T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK KANAL SU YÜZÜ PROFİL HESABININ NEWTON-RAPHSON İLE ÇÖZÜMÜ VE BİLGİSAYAR PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ

Abdurrahman KAÇMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Ocak - 2018

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Abdurrahman KAÇMAZ tarafından yapılan "AÇIK KANAL SU YÜZÜ PROFİL HESABININ NEWTON-RAPHSON İLE ÇÖZÜMÜ VE BİLGİSAYAR PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ " konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :Prof. Dr. Tamer BAĞATUR

Üye : Doç. Dr. Fevzi ÖNEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat BATAN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 29/01/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../.....

Doç. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez yazma çalışmalarım süresi boyunca bilgi, deneyim ve sabrını esirgemeyerek beni sürekli destekleyen ve yönlendiren, danışman hocam Prof. Dr. Tamer BAĞATUR'a en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda tez çalışmam ve hayatımın her döneminde benden yardım ve desteklerini esirgemeyen abim Çetin KAÇMAZ'a ve benimle birlikte sabreden eşime ve çocuklarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2018

Abdurrahman KAÇMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR ..... **I**

İÇİNDEKİLER ..... **II**

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÇİZELGE LİSTESİ … ..... **VI**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **VII**

KISALTMA VE SİMGELER ..... **VIII**

1. GİRİŞ **1**

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **3**

3. MATERYAL VE METOT **5**

3.1. Materyal 5

3.2. Metot 5

3.3. Açık Kanal Akımları 5

3.3.1. Serbest Yüzeyli (Açık) Kanallarda Akım 5

3.3.2. Açık Kanal Akım Türleri 7

3.3.2.1. Düzenli-Üniform Akım 9

3.3.2.2. Düzensiz-Üniform Akım 9

3.3.2.3. Düzenli-Üniform Olmayan (Değişken) Akım 9

3.3.2.4. Düzensiz-Üniform Olmayan (Değişken) Akım 9

3.3.3. Değişim Miktarına Göre Üniform Olmayan (Değişken) Akım Türleri 10

3.3.3.1. Ani Değişken Akım 10

3.3.3.2. Tedrici Değişken Akım 10

3.3.4. Açık Kanallarda Su Yüzü Profilleri 11

3.3.5. Froude Sayısı (Fr) 13
3.3.6. Açık Kanallarda Bernoulli Denklemi 14
3.3.6.1. Su Yüzeyi Profili Denkleminin Çıkarılışı 15
3.3.7. Su Yüzeyi Profili Tiplerinin Analizi 18
3.3.8. Su yüzü Profillerinin Belirlenmesi 21
3.3.8.1. Akım Profillerinin Belirlenmesi 21
3.3.9. Su Yüzü Hesap Metotları 22
3.3.9.1. Sayısal Entegrasyon Yöntemi 22
3.3.9.2. Direkt Adım Metodu (Derinlikten – mesafeye) 23
3.3.9.3. Standart Adım Yöntemi (Mesafeden- derinliğe) 24
3.3.10. Newton-Raphson Yöntemi 25
3.3.10.1 Trapez Kanallarda Newton Raphson Metodunun Uygulanması 26
3.3.11. Excel Programı ve Excel Makro İle Programlama 31
3.3.11.1. Excel Programı 31
3.3.11.2. Excel'de VBA Makroları Oluşturma 31
3.3.12. Excel Makro ile Su Yüzü Hesap Programının Geliştirilmesi 32
3.3.13. Örnek Uygulama 1 32
3.3.13.1. Uygulama Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması 34
3.3.14. Örnek Uygulama 2 36
4. SONUÇ VE TARTIŞMA..... 41
5. KAYNAKLAR 43
EKLER 45
ÖZGEÇMİŞ 51

ÖZET

AÇIK KANAL SU YÜZÜ PROFİL HESABININ NEWTON-RAPHSON İLE ÇÖZÜMÜ VE BİLGİSAYAR PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahman KAÇMAZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Bu çalışmada, tedrici değişen açık kanal akımlarında su yüzü profil hesabının standart adım metodu ile belirlenmesinde kolaylık sağlamak için Newton-Raphson sayısal çözümleme denklemlerinin açılımı yapılmıştır. Ayrıca, trapez kesitli açık kanal akımları için Newton-Raphson sayısal çözümleme tekniği ile bir algoritma oluşturulmuş ve her bilgisayarda mevcut olan Excel Makro altında Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar program çözümlü örnek problemlere uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal, su yüzü profili, Standart adım metodu, Newton-Raphson tekniği, Excel makro, Visual basic

ABSTRACT

CALCULATION OF THE OPEN CHANNEL WATER SURFACE PROFILE WITH NEWTON-RAPHSON METHOD AND DEVELOPMENT A COMPUTER ROGRAM

MASTER THESIS

Abdurrahman KAÇMAZ

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

2018

In this study, Newton-Raphson numerical solution equations are extended to facilitate the determination of the water surface profile by the standard step method in the open channel flow. In addition, a computer program has been developed using the Newton-Raphson numerical analysis technique for trapezoidal open channel flows and an algorithm developed under each Excel macro under the Visual Basic programming language. The results obtained by applying the developed computer programs to sample problems are compared.

Key Words: Open Channel, Water Surface Profile, standard step method, Newton-Raphson technique, Excel makro, Visual basic

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Açık kanalda düzenli akım özellikleri ve akımın davranışı	9
Çizelge 3.2.	Su yüzü profili tipleri	13
Çizelge 3.3.	Geliştirilen su yüzü hesaplama Excel Programının görsel giriş sayfası	32
Çizelge 3.4.	Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için hesap tablosu	35
Çizelge 3.5.	Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için hesap tablosu	35
Çizelge 3.6.	2. Örnek problemin hesaplanan program çıktısı	37
Çizelge 3.7.	Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için hesap tablosu	38
Çizelge 3.8.	Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için bilgisayar hesap sonuçları	39

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Trapez kesitli açık kanal	6
Şekil 3.2.	Açık kanal akım türleri	7
Şekil 3.3.	Açık kanal akım türü örnekleri	8
Şekil 3.4.	Açık kanalda düzenli akım çeşitleri(Zaman boyutunda değişim yok, sadece mekan boyutunda değişim var)	8
Şekil 3.5.	Düzenli-değişken akım örnekleri (ani ve tedrici değişken akımlar)	11
Şekil 3.6.	Şekil Su yüzü profilleri	12
Şekil 3.7.	Açık kanalda enerji çizgisi	14
Şekil 3.8.	Açık kanal akımında enerji ve piyezometre çizgileri	15
Şekil 3.9.	Kritik derinliğin oluştuğu durum	17
Şekil 3.10.	Hidrolik sıçramanın oluştuğu durum	17
Şekil 3.11.	M Profilleri	19
Şekil 3.12.	S Profilleri	20
Şekil 3.13.	C Profilleri	21
Şekil 3.14.	Doğrudan adım yöntemi	24
Şekil 3.15.	Newton-Raphson Grafiği	26
Şekil 3.16.	Trapez kanalı ve detay parametreleri	27
Şekil 3.17.	Örnek problem 1 için bir bağlama yapısının arkasındaki su profili	33
Şekil 3.18.	1. Örnek problemin hesaplanan program çıktısı	34
Şekil 3.19.	1. Örnek problemin su yüzü profili program çıktısı	34
Şekil 3.20.	Örnek problem 2 için bir bağlama yapısının arkasındaki su profili	36
Şekil 3.21	2. Örnek problemin su yüzü profili program çıktısı	37

KISALTMA VE SİMGELER

B : Prizmatik kanalın taban genişliği

g : Yerçekimi ivmesi

n : Manning pürüzlülük katsayısı

Q : Debi

J : Enerji çizgisi eğimi

J_0 : Kanal taban eğimi

V : Ortalama akım hızı

x : Yatay pozisyon

y : Akım derinliği

y_c : Kritik derinlik

y_0 : Üniform derinlik

A : Islak alan

P : Islak çevre

L : Toplam kanal uzunluğu

y_h : hidrolik derinliği (m) - (akışın kesit alanının akışın yüzey genişliğine oranı)

h_1 : Memba akım derinliği

V_1 : Memba akım hızı

h_2 : Mansap akım derinliği

V_2 : Mansap akım hızını

TDA : Tedrici değişen açık kanal akımı

1. GİRİŞ

Açık kanal akımları; basınçlı boru akımları ile kıyaslandığında serbest yüzeyli akımlar olarak sınıflandırılır. Açık kanal akımları; ıslak kesitin tamamıyla katı sınırla çevrelenmediği ve üst yüzeti atmosfer basıncına maruz serbest yüzey gösteren akımlardır. Bir akımın, serbest yüzeyli olarak tanımlanabilmesi için su seviyesi üst yüzeyinin atmosferle temasta olması gerekir. Kısaca, su yüzeyi atmosferle temas halinde bulunan bütün akışkan akımları "açık kanal akımı" olarak isimlendirilir. Akımı sağlayan kuvvet, yerçekimi kuvvetinden kaynaklanan ağırlık kuvvetidir. Açık kanallar iki şekilde sınıflandırabilir:

1) Doğal kanallar (akarsular)

2) Suni kanallar (yapay veya insan yapımı kanallar)

Doğal kanallar; yeryüzünde doğal olarak meydana gelmiş suyollarıdır. Bunlar küçükten büyüğe doğru dereler, çaylar, ırmaklar, nehirler ve serbest yüzeyli akan yer altı akarsularıdır.

Suni kanallar ise insanlar tarafından meydana getirilen suyolları ulaşım kanalları, hidroelektrik enerji kanallar sulama kanalları, ayaklı kanallar, drenaj kanalları, dolusavaklar, taşkın yolları, yol hendekleri ve laboratuarda deneme amacıyla inşa edilen model kanallar. Hidrolik teorilerin suni kanallara uygulanması gerçek şartlar oldukça yakın sonuçlar vermekte ve pratik projeleme amaçları için çok uygun olmaktadır.

Bilindiği üzere açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı literatürde verilen tedricen değişen açık kanal akımları için Newton-Raphson tekniğine göre geliştirilen kapalı formdaki denklemlerin bir açılımı yapmaktır. Ayrıca, açık kanal su yüzü profil hesabının standart adım metodu ile belirlenmesinde kolaylık sağlamak için Newton Raphson sayısal çözümleme tekniği ile çözümü bilgisayar programı geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Açık kanal akımlarında kullanılan trapez kesitler için Newton- Raphson sayısal çözümleme tekniği ile bir algoritma hazırlanması ve her bilgisayarda mevcut olan Excel Makro altında Visual Basic programlama dili kullanılarak bir program geliştirmesi tezin kapsamını oluşturmaktadır. Geliştirilen program çözümlü örnek problemlere uygulanacak ve sonuçları kıyaslanacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Açık kanal akımları su yüzeyinin atmosfer ile temas halinde olduğu akımlardır. Su yüzeyi profili ise, bir açık kanal akımında akım yolu boyunca elde edilecek akım derinliklerinin grafiği olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle akım yolu boyunca akım derinliklerinin grafiği, akımın su yüzeyi profilini verir. Açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır. Bu açık kanal akımı ve yüzey profilleri ile ilgili birçok eser, araştırma ve deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur.

Wilson (1969), bir akımın analiz edilebilmesi için su yüzü eğimi ve akım derinliği arasındaki korelasyonun belirlenmesi gerektiği üzerinde durdu. Bu durumda, su yüzü profillerinin kapsamlı olarak araştırılmasının önemini belirtmiş ve bu doğrultuda prizmatik olmayan dikdörtgen kanal tipleri üzerinde su yüzü profillerini araştırmıştır.

Yao (1971), dikdörtgen kesitli kanallarda üniform olmayan akımlarla ilgili çalışmasında, tedrici değişken açık kanal akımın yüzey profilini belirleyen kullanımı kolay bir çizelge geliştirmiş ve çizelgenin kullanımı ile ilgili sayısal örneklerle vermiştir.

Fread ve Harbaugh (1971) açık kanal profilleri için Newton-Raphson tekniğini kulandı. Yazarlar, İngiliz birim sistemine göre tedricen değişen akımlar için Newton-Raphson tekniğine göre denklemler geliştirdiler. Trapez kanallar için uygulanacak FORTRAN IV dilinde bir bilgisayar programı geliştirdiler.

Kumar (1979), dikdörtgen, trapez, dairesel, parabolik ve üçgen kanallarda yüzey profili tayini için tedrici değişken açık kanal akımlarının diferansiyel denklemlerini gözden geçirerek direkt integrasyonu metodunu uyguladı. Sürtünmeden kaynaklanan yük kayıplarını Chezy hız denklemi kullanarak ifade etti.

Zaghloul ve Darwish (1987), tedrici değişken akımlar için su yüzü profili tayininde direkt adım metodunu kullanarak, Lotus tabanlı bir paket program geliştirdiler. Program, normal derinlik, kritik derinlik ve tedrici değişken akımın su derinliği gibi parametrelerin belirlemektedir. Ayrıca, program; profil tipinin tayinini ve akım profili sınıflandırmasını da yapabilmektedir. Su yüzü profili kanal uzunluğu boyunca hesaplanarak tablo haline getirilmektedir.

Henderson (1966) ve Frenck (1985) geniş kanallar için Newton-Raphson tekniğinin uygulanabilirliğini belirtiler.

Pain (1992) trapez kesitler için Newton-Raphson çözümü üzerinde çalıştı. Bazı çözüm algoritmalar önerdi.

Rhodes (1993) yazarın bu çalışmasını seçtiği değişkenler açısından eleştirdi. Rhodes (1995, 1998) kapalı formda Newton-Raphson çözümleri önerdi.

Dey (2000), Rhodes (1998) tarafından önerilen denklemler için Manning, Cheezy ve Colebrook-White denklemlerine göre Newton-Raphson ve chebyshev çözümü için kapalı formda yaklaşımlar sundu.

Demirel ve Tozluk (2002) su yüzü profilinin tayininde Euler sayısal çözümleme metodunu kullandılar.

Birsoy (2002), bileşik kanallarda su yüzü profillerini belirlemek amacıyla bir bileşik kanal Froude sayısı tanımı yaparak; enerji ve momentum denklemleri ile birleştirmiştir. Su yüzü hesaplamaları için C++ dilini kullanarak bir bilgisayar programı geliştirmiştir.

Öztürkmen (2008) açık kanallarda su yüzü profilinin farklı hidrolik koşullar altında belirlenmesi amacı ile deneysel bir çalışma yürüttü. Bu çalışmada, sabit debi ve taban eğimine sahip bir açık kanal akımında farklı eşik tipleri için menba ve mansabında akım doğrultuları için meydana gelen su yüzü değişimleri incelenmiştir.

Vatankhah (2011) çalısmasında trapez kesitli kanallarda yavas değisen akım esitliğinde Manning denklemi kullanılarak Direkt Entegrasyon yöntemini ile yarı analitik bir çözüm önerisi sunmuştur.

Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak açık kanal akımlarının analizinde birçok yazılım geliştirilmiş ve su yüzü profilinin daha hızlı ve daha doğru bir şekilde belirlenmesini yönelik çalışmalar devam etmektedir. A.B.D. Mühendisler Birliği Hidroloji Mühendisliği Merkezi tarafından geliştirilmiş HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System) ve Dünya Meteoroloji Birliği tarafından geliştirilen WSPRO, Mike, Fluent, Flow3D bilgisayar paket programları buna örnek verilebilir.

