

127361

**COMPUTER BASED CALCULATION OF G.V.F. WATER SURFACE
PROFILES IN PRISMATIC CHANNELS**

by

Ender DEMİREL

MASTER OF ENGINEERING

2002

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**PRİZMATİK KANALLARDA T.D.A. SU YÜZÜ
PROFİLLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ HESABI**

Ender DEMİREL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Bölümü

2002

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**PRİZMATİK KANALLARDA T.D.A. SU YÜZÜ PROFİLLERİNİN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ HESABI**

Ender DEMİREL

**Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Hasan TOZLUK

Ağustos-2002

127361

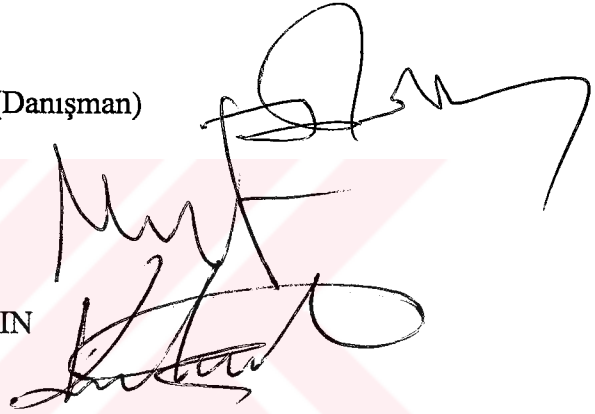
Ender DEMİREL'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "PRİZMATİK KANALLARDA T.D.A. SU YÜZÜ PROFİLLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ HESABI" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmenliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

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

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hasan TOZLUK (Danışman)

Üye: Prof. Dr. Mehmet BİLGİN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Kemal GÜNAYDIN



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun17-9-2002.....gün
ve2002-12/25.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. M. Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

TEŐEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında bana yol gösteren ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren Sayın Yrd.Doç.Dr. Hasan TOZLUK'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

İnş.Müh. Ender DEMİREL

Eskişehir, Ağustos 2002



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ VE TANIMLAR.....	3
2.1 Serbest Yüzeyli Akımın (Açık kanal akımı) Sınıflandırılması.....	4
2.1.1 Kararlı Akım.....	4
2.1.2 Konumla Değişen Akım.....	5
2.2 Açık Kanallarda Üniform Olmayan Akımlar.....	6
2.2.1 Hız Yüksekliği Katsayısı.....	6
2.2.2 Özgül Enerji.....	8
2.2.3 Özgül Enerji-Derinlik Bağlantısı.....	9
2.2.4 Üniform Derinlik.....	12
3. TEDRİCİ DEĞİŞKEN AKIM TEORİSİ.....	12
3.1. Giriş.....	12
3.2. Tedrici Değişken Akımın Diferansiyel Denklemi.....	13
3.3 Su Yüzü Profillerinin Sınıflandırılması.....	19

4. SU YÜZÜ PROFİLİNİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ.....	20
4.1. Euler Metodu.....	21
4.2 Güçlendirilmiş Euler Metodu.....	23
4.3. Düzeltilmiş Euler Metodu	24
4.4 Dördüncü Mertebeden Runge-Kutta Metodu.....	25
4.5 Direk Adım Metodu.....	26
4.6 Standart Adım Metodu.....	28
4.6.1 Newton-Raphson Formunda Açık Kanal Akımı Algoritması.....	31
4.6.1.1 Temel Denklemler.....	31
4.6.1.2 Algoritma Değişkenleri.....	34
4.6.2 Chebyshev Algoritması.....	36
4.7 Grafik İntegrasyon Metodu.....	37
5. EULER METODU VE MODİFİKASYONLARI İÇİN HATANIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
5.1 Euler Metodu ve Modifikasyonlarının Hatası.....	39
5.2 Hata İfadelerinin Prizmatik Kanallara Uygulanması.....	42
6. BİLGİSAYAR PROGRAMI VE ALGORİTMA.....	44
6.1 Bilgisayar Programı (WSPC 1.01) Tanıtım ve Çalıştırma İşlemleri.....	50
6.1.1 Kurulum.....	51
6.1.2 Programı Çalıştırma.....	51
6.1.3 Program Sonuçları.....	56
6.2 WSPC 1.01 İle Örnek Problem Çözümleri ve Karşılaştırılması.....	59
6.2.1 Örnek.....	59
6.2.2 Örnek.....	65
6.2.3 Örnek.....	71

6.2.4 Örnek.....	77
7. SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR.....	89
NOTASYON.....	91

EKLER:**Ek. 1: Hız Katsayısının Belirlenmesi İle İlgili Bir Sayısal Örnek**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	<u>Sayfa</u>
2.1 Basınçlı ve serbest yüzeyli akımın karşılaştırılması.....	4
2.2.1 Açık Kanal Akımının Sınıflandırılması.....	6
2.3 Bir kanal enkesiti.....	7
2.4 Bir nehir enkesiti.....	8
2.5.1 Kanal içinde keyfi bir noktadaki akışkanın özgül enerjisi.....	9
2.5.2 Birim debi için özgül enerji eğrisi.....	11
3.1 Tedrici değişken akım parametrelerinin şematik gösterimi.....	14
3.2 Bir açık kanal kesiti.....	16
3.3 Küçük eğimli kanal için akım bölgeleri.....	20
4.1 Güçlendirilmiş Euler Metodu.....	24
4.2 Düzeltilmiş Euler Metodu.....	25
4.3 Belirli bir derinlik için yatay mesafenin hesaplanması.....	27
4.4.1 Belirli bir yerdeki su derinliğinin hesabı.....	29
4.5 Prizmatik bir açık kanal en kesiti.....	32
4.6 Su yüzü profili.....	38
4.7 Su derinliği-dx/dy ilişkisi.....	38
5.1. G bölgesinin grafik gösterilişi.....	40
6.1. Prizmatik kanal geometrisi.....	44
6.2.1. Genelleşmiş su yüzü profili algoritması semi kodu.....	48
6.3 Sayısal metodun semi kodu.....	50
6.4 WSPC 1.01 programının kurulumu.....	51
6.5 WSPC' nin kısa yolu.....	52
6.6 WSPC 1.01 programının Türkçe ara birimi.....	53
6.7 WSPC 1.01 programının İngilizce ara birimi.....	54
6.8 Hesaplama uzunluğunun negatif değer girilmesi durumunda verilen mesaj.....	56
6.9 Program sonuçlarının gösterildiği rapor penceresi.....	57
6.10 WSPC 1.01 baskı ön izleme penceresi.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
6.11	Örnek 6.2.1 in grafik gösterimi.....59
6.12	Örnek 6.2.1 in WSPC 1.01 ile çözümü.....60
6.13	Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan enkesit.....63
6.14	Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili.....64
6.15	Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili.....64
6.16	Örnek 6.2.2 in grafik gösterimi.....65
6.17	Örnek 6.2.2 nin WSPC 1.01 ile çözümü.....66
6.18	Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan enkesit.....69
6.19	Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili.....70
6.20	Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili.....70
6.21	Örnek 6.2.3 in grafik gösterimi.....71
6.22	Örnek 6.2.3 ün WSPC 1.01 ile çözümü.....72
6.23	Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan enkesit.....75
6.24	Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili.....76
6.25	Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili.....76
6.26	Örnek 6.2.4 in grafik gösterimi.....77
6.27	Örnek 6.2.4 ün WSPC 1.01 ile çözümü.....78
6.28	Örnek 6.2.1 in Euler Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü.....80
6.29	Örnek 6.2.1 in Gelişmiş Euler Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü.....81
6.30	Örnek 6.2.1 in Düzeltilmiş Euler Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü.....82
6.31	Örnek 6.2.1 in Runge-Kutta Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü.....83
6.32	Örnek 6.2.1 in Standart Adım Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü.....84

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	<u>Sayfa</u>
3.1 Kanallarda oluşan su yüzü profilleri.....	19
6.1 Örnek 6.2.1 in HEC-RAS ile çözümü.....	59
6.2 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 20 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	61
6.3 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 60 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	61
6.4 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 140 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	62
6.5 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 200 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	62
6.6 Örnek 6.2.1 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması.....	63
6.7 Örnek 6.2.2 in HEC-RAS ile çözümü.....	65
6.8 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 80 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	67
6.9 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 120 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	67
6.10 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 150 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	68
6.11 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 180 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	68
6.12 Örnek 6.2.2 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması.....	69
6.13 Örnek 6.2.3 in HEC-RAS ile çözümü.....	71
6.14 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 100 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	73

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	<u>Sayfa</u>
6.15 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 70 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	73
6.16 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 40 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	74
6.17 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 10 m uzaklıktaki kesitin HEC-RAS sonuçları.....	74
6.18 Örnek 6.2.3 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması.....	75
6.19 Örnek 6.2.4 ün M. Hanif Chaudhry tarafından yapılan çözümü.....	77
6.20 Örnek 6.2.4 için Chaucdhry nin sonuçları ile WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması.....	79
6.21 Örnek 6.2.1 için 5 farklı sayısal yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması.....	86

ÖZET

Su yüzü profilinin belirlenmesinde direk adım metodu hariç hemen hemen bütün metotlarda iteratif işlemlerle sonuca ulaşılır. Bu iteratif işlemlerde farklı metotların uygulanmasının yanı sıra su yüzü diferansiyel denkleminin çözümünde metotların da farklılığı söz konusudur.

Su yüzü diferansiyel denkleminin yaklaşık çözümünde, hesaplama adım sayısı çözümün hata miktarını belirleyen parametrelerdendir. Diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümünde kullanılan EULER metodu için hata ifadesi su yüzü diferansiyel denklemine uygulanmış, en büyük hata %1 i geçmeyecek şekilde bilgisayar programına adapte edilmiştir.

Hazırlanan bilgisayar programında prizmatik kanallar için Euler, Geliştirilmiş Euler, Düzeltilmiş Euler, Runge-Kutta, Direk Adım, Standart Adım ve Grafik İntegrasyon metotları kullanılarak, oniki tedrici değişken akım profilinin hesaplaması yapılabilmektedir. Bu hesaplamalarda Metrik ve İngiliz birim sistemlerine göre çalışmak mümkün olduğu gibi, prizmatik kesitli kanalların farklı şev eğimlerini katabilen bunun yanısıra hız katsayısını da dikkate alan bir program geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedrici Değişken Akım, Su Yüzü Profili, Sayısal Çözüm, Prizmatik Kanal

ABSTRACT

It performs solution with iterative procedures at almost all numerical methods except direct step method in calculation of gradually varied flow (GVF) profiles. At these iterative procedures, right beside of application of different methods there are different numerical methods in calculation of differential equation of (GVF) profiles.

Step number is a parameter that affects the size of error in approximate solution of differential equation of GVF. Error estimate for Euler Method was applied to differential equation of GVF and it was adapted to computer program for maximum error does not exceed %1.

At this computer program Euler, Improved Euler, Modified Euler, Runge-Kutta, Direct Step and Graphical Integration Method were used and it performs solution for twelve profile types. It's possible to study English and Metric units and a computer program was developed which can consider different side slopes for prismatic channel section and velocity coefficient.

Key Words: Gradually Varied Flow, Water Surface Profile, Numerical Solution, Prismatic Channel

1. GİRİŞ

Açık kanallarda TDA (Tedrici Değişken Akım) profillerinin hesabı hidroliğin önemli bir konusudur. TDA profillerin hesabında 1930 dan günümüze kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Bu alanda geliştirilen klasik metotları hidrolik kitaplarında (Chow 1959; Henderson 1966; Chaudhry 1993) bulmak mümkündür.

TDA profillerinin hesabı için geliştirilen metotlar hesaplamalarda genellikle enerji denklemini kullanılır. Bunlar standart adım metodu ve direk adım metodudur. Bu metotlar su yüzü profili hesabı için kullanılan klasik metotlardır. Ancak adi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü için geliştirilen bazı metotlar su yüzü profili diferansiyel denkleminin çözümü için kullanılabilir. Bunlar Euler Metodu, Gelişmiş Euler Metodu, Düzeltilmiş Euler Metodu ve Runge-Kutta Metodudur. Bu metotları Chaudhry (Open Channel Flow, 1993) geniş bir şekilde ele almış ve açık kanal uygulamalarını vermiştir.

Su yüzü profillerinin hesabı için kullanılan bilgisayar programlarının bir çoğunun kullandığı hesaplama modeli TDA enerji denkleminin çözümüne dayanır. Bakhmeteff (1932) TDA diferansiyel denklemini belirli kesit tipleri için integre etmiştir. Gill (1976) sabit kesit değerleri için De Moivre teoremini kullanarak TDA' in denkleminin kesin çözümünü yapmıştır. Açık kanallarda genelleşmiş su yüzü profili hesabı için Molinás ve Yang (1985) enerji ve momentum denklemlerine dayalı bir hesaplama modeli geliştirmişlerdir. Paine (1992) TDA' in enerji denklemini Newton-Raphson formunda yazmış ve Newton-Raphson metodu ile çözmüş, Dey (2000) enerji denklemini Chebyshev tekniğini kullanarak çözmüş ve Newton-Raphson tekniğinden daha hızlı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada TDA' in dinamik denkleminin sayısal çözümü için kullanılan metotlar araştırılmış ve bilgisayar programları hazırlanmıştır. Alt programlar taban eğimi küçük, büyük, kritik, yatay veya ters olan prizmatik kanallarda oluşan tüm profilleri hesaplayan bir yazılım (WSPC) altında birleştirilmiştir. Program hidrolik

kitaplarından ve uygulamadan seçilen örneklerle test edilmiştir. Program sonuçları US Army Corps. tarafından geliştirilen HEC-RAS programının sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların yakın olduğu görülmüştür.

WSPC (Water Surface Profile Calculator) programı hesaplamalarda Euler Metodu, Gelişmiş Euler Metodu, Düzeltilmiş Euler Metodu, Runge-Kutta Metodu, Grafik İntegrasyon Metodu, Direk Adım Metodu ve Standart Adım Metodunu kullanmaktadır. Kullanıcı programa girdiği örneği bu metotların her hangi biri ile çözdürebilir.

Su yüzü profili hesabı için son yıllarda yapılan çalışmalar araştırılmış ve en son teknikler WSPC programına adapte edilmiştir. WSPC Standart Adım Metodu ile hesap yaparken Paine (1992) tarafından geliştirilen Newton-Raphson algoritmasını kullanmaktadır. Ancak enerji denkleminin çözümünü Chebyshev tekniğini kullanarak yapmaktadır. Dey (2000) Chebyshev tekniğinin diğer tekniklere göre daha hızlı sonuç verdiğini göstermiştir.

Prizmatik kanallarda su yüzü profili hesabı için geliştirilen bilgisayar programları hesaplamaların kaç adımda yapılacağını kullanıcıya sormakta ve kullanıcının gireceği değere göre hesap yapmaktadırlar. Bu çalışmada Euler Metodu ve modifikasyonları için Collatz (1965) tarafından geliştirilen hata-adım sayısı bağıntısı TDA diferansiyel denkleminin uygulanmış ve ilgili yatay uzunluk ve en büyük hata için gerekli optimum adım sayısına karar verebilen bir hesaplama modeli geliştirilmiştir. Bu hesaplama modeli WSPC programına adapte edilmiş ve sonuçların hesaplamalarda ve bilgisayar belleğinde önemli avantajlar sağladığı görülmüştür. WSPC' nin bu özelliği bu alanda kullanılan programlarda bir ilk olma özelliğini taşımaktadır.

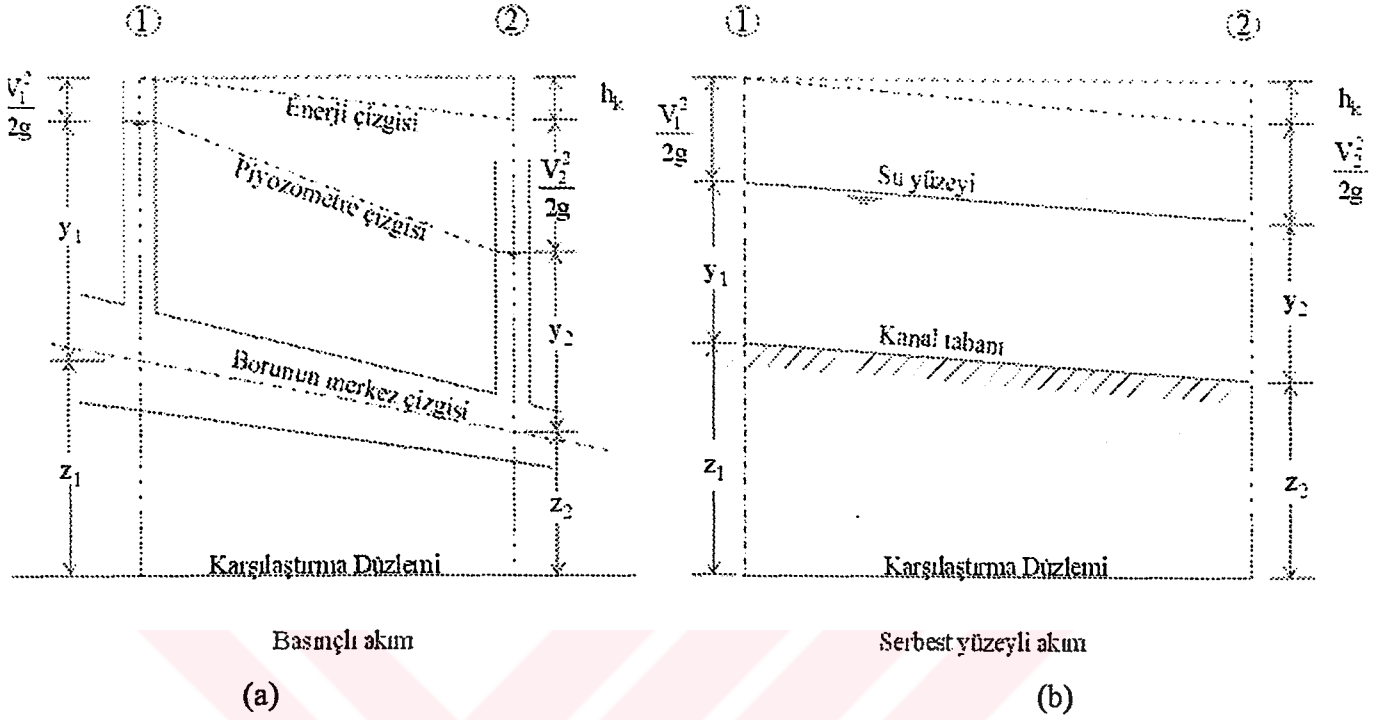
WSPC programı kullanıcının Metrik ve İngiliz birim sistemlerinde hesap yapabilmesine imkan vermektedir. Aynı zamanda kullanıcı program ara biriminin dilini Türkçe ya da İngilizce olarak seçebilmekte ve Program sonuçları yazıcıdan istenilen dilde alınabilmektedir.

2. GENEL BİLGİ VE TANIMLAR

Bir mecra içindeki akım serbest yüzeyli veya basınçlı olabilir. Bu iki akım tipi bir çok bakımdan birbirine benzese de aralarında önemli bazı farklılıklar vardır. Kanal akımında atmosfere açık serbest bir yüzey oluşur, basınçlı akımda tüm katı cidar sıvıyla ıslatılacağından atmosfere açık serbest yüzey oluşmaz. Serbest yüzeyin oluşması atmosfer basıncı sayesinde ortaya çıkar. Boru akımı kapalı bir mecrada gerçekleştiği için atmosfer basıncının yerine hidrolik basınç kullanılır.

Bu iki akım tipi Şekil 2.1 de gösterilmiştir. Şekil 2.1a da 1 ve 2 kesitlerinde iki piyozometre tüpü monte edilmiş boru akımı gösterilmiştir. Tüpteki su seviyeleri *piyozometre çizgisi* olarak da gösterilen borudaki basınçları ifade etmektedir. Kesitteki akımın taban çizgisine göre toplam enerjisi boru eksen kotu z , basınç yüksekliği y , ve hız yüksekliği $V^2/2g$ 'nin toplamına eşittir. Toplam enerji, şekil üzerinde *enerji çizgisi* ile temsil edilmektedir. 1 ve 2 kesitleri arasındaki enerji kaybı h_k ile gösterilmiştir. Açık kanal akımı için benzer diyagram Şekil 2.1b de gösterilmiştir. Basitleştirmek için akımın tabana paralel, üniform hız dağılımına ve küçük taban eğimine sahip olduğu kabul edilir. Bu durumda su yüzeyi piyozometre çizgisidir ve su derinliği piyozometrik derinliktir.

Bu iki akım çeşidi arasındaki benzerliğin yanında, açık kanal akımı problemlerinin çözümü basınçlı borulardan daha karmaşıktır. Serbest yüzey zamanla ve konumla değişerek akım derinliğindeki değişimi oluşturmaktadır. Akım derinliği, debi, kanal taban eğimi ve su yüzü birbirlerine bağlı parametreler olduğu gözönünde tutulursa problemin çözümü basınçlı borulara nazaran daha zor olacaktır. Açık kanaldaki deneysel verilerin elde edilmesi genellikle zordur. Bunun yanı sıra, açık kanaldaki fiziksel koşullar borulardaki akıma nazaran değişim gösterir. Boruların en kesiti genellikle sabittir ve mecra geometrisi bilinmektedir. Borunun en kesiti çokçası dairesel olup açık kanalın en kesiti ise dairesel kesitten doğal nehirlerdeki düzensiz kesite kadar her hangi bir kesit olabilir.



Şekil 2.1 Basınçlı ve serbest yüzeyle akımın karşılaştırılması

2.1 Serbest Yüzeyle Akımın (Açık kanal akımı) Sınıflandırılması

Açık kanal akımı pek çok tipte sınıflandırılabilir. Aşağıdaki sınıflandırma derinliğin zaman ve konumla değişimine göre yapılmıştır.

2.1.1 Kararlı Akım

Bir akım alanında herhangi bir noktada akımla ilgili büyüklükler hız, basınç vb. zamanla değişmez veya belirli zaman aralığında sabit kabul edilebilirse *kararlı akım* (zamanla değişmeyen akım), bu değerlerin zamanla değişmesi halinde ise *kararsız akım* (zamanla değişen akım) olarak adlandırılır. Pek çok açık kanal probleminde kararlı akım koşulları altında çalışmak gerekebilir. Ancak akım koşullarının zamanla değişimi önemli ise kararsız akım olarak ele alınmalıdır. Taşkınlar ve büyük dalgalarda kontrol yapısının tasarımında zaman önemli bir parametredir. Bu nedenle bu tip problemlerde kararsız akım koşulları belirleyicidir.

2.1.2 Konumla Değişen Akım

Akım derinliği kanal boyunca değişmiyorsa bu akıma üniform akım denir. Zamanla değişen üniform akım prensibinde, su yüzeyi kanal tabanına paralel kalarak zamana bağlı düşey değişimler gösterebilir. Bu pratik olarak mümkün olmayan ancak laboratuvar koşullarında sağlanabilen bir durumdur. Dolayısıyla “üniform akım” terimi *kararlı üniform akım* için kullanılır.

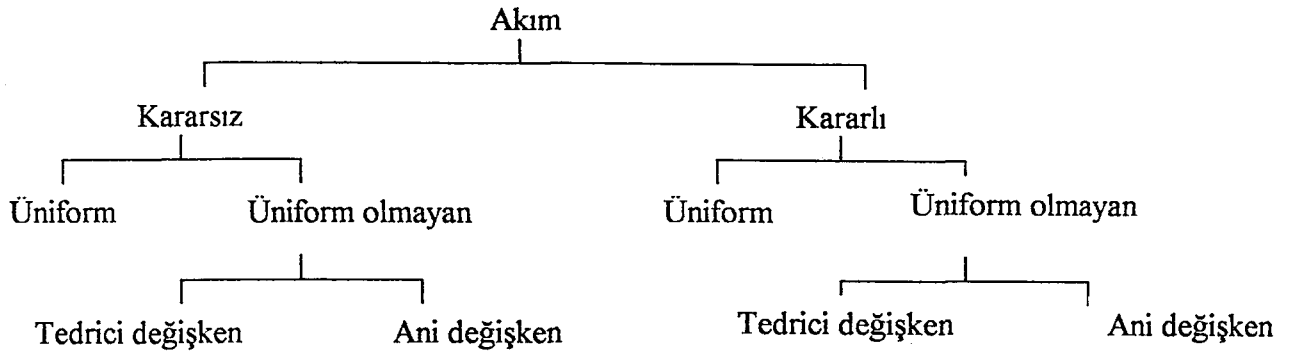
Derinlik kanal uzunluğunca değişiyorsa akım üniform olmayan akımdır. Üniform olmayan akım kararlı ya da kararsız akım olabilir. Kararsız üniform akım ile nadiren karşılaşıldığı için “kararsız akım” terimi yerine *kararsız üniform olmayan akım* terimi kullanılmaktadır.

Üniform olmayan akım kendi içerisinde ani ve tedrici değişken akım olarak sınıflandırılır. Akım derinliği kısa bir mesafede aniden değişiyorsa akım *ani değişken akım* olarak adlandırılır. Su yüzeyindeki değişikliklerin tedricen gerçekleştiği akıma *tedrici değişken akım* denir.

Açık kanal akımı Ven Te Chow’a göre şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- A. Kararlı akım
 - 1. Üniform akım
 - 2. Üniform olmayan akım
 - a) Tedrici değişken akım
 - b) Ani değişken akım
- B. Kararsız akım
 - 1. Kararsız üniform akım
 - 2. Kararsız akım
 - a) Tedrici değişken kararsız akım
 - b) Ani değişken kararsız akım

Açık kanal akımının sınıflandırılması aşağıda şematik olarak verilmiştir.[2]



Şekil 2.2 Açık Kanal Akımının Sınıflandırılması

2.2 Açık Kanallarda Üniform Olmayan Akımlar

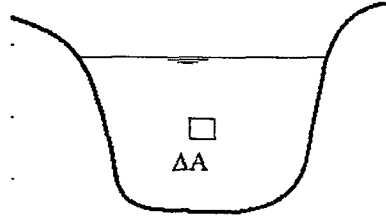
Serbest yüzeyle akımlar kanalın fiziksel özelliklerine bağlı olarak üniform veya üniform olmayan akımlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Üniform olmayan akımlar iki grupta toplanır: a) Tedrici (yavaş) değişken akımlar b) Ani değişken akımlar.

Tedrici değişken bir akımda akım çizgileri düzgün ve birbirine paralel, kanal taban eğiminin çok küçük olması halinde kanal içerisindeki basınç dağılımının hidrostatik olduğu kabul edilir.

