T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BORU AKIMLARINDA KULLANILAN BAĞINTILARIN İDEAL HIZ KAVRAMINA GÖRE YENİDEN DÜZENLENMESİ

Songül GÖKDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Aralık 2018

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Songül GÖKDEMİR tarafından yapılan "Boru Akımlarında Kullanılan Bağıntıların İdeal Hız Kavramına Göre Yeniden Düzenlenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan: Prof. Dr.	Z. Fuat TOPRAK
Üye : Doç . Dr.	Mustafa DEMİRCİ
Üye : Doç. Dr.	Fevzi ÖNEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 10.12.2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2018

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca engin hoşgörüsü ve fikirleri ile haaytıma yön veren ayrıca kıymetli bilgilerini ve değerli vaktini bana ayırarak tezin bu aşamaya gelmesine katkıda bulanan tez danışmanım ve akıl hocam Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK'a ve çalışmlarını büyük bir hoşgörü ile benim ile paylaşan sevgili Zemzem Kınık'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarım süresince yeterince vakit ayıramadığım ve buna rağmen her zaman yanımda olduklarını hissettiğim en başta sevgili annem ve kardeşlerim olmak üzere giderek genişleyen ailemin her bir ferdine ve varlığıyla bana huzur veren biricik ikizim Birgül GÖKDEMİR'e minnet dolu teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, varlığıyla her zaman hayatımı güzelleştiren dostlarım Kübra İLER, Kader ZENGER, Derya KARABOĞA ve Büşra TEKEDERELİ 'ye yüksek lisans eğitimim boyunca Diyarbakırda beni misafir ettikleri ve bana her şekilde destek olup tezimi en güzel şekilde bitireceğime olan inançlarını kaybetmeyip beni teşvik ettikler için sonsuz teşekkürler.

Songül GÖKDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR……. I

İÇİNDEKİLER……..... II

ÖZET……..... IV

ABSTRACT……..... VI

ÇİZELGE LİSTESİ……..... VIII

ŞEKİL LİSTESİ…….…….. IX

KISALTMA VE SİMGELER……..…….…….. X

1. GİRİŞ……..…… 1

1.1. İdeal Hız Kavramı ……..…… 1

1.2. Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı ……..……..…… 4

1.3. Çalışmanın Önemi ……..…… 6

1.4. Çalışmadan İzlenen Yol ……. 7

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR …… 9

2.1. Konunun Tarihçesi ……..…… 9

2.2. Önceki Çalışmaların Sınıflandırması ……..……..……. 10

2.2.1. Açık Kanal Akımlarının Modellenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar …… 10

2.2.2. Boru Akımlarının Modellenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar ……. 13

2.2.3. İdeal Hız Kavramı Üzerine Yapılan Çalışmalar ……. 17

3. MATERYAL VE METOT…… 21

3.1. Yöntem Seçimi …… 21

3.2. İdael Hız Kavramı ve Çeşitli Hız Dağılım Denklemleri ……. 33

4. BULGULAR VE TARTIŞMA …… 37

4.1. Boru Akımlarında Kullanılan Bağıntıların İdeal Hız Kavramına Göre Düzenlenmesi …….. 37

4.2. İdeal Hız Kavramının Bilimsel Açıdan Tartışılması……... 49

4.2.1. İdeal Hız Kavramına Olası İtirazlar ve Cevapları ……. 49

4.2.2. İdeal Hız Kavramının Avantaj ve Dezavantajları ……... 53

4.2.2.1. Avantajları ……...……...……... 53

4.2.2.2. Dezavantajları ……...……...…… 53

4.3. Örnek Uygulamalar ……....……...……... 54

5. SONUÇ VE ÖNERİLER ……..……. 65

6. KAYNAKLAR …….. 69

ÖZGEÇMİŞ ……... 77

ÖZET

BORU AKIMLARINDA KULLANILAN BAĞINTILARIN İDEAL HIZA GÖRE DÜZENLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Songül GÖKDEMİR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜJENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Suyun, sadece insan yaşamı için değil aynı zamanda tüm doğa için en önemli ihtiyaçlardan biri olduğu çok iyi bilinmektedir. Tüm canlıların fizyolojik ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılan tatlı su kaynakları sınırlıdır. Dünyada bulunan toplam su miktarının yaklaşık %3'ü tatlı sudur. Diğer taraftan bilindiği üzere yağışların da yeryüzündeki konumsal ve zamansal dağılımı homojen değildir. Bu nedenle bir bölgeden başka bir bölgeye suyun nakli (iletimi) insanlık tarihi ile birlikte var olmuştur. Suyun iletimi, kanal, boru, tünel, galeri ve drenler gibi çeşitli su taşıma yapıları ile yapılmaktadır. Ancak bu tür su yapılarının tamamını hidrolik açıdan açık kanal (serbest yüzeyli) ve boru (basınçlı) akımları olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Açık kanal ve boru akımlarının hidrolik hesap ile ilgili güncel literatürde sayısız yöntem ve çözüm önerileri mevcuttur. Fakat bu çalışma sadece boru (basınçlı) akımları ve "ideal hız" kavramını kapsamaktadır. Bilindiği üzere boru akımlarında kesit içinde hız parabolik dağılmaktadır. Ancak bu çalışmada "ideal hız" kavramı ile hızın kesit içerisinde dairesel dağıldığı kabul edilerek idealize edilmiş ve buna bağlı olarak kullanılan tüm denklemler "ideal hız"a göre revize edilmiştir. İdeal hız kavramı doğrultusunda yeniden yazılan denklemler ile ilgili örnek uygulamalar yapılmış ve sonuçları öneriler kısmında tartışılmıştır. Kullanılan denklemlerin revize edilerek idealleştirilmesi ile hidrolik hesaplarda kolaylık sağlamasının yanında özellikle boru üretim sektöründe ideal çap gibi bir ölçek ortaya çıkararak büyük bir katma değer sağlayacağı ve pedegojik açıdan tıpkı ideal akışkan kavramı gibi hidrolik ve su yapıları ile ilgili derslerde fayda sağlayacağı öngörülmüştür.

Buna göre tez toplam altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra konunun tarihçesini, konu üzerine yapılmış çalışmaların değerlendirmesini ve bu çalışmaların sınıflandırmasını da içeren geniş bir literatür çalışması sunulmuştur. Tezde kullanılan yöntem ve çalışma aşamaları tüm detayları ile geniş bir şekilde "materyal ve metot" başlığı altındaki üçüncü bölümde verilmiştir. Bu bölümde ayrıca "ideal hız" kavramı tanımlanmıştır. "Bulgular ve Tartışma" başlığı ile verilen dördüncü bölümde, kavram üzerinde yapılan bilimsel tartışmalar ile ideal hız kavramının örnek uygulamaları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç ve Öneriler beşinci bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise yararlanılan kaynaklar alfabetik sıraya göre verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İdeal hız, boru akımları, ortalama akım hızı, logaritmik hız dağılımı, parabolik hız dağılımı

ABSTRACT

RE-MODIFICATION OF THE EQUATIONS USED IN PIPE FLOWS ACCORDING TO THE IDEAL VELOCITY CONCEPT

MASTER THESIS

Songül GÖKDEMİR

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2018

It is well known that water is one of the most important needs for not only human life but also for nature. Fresh water resources used in the physiological needs of all livings are limited. Only about 3% of the water amount on the world is fresh water. On the other hand, as it is known, the spatial and temporal distribution of rainfall on the earth is not homogeneous. For this reason, the transfer of water from one region to another has existed with the human history. Transport is made by different water conveyance structures, i.e. channel, pipe, tunnel, gallery, and drains. However, it is possible to classify all of them hydraulically in to two main classes as open channel flows (flows with free surface) and pipe flows (pressurized flows). Numerous methods and solutions techniques are used hydraulics calculations for bot open channel and pipe flows available in the current literature. However, this study focuses only on the "ideal velocity" concept for pipe flows. As it is known, crossectional velocity is parabolically distributed in any pipe flows. However, in this study, the crossectional velocity idealised as "ideal velocity" by assuming that the circular velocity distribution instead of parabolic distribution. Furthermore, all equations used for hydraulic calculation have been revised accordingly. Many examples have been presented to see appliability of mentioned new concept. Later, the results have been discussed in the "results and discussion" section. It is hopped that such an idealisation will bring togather the folowing benefits: a great simplification in hydraulic calculations, teaching "ideal velocity" before the real crossectional velocity, will help pedagojically to students in understanding the subject just as thiching the "ideal fluids" concept, the "ideal velocity" concept can be used as a scale for any hydraulic variable (magnitude), such a concept will help innowation in pipe production sectors.

The thesis contains of six chapters. After an introduction, an extensive literature review including the history, classification, and criticism of the previous studies is presented. A detailed theoretical consideration of the "ideal velocity" concept is given in chapter three entitled as "Material and Methods". The re-modification of the equations oftenly used in pipe flow is presented in the same chapter. A large scientific discussion together with the advantages and disadvantages of the new approach can be found in 4th chapter. The applications of the new concept are presented in the same chapter. The study is concluded in the next chapter. In the same chapter several recommendations are given. Finally, the references cited in the text are listed alphabetically in the last chapter.

Keywords: Ideal velocity, pipe flow, crossectional average velocity, logarithmic velocity distribution, parabolic velocity distribution

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Pürüzlülük yüksekliği ile boru cidar çeşitleri (Berkün, 2015)	31
Çizelge 4.1.	Reynolds sayısı belirleme kriteri	38
Çizelge 4.2.	Normal ve ideal debi karşılaştırma cetveli	62

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Bir doğa olayı ve bu olayın farklı şekillerde modellenmesi	2
Şekil 1.2.	Boru ve açık kanal akımlarına örnek	5
Şekil 3.1.	Akışkan parçasını etkileyen kuvvetler	22
Şekil 3.2.	Kayma gerilmesinin değişimi	23
Şekil 3.3.	Kayma gerilmesi ve hız değişimleri	24
Şekil 3.4.	Türbülanslı akımda çekirdek ve viskoz alt tabaka bölgeleri	26
Şekil 3.5.	Boru içerisinde kayma gerilmesinin değişimi	27
Şekil 3.6.	Türbülanslı akımda hız dağılımının viskoz alt tabakadan çekirdek bölgesine geçiş eğrisi	30
Şekil 3.7.	Cidar pürüzlülüğü	30
Şekil 3.8.	Parabolik hız dağılımı	33
Şekil 3.9.	Logaritmik hız dağılımı	34
Şekil 3.10.	Üniform hız dağılımı	35
Şekil 3.11.	"ideal hız" dağılımı	36
Şekil 4.1.	Boru akımlarında kesit içerisinde "ideal hız" dağılımı	38
Şekil 4.2.	Sıkıştırılabilen akışkanlar için süreklilik denklemi	40
Şekil 4.3.	Bir boru parçacığının enerji yüksekliğinin şematik gösterimi	42
Şekil 4.4.	Boru akımlarında enerji denklemi	47

KISALTMA VE SİMGELER

FL	: Fuzzy Logic (Bulanık Mantık)
GA	: Genetik Algoritmalar
ANN	: Yapay Sinir Ağları
NLOP	: Eşdeğer dağılımlı bir yaklaşıma dayanan doğrusal olmayan optimizasyon programı
IBM	: Batırma sınır yöntemi
RTD	: Eksenel dispersiyon veya rezidans zaman dağılımı
LFR	: İdeal hale getirilmiş laminer akış reaktöründen sapmalar
KKTC	: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
ReD	: Reynold Sayısı
PIV	: Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü
FEM	: Sonlu elemanlar yöntemi
RSM	: Sayısal türbülansın kinetik enerjisi
Re-2	: Kararsızlığa neden olan pürüzlülük elemanının en-boy oranının veya şekil faktörünün eşiği
WTC	: Uluslararası Su Teknolojisi Konferansı
D	: Boru Çapı
r	: Yarıçap
Δx	: Uzunluk farkı
F	: Basınç farkı ?
G	: Parçanın kendi ağırlığının akım doğrultusundaki bileşeni
τ_0	: Boru cidarındaki kayma gerilmesi
τ	: Akış doğrultusuna dik olarak kayma gerilmesinin değişimi
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi
u	: Akım hızı
v	: Kinematik viskozite

$\frac{du}{dy}$: Hız gradyanı

u_* : Kayma hızı

V : Akımın ortalama hızı

Q : Debi

A : Enkesit alanı

γ : Özgül ağırlık

δ : Viskoz alt tabaka kalınlığı

u' : Akım doğrultusu çalkantı bileşeni

v' : Akım doğrultusuna dik çalkantı bileşeni

$\overline{u'v'}$: Akım doğrultusu ve radyal doğrultudaki çalkantı bileşenlerinin çarpımının ortalaması

u_T : Türbülans viskozitesi

ℓ : Karışım boyu

ks : Cidardaki üniform pürüzlülüğün yüksekliği

$\ln y$: e tabanına göre y değişkeninin logaritması

n : Manning formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

R : Hidrolik yarıçap, (S/P), m

S : Islak kesit, m2

P : ıslak çevre, m

Re : Reynolds sayısı

Re_{ideal} : İdeal Reynolds sayısı

Q_{ideal} : İdeal debi

ρ : Özkütle

F_m : Momentum kuvveti

F_{mideal} : İdeal Momentum kuvveti

P : Basınç

z : Geometrik kot

H_{ideal} : İdeal yükseklik

g : Yerçekimi ivmesi

h_k : Sürekli yük kaybı

hk' : Ani yük kaybı

k : Boyutsuz sabit, söz konusu yerin tabiatına bağlı yük kaybı katsayısı

Δh : Yerel yük kaybı, enerji yüksekliği cinsinden

Δh_{ideal} : İdeal yerel yük kaybı, enerji yüksekliği cinsinden

J : Enerji çizgisinin eğimi

f : Darcy-Weisbach bağıntısındaki sürtünme katsayısı, boyutsuz

C_{wh} : Hazen-William formülündeki pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

ξ : Ani yük kayıp katsayısı

H : Pompa terfi yüksekliği

N_p : Pompa gücü

η : Verimlilik katsayısı

1. GİRİŞ

1.1. İdeal Hız Kavramı

Doğa olayları ne kadar yakından ve hassas bir şekilde ele alınırsa alınsın yine de belirsizliklerin var olacağını söylemek mümkündür (Toprak, 2018). 18. yy'ın ortalarına kadar bilim insanlarına göre bilim kesinlik gerektiriyordu. Bu dönemde, doğada cereyan eden olayların tamamının sebep – sonuç ilişkisine dayandığı düşünülmekte idi. Başka bir ifade ile neden bilindiğinde sonuç, sonuç bilindiğinde ise neden bilinebilirdi. Ancak 18. yy. ikinci yarısından itibaren bu düşünce akademik camiada gittikçe değerini yitirdi ve her şeye rağmen bizce doğa olaylarında sürekli bir belirsizliğin olacağına dair düşünceler ağırlık kazanmaya başladı. Zadeh (1921 – ?), "gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözüm daha da bulanık hale gelecektir"; Henri Poincaré (1854 – 1012) ise "çok basit bir sistemde çok karmaşık bir dinamik ortaya çıkabilir" ve Einstein (1879 - 1955) da, "biz, evrenin muhteşem bir şekilde düzenlendiğini ve belirli kanunlara uyduğunu görmekteyiz, ancak bu kanunları çok bulanık bir şekilde anlayabilmekteyiz" demektedir. Bazı durumlarda, doğa olayları çok iyi kavrandığı ve yorumlandığı halde bu kavram ve yorumların modele yansıtılması güç olmaktadır (Toprak, 2018). Yine Einstein (1879 - 1955)'nin dediği gibi: Matematik ifadeler ne kadar gerçeği temsil ediyorsa o denli kesinlikten uzaktır, ne kadar kesin ise o denli gerçeği temsil etmekten uzaktır (Şen, 2004). Bu itibar ile uygulamada sayısız kabuller yapılmaktadır. Zira ifade edildiği üzere doğada ve insanoğlu eseri olan tüm yapılarda ve sistemlerde belirsizlik her zaman olacaktır. Laplace "Evrenin şimdiki halini geçmişin sonucu ve geleceğin nedeni olarak ele alabiliriz. Bir an için evrenin tüm güçlerini ve bunu oluşturan tüm varlıkları anlayabilen bir canlının olduğunu düşünürsek ve bu canlının bu verileri inceleyebileceğini de düşünürsek, aynı anda bu canlı evrendeki en büyük varlıklardan en küçük atomlara kadar her şeyi hesaba katarak bir hesap yaparsa hiç bir şey belirsiz değildir ve gelecek de, aynı geçmiş gibi, onun gözlerinin önündedir" demektedir (Laplas Şeytanı teoremi). Toprak (2018), bu teoriye atıfla "gezegenimiz üstünde böyle bir varlık olmadığına göre doğa olayları bizce her zaman belirsizliğini koruyacaktır" diyerek doğadaki belirsizliğin kanaatimizce her zaman var olacağını teyit etmektedir.

Bu gerçeklerden hareketle denilebilir ki, doğa olaylarının tahmini için hatasız olarak geliştirildiği iddia edilen her modelde nedeni kesin olarak bilinmese de hata veya hatalar vardır. Bu hatalar genel olarak yapılan kabul ve ihmallere, kısaca idealleştirmelere, deney veya gözlemlerde göz önünde tutulan yanlış veya eksik parametrelere, parametrelerin hesaba katılan nitelik ve niceliğine, deney veya gözlem koşullarının farklılığına, ölçüm ve kayıtlarda yapılan hatalara bağlıdır (Toprak, 2004).

Bunun yanında, laboratuarlarda deney koşullarını gerçek doğa koşullarına benzetebilmek ve gözlemleri doğada aynı koşullarda tekrarlamak da güçtür. Bunlara ölçüm ve gözlemlerde yapılan hatalar da eklenince belirsizlikler daha da artmaktadır.

Bu belirsizlikler nedeniyle doğa olaylarını önceden tam olarak tahmin etmek veya modellemek oldukça güçtür. Doğa olaylarını özellikle belirgin (deterministik) yöntemlerle modellemek daha da güçtür.

Doğa olaylarındaki bu belirsizlik aynı zamanda insan kaynaklı modellemeler ve diğer çalışmalar için de geçerlidir. Nitekim gözlem ve ölçüm sonuçları kesin değildir.

Bu belirsizlikler nedeniyle araştırmacılar, çoğu zaman problemin - YAKLAŞIK OLARAK- modellenmesine olanak verebilecek yöntemlerin arayışı içinde olmuştur.

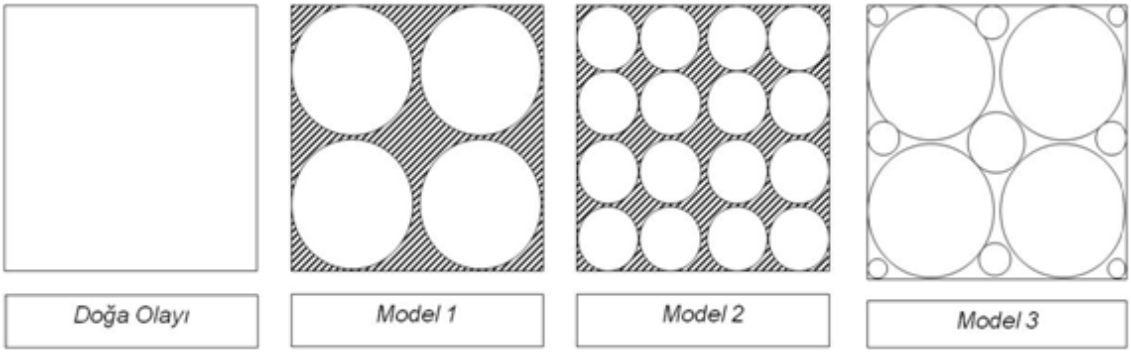
Toprak (2016c), bunun iki yolu olduğunu belirtmektedir:

1. Eldeki problemin idealleştirilmesi,

2. Çok sayıda değişken ile çalışılması.

Problemi idealleştirmek için birçok “KABUL” ve/veya “İHMAL” yapılmaktadır.

Şekil 1.1’de verildiği gibi çok sayıda değişken ile çalışılması çok sayıda bilinmeyeni ve çözümü çok zor hatta bazen olanaksız olan denklem veya modelleri zorunlu kılmaktadır (Toprak, 2016c).



Şekil 1.1. Bir doğa olayı ve bu olayın farklı şekillerde modellenmesi (Toprak, 2016c)

Nitekim akışkanlar mekaniği, hidrolik ve su yapıları ile ilgili teorik ve pratik uygulamalarda kullanılan denklem ve modeller, çeşitli varsayım ve kabuller yapılarak üretilmektedir. Yapılan kabuller nedeniyle bu denklemler veya modeller kabul edilebilir düzeyde doğru sonuç vermesinin yanında, bilinmeyen ve bizce her zaman var olacağı kabul edilen belirsizliklerden dolayı gerçeklikten çok uzak sonuçlar da verebilmektedir. Diğer taraftan, çözümü güç ve karmaşık diferansiyel denklemlerin kullanılması zaman ve güç kaybına yol açmaktadır. Bu durum, araştırmacıları gerek teorik gerek uygulamaya yönelik çalışmalarında çözümü daha pratik ve güvenilir sonuçlar veren denklemlere ve kavramlara yöneltmiştir. Bunlara ek olarak çok iyi bilindiği üzere genellikle doğa olaylarının dağılımında homojenlik ve izotropluk mevcut değildir. Bu nedenle birçok bilimsel çalışmada ilk önce yapılan kabuller homojenlik ve izotropluk kabulleridir. Örneğin akışkanlar moleküler bazda süreksiz oldukları halde birçok su yapıları probleminin çözümünde sürekli ortam kabulü yapmaktadır. Benzer şekilde yine bazı akışkanlar yerine göre sıkışmaz ve homojen kabul edilmektedir. Oysa akışkanlar moleküler ölçekte homojen değil ve tüm akışkanlar az veya çok sıkışmaktadır. Büyük hacimlerle ve su gibi az sıkışan akışkanlarla çalışıldığı zaman bu son iki kabul sonuç üzerinde fazla etkili olmamaktadır. Başka bir örnek verilecek olursa doğada sürtünmesiz yani ideal akışkan yoktur oysa hemen hemen tüm akışkanlar mekaniği kitaplarında temel denklemler önce ideal akışkanlar için türetilmektedir. Bu kabul, bazen pedagojik gereklilikten bazen de sonucu az etkilediği için yapılmaktadır. Benzer şekilde doğada ideal gaz olmadığı halde termo dinamikte ideal gaz kavramı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu gibi kabuller kolaylık sağladığı gerekçesiyle farklı disiplinlerde çok sayıda yapılmaktadır ve güncel literatüre her gün bir yenisi eklenmektedir.

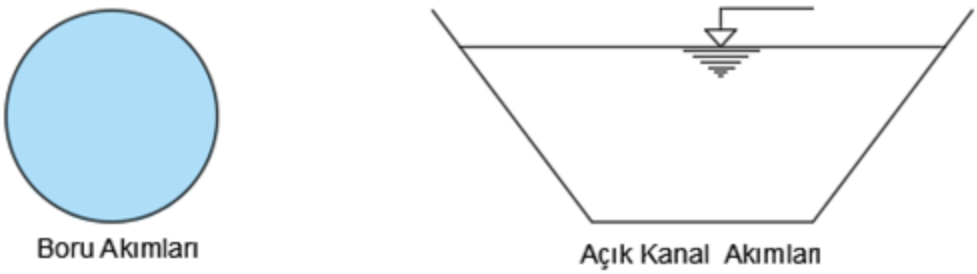
Bu güne kadar tüm boru ve açık kanal akımlarına yönelik teorik çalışmalarda ve pratik uygulamalarda kesit içerisinde parabolik dağılan hızın ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada ise kesit içerisinde parabolik hız dağılımı yerine dairesel hız dağılımı kabulü yapılarak boru enkesiti içerisinde hızın ortalaması alınmıştır. Bu şekilde bir hız tanımı daha önce Toprak (2016a) tarafından yapılmış ve "ideal hız" kavramı olarak tanımlanmıştır. Aynı çalışmada önerilen kavram, açık kanal ve boru akımlarında kesit içerisinde hızın parabolik değil dairesel dağıldığı kabulüne dayanmaktadır. Bu şekilde tanımlanan ortalama "ideal" hız, ilgili bağıntılarda kesit içerisinde parabolik dağıldığı kabul edilen hızın ortalaması yerine yazılmıştır. Böylece

hidrolik hesaplamalarda kullanılan tüm bağıntılar daha da sadeleştirikmekte ve kullanımı daha kolay hale gelmektedir. İdeal hız kavramı literatürde henüz yeni olduğundan bu konuyla ilgili çok az sayıda çalışma mevcuttur. Toprak (2016a)'da ve ardından Toprak (2016b, 2016c)'de hem boru hem de açık kanal akımları için "ideal hız" kavramı önerilmiş ve özet şekilde sunulmuştur. Bu iki çalışmada "ideal hız" kavramı sadece Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik kaynaklarında yaygın olarak yer alan ve çok iyi bilinen bazı denklemelere (Froude sayısı, Reynold sayısı, süreklilik ve enerji denklemleri gibi) uyarlanmıştır. Anılan bu çalışmalarda her hangi bir örnek veya pratik uygulama verilmemiştir. Bu tez çalışması kapsamında "ideal hız" kavramı sadece boru akımlarına uyarlanmış ve gerek tanımının gerekse uygulamasının üzerinde oldukça detaylı ve geniş bir kritik yapılmıştır. Ayrıca kavramın uygulanabilirliğini test etmek üzere çok sayıda örnek problem ve çözümleri sunulmuştur.

