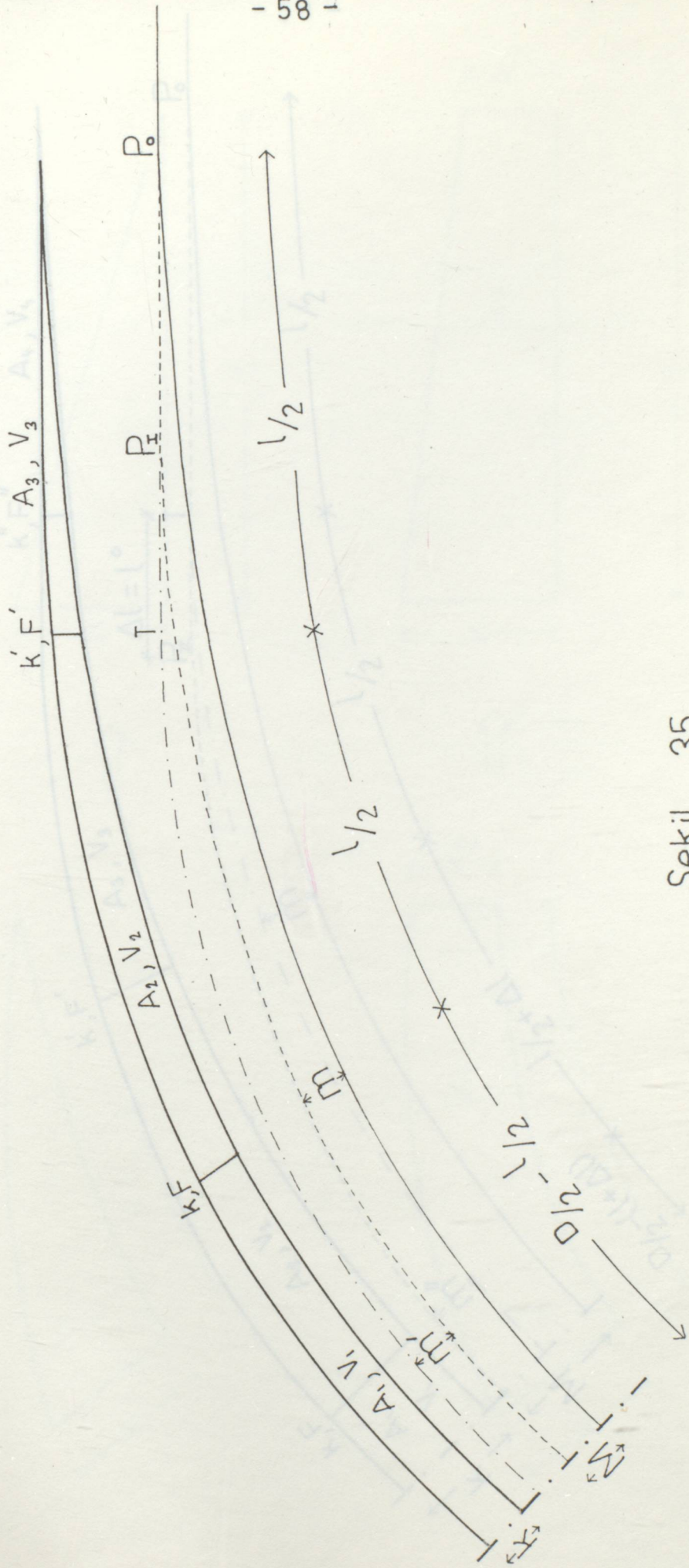
$$A_1 \approx \left(\frac{R \cdot \Delta}{115} - \frac{L}{2} \right) \cdot k \quad A_2 = \frac{k+k'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{L}{4} (k+k')$$

$$A_3 = \frac{k'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{k' L}{4}$$

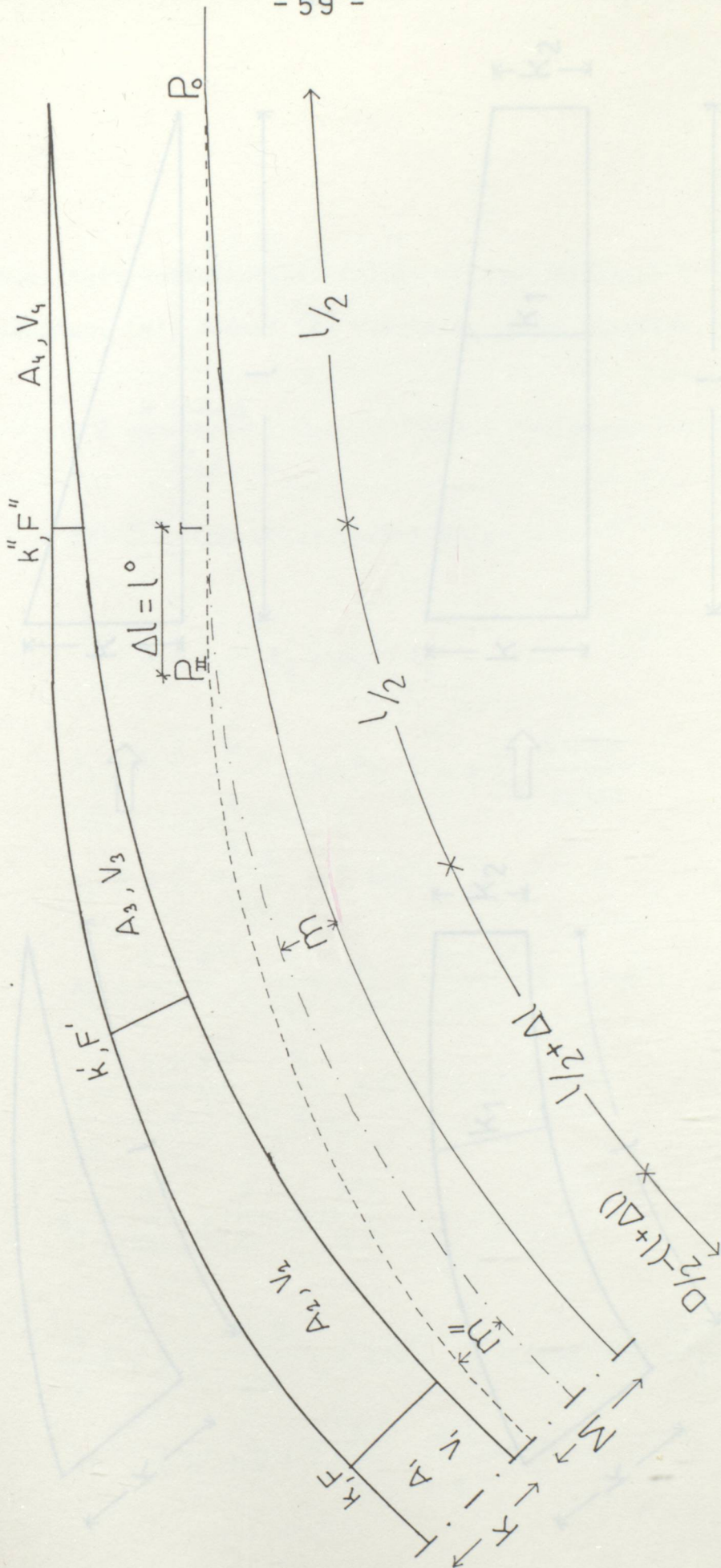
$$\frac{1}{2} A = \frac{k \cdot R \cdot \Delta}{115} - \frac{kL}{2} + \frac{k' L}{4} + \frac{k' L}{4} + \frac{k' L}{4}$$

