

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
ENERJİ DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :  
Anabilim dalı :  
Program :

GEÇİŞ BORULARINDAKİ AKIŞIN  
DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

TURGAY MALKOÇ

Yönetici: Doç.Dr.Mehmet ATILGAN

TRABZON

Haziran 1986

## Ö N S Ö Z

Bu çalışmaya DSİ XXII. Bölge Müdürlüğünde Makina Mühendisi olarak görev yaptığım sırada hazırladım. Çalışmanın oluşmasında DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü ve Karadeniz Üniversitesi yetkililerine sağladıkları olanaklardan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Diğer taraftan, bu çalışmanın hazırlanmasında kıymetli destek ve yardımlarından dolayı tüm çalışma arkadaşlarıma, deney düzenine hazırlanmasında emeği geçen tüm DSİ ve K.Ü. mensuplarına ve özellikle değerli bilgi ve görüşleriyle beni çalışmam boyunca yönlendiren Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet Atılğan'a sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Haziran 1986

Turgay MALKOÇ

## İ Ç İ N D E X İ L E R

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ .....	1
İÇİNDEKİLER .....	2
SEMBOLLER .....	3
BÖLÜM I - GENEL GİRİŞ .....	5
1.1 Giriş .....	5
1.2 Geçiş borularının tasarımı ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar .....	6
1.3 Deneysel çalışmalar .....	8
1.4 Çalışmanın amacı .....	8
BÖLÜM II - GEÇİŞ BORULARININ GEOMETRİSİ .....	11
2.1 Giriş .....	11
2.2 Kare kesit alanından kare kesit alanına geçişli	
2.3 Kare kesit alanından dikdörtgen kesit alanına geçiş.....	13
2.4 Kare kesit alanından daire kesit alanına geçiş .....	14
BÖLÜM III - DENEYLER.....	20
3.1 Giriş.....	20
3.2 Dency tesisatının tanıtılması.....	20
3.3 Ölçü aletlerinin tanıtılması ve yapılan ölçümler.....	21
3.4 Ölçü aletlerinin kalibrasyonu.....	22
3.5 Akışla ilgili kalibrasyon.....	24
3.6 Dency sonuçlarının değerlendirilmesi.....	26
3.6.1 Sürekli genişleyen borulardaki akış.....	29
3.6.2 Kinetik enerji düzeltme faktörünün belirlenmesi ile ilgili düşünceler.....	32
3.6.3 Eksenel hız değişimleri.....	34
3.6.4 Yük değişimleri.....	34
3.6.5 Yük kayıp katsayısı.....	36
BÖLÜM IV - SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR .....	

## S E M B O L L E R

$A_1$	: Giriş kesit alanı
$A_2$	: Çıkış kesit alanı
$A_x$	: $x$ apsisine ait kesit alanı
$\bar{A}_x$	= $A_x/A_1$ , boyutsuz kesit alanı
$a, b$	: Dikdörtgen kesitin kısa ve uzun kenarları
$c, d$	: Dikdörtgen kesitin uzun ve kısa kenarları
$C_1$	: Yük kayıp katsayısı
$C_{p1}$	: Basınç kazanma katsayısı
$f_1, f_2$	: $\alpha, \beta$ ve $K$ 'ya bağımlı büyüklükler
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$h_{L1-2}$	: Borulardaki yük kaybı
$H$	: Toplam yük
$K$	: Çıkış kesit alanının giriş kesit alanına oranı
$\ell$	: Geçiş borusunun uzunluğu
$n$	: Üs
$P$	: Statik basınç
$P_a$	: Üçlü sondayla ölçülen statik basınç
$P_d$	: Dinamik basınç
$P_0$	: Pitot tüpüyle ölçülen toplam basınç
$P_t$	: Üçlü sondayla ölçülen toplam basınç
$\frac{P}{\rho g}$	: Piyezometrik yükseklik
$Q$	: Hacımsal debi
$r$	: Değişken yarıçap
$R$	: Boru yarıçapı, $x$ apsisine ait eşdeğer yarıçap
$R_1$	: Giriş kesitindeki eşdeğer yarıçap

$R_2$	: Çıkış kesitindeki eşdeğer yarıçap
$Re$	: Geçiş borusunun giriş kesitindeki hidrolik çapa göre belirlenen Reynolds sayısı
$v$	: Akış hızı
$V, V_{ort}$	: Ortalama akış hızı
$v_{max}, V_{max}$	: Maksimum akış hızı
$x, y, z$	: Koordinatlar
$\bar{x}$	: $x/R$ , boyutsuz aksenal uzunluk
$Z$	: Yükselti
$\alpha$	: $a/b$ , Kinetik enerji düzeltme faktörü
$\beta$	: $d/c$
$\gamma$	: Havanın özgül ağırlığı
$\nu$	: Havanın kinematik viskozitesi
$\delta_A$	: Alan elemanı
$\lambda$	: Sürekli kayıp katsayısı
$\eta_d$	: Difüzör verimi
$\rho$	: Yoğunluk
$\phi_{eq}$	: Yarı eşdeğer koniklik açısı

## BÖLÜM I

### GENEL GİRİŞ

#### 1.1 Giriş

Geçiş boruları su ve hava tünellerinde, türbomakinalarda ve özellikle jet motorlarının giriş ağzında, kuvvet santralleri boru sistemlerinde ısıtma havalandırma sistemlerinde ve maden ocaklarının havalandırılmasında kullanılırlar. Örnek olarak bir hava tünelineki vantilatörden giren havanın; genel tünel boru sistemine giriş kesiti dikdörtgen, çıkış kesiti daire olan bir geçiş borusu ile iletilmesini gösterebiliriz.

Geçiş boruları kesit alanları aynı ya da farklı olan boruları birleştiren parçalardır. Bu yüzden bu boruların kesit şekilleri birbirinin benzeri olabildiği gibi farklı da olabilirler. Geçiş boruları aynı yada farklı boruları birleştirmede kullanılabilirdiği gibi akışkanı akım makinalarına giriş ve çıkışta yönlendirmede de kullanılırlar. Örneğin: Aksi tesir türbinlerinde çarktan gelen suyu boşaltma kanalına sevk etmede yayıcı olarak, tesir türbinlerinde ise çark kepçelerine su hüzmelerinin uygun koşullarda serbest atmosfer içinde sevkinde kullanılmaktadır.

Borulardaki akışlarda kesit alanlarının değişmesiyle Örneğin, dirseklerde, birleşme ve ayrılma noktalarında T' lerde v.s. enerji kayıpları meydana gelir. Daralan, genişleyen boru parçaları ve birleştirmede gerekli elemanların enerji kayıpları (yük kayıpları) ayrıntılı olarak incelenmiş ve bunlara ait birçok teorik ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Fakat kesit alanı dairesel olmayan borulara ait çok sınırlı kuramsal ve deneysel çalışmalara rastlanmasına karşın; değişik kesit şekline sahip farklı kesit alanlı boruları birleştiren geçiş borularındaki yük kayıplarına ait çalışmalar çok sınırlıdır.

## 1.2 Geçiş Borularının Tasarımı İle İlgili Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar

Geçiş borularının tasarımı çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemler arasındaki fark geçiş borusunun yapım şeklini ve içindeki akışın şeklini değiştirir. Bu yöntemlerden iki tanesi günümüzde çok kullanılmaktadır. Bu iki yöntemden birincisinde geçiş borusunun giriş ile çıkış kesitleri arasında alan değişimi olacak şekilde tasarım yapılmaktadır. İkinci yöndemde ise geçiş borusunun giriş ve çıkış kesitlerinin çevreleri üzerindeki karşılıklı noktalar arasındaki geçişler düz hatlar boyunca yapılmaktadır. Bu geçiş durumunda belirli koşullar altında lineer geçiş durumu sağlanmaktadır. Dairesel bir kesitten dikdörtgen veya kare bir kesite geçiş borusu bu yöntemde uyar. Bu durumda taban yarıçapları  $R_1$  olan dörtte bir koniler daireSEL uçtan başlayarak tepeleri dikdörtgen ucun köşelerinde son bulmaktadır. Öte yandan tabanları dikdörtgenin kenarları olan ve tepeleri de dairenin çevresi üzerinde bulunan üçgenlerle de geçiş borusunun dış yüzeyi oluşmaktadır. Deneylerde kullanılacak olan ve kareden daireSEL kesite geçişi sağlayan geçiş borusu bu yöntemde göre yapılmıştır.

Geçiş borusu boyunca alan değişiminin lineer olması, geçiş borusu boyunca düzgün bir basınç değişimi sağlar. Fakat böyle bir geçiş borusunun yapımı güçtür. İkinci yöntemde yapım kolaylığı olmasına karşın alan değişiminin lineer olması belirli koşullarda sağlanır. Bu nedenle ayrı ayrı yapımı gerçekleştirilmiş boru sistemleri arasındaki geçişte bu koşulu sağlamak olanak dışı olabilir.

Baskaran ve Ramamurthy<sup>1</sup> nin geçiş difüzörleri için önerdiği yöntem sürekli genişleyen ve sürekli daralan borulara uygulanabilir. Bu yöntemde göre difüzörün daireSEL kesiti  $4n$  kenarlı bir poligon gibi düşünülür ve bu poligon dikdörtgen uçta birer

<sup>1</sup>Bkz. kaynaklar

dilimsel yüzey boyunca birleştirilirse ve  $n$  bir tamsayı olmak üzere arttırılırsa  $n$ 'ye oldukça büyük değerler verildiğinde dairesel uçtaki kesit alanı gerçek daire kesitine erişecektir.  $n$  küçük değerler aldığı anda dairesel kesitte gerçek kesitten daha küçük bir alan elde edilecektir.  $n=12$  için tasarlanan geçiş borusu şekli Şekil 1.1 de görülmektedir.

Dairesel kesit alanından dikdörtgen kesit alanına ve dikdörtgen kesit alanından dairesel kesit alanına geçiş için Miller<sup>2</sup> difüzörler yapmıştır. Miller bunların tasarımında geçiş difüzörünün dairesel ucu ile diğer ucu arasındaki geçişte yine köşeler dörtte bir koniler ve diğer yan yüzeylerde tepeleri dairesel ucun çevresi üzerinde son bulan üçgenlerden oluşmaktadır. Ayrıca Miller'in yaptığı geçiş borularında yapısal ve montaj nedenleriyle bir yan yüzey yere paralel olarak gerçekleşirken çıkışta köşeleri de yuvarlatmıştır. Difüzörün yere paralel yüzeyi eksen ile bir açı yapmazken bunun karşısındaki yüzey ise eksen ile büyük açı yapmaktadır. Bu da boru içindeki akışta bu yüzeyden ayrılmalara sebep olmaktadır. Diğer yandan Miller eşdeğer koniklik açısını sadece giriş ve çıkış kesit alanlarını göz önüne alarak belirlemiştir. Oysa eşdeğer koniklik açısı geçiş borusu eksenini boyunca değişmektedir. Özel durumlarda bu açı giriş ve çıkış kesit alanı arasında eksen boyunca sabit kalmaktadır. Eşdeğer koniklik açısı geçiş borusu boyunca akıştan elde edilen deneysel sonuçların irdelenmesinde önemli bir faktör olduğundan geçiş borusu boyunca eşdeğer koniklik açısı değişimi belirlenebiliyorsa, bu değişimi hesaba katarak sonuçların değerlendirilmesi daha uygun olur.

Atılğan M.<sup>3</sup> çeşitli geçiş şekilleri için geçiş borusu boyunca kesit alanı ve eşdeğer koniklik açısının değişimini incelemiştir. Alan değişimi ve eşdeğer koniklik açısının değişimine ilişkin matamatiksel ifadeler vermiştir.



### 1.3 Deneysel Çalışmalar

Günümüzde laminer akışlardaki hız dağılımı ve basınç değişimleri kesin olarak belirlenebilmektedir. Türbülanslı akışlarda hız dağılımı üzerine basınç değişiminin tesirini saptamada kesin matematik çözümler yoktur. Bu nedenle geçiş borularının tasarımında büyük güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bunun için deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar uygulamada oldukça yararlı olmaktadır.

Geçiş borusu olarak kullanılan yayıcılar (Bilhassa konik ve iki boyutlu paralel yüzlü difüzörler) üzerinde oldukça geniş teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.<sup>2,4,5</sup> Günümüzde de bu çalışmalara hala devam edilmektedir.

Sürekli daralan borulardaki akışlar üzerinde oldukça geniş araştırmalar yapılmış olup, akış esnasında cidarda ayrılımlar olmadığından yük kayıplarının oldukça az olduğu tesbit edilmiştir.<sup>2,6,7,8</sup> Fakat farklı giriş ve çıkış kesit alanlarına sahip geçiş boruları için yapılan çalışmalar oldukça azdır.

### 1.4 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada giriş kesitleri aynı olan ve çıkış kesitleri farklı olan üç adet geçiş borusu boyunca yük kaybının deneysel olarak bulunması amaçlanmıştır. Bu amaçla üç adet geçiş borusu (kareden-kareye, kareden-dikdörtgene ve kareden-daireye olacak şekilde) hazırlanmıştır. Boruların üçünde de çıkış kesiti giriş kesit alanının iki katıdır. Yani borular genişleyen (difüzör şeklinde) borulardır.

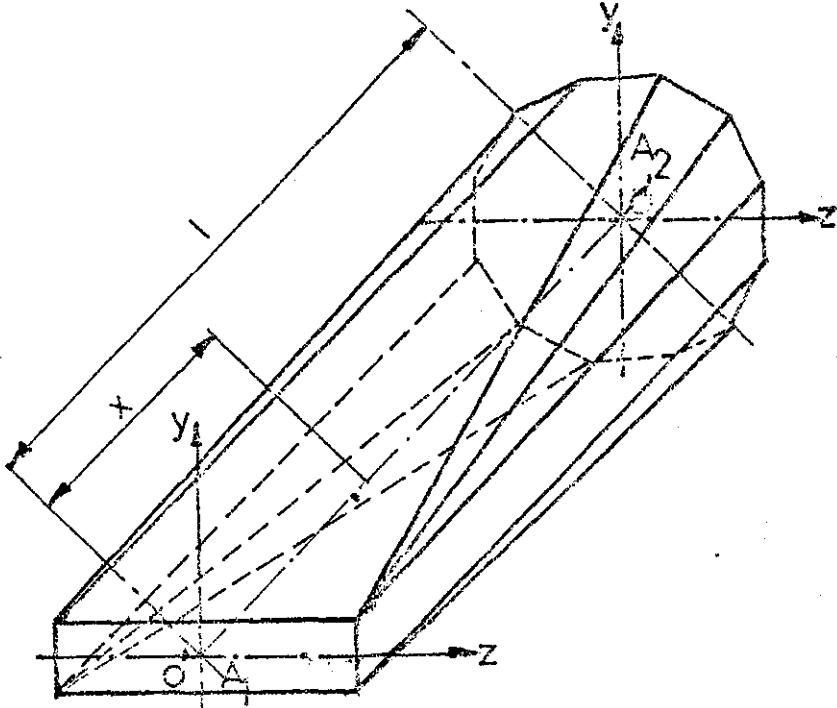
Bilindiği gibi sürekli genişleyen borulardaki akışlarda hareket yönünde boru içindeki akışkan hızı gittikçe azalmaktadır. Dolayısıyla arkadan gelen akışkan molekülleri öndekilere çarpımlar. Bu çarpma bir enerji kaybına neden olmaktadır. Bunun

yanı sıra borudaki genişleme belirli bir sınırın üzerinde ise bu durumda akışkanın hareketi esnasında cidardan ayrılmaların olabileceği ve geriye doğru ters akımların oluşabilmesiyle etken kesit alanının azalmasına ve yük kayıplarının artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle genişleme açısı belirli bir üst sınırın altında olmalıdır. Örneğin: konik difüzörlerde bu açının aksenel bir akış için  $5^{\circ}$ -  $8^{\circ}$  civarında olması durumunda maksimum difüzör verimi elde edilebileceği belirlenmiştir.<sup>4</sup>

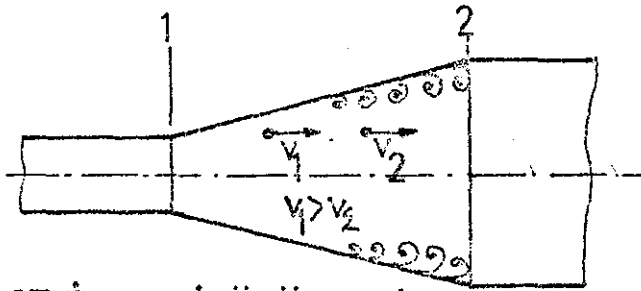
Bu borularda kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşürken kayıplar olmakta ve dolayısıyla verimde düşüş meydana gelmektedir. Bu tür borudaki akış şekil 1.2 de görülmektedir. Bu akışlarla ilgili ayrıntılı bilgi Atılğan M.<sup>3,4,5</sup> tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada giriş ve çıkış kesitleri farklı olan geçiş borularındaki akışkan akışı ile meydana gelebilecek yük kayıplarını belirlemek üzere üç ayrı geçiş borusu üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle tasarımı yapılmış geçiş boruları ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların bu tür geçiş borularındaki yük kayıpları ve nedenleri hakkında bir fikir vermede bir ölçüde yardımcı olacağını sanıyorum. Bu deneylerde eşdeğer koniklik açısının  $10^{\circ}$  den küçük, giriş kesit alanı kare (sabit) ve çıkış kesit alanı, giriş kesit alanının iki katı (sabit) kare, dikdörtgen ve daire olan geçiş boruları kullanılmıştır.

