

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK
PÜRÜZLÜLÜK MERTEBESİNİN
İNCELENMESİ

Mak. Müh. Okyar KAYA

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Galip Güneş
[Signature]

Tez Danışmanı

[Signature]

: Doç. Dr. İbrahim Gentez

Prof. Dr. İsmail Teke
[Signature]

İSTANBUL , 1997

İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
1. GİRİŞ	
1.1. Yüzey Pürüzlünün Neden Olduğu Taşıma Kapasitesi Azalımının Önlenmesi İçin Yöntemler	2
1.2. Taşıma Kapasitesini Azalması	2
1.3. Temizleme Yöntemi	4
1.4. Temizleme Kriterinin Belirlenmesi	4
1.5. Temizleme İşleminin Maliyeti	6
1.6. Korozyondan Korunma Yöntemleri	7
1.7. Elektromanyetik Alanda Suyun Temizlenmesi	8
1.8. Kabuklaşmayı Önleyici Bazı Katkı Maddeleri Kullanmak	8
1.9. Hidrolik Pürüzlülük Mertebesinin Boru Malzemesi Yönünden İncelenmesi	10
2. PÜRÜZLÜ YÜZEY CİDAR SÜRTÜNME DİRENCİNİN KURAMSAL İNCELENMESİ	
2.1. Laminer Ve Türbülanslı Akış	13
2.2. Sınır Tabaka	13
2.3. Borular İçinde Akışta Hız Yayılımı	14
2.4. Kuramsal İnceleme	15
2.5. Kayma Gerilmesi Dağılımı	17
2.6. Hız Dağılımı	18
2.7. Analitik Bağlantının Kurulması	20
2.8. Uyandırma Efektleri	23
2.9. Yöntemin Sınırları	24
2.10. Yöntemin Uygulanması	24
2.10.1. Projelendirilmiş Alanın Ve Elementlerin Sürtünme Katsayılarının Belirlenmesi	24
2.11. Çözüm Yöntemi	26
2.12. Yatay Pürüzlülük	27
2.13. Doğal Pürüzlülük	29
2.14. Tamamen Türbülanslı Rejim İçin Yeni Bir Kavram	30
3. PÜRÜZLÜ YÜZEYLERDE CİDAR SÜRTÜNME DİRENCİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	
3.1. Deney	33
3.2. Test Edilen Boruların Enerji Maliyetlerinin Karşılaştırılması	46
4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN NON-NEWTONİEN AKIŞKANLARIN BASINÇ KAYIPLARINA ETKİLERİ	
4.1. Deney Düzenekleri	62
4.2. Deney Sonuçları	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	69

SEMBOLLER

σ =Pürüzlü boru ile pürüzsüz borunun sürtünme kaybının yüzde olarak farkı

δ' =Viskoz alt tabaka kalınlığı (mm)

γ =Kinematik viskozite (m^2/s)

ρ =Sıvının özgül ağırlığı(kg/m^3)

λ =Sürtünme faktörü

κ =Von karman üniversal sabiti (=0.4)

τ_y =y yüksekliğinde kayma gerilmesi(N/m^2)

τ_0 =Sınırdaki toplam kayma gerilmesi (N/m^2)

ΔP_r =Pürüzlü boru basınç kaybı

ΔP_s =Pürüzsüz boru basınç kaybı

τ_r =Elementlerin direnç kuvvetlerinden dolayı ortalama kayma gerilmesi(N/m^2)

τ_s =Düzgün yüzeyden dolayı oluşan ortalama kayma gerilmesi (N/m^2)

$\bar{V}$ =Ortalama akışkan hızı (m/s)

$A=n'$ 'nin bilinmeyen fonksiyonudur.

A_p =Pürüzlülük elementinin projelendirilmiş alan(m^2)

b =Pürüzlülük elementinin ortalama genişliği(m)

B =Verilen sınır alanın genişliği (m)

C =Hazen-Williams C faktörü

D =Boru çapı(inch)

g_c =Yer çekimi ivmesi (=980,665 cm/s^2)

h =L uzunluğundaki borunun kabul edilebilir kaybı(ft)

$H=n'$ 'nin bilinmeyen fonksiyonudur.

K' =Güç kanunu modelinin kararlılığını gösteren birim

k =Pürüz yüksekliği(mm)

k_0 =Geometrik ortalama seviye ile düzgün yüzey arasındaki mesafe veya ihmal edilebilir kayma gerilmesinin seviyesi(mm)

k_s =Eş değer kum tanesi pürüzünün boyutu(mm)

l =Karışım uzunluğu (ft)

L=Verilen sınır alanın uzunluğu veya verilen sınır profilin uzunluğu (ft)

m=Kayıp eşitliğinde çaptaki üs katsayısı(=4.86)

n'=Güç kanunu modelindeki akış davranışını gösteren birim.

n=Kayıp eşitliğindeki akış debisi üs katsayısı(=1.85)

N=Verilmiş bir L uzunluğunda profilin üzerindeki elementlerin sayısı

Q=Debi(galon/dak)

Re'=Non-Newtonien akışkanın Re sayısı

Re= Reynold sayısı

u_s=Viskoz alt tabaka sınırındaki hız (m/s)

u_{*}= $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ olarak tanımlanan kayma hızı(m/s)

u=Düzgün yüzey üzerinde y yüksekliğindeki veya ihmal edilen kayma gerilmesi seviyesindeki hız (m/s)

U=Pürüzlülük elementleri üzerindeki yaklaşım hızı veya boru veya kanal içindeki ortalama hız(m/s)

u_{k/2}=Elementin ortasındaki hız(m/s)

u_k/u_{*}=Pürüzlülük elementlerinin üst kısmındaki relatif hız değeri

u_k=Elementin üst kısmındaki hız(m/s)

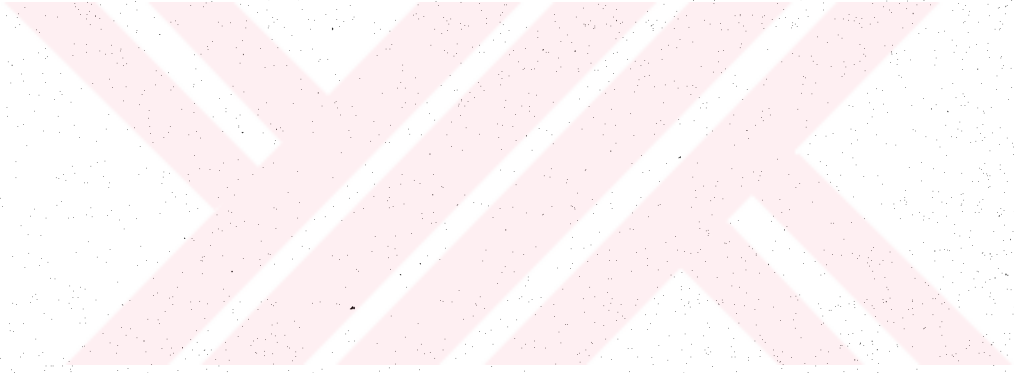
x=Pürüzlülük elementinin konsantrasyonu ,üzerinde bulundukları sınır alan tarafından bölünmüş planlanmış alan üzerindeki konsantrasyon

Y=Boyutsuz kayıp değeri

y=Düzgün yüzeye veya ihmal edilen kayma gerilmesi seviyesine olan mesafe(mm)

TEŞEKKÜR

“Hidrolik Pürüzlülük Mertebesinin İncelenmesi” konulu tezimin hazırlanmasında büyük emeği geçen başta değerli hocam sayın Doç. Dr. İbrahim Gentez olmak üzere , görev yapmakta olduğum Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin tüm öğretim elemanlarına , deney setinin kurulmasında emekleri geçen tüm teknik ekibe teşekkürlerimi iletir , saygılar sunarım.



ÖZET

Hazırlamış olduğumuz “Hidrolik Pürüzlülük Mertebesinin İncelenmesi ” konulu tez beş ana bölümden oluşmuştur. İlk bölümde giriş , pürüzlülüğün azaltılması için yöntemler , bu yöntemlerin kriterleri , pürüzlülüğe neden olan korozyon ve bunlardan korunma yöntemleri , kabuklaşmanın önlenmesi için yöntemler , inhibitör kullanımı , pürüzlülüğün boru malzemesi yönünden incelenmesi gibi konular ele alınmıştır .Daha basit bir ifadeyle pürüzlülüğün sebepleri ve önlenmesi incelenmiştir.

İkinci bölümde ise pürüzlülüğün neden olduğu sürtünme direnci hesabı analitik bir yöntem anlatılmıştır. İlk önce akışlarla ilgili teorik bilgi verilmiş ardından bazı kabuller yapmak suretiyle cidardaki kayma gerilmesi , hız dağılımları formüle edilmiş , yöntemin sınırları belirlenmiş ve daha sonra uygulamaya geçilmiştir. Çözüm yöntemi maddeler halinde anlatılmıştır. Doğal ve yapay pürüzlülükle ilgili deneyler ve araştırmalar yapılmış değişik pürüzlülük formları için ölçülen ve hesaplanan değerler grafiklendirilmek ve tablolar halinde gösterilmek suretiyle karşılaştırılmıştır. Düzgün yüzeyli borularda hız dağılımı , λ ve Re diyagramları çizilmiştir.

Üçüncü bölümde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli çaplardaki eski ve yeni galvanizli borular karşılaştırılmıştır. Deney düzeneği çizilmiş , ölçülecek olan borular resimlendirilmiş , deney sonucu ölçülen ve hesaplanan değerler (λ , Re , Q ,...) tablolar halinde gösterilmiş , λ sürtünme faktörü ile Re sayısının değişimi her çaptaki eski ve yeni borular için gösterilmek suretiyle karşılaştırılmış , herhangi bir tesisat için eski ve yeni boruların enerji maliyetleri arasında % olarak ne kadar bir fark olduğu bir örnekle gösterilmiş , olay genelleştirilerek her bir borunun birim boyu için enerji sarfıyatı ile debinin değişimi grafiklendirilmiştir. Bu deneyde kullanılan su Non-Newtonien akışkan özelliği taşısa da Newtonien akışkan olarak kabul edilmiştir.

Dördüncü bölümde ise Non-Newtonien akışkanlarla(polimer gibi) deneyler yapılmak suretiyle pürüzlü ve pürüzsüz borular karşılaştırılmıştır. Ayrıca Non-Newtonien akışkanların sürtünme faktörünün ve Re sayısının hesabı için bazı formüllemeler yapılmıştır.

Son bölümde ise tezde ele alınmış tüm konulardan çıkan sonuçlar ve bu konularla ilgili tartışmalar ortaya konulmuştur

ABSTRACT

The thesis that we prepared named as "The investigating of the grade of Hydraulic Roughness" has five basic topics.

In the first part , the methods of decreasing roughness , the criterion of these methods , using inhibitors , examining the roughness on pipe materials and like these topics are studied. By a simple representation the cause of roughness and preventing from the roughness are examined

In the second part an analytical method to calculate the friction factor caused by roughness is told. Firstful theoretical information about flows is given and then by making some acceptances , the shear stress , velocity distributions on the boundary are formulated , limitations of method are determined and then the application is done. The solution method is explained by sequence. The experiments and studies about natural and artificial roughness is done for different forms of roughness by calculating and testing the values and showing them on graphics and tables the comparison is done. The velocity distribution on smooth pipes and λ -Re diagrams are drawn.

In the third part experimental studies are done. At different radius of new and old pipes are compared. The experiment location is drawn , the photographs of pipes are put , the calculated values from the experiment (like λ , Re , Q , ...) are shown on tables , the friction factor λ and Re number is shown for every old and new pipes and an example is given for an installation for the energy cost differences by percent , this is generalized the energy expenditure of each unit length of pipe and flow of them are graphized. Water used in this experiment shows Non-Newtonian fluid properties but it is accepted as a Newtonian fluid.

In the fourth part by doing experiments with Non-Newtonian fluids , smooth and rough pipes are compared . And also for calculating Non-Newtonian fluids friction factor and Re number , some formulations are done.

In the last part the conclusions and discussions made from the subjects which are in the thesis is told.

1. GİRİŞ

Bir cisim içerisinde hareket halinde bulunan akışkanın hızı , cismin formu , bu formdan dolayı oluşan dirençler arasındaki bağıntıların tayini akışkanlar mekaniğinin temel problemlerindendir.

Bilindiği gibi boru içerisinde akışta , akışkanın enerji kaybına neden olan dirençlerin mümkün olduğunca az olması , hatta hiç olmaması istenmektedir. Boru içerisinde akışta direnci oluşturan en önemli faktörlerden biri de zamanla oluşan pürüzlülüktür. Pürüzlülüğün istenmeyen bir olay olması , bunun önlenmesi veya azaltılabilmesi için yöntemlerin araştırılmasına neden olmuştur.

Bu konuyla ilgili sayısız deneyler , araştırmalar yapılmış ve hala da yapılmaktadır. Pürüzlülüğün giderilmesi için birtakım kimyasal maddeler ve temizleme metodları geliştirilmiş ise de bu gibi yöntemlerin uygulanmasında bir takım zorluklarla karşılaşmıştır.

Pürüzlülüğün önüne geçilmemesi durumunda enerji kayıpları zamanla artacağından enerji maliyeti artacak , birim zamanda geçen debi azalacağından ihtiyaç olan miktar karşılanamaz hale gelecektir.

Akışkanlar bilindiği gibi Newtonien ve Non -Newtonien olmak üzere iki ana grupta ele alınmaktadır. Bu iki tür akışkanın pürüzlülüğe karşı göstermiş olduğu dirençlerin ne kadar olduğu araştırılmalı ve bunlarla ilgili kayıp hesapları , deneyler sonucu elde edilen ampirik bağıntılar yardımıyla yapılmalıdır.

Pürüzlülükten dolayı meydana gelen akış direncinin hangi faktörlere bağlı olduğu araştırılmalı , pürüzlülüğün artması durumunda ne gibi problemlerle karşılaşılacağı incelenmelidir.

Daha çok şehir şebekelerinde ve sanayi kuruluşlarında tıkanma ve patlamaya kadar giden bu problemin çözülmesi , bu konuyla ilgili tedbirlerin alınması gerekmektedir.

1.1.YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN NEDEN OLDUĞU TAŞIMA KAPASİTESİ AZALIMININ ÖNLENMESİ İÇİN YÖNTEMLER

Tesisatlarda kullanılan borular zamanla taşıma kapasitelerini kaybederler. Koroziye su taşıyan korunmamış demir ve çelik borular otuz yıllık bir zaman diliminde taşıma kapasitelerinin %50'sini kaybederler.

Korozyon borulardaki demiri borunun dışına çıkararak iç yüzeyde çukurlar ve tümsekler oluşturmak suretiyle taşıma kapasitesini azaltır. Temizleme ve düzenleme yapılmak suretiyle orijinal taşıma kapasitesi elde edilebilir.

Taşıma kapasitesi aynı zamanda boru içerisinde fazla kalsiyum karbonat olması durumunda azalabilmektedir. Bunun nedeni ise suyun kalsiyuma aşırı doymuş olmasıdır. Bu durum daha çok kuyu ile beslenen sistemler için geçerlidir. Taşıma kapasitesi ayrıca ,balçık büyümesiyle , tortu birikimiyle ve kurşunun fazla olması durumunda azalabilmektedir.

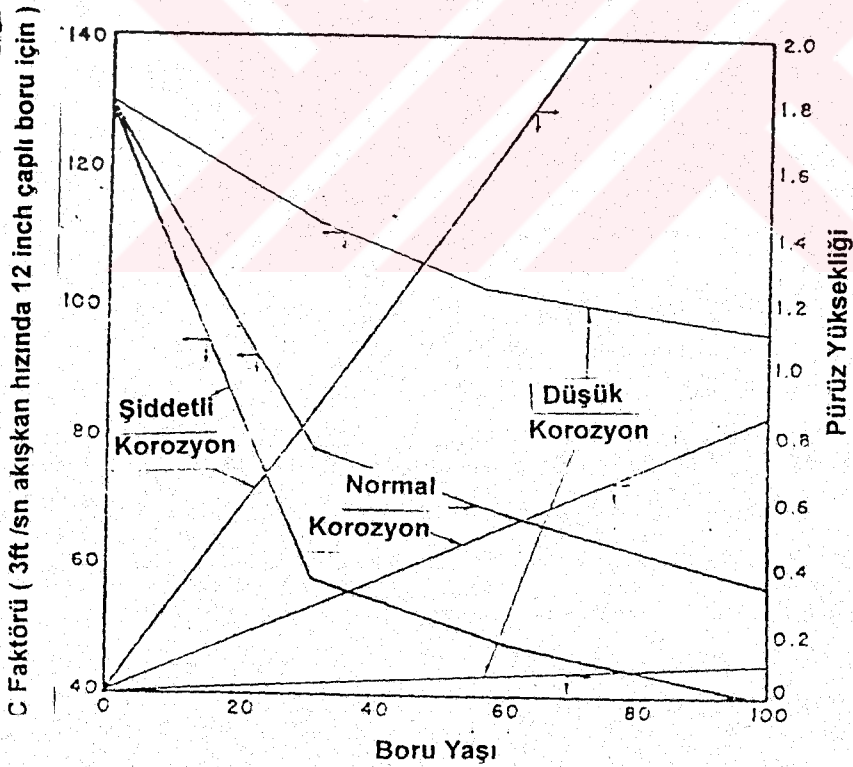
Eğer boru üzerinde kalsiyum karbonat tabakası varsa , bu tabakanın çok ince bir bölümü borunun korunması amacıyla bırakılabilir. Eğer orijinal çıkıntılar korozyon nedeniyle oluşmuşsa borular yeniden tesislendirilmeli aksi takdirde taşıma kapasitesi çok hızlı bir şekilde azalacaktır.

1.2.TAŞIMA KAPASİTESİNİN AZALMASI

Taşıma kapasitesinin azalması genellikle Hazen-Williams'ın C faktörüyle tanımlanır. Yeni boruların genellikle C katsayısı 130 civarındadır. Pürüzlülük elementleri zamanla belirli bir oranda büyürler ve C faktörü bu yüzden pürüzlülük elementlerinin büyüklüğünün

logoritmik bir fonksiyonudur , C değeri logoritmik olarak aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi azalmaktadır. Bu düşüş küçük borularda daha da fazladır nedeni ise pürüzlülük elementlerinin geçiş bölgesinde büyük borulara oranla daha fazla yer kaplamasıdır.

Boru içerisindeki tortuların , kabarcıkların silinmesi , temizlenmesi belirli bir süre için faydalı gibi gözükse de deneyimler temizlenmiş bir borunun yeni bir boruya oranla taşıma kapasitesini daha çabuk kaybettiğini ortaya koymuştur. C değerinin yüksek olabilmesi için borunun temizlenmesi ve tesis edilmesi gerekir. Temizleme ve tesisleme işlemlerinden sonra $C=120$ değerini almakta daha büyük borularda 140 değerini almaktadır. Kullanım bölgesinde suyun kimyasal olarak dengelenmesiyle boru pürüzlülüğü artış oranı minimize edilmiş olur. Bu genellikle agresif olmayan ve kabuk bağlamayan su elde etmek için kireç ve CO_2 eklenmesiyle mümkün olur.



ŞEKİL.1.1.Zamanla Boru Pürüzlülüğü Artış Diyagramı

1.3.TEMİZLEME YÖNTEMİ

Temizleme işleminde öncelikle geçici servis bağlantıları ve by pass boruları kurulur daha sonra yukardan aşağıya boruya doğru kazmak suretiyle herbir borunun sonunda açıklık yapılır ve borudan bir parça alınmasıyla borunun iç kısmına ulaşılabilir. Borudan giriş için alınmış olan parça kuyunun dışında elle temizlenip düzeltilir. Alınmış olan bu boru parçası yapısal bütünlük ve dış korozyon etkileri açısından kolayca muayene edilebilmelidir.

Kazıyıcılar borunun temizlenmesi amacıyla boru içerisinde bir doğru boyunca ilerletilerek temizleme işlemi gerçekleşir. Bu kazıyıcılar genellikle mekaniksel olarak vinçlerle çekilir veya itilir,buna rağmen bazıları da yeterli basınç olması durumunda hidrolik olarak doğrusal hareket ettirilebilir. Çok geniş borularda genellikle kazıyıcılar elektriksel olarak elle çalıştırılırlar. Boru içindeki pislikler ve su lastik süpürge ile temizlenir ve bunlar ortamdaki uzaklaştırılır.

Hatlar tekrar kontrol edilir,temizlenir ve dezenfekte edildikten sonra giriş sağlamak amacıyla çıkarılmış parçalar tekrar yerlerine monte edilir. Servis kurulur kurulmaz by-pass boruları çıkarılır ve giriş çukurları tekrar asfaltlanır.

1.4.TEMİZLEME KRİTERİNİN BELİRLENMESİ

Kullanım bölgesinde yeterli basınçta ve debide su elde edilemiyor ise temizeleme yöntemi en uygun olanıdır.Diğer alternatifler ise :

- (1)Düşük basınçta yaşamaya alışmak
- (2)Pompa istasyonlarının ayarlanması veya istenen basıncı elde edebilmek için daha fazla pompa eklemek.
- (3) Parelel borulama yapılabilir
- (4) Yükseltilmiş depo veya hidropnomatik tankların yerleştirilmesi .

Genellikle temizleme yöntemi düşük C değerli büyük kanallar için en ekonomik yoldur ve eğer temizlenirse ilerideki ihtiyaçları karşılayabilecek yapısal bütünlüğe ve kapasiteye sahip olunabilir.

