

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK KANALLARDA ZAMANLA DEĞİŞEN
AKIMLARIN FARKLI EĞİMLERDE DENEYSEL
VE TEORİK ARAŞTIRILMASI

Emre KEBAPCIOĞLU

Kasım, 2009

İZMİR

**AÇIK KANALLARDA ZAMANLA DEĞİŞEN
AKIMLARIN FARKLI EĞİMLERDE DENEYSEL
VE TEORİK ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji Su Kaynakları Anabilim Dalı

Emre KEBAPCIOĞLU

Kasım, 2009

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EMRE KEBAPCIOĞLU, tarafından PROF. DR. M. ŞÜKRÜ GÜNEY yönetiminde hazırlanan “AÇIK KANALLARDA ZAMANLA DEĞİŞEN AKIMLARIN FARKLI EĞİMLERDE DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

PROF. DR. M. ŞÜKRÜ GÜNEY

Danışman

PROF. DR. YALÇIN ARISOY

Jüri Üyesi

PROF. DR. DAVUT ÖZDAĞLAR

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince bana pozitif enerji veren ve beni hep cesaretlendiren, TÜBİTAK 106M274 nolu projede bulunmamı sağlayan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. M. Şükrü GÜNEY' e öncelikle teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım teknik problemlerin çözümü konusunda yardımlarını esirgemeyen laboratuvar teknisyeni İsa ÜSTÜNDAĞ' a, takıldığım konularda desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK 106M274 projesinde doktora öğrencisi Gökçen BOMBAR' a ve Araş. Gör. Mustafa DOĞAN' a müteşekkirim.

Tez çalışmalarım katılmam konusunda gereken kolaylığı ve desteği veren Muammer Tuksavul Turhal Şeker Fabrikası Fabrika Müdürü Abdulkadir GÜLSÜN' e ve her an beni destekleyen eşim Sinem KEBAPCIOĞLU' na şükran borçluyum.

Emre KEBAPCIOĞLU

AÇIK KANALLARDA ZAMANLA DEĞİŞEN AKIMLARIN FARKLI EĞİMLERDE DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu tez kapsamında, hidromekanik biliminin önemli konularından biri olan açık kanallarda zamanla değişen akımlar, deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar; Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda kurulan deney düzeneği üzerinde yürütülmüştür. Tasarlanıp inşa edilen deney sisteminde kanal eğimi değiştirilebilmekte ve farklı giriş hidrografları oluşturulabilmektedir. Teorik sonuçlar ise bir boyutlu kararsız akımları tanımlayan Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümü ile elde edilmiştir.

İnşa edilen deney düzeneği; 80 cm genişliğinde ve 18,6 m uzunluğundaki dikdörtgen bir kanal, 27 m³ hacmindeki ana su deposu, iki tane feyezan verme tankı ve debisi ayarlanabilen pompa ve iletim hatlarını içermektedir. Hem feyezan tankları ile hem de hız kontrol cihazı tarafından kumanda edilen 18,5 kW gücündeki debisi değiştirilen pompa kullanılarak değişik giriş hidrografları oluşturulabilmektedir. Akım hızları UVP DUO-MX ile (ultrasonik ses dalgaları kullanarak) ölçülmüştür. Bu cihazla elde edilen debi, daha sonra temin edilen debimetre yardımıyla kalibre edilen, büzülmesiz ince kenarlı dikdörtgen savak ile de kontrol edilmiştir. Su derinlikleri seviye ölçerden faydalanılarak belirlenmiştir.

Ölçülen değerler bu alanda yapılmış olan diğer çalışmalar ve diferansiyel denklemlerin eksplisit yaklaşımla gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Dalga yayılması, açık kanallarda kararsız akımlar, taşkın dalgaları, sonlu farklar yöntemi, eksplisit yaklaşım

EXPERIMENTAL AND THEORITICAL STUDY OF UNSTEADY FLOWS IN OPEN CHANNELS WITH DIFFERENT BED SLOPES

ABSTRACT

In this study the unsteady flow in open channels which is one of the fundamental subjects in hydromechanics is studied experimentally and theoretically.

The experiments are carried out in an experimental system built in Hydraulics Laboratory of Dokuz Eylül University, with different bottom slopes and by generating various input hydrographs.

The experimental set-up is constituted from a rectangular channel of 80 cm width and 18,6 m length. The volume of the water supply tank is 27 m³. The input hydrograph is generated by a 18,5 kW pump with regulated rotational speed. The system involves also two elevated tanks in order to create flood hydrographs similar to those encountered in nature. The velocities are measured by using UVP DUO-MX ultrasound velocity profile monitor combined with transducers. Discharges determined from this device are controlled by sharp edged rectangular weir without contraction, which is calibrated by means of the debimetre. The water depths are measured by probes and are controlled by level meters bought later.

The experimental results are compared with those obtained from similar researches and also with theoretical ones based on explicit numerical solutions method.

Keywords: wave propagation, unsteady flows in open channels, flood waves, finite difference method, explicit approach

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışmanı İçeriği.....	1
1.3 Geçmişte Yapılan Bilimsel Çalışmalar.....	2
BÖLÜM İKİ-TEORİK BAKIŞ.....	4
2.1 Giriş.....	4
2.2 Tanımlar.....	5
2.3 Herhangi Bir Kanalda Dalga Yayılmasıyla İlgili Temel Denklemler	7
2.3.1 Süreklilik Denklemi.....	7
2.3.2 Enerji Denklemi.....	9
2.3.3 Saint-Venant Denklemleri.....	12
BÖLÜM ÜÇ-SAYISAL ÇÖZÜM TEKNİKLERİ.....	13
3.1 Saint Venant Denklemlerinin Sonlu Farklar Cinsinden Yazılması.....	13
3.2 Eksplisit Yöntem.....	14
3.3 İmplicit Yöntem.....	17
3.4 Karakteristikler Yöntemi.....	18

BÖLÜM DÖRT-DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....21

4.1 Deney Düzeneginin Tanıtımı.....	21
4.1.1 Kanal ve Sakinleştirme Havuzu, Besleme Hattı ve Kumanda Panosu...	22
4.1.2 Feyezan Verme Su Depoları.....	25
4.1.3 Ana Su Deposu ve İnce Kenarlı Dikdörtgen Savak.....	26
4.1.4 Platform.....	27
4.2 Ultrasonik Yöntemle Hız Profiline Çıkarılması.....	27
4.3 Pompa Debisi Kontrol Cihazı.....	31
4.4 Proplar.....	32
4.5 Seviye ölçer.....	33
4.6 Debi ölçer.....	34