$$= \frac{k \cdot R \cdot \Delta}{115} - \frac{kL}{4} + \frac{k' L}{2}$$

$$A = \frac{k \cdot R \cdot \Delta}{57,5} + \frac{L}{2} (2k' - k)$$

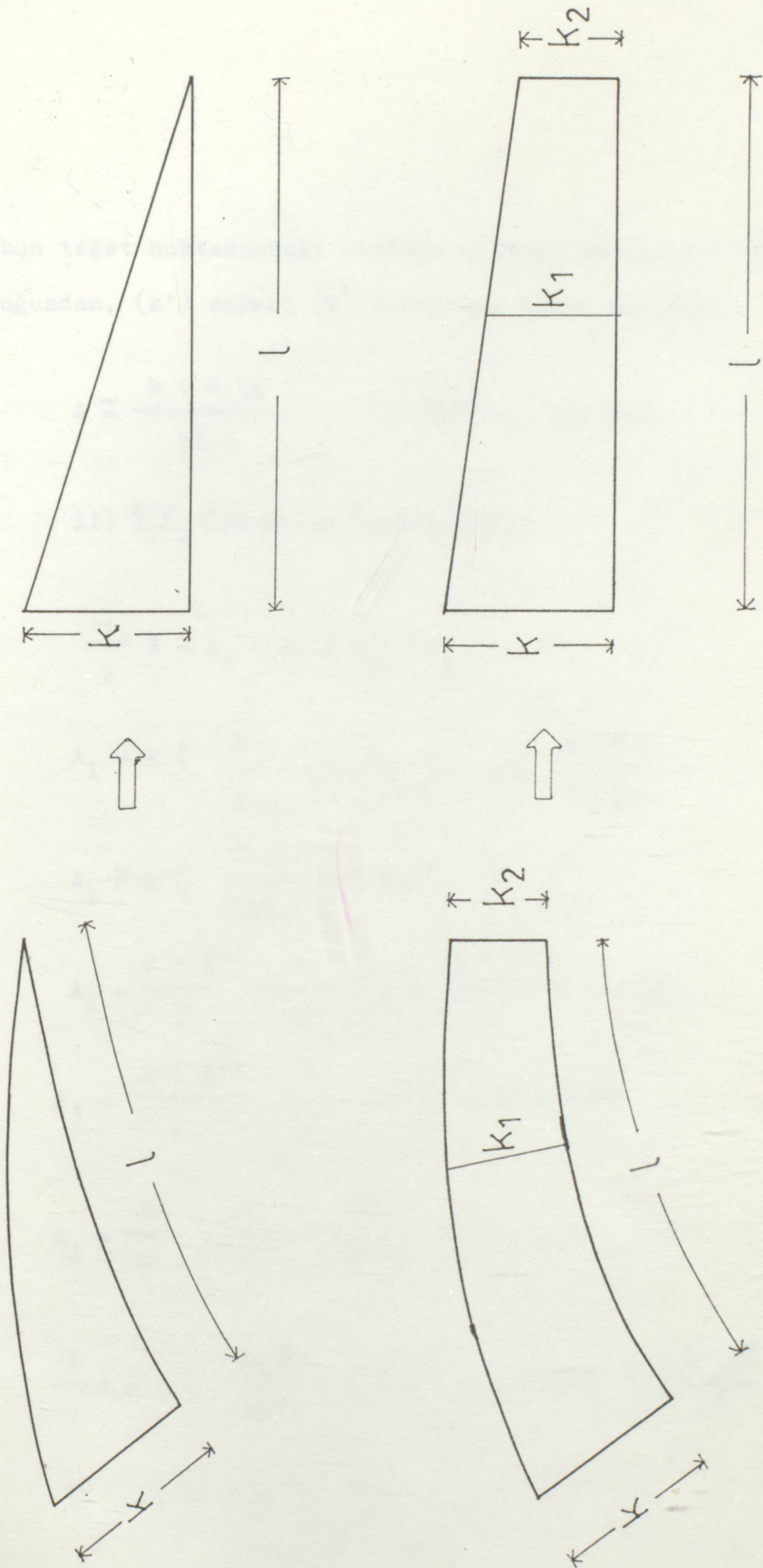


Şekil 35



Şekil 36

Şekil 37



Şekil 37

(k') kurbun teğet noktasındaki öteleme miktarı yaklaşık ($\frac{k}{2}$) kadar olduğundan, (k') değeri (k) cinsinden ifade edilirse,

$$A \approx \frac{k \cdot R \cdot \Delta}{57,5} \quad (65) \quad \text{bulunur.}$$

$$\text{II) } \overline{T_1 T_2} < 20 \text{ mtise (şekil-36);}$$

$$\frac{1}{2} A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = k \left(\frac{D}{2} - (L+L^0) \right) = k \left(\frac{\Delta 2\pi R}{2.360} - (L+L^0) \right)$$

$$A_1 \approx k \left(\frac{R \cdot \Delta}{115} - (L+L^0) \right)$$

$$A_2 = \frac{k + k''}{2} \left(\frac{L}{2} + L^0 \right) = \frac{k + k''}{4} (L + 2L^0)$$

$$A_3 = \frac{k + k''}{2} \cdot \frac{L}{2} = (k' + k'') \cdot \frac{L}{4}$$

$$A_4 = \frac{k'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{k'L}{4}$$

$$\frac{1}{2} A = k \left(\frac{R \cdot \Delta}{115} - (L+L^0) \right) + (k+k'') \cdot \left(\frac{L+2L^0}{4} \right) +$$

$$(k' + k'') \cdot \frac{L}{4} + \frac{k'L}{4}$$

$$A = k. \left(\frac{R. \Delta}{57,5} - \frac{3}{2} L - L^0 \right) + k' L + k'' (L + L^0)$$

Teğet noktasındaki öteleme miktarı (k') yaklaşık $\left(\frac{k}{4}\right)$ kadar olduğundan, kurban birleştirme eğrisi üzerindeki öteleme miktarı (k'') ise yaklaşık olarak $\left(\frac{k}{2}\right)$ kadardır. (Şekil-37) (k') ve (k'') değerleri (k) cinsinden ifade edilirse;

$$A \approx k \left(\frac{R. \Delta}{57,5} + \frac{3L}{4} - \frac{L^0}{2} \right) \quad (66)$$

bulunur.

5.2.2. Hacim Artışı Hesabı:

$$V = f(1, F)$$

1) $\overline{T_1 T_2} > 20$ mt ise (şekil-35) ;

$$\frac{1}{2} V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_1 = F \left(\frac{D}{2} - \frac{L}{2} \right) \approx \left(\frac{R. \Delta}{115} - \frac{L}{2} \right) F$$

$$V_2 = \frac{F + F'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{L}{4} (F + F')$$

$$V_3 = \frac{F'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{F' \cdot L}{4}$$

$$V = \frac{F \cdot R \cdot \Delta}{57,5} + \frac{L}{2} (2 F' - F)$$

(F') kurbun teget noktasındaki enkesit alanı fazlası yaklaşık ($\frac{F}{2}$) kadar olduğundan, (F') değeri (F) değeri cinsinden ifade edilirse,

$$V \approx \frac{F \cdot R \cdot \Delta}{57,5} \quad (67) \quad \text{bulunur.}$$

$$\text{II) } \overline{T_1 T_2} < 20 \text{ mtise (şekil-36) ;}$$

$$\frac{1}{2} V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_1 = F \left(\frac{D}{2} - (1+L^0) \right) \approx F \left(\frac{R \cdot \Delta}{115} - (L+L^0) \right)$$

$$V_2 = \frac{F + F''}{2} \left(\frac{L}{2} + L^0 \right) = \frac{F + F''}{4} (L + 2L^0)$$

$$V_3 = \frac{F + F''}{2} \cdot \frac{L}{2} = (F' + F'') \frac{L}{4}$$

$$V_4 = \frac{F'}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{F' \cdot L}{4}$$

$$V = F \left(\frac{R \cdot \Delta}{57,5} - \frac{3}{2} L - L^0 \right) + F' L + F'' (L + L^0)$$

BÖLÜM VI

(F') ve (F'') değerleri, alan hesabında olduğu gibi

6. (şekil-37) yardımıyla;

$$F' \approx \frac{F}{4} \quad F'' = \frac{F}{2}$$

olarak tespit edilip (F) cinsinden ifade edilirse,

$$V \approx F \left(\frac{R \cdot \Delta}{57,5} - \frac{3L}{4} - \frac{L^0}{2} \right) \quad (68)$$

bulunur.

BÖLÜM VI

6. FİZİBİLİTE HESABI

6.1. Maliyetlerin Hesabı:

Bu bölümde, önerilen çözümün maliyeti ile sağlanacak kazançlar hesaplanıp, birbirleriyle karşılaştırılacak ve bölüm sonunda sayısal örnek verilecektir.

Kurbun ötelenmesinden ileri gelen maliyetler:

M_A : Kamulaştırma bedeli

M_V : Toprak işleri tutarı

M_L :Yapım giderleri

M_B : Bakım giderleri

M_Z : Yapım süresince trafiğin aksamamasından doğacak zararlar.

Sağlanacak kazançlar ise;

K_H : Seyir hızının yükselmesi

K_N : Kapasitenin artması

K_E : Emniyetin artması

K_B : Bakım kolaylığı,

olarak gösterilirse, birbirine yakın ters kurbalar için önerilen çözümün uygulanabilir olması için, toplam maliyetlerin, belirli bir sürede bu çözümün sağlayacağı kazançlarla karşılanması gerekecektir.

$$M_z + M_A + M_V + M_L + M_B \leq K_H + K_N + K_E + K_B \quad (69)$$

(Maliyetler $\leq$ Kazançlar)

6.1. Maliyetlerin Hesabı:

M_A, M_V, M_L esas maliyetler olup, ayrı ayrı hesaplanarak, M_B ve M_z maliyetleri ise sabit varsayılarak toplam maliyet bulunacaktır.