Üniform olmayan akım prensibinde kullanılan genel kavramlar ve ifadeler açıklamalarıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Hız Yüksekliği Katsayısı

Bir açık kanal içerisindeki hız dağılımı kesit içerisinde bir noktadan başka bir noktaya değişim gösterir. Bir akım içerisinde sonsuz küçük dA daki hız u olsun. Bundan dolayı, bir kanal kesitindeki $\left(u^2/2g\right)_{ort}$ ortalama hız yüksekliği ile ortalama hızdan hesaplanan hız yüksekliği $V^2/(2g)$ birbirine eşit değildir. Bu farklılık α hız yüksekliği katsayısı ile giderilir.



Şekil 2.3 Bir kanal enkesiti

dA alanından birim zamanda geçen sıvı kütlesi $\rho u dA$ ise burada ρ , sıvı yoğunluğudur. dA alanından birim zamanda geçen akışkanın kinetik enerjisi,

$$\frac{1}{2} \rho u dA u^2 = \frac{1}{2} \rho u^3 dA$$

olur. Buradan, A alanından birim zamanda geçen akışkanın kinetik enerjisi,

$$\frac{1}{2} \rho \int u^3 dA \dots\dots\dots(2.1)$$

V kesit içindeki ortalama hız olarak alınırsa, A alanından birim zamanda geçen kinetik enerjisi,

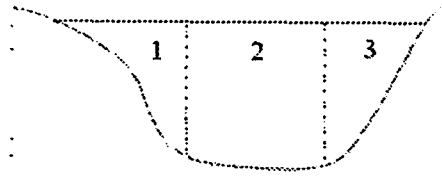
$$\rho \alpha V \frac{V^2}{2} \int dA \dots\dots\dots(2.2)$$

olacaktır. 2.1 ve 2.2 denklemlerinin eşitliğinden

$$\alpha = \frac{\int u^3 dA}{V^3 \int dA} \dots\dots\dots(2.3)$$

bulunur.

Şekil 2.4 de tipik bir nehir enkesiti görülmektedir. Enkesit içerisinde hız değişimi küçükse, numaralandırılmış alt kesitlerde hız değişimleri daha da azalacağından değişim ihmal edilebilir. Bundan dolayı, her bir alt kesitteki akım hızlarının sabit olduğu varsayılır. Böyle bir durumda α hız yüksekliği katsayısı



Şekil 2.4 Bir nehir enkesiti

$$\alpha = \frac{(V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3)(A_1 + A_2 + A_3)^2}{(V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3)^3} \dots\dots\dots(2.4)$$

gibi olur. 2.4 denklemini 3 tane alt kesite ayrılmış bir kanal en kesitindeki hız yüksekliği katsayısı için geçerlidir. Keyfi N alt kesitli bir kanal enkesiti için hız yüksekliği katsayısının belirlenmesi için

$$\alpha = \frac{\left(\sum_{i=1}^N V_i^3 A_i \right) \left(\sum_{i=1}^N A_i \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^N V_i A_i \right)^3} \dots\dots\dots(2.5)$$

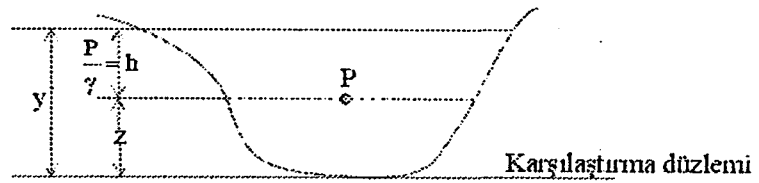
genel bağıntısı kullanılabilir. Bunun için bir sayısal örnek yapılmış HEC-RAS programının sonuçları ile birlikte ekte verilmiştir.

2.2.2 Özgül Enerji

Kanal tabanını karşılaştırma düzlemi kabul edersek akışkanın enerjisine *özüml enerji* denir ve E ile gösterilir.

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z \dots\dots\dots(2.6)$$

Kesit içerisindeki basınç dağılımının hidrostatik olduğu kabul edilirse Şekil 2.5 de görülen kanal kesiti içerisinde bir P noktasındaki akışkanın enerjisi,



Şekil 2.5 Kanal içinde keyfi bir noktadaki akışkanın özgül enerjisi

$$\frac{P}{\gamma} + z = h + z = y \dots\dots\dots(2.7)$$

olacaktır. Alınan herhangi bir noktadaki akışkanın özgül enerjisi şu şekilde ifade olunur:

$$E = \frac{V^2}{2g} + y \dots\dots\dots(2.8)$$

Bu bağıntı herhangi bir kanal kesiti içinde alınan keyfi bir P noktasındaki akışkanın enerjisini ifade eder.

2.2.3 Özgül Enerji-Derinlik Bağıntısı

Özgül enerji (2.8) bağıntısında $V=Q/A$ uygulayıp, dikdörtgen kesitli kanal için $A=By$ eşitliğinden

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} = y + \frac{Q^2}{2gB^2y^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

bulunur. Bu bağıntıda $q = \frac{Q}{B}$ (birim genişlikten geçen debi) olarak düşünülürse

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$(E - y)y^2 = \frac{q^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

elde edilir. 2.11 bağıntısında q 'nun sabit olduğu kabul edilerek derinlikle özgül enerji arasındaki ilişki

$$Ey^2 - y^3 = \text{sabit} \dots\dots\dots(2.12)$$

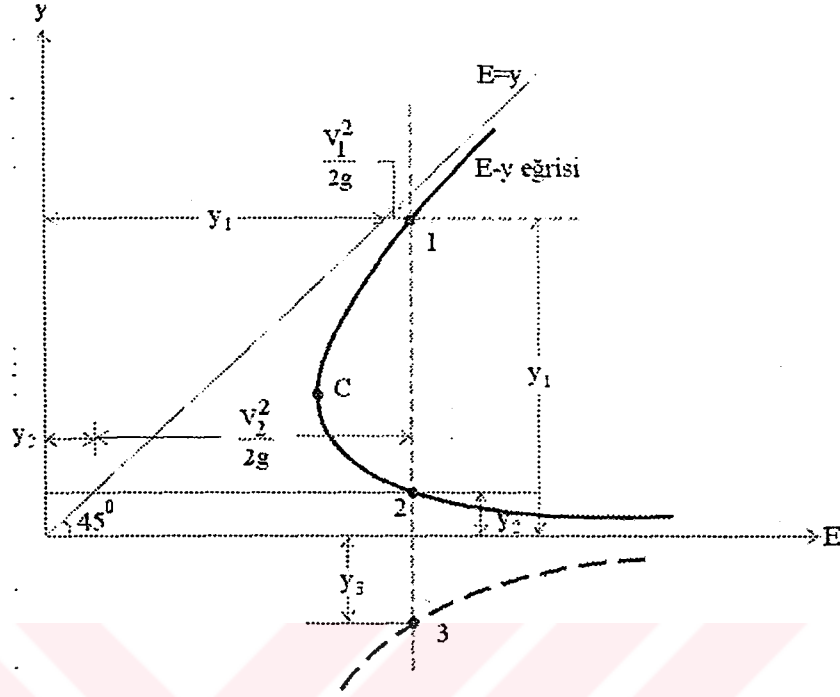
bağıntısıyla açık hale getirilmiş olur. Bu eşitlik sabit Q debisi için E - y ilişkisini gösterir. E - y arasındaki grafik ilişkiyi çizebilmek için eğrinin asimptotlarını, maksimum ve minimum noktalarını belirleyelim.

$$\lim_{y \rightarrow 0} E = \lim_{y \rightarrow 0} y + \frac{q^2}{2gy^2} = +\infty \dots\dots\dots(2.13)$$

$y=0$ doğrusu yatay asimptottur.

$$\lim_{y \rightarrow \infty} E = \lim_{y \rightarrow \infty} y + \frac{q^2}{2gy^2} = +\infty \dots\dots\dots(2.14)$$

Diğer asimptot $E=y$ doğrusudur. $y \rightarrow \infty$, $E(y)$ eğrisi $E=y$ doğrusuna yaklaşır. Asimptot yatayla 45° lik açı yapan bir doğru olacaktır. Fiziksel olarak bu asimptotlar şu şekilde ifade edilebilir. 2.9 denkleminde özgül enerji, akım derinliği y ve hız yüksekliği



Şekil 2.6 Birim debi için özgül enerji eğrisi

$V^2/2g$ terimlerinin toplamından oluşmaktadır. Aynı q birim debisi için y arttıkça V değeri azalır. y nin değeri büyüdükçe hız yüksekliği değerleri küçülür ve $E \cong y$ olur. Bundan dolayı $E(y)$ eğrisi $E=y$ doğrusuna sonsuzda teğet olur. Aynı şekilde sabit q birim debisinde y nin küçülen değerleri için hız yüksekliği değerleri büyüyecektir. Böylece y sifıra yaklaştıkça hız yüksekliği sonsuza gider.

2.12 denklemi y ye göre kübik bir denklemdir. Bu denklemin üç ayrı kökü olup köklerden bir tanesi daima negatiftir. Derinlik fiziksel olarak negatif değer alamayacağından y geriye kalan iki farklı değerden birini alacaktır. Bu iki farklı derinlik y_1 ve y_2 derinlikleridir. Şekil 2.4 te görüldüğü gibi C noktasında özel bir durum oluşmakta, enerji bu noktada minimum ve $y_1=y_2$ olmaktadır. C noktasındaki bu akım derinliğine kritik derinlik denir ve akımın karakterini belirlemek için önemli bir kriterdir. Akım derinliği y_c den büyükse nehir rejimi, küçükse sel rejimi denir.

(Şekil 2.6) y_1 nehir rejimindeki akım derinliğini, y_2 sel rejimindeki akım derinliğini göstermektedir.

2.2.4 Üniform Derinlik

Üniform akımda kanal içerisindeki derinlik kanal uzunluğu boyunca sabittir. Dolayısıyla enerji çizgisi eğimi kanal taban eğimine eşittir. Kanal içerisinde herhangi bir derinlikteki enerji çizgisi eğimi Manning formülü ile hesaplanabilir. Chow'a göre bu şekilde yapılan hesaplamalarda çok fazla hata yapılmamış olur.

$$J = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.15 formülü ile verilen J eğimi yerine J_0 kanal taban eğimi koyulur ve denklem çözülmüşse hesaplanan y değeri üniform derinlik değeri olacaktır.

3.TEDRİCİ DEĞİŞKEN AKIM TEORİSİ

3.1. Giriş

Tedrici değişken akım teorisinin geliştirilmesi 18. yüzyıla dayanır. Kanal uzunluğu boyunca katedilen yola nazaran su yüzeyindeki değişimin az olduğu akıma tedrici değişken akım denir. Bu akımın incelenmesinde,

- = Akım kararlıdır yani hidrolik karakteristikler zamanla değişim göstermez.
- = Akım çizgileri doğrusal ve paraleldir yani kanal enkesitinde basınç dağılımı hidrostatik basınç dağılımıdır.

genel kabulleri yanısıra, hesaplamalarda aşağıdaki kabuller de yapılır. Teori bu kabuller ekseninde geliştirilmiştir.

A) Üniform akım için kullanılan bağıntıdaki kanal taban eğimi (enerji çizgisi eğimi) yerine enerji çizgisi olarak T.D.A. da kullanılır.

Bu kabule göre, verilen bir kesitteki tedrici değişken akımın enerji çizgisi eğiminin hesaplanması için üniform akım formülü (2.15) kullanılabilir ve üniform akım için geliştirilen pürüzlülük katsayısı tedrici değişken akım için kullanılabilir. Bu kabul herhangi bir deney ya da teori ile desteklenmemektedir, fakat sonuçlar karşılaştırıldığında hataların küçük olduğu görülmüştür (Chow).

B) Kanal eğimi küçüktür, yani;

Düşey derinlik ile kanal taban normali doğrultusundaki derinlik aynıdır.

Basınç dağılımı bağıntısında $\cos\theta \cong 1$ dir.

Akım alanına hava girişi yoktur. Hava ile su, su yüzeyi çizgisiyle ayrılmıştır. Herhangi bir zaman aralığında akım ile ilgili büyüklüklerde değişim olmaz. Yani kararlı akım koşulları bozulmaz.

C) Kanal sabit bir cidara ve şekle sahiptir, kanal taban eğimi uzunluk boyunca değişmez.

D) Kanaldaki hız dağılımı değişmez. Yani hız dağılım katsayısı sabit alınır.

E) Pürüzlülük katsayısı akım derinliğinden bağımsızdır kanal uzunluğu boyunca sabit kalır.

3.2. Tedrici Değişken Akımın Diferansiyel Denklemi

Özgül enerji (2.6) da E olarak tanımlanmıştı, buradan küçük eğimli bir kanaldaki toplam enerji

$$H = z + E = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.1)$$

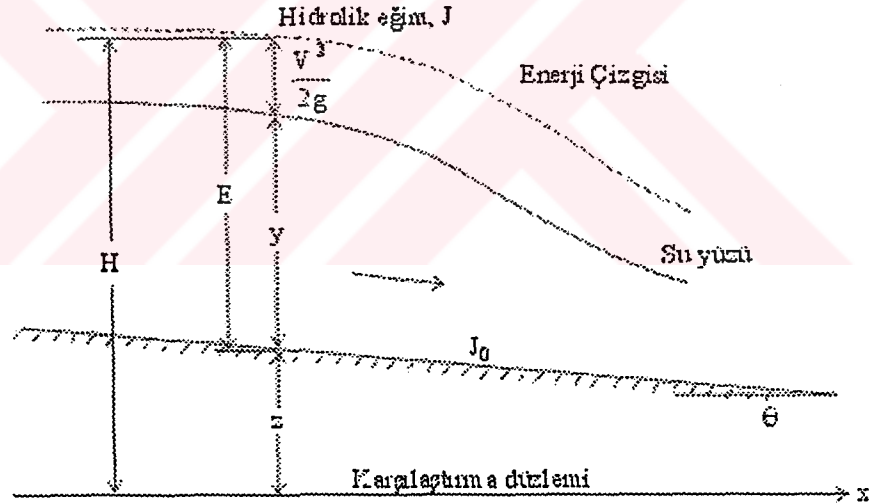
yazılabilir.

Tedrici değişen akım Şematik olarak Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Genellikle su yüzü x doğrultusunda deęiŐtięi için, akım derinliği ve toplam enerji x in fonksiyonudur. 3.1 bağıntısında toplam enerjinin x boyunca değişimi

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(3.3)$$

olacaktır.



Şekil 3.1 Tedrici değişken akım parametrelerinin Şematik gösterimi.

3.2 bağıntısında, enerji çizgisi eğimi hareket doğrultusunda azaldığı için

$$\frac{dH}{dx} = -J \dots\dots\dots(3.4)$$

olacaktır. Taban eğimi Şekil 3.1 de grldği gibi x boyunca azaldığından

$$\frac{dz}{dx} = -J_0 \dots \dots \dots (3.5)$$

olur. Kanal tabanı boyunca su yüzü değişimi ise $\frac{dy}{dx}$ olmaktadır. 3.4 ve 3.5 denklemlerindeki tanımlarla 3.3 denklemini tekrar düzenlenirse

$$-J = -J_0 + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) \Rightarrow \frac{dy}{dx} + \frac{dy}{dx} \frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) = J_0 - J$$

bulunur ve su yüzü değişimi için

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{1 + \frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right)} \dots \dots \dots (3.6)$$

elde edilir. 3.6 bağıntısında $V=Q/A$ alınarak

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{1 + \frac{d}{dy} \left(\frac{Q^2}{2gB^2 y^2} \right)}$$

bulunur. Bu bağıntı paydasının y ye göre diferansiyeli alınır

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{\left(1 - \frac{\alpha Q^2}{gB^2 y^3} \right)}$$

$$\text{yazılır ve } Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \rightarrow Fr^2 = \frac{Q^2}{gB^2 y^3}$$

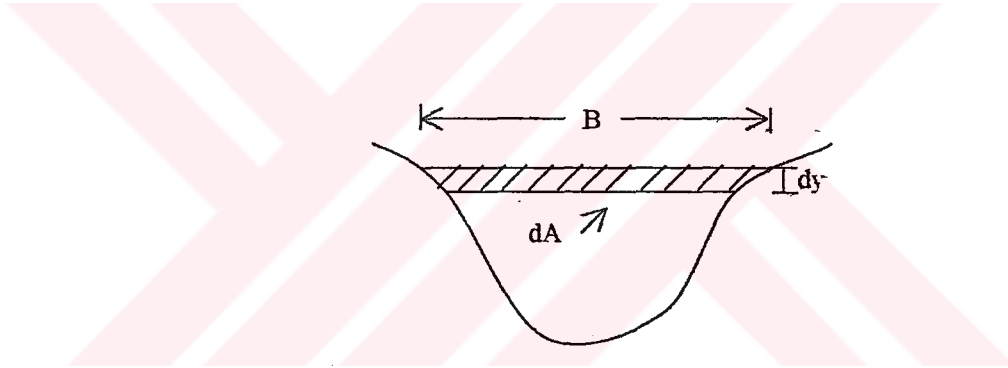
olduğu için su yüzü diferansiyel denklemini için

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{(1 - \alpha Fr^2)} \dots\dots\dots(3.7)$$

elde edilir. 3.6 denklemi TDA' ın diferansiyel denklemdir. Aynı zamanda TDA' ın dinamik denklemi olarak da bilinir.

Chow denklem (3.6)'in diğer formlarını şu şekilde yazmıştır. 3.6 bağıntısının paydasındaki diferansiyel ifadesi

$$\frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{d}{dy} \left(\frac{\alpha Q^2}{A^2 2g} \right) = \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{dA^{-2}}{dy} = -\frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy}$$



Şekil 3.2 Bir açık kanal kesiti

şeklinde yazılıp şekil 3.2 den görüldüğü gibi $\frac{dA}{dy} = B$ olduğundan

$$\frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) = -\frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \dots\dots\dots(3.8)$$

elde edilir. Burada

$\sqrt{\frac{A^3}{B}} = Z$ kesit faktörü olarak tanımlanır ve 3.8 denkleminde yerine yazılırsa

$$\frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) = -\frac{\alpha Q^2}{gZ^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

bulunur. Herhangi bir kesitteki özgül enerji, 2.5 bağıntısındaki α hız katsayısı gözönünde tutularak 2.9 bağıntısı

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} = y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2}$$

olarak yazılabilir. Bu bağıntının y ye göre türevi alınıp, 3.9 bağıntısından da faydalanarak

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} = 1 - \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{gZ^2} \dots\dots\dots(3.10)$$

bulunur. 3.10 bağıntısında $y=y_c$ için özgül enerji minimum olacağından $\frac{dE}{dy} = 0$ olur. O halde

$$\frac{\alpha Q^2}{gZ^2} = 1$$

olacak, $y=y_c$ için $Z=Z_c$ olacağından

$$Q = Z_c \sqrt{\frac{10g}{\alpha}} \dots\dots\dots(3.11)$$

elde edilir. 3.11 denklemindeki debi ifadesi 3.10 denkleminde yerine yazılır ve sadeleştirilse 3.8 ifadesi

$$\frac{d}{dy} \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right) = - \frac{\alpha Z_c^2 \left(\frac{g}{\alpha} \right)}{gZ^2} = - \frac{Z_c^2}{Z^2} \dots \dots \dots (3.12)$$

şeklini alacaktır. Enerji çizgisi eğimi 2.15 bağıntısından bulunabilir. Herhangi bir kesitteki konveyans

$$K^2 = \frac{A^2 R^{4/3}}{n^2}$$

tanımlaması yapılarak 2.15 bağıntısına uygulanırsa

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \dots \dots \dots (3.13)$$

olacaktır. Üniform akım için 3.13 denklemini benzer şekilde

$$J_0 = \frac{Q^2}{K_0^2} \dots \dots \dots (3.14)$$

yazılabilir. 3.13 ve 3.14 denklemleri taraf tarafa oranlanırsa

$$\frac{J}{J_0} = \frac{K_0^2}{K^2} \dots \dots \dots (3.15)$$

bulunur. 3.12 ve 3.15 denklemleri 3.8 denkleminde yerine yazılarak

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{1 + \alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} = J_0 \frac{1 - \frac{J}{J_0}}{1 + \alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} = J_0 \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K} \right)^2}{1 - \left(\frac{Z_c}{Z} \right)^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = J_0 \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K}\right)^2}{1 - \left(\frac{Z_c}{Z}\right)^2} \dots\dots\dots(3.16)$$

bağıntısı elde edilir. Denklem 3.16 Direk İntegrasyon Metodu uygulamalarında kolaylık sağlamaktadır.

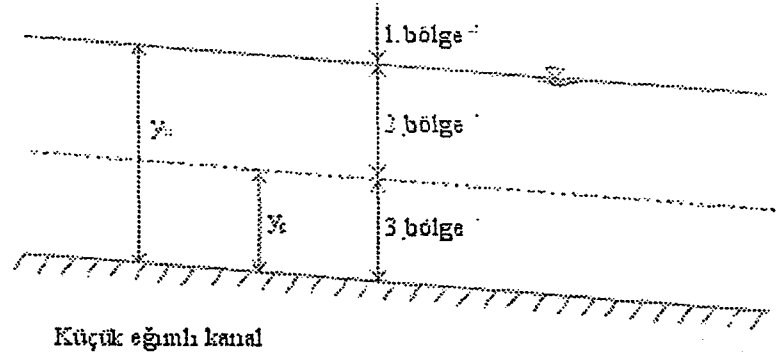
3.3 Su Yüzü Profillerinin Sınıflandırılması

Su yüzü profillerini sınıflandırmada harf ve rakamdan oluşan bir kodlandırma şekli kullanılır. Harf, kanal taban eğiminin tipini sayı ise üniform ve kritik derinliğe göre su derinliğinin bulunduğu bölgeyi tanımlar. Kanal taban eğim tiplerini gösteren harfler ve bu harflerin literatüre nereden girdiği tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kanallarda oluşan su yüzü profilleri

Kanal Tipi	Özellik	Gösterim	Açıklama
Küçük eğimli kanallar	$(y_0 > y_c)$	M	(Mild slope)
Büyük eğimli kanallar	$(y_c > y_0)$	S	(Steep slope)
Yatay eğimli kanallar	$(J_0 = 0)$	H	(Horizontal slope)
Ters eğimli kanallar	$(J_0 < 0)$	A	(Advers slope)
Kritik eğimli kanallar	$(y_c = y_0)$	C	(Critical slope)

Bir kanal profilinde y_0 ve y_c akım alanını üç bölgeye ayırır. Örneğin $y_0 > y_c$ küçük eğimli bir kanalda şekilde gösterilen 1,2 ve 3 bölgeleri oluşacaktır. Üniform olmayan akım 2 bölgesinde yer almışsa su yüzü profilinin ismi M2 profili olacaktır. Burada M küçük eğimli kanal (Mild slope) için kullanılan simgedir, 2 indisi ise profilin 2 bölgesinde bulunduğunu belirtmektedir. Yani su derinliği değişimi $y_0 > y > y_c$ aralığında olacaktır. Burada y kanal içindeki TDA derinliğidir.



Şekil 3.3 Küçük eğimli kanal için akım bölgeleri

4. SU YÜZÜ PROFİLİNİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ

Açık kanal akımında su yüzeyinin diferansiyel denkleminin genel ifadesi

$$\frac{dy}{dx} = y' = f(x, y) \dots \dots \dots (4.1)$$

şeklinde verilmiştir. Prizmatik olmayan kanallarda 4.1 denklemi, x ve y nin fonksiyonudur. Prizmatik kanallarda ise bu denklem yalnız y nin fonksiyonudur. Kontrol noktasındaki derinlik biliniyorsa

$$y(x_0) = y_k \dots \dots \dots (4.2)$$

olur ve su yüzü diferansiyel denkleminin sayısal çözümü 4.1, 4.2 başlangıç değer problemine dönüşür.

Bütün kanal enkesit tipleri için 4.1, 4.2 başlangıç değer problemi y terimleri ile açık bir şekilde ifade edilemez. Bunun için 4.1 denkleminin direk ve kesin integrasyonu pratikte mümkün değildir [Chow, S252]. Çalışmanın amacı, basitçe 4.1 ve 4.2 başlangıç değer probleminin geliştirilen sayısal yöntemlerle yaklaşık çözümüdür.

Nümerik analiz biliminde adi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri için geliştirilen yöntemler bu probleme uygulanabilir. Bunun yanında sadece bu problem için geliştirilmiş bazı yaklaşık yöntemler de vardır.

Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde bilinen en basit ve temel metot *Euler Metodudur* ve bu alanda kullanılan bir çok sayısal yöntem bu metottan türetilmiştir. Bunun için öncelikle Euler Metodu incelenmiştir.

4.1. Euler Metodu

Adi diferansiyel denklemlerin başlangıç değer problemlerine uygulanan en basit ve temel yöntem Euler Metodudur. Bu metot aynı zamanda Poligon Metodu olarak da bilinir ve sadece adi diferansiyel denklemlere uygulanabilir. Aşağıda verilen 1. mertebeden adi diferansiyel 4.1 denklemini ve 4.2 başlangıç koşulunu ele alalım. Aranılan fonksiyon $y(x)$ fonksiyonudur ve bu fonksiyonun belirli x_1, x_2, \dots, x_n noktalarındaki $y(x_1), y(x_2), \dots, y(x_n)$ yaklaşık değerleridir.

Euler metodunun dayandığı temel esas şudur: $x=x_0$ başlangıç noktasında $y=y_0$ değeri biliniyorsa integral eğrinin bu noktadaki eğimi

$$y'(x) = f(x_0, y_0) \dots \dots \dots (4.3)$$

bulunur. Türevin tanımından

$$\frac{dy}{dx} \approx \frac{y(x + \Delta x) - y(x)}{\Delta x} \dots \dots \dots (4.4)$$

yazılıp bu denklemde

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \frac{dy}{dx} \Delta x \dots \dots \dots (4.5)$$

şekline dönüştürülebilir. $x=x_i$ noktasında $\frac{dy}{dx} = f(x_i, y_i)$ olacaktır. Buradaki $f(x_i, y_i)$ integral eğrinin (x_i, y_i) noktasındaki eğimini ifade eder. O halde 4.5 ifadesi

$$y(x_i + \Delta x) = y(x_i) + f(x_i, y_i) \Delta x_i \dots \dots \dots (4.6)$$

yazılabilir. Burada $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = h$ dir. Böylece (4.6) denklemi tekrar düzenlenirse

$$y_{i+1} = y_i + h f(x_i, y_i) \dots \dots \dots (4.7)$$

olur.

Tedrici değişken akımın diferansiyel denklemi için Euler Poligonunu kuralım. Tedrici değişken akımın (3.6) diferansiyel denklemi, (4.1) deki yaklaşımla

$$f(x_i, y_i) = \frac{J_0 - J_i}{1 + \alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)} \dots \dots \dots (4.8)$$

şeklinde yazılırsa, denklemin sağ tarafındaki bütün değişkenler bilindiği için (x_i, y_i) noktasında y deki değişim oranı $f(x_i, y_i)$ hesaplanabilir. Aralık boyunca değişim oranı y_i 'nin sabit olduğunu kabul edilerek denklemden x_{i+1} deki akım derinliği bulunabilir. Bundan sonraki adımda (x_{i+1}, y_{i+1}) noktasındaki $f(x_{i+1}, y_{i+1})$ değeri

$$y_{i+1} = y_i + h f(x_i, y_i) \dots \dots \dots (4.9)$$

bulunabilir. Bundan sonraki adımda (x_{i+1}, y_{i+1}) noktasındaki $f(x_{i+1}, y_{i+1})$ değeri bilindiği için x_{i+2} deki y_{i+2} hesaplanabilir. Aynı şekilde devam edilerek Euler Poligonu kurulabilir.