1.2. Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı

Su, insan yaşamının en önemli ihtiyaçlarından birisidir. İnsanın fizyolojik ihtiyacının yanında uzun yıllardır tarım, endüstri ve teknoloji gibi alanlarda da büyük ölçüde kullanılmaktadır. Dünyada bulunan toplam su miktarının yaklaşık %3'ü tatlı sudur ve bu miktar dünya üzerinde dengeli bir şekilde dağılmamıştır. Ayrıca su, istenilen yerde her zaman ekonomik olarak elde edilememektedir. Su dağılımının dengesizliği yanında nüfusun artması, ülkelerin gelişmişlikleri ile doğru orantılı olarak suyun diğer alanlarda da kullanılmaya başlanması, gelişen teknoloji ve sanayinin su kaynaklarını kirletmesi ve değişen iklim koşullarının su kaynaklarını etkilemesi, dünya üzerinde çeşitli bölgelerde su kaynaklarının yetersizliği sebebiyle su sorunu yaşanmaktadır (Maden, 2013). Bu çalışmalar mevcut ve gelecekte olası (muhtemel) su sorunlarını kısa bir şekilde özetlemiştir. Diğer taraftan bilindiği üzere yağışların ve tatlı su kaynaklarının yeryüzündeki konumsal ve zamansal dağılımı homojen değildir. Bu nedenle bir bölgeden başka bir bölgeye suyun nakli (iletimi) insanlık tarihi ile birlikte var olmuştur (Toprak, 2016a). Günümüzde havzalar arası su transferi, içme/kullanma, sanayi ve sulama suyu temini, kullanılmış (kirlenmiş) suların uzaklaştırılması, hidrolik enerjinin üretilmesi ve daha birçok nedenle suyun bir yerden bir yere nakli (iletimi) hayati bir zorunluluktur. Ayrıca su ticareti de suyun iletimini zorunlu kılan bir başka neden olarak ortaya çıkmaktadır.

Taşınım, kanal, boru, tünel, galeri ve drenler gibi çeşitli su taşıma yapıları ile yapılmaktadır. Ancak bu tür su yapılarının tamamını hidrolik açıdan açık kanal akımları (serbest yüzeyli akımlar) ve boru akımları (basınçlı akımlar) olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür (Toprak, 2016a).



Şekil 1.2. Boru ve açık kanal akımlarına örnek

Bu çalışma sadece boru akımlarında "ideal hız" kavramını kapsamaktadır. Ayrıca bu çalışmada boru akımı tanımı, basınçlı ortamda suyun iletilmesini sağlayan atmosfere kapalı akımlar için kullanılmaktadır. Her ne kadar boru ve açık kanal akımlarında ortak bazı hidrolik prensipler geçerli ise de açık kanal akımlarında hareketin yegâne enerji kaynağı yerçekimi ivmesi, boru akımlarında ise bu kaynak yer çekimi ivmesi olabildiği gibi dışarıdan bir enerji kaynağı da olabilmektedir. Bu nedenle iki akım ile ilgili problemlerin çözümünde ortak bazı bağıntılar kullanıldığı gibi akım türüne özel farklı bağıntılar da kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında bilhassa boru akımlarının açık kanal akımlarından ayrılarak ele alınmasının nedeni budur.

Dolayısıyla her iki akım türünde de hareketi etkileyen değişkenler farklılık göstermektedir. Aynı zamanda etkili değişkenlerin sayısı zamana ve konuma göre değiştiği gibi bunların olay üzerindeki etkisinin niteliği ve niceliği de her zaman ve yerde aynı değildir. Nitekim akım özellikleri (basınç, debi, hız vb.), akışkan özellikleri (viskozite, birim hacim ağırlığı vb.) ve akım ortamı özelliklerine (kesitin geometrisi, kesitin büyüklüğü veya küçüklüğü, pürüzlülüğü, boyuna eğim vb.) göre değişmektedir. Nitekim boru hatlarında sürtünmeden kaynaklanan yük kayıpları boru çapı ile ters orantılı olduğundan boru çapı büyüdükçe sürekli yük kayıpları nedeniyle terfi için gerekli enerji maliyeti düşecektir. Hem sürekli yük kayıpları, hem boru maliyeti hem de işçilik masrafları açısından ilk tesis maliyetinin minimum olacağı "ekonomik çap"

olarak adlandırılan bir boru çapı boru üretim sektöründe tanımlanmaktadır. Ancak "ekonomik çap" ile piyasada kullanılan "ticari çap" kavramları birbiri ile uyuşmamaktadır. Bu yüzden pratikte ekonomik çapın hemen üstünde bir boru çapı seçilmektedir. Su kaynakları çalışmalarında ve hidrolik problemlerin çözümünde hızın parabolik dağıldığı kabulü yapıldığı fakat bu kabulün beraberinde çeşitli zorluk ve belirsizlikleri getirdiği bilinmektedir. Bu çalışmanın sonucunda boru akımlarında hız dağılımının dairesel kabul edilerek idealleştirilebileceğine ve buna bağlı olarak kullanılan tüm denklemlerin "ideal hız"a göre yeniden revize edilebileceğine değinilmiştir. Kullanılan denklemlerin idealleştirilerek revize edilmesi neticesinde sağlanacak kolaylığın yanında söz konusu çalışmanın özellikle ideal çap kavramını ortaya çıkararak boru üretim sektörüne büyük bir katma değer sağlayacağı ön görülmektedir.

1.3. Çalışmanın Önemi

Özellikle ideal hız kavramı ile akışkanlar mekaniği ve hidrolik problemlerinin çözümünde kullanılan bağıntılar sadeleştirilerek boru akımlarında çap ve açık kanal akımlarında akım derinliği cinsinden yeniden yazılabilecektir. İdeal hız kavramı ışığında ilgili bağıntıların sadeleştirilerek yeniden yazılmasının tüm hidrolik hesaplamalarda büyük kolaylık getireceği ve özellikle boru üretim sektörüne katma değer sağlayacağı düşünülmektedir (Toprak, 2016a). Boru sektöründe hedeflenen veya ihtiyaç duyulan debi ve cidar kalınlığı dikkate alınarak daha isabetli boru çapları seçileceğinden ekonomik getirisinin yanında üretici ve tüketiciler için büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu kavram aynı zamanda su kaynakları çalışmalarında bir ölçek olarak da kullanılabilecektir. Örneğin "ideal hız"ın 2 katı veya 0,5 katı, ya da ideal debinin, ideal Reynolds sayısın katları gibi. Benzer şekilde, boru akımları gibi basınçlı sistemler için gerekli pompa gücü ve terfi yüksekliği de bu şekilde idealleştirilerek ideal gücün katları şeklinde ihtiyaç duyulan güç ideal güç cinsinden ifade edilebilecektir. İdeal hız kavramı aynı zamanda lisans veya lisansüstü öğrenimde okutulan gerek akışkanlar mekaniği ve hidrolik derslerinde gerek diğer su derslerinde geçen matematiksel ifadeleri belirgin derecede sadeleştirecektir. Bu durumun, pedagojik açıdan da büyük öneme sahip olduğu açıktır.

1.4. Çalışmadan İzlenen Yol

Öncelikle geniş bir literatür çalışması sonucunda 2018 yılına kadar bu konuya ilişkin yapılmış tüm çalışmalara ulaşılmış ve çalışmalar konuya yakınlıklarına göre sınıflandırılmıştır. Özel olarak tez çalışmasına en yakın onlarca çalışma daha yakından incelenmiştir. Çalışmanın literatürde henüz rastlanmayan fakat yapılmasında yarar olduğu düşünülen daha özel bir yaklaşım üzerinde şekillenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu yeni yaklaşım, boru akımlarında kullanılan bağıntıların "ideal hız" kavramına göre yeniden düzenlenmesine dayanmaktadır. Bu yüzden "ideal hız" kavramını ilk tanımlayan ve sayıca çok sınırlı olan orijinal basılı çalışmalar üzerinde oldukça geniş bir şekilde durulmuş ve detaylı bir şekilde bu çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda "ideal hız" kavramı için yapılan tanımlar ayrıca tartışılmıştır. Daha sonra boru akımlarında sıkça kullanılan çok sayıda bağıntı bu yeni kavrama göre revize edilmiştir. Bu kavramı ilk olarak tanımlayan çalışmalarda pratik uygulama verilmediğinden bu çalışmada özellikle boru akımları ile ilgili pratik uygulamalara örnek verilmiştir. Gerek teorik çalışma gerekse örnek uygulama sonuçları tartışılmıştır. Çalışmanın "Sonuç ve Tartışma" kısmında çalışmadan elde edilen çıkarımlar sunulmuş ve bu doğrultuda önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Konunun Tarihçesi

"İdeal Hız" kavramı ilk kez Toprak (2016a) tarafından tanımlanmıştır. Bu nedenle literatürde oldukça yeni sayılmaktadır. Doğal olarak kavram üzerinde basılı çalışma sayısı son derece sınırlıdır. Bununla birlikte "ideal hız" kavramından bağımsız olarak açık kanal ve boru akımlarında kesit içerisinde hız dağılımı konusu güncel literatürde çokça tartışılmış ve konuya ilişkin çok sayıda basılı çalışma mevcuttur. Tezin literatür kısmında bu çalışmalar daha fazla kritik edilmiştir. Henüz yeni bir kavram olan "ideal hız" kavramı ile ilgili ilk çalışma Toprak tarafından ulusal düzeyde periyodik olarak yapılan ve 19 – 21 Kasım 2015 tarihleri arasında Antalya'da gerçekleştirilen 4. Su Yapıları Sempozyumu'na sözlü olarak sunulmak üzere gönderilmiştir. Ancak, hakemlerin itirazları üzerine çalışma bilim kurulu tarafından ret edilmiştir. Hakem itirazları ve bu itirazlara cevaplar "ideal hız" kavramı üzerinde yapılan ilk bilimsel tartışma olmuştur. Daha sonra hakem itirazları da dikkate alınarak kavram yazar tarafından biraz daha olgunlaştırılmış ve Mısır'ın Şarm El Şeyh kentinde düzenlenen Uluslararası Su Teknolojisi Konferansı (International Water Technology Conference) adlı uluslararası bir toplantıya "Akımlar İçin Yeni Bir Kavram: İdeal Hız (Ideal Velocity as a New Concept for Flows)" başlığı ile gönderilmiştir. Bu toplantının hakem kurulu tarafından yapılan öneri ve itirazlar kavram üzerinde yapılan ikinci bilimsel tartışma niteliğindedir. Çalışma sözlü sunum olarak kabul edilmiş ve yazar tarafından sunumu sırasında katılımcılardan gelen sorular ve bu sorulara verilen cevaplar konu üzerindeki üçüncü bilimsel tartışma olmuştur. Çalışma 2016 yılında toplantının bildiri kitabında basılmış ve böylece konuya ilişkin ilk basılı metin ortaya çıkmıştır. Ancak bu çalışma hem açık kanal hem de boru akımlarını özet şeklinde içermektedir. İdeal hız kavramı, sadece açık kanal akımları için biraz daha detaylandırılmıştır. Açık kanal akımlarına özgü yapılan bu çalışma Çin'in Shanghai kentinde düzenlenen Uluslarası Su Kaynakları ve Çevre Konferansı'nda (International Conference on Water Resource and Environment) "Açık Kanal Akımlarında İdeal Hız (Ideal velocity in open channel)" başlığı ile sunulmuş ve bu konuda hakem kurulu tarafından yapılan eleştri ve öneriler kavram üzerine yapılan dördüncü tartışma niteliğindedir. Sözlü sunum sırasında katılımcılardan gelen soru ve itirazlar yazar tarafından bu sorulara verilen cevaplar konu üzerindeki beşinci bilimsel tartışma olmuştur. Çalışma yeni bir konsept içerdiği için

büyük ilgi görmüş ve makalenin Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering dergisinde "Ideal Velocity: A New Concept for Open Channel Flows" başlığı ile basılması uygun görülmüştür. Bu çalışma konuya ilişkin ikinci basılı çalışmadır ve ilk makale niteliğindedir. , Yazar kavram ile ilgili sunum yapması için birçok akademik çevre tarafından davet edilmiştir.

2.2. Önceki Çalışmaların Sınıflandırması

Önceki bölümlerde değinildiği gibi yağışların ve tatlı su kaynaklarının yeryüzündeki konumsal ve zamansal dağılımı homojen değildir. Dolayısıyla havzalar arası su transferi, içme/kullanma, sanayi ve sulama suyu temini, kullanılmış (kirlenmiş) suların uzaklaştırılması, hidrolik enerjinin üretilmesi, su ticareti ve daha birçok nedenle suyun bir yerden bir yere nakli (iletimi) hayati bir zorunluluktur.

Taşınım, kanal, boru, tünel, galeri ve drenler gibi çeşitli sutaşıma yapıları ile yapılmaktadır. Ancak bu tür su yapılarının tamamını hidrolik açıdan açık kanal akımları ve boru akımları olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. İdeal hız kavramının geliştirilmesindeki en önemli hedef açık kanal ve boru akımlarının daha kolay bir şekilde en iyilemesi ve akım kesitlerinin boyutlandırılmasıdır. İdeal hız kavramından önce anılan iki amaca (en iyileme ve boyutlandırma) yönelik araştırmacıların hangi yöntem ve yaklaşımları kullandığının bilinmesi "ideal hız" yaklaşımının daha iyi anlaşılması için gerekli görülmektedir. Bu nedenle aşağıda iki farklı alt başlık halinde açık kanal ve boru akımlarının en iyilenmesi ve akım kesitinin boyutlandırılması üzerine yapılmış çalışmalar sunulmuştur. Açık kanal ve boru akımlarının modellenmesine yönelik literatürde birbirinden farklı yaklaşımlar içeren çok sayıda çalışma mevcut olup bu çalışmada da gerek konunun kendisi gerek çeşitli modelleme teknikleri detaylı bir şekilde tartışıldıktan sonra üçüncü bir başlık altında geniş bir şekilde güncel literatür taraması yapılarak '"ideal hız"' kavramının kullanıldığı çalışmalar detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.2.1. Açık Kanal Akımlarının Modellenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Açık kanal akımları ile ilgili güncel literatürde sayısız değerli yayın ve çalışma mevcuttur. Bu çalışmada geniş bir literatür taraması yapılarak birebir konu ile ilgili olan yayın ve çalışmalar detaylandırılmıştır. Konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalara da ayrı bir paragrafta verilen kronolojik sıralamayla ismen değinilmiştir.

Toprak (2009), çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve su kaynaklarının faydalarının en üst düzeye çıkarılması için, etkili akış kesitinin optimizasyonunun özellikle akarsu taşkınlarının yanısıra sulama ve drenaj sistemleri için de önemli olduğunu belirtmektedir. Yazar, 20. yüzyılın sonuna kadar, modelcilerin iyi bilinen ampirik formülleri kullandıklarını belirtmektedir. Bu amaçla Chezy, Gauckler-Strickler ve Manning yaklaşımları gibi geleneksel denklemler halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, depolama kapasitesi ve işlem hızı yüksek bilgisayarlar günümüzde yapay zeka yöntemlerinin kullanılmasını (yani, bulanık mantık-FL, genetik algoritmalar-GA'lar ve yapay sinir ağları-ANN'ler) mümkün kılmaktadır. Derinlik ve debi arasındaki ilişki analitik olarak Ermolin (2000), tarafından belirlenmiştir. Analizlerinde ünifor akımlar için Manning bağıntısını esas almıştır. Manning ve Strickler formülünün ilginç bir uygulaması Dubos (1988) tarafından sunulmaktadır. Su altındaki yabancı otların açık kanalların hidrolik performansı üzerindeki etkisi Abdeen (2006) tarafından tartışılmıştır. Kritik akış koşulları altında açık kanal kesitinin optimal tasarımı Bhattacharjya (2006) tarafından sunulmaktadır. Optimizasyon için yazar Manning denklemini, kanaldaki kritik akım koşullarında kullanmıştır.

Babaeyan ve ark. (2000), parabolik tabanlı üçgen kanalların optimal tasarımı için Lagrange bakış açısını kullanmıştır. Das (2000a) ve Das (2007b), yazar tarafından gerçekleştirilen bir başka benzer iki çalışmadır.

Das (2007a), açık kanalların maliyetinin en uygun tasarım konseptinin, yamuk kanalların yerini alacak yeni bir geometrik şekilin, bir bileşik kanal kullanılarak minimize edilebileceğini göstermektedir. Lagrange çarpanı tekniği, çalışmada elde edilen kanal optimizasyon modellerini çözmek için kullanılmıştır.

Das (2007b), kanallarda taşma ve dolayısıyla seli önlemek üzere kanal en kesitini optimize etmiştir. Bir genetik algoritma tabanlı optimizasyon modeli Bhattacharjya ve Satish (2007) tarafından belirli toprak parametreleri için bir kanal eğiminin güvenlik faktörünü belirlemek için geliştirilmiştir. Jain ve diğ. (2004), Lotter'in gözlemlerine eşdeğer dağılımlı bir yaklaşıma dayanan doğrusal olmayan bir optimizasyon programı (NLOP) önermektedir. Monadjemi (1994), Lagrange yöntemini kullanarak herhangi bir hidrolik kanal kesitini en uygun şekilde belirlemek için başka

bir çalışma gerçekleştirmiştir. Chahar (2005), parabolik kanal kesitini en uygun şekilde tasarlamak için farklı durumlar için bir dizi denklem önermektedir. Swamee ve diğ. (2000), sulama kanalı bölümünün minimum maliyetini kapsamlı bir şekilde tasarlamıştır. Siam (2002), St. Venant denklemlerinin birleştirilmiş sistemini kullanarak bir kanal ağı üzerinden bir akışkanın kontrollü akışı için bir model sunmuştur (Toprak 2016a). Literatürde bu çalışmaların dışında sayısız çalışma ve uygulamalar mevcuttur.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005a), parametre tahmin yöntemini içeren Chiu tarafından geliştirilen "Entropy" yöntemi ile açık kanalda ölçülmüş hız değerlerinin uygunluğunu, İlkentapar ve Öner (2007), bir açık kanal içerisindeki dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak akımını deneysel olarak incelemiştir. Ardıçlıoğlu ve diğ.(2005b) pürüzlü açık kanal akımlarında debi hesabı için klasik Entropy yöntemini incelemiştir. Bu amaçla iki farklı pürüzlülükteki kanal tabanında 24 er farklı akım ele almıştır. Bu konuda güncel literatürde çok sayıda yayınlanmış eser olduğu gibi gerçekleşen bir başka benzer çalışmada, Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005c) açık kanal akımlarında hız ölçümleri için yaygın olarak kullanılan üç farklı aletin özelliklerini, ölçüm metotları ve sonuçlarını incelemiştir.

Erdoğ (2014), değişken akımların hidrolik özelliklerinin nasıl ve ne seviyede etkilediğini araştırmıştır. Bu sebeple laboratuvar ortamında deneyler yapmıştır. Deneyler sonucunda kararsızlığın etkili olmaya başladığı değerden yüksek kararsızlağa sahip akımların; kararsız akım olarak değerlendirilip formüllerinin de ona göre düzeltilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Öztürk (2006), açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız dagılımının bilinmesi için açık kanaldan geçen debinin belirlenmesi, kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin belirlenmesi gerektiği düşüncesi ile yola çıkarak laboratuar sartlarında cilalı ve iki farklı pürüzlülükteki dikdörtgen açık kanalda ve arazi çalısması olarak tabii açık kanal sartlarında 3 farklı enkesit üzerinde derinlik boyunca hız ölçümleri yapmış ve literatürde kullanılan hız dagılımları ile karsılastırmıstır.

Günaydın (2008), açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız dağılımının bilinmesinin kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin belirlenmesi açısından önemli olduğunu savunmuştur. Bu amaçla cilalı ve pürüzlü dikdörtgen kesitli açık kanal akımlarında enkesit üzerinde derinlik boyunca hız ölçümlerini yaparak

literatürde kullanılan hız dağılımları ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, Entropi hız dağılımının cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir.

Yağcı (2006), bir akım ortamındaki bitkilerin akımın hız ve türbülans karakteristikleri üzerine etkisini araştırmak amacı ile iki boyutlu deneyler gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda geçirimli yapılarına rağmen akım ortamındaki bitkilerin akımı kayda değer ölçüde etkilediğini ve neden oldukları türbülans ile önemli miktarda enerji kaybına neden olduklarını gözlemlemiştir.

Konuya ilişkin literatür taramasını ters kronolojik sırada olarak verilecek olursak: İlkentapar ve Öner (2017), Toprak (2016d), Swamee & Chahar (2015), Erdoğ (2014), Greiner (2009), Toprak (2009), Froehlich (2008), Günaydın (2008), Bhattacharjya & Satish (2007), Das (2007a), Das (2007b), Kentel ve Aral (2007), Abdeen (2006), Bhattacharjya (2006), Öztürk (2006), Yağcı (2006), Chahar (2005), Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005a), Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005b), Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005c), Toprak ve diğ.(2004), Toprak (2004), Depeweg ve Urquieta (2004), Jain ve diğ. (2004), Leugering & Schmidt (2002), Swamee ve diğ. (2002a), Swamee ve diğ. (2002b), Swamee ve diğ. (2001), Ermolin (2000), Babaeyan ve ark. (2000), Das (2000), Swamee ve diğ. (2000a), Swamee ve diğ. (2000b), Swamee ve diğ. (2000c), Hankin & Beven (1998), Federico (1998), Reddy (1996), Reddy (1995), Swamee (1995), Froehlich (1994), Garcianavarro ve diğ. (1994), Monadjemi (1994), Loganathan (1991), Dubos (1988), Flynn ve Marino (1987), Guo ve Hughes (1984) ve Mironenko ve diğ. (1984) şeklinde özetleyebiliriz.

2.2.2. Boru Akımlarının Modellenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bir üst başlıkta açık kanal akımları ile ilgili yapılan literatür tarama çalışmasına değinildiği gibi bu başlık altında da boru akımları ile ilgili güncel literatürde bulunan çalışma ve uygulamalara değinilecek ve yine aynı çalışma tarzı benimsenerek birebir konu ile ilgili çalışmalar detaylandırılıp yapılan literatür taraması ayrı bir paragraf olarak kronolojik sıralanacaktır.

Ardekani ve ark. (2018), katı akışkan etkileşimlerini (DNS) ve bir hacmi(VoF) açıklamak için batırma sınır yöntemini (IBM) kullanarak laminer ve türbülanslı boru akımlarında, nötr olarak yüzer, sonlu boyutlu küresel parçacıkların bir süspansiyon içinde ısı transferini incelemiş ve doğrudan sayısal simülasyonlar (DNS)

gerçekleştirerek parçacıkların içinde ve dışında sıcaklık denklemini çözmeye çalışmıştır. Baryant ve diğ. (2018), türbülanslı boru akımlarının giriş bölgesinde ısı transferi katsayısı ve Fanning sürtünme faktörünün dağılımlarındaki kısıtlamaları incelemiştir. Rituraj ve Vacca (2018), doğrusal olmayan akışkanlar için yeni bir akış modeli önermekte ve deneysel verilerden Euler sayısını Reynolds sayısı ve delik çapı oranı ile ilişkilendiren bir korelasyon geliştirilmiştir.

Kayıkçı ve Güney (2009), pompa durmasıyla oluşan kararsız akımların deneysel ve teorik olarak araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Basınçlar pompa çıkışında ölçülmüştür. Vana ve dirsek kayıpları değişik debiler için ölçülerek yerel kayıp katsayıları değerleri doğrudan elde edilmiş ve bu katsayılar için hıza bağlı olarak değişen ampirik bağıntılar türetilmiştir. Sonuç olarak, deneysel bulguların teorik sonuçlarla uyumlu olmasına dayanarak gözlenen farklılıkların ihmal edilebilir mertebede olduğunu ve kullanılan yöntem ve yaklaşımların uygun olduğunu ifade etmiştir.

Mondal ve Dhar (2017), üç boyutlu sonlu elemanların modelleme tekniği üzerine çalışma yapmıştır. Kanada'daki Offshore Newfoundland'da bir deniz yatağı koşuluna yönelik boru hattı akımının kabarma karşısında idealize şekillerin uygulanabilirliği ve bunların etkileri araştırılmıştır.

Pegoraro ve ark. (2012), ayrılmış tüp akışında ideal olmayan hız profillerini kullanarak elde edilen dört RTD modeli önermiştir. Bu modelleri Newtoniyen ve Newtoniyen olmayan (psödoplastik) sıvılar ile çalışan üç boru şeklindeki sistemin RTD'sini temsil etmek için kullanmıştır. Diğer RTD modellerini ise karşılaştırma için düşünmüş olup bu modellerin LFR analizi veya viskoz gıdaların sürekli ısıl işleminin değerlendirilmesi için önermiştir.