BÖLÜM BEŞ-DENEYSEL SONUÇLAR.....35

5.1 Giriş Hidrografını Sağlayan Debi Kontrol Cihazının Kalibrasyonu.....	35
5.2 Dikdörtgen Savaşın Kalibrasyonu.....	36
5.3 Proplar İçin Derinlik-Direnç Kalibrasyonu.....	43
5.4 Dalga Yayılması Sonucunda Su Derinliklerinin Zamanla Değişimleri.....	45
5.4.1 Seviye Ölçer Kullanılarak Ölçülen Su Derinlikleri.....	46
5.4.2 Proplar Kullanılarak Ölçülen Su Derinlikleri.....	46
5.5 Dalga Yayılması Sonucunda Ortalama Hızların Zamanla Değişimi.....	56
5.5.1 Ultrasonik Yöntemle Hız Ölçümü.....	56
5.6 Eşdeğer Pürüzlülüğün Belirlenmesi.....	63

BÖLÜM ALTI-DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....68

6.1 Sayısal Sonuçlar.....	68
6.2 Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması.....	72
6.2.1 Su Yüksekliklerinin Karşılaştırılması.....	72
6.2.2 Ortalama Hızların Karşılaştırılması.....	85

BÖLÜM YEDİ- SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	98
EK A Eksplisit Yöntem İle Çözüm İçin Kullanılan Bilgisayar Programı.....	98
EK B Eksplisit Yöntemle Çözüm İçin Kullanılan Bilgisayar Programının Veri Kütüğü.....	102
EK C Eksplisit Yöntem İle Çözüm Sonuçları	103

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez kapsamında, açık kanallarda oluşan dalgaların yayılmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması amaçlanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda inşa edilen deney düzeneğinde UVP (ultrasonic velocity profiler) kullanılarak hızlar ölçülmüş, ayrıca derinlikler kamera ile kaydedilmiş ve seviye ölçer ile ölçülmüştür. Laboratuvarında bu konuda daha önce benzer çalışmalar yapılmış olmakla beraber kesitteki hız profilinin ultrasonik yöntemle belirlenmesi, debinin debimetre ile problemlerle ölçülen su derinliklerinin seviye ölçerle kontrol edilmesi bu çalışmada ayrıcalık oluşturmaktadır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, eksplisit sayısal çözüm yöntemi ile elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

1.2 Çalışmanın İçeriği

Birinci bölümde; bu yüksek lisans tezinin amaç ve kapsamıyla beraber açık kanallarda taşkın dalgasının yayılması hakkında geçmiş yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar anlatılmaktadır.

İkinci bölümde; bir boyutlu zamanla değişen akımlarla ilgili teorik bilgiler ve Saint-Venant denklemleri verilmektedir.

Üçüncü bölümde; sayısal çözüm teknikleri hatırlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde; deney düzeneği ve ölçüm teknikleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Deneysel sonuçlar Beşinci bölümde sunulmaktadır.

Altıncı bölümde deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

Yedinci bölüm ise sonuçlar ve önerileri içermektedir.

1.3 Geçmişte Yapılan Bilimsel Çalışmalar

Açık kanallarda zamanla değişen akımlarla ilgili çalışmalar çok eskiye dayanmakla beraber gelişmiş bilgisayarların ortaya çıkması ile 1970 'li yıllardan sonra ileri sayısal çözüm teknikleri kullanılmaya başlanmıştır.

Strelkoff(1969 ve 1970), De St. Venant denklemlerinin sayısal çözüm yöntemlerini detaylı olarak incelemiştir.

Amein ve Fang (1970), kararsız akımların sayısal modellemesinde çok düzensiz olan kanallarda kullanılabilen implisit bir şema geliştirmişlerdir.

Ponce ve Simons (1977), değişik tiplerdeki sığ su dalgalarının yayılma karakteristikleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Glaister (1988), ideal akışkan akımlarının bir boyutlu sığ su dalgası denklemini çözmek için yaklaşık Riemann şeması geliştirmiştir..

Garcia-Navarro ve Saviron (1992), St Venant denklemlerinin uygulanamadığı en kesit değişimleri, savak üstü akım, kanal birleşimleri,... gibi durumlarda kullanılabilen bir sayısal model geliştirmişlerdir.

Jahromi ve Sivakumar (1994), Washington Eyalet Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda elde edilen deneysel veriler ile eksplisit, implisit ve karakteristikler yöntemi kullanarak elde ettikleri taşkın karakteristikleri ile ilgili sayısal sonuçları karşılaştırmışlardır.

Hicks ve Steffler (1995), hiperbolik sistemler için sonlu elemanlar yöntemini bir boyutlu, kararsız, açık kanal akımları için St Venant denklemlerine uygulamışlar ve farklı yaklaşımların karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Ozakia, Kawaguchia, Takedab, Hishida, Masanobu (2002), ultrasonik hız profili çıkaran cihazla ilgili bir çözünürlük sistemi geliştirmişlerdir.

Hacimusalar, A.K. (2003), DEÜ Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda inşa edilen bir deney düzeneğinde dalga yayılmasını iletkenlik ölçer kullanarak bir noktada yapılan ölçümlerle deneysel olarak araştırmış ve bulguları teorik sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Yang ve Inter (2005), kararsız açık kanal akımları hesaplamalarında kübik interpolasyonlu karakteristikler metodunu kullanan bir model geliştirip elde ettikleri sayısal sonuçları yorumlamışlardır.

Garcia ve Kahawita (2005), Mac Cormack eksplisit sonlu farklar şeması ile St Venant denklemlerinin sayısal çözümünü geliştirdikleri 2 boyutlu model ile yapmışlardır. Metodun verimli olup olmadığını çeşitli deneyler yaparak değerlendirmişlerdir.

Nas, M. (2006), DEÜ Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda inşa edilen bir deney düzeneğinde elektronik devreler kullanarak aynı anda üç noktada ölçümler yaparak farklı kesitlerdeki dalga profillerini zamana bağlı olarak incelemiş ve elde edilen deneysel sonuçlarla teorik sonuçları karşılaştırmıştır.