3.MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Açık kanal akımları su yüzeyinin atmosfer ile temas halinde olduğu akımlardır. Açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır. Bu çalışmada, tedricen değişen açık kanal akımları için su yüzü profillerinin gelişimi ele alınacaktır.

3.2.Metot

Bu çalışmada, tedrici değişen açık kanal akımlarında (TDA) su yüzü profil hesabının yapılmasında üç metotlu bir yaklaşım planlanmıştır. Bunlar;

1) Su yüzü hesaplama denklemlerinin standart adım metoduna göre düzenlenmesi
2) Su yüzü profillerinin standart adım metodu ile belirlenmesinde hesaplama nonlineer denklemlerin çözümü için Newton Raphson sayısal çözümleme tekniğinin kullanılması
3) Açık kanal akımlarında kullanılan trapez kesitler için Newton- Raphson sayısal çözümleme tekniği ile bir algoritma hazırlanması ve her bilgisayarda mevcut olan Excel Makro altında Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirmesi tezin kapsamını oluşturmaktadır.

3.3. Açık Kanal Akımları

3.3.1. Serbest Yüzeyli Açık Kanallarda Akım

Bir kanal yapısı en kesitinin üst su seviyesi yüzeyinin hava ile temasta olduğu atmosfere açık akışkanların akımına “açık kanal akımı” adı verilir. Bu akım türü bir yatakta ya da olukta akış olarak tanımlanan akışkanlar mekaniğindeki üç temel akıştan biridir. Diğerleri; boru içi akış ve boru içi serbest yüzeyli akışlardır. Akarsulardaki, sulama, drenaj ve kanalizasyon kanallarındaki akımların tamamı açık kanal akımıdır. Serbest yüzeyli akımlarda akım, basınçlı akımlarda olduğu gibi tamamen katı cidarla çevrelenmemiştir, atmosfer basıncı ile temas halinde bir serbest yüzey mevcuttur. Şekil 3.1 trapez kesitli bir açık kanal içerisindeki serbest yüzeyli akım halini göstermektedir.



Şekil 3.1. Trapez kesitli açık kanal

Bir boru içindeki akımı oluşturan sebep ne ise açık kanal içerisindeki akımı oluşturan sebep de odur. Bu sebep enerji olarak tarif edilmektedir. Akışkan, enerjisi büyük olan noktadan küçük olan noktaya doğru akar. Borulardaki akımda bu enerjiyi temin eden, su seviyesi veya pompadır.

Açık kanalda, su-hava ara yüzeyindeki kayma gerilmesinden dolayı, maksimum hız yüzeyden kanal derinliğinin yaklaşık % 20'si kadar aşağıda oluşur. Kanal çeşitleri genel olarak; üçgen, trapez (yamuk) ve daireseldir. Şekil 3.1 trapez kesitli açık kanal akımını göstermektedir.

Geniş ve derin kanallarda, viskozitenin düşük olması akışı genelde türbülanslı yapar. Pratikte laminer akışın görüldüğü yerler ise yağmur sularının oluşturduğu su birikintileri ve uçak pistlerinde oluşan su akıntılarıdır.

Doğal kanallar; doğada rastlanan, kesitleri düzgün olmayıp değişken olan kanallardır.

Suni kanallar; çeşitli malzemelerden normal olarak düzgün ve tabanları eğimli olarak imal edilirler. Bunlar:

a) Sulama kanalları,

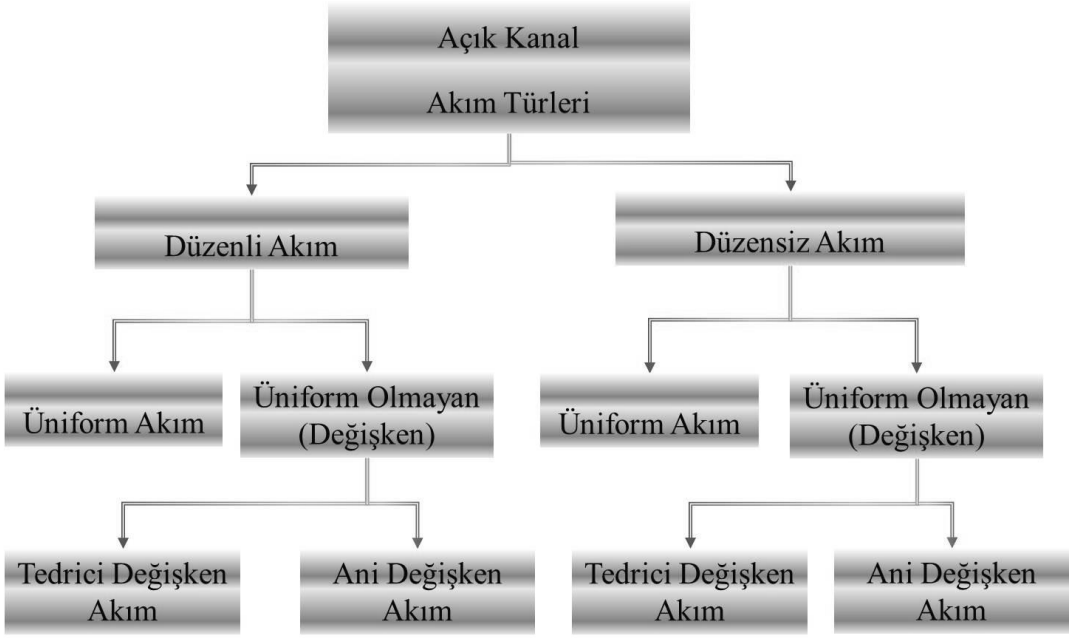
b) Dolu savak kanalları,

c) Atık su kanalları,

d) Menfez ve drenaj kanalları

3.3.2. Açık Kanal Akım Türleri

Açık kanallarda meydana gelen akım türleri akışkanlar mekaniği ve hidrolik konuları çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Bu akım türleri başta düzenli ve düzensiz olmak üzere iki temel kola ayrılmıştır. Bu konu ile ilgili literatürde bir çok kaynak mevcuttur (Chow, 1959; Çengel ve Cimbala, 2012; French, 2007; Henderson, 1966; Karahan, 1986; Sümer ve diğ., 2007; Yanmaz, 1997;Yüksel, 2000; Yüksel, 2012). Şekil 3.2 açık kanal akım türlerini göstermektedir (Yanmaz, 1997).

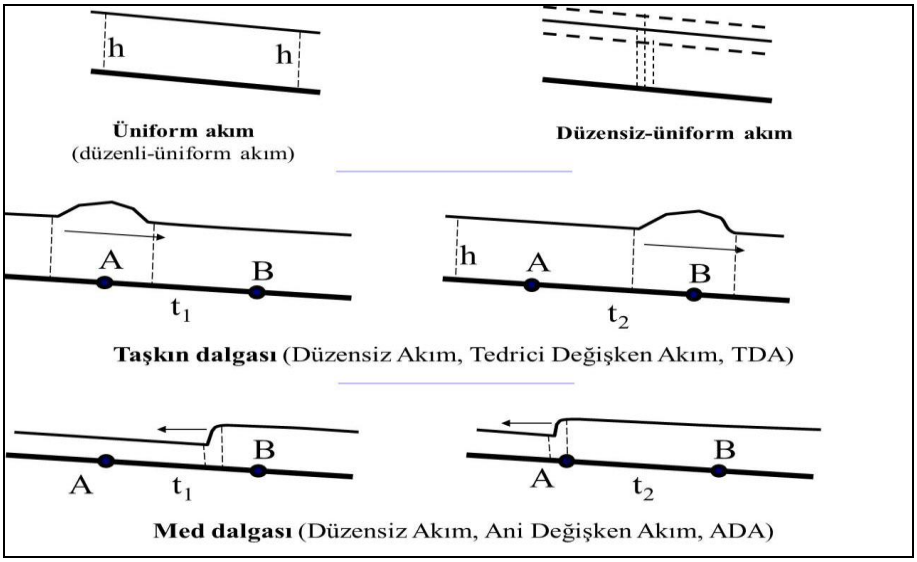


Şekil 3.2. Açık kanal akım türleri (Yanmaz, 2007)

Açık kanal akımlarında, boru akımının tersine, yüzeyde atmosfer (P_0) basıncı mevcuttur ve kayma gerilmeleri ihmal edilebilir. Bu akımlarda:

- Boyuna profiller, hidrolik eğimi verirler.
- Borulara akımlarına kıyasla, akım daha karmaşıktır.
- Borularda akımlarında olduğu gibi, burada temel etken yerçekimi ivmesidir (g). Yani , ağırlık kuvvetleri.

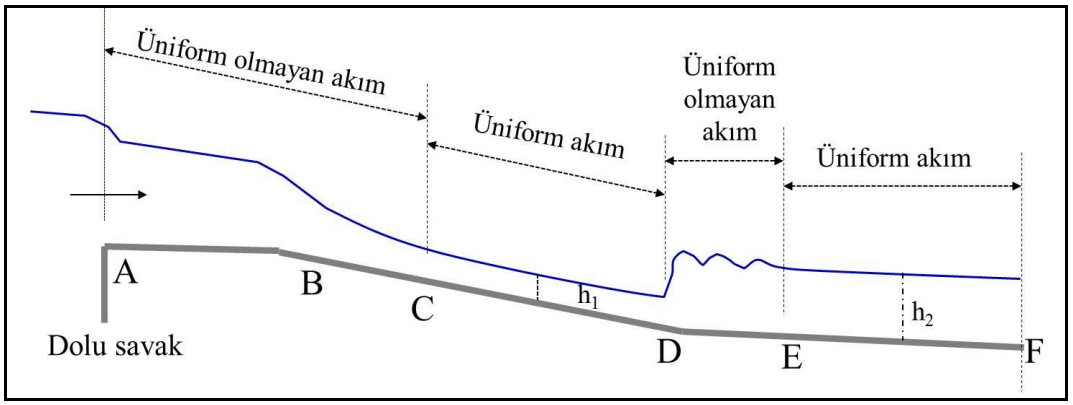
Şekil 3.3 açık kanal akım türlerine göre kanal boyunca akış gösteren akım örneklerini göstermektedir.



Şekil 3.3. Açık kanal akım türü örnekleri

Kanal hidroliğinin karakteristik özelliği, serbest yüzeylerinin şekil değiştirebilme kabiliyetidir. Bu özellik, sıçrama, ani düşme, kabarma gibi basınçlı borularda bulunmayan bazı olaylara neden olur.

Şekil 3.4 bir dolu savak yapısı ve kanal boyunca akış gösteren akım örneklerini gelişimini göstermektedir.



Şekil 3.4. Açık kanalda düzenli akım çeşitleri (Zaman boyutunda değişim yok, sadece mekan boyutunda değişim var) (Karahan, 1986; Yanmaz, 1997)

Çizelge 3.1'de açık kanalda düzenli akım özellikleri ve akımın davranışları şekil 3.4'e bağlı olarak bölgesel gelişim gösteren akımlarla ilgili hidrolik bilgileri özetlemektedir.

Çizelge 3.1.Açık kanalda düzenli akım özellikleri ve akımın davranışı (Çengel ve Cimbala, 2012)

Bölge	Akım
A-B	Akım hızlanır, ağırlık kuvvetleri sürtünme kuvvetlerinden fazla, su derinliği değişkendir.
B-C	Kanal eğimi artıyor, hız artar, sürtünme kuvveti artar. (denge oluşana kadar)
C-D	Denge oluşur, hız sabit (su derinliği sabit), ağırlık kuvvetleri sürtünme kuvvetlerine eşittir, su derinliği sabit=h_1, üniform akım.
D-E	Kanal eğimi azalıyor, hız azalır, su derinliği artar.
E-F	Hız sabit (su derinliği sabit), ağırlık kuvvetleri sürtünme kuvvetlerine eşittir, su derinliği sabit=h_2, üniform akım.

Açık kanallardaki akımı mekan kriteri dikkate alınarak, kanal başı ve sonundaki şartlara, taban eğimine ve kanal cidarının cinsine bağlı olarak dört tipe (kısma) ayrılır.

3.3.2.1. Düzenli-Üniform Akım

Su derinliği gerek zaman gerek mekan boyutunda değişmez ve su yüzeyi kanal tabanına paraleldir. Açık kanal hidroliğinde en çok incelenen akım türüdür, açık kanallarda üniform akım denince düzenli-üniform akım anlaşılır. Üniform akımda kanal içerisindeki su derinliği kanal boyunca sabit kalmaktadır. Yavaş (tedrici) değişen akımlarda enerji ve sürtünme kuvvetleri ile ilgili denklemler geçerlidir.

3.3.2.2. Düzensiz-Üniform Akım

Su derinliği zaman boyutunda değişir, mekân boyutunda değişmez. Su yüzeyi kanal tabanına paraleldir, ancak zamanla alçalıp yükselir, pratikte pek rastlanmaz.

3.3.2.3. Düzenli-Üniform Olmayan (Değişken) Akım

Su derinliği zaman boyutunda değişmez, mekan boyutunda değişir. Üniform olmayan akımda, su derinliği kanal boyunca alınan x uzaklığının bir fonksiyonudur.

3.3.2.4. Düzensiz-Üniform Olmayan (Değişken) Akım

Su derinliği hem zaman hem de mekan boyutunda değişir. Açık kanallarda düzensiz akım denince düzensiz-üniform olmayan akım anlaşılır.

Kanal hidroliğinin karakteristik özelliği, serbest yüzeylerinin şekil değiştirebilme kabiliyetidir. Bu özellik, sıçrama, ani düşme, kabarma gibi basınçlı borularda bulunmayan bazı olaylara neden olur.

3.3.3. Değişim Miktarına Göre Üniform Olmayan (Değişken) Akım Türleri

3.3.3.1. Ani Değişken Akım

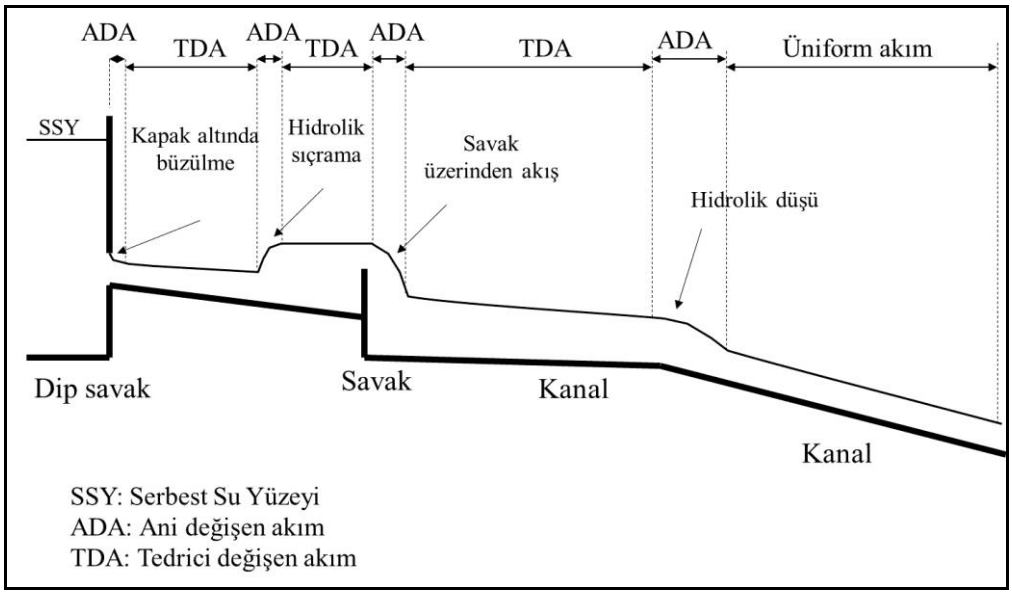
Su derinliğinin aniden (birdenbire) değiştiği akımlardır. Birim kanal boyundaki değişim çok fazladır, hidrolik sıçramalar ve hidrolik düşüler bulunur.