Maden (2013) KKTC üzerindeki su sıkıntısı çözmek için Türkiye'den bir boru hattı ile su transferi fikriyle ortaya çıkan suyu yılda 75 milyon metreküp transfer etmeyi amaçlayan“KKTC İçme Suyu Projesi” projesinin önemi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmaya göre dünyada ilk kez gerçekleştirilecek olan bu proje ile saniyede boru hattından 2,83 metreküp su akışı planlanmaktadır. Bu proje ile mevcut su miktarı ile ihtiyaç duyulan suyun miktarı arasındaki fark KKTC'de yapılacak ve bu nedenle yeraltı suyunun aşırı miktarda kullanılması azalacaktır. En önemlisi, dünyadaki en düşük evsel

su kalitesine sahip KKTC'nin temiz suya erişimi sağlanacaktır. Su transferi açısından önemli bir uluslararası deneyim olan bu projenin, su sıkıntısı sorunları yaşayan diğer ülkelere örnek olacağını belirtmiştir.

Thakur (2017), borulardaki ve kuyu deliklerindeki akışın etkili çaplarını hesaplamak için kömür dikişlerinden sıvı akışının üçüncü ve son aşamasının, borular ve sondajlardaki delikler olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kömür parçacıklarının yayılma akışından ve kömür matrislerindeki dalak akışından farklı olarak, boruların büyüklüğünü akışı kısıtlamayacak şekilde tasarlayabilmek için en uygun dört sıvı akışı durumunu ele almıştır.

Abdulkadir ve diğ. (2018), ileri enstrümantasyonu kullanarak dikey ve yatay borularda akış gelişimini ve faz dağılımını sorgulayabilmek adına, boru kesitinin bir fonksiyonu olarak hava-silikon yağ karışımında meydana gelen boşluk fraksiyonunu, yapı frekansı ve hızındaki değişimler ile ilişkilendirerek çalışma yapmıştır.

Dinardo ve diğ. (2018), borularda sıvı akışlarının karakterizasyonu için titreşimli sinyal işleme yöntemi ile bir borudan sıvı akış oranının değerlendirilmesine olanak veren daha basit ve hızlı bir yöntemin değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır.

Rahmati ve diğ. (2018), belirsiz hızlarla akan akışların boru akışkan iletiminin sapma kararsızlığını tespit etmek adına akış hızının boru akışkan iletiminin stabilitesi üzerindeki rasgelelik etkilerini çalışmıştır. Uygulamada özellikle kararlılık parametrelerinin sistem kararlılığı üzerindeki etkileri sorgulanmıştır.

Benjamin ve diğ. (2017), dikey boru ve halkalardaki gaz-sıvı akış haritaları için deneysel veri noktalarının kapsamlı bir incelemesini yayınlanmış, balon, sümüklü böcek, dairesel ve dairesel akış rejimlerini tanımlamak için kullanılan son teknoloji ölçüm tekniklerinin kritik bir analizi de dahil olmak üzere, boru geometrisinin kritik faktörlerinden (çaplar, düşeyden sapma), akışkanlık özelliklerinden ve akış koşullarından bir akış rejimine geçişi etkileyen koşulları incelemiştir.

Öner ve diğ. (2010), tabana yakın dairesel bir silindir etrafındaki hızları üç farklı Reynolds sayısı (ReD= 840, 4150 ve 9500) ve beş farklı boşluk oranı (G/D= 0.2, 0.3, 0.6, 1.0 ve 2.0) için PIV (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm) tekniği ile çalışan ölçme sistemini kullanarak belirlemiş ve sonuçları değerlendirmiştir.

Bayraktar (2002), içinde düşey bir engel bulunan boruda laminer, sürekli ve sıkıştırılamaz akımı ve ısı transferi problemlerini silindirik koordinatlarda iki boyutlu ve nümerik olarak incelemiştir.

Kırkgöz ve diğ. (2014), kanal tabanına yerleştirilmiş yatay bir silindir etrafındaki iki boyutlu ve türbülanslı akımın karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Silindir etrafındaki akımın hız alanı, parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniğini kullanarak ölçmüştür. Akımı idare eden temel denklemler, Sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent paket programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. RSM türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal türbülansın kinetik enerjisi, akım çizgileri ve hız vektörleri deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış; türbülans kayma gerilmelerini doğrudan hesap eden RSM türbülans modelinin belli ölçüde başarılı olduğu görülmüştür.

Öner (2016), geçirimsiz bir taban yakınındaki başlıklı pürüzsüz bir boru hattı etrafındaki 2 boyutlu ve türbülanslı akımı, ReD=9500 ve G=10 mm için incelemiştir. Akım hızları PIV tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Olayı idare eden denklemler sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı olarak çalışan ANSYS® 11 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Tao (2009) pürüzlülük kaynaklı istikrarsızlık (kararsızlık) olayı için teorik bir açıklama önermiştir. Çeşitli deneysel ve teorik çalışmalar yapmış ve sonuç olarak, kararsızlığa neden olan pürüzlülük elemanının en-boy oranını veya şekil faktörünün eşiğini, Re-2 olarak ölçeklendirmiştir. Mevcut modelden esinlenerek, bir ölçeklendirme formu önermiş ve borulardaki ölçeklenmiş sürtünme faktörü ölçümlerini evrensel bir eğriye dönüştürmüştür.

Dağlı ve Kaleli (1999), su ile katı madde taşınımını gerçekleştiren sistemlerde karşımıza çıkan hidrolik problemlerden biri olan yük kaybının (enerji kaybı) belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır.

Farazi Majd (2015), özellikle açık deniz platformlarında, açık deniz rüzgar türbinlerinde, kıyı korumada kullanılan dalga perdesi uygulamalarında, köprü ayaklarında ve bazı çevresel hidrolik problemlerinde karşımıza çıkan “akıma maruz kalan eğik silindir etrafındaki akım” problemini ele almıştır. Konu üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Tüm bu değerli çalışmaların dışında boru akımları ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada konu ile birebir ilgili olan çalışmalar üzerinde durularak onlarca uygulama detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bunun dışında konu ile ilgili birebir olmasa da güncel literatürde bulunan onlarca çalışmada incelenmiş olup yapılan çalışmalar kronolojik sıraya göre verilmiştir.

Bunlardan önemli bazıları; Ardekani ve ark. (2018), Baryant ve diğ. (2018), Rituraj ve Vacca (2018), Abdülkadir ve diğ. (2018), Dinardo ve diğ. (2018), Rahmati ve diğ. (2018), Mondal ve Dhar (2017), Thakur (2017), Benjamin ve diğ. (2017), Öner (2016), Farazi Majd (2015), Kırkgöz ve diğ. (2014), Meniconi ve diğ. (2014), Maden (2013), Pegoraro ve ark. (2012), Öner ve diğ. (2010), Wertel ve diğ. (2010), Kayıkçı ve Güney (2009), Tao (2009), Toprak ve Cigizoglu (2008), Lohani ve diğ. (2007), Toprak ve Savci (2007), Aksoy ve Altan-Sakarya (2006), Akter ve Simonovic (2005), Bayraktar (2002), Cameron ve Peloso (2001), Dağlı ve Kaleli (1999), Garcianavarro ve diğ. (1994) şeklinde kronolojik olarak sıralanabilir.

Açık kanal ve boru akımları ile ilgili verilen bu değerli çalışmalar, Toprak (2016) tarafından da zikredilmiş ve mevcut denklemler için modifikasyonlar sunulmuş ve / veya yapay ve doğal kanalların kesitlerinin optimizasyonu için çeşitli modelleme teknikleri önerilmiştir. Çalışmaların değeri, araştırmacıların, bir kanalda minimum enerji veya inşaat maliyeti ile maksimum akış elde etme olasılığını araştırmaya çalışması gerçeğinde yatar. Bununla birlikte, çalışmaların çoğu analizi ve sonuçları basit değildir; daha ziyade, bu problemi ticari yazılım gerektiren çeşitli karmaşık diferansiyel denklemlerle çözerler diyerek açık kanal ve boru akımlarında yeni yaklaşımlar ya da yeni bakış açıları hakkında genel bir tartışma eksikliğinin söz konusu olduğuna dikkat çekmektedir. Bu çalışmada ise henüz yeni bir konsept olan "ideal hız" boru akımları için incelenmiş olup hız hesaplama konusunda yeni bir bakış açısının oluşturulması hedeflenmiştir. Hemen aşağıdaki başlık altında "ideal hız" ile ilgili güncel literatür çalışması verilmiş olup boru akımlarında kullanılan denklemlerin "ideal hız"a göre revize edilmesi gerekliliği üzerine yapılan çalışmalar sırası ile verilmiştir.

2.2.3. İdeal Hız Kavramı Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatür ve güncel çalışmalardan da anlaşılacağı gibi İdeal hız kavramı, henüz çok yeni bir konsept olması nedeniyle güncel literatürde bulunan üç çalışma Toprak

(2016a, 2016b ve 2016c) dışında çalışma mevcut olmamasına rağmen çalışmada hidrolik ve akışkanlar mekaniğinde kullanılış amacı ile olmasa bile bir çok alanda ideal ve "ideal hız" kavramı kullanıldığı aşağıda detaylı şekilde sunulan literatür taramasından görülebilir.

İdeal hız kavramı ile ilgili ilk çalışma Toprak (2015) tarafından ulusal düzeyde periyodik olarak yapılan ve 19 – 21 Kasım 2015 tarihleri arasında Antalya'da gerçekleştirilen 4. Su Yapıları Sempozyumu'na sözlü olarak sunulmak üzere gönderilmiştir. Ancak, hakemlerin ciddi itirazları üzerine çalışma bilim kurulu tarafından reddedilmiştir. Böylece kavram üzerinde ilk bilimsel tartışma yapılmıştır.

Konsept üzerinden yapılan ikinci çalışma ise Mısırda 21 – 23 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilen 19. Uluslar Arası Su Teknolojisi Conferansında (WTC 2016) "İdeal Hız: Akımlar için yeni bir konsept" adlı bir makale ile Toprak (2016a) tarafından; "Bir boru veya açık kanal akımında kesit içerisinde parabolik şekilde dağılan akışkan hızının bir daire denklemi ile dağıldığı kabulü yapılarak "ideal hız" kavramı önerilmektedir" söylenerek uluslar arası bir platformda 'İdeal Hızın' ilk tanımı yapılmıştır. Bu çalışma ile "ideal hız" kavramı/terimi 19. Uluslar Arası Su Teknolojisi Conferansında çok fazla ilgi ve beğeni görmüş ve çarpıcı soruları beraberinde getirmiştir. Bu sorular ve cevapları sonraki ana başlık altında detaylandırılmıştır.

Kavram ile ilgili üçüncü sayılabilecek çalışma ise yine Toprak (2016b) tarafından Çin'de 23-26 Temmuz 2016 tarihlerinde gerçekleşen Uluslararası Su Kaynakları ve Çevre Konferansında "Açık Kanal Akımlarında İdeal Hız" başlıklı makalede "ideal hız"ın açık kanal akımlarında hız hesaplama formüllerinde sağladığı kolaylık ve "ideal hız"ın uygulanabilirliğine değinilmiştir (Toprak, 2016b). Aynı çalışmada, süreklilik ve enerji denklemleri ile Reynolds ve Froude sayılarını veren ifadeler de dahil olmak üzere toplam yedi denklem revize edilmiştir. Konferansta, çalışma yeni bir konsept içerdiği için büyük ilgi görmüş ve makale olarak Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering dergisinde "Ideal Velocity: A New Concept for Open Channel Flows" başlığı ile basılmasına karar verilmiştir. Bu çalışma konuya ilişkin ikinci basılı çalışma ve ilk makale niteliğindedir. 'İdeal hız' kavramı farklı anlamlar ve tanımlamalarla güncel literatürde mevcuttur. Literatür araştırması sırasında tespit edilen çalışmalar kronolojik sıraya göre aşağıda verilmiştir.

Xue ve diğ. (2018), García-Hermoso ve diğ. (2018), Shekaari ve Jafari (2018), Nakayama (2018a), Nakayama (2018b), Nakayama (2018c), Mirtorabi ve diğ. (2018), Wang ve diğ. (2018), Mahdi ve diğ. (2018), Qui ve Yan (2018), Gori ve Guardone (2018), Hilali ve diğ. (2018), Roux ve Tiruveedula (2017), Sun ve diğ. (2017a), Sun ve diğ. (2017b), Deng ve diğ. (2017), Zheng ve diğ. (2017), Nath ve diğ.(2017), Xie ve Zhu (2017), Li ve diğ. (2017), Macchelli ve diğ. (2017), Narvaez ve diğ. (2017), Kotomin ve diğ. (2017) ,Turecky ve diğ.(2016,2017), Chang ve diğ. (2017a, 2017b), Yan ve diğ. (2016), Mao ve Lui (2016a, 2016b), Yang ve diğ. (2016), Zhu ve diğ. (2016a, 2016b), Shi ve diğ. (2015a, 2015b), Sarıyıldız ve Ohnishi (2015), Saber ve diğ.(2014) ve Wu ve Tao (2005) şeklinde özeleyebiliriz.

Ancak yukarıda da belirtildiği gibi bu çalışmalar "ideal hız" kavramını farklı bilim alanlarında farklı tanımlarla kullanmıştır. Mevzu bahis tez konusundan tamamıyla farklıdır.

Çok iyi bilindiği üzere tatlı su kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Literatürden de anlaşılacağı üzere konu ile ilgili sayısız uygulama ve çalışma mevcuttur. Konuya ilişkin oldukça geniş bir literatür olmasına rağmen yukarıda anılan çalışmaların hemen hiçbiri mevcut uygulamaları değiştirecek ve su taşınımına yeni bir bakış açısı getirecek öneriler içermemektedir. Bu yüzden hala suyun efektif bir şekilde kullanılmasının sağlanması ve su taşıma sistemlerinde birim kesitten, birim zamanda daha fazla suyun minimum enerji ile taşınabilmesi için yeni yaklaşımları içeren çalışmalara ihtiyaç vardır. Bununla birlikte bir diğer önemli husus literatürden de anlaşılacağı üzere mekanik, fizik, kimya, sağlık gibi hemen hemen tüm alanlarda çeşitli kabuller yapılmakta ve ideal terimi sıkça kullanılmaktadır. Bunun en bilinen örneği "ideal gaz" ve "ideal akışkan" kavramlarıdır. Gaz ve sıvılara ilişkin bir çok problem bu iki kavram ile çözülebiliyor ise bilimsel çalışma ve uygulamalarda "ideal hız" kavramının kullanılması ve bu kavramın genişletilmemesi için bir neden düşünülmemektedir.

Bu çalışmada yukarıda anılan çalışmaların tümünden farklı olarak boru akımları hesaplarında kullanılan denklemler "ideal hız" kavramına göre revize edilerek yeniden yazılmıştır. "İdeal hız" kavramı ışığında boru akımlarında hidrolik hesaplarda kullanılan denklem ve formüller modifiye edilmiştir. Böylece tüm hidrolik hesaplamalarda büyük

sadelik ve kolaylık getirilmiştir. Bu çalışmanın özellikle boru ve yapay kanal üretim sektörüne katma değer sağlayacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Yöntem Seçimi

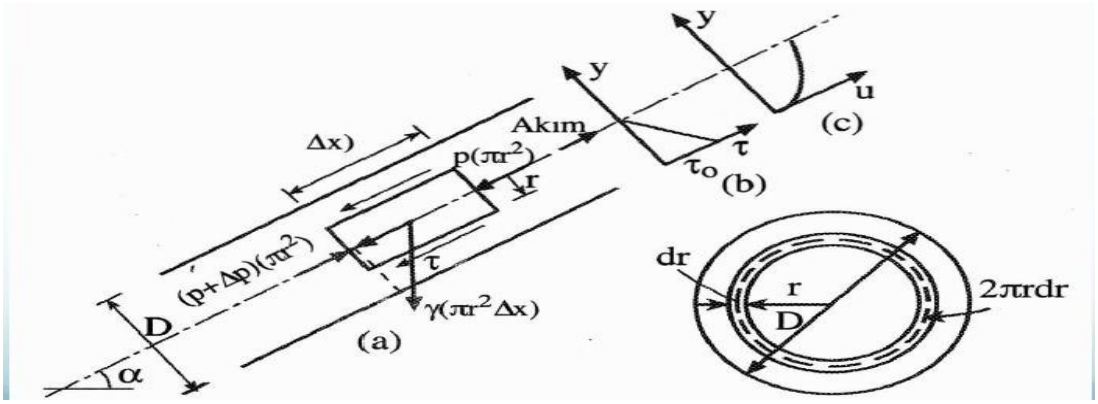
Atmosfer ile akışkanın hiçbir parçağının teması olmadan, basınç altında enkesitin tamamen dolu olarak aktığı akımlara "boru akımları (basınçlı akımlar)" denir. İdeal hız kavramının anlaşılması için borularda akımın nasıl meydana geldiğinin; başka bir ifade ile akışkanların kinematiği ve dinamiğinin iyi bilinmesi gerekir. Basınçlı akımların neler olduğu önceki başlıklarda verilmiştir. Akışkanların kinematiği ve dinamiği ise bu tezin konusu değildir. Boru akımı mekaniğine geçmeden önce hidrolik mühendisliğinde amacın, basınçlı boruların uygun çap değerlerinin, akımın debi, hız, basınç ve enerji kayıp özellikleri kullanılarak hesaplanması olduğunu hatırlamak da fayda vardır. Bunun yanı sıra sıkça kullanılan denklemlerin "ideal hız" kavramı ile elde edilmesinden önce denklemlerin hangi analizler sonucunda üretildiğini bilmekte yarar vardır. Bu amaçla önce klasik yaklaşımlarla bu denklemlerin nasıl elde edildiği aşağıda kısaca verilmiştir.

Hareket Denklemi:

Boru akımlarında hareket denkleminin matematik ifadesinin elde edilmesi için aşağıdaki analiz yapılmaktadır. Akışkanın D çaplı boruda zamanla değişmeyen (permanant) akımla aktığını kabul edelim (Şekil 3.1). Boru içinde aynı merkezli, r yarıçapında, Δx uzunluğunda silindirik bir akışkan parçası için hareket denklemini yazacağız. Bunun için, bu akışkan parçasına eksen doğrultusunda etki eden kuvvetlere bakmamız gerekecektir.

Silindirik parçanın taban yüzeyine etkiyerek bu parçanın yukarı doğru hareketine sebep olan basınç kuvveti:

$$F_1 = (p + \Delta p)\pi r^2 \tag{3.1}$$



Şekil 3.1. Akışkan parçasını etkileyen kuvvetler (Sümer ve diğ.)

b) Silindirik parçanın diğer yüzeyine etkiyen basınç kuvveti:

$$F_2 = p\pi r^2 \tag{3.2}$$

Parçanın kendi ağırlığının akım doğrultusundaki bileşeni:

$$G_x = \gamma\pi r^2 \Delta x \sin\alpha \tag{3.3}$$

Parçanın hareketini engellemeyen çalışan ve parçaya yanal yüzeyi boyunca etkiyen sürünme(kayma) gerilmelerinin bileşkesi olan sürtünme kuvveti:

$$\text{Kesme kuvveti} = \tau 2\pi r \Delta x \tag{3.4}$$

Buna göre hareket denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$(p+\Delta p)\pi r^2 - p\pi r^2 - \gamma\pi r^2 \Delta x \sin\alpha - \tau 2\pi \Delta x = \text{KütlexİvmeKütlexİvme} \tag{3.5}$$

Nitekim boru çapının akım boyunca değişmediği gerçeği unutulmamalıdır. O halde süreklilik denklemi gereğince hız da akım boyunca değişmez ve permenant akım vardır; buna göre, akışkan kütlenin ivmesi sıfır olur. Bunun neticesinde denklemin sağ tarafı sıfıra eşit olur ve kayma gerilmesi denklemi aşağıda şekli alır.

$$\tau = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma \sin\alpha\right) r \tag{3.6}$$

Çap cinsinden $r = D/2$ yazılırsa boru cidarındaki kayma gerilmesini yani (τ_0) elde etmiş oluruz.

$$\tau_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma \sin\alpha\right)\frac{D}{2} \tag{3.7}$$

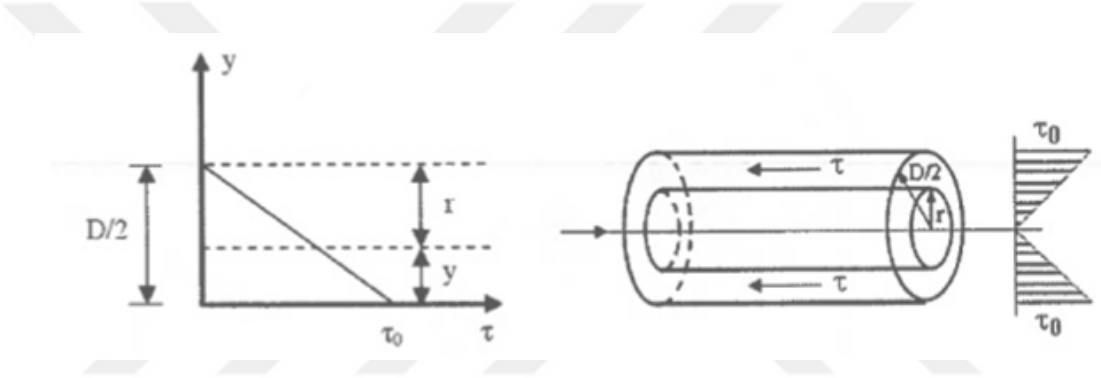
(3.6) ve (3.7) denklemlerinden, akış doğrultusuna dik olarak kayma gerilmesinin değişimini veren denklem aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tau = \tau_0 \frac{r}{D/2} \tag{3.8}$$

veya y cidardan boru eksenine doğru ölçülen uzaklık ve $r = \frac{D}{2} - 2$ yerlerine yazılırsa:

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{y}{D/2}\right) \tag{3.9}$$

bulunur ve buna göre τ parametresinin cidardan eksene doğrusal olarak azaltmakta olduğu görülür.