6.1.1. Kamulaştırma Maliyeti:

Bu maliyet, kamulaştırma miktarına bağlı olup, ters kurbanın ötelenmesi için gereken toplam arazi miktarı (A) bellidir.

$$A = f(\Sigma l, M, \frac{1}{n}, m) \quad (Bkz: 5.2.1.)$$

$$M_A = A \cdot m_A \quad (70)$$

($\mathbb{L}$) (m^2) ($\mathbb{L}/m^2$)

m_A : 1 m^2 arazinin kamulaştırma tutarı.

6.1.2. Toprak işleri maliyeti:

Bu maliyet ise, yarma ve dolgu miktarına bağlı olup, ters kurbaların ötelenmesinden oluşan toplam toprak miktarı (V) bellidir.

$$V = f(\Sigma L, M, h, \frac{1}{n}, m) \quad (\text{Bkz: 5.2.2.})$$

$$M_v = V \cdot m_v \quad (71)$$

$$(\text{TL}) \quad (\text{m}^3) \quad (\text{TL/m}^3)$$

m_v : 1 m³ toprağın kazı, taşın ve dolgu maliyeti.

6.1.3. Yapım Giderleri:

İnşa masrafları kurbun ötelenecek toplam uzunluğuna (ΣL) bağlıdır.

$$\Sigma L = \frac{L_1}{2} + \widehat{D}_1 + \overline{T_1 T_2} + \widehat{D}_2 + \frac{L_2}{2}$$

$$M_L = \Sigma L \cdot m_L \quad (72)$$

$$(\text{TL}) \quad (\text{m}) \quad (\text{TL/m})$$

m_L = 1 m yol üst yapısının yanal öteleme masrafı.

6.1.4. Diğer Maliyetler:

Güzergahın ötelenmesi sırasında, trafiğin engellenmesinden doğacak maliyetler, yapım giderleri sırasında yanal öteleme bedeli içine dahil edilmiştir. Bakım giderleri ise, önerilen çözümde yol üst yapısı yıpranmasının mevcut duruma nazaran daha az olması nedeniyle, maliyeti arttırıcı değil azaltıcı yönde etkilediğinden toplam maliyetlere dahil edilmemiştir. Bu da bize ek bir kazanç sağlayacaktır.

$$\Sigma \text{Maliyet} = A \cdot m_A + V \cdot m_V + \Sigma L \cdot m_L \quad (73)$$

Güzergahın ötelenmesinden ileri gelen tüm artışların (A , V , ΣL) kesin miktarları tespit edildiğinden ve bunların birim fiyatları (m_A , m_V , m_L) belli olduğundan toplam maliyet kolayca hesaplanacaktır.

$$M = f (\Delta, R, L, M, h, h', m)$$

Maliyeti etkileyen en önemli faktörler kurbun uzunluğu ve arazinin eğimidir.

6.2. Kazançların Hesabı:

K_H ve K_N esas kazançlar olup, ayrı ayrı hesaplanarak K_E ile K_B kazançları ise sabit varsayılarak toplam kazanç bulunacaktır.

6.2.1. Hızın Yükselmesi:

Kurba yarıçapı mevcut duruma nazaran (M) kadar artacağından, seyir hızında (ΔV) kadar yükselme olacaktır.

V: Mevcut durumda kurbadaki katar seyir hızı,

V': Önerilen çözümde kurbadaki katar seyir hızı

olmak üzere;

$$\Delta V = V' - V \quad (V' \geq V) \quad (74)$$

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(d + 1500 \gamma_{\max}) R}{11,8}} \quad (75)$$

olduğundan,

$$\frac{V'}{V} = \frac{\sqrt{R'}}{\sqrt{R}} = \sqrt{\frac{R+M}{R}}$$

$$V' = V \sqrt{\frac{R+M}{R}} \quad (76)$$

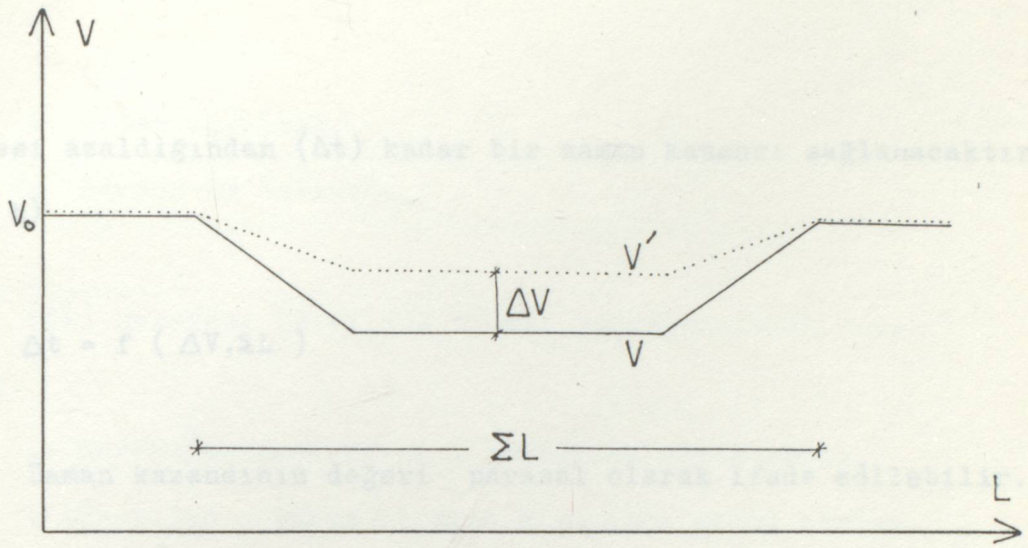
$$\Delta V = V \sqrt{\frac{R+M}{R}} - V = V \left(\sqrt{\frac{R+M}{R}} - 1 \right) \quad (77)$$

bulunur.

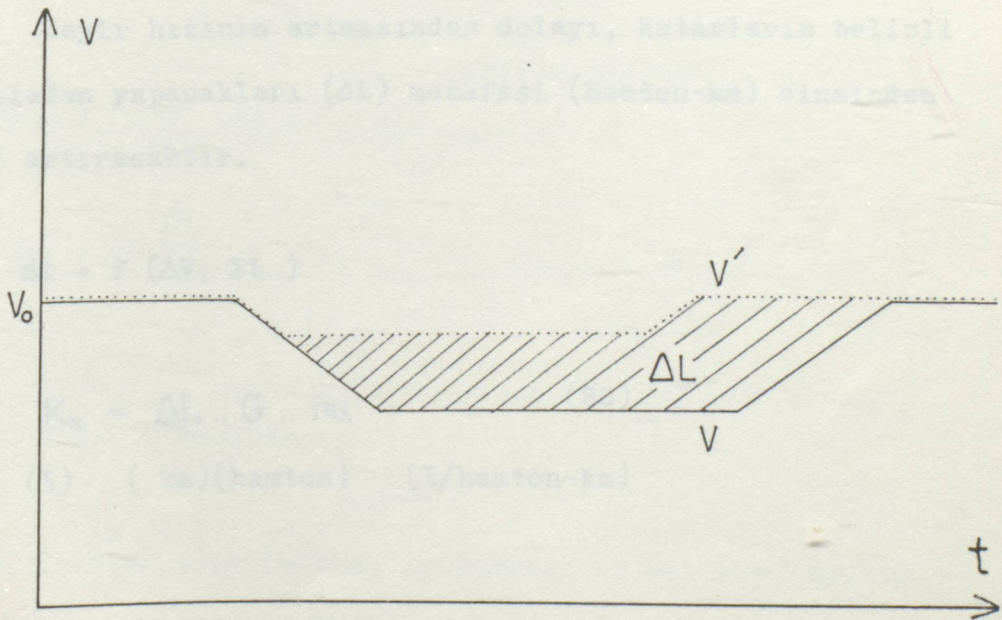
Kurbun öteleme miktarı (M), kurbanın yarıçapı yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan, sağlanacak hız kazansı hesapları etkilemeyecek kadar azdır. Asıl hız artışı, yolun geometrik yapısındaki düzeltmeden dolayı sağlanacaktır. Çünkü mevcut durumda iki ters kurba arasında taşıtlardaki burkulmayı ve yol üst yapısındaki aşınmayı azaltmak için hız kısıtlaması yapılıyordu. Oysa önerilen çözümde hız kısıtlaması yapılmayacaktır. Bu nedenle, önerilen çözümle sağlanacak hız artışı uygulanmakta olan hız kısıtlamasına denk olacaktır. (Şekil-38 a)

$$\Delta V = f \left(\overline{P_1 P_2} - \overline{P_1' P_2'} \right)$$

Beyir hızının yükselmesi dolayısıyla, kurbelerdeki toplam



Şekil 38 a



Şekil 38 b

geçiş süresi azaldığından (Δt) kadar bir zaman kazancı sağlanacaktır.

