

29060

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

SİLİNDİRİK BORU İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN KONİK YÜZEY
ELEMANLARIN AKIM ORTAMINA ETKİLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

MAK. MÜH. Sevtap EYÜBOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
"Makina Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.11.1993
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 03.12.1993

Tezin Danışmanı : Prof. Dr. Teoman AYHAN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tahir YAVUZ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Burhan CUHADAROĞLU

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVASKAN

Kasım - 1993

TRABZON

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Deneysel çalışma yapılmasındaki amaç, teorik olarak öğrenilen bilgilerin uygulamaya aktarılması ve teorik yolla çözümü zor olan problemlerin deneysel yolla çözümlenmesidir.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Teoman AYHAN'a teşekkür ederim.

Trabzon, Kasım - 1993

Sevtap EYÜBOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
Önsöz	II
İçindekiler	III
Notasyon Listesi	V
Türkçe Özet	VI
İngilizce Özet	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 ²⁴ Isı Transferini Arttırmada Kullanılan Tekniklerin Etkinlik Analizleri	3
2.2 Hidrodinamik ve Isıl Sınır Tabakalar	4
2.3 Türbülanslı Akışların Özellikleri	6
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA	8
3.1 Deney Düzeninin Tanıtılması	8
3.2 Akışla ilgili Kalibrasyon	17
3.3 Ölçü Aletlerinin Tanıtılması ve Ölçümleri	19
3.4 Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu	21
3.5 Deneyin yapılışı	23
3.5.1 Hızlarla ilgili Bazı Hesaplamalar	23
3.5.2 Basınç Kayıp Katsayılarının Hesaplanması	24
3.5.3 Sınır Tabaka Kalınlıklarının Hesaplanması	28
3.6 Akış Gözleme Deneyleri	29
3.6.1 ^{2.6.1} Deneyin Yapılışı	30

BÖLÜM 4. SONUÇLAR	35
4.1 Hız Profillerinin Yorumu	35
4.2 Basıncı Kayıp Katsayılarının Yorumu	37
4.3 Sınır tabaka Kalınlıklarının Yorumu	37
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	71



NOTASYON LİSTESİ

A	: Dış boru kesit alanı
D	: Dış boru çapı
L ₁	: Dış boru uzunluğu
L	: Basınç kayıp katsayılarının hesaplandığı uzunluk
P _c	: Ortam basıncı
P _{po}	: Pitot tüpüyle ölçülen toplam basınç
P _{pd}	: Pitot tüpüyle ölçülen dinamik basınç
P _{so}	: Beşli sonda ile ölçülen toplam basınç
P _{sd}	: Beşli sonda ile ölçülen dinamik basınç
P	: Debi kalibrasyonu için basınç farkı
Q	: Hacimsel debi
R	: Gaz sabiti
T _c	: Ortam sıcaklığı
u	: Ölçülen akışkan hızı
U _{ort}	: Ortalama hız
X	: Eksenel yöndeki koordinat
Y	: Radyal yöndeki koordinat
ρ	: Havanın yoğunluğu

ÖZET

Bu çalışmada, konik yüzey elemanlarının (türbülötörlerin) silindirik borular içerisindeki akış ortamına etkileri incelenmiştir. Deneyler dört değişik Reynolds sayısında ve onbir farklı türbülötör konumunda yapılmıştır. Bu dört farklı Re değerleri için aksenal yöndeki hava hızları ölçülmüş ve değişik istasyonlardaki hız profilleri çizilmiştir. Ayrıca belirli bir boru boyu için basınç kayıpları onbir değişik türbülötör konumu için hesaplanmıştır. Bu değerler yardımıyla Re sayısı ve λ_{turb} arasındaki bağıntı en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Bunun yanında farklı Re değerleri için boru boyunca sınır tabaka kalınlığı da hesaplanmıştır.

SUMMARY

In this study, it was investigated that how conical surface elements effects flow structure in a cylindrical pipe. Experiment were carried out at four different Reynolds numbers and eleven different türbülator position. In each Reynolds numbers, the velocity of air was measured and the velocity profiles at different stations were plotted. For a certain pipe lenght the pressure losses were calculated for each türbülator position. Using these values, a corelation between the Reynolds number and the turbulent boundary layer thickness λ_{turb} was obtained due to the least square method. In addition, the boundary layer thickness along the pipe were calculated for each Reynolds number.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Isı transferini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalar pratikte büyük önem taşımaktadır. Boru içerisindeki değişik akış özelliklerinin araştırılması ısı transferinin artırılması yönünde yapılan çalışmalarla da doğrudan doğruya ilgilidir. Çünkü boru akışlarında, borular içerisine yerleştirilen çeşitli türbülantörler sayesinde ısı taşınım katsayısı artırılabilir.

Türbülantörler yapay türbülans oluşturmak amacıyla borular içerisine yerleştirilmektedir. Bu türbülantörlerin çeşitli geometrik ölçü ve pozisyonları türbülansı direk olarak etkileyeceğinden en iyi türbülantörlerin geliştirilmesi deneysel yollarla belirlenebilir [1].

Boru akışlarında ısı transferinin pasif yöntemle iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda boru içerisine yerleştirilen türbülantörler ısı transferini iyileştirmektedirler. Türbülantörlerin ısı transferini iyileştirmek amacıyla kullanımında sınır tabakanın yenilenmesini gerçekleyen yeni bir türbülantör tipinin belirlenmesi yapılan deneysel çalışmalarla gerçekleştirilir. Bu türbülantör tipi literatüre konik yüzeyle elemanlar veya

türbülötörler olarak tanıtılmıştır.

K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında silindirik ve konik yüzeyle elemanların ısı transferine ve akış ortamına etkilerinin araştırılması konularında daha önce Sarıoğlu, M. [2] ve Ustasüleyman, T. - Gülçay, Y. [3] tarafından çalışmalar yapılmıştır. Sarıoğlu, M.'nin hazırladığı yüksek lisans tezinde silindirik bir boru içerisine yerleştirilen silindirik yüzeyle elemanlarının akım ortamına etkileri incelenmiştir. Ustasüleyman, T. - Gülçay, Y. 'nin hazırladığı bitirme çalışmasında ise aynı silindirik boru içerisine değişik boyutlarda türbülötörler yerleştirilerek akım ortamına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda konik yüzeyle türbülötörlerin ısı transferini iyileştirdiği bildirilmektedir, ancak akış ortamının ne şekilde gerçekleştiği hakkında geniş bir açıklama verilmemiştir.

Sunulan bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak ardarda iki türbülötör kullanılmıştır. türbülötörlerin boyutları ve konumları değiştirilerek akış ortamına etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 ISI TRANSFERİNİ ARTTIRMADA KULLANILAN TEKNİKLER VE BU TEKNİKLERİN ETKİNLİK ANALİZLERİ

Çok değişik iyileştirme teknikleri kullanılmaktadır. Esas olarak bu teknikler iki ana grupta ele alınabilirler [4].

Aktif tekniklerde dış güç gereksinmesine karşın pasif tekniklerde dış güç kullanılmaz. Yüzeyin titreştirilmesi, akışkanın titreştirilmesi, elektrostatik alan kullanılması, enjeksiyon ve emme yapılması aktif teknikler arasında sayılabilir. Dönmeli akış, arttırılmış yüzeyler, pürüzlendirilmiş yüzeyler, sisteme yerleştirilmiş ısı transferini arttırıcı cihazlar ve gaz veya sıvılar için katkı maddeleri kullanımı pasif teknikler arasında sayılabilir. Dönmeli akış için burulmuş seritler, helazonlar ve pervaneler kullanılabilir. İyileştirme teknikleri kullanılırken ısı transferinde elde edilen artış yanında sürtünme katsayıları da arttığından kullanılan yöntemin etkinlik analizinin yapılması önem kazanmaktadır. Eğer iyileştirme tekniği ile Nusselt sayısında sağlanan artış

sürtünme katsayısından daha fazla oluyorsa tekniğin avantajlı olduğu söylenebilir.

Ayrıca Burck tarafından verilen verim oranı tanımı kullanılarak da kıyas yapmak mümkündür [5].

$$\eta = \frac{Nu_a/Nu_o}{f_a / f_o} \quad (2.1)$$

Nu_o = ilk durumdaki Nusselt sayısı

Nu_a = son durumdaki Nusselt sayısı

f_o = ilk durumdaki sürtünme katsayısı

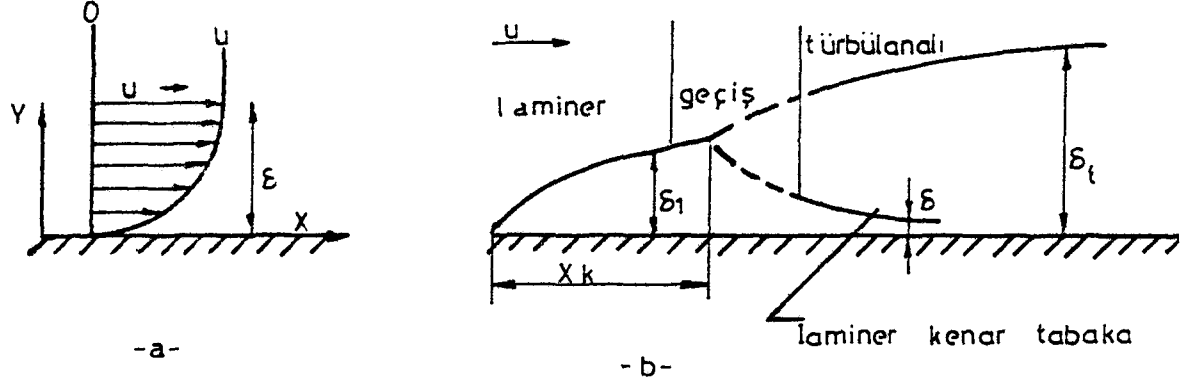
f_a = son durumdaki sürtünme katsayısı

Bu tanıma göre $\eta > 1$ ise kullanılan teknik avantajlıdır ve kullanılmaktadır. Fakat $\eta < 1$ ise teknik avantajlı değildir. Çünkü Nusselt sayısının artmasına rağmen sürtünme kayıplarından dolayı verim düşüktür.

Boru içerisine yerleştirilen konik yüzeyli türbülatorlerin ısı transferine etkisi GENÇ, E.[6] GENÇ, S.[7] tarafından incelenmiş ve ısı transferini iyileştiren en iyi türbülator tipinin belirlenmesi için Bejan'ın sunduğu entropinin minimizasyon yöntemi uygulanmıştır [8].

2.2 HİDRODİNAMİK VE ISIL SINIR TABAKALAR

Sekil-2.1.a da görüldüğü gibi bir levha üzerindeki akışta hız dağılımı incelenirse, levha yüzeyinde sıfır değerinde olan hız δ kalınlığındaki bir bölgede hızdaki değişme çok farklı olmayıp hızın sabit olduğu kabul edilebilir.



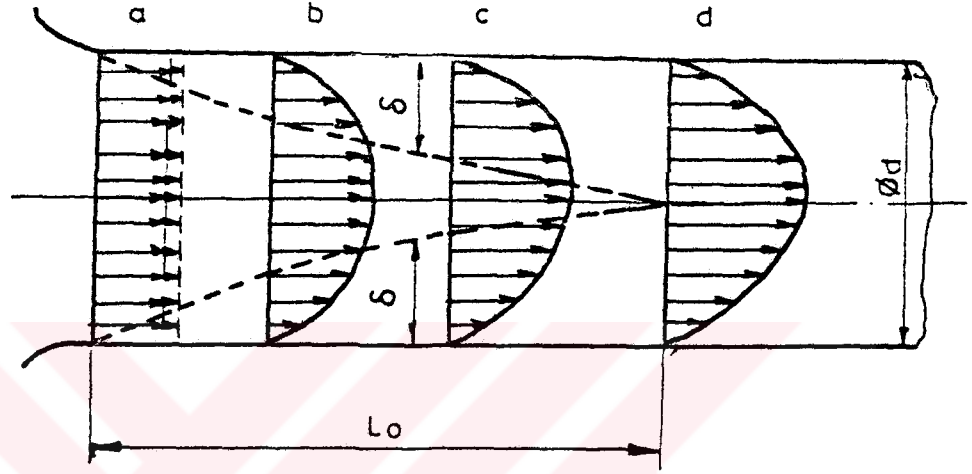
Şekil-2.1 : Hidrodinamik sınır tabakada laminer, türbülanslı akışlar

Prandtl tarafından adlandırıldığı üzere hızın sıfır değerinden U_∞ nihai değerine ulaştığı δ kalınlığındaki bu bölgeye sınır tabaka denmektedir. Bu tabaka içinde sürtünme kuvvetleri olmasına rağmen dış kısımda sürtünme kuvvetleri sıfır olarak alınabilir.

Şekil - 2.1.b de ise herhangi bir levhanın başlangıcından itibaren sınır tabaka kalınlıkları verilmiştir. Tam girişte sıfır değerinde olan sınır tabakanın kalınlığının gittikçe arttığı ve ilk bölgede akışın laminer özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu bölgede sınır tabaka laminer sınır tabaka olarak adlandırılır. Çok dar bir geçiş bölgesini takiben akışın türbülanslı olduğu türbülanslı sınır tabaka göstermektedir.

Son yıllarda yapılan araştırmalardan, çok ince levhalarda ince levhanın uzunluğuna göre hesaplanmak üzere $Re \ 5.10^5$ değerine kadar laminer akım elde edildiği

anlaşmaktadır. Türbülanslı sınır tabaka içinde duvara çok yakın kısımda, akım laminer olup, laminer alt sınır tabaka olarak adlandırılır.



Sekil-2.2 : Hız dağılımının boru boyunca değişimi

Sekil-2.2 de görüldüğü gibi d çaplı bir boru içindeki akım gözönüne alınırsa sınır tabakaların gittikçe kalınlaştığı ve ekseninde birleştikleri anlaşılır. $Re > 2320$ olduğu zaman türbülanslı akış başlamaktadır.

2.3 TÜRBÜLANSLI AKIŞLARIN ÖZELLİKLERİ

Borulardaki akıslarda, ortalama hızın belirli bir değerinden sonra düzgünlüğünü kaybeden akışın, kararsız bir düzen içine girdiği bilinmektedir. Geçiş akısları olarak adlandırılan bu kararsız düzenin başlangıç noktası Re sayısı ile belirlenir.

Türbülanslı akışta, momentum ileten moleküllerin yerini küçük fakat sonlu büyüklükte olan akışkan parçaları alır. Bu akışkan parçalarına topak adı verilir. Akışkan topakları esas akış yönünden farklı yönlerde ve ortalama hızdan farklı hızlarda hareket ederek bir katmandan diğerine geçerler. Genellikle katmanda dağılıp yok olurlar. Türbülanslı akışlar gerçekte katmanlar halinde olan esas akışta bulunan çeşitli büyüklüklerdeki topakların bir matematik düzene oturtulamayan hareketlerinin toplamıdır. Topaklar sonlu büyüklükte olduğundan toplam akış katmanlık ve düzgünlük özelliklerini kaybeder. Akış boyunca durmadan oluşan ve dağılıp kaybolan topakların ortalama büyüklükleri türbülanslığın ölçüsü kabul edilir.

Kritik Reynolds sayısı uygulamada borulardaki akışlar için 2300 kabul edilir, ancak bu sayı gerçekte dış ortamın tedirginlik kaynaklarına ve akışın iç yapısına, mevcut tedirginlik derecesine bağlıdır.

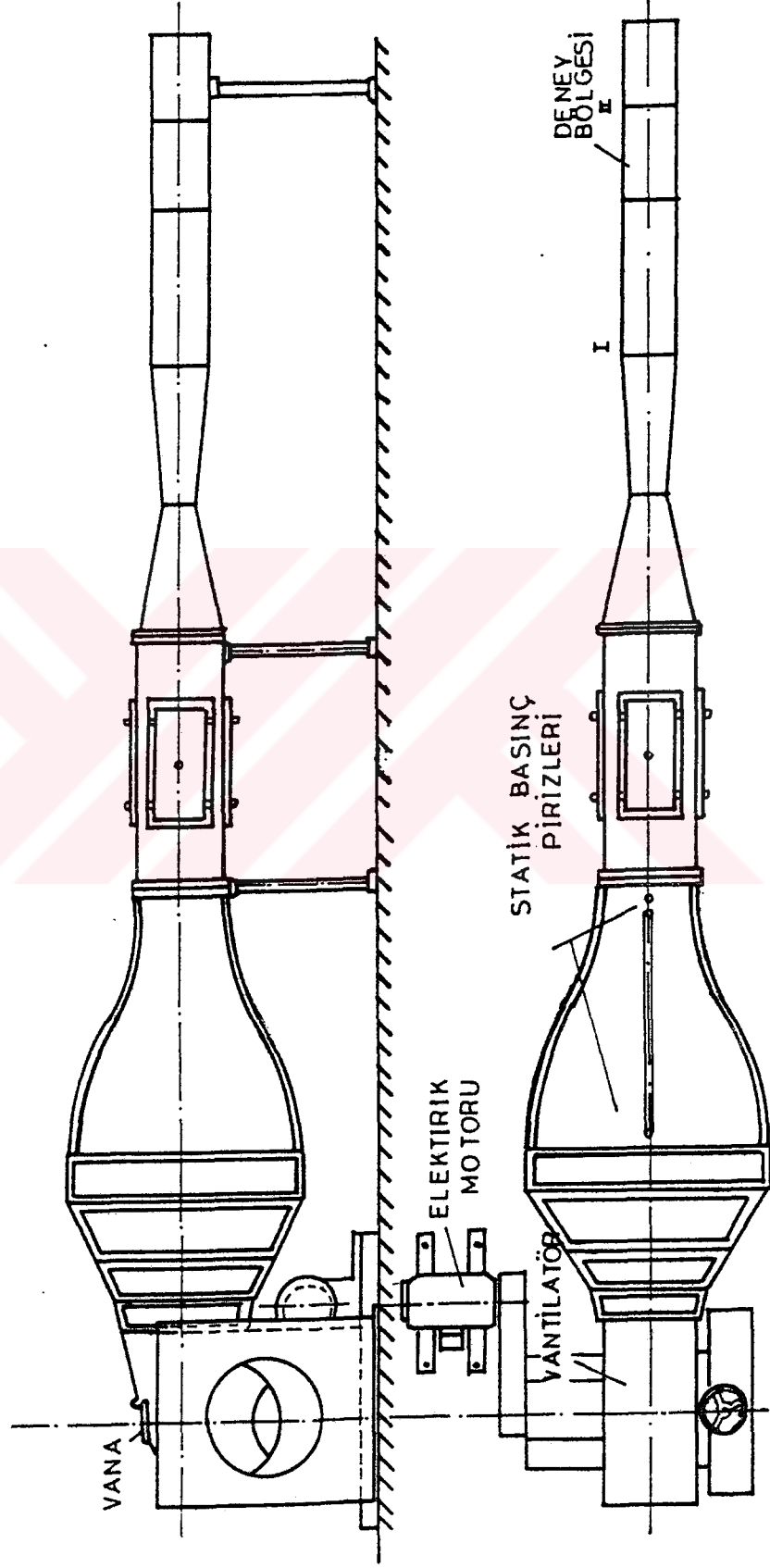
BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

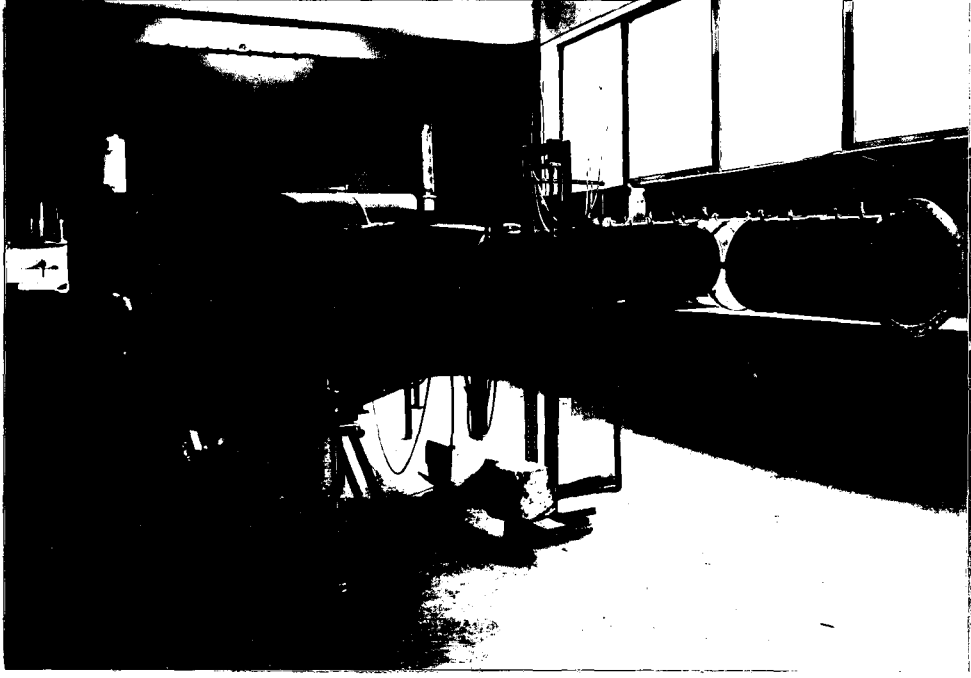
3.1 DENEY DÜZENEGİNİN TANITILMASI

Deney düzeneginin genel görünümü şekil - 3.1, resim (3.1) ve resim (3.2) de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi deney düzenegi hava tüneli ve deney parçalarından meydana gelmiştir. Hava 18.5 KW gücündeki bir elektrik motorunun kayış kasnak tertibatıyla tahrik ettirdiği vantilatör tarafından sisteme gönderilmektedir. Hava debisi vantilatörün önünde bulunan bir vana yardımıyla ayarlanabilmektedir. Sisteme gönderilen hava önce geniş bir hazneye girmektedir, bu vantilatörün akışkana verebileceği dönme etkisinin azalmasına yardımcı olmaktadır. Geniş bir kesitten sonra hava, tünelin daralan kesitinden (457x457 mm²) geçerek adaptöre gelmektedir. Adaptörden geçen hava deney bölgesine girmektedir.

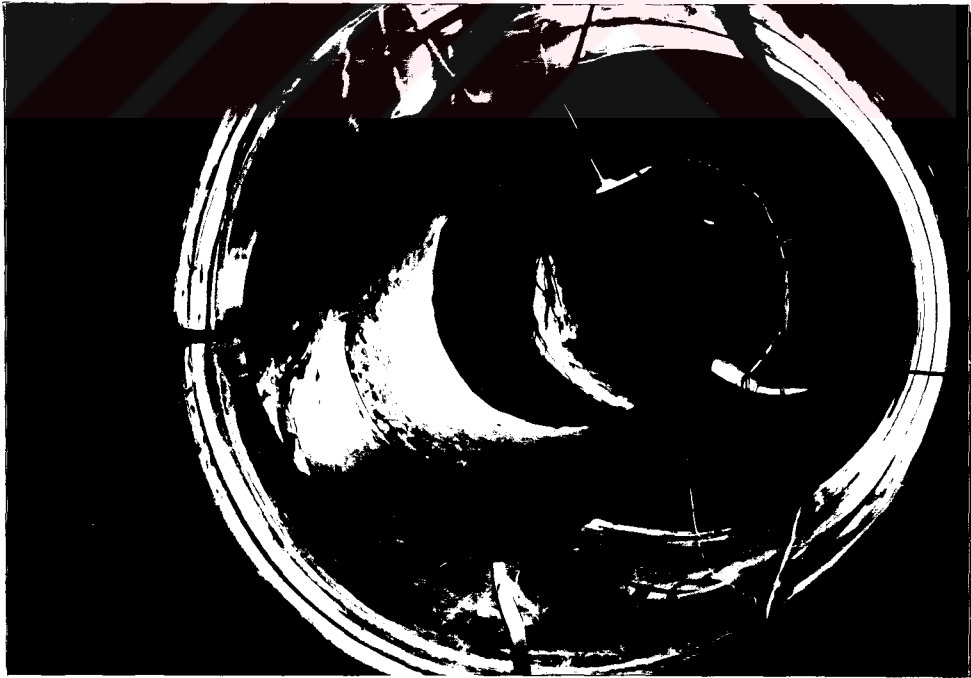
Adaptör şekil- 3.2 de gösterilen 1 numaralı daralan parça, 2 numaralı kesit değiştirme parçası ve 3 numara ile gösterilen parçadan meydana gelmektedir. 3 numaralı parça akışın gelişmesine yardımcı olmakta ve deney bölgesi bu parçanın ucundan itibaren başlamaktadır. Bu parçaların ölçüleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.



Şekil-3.1: Deneysel düzenek

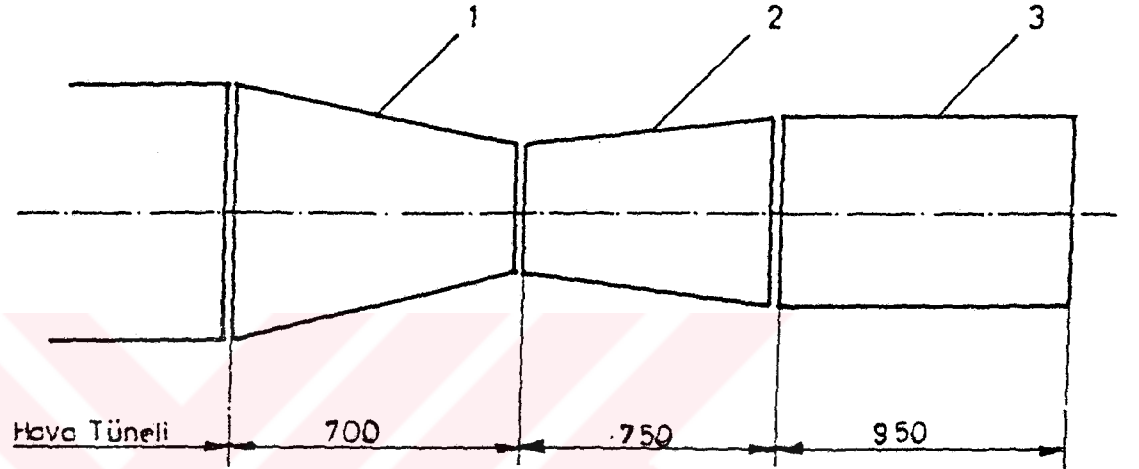


Resim - 3.1 : Rüzgâr tüneli ve deney düzeneginin görünüşü



Resim - 3.2 : Deney düzeneginin değişik bir görünüşü

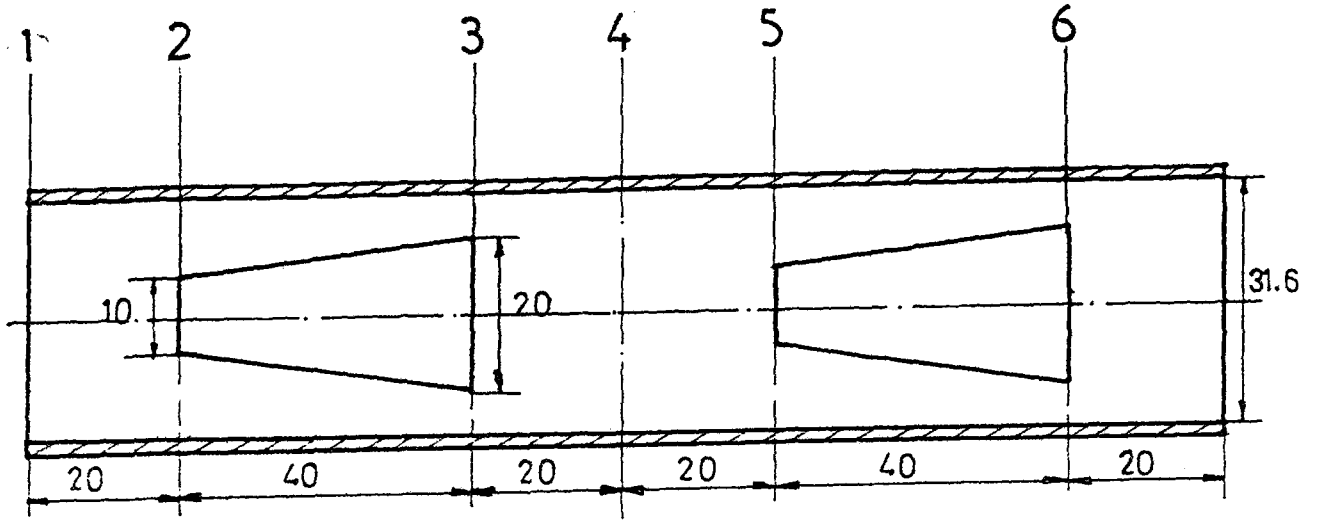
Parça No	Boyu (mm)	Giriş Kesiti Alanı (mm ²)	Çıkış Kesit Alanı (mm ²)
1	700	457 x 457	200 x 200
2	750	200 x 200	78427
3	950	78427	78427



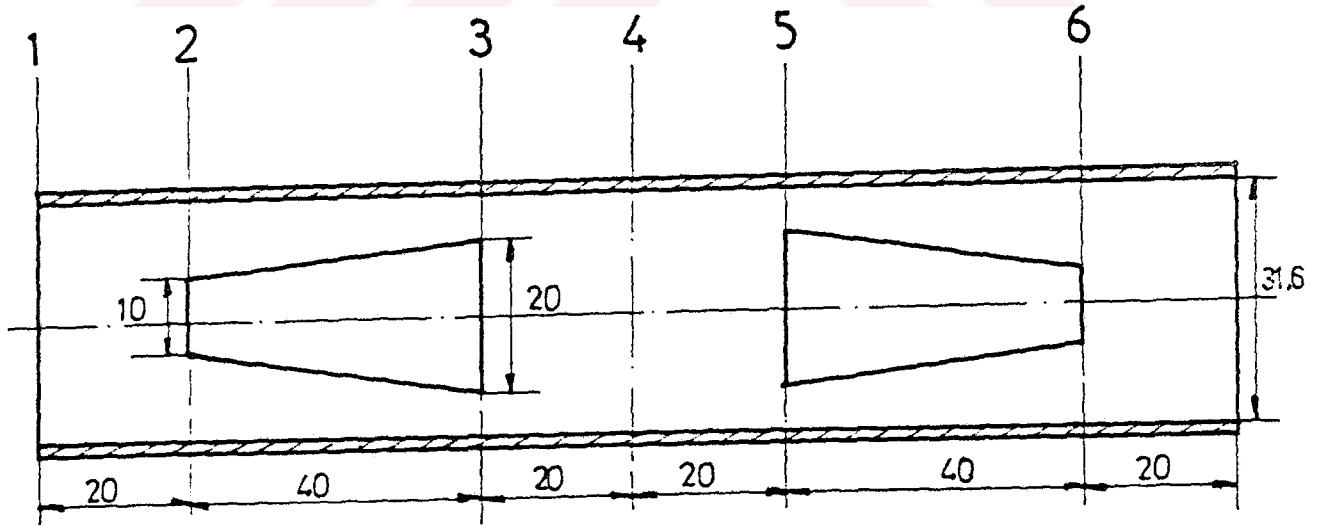
Şekil-3.2 : Adaptör

Deney bölgeleri şekil-3.3 te gösterilen ve adaptörün 3 nolu parçasının ucuna yerleştirilmiş olan silindirik bir boru ve içine yerleştirilen değişik boyut ve yerleşim düzenindeki konik halka tipli türbülatorlerden oluşmuştur.

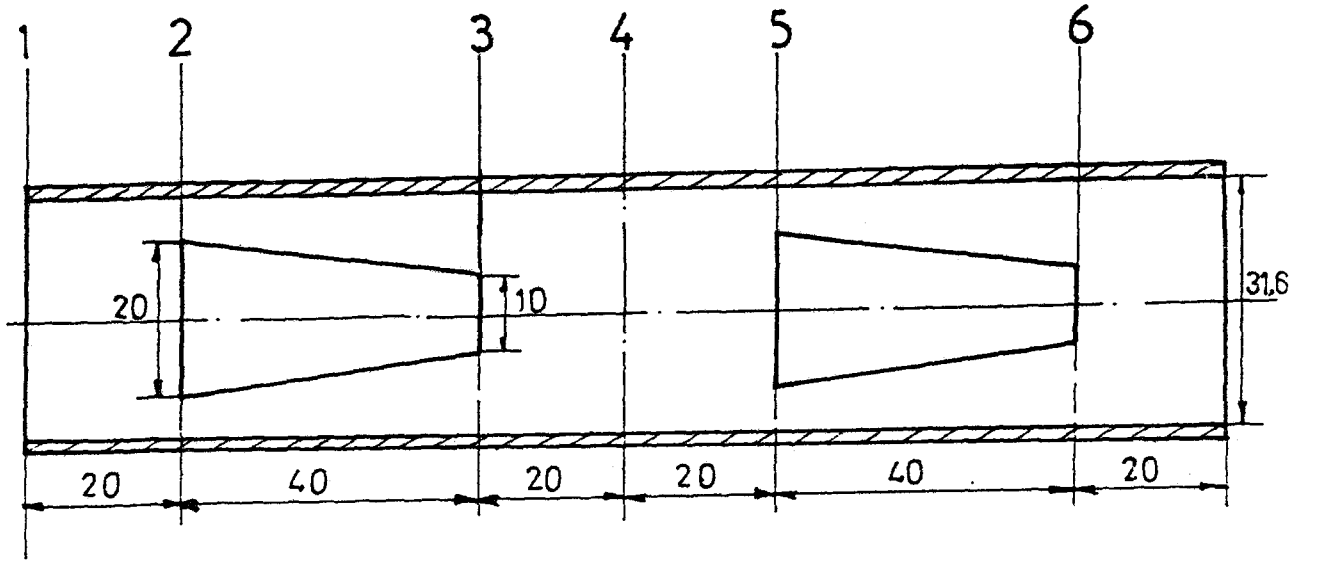
Deneyler şekil- 3.3 de gösterilen 11 değişik deney bölgesi durumunda yapılmıştır.