Şekil 3.2. Kayma gerilmesinin değişimi (Berkün, 2015)

Laminer Akım (Hagen Poiseuille Denklemi):

Laminer akım, akışkan parçacıklarının birbiri üzerinde kayarak, birbirine paralel hareket ettiği akımlardır. Akışkan zerreleri akım esnasında birbiri içerisine karışmaz vebu akıma düzenli akım da denir. Akımın laminer olması halinde kesme kuvveti (kayma gerilmesi) Newtonu'un viskozite kanunu ile aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{3.10}$$

Burada;

μ : akışkanın dinamik viskozitesi

u : akım hızı

$\frac{du}{dy}$: hız gradyanı

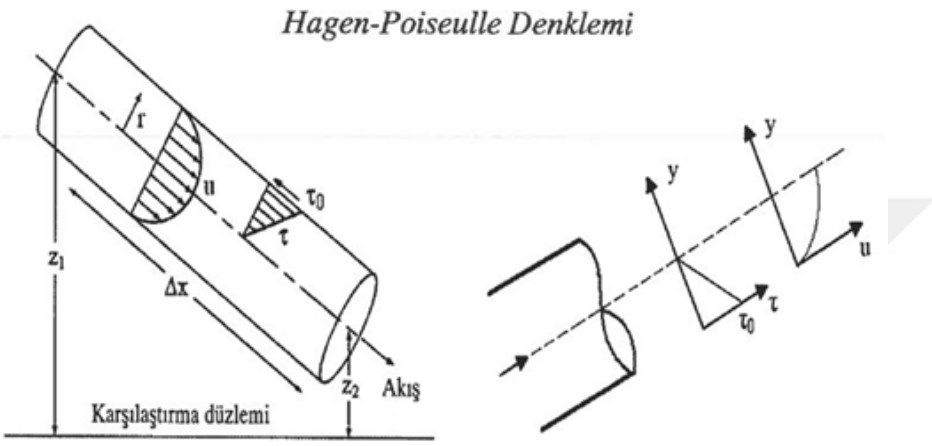
(3.9) ve (3.10) denklemlerini birbirine eşitleyecek olursak:

$$\tau_0\left(1-\frac{y}{D/2}\right)=\mu\frac{du}{dy} \tag{3.11}$$

$$du=\frac{\tau_0}{\mu}\left(1-\frac{y}{D/2}\right)dy \tag{3.12}$$

y'ye göre integral alındığı takdirde hız bulunur:

$$du=\frac{\tau_0}{\mu}\int\left(1-\frac{y}{D/2}\right)dy \tag{3.13}$$



Şekil 3.3. Kayma gerilmesi ve hız değişimleri (Berkün, 2015)

$$u=\frac{\tau_0}{\mu}\left(y-\frac{y^2}{D}\right)+\ sabit \tag{3.14}$$

şeklinde elde edilir. Sınır koşulu kullanılarak boru cidarında yani $y = 0$ için $u = 0$ alınarak sabit bulunur ve kayma gerilmesi hızı (kısaca kayma hızı, u_*) aşağıdaki gibi tanımlanıp (3.14) denkleminde yerine konursa;

$$u_*=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \tag{3.15}$$

olacak şekilde akışkanın kayma hızı ifade edilirse;

$$u=\frac{u_*^2}{\nu}\left(y-\frac{y^2}{D}\right) \tag{3.16}$$

elde edilir. Aynı denklem *r* cinsinden revize edilecek olursa;

$$u=\frac{u_*^2}{\nu D}\left(\frac{D^2}{4}-r^2\right) \tag{3.17}$$

bulunur. **Bu bir parabol denklemidir**. Bu denklem laminer akımda kesit içerisinde hız dağılımının parabolik bir eğri olduğunu gösterir. Akımın ortalama hızı;

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{\int_A u\, dA}{A} \tag{3.18}$$

Burada, Q debi, A ise kesit alanıdır. O halde dairesel kesitli bir boru için ortalama hız denklemi;

$$V = \frac{\int_{r=0}^{D/2} u(2\pi r\, dr)}{\frac{\pi D^2}{4}} \tag{3.19}$$

şeklinde bulunur. (3.19) denkleminde integral işlemi yapılırsa,

$$V = \frac{D\, u_*^2}{8v} \tag{3.20}$$

(3.15) denkleminin karesi alınıp denklemdeki τ_0 yerine (3.7) denklemini yazacak olursak;

$$u_*^2 = \frac{1}{2\rho}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma sin\alpha\, \gamma\right)\frac{D}{2} \tag{3.21}$$

yazılabilir ve bu denklemler, (3.20) numaralı ortalama hız denkleminde yerine yazılırsa laminer akım için ortalama akım hızı denklemi elde edilmiş olur.

$$V = \frac{D^2}{32\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma \sin\alpha\right) \tag{3.22}$$

bu bağıntı, boru boyunca birim boy için basınç düşmesi artıkça, hızın artacağını gösterir. Süreklilik denkleminden debinin değeri;

$$Q = AV = \frac{\pi D^2}{4} V \tag{3.23}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{128\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma sin\alpha\right) \tag{3.24}$$

şeklinde bulunur. Boru yatayda bulunuyorsa bağıntı aşağıdaki şekilde değişir;

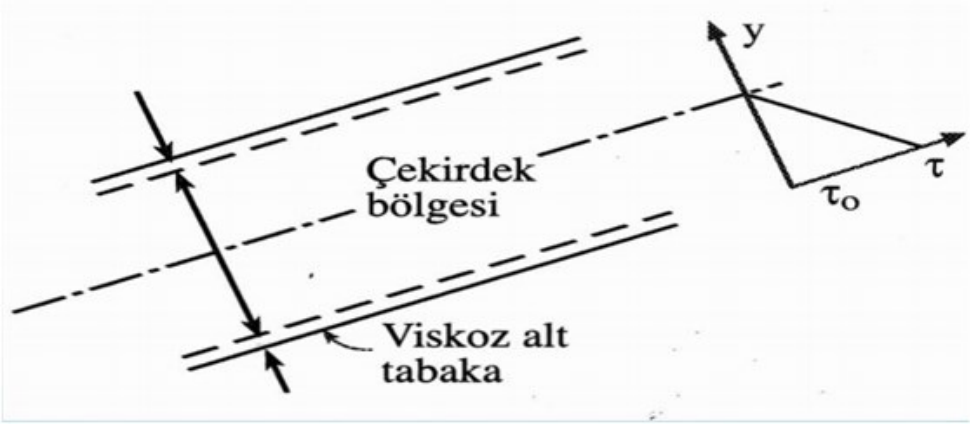
$$Q = \frac{\pi\, D^2}{128\mu}\frac{\Delta p}{\Delta x} \tag{3.25}$$

ki buna Hagen-Poiseulle denklemi denir.

Türbülanslı Akım:

Bir borudaki akım düşük akış hızlarında laminer, büyük akım hızlarında türbülanslıdır. Türbülanslı akımda boru cidarının yakınındaki bölgede akım hızı çok küçüktür ve tam boru cidarı üzerinde hız sıfırdır. Bu sebeple ince tabaka halinde tüm

cidarı sıvayan bu bölgede akım laminer karakterdedir ve bu bölgeye viskoz alt tabaka denir. Bunun dışındaki orta bölgeye çekirdek bölgesi denir.



Şekil 3.4. Türbülanslı akımda çekirdek ve viskoz alt tabaka bölgeleri (Sümer ve diğ.)

Viskoz Alt Tabaka Bölgesi:

Viskoz alt tabaka kalınlığı çok ince olduğundan, bu tabaka içerisinde τ kayma gerilmesinin, tam cidar üzerindeki değere, yani τ_0 a eşit alınabileceği kabul edilir. $\tau = \tau_0$ Diğer taraftan, bu tabaka içerisindeki akım laminer karakterde bir akım olduğundan dolayı;

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{3.26}$$

olarak yazılabilir. Bu denklemin integralini alarak (3.15) denklemi ve $v = \mu/\rho$ olduğunu ve $y = 0$ için $u = 0$ olacağını göz önünde tutarak, bu ince tabaka içerisindeki hızın y ile değişimi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$u = \frac{u_*^2}{v} y \tag{3.27}$$

Denklemden de görüleceği üzere, viskoz alt tabakada hız, cidardan olan uzaklıkla doğrusal olarak değişmektedir. Ayrıca yapılan laboratuar çalışmaları da bu sonucu doğrulamaktadır. Ayrıca deneyler sonucu bu tabaka kalınlığı için aşağıdaki denklem tanımlanmıştır.

$$\delta = 11{,}6 \frac{v}{u_*} \tag{3.28}$$

Ayrıca yapılan sayısal deneyler sonucu boru çapının yanında viskoz alt tabaka kalınlığının son derece küçük bir değer olduğu tepit edilmiştir.

Çekirdek Bölgesi:

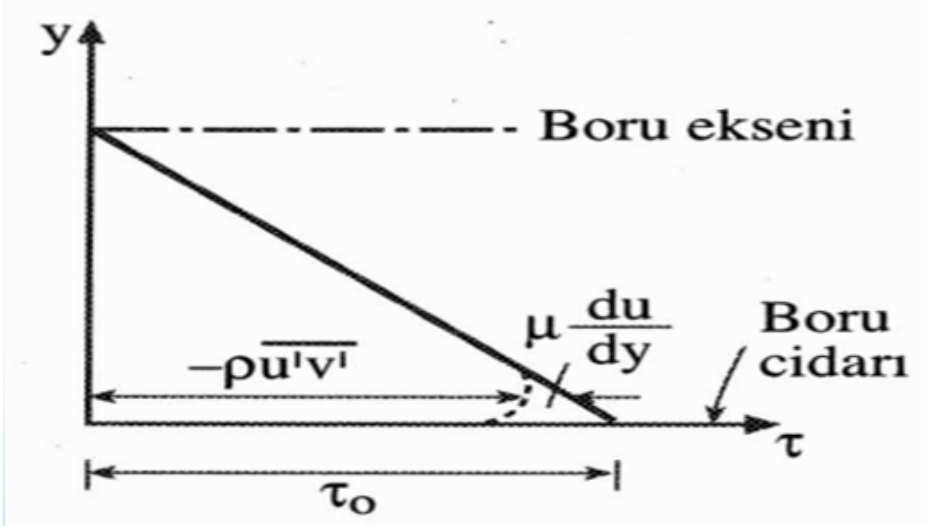
Çekirdek bölgesinde akım viskoz alt tabaka aksine türbülanslıdır. Türbülanslı bir akımda hızın aşağıdaki denklem ile belirtildiğini biliyoruz

$$\tau = \pi \frac{du}{dy} + (-\rho \overline{u'v'}) \qquad (3.29)$$

A B

Burada; *u'* ve *v'* sıra ile akım ve radyal doğrultudaki çalkantı bileşenleridir. Üst çizgi ise, *u'v'* çarpımının ortalamasını ifade etmektedir. A terimi, akışkanın viskozitesi dolayısı ile B terimi de akımın türbülanslı olması dolayısı ile doğan kayma (sürtünme) gerilmesini ifade etmektedir.

Nitekim boru içerisindeki akımda her bir terimin, toplam kayma gerilmesi (τ) etkisini araştırmak için yapılan deneysel çalışmalarda Şekil 3.5. de gösterildiği gibi çekirdek bölgesinde



Şekil 3.5. Boru içerisinde kayma gerilmesi değişimi (Sümer ve diğ.)

$$\mu \frac{dx}{dy} \ll -\rho \overline{u'v'} \qquad (3.30)$$

olduğu ve (3.30) ve (3.31) denklemlerinden bölge içerisinde

$$\tau \cong -\rho \overline{u'v'} \qquad (3.31)$$

şeklinde yazılabilir. Diğer taraftan şekile bakıldığında cidara yakın kısımlarda, $-\rho\, u'v'$ değerlerinin yaklaşık olarak sabit kabul edilebileceği bir bölgenin varlığı görülecektir; dolayısı ile bu bölge içerisinde,

$$\tau \cong -\rho\, u'v' \cong sabit \tag{3.32}$$

yani bulunan bu sabit değeri τ_0 a eşit alabiliriz. Sonuç olarak bu bölgede,

$\tau = \tau_0$ şeklinde yazılabilir.

Laminer akım halinde kayma geilmesinin, hız gradyanı cinsinden $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ şeklinde yazıldığını biliyoruz. Akımın türbülanslı olması halinde ise buna benzeterek

$$\tau = \mu_T \frac{du}{dy} \tag{3.33}$$

yazılabildiğini de biliyoruz. Bu denklemde μ_T türbülans viskozitesini temsil etmektedir.

Türbülansın özellikleri, boru cidarından içerilere doğru gittikçe değişmelidir; cidarı sıvıyan ince tabaka içerisinde akımın türbülanstan büyük ölçüde arınarak laminer akıma benzediğini ve türbülansın özellikleri cidardan içerilere doğru değiştiğine göre, türbülans viskozitesi de cidardan içerilere doğru gittikçe değişmelidir; yani μ_T, y nin bir fonksiyonu olmalıdır.

$$\mu_T = \rho\, \ell^2 \left|\frac{du}{dy}\right| \tag{3.34}$$

Burada;

ℓ : karışım boyu (y ye bağlıdır)

ℓ nin ve *du/dy* nin *y* ye bağlı olması bize μ_T nin de *y* ye bağlı olacağını göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ve kabuller sonucunda $\tau = \tau_0$ olan bölgede $\ell = 0{,}4y$ olarak alınabileceği ifade edilmektedir. O halde μ_T:

$$\mu_T = 0{,}16\, \rho\, y^2 \left|\frac{du}{dy}\right| \tag{3.35}$$

şeklinde yazılır. Bunun dışında (3.33) denklemin de τ yerine τ_0 ve μ_T yerine (3.35) denklemindeki ifade yazılırsa ve $u_*^2 = \frac{\tau_0}{\rho}$ denklemine göre revize edilirse;

$$0{,}4\, y \frac{du}{dy} - u_* = 0 \tag{3.36}$$

denklemi elde edilir. Bu denklemin integrasyonu sonucu,

$$u = 2{,}5u_* \ln y + sabit \tag{3.37}$$

denklemi elde edilir. Bu denklemde sabiti elde etmek için bir sınır koşuluna ihtiyacımız vardır. Çekirdek bölgesinin alt sınırı, viskoz alt tabakanın üst sınırı ile çakışmaktadır. Bu sınır üzerinde hız, (3.28) den;

$$u = \frac{u_*^2}{v}\,\delta = \frac{u_*^2}{v}\left(11{,}6\,\frac{v}{u_*}\right) = 11{,}6\,u_* \tag{3.38}$$

olarak bulunur. O halde

$y = 11{,}6\,\frac{v}{u_*}$ 'a göre $u = 11{,}6\,u_*$ sınır koşulu kullanılarak

$$sabit = -2{,}5\,u_* \ln 11{,}6\,\frac{v}{u_*} + 11{,}6\,u_* \tag{3.39}$$

bulunur. (3.38) ve (3.39) denklemlerinden hız dağılımının y ile değişimi aşağıdaki şekilde elde edilir.

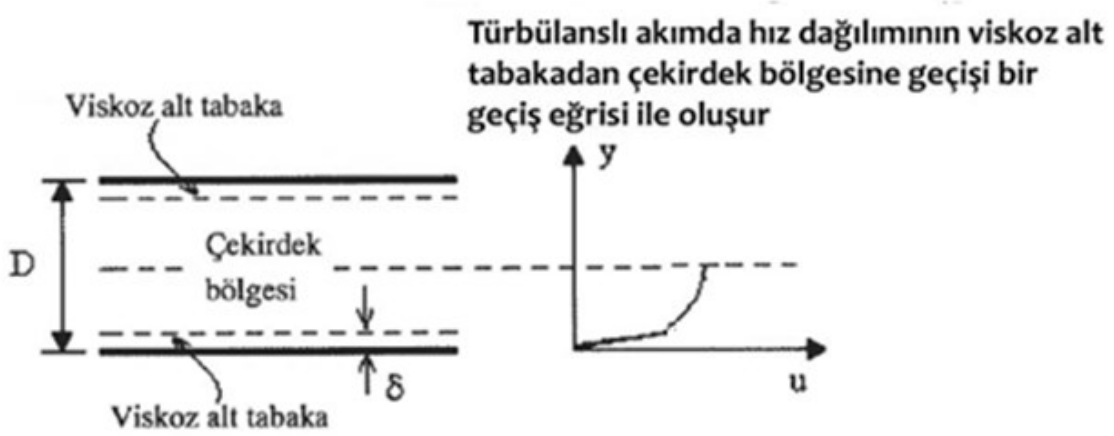
$$u = u_*\left(2{,}5\,\ln\frac{yu_*}{v} + 5{,}5\right) \tag{3.40}$$

Yapılan sayısal deneyler bu hız dağılımının tüm kesit içerisinde geçerli kabul edilebileceğini göstermektedir.

Son olarak çekirdek bölgesinde ortalama akım hızı aşağıda verilen denklem ile ifade edilir;

$$V = \left(2{,}5\,\ln\frac{u_* D}{2v} + 1{,}75\right)u_* \tag{3.41}$$

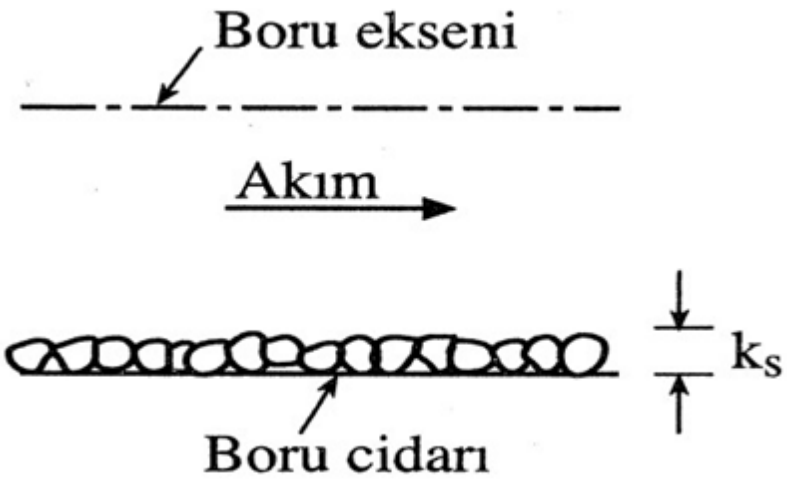
Böylece, boru içerisinde türbülanslı akım hali için hızın kesit içerisinde nasıl değiştiği yukarıda ayrıntılı şekilde verilen denklemler ile belirlenmiştir. Sonuç olarak bir dağılımdan diğerine yumuşak bir geçiş eğrisi ile geçildiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Türbülanslı akımda hız dağılımının viskoz alt tabakadan çekirdek bölgesine geçiş eğrisi (Berkün, 2015)

Cidar Pürüzlülüğü:

Önceki başlıklarda boru cidarını pürüzsüz kabul ettik ve çıkarılan denklemler, cidarı (iç yüzeyi) pürüzsüz borular için geçerlidir. Hidrolikte pürüzsüz olan cidara hidrolik cilalı cidar denir. Ticari amaçla üretilen boruların çoğunda cidar pürüzlülüğü vardır. Cidardaki üniform pürüzlülüğün yüksekliği *ks* olsun (Şekil 3.7) (k_s değeri, çelik borularda 0.05 mm, font borularda 0.3-3 mm civarında, çimento sıvalı boruda 0.3-2 mm ve ahşap boruda 0.2-0.9 mm arasında değişir).



Şekil 3.7. Cidar pürüzlülüğü (Berkün, 2015)

Cidarın, viskoz alt tabaka adı verilen ince bir tabaka ile sıvalı olduğunu ve bu tabakanın kalınlığının ($\delta = 11.6\frac{v}{u_*}$) olduğu bilinmektedir. Viskoz alt tabaka kalınlığı δ ile pürüzlülük yüksekliği k_s arasında üç ayrı ilişkiden bir tanesi bulunmalıdır:

1. Hidrolik cilalı cidar: Cidardaki üniform pürüzlülüğün yüksekliği k_s, pürüzlülüklerin viskoz alt tabaka tarafından tamamen sıvandığını gösteren

$$k_s < 11.6\frac{v}{u_*} \tag{3.42}$$

bağıntı ile tanımlanır. O halde çekirdek bölgesindeki akımı cidar pürüzlülükleri ile bir teması olmamaktadır ve çekirdek bölgesindeki akım, cidarın pürüzlülüğünü hissetmemektedir. Yani akım, hidrolik cilalı bir boru içerisinde meydana gelmektedir.

2. Pürüzlü cidar: Pürüzlülük yüksekliği viskoz alt tabakanın kalınlığından büyük ise, viskoz alt tabakanın oluşması mümkün olmaz. Bu durumda çekirdek bölgesindeki akım tamamen pürüzlü bir cidar içerisinde oluşur ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$k_s > 70\frac{v}{u_*} \tag{3.43}$$

3. Geçişli hali cidarı: Bu durumda boru cidarı ne tam pürüzlü ne de tam cilalı olarak davranır ve aşağıdaki bağıntı ile gösterilir.

$$11.6\frac{v}{u_*} < k_s < 70\frac{v}{u_*} \tag{3.44}$$

Cidar pürüzlülüğü ile ilgili verilen bu üç durumu özetleyecek olursak k_s yüksekliğindeki elemanlarla pürüzlendirilmiş bir cidar aşağıda çizelge halinde verilen üç sınıftan bir tanesine girer.

Çizelge 3.1. Pürüzlülük yüksekliği ile boru cidar çeşitleri (Berkün, 2015)

$k_s < 11{,}6\ \frac{\nu}{u_\star}$ hidrolik cilalı cidar
$k_s < 70\ \frac{\nu}{u_\star}$ pürüzlü cidar
$11{,}6\ \frac{\nu}{u_\star} < k_s < 70\ \frac{\nu}{u_\star}$ geçiş – hali cidarı

Pürüzlü Borularda Akım:

Önceki başlıklarda verilen incelemelerde, boru cidarı pürüzsüz kabul edildi. Pratikte boruların çoğunda cidar pürüzlülüğü olduğu için, pürüzlü cidar halindeki akımın analizinin önem taşıdığı düşüncesi ile bu bölümde pürüzlü bir borudaki akıma da değinilecektir.

Pürüzlü bir borudaki sürtünme, pürüzlülüğün şekline ve büyüklüğüne bağlıdır. Kesitteki hız değişim denklemi (3.37) numaralı denklem ile aynıdır.

$$u = 2.5\,u_* \ln y + \text{sabit}$$

Fakat denklemdeki sabiti tayin etmek için viskoz alt tabaka için yazılan sınır koşulu artık kullanılamaz çünkü bu halde viskoz alt tabaka diye bir durum yoktur. Bunun yerine deneylerin verdiği şu sınır koşulu kullanılmalıdır:

$$u = 0 \rightarrow \quad y = \frac{k_s}{30} \tag{3.45}$$

Bu sınır sabitleri kullanılarak (3.37) 'den integrasyon sabiti bulunur:

$$0 = 2.5\,u_* \ln\frac{k_s}{30} + sabit \tag{3.46}$$

$$sabit = -2.5\,u_* \ln\frac{k_s}{30} \tag{3.47}$$

Buna göre hız dağılımının y ile değişimi:

$$u = 2.5 \ln y - 2.5\,u_* \ln\frac{k_s}{30} \tag{3.48}$$

veya

$$u = 2.5\,u_* \frac{30y}{k_s} \tag{3.49}$$

olarak elde edilir. Daha önce detaylı bir şekilde önceki başlıklarda verilen sınır koşulları yerine konularak ortalama hız denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$V = u_* \left(2{,}5 \ln\frac{D}{2\,k_s} + 4.73\right) \tag{3.50}$$

Yukarıda boru içerisindeki akım denklemleri laminer ve türbülanslı için detaylı bir şekilde verilmiştir. Denklemlerden de görüleceği üzeri her ne kadar kesin gibi görünse de bazı denklem ve formüllerde sonuca gidebilmek ve akım özelliğini belirleyebilmek için bazı kabuller yapılmış ve varsayımlar üzerinden çözüme

gidilmiştir. Bunun dışında boru akımlarında gerekli hız hesabının yapılabilmesi için kullanılan mevcut formül ve denklemler oldukça karışık ve çözülmesi güçtür. Bu çalışmada ise henüz yeni bir kavram olan "ideal hız" kavramı ile boru akımlarındaki akış hesapları ve hesaplarda kullanılan güncel tüm formüller "ideal hız"a çevrilerek daha pratik ve kesin hesaplar yapılacaktır. Bu başlık altında "ideal hız" ile ilgili sadece denklem verilmiş olup bir alt başlıkta kavram daha detaylı verilmiştir.

3.2. İdeal Hız Kavramı ve Çeşitli Hız Dağılım Denklemleri

Bilindiği üzere bu güne değin tüm boru ve açık kanal akımlarına yönelik teorik çalışmalarda ve pratik uygulamalarda kesit içerisinde parabolik dağılan hızın ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu itibar ile hız denklemleri parabolik, logaritmik ve üniform dağılım olarak yapılan deney ve kabuller neticesinde üçe ayrılabilir (Şekil 3.8 , 3.9 , 3.10). Yukarıdaki başlıklardan anlaşıldığı üzere boru akımlarında hidrolik hesaplarda kullanılmak üzere elde edilen hareket denklemleri pedagojik açıdan anlaşılması güç analizler gerektirmektedir. Tüm bu analizler ve karmaşık formüllerden kurtulmak adına "ideal hız" kavramı adı altında hızın kesit içerisinde dairesel dağıldığı kabulü yapılmıştır.

Parabolik Hız Dağılım Denklemi:

Laminer akım hali için hız dağılımı parabolik kabul edilir.

$$u = \frac{u_*^2}{\nu}\left(y - \frac{y^2}{D}\right) \tag{3.51}$$



Şekil 3.8. Parabolik hız dağılımı

Logaritmik Hız Dağılım Denklemi:

Türbülanslı boru akımında, viskoz alt tabaka ve çekirdek bölgesindeki hız dağılımları farklıdır;

Viskoz alt tabakada hız dağılımı parabolik kabul edilip denklemi;

$$u = \frac{u_*^2}{\nu} y \tag{3.52}$$

şeklindedir.

Çekirdek bölgesinde ise hız dağılımı logaritmik olarak kabul edilip;

$$u = u_* \left(2{,}5 \ln \frac{y u_*}{\nu} + 5{,}5 \right) \tag{3.53}$$

şeklindedir.



Şekil 3.9. Logaritmik hız dağılımı

Üniform Hız Dağılım Denklemi:

Üniform hız dağılımı genellikle Açık kanal akımları için geçerlidir ve birden fazla denklem ile ifade edilir.(Kahya)

Chèzy Denklemi: $V = C\sqrt{R J_o}$ (3.54)

Gauckler-Strickler Denklemi: $V = k R^{2/3} \sqrt{J_o}$ (3.55)

$n = 1/k$

Manning Denklemi: $V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{J_o}$ (3.56)

Burada;

n: Manning formülündeki pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

V: ortalama akış hızı, m/sn

R: hidrolik yarıçap, (S/P), m

S: ıslak kesit, m^2

P: ıslak çevre, m

k katsayısı: çelik yüzeylerde 90-100, iyi kalıplanmış beton yüzeyli kanallarda 60-70, kafa büyüklüğündeki taş bloklarla kaplı kanallarda 25-30 değerlerini alır.