BÖLÜM İKİ

TEORİK BAKIŞ

2.1 Giriş

Kararsız akımlar, bir açık kanalda herhangi bir konumdaki akım şartlarının (hızların ve derinliklerin) zamana göre değiştiği akımlardır. Doğadaki açık kanal akımları genellikle kararsız ve üniform olmayan akımlardır. Matematiksel olarak iki bağımlı değişkenin (hız ve derinlik veya debi ve derinlik) zaman ve konumun bir fonksiyonu olduğu anlamına gelmektedir. Bu sebeple problemin çözümü için iki bağımlı değişkeni içeren, süreklilik ve momentum prensiplerini yansıtan iki diferansiyel denkleme gereksinim duyulur.

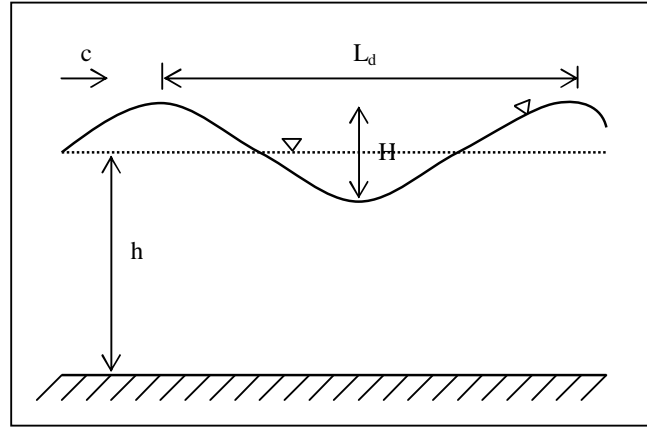
Hidrolikte kararsız akımların oluştuğu tipik durumlar şunlardır (Chaudhry, 1993);

1. Cebri boru ya da basınçlı galeriler ve tünellerdeki, türbinlerin açılması ya da kapatılması ile veya yük değişimlerini kontrol etmek için türbin kapaklarının açılması veya kapatılmasından dolayı oluşan dalgalanmalar,
2. Kontrol kapaklarının açılması ya da kapanması veya pompaların çalıştırılması ya da kapatılması ile oluşan memba ve mansap kanallarındaki dalgalanmalar,
3. Denizcilikte, kanal geçiş havuzlarının işletilmesi ile oluşan deniz kanallarındaki dalgalar,
4. Yoğun yağışlar, tipiler ve rüzgârlardan dolayı açık kanallar, akarsular ve drenaj kanallarındaki taşkın dalgaları,
5. Haliçler, koy ve körfezlerdeki gelgit dalgaları,
6. Akarsular, kanallar, hazneler ve göllerde heyelan ve çığ gibi nedenlerle oluşan dalgalar,

7. Barajlar, seddeler, setler ya da diğerkontrol yapılarında oluşabilecek sorunlardan kaynaklanan dalgalar,
8. Lağım ve drenaj kanallarındaki kaçaklardan oluşan düzensizlikler,
9. Isıyla ve yoğunluk farkıyla ya da rüzgar ile hazne ve göllerde oluşan sirkülasyon,
10. Rüzgâr, fırtınalar, siklon ve depremler ile göller, hazneler, haliçler, körfezler, geçitler ve okyanuslarda oluşan dalgalar.

2.2 Tanımlar

Su yüzeyinde herhangi bir şekilde oluşturulan bir değişiklik, bir dalga şeklinde yayılır. (c) hızıyla yayılan dalgaların özellikleri dalgaların oluştuğu ortamın derinliği (h), dalganın yüksekliği (H) ve boyuna (L_d) bağlıdır(Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Dalga, genlik ve uzunluğu

Dalga yüksekliğinin derinliğin yanında yeterince küçük olması halinde dalgaların yayılışları sırasında şekli değişmez. (Sümer, Ünsal, Bayazıt, 1983)

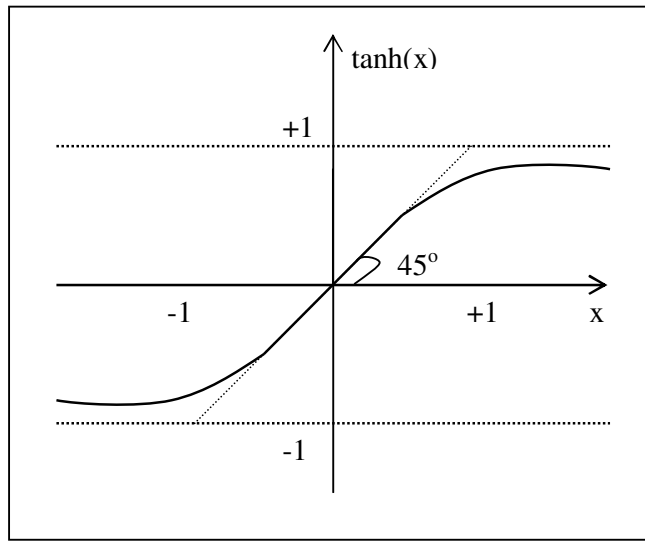
Dalgalar farklı kıstaslar kullanılarak çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bu bağlamda akım yönünde kütle transferi olmayan bir dalga salınımlı dalga, akım yönünde kütle transferi olan bir dalga ise ilerleyen dalga olarak tanımlanır.(Chaudhry, 1993)

Topuk derinliği bozulmamış akım derinliğinden büyük dalgalara pozitif dalga, topuk derinliği bozulmamış akım derinliğinden küçük dalgalara negatif dalga denir.