3.3.3.2. Tedrici Değişken Akım

Tedrici değişken akım , su derinliğinin yavaş yavaş (tedrici) değiştiği akımlardır. Akım derinliği kanal boyunca yavaş yavaş değişir ve hidrostatik basınç kuralları geçerlidir.

Tedrici değişen akım bölgesine, genellikle ani değişen ve üniform akım bölgelerinin arasında rastlanır. Şekil 3.5 tedrici değişen akımların gelişim bölgelerini göstermektedir. Tedrici değişen akımlarda türbülans etkileri yoğun olarak hissedilmediğinden oluşacak enerji kayıplarına kanal boyunca meydana gelen sürtünme kuvvetleri neden olur. Bu nedenle, kanal pürüzlülüğü tedrici değişken akımlarda önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tedrici değişen akımlarda, akım derinliği ve akım hızında yavaş değişimler gözlenir. Akım yüzeyinde süreksizlik görülmediğinden düzgün kararlı bir yüzey gözlemlenir. Bu Durum, kanal boyunca akım derinliğinde görülecek değişimin, kütle ve enerjinin korunumu kanunlarını kullanılarak formülleştirilmesini ve serbest yüzey profil için bağıntılar elde edilmesini sağlar. Akım çizgilerinin yaklaşık olarak düzgün ve birbirine paralel olduğu ve kanal taban eğiminin çok büyük olmadığı tedrici değişen akımlarda; basınç dağılımın hidrostatik kurallara göre değiştiği ve bir boyutlu ortalama hız kabulüne göre çözüme gidilebilir.

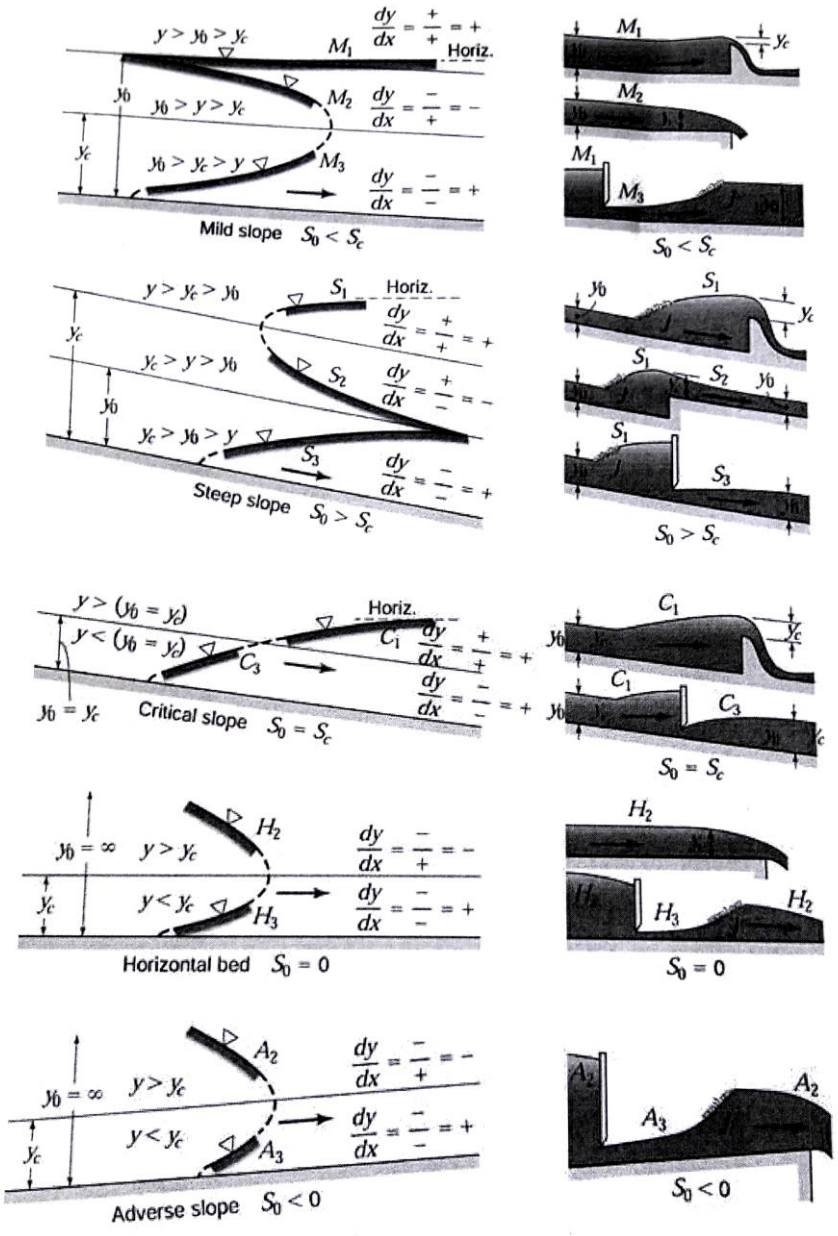


Şekil 3.5. Düzenli-değişken akım örnekleri (ani ve tedrici değişken akımlar)

3.3.4. Açık Kanallarda Su Yüzü Profilleri

Su yüzeyi profilleri, bir açık kanal akımında akım yolu boyunca elde edilecek akım derinliklerinin grafiği olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle akım yolu boyunca akım derinliklerinin grafiği, akımın su yüzeyi profilini verir. Su yüzünün akım yolu boyunca kanal tabanından yüksekliğini gösteren bu profil kanal boyunca akım en kesitinin belirlenmesini sağladığı gibi, sıvı ağırlığı, kayma kuvveti ve atalet etkileri arasındaki dinamik dengeyi de yansıtır (Çengel ve Cimbala, 2012). Açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır (Şekil 3.6).

Su yüzeyi profillerini sınıflandırmada harf ve rakamdan oluşan bir kodlama kullanılır. Harf, kanal taban eğiminin tipini, sayı ise üniform ve kritik derinliğe göre su derinliğinin bulunduğu bölgeyi tanımlar. Su yüzü profili tipleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Su yüzü profilleri (Mild:Yumuşak eğim, Steep:Sert eğim , Critical: Kritik eğim, Horizontal: Yatay, Adverase: Ters eğim)

Çizelge 3.2. Su yüzü profili tipleri (Chow,1959)

Eğim Tipi	Eğim Notasyonu	Froude Sayısı	Yüzey Profili Tipi
$S_0 < S_C$	Küçük (yumuşak) <Eğim	$F_r < 1$	M_1
		$F_r < 1$	M_2
		$F_r > 1$	M_3
$S_0 = S_C$	Kritik Eğim	$F_r < 1$	C_1
		$F_r > 1$	C_2
$S_0 > S_C$	Büyük (Sert) Eğim	$F_r < 1$	S_1
		$F_r > 1$	S_2
		$F_r > 1$	S_3
$S_0 = 0$	Yatay	$F_r < 1$	H_2
		$F_r > 1$	H_3
$S_0 < 0$	Ters Eğim	$F_r < 1$	A_2
		$F_r > 1$	A_3

Bir yüzey profili; eğer akım derinliği hem kritik hem de normal derinliğin üzerindeyse ($y > y_c$ve $y > y_0$) 1 ile,eğer akım derinliği bu ikisi arasındaysa ($y_0 > y > y_c$) 2 ile ve eğer akım derinliği hem kritik hem de normal derinliğin altındaysa ($y < y_c$ve $y < y_0$) 3 ile gösterilir. Görüldüğü üzere, belirli bir kanal eğimi tipi için üç farklı profil mümkün olmaktadır. Ancak yatay veya ters eğimli kanallarda akım asla üniform olamadığı için normal derinlik tanımlaması yapılmaz ve 1 tipinde akım görülmez. Ayrıca kritik eğimli kanallarda, normal ve kritik derinlikler özdeş olduğundan, 2 tipindeki akım oluşmamaktadır. Bir bölgesinde eğimler kabarma eğrisi (pozitif eğim),iki bölgesindeki eğimler alçalma eğrisi (negatif eğim), olarak isimlendirilir (Çengel ve Cinbala, 2012).

3.3.5. Froude Sayısı (Fr)

Froude sayısı, taban eğimine sahip açık kanal akışlarında akışın bir karakteristiğidir (Chow, 1959).

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{y_h g}} \tag{3.1}$$

Burada;

Fr: Froude sayısı

V: Kanaldaki akımın ortalama hızı, m/s

h:Su derinliği, m

g: Yer çekimi ivmesidir (9.81 m/s^2).

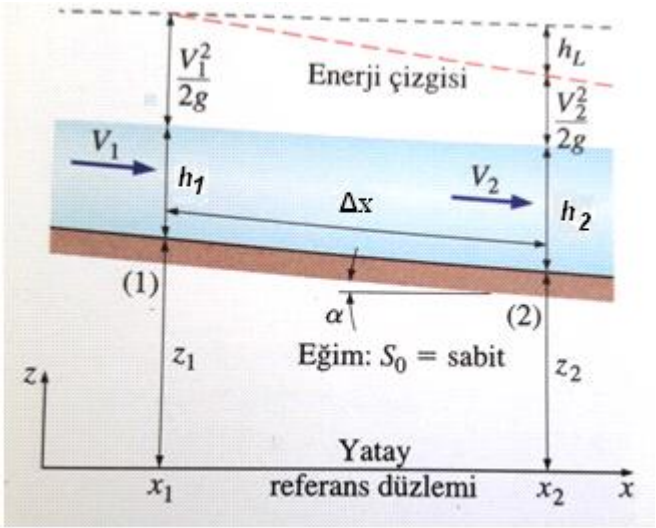
Froude sayısı, 1 ise kritik akış olarak adlandırılır.

Froude sayısının 1'den küçük olması yani $V^2<g.h$ olması halinde akım " kritik altı akım" şeklindedir. Bu durumda yerçekimi kuvvetleri akımda büyük rol oynar ve bu nedenle hız düşük olduğundan bu akıma "nehir akımı" veya "durgun akım" denir.

Froude sayısının 1'den büyük olması yani $V^2>g.h$ olması halinde akım"kritik üstü akım" şeklindedir. Bu durumda atalet kuvvetleri hakim durumda rol oynar ve bu nedenle hız yüksek olduğundan bu akıma "sel akımı" veya "hızlı akım" denilir.

3.3.6. Açık Kanallarda Bernoulli Denklemi

Bernoulli denkleminin, akımdaki enerji kayıplarını dikkate almadan uygulamamız ciddi hatalara neden olabilmektedir. Ancak, akım alanında denklemin uygulandığı noktaların birbirinden uzak olmadığı durumlarda noktalar arasındaki enerji kayıpları ihmal edilebilecek kadar düşük olabilir. Benoulli denklemi şekil 3.7 de görüldüğü gibi ideal akışkan akımının iki noktası arasında enerjinin korunumu olarak ifade edilmektedir. Aşağıdaki Bernoulli denkleminde görüldüğü gibi akımda meydana gelen enerji kayıp yüksekliği göz önüne alınabilir. 3.2 denkleminde enerji kayıp yüksekliği (SΔx), sürtünmelerle ısıya dönüşerek sistemden çıkan enerji yüksekliğini göstermektedir. (Kırkgöz, 2013)



Şekil 3.7. Açık kanalda enerji çizgisi (Çengel ve Cimbala, 2012)

Açık kanal akışlarında Bernoulli denklemi;

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 + z_1 + \bar{S}\Delta x = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + z_2 \qquad (3.2)$$

şeklindedir.

Burada, V_1: 1 nolu kesitteki ortalama akım hızı, m/s

V_2: 2 nolu kesitteki ortalama akım hızı, m/s

g: Yer çekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

h_1: 1 nolu kesitteki su yüksekliği, m

h_2: 1 nolu kesitteki su yüksekliği, m

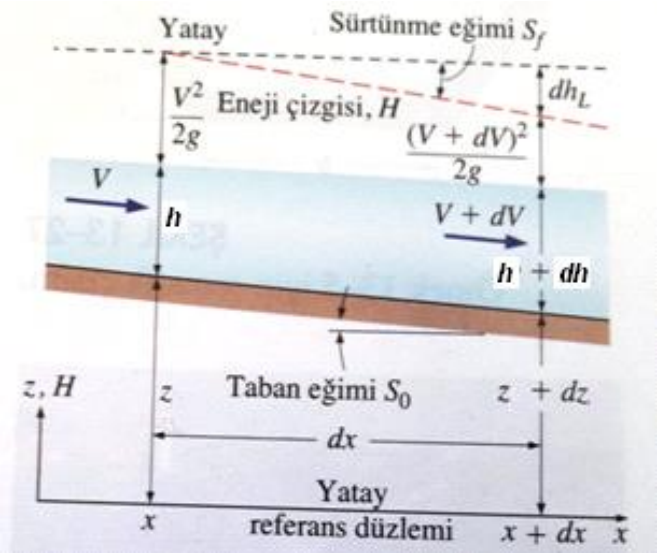
z_1:1 nolu kesitteki yersel yükseklik, m

z_2: 2 nolu kesitteki yersel yükseklik, m

Δx: Ara mesafe, m

3.3.6.1. Su Yüzeyi Profili Denkleminin Çıkarılışı

Profil çizimi ve derinlik hesaplamaları sel rejimindeki akımlarda memba kontrolünden mansaba doğru, nehir rejimindeki akımlarda ise mansap kontrolünden membaya doğru yapılır. Şekil 3.8 görünmektedir. (Yüksel, 2000). Akışkanın birim boru boyunca enerjisindeki azalma miktarını hidrolik eğim (enerji eğimi) olarak ifade edilir.