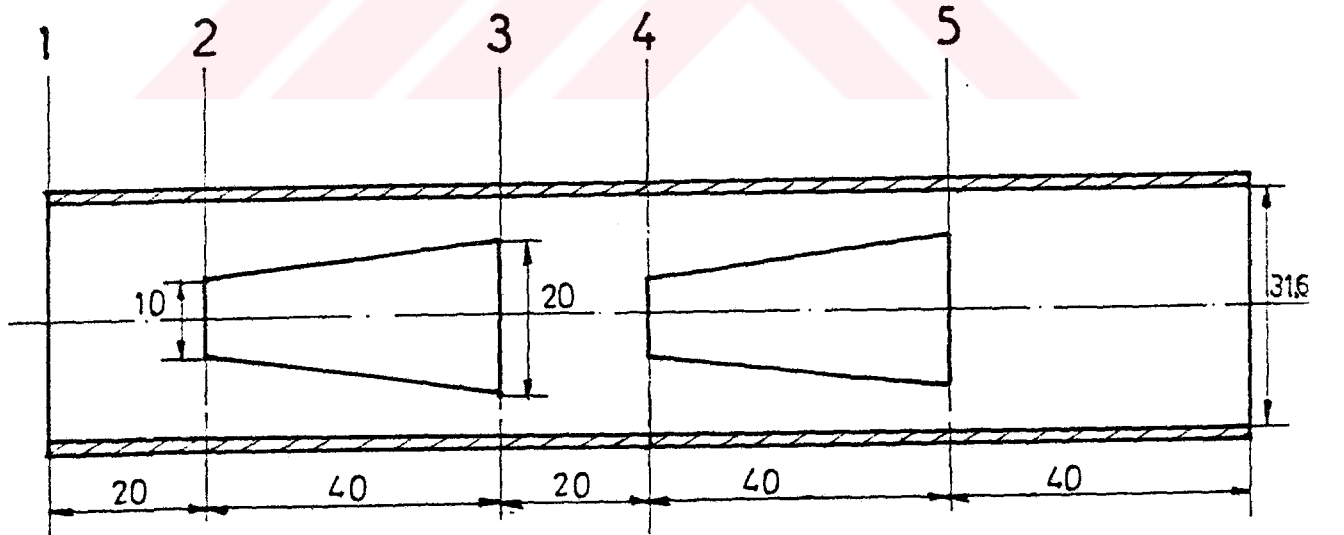
Sekil 3.3.a : Birinci konumdaki türbülatorler



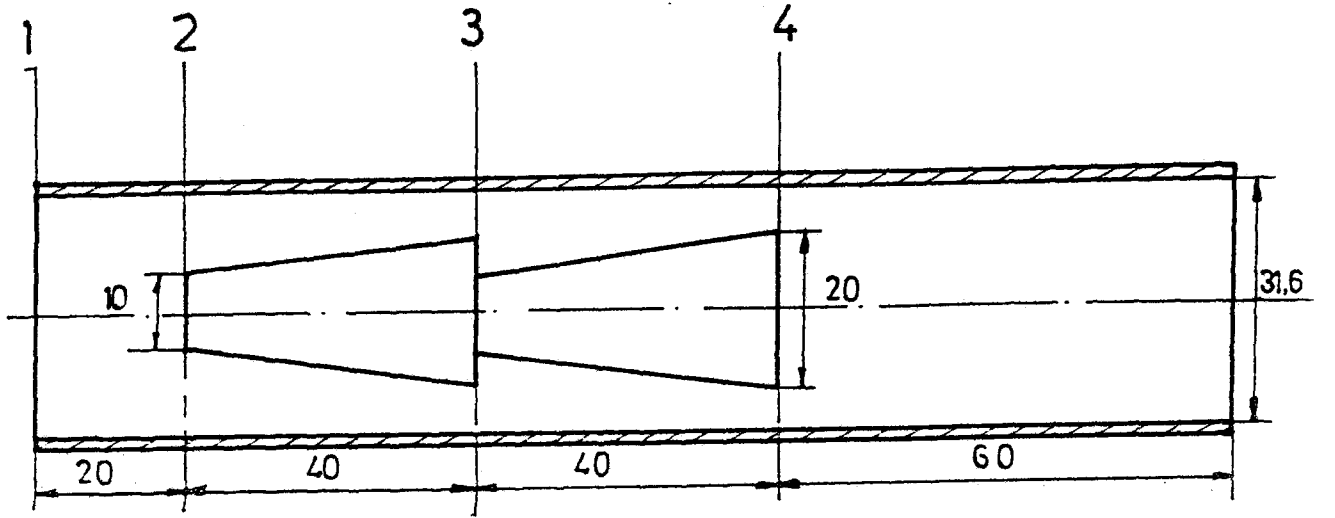
Sekil 3.3.b : İkinci konumdaki türbülatorler



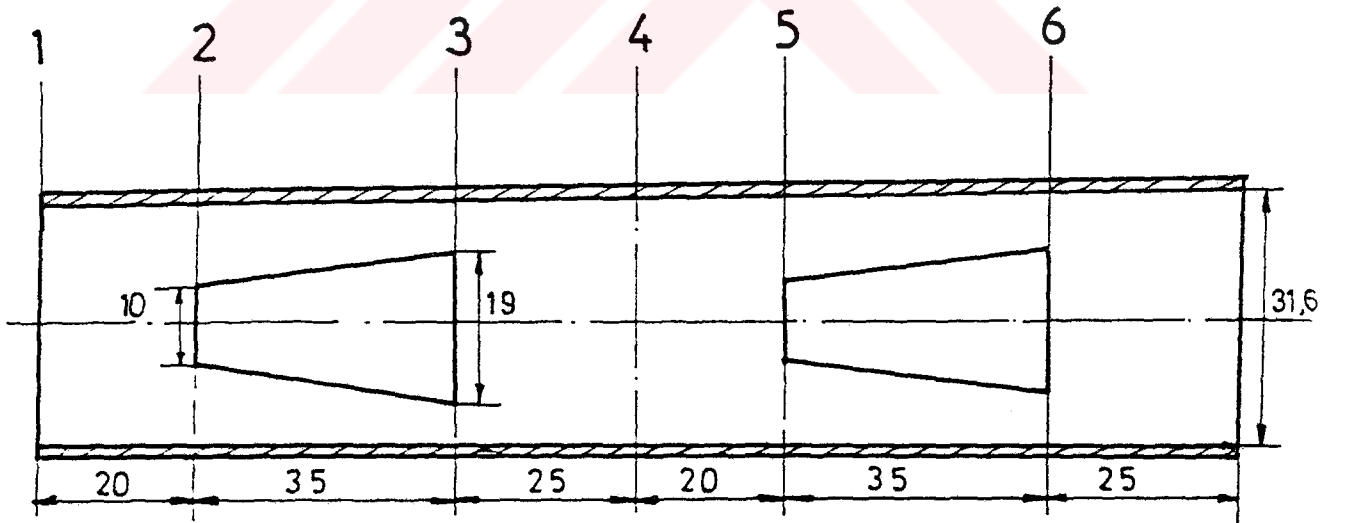
Sekil 3.3.c : Üçüncü konumdaki türbülatorler



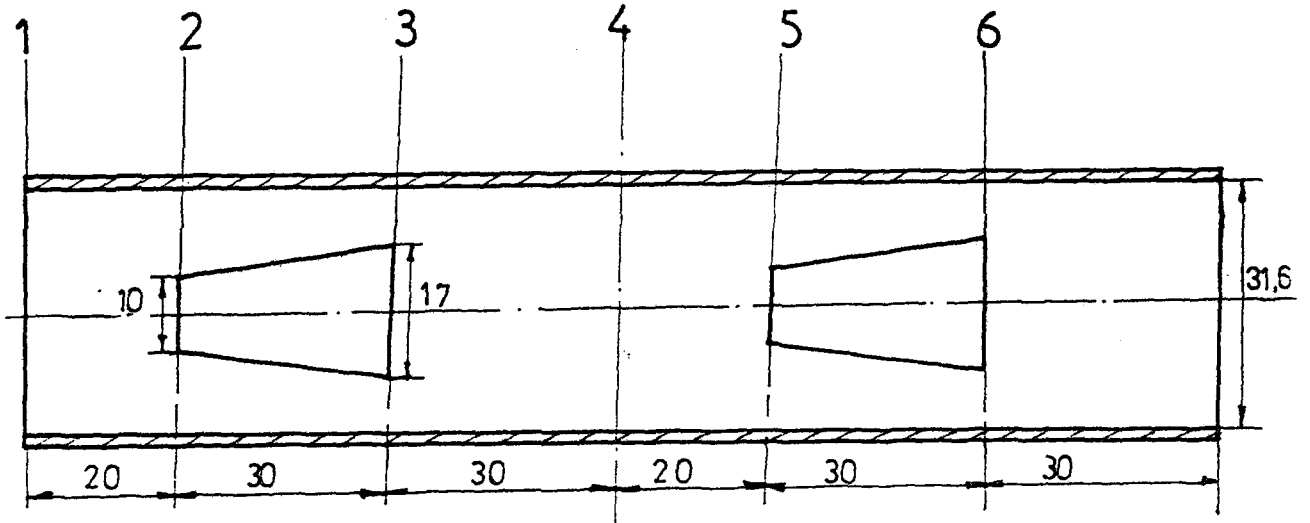
Sekil 3.3.d : Dördüncü konumdaki türbülatorler



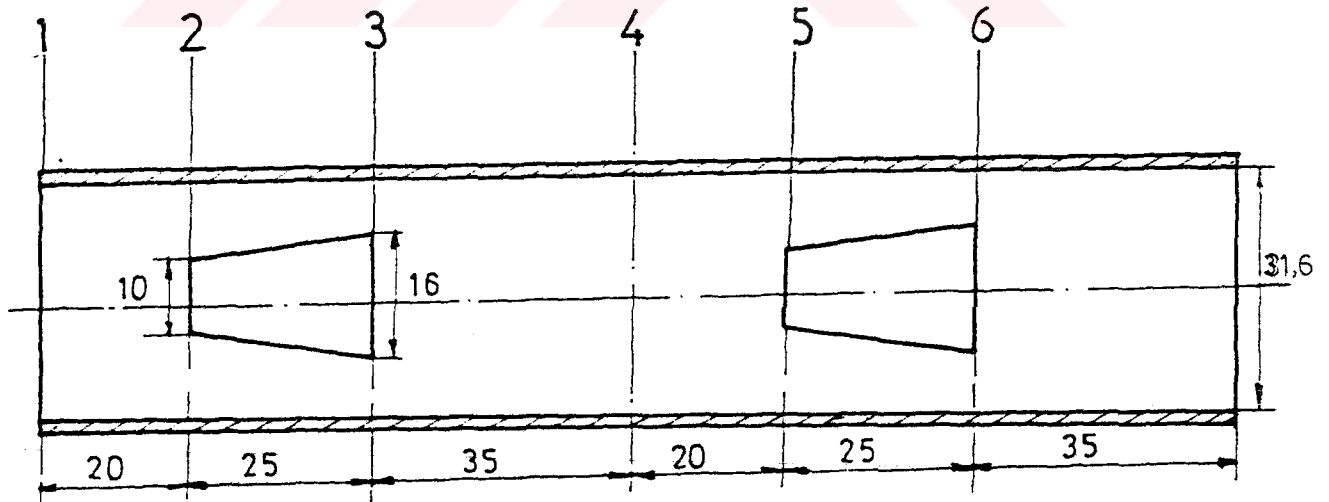
Şekil 3.3.e : Beşinci konumdaki türbülatorler



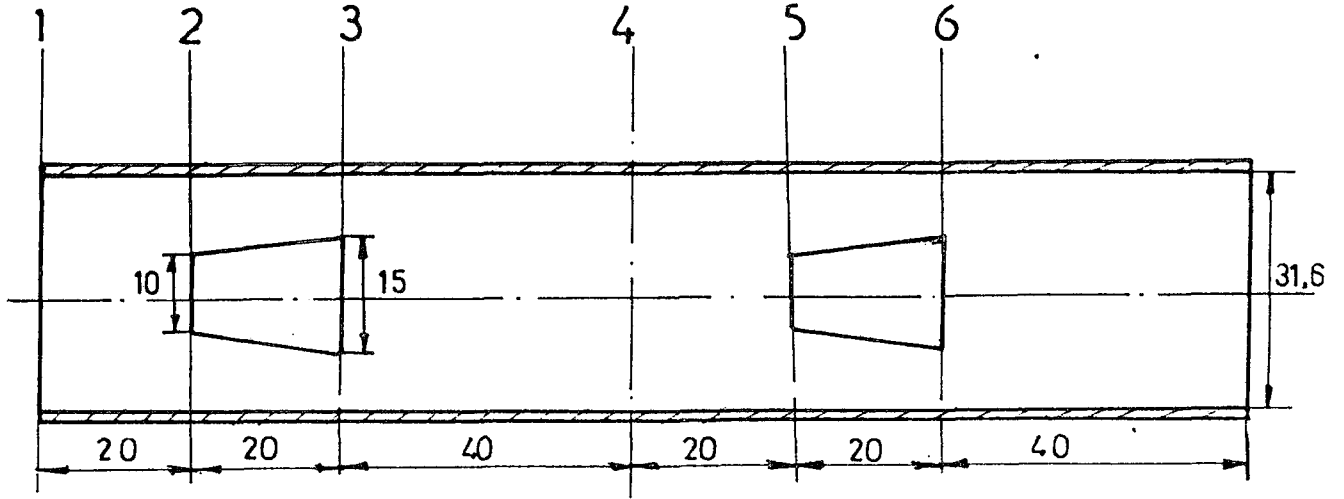
Şekil 3.3.f : Altıncı konumdaki türbülatorler



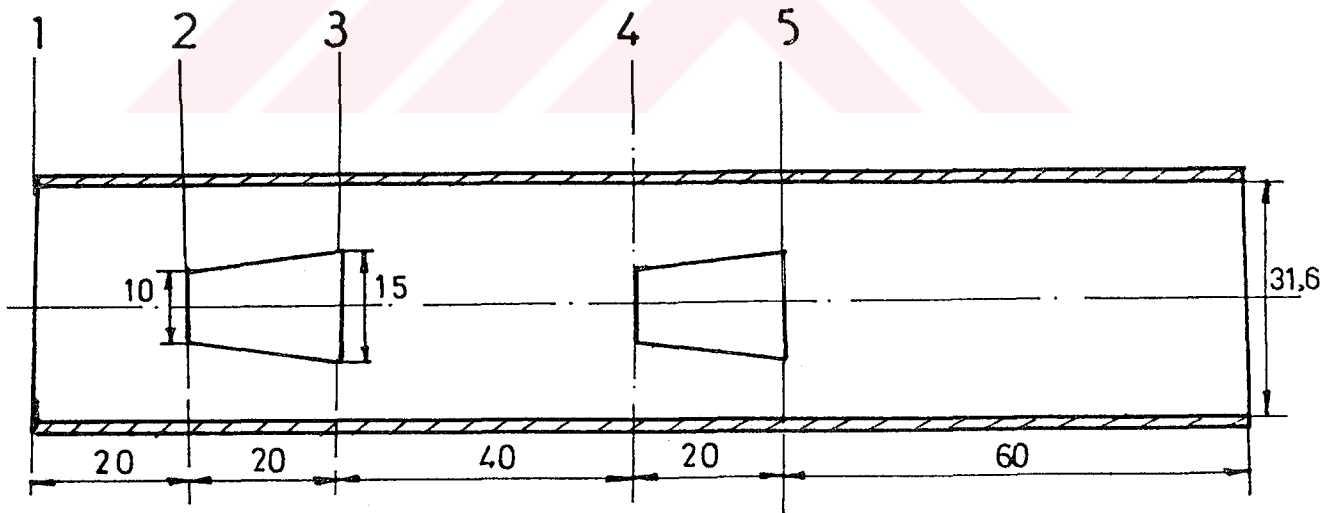
Sekil 3.3.g ; Yedinci konumdaki türbülötörler



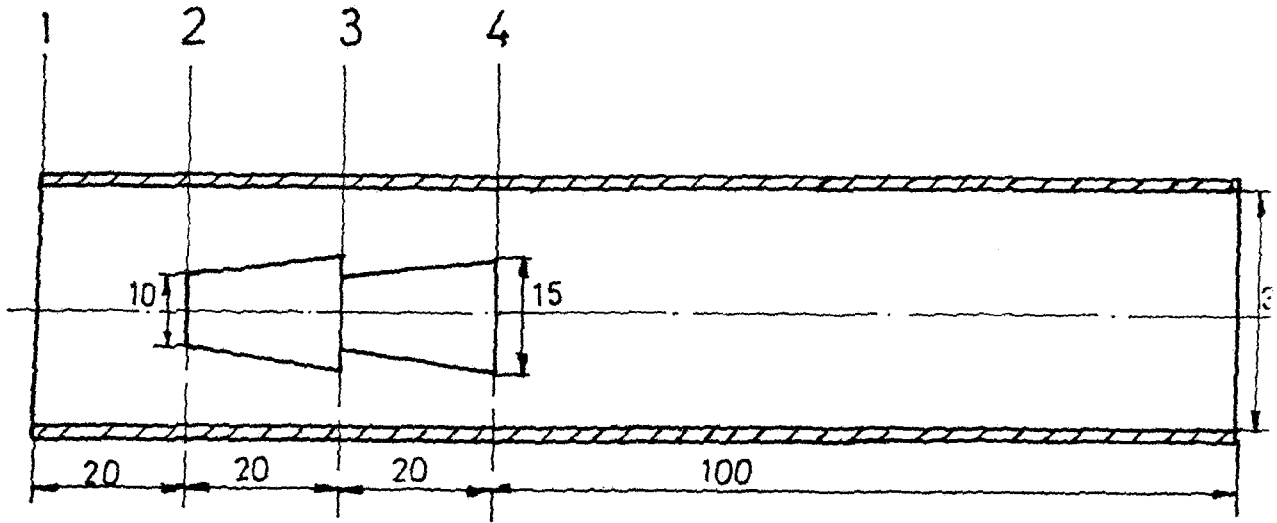
Sekil 3.3.h : Sekizinci konumdaki türbülötörler



Şekil 3.3.j : Dokuzuncu konumdaki türbülötörler



Şekil 3.3.k : Onuncu konumdaki türbülötörler



Sekil 3.3.1: Onbirinci konumdaki türbülötörler

3.2 AKISLA İLGİLİ KALİBRASYON

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

Sekil- 3.1 de gösterilen deney düzenindeki hava tüneline (1) ve (2) numaralı statik basınç prizleri arasında hava akımı başladığında bir $\Delta P = P_1 - P_2$ basınç farkı meydana gelmektedir. Basınç farkına tekabül eden debinin hesaplanabilmesi hava tüneline dinamik basınçlar ve dolayısıyla hız ölçümü yapılmıştır. Ölçmeler cidardan başlamak üzere 10 mm aralıklarla kesit boyunca yapılmıştır.

$$P_{din} = \rho \frac{U^2}{2} \quad (3.1)$$

(3.1) ifadesine yoğunluk (ρ):

$$\rho = \frac{P_c}{R \cdot T_c} \quad (3.2)$$

(3.2) formülü ile her bir debi için yoğunluk hesaplanmıştır.

P_c :Ortam basıncı

T_c :Ortam sıcaklığı

Ölçülen P_{din} değerlerine karşılık gelen hız:

$$U = \sqrt{(2.9,81 \cdot P_{din} / \rho)} \quad (3.3)$$

(3.3) formülü ile (m/s) olarak bulunmuştur. Burada P_{din} (mmss) olarak yerine konulmaktadır.

Kesit boyunca ölçüm yapılan noktalardaki hızların ortalaması hesaplanarak bu kesitten geçen debi:

$$Q = A \cdot U_{or} \quad (3.4)$$

(3.4) formülü ile bulunmuştur.

A(kesit alanı)=201105 mm² dir.

Böylece akış kalibrasyonu için, sürgülü vana yardımıyla oluşturulan δP statik basınç farklarına karşılık hesaplanan Q değerleri tablo.1 de gösterilmiştir.

Tablo.1 : Akış kalibrasyonu için δP ve Q değerleri

δP (mmss)	0.80	1.10	1.55	1.71	2.00
Q (m ³ /s)	0.714	0.849	0.969	1.066	1.164

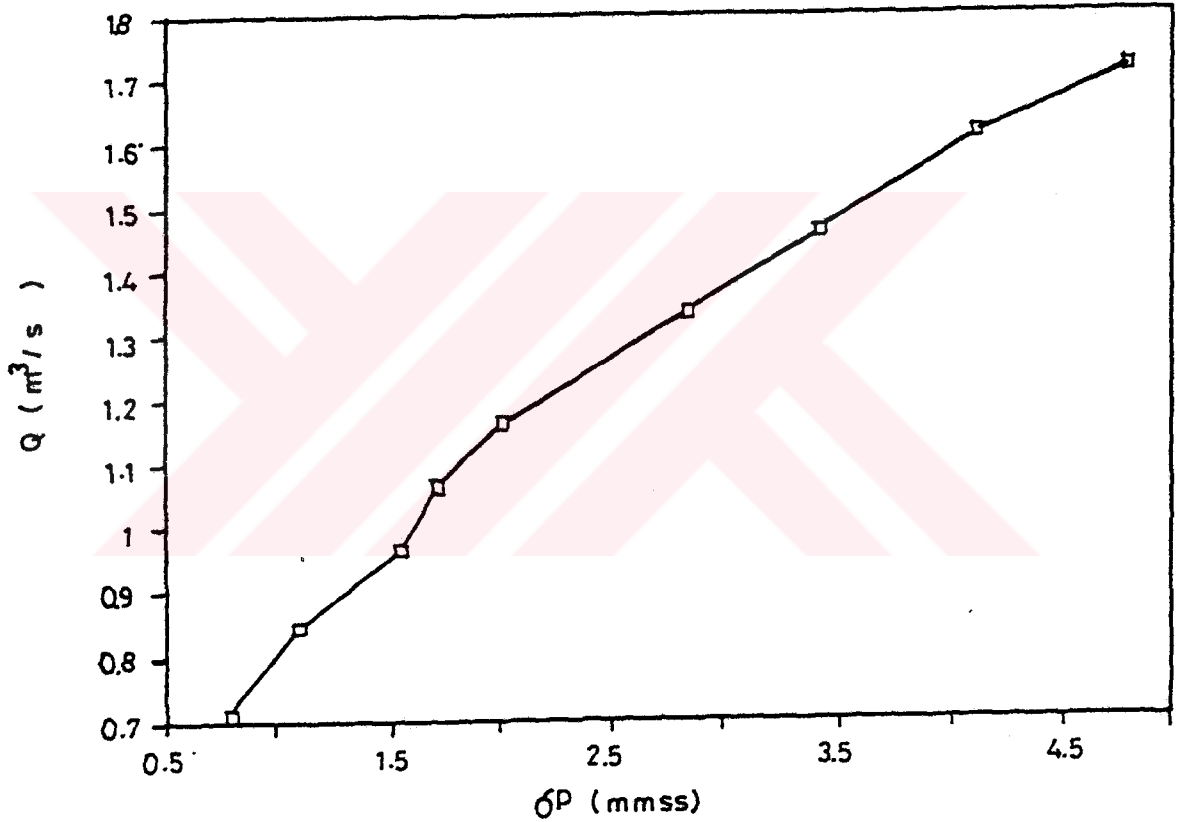
δP (mmss)	2.85	3.42	4.10	4.78
Q (m ³ /s)	1.335	1.462	1.611	1.713

Tablo . 1. deki değerler kullanılarak En Küçük Kareler yöntemiyle;

$$Q = 0.804842(\delta P)^{0.4890044} \quad (3.5)$$

bağintısı elde edilmiştir.

Elde edilen (3.5) bağintısına uygulanan $Q=f(\delta P)$ eğrisi daha önce Sarioğlu, M. tarafından yapılan yüksek lisans tezinden alınmıştır ve şekil-3.4 de gösterilmiştir.

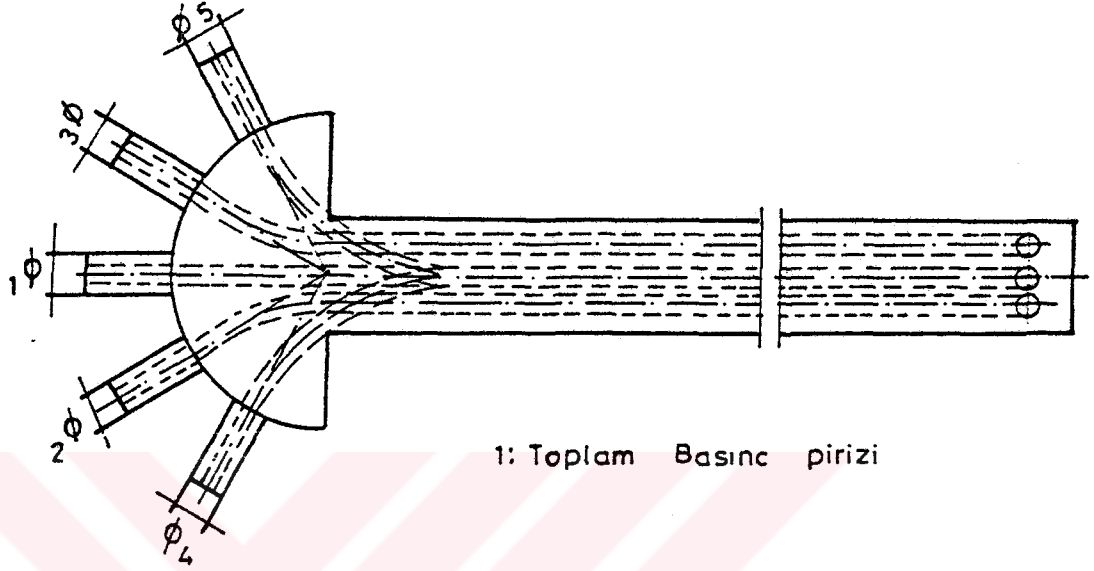


şekil-3.4 : $Q-\Delta P$ değişimini gösteren eğri

3.3 OLCU ALETLERİNİN TANITILMASI VE OLCUMLERİ

Deney bölgesinde türbülatörlerin yerleşim şekline göre şekil- 3.3 de gösterilen noktalarda toplam ve statik basınc lcmleri yapılmıştır.

Toplam basınç ölçümlerinde UNITED SENSOR firması imalatı olan DA-187-CD tipi standart beşli sondası (tüpü) kullanılmıştır. (Şekil-3.5)



1: Toplam Basınç prizisi

Şekil-3.5 : DA-187-24-CD tipi beşli sonda

Pitot tüpü yerine sonda kullanılmasının nedeni, akış türbülanslı olduğundan akış yönündeki değişimlerden kaynaklanacak ölçüm hatalarını ortadan kaldırmaktır. Bu da 2 ve 3 nolu prizlerdeki basınçların dengelenmesiyle sağlanır.

Statik basınçların ölçülmesi için deney borusu üzerinde ölçüm yapılan kesitlerde boru cidarına açılan deliklere takılan statik basınç prizleri kullanılmıştır.

Sondanın toplam basınç prizine ve ölçüm yapılan kesitteki statik basınç prizine ayrı ayrı irtibatlı plastik hortumlar eğik manometrenin iki ucuna bağlanarak dinamik basınç değerleri boru ekseninden başlayarak boru cidarına kadar 10 mm aralıklarla manometreden (mmss olarak) okunmuştur. Yine aynı manometre ile her kesitteki statik

basınçlar ölçülmüştür.

Deneyle dört ayrı debi için, yani dört Reynolds sayısında yapılmıştır.

3.4 ÖLÇÜ ALETLERİNİN KALİBRASYONU

Deneylede kullanılan ölçü aletleri bazen gerçek olmayan değerleri ölçerler, bazende uzun zaman kullanıldıklarından duyarlılıklarını kaybederler. Bu nedenle ölçü aletlerinin kalibrasyonu gerekmektedir.

Kalibre işlemi; ayarlanmış başka bir ölçü aletinden elde edilen gerçek değerlerle, ölçü aletinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması suretiyle yapılır.

Standart pitot tüpü beşli sonda kullanılarak belli bir kesitte, belli bir noktada, ölçü aletlerinin toplam basınç prizleri ile söz konusu kesitteki statik basınç prizi eğik manometrenin iki ucuna irtibatlandırılarak her iki ölçü aleti için değişik debilerde ayrı noktadaki dinamik basınç değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler tablo.2 de gösterilmiştir. Burada ;

P_{po} : Pitot tüpü ile ölçülen toplam basınç

P_{pd} : Pitot tüpü ile ölçülen dinamik basınç

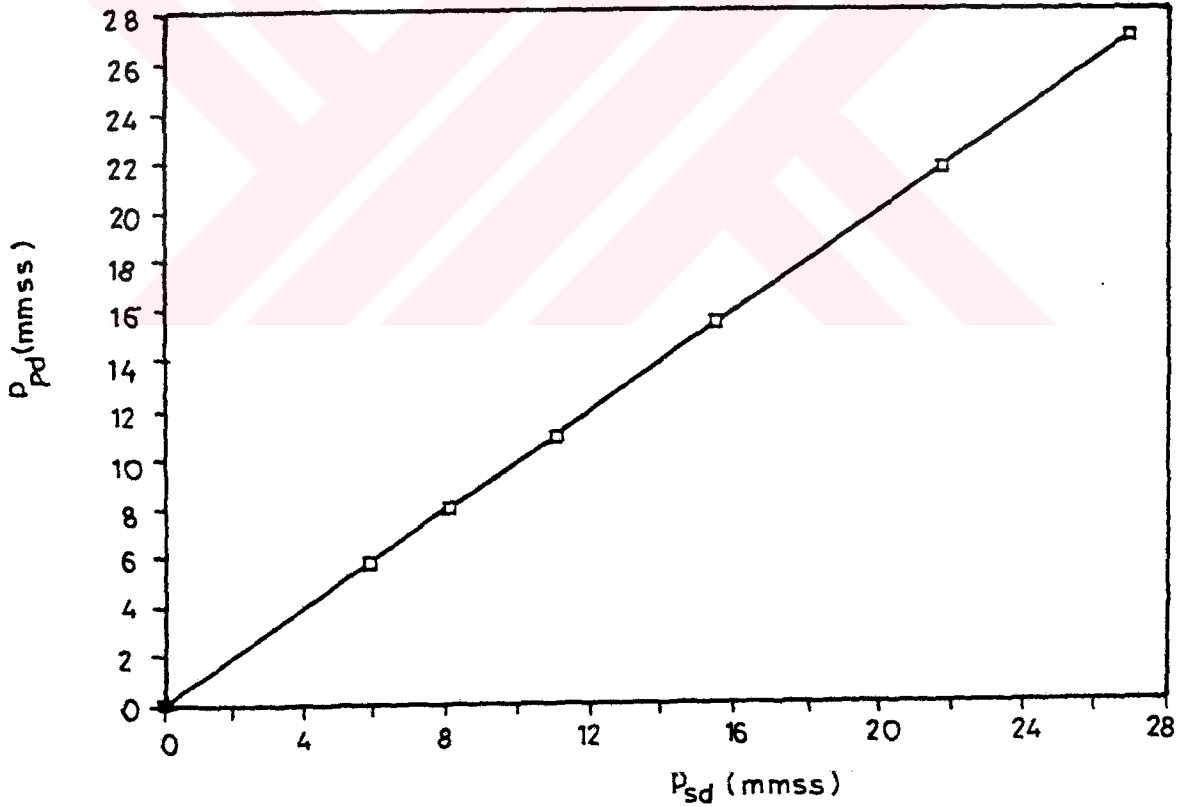
P_{so} : Beşli sonda ile ölçülen toplam basınç

P_{sd} : Beşli sonda ile ölçülen dinamik basınç

Tablo. 2 : Pitot tüpü ve besli sonda ile ölçülen basınç değerleri

P_{po} (mmss)	P_{pd} (mmss)	P_{so} (mmss)	P_{sd} (mmss)
5.85	5.79	5.90	5.83
8.05	7.95	8.16	8.10
10.95	10.85	11.08	11.00
15.50	15.40	15.58	15.48
21.65	21.55	21.70	21.65
26.90	26.85	26.90	26.88

Tablo. 2 deki değerler kullanılarak En Küçük Kareler yöntemiyle şekil-3.6 da çizilen kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir.



Şekil-3.6 Besli sondanın kalibrasyon eğrisi

3.5 DENEYİN YAPILIŞI

3.5.1 Hızlarla ilgili Bazı Hesaplamalar

Deneyler genel olarak dört ayrı debi için yapılmıştır. Şekil-3.3 de işaretlenen noktalarda kesit içerisinde belirli istasyonlarda dinamik basınç ölçümleri yapılmıştır ve daha sonra şekil- 3.6 da kalibrasyon eğrisi vasıtasıyla bu değerler gerçek değerlerine dönüştürülmüştür. Ayrıca her kesit için ölçüm yapılırken ortam sıcaklığı (T_C) ve ortam basıncı (P_C) tesbit edilerek (3.2) formülüyle akışkanın yoğunluğu hesaplanmıştır.

Böylece (3.3) formülü kullanılarak ölçüm yapılan her noktadaki havanın hızı hesaplanmıştır.

Deneylerin akış şartları, yani debiler ve bunlara karşılık gelen giriş kesitindeki Reynolds sayıları şekil-3.4 te gösterilen akışla ilgili kalibrasyon eğrisi yardımıyla hesaplanmış ve tablo.3 de verilmiştir.

Tablo.3 : Deneylerin yapıldığı akış şartları

Debi $Q(m_3/s)$	Re
0.699	188757
0.997	269232
1.468	396475
1.900	513184

3.5.2 Basıncı Kayıp Katsayılarının Hesaplanması

Basıncı kayıp katsayıları şekil 3.1 de gösterilen I ve II noktaları arasında hesaplanmıştır. Deneylerde değişik Re sayılarında bu iki nokta arasında ölçülen basıncı kaybı değerleri tablo 4 de verilmiştir.

Tablo 4: I ve II noktaları arasındaki basıncı kayıpları

Re	ΔP (mmss)					
	(a) Boş boru	(b) 1. konum	(c) 2. konum	(d) 3. konum	(e) 4. konum	(f) 5. konum
188757	0.75	1.00	1.00	1.00	1.05	1.05
269232	1.35	1.95	1.90	1.90	1.95	2.00
396475	2.80	4.10	4.15	4.15	4.20	4.20
513184	4.70	6.90	6.95	6.90	6.95	7.00
Re	ΔP (mmss)					
	(g) 6. Konum	(h) 7. Konum	(j) 8. Konum	(k) 9. Konum	(l) 10. Konum	(m) 11. Konum
188757	0.95	0.95	0.90	0.90	0.95	0.95
269232	1.85	1.80	1.75	1.70	1.75	1.80
396475	4.05	4.00	3.90	3.90	3.95	3.95
513184	6.80	6.75	6.70	6.60	6.70	6.75

L.F Moddy tarafından verilen ve pürüzlü borular için geçerli olan;

$$1 / \sqrt{\lambda_{turb}} = -2.0 * \text{Log} \left[\frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda_{turb}}} \right] \quad (3.6)$$

amprık formülü kullanılarak dört Reynolds sayısında elde edilen teorik basıncı kayıp katsayıları (λ_{turb}) tablo.5 ' de verilmiştir. Bu bağıntıda ϵ/d için 0.002 pürüzlülük değeri alınmıştır.

Tablo.5 : Hesaplanan Teorik Basıncı Kayıp Katsayıları
(λ_{turb})

Re	λ_{turb}
188757	0.02435913
269232	0.02409061
396475	0.02388206
513184	0.02377961

Türbülanslı borularda basınç kaybı;

$$\Delta P = \frac{\rho u^2}{2} \cdot \frac{L}{2R} \lambda_{turb} \quad (3.7)$$

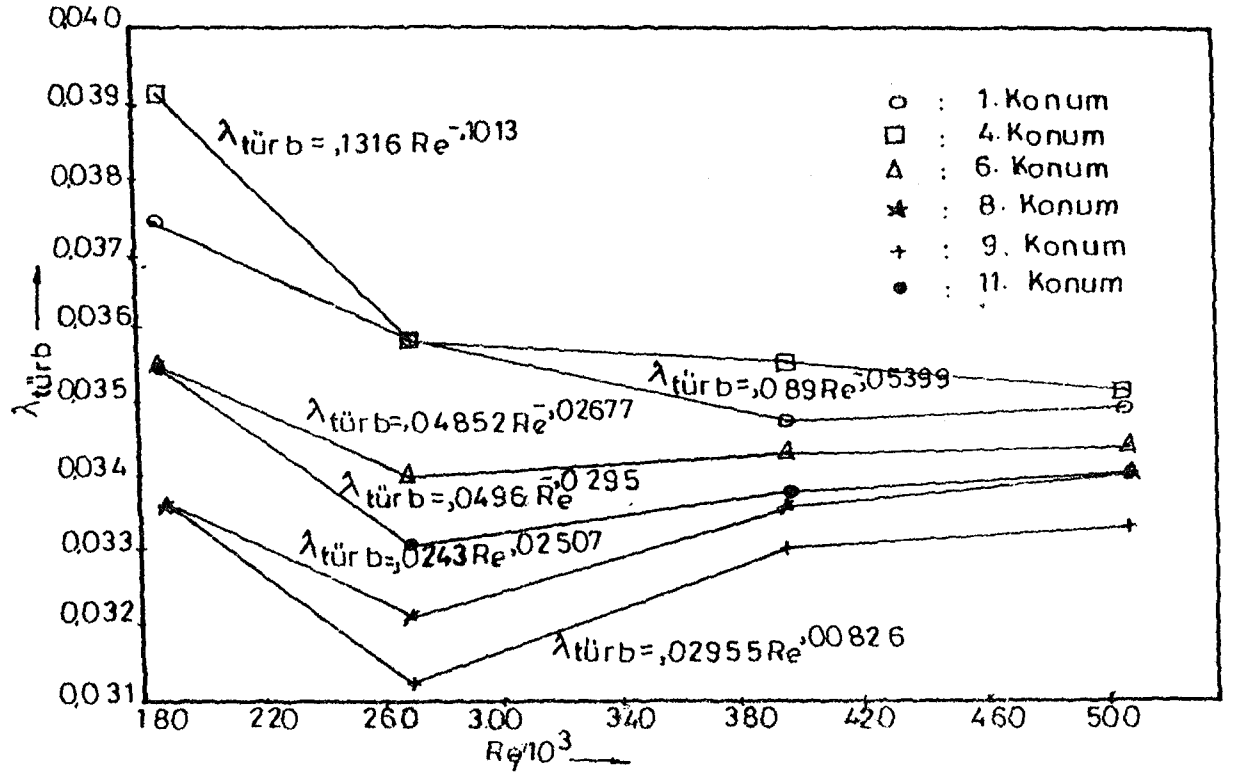
bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada, L basınç kaybının hesaplandığı boru boyu, R yarıçap, u akışkanın ortalama hızı, akışkanın yoğunluğudur.

Tablo. 4 deki deneysel sonuçlar kullanılarak (3.7) formülü yardımıyla bulunan deneysel λ_{turb} değerleri tablo.6 da verilmiştir.