4.2 Güçlendirilmiş Euler Metodu

Euler Metodu diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan en temel ve basit bir yöntemdir. Bunun için Euler yöntemi daha çözüme başlamadan bazı kabuller yapar. Bunlardan biri ilgili alt aralıkta fonksiyonun eğiminin sabit kaldığı kabulüdür. Oysa gerçekte fonksiyonun eğimi sabit olmayabilir (lineer bir fonksiyon olmadığı sürece). Bu hatayı gidermek için Euler yönteminin bazı modifikasyonları türetilmiştir. Bunlardan biri de Güçlendirilmiş Euler Metodudur.

Euler metodunda, verilen h aralığı boyunca eğim sabit kabul edilir ve aralığın başlangıcındaki değere eşittir. Bu kabul Euler metodundaki en temel hatayı oluşturur. Gerçekte $y(x)$ eğrisinin eğimi aralık boyunca sabit değildir ($y(x)$ fonksiyonu x in lineer fonksiyonu olmadığı sürece) ve x ten bağımsız olarak sürekli değişir.

Euler metodundaki bu hatayı gidermek için kurulabilecek birinci uygun yaklaşım, aralığın sol ve sağ taraflarındaki eğimlerin ortalama değerini kullanmaktır. Bu işlem *Güçlendirilmiş Euler Metodu* ve aynı zamanda *Heun* metodu olarak bilinir. x_{i+1} deki y değeri için

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{2}[f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1})]h \dots\dots\dots(4.10)$$

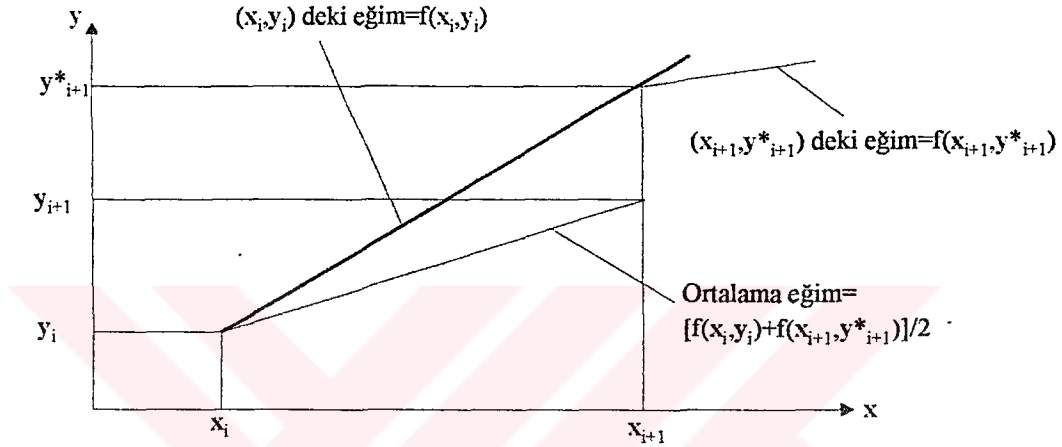
yazılırsa, denklemin sağ tarafındaki $f(x_{i+1}, y_{i+1})$ bilinmeyen y_{i+1} e bağlı olduğu için 4.10 denklemi direk olarak çözülemez. Güçlendirilmiş Euler metodu bu zorluğu temel Euler metodundan y_{i+1}^* in ilk değerini

$$y_{i+1}^* = y_i + f(x_i, y_i)h \dots\dots\dots(4.11)$$

elde ederek aşar. $y(x_{i+1})$ in yeni değerini elde etmek için y_{i+1}^* ten y_{i+1} olarak denklemin 4.10 yeniden yazılırsa,

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{2} [f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1}^*)] h \dots\dots\dots (4.12)$$

bulunur. Güçlendirilmiş Euler Metodu şematik olarak şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Güçlendirilmiş Euler Metodu

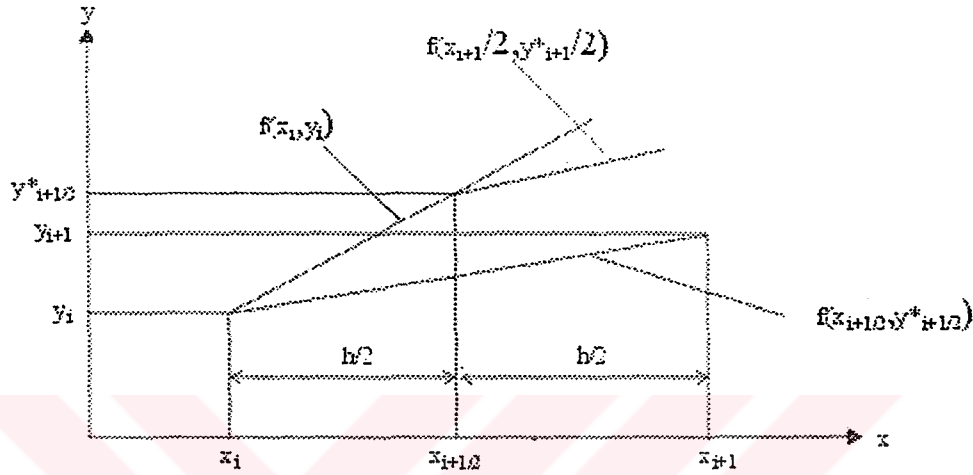
4.3. Düzeltilmiş Euler Metodu

Euler Metodunun bir diğer modifikasyonu Düzeltilmiş Euler Metodudur. Bu metotta aralığın ortasındaki eğim hesaplanır ve bu eğim yeni y_{i+1} değerinin belirlenmesi için kullanılır. Aralığın ortasındaki eğim ortalama eğime eşit kabul edilir. Bu eğim daha sonra $x_{i+1/2}$ değerinin $[x_i, x_{i+1}]$ aralığının ortasındaki x değerine eşit olduğu yerin hesabında kullanılır. Burada $i+1$ inci kesitte su derinliği

$$y_{i+1} = y_i + h f(x_{i+1/2}, y_{i+1/2}) \dots\dots\dots (4.13)$$

olacaktır. Düzeltilmiş Euler Metodu şekil 4.2 te gösterilmiştir. Denklem 4.13 de $y_{i+1/2}$ orta noktasındaki y değeri bilinmediği için bu değer Euler Metodundaki yaklaşım uygulanarak

$$y^*_{i+1/2} = y_i + \frac{h}{2} f(x_i, y_i) \dots \dots \dots (4.14)$$



Şekil 4.2 Düzeltilmiş Euler Metodu

bağıntısından hesaplanır. Buradaki $y^*_{i+1/2}$ ifadesi $y_{i+1/2}$ nin yaklaşık değeridir.

4.4 Dördüncü Mertebeden Runge-Kutta Metodu

Adi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan en yaygın metottur.

Bu metotta $i+1$. adımdaki su derinliği

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \dots \dots \dots (4.15)$$

bağıntısından elde edilir. Bu bağıntıdaki k ların değerleri

$$k_1 = h f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = h f(x_i + h/2, y_i + h/2)$$

$$k_3 = h f(x_i + h/2, k_2/2)$$

$$k_4 = h f(x_i + h, y_i + k_3)$$

olur. Buradaki k_i değerleri; sol taraf (k_1) eğimi, sağ taraf (k_4) eğimi ve iki orta noktadan (k_2 ve k_3) yaklaşık olarak hesaplanan y deki artışı göstermektedir. Denklemlerdeki k_i değerlerinin ortalaması y deki artışın hesabı için kullanılır ve böylece y_{i+1} değeri hesaplanabilir.

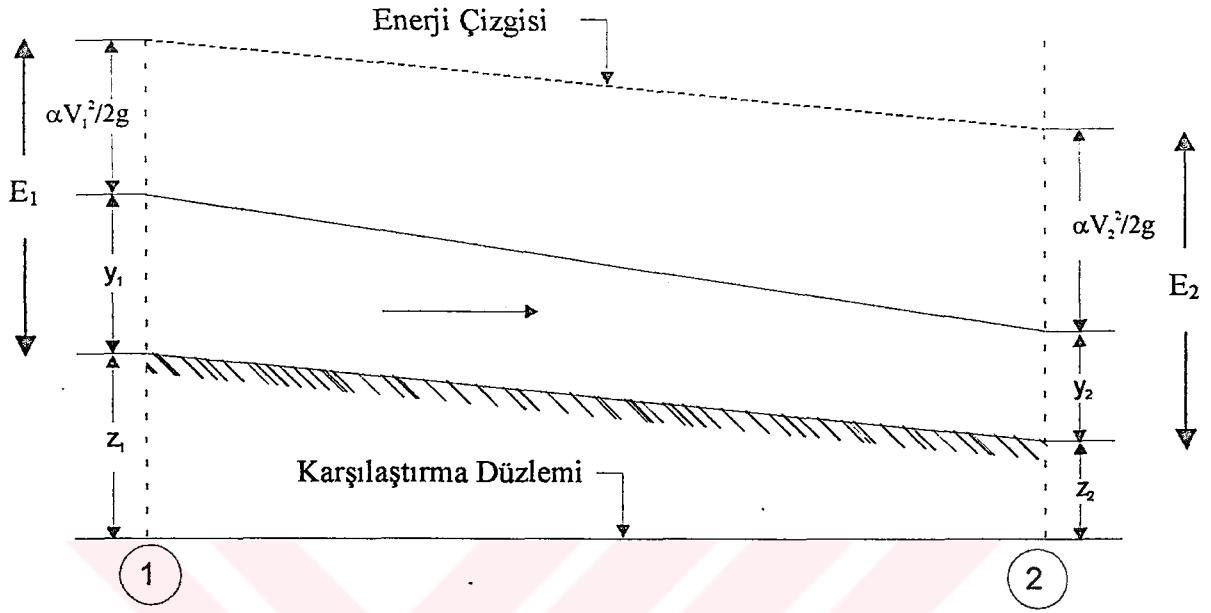
4.5 Direk Adım Metodu

Su derinliğini bildiğimiz kesitin yataydaki yerinin araştırıldığı metot direk adım metodudur ve bu isim ilk defa Chow (1959) tarafından kullanılmıştır. Direk adım metodu sadece kesit geometrisinin değişmediği kanallarda uygulanabilir, doğal nehirlerde uygulanamaz. Bunun sebebi, yüksekliği bilinen akımın yatayda nerede oluşacağını bilmemesidir. Kesitin yeri bilinmediği için kesit geometrisi de belirlenemez. Ancak prizmatik kanallarda kesit geometrisi değişmediği için direk adım metodu kullanılır.

Şekil 4.3 de görüldüğü gibi, 1 kesitindeki akım derinliği bilinmekte ve belirli bir Q debisi için y_2 su derinliğinin oluşacağı 2 kesitin yeri araştırılmaktadır. Başka bir deyişle, x_1 mesafesindeki akım derinliği y_1 biliniyor ve tarafımızdan seçilen y_2 su derinliğinin oluşacağı x_2 mesafesi araştırılmaktadır. Kanal kesit özellikleri, Q ve n biliniyor ve J_0 kanal taban eğimi olarak alınırsa şekle göre

$$z_1 - z_2 = J_0(x_2 - x_1) \dots\dots\dots(4.16)$$

olacaktır. İki kesit arasındaki ortalama eğim hesabı için farklı yaklaşımlar yapılmıştır. Aritmetik, geometrik ve harmonik ortalamaların hangisinin daha uygun olduğu konusunda Lauronson (1986) yapılan çalışmada aritmetik ortalamasının en az hataya sebep verdiği görülmüştür. Enerji çizgisi eğimi iki kesitteki eğimlerin ortalaması alınarak



Şekil 4.3 Belirli bir derinlik için yatay mesafenin hesaplanması

$$J_m = \frac{J_1 + J_2}{2} \dots \dots \dots (4.17)$$

formülü ile hesaplanır. İki kesit arasındaki enerji denklemi yazılırsa

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + y_1 + z_1 - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - y_2 - z_2 = E_1 + z_1 - E_2 - z_2 = \Delta x J_m \dots \dots \dots (4.18)$$

bulunur ve 4.16 ve 4.17 denklemlerini 4.18 denkleminde yerine yazarsak

$$\Delta x (J_m - J_0) = E_1 - E_2 \dots \dots \dots (4.19)$$

elde edilir. Buradan aradaki yatay mesafe

$$\Delta x = \frac{E_1 - E_2}{J_0 - J_m} \dots \dots \dots (4.20)$$

bağıntısından direk olarak hesaplanır.

4.6 Standart Adım Metodu

Kanal içinde belirli bir yerde ya da kanal kesit özelliklerinin bilindiği bir yerde akım derinliğinin hesabı hidrolik mühendisliğin önemli bir konusudur. Bu problemin çözümünde kullanılan en yaygın metot standart adım metodudur. Su yüzü profili hesabında kullanılan bilgisayar programı HEC-2 (1982), hesaplamalarda bu metodu kullanmaktadır.

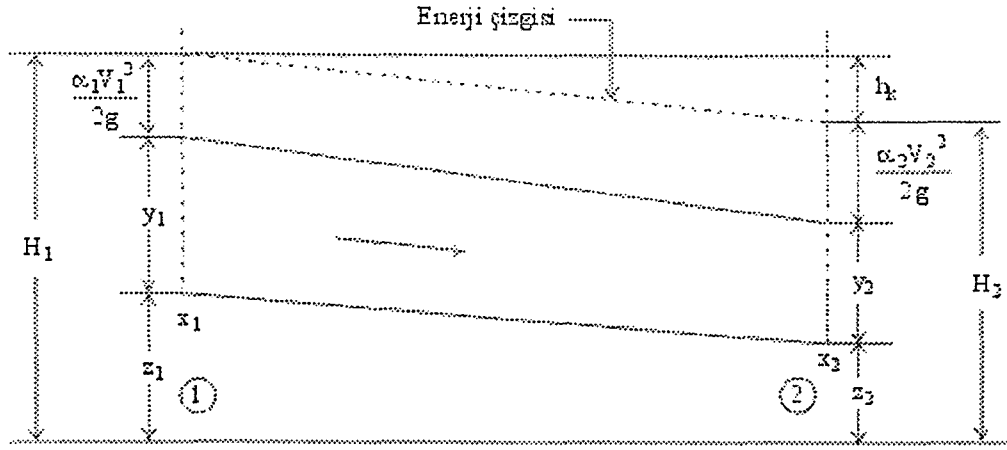
Şekil 4.4 de gösterildiği gibi belirli bir Q debisi için 1 kesitindeki (x_1 mesafesinde) y_1 akım derinliği bilinmekte ve x_2 mesafesindeki (kesit 2) akım derinliğinin belirlenmesine çalışılmaktadır. 1 ve 2 kesitlerindeki α hız katsayısının bilindiği kabul edilirse, y_1 su derinliği bilindiğine göre Q debisi için süreklilik denkleminde akım hızı V_1 hesaplanabilir. Böylece 1 kesitindeki H toplam enerji,

$$H_1 = z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \dots\dots\dots(4.21)$$

ile hesaplanabilir. Enerji denkleminde 2 kesitindeki toplam enerji

$$H_2 = H_1 - h_k \dots\dots\dots(4.22)$$

olacaktır. Burada h_k 1 ve 2 kesitleri arasındaki yük kaybıdır. O halde



Şekil 4.4 Belirli bir yerdeki su derinliğinin hesabı.

$$H_2 = H_1 - \frac{1}{2}(J_1 + J_2)(x_2 - x_1) \dots \dots \dots (4.23)$$

olacaktır. (4.22) denkleminde H_2 ifadesinin açık şeklini (4.23) denkleminde yerine koyup düzenlersek

$$y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}J_2(x_2 - x_1) + z_2 - H_1 + \frac{1}{2}J_1(x_2 - x_1) = 0 \dots \dots \dots (4.24)$$

olur. Bu denklemde A_2 ve J_2 ifadeleri y_2 nin fonksiyonudur ve diğer bütün büyüklükler bilinmektedir. Böylece aşağıdaki cebrik denklem çözülerek y_2 su derinliği

$$F(y_2) = y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}J_2(x_2 - x_1) + z_2 - H_1 + \frac{1}{2}J_1(x_2 - x_1) = 0 \dots \dots \dots (4.25)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Bu bağıntı Bolzano ya da Newton-Raphson metotlarından biri kullanılarak çözülebilir. Yapılan araştırmalar (Cheney ve Kincaid, 1985) sonucu Newton-Raphson metodunun daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür.

Newton-Raphson metodu kullanılırsa kökleri hesaplanacak cebrik denklemin 1. mertebeden türevinin alınması gerekir. Bu yüzden 4.25 bağıntısının türevi

$$\frac{dF}{dy_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} \frac{dA_2}{dy_2} + \frac{1}{2} (x_2 - x_1) \frac{d}{dy_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \dots \dots \dots (4.26)$$

bulunur. Yukarıdaki denklemde son terimi aşağıdaki gibi

$$\frac{d}{dy_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) = - \frac{2 Q^2 n^2}{A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{dA_2}{dy_2} - \frac{4}{3} \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{7/3}} \frac{dR_2}{dy_2} \dots \dots \dots (4.27)$$

açıp 4.27 bağıntısında $dA_2/dy_2 = B_2$, $Q^2 n^2 / A_2^2 R_2^{4/3} = J_2^2$ alınarak

$$\frac{d}{dy_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) = -2 \left(J_2 \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} \frac{J_2}{R_2} \frac{dR_2}{dy_2} \right) \dots \dots \dots (4.28)$$

elde edilir. Bu bağıntının 4.26 da yerine koyulmasıyla

$$\frac{dF}{dy_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} \frac{dA_2}{dy_2} + \frac{1}{2} (x_2 - x_1) \left(J_2 \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} \frac{J_2}{R_2} \frac{dR_2}{dy_2} \right) \dots \dots \dots (4.29)$$

bulunacaktır. Newton-Raphson metodu kullanılarak y_2 nin hesaplanmasında Chaudhry aşağıdaki işlem sırasını vermiştir.

1. Bilinen y_1 ve z_1 değerleri için denklem 4.21 den kesit 1 deki H_1 değeri hesaplanır.
2. Kesit 2 deki akım derinliği için tahmini bir değer alınır. Tahmini değer olarak alınan büyüklükler * üst indisi ile gösterilsin. Hesaplamanın başlangıcında, x_1 deki y nin değişim oranını 3.6 denkleminde hesaplayabiliriz. $y=y_1$ için $dy/dx=f(x_1, y_1)$ olur. Sonra akım derinliği y_2^* değeri $y_2^* = y_1 + f(x_1, y_1)(x_2 - x_1)$ denkleminde hesaplanır.

3. Tahmini y_2^* değerini kullanarak kesit 2 deki B_2^* , A_2^* , R_2^* ve J_2^* değerleri bulunur. z_2 değeri problem verisi olabilir ya da kanal taban eğimi ve z_1 değerleri kullanılarak hesaplanabilir.
4. $F(y_2^*)$ değeri denklem 4.25 den hesaplanır.
5. dF/dy_2 değeri denklem 4.29 dan y_2^* , A_2^* , R_2^* ve J_2^* değerlerini kullanarak bulunur.
6. Sonra y_2 değeri aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$y_2 = y_2^* - \frac{F(y_2^*)}{[dF/dy_2]^*}$$

7. Eğer $|y_2 - y_2^*|$ istenen ϵ hatasından küçükse y_2^* aranılan akım derinliğidir. Aksi taktirde $y_2^* = y_2$ alınır ve 3. adımdan 7. adıma istenen hassasiyet alınıncaya kadar işlemler tekrar edilir.

Açık kanallarda standart adım denkleminin uygulanmasında Paine (1992) bir algoritma önermiştir ve hesaplamalarda hızlı sonuç verdiği görülmüştür. Hazırlanan bilgisayar programında bu algoritma benimsenmiştir ve tüm temel denklemler bu algoritma ekseninde geliştirilmiştir.

4.6.1 Newton-Raphson Formunda Açık Kanal Akımı Algoritması

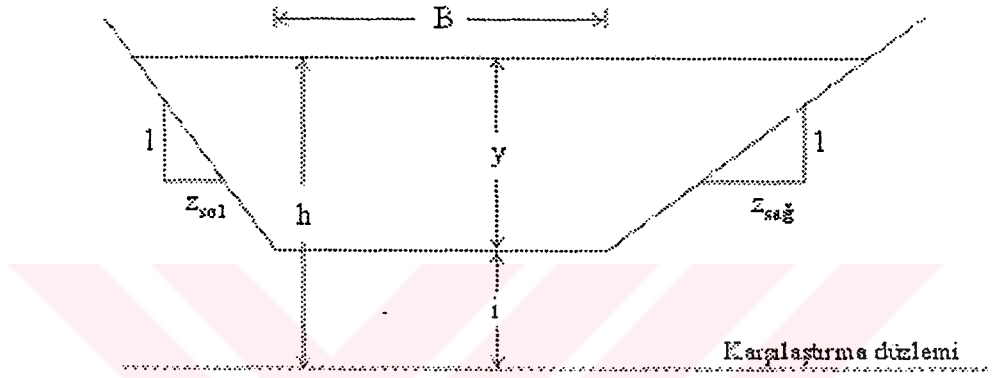
Burada anlatılan algoritma prizmatik kanallarda standart adım metodu ile su yüzü profili hesabı için geliştirilmiştir. Bu algoritma Newton-Raphson formunda hazırlanmıştır ve akım rejiminin nehir, sel, kritik, ters ve yatay olması durumlarında kullanılabilir.

4.6.1.1 Temel Denklemler

Şekil 4.5 de görülen prizmatik kanal enkesitinde ıslak alan

$$A = y(B + yC_4) \dots \dots \dots (4.30)$$

formülü ile hesaplanır. Burada $C_4 = (z_{sol} + z_{sağ})/2$ olarak alınarak ıslak çevre



Şekil 4.5 Prizmatik bir açık kanal en kesiti

$$U = B + 2y\sqrt{1 + C_4^2} \dots \dots \dots (4.31)$$

bağıntısından bulunur. Burada $C_5 = 2\sqrt{1 + C_4^2}$ olarak tanımlanırsa ıslak çevre

$$U = B + yC_5 \dots \dots \dots (4.32)$$

olacaktır. Hidrolik yarıçap, alan (4.30) ve ıslak çevre (4.32) bağıntılarından faydalanarak hesaplanır.

İçinden Q debisi geçen ve A enkesit alanına (4.30) sahip kanaldaki ortalama hız

$$V = \frac{Q}{y(B + yC_4)} \dots \dots \dots (4.33)$$

bağıntısından elde edilir. Sınır koşullarının bilindiği bir kanaldaki temel standart adım denklemi

$$f(y) = \left(y + \frac{V^2}{2g} \right)_{MS} - \left(y + \frac{V^2}{2g} \right)_{MB} + \frac{\Delta x}{2} (J_{MS} + J_{MB}) \dots \dots \dots (4.34)$$

olur. Burada MB ve MS alt indisleri sırayla memba ve mansap kesitlerini göstermekte, Δx mansap ve memba kesitleri arasındaki yatay mesafedir. Enerji çizgisi eğimi J ve kanal taban eğimi J_0 dir. Denklem 4.34 deki J_{MB} ve J_{MS} Manning denkleminde

$$J = \left(\frac{Q_n}{GAR^{2/3}} \right)^2 \dots \dots \dots (4.35)$$

hesaplanabilir. Burada G, SI birim sistemi için 1.000, İngiliz birim sistemi için 1.486 olarak alınır. Denklem 4.35 deki Q_n ve G değerleri kanalın herhangi bir kesitinde sabit olarak alınabilir. Buradan,

$$J = C_3^2 A^{-2} R^{-4/3} \dots \dots \dots (4.36)$$

olarak yazılabilir. Burada $C_3 = Q_n / G$ dir.

Denklem 4.34 tekrar düzenlenirse

$$J(y) = C_3^2 [y(B + C_4 y)]^{-2} \left[\frac{y(B + C_4 y)}{B + yC_5} \right]^{-4/3} \dots \dots \dots (4.37)$$

bulunur ve denklem daha da basitleştirilirse

$$J(y) = C_3^2 (By + C_4 y^2)^{-2} (By + C_4 y^2)^{-4/3} (B + yC_5)^{4/3} \dots \dots \dots (4.38)$$

olacaktır. Böylece enerji kaybı denklemi sadece y terimine bağlı olarak aşağıdaki gibi

$$J(y) = C_3^2 (By + C_4 y^2)^{-10/3} (B + yC_5)^{4/3} \dots\dots\dots(4.39)$$

yazılabilir. Denklem 4.39 böylece y değişkenine bağlı enerji çizgisi eğimidir ve Bisection ya da Newton-Raphson gibi bir teknik ile çözülebilir. Denklem kolayca diferansiyellenebildiği ve Newton-Raphson tekniği bilgisayar ile yapılan hesaplamalarda daha hızlı sonuç verdiği için (Cheney ve Kincaid 1985) denklemin çözümünde Newton-Raphson algoritması tercih edilmiştir.

Newton-Raphson metodunun kullanılabilmesi için denklemin 1. mertebeden türevinin bilinmesi gerekir. Denklem 4.39 un y değişkenine göre diferansiyeli alınarak

$$J'(y) = \frac{4C_3^2 C_5}{3} (By + C_4 y^2)^{-10/3} (B + C_5 y)^{1/3} - \frac{10C_3^2}{3} (B + 2C_4 y)(B + C_5 y)^{4/3} (By + C_4 y^2)^{-13/3} \dots\dots\dots(4.40)$$

enerji çizgisi eğiminin fonksiyonu (4.39) ve türevi (4.40) elde edilmiş oldu. Artık denklem 4.39 un çözümünde Newton-Raphson tekniği kullanılabilir.

4.6.1.2 Algoritma Değişkenleri

Standart adım metodunun bilgisayarla hesabında tek bir alt rutin kullanılarak bütün akım rejimleri (nehir, sel, kritik, yatay, ters) için hesap yapabilmek mümkündür. Bunun için algoritma değişkenlerinin tanımlanması gerekir.

Akım koşulları bilinmeyen bir kesitte hesap yapabilmek için üç basit algoritma değişkeni tanımlanabilir. Örneğin, akım sel rejimli ise, hidrolik kontrol manovarası akım koşulları kullanılarak mansaptaki bilinmeyen akım koşulları standart adım metodu

ile hesaplanabilir. Tam tersi, akım nehir rejimli ise, mansaptaki akım koşulları kullanılarak membadaki bilinmeyen akım koşulları hesaplanabilir.