(Şekil-38 b)

$$\Delta t = f (\Delta V, \Sigma L)$$

Zaman kazancının değeri parasal olarak ifade edilebilir.

$$K_H = \Delta t \cdot k_H \quad (78)$$

$$(\text{h}) \quad (\text{saat}) \quad (\text{h/saat})$$

k_H : 1 saatlik zamanın parasal değeri.

$$\Delta t = \frac{\Sigma L}{V} - \frac{\Sigma L}{V'} = \frac{\Sigma L(V' - V)}{V V'} = \frac{\Sigma L}{V V'} \Delta V \quad (79)$$

6.2.2. Kapasite Artışı:

Seyir hızının artmasından dolayı, katarların belirli sürede fazladan yapacakları (ΔL) mesafesi (hamton-km) cinsinden kapasiteyi artıracaktır.

$$\Delta L = f (\Delta V, \Sigma L)$$

$$K_N = \Delta L \cdot G \cdot m_h \quad (80)$$

$$(\text{h}) \quad (\text{km})(\text{hamton}) \quad (\text{h/hamton-km})$$

G: Katar ağırlığı,

m_H: Hamton-km maliyeti,

(ΔL) mesafesi (Şekil-38 b) den yararlanılarak hesap edilebilir.

t: Mevcut durumda katarın kurbaları geçiş süresi,

t': Önerilen çözümde katarın kurbaları geçiş süresi,

V_o: Alinymandaki katar seyir hızı

olmak üzere,

$$t = \frac{\sum L}{V} \quad t' = \frac{\sum L}{V'} \quad (t' \geq t) \quad (V_o \geq V' \geq V)$$

$$\Delta L = t (V' - V) + (t - t') (V_o - V')$$

olup gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$\Delta L = \sum L \left(\frac{V_o}{V} - \frac{V_o}{V'} \right) \quad (81)$$

bulunur. Eğer V_o = V' ise ;

$$\Delta L = \sum L \frac{\Delta V}{V}$$

olur.

6.2.3. Diğer Kazançlar:

İşletme koşullarının iyileşmesi ve yol ile taşıtın daha az yıpranması neticesinde bakım ve tamir masraflarının azal-

Kazancı etkileyen en önemli faktörler katar geçiş sayısı ve seyir hızının artmasıdır.

6.3. Gelir-Gider Karşılaştırması:

Maliyet ve kazanç hesaplarında görüldüğü gibi kurbun büyüklüğü oranında gider artışı, katar geçiş sayısı çoğaldıkça gelir artışı artmaktadır. Toplam maliyetler ile kazançlar belirli bir süre için birbirleriyle kıyaslanarak işin yapılabilirliğinin ekonomik yöndende sağlandığı görülmelidir. Bu nedenle,

$$Am_A + Vm_v + \sum Lm_l \leq n(\Delta tk_h + \Delta L Gm_h + \sum Lk_b) \quad (84)$$

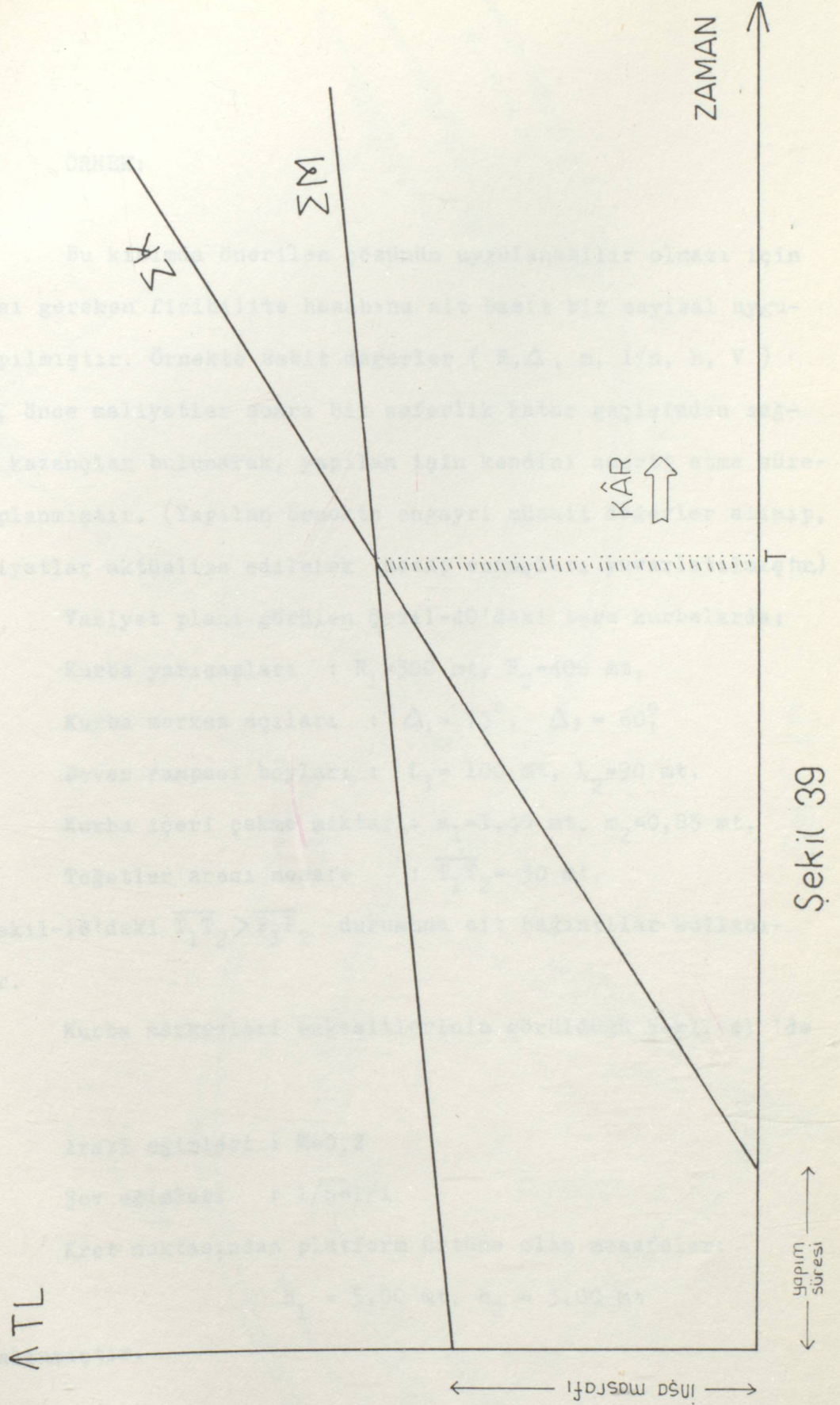
eşitliğini sağlayacak katar geçiş sayısı (n) bulunarak yapılan kendini ne kadar sürede amorti edeceği (Şekil-39)

T : Amortisman süresi

N : Günlük katar sayısı olmak üzere,

$$n = T.N \quad T = \frac{n}{N} \quad N = \frac{n}{T} \quad (85)$$

formülleri ile bulunur.



Şekil 39

6.4. ÖRNEK:

Bu kısımda önerilen çözümün uygulanabilir olması için yapılması gereken fizibilite hesabına ait basit bir sayısal uygulama yapılmıştır. Örnekte sabit değerler ($R, \Delta, m, 1/n, h, V$) verilip, önce maliyetler sonra bir seferlik katar geçişinden sağlanacak kazançlar bulunarak, yapılan işin kendini amorti etme süresi hesaplanmıştır. (Yapılan örnekte engayri müsait değerler alınıp, birim fiyatlar aktüalize edilerek hesap sonuçları yuvarlatılmıştır.)