Bir basınç problemiyle karşılaşıldığı zaman , kayıp testleri yapmak suretiyle borunun pürüzlülüğünü belirlemelidir. Temizleme ve düzenleme işlemleri eğer diğer yöntemlere göre daha ucuz ise yapılmalıdır. Bu değerlendirmeyi yaparken faiz oranları ,akış şekli ,enerji sarfiyatı ve C faktörünün gözönünde bulundurulması gerekir.

$$\frac{K.L}{D^m} \left(\frac{Q}{C} \right)^n > h \quad (1.1.)$$

Bu eşitliği sol taraftaki değere bölersek boyutsuz Y değerini elde etmiş oluruz.

$$Y = \frac{h}{L} \left(\frac{C}{Q} \right)^n \frac{D^m}{K} \quad (1.2.)$$

Eğer $Y > 1$ ise boru bu debiyi kabul edilebilir bir kayıp ile taşıyabilir. Temizleme ve tesislemeye ihtiyaç olmayabilir fakat bu yöntemlerin enerji maliyetlerinde büyük tasarruf sağladıkları aşıkardır. Eğer $Y < 1$ ise taşıma kapasitesinin artırılması için birşeyler yapılması gereklidir.

Örnek : 6000ft uzunluğunda ,16 inch çapındaki 2500 galon/dak debisindeki ve akıntı yönünde normal fazla kullanımı şartlarında 40 psi basınca karşılık gelen ve 20 psi basınçlı 4000galon/dak debi olması durumundaki borunun Y değerini belirleyin. Kaynağın baş kısmı 440ft yükseltide , kullanım yeri yüksekliği ise 300 ft olup C faktörü de 80'e eşittir.

Çözüm : Kabul edilebilir kayıplar hem yüksek ,hem de düşük akışlar için öncelikle belirlenmelidir.

$$h(2500)=440-(300+40*2.31)=47.6 \text{ ft}$$

$$h(4000)=440-(300+20*2.31)=93.8 \text{ ft}$$

Y'nin uygun değerleri řu řekildedir;

$$Y=\frac{47.6}{6000}\left(\frac{80}{2500}\right)^{1.85}\frac{16^{4.86}}{10.4}=0.93$$

$$Y=\frac{93.8}{6000}\left(\frac{80}{4000}\right)^{1.85}\frac{16^{4.86}}{10.4}=0.77$$

Sonuç olarak $Y < 1$ olduğu için kapasitenin artırılması gereklidir.

1.5.TEMİZLEME İŞLEMİNİN MALİYETİ

Bir borunun temizlenmesi ve düzenlenmesinin maliyeti oldukça geniş sayıdaki değişkenlere bağlıdır,bunları řu şekilde sıralayabiliriz;

- 1-Boru apı ve boru tipi
- 2-İçin tüm kapsamı
- 3-Sistemin coęrafik konumu
- 4-Boru diziliřleri
- 5-Valflerin boyutu , yerleřim düzeni ve tipi
- 6-Kaplamanın derinlięi ve döřeme tipi
- 7-Giriş yeri
- 8-Belirli bir zamanda düzenlenebilen boyutlar
- 9-By- pass gereksinimleri
- 10-Kamu tarafından yapılan için miktarı

11-Yapılış tarihi

12-Işin süresi

$$\text{Maliyet}=9,27.D^{0,30}$$

(1.3.)

D=Çap (inch)

Maliyet=Birim boy için 1982'deki fiyatlarla dolar bazındaki maliyet

1.6.KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Korozyon oluşturan başlıca nedenler şunlardır;

- a-Nem,su
- b-Suda erimiş oksijen
- c-Sıcaklık
- d-PH değeri (asitlik)
- e-Erimiş durumdaki katı maddeler
- f-Asılı durumdaki katı kirler
- g-Suyun akma hızı

Eğer borunun içerisinden korozyon sıvı geçiriliyorsa bu sıvının içerisine kimyasal uyarıcı (inhibitör)katılmalıdır. Su içinde mevcut asılı katılar giderilmelidir. Bu da ancak suyun filtreden geçirilmesiyle olur. Su akış hızının düşük olması da (1.5-2m/s)korozyonun önlenmesinde önemli bir faktördür. Ayrıca boruların içerisinde hava kalmasını önleyecek tedbirler alınmalıdır. Borularda galvaniz (çinko kaplama) olması da korozyona karşı korunmada önemli bir faktördür.

1.7.ELEKTROMANYETİK ALANLA SUYUN TEMİZLENMESİ

Bilindiği gibi metal borularda korozyonun ve tıkanmanın sebeplerinden biri de su içerisindeki metal kökenli partiküllerdir. Bu ve buna benzer maddelerin sudan ayırtilarak ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Bunun için elektromanyetik alanla suyun temizlenmesi yöntemi kullanılır.

Bu yöntemde yüksek kapasiteli ve verimli elektromanyetik filtreler kullanılır .Öncelikle temizlenecek olan su ,yüksek şiddeti olan bir manyetik alandan geçirilerek küçük boyutlu zerrelere temizlenir daha sonra yüksek elektrik alan şiddetinde aktifleştirilmiş küçük gözenekli silikojelden filtre edilerek organik karakterli karışımlardan temizlenir.

1.8.KABUKLAŞMAYI ÖNLEYİCİ BAZI KATKI MADDELERİ KULLANMAK

Aşağıdaki çizelgede kabuklaşmayı önleyici bazı kimyasal katkı maddeleri verilmiştir. Bu kimyasalların bazıları İtalyadaki çalışmalarda denenmiş olup en iyi sonuçlar Dequest 2066 ve Sequion 40Na32 gibi organik fosfonatlarla alınmıştır.

Tablo.1.1.Kabuklaşmayı Önleyici Bazı Katkı Maddeleri

Katkı Maddeleri	Kimyasal Yapısı
Dequest 2060	Organik fosfanik asit
Dequest 2066	Organik fosfanik asit
Ecostabil 4001	Organik fosfanik asit
Ecostabil 4004	Organik fosfanik asit
Ecostabil EP/85	Organik fosfanik asit
Ecopol 4014	Poliakrilat
Ecopol 4022	Poliakrilat
Nadar 4053	Organik fosfanik asit
Nadar 4054	Organik fosfanik asit
Flocon 247	Polikarboksilik asit

Kimyasal katkı maddeleri kullanarak günümüze kadar yapılan çalışmalardan belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

-Ergimiş tuzlar ve bazı eser elementlerin (Mn,Fe,As) bulunması ürün etkinliğini etkilememektedir.

-Kimyasal katkı maddesi çekirdekleşmenin başlamış olduğu iki fazlı bir akışkana eklendiğinde etkili olmaktadır.

-Fosfanatların etkinliği 180-200°C'ye kadar sürmektedir. Bazı sonuçlar 210°C'den sonra bozulma olduğunu göstermiştir ve bu nedenle katkı maddesinden aynı etkinin sağlanması için iki misli derişim kullanılmalıdır.

-Kimyasal katkı maddelerinin etkinliği birkaç saat sürebilir, bu nedenle geri besleme sorun oluşmaksızın devam edebilir.

1.9.HİDROLİK PÜRÜZLÜLÜK MERTEBESİNİN BORU MALZEMESİ YÖNÜNDEN İNCELENESİ

Bilindiği gibi günümüzde , tesisatlarda kullanılagelen malzemelere alternatif malzemelerin kullanılması gerek ekonomik , gerekse ömür bakımından büyük bir önem arz etmektedir. Yıllardır kullanılmakta olan galvanizli ve düktil boruların yerini plastik ve bakır borular almaktadır.

Plastik boruların çok tercih edilir olmasının nedeni:

- 1-Korozyona uğramaması
- 2-Kireçlenme yapmaması
- 3-Montaj kolaylığının olması
- 4-Uzun ömürlü olması

Bunun yanında plastik boruların kullanım yerine göre bir takım dezavantajları vardır:

- 1-Pahalı olması
- 2-Isıl genişlemenin yüksek olması
- 3-Kullanım alanının sınırlı olması gibi

Bakır boruların kullanımı ülkemiz dışında dünyanın çoğu ülkesinde yaygın olarak süregelmektedir. Bakır boru ;sıhhi tesisatlarda , ısıtma , soğutma sistemlerinde , doğalgaz , havagazı , LPG , yağ ,yakıt , mazot ,gaz tesisatlarında rahatlıkla kullanılabilir.

Bakır boruların avantajı:

- 1-Uzun ömürlü olması
- 2-Sürtünmenin veya yüzey pürüzlülüğünün düşük olmasından dolayı düz boru kaybının az olması

3-Belli sıcaklıklarda sağlıklı olması

4-Isıl iletkenliğin yüksek olması

Bunun yanında bakır boruların dezavantajları da bulunmaktadır şöyleki:

1-Birim boy borunun pahalı olması

2-İşçiliğinin pahalı olması

3-Kaynak işleminin zor olması

4-Belli sıcaklığın üzerinde kullanılması durumunda sağlık açısından zararlı özelliklerinin ortaya çıkması gibi....

Şimdi bu üç tür boruyu maliyet ve pürüzlülük açısından karşılaştıralım . Maliyet yönünden olayı daha iyi anlamak açısından lavabo , kendinden rezervuarlı klozet , banyo küveti , şofbeni ve soğuk , sıcak çamaşır makinesi bağlantısı olan bir banyoyu ele alalım . Bu banyoda üç malzemenin kullanılması durumundaki maliyetler karşılaştırılmıştır. Ayrıca aynı boy ve çapa göre boru maliyetleri diğer tabloda gösterilmiştir.

TABLO .1.2. Kullanılacak Boruların Çap ve Boyları

MALZEME	ÇAP	BOY (m)
Galvanizli Boru	1"	1.8
	3/4"	7
	1/2"	7.2
Plastik Boru	32 mm	1.8
	25 mm	7
	20 mm	7.21
Bakır Boru	20 mm	.8
	18 mm	7
	15mm	6
	12mm	0.6

TABLO 1.3. 1997 Ocak Ayı Tesisat Maliyeti

MAZEME	BORU MALİYETİ(TL)	FİTTİNGS TUTARI (TL)	YARDIMCI MALZ.(TL)	TOPLAM MALİYET(TL)
Galvanizli Boru	1.580.000	3.900.000	235.000	5.715.000
Plastik Boru	2.115.000	3.385.000	90.000	5.590.000
Bakır Boru	3.000.000	2.320.000	235.000	5.555.000

Tablodan da görüleceği üzere maliyet açısından hemen hemen aynı bir maliyet olmakla birlikte en az maliyeti bakır boruda elde edebilmekteyiz.

Pürüzlülük mertebesi yönünden bir karşılaştırma yapılması söz konusu olur ise ;

TABLO 1.4.Pürüzlülük Yüksekliği Değerleri

Boru Cinsi	“k” Değeri (mm)
Bakır Boru	0.0015
Plastik Boru	0.007
Galvanizli Boru	0.15
Duktil Boru	0.1

Tablo 1.4’den anlaşılabacağı üzere en az pürüzlülüğe sırasıyla sahip olan bakır , plastik , galvanizli ve duktil borulardır. Bakır boruların pürüz yüksekliğinin çok düşük olması basınç kayıplarının diğer borulara göre çok az olacağını göstermektedir.

2. PÜRÜZLÜ YÜZEY CİDAR SÜRTÜNME DİRENCİNİN KURAMSAL İNCELENMESİ

2.1. Laminar ve Türbülanslı Akış

1883 yılında Osborne Reynolds borularda yaptığı deney neticesinde birbirinden farklı iki akış rejiminin olduğunu göstermiştir. Değişik tarifler bulunmakla birlikte genelde , akışkan partikülleri doğrusal olarak ve birbirine paralel yörüngeler boyunca akıyorsa buna laminar akış , akışkan partikülleri ortalama bir yörünge etrafına düzensiz salınımlar yapıyorsa bu akışa da türbülanslı akış denir.

Reynolds sistematik deneysel çalışmaları neticesinde , bu iki farklı rejimi belirten anahtarlama faktörün , boru çapı (levha için boy) ortalama hız ve kinematik vizkozite ile tarif edilen boyutsuz Reynolds sayısı $Re = D \cdot U / \nu$ olduğunu göstermiştir.

2.2. Sınır Tabaka

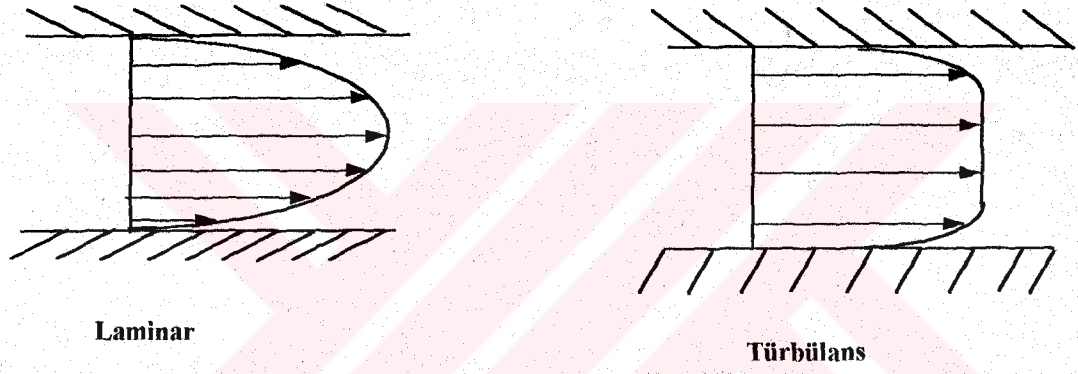
Bir katı cismin etrafında hareket eden bir akışkanın hızı katı cismin cidarında sıfırdır. Cidardan uzaklaştıkça hız artmakta belirli bir mesafe sonra hız cidardan bağımsız olarak serbest akış bölgesindeki değerine erişmektedir.

Bu andan itibaren hız sabit kabul edilir . Akışkan hızının cidardaki sıfır değerinden serbest akış bölgesindeki sabit değere eriştiği kısma kadar olan bölgeye sınır tabaka denir. Sınır tabaka ile ilgili özellikleri ince cidarlı akışa paralel olarak yerleştirilmiş bir düzlemsel levha etrafındaki akış halinde belirtelim . Akış hızı U olsun , levha cidarında akışkan hızı sıfır olur ve akım boyunca kalınlığı artan bir sınır tabaka oluşur. Başlangıçta akış laminar olup daha sonra türbülanslı akım oluşur ve cidara doğru yayılır. Şekil 1.1’de laminar ve türbülanslı sınır tabaka ve geçiş bölgesi görülmektedir. Geçiş bölgesine kadar olan x_c mesafesine kritik uzunluk denir ve akışkan hızı arttıkça bu mesafe kısalır böylece

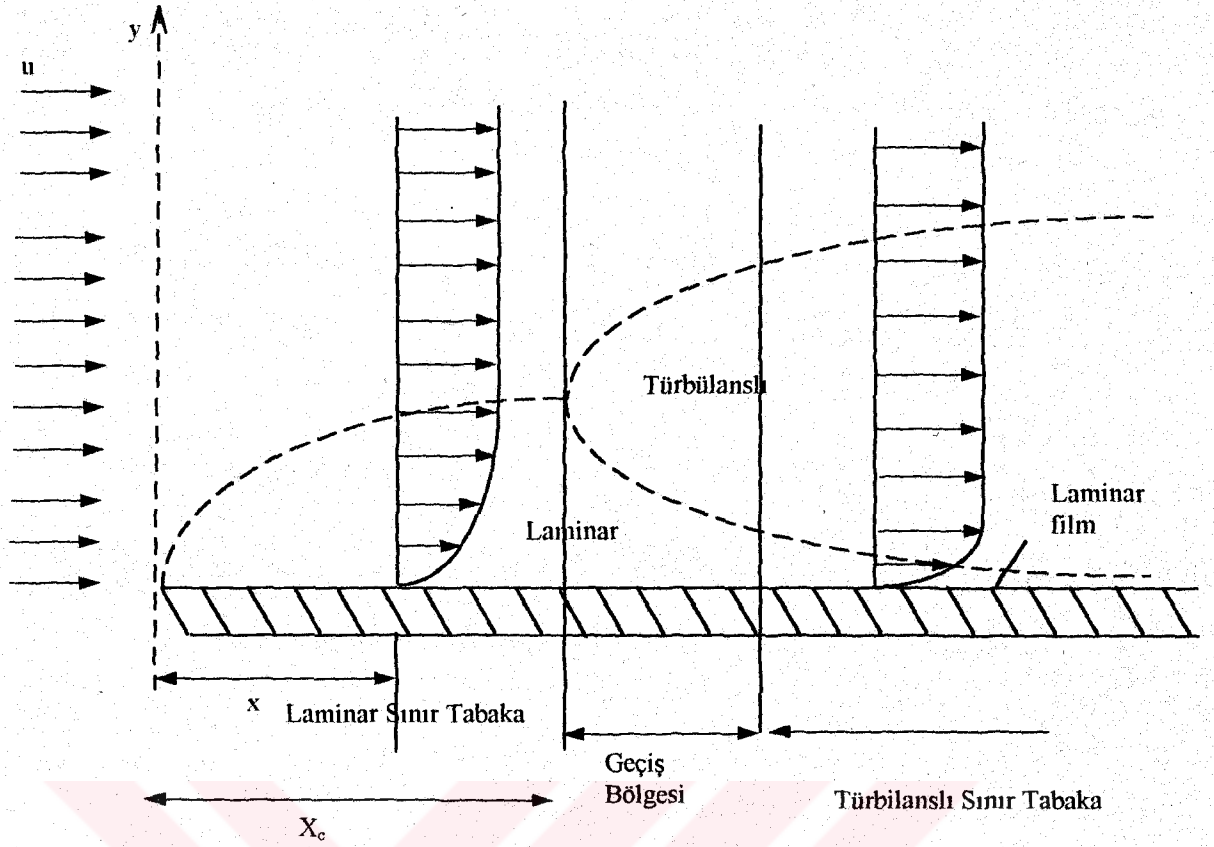
türbülanslı akım daha erken oluşmaya başlar buna karşılık $U \cdot x_c$ çarpımı sabit kalır $U \cdot x_c / \nu$ değerine de kritik Re değeri denilir.

2.3.Borular İçinde Akışta Hız Yayılışı

Borular içinde laminar akış halinde hız yayılışı paraboliktir akış türbülanslı olduğu takdirde hız farkları büyüyecek buna karşılık meydana gelen direnç hız yayılış eğrisi basıklaşacaktır. Aşağıdaki şekillerde laminar geçiş bölgesi ve türbülanslı akış durumları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Akışların Gösterimi



Şekil .2.2.Sınır Tabaka Akımında Akış Rejimlerinin Gösterimi

2.4.Kuramsal İnceleme

Kanallardaki laminar akış için kesin inceleme unsurudur. Aynı zamanda pürüzsüz cidar üzerindeki türbülanslı bir akışta direncin kuramsal olarak belirlenmesi de mümkün olabilmektedir. Bununla beraber, pürüzlü cidardaki türbülanslı akış için pürüzlü yüzeyin geometrik karakteristiğine dayanan sürtünme kayıplarının belirtilebilmesi için pratik ve tatmin edici bir metot hala geliştirilememiştir. Bir diğer ifadeyle tam türbilans için rasyonel bir teori oluşturulamamıştır. Genel direnç veya λ 'ya karşılık Re diyagramının kullanımıyla karakterize edilen rasyonel metodlarda ,akış kesitinin , pürüz şeklinin ve boyutunun rollerini açıklığa kavuşturabilmek için bir deneysel araştırmaya ihtiyaç vardır. Enerji kaybında belirli bir etkisi olan pürüzlü malzemenin yüzey pürüzlülüğüne gereken önem ve dikkat gösterilmelidir. Eğer bu alnda daha yeni ve daha gelişmiş teknikler adapte edilebilirse istenilen elde edilmiş olacaktır.

Son zamanlarda pratikte kullanılan ve tesiste yer alan borularda , pürüzlü yüzeyin profiline bağlı olarak direncin bulunabilmesi için nümerik sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında , pürüzlülük elementlerinin şekillerinin,boyutlarının ve akış kesitlerinin rollerinin bu yöntemlerce tamamen açıklığa kavuşturulmasından evvel teknikteki bir takım gelişmelere ihtiyaç vardır. Pürüzlü kanallarda akışta sürtünme faktörünün hesaplanması için kanalın pürüzlü tabakasının profillerinin analizine dayanan bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma pürüzlü bir kanalda akışta sürtünme direncinin , cidardaki farklı pürüzlülük elementlerinin sürükleyici formlarından dolayı meydana gelen direnç ve pürüzlülük elementleri arasındaki düzgün cidarların viskoz dirençlerinin kombinasyonuna dayandığı farz edilerek oluşturulmuştur. Bu iki tip direncin bağlı katkıları,akışa normal bir düzlemde elementlerin projelendirilmiş sahalarının tahminiyle ve elementlerin en üst kısmındaki kayma gerilmesi ve hız dağılımlarının ilişkilendirilmesiyle belirlenmektedir.

Algoritma basitleştirilmiştir ve pürüzlü bir cidardaki akış direnci ;

- a)Ortalama pürüzlülük elementi yüksekliğinin
- b)Verilmiş bir cidar alanı için akışa normal bir düzlemde elementlerin projelendirilmiş alanlarının
- c)Üniform olmayan hız dağılımı için elementlerin sürüklenme katsayılarının tahmin edilmesiyle belirlenmiştir.

Önceden belirlenmiş cidardaki pürüzlülük elementlerinin karakteristiklerine dayanan akış direncinin hesabını kolaylaştırmak amacıyla bir grafik geliştirilmiştir.