Dalga kanalın bir kesitinden geçerken tüm akım derinliği bozulursa sığ su dalgası, sadece üst katmanlar bozulursa derin su dalgası söz konusu olmaktadır. Dalga boyunun su derinliğine oranı sığ su dalgaları için 20'den büyük, aynı oran derin su dalgaları için 20'den küçüktür.Küçük genlikli bir dalga için ($h \ll L_d$) yayılma hızı, viskozite ve yüzey gerilimi ihmal edilerek şu şekilde verilir.

$$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_d}\right)} \quad (2-1)$$

Bu denklemden h, kararlı durumdaki akım derinliği olup, h/L_d ifadesi derin su dalgalarında çok büyük olduğu için $\tanh\left(\frac{2\pi h}{L_d}\right)$ terimi bire yaklaşmakta ve derin su dalgası yayılma hızı(Şekil 2.2)



Şekil 2.2 tanh(x) fonksiyonu

$$c = \sqrt{\frac{gL_d}{2\pi}} \quad (2-2a)$$

ifadesine dönüşmektedir. h/L_d ifadesi sığ su dalgalarında çok küçüktür. Bu nedenle $\tanh\left(\frac{2\pi h}{L_d}\right)$ terimi $\left(\frac{2\pi h}{L_d}\right)$ ye yaklaşmaktadır. Bu durumda bu tür dalgaların yayılma hızı için,

$$c = \sqrt{gh} \quad (2-2b)$$

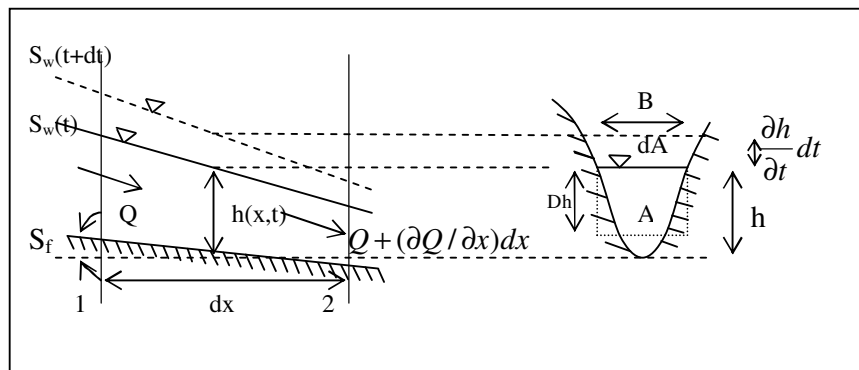
ifadesi elde edilmektedir. (Chaudhry, 1993)

2.3 Herhangi Bir Kanalda Dalga Yayılmasıyla İlgili Temel Denklemler

Akım derinliği ve hız ya da akım derinliği ve debi değişimi gibi iki akım değişkeni ile bir kanal en kesitindeki akım şartları tanımlanabilmektedir. Bu nedenle iki temel denklem ile tipik bir akım durumu analiz edilebilmekte, süreklilik denklemi ve momentum ya da enerji denklemi bu amaç için kullanılabilir.

Burada genellikle DE SAINT VENANT denklemleri olarak ta anılan süreklilik ve enerji denklemleri verilecektir.

2.3.1 Süreklilik Denklemi



Şekil 2.3 Süreklilik denkleminin şeması(Walter H.G, 1998)

Aralarında dx mesafesi bulunan iki en kesit ile tanımlanan kontrol hacmine dt zaman aralığında giren veya çıkan debilerin farkının hacimde meydana gelen değişime eşit olduğu yazılmaktadır. Şekil 2.3' de verilen notasyonlarla, taban eğimi S_f olan bir kanalda kanal taban eğiminin küçük olduğu ($\sin \alpha \cong \tan \alpha = S_f$), kanalın prizmatik olduğu (kanal taban eğimi ve kanal en kesitinin kanal boyunca değişmediği), kanalda sıkıştırılmayan akışkan aktığı varsayılmaktadır.

İlk kesitten giren hacim $Q*dt$ iken birinci kesitten dx mesafe sonrasındaki ikinci kesitten çıkan hacim; $\left[Q + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) dx \right] dt$ ' dir. dt zaman boyunca bu iki kesit arasındaki hacimsel değişim; $-\left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) dx dt$ ' dir. Bu hacimsel değişimi serbest su yüzeyinden itibaren değişim şeklinde yazarsak; $(B dx) \frac{\partial h}{\partial t} dt$ olur. Burada; $B(h)$; serbest yüzeydeki kanal genişliği, $h(x,t)$; akım derinliği olmak üzere $dA=B*dh$ göz önüne alınarak, sıkıştırılmaz akışkan varsayımıyla,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2-3)$$

elde edilmektedir. Verilen belirli bir kesit için, kesitsel ortalama hız U ile gösterilerek, $Q=U*A$ bağıntısı kullanıldığında,

$$\frac{\partial(UA)}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2-4)$$

Hidrolik derinlik ifadesini kullanarak ($D_h=A/B$)

$$D_h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial D_h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2-5)$$

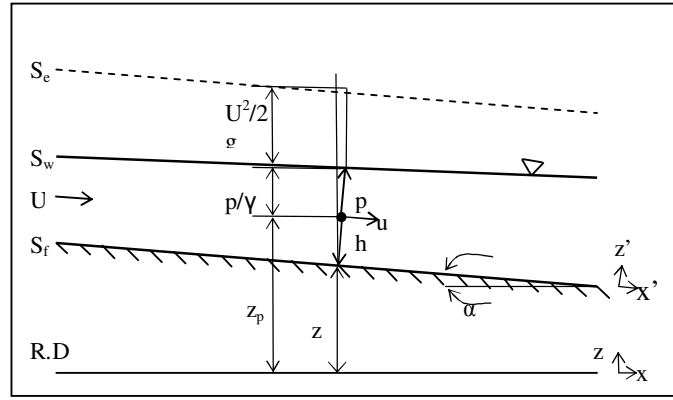
Dikdörtgen ve prizmatik kanal için, $D_h = h$ olduğundan (2.5) denklemi,

$$h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2-6)$$

şekline dönüşmektedir.(Walter H.G., 1998)

2.3.2 Enerji Denklemi

Enerji denklemi termodinamiğin birinci prensibinin ifadesidir. Birim ağırlıklı ve sıkıştırılamaz akışkanın seçilen bir referans düzlemine göre toplam enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Walter H. Graf(1998)):



Şekil 2.4 Enerji denklemi için kullanılan notasyonlar

$$\frac{U^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z_p = \frac{p_t}{\gamma} = \text{sabit} \quad (2-7)$$

Denklemlerin çıkarılışında yapılan kabuller;

- 1) Basınç dağılımı hidrostatiktir. Piezometre yüksekliği $\frac{p^*}{\gamma} = \frac{p}{\gamma} + z_p$ sabittir.
- 2) Taban eğimi S_f küçüktür ve $S_f = tg \alpha = -\frac{dz}{dx} \approx \sin \alpha$
- 3) Basınç yüksekliği kanal tabanında $(\frac{p}{\gamma})_f = h \cos \alpha$

Küçük eğimler için ($\alpha < 6^\circ$) ($S_f < 0,1$) $\cos \alpha \cong 1$ 'dir. Bu yüzden xz koordinatı x'z' koordinatıyla özdeşleştir(Şekil 2.4).