Standart adım metodu ile hesaplamaların yönüne bağlı olarak üç algoritma değişkeni tanımlanabilir. Eğer akım nehir rejimli ise (hesaplamalar mansaptan membaya doğru) hesaplamalara koşulları bilinen mansap kesitinden başlanır: Algoritma katsayısı β olarak alınırsa β çarpanı 1 olacaktır. C_1 mansap kesitindeki toplam enerji ve C_2 mansap kesitindeki enerji çizgisi eğimi ise C_1 ve C_2 mansaptaki su derinliği kullanılarak bulunacaktır. Diğer bir durumda program kullanıcısı bu üç algoritma değişkenini girmek zorunda kalmayacak, programın içerisinde hesaplanmış olacaktır.

Newton-Raphson algoritması için yukarıda tanımlanan β ve C katsayılarını dikkate alarak, denklem 4.34 ü, 4.40 ve 4.33 denklemlerini birleştirerek tekrar yazarsak

$$f(y) = \beta C_1 - \beta y - \beta z - \beta \left[\frac{Q}{y(B + C_4 y)} \right]^2 + \frac{\Delta x}{2} [J(y) + C_2] \dots \dots \dots (4.41)$$

olacaktır. Buradaki y , kesitteki bilinmeyen akım derinliğidir. Bu denklemi y ye göre diferansiyellersek

$$f'(y) = -\beta + \beta \frac{Q^2}{g} (yB + C_4 y^2)^{-3} (B + 2C_4 y) + \frac{\Delta x}{2} J'(y) \dots \dots \dots (4.42)$$

olur. Denklem 4.41 ve 4.42 basit standart adım fonksiyonudur ve türevi Newton-Raphson algoritması için uygundur. Paine (1992) standart adım fonksiyonunun çözümünde Newton-Raphson metodunu benimsemiştir. Ancak Dey (2000) bu fonksiyonun çözümünde Chebyshev çözümünün Newton-Raphson metoduna göre daha az iterasyonla daha hızlı çözüme gittiğini göstermiştir. Paine standart adım fonksiyonunu sadece Manning denklemi için yazmış, Dey aynı denklemi Manning, Chezy, ve Colebrook-White denklemleri için çıkarmıştır. Bu yüzden hazırlanan

bilgisayar programında standart adım metodu ile hesap yapılırken Paine tarafından verilen denklem 4.41 kullanılmış, bu denklemin çözümünde ise Chebyshev çözümü benimsenmiştir.

4.6.2 Chebyshev Algoritması

Chebyshev yaklaşımında, $y \approx \varepsilon_k$ değeri

$$f(y)=0 \dots\dots\dots(4.43)$$

bağıntısından ilk yaklaşım olarak alınır ve y nin daha iyileştirilmiş değeri $\varepsilon_{k+1} = \varepsilon_k - \Delta\varepsilon_k - \Delta^*\varepsilon_k$ denkleminde hesaplanabilir. Buradaki $\Delta\varepsilon_k$ ve $\Delta^*\varepsilon_k$ Taylor serilerinden

$$\Delta\varepsilon_k = f(\varepsilon_k)/f'(\varepsilon_k) \dots\dots\dots(4.44)$$

$$\Delta^*\varepsilon_k = 0.5f^2(\varepsilon_k)f''(\varepsilon_k)/f'^3(\varepsilon_k) \dots\dots\dots(4.45)$$

elde edilir. Chebyshev çözümünü yapabilmek için denklem 4.39 ve 4.41 in birinci ve ikinci mertebeden türevlerini bulmak gerekir. Paine' in yaptığı çözümde enerji çizgisi eğimi ve standart adım fonksiyonunun birinci türevlerini (4.40) ve (4.43) ü elde etmiştik. Şimdi bu ifadelerin ikinci türevlerini bulalım. Enerji çizgisi eğimi $J(y)$ nin ikinci türevi Mathematica 4.0 programı kullanılarak

$$J''(y) = \frac{130C_3^2(B + 2C_4y)^2(B + C_5y)^{4/3}}{9(By + C_4y^2)^{5/3}} - \frac{80C_3^2C_5(B + 2C_4y)(B + C_5y)^{1/3}}{9(By + C_4y^2)^{3/3}} \dots\dots\dots(4.46)$$

$$- \frac{20C_3^2C_4(B + C_5y)^{4/3}}{3(By + C_4y^2)^{3/3}} + \frac{4C_3^2C_5}{9(B + C_5y)^{2/3}(By + C_4y^2)^{10/3}}$$

bulunmuştur. Standart adım fonksiyonunun ikinci türevi ise

$$f''(y) = \frac{\beta Q^2}{g} \left[-3(yB + C_4 y^2)^{-4} (B + 2C_4 y)^2 + 2C_4 (yB + C_4 y^2)^{-3} \right] + \frac{\Delta x}{2} J''(y) \dots \dots \dots (4.47)$$

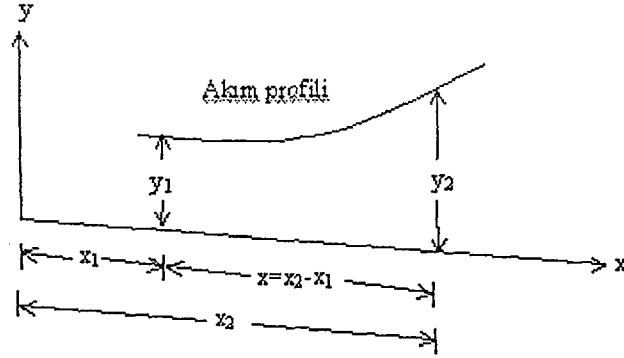
elde edilir. Standart adım fonksiyonu ve enerji çizgisi eğim fonksiyonunun birinci ve ikinci türevleri elde edildiğine göre Paine (1992) tarafından prizmatik kanallar için geliştirilen standart adım metodu ve bu denklemin çözümünde Chebyshev algoritması kullanılabilir.

4.7 Grafik İntegrasyon Metodu

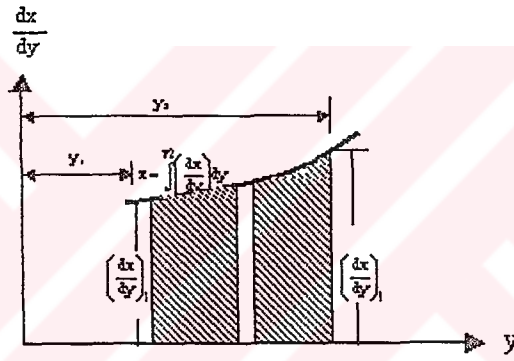
Bu metot TDA' ın diferansiyel denkleminin grafik işlem ile integre edilmesidir. Şekil 4.6 da gösterilen orijinden yükseklikleri y_1 ve y_2 olan x_1 ve x_2 uzaklığında iki kesit düşünelim. Kanal tabanı boyunca mesafe

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \int_{x_1}^{x_2} dx = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dx}{dy} dy \dots \dots \dots (4.48)$$

olacaktır. Bir kaç y değeri farz edelim ve denklemin sağ tarafını sağlayan dx/dy değerlerini hesaplayalım. y 'ye karşı gelen dx/dy eğrisini şekil 4.7 de gösterilmiştir. Denklem 1 e göre x değerleri eğrideki taralı alana eşittir. y eksenine ise y_1 ve y_2 ye karşı gelen dx/dy değerleridir. Bu alan ölçülür ve x değerleri hesaplanır.



Şekil 4.6 Su yüzü profili



Şekil 4.7 Su derinliği-dx/dy ilişkisi

Bu metodun geniş bir uygulama alanı vardır. Prizmatik kanallarda prizmatik olmayan kanallara göre daha iyi uygulanır. İşlem ileri yönelik ve kolaydır. Eğri altında kalan integral alan yamuklar metodu kullanılarak kolayca hesaplanabilir. Metodun en büyük dezavantajı hesaplamalar sırasında integral hesabı yapılmasıdır.

5. EULER METODU VE MODİFİKASYONLARI İÇİN HATANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Diferansiyel denklemlerin başlangıç değer problemlerinin sayısal çözümü için geliştirilen tekil adım metotları, açık kanallarda tedrici değişken akımın diferansiyel denklemine uygulanabilir. Bu metotların su yüzü profili hesabına uygulamaları ilk defa Chaudhry tarafından verilmiştir. Ancak metotların hataları değerlendirilmemiştir. Burada Euler (Poligon) Metodu ve Euler Metodunun modifikasyonları için su yüzü profilindeki nümerik hata değerlendirilmiş ve verilen su yüzü profili hesabı probleminde gerekli optimum adım sayısının tahmini için bir yaklaşım geliştirilmiştir.

5.1 Euler Metodu ve Modifikasyonlarının Hatası

Euler Metodunun hatası için Collatz tarafından verilen bir hata ifadesi kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre başlangıç değer problemi,

$$y' = f(x, y) \dots\dots\dots(5.1)$$

$$y(x_0) = y_0 \dots\dots\dots(5.2)$$

olan bir, $f(x, y)$ fonksiyonu

$$G = \{(x, y) : |x - x_0| \leq a, |y - y_0| \leq b\}$$

bölgesinde tanımlanmıştır. Şekil 5.1 de grafik olarak gösterilen G bölgesi içinde tanımlanmış $f(x, y)$ fonksiyonu için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

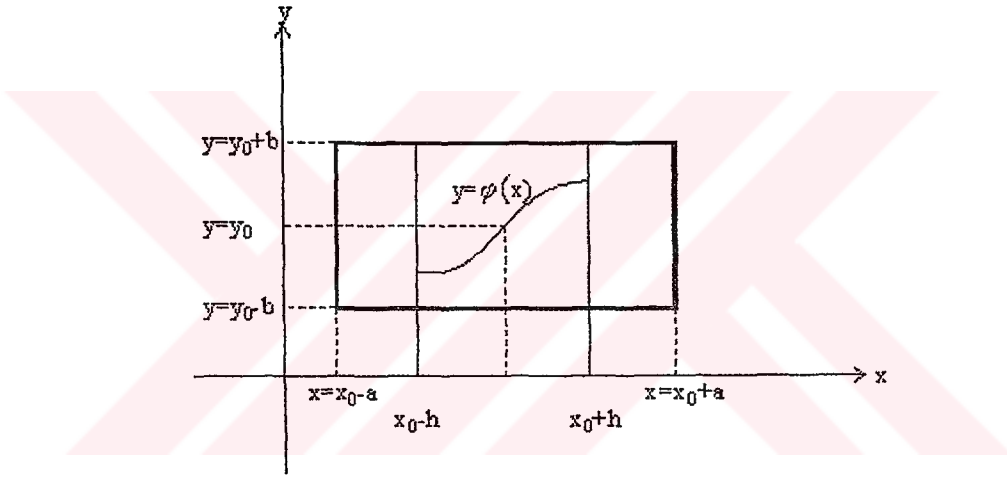
a) $f(x, y)$ fonksiyonu G dikdörtgen alanı içinde süreklidir.

$$M = \max_G |f(x, y)|, \exists M > 0, |f(x, y)| \leq M, (x, y) \in G \dots\dots\dots(5.3)$$

Yani bu bölgede kendinin en küçük ve en büyük değerlerini alır.

b) $f(x, y)$ fonksiyonu G dikdörtgeninde y değişkenine göre Lipschitz koşulunu sağlar.

$$\left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right| \leq N, \quad \exists N > 0, \quad \forall (x, y_1), (x, y_2) \leq N |y_2 - y_1| \quad \dots\dots\dots(5.4)$$



Şekil 5.1. G bölgesinin grafik gösterilişi.

Yukarıdaki tanımlamalar ve kabuller sonucunda Collatz tarafından, Euler Metodu ile kurulan n adım sayısı sonucu oluşacak en büyük hata

$$|\epsilon_n| \leq \frac{HK(1+M)}{2Nn} (e^{NH} - 1), \quad N > 0 \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

eşitsizlikleri ile verilmiştir. Burada H , hesaplamanın yapılacağı yatay x mesafesi, M $f(x, y)$ fonksiyonun G bölgesinde alabileceği en büyük değeri, N , Lipschitz katsayısı, n adım sayısıdır. K ise

$$\left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \leq K, \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \leq K \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

olarak tanımlanmıştır.

Su yüzü profili hesaplamalarında görülmüştür ki, kabul edilebilir sayısal hata $\epsilon=0.01$ mertebesinde. Dolayısıyla problemimiz şuna dönüşür: Prizmatik kanallarda su yüzü profilinin Euler Metodu ile hesabında nümerik hatanın 0.01 değerini geçmemesi için hesaplamanın yapılacağı L yatay uzunluğu kaç adıma bölünmelidir? Buradaki optimum adım sayısının hesabı denklem (5.5) ten şu şekilde hesaplanır.

$$n \geq \frac{HK(1+M)}{2N|\epsilon_n|} (e^{NH} - 1) \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

Buradaki n adım sayısını göstermektedir. Su yüzü profili hesabı için hazırlanan bilgisayar programı verilen problem için gerekli adım sayısını denklem (5.7) den hesaplamaktadır.

Literatüre geçmiş ticari ya da akademik programlar genellikle hesaplamanın yapılacağı yatay L mesafesinin kaç alt adıma bölüneceğini kullanıcıya sorar, kullanıcı herhangi bir değer girmezse kaba bir varsayılan değer alınır. Ancak burada önerilen bilgisayar programı optimum adım sayısının seçimini kendisi yapmaktadır.

Euler Metodunun modifikasyonları olan Gelişmiş Euler ve Düzeltilmiş Euler metotları için hata ifadeleri yine Collatz tarafından şu şekilde tanımlanmıştır. Gelişmiş Euler Metodu için n. yaklaşımdaki hata,

$$|\epsilon_n| < \frac{H^2}{8n^2} \left(N_1 + \frac{N_2}{3N} \right) \frac{\left(1 + \frac{HN}{n} + \frac{H^2N^2}{2n^2} \right)^n - 1}{1 + \frac{HN}{2n}} \quad \dots\dots\dots(5.8)$$

olarak verilmiştir. Düzeltilmiş Euler Metodu için n adımda oluşacak hata ise

$$|\epsilon_n| < \frac{H^2}{4n^2} \left(N_1 + \frac{N_2}{3N} \right) \frac{\left(1 + \frac{HN}{n} + \frac{H^2 N^2}{2n^2} \right)^n - 1}{1 + \frac{HN}{2n}} \dots\dots\dots(5.9)$$

eşitliğinden bulunur. Burada

$$\left| \frac{df(x,y)}{dx} \right| = \left| \frac{\partial f}{\partial x} + f \frac{\partial f}{\partial y} \right| \leq N_1; \quad \left| \frac{d^p f}{dx^p} \right| \leq N_p, \quad (p = 1, 2, \dots) \dots\dots\dots(5.10)$$

olarak alınmıştır.

5.2 Hata İfadelerinin Prizmatik Kanallara Uygulanması

Tedrici değişken akımın diferansiyel denklemi

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J}{1 + \alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots(5.11)$$

olarak alınmıştır. Denklemdaki J hidrolik eğim ve V hız ifadeleri yerine prizmatik kanallar için yazılan ifadeler kullanarak

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - C_3^2 (By + C_4 y^2)^{-10/3} (B + yC_4)^{4/3}}{1 + \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{d}{dy} [y(B + yC_4)]^{-2}} \dots\dots\dots(5.12)$$

bağıntısından bulunur. Denklem (5.12) de verilen d/dy türevi alınırsa denklem

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - C_3^2 (By + C_4 y^2)^{-10/3} (B + yC_5)^{4/3}}{1 - C_6 [y(B + yC_4)]^{-3} (B + 2yC_4)} \dots\dots\dots(5.13)$$

şeklini alır. Burada $C_6 = \alpha Q^2/g$ olarak alınmıştır. Denklem (5.13) prizmatik kanallar için tedrici değişken akımın diferansiyel denklemidir. Daha önce verilen hata ifadelerindeki terimler bu denklemden elde edilir, bunlar N ve K ifadeleri olup

$$N = K = \frac{\frac{10C_3^2 (B + 2C_4 y)(B + C_5 y)^{4/3}}{3(By + C_4 y^2)^{13/3}} - \frac{4C_3^2 C_5 (B + C_5 y)^{1/3}}{3(By + C_4 y^2)^{10/3}}}{1 - \frac{C_6 (B + 2C_4 y)}{y^3 (B + C_4 y)^3}} \left(\frac{-\frac{2C_4 C_6}{y^3 (B + C_4 y)^3} + \frac{3C_4 C_6 (B + 2C_4 y)}{y^3 (B + C_4 y)^4} + \frac{3C_6 (B + 2C_4 y)}{y^4 (B + C_4 y)^3} \right) \left(J_0 - \frac{C_3^2 (B + C_5 y)^{4/3}}{(By + C_4 y^2)^{10/3}} \right) \frac{1}{\left(1 - \frac{C_6 (B + 2C_4 y)}{y^3 (B + C_4 y)^3} \right)^2} \dots\dots\dots(5.14)$$

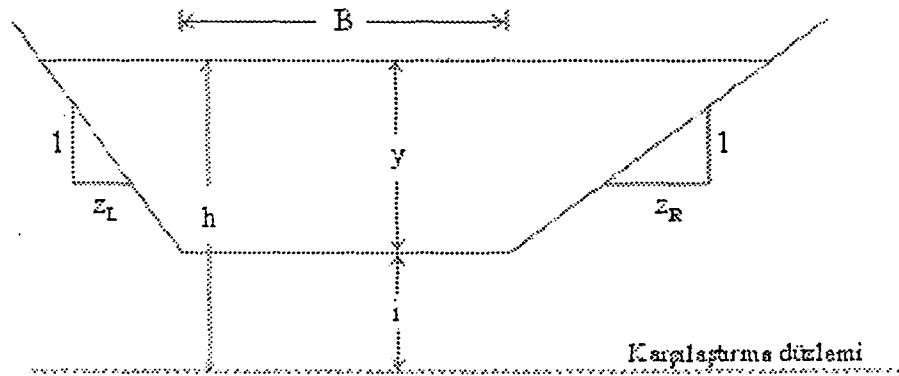
bağıntısından bulunur.

6. BİLGİSAYAR PROGRAMI VE ALGORİTMA

Su yüzü profili hesabının yapılabilmesi için öncelikle profil tipinin belirlenmesi gerekir. Verilen akım ve kanal özelliklerine göre o kanalda oluşacak üniform ve kritik derinlikler hesaplanmalıdır. Üniform derinlik aşağıdaki denklem çözülerek hesaplanır.

$$y_0(y) = Q - K(y)\sqrt{J_0} \dots\dots\dots(6.1)$$

Buradaki $K(y)$, y su derinliğinin fonksiyonu olup konveyans olarak adlandırılır. Ters ve yatay eğimli kanallarda üniform akım oluşmadığından y_0 için anlamlı bir değer girilmez, $y_0 = \infty$ için bilgisayar programında $y_0 = 999.99$ alınması yeterli olmaktadır. Newton-Raphson metodunun Bolzano metoduna göre daha hızlı sonuç verdiği (Cheney ve Kincaid ,1985) tarafından yapılan çalışmayla gösterilmiştir. Bundan dolayı bilgisayar programında 6.1 denkleminin çözümünde Newton-Raphson metodu tercih edilmiştir.



Şekil 6.1. Prizmatik kanal geometrisi

Şekil 6.1 de tanımlanan prizmatik kanal için K konveyans değeri $R=A/U$ olduğu gözönünde tutularak

$$K = \frac{R^{2/3} A}{n} = \frac{A^{5/3}}{nU^{2/3}} \dots\dots\dots(6.2)$$

elde edilir. Denklem (6.2) deki A ıslak alan ve U ıslak çevre ifadeleri şekilde verilen prizmatik kanal en kesiti için açık bir şekilde yazılırsa 6.2 ifadesi

$$K = \frac{[y(B + yC_4)]^{5/3}}{n(B + yC_5)^{2/3}} \dots\dots\dots(6.3)$$

olacaktır. Denklem 6.3 deki C_4 =sol ve sağ şev eğimlerinin ortalamasıdır. C_5 ise

$$C_5 = (1 + Z_L^2)^{1/2} + (1 + Z_R^2)^{1/2} \dots\dots\dots(6.4)$$

bağıntısıyla tanımlansın. Şekil 6.1 de verilen prizmatik kanal en kesiti için üniform derinlik fonksiyonu

$$y_0(y) = Q - \frac{[y(B + yC_4)]^{5/3}}{n(B + yC_5)^{2/3}} \dots\dots\dots(6.5)$$

elde edilir.

Üniform derinlik hesabından sonra kritik derinlik hesabına geçilir. Bilindiği gibi kritik derinlik özgül enerjiyi minimum yapan değerdir. Yani,

$$\frac{dE(y)}{dy} = 0 \dots\dots\dots(6.6)$$

denkleminin çözümü bize kritik derinliği verir. Şekil (6.1) de verilen prizmatik kanal için özgül enerji denklemi

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(6.7)$$

olur ve denklem 6.7 nin her iki tarafının y ye göre türevi alınırsa,

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} \dots\dots\dots (6.8)$$

bulunur. Denklem 6.8 deki A alan ifadesini prizmatik kanal için açık bir şekilde

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{g[y(B + yC_4)]^3} \frac{d}{dy} [y(B + yC_4)] \dots\dots\dots (6.9)$$

yazıp denklem (6.9) daki türevi alınırsa

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2(B + 2yC_4)}{g[y(b + yC_4)]^3} = 0 \dots\dots\dots (6.10)$$

elde edilir. Yukarıdaki 6.10 denklemi düzenlenerek

$$y_c(y) = g[y(B + yC_4)]^3 - Q^2(B + 2yC_4) \dots\dots\dots (6.11)$$

prizmatik kanallar için kritik derinlik fonksiyonu bulunmuş olur. Bu denklemin bilgisayarla çözümünde Newton-Raphson metodu kullanılmıştır.

Üniform ve kritik derinlik hesabından sonra kanal eğiminin tipi belirlenir. Eğer $y_0 > y_c$ ise kanal küçük eğimli kanaldır (M tipi), eğer $y_c > y_0$ ise kanal büyük eğimli kanaldır (S tipi). $J_0 = 0$ ise kanal yatay eğimli, $J_0 < 0$ ise kanal ters eğimli, $y_0 = y_c$ ise kanal kritik eğimlidir.

Verilen kontrol derinliğine göre akımın rejimi ve profil bölgesi belirlenir. Kontrol derinliği bir barajın mansabındaki su derinliği ya da bir kapağın altındaki su derinliği olabilir. Kontrol derinliği y olarak alınırsa; $y > y_c$ ise akım nehir rejimli, mansap

kontrollü ve hesaplamalar mansaptan membaya doğru yapılır. $y < y_c$ ise akım sel rejimli, memba kontrollü ve hesaplamalar mabadan mansaba doğru ilerleyecektir. Sel rejimli akım için $k_x=1$, yani yatay mesafede hesaplamalar x ekseninin sağında ilerleyecektir.

Profil tipinin belirlenmesi için geliştirilen genelleşmiş su yüzü profili algoritmasının semi kodu Şekil 6.2 de verilmiştir.

```

If  $y_0 > y_c$  Then
  If  $y > y_0$  Then
    Profiltipi=M1
     $y_{son}=y_0$ 
  End If
  If  $y_0 > y$  And  $y > y_c$  Then
    Profiltipi=M2
     $y_{son}=y_0$ 
  End If
  If  $y_c > y$  Then
    Profiltipi=M3
     $y_{son}=y_c$ 
  End If
End If
If  $y_c > y_0$  Then
  If  $y > y_c$  Then
    Profiltipi=S1
     $y_{son}=y_c$ 
  End If
  If  $y_c > y$  And  $y > y_0$  Then
    Profiltipi=S2
     $y_{son}=y_0$ 
  End If
  If  $y_0 > y$  Then
    Profiltipi=S3
     $y_{son}=y_0$ 
  End If
End If

If  $J_0 = 0$  Then
  If  $y > y_c$  Then
    Profiltipi=H2
     $y_{son}=y_0$ 
  End If

```

```

    If  $y_c > y$  Then
        Profiltipi=H3
         $y_{son}=y_c$ 
    End If
End If
If  $J_0 < 0$  Then
    If  $y > y_c$  Then
        Profiltipi=A2
         $Y_{son}=y_0$ 
    End If
    If  $y_c > y$  Then
        Profiltipi=A3
         $y_{son}=y_c$ 
    End If
    If  $y_0 = y_c$  Then
        If  $y > y_0$  Then
            Profiltipi=C1
             $y_{son}=y_c$ 
        End If
        If  $y = y_0$  Then
            Profiltipi=C2
        End If
        If  $y_0 > y$  Then
            Profiltipi=C3
             $y_{son}=y_c$ 
        End If
    End If
End If

```

Şekil 6.2. Genelleşmiş su yüzü profili algoritması semi kodu

Yukarıda verilen **Profiltipi** değişkeni kanal içinde oluşacak su yüzü profilinin tipini (M_1 , M_2 , S_1 ...) göstermektedir. y_{son} değişkeni hesaplamanın sonlandırılacağı su yüksekliğini, J_0 değişkeni ise kanal taban eğimini göstermektedir. Hesaplama yapılırken y su derinliği y_{son} su derinliğini aştığı zaman hesaplamalara son verilir. Aşağıdaki koşul

$$x_h < L \text{ And } (y_{ilk} < y < y_{son})$$

sağlandığı sürece hesaplamalar devam ettirilir. Buradaki x_h hesaplamasının yapıldığı yatay koordinat, L hesaplamasının yapılacağı toplam yatay uzunluk, y_{ilk} hesaplamasının başladığı kontrol derinliği, y hesaplamasının yapıldığı su derinliği, y_{son} hesaplamasının

sonlandırılacağı su derinliğidir. Şekil 6.2 de görülen algoritma ile 12 ayrı profil tipine karar verilmektedir.

Yukarıda verilen algoritma 12 profil tipi için de hesap yapabilmektedir. Algoritma ders kitaplarından ve uygulamadan seçilen örneklerle test edilmiştir.

Programa problem girildiği zaman öncelikle üniform ve kritik derinlik hesaplanır ve yukarıda algoritma çalışır. Çalışan algoritma sayesinde hesap yapılacak bölge ve profil tipi belirlenmiş olur. Algoritma, seçilen hesaplama metodundan bağımsızdır ve metodun dışında çalışır. Hesaplama özellikleri belirlendikten sonra seçilen metot hesaplamanın başlayacağı su derinliğini, hesaplamamanın sonlandıracağı su derinliğini ve profil tipini parametre değişken olarak alır ve hesaplamalara başlar. Yani Metot fonksiyonunun prototipi aşağıdaki gibidir.

Procedure Metot(y1,y2:extended;tip:string);

Burada y1 hesaplamamanın başlangıç su derinliği, y2 hesaplamamanın bitiş su derinliğidir ve extended değişken tipinde tanımlanmışlardır. Fonksiyon içindeki tip profil tipini gösterir ve string değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değerlerin kopyasını alan fonksiyon hesaplamalara başlar ve aşağıdaki formatta devam eder.