Sonuç olarak,akışkanlar mekaniği literatüründe sürtünme faktörünün hemen hemen Reynolds sayısından bağımsız olması sadece sınırdaki viskoz kayma gerilmesini oluşturan sınırdaki kaba ve sıkı yerleşmiş pürüzlülük elementlerinin varlığında geçerlidir. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan deneyler sonucu Reynolds sayısının artmasıyla,sürtünme faktörünün,büyük vizkoz kaymaların olduğu , cidar üzerindeki çok düşük

konsantrasyonlardaki pürüzlülük elementlerinin olması durumunda bile hemen hemen sabit bir hal aldığı anlaşılmaktadır. Bu olay genellikle konu hakkındaki literatürlerde tanımlanan ve kabul edilen teoriye zıttır.

2.5.KAYMA GERİLMESİ DAĞILIMI

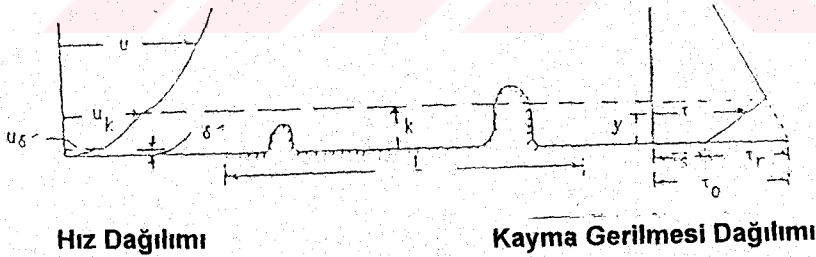
Bu metot pürüzlü bir cidardaki akış direncinin, cidardaki farklı pürüzlülük elementlerinin sürükleyici formlarından ve pürüzlülük elementleri arasındaki düzgün yüzeylerin viskoz kaymalarından dolayı oluşan dirençlerin bir kombinasyonu olduğunu farzediyor.

Cidardaki toplam kayma gerilmesi τ_0 değeri;

$$\tau_0 = \tau_s + \tau_r \quad (2.1)$$

Diğer bir ifadeyle;

$$(\tau_s / \tau_0) + (\tau_r / \tau_0) = 1 \quad (2.2)$$



Şekil 2.3. Hız ve Kayma Gerilmelerinin Şematik Bir Diyagramı

Hız ve kayma gerilmelerinin dağılımı yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Şekildeki τ_s değeri düzgün yüzeyin kayma gerilmesini, τ_r değeri de pürüzlülük elementinin sürüklenmesinden oluşan kayma gerilmesidir. Maksimum kayma gerilmesinin düzgün yüzey üzerindeki pürüzlülük elementlerinin ortalama yüksekliğinde olduğu farzedilmiştir. Pürüzlülük elementlerinin sürüklenmesinden dolayı, pürüzlü elementlerin arasındaki düzgün yüzey üzerinde olduğu farz edilen viskoz alt tabakadaki kayma

gerilmesi τ_s değerine düşer. Bu mesafe boyunca kayma gerilmesinde lineer bir değişim elde edilir.

2.6.HIZ DAĞILIMI

Hız dağılımı kayma gerilmesinin bir fonksiyonudur,viskoz alt tabakanın üst kısmındaki bağıl(izafi) hız;

$$u_{\delta'}/u_* = 11.6(\tau_s + \tau_0)^{1/2} \quad (2.3)$$

δ' =Viskoz alt tabaka kalınlığı

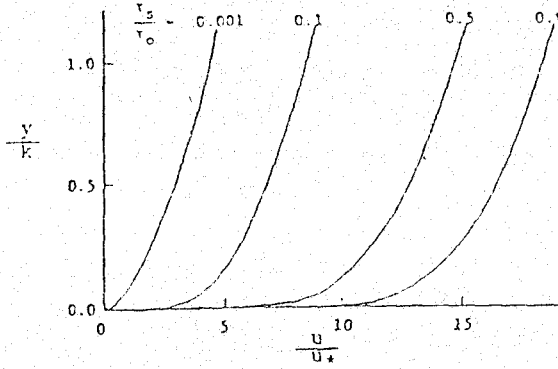
u_* =Kayma hızı $(= (\tau_0 / \rho))^{1/2}$

Viskoz alt tabaka üzerindeki bölgede ve elementlerin ortalama yüksekliğine kadar olan kısımda Prandtl'in karmaşık uzunluk eşitliği uygulanacağı için aşağıdaki gibi belirtilecektir;

$$\tau = \rho l^2 (du/dy)^2 \quad (2.4)$$

Bu şu şekilde de ifade edilebilir;

$$\frac{du}{dy} = \frac{u_*}{\kappa y} \sqrt{\frac{\tau}{\tau_0}}$$



Şekil 2.4 Cidar Üzerinde hız dağılımı

Bağıl kayma gerilmesi τ/τ_0 (2.4 nolu eşitlik) viskoz alt tabakada $\tau/\tau_0 = \tau_s/\tau_0$ olması durumunda minimum ve maksimum değerini pürüzlülük elementinin üst kısmında ($y/k=1$) olduğu τ/τ_0 değerinin bir bütünlük sağlaması durumunda alır. Bu kayma gerilmesi dağılımıyla, relatif hız dağılımı 2.3 ve 2.4 nolu eşitliklerden τ_s/τ_0 'ın fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Bu hız dağılımı Şekil 2.4'de τ_s/τ_0 'ın değişik değerleri için gösterilmiştir. Elementlerin üzerindeki alan için, logaritmik hız dağılımının standart formu uygulama amacıyla kabul edilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından, bu alanda elde edilen deneysel veriler pürüzlülük elementinin geometrik ortalama seviyesinde olduğu farz edilen başlangıç noktasından itibaren mesafenin ölçülmesi durumunda, logaritmik hız dağılımına uygun değerlerin elde edildiği gösterilmiştir. Geometrik ortalama seviye şu şekilde tanımlanabilir, eğer tüm pürüzlülük elementleri eritildiğinde düzgün yüzey üzerinde oluşan sınır yüzeydir. Logaritmik hız dağılımının standart formu şu şekilde düzenlenebilir;

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \frac{y}{k - k_0} + \frac{u}{u_*} \quad (2.5)$$

Burada k değeri pürüzlülük elementinin ortalama yüksekliğini, k_0 geometrik ortalama seviye ile düzgün yüzey arasındaki mesafeyi, y değeri geometrik ortalama seviyeden ölçülen değeri ve u_k/u_* ise pürüzlülük elementlerinin üst kısmındaki relatif hız değeridir.

2.7. ANALİTİK BAĞINTININ KURULMASI

Pürüzlülük elementlerinin sınırdaki sürüklenme kuvveti şu şekilde ifade edilebilir;

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A_p \rho u^2 \quad (2.6)$$

Pürüzlülük elementleri üzerindeki yaklaşık hız üniform değildir ve elementlerin yüksekliğine göre değişir (Şekil 2.3). Elementlerin direnç (sürüklenme) kuvvetlerinin hesaplanması için, elementlerin ortasındaki yaklaşık hız uygulama amacıyla kabul edilmiştir ve 2.6 nolu eşitlik şu şekilde yazılır;

$$\tau_r = \frac{F_D}{BL} = \frac{1}{2} C_D \frac{A_p}{BL} \rho (u_{k/2})^2 \quad (2.7)$$

(2.7) nolu denklem daha açık yazılırsa

$$\frac{\tau_r}{\tau_0} = \frac{1}{2} C_D \frac{A_p}{BL} \left[\frac{u_{k/2}}{u_*} \right]^2 \quad (2.8)$$

Şimdi 2.2 nolu eşitlikten

$$\frac{\tau_r}{\tau_0} = 1 - \frac{\tau_s}{\tau_0} \quad (2.9)$$

Bu nedenle ;

$$1 - \frac{\tau_s}{\tau_0} = \frac{1}{2} C_D \frac{A_p}{BL} \left[\frac{u_{k/2}}{u_*} \right]^2 \quad (2.10)$$

(2.5)nolu eşitlik şu şekilde yazılabilir;

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \frac{y}{k - k_0} + \left[\frac{u_k}{u_*} - 8.48 \right] + 8.48$$

veya

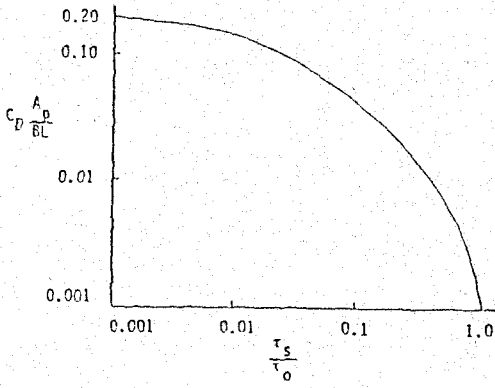
$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \left[\frac{\frac{y}{k - k_0}}{e^{(u_k / u_* - 8.48) / 2.5}} \right] + 8.48 \quad (2.11)$$

Nikuradse tarafından pürüzlü borulardaki hız dağılımı eşitliği

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \frac{y}{k_s} + 8.48 \quad \text{olarak verilmiştir} \quad (2.12)$$

Burada k_s eş değer kum zerreciği pürüzlülüğüdür.(2.11) ve (2.12) nolu eşitlikler karşılaştırıldığında şu sonuç elde edilir;

$$k_s = \frac{k - k_0}{e^{(u_k / u_* - 8.48) / 2.5}} \text{ veya } \frac{k_s}{k - k_0} = \frac{1}{e^{(u_k / u_* - 8.48) / 2.5}} \quad (2.13)$$



ŞEKİL.2.5. τ_s / τ_0 'ın $C_D \frac{A_p}{BL}$ ile değişimi

τ_s, τ_0 'ın verilmiş bir değeri için $\frac{u_{k/2}}{u_*}$ değeri de Şekil 2.4'den bilinmekte ve C

$\frac{A_p}{BL}$ değeri Şekil 2.5'de gösterildiği gibi τ_s / τ_0 ve $C_D \frac{A_p}{BL}$ arasındaki ilişkiyi sağlamak için (2.10)nolu eşitlikten hesaplanabilir. Aynı zamanda τ_s / τ_0 'ın verilmiş bir değeri için Şekil 2.4'den u_k / u_* bilinmekte ,

$\frac{k_s}{k - k_0}$ (2.13) nolu eşitlikten belirlenebilir. Böylece $C_D \frac{A_p}{BL}$ değeri tek bir şekilde

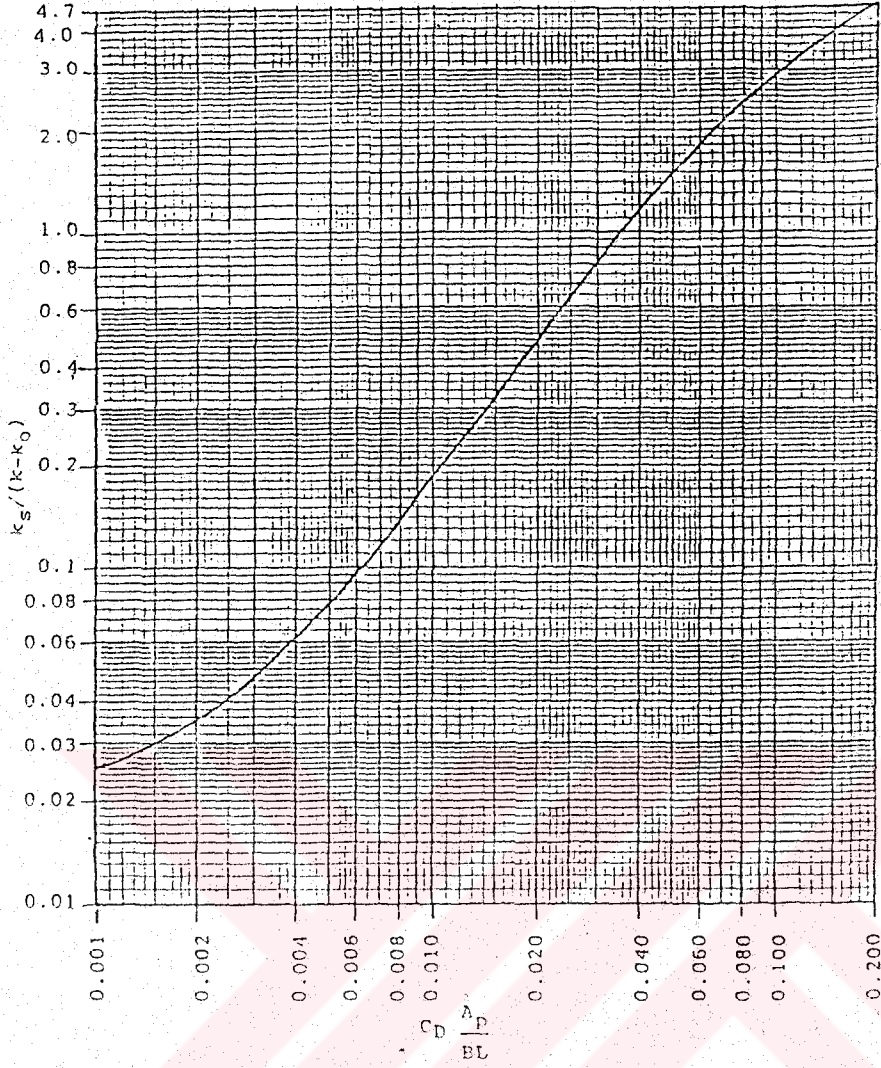
$\frac{k_s}{k - k_0}$ değeriyle bağdaştırılabilir ve $C_D \frac{A_p}{BL}$ 'ye karşılık $\frac{k_s}{k - k_0}$ değerinin Şekil

2.6'deki gibi bir grafiği çizilebilir.

Şekil 1.5'de görüldüğü gibi $C_D \frac{A_p}{BL} = 0.20$ olduğunda , τ_s / τ_0 değeri ihmal

edilebilir ve $\tau_s / \tau_0 = 1$ olmaktadır. Bu nedenle $C_D \frac{A_p}{BL} \geq 0.20$ olduğunda , akıştaki

direncin tümü pürüzlülük elementi tarafından oluşturulmuştur.



Şekil .2.6. $k_s/(k-k_0)$ ile $C_D \frac{A_p}{BL}$ 'nin değişimi

2.8.UYANDIRMA EFEKTLERİ

Her pürüzlülük elementinin arkasında yerel bir hız dağılımına neden olan lokal bir uyanma bölgesinin olduğu unutulmamalıdır. Akışın gerçek hızı ,elementlerin bulunduğu bölgede ve bu elementlerin uyanma bölgesinde ihmal edilebilir. Bununla beraber ,bu metotta pürüzlülük elementlerine geliş hızının ,akışa karşı olan elementlerin lokal uyanma etkileri tarafından etkilediği kabul edilmiştir.

Bu yöntemin uygulandığı gelişigüzel pürüzlülükler için, lokal uyandırma efekti ihmal edilebilir çünkü ortalama hızdan daha az hızla sürüklenen elementler ortalama hızdan daha yüksek hıza maruz kalan elementler denkleştirilmelidir. Bu yüzden bu yöntemde ,sınıra normal yönde değişen kuramsal bir ortalama hız ,elementlerin direncinin hesabında kullanılmıştır.

2.9.YÖNTEMİN SINIRLARI

Bu yöntemin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

1-Bu metot ,sürtünme katsayısının yalnızca sınırdaki bağıl pürüzlülüğün bir fonksiyonu olduğu ve Reynolds sayısından bağımsız olduğu pürüzlü yüzeylerdeki akışlar için geliştirilmiştir.

2-Elementin pürüzlülük karakteristikleri cidar boyunca yönden bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Bu metodun özellikle ,pürüzlülüğün dökme demir borulardaki doğal pürüzlülük veya küp ve yarımküre şeklindeki boru veya kanallardaki suni pürüzlülük gibi farklı elementlerin formunda olması durumunda geçerli olduğu anlaşılmıştır.

3-Pürüzlülük elementlerinin yüksekliğinin ,bir borunun R çapıyla veya bir kanalın R hidrolik çapıyla karşılaştırılması daha sonra kabul edilmiştir.

2.10.YÖNTEMİN UYGULANMASI

2.10.1.Projelendirilmiş Alanın ve Elementlerin Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi:

Metodun uygulanabilmesi için :

(a)Pürüzlülük elementinin ortalama yüksekliğinin

(b)Verilmiş bir sınır alan için akışa normal bir düzlem üzerindeki elementlerin projelendirilmiş alanlarının

(c)Geliş hızının üniform olmaması durumunda elementlerin sürtünme katsayısının bilinmesi gerekir.

Şekli verilmiş suni pürüzlülük elementleri için,elementlerin ortalama yüksekliği ve projelendirilmiş alanları,sınırdaki pürüzlülük elementlerinin konsantrasyonu ve verilmiş boyutlarından kolaylıkla elde edilebilir.

Sürtünme katsayısını,geliş hızının üniform olmadığı sürüklenme deney çalışmalarına dayandığı kabul edilebilir. Doğal pürüzlülük elementleri için,elementlerin ortalama yüksekliği ve projelendirilmiş alanı pürüzlü yüzeyin profilinden de tahmin edilebilir.

Eğer yüzey boyunca pürüzlülük karakteristiklerinin yönden bağımsız olduğu kabul edilirse,profilin bir L uzunluğunda elementlerin projelendirilmiş alanı şu şekilde yazılabilir;

$$A_p = N.k.b \quad (2.14)$$

Bu elementlerin ortalama olarak yüzey alanı $b.L$ 'dir.Bu nedenle ;

$$\frac{A_p}{BL} = \frac{N.k.b}{bL} \text{ veya } \frac{A_p}{BL} = \frac{Nk}{L} \quad (2.15)$$

Çözümün doğruluğu analiz edilen profil sayısına bağlıdır. İhtiyaç duyulan profillerin sayısını belirlemek için istatistiksel bir analiz uygulanabilir böylece sürtünme katsayısı arzu edilen bir doğruluk derecesinde tahmin edilebilir.

Doğal elementlerin sürüklenme katsayıları yüzey üzerinde gelişigüzel bir şekilde yerleşmiş farklı şekillerdeki elementlerde olduğu gibi elementlerin şekillerinin analiziyle tahmin edilebilir.İstatistiksel bir analizin sonucuna dayanarak Calhaun doğal elementlere

benzer bir şekli ve $C_D=1.1$ sabit değerini elde etmiştir. C_D 'nin sabit bir ortalama değerde olmasında etkili olduğunun kabul edilmesi gibi.

2.11.ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Pürüzlü bir yüzeyde türbülanslı akışta sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

1-Verilmiş bir yüzey alanı için(BL),pürüzlülük elementlerinin ortalama yüksekliği k ve akışa paralel bir düzlem üzerindeki elementlerin projelendirilmiş alanı belirlenir, k_0 değeri de yüzeydeki pürüzlülük elementlerinin hacminin tahmini ile belirlenir.

2-Pürüzlülük elementleri için sürüklenme katsayısı C_D belirlenir.

3-Eğer $C_D \frac{A_p}{BL}$ değeri 0.20'den az olduğunda $k_s(k-k_0)$ değeri , $C_D \frac{A_p}{BL}$ 'nin bilinen bir değeri için şekil 2.6'den direk olarak okunabilir.

4-Eğer $C_D \frac{A_p}{BL}$ değeri 0.20'den büyük olduğunda ,düzgün yüzey üzerine bir seviye çizgisi çekildiğinde $C_D \frac{A_p}{BL}$ değeri bu çizginin üzerinde 0.20'ye eşit olur.(Bu çizgi ile üzerinde elementlerin hareketsiz halde olduğu düzgün yüzey arasında bu sıvının akış yönünde görünebilir net hiç bir hareketin olmadığı kabul edilmiştir.). Bu durumda Şekil 2.5.'de görüldüğü üzere ,yüzeydeki viskoz kayma gerilmesi ihmal edilebilir derecede küçük ve akış direncinin sebebi sadece pürüzlülük elementinin sürükleyici formda olmasından dolayıdır.

Pürüzlülük yüksekliği k ,bu seviye çizgisinin üzerinde pürüzlülük elementlerinin ortalama yüksekliği olarak alınır ve bu durumda geometrik ortalama seviye şu şekilde tanımlanır;Eğer tüm pürüzlülük elementleri bu seviye çizgisinin üzerinde eritildiğinde oluşan sınır yüzeye geometrik ortalama seviye adı verilir ve k_0 değeri geometrik ortalama seviye ile bu seviye çizgisi arasındaki mesafedir. k_0 değeri,pürüzlülük bu seviye çizgisinin üzerindeki pürüzlülük elementlerinin hacminin tahminiyle belirlenir.Şekil4'den

$C_D \frac{A_p}{BL} = 0.20$ verilmiş değeri için $k_s/(k-k_0) = 4.70$ değerine eşit olur. Elementlerin konsantrasyonunun artmasıyla düzgün yüzey üzerindeki ihmal edilen kayma gerilmesinin artmaya başlamasıyla $k-k_0$ değeri azalır.

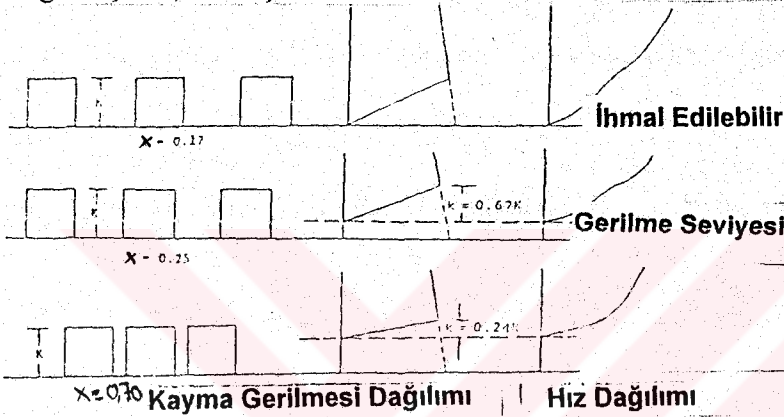
Bu metod ,deneysel verilerin geçerli olduğu yapay ve doğal pürüzlülüklerin farklı tiplerine uygulanmıştır. Benzer sonuçlar bu metotla ve Kumar ve Robenson tarafından oluşturulan algoritma ile elde edilmiştir.