Şekil 3.8. Açık kanal akımında enerji ve piyezometre çizgileri (Çengel ve Cimbala, 2012)

Yavaş değişen akımların analizinde kullanılacak genel denklem bir kanal

$$H = \frac{v^2}{2g} + h + z \tag{3.3}$$

kesitindeki toplam enerji yüksekliği olarak düşünüldüğünde, x'e göre türev alınırsa;

$$\frac{dH}{dx} = \frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) + \frac{dh}{dx} + \frac{dz}{dx} \tag{3.4}$$

ifadesinde $dH/dx = -s$ ve $dz/dx = -s_o$ yazıldığında;

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = \frac{d}{dx}\left(\frac{Q^2}{2gA^2}\right)\frac{dh}{dh} = \frac{dh}{dx}\frac{d}{dh}\left(\frac{Q^2}{2gA^2}\right) = -\frac{dh}{dx}\frac{Q^2}{gA^2}\frac{dA}{dh} = -\frac{dh}{dx}\frac{Q^2B}{gA^2} \tag{3.5}$$

$$-S = -\frac{dh}{dx}\frac{Q^2B}{gA^2} + \frac{dh}{dx} - S_0 = \left(1 - \frac{Q^2B}{gA^2}\right)\frac{dh}{dx} - S_0 \tag{3.6}$$

Sonuç olarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - \frac{Q^2B}{gA^2}} \tag{3.7}$$

denkleminde $Q^2B/gA^2 = F_r^2$ kullanılırsa;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - F_r^2} \tag{3.8}$$

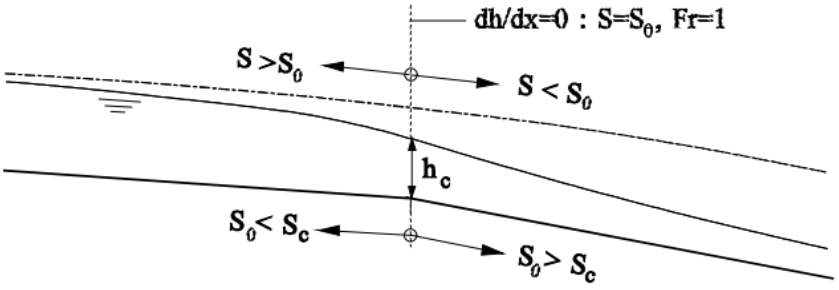
ifadesi oluşur ki; bu ifade yavaş değişen akım profillerinin analizinde kullanılan genel bir ifadedir. dh/dx'in pozitif olması akımda derinliğin arttığını, dh/dx'in negatif olması ise akımda derinliğin azaldığını gösterir.

a) $dh/dx = 0$ **olması durumu:**

Bu durum aşağıdaki koşullarda oluşur.

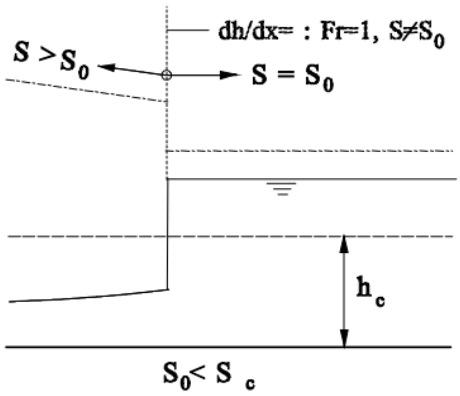
$S = S_0$ ve $F_r \neq 1$ olması: Üniform akım

$S = S_0$ ve $F_r = 1$ olması: $dh/dx = 0/0 \neq 0$ durumu, Şekil 3.9'da görülen kritik derinliğin oluştuğu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kritik derinliğin oluştuğu durum

b) $dh/dx = \infty$ **olması durumu:**Bu durum $F_r = 1$ ve $S \neq S_0$ için gerçekleşir. Yani akımda $Q^2B/gA^2 = 1$ kritik akım koşulu geçerlidir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi bu koşulun oluştuğu yüzey eğiminin sonsuza gittiği akım hali ***"hidrolik sıçrama"*** dır.



Şekil 3.10. Hidrolik sıçramanın oluştuğu durum

Taban eğimi ve su derinliğine göre tespit edilen sınıflandırma kriterlerine dayanarak şekil 3.9' da verilen her bir profil türünün değişim biçimi ile memba ve mansap sınırları için bölgesel limitler belirlenebilir. Derinliğin arttığına veya azaldığına karar verebilmek için;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - F_r^2}$$

İfadesinin pay ve paydasının işaretleri aşağıdaki gibi bulunur.

- Eğer h >hn ise S < S0⇒ S0 - S > 0

- Eğer h <hn ise S > S0⇒ S0 - S < 0

- Eğer h >hc ise Fr< 1 ⇒ 1 - Fr2> 0

- Eğer h <hc ise Fr> 1 ⇒ 1 - Fr2< 0

3.3.7. Su Yüzeyi Profili Tiplerinin Analizi

Yapay açık kanallarda, kesit geometrisi, cidar malzemesi, taban eğimi gibi geometrik, hidrolik ve diğer fiziksel koşulların önceden belirlenmesi veya bilinmesi (özellikle kararlı akım durumunda) su yüzü profilinin belirlenmesine yönelik hesaplamaları kolaylaştırsa da doğal açık kanallar için bunu söylemek mümkün değildir. Doğal açık kanallarda akım kesiti, taban eğimi ve akım debisi genellikle sabit ve düzenli değildir. Bu tür açık kanallarda su yüzü profilinin elde edilmesi güçtür.

Su yüzü profillerinin belirlenmesi; akım yolu boyunca akım derinliğinin değişimi (dy/dx) veya bir noktadaki su seviyesinin zamanla değişiminin (dy/dt) belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Su yüzü profillerinin önceden kestirimi açık kanal sistemlerinin tasarımının önemli bir parçasıdır. Su yüzü profilinin analizinde alısılagelmis prosedür normal ve kritik derinlik çizgilerinin çizilmesi, olası kontrol noktalarının belirlenmesi ve kontrol kesitlerinden başlanarak su yüzü profilinin hesaplanması seklindedir. Yüzey profilinin belirlenmesi için öncelikle kanal boyunca, derinlik ile debi arasındaki kesin ilişkinin var olduğu ve kontrol kesitleri adı verilen kesitlerdeki (regülatörler, kanal giriş ve çıkışları gibi) bütün değişimler tespit edilir. Akımın kritik derinlikte veya üniform akım derinliğinde olduğu kesitler de birer kontrol kesitidir. Kontrol kesitlerindeki akım derinlikleri bir kez belirlendiğinde, genellikle (3.8) denkleminin sayısal integrali alınarak, yüzey profilinin yukarı ve aşağı akımı belirlenir (Çengel ve Cimbala, 2012).

Yüzey profillerinin genel karakteristikleri, taban egimine ve akım derinliginin kritik ve normal degerlerine göre degisir. Akım yolu boyunca taban egimi ve debinin degisken olması, akım yolu üzerinde çesitli su yapılarının olması gibi durumlar sonucunda aynı açık kanal sisteminde akımın rejimi ve dolayısıyla su yüzeyi profili akım yolu boyunca degisebilmektedir. Örnegin bir kanalın asagı-egimli (pozitif egimli) bir kısmındaki yüzey profilinin genel sekli, yukarı-egimli (ters-negatif egimli) kısımdakinden farklıdır şekil . Akımın nehir rejimi (kritikaltı) veya sel rejiminde (kritiküstü) olması halleri için olusacak yüzey profilleri birbirinden oldukça farklıdır.

Aynı sekilde, akımın üniform veya üniform olmaması durumlarında da farklı farklı su yüzü profilleri görülür (Çengel ve Cimbala, 2012)

.M Türü Profiller : hn>hc

M1profili

h>hn>hc⇒ S0 - S > 0, 1 - Fr2> 0 ⇒dh/dx = +/+ = +: derinlik artar.

h → hn için S → S0⇒dh/dx →0 : su yüzeyi h = hn'ye asimptotik.

h → ∞ için S → 0, Fr →0 ⇒dh/dx →S0 : su yüzeyi yataya asimptotik.

M2 profili

hn> h >hc⇒ S0 - S < 0, 1 - Fr2> 0 ⇒dh/dx = -/+ = - : derinlik azalır.

h → hn için S → S0⇒dh/dx →0 : su yüzeyi h = hn' ye asimptotik.

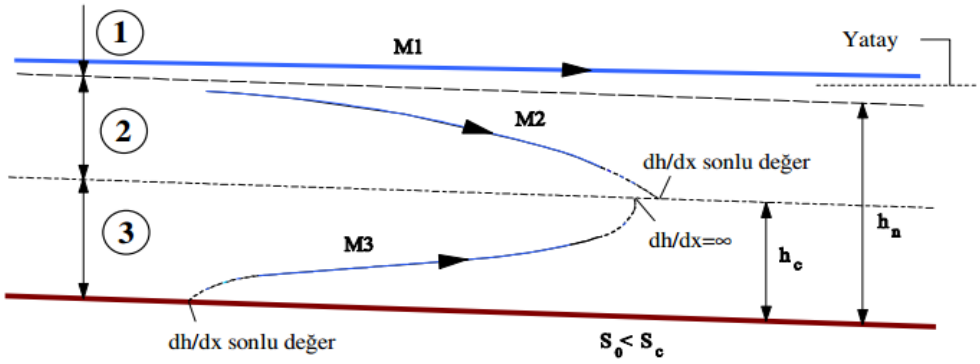
h → hc için S → S0, Fr → 1 ⇒dh/dx→0/0: belirsiz, gerçekte sonlu bir değer.

M3profili

hn>hc> h ⇒ S0 - S < 0, 1 - Fr2< 0 ⇒dh/dx = -/- = +: derinlik artar.

h → 0 için S → ∞, Fr→ ∞ ⇒dh/dx →∞/∞ :gerçekte pozitif sonlu bir değer.

h → hc için Fr→ 1 ⇒dh/dx →∞ : hidrolik sıçrama.



Şekil 3.11. M Profilleri

S Türü Profiller : hn<hc

S1 profili

h>hc>hn⇒ S0 - S > 0, 1 - Fr2> 0 ⇒dh/dx = +/+ = +: derinlik artar.

h → hc için Fr → 1 ⇒dh/dx →∞ : hidrolik sıçrama.

h → ∞ için S → 0, Fr →0 ⇒dh/dx →S0 : su yüzeyi yataya asimptotik.

S2profili

hc> h >hn⇒ S0 - S > 0, 1 - Fr2< 0 ⇒dh/dx = +/- = - : derinlik azalır.

h → hc için S → S0⇒dh/dx → 0 /0: belirsiz, gerçekte sonlu bir değer.

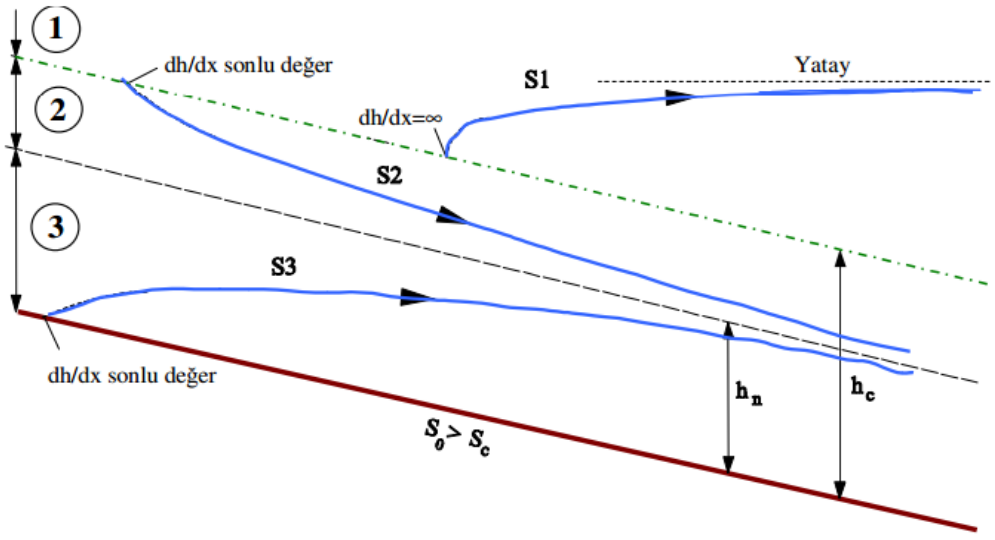
h → hn için S → S0, dh/dx→0: su yüzeyi h = hn'ye asimptotik.

S3 profili

hc>hn> h ⇒ S0 - S < 0, 1 - Fr2< 0 ⇒dh/dx = -/- = +: derinlik artar.

h → 0 için S → ∞, Fr→ ∞ ⇒dh/dx →∞/∞ :gerçekte pozitif sonlu bir değer.

h → hn için S→ S0⇒dh/dx →0 : su yüzeyi h = hn'ye asimptotik.



Şekil 3.12. S Profilleri

1) C Türü Profiller : $h_n = h_c$

Bu tür profillerde $h_n=h_c$ olduğundan 2 bölgesi kaybolur ve derinlik için iki bölge tanımlanabilir.

a) C_1 profili

h>hn>hc⇒ S0 - S > 0, 1 - Fr2> 0 ⇒dh/dx = +/+ = +: derinlik artar.

h → hn için S → S0, Fr→ 1⇒dh/dx → 0/0 : belirsiz, gerçekte sonlu bir değer.

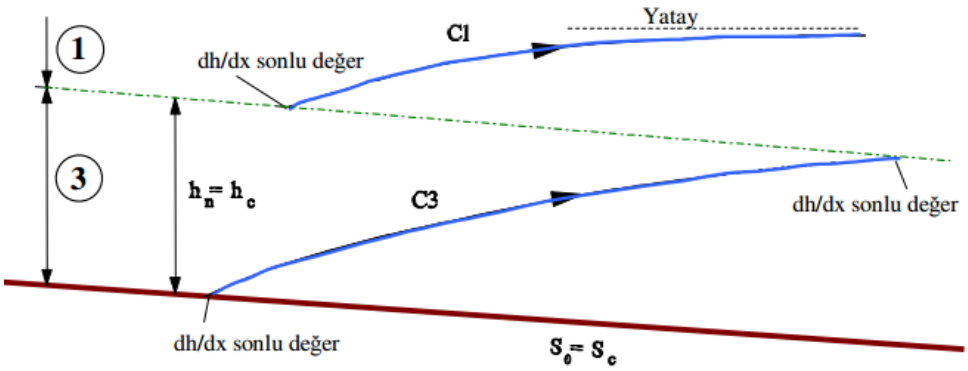
h → ∞ için S → 0, Fr →0 ⇒dh/dx →S0 : su yüzeyi yataya asimptotik.

C3 profili

hn>hc> h ⇒ S0 - S < 0, 1 - Fr2< 0 ⇒dh/dx = -/- = +: derinlik artar.

h → 0 için S → ∞, Fr→ ∞ ⇒dh/dx →∞/∞ :gerçekte pozitif sonlu bir değer.

h → hn için S→ S0⇒Fr→1⇒dh/dx → 0/0: belirsiz, gerçekte sonlu değer.



Şekil 3.13. C Profilleri

3.3.8. Su Yüzü Profillerinin Belirlenmesi

3.3.8.1. Akım Profillerinin Belirlenmesi

Çeşitli taban eğimlerine sahip uzun bir prizmatik kanal boyunca, çeşitli su yüzü eğrilerinin bileşiminden meydana gelen akım profilinin belirlenmesi için aşağıdaki adımlar izlenir (Kırkgöz, 2013):

a) Kanal boyunca kritik derinlik ve normal derinlik çizgileri çizilir.

b) Akım üzerindeki kontrol kesitlerinin yerleri tespit edilir. Kontrol kesiti bir baraj, bağlama, kontrol kapağı, kanal girişi, kanal çıkışı veya serbest dökülme noktası şeklinde olabilir.

c) Her bir kontrol kesitinden başlayan akım profili, ait olduğu sınıflandırma türüne uygun olarak çizilir.

d) Uzun bir kanal boyunca oluşabilecek su yüzü profillerine ait örnekler Şekil 3.13 de verilmiştir. Şekillerde normal ve kritik derinlik çizgileri, enerji çizgisi, her bir taban eğimine göre akım profilleri ve bu profillere ait kontrol kesitleri gösterilmiştir. Şekil üzerinde ayrıca, kanallara giren debinin nasıl bulanacağı gösterilmiştir.