Şekil 6.3 de verilen semi kod içindeki while döngüsü içindeki ifade doğru olduğu sürece hesaplamalara devam edilir ve koşul bozulduğu anda hesaplamalar sonlandırılır.

Koşul ifadesi içindeki $Abs(x) \leq L$ ifadesi, hesaplamamanın yapıldığı x yatay uzunluğunu hesaplamamanın yapılmasının istendiği L yatay uzunluğu ile kıyaslamakta ve küçük olduğu zaman Doğru mantıksal değerini geri döndürmektedir. Aynı ifade içindeki mantık Boolean değişken olarak tanımlanmıştır ve döngünün sonundaki ifadeye göre doğru ya da yanlış olur. Döngü sonundaki ifadede hesap yapılan su derinliğinin ilgili hesaplama bölgesinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. İlgili bölgede kalıyorsa Doğru mantıksal değerini döndürür. Koşul içindeki iki koşul da

Doğru olduğu sürece hesaplamalar sürdürülür, koşullardan biri ya da ikisi birden bozulduğu anda hesaplamalar sonlandırılır.

```

Procedure Metot(y1,y2:extended;tip:string);
Begin
.....
.....
while (abs(x))<=L and (mantik)do
begin
.....
....
.....
mantik:=IkinciKosul(tip,y1,y2);
end;
End;

```

Şekil 6.3 Sayısal metodun semi kodu

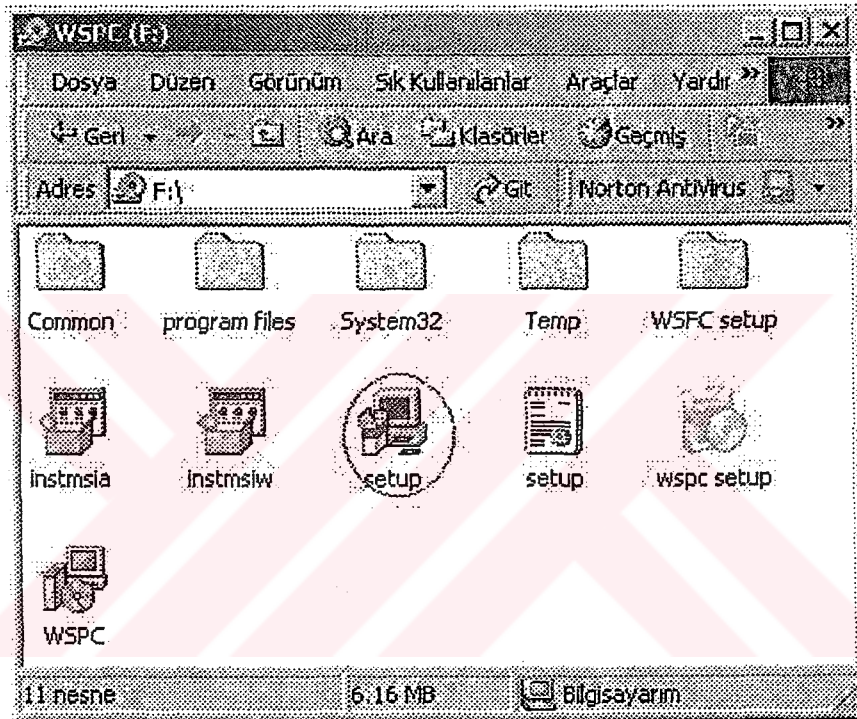
6.1 Bilgisayar Programı (WSPC 1.01) Tanıtım ve Çalıştırma İşlemleri

WSPC (Water Surface Profile Calculater) programı prizmatik kanallarda tedrici değişken akım profillerinin hesabı için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. Program kanal eğim tipinin küçük, büyük, yatay, kritik veya ters olması durumlarında oluşabilecek profil tipleri için çözüm yapmakta ve sonuçları rapor halinde sunmaktadır.

WSPC Windows platformları için geliştirilmiş bir görsel yazılımdır ve kullanmadan önce programın bilgisayara kurulması gerekir. Programın kurulma (setup) ve çalıştırılma işlemleri adım adım ekran görüntüleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

6.1.1 Kurulum

Programın kurulumu CD olarak hazırlanmıştır ve kurulum için Setup programının çalıştırılması gerekmektedir.

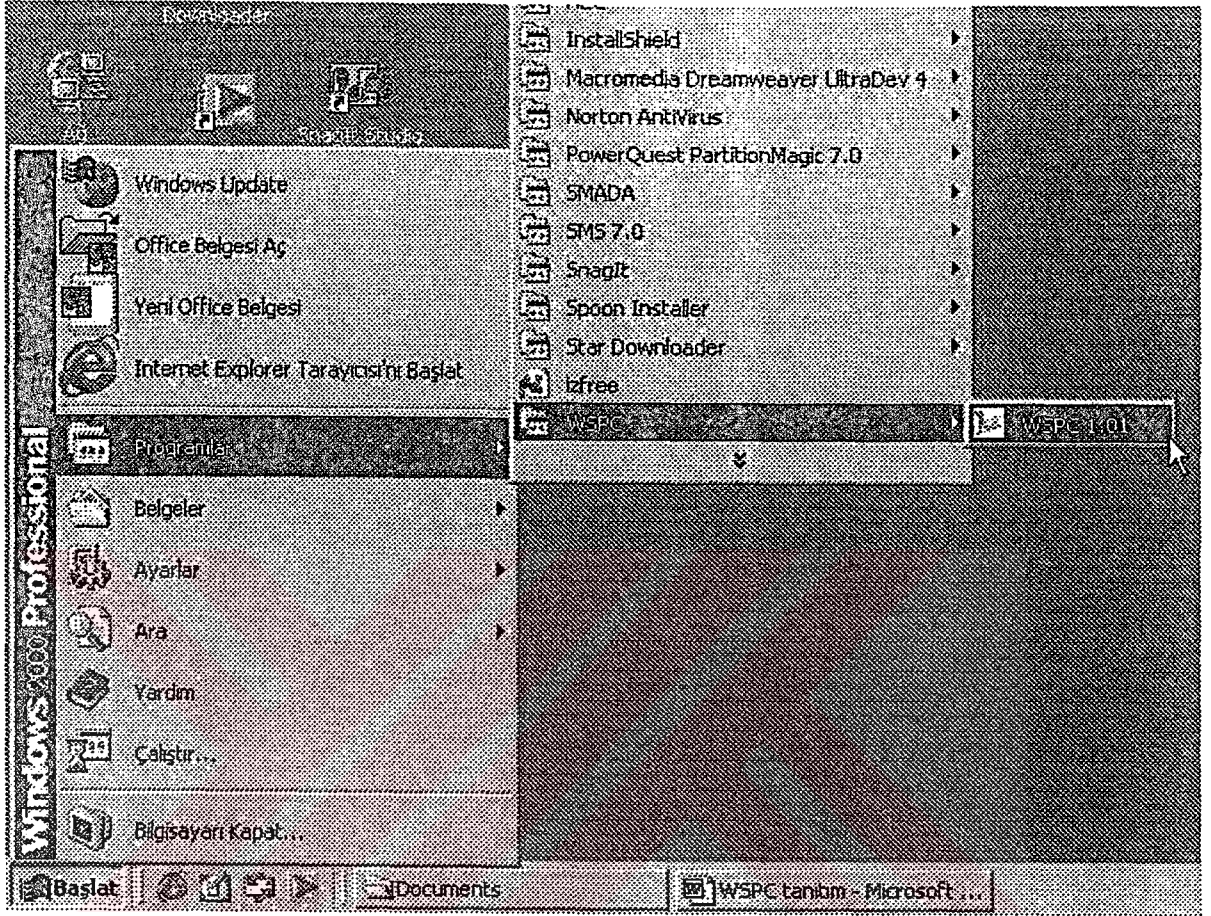


Şekil 6.4 WSPC 1.01 programının kurulumu.

Kurulum programı çalıştırıldığı zaman Windows Installer programı çalışır. Sistemde yüklü olan Installer daha eski ise önce mevcut installer güncellenir ve kurulumu devam edilir. Programın kurulumu klasik bir Windows yazılımının kurulumu şeklinde hazırlanmıştır. Ardışık Next tıklamaları sonucunda programın kurulumu tamamlanır.

6.1.2 Programı Çalıştırma

Program kurulduktan sonra Windows' un Başlat menüsünde Programlar kısmına yerleşir ve aşağıda görüldüğü gibi çalıştırılır.



Şekil 6.5 WSPC' nin kısa yolu.

WSPC 1.01 Windows 95, 98, Me ve 2000 platformları üzerinde çalışmaktadır. Programın çalışabilmesi için en az Pentium 100 ve üzeri işlemci, 8 MB RAM, 640 x 480 ekran çözünürlüğü (önerilen çözünürlük 800 x 600) ve diskte 8 MB boş alan gerekmektedir. (Daha düşük konfigürasyonlarda program çalıştırılmış ancak yeterli performans alınamamıştır.)

WSPC çalıştırıldığı zaman ekrana aşağıda görüldüğü gibi bir pencere yüklenir.

WSPC 1.01 - Prizmatik Kanallar için Kapalı Çeşitli Kesitli Kanalların Prizmatik Kesitli Kanallara

Dosya Dil Yardım

Birim Sistemi

Metrik
 İngiliz

Prizmatik Kanal

B(m)

Z1

Z2

Sayısal Yöntem

Euler
 Gelişmiş Euler
 Düzeltilmiş Euler
 Runge-Kutta

Direk Adım
 Standart Adım
 Grafik İntegrasyon

Q(m³/s)

Manning n

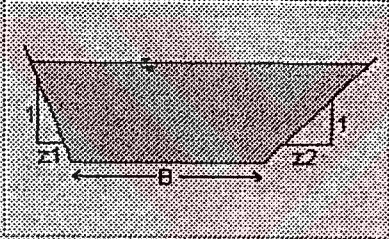
Kanal taban eğimi

Hız katsayısı

Kontrol derinliği(m)

Kanal hesaplama uzunluğu (m)

Adım sayısı



Hesapla

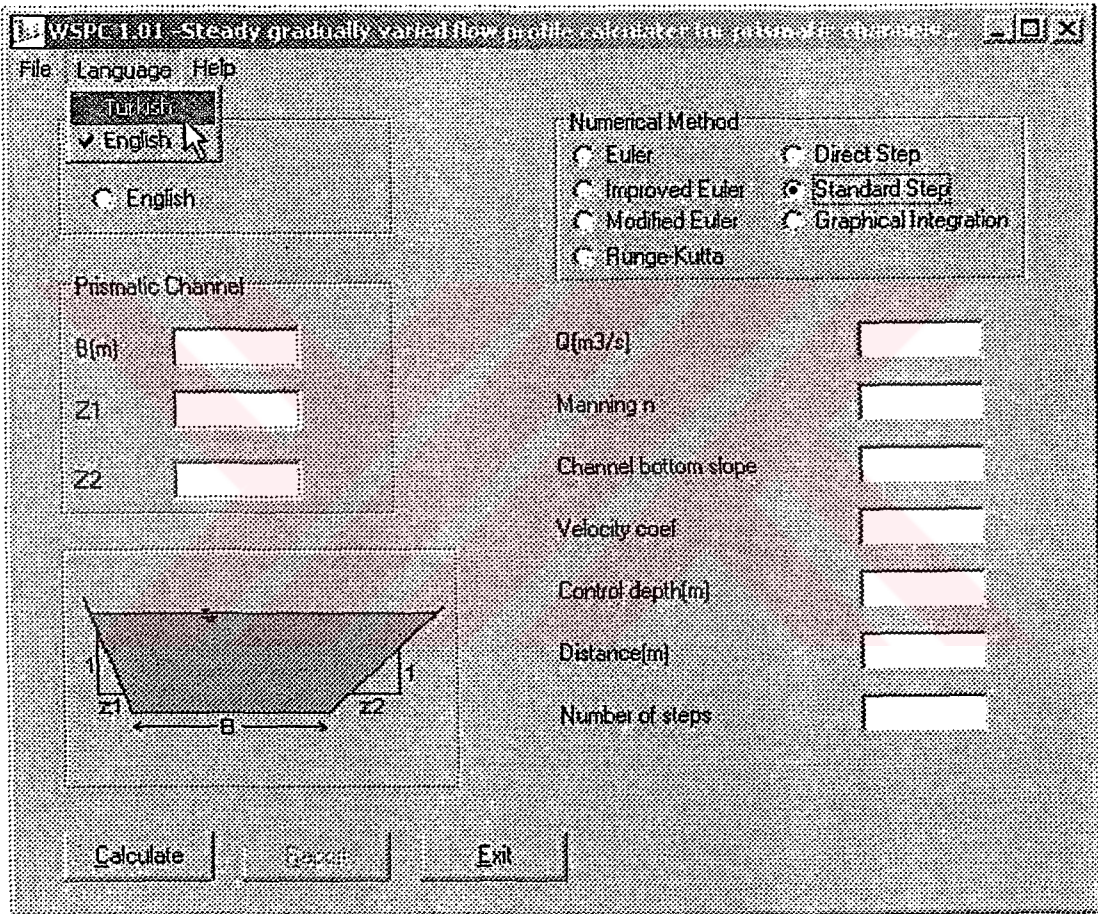
Şekil 6.6 WSPC 1.01 programının Türkçe ara birimi

Kullanıcı yukarıda görülen form üzerinde problemin verilerini girerek su yüzü profilini hesaplayabilir. Program ilk çalıştırıldığında ekrana yüklenen formun ara biriminin dili Türkçe' dir. Ancak kullanıcı isterse ara birimin dilini İngilizce olarak değiştirebilir.

Hesaplamalarda birim sistemi olarak Metrik ya da İngiliz birim sistemleri kullanılır. Bu kullanıcının seçimine bağlıdır. Program çalıştırıldığında var sayılan birim sistemi metriktir.

Kullanıcı şekilde görülen prizmatik kanal kesit verilerini "Prizmatik Kanal" freymi üzerinden girebilir. Burada gösterilen B kanal taban genişliği, z1 ve z2 kanal şev

eğimleridir. Kanal şev eğimleri (z_1 ve z_2) 0 girilirse kanal kesiti dikdörtgen olur, eğer bu değerler birbirine eşit girilirse ($z_1=z_2=c$) kanal kesiti trapez olur. Böylece bütün prizmatik kanal kesit tipleri için kesit değerleri tek bir ara birim üzerinden girilebilmektedir.



Şekil 6.7 WSPC 1.01 programının İngilizce ara birimi

Kanal kesit verileri girdikten sonra akım karakteristikleri girilir. Q Debi değeri m^3/s ya da ft^3/s olarak alınır. Program test edilirken çok büyük debi değerlerinde programın kilitlendiği görülmüş ve bu sebeple en büyük debi değeri olarak $3000 m^3/s$ alınmıştır. Bu değerden büyük debi girildiğinde kullanıcı mesaj yolu ile uyarılmakta ve daha küçük değer girilmesi istenmektedir.

Debi girişinden sonra kanalın Manning n pürüzlülük katsayısı girilir. Programın sonraki versiyonlarında Manning n değerinin program içerisinde seçilebilme özelliği getirilmesi düşünülmektedir.

Manning pürüzlülük katsayısından sonra programa kanalın taban eğimi girilir. Kanal taban eğimi pozitif, sıfır (yatay) ya da negatif yani ters eğim olarak girilebilir. Bu üç eğim tipi için hesap yapılabilmektedir.

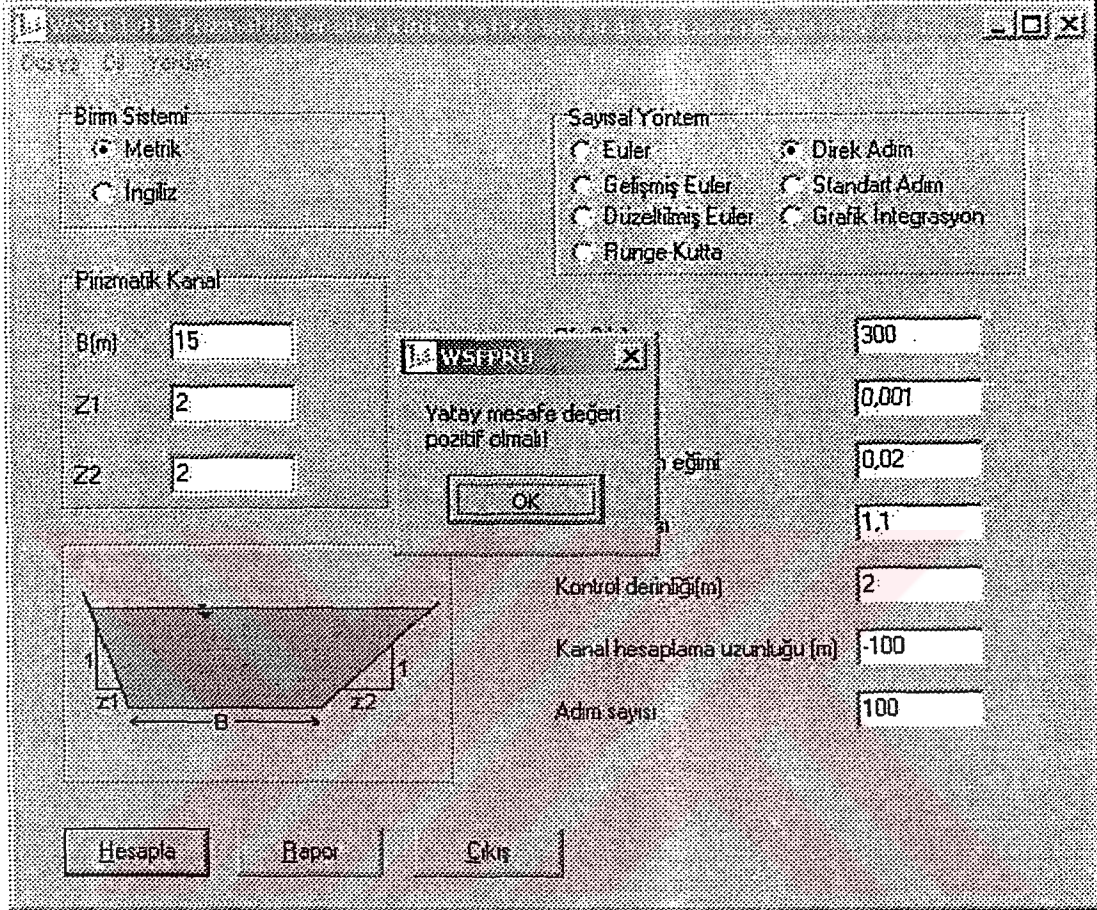
İlgili kesit değerleri için kanalın hız katsayısı girilir. Prizmatik kanallar için hız katsayısı 1.0 ile 1.3 arasında değerler alır. Ancak kullanıcının gireceği hız katsayısı değeri program tarafından kısıtlanmamakta, bu seçim tamamen kullanıcıya bırakılmaktadır. Ancak negatif hız katsayısı anlamsız olduğu için girilen negatif değerlerde kullanıcı mesaj yolu ile uyarılmakta, pozitif değer girmesi istenmektedir.

Profil hesabına başlanacak kontrol derinliği girilir. Bu değer bir kapağın altındaki su derinliği ya da bir barajın mansabındaki su derinliği olabilir. Yanlışlıkla girilecek negatif değerlerde kullanıcı mesaj yolu ile uyarılmakta, pozitif değer girmesi istenmektedir.

Kontrol derinliğinden sonra profil hesabının yapılacağı yatay uzunluk istenmektedir. Girilebilecek negatif değerlerde kullanıcı mesaj yolu ile uyarılmakta ve pozitif değer girmesi istenmektedir.

Bazı metotlar için hesaplamamın kaç adımda yapılacağı kullanıcıya sorulur. Bu değer en büyük 100 değeri ile kısıtlanmıştır. Kullanıcı negatif, sıfır ya da 100' den büyük bir değer girerse mesaj yolu ile uyarılmaktadır.

Program üzerindeki tüm veriler girildikten sonra hesaplamada kullanılacak sayısal metot seçilir. WSPC bu anlamda kullanıcıya 7 metot önerir ve kullanıcı bu metotlardan herhangi birini seçebilir.



Şekil 6.8 Hesaplama uzunluğunun negatif değeri girilmesi durumunda verilen mesaj

6.1.3 Program Sonuçları

Program ilk çalıştırıldığına Rapor düğmesi aktif değildir. Çünkü daha çözüm yapılmamış ve gösterilecek sonuç yoktur. Hesaplama yapıldıktan sonra Rapor düğmesi aktif hale gelir ve kullanıcı bu düğmeyi tıklayarak sonuçları görebilir. Hesaplama sonuçları aşağıda görüldüğü gibi bir rapor penceresi üzerinde gösterilir.

Rapor penceresi üzerindeki "Problem özellikleri" freymi üzerinde problemin çözümünde kullanılan birim sistemi ve profil hesabında seçilen sayısal metot gösterilmektedir. Akım karakteristikleri freymi üzerinde ise ilgili akım özellikleri için hesaplanan üniform derinlik, kritik derinlik ve oluşacak profilin tipi gösterilir.

WSPC 1.01 Izgara ve Akım Karakteristikleri

Problem Özellikleri

Birim: Metrik

Metot: Plunge-Kutta

Akım karakteristikleri

Üniform derinlik: 999,900

Kritik derinlik: 1,656

Profil tipi: A3

SONUÇLAR

y	A	B	V	J	E	dy/dx	x
0,500	4,63	0,43	15,14	0,4404861	12,18	0,007660	0
0,591	5,60	0,50	12,51	0,2473946	8,56	0,007418	12
0,679	6,58	0,56	10,63	0,1521712	6,44	0,007282	24
0,766	7,59	0,63	9,22	0,0995568	5,10	0,007240	36
0,853	8,64	0,69	8,10	0,0680152	4,20	0,007290	48
0,941	9,74	0,74	7,19	0,0478986	3,57	0,007450	60
1,032	10,91	0,80	6,41	0,0344177	3,13	0,007755	72

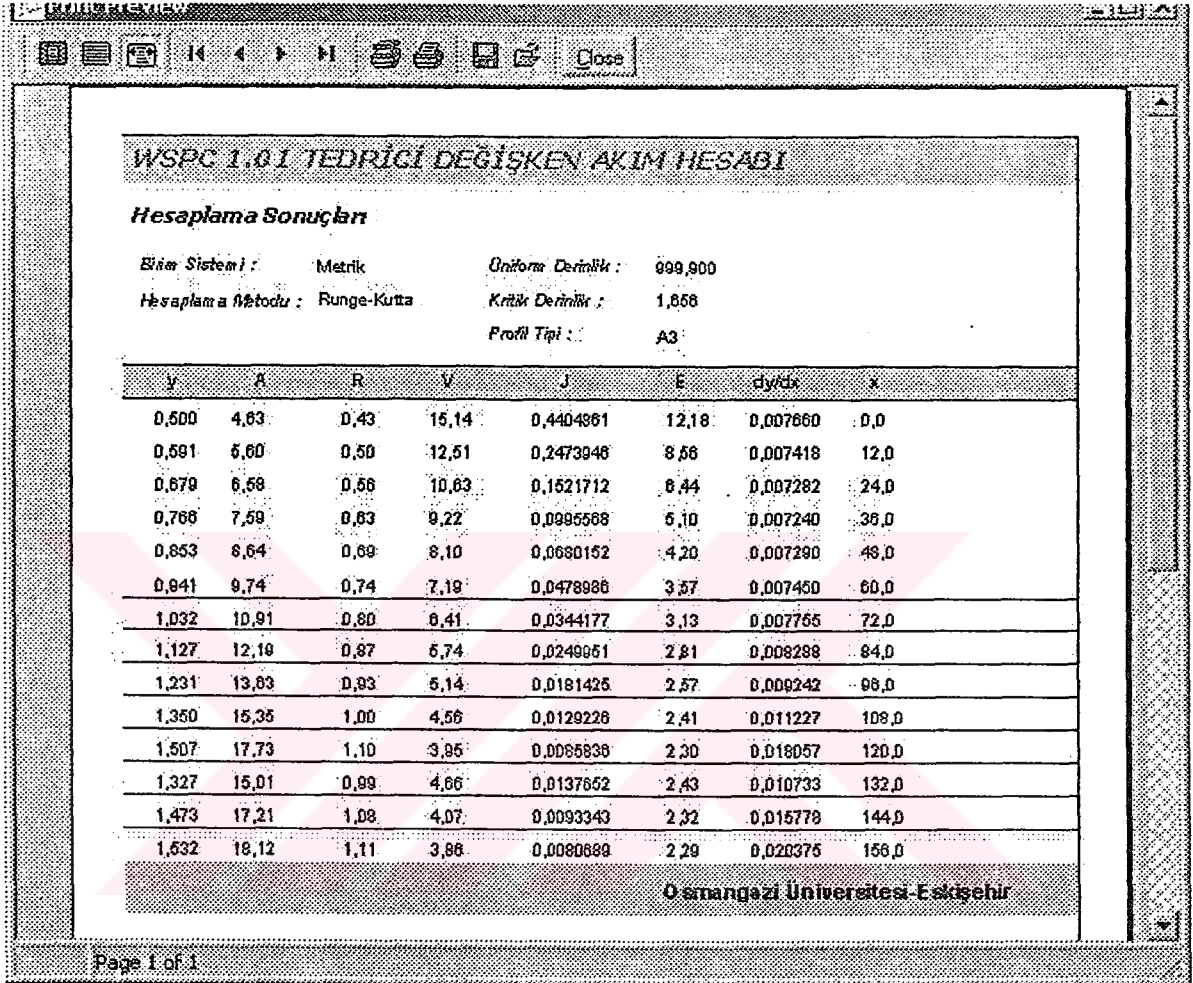
İzlem

Yazdır

Şekil 6.9 Program sonuçlarının gösterildiği rapor penceresi

Rapor formu üzerinde gösterilen Sonuçlar kısmında hesaplanan profil değerleri gösterilir. Izgara üzerinde gösterilen değerler sırası ile y su derinliği, A ıslak alan, R hidrolik yarıçap, V ortalama hız, J enerji çizgisi eğimi, E özgül enerji, dy/dx su yüzü profilinin eğimi ve x hesaplanan yapıldığı kesitin yatay koordinatıdır. X, mamba kontrollü akımlarda akım yönü ile hesaplama yönü aynı olduğu için pozitif, mansap kontrollü akımlarda ise yön farklılığından dolayı negatif olarak gösterilmektedir.

Kullanıcı isterse sonuçları yazıcıdan çıktı olarak alabilir (Şekil 6.10). Bunun için form üzerindeki Yazdır düğmesine tıklanır ve aşağıda gösterilen baskı ön izleme formu yüklenir. Buradan hesaplama sonuçları seçilecek yazıcıya gönderilebilir.