2.12. YAPAY PÜRÜZLÜLÜK

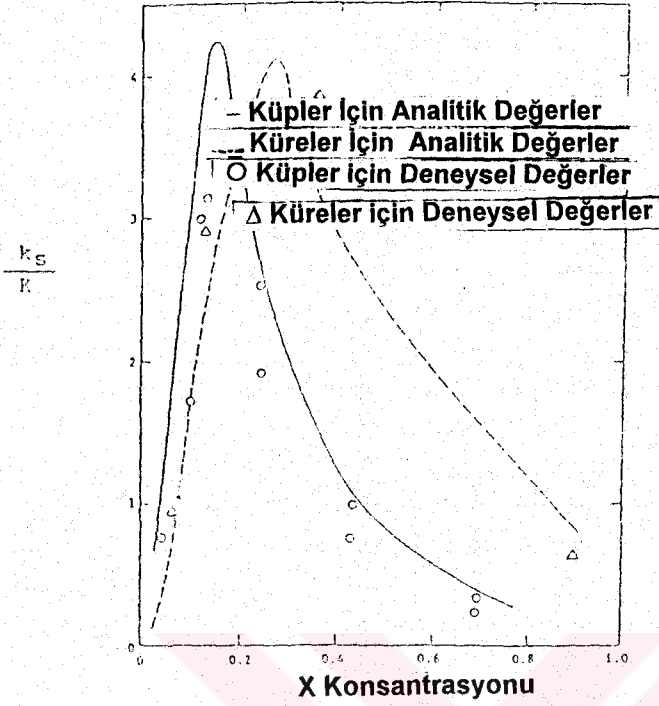
Şekil 2.7’de geniş bir dikdörtgen kanalın düzgün yüzeyi üzerinde dağınık yerleşmiş küre ve düzgün yerleşmiş küplerin x konsantrasyonuna karşılık k_s/k değerlerinin grafiği çizilmiştir Burada x konsantrasyonu, üzerinde elementlerin hareketsiz bir halde olduğu sınır yüzeyce bölünmüş planlanmış alan olarak tanımlanır ve K değeri de küpün bir kenarı veya kürenin çapını ifade eder. Analitik sonuçlara ulaşabilmek için ,Roberson tarafından yürütülen deneysel direnç kuvveti çalışmalarının temelinde C_D ’nin bir değeri kabul edilmiştir. Reynolds sayısının nispeten yüksek değerinde ,elementin bir rüzgar tüneline düzgün yüzey üzerinde olması durumunda $C_D = 1.20$,bir küre olması durumunda $C_D = 0.70$ sabit değerleri elde edilmiştir. C_D ’nin bu değerleri sonuçların elde edilmesinde kabul edilmiştir. Analitik çözümlerde relatif viskoz kayma gerilmesi τ/τ_0 değeri x ’in artmasıyla ,hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Küp için $x=0.17$ ve küre için $x=0.29$, pürüzlülük elementleri arasındaki düzlemsel sınırın viskoz direnci ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve elementler akışta maksimum direnci oluşturmuşlardır. x ’in daha sonraki bir artışında ,ihmal edilebilebilir mertebedeki kayma gerilmesinin seviyesi düzlem sınırından itibaren artmaya başlar, hız ve kayma gerilmesi dağılımları (Küçük elementlerin üst kısmının aşağısında) x ’in tipik değerleri şekil 2.8’da gösterilmiştir. Eğer küpler arasındaki boşluklar azaltılırsa yani küpler bitişik nizamlı bölmelerle üstüste bindirilirse, küpler arasındaki boşlukların tamamen dış akış yönünde görülebilir net bir hareketi olmayan akışkan tarafından doldurulması mümkündür. Bu metotta pürüzlülük

elementi modelinin direnç katsayısındaki etkisi dikkate alınmamıştır. Analitik hesapların sonuçlarının ,yüzey üzerinde birbiri ardına bir doğru şeklinde yerleşmiş elementlere oranla zig zag bir şekilde yerleşmiş olan elementlere daha yakın olduğu görülmüştür.

Analitik metotta ,sadece düzleme normal bir yönde değiştiği var sayılan ortalama hız,elementlerin direnç kuvvetlerinin hesabında kullanılır. Açıkça görüldüğü gibi elementlerin doğru halinde diziliş modeli, ortalama akışa paralel sütunların sayısı yönünden yaklaşan akışa benzemektedir ve bu model için elementlerin karşı karşıya kaldığı akış hızı,metodça verilen ortalama hızdan farklıdır.



Şekil.2.7 .Geniş bir kanalda üniform yerleştirilmiş küpler



Şekil 2.8.-Geniş bir kanalda üniform yerleştirilmiş küpler ve ayırık yerleşmiş küreler için k_s/k ve x konsantrasyon diyagramı

2.13.DOĞAL PÜRÜZLÜLÜK

Barajlardaki sıvalar ve bunların profilleri kopya edilmiştir. Aynı zamanda küçük dökme demir ve galvanizli demir boru örnekleri gelişigüzel kesilmiş ve bunların profilleri yapılmıştır. Doğal elementlerin şekli üzerinde yapılan elementlerin sonucuna dayanarak Calhoun (1975) yılında $C_D=1.1$ sabit değerini elde etmiştir. Doğal pürüzlülük için sürtünme katsayısının bu değeri metotta kabul edilmiştir ve sonuçlar Tablo 2 .1'de özetlenmiştir.

TABLO 2.1.Deney Sonuçları Ve Analitik Sonuçlar

No	Adı	Ortalama Analitik SürtünmeKatsayısı λ	λ İçin %99 Güvenilirlik Limiti	DeneySEL Sonuç λ
1	11.5 fit çapındaki kanal	0.0089	0.0094-0.0084	0.0108
2	22 fit çapındaki kanal	0.0093	0.0109-0.0077	0.0085
3	7 fit çapındaki kanal	0.0119	0.0133-0.0104	0.0086
4	3" çapındaki dökme demir boru	0.038	0.043-0.033	0.035
5	6.38" çapındaki galvanizli demir boru	0.0117	0.0131-0.0102	0.0137

Analitik sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıkların tam olarak nedeni bilinmemektedir.

2.14.TAMAMEN TÜRBÜLANSLI REJİM İÇİN YENİ BİR KAVRAM

Borularda türbülanslı akış için,diğer bir deyimle tamamen türbülanslı veya tamamen pürüzlü rejimde farklı derecedeki pürüzlülüğü temsil eden bir takım sürtünme faktörleri eğrileri ,bu rejimde sürtünme faktörünün Reynolds sayısına göre sabit olduğunu göstermektedir. Schlichting'e göre bu olay nispeten kaba ve sıkı yerleşmiş pürüzlülük elementlerine örneğin yüzey üzerine yapıştırılmış kaba kum taneciklerine veya pürüzlü dökme demire uygundur. Ona göre bu rejimde tüm çıkıntılar laminar alt sınır tabakanın dışına ulaşmakta ve akış direncinin büyük bir bölümü direnç oluşturan formdan kaynaklanmaktadır. Eğer çıkıntılar daha nazik veya daha az sayıda nispeten daha geniş yüzey üzerinde dağıtıldığında direnç katsayısı ,Reynolds sayısına ve relatif pürüzlülüğe bağlıdır.Rouse bu rejimde,direnç oluşturan formdan dolayı oluşan türbülans şiddetinin

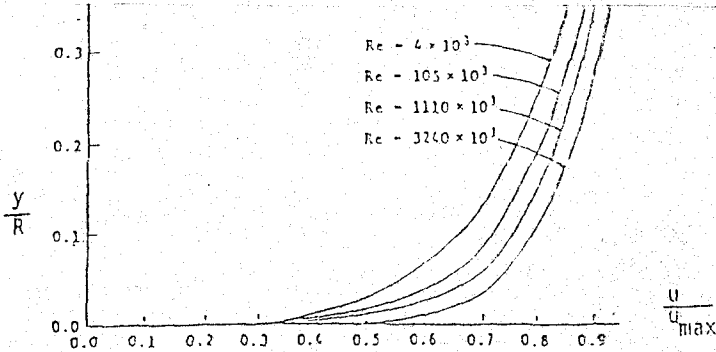
ortalama viskoz kaymasının nispeten önemsiz yapacak kadar büyük olacağını belirtmiştir. Benzer şekilde , Moody'e göre sabit viskoz kuvvetlerin daha sonra eylemsizlik kuvvetleriyle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir bir hal alır ve λ sürtünme katsayısının Re sayısının fonksiyonu olması durumu sona erer. Sürtünme faktörünün Re sayısından bağımsız olması için benzer sebepler diğer araştırmacılar tarafından da kabul edilmiştir. Diğer araştırmacılar tarafından suni pürüzlülük elementleri üzerine yapılan çalışmalar sonucu,sürtünme faktörünün Re sayısından bağımsız olduğu fikrinin sadece kısmen doğru olduğu anlaşılmıştır.

Re sayısının artmasıyla birlikte,sürtünme faktörünün çok düşük konsantrasyonlardaki pürüzlülük elementleri için sabit kaldığı gözlenmiştir.Örneğin Chen'in 7.5" çapındaki düzgün yüzeyli bir boru içinde 0.216" çapındaki üniform yerleştirilmiş yarıküresel pürüzlülük elementlerinin olması durumunda Re'nin $2 \cdot 10^5$ 'den daha büyük değerlerinde ,sürtünme faktörünün 0.0046'dan daha küçük bir değere tekabül ettiği açıkça görülmüştür.Bu konsantrasyon için tamamen türbülanslı rejimde yapılan ölçümlerde direncin %20'sinin pürüzlülük elementlerinin direnç oluşturacak formda olmasından kaynaklandığı ,diğer %80 'nin düzgün yüzey üzerindeki viskoz kaymadan dolayı oluştuğu görülmüştür.

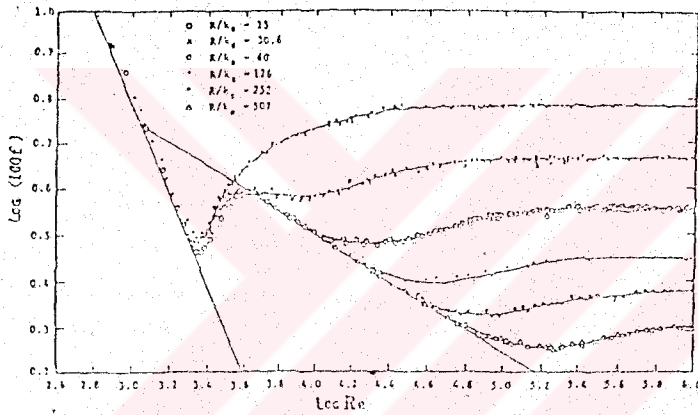
Bağıl hız dağılımı üzerinde Re sayısının artmasının etkisi iki ana grupta toplanır;(a)Re sayısının artmasıyla,viskoz alt tabakanın kalınlığı (pürüzlülük elementleri arasında)azalır ve relatif hız dağılımı daha üniform bir hal alır(f azalırken),tıpkı Nikuradse'nin düzgün yüzeyli borular üzerinde yaptığı deneydeki gibi...(b)Aynı zamanda Re sayısının artmasıyla ,elementlerin daha yüksek bir relatif hıza maruz bırakılması pürüzlülük elementlerinin relatif sürtünme direncini artırır ve bu da hız dağılımının daha düzensiz bir hal almasına neden olur.(f artarken)

(a) ve (b) 'nin relatif büyüklüklerine bağlı olarak Reynolds sayısının artmasının sonucu hız profili daha üniform bir hal alabilir (f azalır),değişmeyebilir (f sabit) veya daha düzensiz bir hal alabilir (f artar).Örneğin Nikuradse'nin kum tane pürüzlülüğü üzerindeki testlerinde Re sayısının artmasıyla sürtünme katsayısının artışına ilişkin mümkün olan

tek açıklama (b) maddesinin (a) maddesine göre etkisinin büyük olması ve bu nedenle hız dağılımı Re sayısının artmasıyla daha düzensiz bir hal almaktadır.



Şekil 2.9.-Düzgün yüzeyli borulardaki hız dağılımı



Şekil 2.10.-R/k_s'in farklı değerleri için λ-Re diyagramı

Bu andan itibaren tamamen türbülanslı rejim için “Re sayısından bağımsız rejim ” adı kullanılacak olup aksi takdirde herhangi biri “Bu rejimde viskoz etkilerin daima önemsiz olduğu” görüşü gibi yanlış bir anlayışa sahip olabilecektir. Şu sonuç çıkarılabilir:

1-Analitik metot,hemen hemen pürüzsüzden tamamen pürüzlü olan bir dizi pürüzlülük elementleriyle kaplı yüzeylerin dirençlerini belirtebilmek için kullanılabilir.

2-Deneysel ve analitik sonuçlar, sürtünme faktörünün Re 'ye karşılık sabit olduğu bir değer için, sınırdaki viskoz kaymanın ihmal edilebilir olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir.

3. PÜRÜZLÜ YÜZEYLERDE CİDAR SÜRTÜNME DİRENCİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Tam gelişmiş bir akışta L uzunluğunda ve D hidrolik çapındaki düz borunun enerji kaybı

$$H_K = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.1)$$

formülünden bulunabilir. Buradaki λ boru kayıp katsayısı Re sayısı ve $\epsilon(k/d)$ bağlı pürüzlülüğün bir fonksiyonudur ve şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda = \frac{2gH_K D}{LV^2} \quad (3.2)$$

Yapacağımız deneyde birim zamanda geçen debi ölçülmek suretiyle

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} V \quad (3.3)$$

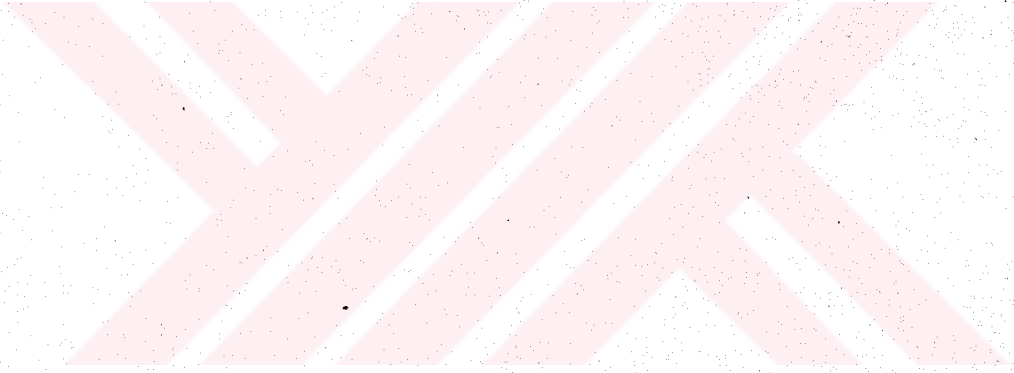
formülünden V hız hesaplanabilir. Bu bulmuş olduğumuz V hızı ve cam tüplerden ölçmüş olduğumuz basınç farkları yardımıyla (1) formülünden λ kayıp katsayısı hesaplanabilir.

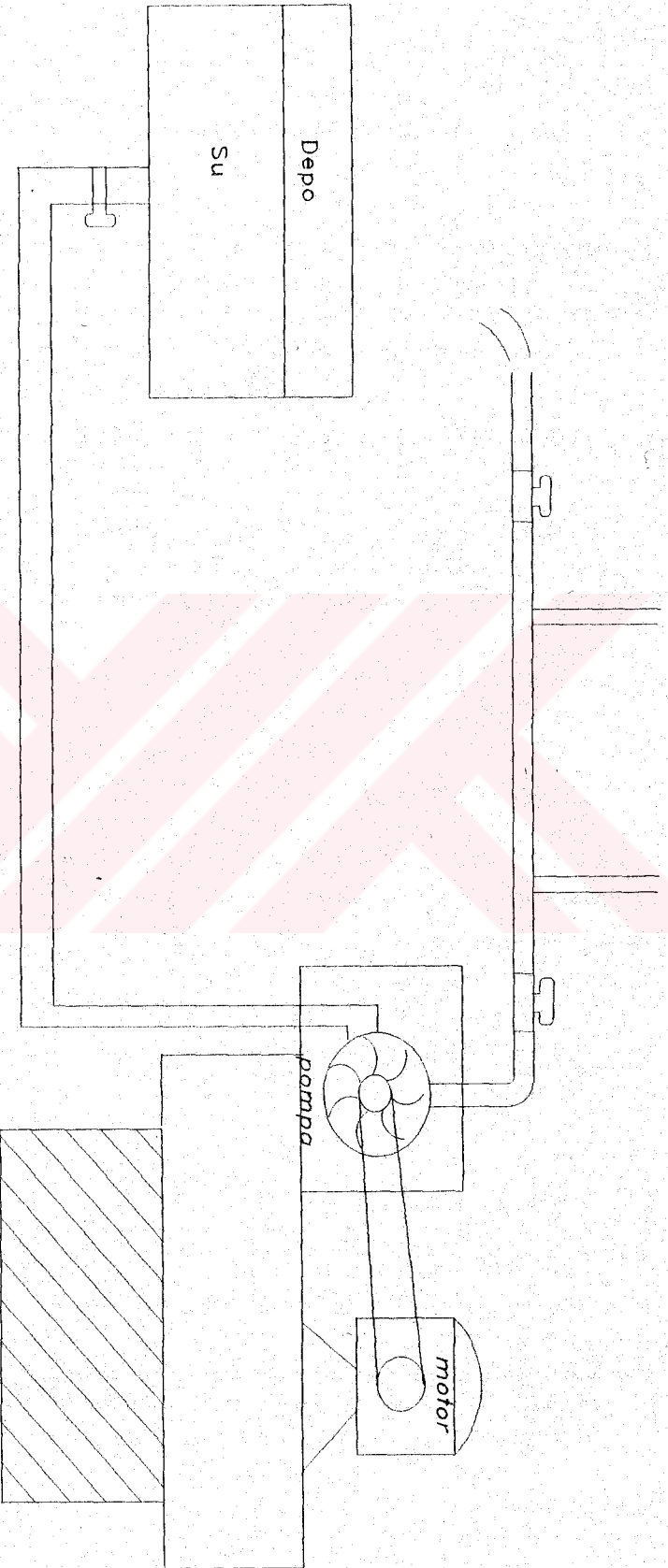
3.1. DENEY

Pamukkale Üniversitesi Termodinamik Laboratuvarında kurulan deney düzeneği bir pompa , bir depo , basınç farklarını ölçmek için iki cam çubuk tüp , depo ile pompa arasında bağlantıyı sağlayan plastik hortum ve 1/2" , 3/4" ve 1" çapında yeni ve tesisattan sökülmüş değişik pürüzlülük mertebelerine sahip eski olmak üzere altı adet galvanizli boru kullanılmıştır.

Kurmuş olduğumuz deney düzeneğinde de (Şekil.3.1.) görüleceği gibi basınç kaybı ölçülecek borunun önüne ve çıkışına iç çapın minimum altı katı olacak mesafede vanalar yerleştirilmiş , bu vanalar bu vanalar kısılmak veya açılmak suretiyle debi değiştirilmesiyle hız ve dolayısıyla Re sayısı değiştirilerek λ kayıp katsayıları ölçülmüştür. Pompanın belirli bir sürede basmış olduğu debi belirlenerek m^3/s birimine çevrilerek (3.3) formülünden suyun boru içerisindeki akış hızı bulunur.

Şekil .3.1.'deki 1 ve 2 noktalarından statik basınç farkları Δh ölçülmek suretiyle H_K kayıp enerji (mss) olarak bulunmuş olur. Altı borunun ölçülmesi sonucunda herbir boru için λ , Re , u değerleri hesaplanmış aşağıdaki tablolara işlenmiş ve bunlar için λ - Re grafikleri çizilmiştir.