3.3.9. Su Yüzü Hesap Metotları

Su yüzeyi profilinin hesap yöntemlerini iki farklı grupta toplamak mümkündür. Birinci grupta kesit özelliklerine göre;

a) Prizmatik kanallar için geliştirilmiş yöntemler,
b) Doğal kanallar (akarsu yatakları) için geliştirilmiş yöntemler bulunmaktadır.

İkinci grupta çözüm yöntemleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztürkmen, 2008):

a) Direkt Adım Yöntemi
b) Standart Adım Yöntemi
c) Direkt Entegrasyon Yöntemleri
d) Bresse Yöntemi
e) Bakhmeteff Yöntemi
f) Chow Yöntemi
g) Grafik Entegrasyon Yöntemleri
h) Ezra Yöntemi
i) Grimm Yöntemi
j) Escoffier Yöntemi

Burada, su yüzü profillerinin hesabında en çok tercih edilen üç yöntem üzerinde durulacaktır. Yavaş değişen su yüzü profillerinin hesabı ile ilgili bu üç yöntem hakkında bilgi verilecektir. Bu tezde, standart adım metoduna göre çalışmalar yürütülmüştür.

3.3.9.1. Sayısal Entegrasyon Yöntemi

(3.6) denklemini aşağıdaki gibi ters olarak yazalım:

$$\frac{dx}{dh} = \frac{1 - Q^2 B / gA^3}{S_0 - S}$$

Verilen Q ve S_0 için (3.7) denklemi h'nin fonksiyonudur ve dx/dh= f(h) şeklinde yazılabilir. Buna göre (3.7) denklemi Şekil 3.14'de görülen 1 ve 2 kesitleri arasında integre edilirse:

$$\int_{x_1}^{x_2} dx = \int_{h_1}^{h_2} \frac{1 - Q_2 B / gA^3}{S_0 - S} dh \Rightarrow L = \int_{h_1}^{h_2} f(h) dh$$

(3.7) veya (3.4) denklemi ile verilen üniform olmayan akımın genel ifadesi, su yüzü profillerinin hesabında uygulanan yöntemlere temel teşkil etmektedir. Yavaş değişen su yüzü profillerinin hesabı ile ilgili olarak aşağıda üç yöntemin açıklaması yapılacaktır.

Buradan, akım profilinde h_1 ve h_2 derinlikleri arasındaki kanal boyunun f(h) eğrisi altındaki alana eşit olduğu anlaşılır.

Yöntemin uygulanışı aşağıdaki gibidir.

(a) Hesabı yapılacak profilin başında ve sonundaki derinlikler belirlenir,

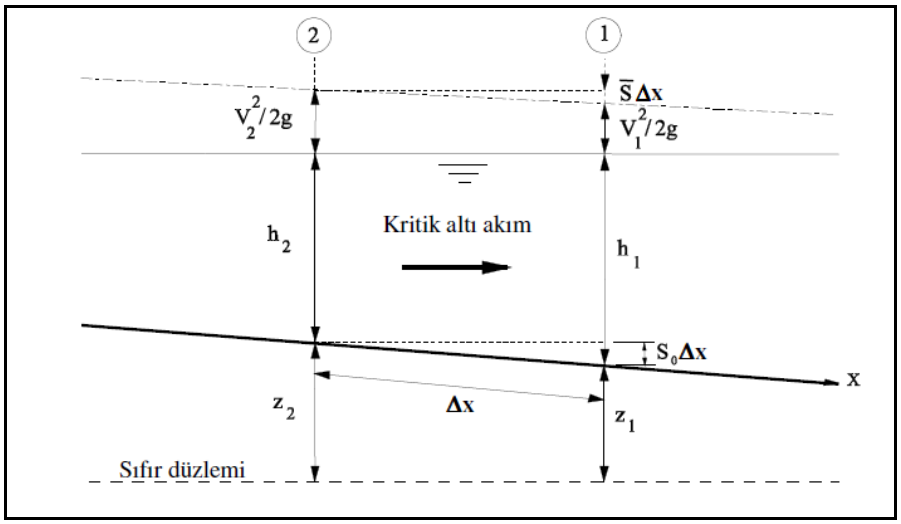
(b) f(h) eğrisi uygun Δh derinlik farkları ile hesaplanır,

(c) f(h) eğrisi altındaki alan sayısal entegrasyonla adım, adım bulunarak her bir derinlikte başlangıca olan uzaklık elde edilir.

Vatankhah (2011**)** sayısal entegrasyon yöntemini trapez kesitli kanallar için Manning denklemine göre bir su yüzü hesabı çözümünü vermektedir.

3.3.9.2. Direkt Adım Metodu (Derinlikten – mesafeye)

Doğrudan adım yönteminde profil hesabı yapılırken kanal boyu belli aralıklarla adım adım hesabı yapılır. Doğrudan adım yönteminde seçilen derinliklerdeki kesitlerin ara mesafeleri bulunur (Chanson, 2004). Bu yöntem prizmatik kanallara uygulayabiliriz.



Şekil 3.14. Doğrudan adım yöntemi

Şekil 3.14'de görülen bir hesap adımındaki 1 ve 2 kesitleri arasında Bernoulli denklemi yazılırsa;

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 + z_1 + \bar{S}\Delta x = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + z_2$$

Enerji çizgisinin eğimi olarak 1 ve 2 kesitlerindeki eğimlerin ortalama değeri alıp, Z_1-Z_2=S_0 ΔX ve $(V^2/2g)+h=E$ Yazarsak:

$$E_1 - E_2 = \left(S_0 - \bar{S}\right)\Delta x$$

Buradan, hesap adımındaki profil parçasının uzunluğu aşağıdaki gibi bulunur:

$$\Delta x = \frac{E_1 - E_2}{S_0 - \bar{S}} = \frac{\Delta e}{S_0 - \bar{S}}$$

Doğrudan adım yönteminin uygulanışı aşağıdaki gibidir:

a) Hesabı yapılacak profilin başında ve sonundaki derinlikler belirlenir,

b) Hesap adımları için uygun görülen farklarda ara derinlikler seçilir,

c) Denklemi ile seçilen derinliklerdeki ara mesafeler hesaplanır.

3.3.9.3. Standart Adım Yöntemi (Mesafeden- derinliğe)

Standart adım yönteminde, kanalın seçilen Δx ara mesafelerinde akım derinlikleri hesaplanır. Bu yöntem prizmatik kanallara veya prizmatik olmayan doğal

akarsulara uygulanabilir. Aşağıdaki denklemde ortalama enerji çizgisi eğimi $\overline{S}$, 2 kesitindeki enerji çizgisi eğimi $S_2 = \left(V_2^2 n^2 \Big/ R_2^{4/2} \right)$ değerini de içermekte olup, S_2 bilinmeyen h_2'ye bağlıdır. Dolayısıyla aşağıdaki denklemden E_2'nin çözümü h_2 için deneme-yanılma işlemini gerektirir.

$$E_2 = E_1 - \left(S_0 - \overline{S} \right) \Delta x$$

Yöntemin uygulanışı aşağıdaki gibidir:

a) h_2 için bir deneme değeri tahmin edilir ve $E_2 = h_2 + V_2^2 \Big/ 2g$ hesaplanır.

b) h_2 deneme değeri kullanılarak $E_2 = E_1 - \left(S_0 - \overline{S} \right) \Delta x$ denkleminden E_2 hesaplanır.

c) Eğer, ilk iki yöntemde hesaplanan E_2 değerleri kabul edilebilir bir hassasiyet ölçüsünde eşdeğer değilse, hesaplar yeni bir h_2 ile tekrarlanır.

Çözüme ΔX değerinin bulunması ile ulaşılır. Bunun için de son bulunan akım derinliği yerine konulur ve önceki adımdakine benzer işlemler tekrarlanır.

Aynı işlemler mansaptaki özgül enerji derinliğinin bilinip memba akım derinliğinin bulunmasında da uygulanır.

3.3.10. Newton-Raphson Yöntemi

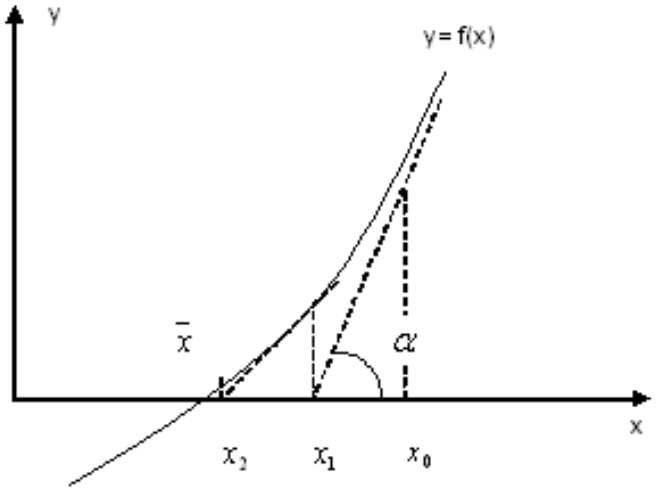
f (x) = 0 denklemini sağlayan x değerlerine bu denklemin kökleri denir. Herhangi bir f (x) = 0 denkleminin kökleri her zaman kolay hesaplanamaz. Bunun için sayısal yöntemler geliştirilmiştir. f (x) fonksiyonların grafik olarak çözümü (köklerinin bulunması) için kullanılan en basit yöntemlerden birisi de Newton-Raphson yöntemidir (Griffiths ve Smith,1991). Adını Isaac Newton ve Joseph Raphson'dan alan yöntem, Newton Yöntemi olarak ta bilinir. Bu yöntemde, fonksiyonu sıfır yapan kök değeri, f (x) fonksiyonunun x noktasındaki eğimiminden yararlanarak bulunulur (Şekil 3.15).

Newton- Raphson yöntemini ayrıca Taylor serisinden çıkarabiliriz ve bu yolla hata analizi de yapılır. f(x) fonksiyonun x0 Noktasında Taylor serisine açılımı göz önüne alalım. Buradaki açılımda x0 yerine xi, x yerine xi+1 yazabiliriz. 1.mertebeden

türevi içeren terimlerden sonrakiler alınmaz ve f(xi+1) = 0 alınırsa aşağıdaki denklemi elde edilir.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \tag{3.9}$$

Burada, Newton-Raphson yöntemi, doğrusal olmayan denklemlerin çözümü için iteratif (adım-adım) bir yaklaşım sunmaktadır. Yukarıdaki ifade kullanılarak bir fonksiyonun kökü, yinelemeli yakınsama ile bulunmaya çalışılır.



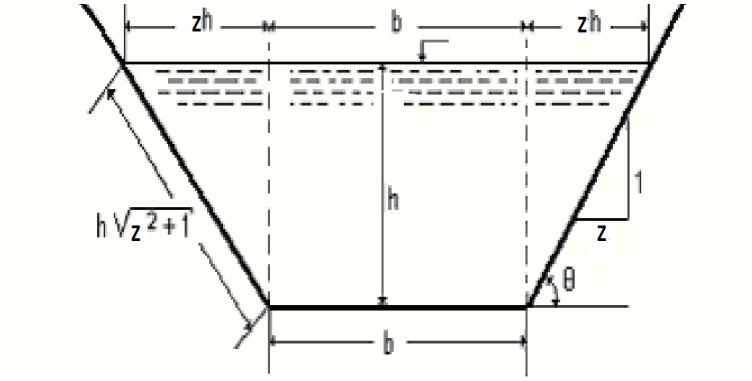
Şekil 3.15. Newton-Raphson metodunun grafiksel gösterilimi

3.3.10.1. Trapez Kanallarda Newton Raphson Metodunun Uygulanması

Açık kanallarda ençok tercih edilen kanal tipleri dikdörtgen ve trapez (yamuk) kesitli kanallardır. Doğal akarsu kesitleri trapez kesite yakın enkesit özelliği göstermektedir. Doğal kanal enkesitlerinin bu özelliği ile beraber hidrolik olarak en uygun kesitin dairesel kesit olması sonucu; uygulamalarda trapez kesitin en çok tercih edilen kesit olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, trapez kesitli kanallar için su yüzü hesap adımları ele alınmıştır. Kanal yan eğimlerinin (şevler) sıfır alınması halinde geliştirilecek denklemler dikdörtgen kesitler için geçerli olacaktır.

Şekil 3.16. Açık kanallarda en çok tercih edilen kanal tipleri dikdörtgen ve trapez (yamuk) kesitli kanallardır. Açık drenaj kanallarının boyutlandırması için öncelikle akışın hidroliği yönünden en uygun olan kanal boyutunu veya kesiti belirlenir. Belirlenen kesitte akım hızı, kritik hız, sürükleme gücü yönünden kontrol edilir. Trapez

(yamuk) akış kullanmasının önemli sebeplerden bir tanesi arazi koşullarında kazı yoluyla açılan dolgu ve sulama kanallarında dairesel şeklin uygulanması zorluk yaşatmaktadır. Bu sebeple, arazide yapım kolaylığı açısından dairesel şekle en yakın sonuç veren trapez kanal enkesiti tercih edilmektedir. Trapez kanalın yan yüzeylerinin yatayla yapılan açının tanjantına kanalın şevi(eğimi) denir. Yatay mesafede z düşey mesafeyi 1 olarak aldığımızda trapez kanalın şevi tan=1/z olur.



Şekil 3.16. Trapez kanalı ve detay parametreleri

Trapez kesit için su derinliğin hesabı

$$S_0.\Delta x + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \left(\frac{Sf_1 + Sf_2}{2}\right)\Delta x \qquad (1)$$

Burada; Enerji çizgi eğimi

$$\mathrm{Sf_1} = \frac{\mathrm{n^2 V_1^2}}{\mathrm{R_1^{4/3}}} \qquad (3.11)$$

(Maning denkleminden)

Üniform akımda kritik derinliğin meydana geldiği kanal eğimine kritik eğim denmektedir. Bu kritik eğim S_{f1} ile gösterilir. Kritik manning formülünden bulunabilmektedir. Burada, V_1: 1 nolu kesitteki akım hızını (m/s) ifade eder. R_1 : 1 nolu kesitteki ıslak alanın ıslak çevreye bölünmesiyle elde edilir. n: Manning katsayısını göstermektedir.

Üniform bir akımda taban eğimi kritik eğimden küçük olursa akımımız kritik rejim altındadır ve bu tür kanallara yumuşak eğimli kanallar denir. Eğer taban eğimi kritik eğimden büyük ise akımımız kritik rejim üstündedir. Bu tür kanallara dik eğimli kanal denmektedir.

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} \tag{3.12}$$

A_1 : 1 nolu akış yönünde dik yöndeki ıslak kesitin alanıdır.