Vaziyet planı görülen Şekil-40'daki ters kurbalarda;

Kurba yarıçapları : $R_1=300$ mt, $R_2=400$ mt,

Kurba merkez açıları : $\Delta_1 = 75^\circ$, $\Delta_2 = 60^\circ$,

Dever rampası boyları : $L_1 = 100$ mt, $L_2 = 90$ mt,

Kurba içeri çekme miktarı: $m_1=1,40$ mt, $m_2=0,85$ mt,

Teğetler arası mesafe : $\overline{T_1T_2} = 30$ mt,

olup, Şekil-18'deki $\overline{T_1T_2} > \overline{P_1P_2}$ durumuna ait bağıntılar kullanılacaktır.

Kurba merkezleri enkesitlerinin görüldüğü şekil-41 'de ise;

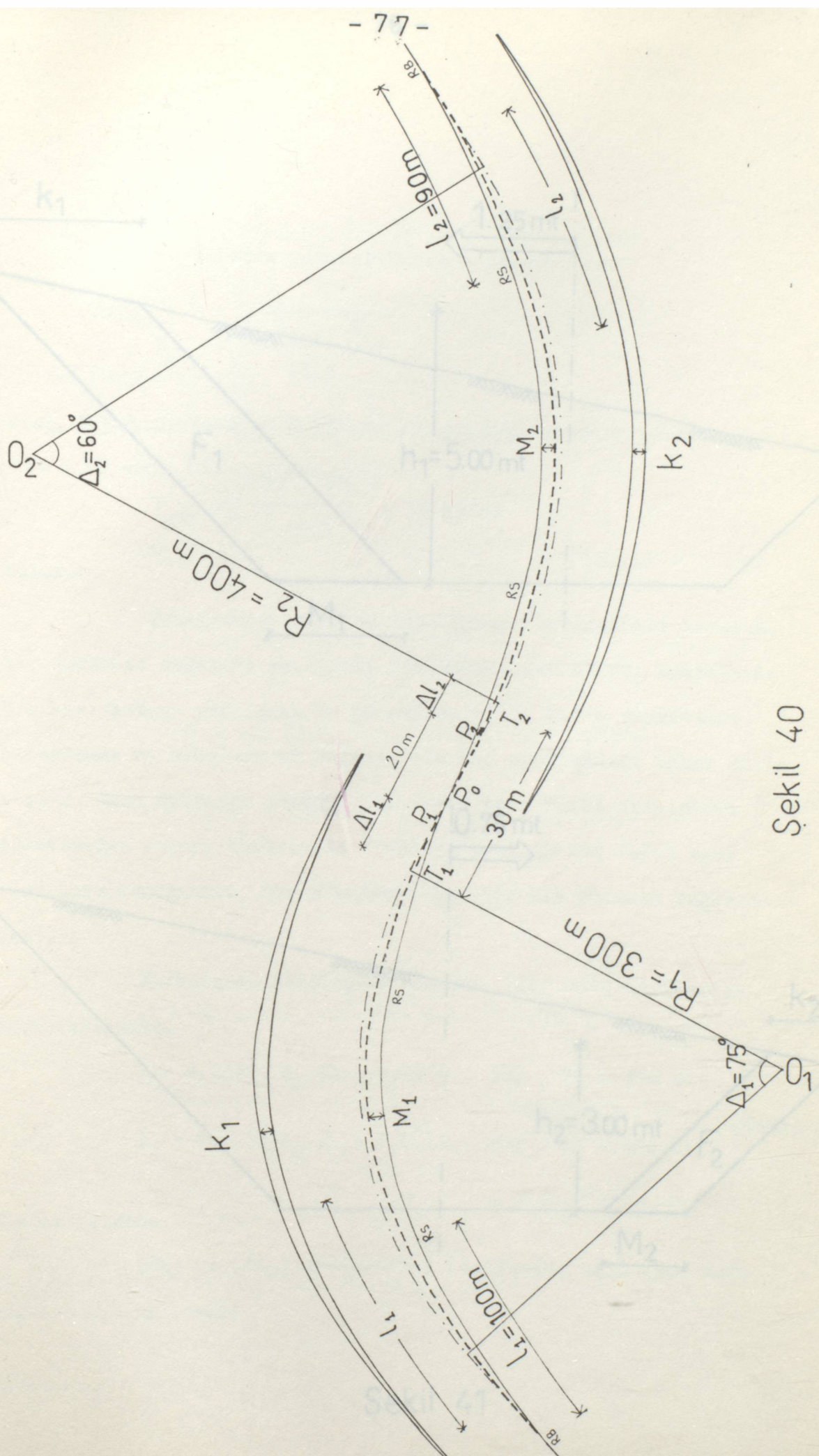
Arazi eğimleri : $M=0,2$

Şev eğimleri : $1/n=1/1$

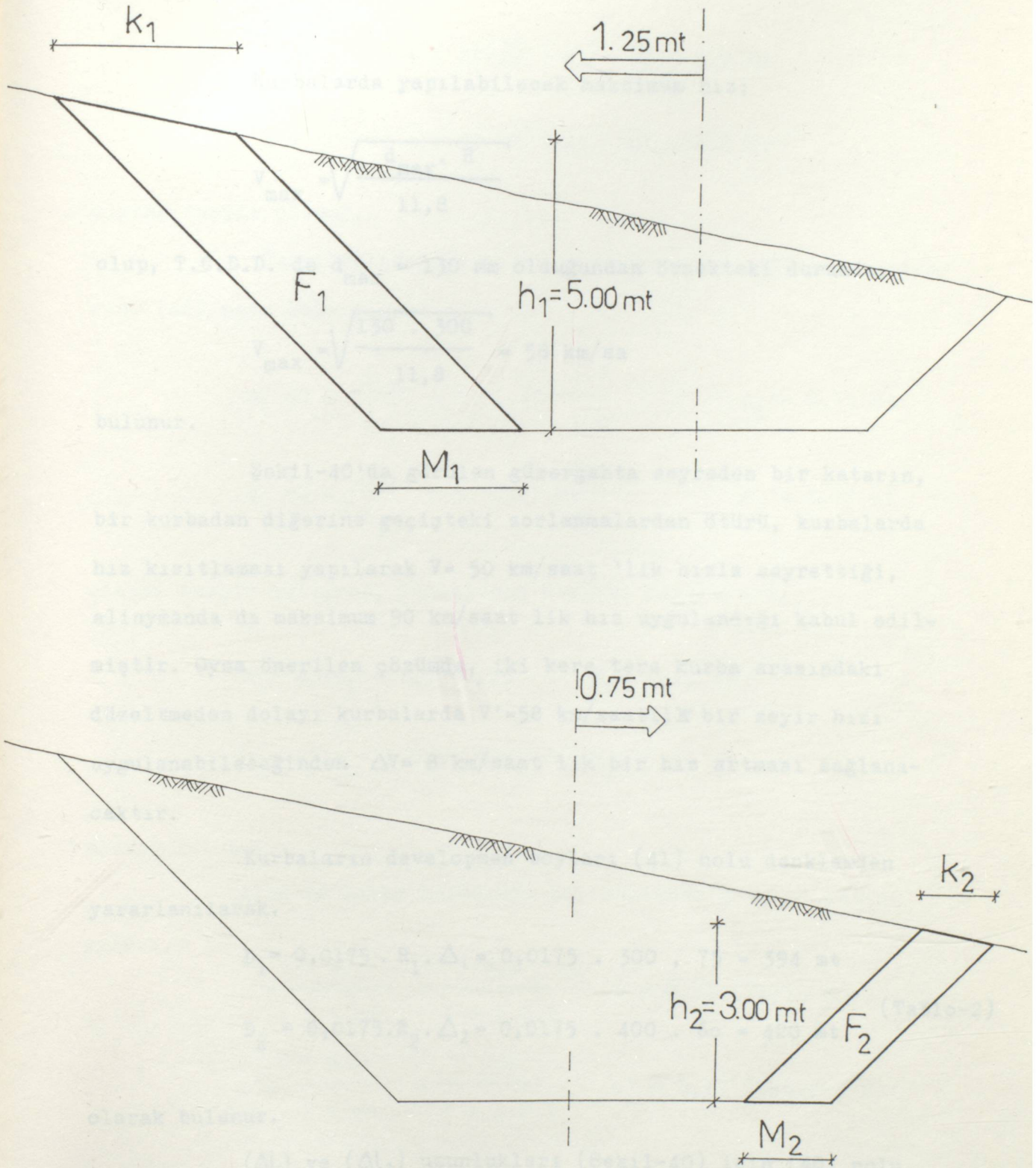
Kret noktasından platform üstüne olan mesafeler:

$$h_1 = 5,00 \text{ mt}, h_2 = 3,00 \text{ mt}$$

olarak alınmıştır.