.3.1. Deney Düzeni



Şekil.3.2. Boruların Görünümü

Tablo 3.1. ½" Yeni Boru

Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k(mm) *10 ⁻³	$\epsilon=k/d$ *10 ⁻⁴	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh (mm)	u(m/s)	λ	Re
1	16	22	4	2.5	0.155	20	0.77	0.0211	12334
2	16	22	4	2.5	0.16	21	0.795	0.0208	12732
3	16	22	4	2.5	0.17	22	0.8455	0.0193	13528
4	16	22	4	2.5	0.175	23	0.87	0.019	13926
5	16	22	4	2.5	0.185	25	0.92	0.0185	14721
6	16	22	4	2.5	0.205	30	1.019	0.0181	16313
7	16	22	4	2.5	0.219	34	1.09	0.0179	17427
8	16	22	4	2.5	0.234	38	1.163	0.0176	18621
9	16	22	4	2.5	0.24	40	1.119	0.0176	19098
10	16	22	4	2.5	0.249	43	1.23	0.0176	19814
11	16	22	4	2.5	0.255	45	1.26	0.01756	20292
12	16	22	4	2.5	0.27	49	1.34	0.0170	21485
13	16	22	4	2.5	0.273	50	1.358	0.0176	21742
14	16	22	4	2.5	0.285	53	1.41	0.0165	22680
15	16	22	4	2.5	0.29	55	1.44	0.01665	23077
16	16	22	4	2.5	0.295	57	1.467	0.01662	23475
17	16	22	4	2.5	0.302	60	1.504	0.0166	24102
18	16	22	4	2.5	0.315	65	1.56	0.01668	25066
19	16	22	4	2.5	0.33	70	1.64	0.0163	26272
20	16	22	4	2.5	0.337	72	1.676	0.0161	26817
21	16	22	4	2.5	0.345	75	1.71	0.0160	27454
22	16	22	4	2.5	0.35	77	1.740	0.0159	27852
23	16	22	4	2.5	0.36	80	1.79	0.0156	28647
24	16	22	4	2.5	0.369	83	1.83	0.0155	29284
25	16	22	4	2.5	0.372	85	1.85	0.0155	29602

Tablo 3.2. ½" Eski Boru

Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k(mm) *10 ⁻³	ε=k/d *10 ⁻⁴	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh(mm)	u(m/s)	λ	Re
1	16	22	12	7.5	0.154	26	0.766	0.0278	12254
2	16	22	12	7.5	0.175	33	0.87	0.0273	13926
3	16	22	12	7.5	0.181	35	0.90	0.0271	14403
4	16	22	12	7.5	0.193	39	0.959	0.0265	15358
5	16	22	12	7.5	0.196	40	0.974	0.0264	15597
6	16	22	12	7.5	0.208	44	1.03	0.0258	16552
7	16	22	12	7.5	0.215	47	1.069	0.0258	17109
8	16	22	12	7.5	0.222	50	1.1	0.0257	17666
9	16	22	12	7.5	0.228	53	1.133	0.0258	18143
10	16	22	12	7.5	0.2345	56	1.166	0.0258	18660
11	16	22	12	7.5	0.243	60	1.2	0.0258	19337
12	16	22	12	7.5	0.249	63	1.238	0.0258	19816
13	16	22	12	7.5	0.252	65	1.257	0.0258	20053
14	16	22	12	7.5	0.256	67	1.273	0.0258	20371
15	16	22	12	7.5	0.262	70	1.303	0.0258	20849
16	16	22	12	7.5	0.266	72	1.32	0.0258	21178
17	16	22	12	7.5	0.269	74	1.34	0.0258	21470
18	16	22	12	7.5	0.280	80	1.395	0.0259	22324
19	16	22	12	7.5	0.297	90	1.477	0.0258	23634
20	16	22	12	7.5	0.313	100	1.557	0.0258	24907
21	16	22	12	7.5	0.333	113	1.65	0.0258	26532
22	16	22	12	7.5	0.343	120	1.7	0.0258	27341
23	16	22	12	7.5	0.357	130	1.77	0.0258	28458
24	16	22	12	7.5	0.364	135	1.81	0.0258	29002
25	16	22	12	7.5	0.37	140	1.84	0.0258	29443

Tablo 3.3. ¾" Yeni Boru

Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k(mm) *10 ⁻³	$\epsilon=k/d$ *10 ⁻⁴	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh (mm)	u(m/s)	λ	Re
1	22	27	4	1.81	0.16	6	0.422	0.029	9259
2	22	27	4	1.81	0.208	10	0.547	0.0288	12037
3	22	27	4	1.81	0.237	13	0.623	0.0288	13716
4	22	27	4	1.81	0.258	15	0.678	0.0281	14931
5	22	27	4	1.81	0.287	18	0.755	0.0272	16609
6	22	27	4	1.81	0.302	20	0.794	0.0273	17478
7	22	27	4	1.81	0.317	22	0.834	0.0273	18346
8	22	27	4	1.81	0.345	26	0.90	0.0272	19966
9	22	27	4	1.81	0.371	30	0.975	0.0271	21471
10	22	27	4	1.81	0.389	33	1.023	0.0272	22513
11	22	27	4	1.81	0.401	35	1.054	0.0271	23207
12	22	27	4	1.81	0.419	38	1.1	0.0270	24249
13	22	27	4	1.81	0.43	40	1.131	0.0269	24886
14	22	27	4	1.81	0.456	45	1.199	0.0269	26390
15	22	27	4	1.81	0.481	50	1.265	0.0269	27837
16	22	27	4	1.81	0.486	51	1.262	0.0269	28127
17	22	27	4	1.81	0.496	53	1.3	0.0268	28705
18	22	27	4	1.81	0.505	55	1.32	0.0269	29226
19	22	27	4	1.81	0.515	57	1.35	0.0268	29805
20	22	27	4	1.81	0.528	60	1.38	0.0268	30557

Tablo 3.4. ¾"Eski Boru

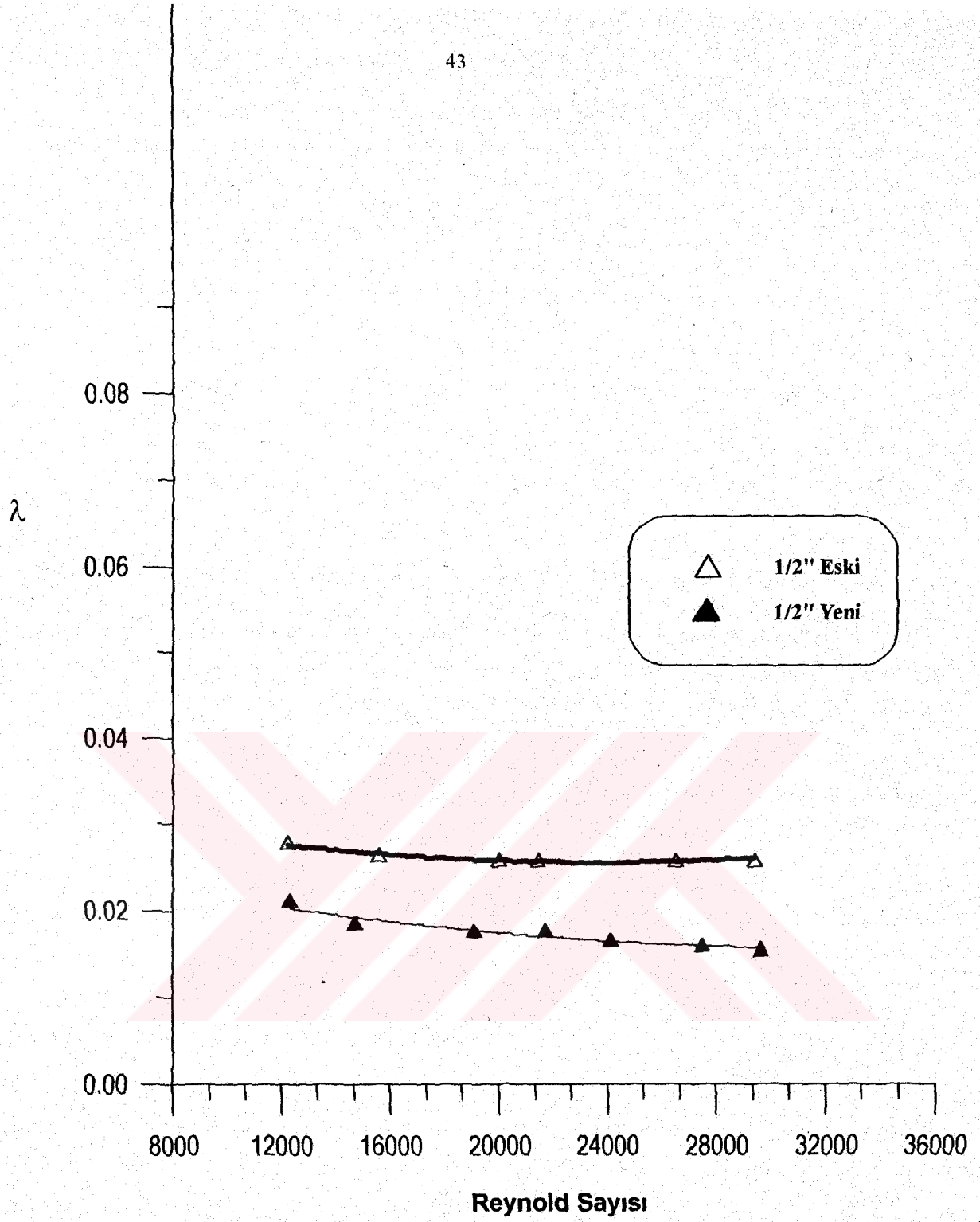
Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k(mm) *10 ⁻³	ε=k/d *10 ⁻⁴	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh(mm)	u(m/s)	λ	Re
1	22	27	35	15.9	0.162	11	0.426	0.0522	9375
2	22	27	35	15.9	0.18	13	0.473	0.05	10417
3	22	27	35	15.9	0.20	16	0.526	0.0498	11574
4	22	27	35	15.9	0.23	20	0.605	0.047	13311
5	22	27	35	15.9	0.25	22	0.657	0.0439	14468
6	22	27	35	15.9	0.265	24	0.697	0.0426	15336
7	22	27	35	15.9	0.280	26	0.736	0.0413	16204
8	22	27	35	15.9	0.3	29	0.789	0.04	17362
9	22	27	35	15.9	0.323	33	0.849	0.039	18693
10	22	27	35	15.9	0.34	34.5	0.894	0.0372	19677
11	22	27	35	15.9	0.355	37	0.933	0.0366	20545
12	22	27	35	15.9	0.365	38	0.96	0.0355	21124
13	22	27	35	15.9	0.38	40	0.99	0.0345	21992
14	22	27	35	15.9	0.40	42	1.05	0.0327	23149
15	22	27	35	15.9	0.42	45	1.1	0.0318	24307
16	22	27	35	15.9	0.43	47	1.13	0.0317	24886
17	22	27	35	15.9	0.44	49	1.15	0.0315	25464
18	22	27	35	15.9	0.455	52	1.196	0.0313	26332
19	22	27	35	15.9	0.470	55	1.236	0.0310	27201
20	22	27	35	15.9	0.48	57	1.262	0.0308	27779
21	22	27	35	15.9	0.50	61	1.315	0.0304	28937
22	22	27	35	15.9	0.51	63	1.341	0.0302	29516
23	22	27	35	15.9	0.52	65	1.367	0.0299	30094
24	22	27	35	15.9	0.525	66	1.38	0.0298	30384
25	22	27	35	15.9	0.53	67	1.394	0.0297	30673

Tablo 3.5. 1" Yeni Boru

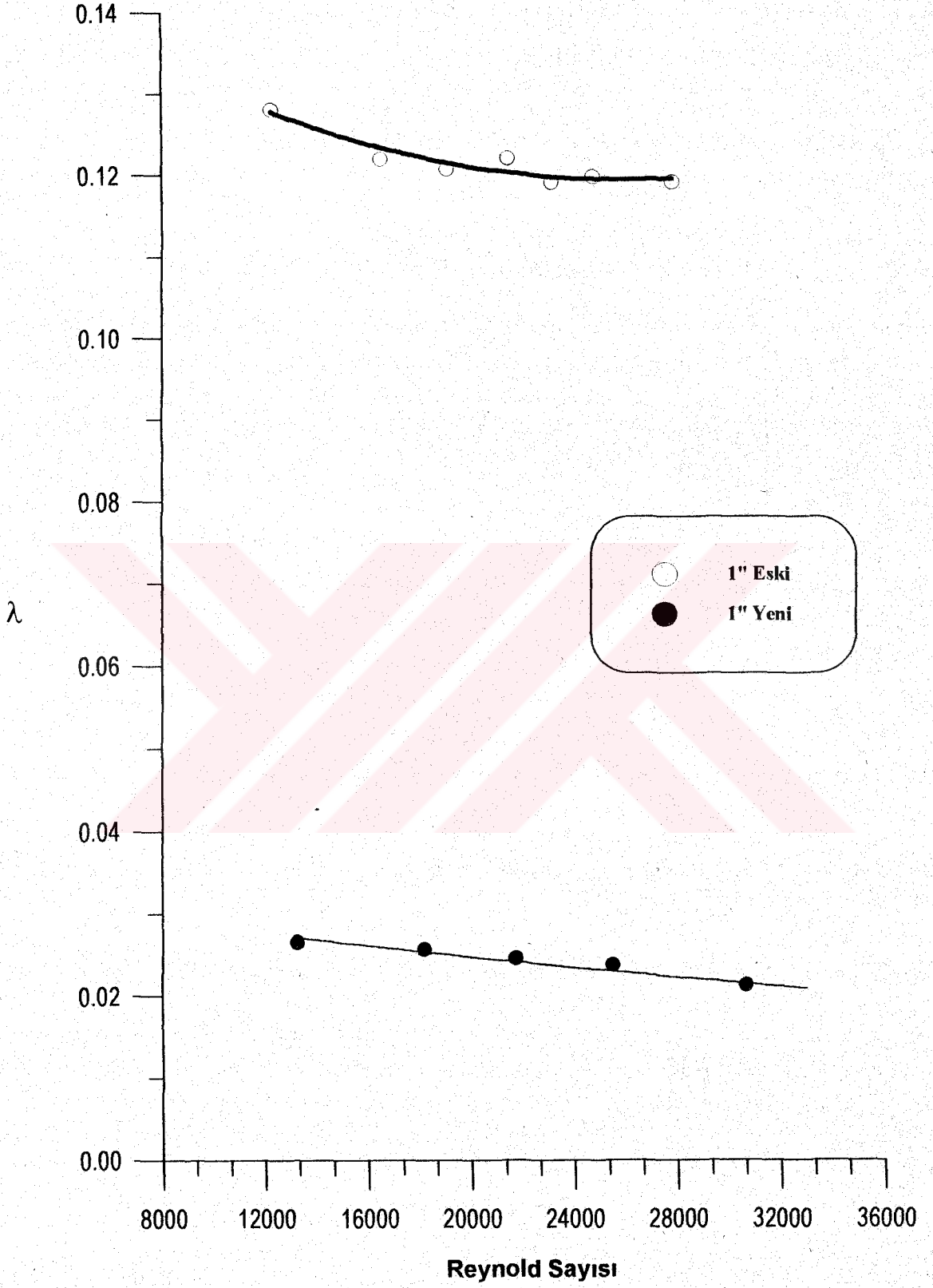
Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k (mm) *10 ⁻³	$\epsilon=k/d$ *10 ⁻⁴	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh (mm)	u(m/s)	λ	Re
1	27	33	4	1.481	0.28	6	0.489	0.0265	13203
2	27	33	4	1.481	0.295	7	0.515	0.0279	13911
3	27	33	4	1.481	0.33	8	0.576	0.0255	15561
4	27	33	4	1.481	0.37	10	0.646	0.0253	17448
5	27	33	4	1.481	0.385	11	0.672	0.0257	18155
6	27	33	4	1.481	0.40	12	0.698	0.0260	18862
7	27	33	4	1.481	0.43	13	0.751	0.0244	20277
8	27	33	4	1.481	0.45	14	0.785	0.024	21220
9	27	33	4	1.481	0.46	15	0.803	0.0246	21692
10	27	33	4	1.481	0.48	16	0.838	0.0241	22635
11	27	33	4	1.481	0.50	17	0.873	0.0236	23578
12	27	33	4	1.481	0.53	18	0.925	0.0222	24993
13	27	33	4	1.481	0.54	20	0.943	0.0238	25464
14	27	33	4	1.481	0.58	22	1.013	0.0227	27351
15	27	33	4	1.481	0.6	23	1.047	0.0221	28294
16	27	33	4	1.481	0.63	24	1.1	0.021	29708
17	27	33	4	1.481	0.65	26	1.13	0.0213	30652
18	27	33	4	1.481	0.67	28	1.17	0.0216	31595
19	27	33	4	1.481	0.69	29	1.2	0.0211	32538
20	27	33	4	1.481	0.7	30	1.22	0.0212	33009

Tablo 3.6. 1" Eski Boru

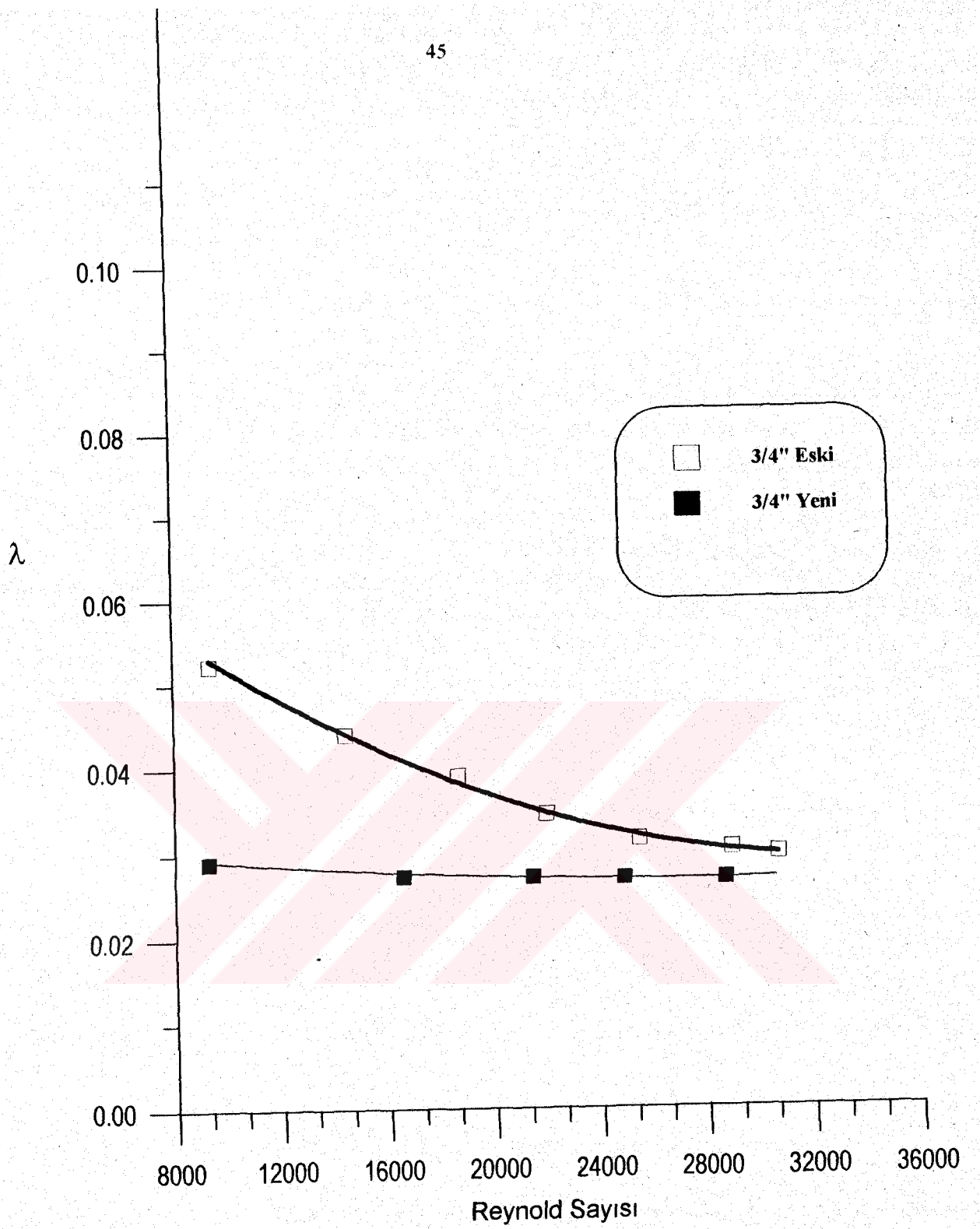
Ölçü No	Di (mm)	Dd (mm)	k (mm) *10 ⁻³	$\epsilon=k/d \cdot 10^{-4}$	Q(m ³ /s) *10 ⁻³	Δh (mm)	u(m/s)	λ	Re
1	27	33	60	22.2	0.26	25	0.454	0.128	12260
2	27	33	60	22.2	0.286	30	0.499	0.127	13486
3	27	33	60	22.2	0.31	35	0.541	0.1265	14618
4	27	33	60	22.2	0.335	40	0.585	0.123	15797
5	27	33	60	22.2	0.35	43	0.611	0.1219	16504
6	27	33	60	22.2	0.368	47	0.642	0.1215	17353
7	27	33	60	22.2	0.38	50	0.663	0.1202	17919
8	27	33	60	22.2	0.391	53	0.684	0.12	18438
9	27	33	60	22.2	0.405	57	0.707	0.12071	19098
10	27	33	60	22.2	0.415	60	0.724	0.121	19570
11	27	33	60	22.2	0.43	65	0.751	0.122	20277
12	27	33	60	22.2	0.44	69	0.768	0.123	20749
13	27	33	60	22.2	0.455	73	0.794	0.122	21456
14	27	33	60	22.2	0.462	75	0.806	0.122	21786
15	27	33	60	22.2	0.475	78	0.829	0.12	22399
16	27	33	60	22.2	0.483	80	0.843	0.119	22776
17	27	33	60	22.2	0.491	83	0.857	0.119	23154
18	27	33	60	22.2	0.497	85	0.868	0.119	23437
19	27	33	60	22.2	0.504	87	0.88	0.119	23772
20	27	33	60	22.2	0.51	90	0.89	0.12	24050
21	27	33	60	22.2	0.525	95	0.916	0.1197	24757
22	27	33	60	22.2	0.54	100	0.943	0.119	25464
23	27	33	60	22.2	0.56	108	0.978	0.119	26407
24	27	33	60	22.2	0.57	112	0.995	0.119	26879
25	27	33	60	22.2	0.59	120	1.03	0.119	27822



Şekil 3.3. 1/2" Çapındaki Boruların Karşılaştırılması



Şekil 3.4. 1" Çapındaki Boruların Karşılaştırılması



Şekil 3.5. ¾" Çapındaki Boruların Karşılaştırılması

Grafikten ve tablolardan görüleceği üzere en fazla pürüzlülüğe sahip 1"çaplı eski borunun λ kayıp katsayısı oldukça fazladır. Doğal olarak Re sayısının artmasıyla λ 'nın azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir. Borudaki pürüzlülük zamanla artmakta