Bu borularda alan değişimi lineer olmadığından bu geçiş borularında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, sürekli genişleyen borular için geçerli hesap yöntemleri ile değerlendirilecektir. Böylece bu geçiş borularındaki yük değişimleri ve yük kayıp katsayıları ve ayrıca her deney ölçüm kesitindeki hız dağılımları da belirlenecektir.



ŞEKİL 1.1 BİR GEÇİŞ DİFÜZÖRÜ TASARIMI



ŞEKİL 1.2 DİFÜZÖRDEKİ AKIŞ

## BÖLÜM II

## GEÇİŞ BORULARININ GEOMETRİSİ

2.1 Giriş

Geçiş borularının geometrisi giriş ve çıkış kesit alanlarının şekline ve konumuna bağlıdır. Bu çalışmada kare kesit alanından kare kesit alanına, kare kesit alanından dikdörtgen kesit alanına ve kare kesit alanından daire kesit alanına geçişler ele alınacaktır. Burada geçiş borularının ekseni boyunca girişten çıkışa kadar olan alan değişimleri daha önce belirlenen formlerle belirlenmiştir. Boruların imalat açılımları buna göre yapılacaktır. Bu borulardaki giriş ve çıkış kesitleri arasındaki karşılıklı noktalardan geçişler bir doğru boyunca olacak şekilde tasarım gerçekleştirilmiştir.

2.2 Kare Kesit Alanından Kare Kesit Alanına Geçiş

Bu geçiş şekline ait bağıntıları vermeden önce daha genel olması nedeni ile Şekil 2.1 de görülen dikdörtgen kesit alanından dikdörtgen kesit alanına geçisi ele alalım.

Kesit alanı  $A_1$  ve kenar uzunlukları  $a$  ve  $b$  olan bir dikdörtgen kesitli borudan yine kesit alanı  $A_2$  ve kenar uzunlukları  $c$  ve  $d$  olan diğer bir boruya geçiş Atılğan M.<sup>3</sup> tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Buna göre; bu alan değişimi boyutsuz aksinel uzunluk  $\bar{x} = x/\ell$  cinsinden yine giriş kesit alanına göre boyutsuz olarak;

$$\bar{A}_x = \frac{A_x}{A_1} = 1 + f_1(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x} + f_2(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x}^2 \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

$$\text{Burada; } \alpha = \frac{a}{b} \quad (2.2)$$

$$\beta = \frac{c}{d} \quad (2.3)$$

$$K = \frac{A_2}{A_1} \quad (2.4)$$

olmak üzere;

Bu geçiş şekli için :

$$f_1(\alpha, \beta, K) = \frac{1 + (\alpha, \beta)}{\sqrt{\alpha \cdot \beta}} \cdot \sqrt{K} - 2 \quad (2.5)$$

ve

$$f_2(\alpha, \beta, K) = K - 1 - f_1(\alpha, \beta, K) \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Kare kesitten kare kesite geçişi veren formül, denklemdeki parametrelerin;

$$\alpha = \frac{a}{b} = 1 \quad \text{ve} \quad \beta = \frac{c}{d} = 1$$

alınmasıyla alan değişimini veren ifade sadece K alan oranlarının bir fonksiyonu sonucuna varılır. O halde:

$$\bar{A}_x = 1 + f_1(K)\bar{x} + f_2(K)\bar{x}^2 \quad (2.7)$$

ve

$$f_1(K) = 2 \cdot (\sqrt{K} - 1) \quad (2.8)$$

$$f_2(K) = (\sqrt{K} - 1)^2 \quad (2.9)$$

ve(2.1) ifadesi

$$\bar{A}_x = \left[ 1 + \frac{f_1(K)}{2} \cdot \bar{x} \right]^2 \quad (2.10)$$

şeklini alır.

D deneylerde kullanılan kareden kareye geçiş borusu için hava tünelinin çıkış kesiti 457mmx457mm den 200mmx200mm lik bir kare kesite indirgenmiştir. Bu kare kesit bütün geçiş borularının giriş kesitini oluşturmaktadır. Çıkış kesiti giriş kesitinin iki katı olacak şekilde tasarım yapıldığından  $A_2 = 2 \times 200 \times 200 \text{mm}^2$  dir. Bu durumda K alan oranları  $A_2/A_1 = 2$  dir. Geçiş borusunun boyu işdeğer koniklik açısı  $10^\circ$  den küçük olacak şekilde belirlenmiştir.

Bu boru için;

$$f_1(\alpha, \beta, K) = f_1(K) = 2 \cdot (\sqrt{K} - 1) = 0,8287$$

$$f_2(\alpha, \beta, K) = f_2(K) = (\sqrt{K} - 1)^2 = 0,1716$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 112,84 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu durumda boru boyu  $\ell$ ,

$$\tan \phi_{eq1} = \left( \frac{R_1}{\ell} \right) \cdot \frac{f_1(K)}{2} \quad (2.11)$$

$\bar{x} \rightarrow 0$

$$\tan \phi_{eq2} = \left( \frac{R_1}{2\ell} \right) \cdot \frac{2(K-1) - f_1(K)}{\sqrt{K}} \quad (2.12)$$

$\bar{x} \rightarrow 1$

formülleriyle hesaplanabilir. <sup>4</sup> Burada giriş kesitindeki  $\phi_{eq1}$  eşdeğer koniklik açısının yarısı;  $\phi_{eq2}$  ise çıkış kesitindeki eşdeğer koniklik açısının yarısıdır. <sup>2</sup> Açı değeri yerine  $5^\circ$  konulursa geçiş borusunun  $\ell$  boyu giriş ve çıkış kesiti için 534,11mm olarak bulunur. Yapılan boruda  $\ell = 540\text{mm}$  alınmıştır.

$\ell = 540\text{mm}$ , giriş kesit alanı  $A_1 = 40.000\text{mm}^2$  ve çıkış kesit alanı  $A_2 = 2 \cdot A_1 = 80.000\text{mm}^2$  olan geçiş borusunun imalat açılımı Şekil 2.2 görülmektedir. İmalat için kullanılan sacın kalınlığı her boruda da 1mm dir.

### 2.3 Kare Kesit Alanından Dikdörtgen Kesit Alanına Geçiş

Kare kesit alanından dikdörtgen kesit alanına geçiş kısım 2.2 de verilen (2.5) ve (2.6) denklemlerinin özel bir durumudur. Böyle ki giriş kesiti kare için  $a/b = \alpha = 1$  dir. (2.5) ve (2.6) denklemlerinden  $f_1(\alpha, \beta, K)$  ve  $f_2(\alpha, \beta, K)$  hesaplanırsa

$$f_1(\beta, K) = \frac{1+\beta}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{K} - 2 \quad (2.13)$$

$$f_2(\beta, K) = K-1-f_1(\beta, K) \quad (2.14)$$

olarak elde edilirler.

$f_1(\beta, K)$  ve  $f_2(\beta, K)$  değerleri (2.7) denkleminde yerlerine konulursa boyutsuz alan değişimi :

$$\bar{A}_x = 1 + f_1(\beta, K)\bar{x} + f_2(\beta, K)\bar{x}^2 \quad (2.15)$$

şeklini alır.

Deneyde kullanılan kareden dikdörtgene geçiş borusu için giriş kesit alanı  $A_1 = 40.000\text{mm}^2$  ve çıkış kesit alanı da giriş kesit alanının iki katı olduğundan  $2.A_1 = A_2 = 80.000\text{mm}^2$  dir.  $\beta = 0,5$  olarak seçildiğinden dikdörtgen kesidin kenar uzunlukları  $c = 200\text{mm}$  ve  $d = 400\text{mm}$  dir. Geçiş borusunun boyu burada da eşdeğer koniklik açısının  $10^\circ$  den küçük olması koşuluyla belirlenmiştir.

Bu boru için;

$$f_1(\beta, K) = \frac{1+\beta}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{K-2} = 1$$

$$f_2(\beta, K) = K-1-f_1(\beta, K) = 0$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 112,84\text{mm} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu verilere göre boru boyu (2.11) ve (2.12) denklemlerinden, giriş kesitindeki eşdeğer koniklik açısına göre  $644,87\text{mm}$  ve çıkış kesitindeki eşdeğer koniklik açısına göre  $456\text{mm}$  bulunmuştur. Buna göre boru boyu deneyde kullanılan boruda  $640\text{mm}$  olarak alınmıştır.  $A_1 = 40.000\text{mm}^2$ ,  $A_2 = 80.000\text{mm}^2$  ve  $\ell = 640\text{mm}$  olan bu borunun imalatı için gerekli geometrik açılımı şekil 2.3 de görülmektedir.

#### 2.4 Kare Kesit Alanından Daire Kesit Alanına Geçiş

Bu geçiş şeklinde dörtte bir daire tabanlı koniler köşelerde olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Dairenin yarıçapı

kare uçta sıfırdan başlıyarak daire uçta dairenin yarığapına erişmektedir. Her iki uę arasında birbirine tekabül eden noktalar arasındaki geğişin birer doğru boyunca olması esas alınmıştır. Geğiş borusu eksenini boyunca  $\bar{A}_x$  alan değişimini (2.1) denklemini gibi ifade edilebilir.

Atılınan<sup>4</sup> tarafından bu tür geğiş durumları için türetilen denklemlerden

$$f_1(K) = 2 \cdot \left( 2 \cdot \sqrt{\frac{K}{\pi}} - 1 \right) \quad (2.16)$$

$$f_2(K) = K - 1 - f_1(K) \quad (2.17)$$

olarak ifade edilmiştir.

Burada giriş kesiti için  $\alpha = a/b = 1$  ve ęıkıř kesiti (daire) için  $c = d = R_2$  olacaktır. ęıkıř kesitinin giriş kesitine oranı  $K = 2$  dir. Bu değerlerle

$$f_1(K) = 2 \cdot \left( 2 \cdot \sqrt{\frac{K}{\pi}} - 1 \right) = 1,192$$

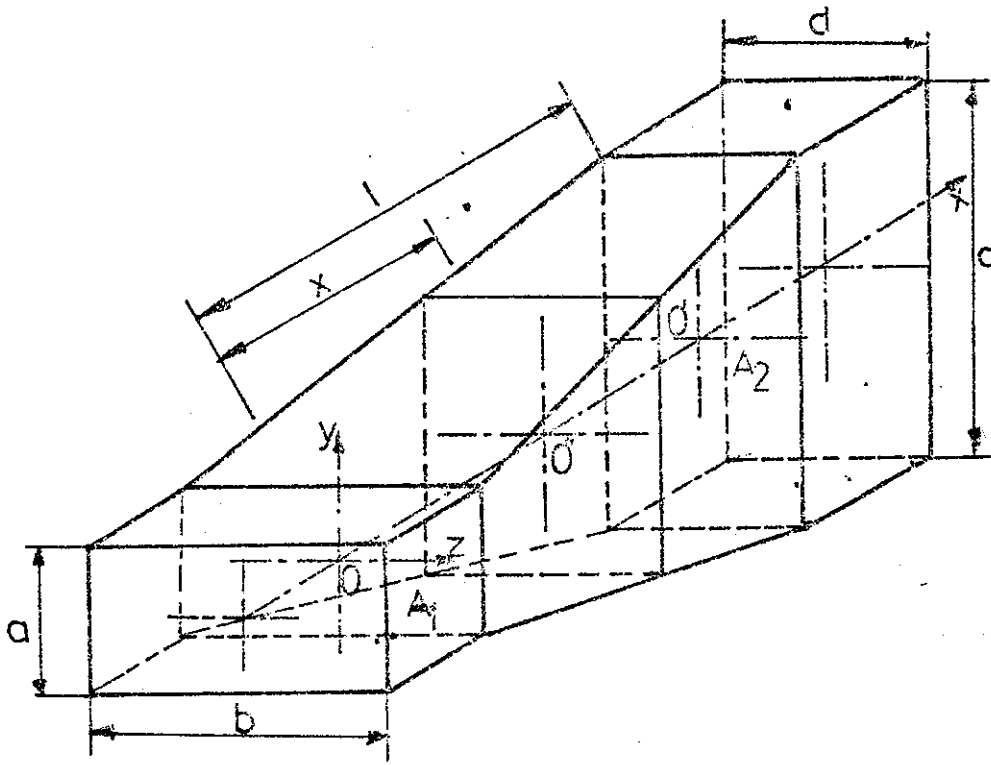
$$f_2(K) = K - 1 - f_1(K) = - 0,192$$

$$R_I = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 112,84 \text{ mm olarak hesaplanmıştır.}$$