Şekil 40



Şekil 41

Kurbalarda yapılabilecek maksimum hız;

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{d_{\max} \cdot R}{11,8}}$$

olup, T.C.D.D. de $d_{\max} = 130$ mm olduğundan örnekteki durumda,

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{130 \cdot 300}{11,8}} = 58 \text{ km/sa}$$

bulunur.

Şekil-40'da görülen güzergahta seyreden bir katarın, bir kurbadan diğerine geçişteki zorlanmalardan ötürü, kurbalarda hız kısıtlaması yapılarak $V = 50$ km/saat 'lik hızla seyrettiği, alinymanda da maksimum 90 km/saat lik hız uygulandığı kabul edilmiştir. Oysa önerilen çözümde, iki kere ters kurba arasındaki düzeltmeden dolayı kurbalarda $V' = 58$ km/saatlik bir seyir hızı uygulanabileceğinden $\Delta V = 8$ km/saat lık bir hız artması sağlanacaktır.

Kurbaların developman boyları (41) nolu denklemden yararlanılarak,

$$D_1 = 0,0175 \cdot R_1 \cdot \Delta_1 = 0,0175 \cdot 300 \cdot 75 = 394 \text{ mt}$$

$$D_2 = 0,0175 \cdot R_2 \cdot \Delta_2 = 0,0175 \cdot 400 \cdot 60 = 420 \text{ mt}$$

(Tablo-2)

olarak bulunur.

(Δ_1) ve (Δ_2) uzunlukları (Şekil-40) için (40) nolu bağıntı kullanılarak;

$$\Delta l_1 \left(1 + \frac{394}{420} \right) = (30-20) \text{ mt} \quad \Delta l_1 = 5,2 \text{ mt}$$

$$\Delta l_2 \left(1 + \frac{420}{394} \right) = (30-20) \text{ mt} \quad \Delta l_2 = 4,8 \text{ mt}$$

olarak tespit olunur.

Önerilen çözümde kurba yarıçaplarını azaltma miktarlarını (42) nolu bağıntıdan;

$$m_1' = 2 m \frac{\Delta l_1}{L_1} = 2 \cdot 1,40 \frac{5,2}{100} \quad m_1' = 0,15 \text{ mt}$$

$$m_2' = 2 m_2 \frac{\Delta l_2}{L_2} = 2 \cdot 0,85 \frac{4,8}{90} \quad m_2' = 0,10 \text{ mt}$$

olarak tespit edilirse, kurbaların öteleme mesafeleri,

$$M_1 = m_1 - m_1' = 1,40 - 0,15 \quad M_1 = 1,25 \text{ mt}$$

$$M_2 = m_2 - m_2' = 0,85 - 0,10 \quad M_2 = 0,75 \text{ mt}$$

olarak bulunur.

Alan ve hacim hesabında kullanılacak c ve c' katsayıları,

$$c = \frac{m}{1 - nm} = \frac{0,2}{1 - 1.0,2} \quad c = 0,25 \text{ (Tablo-3 a)}$$

$$c' = \frac{m}{1 + nm} = \frac{0,2}{1 + 1.0,2} \quad c' = 0,17 \text{ (Tablo-3 b)}$$

olduğundan, (56) ve (60) nolu bağıntılardan,

$$k_1 = M_1 (1+nc) = 1,25 (1+1 \cdot 0,25) \quad k_1 = 1,6 \text{ mt}$$

$$k_2 = M_2 (1-nc') = 0,75 (1-1 \cdot 0,17) \quad k_2 = 0,6 \text{ mt}$$

ve, (57) ile (61) nolu bağıntılardan,

$$F_1 = M_1 \cdot h_1 + \frac{M_1^2}{2} c = 1,25 \cdot 5 + \frac{1,25^2}{2} 0,25 \quad F_1 = 6,4 \text{ mt}^2$$

$$F_2 = M_2 \cdot h_2 - \frac{M_2^2}{2} c' = 0,75 \cdot 3 - \frac{0,75^2}{2} 0,17 \quad F_2 = 2,2 \text{ mt}$$

olarak bulunur.

Ters kurbaların ötelenecek toplam uzunluğu ise;

$$\Sigma L = \frac{L_1}{2} + D_1 + \overline{T_1 T_2} + D_2 + \frac{L_2}{2}$$

$$\Sigma L = \frac{100}{2} + 394 + 30 + 420 + \frac{90}{2}$$

$$\Sigma L = 940 \text{ mt} = 0,94 \text{ km'dir.}$$

Maliyetlerin Hesabı:

1) Kamulaştırma Maliyeti:

$$M_A = A \cdot m_A \quad (\text{Bkz: 6.1.1.})$$

Kurbalardaki ötelemiden doğan alan artışı (65) nolu

bağıntıdan;

$$A_1 = \frac{R_1 \cdot k_1 \cdot \Delta_1}{57,5} = \frac{300 \cdot 1,6 \cdot 75}{57,5} \quad A_1 = 626 \text{ mt}^2$$

$$A_2 = \frac{R_2 \cdot k_2 \cdot \Delta_2}{57,5} = \frac{400 \cdot 0,6 \cdot 60}{57,5} \quad A_2 = 250 \text{ mt}^2$$

olarak plan üzerindeki değerler bulunduğundan, arazi eğimini göz önüne alarak (64) nolu bağıntıdan;

$$A = (A_1 + A_2) \cdot \sqrt{1 + m^2} = (626 + 250) \cdot \sqrt{1 + 0,2^2}$$

$$A = 893 \text{ mt}^2 \quad \text{olarak hakiki kamulaştırma miktarı}$$

bulunur.

1 mt^2 arazinin kamulaştırma değeri $m_A = 25.000 \text{ TL/mt}^2$ kabul edilirse,

$$M_A = 893 \cdot 25000 = 22.325000 \text{ TL bulunur.}$$

2) Toprak işleri Maliyeti:

$$M_V = V \cdot m_V \quad (\text{Bkz: 6.1.2.})$$

Kurbalardaki ötelemeden doğan hacim artışı (67) nolu bağıntıdan,

$$V_1 = \frac{R_1 \cdot F_1 \cdot \Delta_1}{57,5} = \frac{300 \cdot 6,4 \cdot 75}{57,5} \quad V_1 = 2504 \text{ mt}^2$$

$$V_2 = \frac{R_2 \cdot F_2 \cdot \Delta_2}{57,5} = \frac{400 \cdot 2,2 \cdot 60}{57,5} \quad V_2 = 918 \text{ mt}^2$$

$$V = V_1 + V_2 = 2504 + 918 \rightarrow V = 3422 \text{ mt}^3$$

olarak bulunur.

1 mt^3 kazılmamış toprağın hafriyat maliyetleri

bulunur.

$$m_v = 3000 \text{ ₺/mt}^3 \quad \text{kabul edilirse;}$$

$$M_v = 3422 \cdot 3000 = 10266000 \text{ ₺}$$

bulunur.

3) Yapım Giderleri:

$$M_L = \sum L \cdot m_L \quad (\text{Bkz: 6.1.3.})$$

1 mt yol üst yapısının yanıl öteleme maliyeti 5.000 ₺/mt ve yapım süresince trafiğin aksamasından doğan işletme zararı ise 30.000 ₺/ mt olarak kabul edilirse, $m_L = 35.000 \text{ ₺/mt}$ bulunur.

$$M_L = 940 \cdot 35000 = 32\,900\,000 \text{ ₺}$$

Kazançların Hesabı:

1) Zaman Kazancı:

$$K_H = \Delta t \cdot k_H \quad (\text{Bkz: 6.2.1.})$$

$$\Delta t = \frac{\sum L}{V} - \frac{\sum L'}{V'} = \frac{0,94}{50} - \frac{0,94}{58} \quad \Delta t = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ saat} \\ = 9,3 \text{ sn}$$

1 saatlık işletme kazancının değeri $K_H = 100\ 000 \text{ ₺/saat}$ kabul edilirse;

$$K_H = 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 100\ 000 = 260 \text{ ₺}$$

bulunur.

2) Kapasite Kazancı:

$$K_N = \Delta L \cdot G \cdot m_h \quad (\text{Bkz: 6.2.2.})$$

$$\Delta L = \sum L \left(\frac{V_o}{V} - \frac{V_o}{V'} \right) = 0,94 \left(\frac{90}{50} - \frac{90}{58} \right)$$

$$\Delta L = 0,233 \text{ km}$$

Güzergahtan geçen katarların ortalama ağırlıkları

$G = 500 \text{ ton}$ ve hamton-km maliyeti $m_h = 10 \text{ ₺/hamton-km}$ kabul edilirse;

$$K_N = 0,233 \cdot 500 \cdot 10 = 1165 \text{ ₺}$$

bulunur.