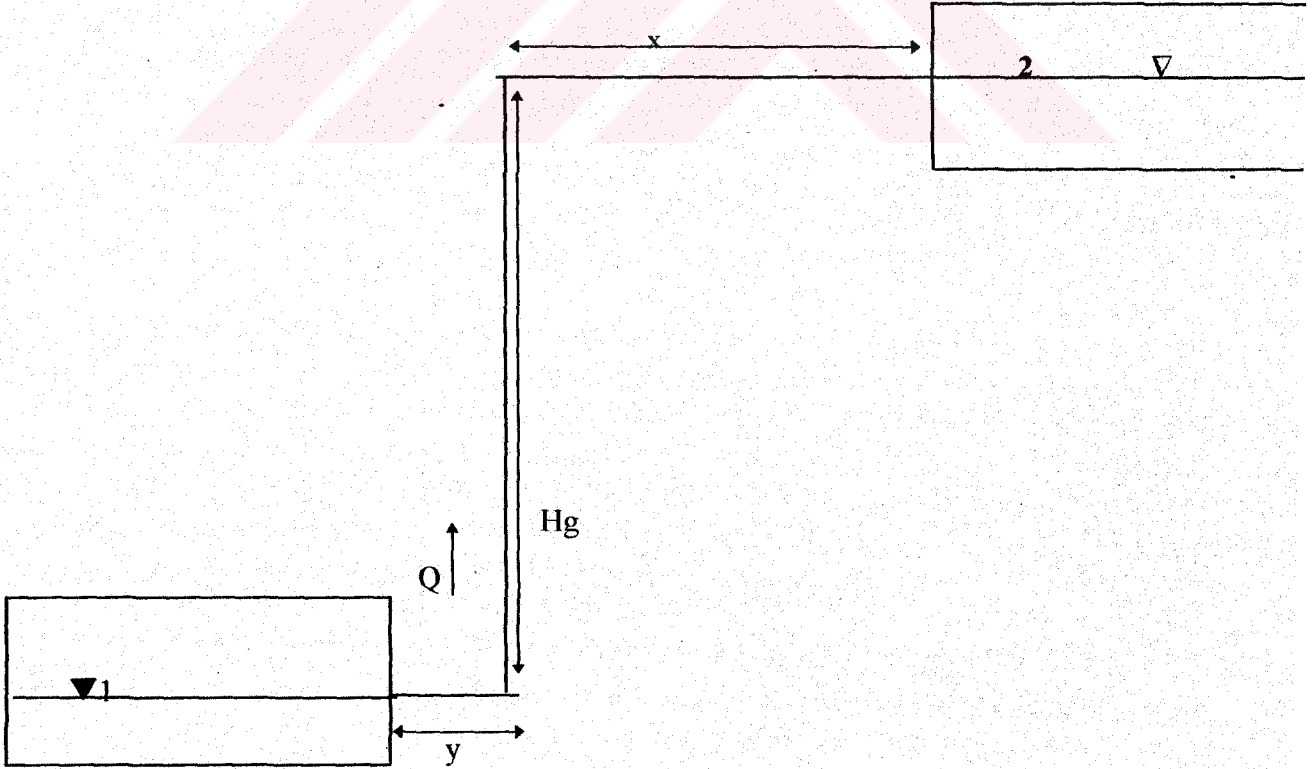
ve boru iyice tıkanmaktadır. Bu tıkanma sebebiyle pompanın sarf etmiş olduğu enerji miktarı artmakta ,birim zamanda geçen debi miktarı azalmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur , ya tesisat tamamen yenilenmeli veyahut pürüzlülük giderilmelidir.

3.2.TEST EDİLEN BORULARIN POMPA ENERJİ MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Uzun süredir tesisatlarda kullanılan borular zamanla korozyona uğramakta , boru içerisinde kireçlenme , kirlenme v.b. nedenlerden dolayı taşıma kapasitesi azalmakta , bu sebepten dolayı pompa enerji maliyeti artmaktadır.

Şimdi bu enerji artma olayını daha iyi anlayabilmek için , deneyde elde etmiş olduğumuz değerlerle herhangi bir binanın temiz su tesisatının yeni ve eski borularla döşenmiş olması durumundaki enerji sarfiyatını karşılaştıralım.

ÖRNEK:



$x = 4\text{m}$ Bu binanın tesisat borularının

$H_g = 3\text{m}$ a) 1/2" çaplı

$y = 1\text{m}$ b) 3/4" çaplı

c) 1" çaplı yeni ve eski boruların kullanılması durumundaki enerji

sarfiyatını hesaplamak suretiyle birbirlerini karşılaştıralım ?

$$a) N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_p}{102 \cdot \eta_p}$$

2

$$\sum H_k = \lambda \frac{(y + H_g + x)}{D} \frac{V^2}{2g} + 2K_d \frac{V^2}{2g}$$

1

$$H_p = H_g + \sum H_k$$

$$K_d = 0.32 \quad (90^\circ R/d = 2)$$

Eski boruyu "e", yenisini "y" ile gösterecek olursak

$$D_i = 0.016 \text{ m}$$

$$Q_e = Q_y = 0.175 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi(0.016)^2}{4} V \rightarrow V = 0.87 \text{ m/s}$$

$$\lambda_e = 0.0273, \lambda_y = 0.019, \eta_g = 0.6$$

Yeni boru için:

$$\sum_1^2 H_{K_y} = 0.019 \frac{8}{0.016} \frac{(0.87)^2}{2.9,81} + 2.0,32 \frac{(0.87)^2}{2.9,81} = 0.391 \text{ mSS}$$

$$H_{p_y} = H_g + \sum_1^2 H_{K_y} = 3 + 0.391 = 3.391 \text{ mSS} \rightarrow$$

$$N_{e_y} = \frac{1000 \cdot 0,175 \cdot 10^{-3} \cdot 3,391}{102,0,6} = 9.69 \cdot 10^{-3} \text{ KW}$$

Eski boru için:

$$\sum_1^2 H_{K_e} = 0.0273 \frac{8}{0.016} \frac{(0.87)^2}{2.9,81} + 2.0,32 \frac{(0.87)^2}{2.9,81} = 0.551 \text{ mSS}$$

$$H_{p_e} = H_g + \sum_1^2 H_{K_e} = 3 + 0.551 = 3.551 \text{ mSS}$$

$$N_{e_e} = \frac{1000 \cdot 0,175 \cdot 10^{-3} \cdot 3,551}{102,0,6} = 10.15 \cdot 10^{-3} \text{ KW} \rightarrow \Delta N_e = \frac{N_{e_e} - N_{e_y}}{N_{e_e}} \cdot 100$$

$$\Delta N_e = \frac{(10,15 - 9,69) \cdot 10^{-3}}{10,15} \cdot 100 = \%4,5 \text{ boruların değiştirilmesiyle elde edilecek enerji}$$

tasarrufu miktarıdır.

b) ¾" için

Yeni boru:

$$Q_y = Q_e = 0.40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0.4 \cdot 10^{-3}}{\pi (0.022)^2} = 1.0522 \text{ m/s}$$

$$\lambda_y = 0.0289$$

$$D_i = 0.022 \text{ m}$$

$$\sum_1^2 Hk_y = \lambda \frac{(y + H_g + x) V^2}{D} + 2K_d \frac{V^2}{2g} = 0.0289 \frac{8}{0.022} \frac{(1.0522)^2}{2 \cdot 9.81} + 2 \cdot 0.32 \frac{(1.0522)^2}{2 \cdot 9.81} = 0.629 \text{ mS}$$

$$H_{py} = H_g + \sum_1^2 Hk_y = 3 + 0.629 = 3.629 \text{ mSS}$$

$$N_{e_y} = \frac{1000 \cdot 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 3.629}{102 \cdot 0.6} = 23.71 \cdot 10^{-3} \text{ KW}$$

Eski Boru:

$$\lambda_e = 0.051$$

$$\sum_1^2 Hk_e = 0.051 \frac{8}{0.022} \frac{(1.0522)^2}{2 \cdot 9.81} + 2 \cdot 0.32 \frac{(1.0522)^2}{2 \cdot 9.81} = 1.082 \text{ mSS}$$

$$H_{pe} = H_g + \sum_1^2 Hk_e = 3 + 1.082 = 4.082 \text{ mSS}$$

$$Ne_e = \frac{1000 * 0.4 * 10^{-3} * 4.082}{102 * 0.6} = 26.68 * 10^{-3} \text{ KW}$$

$$\Delta Ne = \frac{26.68 * 10^{-3} - 23.71 * 10^{-3}}{26.68 * 10^{-3}} * 100 = \%11,13 \text{ 'lük bir enerji tasarrufu sağlanır.}$$

c) 1" için

$$Q_e = Q_y = 0.43 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow V = \frac{4 * 0.43 * 10^{-3}}{\pi 0.027^2} = 0.751 \text{ m/s}$$

$$D_i = 0.027 \text{ m}$$

Yeni Boru:

$$\lambda_y = 0.0244$$

$$\sum_1^2 Hk_y = 0.0244 \frac{8}{0.027} \frac{(0.751)^2}{2 * 9.81} + 2 * 0.32 \frac{(0.751)^2}{2 * 9.81} = 0.226 \text{ mSS}$$

$$H_{py} = 3 + 0.226 = 3.226 \text{ mSS}$$

$$Ne_y = \frac{1000 * 0.43 * 10^{-3} * 3.26}{102 * 0.6} = 22.6 * 10^{-3} \text{ KW}$$

Eski Boru:

$$\lambda_e = 0.122$$

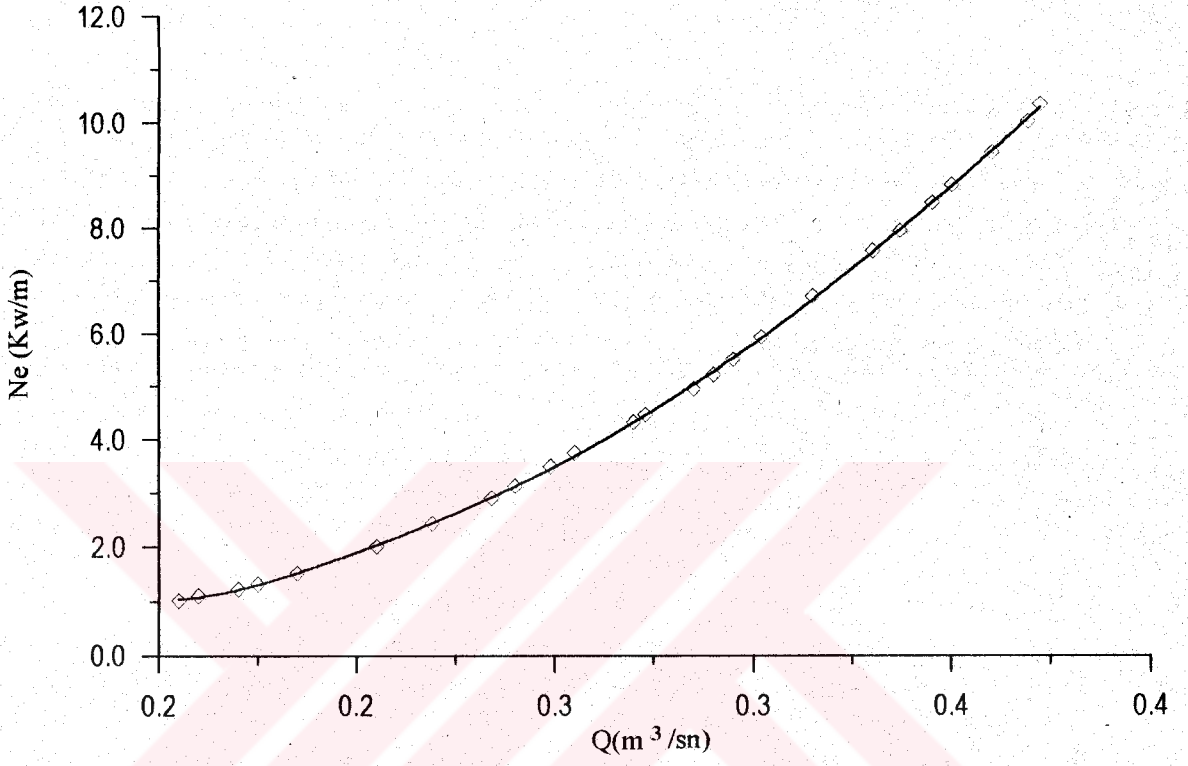
$$\sum_1^2 H_k = 0.122 \frac{8}{0.027} \frac{(0.751)^2}{2 * 9.81} + 2 * 0.32 \frac{(0.751)^2}{2 * 9.81} = 1.057 \text{ mSS}$$

$$H_{pe} = 3 + 1.057 = 4.057 \text{ mSS}$$

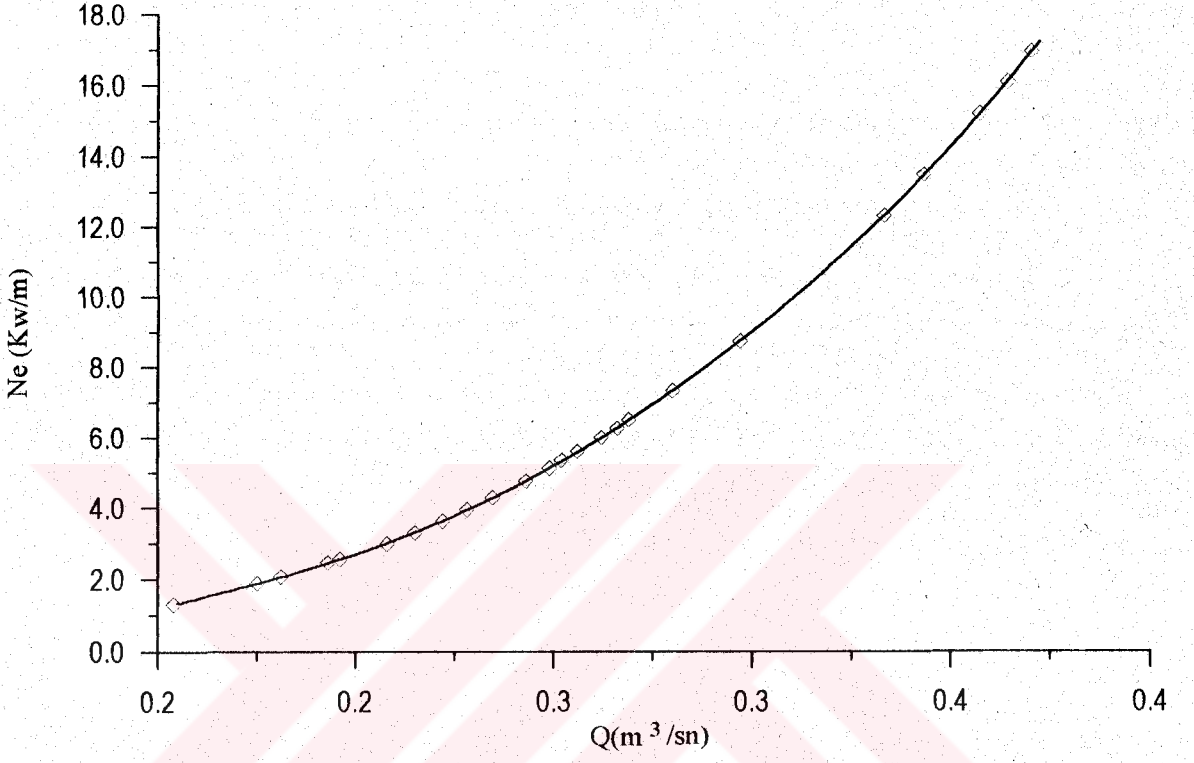
$$N_{e_c} = \frac{1000 * 0.43 * 10^{-3} * 4.057}{102 * 0.6} = 28.5 * 10^{-3} \text{ KW}$$

$$\Delta N_e = \frac{28.5 * 10^{-3} - 22.6 * 10^{-3}}{28.5 * 10^{-3}} = \%20.7 \text{ 'lik bir enerji tasarrufu sağlanmış olunur.}$$

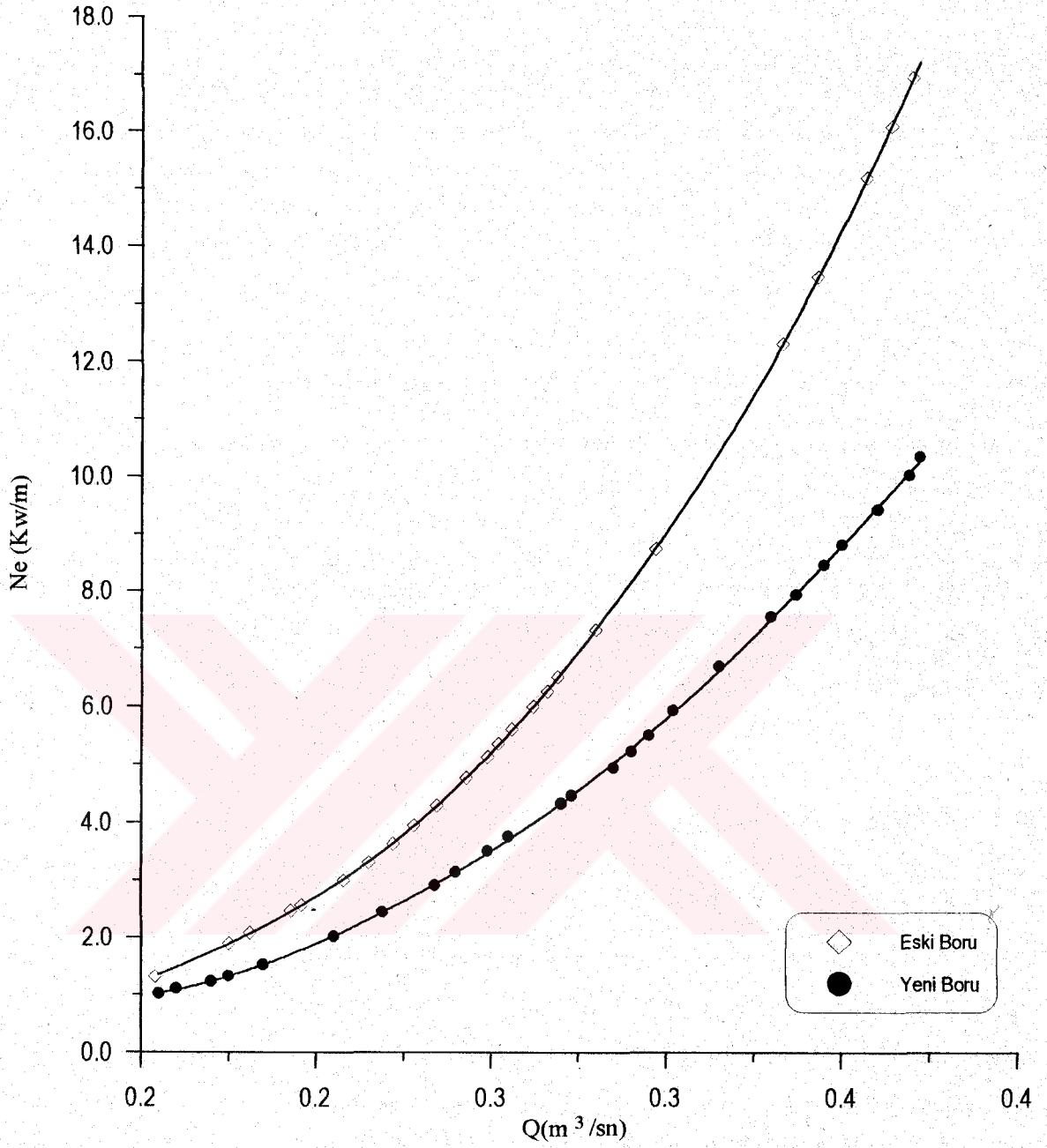
Bu örnekten başka olayı daha iyi anlayabilmemiz için her bir borunun birim boyu için sarfedilmesi gereken Kw olarak pompa enerji sarfıyatı ile debinin değişimini veren diyagramları inceleyelim



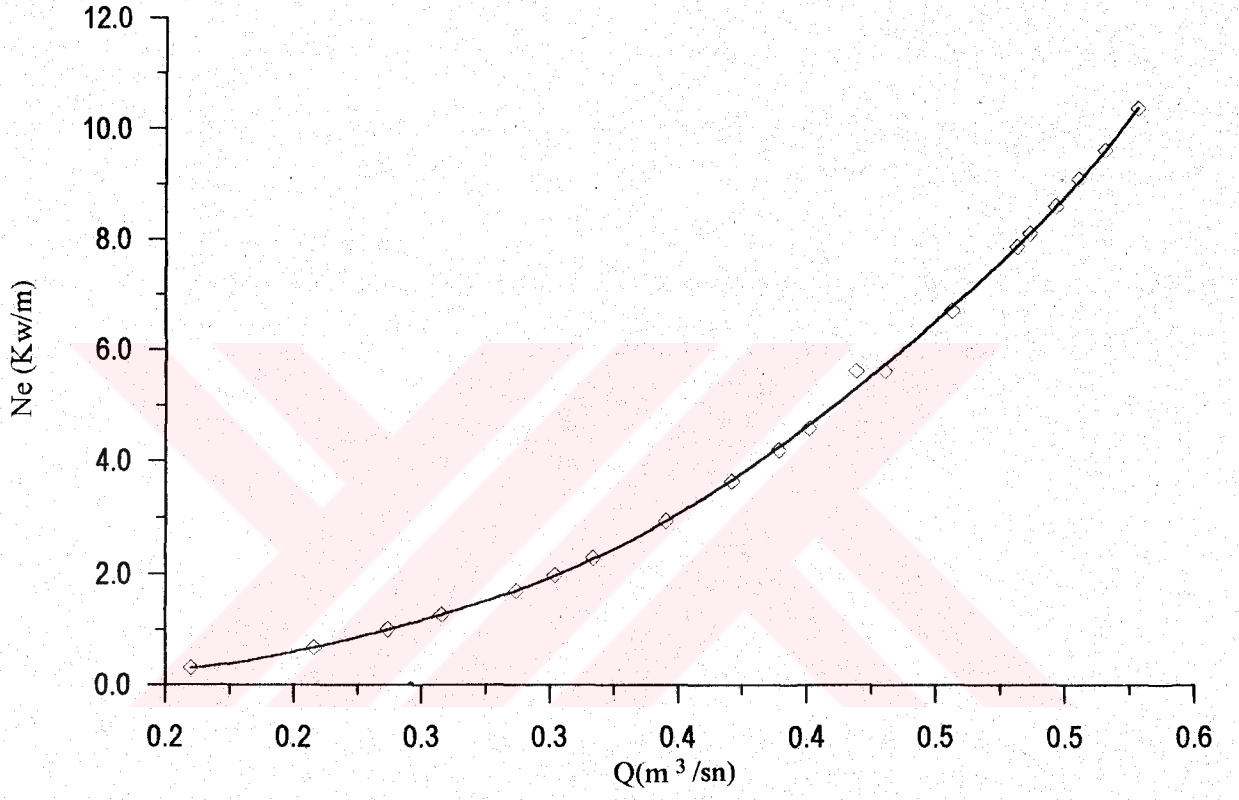
1/2" Yeni Boru
Şekil 3.6. 1/2" Yeni Boru