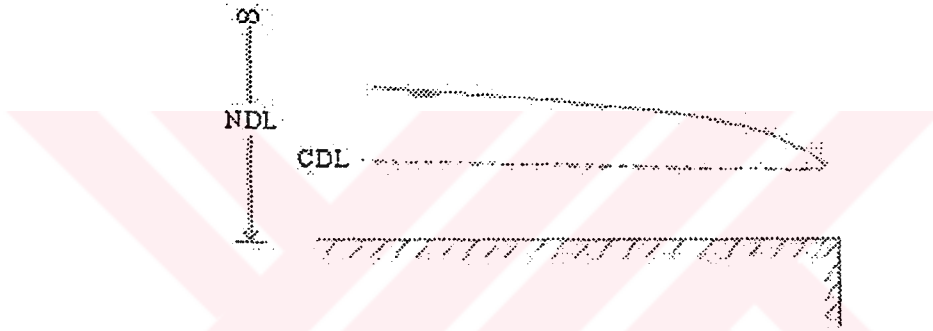


Şekil 6.10 WSPC 1.01 baskı ön izleme penceresi

6.2 WSPC 1.01 İle Örnek Problem Çözümleri ve Karşılaştırılması

6.2.1 Örnek

Yatay eğimli, 10 m genişliğinde dikdörtgen kesitli bir kanal 200 m³/s debi iletmektedir. Kanal sonunda bir serbest düşü oluşmaktadır ve düşü yapmadan önceki su yüksekliği 4.0 m dir. Kanalda oluşacak su yüzü profilini belirleyiniz. Hız katsayısı 1.0 ve Manning $n=0.025$ dir.



Şekil 6.11 Örnek 6.2.1 in grafik gösterimi

Tablo 6.1 Örnek 6.2.1 in HEC-RAS ile çözümü

RAS	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
10A	200	200.00	0.00	5.32		6.04	0.002496	3.76	53.23	10.00	0.52
10A	190	200.00	0.00	5.28		6.01	0.002545	3.79	52.84	10.00	0.53
10A	180	200.00	0.00	5.24		5.99	0.002597	3.81	52.44	10.00	0.53
10A	170	200.00	0.00	5.20		5.96	0.002652	3.84	52.02	10.00	0.54
10A	160	200.00	0.00	5.16		5.93	0.002710	3.88	51.60	10.00	0.54
10A	150	200.00	0.00	5.12		5.89	0.002773	3.91	51.16	10.00	0.55
10A	140	200.00	0.00	5.07		5.86	0.002841	3.95	50.69	10.00	0.56
10A	130	200.00	0.00	5.02		5.83	0.002913	3.98	50.22	10.00	0.57
10A	120	200.00	0.00	4.97		5.80	0.002990	4.02	49.73	10.00	0.58
10A	110	200.00	0.00	4.92		5.76	0.003075	4.06	49.21	10.00	0.58
10A	100	200.00	0.00	4.87		5.73	0.003168	4.11	48.67	10.00	0.59
10A	90	200.00	0.00	4.81		5.69	0.003271	4.16	48.09	10.00	0.61
10A	80	200.00	0.00	4.75		5.65	0.003386	4.21	47.47	10.00	0.62
10A	70	200.00	0.00	4.68		5.61	0.003514	4.27	46.82	10.00	0.63
10A	60	200.00	0.00	4.61		5.57	0.003655	4.33	46.14	10.00	0.64
10A	50	200.00	0.00	4.54		5.53	0.003819	4.41	45.40	10.00	0.66
10A	40	200.00	0.00	4.46		5.48	0.004009	4.49	44.59	10.00	0.68
10A	30	200.00	0.00	4.37		5.44	0.004240	4.58	43.67	10.00	0.70
10A	20	200.00	0.00	4.27		5.39	0.004512	4.69	42.68	10.00	0.72
10A	10	200.00	0.00	4.15		5.33	0.004870	4.82	41.51	10.00	0.75
10A	0	200.00	0.00	4.00	3.44	5.27	0.005389	5.00	40.00	10.00	0.80

Hesaplama Sonuçları

Birim Sistemi : Metrik Ünitiform Derinlik : 999,900
 Hesaplama Metodu : Standart Adım Kritik Derinlik : 3,442
 Profil Tipi : H2

Y	A	R	V	J	E	H	X
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053881	5,27	5,27	0,0
4,131	41,31	2,26	4,84	0,0049324	5,33	5,33	-10,0
4,239	42,39	2,29	4,72	0,0045990	5,37	5,37	-20,0
4,332	43,32	2,32	4,62	0,0043363	5,42	5,42	-30,0
4,414	44,14	2,34	4,53	0,0041199	5,46	5,46	-40,0
4,489	44,89	2,37	4,46	0,0039365	5,50	5,50	-50,0
4,558	45,58	2,38	4,39	0,0037778	5,54	5,54	-60,0
4,622	46,22	2,40	4,33	0,0036382	5,58	5,58	-70,0
4,682	46,82	2,42	4,27	0,0035139	5,61	5,61	-80,0
4,739	47,39	2,43	4,22	0,0034021	5,65	5,65	-90,0
4,793	47,93	2,45	4,17	0,0033007	5,68	5,68	-100,0
4,844	48,44	2,46	4,13	0,0032080	5,71	5,71	-110,0
4,893	48,93	2,47	4,09	0,0031228	5,74	5,74	-120,0
4,940	49,40	2,48	4,05	0,0030442	5,78	5,78	-130,0
4,985	49,85	2,50	4,01	0,0029711	5,81	5,81	-140,0
5,028	50,28	2,51	3,98	0,0029031	5,83	5,83	-150,0
5,070	50,70	2,52	3,94	0,0028394	5,86	5,86	-160,0
5,111	51,11	2,53	3,91	0,0027797	5,89	5,89	-170,0
5,150	51,50	2,54	3,88	0,0027236	5,92	5,92	-180,0
5,189	51,89	2,55	3,85	0,0026705	5,95	5,95	-190,0
5,226	52,26	2,56	3,83	0,0026204	5,97	5,97	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.12 Örnek 6.2.1 in WSPC 1.01 ile çözümü

Tablo 6.2 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 20 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Sakarya 10A RS: 20 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	5.39	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.12	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	4.27	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)		42.68	
E.G. Slope (m/m)	0.004512	Area (m ²)		42.68	
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)		200.00	
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)		10.00	
Vel Total (m/s)	4.69	Avg. Vel. (m/s)		4.69	
Max Chl Dpth (m)	4.27	Hydr. Depth (m)		4.27	
Conv. Total (m ³ /s)	2977.3	Conv. (m ³ /s)		2977.3	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		18.54	
Min Ch El (m)	0.00	Shear (N/m ²)		101.90	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m ² s)		477.43	
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m ³)		0.83	
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m ²)		0.20	

Tablo 6.3 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 60 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Sakarya 10A RS: 60 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	5.57	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.96	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	4.61	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)		46.14	
E.G. Slope (m/m)	0.003655	Area (m ²)		46.14	
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)		200.00	
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)		10.00	
Vel Total (m/s)	4.33	Avg. Vel. (m/s)		4.33	
Max Chl Dpth (m)	4.61	Hydr. Depth (m)		4.61	
Conv. Total (m ³ /s)	3308.0	Conv. (m ³ /s)		3308.0	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		19.23	
Min Ch El (m)	0.00	Shear (N/m ²)		86.02	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m ² s)		372.87	
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m ³)		2.61	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)		0.60	

Tablo 6.4 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 140 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

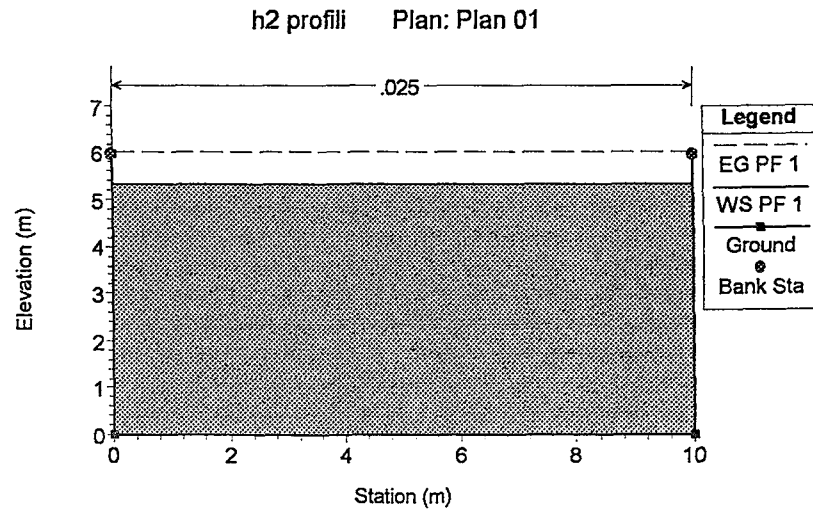
: Plan 01 Sakarya 10A RS: 140 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	5.86	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.79	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	5.07	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		50.69	
E.G. Slope (m/m)	0.002841	Area (m2)		50.69	
Q Total (m3/s)	200.00	Flow (m3/s)		200.00	
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)		10.00	
Vel Total (m/s)	3.95	Avg. Vel. (m/s)		3.95	
Max Chl Dpth (m)	5.07	Hydr. Depth (m)		5.07	
Conv. Total (m3/s)	3752.1	Conv. (m3/s)		3752.1	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		20.14	
Min Ch El (m)	0.00	Shear (N/m2)		70.14	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		276.72	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)		6.50	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		1.40	

Tablo 6.5 Örnek 6.2.1 için kontrol noktasına 200 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

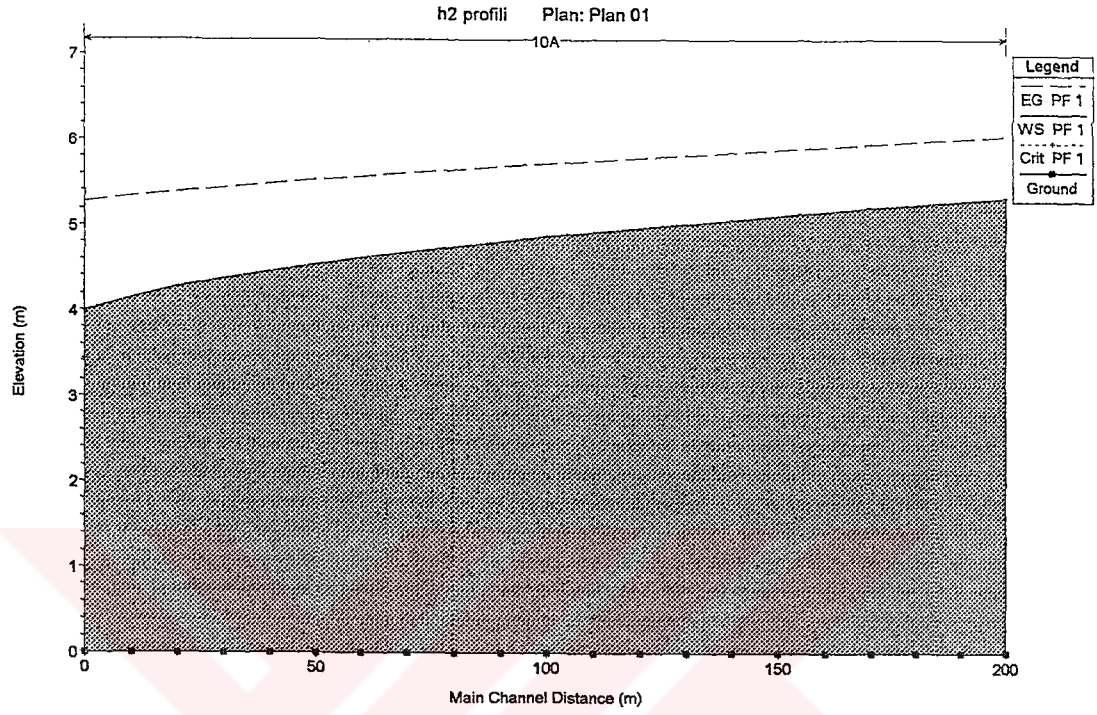
: Plan 01 Sakarya 10A RS: 200 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	6.04	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.72	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	5.32	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		53.23	
E.G. Slope (m/m)	0.002496	Area (m2)		53.23	
Q Total (m3/s)	200.00	Flow (m3/s)		200.00	
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)		10.00	
Vel Total (m/s)	3.76	Avg. Vel. (m/s)		3.76	
Max Chl Dpth (m)	5.32	Hydr. Depth (m)		5.32	
Conv. Total (m3/s)	4003.5	Conv. (m3/s)		4003.5	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		20.65	
Min Ch El (m)	0.00	Shear (N/m2)		63.10	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		237.07	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)		9.62	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		2.00	

Tablo 6.6 Örnek 6.2.1 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması

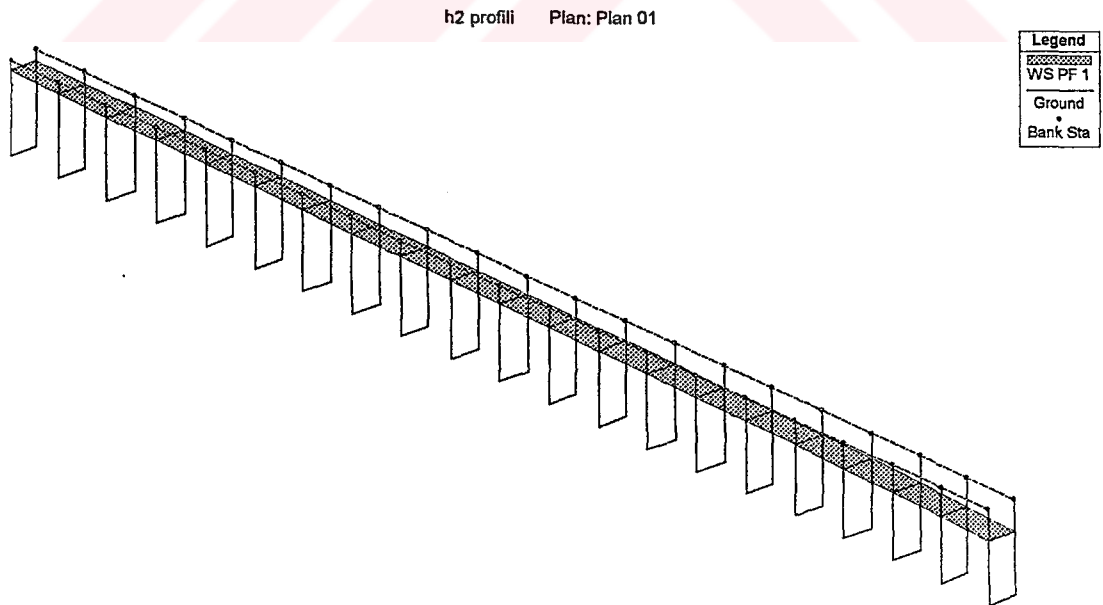
x (m) (1)	y(m)		Fark (4)
	HEC-RAS (2)	WSPC 1.01 (3)	
0	4,00	4,000	0,000
10	4,15	4,131	0,019
20	4,27	4,239	0,031
30	4,37	4,332	0,038
40	4,46	4,414	0,046
50	4,54	4,489	0,051
60	4,61	4,558	0,052
70	4,68	4,622	0,058
80	4,75	4,682	0,068
90	4,81	4,739	0,071
100	4,87	4,793	0,077
110	4,92	4,844	0,076
120	4,97	4,893	0,077
130	5,02	4,940	0,080
140	5,07	4,985	0,085
150	5,12	5,028	0,092
160	5,16	5,070	0,090
170	5,20	5,111	0,089
180	5,24	5,150	0,090
190	5,28	5,189	0,091
200	5,32	5,226	0,094



Şekil 6.13 Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan enkesit



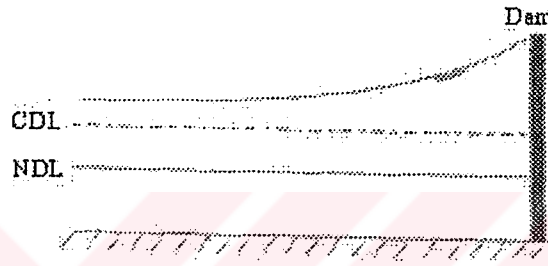
Şekil 6.14 Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili



Şekil 6.15 Örnek 6.2.1 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili

6.2.2 Örnek

Taban eğimi 0.02 olan trapez kesitli bir kanal 170 cfs debi iletmektedir. Kanal taban genişliği 15 ft ve şev eğimleri $z_1=2$ ve $z_2=4$ olarak verilmiştir. Mansapta bir baraj inşa edilmiş ve barajın hemen arkasındaki su yüksekliği 6 ft dir. Barajın membasında oluşacak su yüzü profilini belirleyiniz. Hız katsayısı 1.17 ve Manning $n=0.001$ dir.



Şekil 6.16 Örnek 6.2.2 in grafik gösterimi

Tablo 6.7 Örnek 6.2.2 in HEC-RAS ile çözümü

RAS Plan	River Sta	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
10D	20	170.00	4.00	6.99		7.11	0.000001	2.94	66.68	29.58	0.30
10D	19	170.00	3.80	7.00		7.10	0.000001	2.70	72.96	30.60	0.27
10D	18	170.00	3.60	7.00		7.08	0.000001	2.51	79.18	31.58	0.24
10D	17	170.00	3.40	7.00		7.07	0.000000	2.33	85.59	32.55	0.22
10D	16	170.00	3.20	7.00		7.06	0.000000	2.18	92.20	33.53	0.20
10D	15	170.00	3.00	7.00		7.05	0.000000	2.04	99.00	34.50	0.18
10D	14	170.00	2.80	7.00		7.05	0.000000	1.92	106.00	35.48	0.16
10D	13	170.00	2.60	7.00		7.04	0.000000	1.81	113.19	36.45	0.15
10D	12	170.00	2.40	7.00		7.04	0.000000	1.70	120.58	37.43	0.14
10D	11	170.00	2.20	7.00		7.03	0.000000	1.61	128.16	38.40	0.13
10D	10	170.00	2.00	7.00		7.03	0.000000	1.53	135.94	39.38	0.12
10D	9	170.00	1.80	7.00		7.03	0.000000	1.45	143.91	40.35	0.11
10D	8	170.00	1.60	7.00		7.02	0.000000	1.38	152.08	41.33	0.10
10D	7	170.00	1.40	7.00		7.02	0.000000	1.31	160.44	42.30	0.10
10D	6	170.00	1.20	7.00		7.02	0.000000	1.25	169.00	43.28	0.09
10D	5	170.00	1.00	7.00		7.02	0.000000	1.19	177.75	44.25	0.09
10D	4	170.00	0.80	7.00		7.02	0.000000	1.14	186.70	45.23	0.08
10D	3	170.00	0.60	7.00		7.01	0.000000	1.09	195.84	46.20	0.08
10D	2	170.00	0.40	7.00		7.01	0.000000	1.05	205.18	47.18	0.07
10D	1	170.00	0.20	7.00		7.01	0.000000	1.00	214.71	48.15	0.07
10D	0	170.00	0.00	7.00	1.48	7.01	0.000000	0.96	224.44	49.13	0.06

Hesaplama Sonuçları

Birim Sistemi : İngiliz Üniform Derinlik : 0,172
 Hesaplama Metodu : Standart Adım Kritik Derinlik : 1,503
 Profil Tipi : S1

y	A	R	V	J	E	H	x
7,000	252,00	4,23	0,67	0,0000000	7,01	7,01	0,0
6,799	240,68	4,13	0,71	0,0000000	6,81	6,81	-10,0
6,598	229,59	4,03	0,74	0,0000000	6,61	6,61	-20,0
6,397	218,74	3,93	0,78	0,0000000	6,41	6,41	-30,0
6,196	208,12	3,83	0,82	0,0000001	6,21	6,21	-40,0
5,995	197,74	3,72	0,86	0,0000001	6,01	6,01	-50,0
5,793	187,59	3,62	0,91	0,0000001	5,81	5,81	-60,0
5,592	177,67	3,51	0,96	0,0000001	5,61	5,61	-70,0
5,390	167,99	3,41	1,01	0,0000001	5,41	5,41	-80,0
5,187	158,54	3,30	1,07	0,0000001	5,21	5,21	-90,0
4,985	149,31	3,20	1,14	0,0000001	5,00	5,01	-100,0
4,782	140,32	3,09	1,21	0,0000001	4,80	4,81	-110,0
4,578	131,54	2,98	1,29	0,0000002	4,60	4,61	-120,0
4,374	122,99	2,87	1,38	0,0000002	4,40	4,41	-130,0
4,168	114,65	2,76	1,48	0,0000003	4,20	4,21	-140,0
3,962	106,52	2,65	1,60	0,0000003	4,00	4,01	-150,0
3,754	98,60	2,54	1,72	0,0000004	3,80	3,81	-160,0
3,545	90,87	2,42	1,87	0,0000005	3,60	3,61	-170,0
3,333	83,31	2,30	2,04	0,0000006	3,40	3,41	-180,0
3,117	75,91	2,18	2,24	0,0000008	3,20	3,21	-190,0
2,897	68,63	2,05	2,48	0,0000011	2,99	3,01	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.17 Örnek 6.2.2 nin WSPC 1.01 ile çözümü

Tablo 6.8 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 80 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Sakarya 10D RS: 8 Profile: PF 1 E.G. Elev (ft)	7.02	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (ft)	0.02	Wt. n-Val.	0.001	0.001	0.001
W.S. Elev (ft)	7.00	Reach Len. (ft)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (ft)		Flow Area (sq ft)	25.52	81.00	45.56
E.G. Slope (ft/ft)	0.000000	Area (sq ft)	25.52	81.00	45.56
Q Total (cfs)	170.00	Flow (cfs)	20.15	111.58	38.27
Top Width (ft)	41.33	Top Width (ft)	9.45	15.00	16.88
Vel Total (ft/s)	1.12	Avg. Vel. (ft/s)	0.79	1.38	0.84
Max Chl Dpth (ft)	5.40	Hydr. Depth (ft)	2.70	5.40	2.70
Conv. Total (cfs)	564443.0	Conv. (cfs)	66905.3	370461.1	127076.5
Length Wtd. (ft)	10.00	Wetted Per. (ft)	10.88	15.00	17.72
Min Ch El (ft)	1.60	Shear (lb/sq ft)	0.00	0.00	0.00
Alpha	1.18	Stream Power (lb/ft s)	0.00	0.00	0.00
Frctn Loss (ft)	0.00	Cum Volume (acre- ft)	0.06	0.17	0.11
C & E Loss (ft)	0.00	Cum SA (acres)	0.02	0.03	0.04

Tablo 6.9 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 120 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Sakarya 10D RS: 12 Profile: PF 1 E.G. Elev (ft)	7.04	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (ft)	0.04	Wt. n-Val.	0.001	0.001	0.001
W.S. Elev (ft)	7.00	Reach Len. (ft)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (ft)		Flow Area (sq ft)	18.52	69.00	33.06
E.G. Slope (ft/ft)	0.000000	Area (sq ft)	18.52	69.00	33.06
Q Total (cfs)	170.00	Flow (cfs)	18.09	117.56	34.35
Top Width (ft)	37.43	Top Width (ft)	8.05	15.00	14.38
Vel Total (ft/s)	1.41	Avg. Vel. (ft/s)	0.98	1.70	1.04
Max Chl Dpth (ft)	4.60	Hydr. Depth (ft)	2.30	4.60	2.30
Conv. Total (cfs)	410077.4	Conv. (cfs)	43628.0	283584.7	82864.7
Length Wtd. (ft)	10.00	Wetted Per. (ft)	9.27	15.00	15.09
Min Ch El (ft)	2.40	Shear (lb/sq ft)	0.00	0.00	0.00
Alpha	1.17	Stream Power (lb/ft s)	0.00	0.00	0.00
Frctn Loss (ft)	0.00	Cum Volume (acre- ft)	0.08	0.24	0.15
C & E Loss (ft)	0.00	Cum SA (acres)	0.03	0.04	0.05

Tablo 6.10 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 150 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

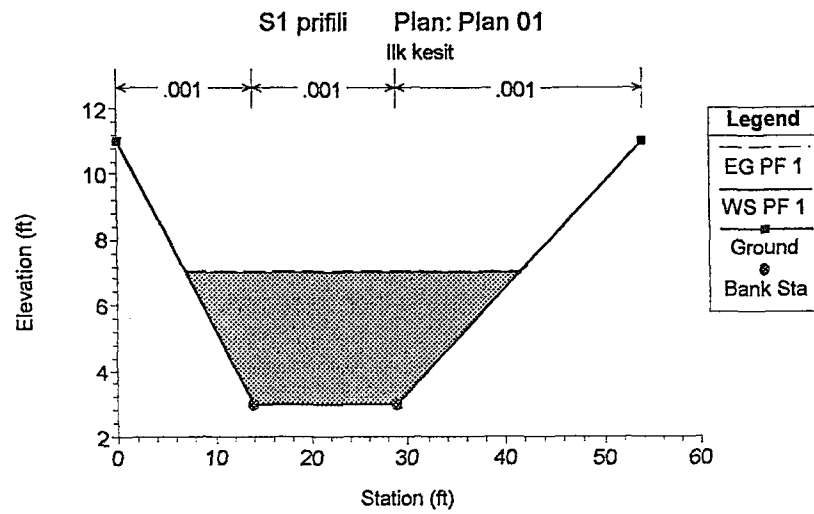
: Plan 01 Sakarya 10D RS: 15 Profile: PF 1 E.G. Elev (ft)	7.05	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (ft)	0.05	Wt. n-Val.	0.001	0.001	0.001
W.S. Elev (ft)	7.00	Reach Len. (ft)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (ft)		Flow Area (sq ft)	14.00	60.00	25.00
E.G. Slope (ft/ft)	0.000000	Area (sq ft)	14.00	60.00	25.00
Q Total (cfs)	170.00	Flow (cfs)	16.39	122.49	31.12
Top Width (ft)	34.50	Top Width (ft)	7.00	15.00	12.50
Vel Total (ft/s)	1.72	Avg. Vel. (ft/s)	1.17	2.04	1.24
Max Chl Dpth (ft)	4.00	Hydr. Depth (ft)	2.00	4.00	2.00
Conv. Total (cfs)	311794.3	Conv. (cfs)	30054.1	224656.9	57083.3
Length Wtd. (ft)	10.00	Wetted Per. (ft)	8.06	15.00	13.12
Min Ch El (ft)	3.00	Shear (lb/sq ft)	0.00	0.00	0.00
Alpha	1.16	Stream Power (lb/ft s)	0.00	0.00	0.00
Frctn Loss (ft)	0.00	Cum Volume (acre- ft)	0.09	0.28	0.17
C & E Loss (ft)	0.00	Cum SA (acres)	0.03	0.05	0.06

Tablo 6.11 Örnek 6.2.2 için kontrol noktasına 180 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