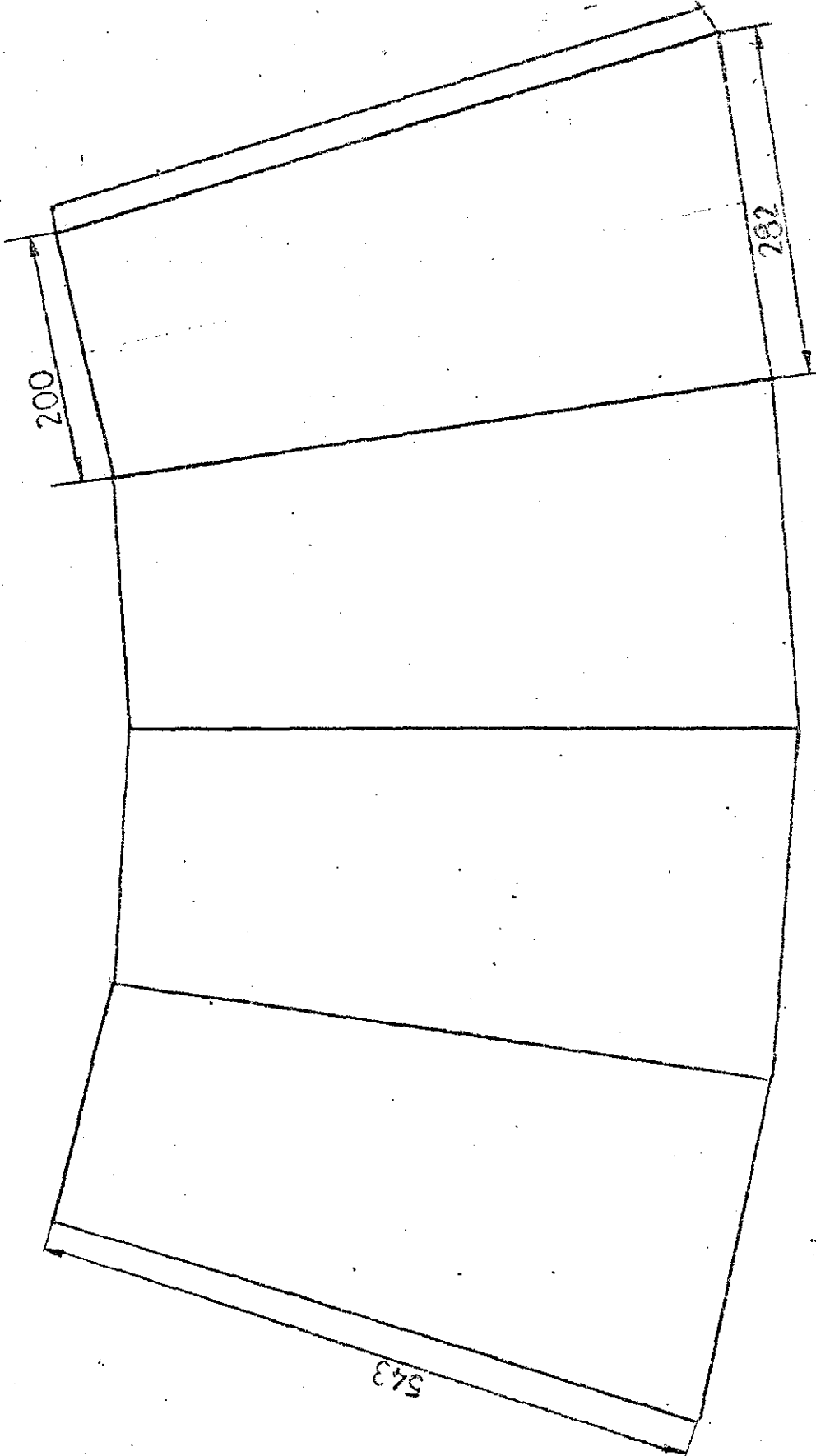
Boru boyu eşdeğer koniklik açısının  $10^\circ$  den küçük olma koşuluna göre hesaplandığından, eşdeğer koniklik açısının yarısı  $\phi_{eq} = 5^\circ$  alınarak giriş ve ęıkıřtaki eşdeğer koniklik ağılarına göre boru boyu hesaplanmıştır. (2.11) ve (2.12) denklemlerinden sırasıyla giriş ve ęıkıř kesitleri gözönüne alınarak boru boyu  $\ell = 768 \text{ mm}$  ve  $368,44 \text{ mm}$  bulunmuştur. Bu değerlerden  $768 \text{ mm}$  ye yakın olan  $\ell = 750 \text{ mm}$  boru boyu olarak alınmıştır.

$A_1 = 40.000 \text{ mm}^2$  (Kare),  $A_2 = 80.000 \text{ mm}^2$  (daire) ve  $\ell = 750 \text{ mm}$  olan geğiş borusunun imalat için gerekli geometrik açılımları Şekil 2.4 te görülmektedir.

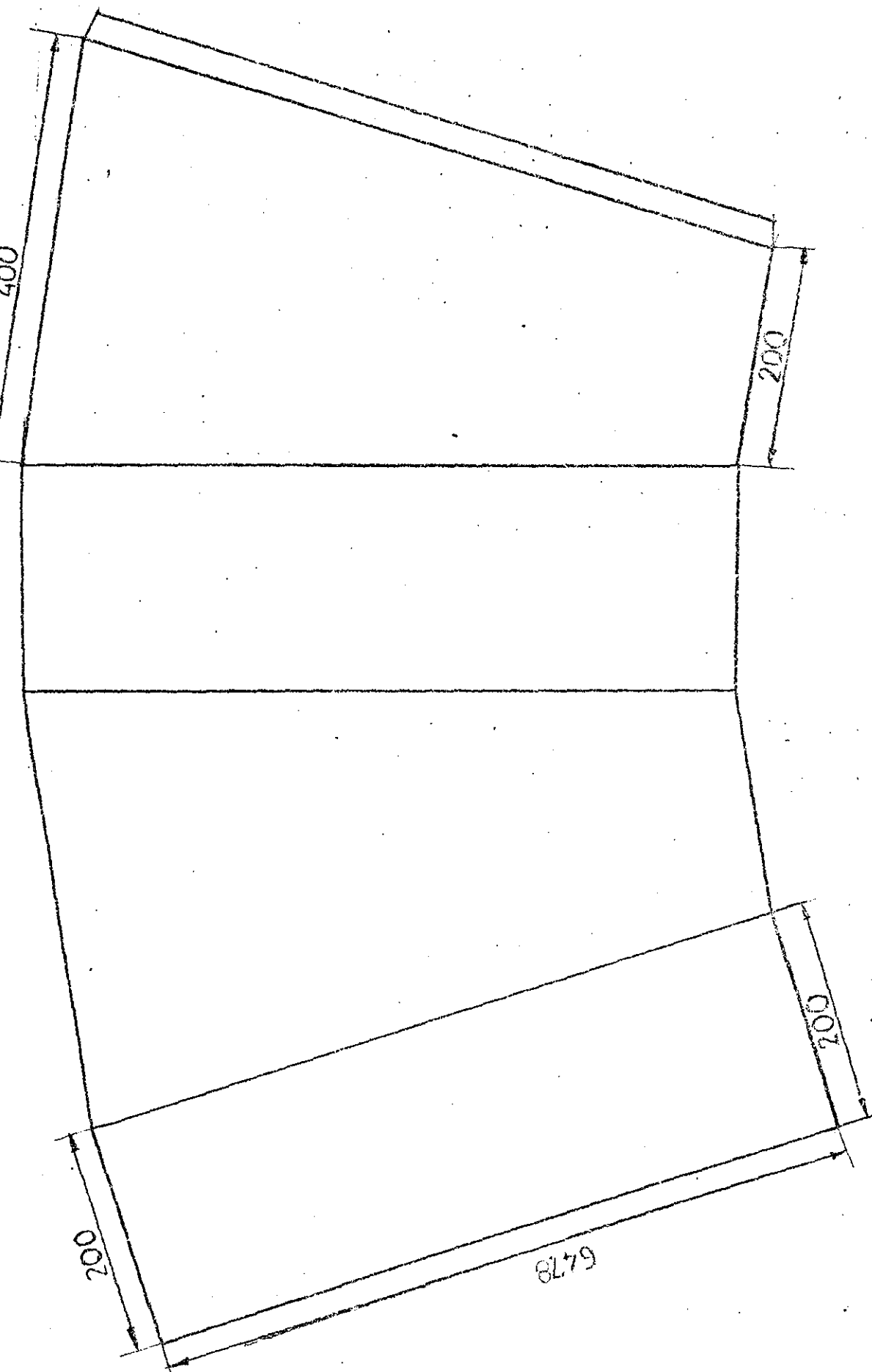




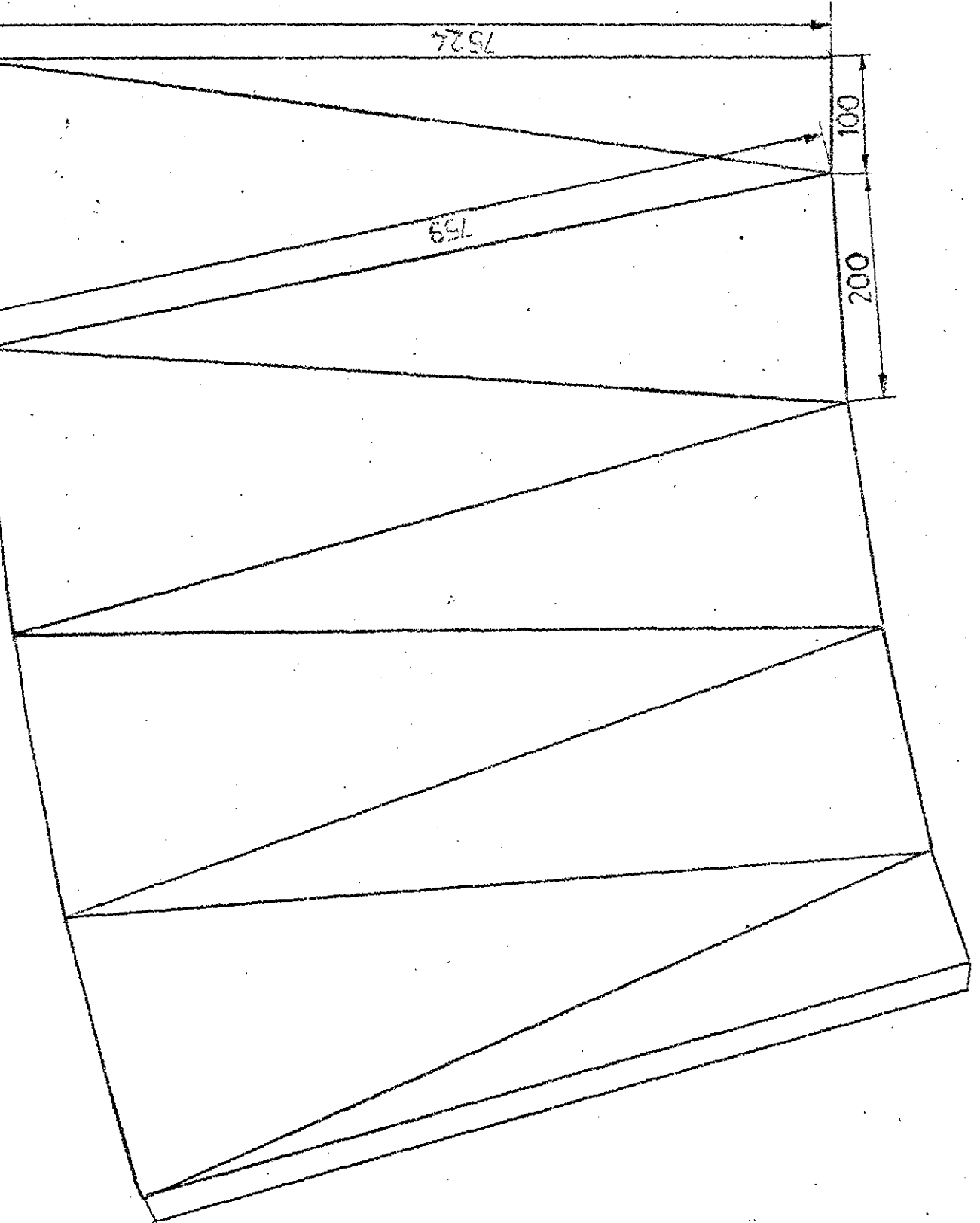
ŞEKİL 21 DİKDÖRTGENDEN DİKDÖRTGENE GEÇİŞ



ŞEKİL 2.2. KAREDEN KAREYE GEÇİŞ



ŞEKİL 2.3. KAREDEN DİKDÖRTGENE GEÇİŞ



YAPIDEN DAİREYE GEÇİŞ

## BÖLÜM III

### DENEYLER

#### 3.1 Giriş

Giriş kesitleri ve kesit alanları aynı; çıkış kesitleri farklı, çıkış kesit alanları aynı olan üç adet geçiş borusunun eksen boyunca alan değişimleri ve geometrileri Bölüm 2 de anlatıldı.

Bu bölümde bu borulardaki akışın deneysel olarak nasıl incelendiği anlatılacaktır. Bu amaçla önce deney tesisatı, kullanılan ölçü aletleri tanıtılacak, daha sonra da nasıl değerlendirildiği açıklanacaktır. Bu bölümün sonunda da deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacaktır.

#### 3.2 Deney Tesisatının Tanıtılması

Deney tesisatının genel görünümü şekil 3.1 de ve deney yapılan kısımların ayrıntıları da şekil 3.2 a,b,c de gösterilmiştir.

18,5 Kw gücündeki bir elektrik motorunun kayış kasnak tertibatıyla tahrik ettiği vantilatörün emdiği havanın debisi vantilatörün emme ağzında bulunan bir sürgülü vana ile ayarlanmaktadır. Debisi ayarlanan hava, hava tüneline geçtikten sonra hava tüneline çıkışına monte edilen adaptöre gelmektedir. Bu adaptör hava tüneline çıkış kesitini (457mmx457mm), deney kısmının giriş kesitine birleştirmektedir. Adaptörün boyu 700mm olup sızdırmazlık contaları ile sızdırmazlık sağlanacak şekilde flanşlarla hava tüneline ve deney kısmına bağlanmıştır. Adaptörden geçen hava kare kesitli 50mm uzunluğundaki borudan (200mmx200mm) geçerek deney bölgesine (test borularına) gelmektedir. Kare kesitli borunun çıkışında bulunan flanş ile deney borularının giriş flanşları aynı olduğundan her deney borusu rahatlık-

la aynı yere takılıp sökülebilmektedir.

Deneylerde kullanılan üç adet test borusuna giren hava, boruların çıkışından ortama bırakılmaktadır. Deneylerde sırasıyla kare kesitten-kare kesite (A), kare kesitten dikdörtgen kesite (B) ve kare kesitten dairesel kesite (C) geçiş boruları kullanıldı.

Her bir test borusunda yapılan deneylerde ölçmeler Şekil 3.2 a,b,c de görüldüğü gibi boru girişinin 60mm gerisinde, çıkışının 60mm ilerisinde, tam ortasında; boru boyunun 1/4 lük ve 3/4 lük kısmında olmak üzere 5 kesitte gerçekleştirildi.

Deney tesisatında, borulardaki akışın debisi ve dolayısıyla ortalama hızları ölçmek için Şekil 3.1 de görülen hava tünelinin (1) kesiti ile (2) kesitindeki statik basınç prizleri kullanıldı. Bu statik basınç prizlerinden alınan statik basınç farkına göre debi kalibrasyonu yapıldı. Bu işlem ayrıntılı olarak Kısım 3.5 de anlatılacaktır.

### 3.3 Ölçü Aletlerinin Tanıtılması ve Yapılan Ölçmeler

Deney boruları içinde akış hüküm sürerken genel olarak toplam ve statik basınç ölçmeleri yapıldı. Toplam ve statik basınç ölçmeleri boru eksenine dik olacak şekilde simetrik olmayan (B) borusunda yatay ve düşey yönde yapıldı. (A) ve (C) boruları simetrik olduğundan ölçmeler sadece düşey yönde yapıldı. Ölçmeler belirli aralıklarla taranarak gerçekleştirildi. Ölçmelerde standart Pitot tüpü yerine UNITED SENSOR imalatı CA 250-24-0D tipi standart basınç ölçme sondası kullanıldı. Sondanın boru içinde belirli aralıklarla hareket ettirilmesi ve bir kesitten diğer kesite geçilebilmesi için deney düzeneğine uygun olarak imal edilen sonda tutucu düzeneği kullanıldı. Pitot tüpü yerine bu sondanın kullanılmasının nedeni boru eksenine boyunca kesit alanının değişmesi ve dolayısıyla buna bağlı olarak akış yönündeki değişimlerin izlenerek statik basınç sapmalarının dengelenmesi sağlanmış olacaktır.

Üçlü sondanın yatay ve dişey hareket doğrultularında cidarla keşiştiği noktalarda açılan statik basınç delikleri (Prizler) vasıtasıyla da statik basınç ölçmeleri yapıldı.

Ölçüm noktalarında statik ve toplam basınç değerleri eğim açısı değişebilen sulu manometre ile mmSS olarak tesbit edildi. Hız dağılımları, bu ölçülen basınçlar vasıtasıyla hesaplanarak elde edildi.

Ölçmeler üç değişik debide ( $0,98$ ;  $1,771$  ve  $2,486$  m<sup>3</sup>/s) ve  $12,25$  m/s den  $62,15$  m/s ye kadar değişen ortalama hızlarda yapıldı. Debi ve hız ayarları sürgülü vananın açıklığı değiştirilerek yapıldı. Böylece çeşitli Re sayılarında deneyler gerçekleştirildi.