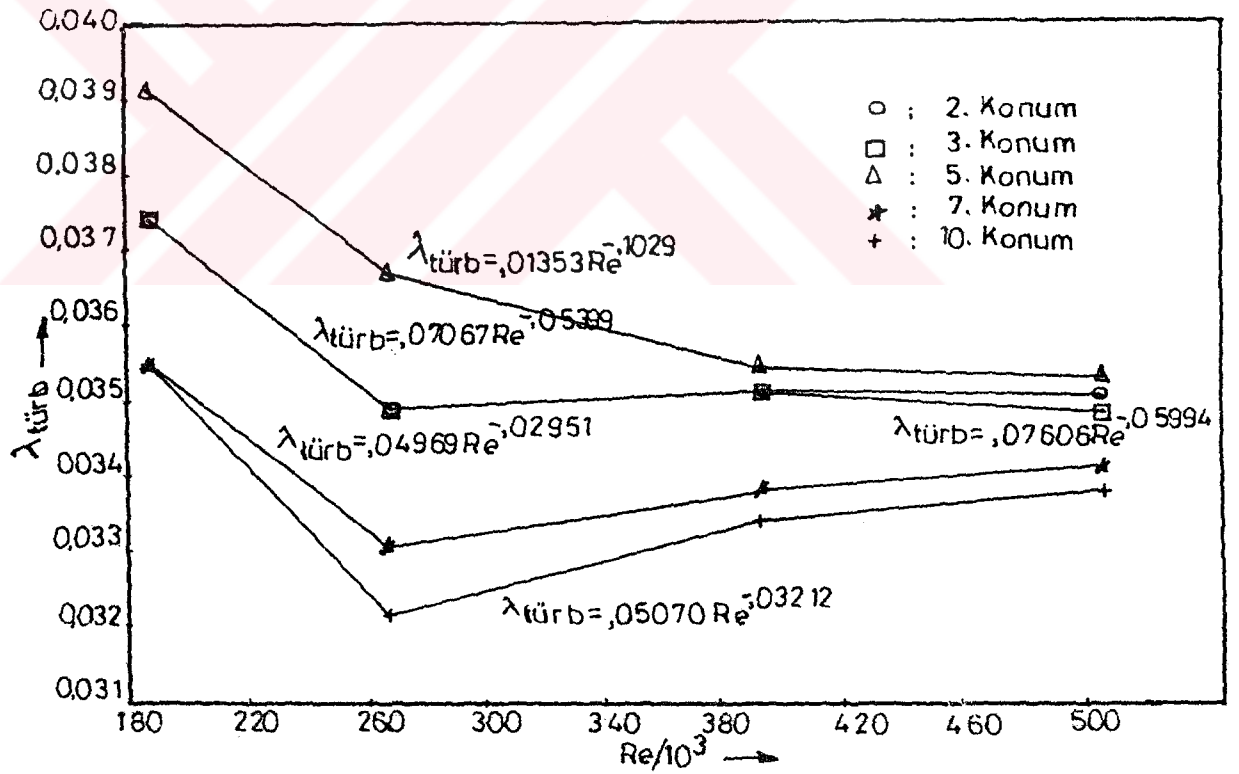
Tablo.6 : Deneysel Basınç Kayıp Katsayıları

Re	λ_{turb} (deneysel)			
	(a) Boş boru	(b) 1. Konum	(c) 2. Konum	(d) 3. Konum
188757	0.028051840	0.037402461	0.037402461	0.037402461
269232	0.024814084	0.035842566	0.034923526	0.034923526
396475	0.023729836	0.034747259	0.035171006	0.035171006
513184	0.023778804	0.034909309	0.035162275	0.034909309
Re	λ_{turb} (deneysel)			
	(e) 4. Konum	(f) 5. Konum	(g) 6. Konum	(h) 7. Konum
188757	0.039272584	0.039272584	0.035532338	0.035532338
269232	0.035842566	0.036761606	0.034004486	0.033085446
396475	0.035594754	0.035594754	0.034323512	0.033899765
513184	0.035162275	0.035415241	0.034403377	0.034150411
Re	λ_{turb} (deneysel)			
	(j) 8. Konum	(k) 9. Konum	(l) 10. Konum	(m) 11. Konum
188757	0.033662215	0.033662215	0.035532338	0.035532338
269232	0.032166405	0.031247365	0.032166405	0.033085446
396475	0.033652271	0.033052271	0.033476018	0.033899765
513184	0.034150411	0.033391513	0.033897445	0.034150411

Değişik boyut ve konumdaki türbülantörlerle ve boş boruyla yapılan deneylerde 12 değişik akış için tablo.6 daki değerler kullanılarak En Küçük Kareler yöntemiyle $Re - \lambda_{turb}$ değişimlerini karakterize eden bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılarla ilgili eğriler şekil-3.7 de gösterilmiştir.



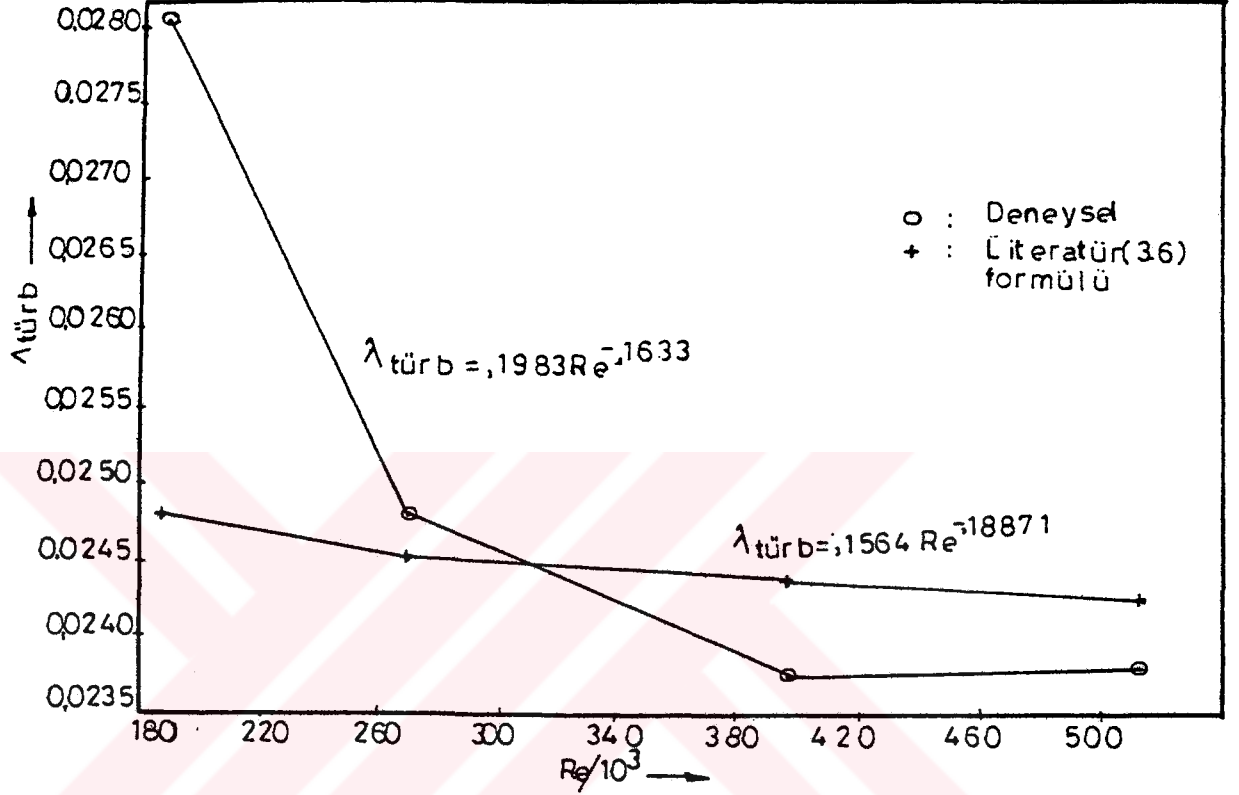
Sekil- 3.7: Değişik konum ve boyuttaki türbülatoörler kullanıldığında $Re - \lambda_{turb}$ değerlerini gösteren eğriler.



Sekil- 3.7: Değişik konum ve boyuttaki türbülatoörler kullanıldığında $Re - \lambda_{turb}$ değerlerini gösteren eğriler.

Tablo.5 deki teorik $\lambda_{t\u00fcrb}$ değerleri kullanılarak yine En K\u00fcçük Kareler y\u00f6ntemiyle boş boru için

$$\lambda_{t\u00fcrb} = 0.15647 Re^{-0.18871} \quad (3.8)$$



Şekil- 3.8 : Boş boru için elde edilen $Re - \lambda_{t\u00fcrb}$ eğrisi

3.5.3 Sınır Tabaka Kalınlıklarının Hesaplanması

Literat\u00fcrde borularda sınır tabaka kalınlıklarını veren bir bağıntı bulunmadığından Prandtl tarafından 1904 yılında d\u00fczlem plaka etrafında t\u00fcrb\u00fclanslı akışlar için verilen;

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0.16}{7\sqrt{Re}} \quad (3.9)$$

bağıntısı kullanılarak yaklaşık δ sınır tabaka kalınlıkları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo.7 ' de verilmiştir.

Tablo.7 : Değişik Re sayılarında hesaplanan sınır tabaka kalınlıkları

		δ (mm)						
Re	x [cm]	15	30	45	60	76	78	80
188757		4.23	8.46	12.7	16.9	21.4	22.0	22.6
269232		4.00	8.05	12.1	16.1	20.4	20.9	21.5
396475		3.80	7.61	11.3	15.2	19.3	19.8	20.3
513184		3.67	7.34	11.0	14.7	18.6	19.1	19.6
		δ (mm)						
Re	x [cm]	84	100	115	130	145	160	
188757		23.7	28.2	32.4	36.7	40.9	45.1	
269232		22.5	26.8	30.8	34.9	38.9	42.9	
396475		21.3	25.4	29.2	33.0	38.8	40.6	
513184		20.5	24.5	28.1	31.8	35.5	39.1	

3.6 AKIŞ GÖZLEME DENEYLERİ

Türbülatorler yapay türbülans oluşturmak amacıyla borular içerisine yerleştirilmektedir. Bunların çeşitli geometrik ölçü ve pozisyonları direk olarak türbülansı etkileyeceğinden en iyi türbülatorün geliştirilmesi deneysel yollarla belirlenebilir. Burada bir akış alanına yerleştiren türbülatorün akışa nasıl etki ettiği araştırılmış ve bu etkiyi görebilmek için akış gözleme deneyleri yapılmıştır.

Tam türbülanslı akışta daralan genişleyen konik halka yüzeyli elemanlar literatürde [9], [10] bazı tip

türbülatorlerden, ısı transferini iyileştirme açısından çok daha etkili olacağı, imalat ve işletme açısından da kolaylık getirebileceği saptanmıştır.

3.6.1 Deneyin Yapılışı

Akışın gözleneceği kısımda boru, camdan imal edilmiştir. Sisteme yapay türbülans oluşturmak amacıyla gözleme borusu içine sacdan çeşitli boyutlarda konik - halka yüzeyli elemanlar yerleştirilmiştir. Türbülatorler boru içerisine beşerli gruplar halinde akış istikametinde genişleyecek şekilde yerleştirilmiştir [11].

İnceleme bölgesinin giriş kısmına akış içerisine dalacak şekilde bir boya sondası yerleştirilmiştir. Boya sondası gözleme boru çapı boyunca hareket ettirilerek boyanın akış içerisine çeşitli noktalardan gönderilerek boru çapı boyunca akışın nasıl geliştiği gözlenmiştir. Deneyler laminer akımında yapılmıştır. Sistemin su giriş vanası açılarak suyun akışı sağlanmış ve akışın içerisine çeşitli bölgelerden boya gönderilerek olayın fotoğrafları çekilmiştir. (Resim - 3.3, Resim - 3.4, Resim - 3.5, Resim - 3.6)

Fotoğraflar incelenerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

I. Laminer akım bozulmaktadır.

Boya sondadan iplikçik halinde çıkmasına rağmen türbülatorlerden geçerken tüm hacme yayılmıştır.

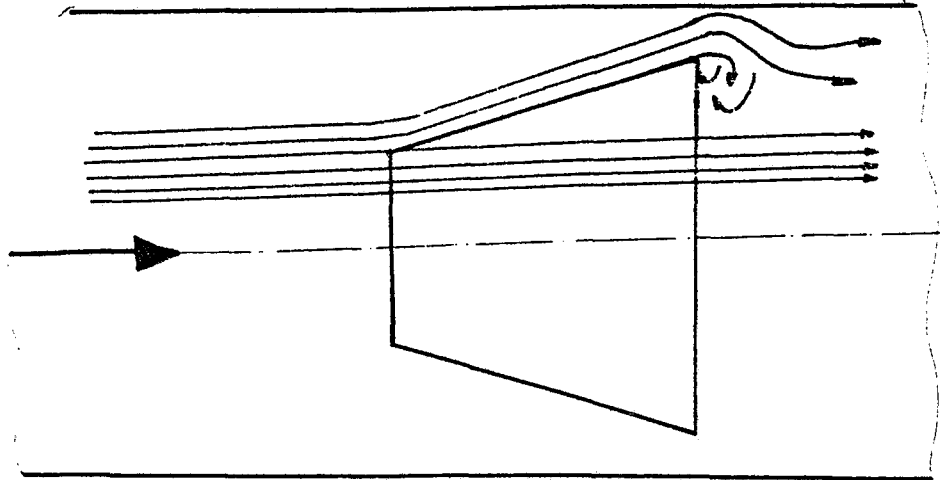
II. Türbülötörlerin içinde ve dışında geri dönüş akışları oluşmaktadır, bu da basınç gradyantının kesit boyunca değiştiğini göstermektedir.

III. Türbülötör içindeki akış bir sonraki türbülötör dışına çıkarak boru cidarına yönelmektedir. Dış yüzeyden geçen akışkan ise türbülötör iç yüzeyinde oluşan alçak basınç nedeniyle geri dönmektedir.

Ayrıca;

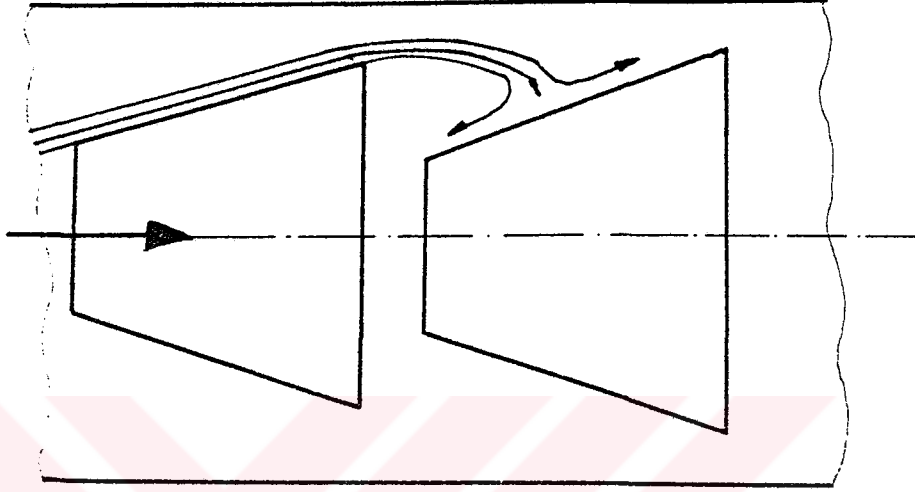
Resim - 3.3 de boya, türbülötörün dış cidarından verildiği halde ikinci türbülötörün çıkış kısmında bir boya birikmesi olmuştur.

Resim - 3.4 ve Şekil - 3.9 da görüldüğü gibi boya ilk girişte ikiye bölünmekte dıştan akan boya sipinler yapmakta, içteki ise çıkışta düz giderek ikinci lülenin giriş ağzında buluşmaktadır.



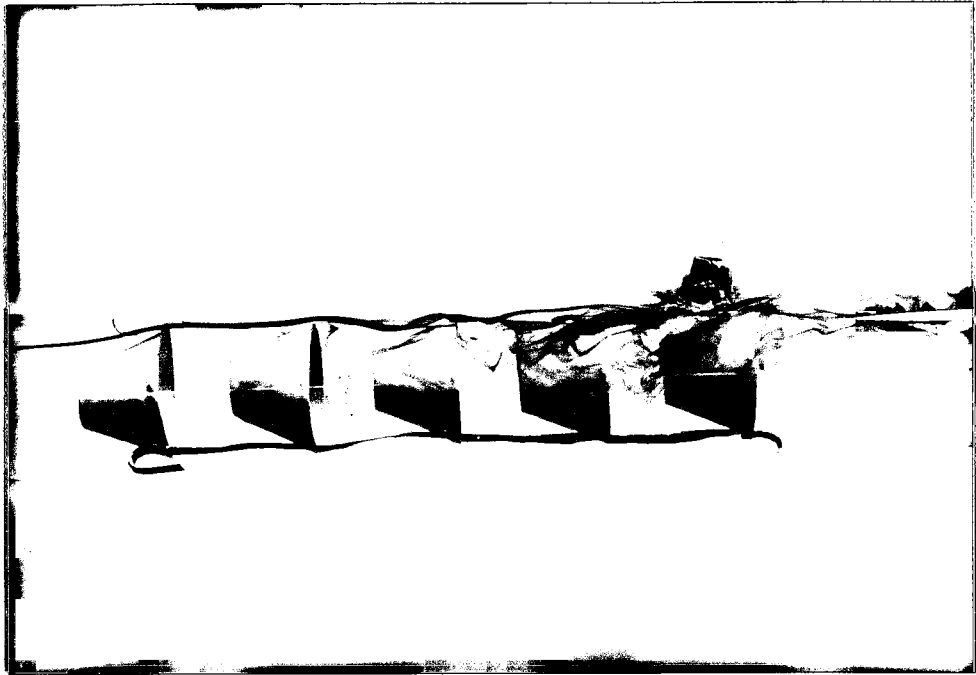
Şekil - 3.9 : Türbülötör üzerindeki akış iplikcikleri

Resim-3.5 ve Şekil-3.10 da gösterildiği gibi durma noktaları ve akışta farklı yönelme ve bölünmeler görülmektedir.



Şekil - 3.10 : Türbülatorler üzerinde ayrılmanın oluşumu

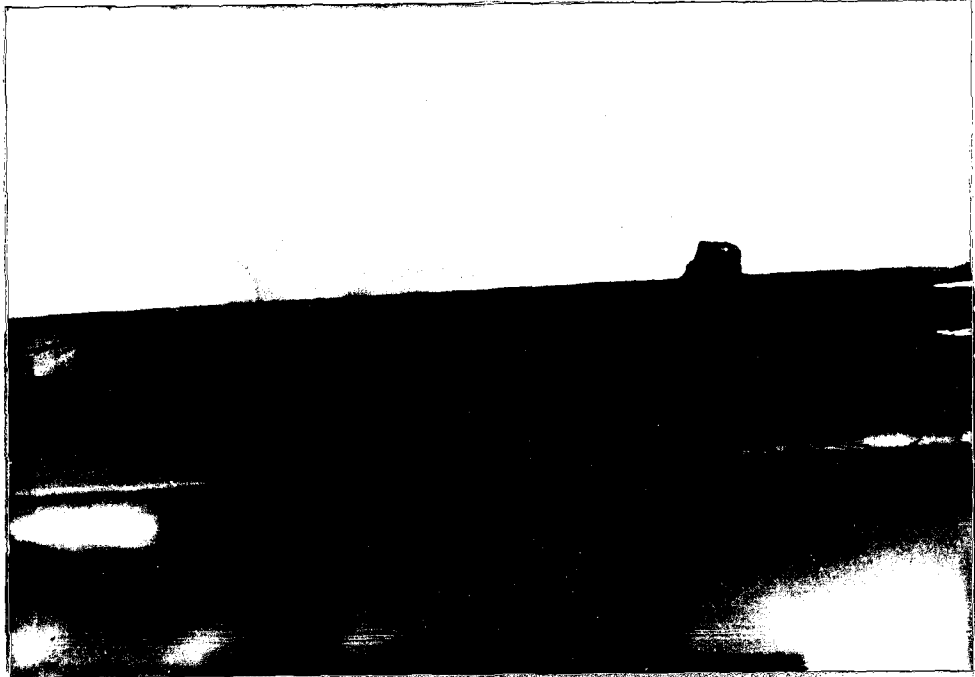
Resim - 3.6 da akış karışımının türbülatorler boyunca hacim genişliğinin kademe arttırıldıkça boru cidarına yaklaşmakta ve genişlemekte olduğu görülmüştür.



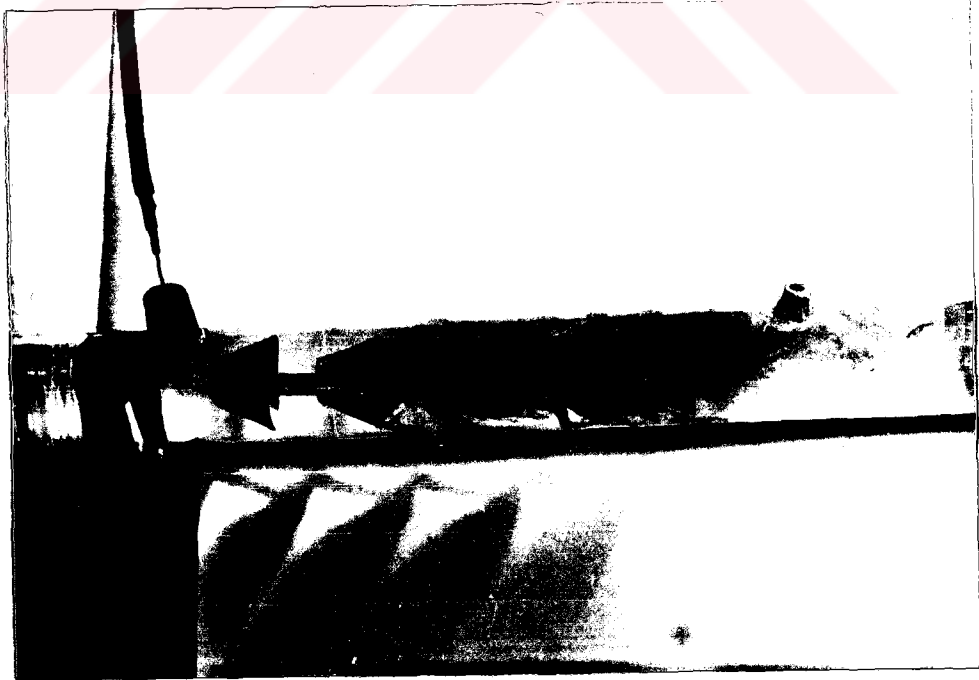
Resim -:3.3



Resim -:3.4



Resim -:3.5



Resim -:3.6

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

4.1 HIZ PROFİLLERİNİN YORUMU

Daha önce belirtildiği gibi deneyler dört değişik Re sayısında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla çeşitli hız dağılımları elde edilmiştir.

Grafiklerden görüldüğü gibi türbülatorlerden önce yani 1. ve 2. istasyonlarda akışta bir düzenlilik vardır. Türbülatorler ve boru cidarına yaklaştıkça viskoz etkilerden dolayı hızlarda azalmalar izlenmiştir ve cidarlarda hız sıfır olmuştur. 1. istasyondaki hızların 2. istasyondaki hızlara göre daha fazla olduğu görülmektedir, bunun nedeni basınç kayıplarıdır.

Grafiklerin büyük bir kısmında ilk türbülator içindeki hızlar türbülator ve cidar arasındaki hızlardan daha fazla olmasına rağmen 2. türbülator çıkışındaki hız dağılımı bunu tam tersidir. Türbülator içinde bir hız düşümü olmaktadır. Bunun nedeni son türbülator çıkışındaki basınç düşümünden meydana gelen geri akışlardır.

Türbülatorler akıştaki düzenliliği bozmaktadır. Bu yüzden ilk türbülator çıkışında hızlarda görülen düzensizlik türbülatorler arasındaki (4. istasyonlar) hız profillerinde

bir miktar düzelmektedir. İkinci türbülator girişinde (5. İstasyonlar) akışın daha düzenli olduğu görülmektedir.

Türbülatorler birbirine yaklaştıkça hızda bir miktar düşme olmaktadır. Ancak tamamen birleştiği (5. ve 11.) konumlarında türbülator çıkış hızları artmaktadır. Bunun nedeni 5. ve 11. konumlarda türbülator çıkış ağzının, deney bölgesinin başlangıç kısmına daha yakın olmasından dolayı basınç kayıplarındaki azalmadır.

Türbülatorlerin kesilerek boyutlarının küçültüldüğünden daha önce bahsetmiştik. Türbülator boyutları küçüldükçe hızda azalma görülmektedir. Türbülator boyutları türbülansı direk olarak etkilemektedir ve türbülansın azalması hızlarında bir miktar azalmasına sebep olmaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalar ve sunulan bu çalışma gözönünde tutularak türbülator boyutlarının türbülansı etkilediği söylenmiştir. Türbülator boyutlarının büyük olması akış ortamında daha çok girdaplar doğurduğundan ısı transferini iyileştirme tekniklerinde bu tipler daha uygun olmaktadır.

Sonuç olarak türbülatorlerin boyutlarının kesilerek küçültülmeden önceki ilk boyutları ve ilk üç konumunun diğer konumlara oranla daha uygun olduğu söylenir.

4.2 BASINÇ KAYIP KATSAYILARININ YORUMU

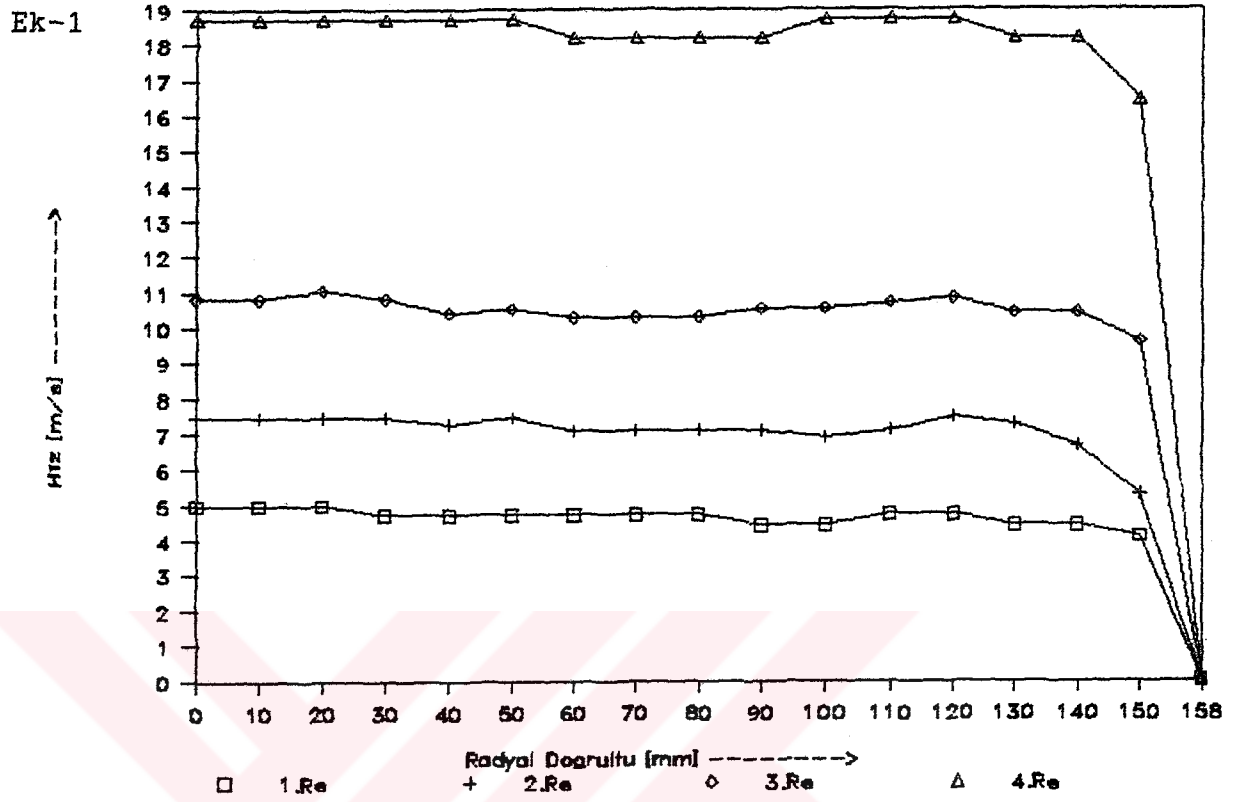
Moody tarafından verilen (3.6) bağıntısı kullanılarak dört değişik Re sayısı için hesaplanan basınç kayıp katsayıları (Tablo. 5) ile (3.7) bağıntısıyla elde edilen deneysel türb değerleri (Tablo.6) incelendiğinde; deneysel değerlerle teorik değerlerin ilk değerli %15 hata ile 2. değeri%3 hata ile 3. ve 4. değerler ise çok daha küçük hatalar ile birbirlerine çok yakın çıkmıştır.

Şekil - 3.7 de değişik konumdaki türbülatorlerle elde edilen deneysel sonuçlar yardımıyla 11 değişik durum için elde edilen $\lambda_{\text{türb}}=f(\text{Re})$ bağıntısına uygun eğriler çizilmiştir. Sonuçlara dikkat edilirse boru içerisinde türbülator kullanıldığında basınç kayıpları artmıştır. Daha sonra türbülatorlerin boylarını küçülttükçe ölçülen basınç kayıpları da azalmıştır. Bu durumda türbülatorlerin cidarları sınır tabakadan uzaklaşmış ve sınır tabakaya yaptığı etki azalacağından basınç kayıpları azalmıştır.

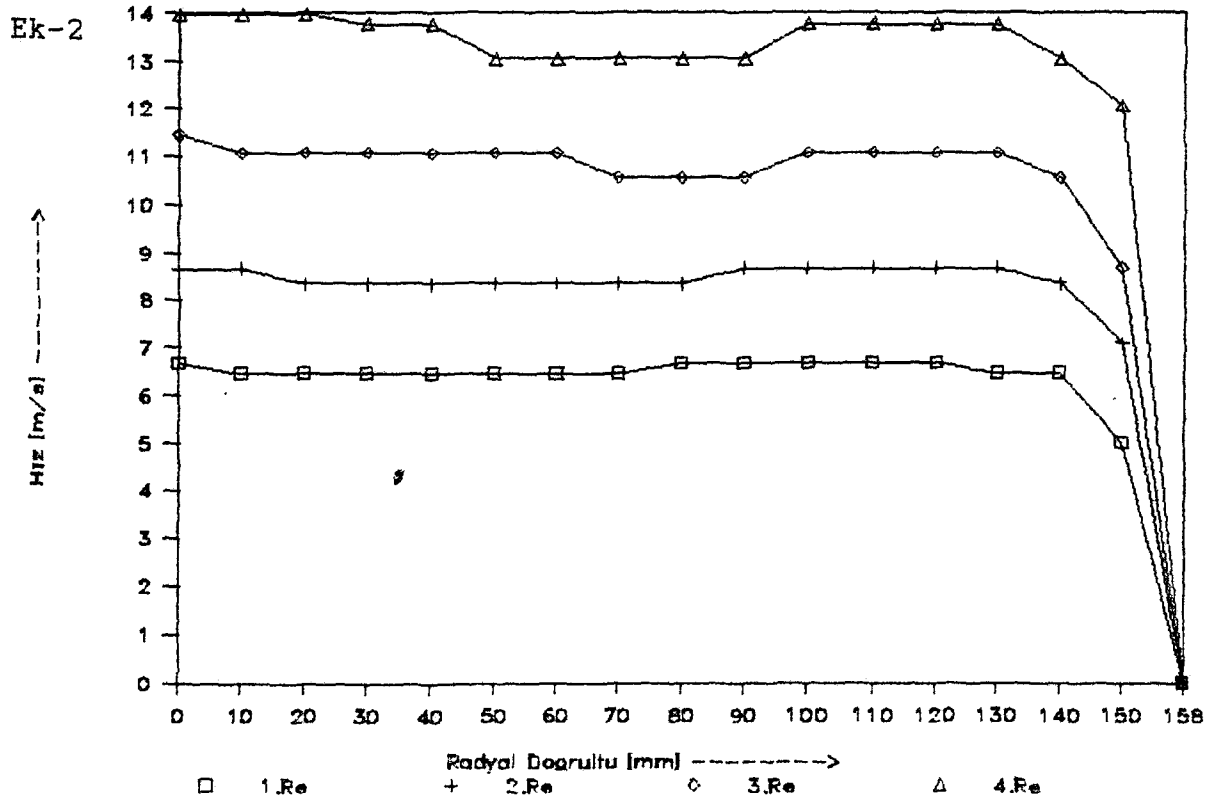
Türbülator konumlarının değişiminde gözle görülür bir basınç kayıp değişimi olmamıştır.

4.3 SINIR TABAKA KALINLIKLARININ YORUMU

Daha önce belirtildiği gibi sınır tabaka kalınlıkları yaklaşık olarak hesaplandı (Tablo. 8). Tablo. 8 de ki değerlerden görüleceği üzere Re sayısının artmasıyla sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır. Bu azalma hız eğrilerinde de görülmektedir.