P_1 : 1 nolu kanal kesitindeki ıslak yüzeylerin toplam uzunluğudur.

R_1 : 1 nolu kesitteki hidrolik yarıçapı ifade eder.

$$Sf_2 = \frac{n^2.V_2^2}{R_2^{4/3}} \tag{3.13}$$

Üniform akımda kritik derinliğin meydana geldiği kanal eğimine kritik eğim denmektedir. Bu kritik eğim Sf_2 ile gösterilir. Kritik manning formülünden bulunabilmektedir. Burada V_2: 2 nolu kesitteki hızı (m/s) ile ifade edilir. R_2 : 2nolu kesitteki ıslak alanın ıslak çevreye bölünmesiyle elde edilir. n: Manning katsayısını göstermektedir.

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} \tag{3.14}$$

A_2 : 2 nolu akış yönünde dik yöndeki ıslak kesitin alanıdır.

P_2 : 2 nolu kanal kesitindeki ıslak yüzeylerin toplam uzunluğudur.

R_2 : 2 nolu kesitteki hidrolik yarıçapı ifade eder.

$$Q = V.A \tag{3.15}$$

$$V = \frac{Q}{A} \tag{3.16}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} \tag{3.17}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} \tag{3.18}$$

$$A_1 = b.h_1 + z.h_1^2 \tag{3.19}$$

Kesitimiz trapez kesitli olduğu için alan hesaplamasında öncelikle kanalın taban uzunluğu ile atmosfer basıncına maruz kalan suyun yüzey uzunluğu toplanır ve yüksekliği ile çarpılıp bulduğumuz sonucu 2 ye bölünür. Bu şekilde kesitin alanı bulunur. Atmosfer basıncına maruz kalan yüzey uzunluğunun hesabı içinde trapez şeklin şevinden faydalanıp yüksekliği h=1 ve yatay uzunluğu z olarak alınır.

$$P_1 = b + 2h_1\sqrt{1+z^2} \tag{3.20}$$

$$A_2 = b.h_2 + \frac{2}{Z}h_2.2 \tag{3.21}$$

$$P_2 = b + 2h_2\sqrt{1+z^2} \tag{3.22}$$

$$S_0.\Delta x + \frac{Q^2}{A_1^2.2g} + h_1 = h_2 + \frac{Q^2}{A_2^2.2g} + \left(\frac{S_Q + S_{Q2}}{2}\right).\Delta x \tag{3.23}$$

$$S_0.\Delta x + \frac{Q^2}{\left(b.h_1 + zh_1^2\right)^2.2g} + h_1 = h_2 + \frac{Q^2}{\left(b.h_2 + zh_2^2\right)^2.2g} + \left(\frac{\frac{n^2h_1^2}{R_1^{4/3}} + \frac{n^2h_2^2}{R_2^{4/3}}}{2}\right).\Delta x \tag{3.24}$$

$$S_0.\Delta x + \frac{Q^2}{\left(b.h_1 + z.h_1^2\right)^2.2g} + h_1 = h_2 + \frac{Q^2}{\left(b.h_2 + zh_2^2\right)^2.2g} + n^2\left(\frac{V_1^2}{A_1^2R_1^{4/3}} + \frac{V_2^2}{A_2^2R_2^{4/3}}\right).\Delta x \tag{3.25}$$

$$S_0.\Delta x + \frac{Q^2}{\left(b.h_1 + z.h_1^2\right)^2.29} + h_1 = h_2 + \frac{Q^2}{\left(b.h_2 + z.h_2^2\right)^2.2g} + n^2Q^2\left(\frac{Q^2}{A_1^2R_1^{4/3}} + \frac{Q^2}{A_2^2R_2^{4/3}}\right).\Delta x \tag{3.26}$$

$$S_0.\Delta x + \frac{Q^2}{\left(b.h_1 + z.h_1^2\right)^2.29} + h_1 = h_2 + \frac{Q^2}{\left(b.h_2 + z.h_2^2\right)^2.2g} + n^2Q^2\left(\frac{Q^2}{R_1^{10/3}P_1^2} + \frac{Q^2}{R_2^{10/3}P_2^2}\right).\Delta x \tag{3.27}$$

Burada ‘F’ Bilinmektedir. Yani Q, n, h, z, Δx , S_o , L, b biliniyor.

$$h_2 + \frac{Q^2}{2g.\left(b.h_2 + z.h_2^2\right)^2} + \frac{n^2Q^2\left(b + 2h_2\sqrt{1+z^2}\right)^{4/3}.\Delta x}{2.\left(b.h_2 + z.h_2^2\right)^{10/3}} + F_{20} \tag{3.28}$$

$$F = S_0.\Delta x + \frac{Y^2}{\left(b.h_1 + z.h_1^2\right)^2.2g} + h_1 \tag{3.29}$$

$h_{k+1} = h_k - \frac{f\left(h_k\right)}{f^1\left(h_k\right)}$ (21) Newton iterasyon dikdörtgen kesit için

$\left|h_{k+1} - h_k\right| < \in$ (22) Error Tolerak E= 0,0001 seçilebilir.

Şimdi Y_1 çözmek için Newton-Raphson iterasyon tekniği uygulanabilir.

$$f\left(h_k\right) = h_2 + \frac{Q^2}{2g.\left(b.h_2 + z.h_2^2\right)^2} + \frac{n^2Q^2\left(b + 2_z\sqrt{1+z^2}\right)^{4/3}.\Delta x}{2\left(bh_2 + zh_2^2\right)^{10/3}} + F \tag{3.30}$$

$$f^1\left(h_k\right) = 1 - \frac{Q^2}{2g.2\left(bh_2 + zh_2^2\right)^3}.\left(b.2z.h_2\right) \tag{3.31}$$

$$+\frac{n^2Q^2\Delta x}{3}\frac{\left[2.\left[\left(b + 2h_2\sqrt{1+z^2}\right)^{1/3}.\left(\sqrt{1+z^2}\right).\left(bh_2 + zh_2^2\right)^{10/3}\right]\right.}{\left(bh_2 + zh_2^2\right)^{20/3}}\left.\left[5.\left(bh_2 + zh_2^2\right)^{7/3}.\left(b + 2z.h_2\right).\left(b + 2h_2\sqrt{n - z^2}\right)^{4/3}\right]\right] \tag{3.32}$$

Burada

Sf: Hidrolik eğim enerji çizgisi

V: Akışın hızı

Y_1: 1 nolu kesitte akım derinliği

Y_2: 2 nolu kesitte akım derinliği

g: Yer çekim ivmesi

B: Prizmatik kanalın taban genişliği

A: Trapez kesitin alanı

Q: Akımdaki debi

R: Hidrolik yarıçap

P_1: 1 nolu kesitteki ıslak çevre

P_2: 2 nolu kesitteki ıslak çevre

3.3.11. Excel Programı ve Excel Makro İle Programlama

3.3.11.1. Excel Programı

Microsoft tarafından Microsoft Windows ve Apple Macintosh işletim sistemleri tabanında çalışmak üzere yazılan ve dağıtımı yapılan bir tablolama programıdır (*spreadsheet*). İçinde bulunan detaylı finansal çözümlerin yapılabildiği tablolama, grafik oluşturma başarısı ve uygulamalarda kullanılabilecek Visual Basic makro programlama dili sayesinde kendi türünde şu anda dünyadaki en popüler yazılımdır.

Microsoft Excel bütün temel tablolama işlemlerine sahiptir, numaralandırılmış sıralardan ve harflerle isimlendirilmiş hücrelerden oluşan bir ızgara kullanarak aritmetik işlemler gibi veri manipülasyonları organize eder. İstatistik, mühendislik ve finansal ihtiyaçları karşılayan fonksiyonlara sahiptir. Ayrıca, çizgisel grafikleri, histogramları ya da çizelgeleri ve bir de çok kısıtlı olarak 3 boyutlu grafikleri görüntüleyebilir. Verileri farklı açılardan çeşitli bağımlılıklarına göre kısımlara ayırmaya izin verir. Ayrıca kullanıcıya diferansiyel denklemleri çözme ve daha sonra tabloya sonuçları bildirme gibi imkanlar sunan Visual Basic tabanlı geniş bir sayısal metot temelli programlama yönü de vardır.

3.3.11.2. Excel'de VBA Makroları Oluşturma

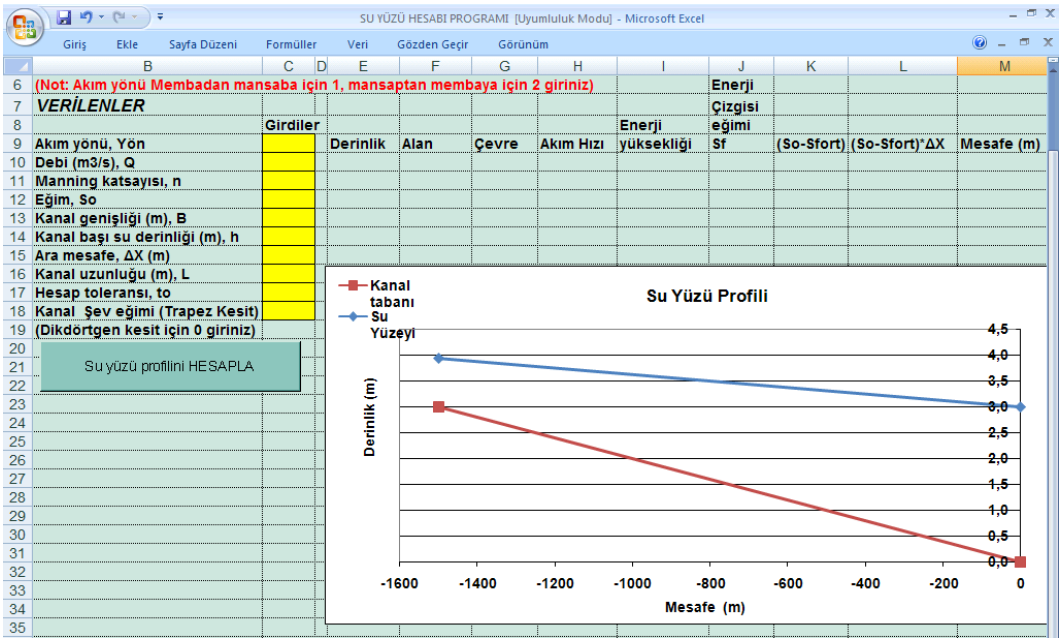
Yinelenen görevleri otomatikleştirmek için Microsoft Office Excel'de kısa sürede bir makro oluşturulabilir. Kendi makro komut dosyalarınızı yazmak veya bir makronun tümünü veya bir kısmını yeni bir makroya kopyalamak için Microsoft Visual Basic'te Visual Basic Düzenleyicisi'ni kullanarak da makro oluşturulabilir. Makro oluşturduktan sonra, bir nesneye (araç çubuğu düğmesi, grafik veya denetim gibi)

atayabilir ve nesneyi tıklatarak çalıştırabilir. Visual Basic butonu Developer (Geliştirici) sekmesi altında kod (code) grubu altında bulunur.

3.3.12. Excel Makro ile Su Yüzü Hesap Programının Geliştirilmesi

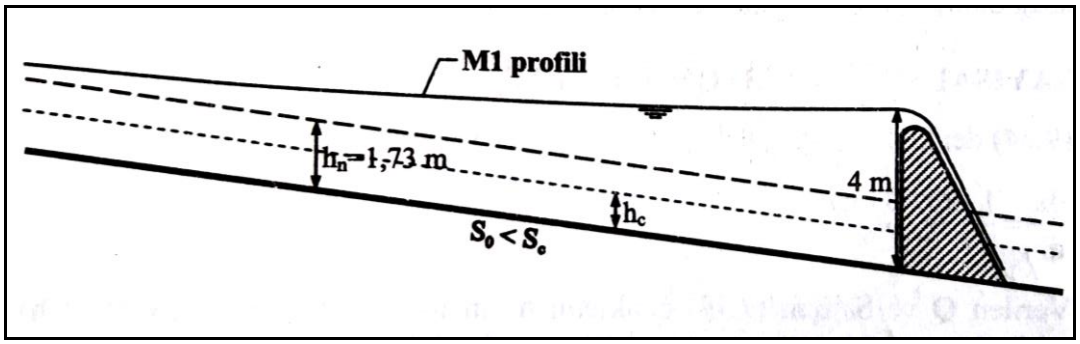
Programda verilenler kısmında akımın yönü, Debisini, Manning katsayısını, kanalın genişliğini, kanal başındaki su derinliğini oluşturacağımız mesafe kanalın uzunluğu hesap toleransı verilerini verilenler kısmında giriyoruz kanalımız trapez kesitse şevini giriyoruz dikdörtgen kesit ise şev kısmını sıfır giriyoruz. Verilerimiz girdikten sonra su yüzü profilini HESAPLA tuşuna basıyoruz ve aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi kademe kademe olarak bize hesaplıyor.

Çizelge.3.3. Geliştirilen su yüzü hesaplama Excel Programının görsel giriş sayfası



3.3.13. Örnek Uygulama 1

Trapez kesitli beton kaplamalı bir kanalda Q=19 m^3/s, b=3m, z=1, S_0=0.0015 ve Manning katsayısı n=0.017'dir. Kanalda inşa edilen bir bağlamanın hemen arkasında su derinliğinin 4 m olması halinde oluşacak kabarma eğrisinin profilini hesaplayınız (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Örnek problem 1 için bir bağlama yapısının arkasındaki su profili (Kırkgöz, 2013)

Manning formülüne göre normal derinlik;

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \Rightarrow 19 = \frac{1}{0{,}017}(3+h_n)h_n\left[\frac{(3+h_n)h_n}{3+2{,}83h_n}\right]^{2/3}(0{,}0015)^{1/2}$$

Kritik derinlik:

$$\frac{Q^2 B}{gA^3} = 1 \Rightarrow \frac{19^2(3+2h_c)}{9{,}81\left[(3+h_c)h_c\right]^3} = 1$$

$$h_c = 0{,}0136\left[(3+h_c)h_c\right]^2 - 1{,}5 \Rightarrow h_c = 1{,}36m$$

Hesaplanan değerlerden görüldüğü gibi, akımda $h > h_n > h_c$ eşitsizliği geçerli olduğuna göre, su yüzü profili M1 türü bir yavaş değişen üniform olmayan akımdır.

Sayısal entegrasyon yöntemine ait hesaplar aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelge 3.4'de Su yüzü profil hesabı L=0-1800 m mesafeler arasında ve Δx =300 m ara mesafe farkları ile yapılmıştır (Çizelge 3.4).

3.3.13.1. Uygulama Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

SU YÜZÜ HESABI PROGRAMI [Uyumluluk Modu] - Microsoft Excel

Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm

Bu program açık kanal ve akarsularda su yüzü hesabının STANDART ADIM METODU ile çözümünü sağlar..

Verileri sarı kutucukları girip, HESAPLA butununa basınız.