#### 3.4 Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu

Deneylerde kullanılan ölçü aletleri genellikle gerçek olmayan değerleri ölçerler. Bazen da bu ölçü aletleri uzun zaman kullanılıncaya eski duyarlıklarını kaybederler. Bu nedenle ölçü aletleri ayarlanmış başka bir ölçü aletinden elde edilen gerçek değerlerle karşılaştırılarak kalibre edilirler.

Bu çalışmada ölçü aleti olarak manometreler ve bu manometrelere bağlantılı üçlü sonda ve statik basınç prizleri kullanıldı. Üçlü sondanın gösterdiği toplam ve statik basınç değerleri gerçek değerler olmadığından üçlü sonda Pitot tüpü ile kalibre edildi.

Kalibrasyon şu şekilde yapıldı:

Pitot tüpü ve üçlü sonda ile aynı noktadan değişik debilerde toplam ve statik basınç değerleri okunarak kaydedildi.

Buna göre:

$P_0$ : Pitot tüpüyle okunan toplam basınç,

P : Pitot tüpüyle okunan statik basınca,  
 $P_t$ :  cl  sondayla " toplam " ,  
 $P_a$ : " " " statik "

olmak üzere sekiz değişik debide basınçlar bulundu. Elde edilen değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

No	Pitot Tüpü		Sonda		$P_o - P$	$P_t - P_a$	$P_o - P_t$
	$P_o$	P	$P_t$	$P_a$			
1	10	-4	9	2	14	7	1
2	16	-7	14	2	23	12	2
3	24	-10	22	3	34	19	2
4	30	-14	28	4	44	24	2
5	40	-17	36	5	57	31	4
6	57	-25	52	8	82	44	5
7	72	-30	64	10	102	54	8
8	82	-36	76	12	118	64	6

Tablodan elde edilen  $(P_o - P)$ ,  $(P_t - P_o)$  ve  $(P_o - P_t)$  değerleriyle şekil 3.3 de görülen kalibrasyon eğrileri en küçük kareler yöntemi ile çizilerek bulundu.

Bu eğrilerden faydalanarak gerçek toplam ve statik basınç değerleri sırasıyla; şekil 3.3 deki (1) eğrisinden gerçek toplam basınç:

$$P_o = (P_o - P_t)_{\text{eğri 1}} + P_t_{\text{ölçülen}} \quad (3.1)$$

ve (2) eğrisinden gerçek statik basınç:

$$P = P_o - (P_o - P)_{\text{eğri 2}} \quad (3.2)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilir.

 cl  sonda ile yapılan basınç taramalarından elde edi-



len tüm sonuçlar bu formüllerle gerçek değerlerine dönüştürülmüşlerdir.

### 3.5 Akışla İlgili Kalibrasyon

Hava tüneline deney bölgesine gelen havanın debisinin dolayısıyla ortalama hız ve Re sayısının hesaplanabilmesi için bu kalibrasyon işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Şekil 3.1 de görülen deney düzeneğindeki hava tüneline (1) ile (2) noktalarından alınan statik basınç prizleri, kullanılan eğik manometre ile irtibatlandırılmışlardır. Hava tüneline hava geçtiği anda bu iki nokta arasında bir  $\Delta P = P_1 - P_2$  basınç farkı meydana gelmektedir. Bu basınç farkına karşılık geçen debinin belirlenebilmesi için ise adaptörün önündeki hava tüneline ölçme kısmında Pitot tüpü ile toplam ve statik basınç taramaları dolayısıyla hız ölçmeleri yapılmıştır. Ölçümler cidardan başlamak üzere 20mm aralıkla kesit boyunca yapılmıştır. Pitot tüpünün akışa dik olarak bir çizgi boyunca hareket ettirilmesine özen gösterilmiştir. Bu maksatla cidarda bir tutucu kullanılmıştır. Herbir debi için kesit boyunca 21 noktada toplam ve statik basınç ölçümü gerçekleştirilmiştir.

$P_t$ : Pitot tüpü ile ölçülen toplam basınç (mmSS)

$P_a$ : " " " " statik " (mmSS)

olmak üzere

$$P_d = P_t - P_a \quad (\text{mmSS}) \quad (3.3)$$

olarak dinamik basınç bulunmuştur.

$$P_d = \rho \frac{v^2}{2} \quad (3.4)$$

Burada:

$$\rho = \frac{P_o}{R \cdot T_o} \quad (3.5)$$

formülünden her debi için hesaplanmıştır.

Atmosfer basıncı  $P_0$  (mBar) ve çevre sıcaklığı  $T_0$  ( $^{\circ}$ K) olarak ölçülmüşlerdir. (3.4) denkleminden hız;

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 9.80665}{\rho}} P_d \quad (3.6)$$

olarak bulunmuştur.  $P_d$  formüldeki yerine mmSS olarak konulabilmektedir. Hız değeri de direk olarak m/s cinsinden bulunabilmektedir.

21 noktada bu şekilde hesaplanan hızların ortalaması hassas yamuk formülüne göre

$$\bar{U} = \frac{\frac{h}{3} \left[ u_0 + u_{21} + 2 \cdot (u_2 + u_4 + \dots + u_{20}) + 4 \cdot (u_1 + u_3 + \dots + u_{19}) \right]}{457} \quad (3.7)$$

formülüyle hesaplanmıştır. Burada h 20mm olup iki ölçüm arası uzaklıktır. 457 ise ölçme kesitinin genişliğidir. (mm)

Ölçüm yapılan kesitin alanı A 201105mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu kesitten geçen debi;

$$Q = A \cdot \bar{U} \quad (3.8)$$

olduğundan bilinen A ve  $\bar{U}$  değerleri için hesaplanabilmektedir.

Her  $\Delta P$  statik basınç farkına bir Q debisi karşılık gelmektedir. Kalibrasyon için aşağıdaki  $\Delta P$  ve Q değerleri deneylerden elde edilmiştir.

$\Delta P$ (mmSS)	0.4	0.68	2.1	3.32	5.4	7	8.1	10.4
Q (m <sup>3</sup> /s)	0.504	0.699	1.130	1.442	1.837	2.082	2.244	2.560

Elde edilen budağerleri en iyi karakterize eden

$$\Delta P = 1.5536 \cdot Q^{2.444} \quad (3.9)$$

denklemini en küçük kareler yöntemiyle bulunmuştur.

Tablodaki değerlere en küçük kareler yöntemiyle uyarlanan  $\Delta P = f(Q)$  eğrisi şekil 3.4 de görülmektedir.

Test borularında ölçümler yapılırken sürgülü vana yardımıyla  $\Delta P$  statik basınç düşüşü istenilen  $Q$  debisine göre ayarlanmıştır. Böylece her deney için  $Q$  debisi hesaplanmadan kalibrasyon eğrisinden rahatlıkla bulunmuştur. Ancak deneylerin sağlıklı yapılıp yapılmadığının kontrolü için test borularından geçen hava debisi de toplam ve statik basınç taramalarından elde edilen hızların ortalamasından hareketle bulunmuştur. Buradan geçen debinin kalibrasyondan bulunan debiye eşit olduğu görülmüştür.

Test borularından geçen havanın sıcaklığı ve o andaki hava basıncı ölçüldü. Havanın bu şartlardaki fiziksel özellikleri  $Re$  sayısının hesaplanması için kullanıldı.  $Re$  sayısı hesaplanırken test borularının giriş kesitindeki hidrolik çap esas alındı. Üç boruda da giriş kesiti aynı olduğundan üç değişik  $Re$  sayısı için yük değişimi, yük kayıp katsayısı değişimi ve hız dağılımları incelendi.

### 3.6 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneylerde kullanılan üç boruda sürekli genişleyen tiptedir. Sürekli genişleyen borulardaki akış problemlerinin çözümü deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılacaktır.

Bu kısımda sıkıştırılamayan akışkanların tek boyutlu sistemdeki hareketi incelenecektir. Gerçekte bir kanala veya boruya giren ve çıkan akışkan tek boyutlu değildir. Bazılar kesit alanı boyunca cidardan merkeze doğru artmakta ve eksen üzerinde maksimum bir değere erişmektedir. Uygulamada boru içindeki akış her bir kesit alanından  $V$  ortalama hızıyla geniş bir borudan akıyormuş gibi ele alınır. Birim ağırlıktaki akışkanın kinetik enerji -

si  $V^2/2g$  dir. Bu değer kesit alanı boyunca değişen  $v$  hızları için belirlenen  $v^2/2g$  lerin ortalaması değildir. Bu nedenle  $V^2/2g$  öyle bir düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır ki;  $(\alpha \cdot \frac{V^2}{2g})$  kesit alanından geçen akışkanın gerçek kinetik enerjisini versin. Araştırmacıların değişik yöntemlerle  $\alpha$ 'yı aynı mertebede buldukları çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir. 8,10,12

Kinetik enerji düzeltme faktörünün belirlenmesi şu şekilde yapılabilir. Bir borudaki akışta şekil 3.5'deki gibi bir  $\delta A$  alan elemanından birim zamanda  $v$  hızı ile geçen akışkanın kinetik enerjisinin; toplam kesit alanından  $V$  ortalama hızı ile birim zamanda geçen akışkanın kinetik enerjisine eşit olacaktır. Bu koldan;

$$\alpha \cdot \frac{V^2}{2g} \rho \cdot g \cdot V \cdot A = \rho \cdot g \cdot \int_A \frac{v^2}{2g} \cdot v dA$$

olacaktır. Buradan

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{v}{V}\right)^3 \cdot dA \quad (3.10)$$

olarak belirlenmiştir.

Laminer akışlardaki teorik hız yayılışı bilinmektedir. Ayrıca maksimum hızın ortalama hızın 2 katına eşit olduğu hesaplanmıştır. Kinetik enerji düzeltme faktörü  $\alpha=2$  olarak bulunmuştur. 10,11

Türbülanslı akışlarda hız profili  $Re$  sayısına ve sınır tabaka koşullarına bağlı olarak değiştirdiğinden, pratikte bunlar için çeşitli amprik formüller verilmiştir. 8,10,11 Prandtl'in borulardaki tam gelişmiş türbülanslı akışlar için önerdiği 1/7 nci kuvvek kanunu uygulandığında ortalama hızın maksimum hıza oranı;

$$\frac{v}{v_{\max}} \cong 0,82$$

olarak bulunmuştur.

Genel olarak  $1/n$  inci kuvvete göre hız dağılımı;

$$\frac{v}{v_{\max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (3.11)$$

şeklindedir.

Kesit alanı boyunca süreklilik denkleminde

$$Q = v \cdot R^2 \cdot V = \int v \cdot dA \quad (3.12)$$

(3.11) denkleminin (3.12) denkleminde yerine koyulup integre edilmesiyle

$$\frac{v}{v_{\max}} = \frac{2 \cdot n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (3.13)$$

bulunmuştur. Ortalama hızın maksimum hıza oranının;  $n$ 'nin farklı değerlerine göre değişimi aşağıdaki tablodaki gibidir.

n	6	7	8	9	10
$v/v_{\max}$	0,7912	0,8167	0,8366	0,826	0,8658

Tablodan da görüldüğü gibi  $n$  arttıkça  $v/v_{\max}$  değeri artmaktadır. Yani hız profilleri düzleşmektedir. Bu da  $Re$  sayısı arttıkça hız profillerinin düzleşeceği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Kinetik enerji düzeltme faktörü, hız dağılımın (3.11) denkleminde olduğu durumda (3.10) denkleminin entegrasyonu ile

$$\alpha = \frac{(n+1)^3 \cdot (2n+1)^3}{4 \cdot n^4 \cdot (n+3) \cdot (2n+3)} \quad (3.14)$$

olarak elde edilmiştir. Farklı  $n$  değerleri için  $\alpha$  değerleri aşağıya çıkarılmıştır.

n	6	7	8	9	10
$\alpha$	1,0768	1,0584	1,04594	1,0371	1,0306

Buradan n'nin yani Re sayısının artmasıyla faktörünün 1'e yaklaştığı görülmektedir.

Türbülanslı akışlar için  $\alpha$  faktörü pratikte 1,01 ile 1,10 arasında değişmekte olup, genel olarak hesaplarda 1,03 ile 1,06 arasındaki değerleri alınmaktadır. Hassas olmayan hesaplarda  $\alpha=1$  olarak alınmaktadır.

$\alpha$  kinetik enerji düzeltme faktörünü de içerecek şekilde bir boru içindeki akışın, boru eksenini boyunca farklı iki noktası arasında Bernoulli denklemini yazarsak;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{L_{1-2}}$$

Buradan iki nokta arasındaki yük kaybı;

$$h_{L_{1-2}} = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) \quad (3.15)$$

elde edilir. Aşağıda bu formülün sürekli genişleyen borulara nasıl uygulanacağı anlatılacaktır.

### 3.6.1 Sürekli Genişleyen Borulardaki Akış

Deneylerde kullanılan borular gibi sürekli genişleyen boruların giriş kesiti (1) ile çıkış kesiti (2) arasında (3.15) denklemi uygulanırsa yük kaybı;

$$h_{L_{1-2}} = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right)$$

ve yatay konumdaki boru için  $Z_1 = Z_2$  olduğundan

$$h_{L_{1-2}} = \left( \frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

ve tekrar düzenlenirse

$$h_{L_{1-2}} = \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} \left( 1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{V_2^2}{V_1^2} \right) - \frac{P_2 - P_1}{1/2 \cdot \alpha_1 \cdot \rho \cdot V_1^2} \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilir.  $(P_2 - P_1)$  (1) ve (2) kesitleri arasındaki basınç artışı olduğundan

$$C_{P1} = \frac{P_2 - P_1}{1/2 \cdot \alpha_1 \cdot \rho \cdot V_1^2} \quad (3.17)$$

difüzördeki basınç kazanma katsayısı olarak tanımlanabilir. Öte yandan  $Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$  süreklilik denklemi (3.16) ve (3.17) denklemleri ile birleştirilirse;

$$h_{L_{1-2}} = \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} \left[ \left( 1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) - C_{P1} \right] \quad (3.18)$$

olarak belirlenir.

İki kesit arasındaki yük kaybını girişteki kinetik enerjiye bölersek, yük kayıp katsayısı;

$$C_f = \frac{h_{L_{1-2}}}{\alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g}} = \left( 1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) - C_{P1} \quad (3.19)$$

olarak bulunur.

Eğer giriş kesitindeki hız profili çok düzgün ise  $\alpha_1 \cong 1$  alınabilir. O zaman,

$$C_f = \left( 1 - \alpha_2 \cdot \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) - C_{P1} \quad (3.20)$$

elde edilir. Pratikte genel olarak  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$  olarak hesaplar yapılır. O halde;

$$C_1 = \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2}\right) C_{P1} \quad (3.21)$$

şeklini alır.

Bernoulli ve süreklilik denklemlerinden ideal basınç kazanma katsayısı;

$$C_{P1_i} = 1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edildiğinden, bu denklem (3.21) denklemi ile birleştirilirse

$$C_1 = C_{P1_i} - C_{P1} \quad (3.23)$$

olarak belirlenir. Böylece sürekli genişleyen borulara ait yük kaybı katsayısı  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$  koşuluyla, ideal basınç katsayısı ile gerçek basınç kazanma katsayısının farkı şeklinde ifade edilebilmektedir.

Difüzörlerin kullanılmasındaki en önemli faktörlerden birisi, örneğin aksi tesir türbinlerinde çıkıştaki kinetik enerjinin bir kısmının basınç enerjisi olarak kazanılmasıdır. O halde difüzör için bir verim tanımlanabilir. Bu da gerçek basınç enerjisi artışının ideal basınç enerjisi artışına oranı olarak belirlenir. (3.15) denklemi her iki durum için yazılıp oranlanırsa;

$$\eta_d = \frac{\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} - h_{L1-2}}{\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}}$$

ve



$$\eta_d = 1 - \frac{h_{L1-2}}{\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}} \quad (3.24)$$

olarak ifade edilir. Buradan da görüldüğü gibi difüzör verimi, difüzördeki yük kayıpları azaldıkça artmaktadır.