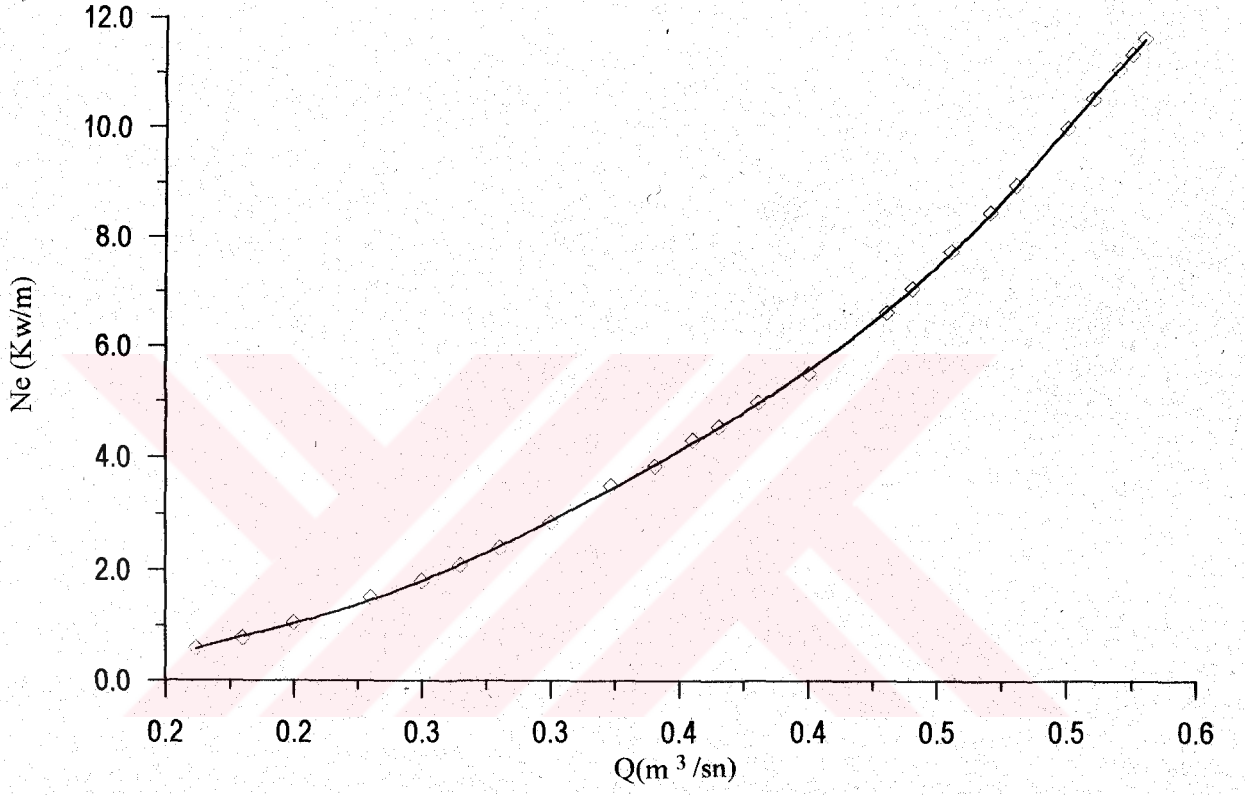
1/2" Eski Boru
Şekil 3.7. 1/2" Eski Boru



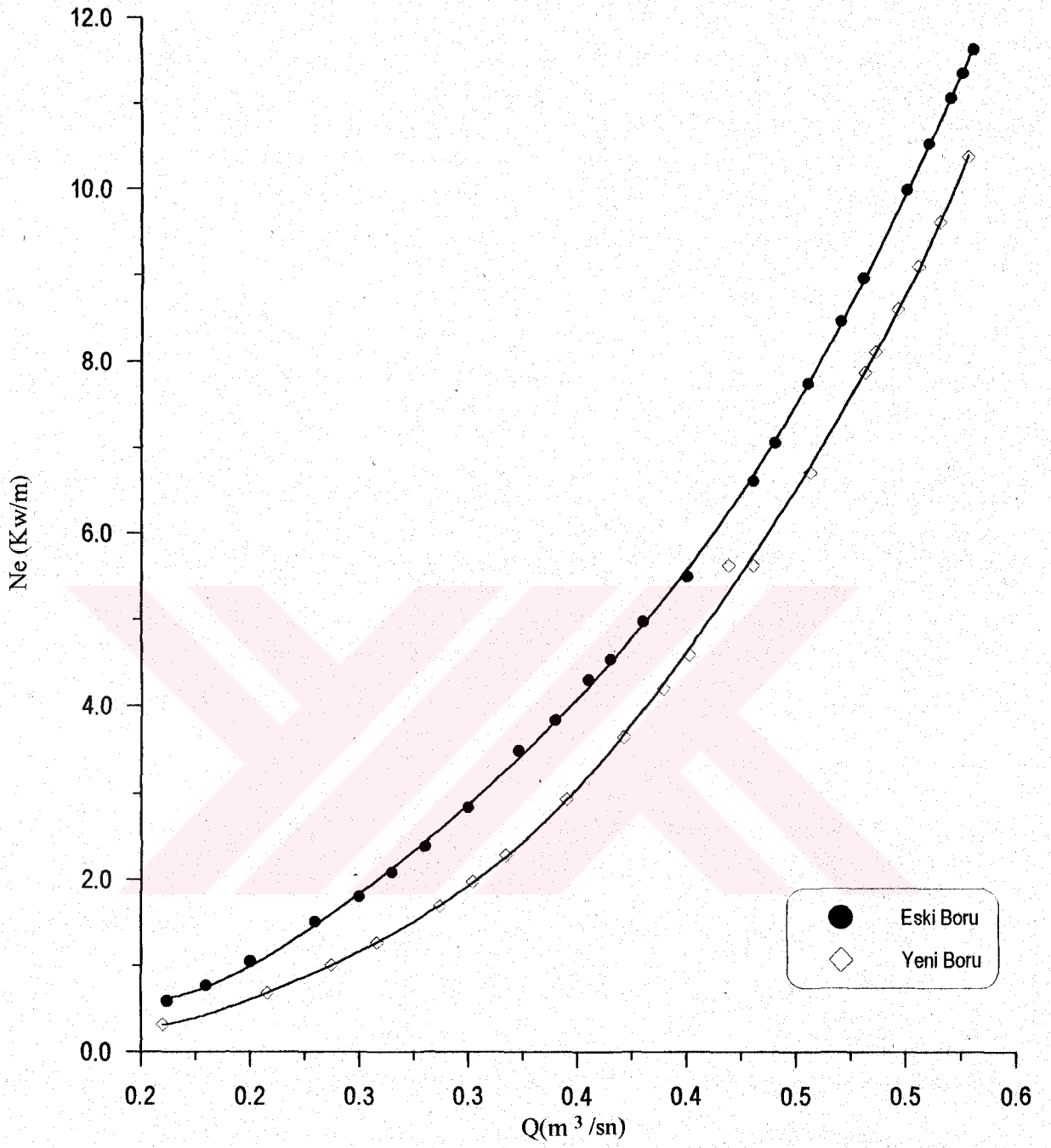
1/2" Eski ve Yeni Borunun karşılaştırılması
 Şekil 3.8. 1/2" Eski ve Yeni Borunun Karşılaştırılması



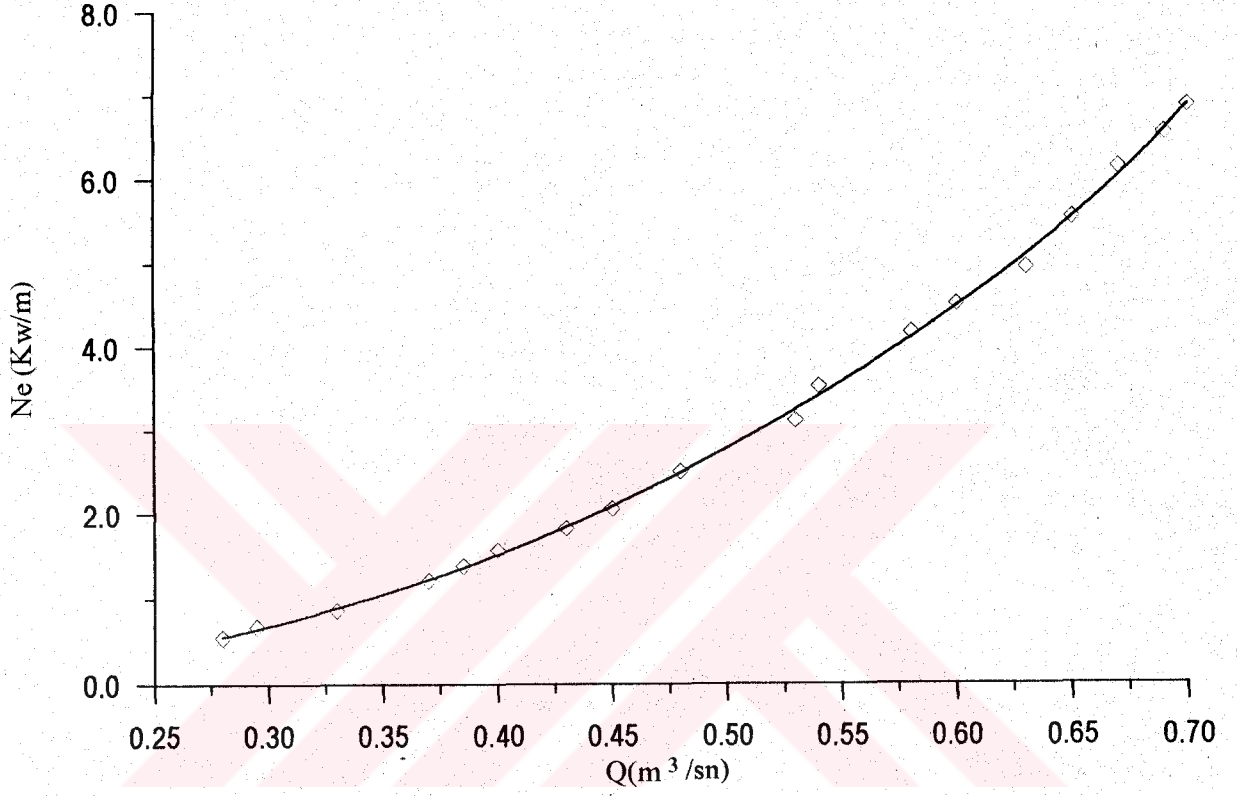
3/4" Yeni Boru
Şekil 3.9. 3/4" Yeni Boru



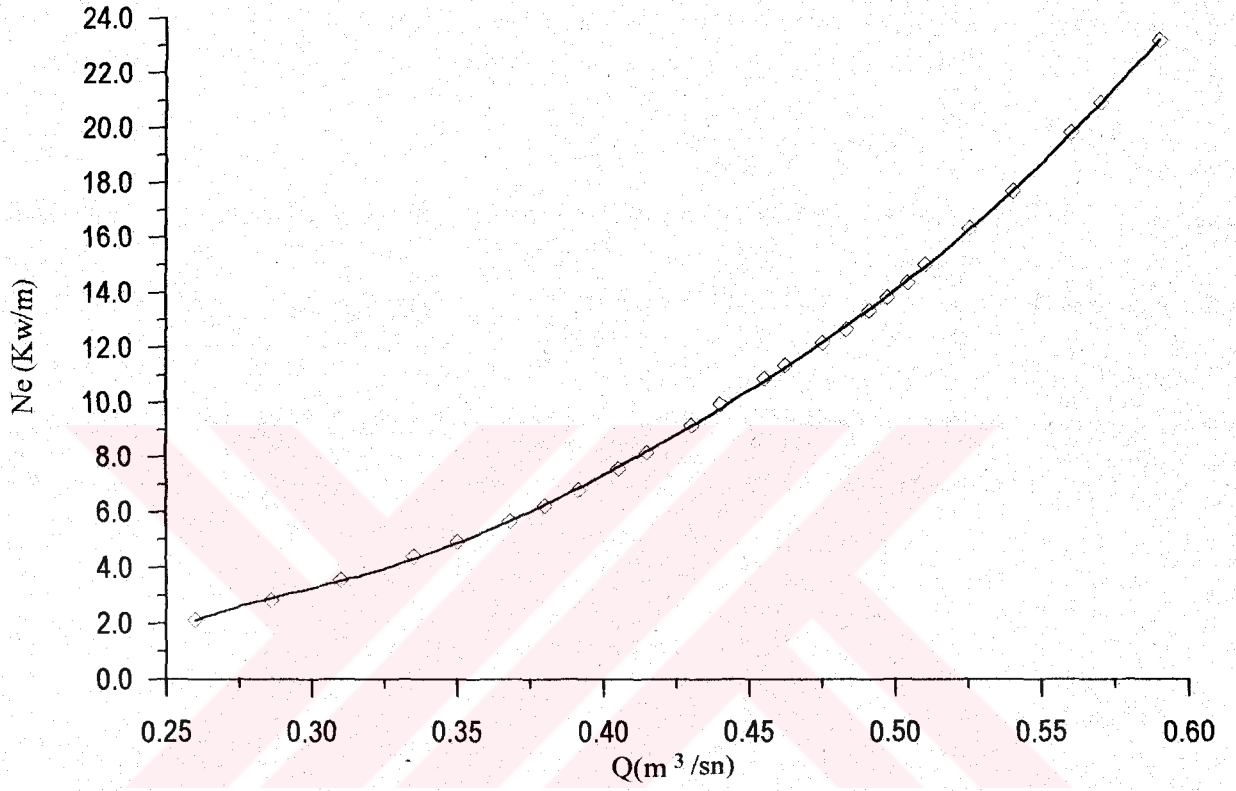
3/4" Eski Boru
Şekil 3.10. 3/4" Eski Boru



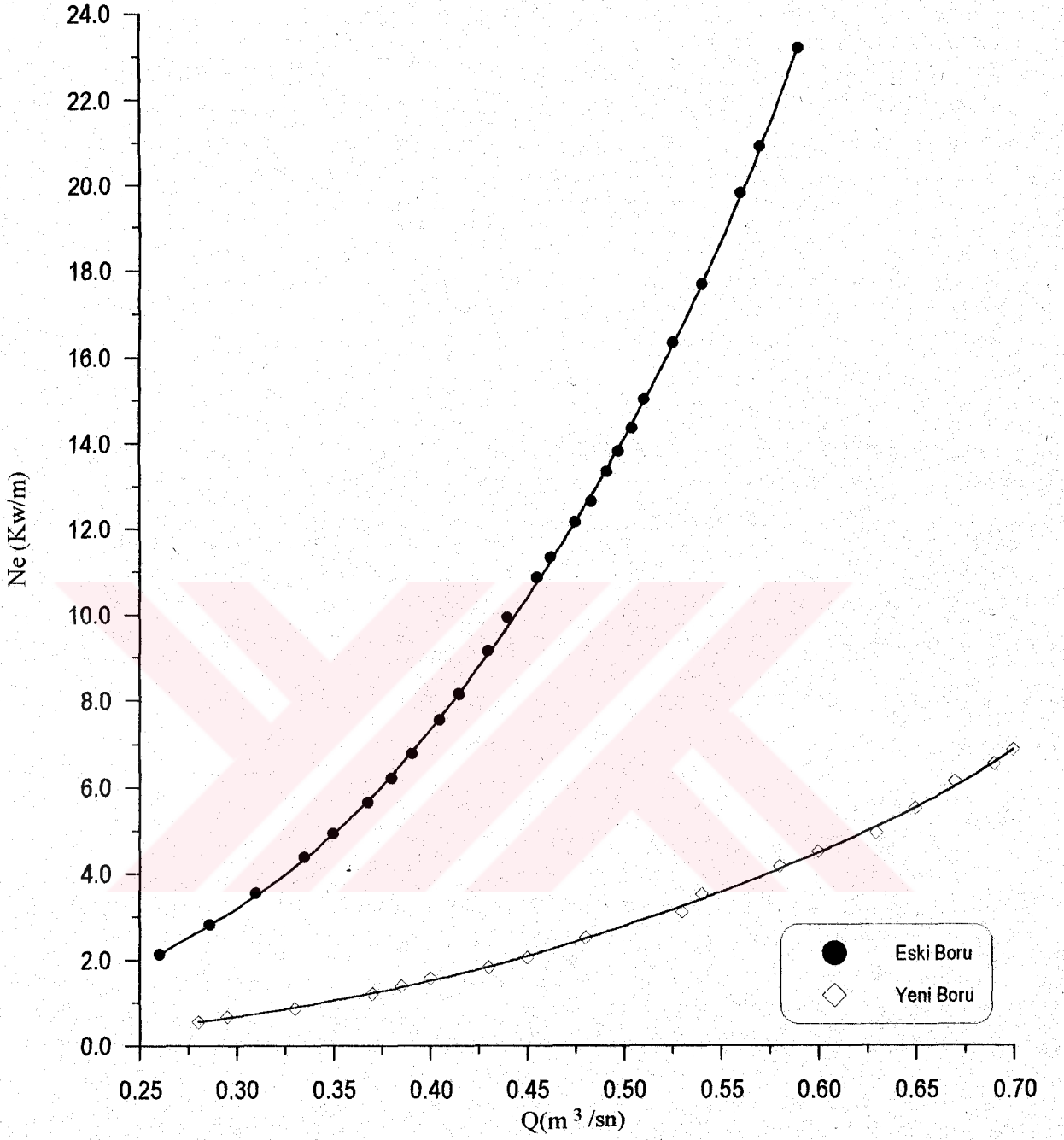
3/4" Eski ve Yeni Borunun karşılaştırılması
Şekil 3.11 3/4" Eski ve Yeni Borunun Karşılaştırılması



1" Yeni Boru
Şekil 3.12. ¾" Yeni Boru



1" Eski Boru
Şekil 3.13. 1" Eski Boru



1" Eski ve Yeni Borunun karşılaştırılması
Şekil 3.14. 1"Eski ve Yeni Borunun Karşılaştırılması

4.YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN NON-NEWTONİEN AKIŞKANLARIN BASINÇ KAYIPLARINA ETKİLERİ

Her ne kadar tez konumda Newtonien akışkan ortam olarak bilinen su gözönüne alınmış ise de bu konuda Non-Newtonien akışkanlar için yüzey pürüzlülüğünün etkisi bu kısımda bir ek bilgi olarak sunulmuştur.

Bilindiği gibi Newtonien akışkanlarda pürüzsüz borularda laminar akışta ($Re < 2100$) sürtünme kayıp katsayısı $\lambda = 16/Re$ olarak hesaplanmaktaydı. Aynı şekilde Non-Newtonien akışkanlar için $\lambda = 16/Re'$ formülüyle ifade edilebilir. Buradaki Re' :

$$Re' = \frac{d^n V^{2-n} \rho}{g_c K' (8)^{n-1}} \text{ olarak bulunur.} \quad (4.1)$$

Newtonien akışkanların pürüzsüz borularda türbülanslı akıştaki sürtünme faktörü

$$\lambda = 0.0014 + 0.125 (Re)^{-0.32} \quad (4.2)$$

formülünden bulunabilir. Bu formül $3000 < Re < 3000000$ olması durumunda geçerlidir.

Non-Newtonien akışkanlarda ise

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{4}{(n')^{0.75}} \log \left[Re' \lambda^{(1-n')/2} \right] - \frac{0.4}{(n')^{1.2}} \quad (4.3)$$

olmaktadır.

Pürüzlü borularda türbülanslı akışta Newtonien akışkanların sürtünme katsayıları pürüzsüz borulardakine oranla daha fazladır. Sürtünme faktörü hem Re sayısının hem de relatif pürüzlülük K/d 'nin bir fonksiyonudur.

Newtonien akışkan için pürüzlü borularda tamamen türbülanslı akışta sürtünme faktörü :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 4 \log \left\{ \frac{k}{3.7065d} - \frac{5.0452}{Re'} \log \left[\frac{1}{2.8257} \left(\frac{k}{d} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re'^{0.8981}} \right] \right\} \quad (4.4)$$

olarak belirlenmiştir.