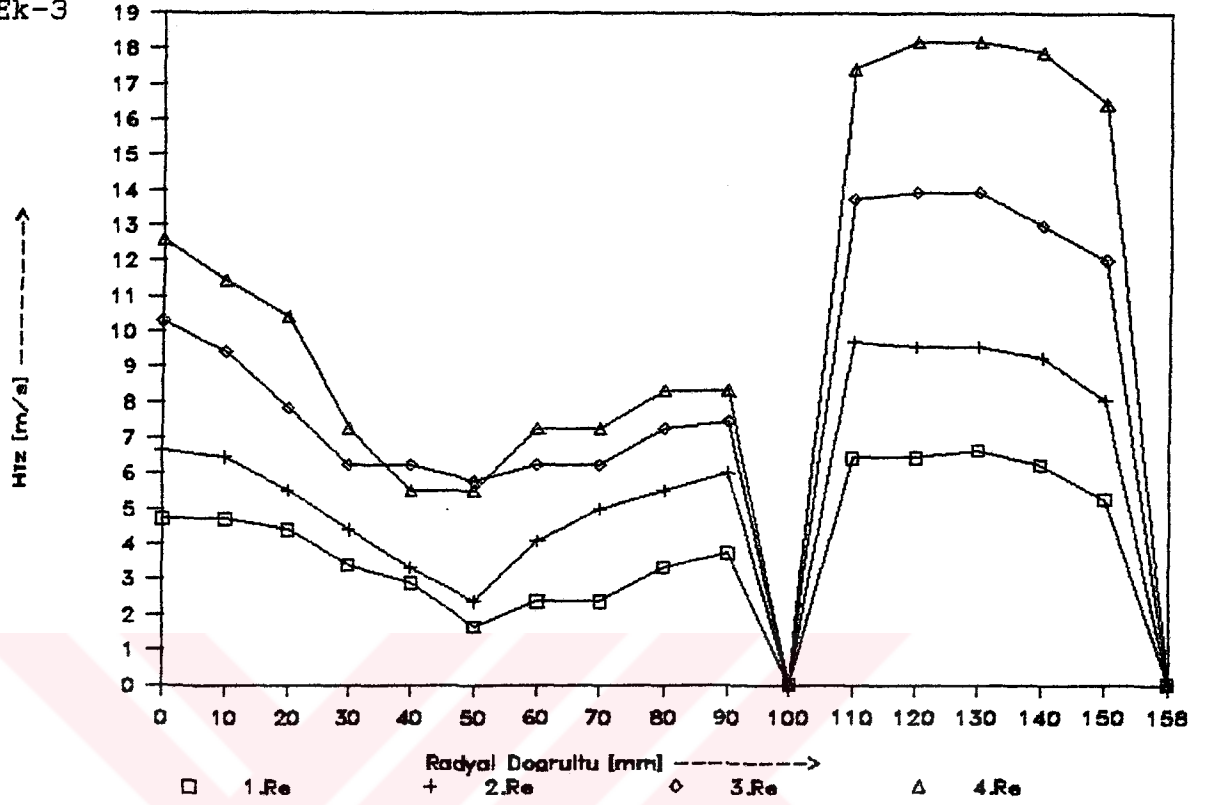


Sekil 4.1 1.Konum 1.istasyondaki hız profilleri



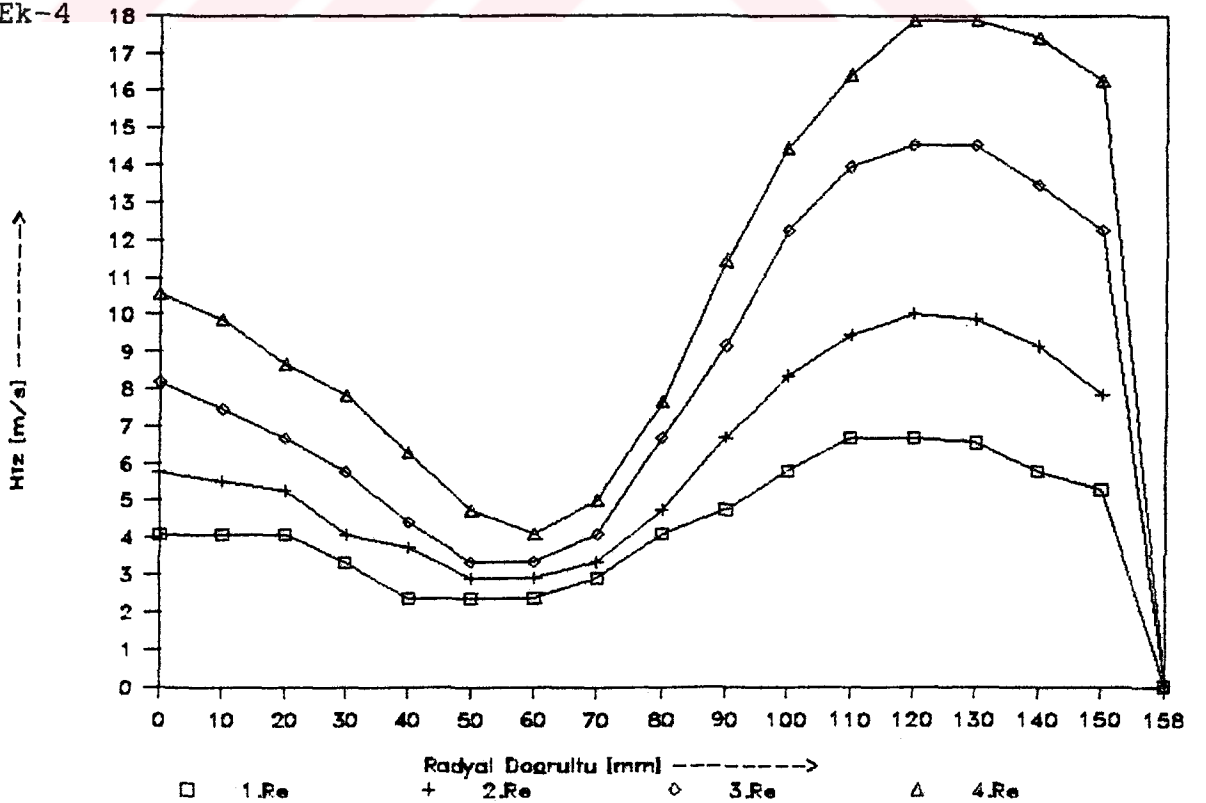
Sekil 4.2 1.konum 2.istasyondaki hız profilleri

Ek-3

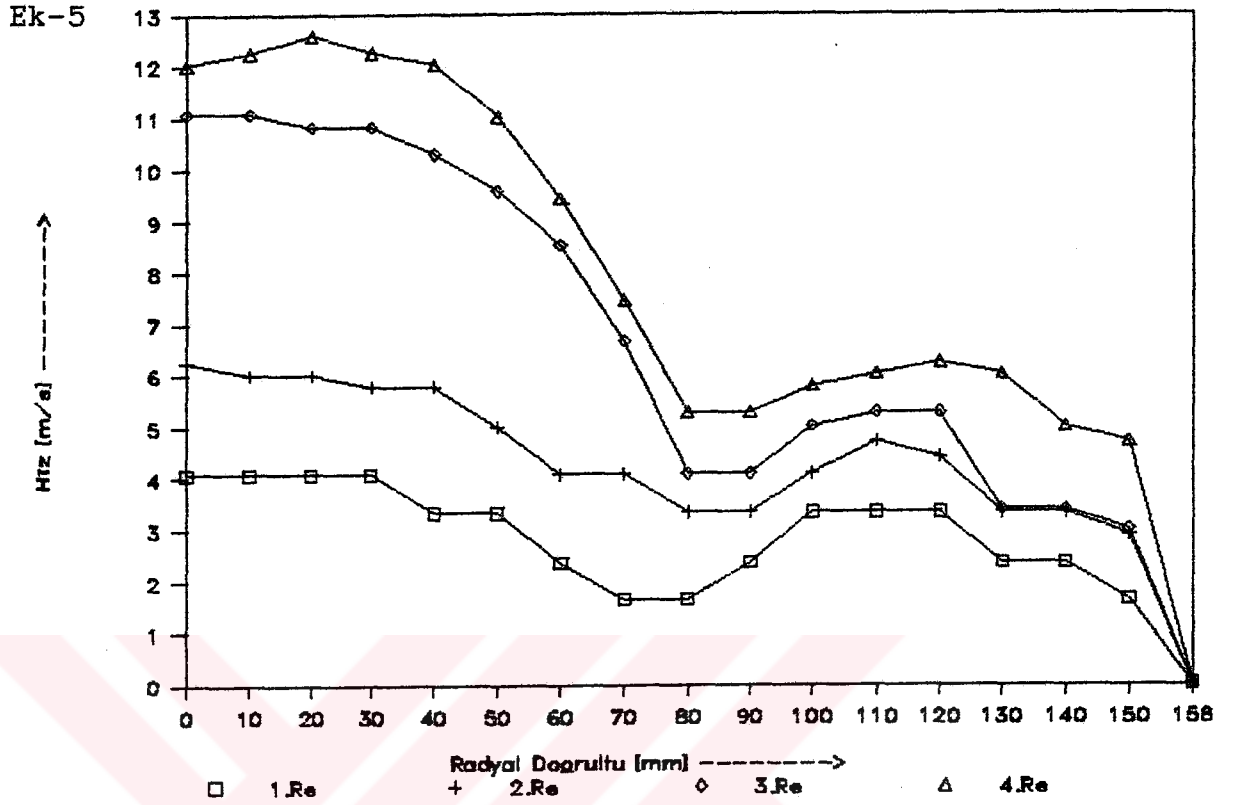


Sekil 4.3 1.konum 3.istasyondaki hız profilleri

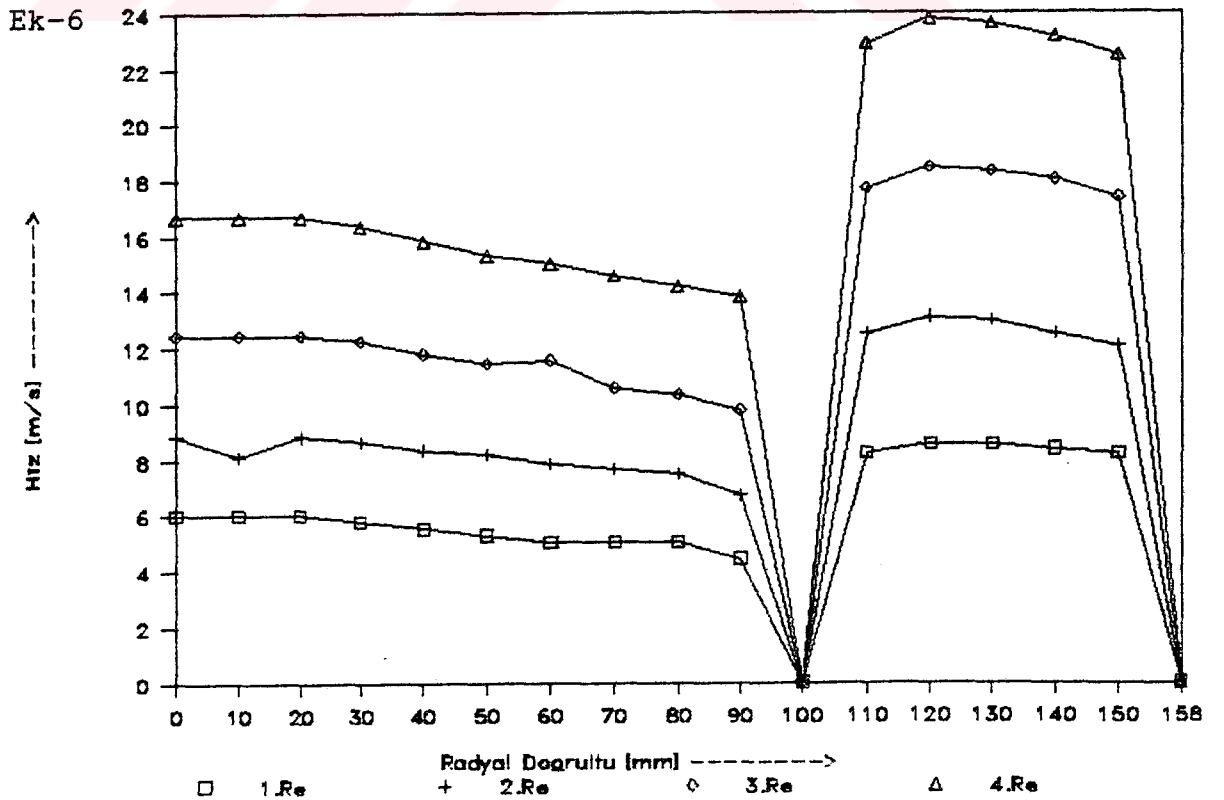
Ek-4



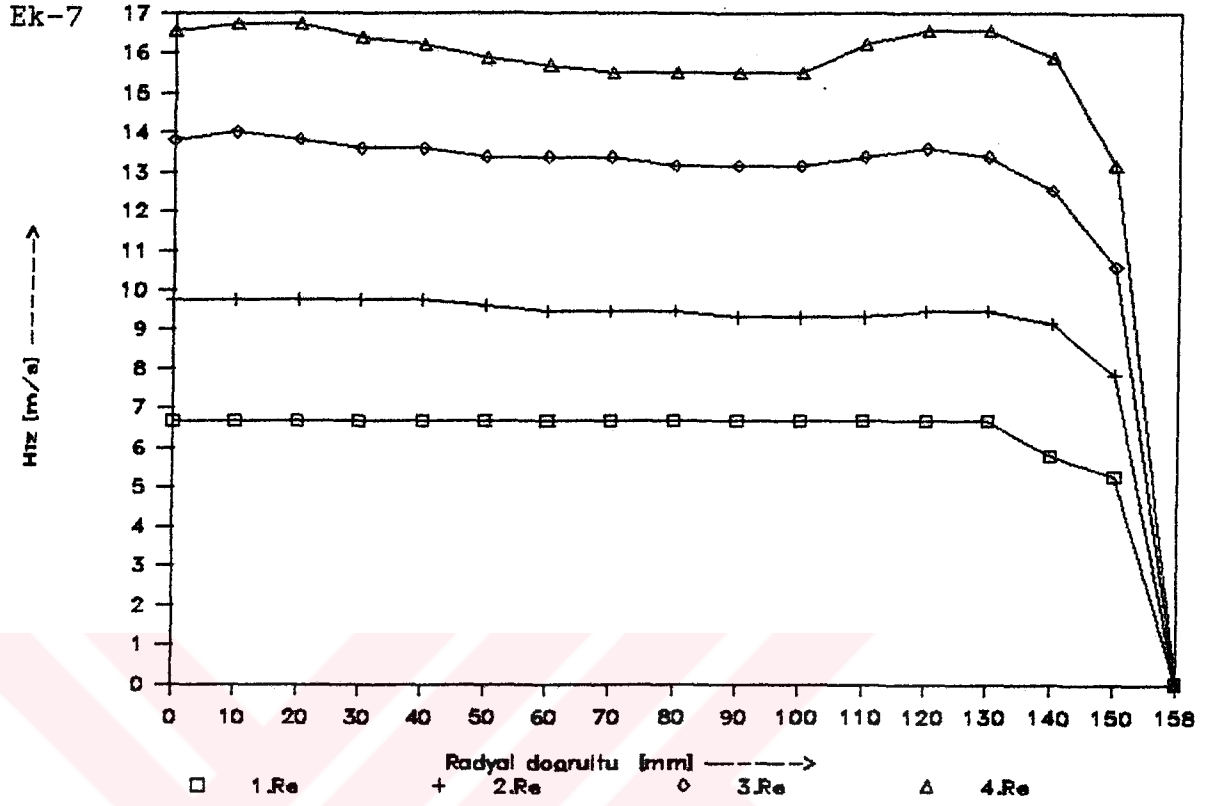
Sekil 4.4 1.konum 4.istasyondaki hız profilleri



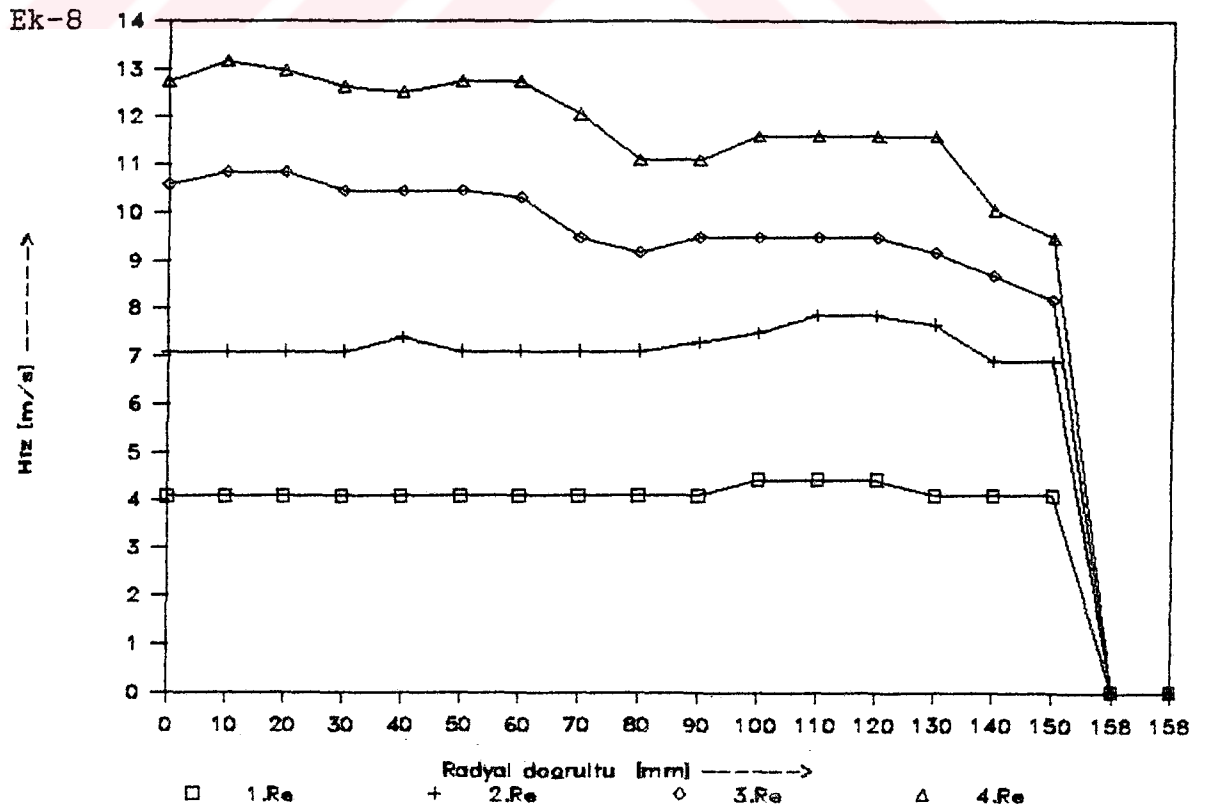
Sekil 4.5 1.konum 5.istasyondaki hız profilleri



Sekil 4.6 1.Konum 6.istasyondaki hız profilleri

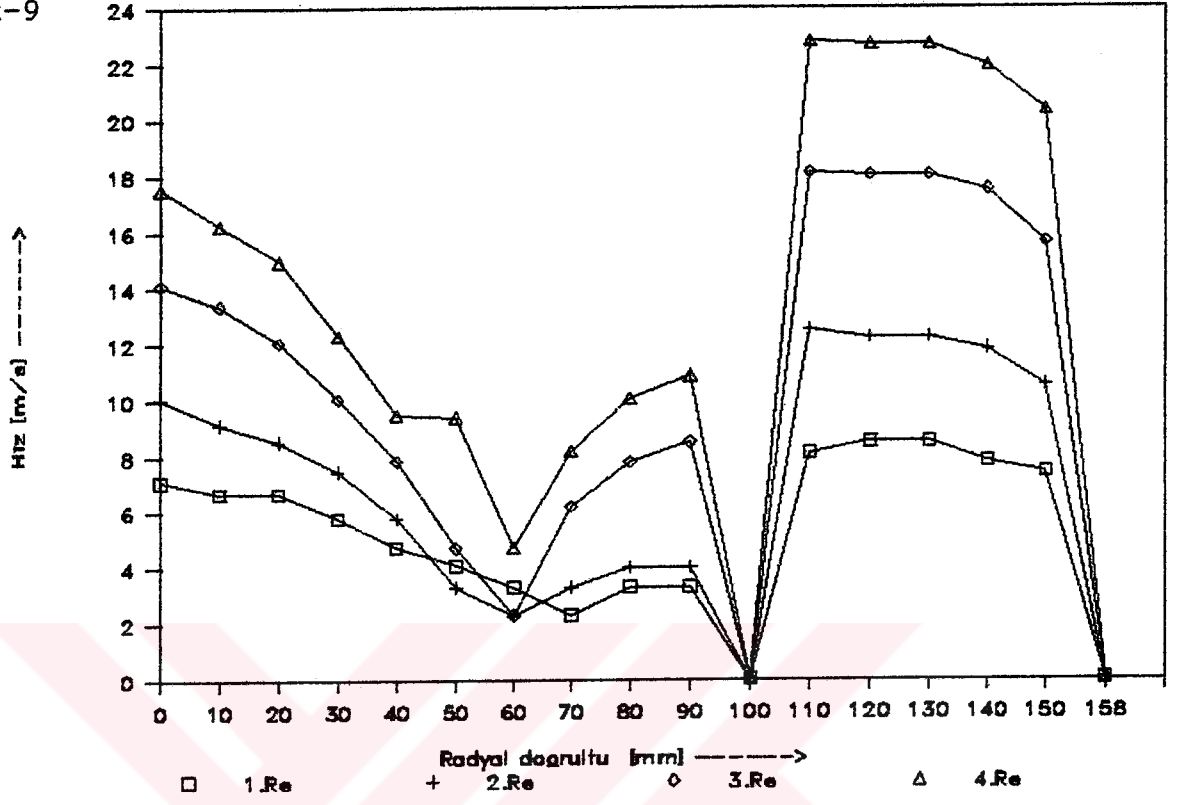


Şekil 4.7 2.konum 1.istasyondaki hız profilleri



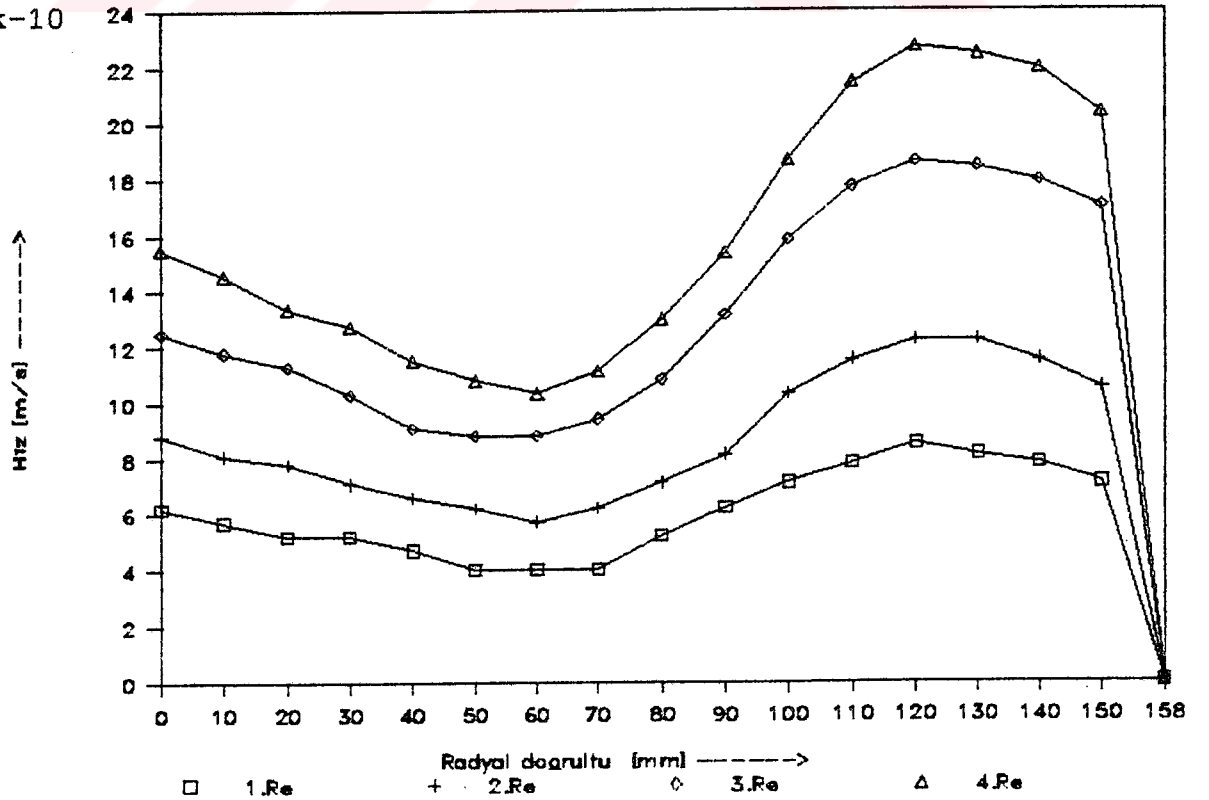
Şekil 4.8 2.konum 2.istasyondaki hız profilleri

Ek-9



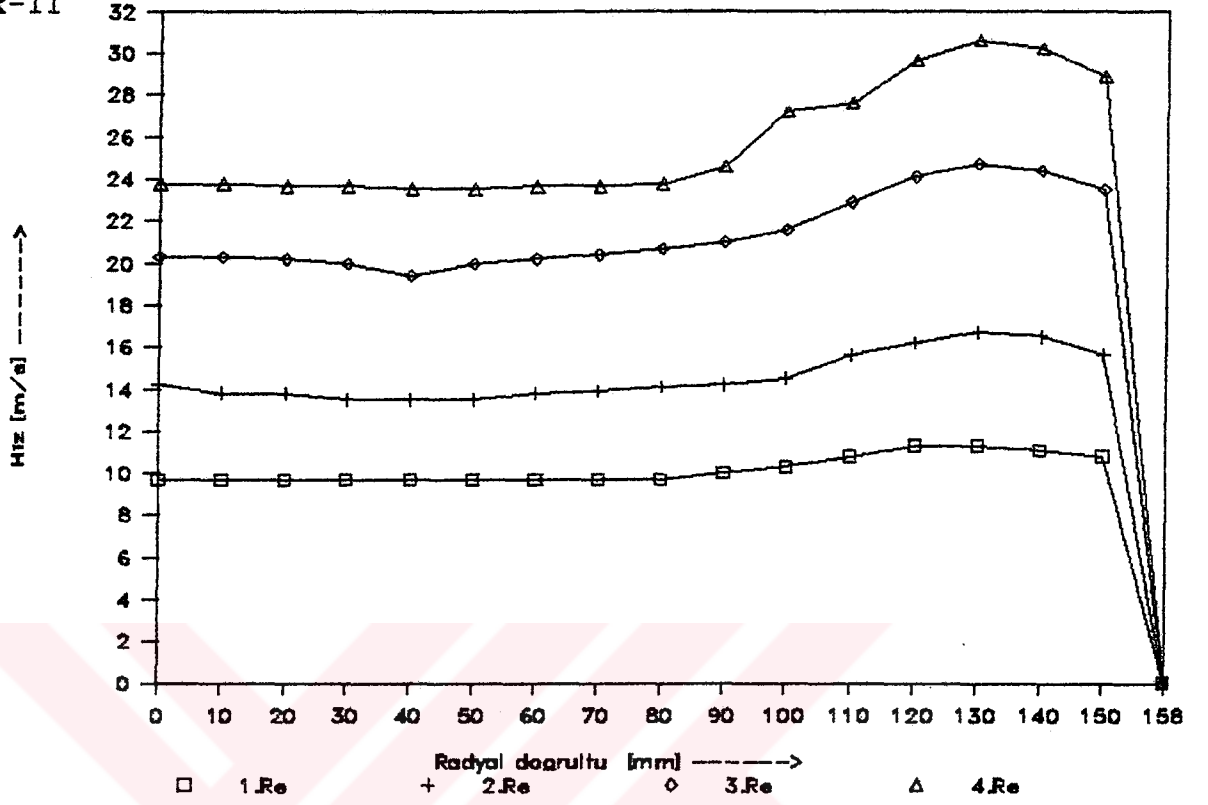
Şekil 4.9 2.konum 3.istasyondaki hız profilleri

Ek-10



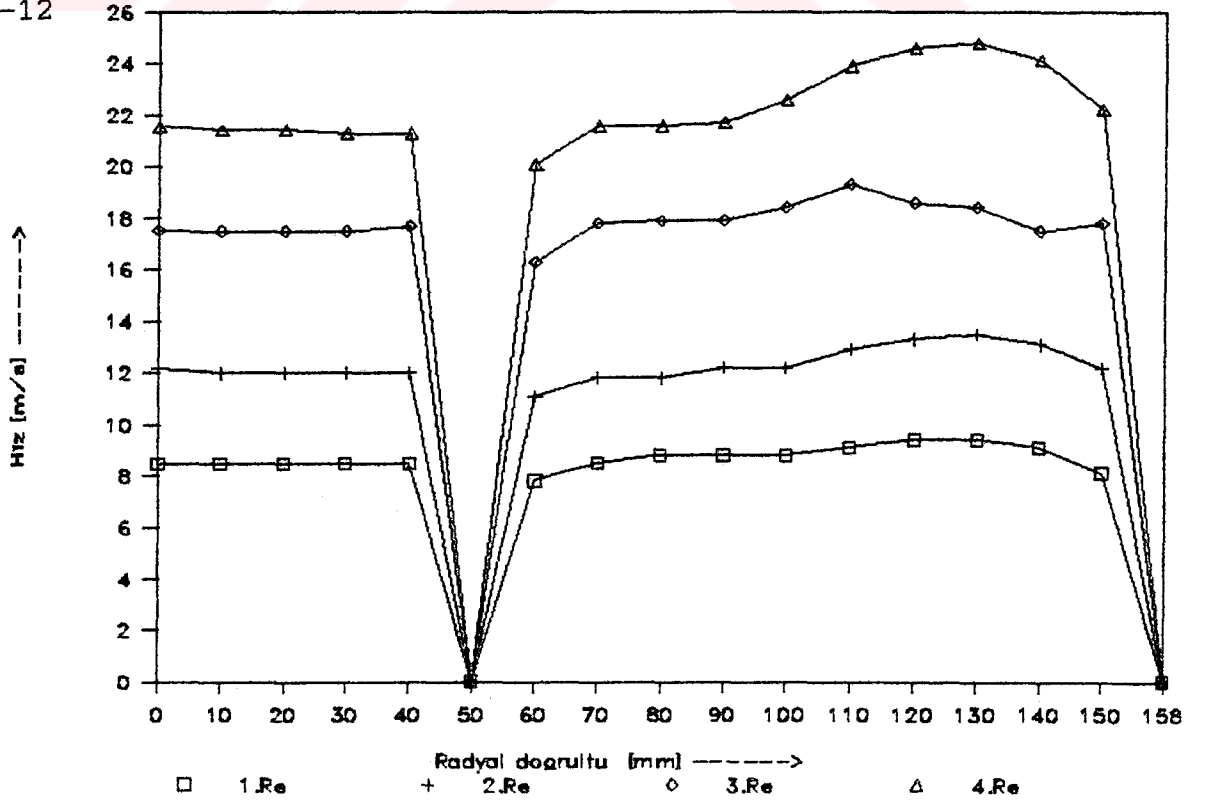
Şekil 4.10 2.konum 4.istasyondaki hız profilleri

Ek-11

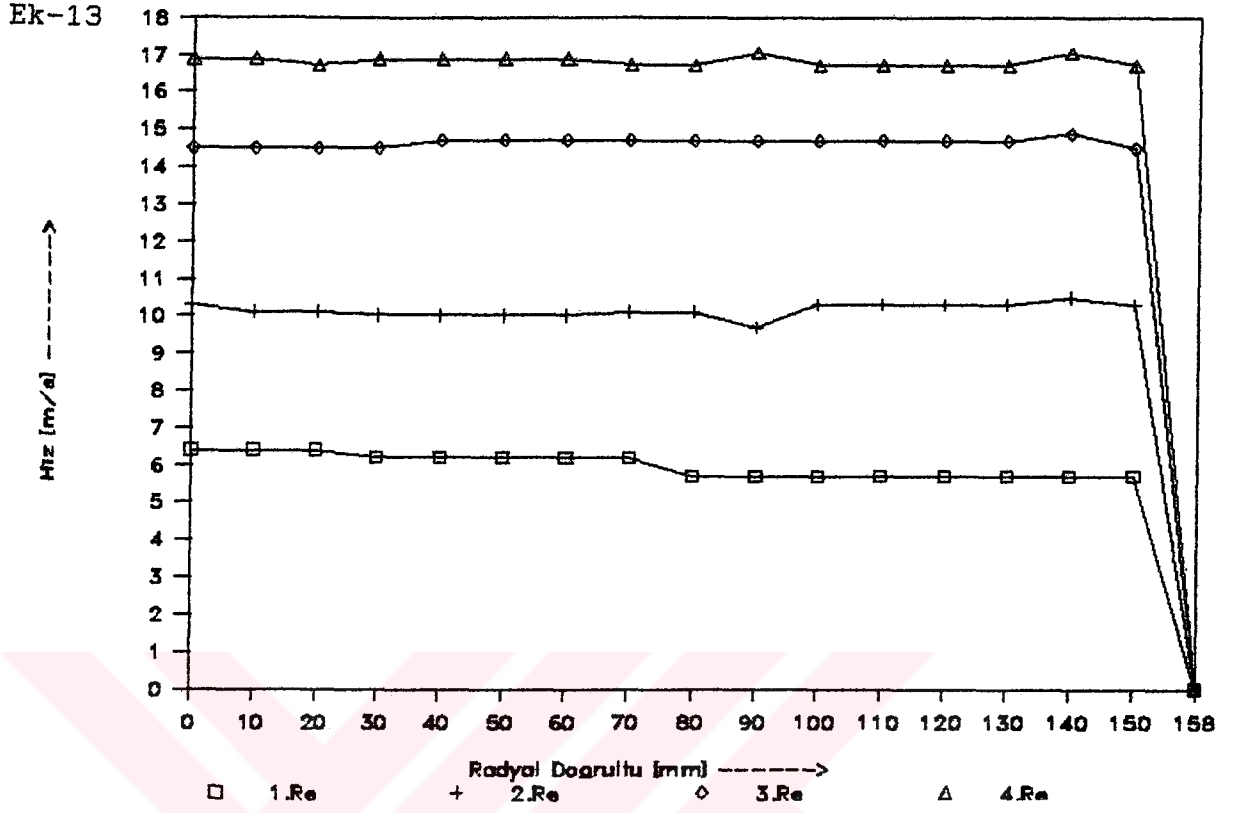


Sekil 4.11 2.konum 5.istasyondaki hız profilleri

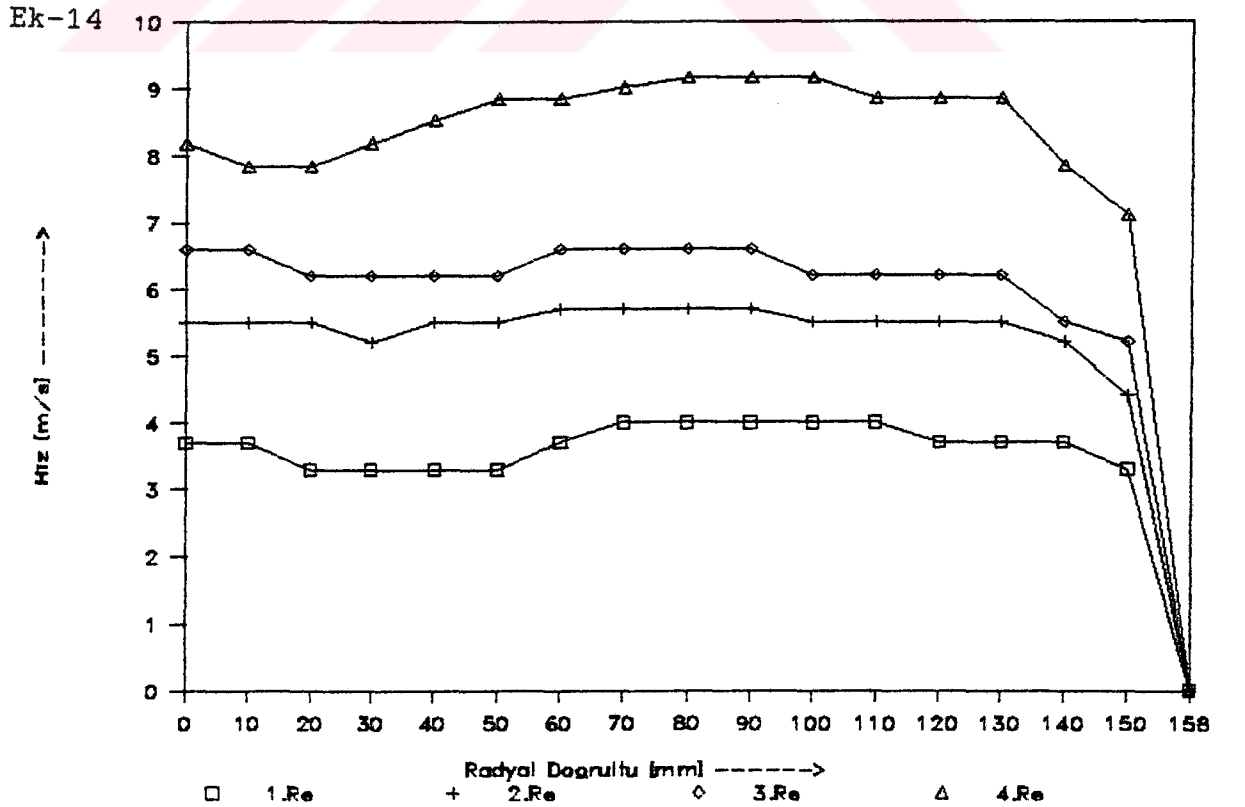
Ek-12



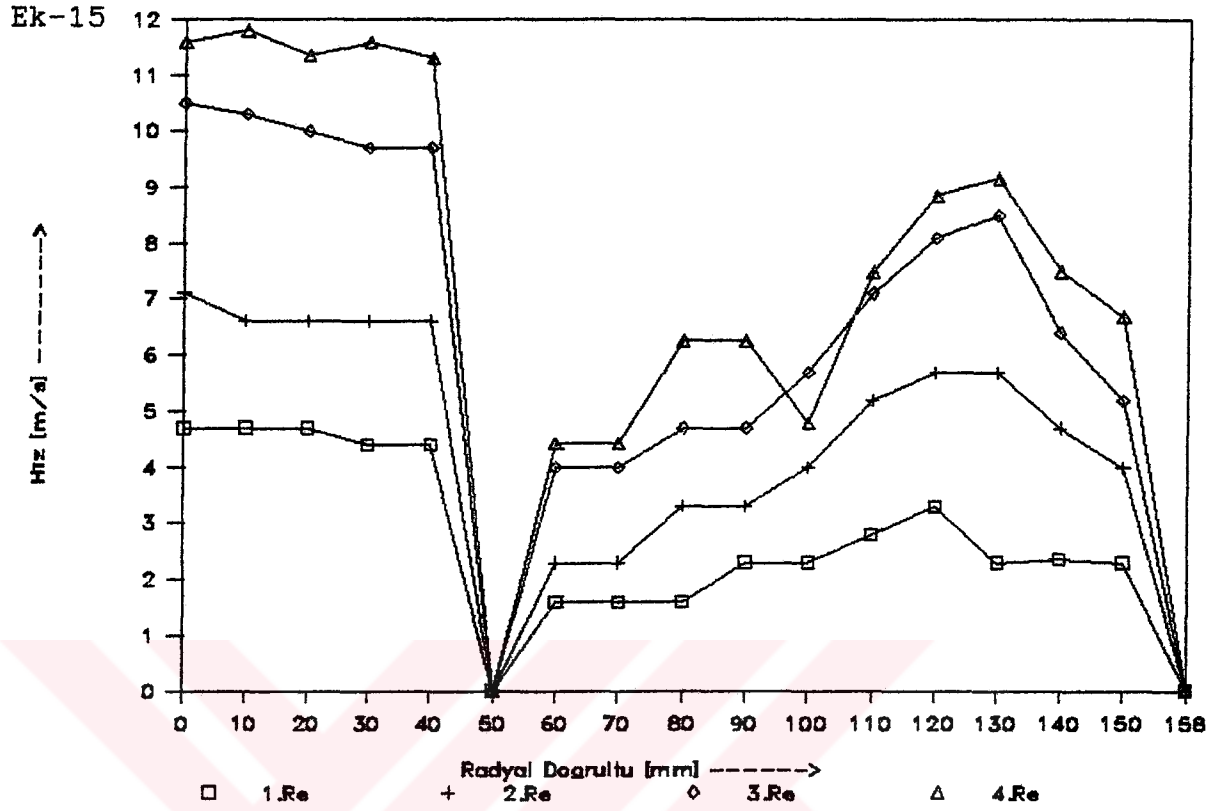
Sekil 4.12 2.konum 6.istasyondaki hız profilleri