### 3.6.2 Kinetik Enerji Düzeltme Faktörünün Belirlenmesi İle İlgili Düşünceler

Deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmadan önce, kinetik enerji düzeltme faktörünün hangi mertebede olacağını tesbit etmek gerekir. Deneylerde tüm borulardaki akış tam gelişmiş türbülanslı akış olarak kabul edilmiştir. Kısm 3.6 da kinetik enerji düzeltme faktörü  $\alpha$ 'nın, borudaki akışa bağlı olarak değiştiği ve bu katsayısının artan Re sayılarıyla azaldığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler farklı hızlarda yani farklı Re sayılarında yapıldığından  $\alpha$  katsayıları da farklı olmaktadır. Bu nedenle esas problem Re sayısından  $n$  katsayısının tesbit edilebilmesidir.  $n$ 'nin artan Re sayılarında arttığı bilinmektedir. Ayrıca borunun pürüzlü ve pürüzsüz durumlarına göre de  $n$  farklı değerler alacaktır.

Biz dağılımı,  $\lambda$  sürekli kayıp katsayısının bir fonksiyonu olduğundan  $n$ 'nin sadece  $\lambda$ 'nın bir fonksiyonu olarak değişeceği söylenebilir. Bu nedenle  $n$  ile  $\lambda$  arasında bir bağıntı bulunabilirse,  $n$  ve dolayısıyla  $\alpha$  kolayca belirlenir.

Nunner<sup>13</sup>  $n$ 'yi  $\lambda$ 'nın

$$\frac{1}{n} = \sqrt{\lambda} \quad (3.25)$$

şeklinde bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Bu bağıntı  $\lambda < 0.1$  değerleri için geçerlidir.

Deneylerde Re sayısı giriş kesit alanına göre belirlenmiştir. Üç boruda da giriş kesit alanı ve debiler aynı olduğundan üç değişik Re sayısı bulunmuştur. Re sayısının hesabı şu şekilde yapılmıştır.

$$Re = \frac{V \cdot d_e}{\nu} \quad (3.26)$$

Burada;

V : Akışkanın deneyin yapıldığı kesitteki ortalama hızı,  
 $\nu$  : Akışkanın ölçüm koşullarındaki kinematik viskozitesi,  
 $d_e$  : Hidrolik çap olup;

$$d_e = \frac{4 \cdot A}{\varnothing} \quad (3.27)$$

formülünden hesaplanmıştır. Burada da

A : Kesit alanı,  
 $\varnothing$  : Kesitin ıslak çevresidir.

Giriş kesiti için yapılan hesaplardan Re sayısının  $3.27 \times 10^5$ ,  $5.94 \times 10^5$  ve  $8.30 \times 10^5$  değerlerinde olduğu hesaplanmıştır.

Sürekli yük kayıp katsayısı  $\lambda$ , bilinen Re sayıları için, borularda kullanılan dekape sacın pürüzlülük değeri  $k=0.10\text{mm}$  alınarak ve bağıl pürüzlülük  $k/d_e=0.0005$  hesaplanarak Moody diyagramından bulunmuştur.  $\lambda$ 'nın 0.0170 ile 0.0195 arasında olduğu yine Moody diyagramından bulunmuştur.

Bilinen  $\lambda$  değeri için (3.25) denkleminde n hesaplanmıştır. n'nin 7 ile 8 arasında olduğu görülmüştür. n değerleride bilindiğinden (3.14) denkleminde  $\alpha$  hesaplanabilir. Yapılan hesaplardan  $\alpha$ 'nın 1.0485 ile 1.0560 arasında olduğu tesbit edilmiştir.

Ayrıca yük değişimleri hesaplanırken her kesit için yukarıdaki şekilde  $\alpha$  kinetik enerji düzeltme faktörü belirlenmiştir.

### 3.6.3 Eksenel Hız Değişimleri

Geçiş boruları boyunca alanlar sürekli değiştiğinden hızlar da her kesit için farklıdır. Hız değişimleri, boru eksenine dik olarak geçiş borularının ölçme yapılan kesitlerinde toplam ve statik basınçların ölçülmesi ile belirlendi. A ve C boruları simetrik olduğundan düşey yönde, B borusunda ise hem düşey ve hem de yatay yönde hız taramaları yapıldı.

Eksenel hız profillerinin değişimleri üç boru içinde Şekil 3.6 a,b,c de gösterilmiştir. Bu hız profilleri boru ekseninden cidara kadardır. Sınır tabaka gelişmesi nedeniyle cidara yaklaştıkça hızdaki düşüş açık olarak görülmektedir.

Hava boru içinde ilerledikçe kesit alanı arttığından hızdaki düşüş üç boruda da açıkça görülmektedir. B borusunda yapılan yatay ve düşey yöndeki ölçmeler arasında kenara yaklaşıldıkça belirgin farklılıklar görülmektedir. Bunun nedeninin yanıl yüzey açılarının çok farklı olmasından kaynaklanan cidardan olabilecek ayrılmalardan olduğu sanılmaktadır. Borunun eksenine doğru ise düşey ve yatay yönde ölçülen hızlar birbirine çok yakındır. Ayrıca üç boruda da giriş kesitinden çıkış kesitine doğru gidildikçe cidara yakın bölgelerdeki kararlılıkların arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin kesit büyüdükçe hızın azalması ve akışın boru eksenine doğru kaymasının neden olabileceği sanılmaktadır.

### 3.6.4 Yük Değişimleri

Deney giriş kesitinden çıkış kesitine kadar deney sonuçları için hesaplanan yük değişimleri Şekil 3.7 a, b, c, d'de gösterilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi sonuçlar ölçüm yapılan kesitler için verilmiştir. Diğer kesitlerdeki yük değişimleri hakkında kesin bir yorum yapmak bu kesitlerde ölçüm yapılmadığından oldukça güçtür.

Yük değişimleri, her bir ölçme noktasında yapılan ölçmelerden elde edilen sonuçlar yardımıyla;

$$H = \frac{P^*}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}; \quad \left( \frac{P^*}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + Z \right)$$

formülü kullanılarak hesaplandı. Burada  $\alpha$  kinetik enerji düzeltme faktörü bundan önceki kısımda anlatıldığı gibi her kesit için ayrı ayrı hesaplandı. V, ortalama hızı da her kesit için debi kalibrasyonundan bulundu. P ise ölçüm yapılan kesitteki cidar statik basıncı olup her kesit için yapılan ölçmelerden hesaplanmıştır. Statik basınç ölçümleri, atmosfer basıncına karşı eğik manometre ile yapılmış olup, değerler mmSS olarak bulunmuştur. Basınç ölçümü yapılan noktalar aynı seviyede olduğundan  $Z=0$  alınmıştır. H önce metre hava sütunu olarak bulunmuş; daha sonra mmSS'na dönüştürülmüştür.

Şekil 3.7 a, b, c, d'den de görüldüğü gibi boru ekseni boyunca yük değişimi alçak hızlarda daha az olmasına karşılık, yüksek hızlarda bu değişim daha fazladır. Yani yüksek hızlarda yük kaybı daha fazla olmaktadır. Ayrıca üç boruda da giriş kesitinden üçüncü ölçümün yapıldığı kesite kadar yükteki düşüşün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ölçüm yapılan birinci kesitten boru girişine kadar alan değişimi olmaması, boru girişinden itibaren kesit alanının artmaya başlaması olduğu sanılmaktadır.

Kare kesitten dikdörtgen kesite geçiş borusunda yapılan deneylerde, yatay ve düşey yöndeki ölçmelerden hesaplanan yük değişimlerinde farklılıklar görülmektedir. Bu farklılık yatay ve düşey yöndeki yanıl yüzey açılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yatay yönde ölçüm yapılan ölçümlerde yanıl yüzey açılarının fazla olması nedeni ile cidardan ayrılmalar daha fazla olmaktadır.

Ayrıca üç boru boyunca elde edilen yük değişimleri karşılaştırıldığında; kare kesitten dairesel kesite geçişte eksen boyunca daha düzgün bir yük değişimi bulunmuştur. Bunun nedeni eşdeğer koniklik açısının  $10^{\circ}$  den küçük olması koşulundan hesaplanan boru boyu  $l$ 'nin bu boruda en büyük olmasıdır. Boru boyunun uzunluğu yanıl yüzey açılarının daha az olmasını sağlamıştır. Böylece cidardan olabilecek ayrılmalar nedeniyle oluşan yük kayıpları azalmıştır. Yine bu boru boyunca cidardan ölçülen statik basınç değerleri de diğer borulardan daha düşük bulunmuştur.

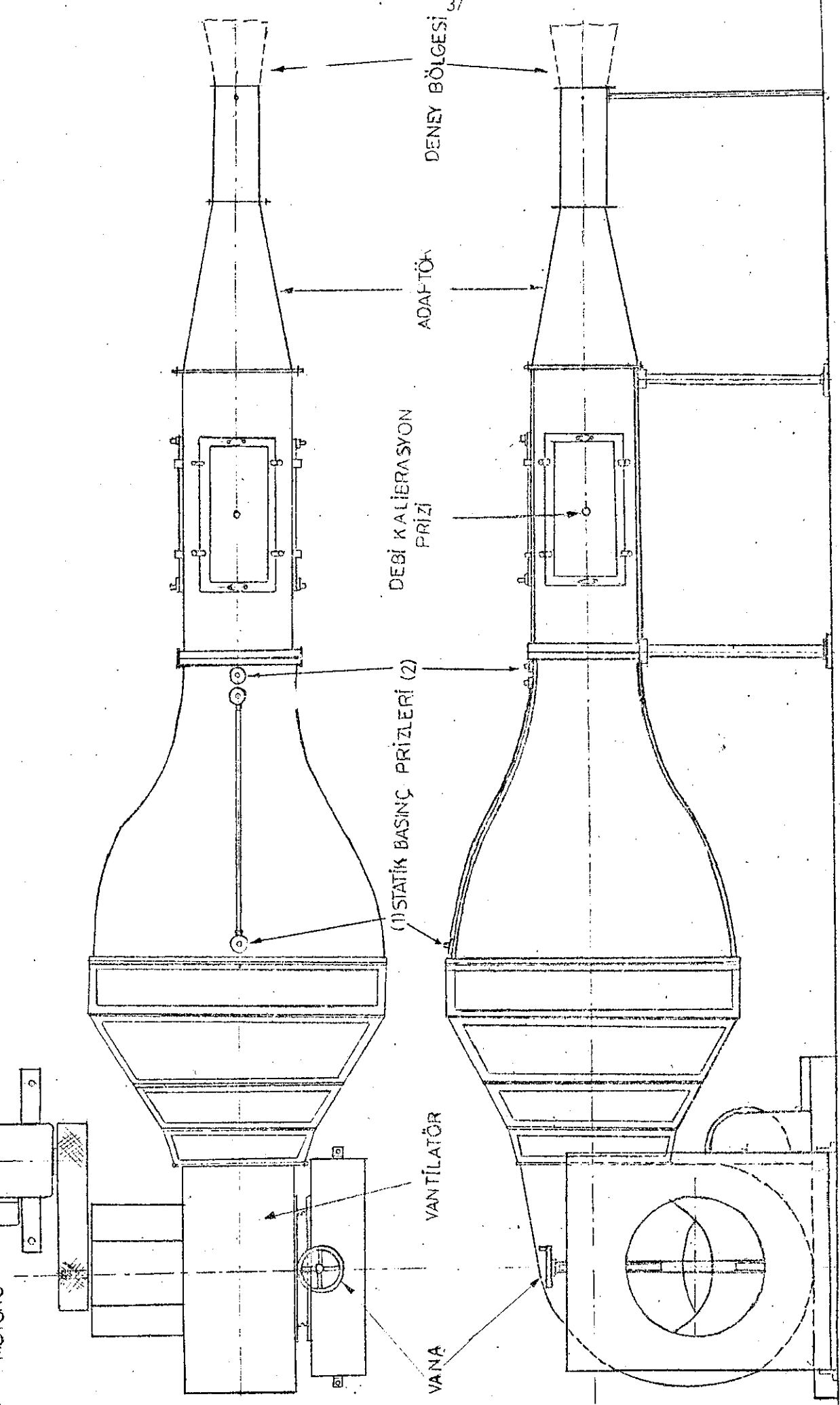
### 3.6.5 Yük Kayıp Katsayısı

Bu çalışmada kullanılan geçiş borularının yük kayıp katsayıları (3.19) denkleminde hesaplanmıştır. Yük kayıp katsayıları giriş ile çıkış kesitleri gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Üç değişik Re sayısı için hesaplanan yük kayıp katsayılarının Re sayısı ile değişimi Şekil 3.8'de görülmektedir.

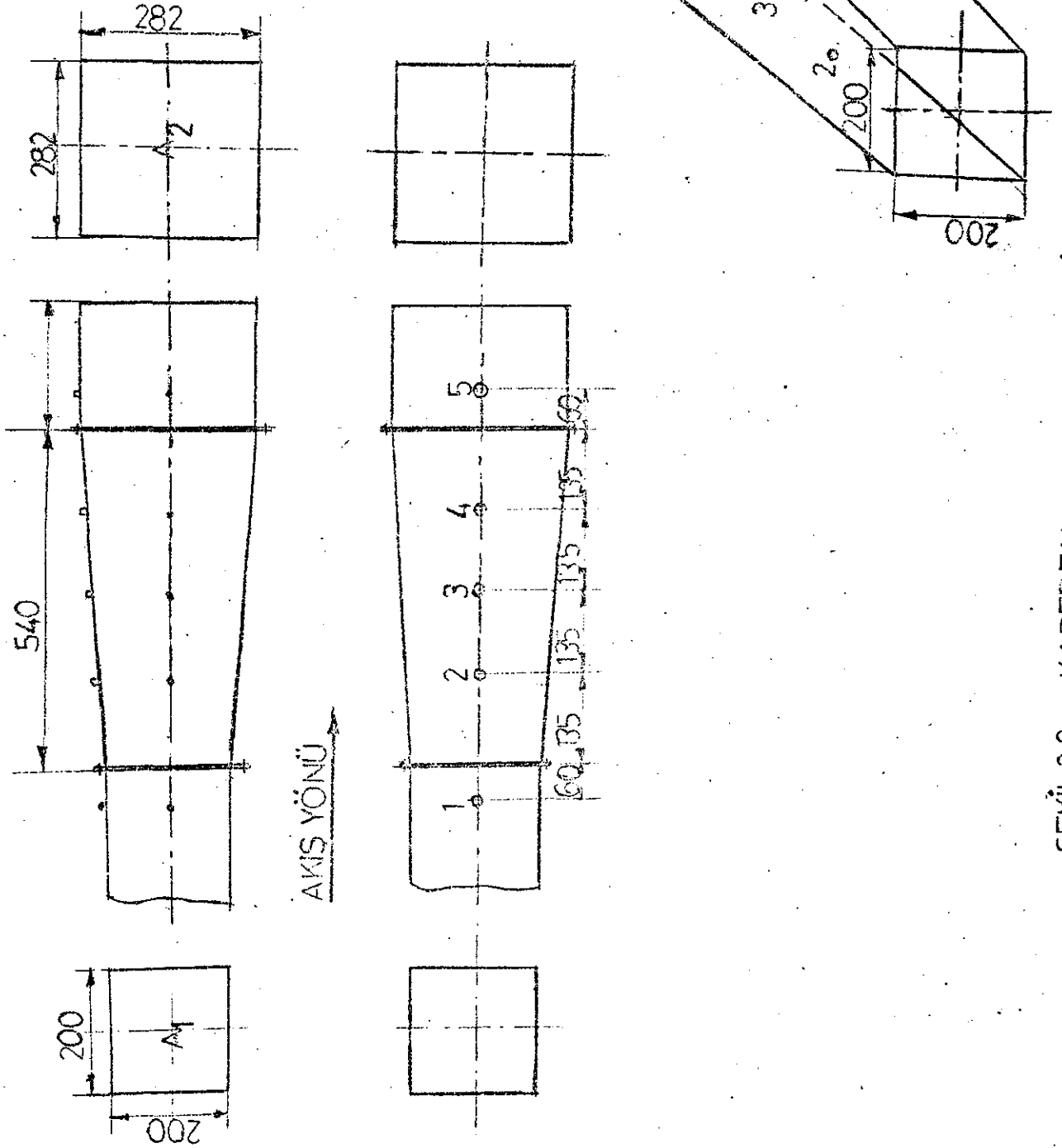
Kare kesitten dikdörtgen kesite geçişte düşey yönde yapılan ölçmelerden bulunan kayıp katsayıları yatay yönde yapılan ölçmelerden bulunan kayıp katsayılarından daha büyük değerlerdedir. Yalnız bu farkın çok az olduğu görülmektedir.