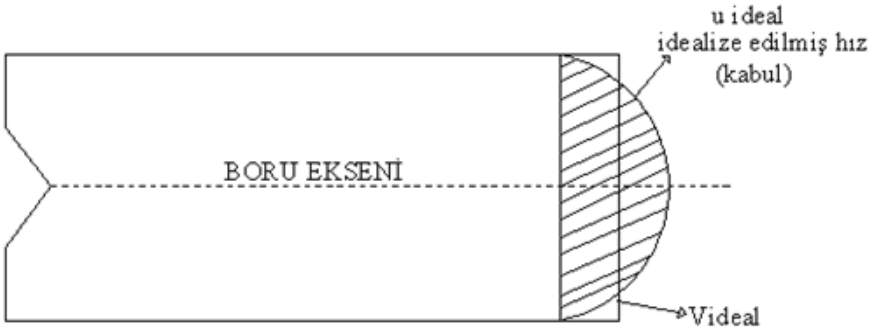


Şekil 3.10. Üniform hız dağılımı

İdeal Hız Dağılım Denklemi:

İdeal hız; birim kesitten, birim zamanda daha fazla debinin daha az enerji ile taşınabilmesini amaçlar. İdeal hız kavramına göre ise kesit içerisinde parabolik dağılan hızın yerine hızın kesit içerisinde dairesel dağıldığı kabulü yapılarak ve kesitin ortalaması alınarak hesap yapılır. Başka bir deyiş ile "ideal hız", hız alanının yani daire alanının yarısının boru çapına bölünmesi sonucu elde edilir. Denklemi ise aşağıda verildiği gibi olur:

$$V_{ideal} = \frac{\left[\frac{\pi D^2}{4}\right]}{\frac{2}{D}} = \frac{\pi D}{8} \cong 0{,}393\, D$$ hız çap ile artıyor? başlangıç şartı?



Şekil 3.11. "ideal hız" dağılımı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Boru Akımlarında Kullanılan Bağıntıların İdeal Hız Kavramına Göre Düzenlenmesi

Literatürden de anlaşılacağı üzere bugüne değin tüm boru ve açık kanal akımlarına yönelik teorik çalışmalarda ve pratik uygulamalarda kesit içerisinde hızın parabolik dağıldığı esas alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada ise hızın kesit içerisinde parabolik değil dairesel dağıldığı kabulü yapılarak ortalaması alınmıştır. Bu başlık altında ise boru akımlarında kullanılan denklemler "ideal hız" kavramına göre revize edilecektir.

1. Hız denklemi ve "ideal hız" denklemi

Boru akımında düşük akış hızında laminer, büyük akım hızlarında ise türbülanslı akım durumu geçerli olur. Her iki durum için ortalama hız denklemleri aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

Laminer akım hali için ortalama hız denklemi;

$$V = \frac{D^2}{32\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma \sin\alpha\right) \tag{4.1}$$

Türbülanslı akım hali için ortalama hız denklemi;

$$V = \left(2.5 \ln\frac{u_* D}{2v} + 1.75\right) u_* \tag{4.2}$$

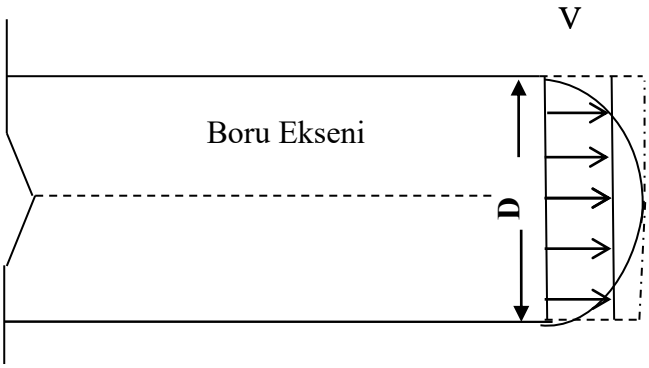
Boru kesiti içerisinde hızın (Şekil 15) deki gibi dairesel dağıldığı **kabul edilirse** Denklem (4.3) elde edilecektir.

$$V_{ideal} = \frac{\left[\frac{\pi D^2}{4}\right]}{D} = \frac{\pi D}{8} \cong 0{,}393\ D \tag{4.3}$$

Burada:

D : boru çapı

V : kesit ortalama akım hızı



Şekil 4.1. Boru akımlarında kesit içerisinde "ideal hız" dağılımı

2. Reynolds Sayısı ve İdeal Reynolds Sayısı

Akış rejimindeki atalet kuvvetlerinin akışkandaki viskoz kuvvetlere oranına Reynolds sayısı denir. Reynolds sayısı boru akımında akım türünü belirlemek için kullanılan bir ölçüttür.

Akışların çoğu pratik şartlar altında dairesel bir boru için, Re < 2300 için laminer,

Re > 4000 için türbülanslı ve bu değerler arasında geçiş evresindedir.

Çizelge 4.1. Reynolds sayısı akım belirleme kriteri

Re < 2300	Laminer akım
2300 < Re < 4000	Geçiş hali
Re > 4000	Türbülanslı akım

Boru akımları için elde edilen "ideal hız" (4.4) numaralı Reynolds denklemindeki hız yerine (4.3) denkleminde bulunan hız konularak ideal Reynolds bağıntısı boru çapı cinsinden (4.5) denklemi elde edilir;

$$R_e = \frac{VD}{v} \tag{4.4}$$

$$R_{eideal} = \frac{\frac{\pi D}{8} D}{v} = \frac{\pi}{8v} D^2 = \frac{0,3925}{v} D^2 \tag{4.5}$$

Burada;

R_e : Reynolds sayısı

ν : kinematik viskozitedir.

Denklem dönüşümünde de görüldüğü üzere ideal Reynolds sayısı güncel literatürün aksine m^2 cinsinde yani boyutlu çıkmaktadır. Halbuki Re sayısı boyutsuz bir büyüklüktür, bu yüzden İdeal Re sayısını boyutsuz hale getirmek için $1/m^2$ gibi bir katsayı ile çarparak boyutsuz hale getirmek mümkündür.

3. Boruların Hidrolik Hesabı

Süreklilik denklemi ve İdeal süreklilik denklemi: Akışkan maddelerin akış miktarının, aktığı boru içinde korunarak taşınmasını tanımlayan denklemdir. Hız denkleminde olduğu gibi boru akımlarında laminer akım ve türbülanslı akımlarda debi denklemleri farklıdır.

Laminer akım için debi; süreklilik denkleminde, (4.1) hız denklemi yazılarak (4.6) denkleminde şeklinde elde edilir.

$$Q = AV = \frac{\pi D^2}{4} V$$

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - \gamma \sin\alpha\right) \tag{4.6}$$

Eğer boru yatayda ise açı olmayacağından debi aşağıdaki şekilde ifade edilecektir ki buna Hagen- Poiseulle Denklemi denir.

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\mu}\frac{\Delta p}{\Delta x} \tag{4.7}$$

Türbülanslı akım için de durum aynıdır ve debi; süreklilik denkleminde, (4.2) hız denklemi yazılarak (4.8) şeklinde elde edilir.

$$Q = \left(2.5 \ln \frac{u_* D}{2\nu} + 1.75\right) u_* \frac{\pi D^2}{4} \tag{4.8}$$

Tüm bu karmaşık denklem ve formüllerden kurtulmak adına ideal ve gerçek akışkanların bir boyutlu akımları için kullanılan süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde idealleştirilerek revize edilmiştir.

$$Q = \int_A u\, dA = V * A \tag{4.9}$$

Burada Q akımın debisi, u kesit içerisinde değişen hız, A ise kesit alanıdır. Buradan kesit ortalama akım hızı denklemden çekilirse bağıntı aşağıdaki hali alacaktır:

$$V = \frac{\int_Z u\, dA}{A} = \frac{Q}{A} \tag{4.10}$$

Boru akımları için elde edilen "ideal hız" (4.3), süreklilik denkleminde (4.10) yerine konursa;

$$\frac{\pi D}{8} = \frac{Q}{A}$$

Borunun kesit alanı dairesel kabul edilerek Denklem (4.10) aşağıdaki şekli alacaktır:

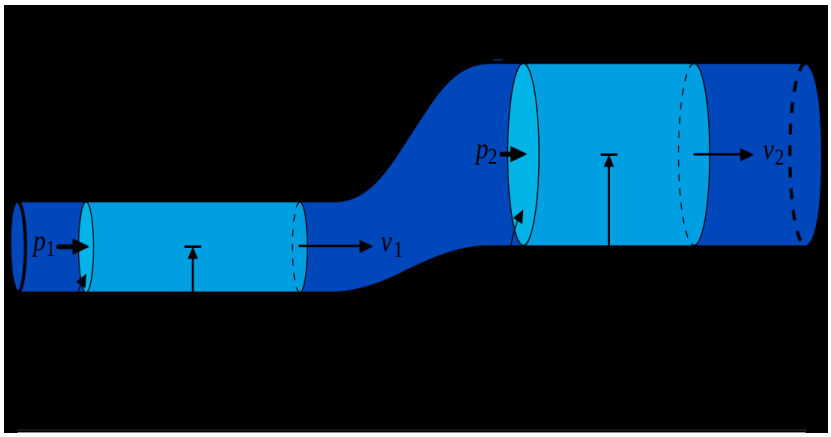
$$\frac{\pi D}{8} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Akışkanın debisi, Q yalnız bırakılıp denklem sadeleştirilirse,

$$Q_{ideal} = \frac{\pi^2 D^3}{32} = 0{,}3084\, D^3 \tag{4.11}$$

(4.11) elde edilir. Böylece süreklilik denklemi, "ideal süreklilik denklemi" haline getirilmiş ve boru çapı cinsinden yazılmış olur. Süreklilik denklemi sıkıştırılabilen ve sıkıştırılamayan akışkanlarda farklılık gösterdiği için idealize edilmiş denklemleri de farklılık gösterir.

Sıkıştırılabilen akışkanlar için süreklilik denklemi:



Şekil 4.2. Sıkıştırılabilen akışkanlar için süreklilik denklemi (Wikipedia)

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \tag{4.12}$$

Burada;

ρ : Özkütle

V: Akışkanın hızı

A: Kesit (enkesit) vektörel alandır.

Daha önce elde edilen "ideal hız" (4.3) sıkıştırılabilen akışkanlar için süreklilik denkleminde yerine yazılırsa;

$$\rho_1 \frac{\pi D_1}{8} \frac{\pi D_1^2}{4} = \rho_2 \frac{\pi D_2}{8} \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$\rho_1 D_1^3 = \rho_2 D_2^3 \qquad (4.13)$$

şeklinde idealleştirilmiş olur aynı şekilde sıkıştırılamayan akışkanlar için süreklilik denklemi de bu şekilde idealleştirilip boru çapı cinsinden yazılmıştır.

Sıkıştırılamayan akışkanlar için süreklilik denklemi:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \qquad (4.14)$$

Burada;

V: Akışkanın hızı

A: Kesit (Enkesit) vektörel alandır.

Borular için "ideal hız" (4.3) denklemi (4.14) de yerine yazılarak;

$$\frac{\pi D_1}{8} \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi D_2}{8} \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$D_1^3 = D_2^3$ eğer D1 ve D2 eşit olmazsa? (4.15)

şeklinde elde edilir. Böylece sıkıştırılabilen ve sıkıştırılamayan akışkanlar için süreklilik denklemleri idealleştirilmiş olup boru çapı cinsinden revize edilmiş olur.

İmpuls-Momentum denklemi ve İdeal impuls-momentum denklemi: Boru akımları için elde edilen "ideal hız", (4.16) impuls-momentum denkleminde yerine konarak momentum bağıntısı boru çapı cinsinden denklem (4.17) şeklinde yazılır.

$$F = \rho Q V \qquad (4.16)$$

$$F_{ideal} = \rho Q V = \rho A V V = \rho \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\left(\frac{\pi D}{8}\right)^2 = \rho \frac{\pi^3 D^4}{256} = 0{,}121\, \rho D^4 \qquad (4.17)$$

Burada F momentum kuvveti ve ρ akışkanın birim hacminin kütlesidir.

Bernoulli denklemi ve İdeal Bernoulli denklemi

Bernoulli ilkesi (prensibi ya da denklemi), ideal, sıkıştırılamaz, laminer akış halinde olan akışkanlarda, akış hızı ile basıncın ilişkisini açıklar. Tıpkı süreklilik denkleminde yapıldığı gibi boru akımları için elde edilen "ideal hız", (4.18) Bernoulli denkleminde yerine konularak bu denklemdeki hız yüksekliği boru çapı cinsinden yazılır.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_k \tag{4.18}$$

$$\frac{\left(\frac{\pi D_1}{8}\right)^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\left(\frac{\pi D_2}{8}\right)^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_k$$

$$7{,}862x\ 10^{-3} D_1^2 + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = 7{,}862x\ 10^{-3} D_2^2 + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_k \tag{4.19}$$

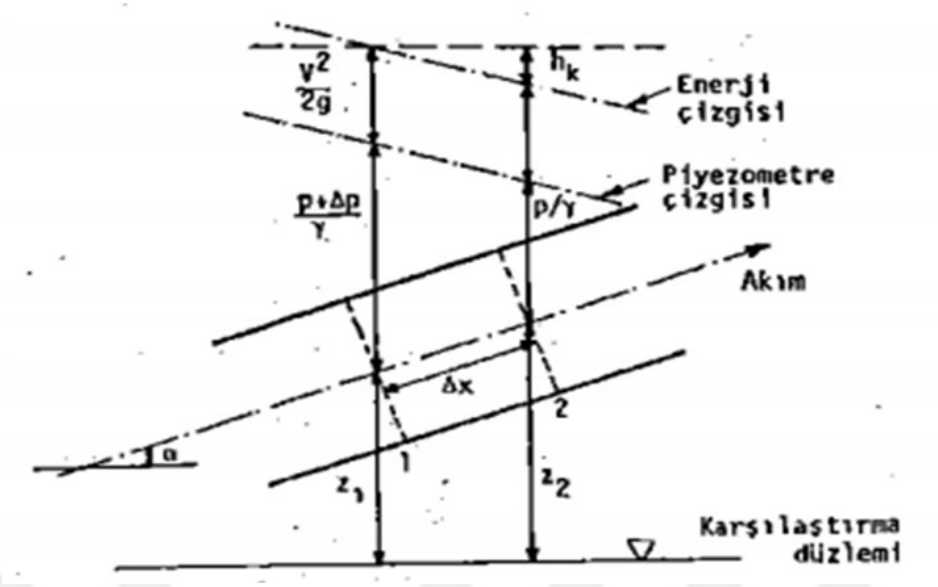
Toplam enerji yüksekliği ve İdeal toplam enerji yüksekliği: Boru akımları için elde edilen "ideal hız", (4.20) enerji yüksekliği denkleminde yazılarak ideal toplam enerji yüksekliği (4.21) şeklinde elde edilmiş olur.

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z \tag{4.20}$$

$$H = \frac{\left(\frac{\pi D}{8}\right)^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = \frac{\pi^2 D^2}{128g} + \frac{P}{\gamma} + z$$

$$H_{ideal} = 7{,}862x\ 10^{-3}\, D^2 + \frac{P}{\gamma} + z \tag{4.21}$$

Burada, V_1 ve V_2, P_1 *ve* P_2, z_1 *ve* z_2 sırasıyla (Şekil 17) de 1 ve 2 kesitlerindeki kesit ortalama akım hızları, basınçlar ve geometrik kotlar olup *g* yerçekimi ivmesi ve h_k sürekli yük kaybıdır.



Şekil 4.3. Bir boru parçacığının enerji yüksekliğinin şematik gösterimi (Sümer ve diğ.)

Boru Akımlarında Yük Kayıpları Hesabı

Borunun genişlediği veya akımın doğrultu değiştirdiği yerlerde hızın büyüklüğünün ve doğrultusunun değişmesi nedeniyle enerji kayıpları meydana gelir. Bunlar yersel (lokal) enerji (yük) kayıplarıdır. Sürekli yük kaybı ise boru hattı boyunca akış uzunluğu ile orantılı olan yük kayıplarıdır. Akış yolunun kısa olduğu durumlarda yersel yük kayıpları daha fazla önem kazanır. Enerji kayıpları hesaplanırken yersel yük kayıpları genellikle ihmal edilir.

A. Sürekli Enerji (Yük) Kayıpları

Dairesel Kesitli Hatlarda Yersel Yük Kayıplarının ve İdeal Yersel Yük Kayıpları:

Dairesel kesitli hatlardaki akış şartlarında yersel yük kaybı hesaplamalarında (4.22) formülü kullanılmaktadır. Bu formül, hattın herhangi bir noktasında mevcut genişleme ve daralma ile vana, dirsek ve benzeri bağlantıların olması durumunda, bu noktadaki basınç kaybı hesabında kullanılır. Bu bağlantıların cinsine ve niteliğine bağlı olarak yerel yük kaybı katsayıları (k) değişmekte olup k'nın değeri yük kaybını etkiler.

$$\Delta h = k\frac{V^2}{2g} \qquad (4.22)$$

Burada;

Δh: yerel yük kaybı, metre akışkan yüksekliği

V: boru içinde ortalama akışkan hızı, m/s

g: yerçekimi ivmesi, m/s2

k: boyutsuz sabit, söz konusu yerin şekline bağlı yük kaybı katsayısı

Denklem (4.22) boruların yapılara giriş ve çıkışlarında, boru daralma ve genişlemelerinde, değişik açılardaki dirseklerde, boru hattı üzerinde mevcut olabilecek muhtelif tip vana, T ve Y bağlantılarında akışın sebep olduğu yerel kayıpların hesaplamalarında da kullanılır. Değişik yapı ve bağlantıların sebep olduğu yük kaybı hesaplamalarında kullanılan yük kaybı katsayıları (k) değişiklik gösterir ve literatürde ilgili katsayı ile ilgili sabitler mevcuttur.

Bu çalışmada boru akımlarında kullanılan diğer tüm bağıntılarda olduğu gibi dairesel kesitli hatlarda oluşan yersel yük kayıpları için kullanılan (4.22) denkleminde "ideal hız" denklemi ile birlikte π ve g değerleri yerlerine yazılırak (4.23) denkleminde görüleceği üzere yersel yük kayıpları boru çapı cinsinden idealleştirilmiş olur.

$$\Delta h = k \frac{\left(\frac{\pi D}{8}\right)^2}{2g} = k \frac{\pi^2 D^2}{128g}$$

$$\Delta h_{ideal} = 7{,}862\ x\ 10^{-3}\ kD^2 \qquad (4.23)$$

Sürekli Yük Kayıpları

Darcy-Weisbach bağıntısı ve ideal Darcy-Weisbach bağıntısı: Boru akımları için elde edilen "ideal hız" Darcy-Weisbach bağıntısında (4.24) (Aracı ve Kınacı, 2018) yerine konarak Darcy-Weisbach bağıntısı boru çapı cinsinden yazılarak idealleştirilir.

$$J = f\ \frac{1}{D}\ \frac{V^2}{2g} \qquad (4.24)$$

$$J_{ideal} = f \frac{1}{D} \frac{\frac{\pi^2 D^2}{64}}{2g} = f\ \frac{\pi^2 D}{128g} =\ 7{,}862x\ 10^{-3}\ fD \qquad (4.25)$$

Burada J enerji çizgisi eğimi ve f Darcy-Weisbach bağıntısındaki sürtünme katsayısıdır.

Manning-Strickler bağıntısı ve ideal Manning-Strickler bağıntısı:

Kısmen dolu boru hatlarında ve açık kanallarda yük kayıpları için: (4.26) Manning-Strickler denkleminde, (4.3) "ideal hız" denklemi yazılarak boru çapı cinsinden yazılmıştır.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \qquad (4.26)$$

$$\frac{\pi D}{8} = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

Aynı şekilde hidrolik yarıçap daire alanı ve daire uzunluğuna göre çap cinsinde denklemde yerine yazılıp J denkleminde yalnız bırakıldığı takdirde (4.27) denklemi elde edilir.

$$R = \frac{S}{P} = \frac{\left(\pi\frac{D}{2}\right)^2}{\left(2\pi\frac{D}{2}\right)} = \frac{D}{4}$$

$$J_{ideal}^{1/2} = \frac{\pi n D}{8\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3}} = 0{,}99\, n\, D^{1/3}$$ çap arttıkça kayıp artıyor?

(4.27)

Tam dolu borularda yük kaybı formülü: Kısmen dolu boru hatlarında ve açık kanallarda yük kayıpları için Manning-Strickler denklemini ideal hale getirmek için uygulanan işlemler bu formül için de uygulanır.

$$J = 6{,}35(nV)^2 D^{-4/3} \qquad (4.28)$$

$$J_{ideal} = 6{,}35\left(n\frac{\pi D}{8}\right)^2 D^{-4/3} = 0{,}3175 D^{2/3}$$ çap arttıkça kayıp artıyor?

(4.29)

Burada;

n: Manning formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

V: ilgili bölümdeki ortalama sıvı akış hızı, m/sn

R: hidrolik yarıçap, (S/P), m

S: ıslak kesit,

P: ıslak çevre, m

Hazen-Williams bağıntısı ve İdeal Hazen-Williams bağıntısı:

Bu formülde yük kaybı, yük kaybı katsayısının (*Cwh*)'nin fonksiyonu olarak tanımlanır. *Cwh,* borunun çapı ve iç yüzeyinin pürüzlülüğüne göre değişir.

Temel bağıntı:

$$V = 0{,}849 C_{wh} R^{0{,}63} J^{0{,}54} \tag{4.30}$$

$$\frac{\pi D}{8} = 0{,}849\ C_{wh} \left(\frac{D}{4}\right)^{0{,}63} J^{0{,}54}$$

$$J^{0{,}54} = \frac{1{,}105\ D^{0{,}37}}{C_{wh}} \tag{4.31}$$

Tam dolu borularda ise;

$$J = 6{,}824 \left(\frac{V}{C_{wh}}\right)^{1{,}852} D^{-1{,}167} \tag{4.32}$$

$$J = 6{,}824 \left(\frac{\frac{\pi D}{8}}{C_{wh}}\right)^{1{,}852} D^{-1{,}167}$$

$$J = 6{,}824 \frac{8{,}32 D^{1{,}852}}{C_{wh}^{1{,}852}} D^{-1{,}167} = 56{,}77 \frac{D^{0{,}685}}{C_{wh}^{1{,}852}} \tag{4.33}$$

Burada;

Cwh: Hazen-William formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

Re: Reynolds katsayısı (Re=VD/υ), boyutsuz

υ : kinematik viskozite, m^2 /s

B. Yerel Enerji (Yük) Kayıpları

Ani yük kaybı denklemi ve ideal ani yük kaybı denklemi: Boru akımları için elde edilen "ideal hız", (4.34) ani yük kaybı bağıntısında yerine konarak ani yük kaybı bağıntısı boru çapı cinsinden yazılır.

$$h'_k = \xi \frac{V^2}{2g} \tag{4.34}$$

$$h'_{kideal} = \xi \frac{\frac{\pi^2 D^2}{64}}{2g} = 7{,}862\ x\ 10^{-3}\ \xi\ D^2 \tag{4.35}$$

Burada h_k'ani yük kaybı ve ξ ani yük kaybı katsayısıdır.

4. Enerji denklemi ve İdeal enerji denklemi

İdeal akış şartlarında akışkanın mekanik enerji korunumu Bernoulli denklemi ile ifade edilir. Tıpkı diğer denklemlerde olduğu gibi (4.3) denklemindeki "ideal hız", h_k ve $\sum h'_k$ değerleri (4.36) denkleminde yerine yazılarak enerji denklemi ideal enerji denklemine dönüştürülmüştür.

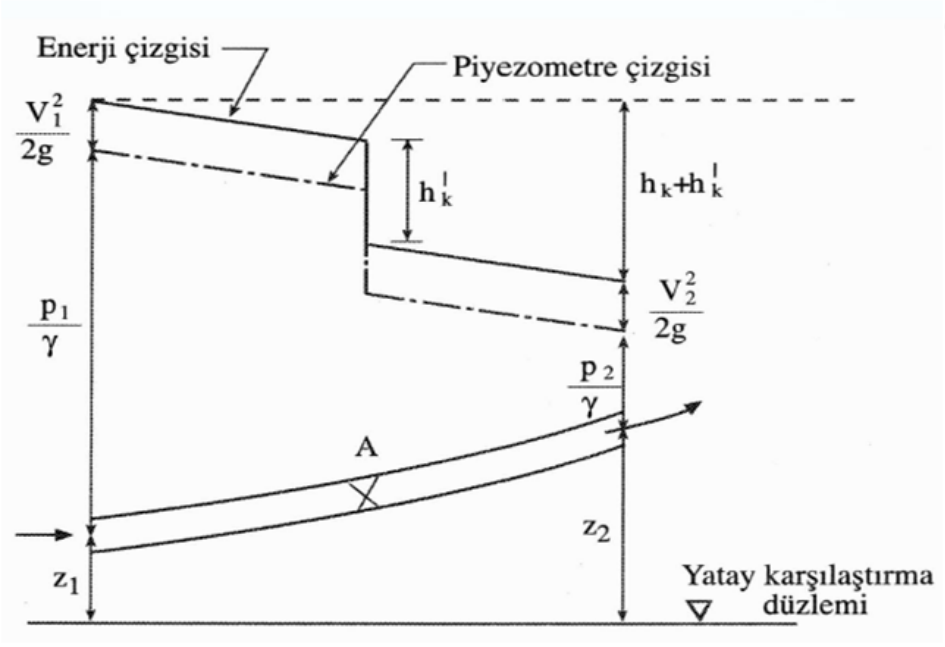
$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_k + \sum h'_k \qquad (4.36)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\left(\frac{\pi D_1}{8}\right)^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\left(\frac{\pi D_2}{8}\right)^2}{2g} + z_2 + J\,L + \xi\,\frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\left(\frac{\pi D_1}{8}\right)^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\left(\frac{\pi D_2}{8}\right)^2}{2g} + z_2 + 7{,}862x10^{-3}\,fD\,L + 7{,}862x\,10^{-3}\xi D^2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + 7{,}862x10^{-3}D_1^2 + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + 7{,}862x10^{-3}D_2^2 + z_2 + 7{,}862x10^{-3}\,fD\,L + 7{,}862x\,10^{-3}\xi D^2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + 7{,}862x10^{-3}D_1^2 + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + 7{,}862x10^{-3}(D_2^2 + fD\,L + \xi D^2) + z_2 \qquad (4.37)$$



Şekil 4.4. Boru akımlarında enerji denklemi (Sümer ve diğ.)