4)Bütün bir kanal en kesiti üzerinde akım hızı üniformdur.

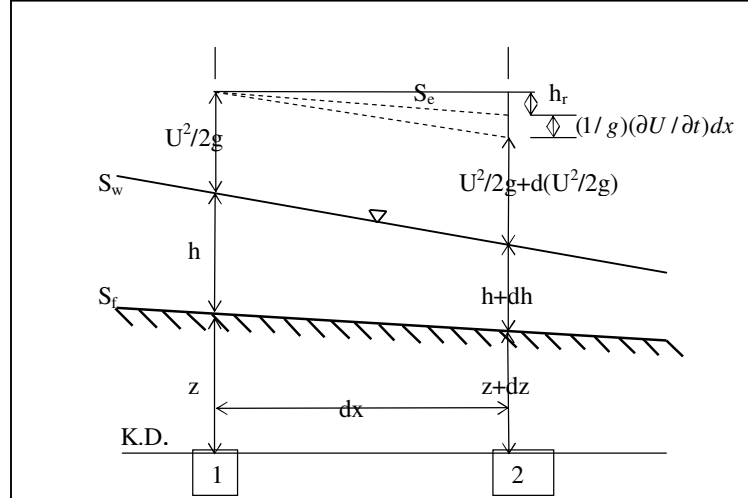
Yukarıdaki kabuller kullanılarak toplam enerji,

$$\frac{U^2}{2g} + h + z = H \quad (2-8)$$

Serbest yüzeyli, kararsız, üniform olmayan gerçek akışkan durumunda; dx mesafeli iki kesit için toplam enerji farkı yazılırsa (Şekil 2.5),

$$\alpha_e \frac{U^2}{2g} + h + z = \left[\alpha_e \frac{U^2}{2g} + d\left(\alpha_e \frac{U^2}{2g}\right) \right] + [h + dh] + [z + dz] + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx + \frac{1}{g} \frac{\tau_0}{\rho} \frac{dP}{dA} dx$$

(2-9)



Şekil 2.5 İki kesit arasındaki enerji denkleminin notasyonları

i) Akımın x yönündeki hızından kaynaklanan enerji; $\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx$

ii) Sürtünmeden kaynaklanan enerji kaybı; $\frac{1}{g} \frac{\tau_0}{\rho} \frac{dP}{dA} dx = h_r$

dP; ele alınan yüzeyin çevresi

dA; yüzey alanı

τ_0 ; yüzeyde sürtünme kuvvetinden oluşan kesme gerilmesi

iii) α_e ; kinetik enerji düzeltme katsayısı

Türbülanslı akımlar için $\alpha_e \approx 1$

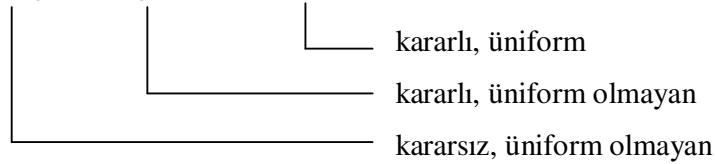
En genel durumlar için hız yüksekliği; $\alpha_e \frac{U^2}{2g} \approx \frac{U^2}{2g}$ olup, (2-9)' daki denklem

aşağıdaki şekilde yazılırsa;

$$d\left(\frac{U^2}{2g} + h + z\right) = -h_r - \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx \quad (2-10)$$

denklemini elde edilir. dx' e bölünerek ve kısmi diferansiyeller yazılarak;

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} - S_f = -S_e \quad (2-11)$$



$h_r = S_e dx$; $S_f = -\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)$ Buradaki S_e ; enerji eğimidir. Kararsız akımlardaki

sürtünme kayıpları Manning-Strickler denklemi gibi kararlı akımlar için kullanılan bağıntılardan istifade edilerek bulunabilir.

2.3.3 Saint –Venant Denklemleri

(2-6) süreklilik denklemi ve (2-11) enerji denklemi kararsız akımların çözümü için ilk olarak Saint-Venant(1870) tarafından kullanılmıştır. İki bilinmeyen $h(x,t)$ ve $U(x,t)$ bağımlı değişkenleri bu denklemler çözülerek elde edilir.

Bu denklemlerin tam integrasyon çözümü çok karışıktır ve analitik çözümü yoktur. Bu yüzden denklemlerin mümkün çözümleri var olan farklı sayısal ve grafik yöntemlerle gerçekleştirilir.

BÖLÜM ÜÇ

SAYISAL ÇÖZÜM TEKNİKLERİ

3.1 Saint - Venant Denklemlerinin Sonlu Farklar Cinsinden Yazılması

İkinci bölümde verilen (2-6) ve (2-11) denklemleriyle açık kanallardaki kararsız akımın,

$$h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3-1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} - S_f = -S_e \quad (3-2)$$

şeklinde yazılan hiperbolik kısmi diferansiyel denklem takımıyla ifade edildiği gösterilmişti. Genel hal için analitik çözüm vermeyen bu Saint-Venant denklemlerinin sayısal çözümü için çeşitli yöntemler mevcut olup bu tez kapsamında eksplisit yöntem kullanılmıştır.

Bu yöntemlerin hepsinde denklemlerdeki sonsuz küçükler yerine sonlu küçükler konarak denklemler sonlu farklar cinsinden yazılmaktadır.