Kare kesitten kare kesite ve kare kesitten dikdörtgen kesite geçişte artan Re sayılarında yük kayıp katsayılarının azaldığı tespit edilmiştir. Kare kesitten dairesel kesite geçişte ise artan Re sayılarında yük kayıp katsayılarının arttığı görülmüştür. Burada da kare kesitten dairesel kesite geçiş borusunun diğerlerinden daha uzun olduğu gözden uzak tutulmak gerekir.

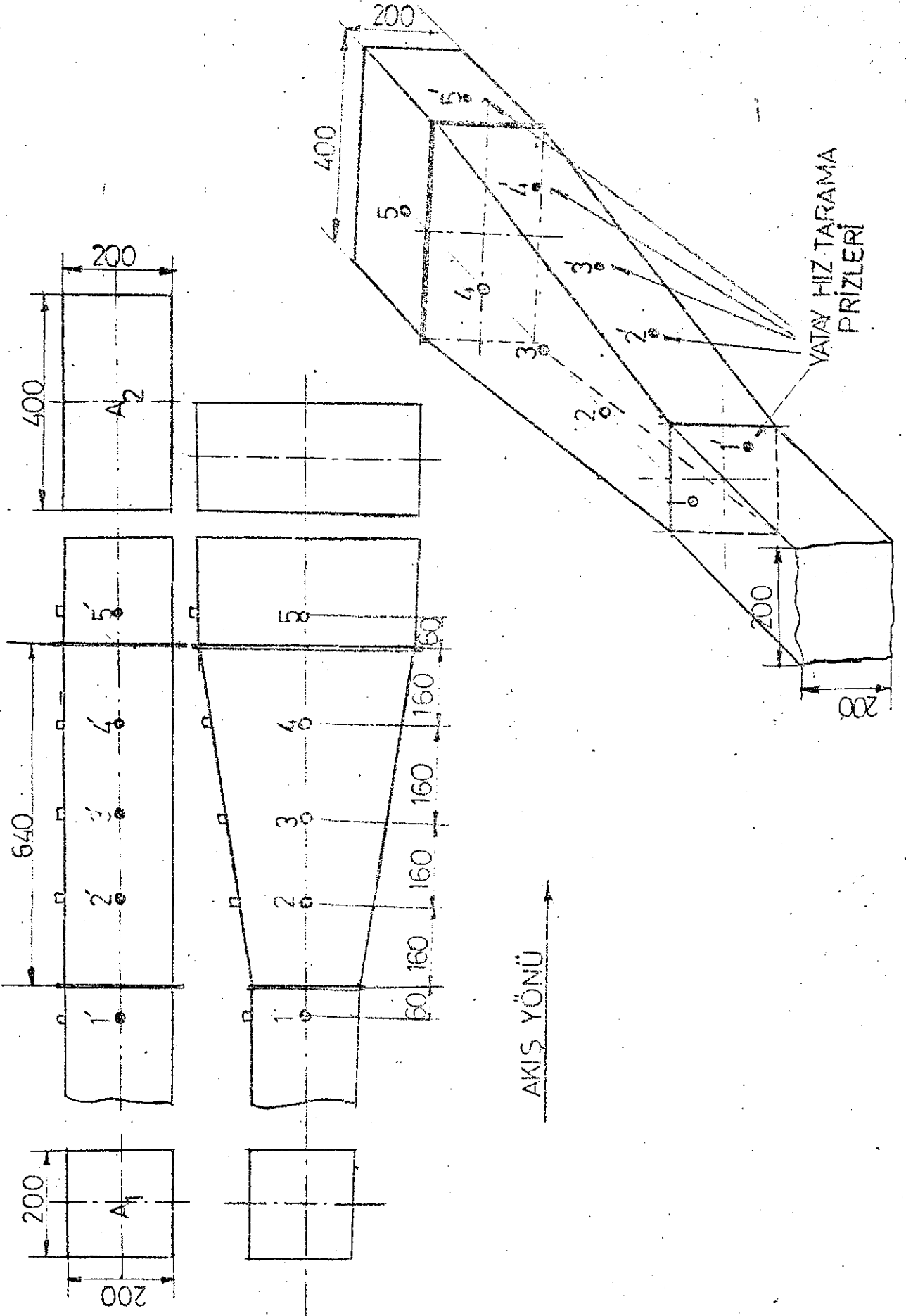
Deneyler; burada kullanılan geçiş borularından daha kısa geçiş boruları ile yapılabilirse; belki de daha düşük yük kayıp katsayıları elde edilebilir. Fakat geçiş borularının yan cidarlarındaki genişleme artacağından büyük bir olasılıkla cidardan ayrılmalar daha önce başlayabilir. Bundan dolayı, bu durum deneysel olarak incelenmeden herhangi bir tahminde bulunmak oldukça güçtür.



ŞEKİL 3.1 DENEY DÜZENİĞİ

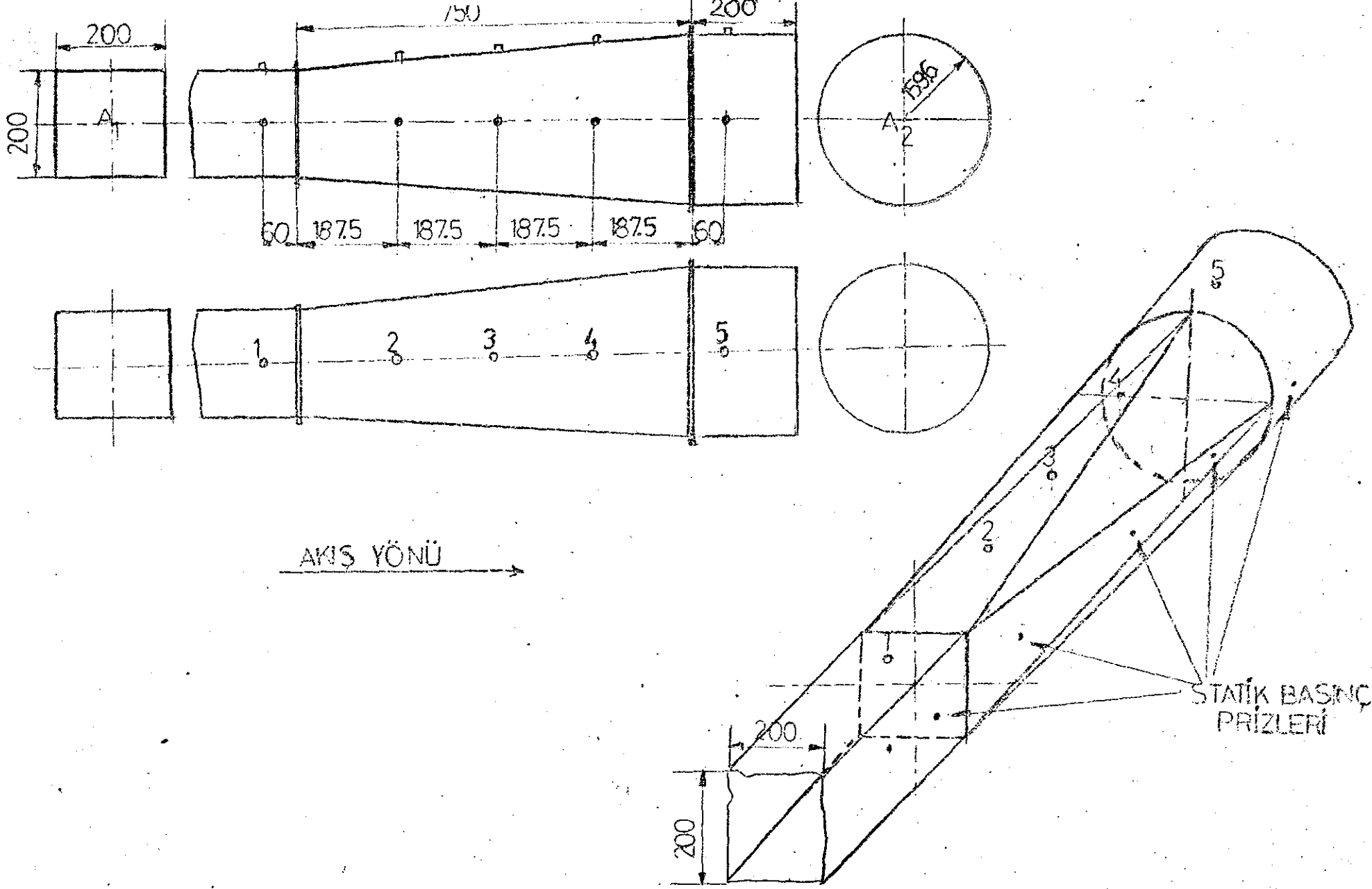


SEKİL 3.2a KAREDEN KAREYE GEÇİŞ

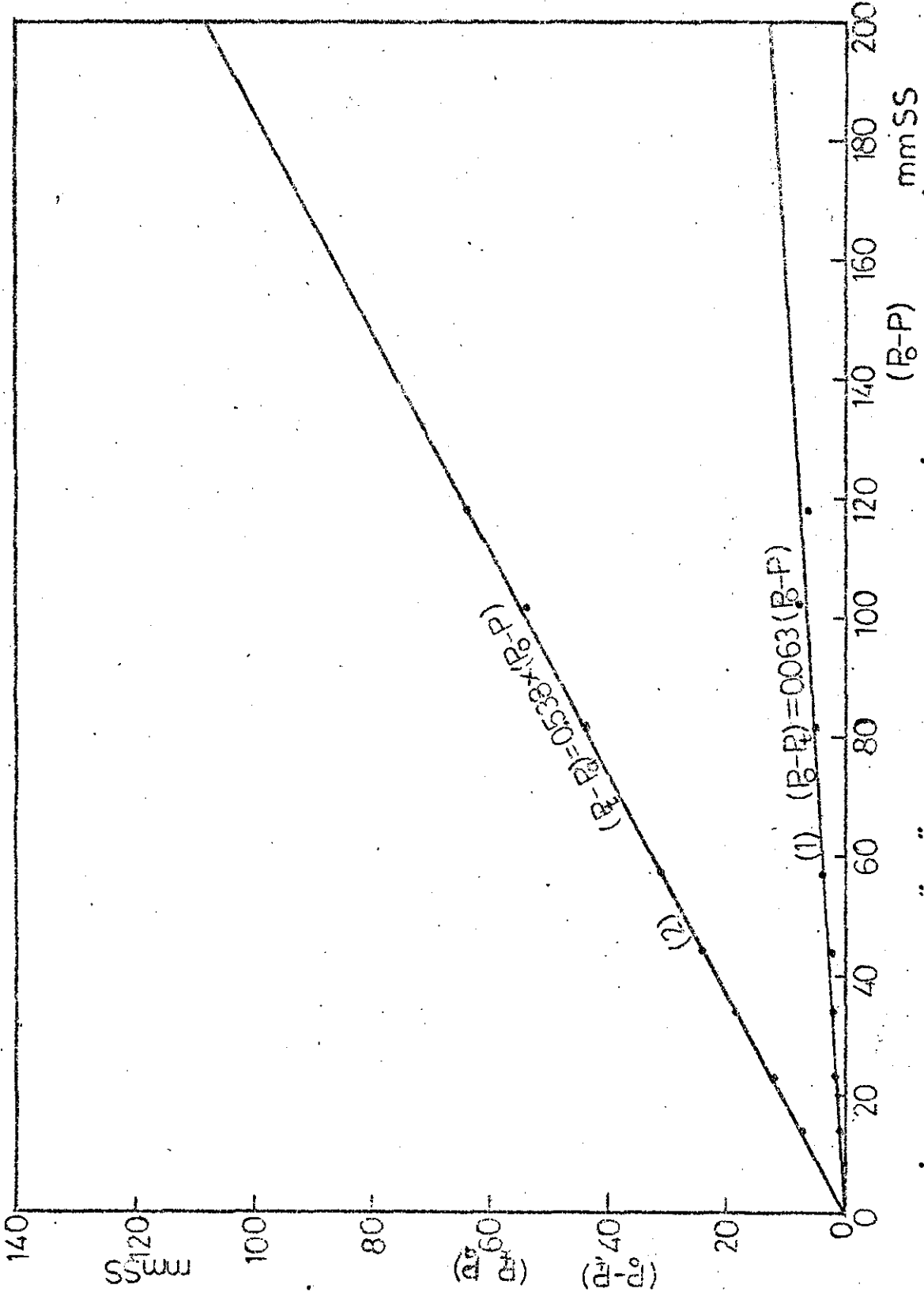


SEKİL 32b KAREDEN DİKÖRTGENE GEÇİŞ.