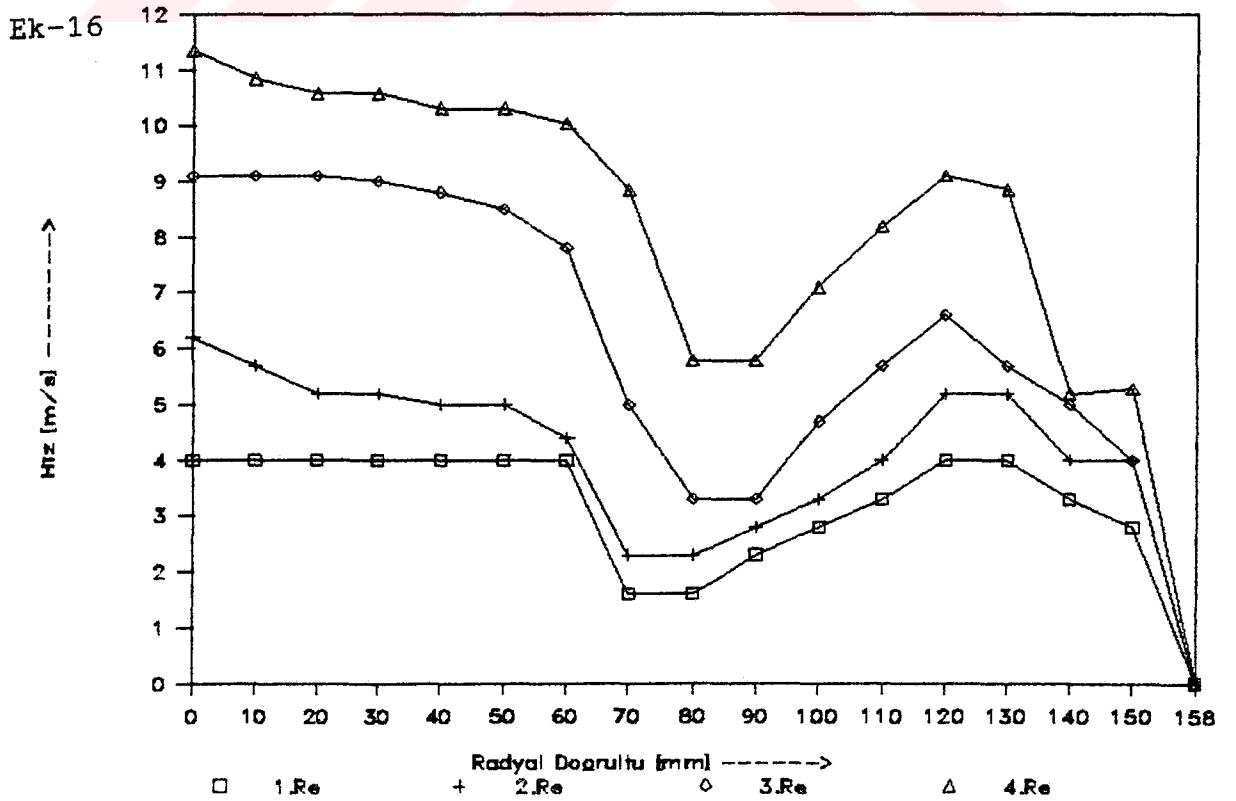
Şekil 4.13 3.konum 1.istasyondaki hız profilleri



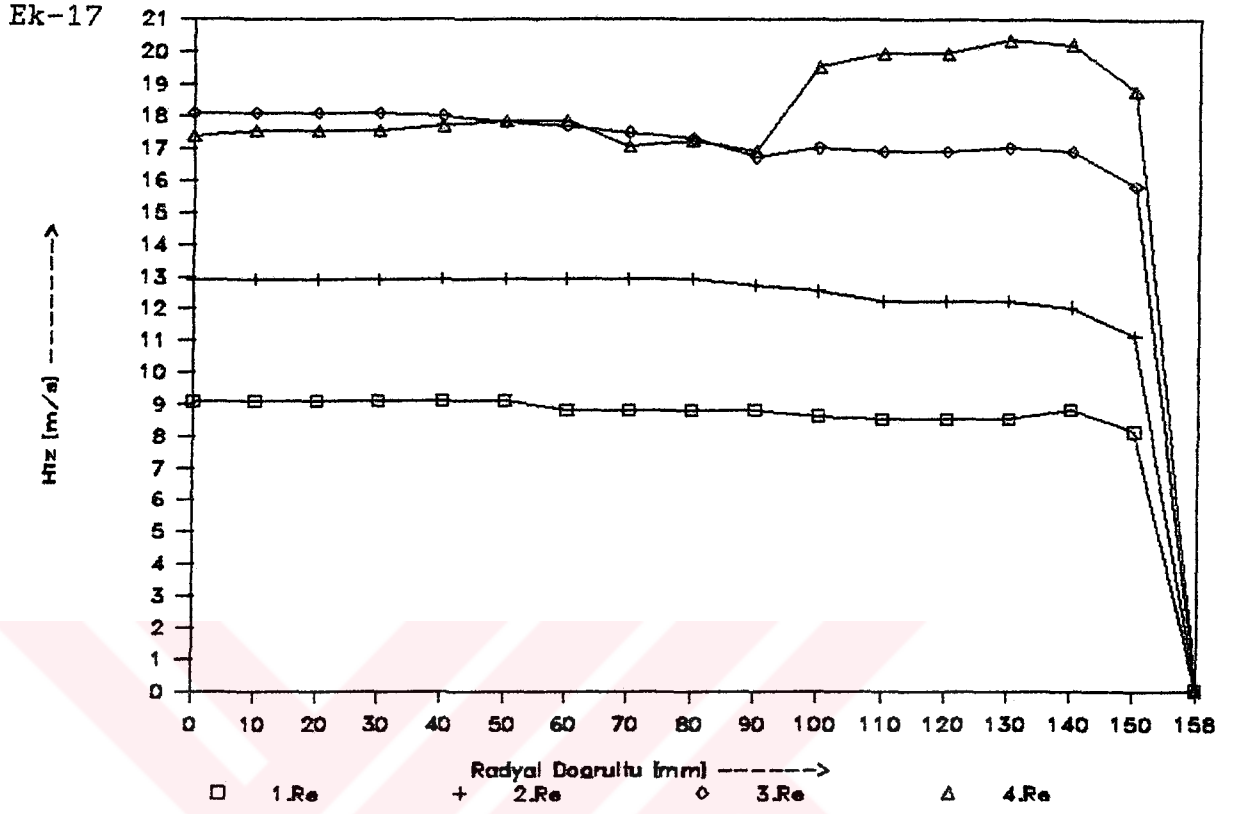
Şekil 4.14 3.konum 2.istasyondaki hız profilleri



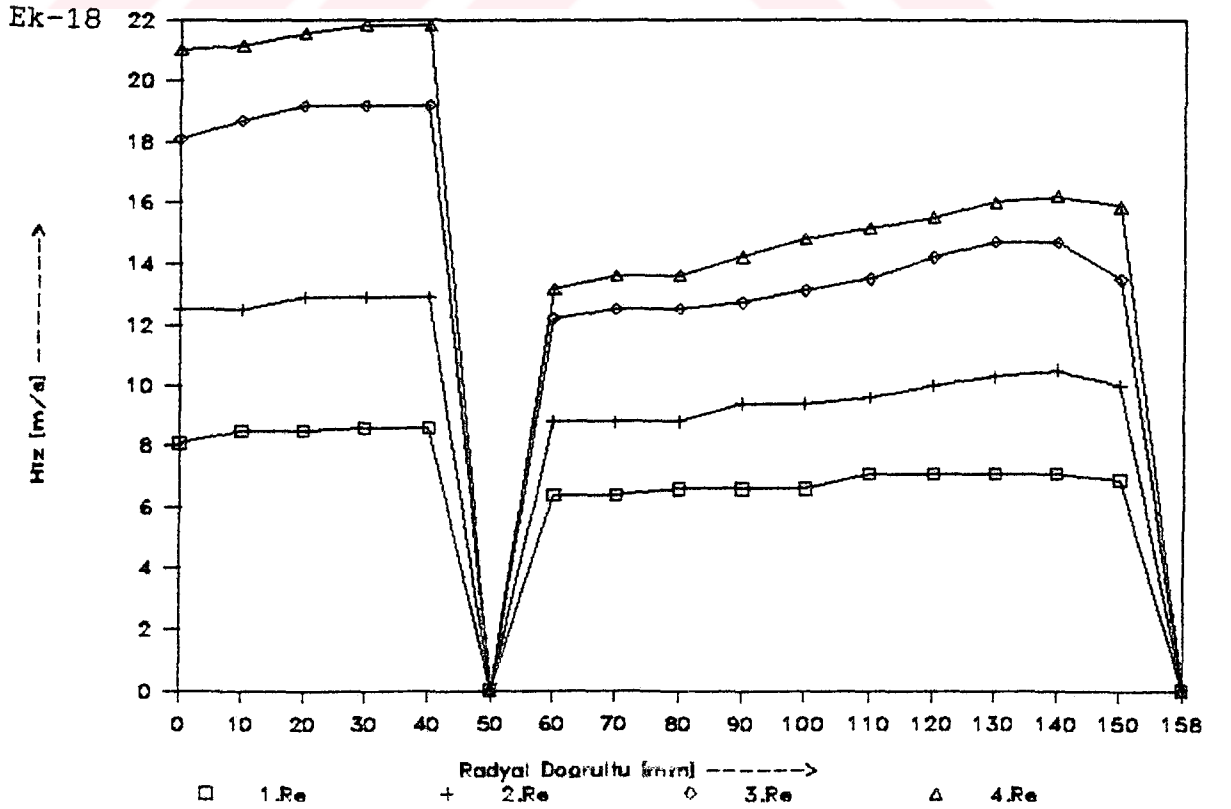
Şekil 4.15 3.konum 3.istasyondaki hız profilleri



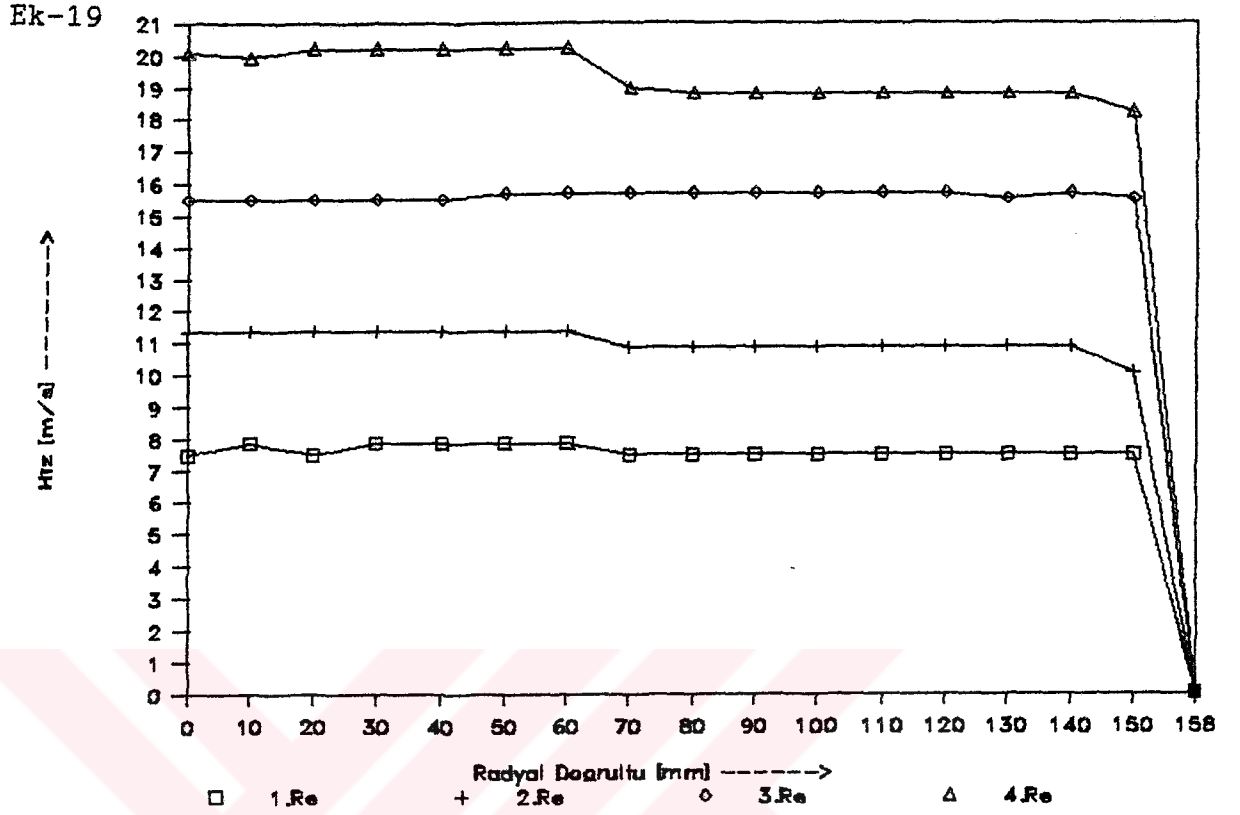
Şekil 4.16 3.konum 4.istasyondaki hız profilleri



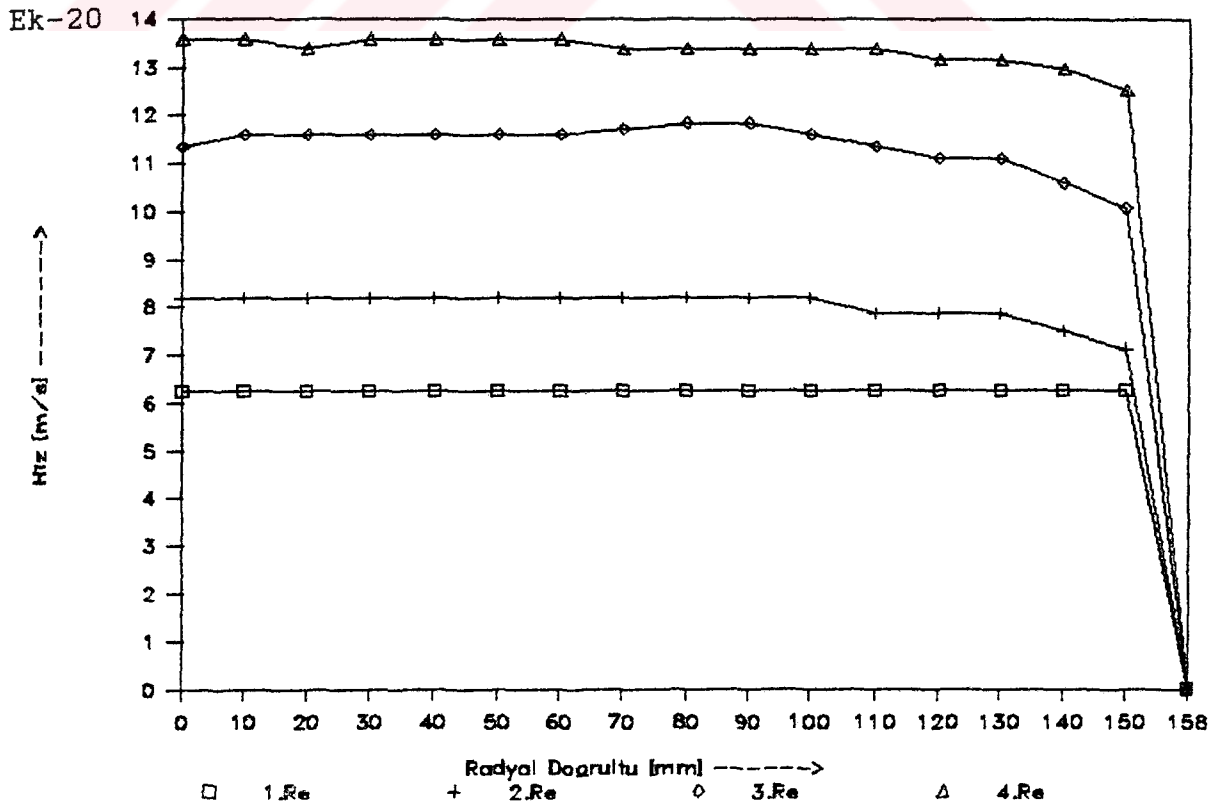
Şekil 4.17 3.konum 5.istasyondaki hız profilleri



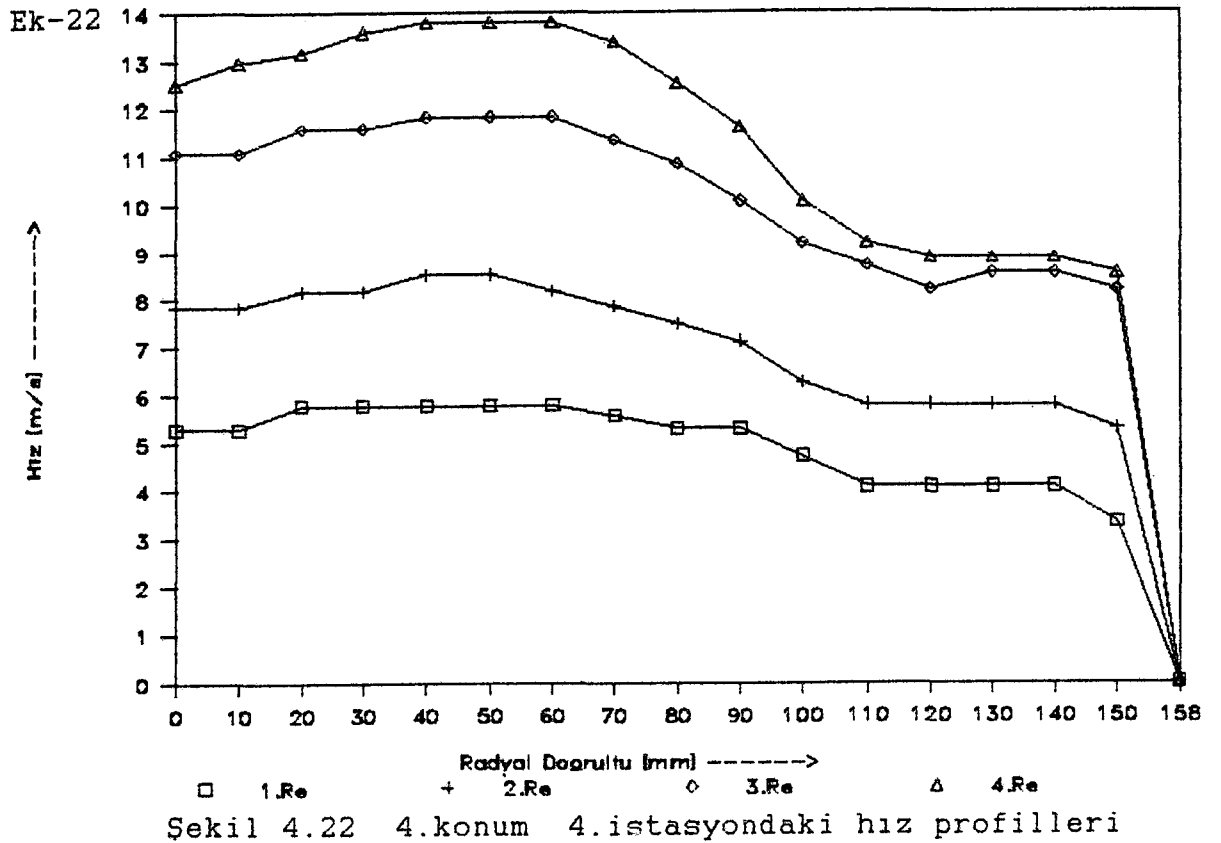
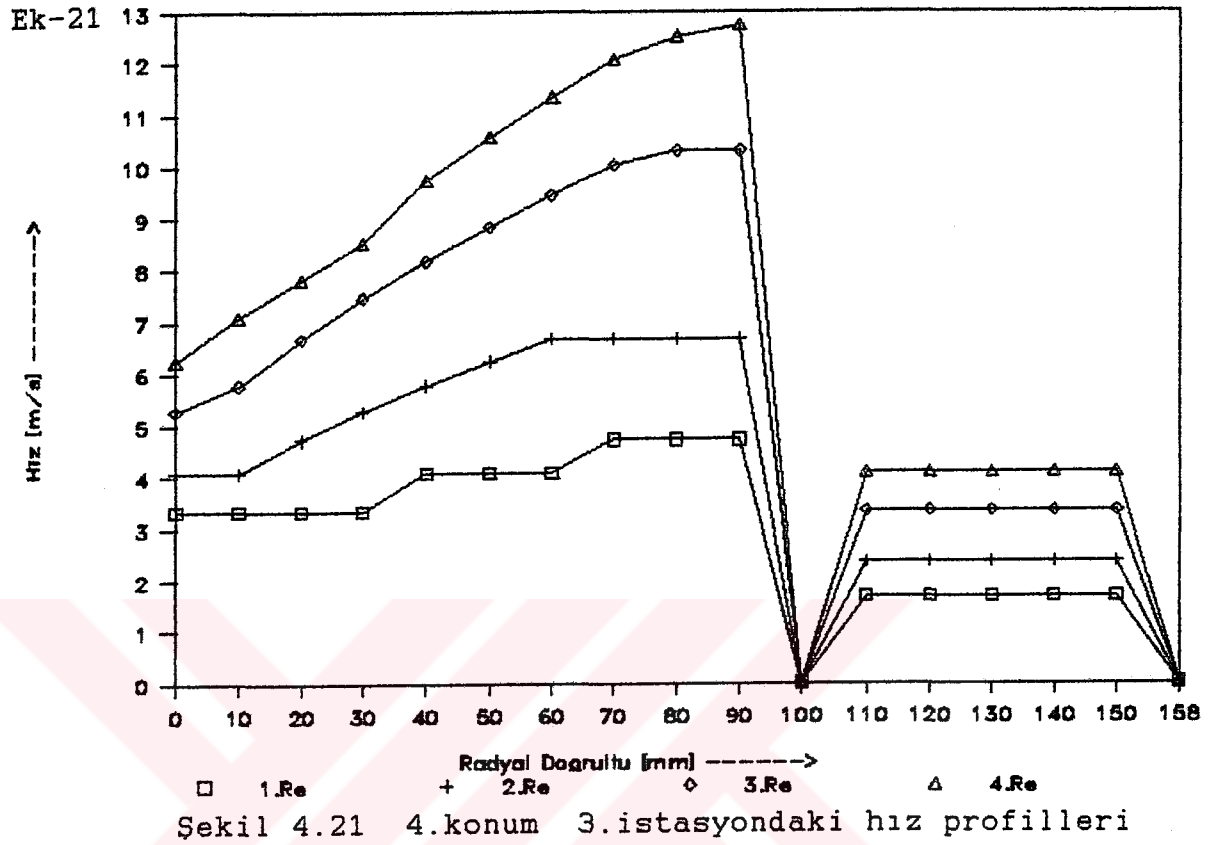
Şekil 4.18 3.konum 6.istasyondaki hız profilleri

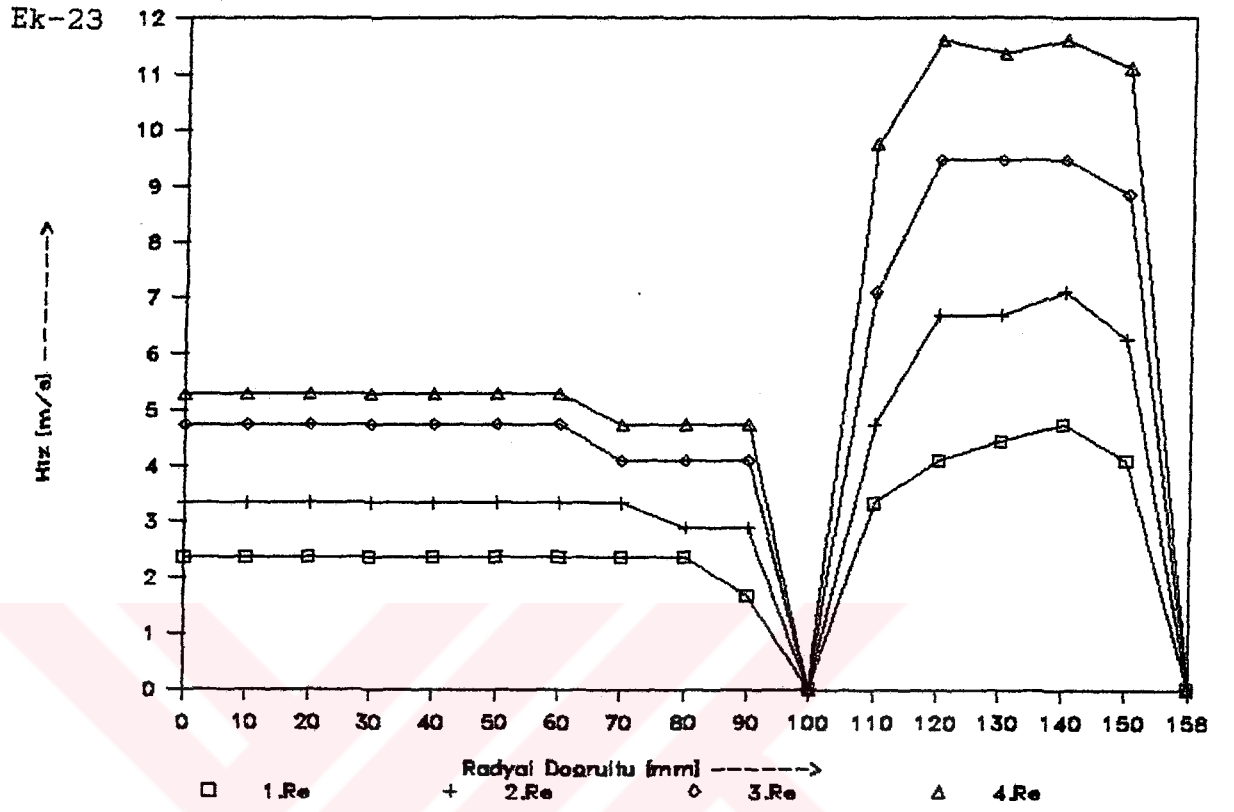


Şekil 4.19 4.konum 1.istasyondaki hız profilleri

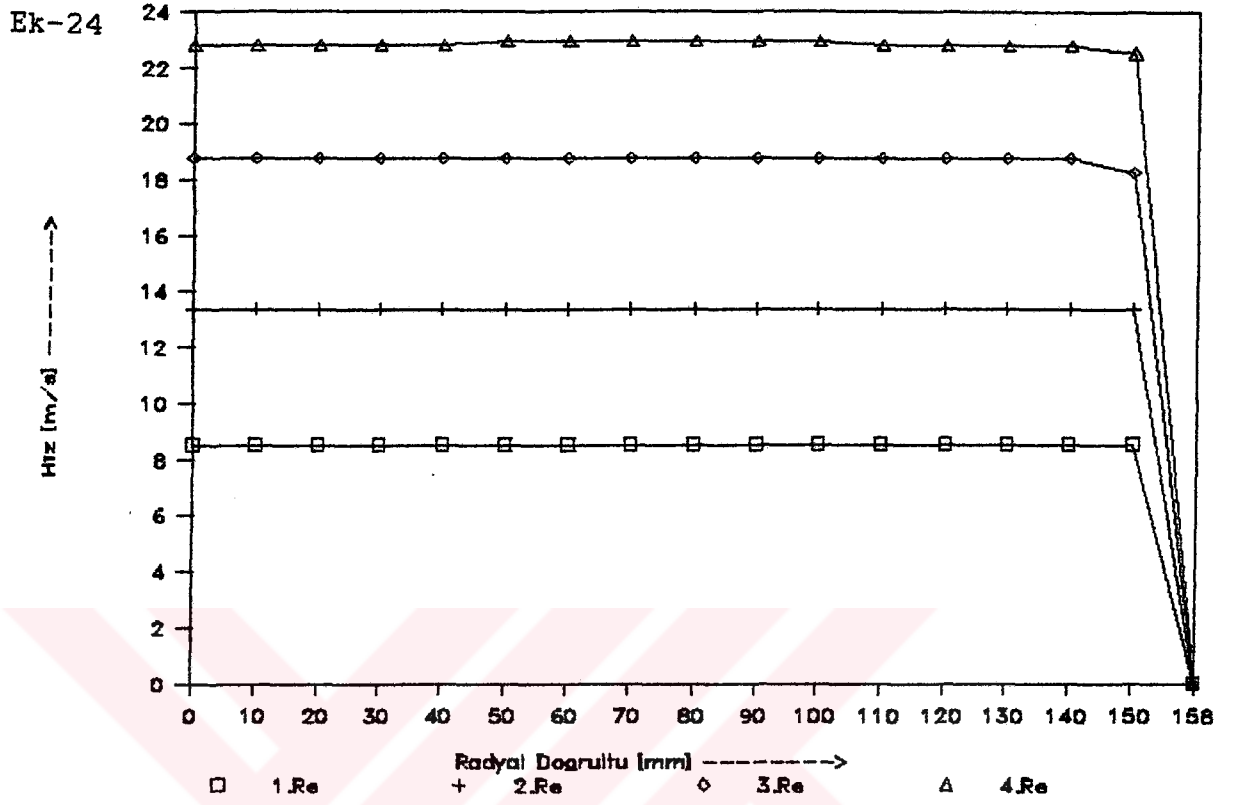


Şekil 4.20 4.konum 2.istasyondaki hız profilleri

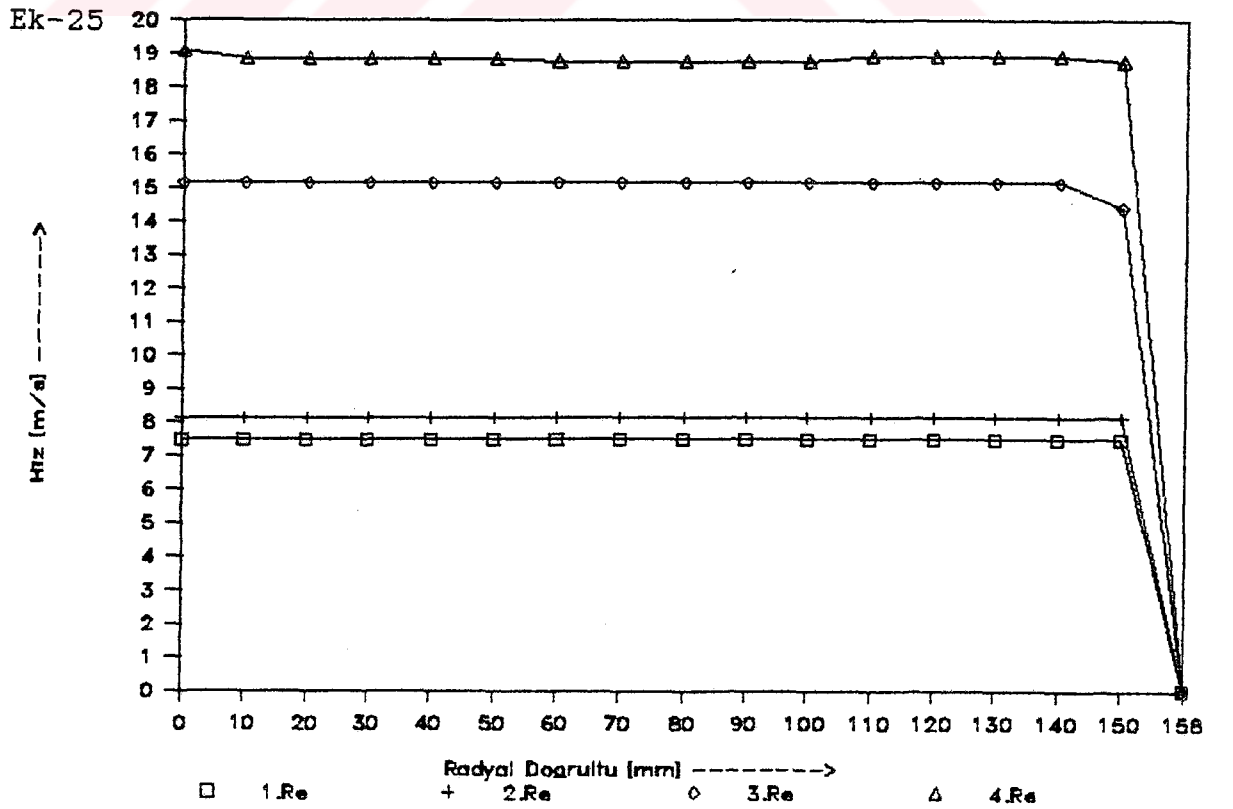




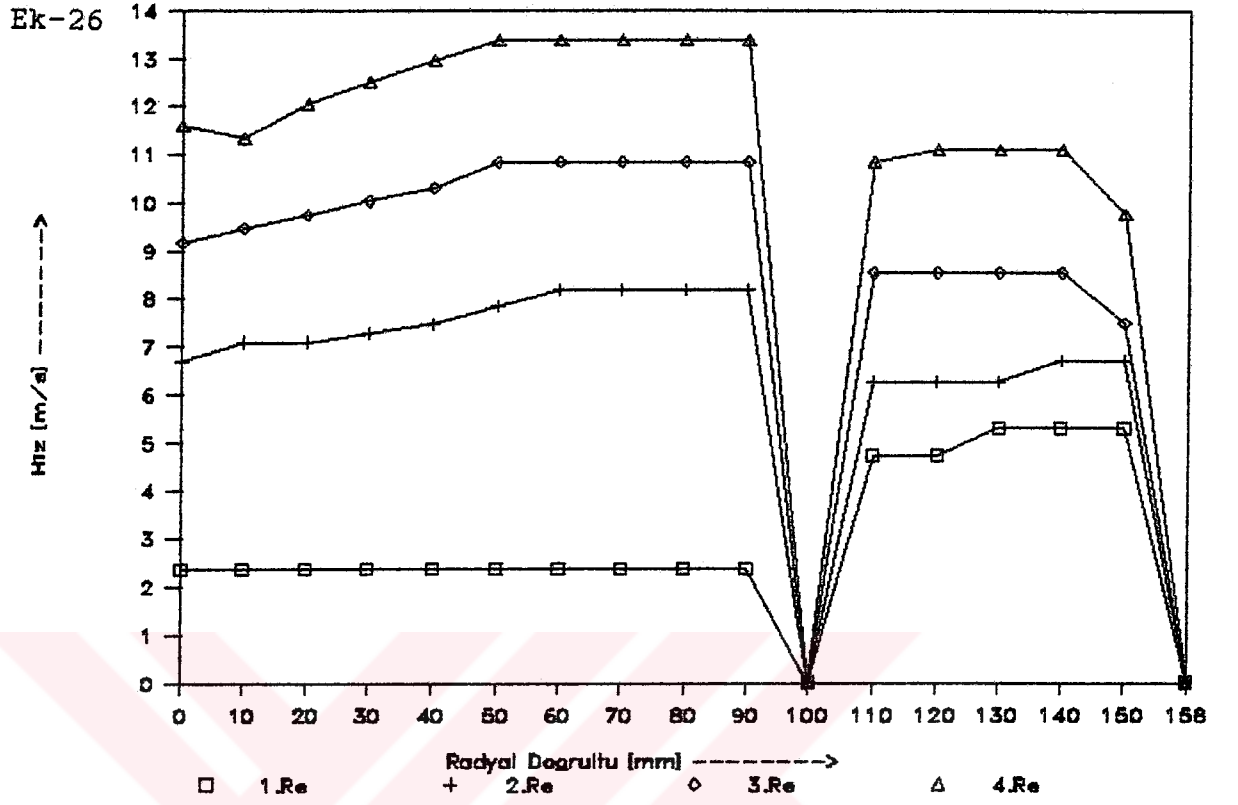
Şekil 4.23 4.konum 5.istasyondaki hız profilleri