3) Bakım Kazancı:

$$K_B = \sum L \cdot k_B \quad (\text{Bkz: 6.2.3.})$$

1 km yol boyunca bir katar geçişinden, kurbalardaki düzeltme sayesinde, tamir ve bakım yönünden yapılan kazanç, yol üst yapısı için 50 ₺/mt ile, demiryol arabaları içinde, 60 ₺/mt olarak kabul edilirse, $k_B = 110 \text{ ₺/mt}$ bulunur.

$$K_B = 0,94 \cdot 110 = 103 \text{ TL}$$

Kurbaların ötelenmesinden oluşan toplam maliyet,

$$\Sigma \text{Maliyet} = M_A + M_V + M_L$$

$$\Sigma M = 22\,325\,000 + 10\,266\,000 + 32\,900\,000$$

$$\Sigma M = 65\,491\,000 \text{ TL}$$

ve kurbalardaki düzeltmeden dolayı bir seferlik katar geçişinden oluşan toplam kazanç;

$$\Sigma \text{Kazanç} = n(K_H + K_N + K_B)$$

$$\Sigma K = n(260 + 1165 + 103) = n \cdot 1528 \text{ TL}$$

olup, $\Sigma M \leq \Sigma K$ olması için

$65\,491\,000 \leq n \cdot 1528 \rightarrow n = 42860$ sefer olarak bulunduğundan, güzergahtan geçen (N) günlük katar sayısına göre yapılan örnek için (T) amortisman süresini hesaplamak için (85) nolu formüller kullanılır.

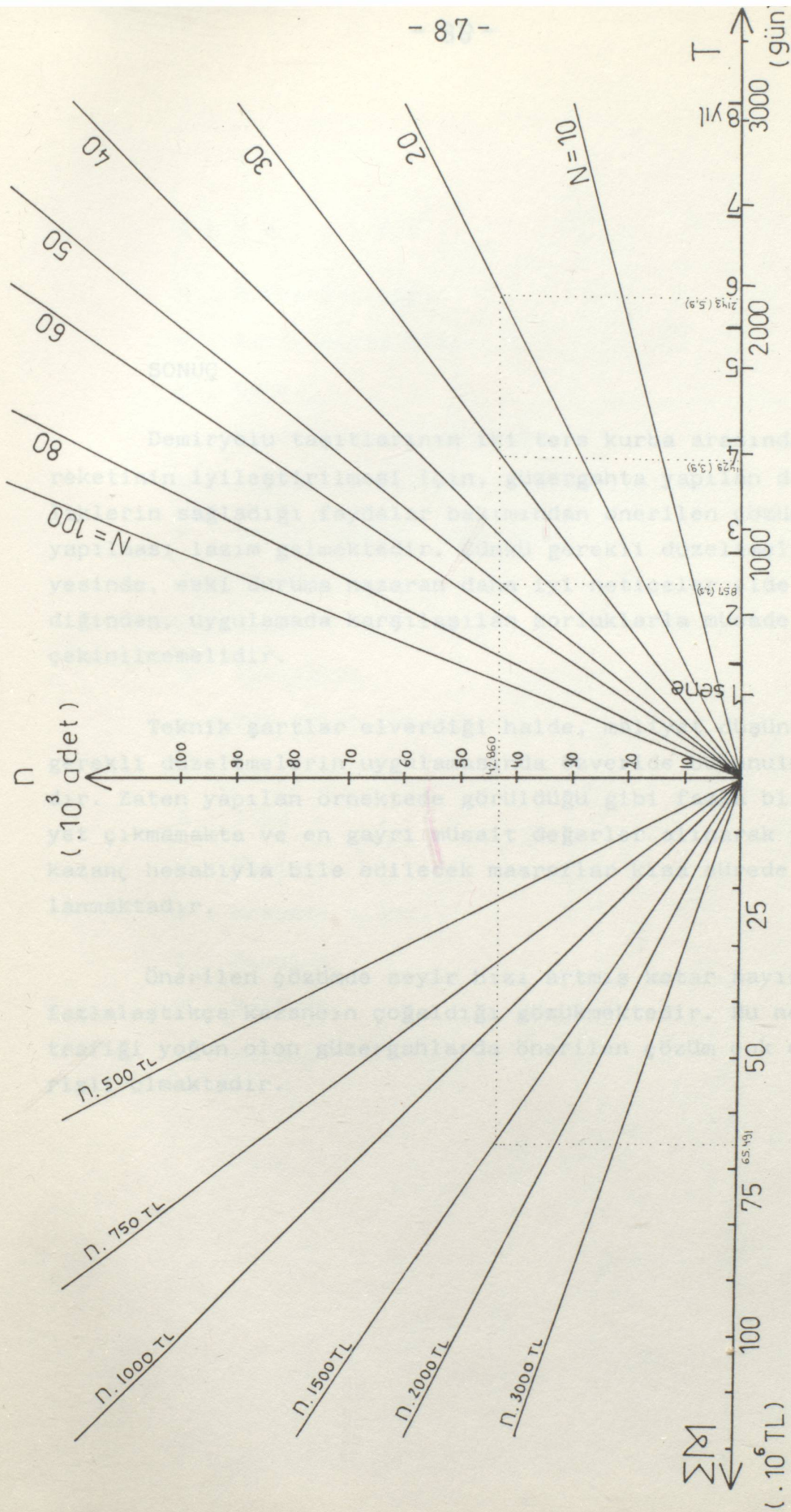
$$N = 20 \text{ adet ise, } T = \frac{42860}{20} = 2143 \text{ gün (5,9 yıl)}$$

$$N = 30 \text{ adet ise, } T = \frac{42860}{30} = 1429 \text{ gün (3,9 yıl)}$$

$$N = 50 \text{ adet ise, } T = \frac{42860}{50} = 857 \text{ gün (2,3 yıl)}$$

Görüldüğü gibi, trafiği yoğun olan yollarda amortisman süresi kısalmaktadır.

Şekil-42'deki grafikten yararlanılarak, toplam maliyetler ve kazançlar hesaplandıktan sonra yapılan işin kendisini ne kadar amorti edeceği bulunabilir.



Sekil 42

SEMBOLELER

R : Kurba yarıçapı

V : Katar seyir hızı

SONUÇ

d : Davet

Demiryolu taşıtlarının iki ters kurba arasındaki hareketinin iyileştirilmesi için, güzergahta yapılan değişikliklerin sağladığı faydalar bakımından önerilen çözümün yapılması lazım gelmektedir. Çünkü gerekli düzeltmeler sayesinde, eski duruma nazaran daha iyi neticeler elde edildiğinden, uygulamada karşılaşılan zorluklarla mücadeleden çekinilmemelidir.

Teknik şartlar elverdiği halde, maliyet düşünülerek gerekli düzeltmelerin uygulamasında özveride bulunulmamalıdır. Zaten yapılan örnekte görüldüğü gibi fazla bir maliyet çıkmamakta ve en gayri müsait değerler alınarak yapılan kazanç hesabıyla bile edilecek masraflar kısa sürede karşılanmaktadır.

Önerilen çözümde seyir hızı artmış katar sayısı fazlalaştıkça kazancın çoğaldığı gözükmektedir. Bu nedenle trafiği yoğun olan güzergahlarda önerilen çözüm çok elverişli olmaktadır.