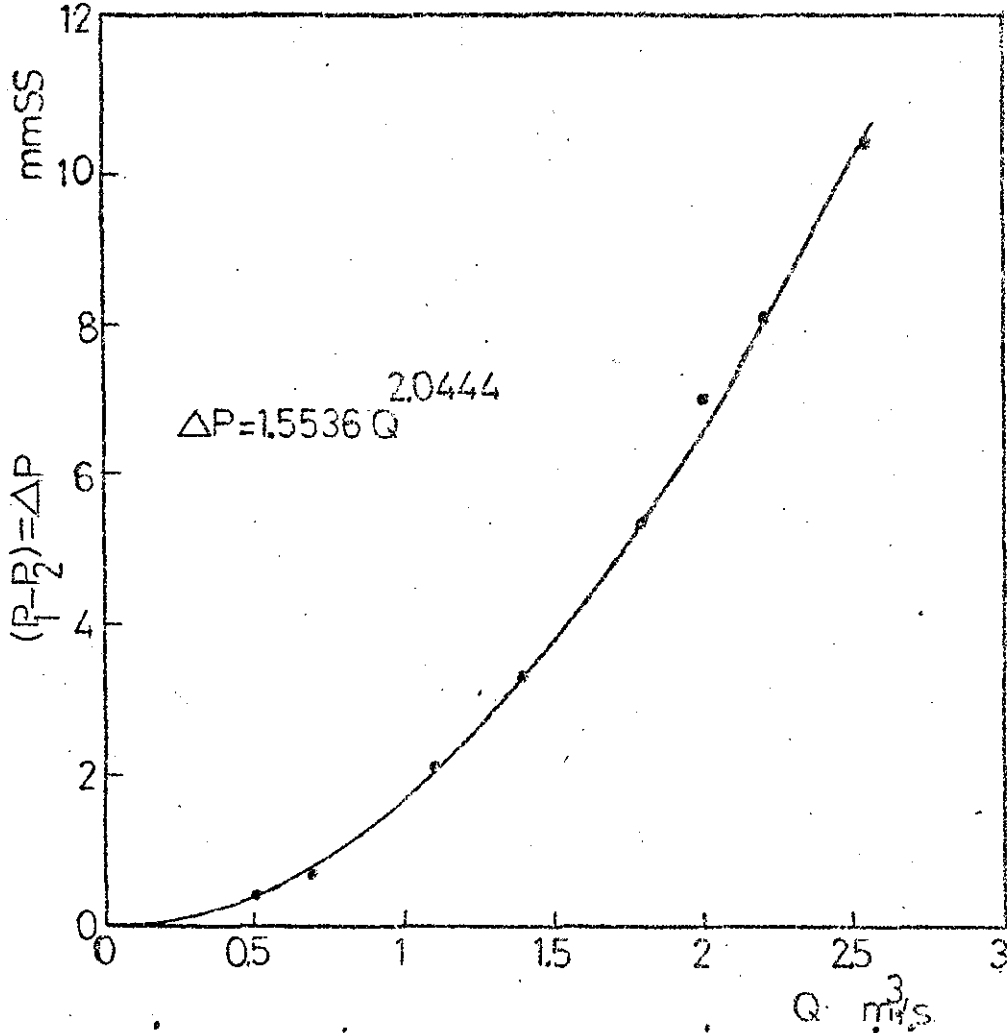




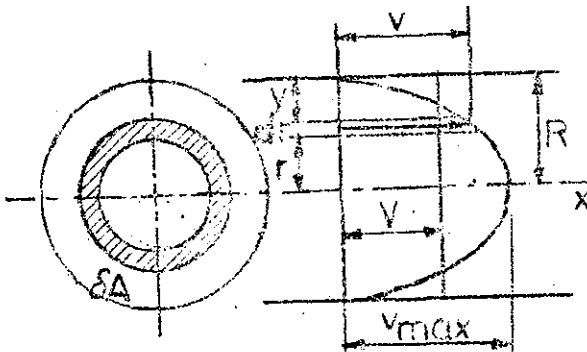
SEKİL 32c KAREDEN DAİREYE GEÇİŞ



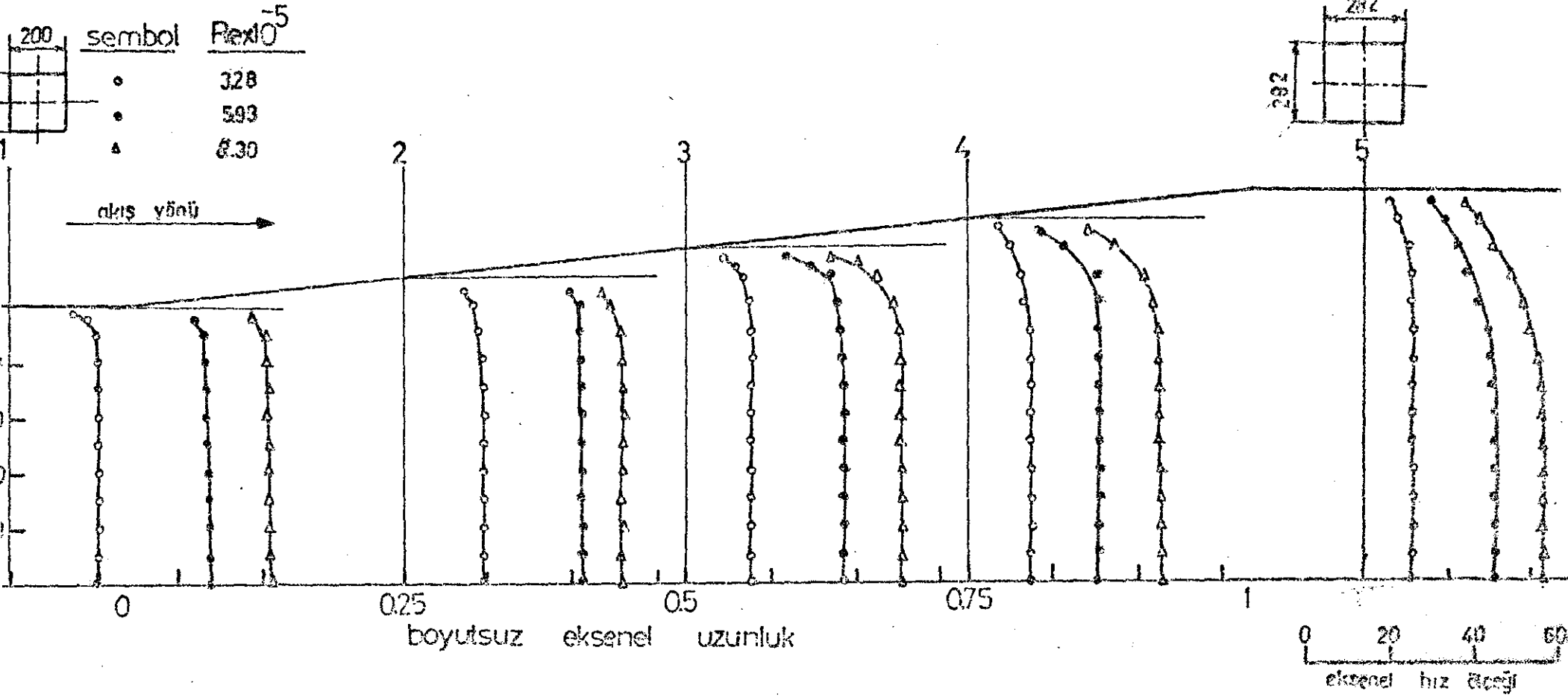
ŞEKİL 3.3 SONDAYLA ÖLÇÜLEN TOPLAM VE STATİK BASINÇIN KALİBRASYONU



SEKİL 34 STATİK BASINÇ FARKI İLE DEBİNİN KALİBRASYONU



SEKİL 3.5

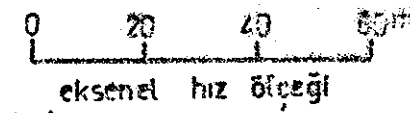
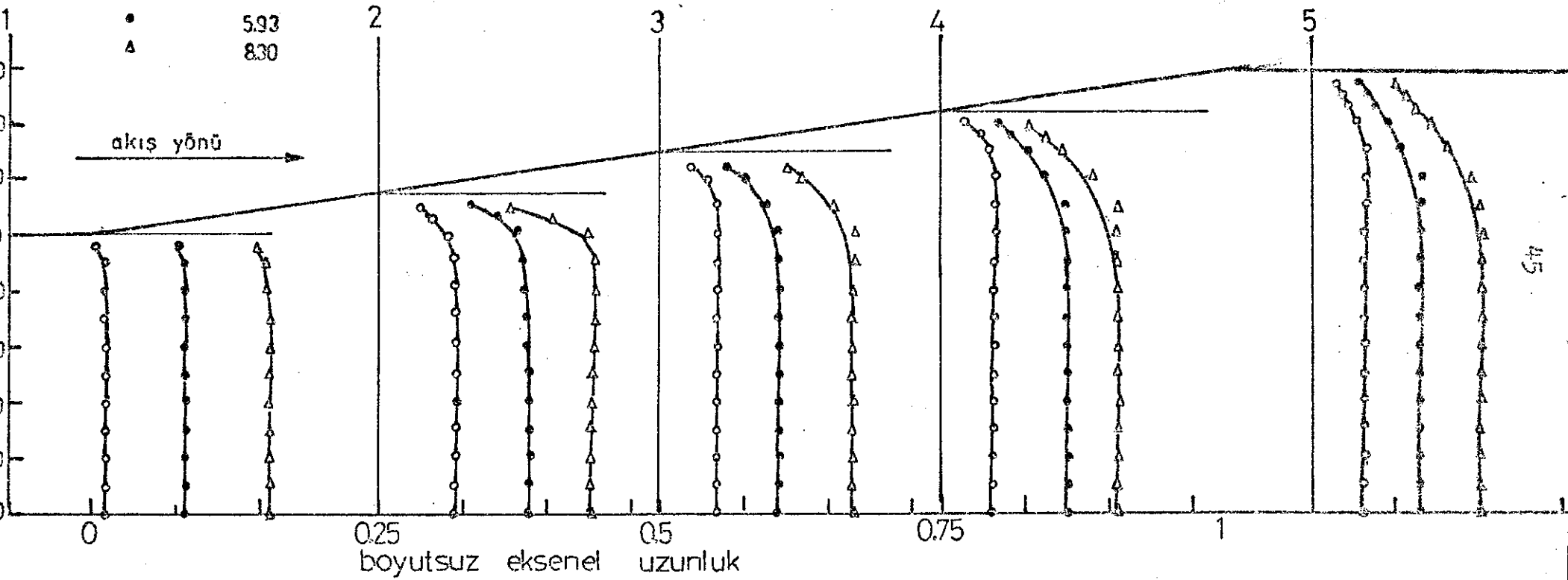
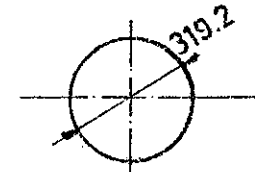


ŞEKİL 36 GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ 'A' (kare kesitten kare kesite geçiş)

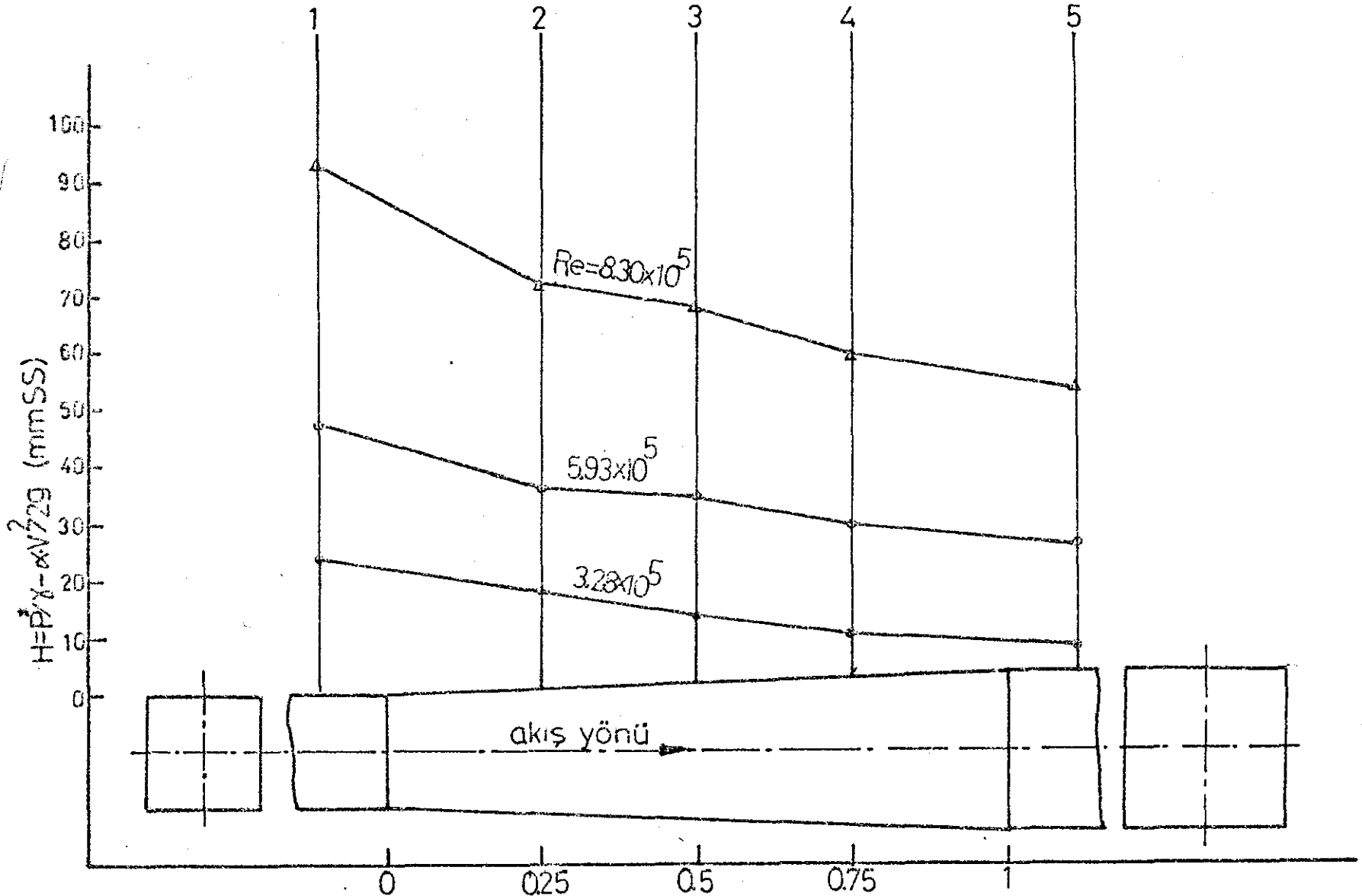


200	
200	
SEMBOL	$Re \times 10^{-5}$

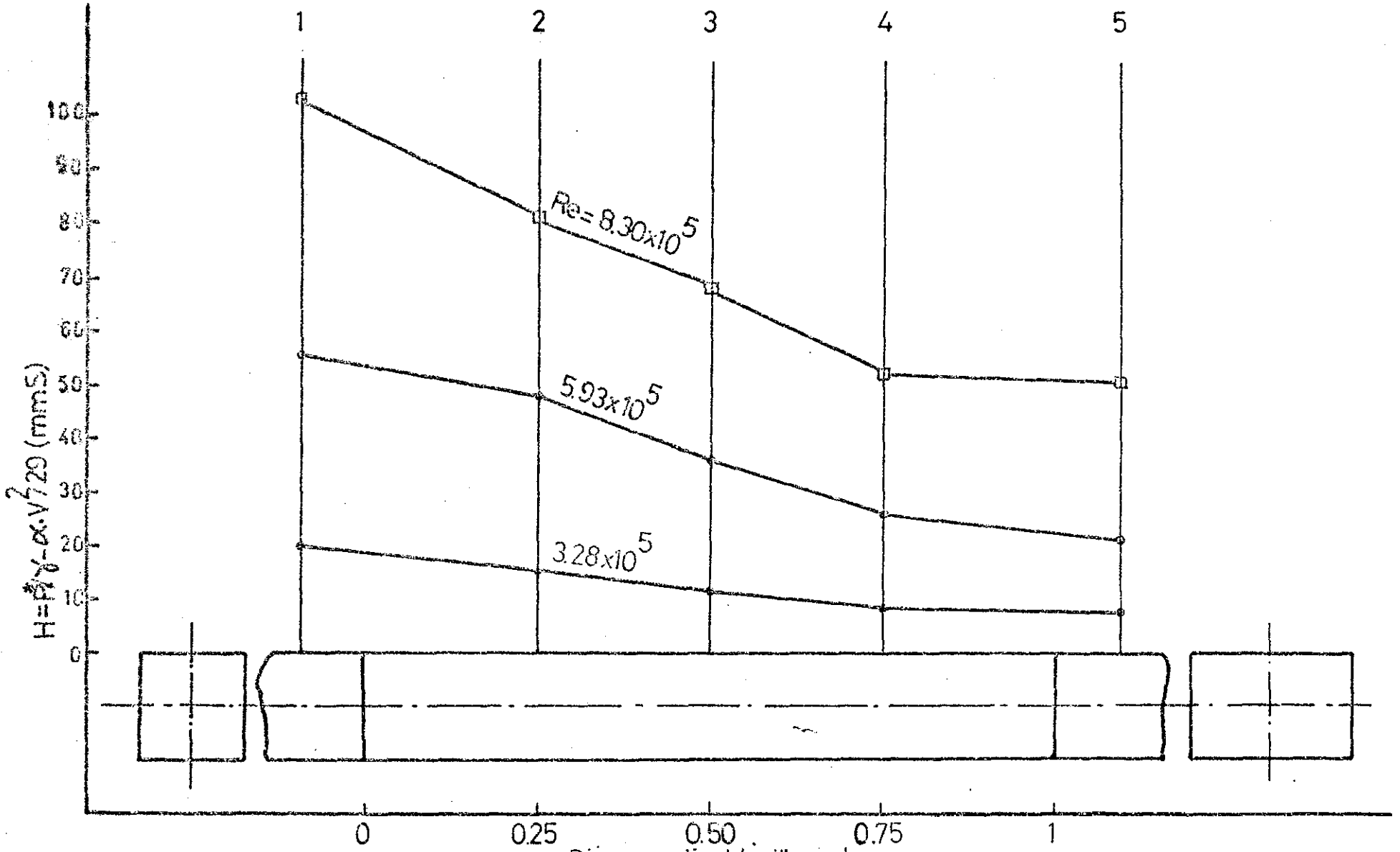
- o 1.28
- 5.93
- Δ 8.30



ŞEKİL 36c GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ 'C' (kare kesitten daireye geçiş)