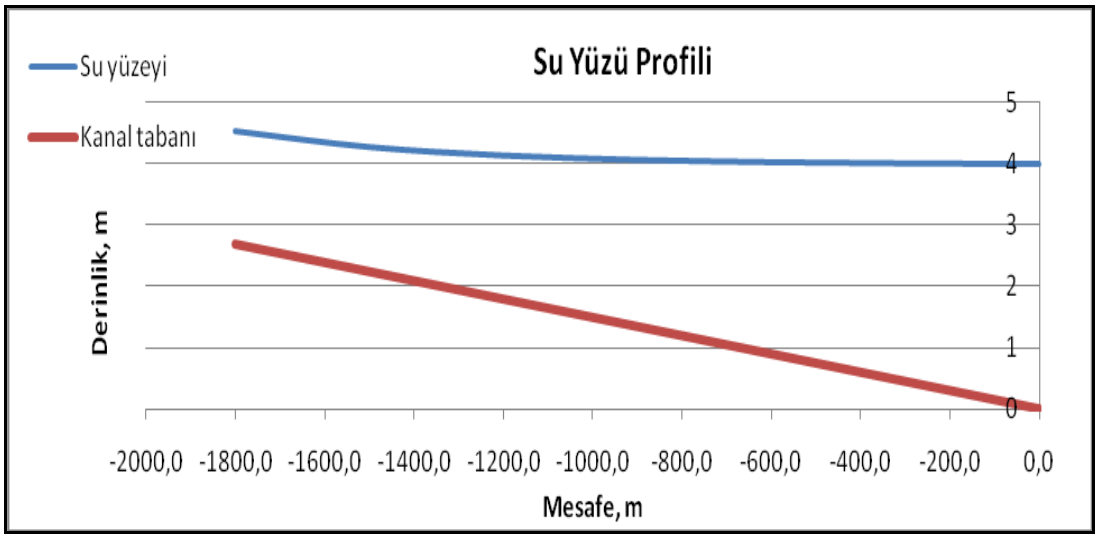
(Not: Akım yönü Membadan mansaba için 1, mansaptan membaya için 2 giriniz)

VERİLENLER

		Girdiler				Akım	Enerji	Enerji Çizgisi eğimi			
9	Akım yönü, Yön	2	Derinlik	Alan	Çevre	Hızı	yüksekliği	Sf	(So-Sfort)	(So-Sfort)*ΔX	Mesafe (m)
10	Debi (m3/s), Q	19,0	4,0000	28,0000	14,3137	0,6786	4,0235	0,0000544			0,0
11	Manning katsayısı, n	0,017	3,5612	23,3657	13,0726	0,8132	3,5949	0,0000881	0,0014288	0,429	-300,0
12	Eğim, So	0,0015	3,1306	19,1925	11,8547	0,9900	3,1806	0,0001490	0,0013815	0,414	-600,0
13	Kanal genişliği (m), B	3,0	2,7160	15,5247	10,6820	1,2239	2,7923	0,0002629	0,0012940	0,388	-900,0
14	Kanal başı su derinliği (m), h	4,00	2,3345	12,4534	9,6030	1,5257	2,4531	0,0004757	0,0011307	0,339	-1200,0
15	Ara mesafe, ΔX (m)	300,0	2,0199	10,1397	8,7131	1,8738	2,1989	0,0008290	0,0008477	0,254	-1500,0
16	Kanal uzunluğu (m), L	1800,0	1,8185	8,7624	8,1435	2,1683	2,0581	0,0012324	0,0004693	0,141	-1800,0
17	Hesap toleransı, to	0,0010									
18	Kanal Şev eğimi (Trapez Kesit)	1									
19	(Dikdörtgen kesit için 0 giriniz)										

Su yüzü profilini HESAPLA

Şekil 3.18. 1. Örnek problemin hesaplanan program çıktısı



Şekil 3.19. 1. Örnek problemin su yüzü profili program çıktısı

Çizelge 3.4. Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için hesap tablosu (Kırgöz, 2013)

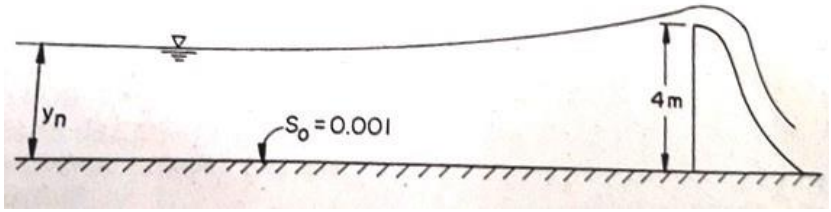
L (m)	**h (m)**	**A (m^2)**	**V (m/s)**	**$V^2/2g$ (m)**	**$E=h+V^2/2g$ (m)**	**P (m)**	**$R^{4/3}$**	**$S=V^2n^2/R^{4/3}$**	**S_{ort}**	**S_0-S_{ort}**	**Δx (m)**	**$(S_0-S_{ort})\Delta x$**	**$E_2=E_r-(S_0-S_{ort})\Delta x$**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	4.00	28.0	0.7	0.026	4.026	14.32	2.446	$5.447x10^{-5}$	$6.089x10^{-5}$	0.0014	300	0.432	4.026
300	3.56	23.4	0.8	0.037	3.597	13.07	2.169	$8.829x10^{-5}$					3.597
									$11.964x10^{-5}$	0.0014	300	0.414	
600	3.12	19.1	1.0	0.056	3.176	11.82	1.895	$15.099\ x10^{-5}$					3.183
									$21.013x10^{-5}$	0.0013	300	0.387	
900	2.7	15.4	1.2	0.086	2.786	10.64	1.637	$26.927x10^{-5}$					2.789
									$38.197x10^{-5}$	0.0011	300	0.335	
1200	2.31	12.3	1.5	0.134	2.444	9.533	1.4	$49.467x10^{-5}$					2.451
									$67.774x10^{-5}$	0.0008	300	0.247	
1500	2.00	10.0	1.9	0.202	1200	2.31	12.27	$86.080\ x10^{-5}$					2.197
									$105.64x10^{-5}$	0.0004	300	0.133	
1800	1.81	8.71	2.2	0.267	2.077	8.119	1.098	$125.20x10^{-5}$					2.069

Çizelge 3.5. Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için bilgisayar programı hesap sonuçları (1. Örnek)

L (m)	**h (m)**	**A (m^2)**	**V (m/s)**	**$V^2/2g$ (m)**	**$E=h+V^2/2g$ (m)**	**P (m)**	**$R^{4/3}$**	**$S=V^2n^2/R^{4/3}$**	**S_{ort}**	**S_0-S_{ort}**	**Δx (m)**	**$(S_0-S_{ort})\Delta x$**	**$E_2=E_r-(S_0-S_{ort})\Delta x$**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	4.0	28.00	0.67	0.026	4.026	14.31	2.446	$5.447x10^{-5}$	$6.089x10^{-5}$	0.0014	300	0.432	4.023
300	3.56	23.36	0.81	0.033	3.593	13.07	2.168	$8.829x10^{-5}$					3.594
									$11.864x10^{-5}$	0.0013	600	0.414	
600	3.13	19.19	0.99	0.049	3.179	11.85	1.886	$15.099\ x10^{-5}$					3.181
									$20.09x10^{-5}$	0.0012	900	0.388	
900	2.71	15.52	1.22	0.075	2.785	10.68	1.632	$26.927x10^{-5}$					2.792
									$37.9x10^{-5}$	0.0011	1200	0.339	
1200	2.33	12.45	1.52	0.117	2.447	9.60	1.398	$49.467x10^{-5}$					2.463
									$67.03x10^{-5}$	0.0008	1500	0.254	
1500	2.019	10.13	1.87	0.178	2.197	8.71	1.220	$86.080\ x10^{-5}$					2.199
									$104.99x10^{-5}$	0.0004	1800	0.141	
1800	1.81	8.76	2.16	0.237	2.047	8.14	1.092	$125.20x10^{-5}$					2.058

3.3.14. Örnek Uygulama 2

Dikdörtgen kesit beton kaplamalı bir kanalda Q=280 m^3/s, b=70 m, z=0, S_0=0.0015 ve Manning katsayısı n=0.023'dir. Kanalda inşa edilen 4 m yüksekliğinde bir bağlamanın (regülatör) yapısının hemen arkasında su derinliğinin 5.5 m olması halinde oluşacak kabarma eğrisinin su yüzü profilini hesaplayınız.



Şekil 3.20. Örnek problem 2 için bir bağlama yapısının arkasındaki su profili (Yanmaz, 2007)

Manning formülüne göre normal derinlik;

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \Rightarrow 280 = \frac{1}{0,023}\left((70+h_n)\,xh_n\right)\left[\frac{(70+h_n)\,xh_n}{70+2h_n}\right]^{2/3} x\left(0,0015\right)^{1/2}$$

$$166,280 = \frac{\left((70+h_n)\,xh_n\right)^{5/3}}{\left(70+h_n\right)^{2/3}} \Rightarrow h_n = 1,940m$$

Kritik derinlik:

$$\frac{Q^2 B}{gA^3} = 1 \Rightarrow \frac{\left(280\right)^2 .\left(70+2h_c\right)}{9,81.\left[\left(70+h_c\right)xh_c\right]^3} = 1$$

$$h_c = 1,166m$$

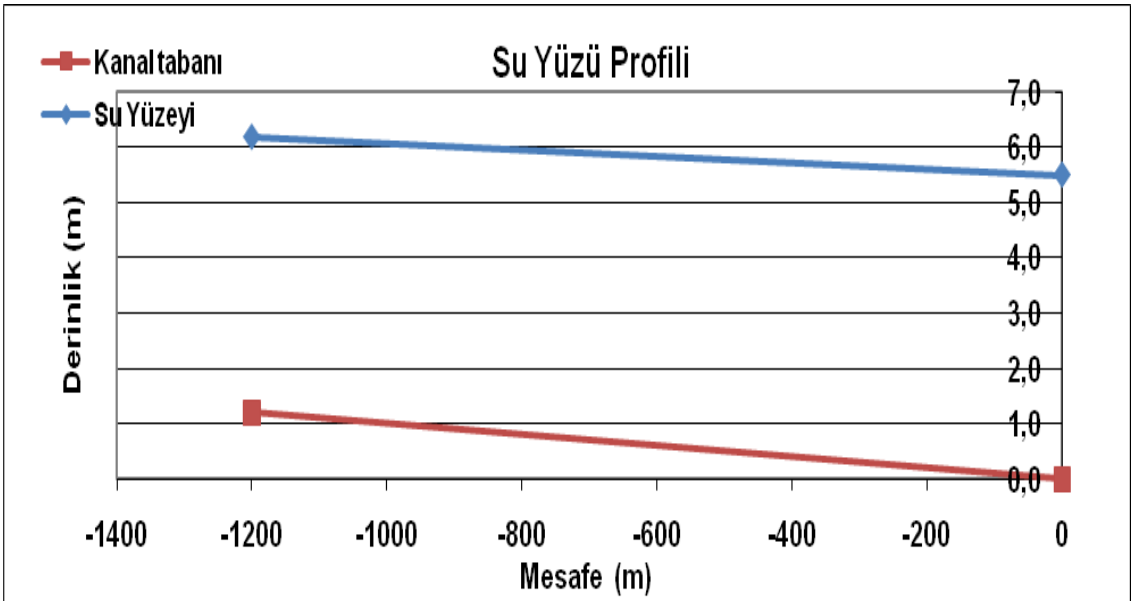
Hesaplanan değerlerden görüldüğü gibi, akımda $h > h_n > h_c$ eşitsizliği geçerli olduğuna göre, su yüzü profili M1 türü bir yavaş değişen üniform olmayan akımdır.

Çizelge 3.6. 2. Örnek problemin hesaplanan program çıktısı

SU YÜZÜ HESABI PROGRAMI [Uyumluluk Modu] - Microsoft Excel

Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm

	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M
6	(Not: Akım yönü Membadan mansaba için 1, mansaptan membaya için 2 giriniz)							Enerji			
7	VERİLENLER							Çizgisi			
8		Girdiler				Akım	Enerji	eğimi			
9	Akım yönü, Yön	2	Derinlik	Alan	Çevre	Hızı	yüksekliği	Sf	(So-Sfort)	(So-Sfort)*ΔX	Mesafe (m)
10	Debi (m3/s), Q	280,0	5,5000	385,0000	81,0000	0,7273	5,5270	0,0000350			0,0
11	Manning katsayısı, n	0,023	5,4027	378,1890	80,8054	0,7404	5,4306	0,0000370	0,0009640	0,096	-100,0
12	Eğim, So	0,0010	5,3055	371,3850	80,6110	0,7539	5,3345	0,0000392	0,0009619	0,096	-200,0
13	Kanal genişliği (m), B	70,0	5,2085	364,5950	80,4170	0,7680	5,2386	0,0000416	0,0009596	0,096	-300,0
14	Kanal başı su derinliği (m), h	5,50	5,1117	357,8190	80,2234	0,7825	5,1429	0,0000441	0,0009572	0,096	-400,0
15	Ara mesafe, ΔX (m)	100,0	5,0151	351,0570	80,0302	0,7976	5,0475	0,0000469	0,0009545	0,095	-500,0
16	Kanal uzunluğu (m), L	1200,0	4,9187	344,3090	79,8374	0,8132	4,9524	0,0000498	0,0009516	0,095	-600,0
17	Hesap toleransı, to	0,0010	4,8225	337,5750	79,6450	0,8294	4,8576	0,0000531	0,0009486	0,095	-700,0
18	Kanal Şev eğimi (Trapez Kesit)	0	4,7266	330,8620	79,4532	0,8463	4,7631	0,0000565	0,0009452	0,095	-800,0
19	(Dikdörtgen kesit için 0 giriniz)		4,6310	324,1700	79,2620	0,8637	4,6690	0,0000603	0,0009416	0,094	-900,0
20	Su yüzü profilini HESAPLA		4,5357	317,4990	79,0714	0,8819	4,5753	0,0000645	0,0009376	0,094	-1000,0
21			4,4407	310,8490	78,8814	0,9008	4,4821	0,0000690	0,0009333	0,093	-1100,0
22			4,3461	304,2270	78,6922	0,9204	4,3893	0,0000739	0,0009286	0,093	-1200,0
23											



Şekil 3.21. 2. Örnek problemin su yüzü profili program çıktısı

Çizelge 3.7. Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için hesap tablosu (Yanmaz, 2007)