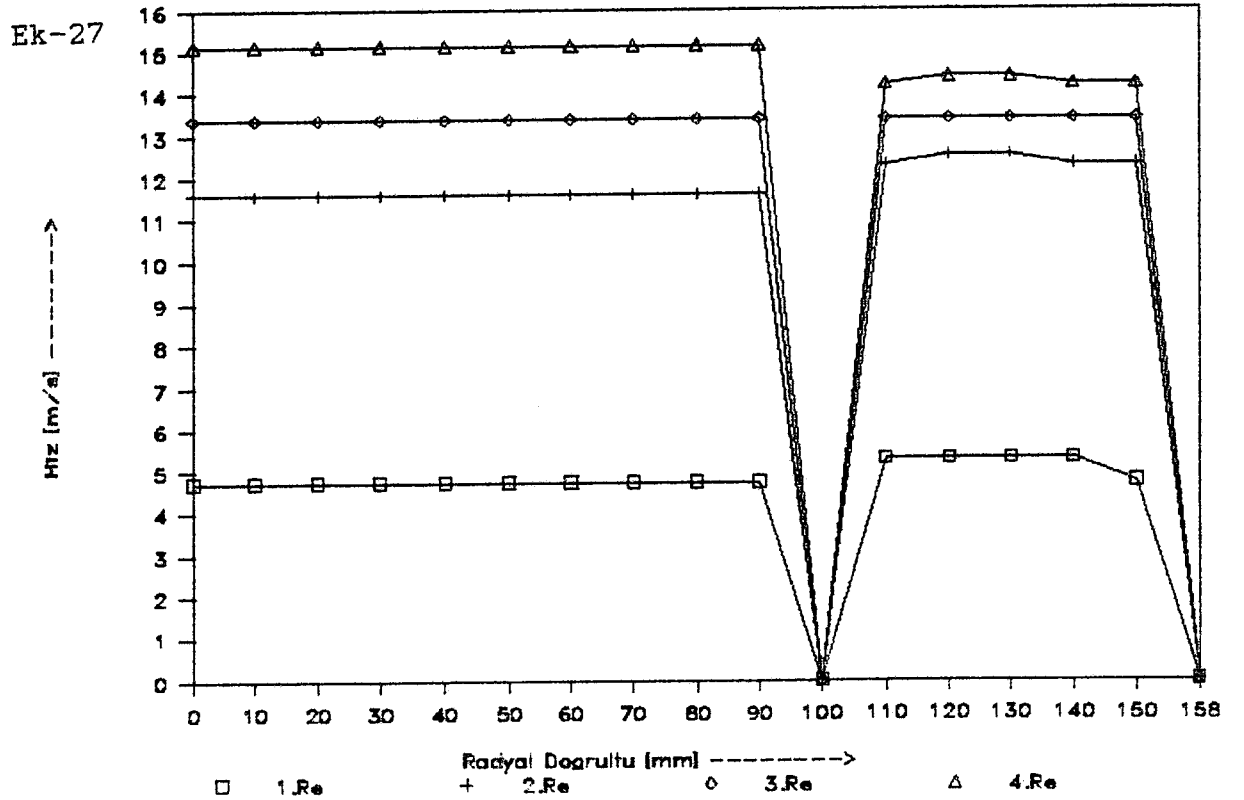
Şekil 4.24 5.konum 1.istasyondaki hız profilleri



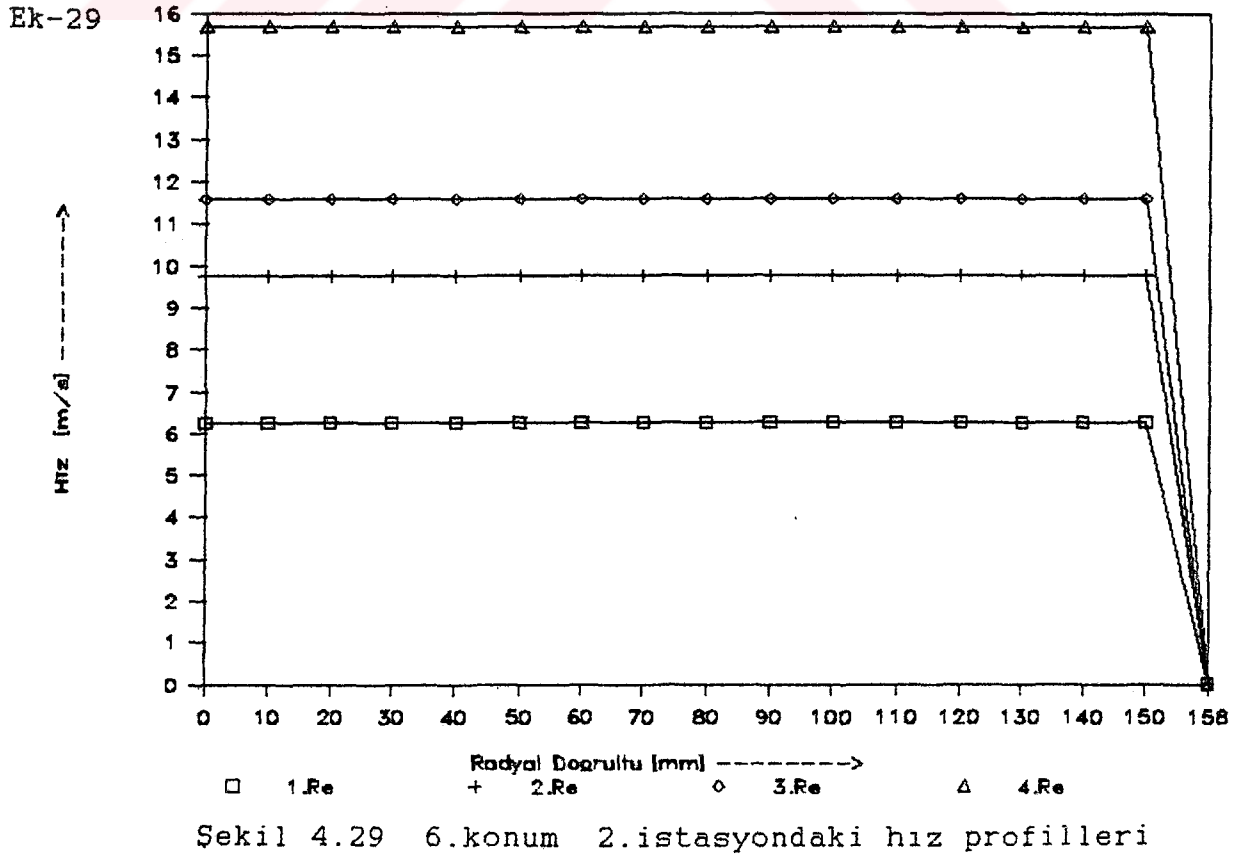
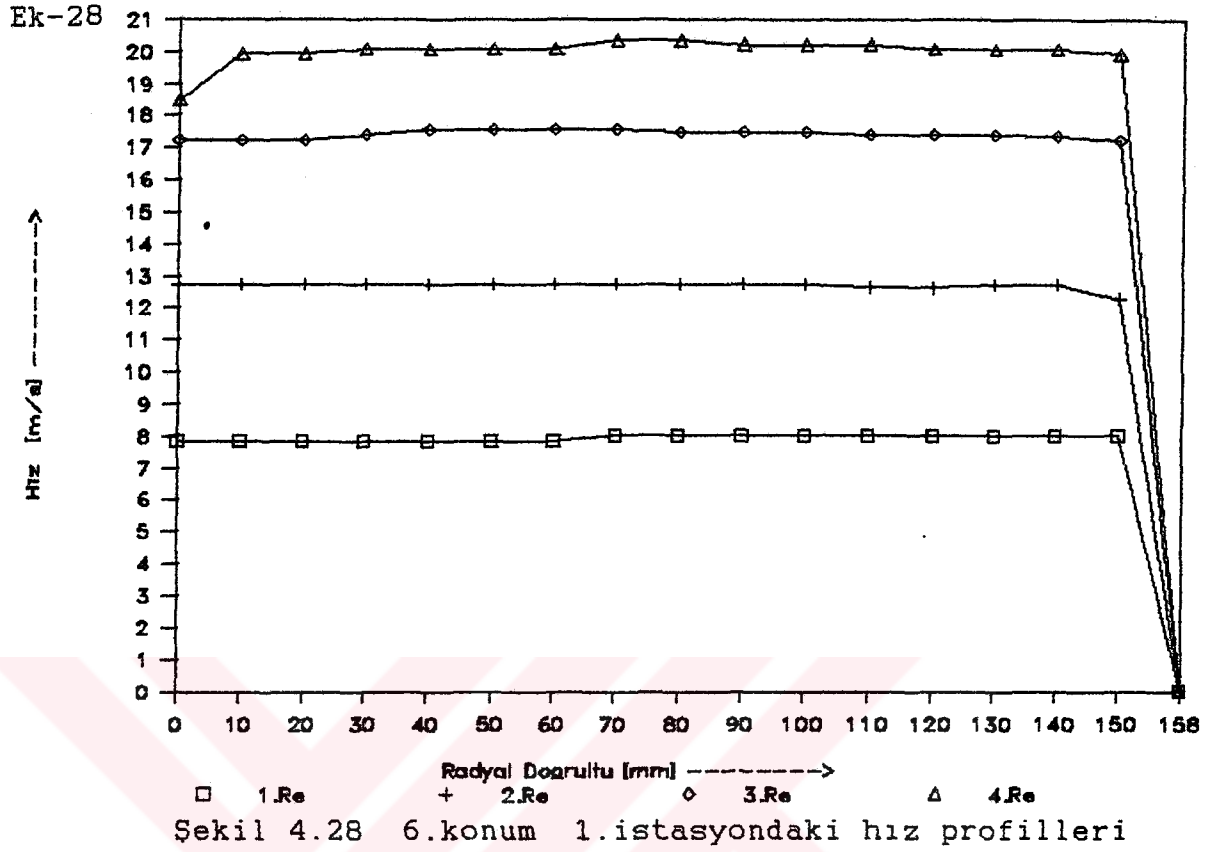
Şekil 4.25 5.konum 2.istasyondaki hız profilleri

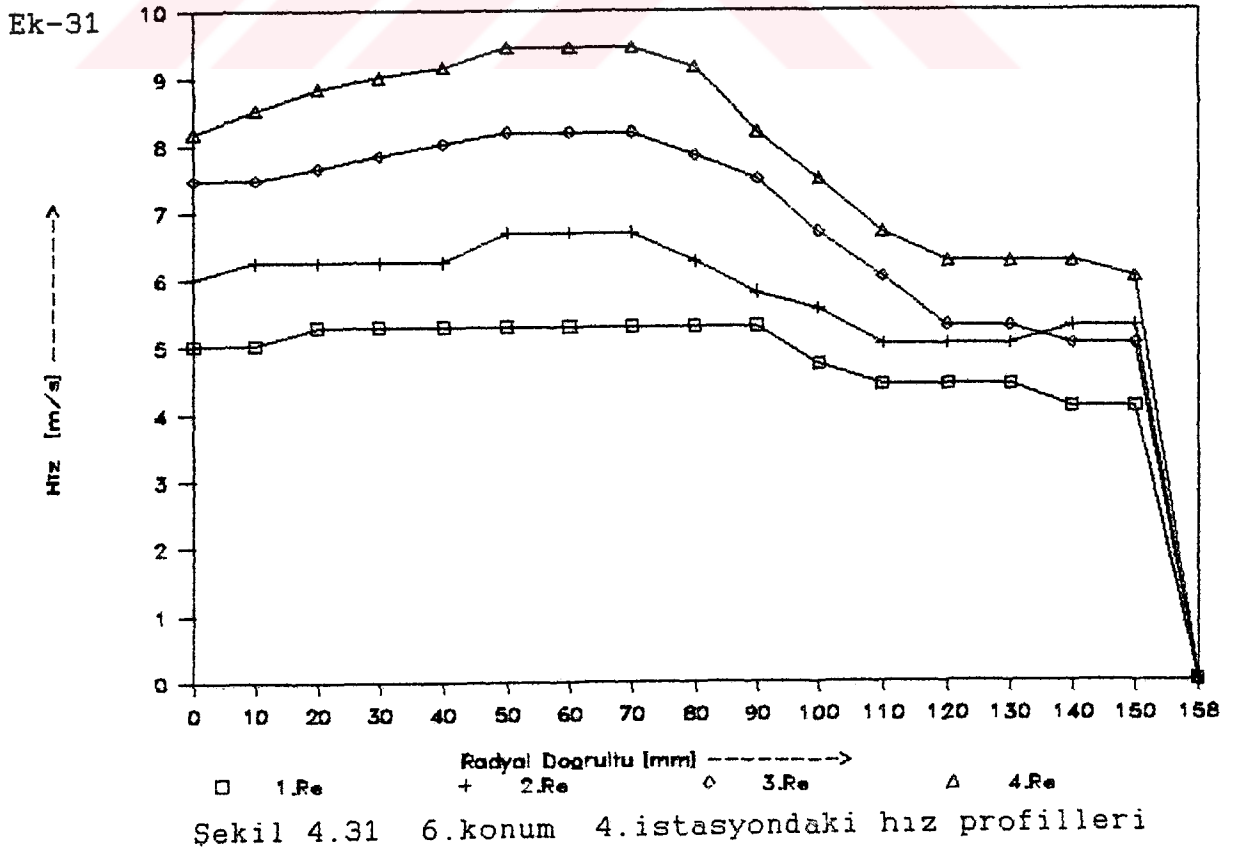
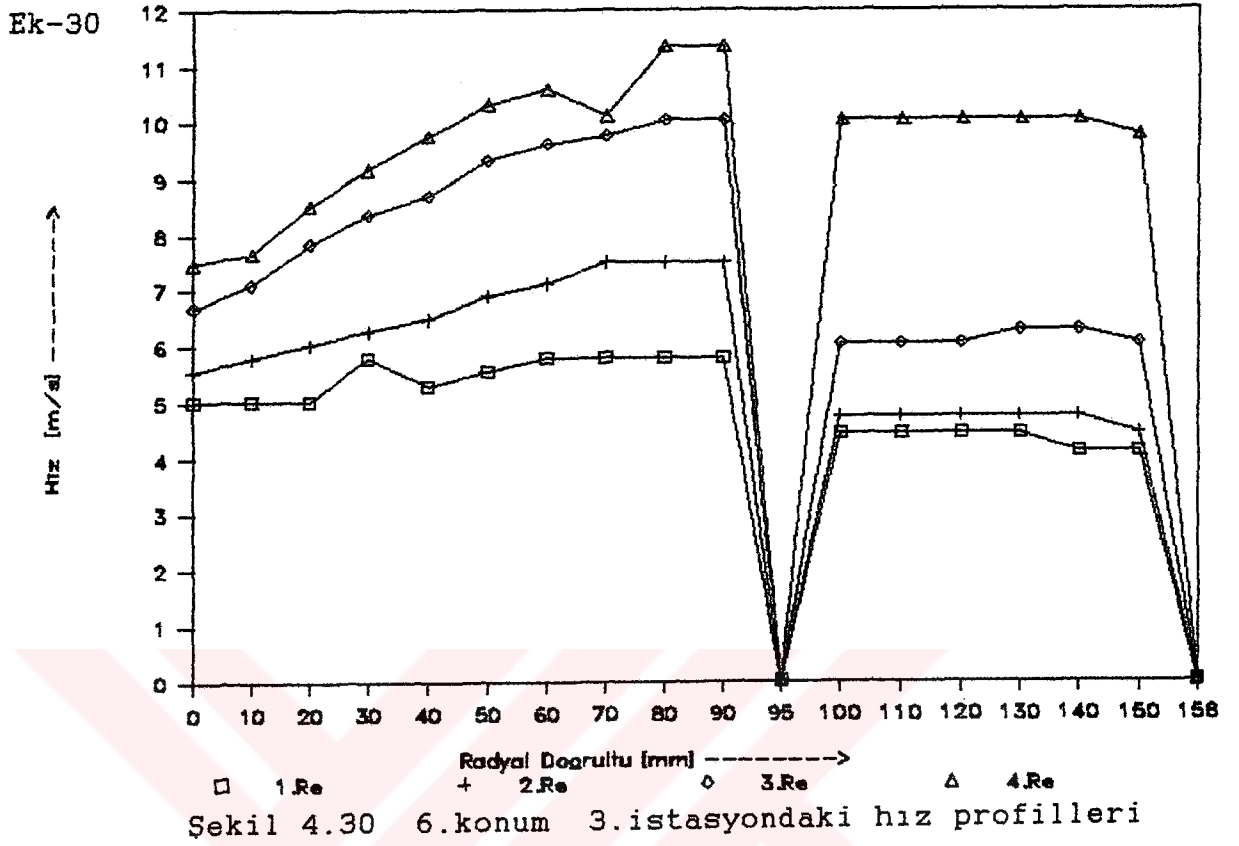


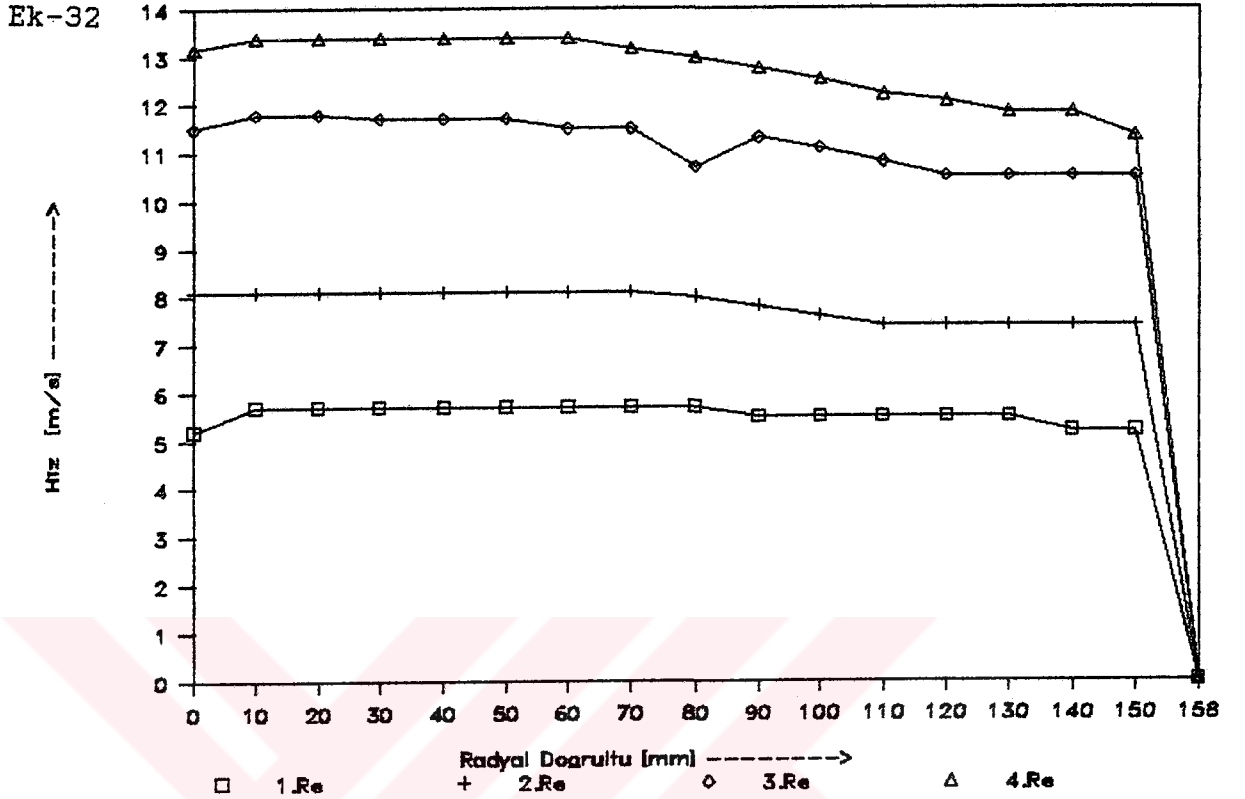
Şekil 4.26 5.konum 3.istasyondaki hız profilleri



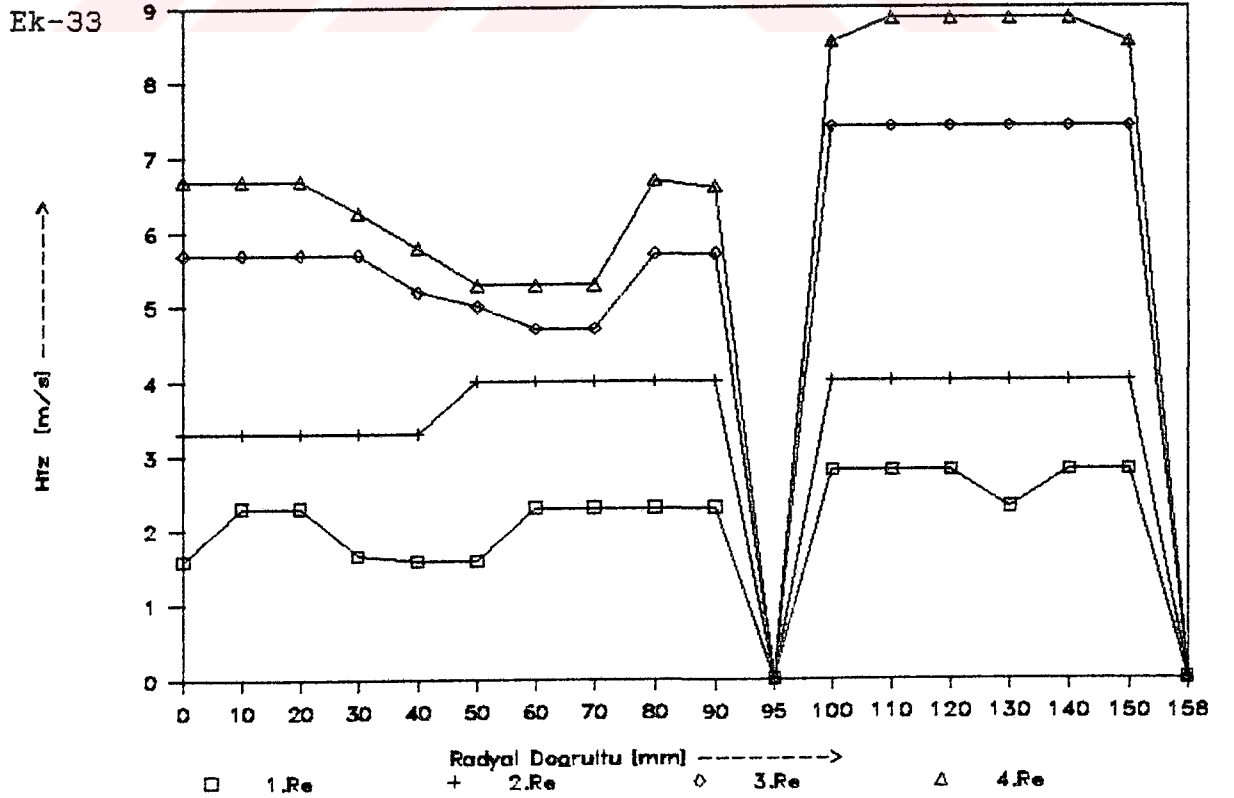
Şekil 4.27 5.konum 4.istasyondaki hız profilleri





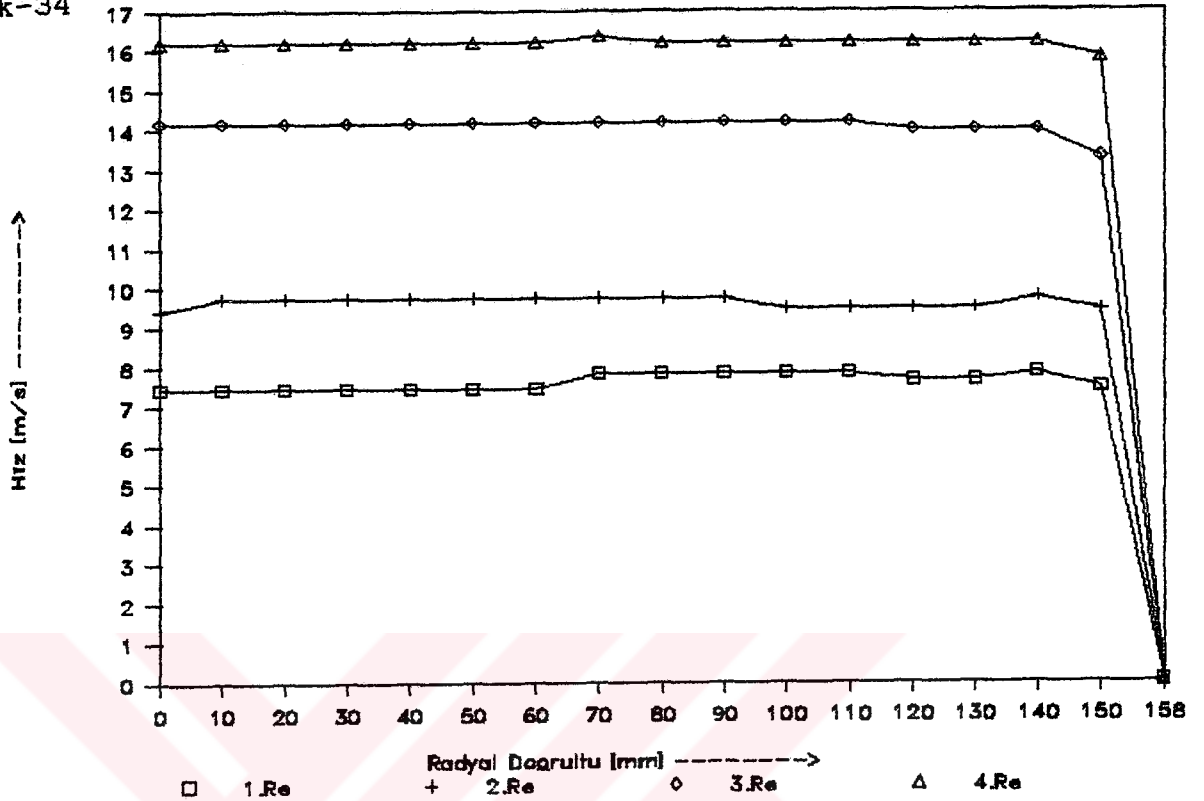


Şekil 4.32 6.konum 5.istasyondaki hız profilleri

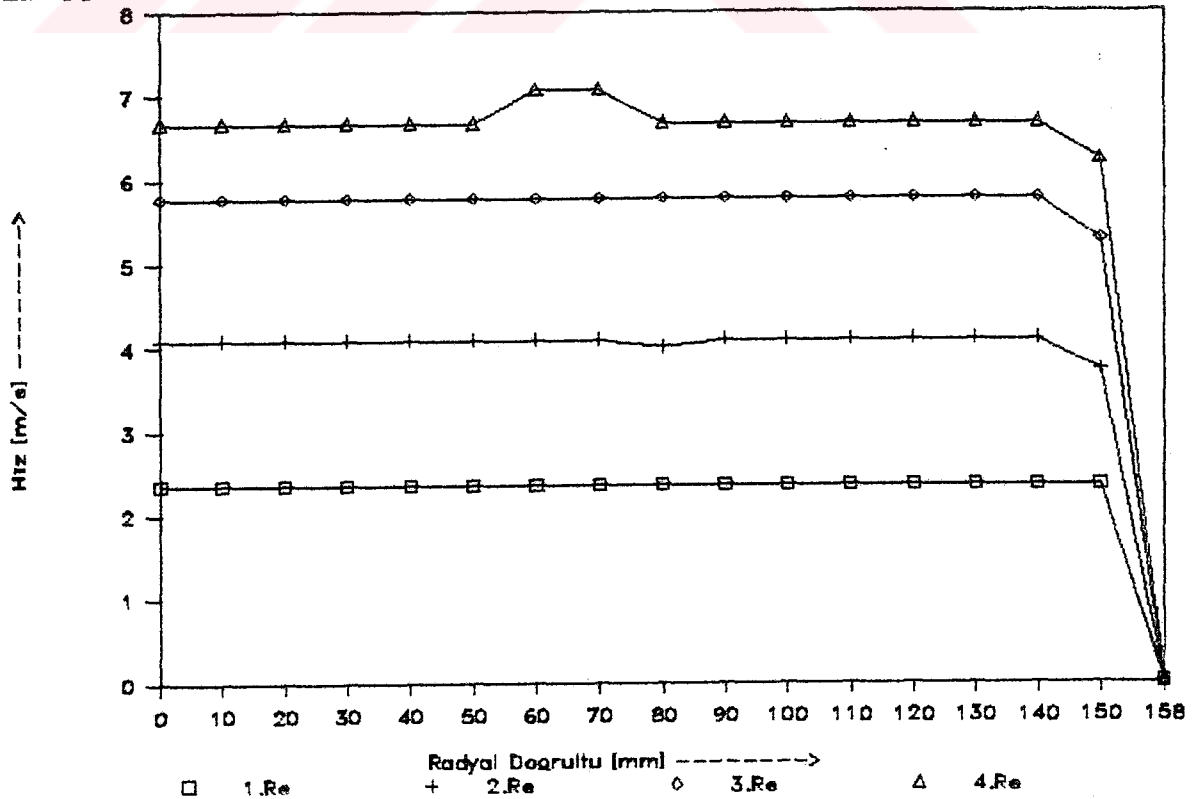


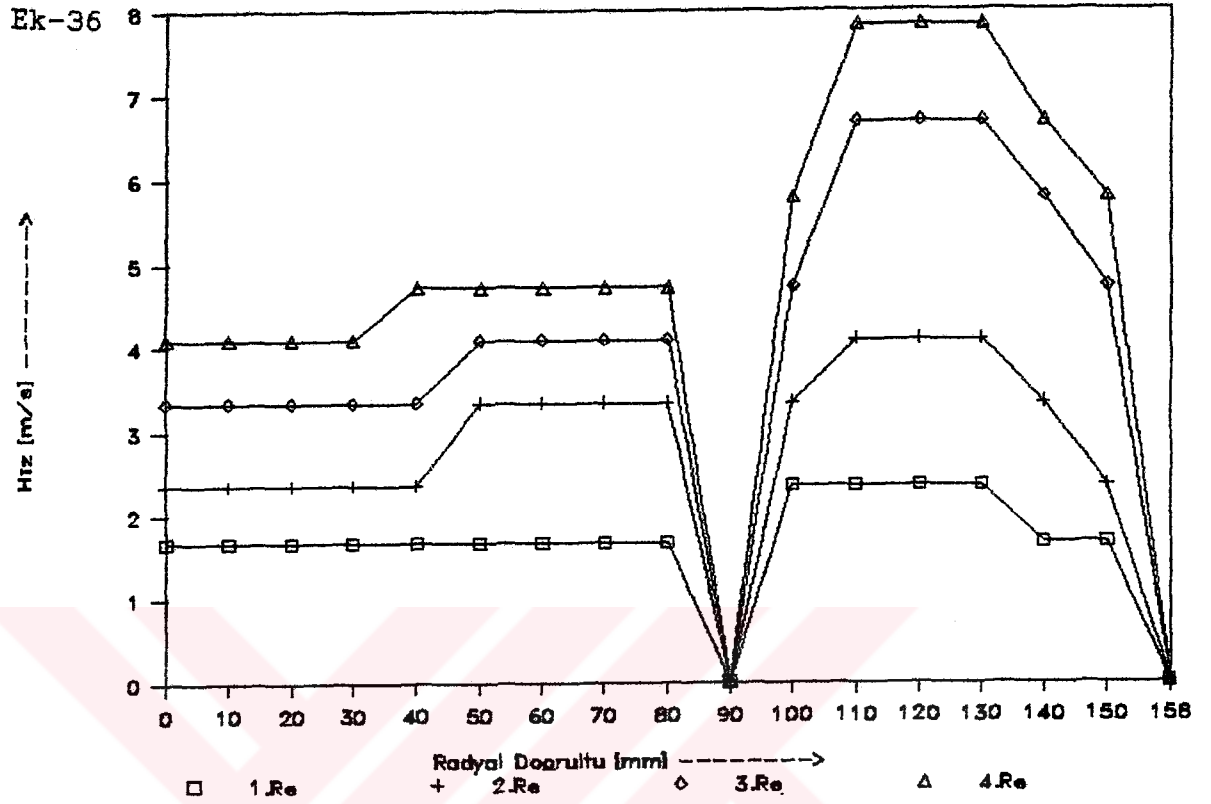
Şekil 4.33 6.konum 6.istasyondaki hız profilleri

Ek-34

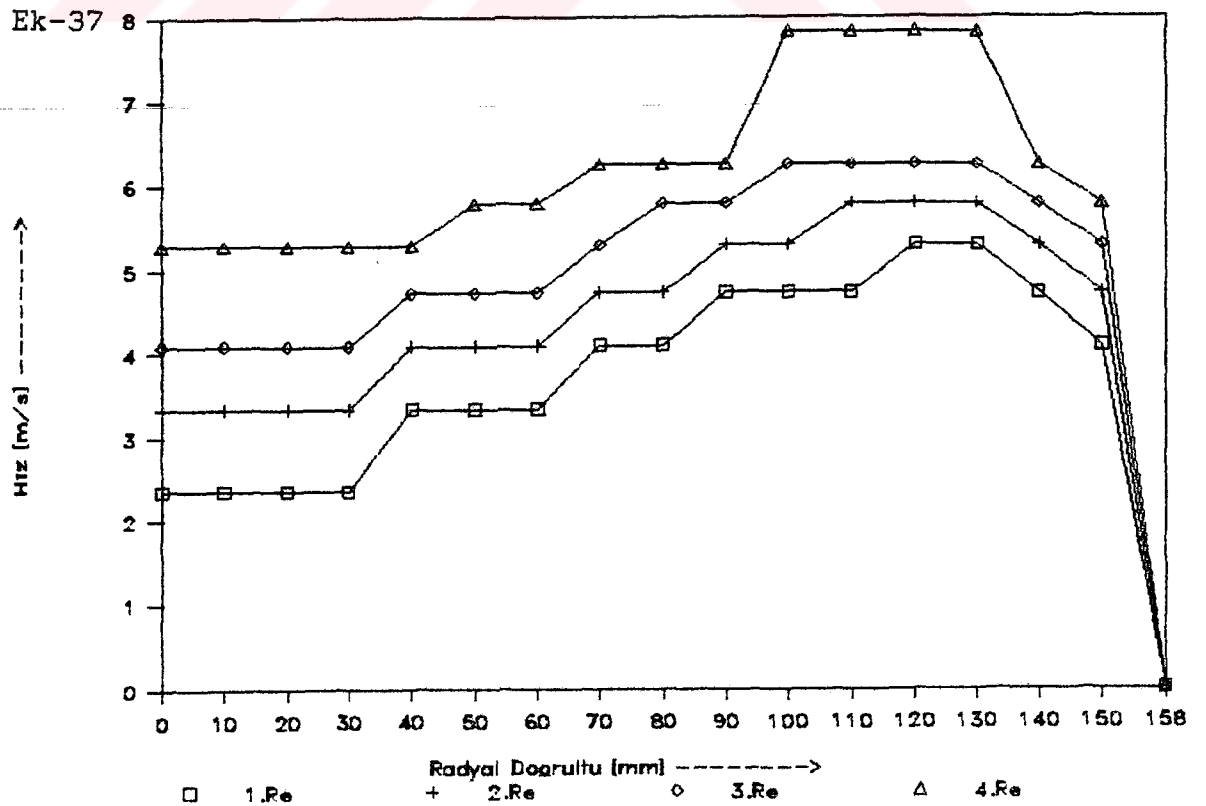


Ek-35

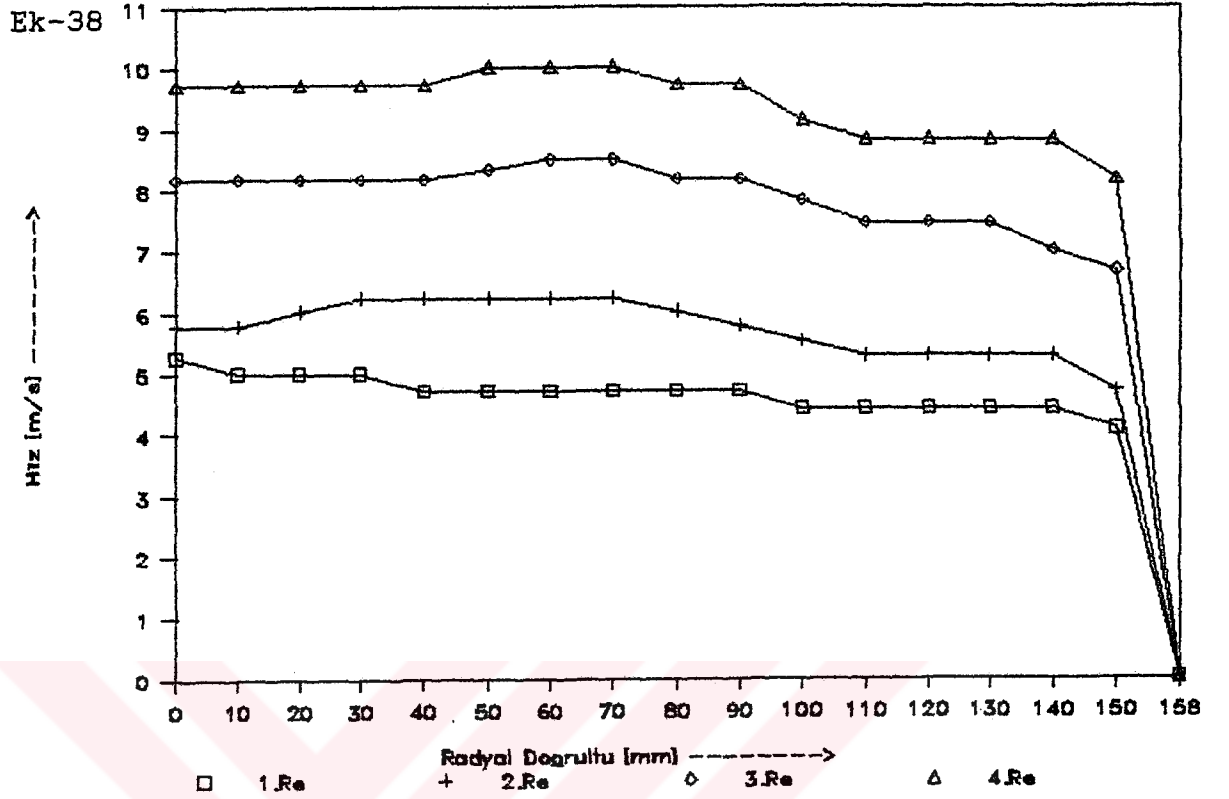




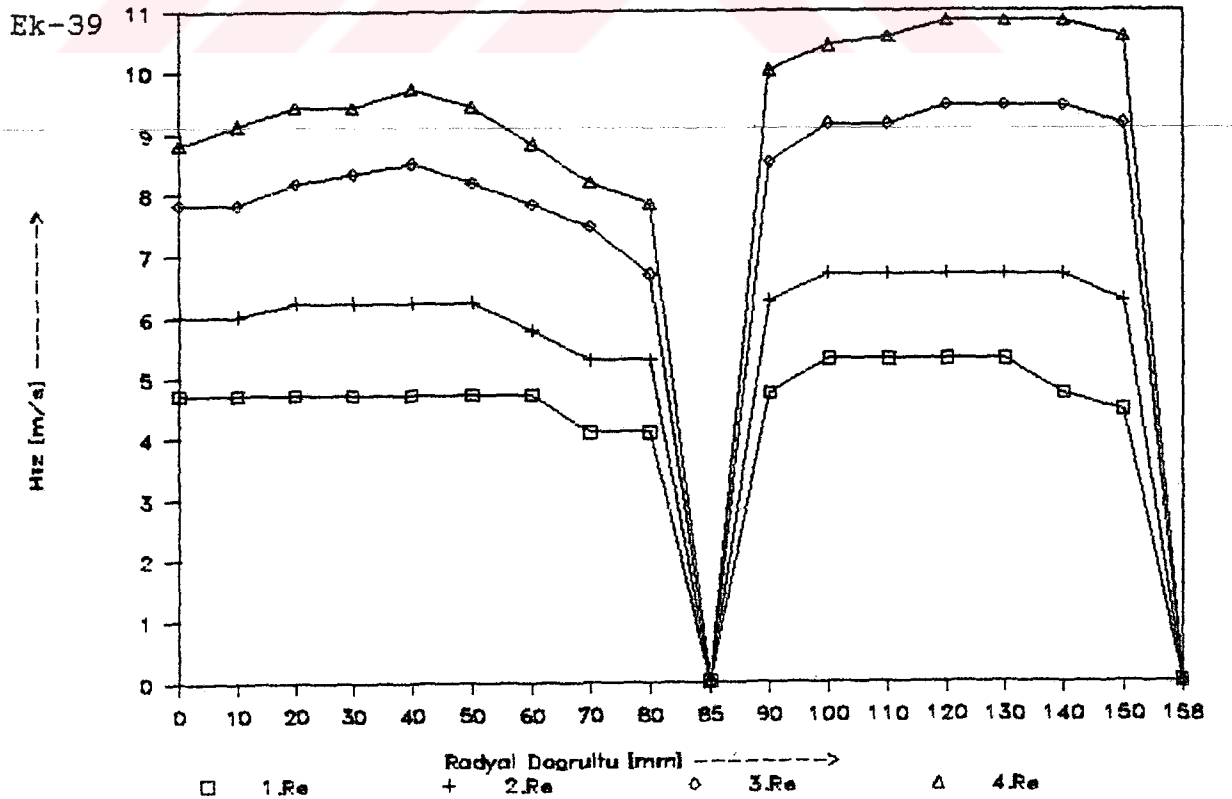
Şekil 4.36 7.konum 3.istasyondaki hız profilleri