L uzunluğundaki kanal Şekil 3.1' de gösterildiği gibi N adet parçaya bölünerek $\Delta x=L/N$ mesafe aralıkları oluşturulmakta böylece meydana gelen N+1 adet noktada bilinmeyen $h(x,t)$ ve $U(x,t)$ bağımsız değişkenlerinin $t=\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ zamanlarına karşılık gelen değerleri hesaplanmaktadır.

x ve t bağımsız değişkenlerine bağlı bir $f(x,t)$ fonksiyonunda;

$$\text{Geri farklar } \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_i^j - f_{i-1}^j}{\Delta x} \quad (3-3)$$

$$\text{İleri farklar } \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i+1}^j - f_i^j}{\Delta x} \quad (3-4)$$

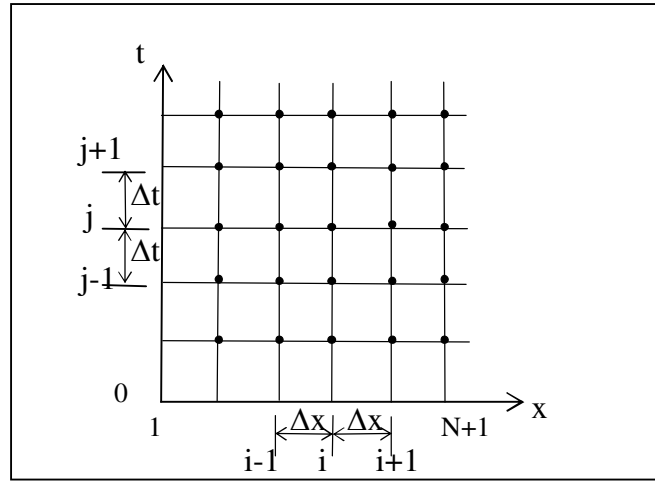
$$\text{Merkezi farklar ise } \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i+1}^j - f_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (3-5)$$

ile verilir.

Zamana bağlı kısmi türev ise;

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_i^{j+1} - f_i^j}{\Delta t} \quad (3-6)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1 Sonlu farklar tekniğinde kullanılan notasyonlar

3.2 Eksplicit Yöntem

Açık çözüm olarak da adlandırılan explicit yaklaşımda iterasyona gerek kalmadan, bilinmeyen doğrudan hesaplanmaktadır. Çözümün yakınsaması için Courant Şartı olarak bilinen kriterin sağlanması gerekmektedir. Sabit bir zaman aralığı için explicit sonlu farklar yöntemi, Saint-Venant denklemlerinin çözümünde

(3-1 ve 3-2) direk çözümlerden biridir. Bir dikdörtgen kanalın şematik tanımlaması Şekil 3.1' de verilmiştir. Bu x ve t düzlemi, düğüm noktalarından oluşan bir ağıdır. Δx ; düğüm noktaları arasındaki mesafe, Δt ; düğüm noktaları arasındaki zaman adımıdır.

Burada U_{i-1}^j, h_{i-1}^j ve U_{i+1}^j, h_{i+1}^j t=t zamanı için bilinen durumlardır. U_i^{j+1}, h_i^{j+1} ise t=t+ Δt zamanı olarak isimlendirilen Δt zaman adımı sonrasındaki bilinmeyen durumlardır.

Saint-Venant denklemlerindeki (3-1 ve 3-2) türevleri için sonlu farklar yaklaşımları;

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{U_{i+1}^j - U_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{h_{i+1}^j - h_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (3-7)$$

$$\left. \frac{\partial U}{\partial t} \right|_{i,j+1} = \frac{U_i^{j+1} - U_i^j}{\Delta t} \quad \left. \frac{\partial h}{\partial t} \right|_{i,j+1} = \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t}$$

Dikdörtgen bir kanal için yukarıdaki ifadeler (3-1) süreklilik denkleminde yazılırsa,

$$h_i^{j+1} = h_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[U_i^j (h_{i-1}^j - h_{i+1}^j) + h_i^j (U_{i-1}^j - U_{i+1}^j) \right] \quad (3-8)$$

Daha sonra ise aynı ifadeler (3-2) hareket denkleminde yazılırsa,

$$\frac{U_i^{j+1} - U_i^j}{\Delta t} + U_i^j \frac{(U_{i+1}^j - U_{i-1}^j)}{2\Delta x} + g \frac{(h_{i+1}^j - h_{i-1}^j)}{2\Delta x} = g(S_f - S_e) \quad (3-9)$$

$$S_e = \frac{|U_i^{j+1}| U_i^{j+1}}{(R_{h_i}^{j+1})^{4/3}} n^2 \quad (3-10)$$

$$\Gamma^{-1} = g\Delta t \frac{n^2}{(R_{hi}^{j+1})^{4/3}} \quad (3-11)$$

ifadeleri kullanılarak (3-9) denklemi yeniden düzenlenir ve yazılırsa, (Burada n; Manning katsayısı, R_h hidrolik yarıçapıdır.) (Walter H.G., 1998)

$$(U_i^{j+1})^2 + \Gamma(U_i^{j+1}) - \Gamma\beta = 0 \quad (3-12)$$

$$\beta = \left[U_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} U_i^j (U_{i-1}^j - U_{i+1}^j) + \frac{g\Delta t}{2\Delta x} (h_{i-1}^j - h_{i+1}^j) + g\Delta t S_f \right] \quad (3-13)$$

$$U_i^{j+1} = \frac{1}{2} \left[-\Gamma + (\Gamma^2 + 4\Gamma\beta)^{1/2} \right] \quad (3-14)$$

Eksplisit sonlu farklar metodu, (3-8) denklemini kullanarak ileri Δt zaman adımı ile h_i^{j+1} üniform akım derinliğini, böylece i noktasında ve $j+1$ anındaki hidrolik yarıçap R_i^{j+1} , daha sonra da (3-14) denklemi ile de $(i,j+1)$ noktası için U_i^{j+1} hızının bulunmasını sağlar.

Sınır şartlarının tipi ve sayısı çözümün elde edilmesinde gereklidir. Tutarlı bir sonuç elde etmek için daima gerekli olan ama bazen de yeterli olmayan şart,

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{(|U| + c)} \quad (3-15)$$

(3-15)' de verilen bu ilişki Courant Şartı olarak isimlendirilir. Literatürde farklı araştırmacıların farklı eksplisit yaklaşım yöntemleri mevcuttur.

3.3 İmplicit Yöntem

(2-6) ve (2-11) denklemleriyle verilen süreklilik ve hareket denklemleri debi $Q(x,t)$ ve derinlik $h(x,t)$ cinsinden yazılırsa,

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3-16)$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) - gA(S_e - S_f) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (3-17)$$

denklemleri elde edilmektedir. Yukarıdaki gibi yazılan temel denklemler biçimindeki modelin sonlu farklar yöntemiyle entegrasyonu için farklı bir yaklaşım olarak merkezlenmemiş hesap elemanları kullanılarak yapılabilmektedir.