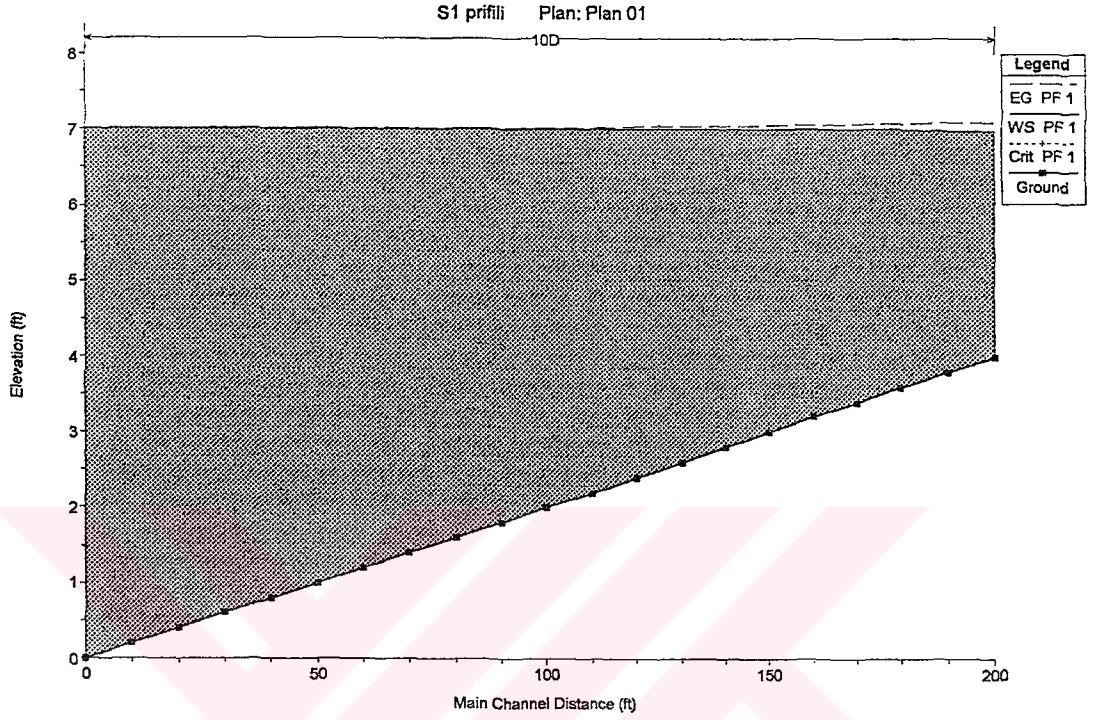
: Plan 01 Sakarya 10D RS: 18 Profile: PF 1 E.G. Elev (ft)	7.08	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (ft)	0.08	Wt. n-Val.	0.001	0.001	0.001
W.S. Elev (ft)	7.00	Reach Len. (ft)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (ft)		Flow Area (sq ft)	10.12	51.00	18.53
E.G. Slope (ft/ft)	0.000001	Area (sq ft)	10.12	51.00	18.53
Q Total (cfs)	170.00	Flow (cfs)	14.47	127.29	28.24
Top Width (ft)	31.85	Top Width (ft)	5.95	15.00	10.90
Vel Total (ft/s)	2.13	Avg. Vel. (ft/s)	1.43	2.50	1.52
Max Chl Dpth (ft)	3.40	Hydr. Depth (ft)	1.70	3.40	1.70
Conv. Total (cfs)	228849.5	Conv. (cfs)	19484.4	171350.2	38014.9
Length Wtd. (ft)	10.00	Wetted Per. (ft)	6.85	15.00	11.42
Min Ch El (ft)	3.60	Shear (lb/sq ft)	0.00	0.00	0.00
Alpha	1.15	Stream Power (lb/ft s)	0.00	0.00	0.00
Frctn Loss (ft)	0.00	Cum Volume (acre- ft)	0.10	0.32	0.18

Tablo 6.12 Örnek 6.2.2 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması

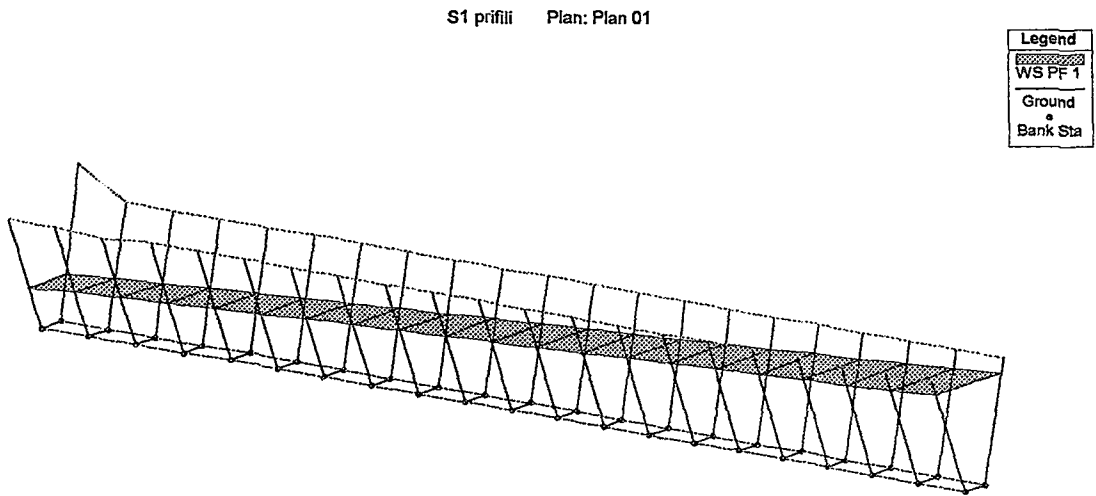
x(ft) (1)	y(ft)		Fark (4)
	HEC-RAS (2)	WSPC 1.01 (3)	
0	7,00	7,000	0,000
10	6,80	6,799	0,001
20	6,60	6,598	0,002
30	6,40	6,397	0,003
40	6,20	6,196	0,004
50	6,00	5,995	0,005
60	5,80	5,794	0,006
70	5,60	5,592	0,008
80	5,40	5,390	0,010
90	5,20	5,188	0,012
100	5,00	4,986	0,014
110	4,80	4,783	0,017
120	4,60	4,579	0,021
130	4,40	4,375	0,025
140	4,20	4,170	0,030
150	4,00	3,964	0,036
160	3,80	3,757	0,043
170	3,60	3,548	0,052
180	3,40	3,337	0,063
190	3,19	3,123	0,067
200	2,99	2,904	0,086



Şekil 6.18 Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan enkesit



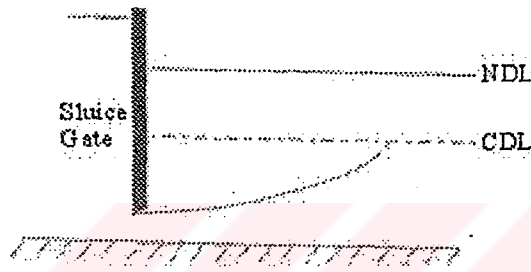
Şekil 6.19 Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili



Şekil 6.20 Örnek 6.2.2 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili

6.2.3 Örnek

Su, bir bent kapağının altından trapez kesitli bir kanala akmaktadır. Kapağın altındaki su derinliği 0.8 m dir. Kanalın taban genişliği 20 m, şev eğimi 2H:1V ve kanal taban eğimi 0.004 dır. Bent kapağı 200 m³/s debiye ayarlanmıştır. Kapağın mansabında oluşacak su yüzü profilini belirleyiniz. Hız katsayısı $\alpha=1.06$, ve $n=0.025$ dir.



Şekil 6.21 Örnek 6.2.3 in grafik gösterimi

Tablo 6.13 Örnek 6.2.3 in HEC-RAS ile çözümü

RAS Plan:	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Chl El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
10B	160	200.00	0.00	0.80	2.04	7.85	0.119953	11.94	17.28	23.20	4.26
10B	150	200.00	0.04	0.94	2.09	6.41	0.079619	10.53	19.66	23.61	3.54
10B	140	200.00	0.08	1.09	2.13	5.41	0.054685	9.39	22.14	24.02	2.99
10B	130	200.00	0.12	1.23	2.17	4.70	0.038335	8.42	24.78	24.46	2.55
10B	120	200.00	0.16	1.39	2.21	4.18	0.027048	7.56	27.70	24.93	2.17
10B	110	200.00	0.20	1.57	2.25	3.79	0.018843	6.77	31.11	25.47	1.85
10B	100	200.00	0.24	1.79	2.29	3.48	0.012290	5.93	35.71	26.19	1.52
10B	90	200.00	0.28	2.17	2.33	3.25	0.006119	4.78	44.83	27.54	1.11
10B	80	200.00	0.32	2.37	2.37	3.27	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	70	200.00	0.36	2.41	2.41	3.31	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	60	200.00	0.40	2.45	2.45	3.35	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	50	200.00	0.44	2.49	2.49	3.39	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	40	200.00	0.48	2.53	2.53	3.43	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	30	200.00	0.52	2.57	2.57	3.47	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	20	200.00	0.56	2.61	2.61	3.51	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	10	200.00	0.60	2.65	2.65	3.55	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97
10B	0	200.00	0.64	2.69	2.69	3.59	0.004556	4.36	49.40	28.20	0.97

Ölçümler ve Hesaplamalar Sonuçları

Ölçüm Sistemi : Metrik Üniteler : Üniteler : Üniteler :
 Ölçüm Metodu : Standart Adım Kritik Derinlik : 2,057
 Profil Tipi : M3

Y	A	R	V	J	E	H	X
0,800	17,28	0,73	11,57	0,1267058	7,63	8,04	0,0
0,867	18,83	0,79	10,62	0,0967285	6,62	6,96	10,0
0,932	20,37	0,84	9,82	0,0756334	5,84	6,14	20,0
0,996	21,91	0,90	9,13	0,0603119	5,24	5,50	30,0
1,060	23,44	0,95	8,53	0,0488877	4,77	4,99	40,0
1,123	24,98	1,00	8,01	0,0401781	4,39	4,59	50,0
1,185	26,51	1,05	7,54	0,0334100	4,09	4,26	60,0
1,247	28,06	1,10	7,13	0,0280626	3,84	3,99	70,0
1,309	29,62	1,15	6,75	0,0237751	3,63	3,77	80,0
1,372	31,19	1,19	6,41	0,0202918	3,47	3,59	90,0
1,434	32,79	1,24	6,10	0,0174277	3,33	3,44	100,0
1,497	34,41	1,29	5,81	0,0150460	3,22	3,32	110,0
1,560	36,07	1,34	5,54	0,0130439	3,13	3,22	120,0
1,625	37,78	1,39	5,29	0,0113420	3,05	3,14	130,0
1,691	39,55	1,43	5,06	0,0098773	2,99	3,07	140,0
1,761	41,42	1,49	4,83	0,0085970	2,95	3,02	150,0
1,835	43,44	1,54	4,60	0,0074500	2,92	2,98	160,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.22 Örnek 6.2.3 ün WSPC 1.01 ile çözümü

Tablo 6.14 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 100 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Meric 10B RS: 60 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	3.35	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.90	Wt. n-Val.	0.025	0.025	0.025
W.S. Elev (m)	2.45	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	2.45	Flow Area (m ²)	4.20	40.99	4.20
E.G. Slope (m/m)	0.004556	Area (m ²)	4.20	40.99	4.20
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)	10.70	178.59	10.70
Top Width (m)	28.20	Top Width (m)	4.10	20.00	4.10
Vel Total (m/s)	4.05	Avg. Vel. (m/s)	2.55	4.36	2.55
Max Chl Dpth (m)	2.05	Hydr. Depth (m)	1.02	2.05	1.02
Conv. Total (m ³ /s)	2963.2	Conv. (m ³ /s)	158.6	2646.0	158.6
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.58	20.00	4.58
Min Ch El (m)	0.40	Shear (N/m ²)	40.95	91.57	40.95
Alpha	1.08	Stream Power (N/m ² s)	104.33	398.93	104.33
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m ³)	0.25	2.46	0.25
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)	0.25	1.20	0.25

Tablo 6.15 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 70 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

: Plan 01 Meric 10B RS: 90 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	3.25	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.09	Wt. n-Val.	0.025	0.025	0.025
W.S. Elev (m)	2.17	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	2.33	Flow Area (m ²)	3.56	37.72	3.56
E.G. Slope (m/m)	0.006119	Area (m ²)	3.56	37.72	3.56
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)	9.93	180.13	9.93
Top Width (m)	27.54	Top Width (m)	3.77	20.00	3.77
Vel Total (m/s)	4.46	Avg. Vel. (m/s)	2.79	4.78	2.79
Max Chl Dpth (m)	1.89	Hydr. Depth (m)	0.94	1.89	0.94
Conv. Total (m ³ /s)	2556.7	Conv. (m ³ /s)	127.0	2302.7	127.0
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.22	20.00	4.22
Min Ch El (m)	0.28	Shear (N/m ²)	50.61	113.16	50.61
Alpha	1.07	Stream Power (N/m ² s)	141.36	540.48	141.36
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m ³)	0.37	3.67	0.37
C & E Loss (m)	0.24	Cum SA (1000 m ²)	0.37	1.80	0.37

Tablo 6.16 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 40 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

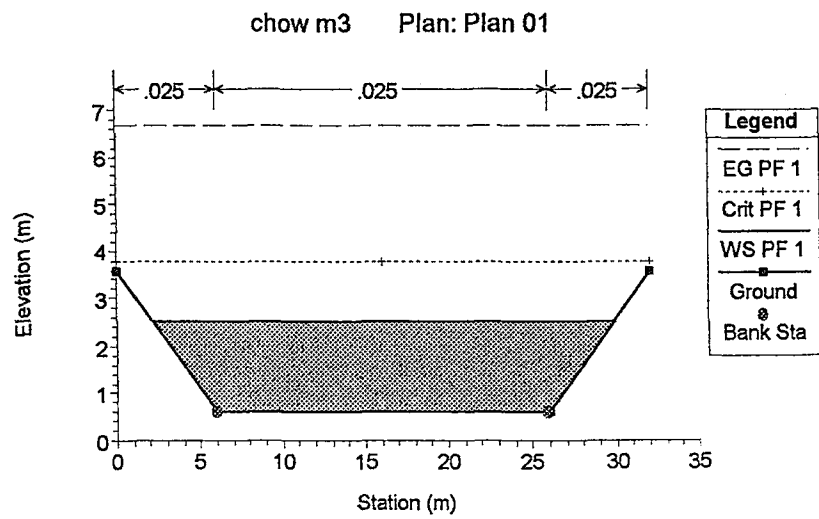
: Plan 01 Meric 10B RS: 120 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	4.18	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	2.79	Wt. n-Val.	0.025	0.025	0.025
W.S. Elev (m)	1.39	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	2.21	Flow Area (m ²)	1.52	24.66	1.52
E.G. Slope (m/m)	0.027048	Area (m ²)	1.52	24.66	1.52
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)	6.73	186.55	6.73
Top Width (m)	24.93	Top Width (m)	2.47	20.00	2.47
Vel Total (m/s)	7.22	Avg. Vel. (m/s)	4.42	7.56	4.42
Max Chl Dpth (m)	1.23	Hydr. Depth (m)	0.62	1.23	0.62
Conv. Total (m ³ /s)	1216.1	Conv. (m ³ /s)	40.9	1134.3	40.9
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	2.76	20.00	2.76
Min Ch El (m)	0.16	Shear (N/m ²)	146.27	327.06	146.27
Alpha	1.05	Stream Power (N/m ² s)	647.06	2474.08	647.06
Frctn Loss (m)	0.32	Cum Volume (1000 m ³)	0.44	4.57	0.44
C & E Loss (m)	0.20	Cum SA (1000 m ²)	0.46	2.40	0.46

Tablo 6.17 Örnek 6.2.3 için kontrol noktasına 10 m uzaklıktaki kesitin
HEC-RAS sonuçları

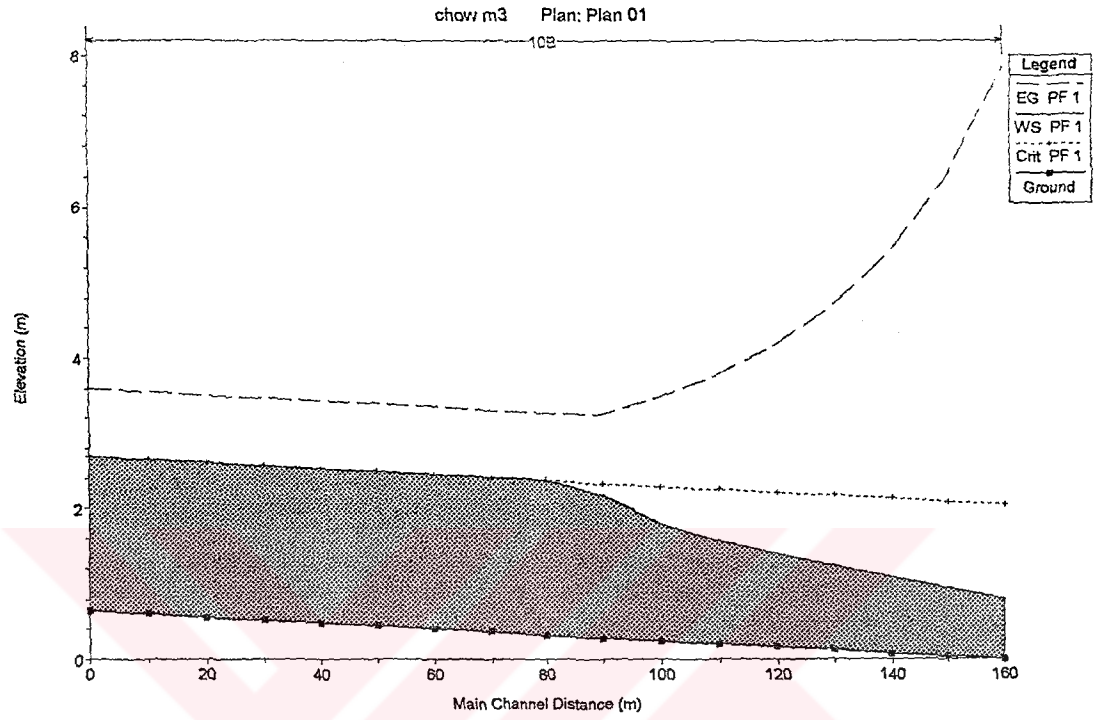
: Plan 01 Meric 10B RS: 150 Profile: PF 1 E.G. Elev (m)	6.41	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	5.47	Wt. n-Val.	0.025	0.025	0.025
W.S. Elev (m)	0.94	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	2.09	Flow Area (m ²)	0.81	18.03	0.81
E.G. Slope (m/m)	0.079619	Area (m ²)	0.81	18.03	0.81
Q Total (m ³ /s)	200.00	Flow (m ³ /s)	5.01	189.98	5.01
Top Width (m)	23.61	Top Width (m)	1.80	20.00	1.80
Vel Total (m/s)	10.17	Avg. Vel. (m/s)	6.16	10.53	6.16
Max Chl Dpth (m)	0.90	Hydr. Depth (m)	0.45	0.90	0.45
Conv. Total (m ³ /s)	708.8	Conv. (m ³ /s)	17.8	673.3	17.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	2.02	20.00	2.02
Min Ch El (m)	0.04	Shear (N/m ²)	314.85	704.04	314.85
Alpha	1.04	Stream Power (N/m ² s)	1939.67	7416.68	1939.67
Frctn Loss (m)	0.97	Cum Volume (1000 m ³)	0.48	5.21	0.48
C & E Loss (m)	0.47	Cum SA (1000 m ²)	0.52	3.00	0.52

Tablo 6.18 Örnek 6.2.3 için HEC-RAS ve WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması

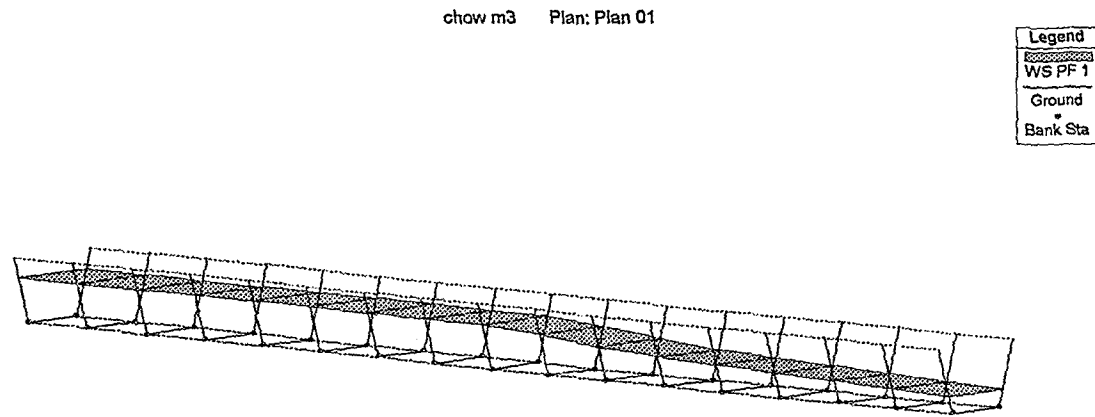
x(m) (1)	y(m)		Fark (4)
	HEC-RAS (2)	WSPC 1.01 (3)	
0	0,80	0,800	0,000
10	0,90	0,867	0,033
20	1,01	0,932	0,078
30	1,11	0,996	0,114
40	1,23	1,060	0,170
50	1,37	1,123	0,247
60	1,55	1,185	0,365
70	1,89	1,247	0,643
80	2,05	1,309	0,741
90	2,05	1,372	0,678
100	2,05	1,434	0,616
110	2,05	1,497	0,553
120	2,05	1,560	0,490
130	2,05	1,625	0,425
140	2,05	1,691	0,359
150	2,05	1,761	0,289
160	2,05	1,835	0,215



Şekil 6.23 Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan enkesit



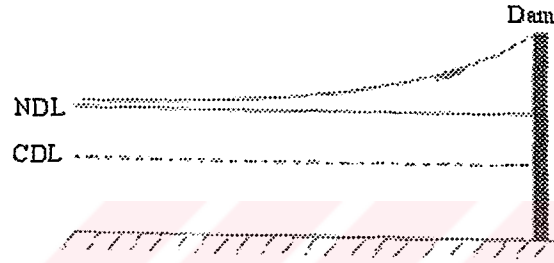
Şekil 6.24 Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan su yüzü profili



Şekil 6.25 Örnek 6.2.3 için HEC-RAS programından alınan 3 boyutlu su yüzü profili

6.2.4 Örnek

Taban eğimi 0.001 olan trapez kesitli bir kanaldan $30 \text{ m}^3/\text{s}$ debi geçmektedir. Kanal taban genişliği 10.0 m ve şev eğimi 2H-1V dir. Mansapta bir kontrol yapısı inşa edilmiş ve kontrol yapısı mansap su yüksekliğini 5.0 m ye kadar yükseltmektedir. Su yüzü profilini belirleyiniz. Manning n pürüzlülük katsayısı 0.013 ve $\alpha=1.0$ dir.