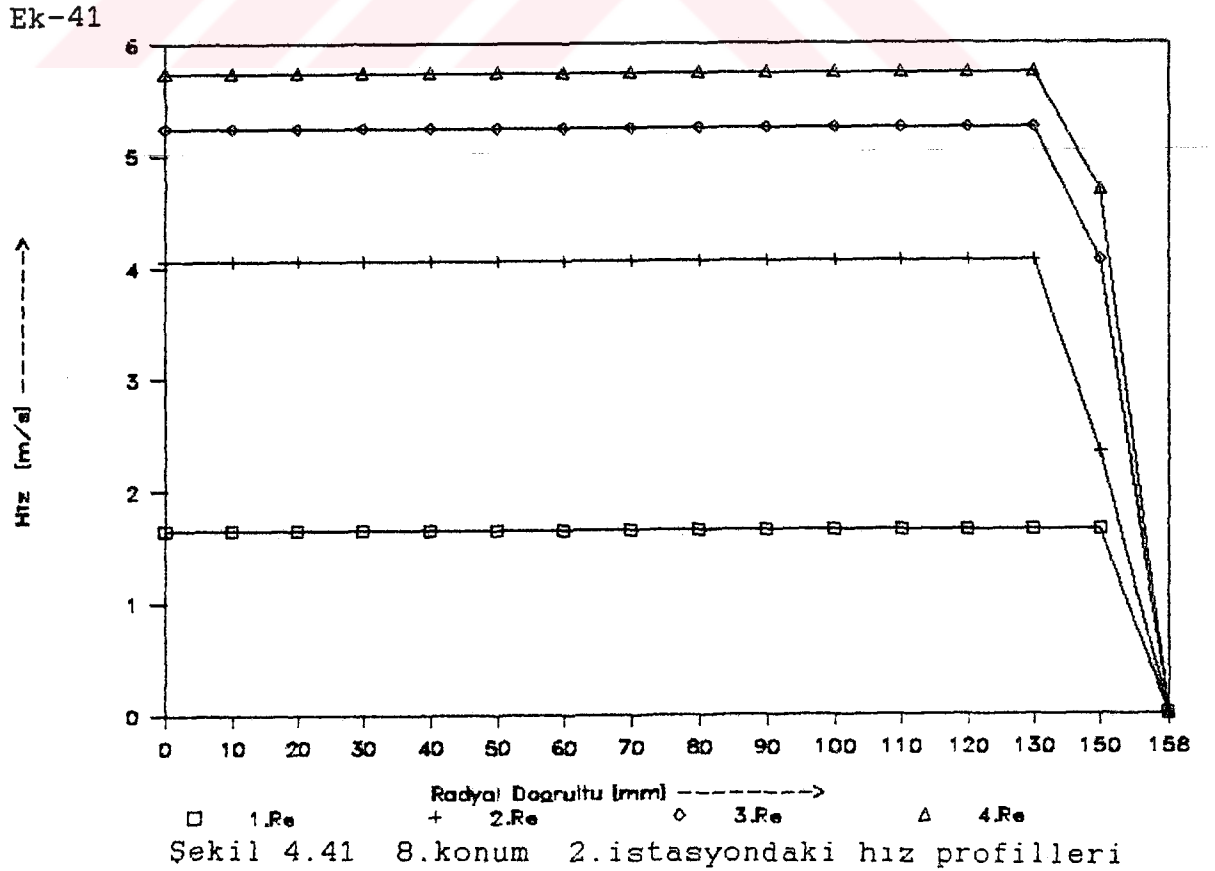
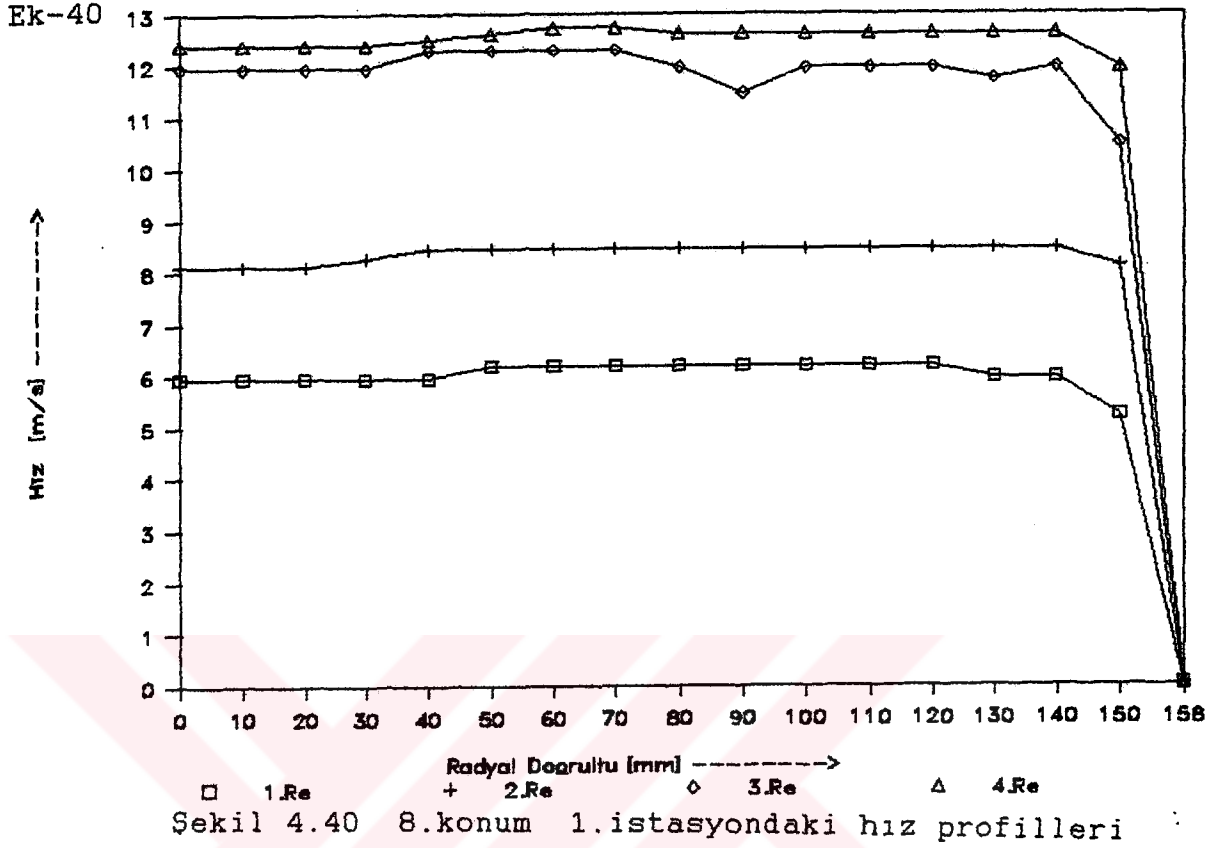
Şekil 4.37 7.konum 4.istasyondaki hız profilleri

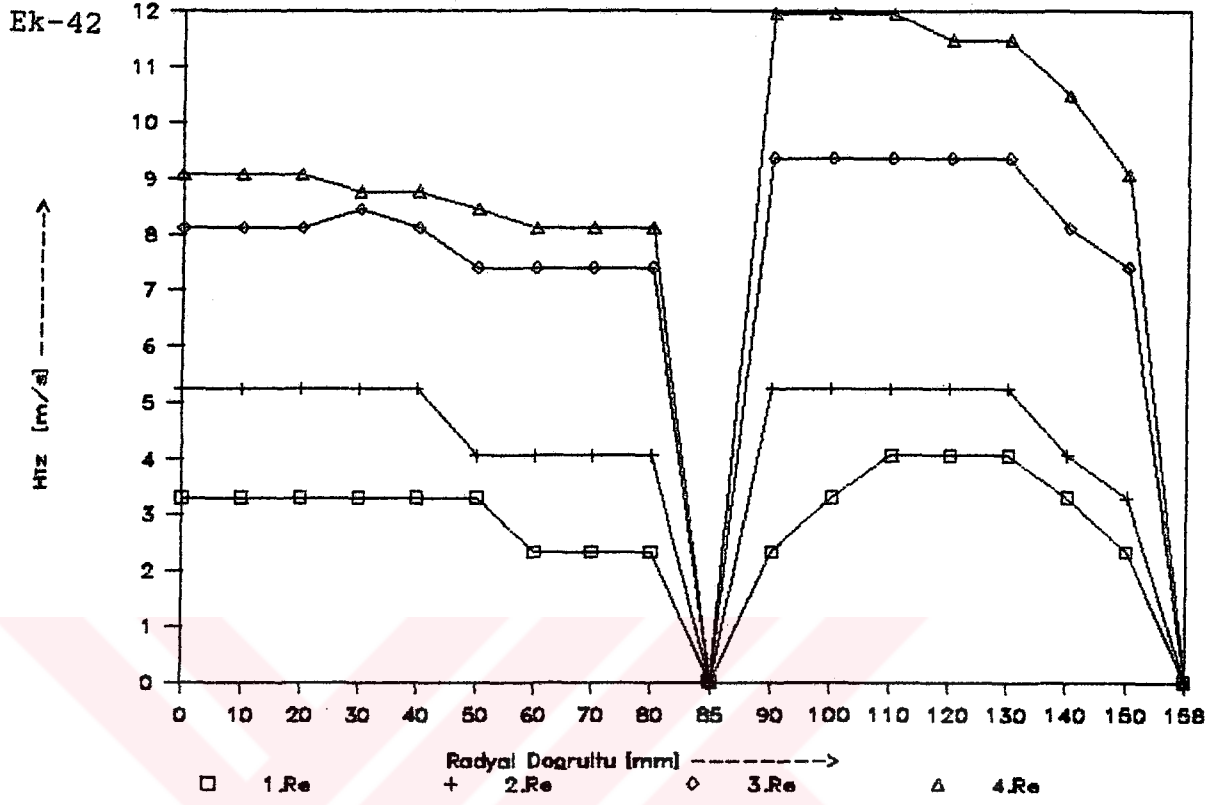


Şekil 4.38 7.konum 5.istasyondaki hız profilleri

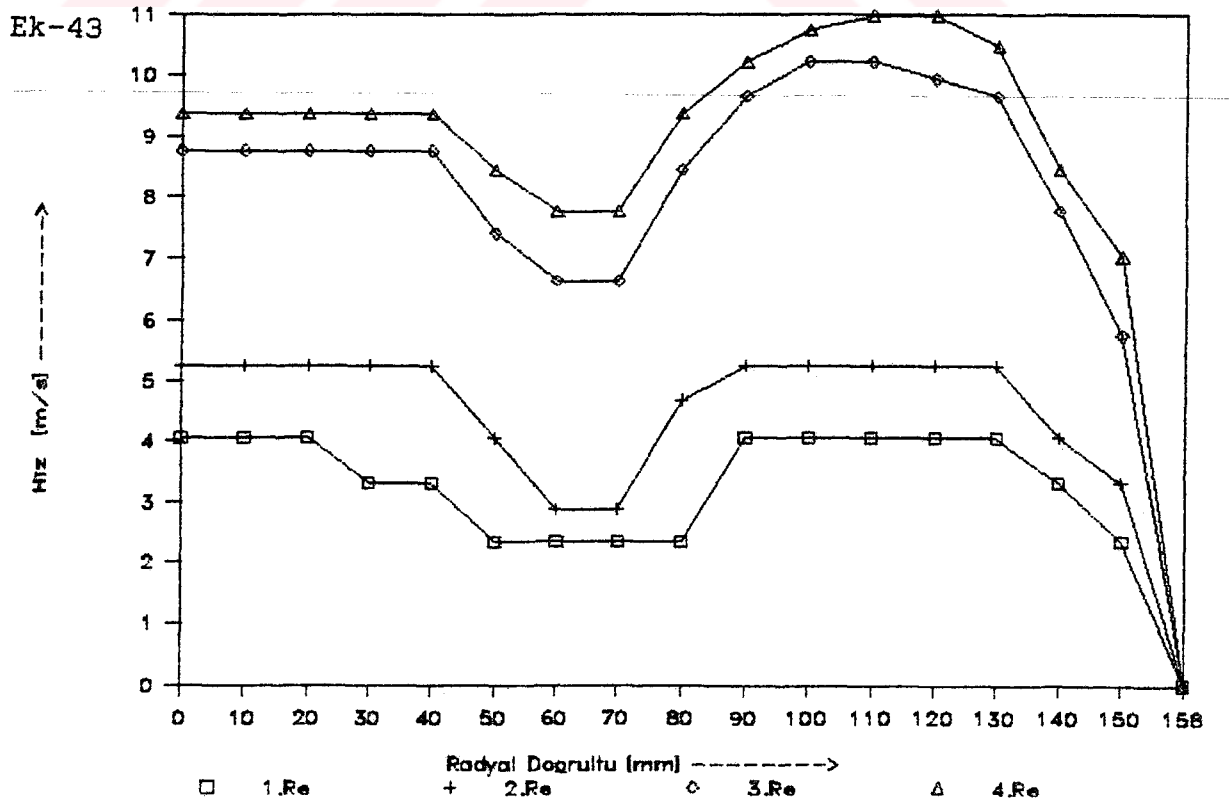


Şekil 4.39 7.konum 6.istasyondaki hız profilleri

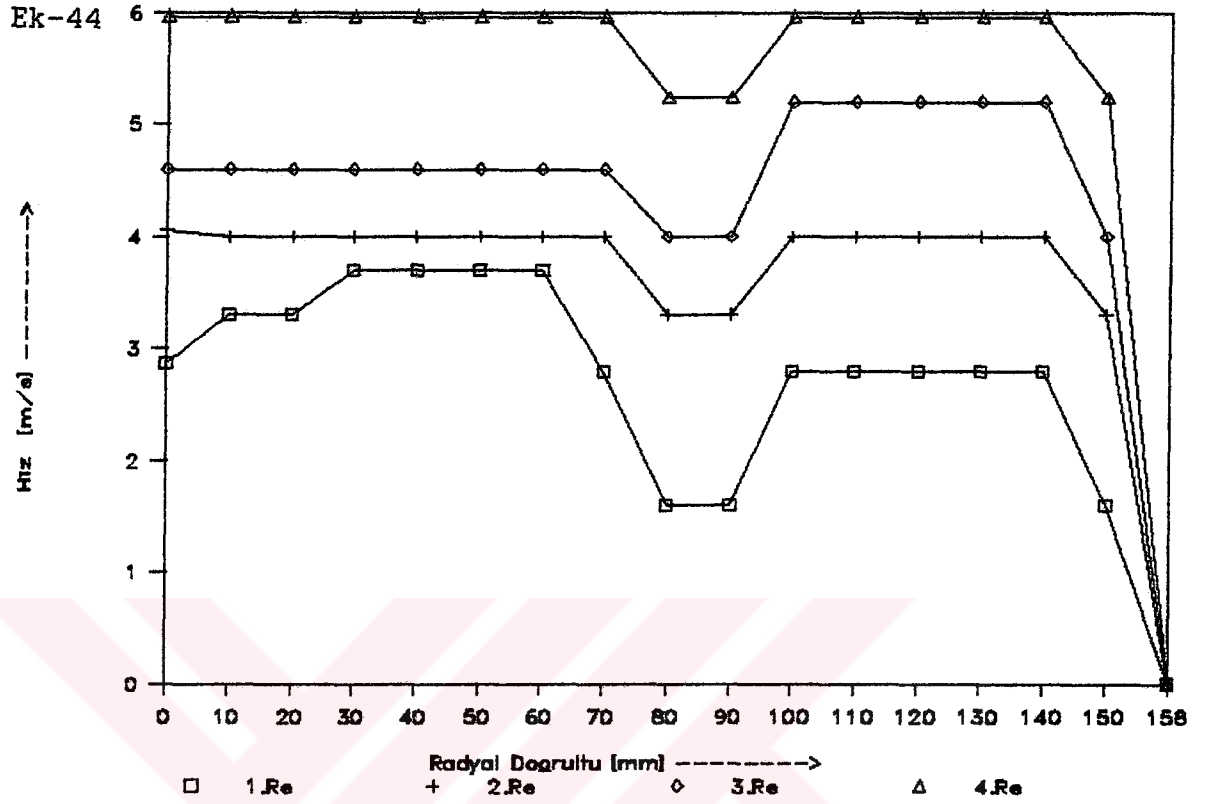




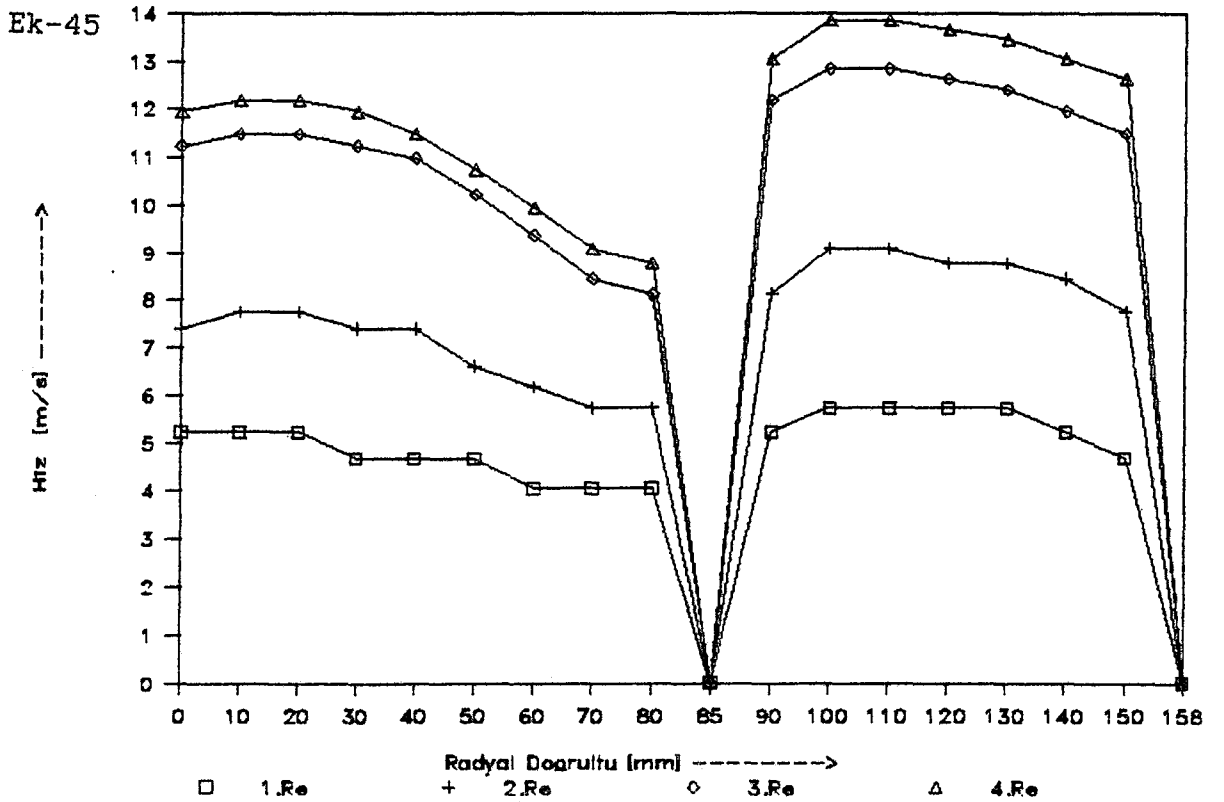
Şekil 4.42 8.konum 3.istasyondaki hız profilleri



Şekil 4.43 8.konum 4.istasyondaki hız profilleri

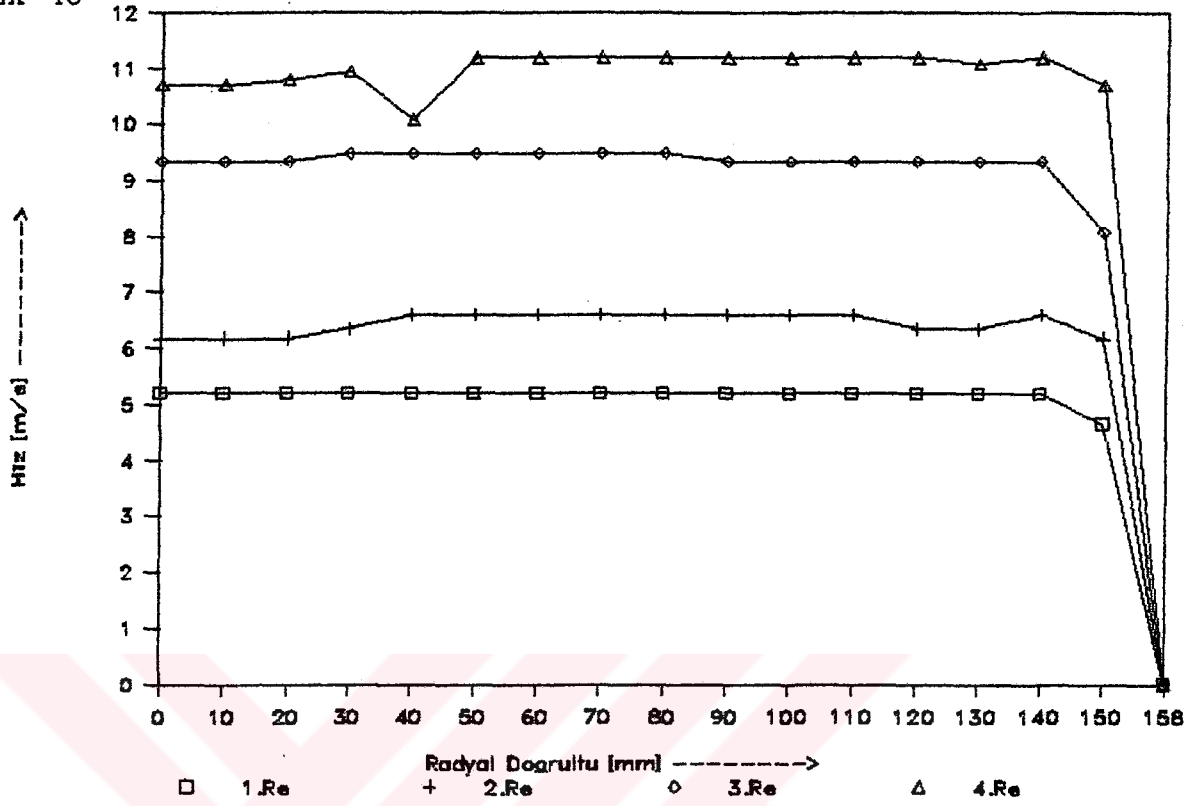


Şekil 4.44 8.konum 5.istasyondaki hız profilleri



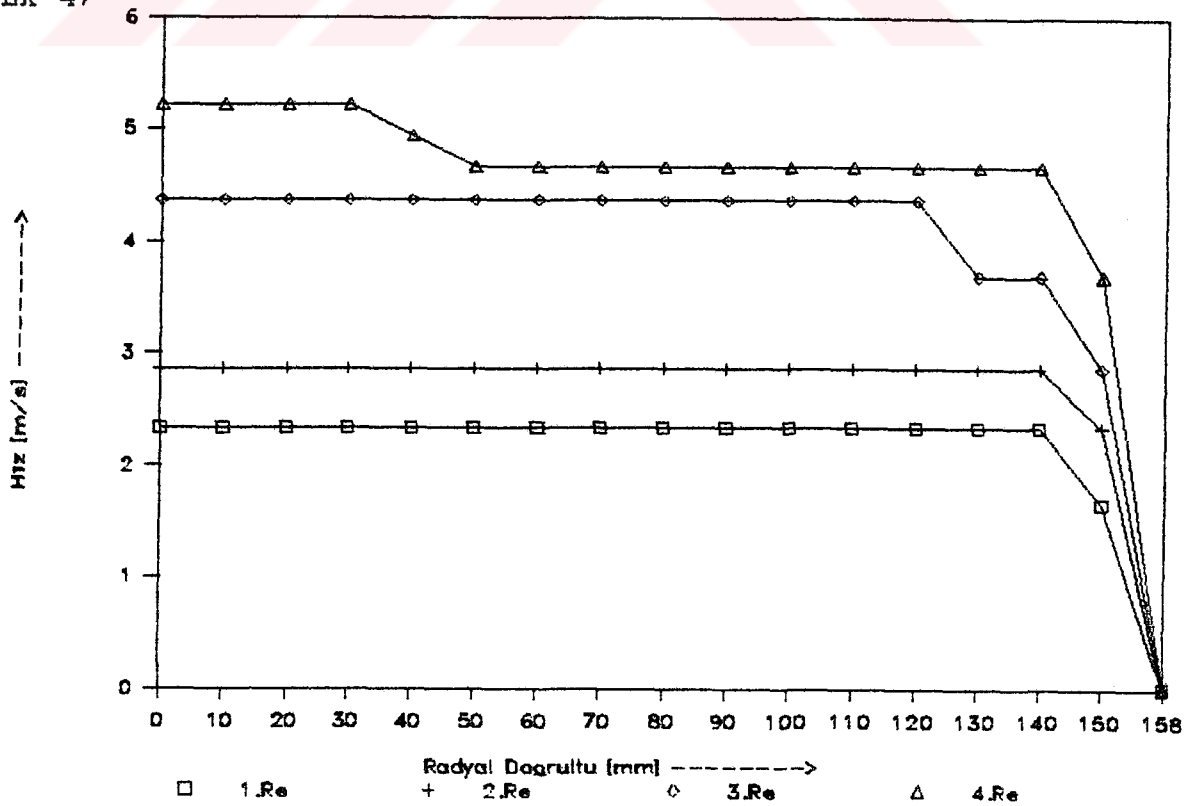
Şekil 4.45 8.konum 6.istasyondaki hız profilleri

Ek-46

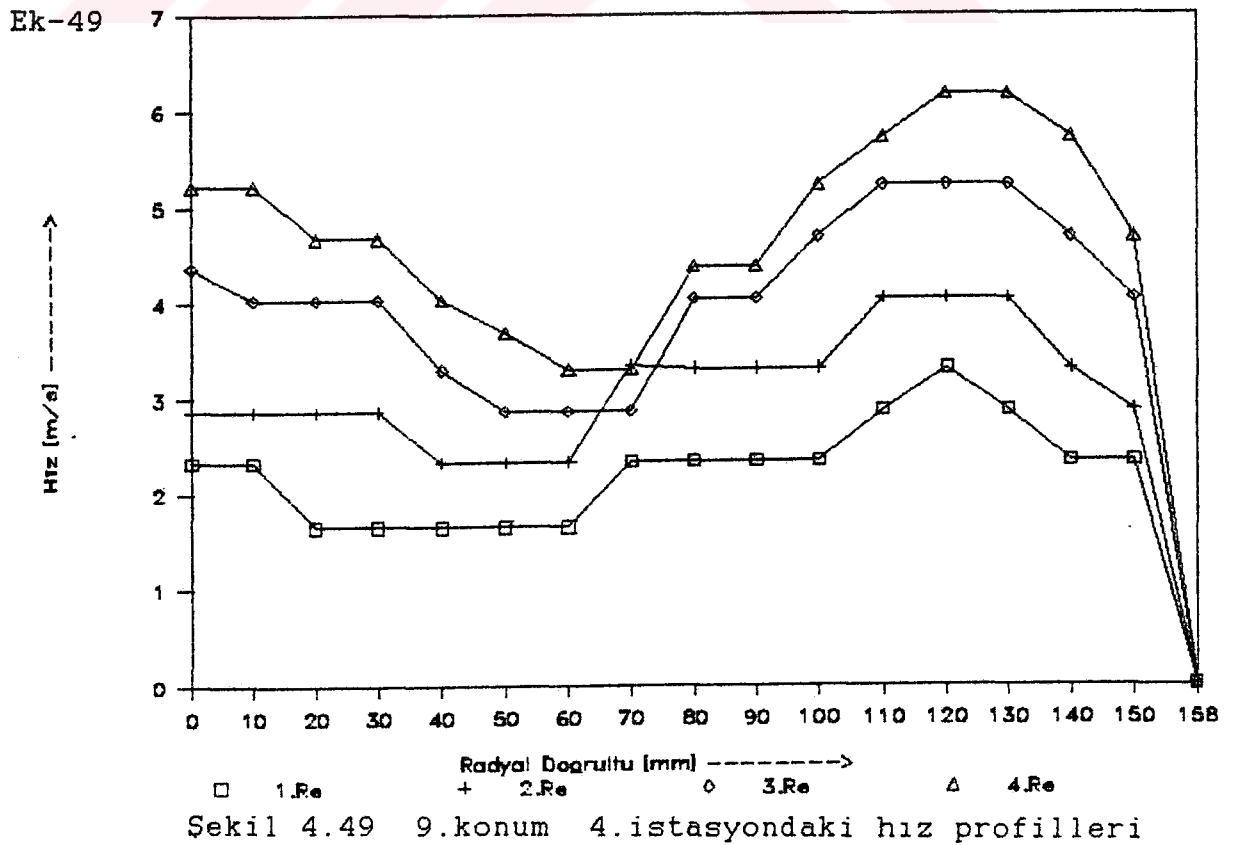
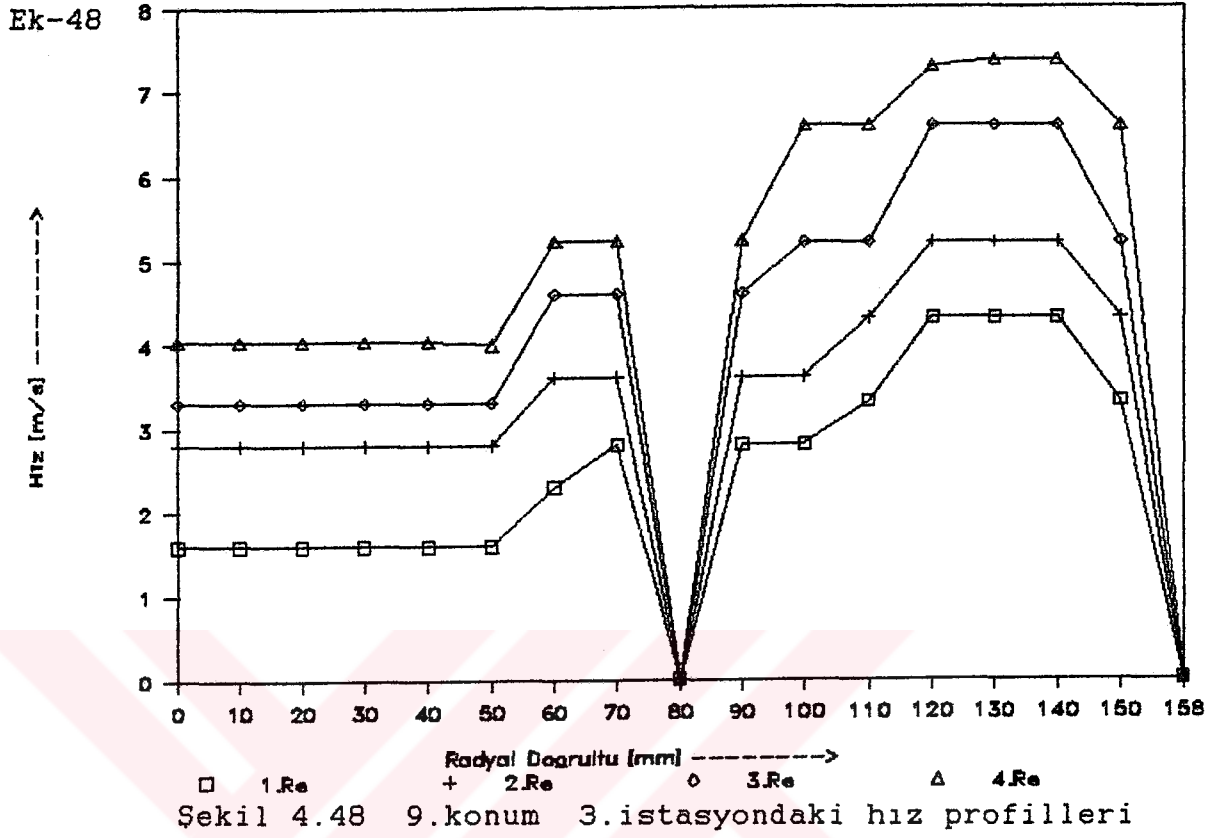