Buna göre süreklilik denkleminin karşılık gelen (3-16) denklemi sonlu farklar vasıtasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{h_i^{j+1/2} - h_i^{j-1/2}}{\Delta t} + \frac{1}{B} \left(\frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x} \right) = 0 \quad (3-18)$$

Burada $j-1/2$, $j+1/2$ indisleri ortalama değerlere karşılık gelmekte, yani

$$h_i^{j+1/2} = \frac{h_i^j + h_i^{j+1}}{2} \text{ ve } h_i^{j-1/2} = \frac{h_i^j + h_i^{j-1}}{2} \text{ olmaktadır. (Koutitas, 1983)}$$

$$QQ_1 = (Q_i^{j+1} + Q_{i-1}^{j+1} + Q_i^j + Q_{i-1}^j)^2 / (16h_{i-1}^{j+1/2}) \quad (3-19)$$

$$QQ_2 = (Q_{i+1}^{j+1} + Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1} + Q_i^j)^2 / (16h_i^{j+1/2}) \quad (3-20)$$

$$S_f = \frac{n^2 \left(\frac{Q_i^{j+1} + Q_i^j}{2} \right)^2 (B + (h_i^{j+1/2} + h_{i-1}^{j+1/2}))^{4/3}}{\left(B \frac{h_i^{j+1/2} + h_{i-1}^{j+1/2}}{2} \right)^{10/3}} \quad (3-21)$$

değişkenleri tanımlanarak ;

$$Q_i^{j+1} = Q_i^j - \Delta t \frac{(QQ_2 - QQ_1)}{B\Delta x} - g \frac{B\Delta t}{2\Delta x} \{(y_i^{j+1/2})^2 - (y_{i-1}^{j+1/2})^2\} + g\Delta t B \frac{(h_i^{j+1/2} + h_{i-1}^{j+1/2})}{2} (S_e - S_f)$$

(3-22) denkleminde dönüşürmektedir.(Koutitas,1983).

3.4 Karakteristikler Yöntemi

Sabit genişlikli dikdörtgen bir kanal için Saint-Venant denklemleri aşağıdaki şekilde yeniden yazılırsa:

$$h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3-23)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} = S_f - S_e \quad (3-24)$$

Verilen iki diferansiyel denklemin çözümlerinin bu denklemlerin her türlü doğrusal kombinezonu da çözümü olduğu fikrinden yola çıkarak, akım derinliği h ve ortalama hız U ' nun toplam türevleri;

$$\frac{\partial h}{\partial x} dx + \frac{\partial h}{\partial t} dt = dh \quad (3-25)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial t} dt = dU \quad (3-26)$$

Yukarıda dört ifade $(\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial t}, \frac{\partial U}{\partial t}, \frac{\partial U}{\partial x})$ için, (3-23),(3-24),(3-25) ve(3-26)

denklemleri Massau tarafından kullanılmıştır.

Sığ sularda dalga yayılma hızı için $c^2=gh$ olduğu daha önceki bölümde ifade edilmişti. Bu eşitliğin iki tarafının diferansiyeli alınarak yazılırsa,

$$d(c^2) = 2cdc = d(gh) \quad (3-27)$$

Böylece dalga yayılma hızı c 'nin akım derinliği h 'ın bir ölçüsü olduğu görülür. Saint-Venant denklemleri, U ve c değişkenleri cinsinden yazılırsa:

$$c \frac{\partial U}{\partial x} + 2U \frac{\partial c}{\partial x} + 2 \frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (3-28)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + 2c \frac{\partial c}{\partial x} = g(S_f - S_e) \quad (3-29)$$

elde edilir. (3-28) ve (3-29) denklemlerinin toplam ve farkları yazılırsa eşlenik denklemler:

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (U + c) \frac{\partial}{\partial x} \right] (U + 2c) = g(S_f - S_e) \quad (3-30)$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (U - c) \frac{\partial}{\partial x} \right] (U - 2c) = g(S_f - S_e) \quad (3-31)$$

elde edilir. Eşitliğin sol tarafındaki ifadeler toplam türevlerin ifadesini yansıtır. Böylece,

$$\frac{d}{dt} (U + 2c) = g(S_f - S_e) \quad \frac{d}{dt} (U - 2c) = g(S_f - S_e) \quad (3-32)$$

$$U + c = \frac{dx}{dt} \quad U - c = \frac{dx}{dt} \quad (3-33)$$

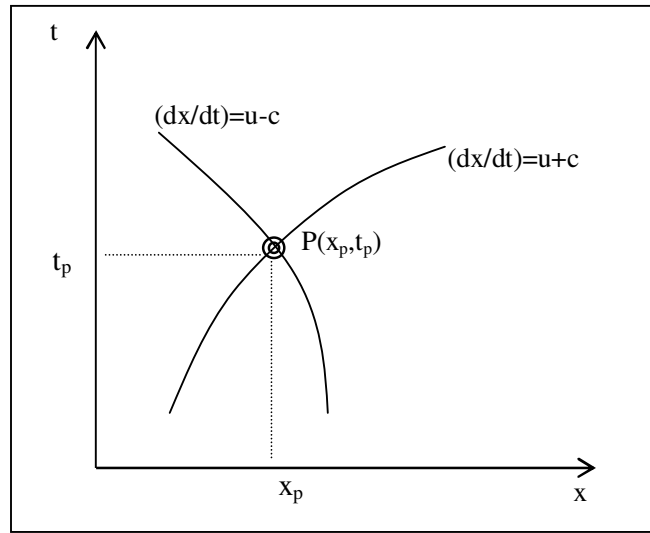
Son ifade (3-33) mutlak dalga yayılma hızını tanımlar,

$$\frac{dx}{dt} = c_w = U \mp c \quad (3-34)$$

Buradaki çift işaret, dalga yayılmasının memba veya mansap doğrultusunda mümkün olabileceğini ifade eder.

(3-32) ve (3-33)'de ki dört denklem karakteristikler için toplam türevlerdir. Bunlar (3-1) ve (3-2) Saint-Venant denklemlerinde yerine konur.

C^+ ve C^- karakteristik eğrileri grafik olarak x ve t düzleminde Şekil 3.2'de ki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.2 Karakteristikler

BÖLÜM DÖRT

DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

4.1 DeneY DüZeneğinin Tanıtımı

Açık kanallarda, farklı eğimlerde zamanla değişen akım koşullarını araştırmak amacıyla Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tınaztepe Kampüsü' ndeki Hidrolik Laboratuvarı'nda kapsamlı bir deney düzeneği inşa edilmiştir. Bu deney sistemi TÜBİTAK 106M274 nolu proje kapsamında kararlı ve kararsız akımlarda katı madde taşınmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması amacıyla tasarlanmış ve inşa edilmiştir.