S E M B O L L E R

R : Kurba yarıçapı

V : Katar seyir hızı

d : Dever

l : Dever rampası uzunluğu

M : Kurbun merkezindeki yanal öteleme

P : Dever rampası başlangıcı

f : Fonksiyon

t : Zaman

h : Yükseklik

g : Yerçekimi ivmesi

G : Ağırlık

A : Alan

V : Hacim

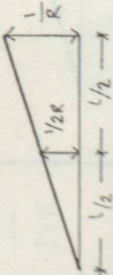
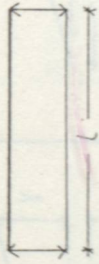
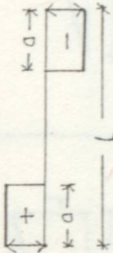
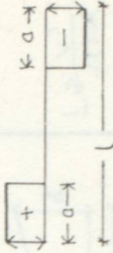
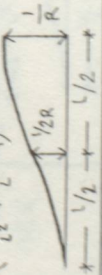
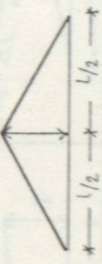
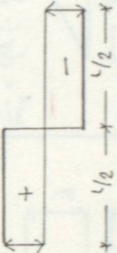
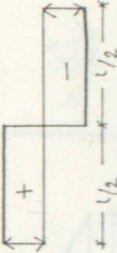
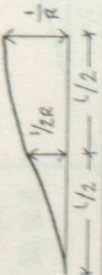
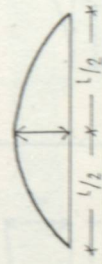
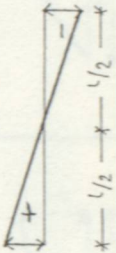
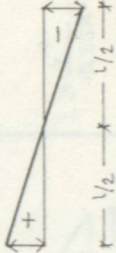
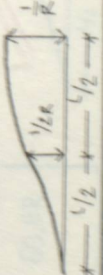
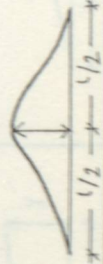
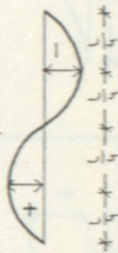
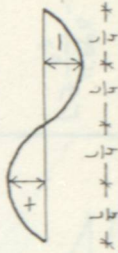
F : Enkesit alanı

L : Uzunluk

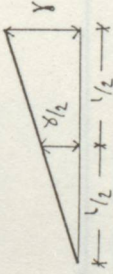
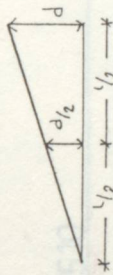
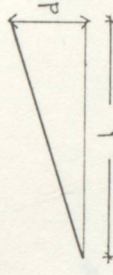
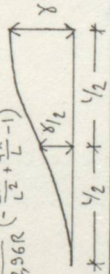
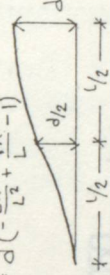
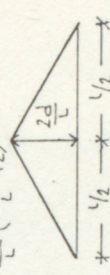
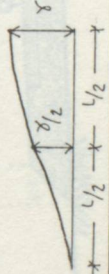
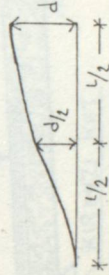
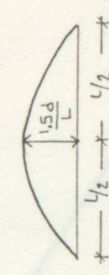
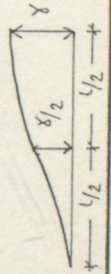
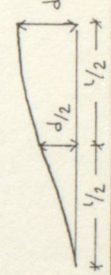
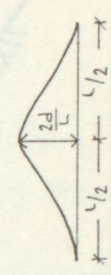
M : Maliyet

K : Kazanç

TABLO 1a

BİRLEŞTİRME EĞRİSİ CİNSİ	EĞRİLİĞİN DEĞİŞİMİ	SARSMANIN DEĞİŞİMİ	TIRMANMA İVMESİNİN DEĞİŞİMİ	RAMPADAKİ DÖNME İVMESİNİN DEĞİŞİMİ
	$k \text{ (1/m)}$	$\Psi \text{ (m/s}^3\text{)}$	$P_d \text{ (m/s}^2\text{)}$	$\alpha \text{ (grad/s}^2\text{)}$
KÜBİK PARABOL	$k = \frac{1}{R} \frac{x}{L}$ 	$\Psi_{max} = \frac{1}{L} \left(\frac{V^3}{46,66R} - 1,82 V \cdot d \right)$ 	$P_d = \pm \frac{V^2 d}{12,96 a L}$ 	$\alpha = \pm \frac{3,275 V^2 d}{a L}$ 
PETERSEN B. E.	$k_I = \frac{2}{R} \frac{x^2}{L^2}$ $k_{II} = \frac{1}{R} \left(-\frac{2x^2}{L^2} + \frac{4x}{L} - 1 \right)$ 	$\Psi_{max} = \frac{1}{L} \left(\frac{V^3}{23,33R} - 3,64 V \cdot d \right)$ 	$P_d = \pm \frac{V^2 d}{3,24 L^2}$ 	$\alpha = \pm 13,1 \frac{V^2 d}{L^2}$ 
BLOß B. E.	$k = \frac{1}{R} \left(-\frac{2x^3}{L^3} + \frac{2x^2}{L^2} \right)$ 	$\Psi_{max} = \frac{1}{L} \left(\frac{V^3}{31,11R} - 2,73 V \cdot d \right)$ 	$P_d = \pm \frac{V^2 d}{2,16 L^2}$ 	$\alpha = \pm 19,65 \frac{V^2 d}{L^2}$ 
KLEIN B. E.	$k = \frac{1}{R} \left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right)$ 	$\Psi_{max} = \frac{1}{L} \left(\frac{V^3}{23,33R} - 3,64 V \cdot d \right)$ 	$P_d = \pm \frac{V^2 d}{2,06 L^2}$ 	$\alpha = \pm 20,58 \frac{V^2 d}{L^2}$ 

TABLO I b

BİRLEŞTİRME EĞRİSİ CİNSİ	B. E. nin Bitiş Ordinatı	Kurbun Öteleme Miktarı	KONFOR İYMESİ DEĞİŞİMİ	DEVERİN DEĞİŞİMİ	RAMPA EĞİMİNİN DEĞİŞİMİ	RAMPA UZUNLUĞU
	YA	m	γ (m/s ²)	d (m)	1/m	L (m)
KÜBİK PARABOL	$\frac{L^2}{6R}$	$\frac{L^2}{24R}$	$\gamma = \frac{v^2}{12,96R} \cdot \frac{x}{L}$ 	$d_x = d \cdot \frac{x}{L}$ 	$\frac{1}{m} = \frac{d}{L}$ 	$L \geq 400d$ $L \geq \frac{v^3}{23,33R} - 3,64dv$
PETERSEN B. E.	$\frac{L^2}{6,8R}$	$\frac{L^2}{48R}$	$\gamma_I = \frac{v^2}{6,48R} \cdot \frac{x^2}{L^2}$ $\gamma_{II} = \frac{v^2}{12,96R} \left(-\frac{2x^2}{L^2} + \frac{4x}{L} - 1 \right)$ 	$d_{xI} = d \cdot \frac{2x^2}{L^2}$ $d_{xII} = d \left(-\frac{2x^2}{L^2} + \frac{4x}{L} - 1 \right)$ 	$\frac{1}{m_I} = d \cdot \frac{4x}{L^2}$ $\frac{1}{m_{II}} = \frac{2d}{L} \left(-\frac{2x}{L} + 1 \right)$ 	$L \geq 800d$ $L \geq \frac{v^3}{11,66R} - 7,28dv$
BLOß B. E.	$\frac{L^2}{6,33R}$	$\frac{L^2}{30,32R}$	$\gamma = \frac{v^2}{12,96R} \left(-\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right)$ 	$d_x = d \left(-\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right)$ 	$\frac{1}{m} = \frac{6d}{L} \left(-\frac{x^2}{L^2} + \frac{x}{L} \right)$ 	$L \geq 600d$ $L \geq \frac{v^3}{15,55R} - 5,46dv$
KLEİN B. E.	$\frac{L^2}{7,07R}$	$\frac{L^2}{60,8R}$	$\gamma = \frac{v^2}{12,96R} \left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right)$ 	$d_x = d \left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right)$ 	$\frac{1}{m} = \frac{d}{L} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L} \right)$ 	$L \geq 800d$ $L \geq \frac{v^3}{11,66R} - 7,28dv$

KAYNAKLAR:

- (1) E. BERKMEN : Demiryollar Cilt I, 1961
- (2) B. BERKSOY : Demiryol Kurbalarında Fleş Metodu ile Düzeltme, 1966
- (3) O. BIÇAKÇI : Demiryollarında Yeni Bir Birleştirme Eğrisinin Araştırılması, 1977
- (4) M. BOZKURT : Demiryolu I, 1985
- (5) M. BOZKURT : Demiryol Kurbaları, 1973
- (6) Türkiye Demiryolları Fiziksel Standartları
yayın No (223.113) UKİ 1.126, Şubat 1978
- (7) Türkiye Demiryolları Geometrik Standartları
Yayın No: (205.094) UKİ 1.100, Mayıs 1976



ÖZGEÇMİŞ:

1962 yılında İzmit ilinin Hereke kasabasında doğan Fatih Bengi İlk öğrenime burada başlayarak 1973 yılında Kozyatağı İlkokulunda tamamladı. Orta öğrenimi için Suadiye Ortaokuluna girip 1979'da Suadiye Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi İnşaat Fakültesine girerek 1984 yılında İnşaat Mühendisi oldu.

Ulaştırma Anabilim Dalında yüksek Lisans öğrenimi görmeye Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde 1985 Bahar yarıyılında başladı.