Burada;

h_k : Sürekli enerji kayıplarını

h'_k : Yerel enerji kayıplarını gösterir.

5. Poiseuille yasası ve İdeal Poiseuille yasası

Boru içi akışlarda en önemli değerlerden biri basınç düşüleridir. Boru içerisinde iki nokta arasındaki (L) basınç farkı sabit olarak düşünülürse aşağıdaki denklem elde edilir (Aracı ve Kınacı, 2018);

$$\frac{dP}{dx} = \frac{(P_1 - P_2)}{L}$$

Laminer akışlar için türetilen ortalama hız denklemi ile yukarıdaki denklem birleştirilirse **laminer akışlar için basınç farkı denklemini** elde etmiş oluruz (Aracı ve Kınacı, 2018);

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu L V_{ort}}{R^2} = \frac{32\mu L V_{ort}}{D^2} \tag{4.38}$$

Bu denkleme göre basınç kaybının viskoz etkiler nedeniyle oluştuğu ve viskoziteyle doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Bu denklemi çapı D, uzunluğu L olan bir boru için hacimsel debi (V') olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz (Çengel & Cimbala, 2012);

$$V' = V_{ort} A_c = \frac{(P_1 - P_2)R^2}{8\mu^2} \pi R^2 = \frac{(P_1 - P_2)\pi D^2}{128\mu L} = \frac{\Delta P \pi D^4}{128\mu L} \tag{4.39}$$

Yukarıda elde edilen denklem “Poiseuille Yasası” veya “Poiseuille Akışı” olarak adlandırılır. Bu denkleme göre bir boru için verilen debideki basınç düşüşü boru uzunluğu ve viskozitesi ile doğru orantılı, boru çapının dördüncü kuvveti ile ters orantılıdır (Aracı ve Kınacı, 2018).

Basınç farkı (4.38) ve hacimsel debi (4.39) denklemlerini boru çapı cinsinden yazabilmek için (4.3) denklemi “ideal hız” ilgili denklemlerde yerine konularak:.

$\Delta P = \frac{32\,\mu\, L V_{ort}}{D^2}$ denkleminde V_{ort} yerine $V_{ideal} = \frac{\pi D}{8}$

$$\Delta P = \frac{32\mu L \frac{\pi D}{8}}{D^2} = 12{,}56\,\frac{\mu L}{D} \tag{4.40}$$

elde edilir. Aynı işlemler (4.39) denklemi için yapılır;

$$V' = V_{ort} A_c == \frac{\Delta P \pi D^4}{128\mu L}$$

$$V' = \frac{\pi D}{8}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi^2 D^3}{32} = 0{,}308D^3 \quad (4.41)$$

şeklinde bulunur ki buradan şu sonuca varılır; Boru akımlarında akış şekli ne olursa olsun (laminer ya da türbülanslı) veya laminer akımda borunun yatayda veya açılı bir şekilde konumlanmış olsa bile debi tüm durumlar için boru çapının üçüncü kuvvetinin 0,308 katına eşittir. Bu şekilde bir genelleme yapıldığında boru akımlarında debi hesabı oldukça basitleştirilmiş olur.

6. Pompa Gücü ve İdeal Pompa Gücü:

$H = h + \sum h_k + \sum h'_k$ ve H pompanın terfi yüksekliği olmak üzere;

$$N_p = \frac{\gamma Q H}{\eta} \quad (4.42)$$

Debi yerine ideal debi değeri $0{,}3084D^3$ yazılırsa ideal pompa gücü boru çapı cinsinden elde edilir;

$$N_{pideal} = \frac{\gamma 0{,}3084\, D^3 H}{\eta} \quad (4.43)$$

4.2. İdeal Hız Kavramının Bilimsel Açıdan Tartışılması

Bir önceki başlık altında sözü edilen ve çalışmanın olgunlaşması sürecinde "ideal hız" kavramı üzerinde yapılan tartışmalar bu alt başlıkta detaylandırılmıştır. Detaylandırma, "itiraz" ve "cevap" şeklinde verilerek kavram tüm boyutları ile tartışılmıştır. Böylece bu tez çalışmasında kavram üzerindeki olası tüm tartışmalar okuyucu ile paylaşılmıştır.

4.2.1. İdeal Hız Kavramına Olası İtirazlar ve Cevapları

İtiraz 1

İdeal hız kavramına göre revize edilen bağıntılarda denklemin iki tarafındaki ifadelerin boyutları aynı değil ve hız metre boyutunda elde edilmektedir. Bu nedenle yaklaşım bilimsellikten uzaktır.

Cevap 1

Matematiksel ifadeler boyutsal açıdan iki sınıfa ayrılmaktadır: 1) Boyutsal açıdan homojen ve 2) Boyutsal açıdan homojen olmayan. Pratikte kullanılan bütün bağıntılar homojen değildir. Aksine homojen olmayan birçok bağıntı da

kullanılabilmektedir. Örneğin Chezy ve Manning – Strickler bağıntıları gibi. Diğer taraftan ampirik veya deneysel ve gözlemsel yollarla veya kara kutu yöntemlerle elde edilen hemen hemen tüm bağıntılarda durum aynıdır. Yine yukarıda verilen Manning – Strickler denkleminde hız $m^{2/3}$ şeklinde çıkmaktadır. Başka bir ifade ile kesit ortalama akım hızının boyutunun m/s olarak çıkması için n veya k katsayısının belli boyutlarda olması gerekir. Oysa bu katsayıların boyutlu olması zorunluluğu olmadığı gibi olmayan bir boyutu bu katsayılara atamak da bilimsel açıdan bir anlam ifade etmemektedir. Oysa bu bağıntı hala tüm dünyada ve ülkemizde de su kaynakları çalışmalarında büyük bir güven içinde kullanılmaktadır. O halde elde edilen denklemin boyutsal açıdan homojen olmaması veya hızın olması gerekenin dışında bir boyutta çıkması bilimsellikten uzak olduğu anlamına gelmemektedir. İdeal hızın boyutunu normal hız boyutuna getirmek için tıpkı Chezy veya Manning – Strickler bağıntılarındaki n veya k katsayıları gibi "ideal hız" denklemini de 1 veya 1'e çok yakın ve 1/s boyutunda bir katsayı ile çarparak hız boyutuna getirmek mümkündür.

İtiraz 2

Önerilen hız dağılımı literatürdeki deneysel ve teorik çalışmalarla önemli oranda çelişmektedir ve "ideal hız" kavramına dayalı olarak literatürde bilinen bazı formüller modifiye edilmiş ancak bu varsayımın pratiğe uyumunun tartışılması gerekmektedir.

Cevap 2

Bu itiraz makul bir itiraz olmakla birlikte cevabı açık ve net bir şekilde verilebilir bir itiraz olarak değerlendirilmektedir. Zira "ideal gaz" da "ideal akışkan" da ilk ortaya atıldığında deneysel ve teorik çalışmalarla önemli oranda çelişmekteydi çünkü doğada ne ideal gaz ne de ideal akışkan mevcuttur. Nitekim hâlihazırdaki tüm uygulamalarda kesit içerisindeki parabolik hız dağılımı da aslında itiraza açık bir yaklaşımdır. Parabol dağılım olarak hesap yapıldığı halde bu parabol denklemi de parametreleri ile birlikte standart değildir. Akım özellikleri (basınç, debi, hız gibi), akışkan özellikleri (viskozite, birim hacim ağırlığı gibi) ve akım ortamı özelliklerine (kesitin geometrisi, kesitin büyüklüğü veya küçüklüğü, pürüzlülüğü, boyuna eğim gibi) göre değişmektedir. Bu yanıt bu itiraz için yeterli görülmektedir.

İtiraz 3

Tez çalışmasında tartışılan referansların büyük bölümü genel referanslar olup önerilen "ideal hız" yaklaşımı ile ilgili yeterli referanslar bulunmamaktadır.

Cevap 3

Kavram ilk kez 2016 yılında (Toprak, 2016a ve Toprak, 2016b) literatüre kazandırılmıştır. Kavram oldukça yeni olduğundan doğrudan kavram ile ilgili referans literatürde yer almamaktadır. Başka bir ifade ile konu ile doğrudan ilgili referanslar kısıtlıdır. Dolayısıyla referanslar genellikle boru ve açık kanal akımları ile ilgilidir.

İtiraz 4

Kavramın sağladığı iddia edilen kolaylıklar nelerdir?

Cevap 4

Makaleden, özellikle modifiye edilmiş denklemlerin öncekilere göre daha sade hale gelmiş olması bu kolaylığı göstermektedir. Çalışmanın ilgili bölümlerinde kavramın getirdiği kolaylıklar ayrıca özetlenmiştir.

İtiraz 5

Hız dağılımının parabolik olduğu sadece sınırlı mühendislik uygulaması olan laminer akım durumunda doğrudur. Mühendislik uygulamalarının büyük çoğunluğunda türbülanslı akım hakimdir. Türbülanslı akımlarda logaritmik hız dağılımı söz konusudur. İdeal hız kavramı her iki akım hali için de geçerli midir?

Cevap 5

Boru ve açık kanal akımları çoğu kez hatta neredeyse tamamı türbülanslı akımdır. Türbülanslı boru akımlarında çekirdek bölgesi için logaritmik hız dağılımı teorik olarak elde edilse de mühendislik uygulamalarının büyük çoğunluğunda hız dağılımı parabolik olarak alınmaktadır. Bununla birlikte kesit ortalama akım hızı elde edilmektedir ki bu hızın kesit içerisinde üniform (sabit/değişmez) dağılıyormuş gibi kabul edildiği anlamına gelmemektedir. Önerilen kavram hem türbülanslı hem de laminer akım halleri için geçerlidir. Ayrıca hem boru hem de açık kanal akımları için önerilmektedir. Ancak bu tezde kavram sadece boru akımları için ele alınmıştır.

İtiraz 6

İdeal akışkan doğada olmayan viskozitesiz akışkandır. Bu nedenle sadece sürtünmenin ihmal edilebildiği problemlerde kullanılabilmektedir. İdeal hız kavramı ile elde edilen süreklilik ve enerji denklemlerinde, enerji kaybı formüllerinde, Re ve Fr sayıları ifadelerinde hızlar yerine çapa veya akış derinliğine bağlı ifadeler yer alması sınırlı mühendislik uygulamalarına neden olmaktadır.

Cevap 6

Aslında ideal akışkanlar sadece sürekli yük kayıplarının ihmal edilebilen kısa mesafeleri için kullanılmamaktadır. İdeal akışkan kavramına ayrıca mühendislik öğretiminde pedagojik açıdan ihtiyaç duyulmaktadır. "ideal hız" kavramının böyle bir kısıtından söz edilebilir ancak kavram yukarıda da belirtildiği üzere bir ölçek niteliğindedir. Dolayısı ile bu kısıt henüz yeni olan bu konseptin kullanılmaması ve geliştirilmemesi gerektiği anlamına gelmez. Bunun yanı sıra yine mühendislik öğretiminde pedagojik açıdan da kullanılabilir bir konseptdir (kavramdır).

İtiraz 7

Mühendislik uygulamalarındaki asgari 0.5 m/s hız değerinden daha büyük hızlar kullanılarak birkaç sayısal uygulama örneği verilmesiyle uygulama kapsamının ve "ideal hız" kavramı kullanılmasının yararlarının ortaya çıkarılması uygun olacaktır.

Cevap 7

Bu çalışmada kavramın uygulanmasına yönelik çok sayıda problem çözümleri ile beraber verilmiştir.

İtiraz 8

Günümüzdeki hesaplama olanaklarıyla mevcut bağıntıların "ideal hız" yaklaşımı ile basitleştirilmeden kullanılmasının sorun yaratmadığı düşünülmektedir.

Cevap 8

Her kavram ilk ortaya atıldığında onun öncesinde problemler bir şekil çözülüyordu elbette. Ancak bu kavram literatürde kabul gördüğü takdirde başka araştırmacılar başka kullanım alanlarını, başka kullanım koşullarını

(limitlerini/kısıtlarını/sınırlarını) tespit edecekler, belki başka konseptler geliştirecek ve boru/açık kanal sektörünü önemli ölçüde etkileyecektir. Bunlardan yola çıkılarak "ideal hız" kavramının da önceki teorik çalışmalar ile çatışması pekâlâ mümkündür. Diğer taraftan, açık kanal ve boru akımlarında hızın kesit içerisinde parabolik/logaritmik dağılması da belli koşullar/kabuller altında mükün hale gelmektedir. Hız dağılımını dairesel olarak kabul etmekle problem daha kolay ölçülebilir/hesaplanabilir hale gelmektedir.

4.2.2. İdeal Hız Kavramının Avantaj ve Dezavantajları

4.2.2.1. Avantajları

1. Güncel literatürde bulunan ve hidrolik hesaplarda kullanılan bağıntı ve formüller birden fazla kabul ve varsayımlar üzerine kurulmuştur. İdeal hız kavramı ile hızın kesit içerisinde dairesel dağıldığı bir tek kabul yapılmaktadır.

2. Pedagojik açıdan "ideal hız" kavramı ile matematik ifadeler daha kolay elde edilebilmektedir.

3. Klasik yollarla elde edilen denklemler net çözümler sağlamadığı gibi çözümü de güç ve karmaşık hale getirmektedir. Oysa bu yaklaşım, yine yaklaşık çözüm sunmakla birlikte çözümü karmaşık olmaktan kurtarmaktadır.

4. İdeal hız ise bir önceki başlıkta da verildiği gibi hidrolik büyüklükler tek bir değişken (boru çapına) ile ifade edilebildiği için daha pratiktir.

5. Kavram oldukça yeni olduğundan akademik alanda gelişmeye açık olup araştırma projeleri, patent, akademik yayın getirisi yüksek bir konu olduğu düşünülebilir.

4.2.2.2. Dezavantajları

1. İdeal hız kavramı diğer klasik yaklaşımlar gibi kesin çözüm vermemektedir.

2. İdeal hız kavramı ile elde edilen matematik ifadeler her bir büyüklük için ölçek görevini görmektedir.

3. Oldukça yenidir, kullanıcıya yeterince güven verememektedir.

4. Boru üretim sektörü gibi teknik ve teknolojik alt yapıdan henüz yoksundur.

5. Değişken çaplı borular için ideal debi kavramı kullanılamaz.

6. İdeal hız kavramına göre yeniden yazılan bağıntılar ampirik olduğundan boyutsal açıdan homojen değildir.

7. Klasik yaklaşımlara göre yapılan mevcut teknik ve teknolojik yatırımların bu çalışmada önerilen kavrama büyük direnç göstermesi beklenmektedir.

4.3. Örnek Uygulamalar

Örnek uygulamalar iki ayrı şekilde karşılaştırılmalı olarak çözülmüştür. İlk önce klasik formüller ile daha sonra "ideal hız"a göre revize edilen denklemler kullanılarak daha pratik bir şekilde çözüme gidilmiştir.

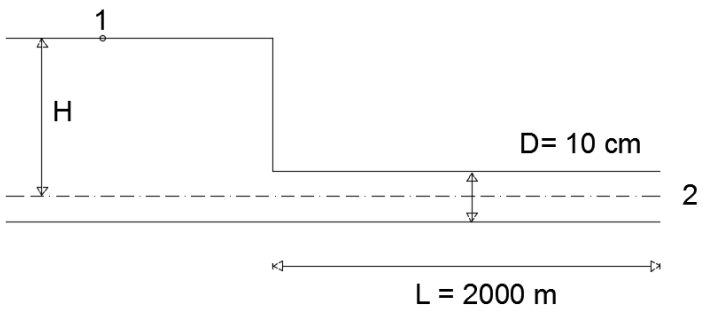
Uygulama 1: H yüksekliğinde yağ bulunan depodan 10 cm çaplı bir borudan 1,57 l/s debide yağ atmosfere akmaktadır. $\gamma_y = 7{,}85$ Kn/m^3 ve ν= 0,1cm^2/s dir.

a) Akımın laminer veya Türbülanslı olduğunu bulunuz.

b) H su yüksekliğini bulunuz.

c) Boru cidarındaki kayma gerilmesini bulunuz.

d) Cidardan 2,5 cm uzaklıktaki kayma gerilmesini bulunuz (Şekerdağ, 2016).



Çözüm 1(Klasik Denklemler):

a) Akımın cinsi:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1{,}57x10^{-3}\,x4}{\pi(0{,}10)^2} = 0{,}20\frac{m}{s} = 20\,cm/s$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{20x10}{0{,}1} = 2000$$

$Re = 2000 < 2320$ olduğuna göre akım laminerdir.

b) H su yüksekliği:

1-2 Arasında bernoulli denkleminden,

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_k$$

$V_1 = 0$, $P_1 = P_2$, $z_1 = H$, $z_2 = 0$ olduğundan,

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_k \quad 1$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2000} = 0{,}032 \text{ ve } h_k = \frac{f}{D}\frac{V_2^2}{2g} L = \frac{0{,}032}{0{,}10}\frac{V_2^2}{2g} 2000 = 640\,\frac{V_2^2}{2g}$$

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + 640\,\frac{V_2^2}{2g} = 641\frac{V_2^2}{2g} = 641\frac{(0{,}20)^2}{2x9{,}81} = 1{,}31 \text{ m}$$

c) Kayma gerilmesi ifadesi:

$$V = \frac{Du_*^2}{8v} \quad 2$$

$$u = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad 3$$

Olduğundan 3 denklemi 2 denkleminde yazılırsa,

$$V = \frac{D\tau_0}{8v\rho} \Longrightarrow \tau_0 = \frac{8v\rho}{D}$$ elde edilir.

d) Kayma gerilmesi hesabı:

$v = 0{,}1$ cm^2/s = 0,1.10^{-4} m^2/s=1. 10^{-5} m^2/s ve γ= 7,85 kN/m^3 = 7850 N/m^3

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{7850}{9{,}81} = 800 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ve} \quad \tau_0 = \frac{8v\rho}{D} V = \frac{8\left(1.10^{-5}\right)800}{0{,}10}\,0{,}20 = 0{,}128 \text{ N/m}^2$$

$$\tau = \tau_0\left(1 - \frac{y}{D/2}\right) = 0{,}128\left(1 - \frac{0{,}025}{0{,}05}\right) = 0{,}064 \text{ N/m}^2$$

Çözüm 1 (İdeal Denklemler):

a) Akım cinsi:

$$Re_{ideal} = \frac{0{,}3925}{v} D^2$$

$$Re_{ideal} = \frac{0{,}3925}{0{,}1}(10)^2 = 392{,}5$$

Re =392,5 < 2300 olduğundan akım laminerdir.

b) H_{ideal} su yüksekliği:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_k$$

$V_1 = 0$, $P_1 = P_2$, $z_1 = H$, $z_2 = 0$ olduğundan,

$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_k$ olur ve laminer akım durumunda;

$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{392,5} = 0,16$ ve $h_k = f7,862x10^{-3}DL$

$$H = \frac{\left(\frac{\pi D}{8}\right)^2}{2g} + f\ 7,862x10^{-3}\ DL = 7,862x10^{-3}D^2 + \ 7,862x10^{-3}\ fDL$$

$H = 7,862x10^{-3}x(0,1)^2 + 7,862x10^{-3}x0,16x0,1x2000 = 0,25\ m$ **c) İdeal kayma gerilmesi ifadesi**

$\tau_0 = \frac{8\nu\rho}{D} V$ denkleminde akım hızı yerine "ideal hız" değeri yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapılır;

$$\tau_0 = \frac{8\nu\rho}{D}\ x\frac{\pi D}{8} = 3,14\nu\rho$$

Böylece ideal kayma gerilmesinin akışkanın yoğunluğu ve kinematik viskozitesine bağlı olduğu görülür.

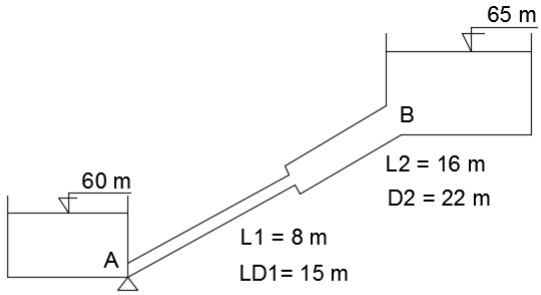
d) İdeal kayma gerilmesi hesabı:

$\nu = 0,1$ cm^2/s = 0,1.10^{-4} m^2/s=1. 10^{-5} m^2/s ve γ= 7,85 kN/m^3 = 7850 N/m^3

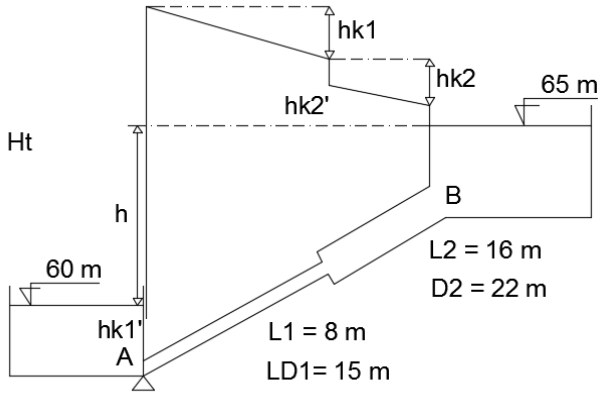
$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{7850}{9,81} = 800$ kg/m^3 ve $\tau_0 = 3,14\,\nu\rho = 3,14x10^{-5}x800 = 0,025$ N/m^2

$$\tau = \tau_0\left(1 - \frac{y}{D/2}\right) = 0,025\left(1 - \frac{0,025}{0,05}\right) = 0,0125 \text{ N/m}^2$$

Uygulama 2: Şekilde görülen hazne-boru-pompa sisteminde A haznesinden B haznesine 100 l/s lik bir debi pompalanmaktadır. Yersel yük kayıplarını da dikkate alarak pompanın gücünü bulunuz. Pompa randımanı η =0,90 ve sürtünme katsayısı f= 0,04 alınacaktır (Şekerdağ, 2016).



Çözüm 2 (Klasik Denklemlerle):



Süreklilik denkleminden:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0{,}100x4}{\pi(0{,}15)^2} = 5{,}66 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0{,}100x4}{\pi(0{,}22)^2} = 2{,}63 \text{ m/s}$$

Şekil üzerinden görüldüğü gibi pompanın terfi yüksekliği:

$$H_t = h + \sum h_k + \sum h'_k$$

$$\sum h_k = \frac{f}{D_1}\frac{V_1^2}{2g}L_1 + \frac{f}{D_2}\frac{V_2^2}{2g}L_2 = \frac{0{,}04}{0{,}15}\frac{(5{,}66)^2}{2.9{,}81}.8 + \frac{0{,}04}{0{,}22}\frac{(2{,}63)^2}{2.9{,}81}.16 = 4{,}51\ m$$

$$\sum h'_k = 0{,}5\frac{V_1^2}{2g} + \frac{(V_1-V_2)^2}{2g} + 1.\frac{V_2^2}{2g} = 0{,}5.\frac{(5{,}66)^2}{2.9{,}81} + \frac{(5{,}66-2{,}63)^2}{2.9{,}81} + 1.\frac{(2{,}63)^2}{2.9{,}81}$$

$\sum h'_k = 1{,}637$ m ve h= 65-60 =5 m

$$H_t = h + \sum h_k + \sum h'_k = 5 + 4{,}51 + 1{,}637 = 11{,}147 \text{ m}$$

Pompanın gücü:

$$N_p = \frac{\gamma\, Q\, H}{\eta} = \frac{9{,}81.(0{,}100)11{,}147}{0{,}90} = 12{,}15 \text{ kW}$$

Çözüm 2 (İdeal Denklemlerle):

$$V_{1ideal} = \frac{\pi D_1}{8} = \frac{3{,}14.0{,}15}{8} = 0.05 \text{ m}$$

$$V_{2ideal} = \frac{\pi D_2}{8} = \frac{3{,}14.0{,}22}{8} = 0{,}08 \text{ m}$$

Pompa terfi yüksekliği:

$$H_t = h + \sum h_{kideal} + \sum h'_{kideal}$$

$$\sum h_k = f7{,}852x10^{-3} D_1 L_1 + f7{,}852x10^{-3} D_2 L_2 =$$
$$0{,}04.7{,}852x10^{-3}.0{,}15.8 + 0{,}04.7{,}852x10^{-3}.0{,}22.16 = 2{,}36x10^{-3} m$$

$$\sum h'_k = 0{,}5.7{,}852x10^{-3} D_1^2 + 7{,}852x10^{-3}(D_1 - D_2)^2 + 1.7{,}852x10^{-3} D_2^2$$

$$= 0{,}5.7{,}852x10^{-3}(0{,}15)^2 + 7{,}852x10^{-3}(0{,}15 - 0{,}22)^2 + 1.7{,}852x10^{-3}(0{,}22)^2 =$$

$0{,}506x10^{-3}$ m

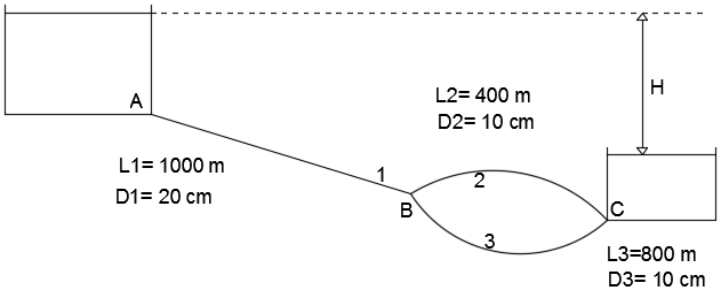
$$H_t = 5 + 2{,}36x10^{-3} + 0{,}506x10^{-3} = 5{,}002 \text{ m}$$

İdeal pompa gücü;

$$N_{pideal} = \frac{\gamma QH}{\eta} = \frac{9{,}81.(0{,}100)5{,}002}{0{,}90} = 5{,}45 \text{ kW}$$

Uygulamadan da anlaşılacağı üzere ideal debi sabit çaplı borular için kullanılabir. Fakat değişken çaplı borular için ideal debi kavramı kullanılamaz.