Şekil 6.26 Örnek 6.2.4 in grafik gösterimi

Tablo 6.19 Örnek 6.2.4 ün M. Hanif Chaudhry tarafından yapılan çözümü

y	A	R	V	J	E	ΔX	X
5.00	100.0	3.09	0.30	0.000003	5.00		0.0
4.50	85.5	2.84	0.35	0.000005	4.51	-500.5	-500.5
4.00	72.0	2.58	0.42	0.000008	4.01	-500.8	-1001.3
3.66	63.4	2.40	0.47	0.000012	3.67	-340.8	-1342.1
3.33	55.5	2.23	0.54	0.000017	3.34	-331.3	-1673.4
3.00	48.0	2.05	0.63	0.000025	3.02	-332.0	-2005.4
2.75	42.6	1.91	0.70	0.000035	2.78	-252.3	-2257.7
2.50	37.5	1.77	0.80	0.000050	2.53	-253.5	-2511.2
2.25	32.6	1.63	0.92	0.000075	2.29	-255.5	-2766.7
2.00	28.0	1.48	1.07	0.000115	2.06	-259.5	-3025.9
1.80	24.5	1.36	1.23	0.000169	1.88	-212.1	-3238.0
1.60	21.1	1.23	1.42	0.000258	1.70	-220.9	-3459.0
1.40	17.9	1.10	1.67	0.000416	1.54	-241.4	-3700.4
1.30	16.4	1.04	1.83	0.000541	1.47	-137.8	-3838.2
1.20	14.9	0.97	2.02	0.000717	1.41	-171.9	-4010.2

Hesaplama Sonuçları

Akım Sistemi : Metrik Ünitiform Derinlik : 1,091
 Hesaplama Metodu : Direk Adım Kritik Derinlik : 0,912
 Profil Tipi : M1

y	A	R	V	J	E	dx	x
5,000	100,00	3,09	0,30	0,0000034	5,00	0,00	0,0
4,500	85,50	2,84	0,35	0,0000051	4,51	500,44	-500,4
4,000	72,00	2,58	0,42	0,0000082	4,01	500,77	-1001,2
3,660	63,39	2,40	0,47	0,0000117	3,67	340,83	-1342,0
3,330	55,48	2,23	0,54	0,0000169	3,34	331,24	-1673,3
3,000	48,00	2,05	0,63	0,0000252	3,02	331,99	-2005,3
2,750	42,63	1,91	0,70	0,0000351	2,78	252,28	-2257,5
2,500	37,50	1,77	0,80	0,0000503	2,53	253,46	-2511,0
2,250	32,63	1,63	0,92	0,0000745	2,29	255,46	-2766,5
2,000	28,00	1,48	1,07	0,0001149	2,06	259,13	-3025,6
1,800	24,48	1,36	1,23	0,0001687	1,88	212,04	-3237,6
1,600	21,12	1,23	1,42	0,0002581	1,70	220,83	-3458,5
1,400	17,92	1,10	1,67	0,0004158	1,54	241,30	-3699,8
1,300	16,38	1,04	1,83	0,0005408	1,47	137,78	-3837,5
1,200	14,88	0,97	2,02	0,0007172	1,41	171,95	-4009,5

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Tablo 6.20 Örnek 6.2.4 için Chaudhry nin sonuçları ile WSPC 1.01 in sonuçlarının karşılaştırılması

y(m) (1)	x(m)		Fark (4)
	Chaudhry (2)	WSPC 1.01 (3)	
5,00	0,0	0,0	0,0
4,50	-500,5	-500,4	-0,1
4,00	-1001,3	-1001,2	-0,1
3,66	-1341,1	-1342,0	0,9
3,33	-1673,4	-1673,3	-0,1
3,00	-2005,4	-2005,3	-0,1
2,75	-2257,7	-2257,5	-0,2
2,50	-2511,2	-2511,0	-0,2
2,25	-2766,7	-2766,5	-0,2
2,00	-3025,9	-3025,6	-0,3
1,80	-3238,0	-3237,6	-0,4
1,60	-3459,0	-3458,5	-0,5
1,40	-3700,4	-3699,8	-0,6
1,30	-3838,2	-3837,5	-0,7
1,20	-4010,2	-4009,5	-0,7

tesaplama Sonuçları

irim Sistemi :	Metrik	Üniform Derinlik :	999,900
tesaplama Metodu :	Euler	Kritik Derinlik :	3,442
		Profil Tipi :	H2

y	A	R	V	J	E	dy/dx	x
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053881	5,27	-0,014848	0,0
4,148	41,48	2,27	4,82	0,0048770	5,33	-0,011371	-10,0
4,262	42,62	2,30	4,69	0,0045306	5,38	-0,009571	-20,0
4,358	43,58	2,33	4,59	0,0042654	5,43	-0,008408	-30,0
4,442	44,42	2,35	4,50	0,0040502	5,48	-0,007574	-40,0
4,518	45,18	2,37	4,43	0,0038693	5,52	-0,006937	-50,0
4,587	45,87	2,39	4,36	0,0037134	5,56	-0,006430	-60,0
4,651	46,51	2,41	4,30	0,0035768	5,59	-0,006013	-70,0
4,712	47,12	2,43	4,24	0,0034554	5,63	-0,005663	-80,0
4,768	47,68	2,44	4,19	0,0033463	5,66	-0,005364	-90,0
4,822	48,22	2,45	4,15	0,0032475	5,70	-0,005104	-100,0
4,873	48,73	2,47	4,10	0,0031572	5,73	-0,004875	-110,0
4,922	49,22	2,48	4,06	0,0030743	5,76	-0,004672	-120,0
4,968	49,68	2,49	4,03	0,0029977	5,79	-0,004491	-130,0
5,013	50,13	2,50	3,99	0,0029266	5,82	-0,004327	-140,0
5,056	50,56	2,51	3,96	0,0028603	5,85	-0,004178	-150,0
5,098	50,98	2,52	3,92	0,0027984	5,88	-0,004042	-160,0
5,139	51,39	2,53	3,89	0,0027402	5,91	-0,003917	-170,0
5,178	51,78	2,54	3,86	0,0026855	5,94	-0,003802	-180,0
5,216	52,16	2,55	3,83	0,0026339	5,97	-0,003696	-190,0
5,253	52,53	2,56	3,81	0,0025850	5,99	-0,003597	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.28 Örnek 6.2.1 in Euler Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü

Hesaplama Sonuçları

Yürütme Sistemi : Metrik Ünitelendirilme Derinlik : 999,900
 Hesaplama Metodu : Gelişmiş Euler Kritik Derinlik : 3,442
 Profil Tipi : H2

y	A	R	V	J	E	dy/dx	x
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053595	5,27	-0,014848	0,0
4,131	41,31	2,26	4,84	0,0049064	5,33	-0,011700	-10,0
4,238	42,38	2,29	4,72	0,0045747	5,37	-0,009904	-20,0
4,331	43,31	2,32	4,62	0,0043131	5,42	-0,008707	-30,0
4,414	44,14	2,34	4,53	0,0040977	5,46	-0,007838	-40,0
4,489	44,89	2,37	4,46	0,0039151	5,50	-0,007171	-50,0
4,557	45,57	2,38	4,39	0,0037570	5,54	-0,006638	-60,0
4,622	46,22	2,40	4,33	0,0036180	5,58	-0,006200	-70,0
4,682	46,82	2,42	4,27	0,0034942	5,61	-0,005832	-80,0
4,738	47,38	2,43	4,22	0,0033828	5,65	-0,005518	-90,0
4,792	47,92	2,45	4,17	0,0032818	5,68	-0,005245	-100,0
4,843	48,43	2,46	4,13	0,0031896	5,71	-0,005005	-110,0
4,892	48,92	2,47	4,09	0,0031048	5,74	-0,004792	-120,0
4,939	49,39	2,48	4,05	0,0030264	5,77	-0,004602	-130,0
4,984	49,84	2,50	4,01	0,0029537	5,81	-0,004431	-140,0
5,028	50,28	2,51	3,98	0,0028860	5,83	-0,004275	-150,0
5,070	50,70	2,52	3,94	0,0028226	5,86	-0,004133	-160,0
5,111	51,11	2,53	3,91	0,0027632	5,89	-0,004003	-170,0
5,150	51,50	2,54	3,88	0,0027072	5,92	-0,003883	-180,0
5,188	51,88	2,55	3,85	0,0026545	5,95	-0,003772	-190,0
5,226	52,26	2,56	3,83	0,0026046	5,97	-0,003669	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.29 Örnek 6.2.1 in Gelişmiş Euler Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü

Hesaplama Sonuçları

Birim Sistemi : Metrik Üniform Derinlik : 999,900
 Hesaplama Metodu : Düzeltilmiş Euler Kritik Derinlik : 3,442
 Profil Tipi : H2

y	A	R	V	J	E	dy/dx	x
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053595	5,27	-0,014848	0,0
4,129	41,29	2,26	4,84	0,0049131	5,32	-0,011740	-10,0
4,236	42,36	2,29	4,72	0,0045821	5,37	-0,009940	-20,0
4,329	43,29	2,32	4,62	0,0043202	5,42	-0,008737	-30,0
4,411	44,11	2,34	4,53	0,0041042	5,46	-0,007863	-40,0
4,486	44,86	2,36	4,46	0,0039210	5,50	-0,007192	-50,0
4,555	45,55	2,38	4,39	0,0037624	5,54	-0,006656	-60,0
4,619	46,19	2,40	4,33	0,0036229	5,57	-0,006215	-70,0
4,679	46,79	2,42	4,27	0,0034987	5,61	-0,005845	-80,0
4,736	47,36	2,43	4,22	0,0033870	5,65	-0,005529	-90,0
4,790	47,90	2,45	4,18	0,0032856	5,68	-0,005255	-100,0
4,841	48,41	2,46	4,13	0,0031931	5,71	-0,005014	-110,0
4,890	48,90	2,47	4,09	0,0031080	5,74	-0,004800	-120,0
4,937	49,37	2,48	4,05	0,0030295	5,77	-0,004609	-130,0
4,983	49,83	2,50	4,01	0,0029566	5,80	-0,004437	-140,0
5,026	50,26	2,51	3,98	0,0028887	5,83	-0,004281	-150,0
5,068	50,68	2,52	3,95	0,0028252	5,86	-0,004139	-160,0
5,109	51,09	2,53	3,91	0,0027656	5,89	-0,004008	-170,0
5,148	51,48	2,54	3,88	0,0027095	5,92	-0,003888	-180,0
5,187	51,87	2,55	3,86	0,0026566	5,94	-0,003777	-190,0
5,224	52,24	2,55	3,83	0,0026066	5,97	-0,003674	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.30 Örnek 6.2.1 in Düzeltilmiş Euler Metodu kullanılarak
 WSPC 1.01 ile çözümü

Hesaplama Sonuçları

Birim Sistemi : Metrik Üniorm Derinlik : 999,900
 Hesaplama Metodu : Runge-Kutta Kritik Derinlik : 3,442
 Profil Tipi : H2

y	A	R	V	J	E	dy/dx	x
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053595	5,27	-0,014848	0,0
4,133	41,33	2,26	4,84	0,0048990	5,33	-0,011656	-10,0
4,242	42,42	2,29	4,72	0,0045650	5,37	-0,009856	-20,0
4,335	43,35	2,32	4,61	0,0043027	5,42	-0,008663	-30,0
4,418	44,18	2,35	4,53	0,0040872	5,46	-0,007799	-40,0
4,493	44,93	2,37	4,45	0,0039048	5,50	-0,007135	-50,0
4,562	45,62	2,39	4,38	0,0037471	5,54	-0,006606	-60,0
4,626	46,26	2,40	4,32	0,0036085	5,58	-0,006171	-70,0
4,686	46,86	2,42	4,27	0,0034851	5,61	-0,005806	-80,0
4,743	47,43	2,43	4,22	0,0033741	5,65	-0,005494	-90,0
4,797	47,97	2,45	4,17	0,0032735	5,68	-0,005223	-100,0
4,848	48,48	2,46	4,13	0,0031816	5,72	-0,004984	-110,0
4,897	48,97	2,47	4,08	0,0030971	5,75	-0,004773	-120,0
4,944	49,44	2,49	4,05	0,0030191	5,78	-0,004584	-130,0
4,989	49,89	2,50	4,01	0,0029466	5,81	-0,004414	-140,0
5,032	50,32	2,51	3,97	0,0028792	5,84	-0,004260	-150,0
5,074	50,74	2,52	3,94	0,0028161	5,87	-0,004119	-160,0
5,115	51,15	2,53	3,91	0,0027569	5,89	-0,003989	-170,0
5,154	51,54	2,54	3,88	0,0027011	5,92	-0,003870	-180,0
5,193	51,93	2,55	3,85	0,0026486	5,95	-0,003760	-190,0
5,230	52,30	2,56	3,82	0,0025989	5,98	-0,003658	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.31 Örnek 6.2.1 in Runge-Kutta Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü

Hesaplama Sonuçları

Birim Sistemi : Metrik Üiform Derinlik : 999,900
 Hesaplama Metodu : Standart Adım Kritik Derinlik : 3,442
 Profil Tipi : H2

y	A	R	V	J	E	H	x
4,000	40,00	2,22	5,00	0,0053881	5,27	5,27	0,0
4,131	41,31	2,26	4,84	0,0049324	5,33	5,33	-10,0
4,239	42,39	2,29	4,72	0,0045990	5,37	5,37	-20,0
4,332	43,32	2,32	4,62	0,0043363	5,42	5,42	-30,0
4,414	44,14	2,34	4,53	0,0041199	5,46	5,46	-40,0
4,489	44,89	2,37	4,46	0,0039365	5,50	5,50	-50,0
4,558	45,58	2,38	4,39	0,0037778	5,54	5,54	-60,0
4,622	46,22	2,40	4,33	0,0036382	5,58	5,58	-70,0
4,682	46,82	2,42	4,27	0,0035139	5,61	5,61	-80,0
4,739	47,39	2,43	4,22	0,0034021	5,65	5,65	-90,0
4,793	47,93	2,45	4,17	0,0033007	5,68	5,68	-100,0
4,844	48,44	2,46	4,13	0,0032080	5,71	5,71	-110,0
4,893	48,93	2,47	4,09	0,0031228	5,74	5,74	-120,0
4,940	49,40	2,48	4,05	0,0030442	5,78	5,78	-130,0
4,985	49,85	2,50	4,01	0,0029711	5,81	5,81	-140,0
5,028	50,28	2,51	3,98	0,0029031	5,83	5,83	-150,0
5,070	50,70	2,52	3,94	0,0028394	5,86	5,86	-160,0
5,111	51,11	2,53	3,91	0,0027797	5,89	5,89	-170,0
5,150	51,50	2,54	3,88	0,0027236	5,92	5,92	-180,0
5,189	51,89	2,55	3,85	0,0026705	5,95	5,95	-190,0
5,226	52,26	2,56	3,83	0,0026204	5,97	5,97	-200,0

Osmangazi Üniversitesi-Eskişehir

Şekil 6.32 Örnek 6.2.1 in Standart Adım Metodu kullanılarak WSPC 1.01 ile çözümü

Tablo 6.21 Örnek 6.2.1 için 5 farklı sayısal yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması

X(m)	y(m)										Fark				
	Euler (2)	Gel. Euler (3)	Düz. Euler (4)	R-K (5)	St. Adım (6)	2-3	3-4	2-4	2-5	3-5	4-5	2-6	3-6	4-6	5-6
0	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	4,148	4,131	4,129	4,133	4,131	0,017	0,002	0,019	0,015	0,002	0,004	0,017	0,000	0,002	0,002
20	4,262	4,238	4,236	4,242	4,239	0,024	0,002	0,026	0,020	0,004	0,006	0,023	0,001	0,003	0,003
30	4,358	4,331	4,329	4,335	4,332	0,027	0,002	0,029	0,023	0,004	0,006	0,026	0,001	0,003	0,003
40	4,442	4,414	4,411	4,418	4,414	0,028	0,003	0,031	0,024	0,004	0,007	0,028	0,000	0,003	0,004
50	4,518	4,489	4,486	4,493	4,489	0,029	0,003	0,032	0,025	0,004	0,007	0,029	0,000	0,003	0,004
60	4,587	4,557	4,555	4,562	4,558	0,030	0,002	0,032	0,025	0,005	0,007	0,029	0,001	0,003	0,004
70	4,651	4,622	4,619	4,626	4,622	0,029	0,003	0,032	0,025	0,004	0,007	0,029	0,000	0,003	0,004
80	4,712	4,682	4,679	4,686	4,682	0,030	0,003	0,033	0,026	0,004	0,007	0,030	0,000	0,003	0,004
90	4,768	4,738	4,736	4,743	4,739	0,030	0,002	0,032	0,025	0,005	0,007	0,029	0,001	0,003	0,004
100	4,822	4,792	4,790	4,797	4,793	0,030	0,002	0,032	0,025	0,005	0,007	0,029	0,001	0,003	0,004
110	4,873	4,843	4,841	4,848	4,844	0,030	0,002	0,032	0,025	0,005	0,007	0,029	0,001	0,003	0,004
120	4,922	4,892	4,890	4,897	4,893	0,030	0,002	0,032	0,025	0,005	0,007	0,029	0,001	0,003	0,004
130	4,968	4,939	4,937	4,944	4,940	0,029	0,002	0,031	0,024	0,005	0,007	0,028	0,001	0,003	0,004
140	5,013	4,984	4,983	4,989	4,985	0,029	0,001	0,030	0,024	0,005	0,006	0,028	0,001	0,002	0,004
150	5,056	5,028	5,026	5,032	5,028	0,028	0,002	0,030	0,024	0,004	0,006	0,028	0,000	0,002	0,004
160	5,098	5,070	5,068	5,074	5,070	0,028	0,002	0,030	0,024	0,004	0,006	0,028	0,000	0,002	0,004
170	5,139	5,111	5,109	5,115	5,111	0,028	0,002	0,030	0,016	0,044	0,046	0,028	0,000	0,002	0,044
180	5,178	5,150	5,148	5,154	5,150	0,028	0,002	0,030	0,024	0,004	0,006	0,028	0,000	0,002	0,004
190	5,216	5,188	5,187	5,193	5,189	0,028	0,001	0,029	0,023	0,005	0,006	0,027	0,001	0,002	0,004
200	5,253	5,226	5,224	5,230	5,226	0,027	0,002	0,029	0,023	0,004	0,006	0,027	0,000	0,002	0,004

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada TDA' lı prizmatik kanallarda oluşan oniki su yüzü profilinin belirlenmesini sağlayan bir program hazırlanmıştır. Programda her su yüzü profilinin tipi belirlenmekte, uygulamacı tarafından verilen kontrol noktasına göre profilin oluşacağı bölge tayin edilmektedir. Bu çalışmada farklı metotlarla su yüzü profilinin hesaplanabilmesi için uygulamada kullanılan bütün metotlar tanıtılmış, daha sonra programa bu metotların hepsi monte edilerek tercih edilen bir metotla problemin çözümü sağlanmıştır. Uygulamacı için metotlardan birisiye çözüm yeterli olsa da, akademik çalışma yapanlar için derli toplu tek bir program çatısı altında tüm metotlarla çalışabilme avantajı oluşturulmuştur.

Hazırlanan program (WSPC 1.01) 6. bölümde başka kaynaklarda bilinen su yüzü profilleri ile ve uygulamada kullanılan programlarla test edilmiştir. Sonuçların karşılaştırıldığı 6.6, 6.12, 6.18, 6.20 ve 6.21 tablo değerleri gözden geçirilirse yeterli doğrulukta ve hassasiyette hesaplama yapıldığı gözlemlenecektir. 6.21 deki tabloda görülen sonuçlar ise aynı problemin farklı metotlarla çözülmesi halinde oluşan su yüzü profili arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Su yüzü diferansiyel denkleminin prizmatik kanallar için yaklaşık metotlarla çözümlenmesinde, profil tipinin olduğu bölgede hesaplama adım sayısı, çözümün doğruluğu açısından önemlidir. Bu metotlar yaklaşık çözüm ürettiklerinden, anlamlı bir Δy ve Δx aralığında hesaplamalar ardışık olarak sürdürülmekte, bundan dolayı her bir adımda yapılan hata da, hesaplama başlanan kontrol noktasından uzaklaştıkça artmaktadır. Uygulamacı, yapılan hata miktarını kesin çözümünü bilmediği bir problemde belirleyemez. Bunun için su yüzü profili yaklaşık çözümünde oluşan en büyük hata değerini veren çalışmalar araştırılmış, EULER metodunda literatüre girmiş bu çalışmalar gözönüne alınmıştır.

Su yüzü profilinin EULER Metodu ile belirlenmesinde, adım sayısı arttırmak suretiyle kesin çözüme yaklaşılabılır. Kesin çözümü bilinmeyen bir problem olmasından dolayı, adım sayısı artırılarak kesin çözüme ne kadar yaklaştığımız belirlenemediği için ya gerekenden fazla hesaplama yapılır ya da yeterli doğrulukta hesap yapılmamış demektir. Bundan dolayı genelde problemin çözümünün yapıldığı bilgisayar programlarında adım sayısı hesaplayıcıya bırakılır. Uygulamacının, iteratif bir kaç deneme yanılma yapması veya gereğinden fazla adım sayısı ile çalışıp gereksiz hesaplamalarla uğraşarak yeterli doğruluğa ulaştığına inanması gerekecektir. Yine de elle tutulur bir kriterle çalışmanızı değerlendirememek ve her uygulamacıya göre değişecek adım sayısı ve çözümlenmelerle karşılaşmanız söz konusu olacaktır.

Anlamli bir adım sayısı belirlemede yukarıdaki anlatılan açmaza düşmemek için kesin çözümle yaklaşık çözüm arasındaki en büyük hatanın boyutu tarafımızdan belirlenerek, çalışmada önerilen yöntemle adım sayısı bulunursa, hesaplamada yapılacak en büyük hata, belirlemiş olduğunuz hata payından daha küçük olacaktır. Bu çalışmada önerilen en büyük hata payına bağlı adım sayısı belirlenmesi, tecrübesiz bir uygulamacı için bile, yeterli doğrulukta sayısal çözümlenme yapmasını sağlamış olacaktır.

WSPC 1.01 programında EULER haricindeki metotlarda adım sayısı program tarafından istenirken, EULER metoduyla hesaplama yapıldığında adım sayısı istenmemektedir. Bunun sebebi, bu metotta yapılacak en büyük hata %1 ile sınırlandırılarak optimum adım sayısı program tarafından belirlenerek kullanıcıya bırakılmamıştır.

KAYNAKLAR

Bakhmeteff, B. A., *Hydraulics of Open Channels*, McGraw-Hill, New York, 1932.

Chaudhry, M. H., *Open-Channel Flow*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1993.

Cheney, E. W., Kincaid, D. R., *Numerical Mathematics and Computing*, Wadsworth, Inc., Belmont, Calif, 1985.

Chow , V. T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y., 1959.

Colatz, L., *The Numerical Treatment of Differential Equations*, Springer-Verlag: Berlin and New York, pp. 57-61, 1966.

Dey, S., Chebyshev solution as aid computing GVF by standart step method. *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE, 126(4), pp. 271-274, 2000.

Gill, M. A., Exact solution of gradually varied flow. *ASCE J. Hydr. Div.*, 102(HY9), pp. 1353-1364, 1976.

Henderson, F. M., *Open Channel Flow*, The Macmillan Co., New York, N.Y., 1966.

Molinas, A. & Yang, C.T., Generalized water surface profile computations. *J. Hydr. Engrg.* ASCE, 111(3), pp. 381-397,1985.

Paine, J. N., Open-channel flow algorithm in Newton-Raphson form. *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE, 118(2), pp. 360-319, 1992.

Rhodes, D. G., Gradually varied flow solutions in Newton-Raphson form. *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE, 124(4), pp. 233-235, 1998.

Wang, Z., Formula for calculating critical depth of trapezoidal open channel. J. Hydr. Engrg. ASCE , 124(1), pp. 90-91, 1998.

-j.idealit



NOTASYON

z = geometrik kot

y = açık kanalda akım derinliği

V = kanal kesitindeki ortalama hızı

x = yatay konum

g = Yerçekimi ivmesi

h_k = enerji kaybı yüksekliği

u = dA diferansiyel alanındaki hız

ρ = yoğunluk

E = özgül enerji

α = hız katsayısı

P = basınç

γ = özgül ağırlık

Q = debi

q = birim genişlikten geçen debi

n = Manning pürüzlülük katsayısı

J = hidrolik eğimi

A = Akım alanı

U = ıslak çevre

R = hidrolik yarıçap

H = enerji yüksekliği

J_0 = kanal taban eğimi

B = kanal genişliği

θ = kanal taban açısı

Fr = Frude sayısı

y_0 = Üniform derinlik

y_c = Kritik derinlik

Z = kesit faktörü

Z_c = kritik derinlik için kesit faktörü

Δx = Mansap ve memba kesitleri arasındaki yatay mesafe

C_1 = Mansap veya memba kesitlerindeki toplam enerji

C_2 = Mansap veya memba kesitlerindeki enerji çizgisi eğimi

C_3, C_4, C_5 = İlgili kanal kesiti için sabit katsayılar.

β = Algoritma değişkeni

$$\Delta \varepsilon_k = f(\varepsilon_k) / f'(\varepsilon_k)$$

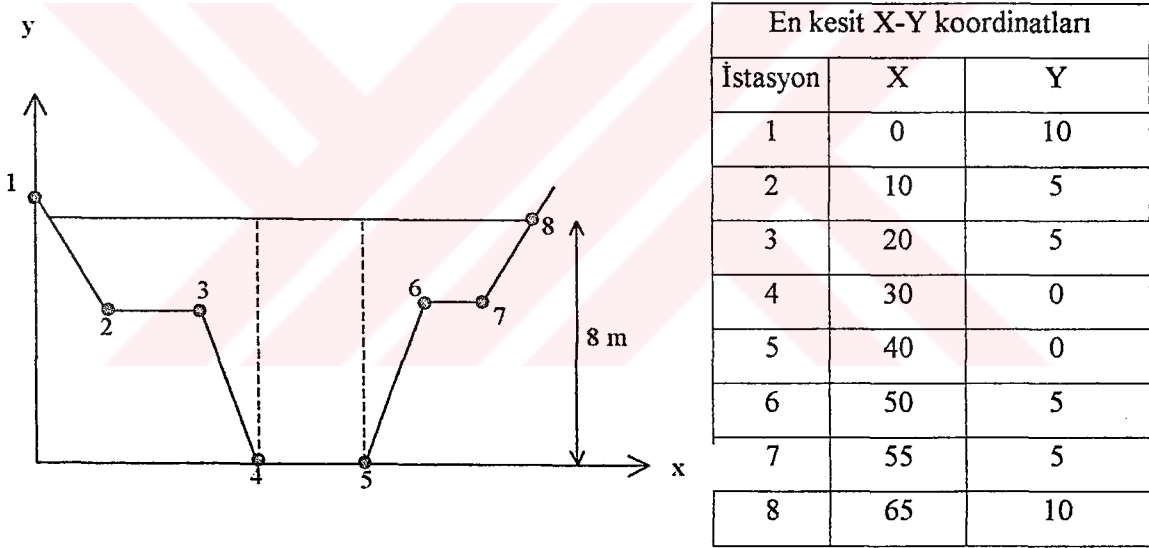
$$\Delta^* \varepsilon_k = 0.5 f^2(\varepsilon_k) f''(\varepsilon_k) / f'^3(\varepsilon_k)$$

TC. YÜZELERİŞİM KURULU
BAŞKANLIĞI

EK 1:
DOĞAL NEHİR ENKESİTİNDEKİ AKIMIN α HIZ KATSAYISI
HESABI İÇİN BİR SAYISAL ÖRNEK

En kesit geometrisinin sabit olduğu kanallarda α hız katsayısı için 1 ile 1.1 arasında değer alınabilir . Birleşik kesitli kanallarda ve doğal nehirlerde hız katsayısının hesabının yapılması gerekir. Burada birleşik kesitli bir kanalda hız katsayısının hesabı için bir sayısal örnek çözülmüştür.

Aşağıda kanal kesit için 8 tane istasyon noktası alınmış ve bu noktaların koordinatları tablo halinde yanda verilmiştir.



$Q=80 \text{ m}^3/\text{s}$, $n=0.035$ olarak alınmıştır.

Çözüm

Sol sahil:

$$A = \frac{3 \times 6}{2} + 10 \times 3 + \frac{(3+8)10}{2} = 94 \text{ m}^2$$

$$K = \frac{1.000}{n} AR^{2.3}$$

$$P = \sqrt{3^2 + 6^2} + 10 + \sqrt{10^2 + 5^2} = 27.89 \text{ m}$$

$$K = \frac{1.000}{0.035} \times 94 \times 3.37^{2/3}$$

$$R = \frac{94}{27.89} = 3.37 \text{ m}$$

$$K = 6036.89 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Ana Kanal:

$$A = 8 \times 10 = 80 \text{ m}^2$$

$$K = \frac{1.000}{0.035} \times 80 \times 8^{2/3}$$

$$P = 10 \text{ m}$$

$$R = 80/10 = 8 \text{ m}$$

$$K = 9142.86 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Sağ sahil:

$$A = \frac{3 \times 6}{2} + 5 \times 3 + \frac{(3+8)10}{2} = 79 \text{ m}^2$$

$$K = \frac{1.000}{n} AR^{2/3}$$

$$P = \sqrt{5^2 + 10^2} + 5 + \sqrt{3^2 + 6^2} = 22.89 \text{ m}$$

$$K = \frac{1.000}{0.035} \times 79 \times 3.45^{2/3}$$

$$R = \frac{94}{27.89} = 3.37 \text{ m}$$

$$K = 5153.53 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\sum K = 6036.89 + 9142.86 + 5153.53 = 20333.89 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\text{solsahil}} = \frac{80}{20333.28} \times 6036.89 = 23.75 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_{\text{solsahil}} = \frac{23.75}{94} = 0.25 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{Anakanal}} = \frac{80}{20333.28} \times 9142.86 = 35.97 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_{\text{Anakanal}} = \frac{35.97}{80} = 0.45 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{sagāsah}} = \frac{80}{20333.28} \times 5153.53 = 20.28 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_{\text{sagāsah}} = \frac{20.28}{79} = 0.26 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\alpha = \frac{(V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3)(A_1 + A_2 + A_3)^2}{(V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3)}$$

$$\alpha = \frac{(0.25^3 \times 94 + 0.45^3 \times 80 + 0.26^3 \times 79)(94 + 80 + 79)^2}{(0.25 \times 94 + 0.45 \times 80 + 0.26 \times 79)^3}$$

$$\alpha = 1.2665 \cong 1.27$$