Non-newtonien akışkanlar için ise :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = n' A \log(d / 2k) + B \quad \text{olmaktadır.} \quad (4.5)$$

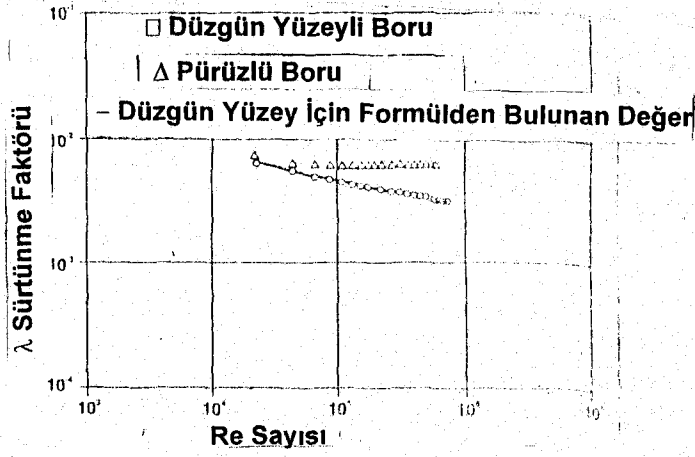
4.1.DENEY DÜZENEGİ

Bu deneyde pompa , karıştırma tankı , akış kanalları , ısı değıştirciler , diferansiyel basınç ölçerleri , debimetre , sıcaklık probaları kullanılmıştır. Magnetik debimetre ölçülecek olan borunun çıkış kısmına bağlanmıştır.

Biri pürüzlü , diğeri pürüzsüz ¾” çapındaki iki adet borudan non-newtonien akışkan geçirilmek suretiyle Δp diferansiyel basınç farkı , Q akış debisi ölçülmüştür. Basınç düşüşü 3.66m uzunluk boyunca görüntülenmiştir.

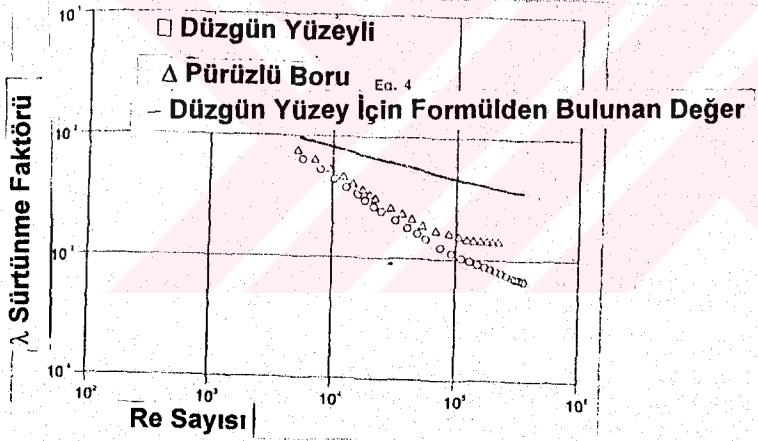
4.2.DENEY SONUÇLARI

Saf su ile ¾” pürüzlü ve pürüzsüz boruda yapılan deney sonucunda elde edilen λ ve Re değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Daha önceden pürüzsüz boru için formüle ettiğimiz (4.2) nolu eşitlik bu yapmış olduğumuz değeri %1.1 sapma ile sağlamaktadır. Pürüzlü borular içinde (4.4) nolu eşitlikle deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

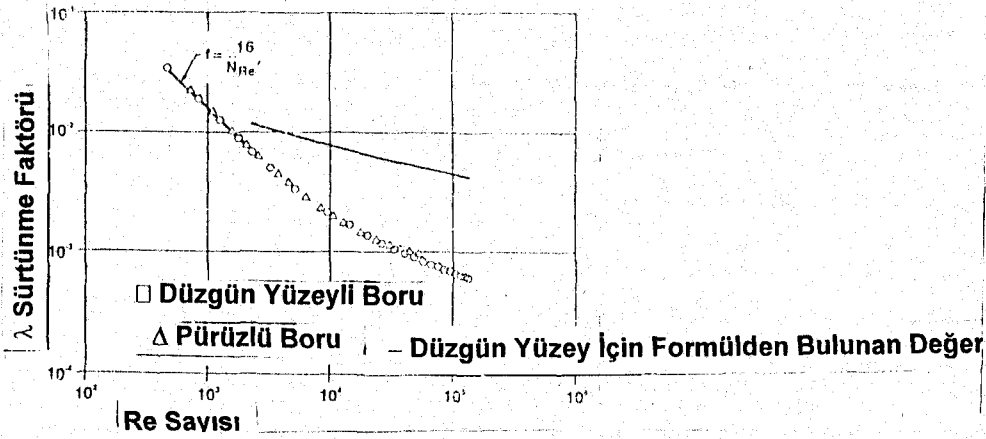


Şekil 4.1. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun karşılaştırılması(Suyla yapılmış deney için)

Non-newtonien akışkanlar için aynı deneyler yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki gibi grafiklendirilmiştir.



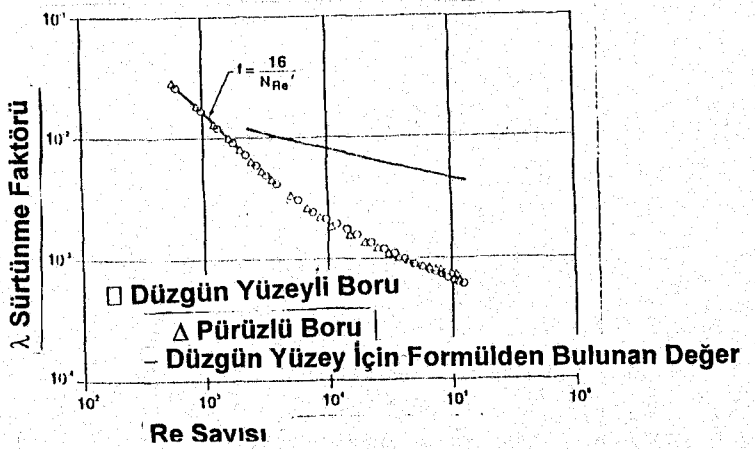
Şekil.4.2.Pürüzlü ve pürüzsüz borunun 101bm/1galon HPG sıvısı için karşılaştırılması



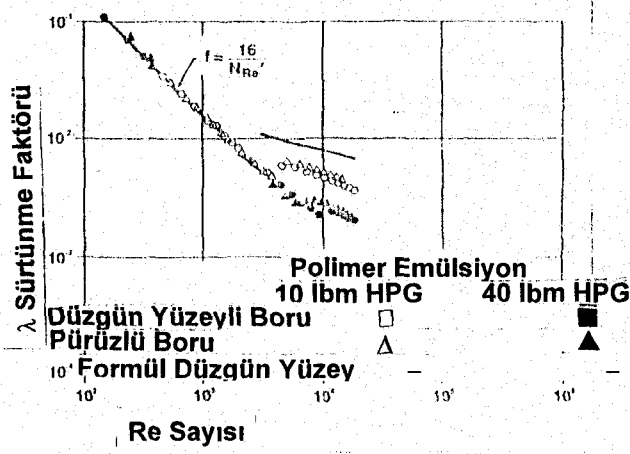
Şekil.4.3. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun 40lbm/1galon HPG sıvısı için karşılaştırılması

Şekil 4.2 ve 4.3'den görüldüğü üzere Non-newtonien akışkanların sürtünme faktörünün newtonien akışkanların sürtünme faktörlerine göre daha az olduğunu görmekteyiz. Aynı zamanda non-newtonien akışkanlarda pürüzlü ve pürüzsüz borulardaki sürtünme faktörünün maksimum değerini en düşük konsantrasyonlarda aldığını görmekteyiz.

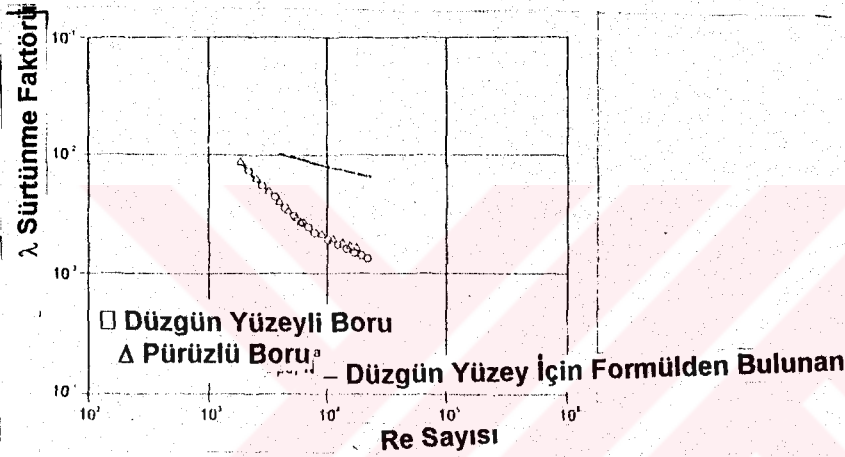
Bu deneyle non-newtonien akışkanların boru akışında kritik Re sayıları n' sayısının bir fonksiyonu olduğu ispatlanmıştır. $n'=0.4$ olduğunda Re'nin maksimum olduğu görülmüştür.



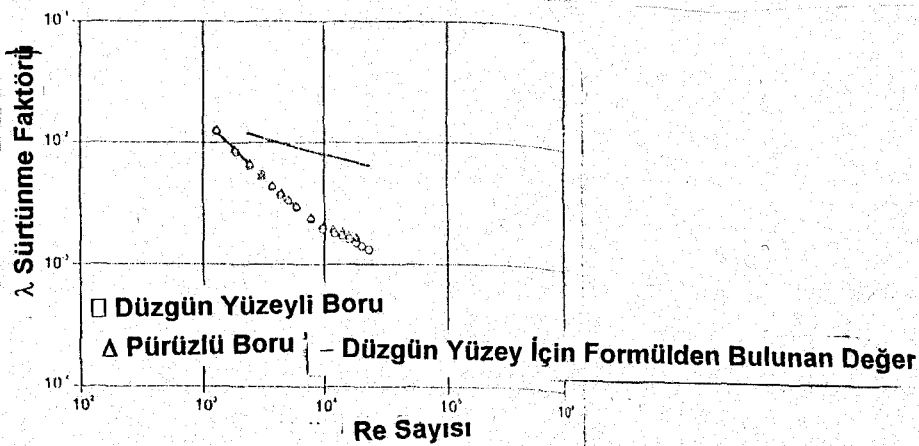
Şekil.4.4. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun 40lbm/1galon çapraz bağlı HPG sıvısı için karşılaştırılması



Şekil.4.5. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun polimer emülsiyon için karşılaştırılması



Şekil.4.6. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun yağ bazlı çapraz bağlı A sıvısı için karşılaştırılması



Şekil.4.7. Pürüzlü ve pürüzsüz borunun yağ bazlı çapraz bağlı B sıvısı için karşılaştırılması

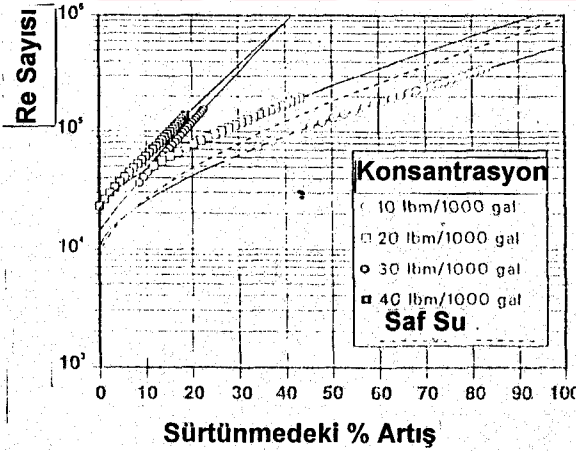
Şekil 4.3 ve 4.4'den görüleceği gibi non-newtonien akışkan için geçiş Re sayısı 2400 olmakta, bu sayı newtonien akışkanlar için 2100 idi.

Şekil 4.5'de iki polimer emülsiyonun sonuçları gösterilmektedir. Buradan görüleceği üzere 4.8 kg/m^3 'lük emülsiyonun 1.2 kg/m^3 'lük emülsiyona göre daha az sürtünme faktörüne sahip olduğu görülmüştür.

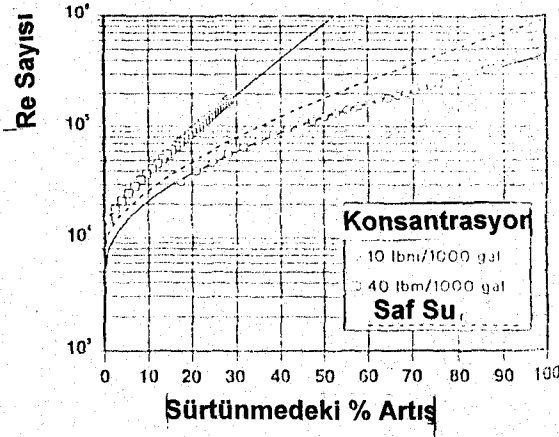
Şekil 4.6 ve 4.7'de yağ bazlı sıvılardan elde edilen değerler gösterilmiştir. A ve B sıvıları için tüm Re sayılarında hemen hemen aynı sürtünme katsayıları elde edilmiştir. $Re < 10^4$ değerinde her iki sıvı için boru pürüzlülüğünün sürtünme faktörüne ihmal edilebilir bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

Herhangi bir sıvının pürüzlü borudaki sürtünme kaybının pürüzsüz boruya göre yüzde olarak farkı şu şekilde bulunur:

$$\sigma = [(\Delta p_r - \Delta p_s) / \Delta p_s] \cdot 100 \quad (4.6)$$

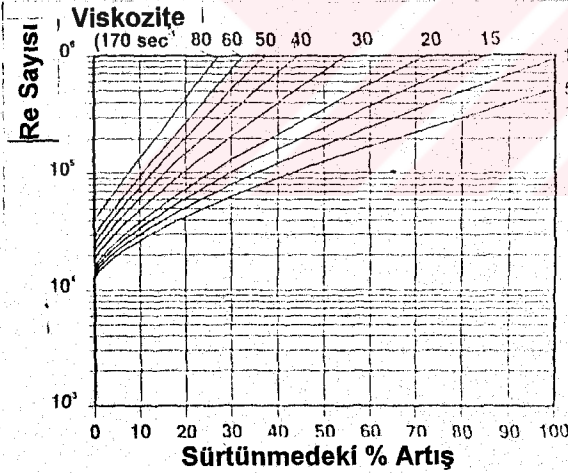


Şekil.4.8.Boru pürüzlülüğünün HPG sıvısı için düzeltme faktörü



Şekil.4.9. Boru pürüzlülüğünün CHPG sıvısı için düzeltme faktörü

Yukarıdaki şekil 4.8 ve şekil 4.9'da σ değerine karşılık Re sayıları gösterilmektedir. Burada 10lbm HPG/1galon ve 10 CMHPG/1galon için elde edilen değerler saf sudan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni pürüzlü boruda jel üzerinde kayma gerilmelerinin etkileridir.



Şekil.4.10. Su bazlı akışkanlar için boru pürüzlülük düzeltme faktörü

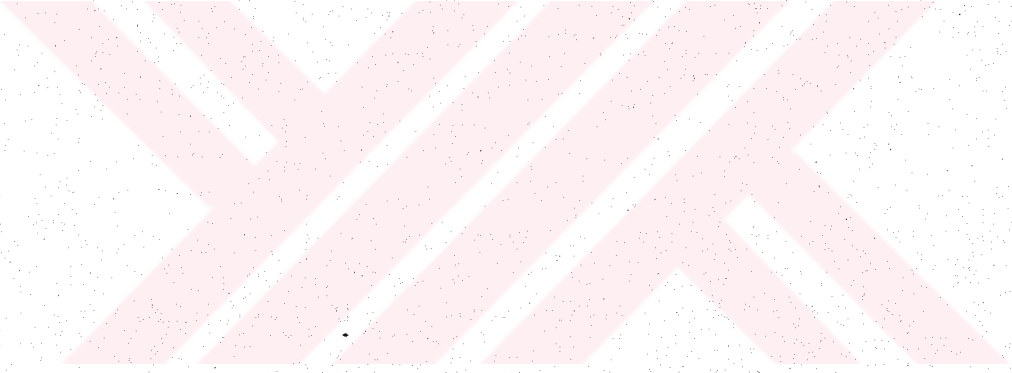
Şekil 4.10'da ise değişik viskoziteler için Re sayısına karşılık gelen su bazlı akışkanların boru sürtünme kayıplarındaki %'lik değerleri gösterilmiştir.

Bu deneyler sonucunda

1- Pürüzsüz boruya göre pürüzlü borunun sürtünme kaybındaki artış yüzdesi Re sayısının ve sıvının viskozitesinin bir fonksiyonu olduğu anlaşılmıştır.

2-Boru pürüzlülüğü düzeltme faktörü Re sayısının artmasıyla artmakta ,sıvı viskozitesinin artmasıyla azalmaktadır. Bu yüzden boru pürüzlülüğünün viskoz sıvılardan çok daha akıcı sıvılarda önem taşıdığı anlaşılmaktadır.

3-Pürüzsüz borunun içinde non-newtonien sıvının sürtünme kaybının bilinmesi ve burada geliştirmiş olduğumuz bağıntılar yardımıyla pürüzlü bir boruda akışta meydana gelen sürtünme kaybı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Hazırlamış olduğum bu tezde Newtonien akışkan ve Non-Newtonien akışkanlarla pürüzlü ve pürüzsüz borularda deneyler yapılmış bu deneyler sonucunda ;

-Daha önceden pürüzsüz borular için formüle edilen değerler ile deneylerden elde edilen değerler arasında %1.1 gibi bir sapma olduğu görülmüştür.

-Non-Newtonien akışkanların sürtünme faktörünün Newtonien akışkanların sürtünme faktörüne göre daha az olduğu anlaşılmıştır.

-Borularda geçiş için Newtonien akışkanın Re sayısı 2100 , Non-Newtonien akışkan için 2400 olduğu görülmüştür.

-Non-Newtonien akışkanlarda sürtünme faktörü maksimum değerini düşük konsantrasyonlarda almaktadır.

-Non-Newtonien akışkanlarda yoğunluğun artmasıyla sürtünme faktörünün azalacağı gözlenmiştir.

-Non-Newtonien akışkanlarda $Re < 10^4$ değerinde boru pürüzlülüğünün sürtünme faktörüne ihmal edilebilir bir etkisi olduğu görülmüştür.

-Galvanizli boruların yenileri ve eskilerinin karşılaştırılması sonucu aralarında enerji maliyetlerinde %5 ile % 20 arasında bir tasarruf sağlayacağı gözlenmiştir.

-Re sayısının artmasıyla birlikte sürtünme faktörünün çok düşük konsantrasyonlardaki pürüzlülük elementleri için sabit kaldığı gözlenmiştir.

-Tesisatlarda bir takım dezavantajlarına rağmen bakır boruların kullanılabileceği böylelikle enerji kayıplarının minimum seviyede tutulabileceği aşıkardır.

-Borularda pürüzlülüğün önlenbilmesi için 1.bölümde anlatıldığı üzere bir takım kimyasal maddeler geliştirilmiş ve bu kimyasal maddelerin kullanımının biran önce yaygınlaştırılması gereklidir.

-Pürüzlülüğün temel çözümü akışkanların mümkün olduğunca temizlenmiş olmasından geçmektedir. Ayrıca akışkanın nakledildiği borular korozyona karşı iyi korunmalı , pürüzlülüğü az olan borular tercih edilmelidir.

-Pürüzlülüğün giderilmesi için temizleme yöntemi de tercih edilebilmektedir.

-Bu çalışmalar daha çok düz borular üzerinde denenmiş aynı deneyler pürüzlü dirsek , vana , valf gibi kayıp doğuran tesisat elemanları üzerinde denenmek suretiyle pürüzlülüğün bu elemanlar üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

Başçetinçelik A. 1994. 'Jeotermal Uygulamalarda Kabuklaşma ve Korozyon Sorunları ve Alınacak Önlemler' Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu PAÜ Denizli p.p. 86-94

Bewersdorff H. And Berman N.S. 1987 'Effects of Roughness on Drag Reduction for Commercially Smooth Pipes '

Darby R. And H.D. 1984. 'Generalized Correlation for Friction Loss in Drag Reducing Polymer Solutions ' AIChEJ.30 p.p.274-280

Erol T. 1994. ' Bakır Borunun Tesisatta Kullanımı ' Tesisat Mühendisliği Dergisi Ocak 1994 p.p. 21-26

Kumar S. 1980. 'An Analitical Method For Computation of Rough Boundary Resistance ' Tri -State University Angola p.p.241-257

Öz E.S. , Sidal C. 1984. 'Yapıda Sıhhi Tesisat' Gazi Üniversitesi Ankara

RP 39 Recommended Practices for Standard Procedures For Evaluation of Hydroulic Fracturing Fluids,Second Edition , API , Dallas 1983

Serghides T.K. 1984. 'Estimate Friction Factor Accurately' Chem.Eng. p.p.63-64

Subbash N.S. 1990 ' Effects of Pipe Roughness On Friction Pressures of Fracturing Fluids' Society of petroleum Engineers p.p.151-156

Zigrang D.J. and Slyvester N.D. 1982 'Explict Approximations to the Solutionsof Colebrook's Friction Factor Equation ' AICh EJ.28 p.p.514-515

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 2 Ekim 1973

Doğum Yeri: Denizli

Eğitim: 1979-1984 Hacı Halil Bektaş İlkokulu

1984-1991 Denizli Anadolu Lisesi

1991-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü Isı Proses Ana Bilim Dalı

1995- ... Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Bölümü
Isı Proses Ana Bilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce , Almanca

Medeni Hal : Bekar

Meslek: Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Termodinamik Ana Bilim Dalı Araştırma Görevlisi