Uygulama 3: Şekilde görülen hazne-boru sisteminde AB borusundan geçen debi 31,41 l/s olması için A ve C hazneleri arasındaki kot farkını bulunuz. Sürtünme katsayısı f=0,02 alınacaktır (Şekerdağ, 2016).



Çözüm 3 (Klasik Denklemlerle):

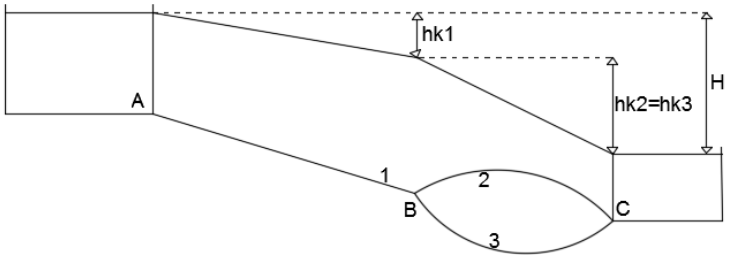
$$H = h_k^{AB} + h_k^{BC}$$

$$V_{AB} = v_1 = \frac{Q_{AB}}{A_{AB}} = \frac{0{,}0314x4}{\pi(0{,}20)^2} = 1{,}0 \text{ m/s}$$

$$h_k^{AB} = \frac{f}{D_{AB}} \frac{V_{AB}^2}{2g} L_{AB} = \frac{0{,}02}{0{,}20} \frac{(1{,}0)^2}{2.9{,}81} 1000 = 5{,}10 \text{ m}$$

BC borusundaki yük kaybı :

B ve C noktalarında tek piyezometre kotu olduğundan 2 ve 3 borularındaki sürekli yük kaybı biribirine eşittir.



$$h_k^{BC} = h_{k2} = h_{k3}$$

$$\frac{f}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} L_2 = \frac{f}{D_3} \frac{V_3^2}{2g} L_3$$

$$\frac{0{,}02}{0{,}10} \frac{V_2^2}{2.9{,}81} 400 = \frac{0{,}02}{0{,}10} \frac{V_3^2}{2.9{,}81} 800 \gg V_2 = 1{,}41 V_3$$

Süreklilik denkleminden:

$$Q_{AB} = Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$0{,}0314 = V_2 \frac{\pi(0{,}10)^2}{4} + V_3 \frac{\pi(0{,}10)^2}{4}$$

$V_2 + V_3 = 3{,}998$

2 ve 3 denklemi ortak çözülürse;

$V_2 = 2{,}34$ m/s ve $V_3 = 1{,}65$ m/s

Hazneler arasındaki kot farkı:

$$h_k^{BC} = h_{k2} = \frac{f}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} L_2 = \frac{0{,}02}{0{,}10}\frac{(2{,}34)^2}{2.9{,}81} 400 = 22{,}23 \text{ m}$$

$$H = h_k^{AB} + h_k^{BC} = 5{,}10 + 22{,}23 = 27{,}43 \text{ m}$$

Çözüm 3 (İdeal Denklemlerle):

$Q_{ideal} = 0{,}308 D^3 = 0{,}308\ (0{,}2)^3 = 0{,}0024$ m^3

$Q_{istenen} = 31{,}4\ l/s = 0{,}0314\ m/s$

$\frac{Q_{istenen}}{Q_{ideal}} = \frac{0{,}0314}{0{,}0024} = 13{,}08$ ölçek olacak şekilde ideal debi alındığı takdirde ihtiyaç debisi elde etmek için ölçek olarak alınan Q_{ideal} nin 13.08 katı alınmalıdır.

$H = h_k^{AB} + h_k^{BC}$

$h_{kideal}^{AB} = fD\ L_{AB} 7{,}852x10^{-3} = 0{,}02.(0{,}2)1000.7{,}852x10^{-3} = 0{,}031$ m

$h_{kideal}^{BC} = fD\ L_{BC} 7{,}852x10^{-3} = 0{,}02(0{,}1)400.7{,}852x10^{-3} = 0{,}06$ m

H = 0,031+0,06= 0,037 m

Uygulama 4:

Bir hazneden diğerine *D=0.25* m çapında ve *L= 1000* m uzunluğunda bir boru ile su iletilecektir. Suyun kinematik viskozitesi *v=1.306x10-6 m^2/sn*, borunun pürüzlülük yüksekliği k_s= 0.5 mm ve debi Q =0.051 m3/sn olduğuna göre yük kaybını bulunuz (Berkün, 2015).

Çözüm 4 (Klasik Denklemlerle):

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.051x4}{\pi x 0{,}25^2} = 1.039 \text{ m/sn}$$

$$\frac{k_s}{D} = \frac{0{,}50}{250} = 0.002$$

$$Re = \frac{0{,}25x1.039}{1.306x10^{-6}} = 198889{,}7 \cong 2x10^5$$

Re ve $\frac{k_s}{D}$ değerleri kullanılarak Moody diyagramından f= 0.0245 bulunur. Yük kaybı, değerler denkleme konularak bulunur.

$$h_k = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = \frac{0.0245x1000x1.039^2}{0.25x2x9,81} = 5.39 \text{ m}$$

Çözüm 4 (İdeal Denklemlerle):

$$h_{kideal} = fDL7,852x10^{-3}$$

denkleminde *f* değerini bulmak için Moody diyagramı kullanılır. Bu yüzden Re_{ideal} ve $\frac{k_s}{D}$ değerleri bulunur.

$$\frac{k_s}{D} = \frac{0,50}{250} = 0.002$$

$$Re = \frac{0.3925}{v}D^2 = \frac{0,3925}{1.306x10^{-6}}(0,25)^2 = 18783,5 \cong 1,8x10^4$$

Moody denkleminden *f*= 0.0245 bulunur.

$$h_{kideal} = fDL7,852x10^{-3} = 0,0245.0,25.1000.7,852x10^{-3} = 0,0480 \text{ m}$$

Uygulama 5: Su, uzunluğu 50 m ve iç çapı 50 mm olan çelik bir borudan 3 m/s hızla akmaktadır. Suyun sıcaklığı 40ºC ve Re= 229900 olduğuna göre Moody diyagramını ve Darcy formülünü kullanarak yük kaybını bulunuz. (k_s = 4.57x10^{-5} m) (Berkün, 2015).

Çözüm 5 (Klasik Denklemlerle):

$$h_k = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

Ticari çelik borular için k_s= 4.57x10^{-5} m olduğuna göre;

$$\frac{k_s}{D} = \frac{4.57x10^{-5}}{0,050} = 0.0009$$

Moody diyagramından f= 0.02 okunarak Darcy formülünde yerine konursa,

$$h_k = 0.02\frac{50}{0.05}\frac{3^2}{2x9,81} = 9.17 \text{ m}$$

veya

$$h_k = 9.17x9,81 = 89,96 \text{ kPa}$$

Çözüm 5 (İdeal Denklemlerle):

Ticari çelik borular için k_s= 4.57x10^{-5} m olduğuna göre;

$$\frac{k_s}{D} = \frac{4.57x10^{-5}}{0,050} = 0.0009$$

Moody diyagramından f= 0.02 okunur İdeal Darcy formülünde yerine konur,

$$h_{k_{ideal}} = f\frac{1}{D}\frac{\frac{\pi^2D^2}{64}}{2g}L = f\frac{\pi^2D}{128g}L = 7,862x\ 10^{-3}\ fDL$$

$$h_{k_{ideal}} = 0.02x0,050x50x7,852x10^{-3} = 0,3926x10^{-3}\ \text{m}$$

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere "İdeal hız" kavramı diğer klasik yaklaşımlar gibi kesin çözüm vermemektedir. Kavram ile elde edilen matematik ifadeler her bir büyüklük için ancak ölçek görevini görebilmektedir. Bu örneklerin yanısıra ayrıca Çizelge 4.1'de klasik yollarla hesaplanan ve ideal hız kavramı ile hesaplanan debiler ve hızlar sayısal değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ancak çizelgeden de açık bir şekilde görüldüğü üzere değerler biribirinden farklı görülmektedir. Bununla birlikte sonraki çalışmalarda bu değerlerin arasında matematik bir ilişkinin olup olmadığının araştırılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında bu araştırmaya girilmemiştir. Bu iki husus kavramın dezavantajları olarak görülebilir ki ilerde başka araştırmacılar tarafından kavramın bu ve benzeri dezavantajlarının giderilmesi umulmaktadır.

Çizelge 4.2. Normal debi ve ideal debi karşılaştırma cetveli

No	D (m)	Q (m^3/s)	Hız (V) m/sn	İdeal Hız (V_{ideal}) m/sn (ΠD /8)	Q_{ideal}	Q/Q_{ideal}
1	0.5	0.10	0.51	0.20	0.04	2.59
2	0.5	0.20	1.02	0.20	0.04	5.19
3	0.5	0.30	1.53	0.20	0.04	7.78
4	0.5	0.40	2.04	0.20	0.04	10.38
5	0.5	0.50	2.55	0.20	0.04	12.97
6	0.5	0.60	3.06	0.20	0.04	15.56
7	0.5	0.70	3.57	0.20	0.04	18.16
8	0.5	0.80	4.07	0.20	0.04	20.75
9	0.5	0.90	4.58	0.20	0.04	23.35
10	0.5	1.00	5.09	0.20	0.04	25.94
11	0.5	1.10	5.60	0.20	0.04	28.53
12	0.5	1.20	6.11	0.20	0.04	31.13
13	0.5	1.30	6.62	0.20	0.04	33.72
14	0.5	1.40	7.13	0.20	0.04	36.32
15	0.5	1.50	7.64	0.20	0.04	38.91
16	1	0.10	0.13	0.39	0.31	0.32
17	1	0.20	0.25	0.39	0.31	0.65
18	1	0.30	0.38	0.39	0.31	0.97
19	1	0.40	0.51	0.39	0.31	1.30
20	1	0.50	0.64	0.39	0.31	1.62
21	1	0.60	0.76	0.39	0.31	1.95
22	1	0.70	0.89	0.39	0.31	2.27
23	1	0.80	1.02	0.39	0.31	2.59
24	1	0.90	1.15	0.39	0.31	2.92
25	1	1.00	1.27	0.39	0.31	3.24
26	1	1.10	1.40	0.39	0.31	3.57
27	1	1.20	1.53	0.39	0.31	3.89
28	1	1.30	1.66	0.39	0.31	4.22
29	1	1.40	1.78	0.39	0.31	4.54
30	1	1.50	1.91	0.39	0.31	4.86
31	1.5	0.10	0.06	0.59	1.04	0.10
32	1.5	0.20	0.11	0.59	1.04	0.19
33	1.5	0.30	0.17	0.59	1.04	0.29
34	1.5	0.40	0.23	0.59	1.04	0.38
35	1.5	0.50	0.28	0.59	1.04	0.48
36	1.5	0.60	0.34	0.59	1.04	0.58
37	1.5	0.70	0.40	0.59	1.04	0.67
38	1.5	0.80	0.45	0.59	1.04	0.77

Çizelge 4.2.'nin devamı. Normal debi ve ideal debi karşılaştırma cetveli

No	D (m)	Q (m^3/s)	Hız (V) m/sn	İdeal Hız (V_{ideal}) m/sn (ΠD /8)	Q_{ideal}	Q/Q_{ideal}
39	**1.5**	**0.90**	0.51	0.59	1.04	0.86
40	**1.5**	**1.00**	0.57	0.59	1.04	0.96
41	**1.5**	**1.10**	0.62	0.59	1.04	1.06
42	**1.5**	**1.20**	0.68	0.59	1.04	1.15
43	**1.5**	**1.30**	0.74	0.59	1.04	1.25
44	**1.5**	**1.40**	0.79	0.59	1.04	1.35
45	**1.5**	**1.50**	0.85	0.59	1.04	1.44
46	**2**	**0.10**	0.03	0.79	2.47	0.04
47	**2**	**0.20**	0.06	0.79	2.47	0.08
48	**2**	**0.30**	0.10	0.79	2.47	0.12
49	**2**	**0.40**	0.13	0.79	2.47	0.16
50	**2**	**0.50**	0.16	0.79	2.47	0.20
51	**2**	**0.60**	0.19	0.79	2.47	0.24
52	**2**	**0.70**	0.22	0.79	2.47	0.28
53	**2**	**0.80**	0.25	0.79	2.47	0.32
54	**2**	**0.90**	0.29	0.79	2.47	0.36
55	**2**	**1.00**	0.32	0.79	2.47	0.41
56	**2**	**1.10**	0.35	0.79	2.47	0.45
57	**2**	**1.20**	0.38	0.79	2.47	0.49
58	**2**	**1.30**	0.41	0.79	2.47	0.53
59	**2**	**1.40**	0.45	0.79	2.47	0.57
60	**2**	**1.50**	0.48	0.79	2.47	0.61

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su tüm canlı ve cansız doğal ortam için hayati bir öneme sahiptir. Ancak artan nüfusa ve çeşitlenerek artan su ihtiyacına paralel olarak gün geçtikçe suya duyulan ihtiyaç artmaktadır ve yakın gelecekte dünyanın birçok yerinde su kıtlığı yaşanması beklenmektedir. Suyun yetersiz olması, aynı zamanda yağışların ve tatlı su kaynaklarının yeryüzünde homojen dağılmaması suyun depolanmasını ve taşınmasını zorunlu kılmaktadır. Su taşınımı hidrolik açıdan ya borularla ya da açık kanallarla sağlanmaktadır. Buharlaşmayı önlemek, istimlâk bedelini azaltmak gibi nedenlerle borularla taşınım gittikçe daha çok tercih edilmektedir. Boru akımları ile ilgili çok sayıda basılı çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların tamamında kesit içerisinde hızın parabolik veya logaritmik dağıldığından hareketle analizler yapılmıştır. İlk kez Toprak (2016a) tarafından önerilen "ideal hız" kavramına göre kesit içerisinde hızın dairesel dağıldığı kabulü yapılmıştır. Bu tez çalışmasında "ideal hız" kavramına göre hidrolik ve akışkanlar mekaniğinde sıkça kullanılan bağıntıların sadeleştirilebileceği düşünülmüş ve "ideal hız" kavramı tüm yönleriyle tartışılmıştır.

Ayrıca "ideal hız" kavramı doğrultusunda yeniden yazılan denklemler ile ilgili örnek uygulamalar yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

İdeal hız kavramına göre revize edilen bağıntılarda denklemin iki tarafındaki ifadelerin boyutları aynı değil ve hız metre boyutunda elde edilmektedir. Pratikte kullanılan bütün bağıntılar homojen değildir. İdeal hızın boyutunu normal hız boyutuna getirmek için tıpkı Chezy veya Manning – Strickler bağıntılarındaki n veya k katsayıları gibi "ideal hız" denklemini de 1 veya 1'e çok yakın ve 1/s boyutunda bir katsayı ile çarparak hız boyutuna getirmek mümkündür.

Önerilen hız dağılımı literatürdeki deneysel ve teorik çalışmalarla önemli oranda çelişmektedir ve "ideal hız" kavramına dayalı olarak literatürde bilinen bazı formüller modifiye edilmiş ancak bu varsayımın pratiğe uyumunun tartışılması gerekmektedir. Zira "ideal gaz" ve "ideal akışkan" kavramları da ilk ortaya atıldığında deneysel ve teorik çalışmalarla önemli oranda çelişmekteydi çünkü doğada ne ideal gaz ne de ideal akışkan mevcuttur. Nitekim hâlihazırdaki tüm uygulamalarda kesit içerisindeki parabolik hız dağılımı da aslında itiraza açık bir yaklaşımdır. Parabol kabul edildiği halde bu parabol denklemi de parametreleri ile birlikte standart değildir. Akım özellikleri (basınç, debi, hız gibi), akışkan özellikleri (viskozite, birim hacim ağırlığı

gibi) ve akım ortamı özelliklerine (kesitin geometrisi, kesitin büyüklüğü veya küçüklüğü, pürüzlülüğü, boyuna eğim gibi) göre değişmektedir.

Kavram ilk kez 2016 yılında literatüre geçmiştir. Kavram oldukça yeni olduğundan doğrudan kavram ile ilgili referans literatürde yer almamaktadır. Başka bir ifade ile konu ile doğrudan ilgili referanslar kısıtlıdır.

Boru ve açık kanal akımları çoğu kez hatta neredeyse tamamı türbülanslı akımdır. Türbülanslı boru akımlarında çekirdek bölgesi için logaritmik hız dağılımı teorik olarak elde edilse de kesit ortalama akım hızı elde edilmektedir ki bu hızın kesit içerisinde üniform (sabit/değişmez) dağılıyormuş gibi kabul edildiği anlamına gelmektedir. Önerilen kavram hem türbülanslı hem de laminer akım halleri için geçerlidir. Ayrıca hem boru hem de açık kanal akımları için önerilmektedir. Ancak bu tezde kavram sadece boru akımları için ele alınmıştır.

Aslında ideal akışkanlar sadece sürekli yük kayıplarının ihmal edilebilen kısa mesafeleri için kullanılmamaktadır. İdeal akışkan kavramına ayrıca mühendislik öğretiminde pedagojik açıdan da ihtiyaç duyulmaktadır. "İdeal hız" kavramının böyle bir kısıtından söz edilebilir ancak kavram bir ölçek niteliğindedir. Dolayısı ile bu kısıt kavramın kullanılmaması ve/veya geliştirilmemesi gerektiği anlamına gelmez. Bunun yanı sıra yine mühendislik öğretiminde pedagojik açıdan da kullanılabilir bir kavramdır.

Her kavram ilk ortaya atıldığında onun öncesinde problemler bir şekilde çözülüyordu elbette. Ancak bu kavram literatürde kabul gördüğü takdirde başka araştırmacılar başka kullanım alanlarını, başka kullanım koşullarını (limitlerini/kısıtlarını/sınırlarını) tespit edecekler, belki başka konseptlerle geliştirecek ve boru/açık kanal sektörünü önemli ölçüde etkileyecektir.

Güncel literatürde bulunan ve hidrolik hesaplarda kullanılan bağıntı ve formüller birden fazla kabul ve varsayımlar üzerine kurulmuştur. İdeal hız kavramı ile hızın kesit içerisinde dairesel dağıldığı tek bir kabul yapılmaktadır.

Pedagojik açıdan "ideal hız" kavramı ile matematik ifadeler daha kolay elde edilebilmektedir. Klasik yollarla elde edilen denklemler net çözümler sağlamadığı gibi bazen çözümü de güç ve karmaşık hale getirmektedir. Oysa bu yaklaşım, yine yaklaşık çözüm sunmakla birlikte çözümü karmaşık olmaktan kurtarmaktadır. Nitekim "ideal hız" kavramı ile hidrolik büyüklükler tek bir değişken (boru çapı) ile ifade edilebildiği için kavramın daha pratik olduğu söylenebilir. Oldukça yeni olduğundan kavramın,

akademik alanda gelişmeye açık, araştırma projeleri, patent, akademik yayın getirisinin yüksek olduğu düşünülebilir.

Bununla birlikte "ideal hız" kavramının bazı dezavantajlarından da söz edilebilir. Örnek olarak; "İdeal hız" kavramı diğer klasik yaklaşımlar gibi kesin çözüm vermemektedir. Kavram ile elde edilen matematik ifadeler her bir büyüklük için ancak ölçek görevini görebilmektedir. Ayrıca "ideal hız" kavramına göre yeniden yazılan bağıntılar ampirik olduğundan boyutsal açıdan homojen değildir. Kavram oldukça yenidir bu yüzden kullanıcıya yeterince güven verememektedir. Boru üretim sektörü gibi teknik ve teknolojik alt yapıdan henüz yoksundur. Klasik yaklaşımlara göre yapılan mevcut teknik ve teknolojik yatırımların bu çalışmada önerilen kavrama büyük direnç göstermesi beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

Abdeen, M. A. M., 2006. Development of Artificial Neural Network Model for Simulating the Flow Behavior in Open Channel Infested by Submerged Aquatic Weeds. ***Mechanical Science and Technology***, Vol. 20 (10), PP. 1576-1589, 2006.

Abdulkadir, M., Hernandez-Perezb, V., Kwatia, C.A., and Azzopardi, B.J., 2018. Interrogating flow development and phase distribution in vertical and horizontal pipes using advanced instrumentation. ***Chemical Engineering Science***, 31 August 2018, Vol.186, Pp. 152-167

Aksoy, B., Altan-Sakarya, A.B., 2006. Optimal Lined Channel Desing. ***Canadian Journal of Civil Engineering***, 2006, 33(5), 535-545.

Akter, T., Simonovic, S.P., 2005. Aggregation of Fuzzy Views of a Large Number of Stakeholders for Multiobjective Flood Management Decision-making. ***Journal Environmental Management***, 2005, 77(2), 133-142

Aracı, S., ve Kınacı, Ö.K., 2018. Boru İçi Akışlarda Basınç Kaybının Sayısal Hesabı. GMO-SHIPMAR, Mart 2018, Number: 211 (boru basınç kaybı hesabı).

Ardekani, M.N., Al Asmar, L., Picano, F., Brandt, L., 2018. Numerical Study of Heat Transfer in Laminar and Turbulent Pipe Flow with Finite-size Spherical Particles. ***Internatıonal Journal Of Heat And Fluıd Flow***, Jun 2018, Vol.71, PP.189-199.

Ardıçlıoğlu, M., Öztürk, Ö., ve Yakupoğlu, A., 2005. Açık Kanallarda Hız Ölçüm Cihazlarının Kullanılması ve Karşılaştırılması. Makina Mühendisleri Odası VI.Ulusal Ölçümbilim Kongresi , 17-18 Kasım 2005.

Ardıçlıoğlu, M., Seçkin, G. ve Öztürk, Ö., 2005. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Debi Hesabı İiçin Entropy Yönteminin Kullanılması. 2005, imo.org.tr

Ardıçlıoğlu, M., Seçkin, G., ve Şentürk, A.İ., 2005. Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının Entropy Yöntemi ile İncelenmesi. 2005 ,imo.org.tr

Babaeyan-Koopaei, K., Valentine, E.M., Swailes, D.C., 2000. Optimal Design of Parabolic-bottomed Triangle Canals. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 126 (6), PP. 408-411, 2000.

Berkün, M., 2015. Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik. Literatür Yayıncılık, ISBN: 978-975-04-0546-4, Sertifika No:10843, Eylül 2015, İstanbul.

Bhattacharjya, R. K., Satish, M. G., 2007. Optimal Design of a Stable Trapezoidal Channel Section Using Hybrid Optimization Techniques. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 133 (4), PP. 323-329, 2007.

Bhattacharjya, R. K., 2006. Optimal Design of Open Channel Section Incorporating Critical Flow Condition. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 132 (5), PP. 513-518, 2006.

Bryant, D.B., Gorman, J.M., Sparrow, E.M., 2018. Undershoots in the Heat Transfer Coefficient and sFriction-Factor Distributions in the Entrance Region of Turbulent Pipe Flows. Jun 2018, Vol. 140 Iss. 6, AN. 061702.