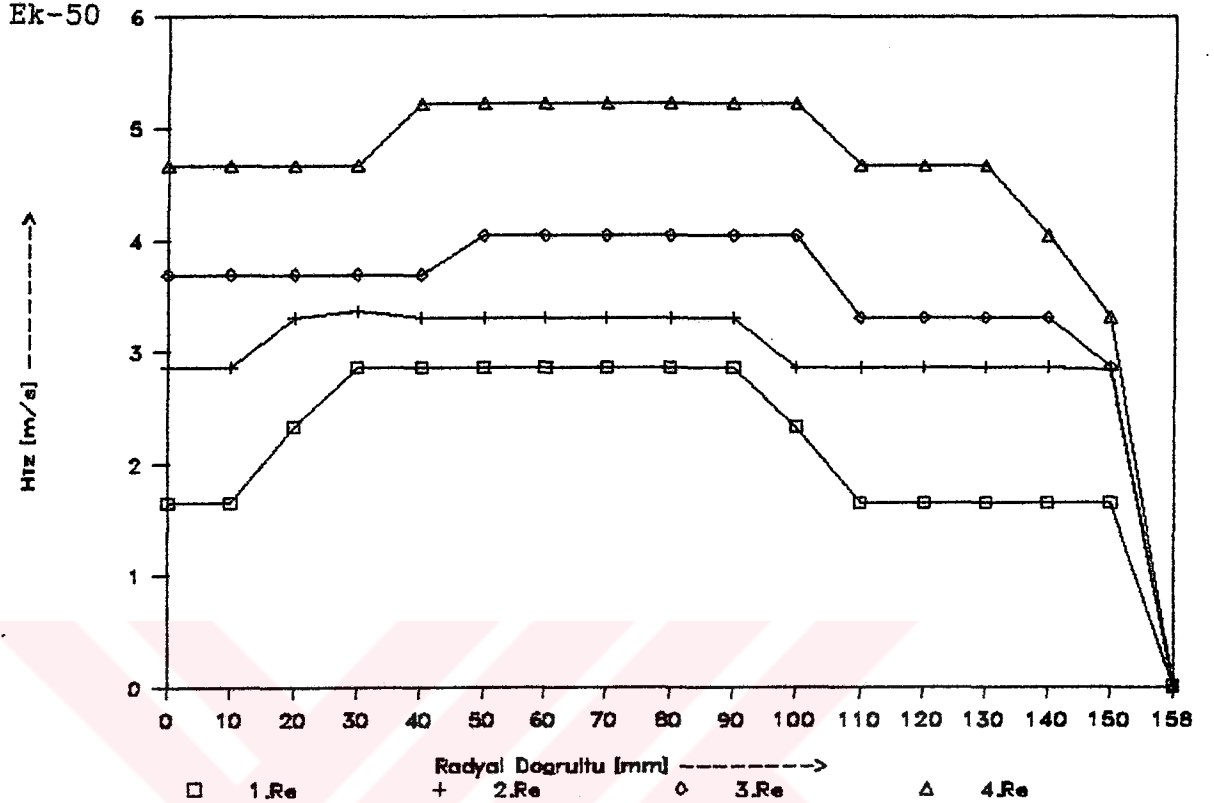
Sekil 4.46 9.konum 1.istasyondaki hız profilleri

Ek-47

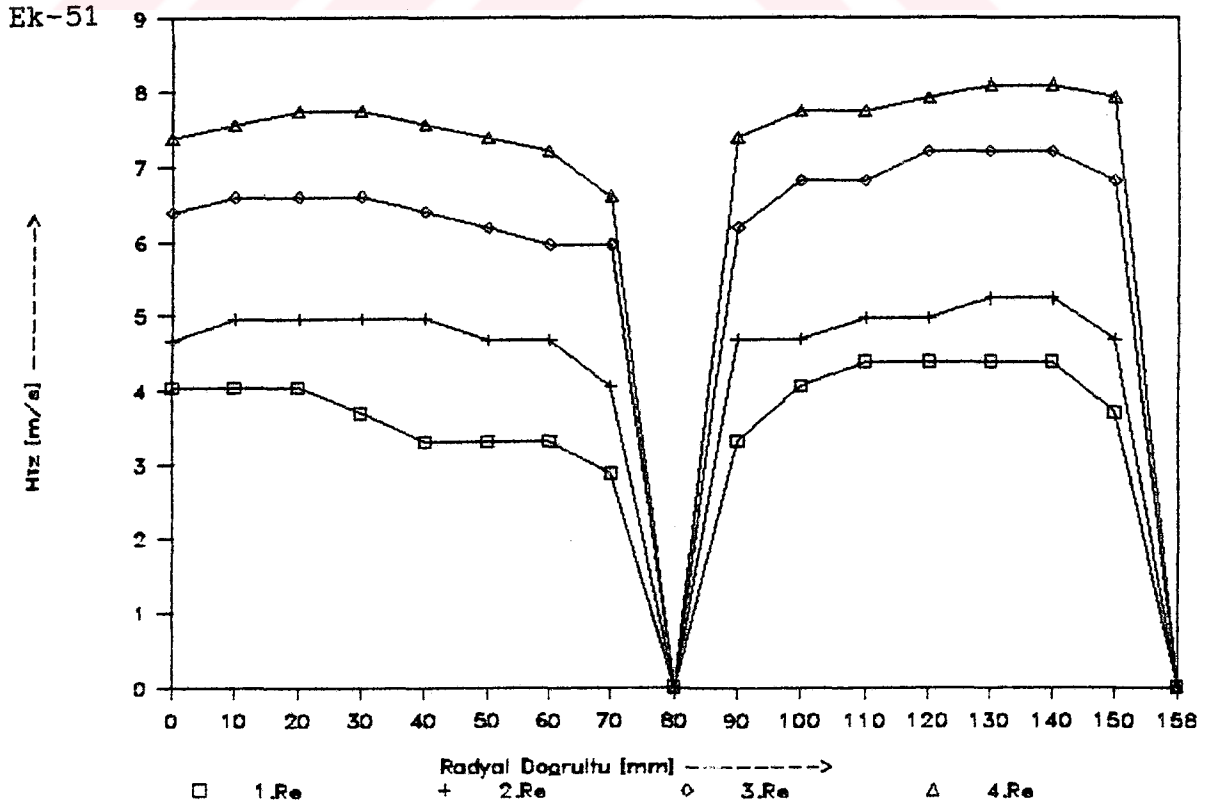


Sekil 4.47 9.konum 2.istasyondaki hız profilleri



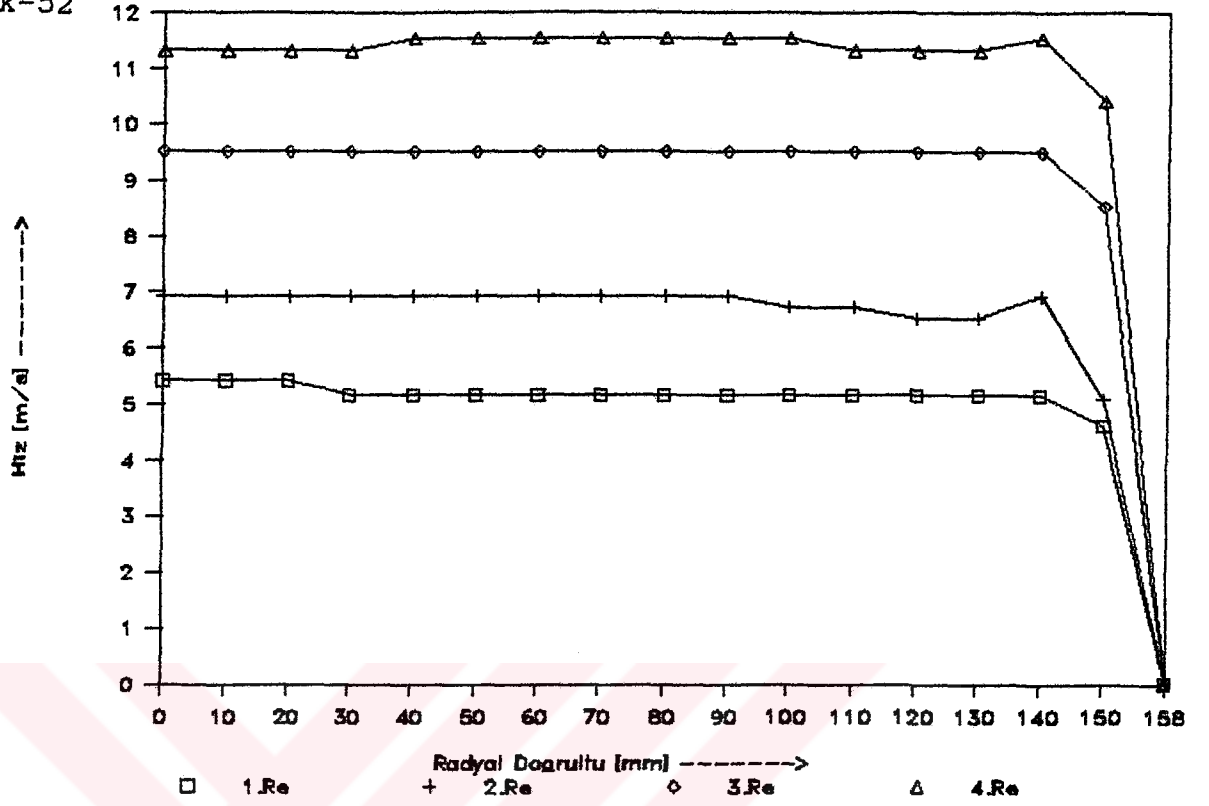


Sekil 4.50 9.konum 5.istasyondaki hız profilleri



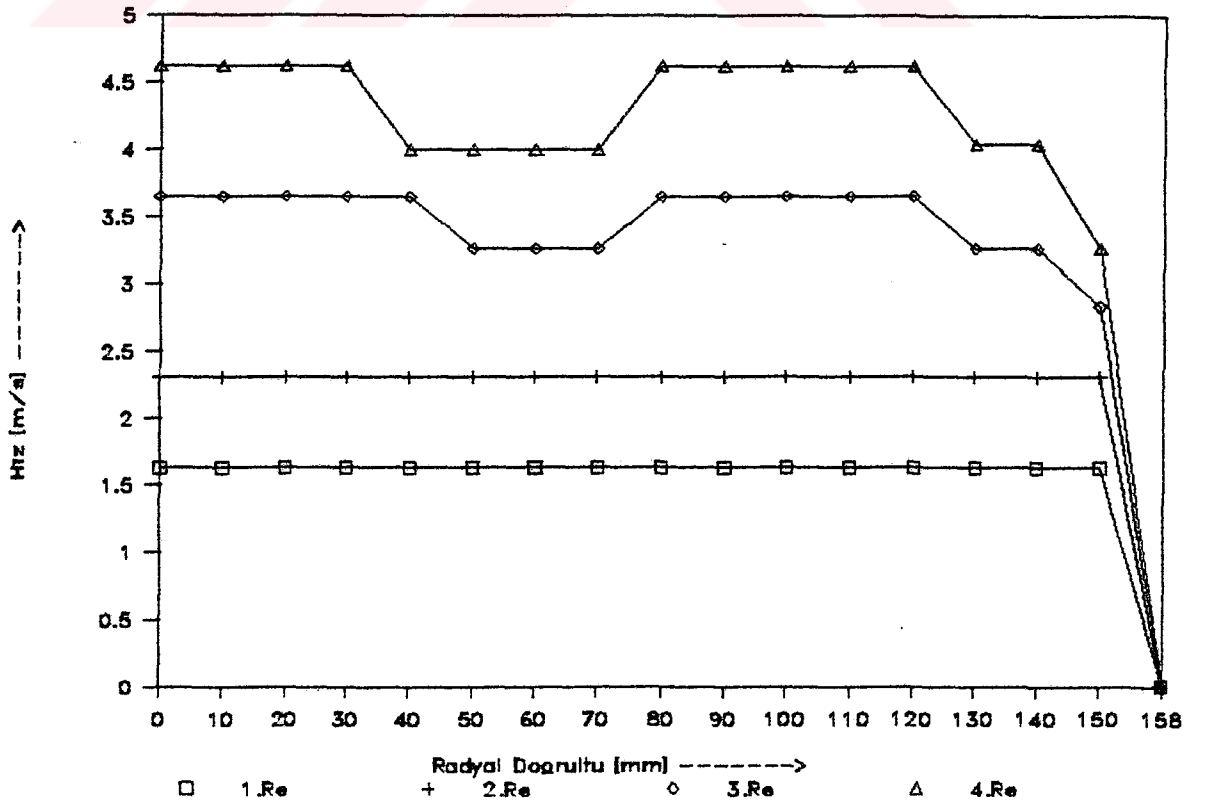
Sekil 4.51 9.konum 6.istasyondaki hız profilleri

Ek-52

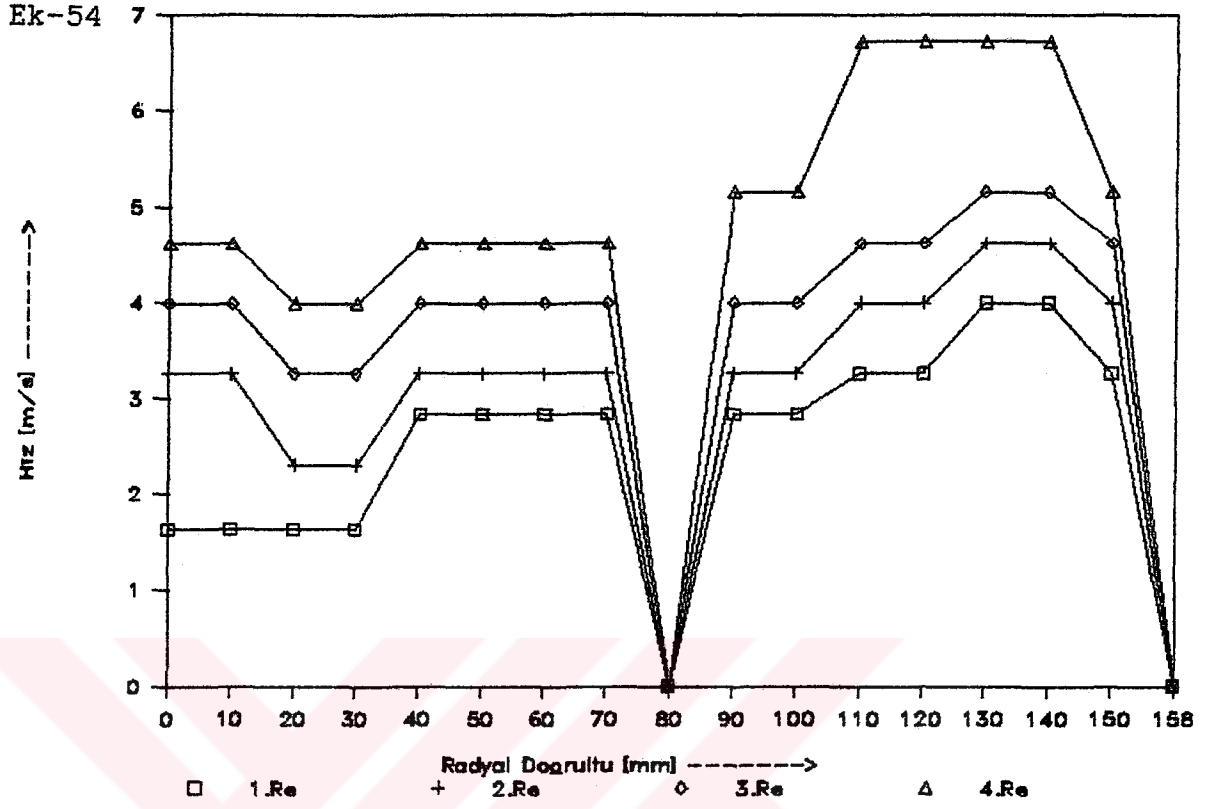


Şekil 4.52 10.konum 1.istasyondaki hız profilleri

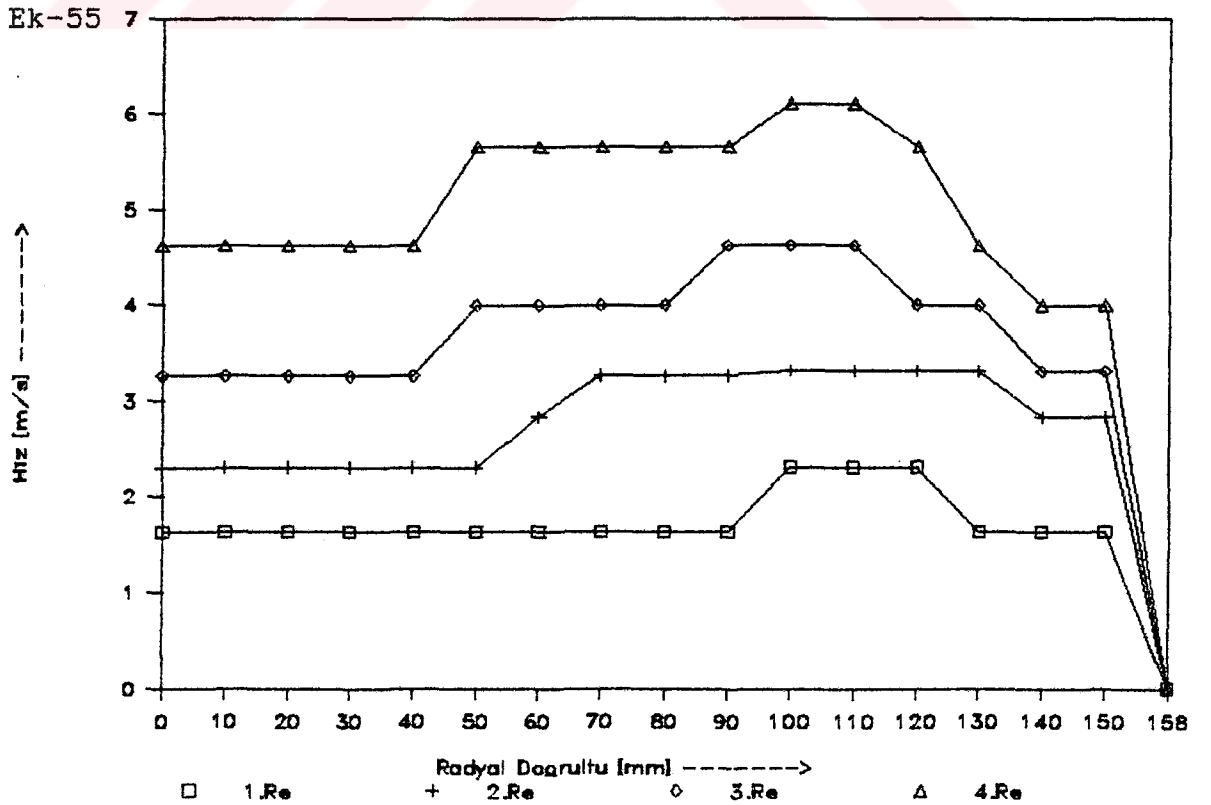
Ek-53



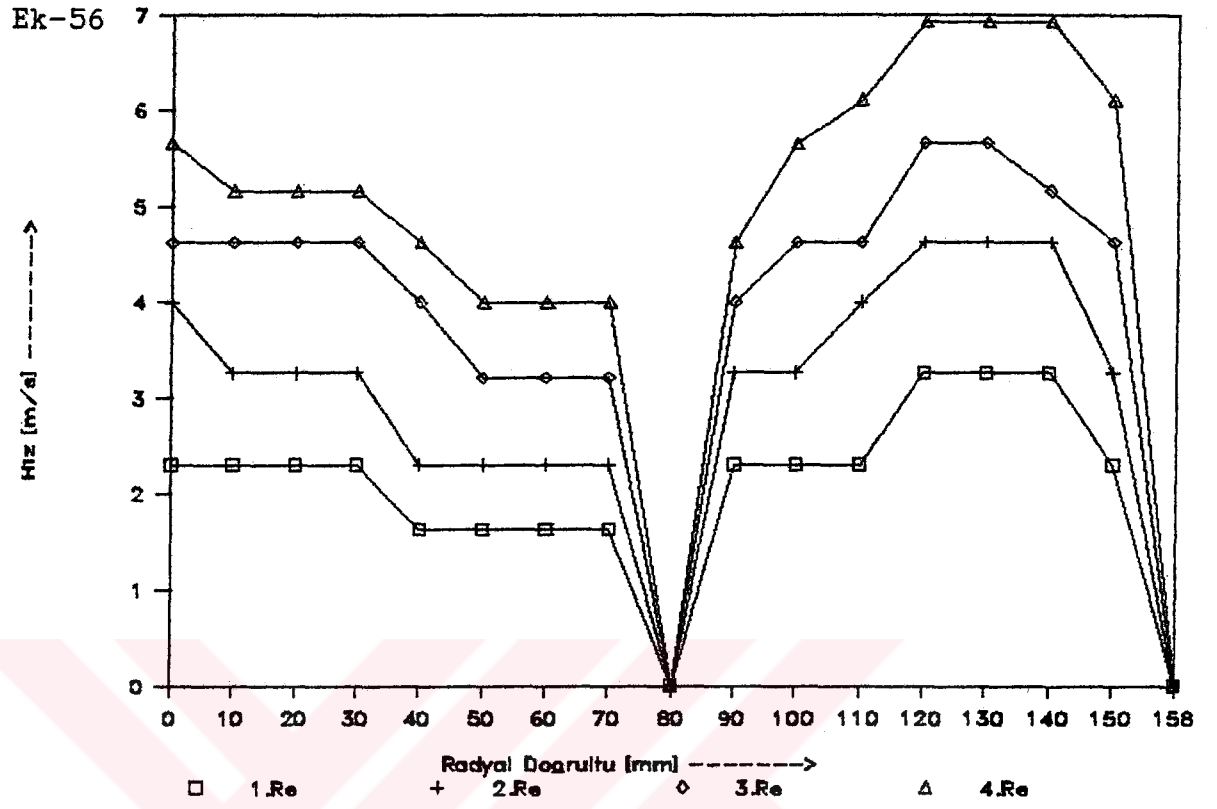
Şekil 4.53 10.konum 2.istasyondaki hız profilleri



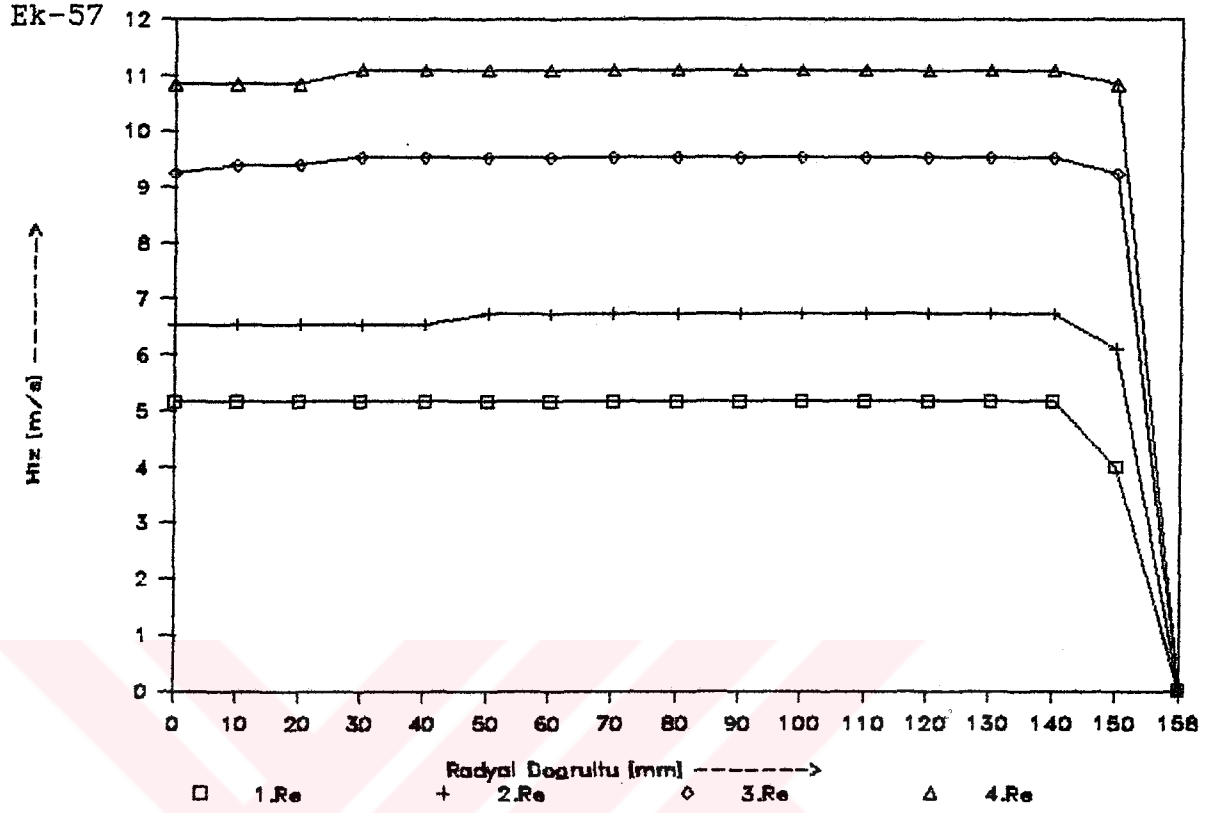
Sekil 4.54 10.konum 3.istasyondaki hız profilleri



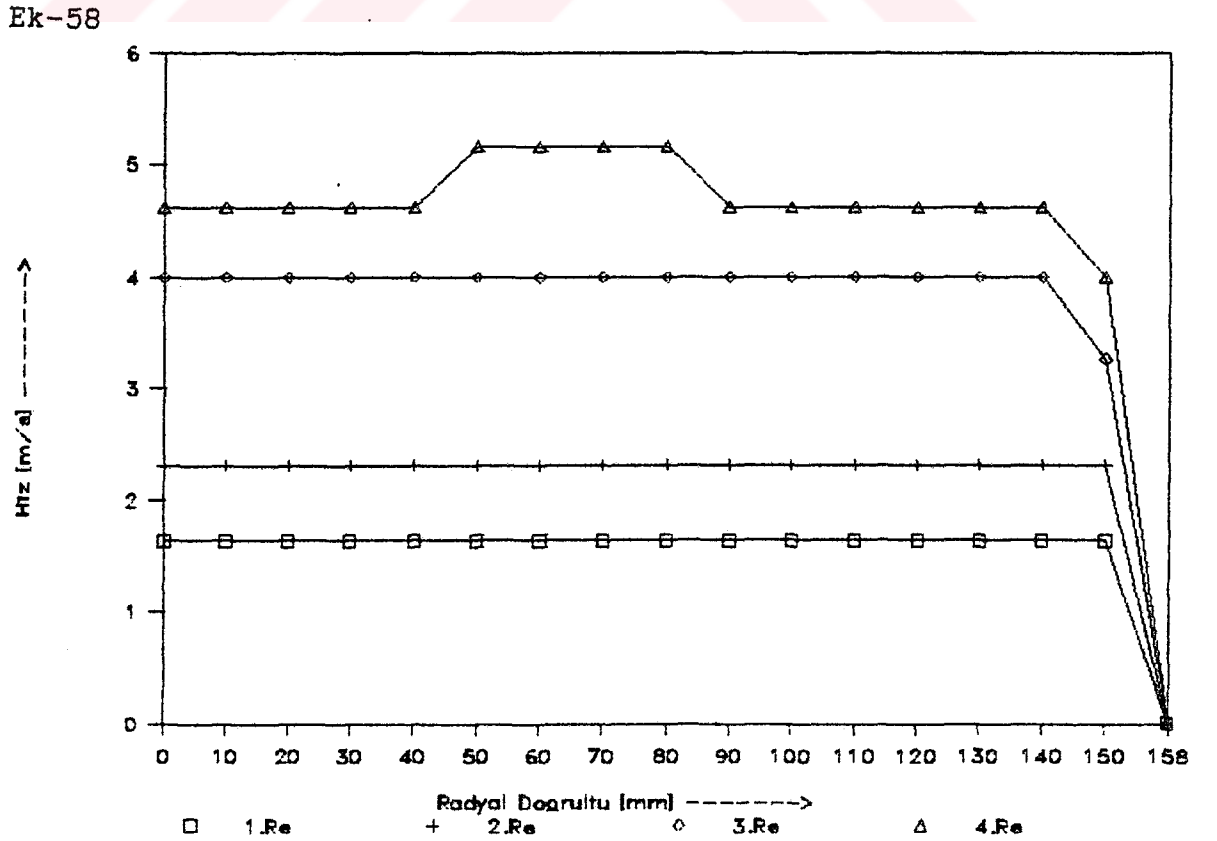
Sekil 4.55 10.konum 4.istasyondaki hız profilleri



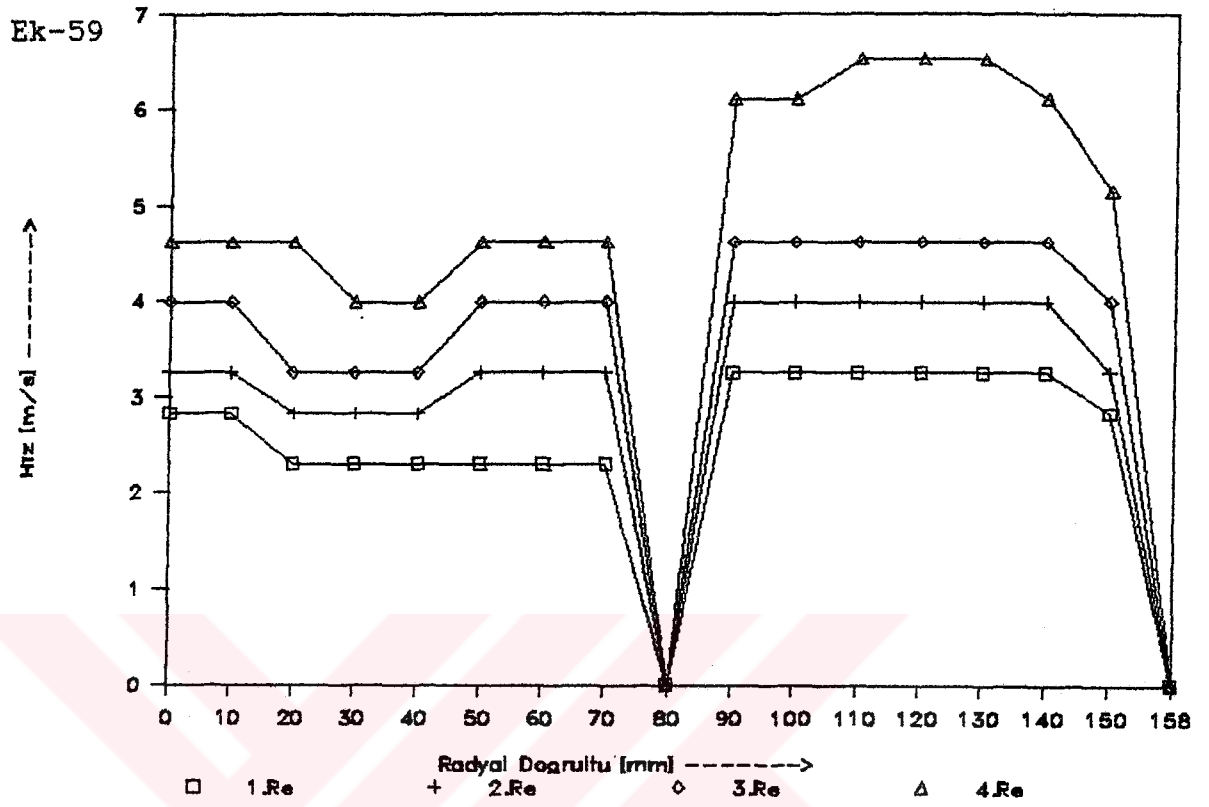
Şekil 4.56 10.konum 5.istasyondaki hız profilleri



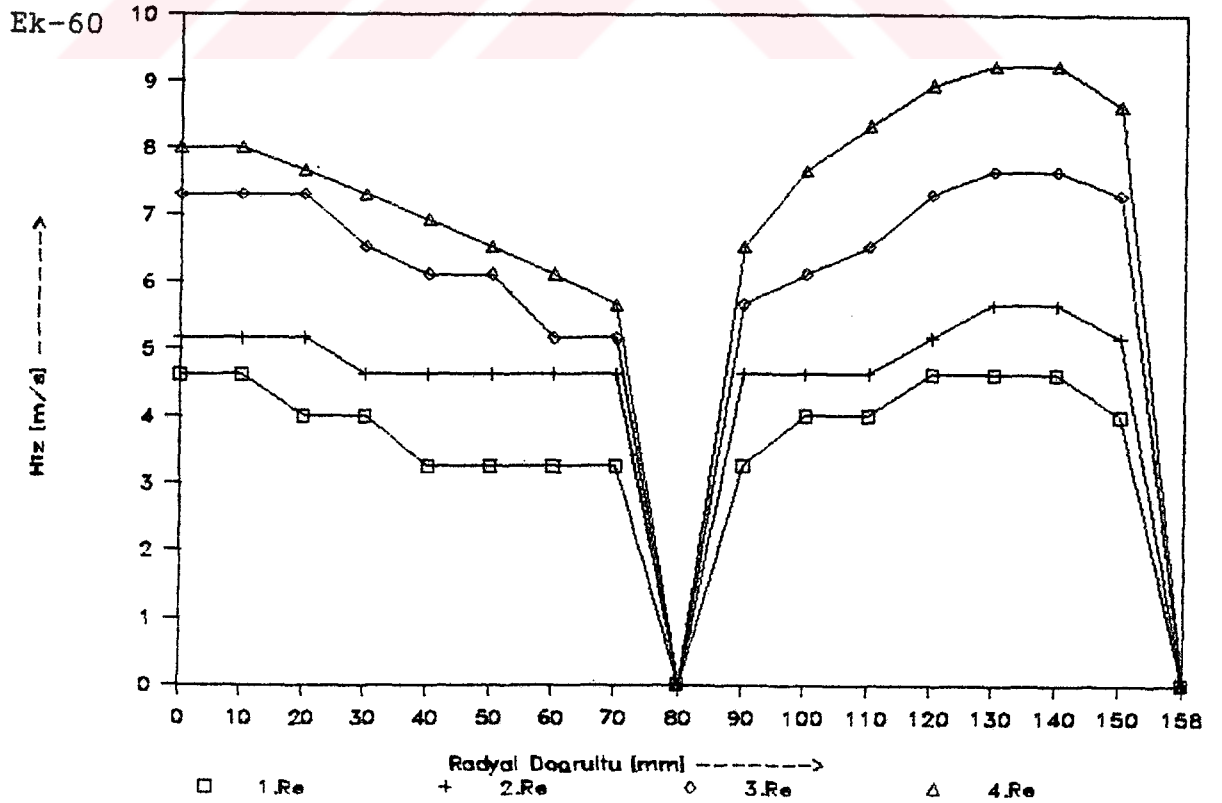
Şekil 4.57 11.konum 1.istasyondaki hız profilleri



Şekil 4.58 11.konum 2.istasyondaki hız profilleri



Şekil 4.59 11.konum 3.istasyondaki hız profilleri



Şekil 4.60 11.konum 4.istasyondaki hız profilleri

KAYNAKLAR

1. Kuloğlu, T., Zorlanmış Isı Taşınımının Türbülatorlerle Artırılması, Deneysel Çalışma, K.T.Ü. Müh. Mim. Fak. Makina Bölümü, Trabzon, 1986
2. Sarıoğlu, M., Silindirik Borular İçerisine Yerleştirilen Silindirik Yüzey Elemanlarının Akım Ortamına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1991
3. Ustasüleyman, T. ve Gülçay, Y., Silindirik Borular İçerisine Yerleştirilen Konik Yüzey Elemanlarının Akım Ortamına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Bitirme Çalışması, K.T.Ü. Müh. Mim. Fak. Makina Bölümü, Trabzon, 1992
4. Bergles, A. E., Survey and Evaluation of Techniques to Augment Convection Heat and Mass Transfer, Progress in Heat and Mass Transfer, Vol.1, Pergamon Press (1969), 331 - 334
- 5.. Burck, E., The Influence of Prandtl Number on Heat Transfer and Pressure Prob of Artificially Roughened Channels Augmentation of Convection Heat and Mass Transfer Division, ASME, New York, (1970), 27 - 33
6. Genç, E., Silindirik Borular İçersine Yerleştirilen Konik Halka Yüzeyli Elemanların Isı Transferine Etkisi ve Akışın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1991
7. Genç, S., Silindirik Borular İçersine Yerleştirilen Konik Halka Yüzeyli Elemanların Isı Transferine Etkisi ve Akışın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992
8. Bejan, A., The Concept of Irreversibility in Heat Exchanger Design; Counterflow Heat Exchangers For Gas-to-Gas Applications, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 99c, No. 3, (1977), 374-383

9. Junkhan, G.H., Bergles, A.E., Nirmalan, V., and Ravigururajan, T., Investigation of Turbulators for Fire Tube Boilers, Transactions of the ASME, (May.1985), 107, 354-360
10. Karabay, H., ve Ayhan, T., Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Konik-Halka Yüzey Elemanlarının Isı Transferine Etkisi, 6. Mühendislik Haftası, Isparta, 1990. Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5, 57-67, Isparta Mühendislik Fakültesi Matbaası, 1991.
11. Demirtaş, C., Akış Gözleme Deneyleri, Deneysel Çalışma, K.T.Ü. Müh. MİM. Fak. Makina Bölümü, Trabzon, 1993

ÖZGEÇMİŞ

1968 Yılında Trabzon'da doğdu. İlk , orta ve lise öğrenimini Trabzon' da tamamladı. 1985 yılında girdiği K.T.Ü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü, 1989 yılında bitirdi. Aynı yıl K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