L (m)	h (m)	A (m^2)	V (m/s)	$V^2/2g$ (m)	$E=h+V^2/2g$ (m)	P (m)	$R^{4/3}$	$S=V^2n^2/R^{4/3}$	S_{ort}	S_0-S_{ort}	Δx (m)	$(S_0-S_{ort})\Delta x$	$E_2=E_r-(S_0-S_{ort})\Delta x$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	5,550	388,5	0,721	0,0265	5,576	81,1	8,07	0,00003					5.576
100	5,453	381,5	0,734	0,0275	5,480	80,9	7,91	0,00003603	0,000034	0,001466	100	0,146	5.429
200	5,353	374,5	0,748	0,0285	5,381	80,7	7,74	0,00003823	0,000036	0,001464	1000	0,146	5.234
300	5,250	367,5	0,762	0,0296	5,279	80,5	7,57	0,00004056	0,000038	0,001462	100	0,146	5.128
400	5,153	360,5	0,777	0,0308	5,183	80,3	7,41	0,00004312	0,000041	0,001459	100	0,1459	5.038
500	5,053	353,5	0,792	0,0320	5,084	80,1	7,24	0,00004584	0,000043	0,001457	100	0,1457	4.939
600	4,953	346,5	0,808	0,0333	4,986	79,9	7,07	0,00004883	0,000046	0,001454	100	0,1454	4.840
700	4,854	339,5	0,825	0,0347	4,888	79,7	6,91	0,00005213	0,000049	0,001451	100	0,1451	4.742
800	4,754	332,5	0,842	0,036	4,790	79,5	6,74	0,00005566	0,000052	0,001448	100	0,1448	4.645
900	4,654	325,5	0,86	0,037	4,691	79,3	6,57	0,00005952	0,000056	0,001444	100	0,1444	4.546
1000	4,555	318,5	0,879	0,039	4,59438	79,1	6,41	0,00006379	0,00006	0,00144	100	0,1440	4.454
1100	4,355	311,5	0,899	0,041	4,39619	78,9	6,24	0,00006851	0,000064	0,001436	100	0,1436	4.252
1200	4,256	304,5	0,92	0,043	4,29914	78,7	6,07	0,00007371	0,000068	0,001432	100	0,1432	4.155
									0,000074	0,001426	100	0,1426	

Çizelge 3.8. Standart adım yöntemine göre prizmatik bir kanal için bilgisayar hesap sonuçları (2. Örnek)

L (m)	**h** (m)	**A** (m^2)	**V** (m/s)	$V^2/2g$ (m)	**E=h+ $V^2/2g$** (m)	**P** (m)	$R^{4/3}$	$S=V^2n^2/R^{4/3}$	S_{ort}	S_0-S_{ort}	Δx (m)	$(S_0-S_{ort})\Delta x$	$E_2=E_r-(S_0-S_{ort})\Delta x$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	5.550	385	0.727	0.0265	5.576	81.1	8.07	0.00003					5.576
100	5.402	378.1	0.740	0.0279	5.4299	80.8	7.88	0.00003601	0.0000350	0.000964	0	0.096	5.480
200	5.305	371.3	0.753	0.0288	5.3338	80.6	7.70	0.00003819	0.0000370	0.000961	100	0.096	5.333
300	5.208	364.5	0.768	0.0300	5.238	80.4	7.53	0.00004051	0.0000392	0.000959	200	0.095	5.237
400	5.111	357.8	0.782	0.0311	5.1421	80.2	7.37	0.00004307	0.0000416	0.000957	300	0.095	5.142
500	5.015	351.0	0.797	0.0323	5.0473	80.0	7.19	0.00004577	0.0000441	0.000954	400	0.095	5.047
600	4.918	344.3	0.813	0.0336	4.9516	79.8	7.01	0.00004875	0.0000469	0.000951	500	0.095	4.953
700	4.822	337.5	0.829	0.0350	4.8570	79.6	6.85	0.00005207	0.0000498	0.000948	600	0.095	4.859
800	4.726	330.8	0.846	0.0364	4.7624	79.4	6.67	0.00005559	0.0000531	0.000945	700	0.094	4.765
900	4.631	324.1	0.863	0.0379	4.6689	79.2	6.50	0.00005942	0.0000585	0.000941	800	0.094	4.671
1000	4.535	317.4	0.881	0.0395	4.5745	79.0	6.33	0.00006370	0.0000603	0.000937	900	0.094	4.578
1100	4.440	310.8	0.900	0.0412	4.7812	78.8	6.16	0.00006841	0.0000645	0.000933	1000	0.093	4.485
1200	4.346	304.2	0.920	0.0431	4.3891	78.6	5.97	0.00007361	0.0000690	0.000928	1100	0.093	4.392
									0.0000739	0.000924	1200	0.093	

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Newton-Raphson sayısal analiz metodunun tedrici değişken açık kanal akım denklemlerine uygulanabilirliği araştırılmıştır. Literatürde bu metodun uygulanabilirliği için önemli kaynaklara ulaşılmıştır. Fakat, metodun pratiğe yönelik denklem açılımları pek yapılmamıştır. Bu nedenle, yapılan çalışmayla bu açığın kapatılması hedeflenmiştir. Böylece, tedrici değişen açık kanal akımlarında su yüzü profil hesabının standart adım metodu ile belirlenmesinde kolaylık sağlamak için Newton-Raphson sayısal çözümleme denklemlerinin açılımı yapılmıştır.

Ayrıca, trapez kesitli açık kanal akımları için Newton- Raphson sayısal çözümleme tekniği ile bir bilgisayar program algoritma hazırlanması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, her bilgisayarda mevcut olan Excel paket program altında kullanılabilen Excel-Makro tabanlı "Visual Basic" programlama dili ile bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programının güvenirliliği literatürde verilen çözümlü iki adet örnek problemlere uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Program çıktıları ve su yüzü profil grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında çok yakın değerler bulunmuştur. Bu çalışmada geliştirilen yeni bilgisayar programına ait "Visual Basic" kod algoritma akışı eklerde verilmiştir.

Sonuç olarak, ileride yapılacak çalışmalar için geliştirilen programın başka çözümlü örneklere uygulanarak eksikleri ve iyileştirilmelerinin yapılması önerilebilir.

5. KAYNAKLAR

Birsoy, O., (2002), *Water Surface Profiles in Compound Channels*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadogu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chanson, H. (2004). Hydraulics of Open Channel Flow: An introduction, Elsevier press Chow, V. T. (1959). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York

Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., (2012). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Çeviri:T.Engin, H.R.Öz, H.Küçük, Ş.Çeşmeci, Güven Kitapevi, İzmir

Demirel, E., Tozluk H. (2002). Su Yüzü Profilinin Euler Metodu ile Sayısal Çözümünde Gerekli Adım Sayısının Belirlenmesi, Osmangazi Üniv. Müh- Mim. Fak. Dergisi, 15(1): 31-40.

Deys, S. (2000). Chebyshev solution as aid in computing GVF by standart step method. **J.Irriga. and drain eng.,** 126,4, 271-274

Erkek, C., Ağıralioğlu, N. (2002). Su Kaynakları Mühendisligi, Beta Yayınevi, İstanbul.

French, R.H., (2007). Open Channel Hydraulics,Water Resources Publications

Griffiths, D. V. and Smith I. M. (1991). Numerical Methods for Engineers. CRC Press, Boston, MA, USA

Henderson, F.M. (1966). Open Channel Flow, McGraw-Hill

Karahan, M.E., (1986). Boru ve Açık kanal Hidroliği, Matbaa Teknisyenleri Basımevi

Kumar, A., (1979), *Gradually Varied Surface Profiles in Horizontal and Adversely Sloping channels*, Proceeding of the Instituation of Civil Engineers, Part 1- Design & Construction, v 67, n pt 2, p 435-452, London.

Öztürkmen, G. (2008). Açık kanallarda su yüzü profilinin farklı hidrolik kosullar altında belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Rhodes, D. (1995). Newton-Raphson solution for gradually varied flow. ***J.Hydraulic Research*** 33(2),213-218

Rhodes, D.(1998). Gradually varıed flow solutıons in Newton-Raphson form. J***. Irriga. and drain. eng.,*** 124 (4), 233-235

Sümer, B.M., Ünsal, İ.,Bayazıt, M. (2007). Hidrolik, Birsen Yayınevi

Vatankhah, A. R. (2011**).** Direct Integration of Manning-based GVF Equation in Trapezoidal Channels, Flow Measurement and Instrumentation, 22**,** ASCE, 235-241.

Wilson, E.H., (1969), *Surface Profiles in Non-Prismatic Rectangular Channels*, Water Power, v 21, n 11, p 438-43.

Yanmaz, M.A. (1997). Applied water resources engineering, METU press (ODTÜ)

Yao, K.M., (1971), *Nonuniform Flow in Flat Rectangular Channels*, ASCE J Hydraulic Div., v 97, n HY9, Paper number:8369, p 1343-8.

Yüksel, Y. (2000). Teori ve çözümlü Problemleri ile Bilgisayar Uygulamalı Akıskanlar Mekanigi ve Hidrolik, Beta Yayınevi, İstanbul.

Yüksel, Y. (2012). Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Yayınevi, İstanbul.

Zaghloul Nabil A.; Darwish A. Y., (1987), *Solution of gradually varied flow problems using the direct step method with the IBM PC Lotus 1-2-3 system*. Environmental Software, vol. 2, no. 4, pp. 199-206.

EKLER

Bu kısım, Excel Makro Visual Basic Programlama dili kullanılarak hazırlanan algoritma gore geliştirilen kodları kapsamaktadır.

Visual Basic Makro Program kodları

```
Private Sub CalcItButton_Click()
Dim a1 As Double, a2 As Double
Dim y1 As Double, y2 As Double
Dim e1 As Double, e2 As Double
Dim p1 As Double, p2 As Double
Dim e2g As Double
Dim k As Double
Dim x As Double
Dim L As Double
Dim B As Double
Dim Q As Double
Dim n As Double
Dim So As Double
Dim Sf As Double, Sfm As Double
Dim sf1 As Double, sf2 As Double
Dim de As Double
Dim dx As Double
Dim tol As Double
Dim z As Double
Dim v1 As Double
Dim r1 As Double
Dim v2 As Double
Dim r2 As Double
Dim yi As Double
```

```
Dim F1 As Double
Dim F2 As Double
Dim F3 As Double
Dim F4 As Double
Dim F5 As Double
Dim F6 As Double
Dim Fyi As Double
Dim to1 As Double
Dim YON As Double
Dim yy As Double
Dim y As Double
Dim Fyiturev As Double
Dim i As Integer
Dim intStartCol As Integer
Dim intStartRow As Integer
Dim Num As Integer
Dim intIterCount As Integer
Const g As Double = 9.81
intStartCol = 3
intStartRow = 10
'Akım YÖNÜ
YON = Cells(intStartRow - 1, intStartCol).Value
'Debi (m3 / s)
Q = Cells(intStartRow, intStartCol).Value
'Manning katsayısı n
n = Cells(intStartRow + 1, intStartCol).Value
'Eğim
So = Cells(intStartRow + 2, intStartCol).Value
'Kanal genişliği (m)
```

```
B = Cells(intStartRow + 3, intStartCol).Value
'Kanal başlangıç derinliği(m)
y1 = Cells(intStartRow + 4, intStartCol).Value
'Ara mesafe (adım ) (m)
dx = Cells(intStartRow + 5, intStartCol).Value
'Kanal toplam uzunluğu (m)
L = Cells(intStartRow + 6, intStartCol).Value
'tolerance
tol = Cells(intStartRow + 7, intStartCol).Value
'Şev eğimi
z = Cells(intStartRow + 8, intStartCol).Value
y = y1
intStartCol = 5
Num = CInt(L / Abs(dx))
 Range("E10:M150").Select
Selection.ClearContents
 For i = 0 To Num - 1
   ' x kanalın ara kilometreleri
    x = dx * i
  ' a1 ıslak alan
    a1 = (B * y1) + (z * y1 ^ 2)
     ' p1 ıslak çevre
    p1 = B + (2 * y1 * (1 + z ^ 2) ^ 0.5)
    ' v1 akım hızı
    v1 = (Q / a1)
    ' r1 hidrolik yarıçap
    r1 = (a1 / p1)
    ' e1 enerji yüksekliği
    e1 = y1 + (v1 ^ 2 / (2 * g))
```

```
    ' sf1 hidrolik eğim
    sf1 = ((n * v1) ^ 2 / r1 ^ (4 / 3))
    If i = 0 Then
' verileri ve ilk hesap değerlerini yaz
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 0).Value = y1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 1).Value = a1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 2).Value = p1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 3).Value = v1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 4).Value = e1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 5).Value = sf1
Cells(intStartRow + i, intStartCol + 8).Value = x
End If
For y2 = 0.0001 To 10 Step 0.0001
a2 = (B * y2) + (z * y2 ^ 2)
        p2 = B + (2 * y2 * (1 + z ^ 2) ^ 0.5)
        ' v2 akım hızı
        v2 = (Q / a2)
        e2g = y2 + (v2 ^ 2 / (2 * g))
         ' r2 hidrolik yarıçap
    r2 = (a2 / p2)
       sf2 = ((n * v2) ^ 2 / r2 ^ (4 / 3))
        Sfm = So - ((sf1 + sf2) * 0.5)
        de = dx * Sfm
        e2 = (e1 - de)
If (e2 - e2g) < to1 Then
Exit For
End If
         Next y2
    ' çözümleri yaz
```

```
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 0).Value = y2
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 1).Value = a2
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 2).Value = p2
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 3).Value = v2
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 4).Value = e2g
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 5).Value = sf2
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 6).Value = Sfm
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 7).Value = de
    Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 8).Value = -(x + Abs(dx))
   If YON = 1 Then Cells(intStartRow + i + 1, intStartCol + 8).Value = (x + Abs(dx))
  If i = Num + 1 Then
   Exit For
    End If
     y1 = y2
    Next i
'Su yüzü profil x ve y koordinatlarını yaz MANSAPTAN
 yy = y2
  If YON = 1 Then GoTo 200
 Range("C43").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = y
 Range("C44").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = yy + (So * L)
Range("B43").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("B44").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = -L
Range("L2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("M2").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("L3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = -L
Range("M3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = (So * L)
Range("B1").Select
If YON = 2 Then GoTo 300
'Su yüzü profil x ve y koordinatlarını yaz MEMBADAN
200
Range("C43").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = y + (So * L)
 Range("C44").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = yy
Range("B43").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("B44").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = L
Range("L2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("M2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = (So * L)
Range("L3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = L
Range("M3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = 0
Range("B1").Select
300
End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Diyarbakır Kulp ilçesinde dünyaya geldi.İlköğrenimini Kulp YİBO'da ortaokulu Diyarbakır İmam Hatip Ortaokulunda, Liseyi Erzincan Nevzat Ayaz Fen lisesinde okudu. 2000-2004 Hacettepe İlköğretim Matematik Öğretmenliğini bitirdi. Milli Eğitim Bakanlığına bağlı uzun yıllar çeşitli okul ve dershanelerde matematik öğretmenliği yaptı. 2008-2013 Dicle Üniversitesi inşaat mühendisliğini bitirdi ve aynı yıl Milli Eğitimde öğretmenlik görevinde istifa ederek Diyarbakır Sosyal Güvenlik Kurumuna İnşaat Mühendisi olarak atandı. B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanıdır. 2015 yılında başladığı Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi eğitimine devam etmektedir. Evli ve dört çocuk babasıdır.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Abdurrahman KAÇMAZ
ÖĞRENCİ NO	15806012
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017-2018
YARIYIL	[X] Güz [ ] Bahar
ANABİLİM DALI	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	AÇIK KANAL SU YÜZÜ PROFİL HESABININ NEWTON-RAPHSON İLE ÇÖZÜMÜ VE BİLGİSAYAR PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	51
BENZERLİK ORANI	% 17
RAPORLAMA TARİHİ	22/02/ 2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 51 sayfalık kısmına ilişkin, 22/02/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *TUTNİTİN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 17 'dir.

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.

(İmza)
Abdurrahman KAÇMAZ

(İmza) 22/02./2018 **Prof. Dr. Tamer BAĞATUR** **Tez Danışmanı**	(İmza) 22/02/2018 **Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK** **Anabilim Dalı Başkanı**