Cameron, E., Peloso, G.F., 2001. An application of Fuzzy Logic to the Assessment of Aquifers' Pollution Potential. Environmental Geology, 2001, 40 (11–12), 1305–1315.

Chahar, B. R., 2005. Optimal Design of Parabolic Canal Section. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE,*** Vol. 131 (6), PP. 546-554, 2005.

Chang, X.Y., Yu, X.J., Liu, X.K., Li, Z., 2017. Triggering Strategy of Railgun Power Supply for the Accurate Control of the Armature Muzzle Velocity. 2017 Ieee 21st Internatıonal Conference On Pulsed Power (PPC), I EEE, 2017.

Chang, X.Y. Yu, X.J., Liu, X.K., Li, Z., 2017. Triggering Strategy of Railgun Power Supply for the Accurate Control of the Armature Muzzle Velocity. 21st IEEE International Conference on Pulsed Power (PPC), Brighton, ENGLAND, 18-22Jun 2017

Dağlı, F., Kaleli, A., 1999. Katıların Borularla Hidrolik Taşınımında Sürtünmenin Korelasyonu. I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi, 3-5 Aralık 1999, PP. 387-395

Farazimajd, S., 2015. Kararlı Akım Koşullarında Akıma Batmamış Tekil Eğik Silindir Çevresinde Akım ve Türbülans Yapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17 ŞUBAT 2015 , https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Das, 2000. Optimal Channel Cross Section with Composite Roughness. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 126 (1), PP. 68-72, 2000.

Das, 2007. Flooding Probability Constrained Optimal Design of Trapezoidal Channels. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 133, (1), PP. 53-60, 2007.

Das, 2007. Optimal Design of Channel Having Horizontal Bottom and Parabolic Sides. *Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, Vol. 133, (2), PP. 192-197, 2007.

Deng, Y., Sun Liang,Y., Yu,B., Wan, P., 2017. Implementation of the IDEAL Algorithm for Complex steady-state Incompressible Fluid Flow Problems in OpenFOAM. 2017, Vol. 88, PP. 63–73

Depeweg, H., Urquieta, E. R., 2004. GIS Tools and the Design of Irrigation Canals. ***Irrigation and Drainage***, Vol. 53 (3), PP. 301-314, 2004.

Dinardo, G., Fabbiano, L., Vacca, G., AiméLay-Ekuakille, 2018. Vibrational Signal Processing for Characterization of Fluid Flows in Pipes. ***Measurement***, January 2018, Vol.113, PP. 196-204.

Dubos, 1988. Application of the Manning and Strickler Formula to Land Improvement Projects in Cote-Divoire. ***Oleagineux***, Vol. 43 (2), PP. 49-54, 1988.

Erdoğ, E., 2017. Açık Kanal Akımlarında Kararsızlık Derecesinin Hidrolik Karakteristikler Üzerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2014, https://tez.yok.gov.tr/Ulusal Tez Merkezi

Ermolin, Y., 2000. “Errors in Measuring the Flow Discharge in a Trapezoidal Open Canal” Rural Environ Eng , 2000, 39, 74-81.

Federico, 1998. Determining Optimal Canal Sections Under Conditions of Constraint. ***Genio Rurale***, Vol. 61 (9), PP. 30-35, 1998.

Flynn, L. E., Marino, M. A., 1987. Canal Design: Optimal Cross-sections. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE,*** Vol. 113 (3), PP. 335-355, 1987.

Froehlich, D. C., 2008. Most Hydraulically Efficient Standard Lined Canal Sections. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, vol. 134 (4), PP. 462-470, 2008.

Froehlich, D. C., 1994. Width and Depth-constrained Best Trapezoidal Section. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 120 (4), PP. 828-835, 1994.

García-Hermoso A., Martínez-Vizcaíno, V., Gomez-Marcos, M.A., Cavero-Redondo, I., Recio-Rodriguez, J.I., García-Ortiz, L., 2018. Ideal Cardiovascular Health and Arterial Stiffness in Spanish Adults. ***Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases***, May 2018, Vol. 27, No. 5, PP. 1386–1394.

Garcianavarro, P., Alcrudo, F., Priestley, A., 1994. An Implicit Method For Water-Flow Modelling In Channels and Pipes. ***Journal Of Hydraulic Research***,1994, 32(5), pp. 721-742.

Garcianavarro, P., Alcrudo, F., and Priestley, A., 1994. An Implicit Method For Water-Flow Modeling in Channels and Pipes. ***Hydraulic Research***, Vol. 32(5), PP. 721-742, 1994.

Gonzalez-Narvaez, R.E., Ares de Parga, A.M., Ares de Parga, G., 2017. Mixing of Relativistic Ideal Gases with Relative Relativistic Velocities. ***Annals of Physics***, 2017, Vol. 376, PP. 391–411.

Gori, G., Guardone, A., 2018. VirtuaSchlieren: A hybrid GPU/CPU-based schlieren simulator for ideal and non-ideal compressible-fluid flows. ***Applied Mathematics and Computation***, 2018, Vol. 319, PP. 647–661

Greiner, W., 2009. Classical Mechanics: Systems of Particles and Hamiltonian Dynamics, 2nd Ed. ***Springer Science & Business Media***, PP. 580, 2009.

Guo, C. Y., Hughes, W. C., 1984. Optimal Channel Cross-section with Freeboard. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE,*** Vol. 110(3), PP. 304-314, 1984.

Günaydın, E., 2008. Açık Kanla Akımlarında Hız Dağılımının Farklı Alet ve Yöntemler ile İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2008, https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Hankin, B. G., Beven, K. J., 1998. Modeling Dispersion in Complex Open Channel Flows: Fuzzy calibration (2). ***Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA) (Stochastic hydrology and hydraulics),*** Vol. 12 (6), PP. 397-412, 1998.

Hilali, İ., Karadag, R., Bulut, H., Aktacir, M.A., 2018. A Study on Ideal Distance Between Staggered Metal Hydride Tanks in Forced Convection. **İnternational jour nalo fhydrogenenergy,** 2018, PP. 1- 8, 2018 Hydrogen Energy Publications LLC. Published

Hua Qiu, Zheng-an Yao . On the well-posedness of the ideal incompressible viscoelastic flow in the critical Besov spaces. ***Computers and Mathematics with Applications*** , 2018, Vol. 76, PP. 257–275

İlkentapar, M., Öner, A.A., 2017. Geniş Başlıklı Savak Etrafındaki Akımın İncelenmesi. ***Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, Cilt 6, Sayı 2, 2017

Jain, Bhattacharjya, R. K., Sanaga, S., 2004. Optimal Design of Composite Channels Using Genetic Algorithm. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 130 (4), PP 286-295, 2004.

Kahya, E., 2007. Hidrolik Ders Notu. Hidrolik. B.M. Sümer, İ.Ünsal, M. Bayazıt, Birsen Yayınevi, 2007. İstanbul,itu.edu.tr

Kayıkçı, N.S., Güney, M.Ş., 2009. Pompa Durmasıyla Oluşan Kararsız Akımların Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması. ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 2009, Cilt. 24 Sayı 2

Kentel, Aral, M., 2007. Fuzzy Multiobjective Decision-making Approach for Groundwater Resources Management. ***Hydrologic Engineering (ASCE)***, Vol. 12 (2), PP. 206-217, 2007.

Kırkıgöz, M.S., Şimşek, O., Aköz, MS. ve Soydan, G. 2014. Tabana Oturan Yatay Bir Boru Etrafındaki Türbülanslı Akımın Deneysel ve Sayısal Analizi. 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 7-9 Kasım 2014, www.imo.org.com.tr

Kotomin, A.A., Dushenok, S.A., Ilyushin, M.A., 2017. Detonation velocity of highly dispersed ammonium perchlorate and its mixtures with explosive substances. ***Combustıon Explosıon And Shock Waves***, May 2017, Vol. 53, IS. 3 PP. 353-357

Leugering, Schmidt, J. P. G., 2002. On the Modelling and Stabilization of Flows in Networks of Open Canals. ***SIAM J. Control Optim***, Vol. 41 (1), PP. 164-180, 2002.

Li,Y., Wen, Y., 2017. Radial Distribution of Fragment Velocity of Asymmetrically Initiated Warhead. ***International Journal of Impact Engineering***, 2017, Vol. 99, PP. 39-47

Loganathan, G. V., 1991. Optimal-design of Parabolic Canals. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 117 (5), PP. 716-735, 1991.

Lohani, A.K., Goel, N.K., Bhatia, K.K.S., 2007. Deriving Stage-Discharge-Sediment Concentration Relationships Using Fuzzy Logic. ***Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques***, 2007, 52 (4), 793–807.

Macchelli, A., Gorrec, Y. Ramirez, H., 2017. Boundary Energy-Shaping Control of an Ideal Compressible Isentropic Fluid in 1- , IFAC PapersOnLine /Conference Paper Archıve, 2017, Vol. 50-1, PP. 5598–5603

Maden, T. E., 2013. Havzalararası Su Transferinde Büyük Adım: KKTC İçme Suyu Temin Projesi. Ortadoğu Analiz, Şubat 2013, Cilt 5 Sayı 50

Mao, Q. B., Liu, J., 2016. Actıve Control Sound Transmıssıon Through Trıple-Plate Structure Usıng Decentralızed Velocıty Feedback. 23rd International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Athens, GREECE,Jul 10-14, 2016

Mao, Q.B., Liu, J., 2016. Actıve Control Sound Transmıssıon Through Trıple-Plate Structure Usıng Decentralızed Velocıty Feedback. Proceedıngs Of The 23rd Internatıonal Congress On Sound And Vıbratıon: From Ancıent To Modern Acoustıcs, Proceedings of the International Congress on Sound and Vibration, 2016

Meniconi S., Duan, H., Brunone, B., Ghidaoui, M., Lee, P., Ferrante, M., 2014. Further Developments in Rapidly Decelerating Turbulent Pipe Flow Modeling. ***J. Hydraul. Eng. (ASCE)***, Vol. 140 (7), PP. 04014028-1-04014028-9, 2014.

Mironenko, A., Willardson, L. S., Jenab, 1984. Parabolic Canal Design and Analysis. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE,*** Vol. 110 (2), PP. 241-246, 1984.

Mirtorabi, M., Miraboutalebi, S., Masoudi, A.A., Matin, L.F., 2018. Quantum Gravity Modifications of the Relativistic Ideal Gas Thermodynamics. ***Physica A: Statistical Mechanics and its Applications***, 15 September 2018, Vol. 506, P. 602-612

Monadjemi, P., 1994. General Formulation of Best Hydraulic Channel Section. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 120 (1), PP. 27-35, 1994.

Mondal, B.C., Dhar, A.S., 2017. Upheaval Buckling of Surface-laid Offshore Pipeline. ***APPLIED OCEAN RESEARCH***, Jun 2017, Vol. 66, PP. 146-155

Nakayama, Y. 2018. Flow of Ideal Fluid. Introduction to Fluid Mechanics (Second Edition), 2018, PP. 233-254

Nakayama, Y., 2018. Flow of Ideal Fluid. Introduction to Fluid Mechanics (Second Edition), 2018, PP. 109

Nakayama, Y., 2018. Fundamentals of Flow. Introduction to Fluid Mechanics (Second Edition), 2018, PP. 51-65

Nath, T., Gupta, R.K., Singh, L.P., 2017. Solution of Riemann problem for ideal polytropic dusty gas. ***Chaos, Solitons and Fractals Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena,*** 2017, Vol. 95, PP. 102–110

Nili-Ahmadabadi, M., Nematollahi, O., Cho,D.S., Kim, K.C., 2018. A Numerical Comparison Between Ideal and Dense Gas Fflow Structures in the Supersonic Regime for a Cascade of Wedge-shaped Straight Plates. ***Applied Thermal Engineering***, 2018, Vol. 137, PP. 774–783

Öner, A. 2016 . Geçirimsiz Bir Taban Yakınındaki Başlıklı Bir Boru Hattı Etrafındaki Akımın Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. ***Erciyes Üniversitesi Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi***, 2016, Cilt. 12, No. 1, PP. (40-54)

Öner, A.A,, ve Çobaner, M., Kırkgöz, M.S., Aköz, M.S., 2010. Yatay Bir Dairesel Silindir Etrafındaki Akımda Maksimum Hızın Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. ***DergiPark/Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi,*** 2010, Cilt 26, Issue 1, Sayfalar 63 – 70

Bayraktar, S., 2002. Boru ve Silindirik Kanallardaki Engellerin Akım Üzerindeki Etkilerinin Simülasyonu. ***Research Gate***, March 2002.

Öztürk, Ö., 2006. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hızdagılımının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2006, https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Pegoraro, P.R. and Marangoni, M. and Gut, J.A.W., 2012. Residence Time Distribution Models Derived from Non-Ideal Laminar Velocity Profiles in Tubes. ***Chemıcal Engıneerıng & Technology,*** September 2012 , Vol. 35 Iss. 9, PP. 1593-1603

Qu, X.X., Cao, K., Jiang, H., Zhao,Y.C., Dai, Z.H., Su,Y.H., Zhang, C., 2018. Mechanical anisotropy and ideal strength of ThBC. ***Journal of Physics and Chemistry of Solids***, 2018, Vol. 122 , PP. 203–209

Rahmati, M., Mirdamadi, H.R., Goli, S., 2018. Divergence Instability of Pipes Conveying Fluid with Uncertain Flow Velocity. ***Physica A: Statistical Mechanics and its Applications***, 1 February 2018, Vol. 491, PP. 650-66

Reddy, J. M., 1996. Design of Global Control Algorithm for Irrigation Canals***. Journal of Hydraulic Engineering-ASCE,*** Vol. 122 (9), PP. 503-511, 1996.

Reddy J. M., 1995. Kalman Filtering in the Control of Irrigation Canals. ***Applied Mathematical Modelling****,* Vol*. 19 (4), PP. 201*-209, 1995.

Rituraj Vacca, A., 2018. Modeling the Flow of Non-Newtonian Fluids Through Sharp Orifices. ***Journal Of Fluıds Engıneerıng-Transactıons Of The Asme*** , May2018, Vol.140 Iss.5, A.N. 054501

Roux, J. Tiruveedula, L., 2017. Constant Velocity Combustion Scramjet Cycle Analysis for Non-ideal Mass Flow rate. ***Thermal Science and Engineering Progress***, June 2017, Vol. 2, PP. 8-14

Saber, O., Chester, F.M., Alvarado, J.L., 2014. Dynamıc Analysıs of a Hıgh Load, Hıgh- Speed Actuator for Rock Deformatıon Experımentatıon. ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (DETC), 17-20 August 2014.

Sarıyıldız, E., Ohnishi, K., 2015. IEEE Transactıons on Industrıal Electrnıcs. Jan 2015, Vol.62, SS. 1, PP. 414-422

Shekaari, A., Jafari, M., 2018. Effect of Pairwise Additivity on Finite-Temperature Behavior of Classical Ideal Gas. ***Physica A 497***,2018 , PP. 101–108

Shi, H., Yang, J., Mei, X.S., Shi, H., Gong, G.F., 2015. Coordination Control for Parallel Actuation of Hydraulic Power Assisted Ball Screw Drive System. 2015 Ieee Advanced Informatıon Technology, Electronıc And Automatıon Control Conference (IAEAC), 2015, PP. 1010-1014

Shi, H., Yang, J., Mei, X.S., Shi, H., Gong, G.F., 2015. Coordination Control for Parallel Actuation of Hydraulic Power Assisted Ball Screw Drive System. IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, PEOPLES R CHINA, 19-20 December 2015.

Sun, Q.L., Liu, Y.F., Qi, N.M., Yang, Y., Chen, Z.P., 2017. Dynamics of Motorized Momentum ExchangeTether for Payloads Capture. ***Advances In Space Research***, 1 May 2017, Vol. 59, IS. 9, PP. 2374-2388

Sun, D., Yu, S., Yu, B., Wang, P., Liu, W., 2017. A VOSET Method Combined with IDEAL Algorithm for 3D two-phase flows with Large Density and Viscosity Ratio. ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 2017, Vol. 114, PP. 155–168

Sümer, B.M., Ünsal, İ., Bayazıt, M., Hidrolik. Birsen Yayınevi, ISBN: 9789755112152, PP.316, İstanbul

Swamee, P. K., Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2000. Design of Minimum Seepage Loss Canal Sections. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 126 (1), PP. 28-32, 2000.

Swamee, P. K., Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2000. Minimum Cost Design of Lined Canal Sections. ***Water Resources Management***, Vol. 14, (1), PP. 1-12, 2000.

Swamee, P. K., Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2002. Optimal Design of Transmission Canal. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 128 (4), PP. 234-243, 2002.

Swamee, P. K., Chahar, B. R., 2015. Minimum Water Loss Canal Section, Springer Transactions. Civil and Environmental Engineering-Design of Canals. PP. 97-106, 2015.

Swamee, P. K., Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2002. Design of Minimum Water-loss Canal Sections. ***Hydraulic Research***, Vol. 40 (2), PP. 215-220, 2002.

Swamee, P. K., Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2000. Comprehensive Design of Minimum Cost Irrigation Canal Sections. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 126 (5), PP. 322-327, 2000.

Swamee, P. K., 1995. Optimal Irrigation Canal Sections. ***Irrigation and Drainage Engineering-ASCE***, Vol. 121 (6), PP. 467-469, 1995.

Swamee, P.K, Mishra, G. C., Chahar, B. R., 2001. Design of Minimum Earthwork Cost Canal Sections. ***Water Resources Management***, Vol. 15, pp. 17-30, 2001.

Şekerdağ, N., 2016. Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Problemleri Kitabı. Teknik Mühendislik No:59, Ekim 2016, ISBN: 978-605-133-592-6, 4. Basım, Yayın No:691

Şen. Z., 2004. Fuzzy Logic and System models in Water Sciences. Turkish Water Foundation, 2004, ISBN 9756455-14

Tao, J. 2009. Critical Instability and Friction Scaling of Fluid Flows Through Pipes with Rough Inner Surfaces. ***Physıcal Revıew Letters***, 31 December 2009, Vol. 103, Iss. 26

Thakur, P., 2017. Fluid Flow in Pipes and Boreholes. Advanced Reservoir and Production Engineering for Coal Bed Methane, 2017 , PP. 91-104

Toprak, Z.F., 2018. Doğada Belirsizlik ve Sonuçları. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 01 Eylül- 28 Şubat 2018, Sayı-3, Diyarbakır

Toprak, Z.F., 2016. Ideal Velocity as a New Concept for Flows. Proc. Book of 19th International Water Technology Conference (IWTC 2016), April 21 – 23, 2016, pp: 237-245, Sharm El Sheikh – Egypt.

Toprak, Z.F., 2016. Ideal Velocity in Open Channel. International Conference on Water Resource and Environtment, China-Shangai, 23-26 July 2016

Toprak, Z.F., 2016. Ideal Velocity = A New Consept for Open Channel Flows. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, September 2016, VOL:5, ISS Pp.116-1221

Toprak, Z.F., 2016. A Review of Proposed Techniques Techniques for Modeling Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Cgannels. ***Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering***, September 2016, VOL:5, ISS 3, Pp.122-132

Toprak, Z.F., 2016. D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı 2016 Öğretim Yılı Güz Dönemi, İNS 303 Hidrolik Ders Notları

Toprak Z.F., Şen Z. ve Savcı, M.E., 2004. Comment on Longitudinal Dispersion Coefficients in Natural Channels. ***Water Research***, 2004, 38(13), 3139-3143, DOI: 10.1016/j.watres. 2003.08.004.

Toprak, Z.F., Cigizoglu, H.K., 2008. Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams by Artificial Intelligence Methods. Hydrological Processes, 2008, 22(20), 4106-4129.

Toprak, Z. F., 2009. Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT). ***CLEAN-Soil, Air, Water,*** Vol. 37 (9), PP. 742-752, 2009.

Toprak, Z.F., 2015. D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı 2011 – 2012 Öğretim Yılı Güz Dönemi, 506027 Temel Bulanık Mantık Ders Notları

Toprak, Z.F., 2004. Akarsularda Boyuna Dispersiyon Katsayısının Bulanık Mantık Yöntemi ile Belirlenmesi. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü" ("Determination of Longitudinal Dispersion Coefficients in Natural Channel Using Fuzzy Logic Method, PhD Thesis", Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology), Istanbul

Toprak, Z.F. ve Savci, M.E., 2007. Longitudinal Dispersıon Modeling in Natural Channels by Fuzzy Logic. ***CLEAN-Soil, Air, Water***, 2007, 35 (6), 626–637.

Turecky, P., Mrozek, L., Tajc, L., Kolovratnik, M., 2017. Analysis of pressure losses in the diffuser of a control valve. Experımental Fluıd Mechanıcs 2016 (EFM16), EPJ Web of Conferences, 2017, Vol. 143, UNSP 02135

Turecky, P., Mrozek, L., Tajc, L., Kolovratnik, M., 2016. Analysis of pressure losses in the diffuser of a control valve. 11th International Conference on Experimental Fluid Mechanics (EFM), Marienbad, Czech Republıc,November 15-18 2016

Wang, Y., Yang, Y.L., Wang, S., Huang, Z.L., Yu, T.X., 2018. Dynamic Behavior of Circular Ring Impinging on Ideal Elastic Wall: Analytical Model and Experimental Validation. ***International Journal of Impact Engineering*****,** December 2018, Vol. 122, PP. 148-160

Wertel, J., Vazquez, J., Mose, R., 2010. 3D Staggered Grid Turbulent Flow Modeling in Sewer Net Pipe. ***Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau***, Vol. 1, PP. 83-89, 2010.

Wu, Y.G., Tao, M.D., 2005. The İdeal Velocity Field Of Ship Waves on a Viscous Fluid. ***Acta Physıca Sınıca***, October 2005,Vol. 54, IS. 10, PP. 4496-4500

Wu, B., Firouzi, M., Mitchell, T., Rufford, T.E., Leonardi, C., Towler, B., 2017. A critical review of flow maps for gas-liquid flows in vertical pipes and annuli. ***Chemical Engineering Journal,*** 15 October 2017, Vol. 326, PP. 350-377

Xie, H., Zhu, M., 2017. A regularity Criterion for 3D Ideal Density-Dependent MHD System. ***Computers & Mathematics with Applications***, 15 May 2017, Vol. 73, SS. 10, PP. 2233-2237

Xu, Y., Darga, D., Smid, J., Zysk, A.M., Teh, D., Boppart, S.A., Carney, P.S., 2016. Filtering for Unwrapping Noisy Doppler Optical Coherence Tomography Images for Extended Microscopic Fluid Velocity Measurement Range. ***The Optical Society***, 1 September 2016 , Vol. 41, Issue 17, PP. 4024-4027

Yağcı, O., 2006. The Impact of Different Forms of Single Natural Vagetative Elements on Flow Characteristics in Open Channels. ***İstanbul Technıcal Unıversıty Instıtute Of Scıence And Technology*** , July 2006 , https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Yan, N., Zhou, Y., Wang, Y., Wang, A., Yang, X., Russell, A., Wu, S., Zhao, X., Wang, W., 2016. Association of Ideal Cardiovascular Health and Brachial–Ankle Pulse Wave Velocity. ***Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases***, January 2016, Vol. 25, No. 1: pp 41–48

Zheng, X., Zhang, R., Liu, X., Zhao, H., Liu, H., Gao, J., Wu, Y., Wu, S., 2017. Association Between Cumulative Exposure to Ideal Cardiovascular Health and Arterial Stiffness**.** ***Atherosclerosis***, 2017, Vol. 260, PP. 56-62

Zhu, J.W., Liu, L.H., Tang, G.J ., Bao, W. M., 2016. Integrated Diving Guidance Strategy with Multiple Constraints**.** IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC), Nanjing, PEOPLES R CHINA, 12-14 August 2016.

Zhu, J.W., Liu, L.H., Tang, G.J., Bao, W.M., 2016. Integrated Diving Guidance Strategy with Multiple Constraints. 2016 IEEE Chınese Guıdance, Navıgatıon And Control Conference, IEEE, 2016, PP. 1823-1828

ÖZ GEÇMİŞ

1994 yılı Mardin Kızıltepe doğumludur. Lisans ve master eğitimini Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrolik Ana Bilim dalı alanında tamamlamıştır. 28 Eylül 2016 tarihinden itibaren iki yıldan fazla bir süre Mardin Derik Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde kontrol mühendisi ve ihale işlemlerinden sorumlu teknik eleman olarak çalıştı. Son olarak Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü- Erzurum'da inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	SONGÜL GÖKDEMİR
ÖĞRENCİ NO	15806021
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☒ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans / Doktora
TEZ KONUSU	BORU AKIMLARINDA KULLANILAN BAĞINTILARIN İDEAL HIZ KAVRAMINA GÖRE YENİDEN DÜZENLENMESİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	97
BENZERLİK ORANI	%8
RAPORLAMA TARİHİ	11.12.2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 97 sayfalık kısmına ilişkin, 11.12.2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☒Kabul/Onay sayfaları hariç,
☒Kaynakça hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

11.12.2018

Songül GÖKDEMİR

Tez Danışmanı 11.12.2018 Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK	**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı** 11.12.2018 Doç. Dr. A. Halim KARAŞİN

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.