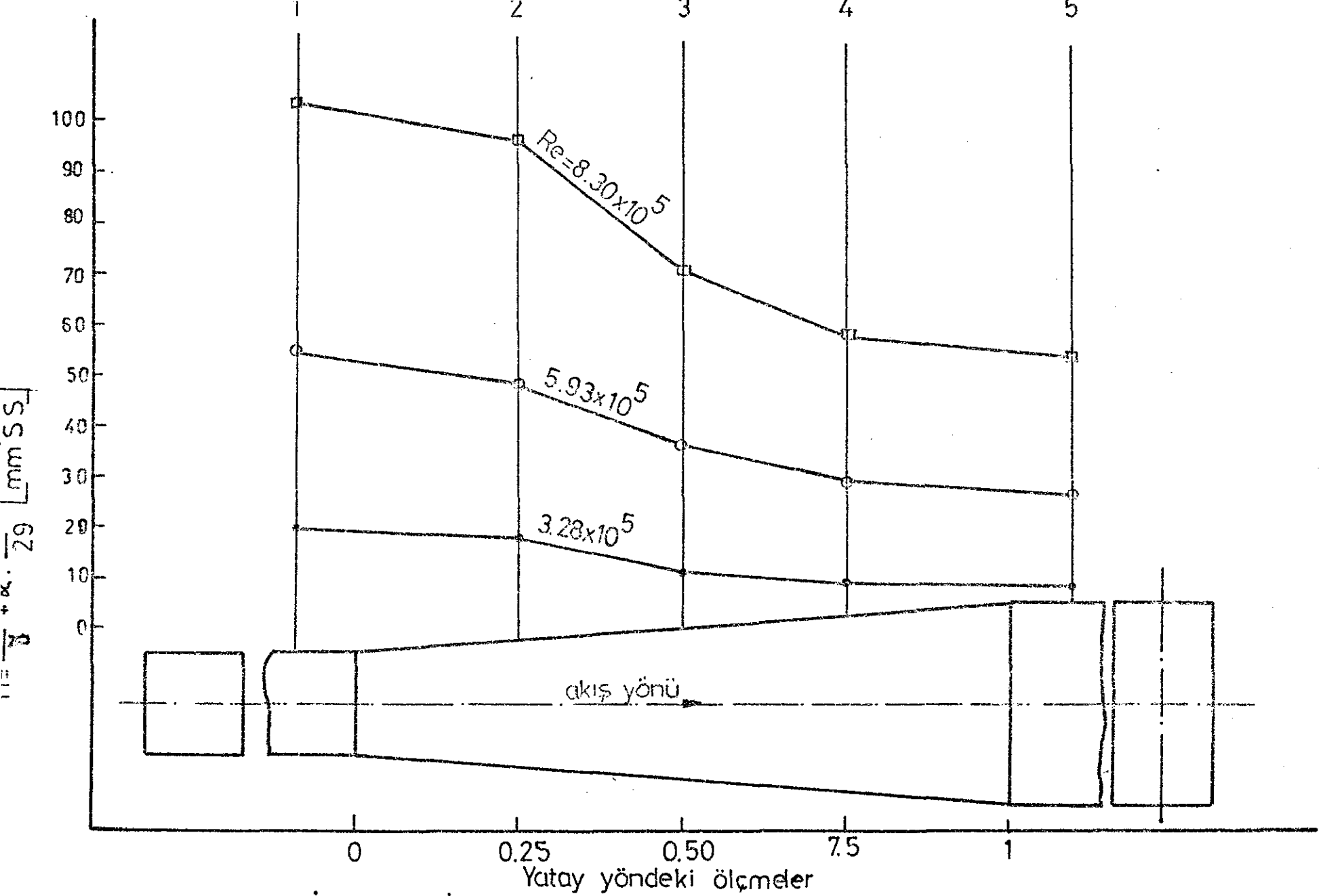


SEKİL 3.7a GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA YÜK DEĞİŞİMİ (A)  
(Kare kesitten kare kesite geçiş)

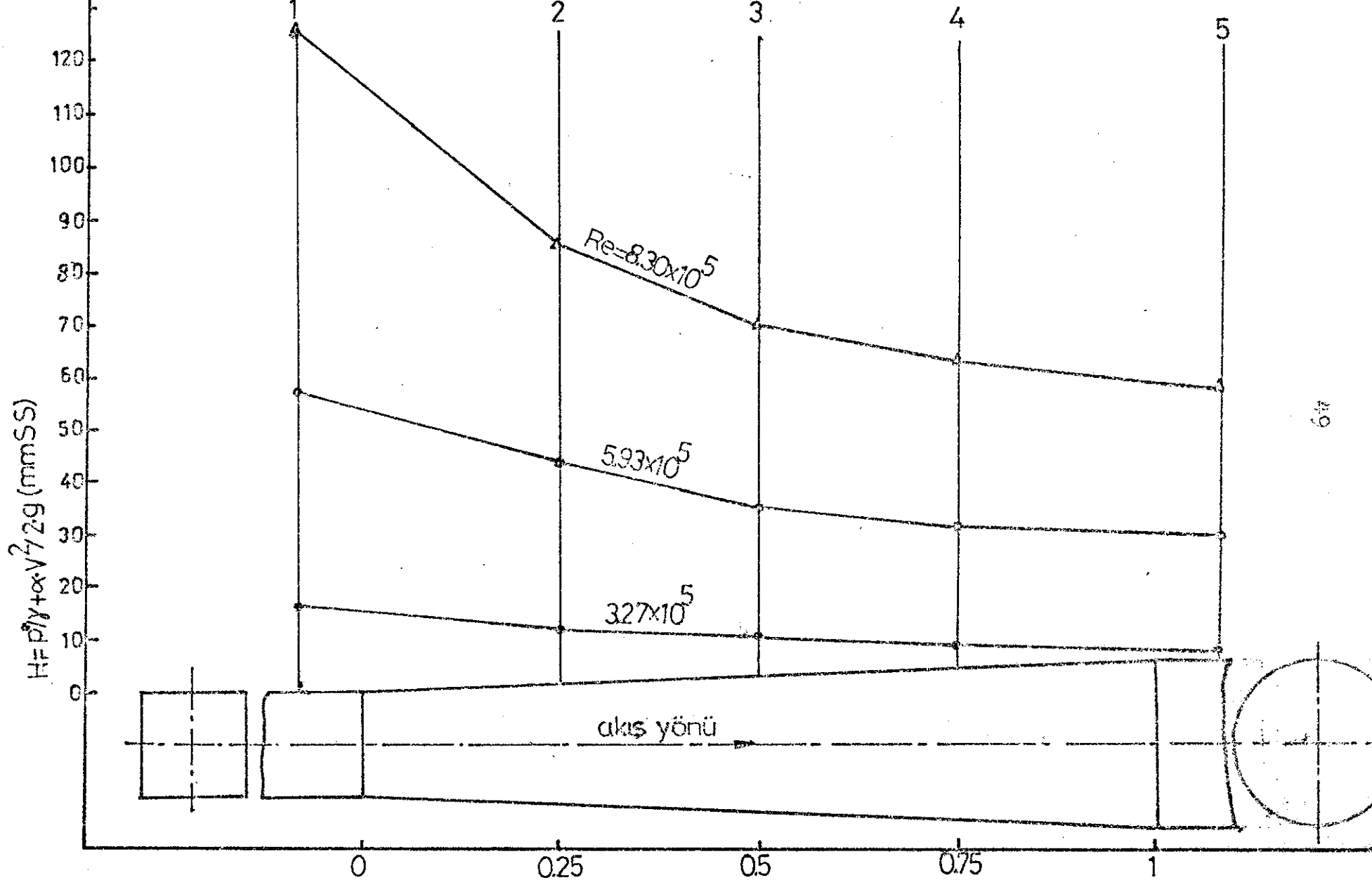


SEKIL 37b GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA YÜK DEĞİŞİMİ (B)  
(Kare kesitten dikdörtgene geçiş)



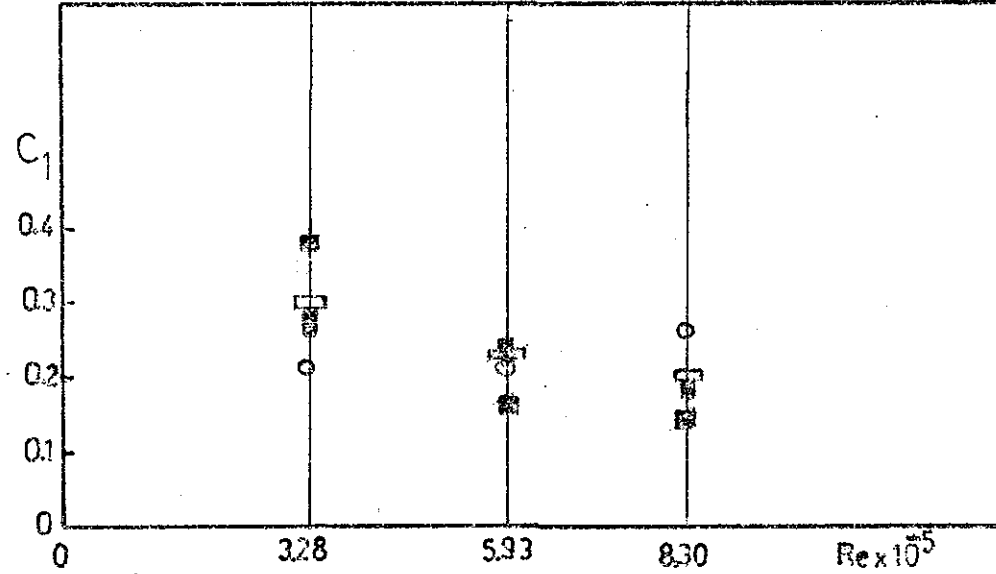


ŞEKİL 3.7 GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA YÜK DEĞİŞİMİ (B)  
(Kare kesitten dikdörtgene geçisi)



ŞEKİL 3.7d GEÇİŞ BORUSU BOYUNCA YÜK DEĞİŞİMİ (C)  
(Kare kesitten dairesel kesite geçiş)

- Kareden kareye geçiş 'A'
- Kareden daireye geçiş 'C'
- Kareden dikdörtgene geçiş 'B' (Düşey yöndeki ölçmeler)
- ▣ Kareden dikdörtgene geçiş 'B' (Yatay yöndeki ölçmeler)



ŞEKİL 3.8 YÜK KAYIP KATSAYISININ  $Re$  SAYISI İLE DEĞİŞİMİ

## BÖLÜM IV

## SONUÇLAR

Bu çalışmada akım makinalarında ve boru sisteminde kullanılan geçiş borularına benzer üç adet geçiş borusu tasarlandı. Tasarımı yapılan borulardaki akış incelenerek; hız dağılımları, yük değişimleri, ve yük kayıp katsayıları bulundu. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

- 1) Tasarımı yapılan boruların üçünde de eşdeğer koniklik açısı sabit tutuldu. ( $10^{\circ}$ ) Çıkış kesit alanı giriş kesit alanının iki katı olarak alındı. Yine giriş ve çıkış kesit alanları birbirine eşit tutuldu.
- 2) Tasarımı yapılan borulardaki akışın incelenebilmesinde değişik kesitlerde hız ve basınç ölçümleri yapıldı.
- 3) Yapılan ölçümlerden bulunan değerlerle sürekli genişleyen borular için geliştirilen formüllerden yük kayıpları ve yük kayıp katsayıları hesaplandı.
- 4) Kare kesitten kare kesite geçişte yük kayıplarının daha düşük olduğu bulunmuştur.
- 5) Kare kesitten dikdörtgen kesite geçişte yatay ve düşey yönde yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçların farklı olduğu görülmüştür. Buna sebep büyük olasılıkla yanıl yüzey açılarının farklı olmasıdır. Bu durum hakkında daha kesin karar verebilmek için eşdeğer koniklik açısı sabit kalmak koşulu ile farklı boyutlardaki boruların yanıl yüzey açılarının da akış büyüklüklerine etkisi incelenmelidir. Bu amaçla akışın yapısının tüm ayrıntılarıyla incelenebilmesi ve aynı zaman-

da daha geniş bir ölçme olanakları sağlayacak bir deney düzeni kurularak çok çeşitli geçiş borularında yeni deneyler yapılması gereklidir.

6) Geçiş borusu boyunca yük kayıplarını kullanarak hesaplanan yük kayıp katsayıları kareden kareye ve kareden dikdörtgene geçiş boruları için Re sayısı ile aynı değişimi verirken kareden daireye geçiş borusunda bu değişim farklı bulunmuştur. Düşük hızlarda kareden daireye geçişte diğerlerine göre daha düşük kayıp katsayıları elde edilmiştir.

7) Bu çalışmada akış alanında sadece aksel istikametteki hız değişimleri gözönüne alınmıştır. Geçiş borusunun geometrisinden dolayı meydana gelebilecek diğer yönlerdeki hız değişimleri küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

8) Geçiş borularındaki akışlar hakkında daha kesin karar verebilmek için, bu tür borulardan aynı geometriye ve fakat farklı eşdeğer koniklik açısına sahip borular üzerinde daha ayrıntılı deneysel çalışmalar yapılmalıdır. Öte yandan bu tür borularda her ne kadar eşdeğer koniklik açısı akış üzerinde etken bir faktör ise de; geçiş borularının boylarının da akış üzerine etkisi gözönünde tutularak bu çalışmada olduğu gibi eşdeğer koniklik açısı sabit tutularak aynı geometriye sahip farklı geometrik boyutlardaki geçiş boruları üzerinde inceleme yapılarak en uygun boyutların belirlenmesi sağlanmalıdır.

9) Bilgisayar yardımı ile deneysel çalışmaları destekleyici teorik çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

## K A Y N A K L A R

- / 1 / BASKARAN, P. Area distribution along transitional diffus  
ve Engineering (London), 215(10) pp.828-829, 197  
RAMAMURTHY, A.S.
- / 2 / MILLER, D.S. Internal flow systems, The British Hydro-  
mechanics Research Association, 1978
- / 3 / ATILGAN, M. Geçiş Borularının Geometrisi ve Bu Boru-  
lardaki Akışın İncelenmesi, K.T.Ü. Makina  
ve Elektrik Fakültesi, Doçentlik Tezi, 1982
- / 4 / ATILGAN, M. Swirling flow through annular diffusers  
with solid body rotation. Ph.D. Thesis,  
Newcastle University, U. K. , 1976
- / 5 / ATILGAN, M. Engineering Sciences Data Unit, Index 1976  
London, E.S.D.U. 372 pp. 1976
- / 6 / MILLER, D.S. A guide to losses in pipe and duct systems,  
The British Hydromechanics Research Asso-  
ciation, 1971
- / 7 / DUCKWORTH, R.A. Mechanics of fluids, Longman Group Ltd.  
London, 1977
- / 8 / WHITE, F.M. Fluid mechanics, Mc Graw-Hill, Inc. 1979
- / 9 / ÖZGÜR, C. Su Makinaları Dersleri, İ.T.Ü. Kütüphanesi,  
sayı 1081, İ.T.Ü. Matbaası, 1977
- / 10 / ÖZGÜR, C. Deneysel Hidromekanik, İ.T.Ü. Kütüphanesi,  
sayı 1166, İ.T.Ü. Matbaası, 1980
- / 11 / EDİS, K. Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği, İ.T.Ü.  
Kütüphanesi, sayı 894, Şirket-i Murettihye  
Basımevi, 1972
- / 12 / FORTIER, A. Borulardaki Yük Kayıpları, İ.T.Ü. Makina  
Fakültesi, İm. Tekniği ve Ekonomisi Araştır-  
ma Kurumu, Bülten No.3, 47 sayfa, 1956  
(Fransızcadan tercüme eden Yazıcı, H.F.)
- / 13 / HINZE, J.O. Turbulence, Mc Graw Hill, 1975