Çelik yapı olarak imal edilen kanal, Şekil 4.1' de görüldüğü gibi, 1,5 metresi sakinleştirme bölümü olmak üzere toplam 20,1 m uzunluğundadır. Yan duvarları pleksiglas, tabanı saç olarak imal edilen kanal 80 cm genişliğinde, 75 cm yüksekliğindedir. Ayrıca eğimi 0,01 ile 0,00001 arasında değişebilmektedir.

18,5 Kw gücündeki pompa 27 m³ hacmindeki ana su deposundan suyu alarak Φ 160 mm boru ile kanal membasındaki sakinleştirme havuzuna vermektedir. Burada sakinleşen su kanal boyunca akışına devam etmektedir. Kanaldaki suyun debisi kanal sonunda, su deposu üzerine yerleştirilen dikdörtgen savakla ölçülebilmektedir. Yan büzülmesi olmayan bu dikdörtgen savağın(Bazin savağı) savak genişliği l=80 cm ve eşik yüksekliği p=30 cm'dir. Ayrıca savağın tabanına bağlanan piyezometre borusu , savak yükünün ölçülmesine imkan vermektedir.

Kanalda taşkın dalgası oluşturabilmek için iki adet feyezan verme su deposu yerleştirilmiştir. Feyezan verme depolarının çıkışlarında yerleştirilen vanalar ile farklı pik debi ve sürelerde hidrograflar oluşturulabilmektedir. UVP cihazına bağlı algılayıcılar kanal üzerinde ve pompa basma hattı üzerine yerleştirilerek, zamana bağlı olarak istenilen kesitte hız profili çıkartılabilmiş, aynı zamanda debi ölçümü de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Deney sisteminin genel görünümü

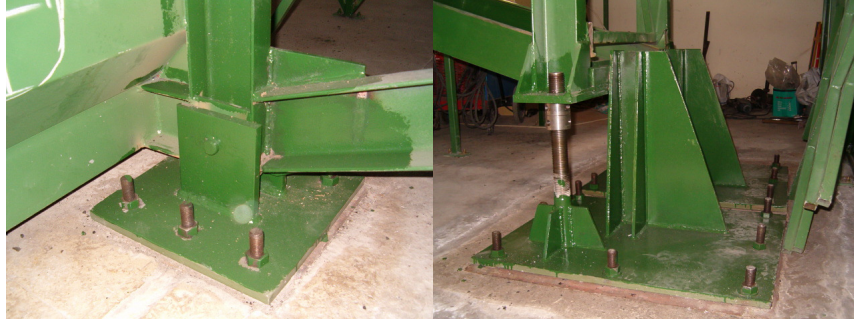
Genel olarak deney sistemi;

1. Kanal ve Sakinleştirme Havuzu
2. Feyezan Verme Su Depoları
3. Ana Su Deposu
4. İnce kenarlı büzülmesiz dikdörtgen savak
5. Platform
6. Debisi ayarlanabilen pompa içeren besleme hattı
7. Taşkın hidrografının pompaya ileildiği kumanda sisteminden oluşmaktadır.

4.1.1 Kanal ve Sakinleştirme Havuzu, Besleme Hattı ve Kumanda Panosu

Kanal yan duvarları 75 cm, kanal genişliği 80 cm, kanal uzunluğu 18,6 m, sakinleştirme havuzu 1,5 m, toplam uzunluk 20,1 m'dir. Suyun sakınlaşması için yapılan sakınleştirme havuzu içine delikli saçtan üç levha yerleştirilmiştir

Memba ve mansap mesnedi detayları Şekil 4.2' de verilmiştir. Kanalın mansap ucunda yer alan sonsuz vida vasıtası ile mansap uç aşağı/yukarı doğru hareket ettirilerek kanala 0,01 ile 0,00001 arasında değişebilen eğim verilebilmektedir.



Şekil 4.2 Memba ve mansap uçlarındaki ayaklar

Besleme hattı üzerine yerleştirilen 18,5 kW gücündeki pompa ile devir-daim sağlanmaktadır (Şekil 4.3). Pompanın kumanda sistemi Şekil 4.4' de verilen panoda yer almaktadır. Debi ayarı, pompanın basma ağzına yerleştirilmiş küresel vana ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 18,5 Kw gücünde pompa ve küresel vana



Şekil 4.4 Elektrik panosu

Kanalın mansap sınır şartları, kanalın sonuna yerleştirilen bir panjur sistemi ile kontrol edilebilmektedir. Şekil 4.5’ da verilen bu sistem, üzerinde kolun çevrilmesi ile tam açık ile tam kapalı arasında çeşitli açıklıkları verebilmektedir.



Şekil 4.5 Mansap ucundaki panjur

4.1.2 Feyezan Verme Su Depoları

Kararsız akım şartlarının oluşturulması için kullanılacak feyezan verme su depoları, alt alta yerleştirilmiş iki depodan oluşmaktadır. Üst kısımda yer alan birinci feyezan tankı 3 m³ aşağıda yer alan ikinci feyezan tankı 1 m³ hacindedir (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 Feyezan verme su depoları

Birinci feyezan tankının ucunda bulunan 200 mm çapındaki kelebek vananın açıklığı hızlı bir şekilde ayarlanabilir olup ikinci feyezan tankına su vermektedir. İkinci feyezan tankının çıkışına yerleştirilen aynı tipte bir vana ve sonrasındaki 200mm çapındaki HDPE borular ile kanala klasik hidrograf şeklinde feyezan debisi verilerek kanalda kararsız akım koşulları oluşturulmaktadır. Feyezan tankları, ana su deposundan Şekil 4.7’de verilen küçük bir pompa ile doldurulmaktadır.



Şekil 4.7 Feyezan verme deposuna su sağlayan pompa

4.1.3 Ana Su Deposu ve İnce Kenarlı Dikdörtgen Savak

Ana su deposu kanalın mansap ucunda yer almakta olup taban alanı 3 m x 6 m olmak üzere 18 m²'dir. Deponun yüksekliği 1,5 m ve hacmi 27 m³'tür. Savak için bir birine dik iki ray sistemi imal edilmiştir. Savağı taşıyan raylar ileri geri hareket etmektedir. Ana su deposu ve savağın genel görünümü Şekil 4.8'de verilmiştir.



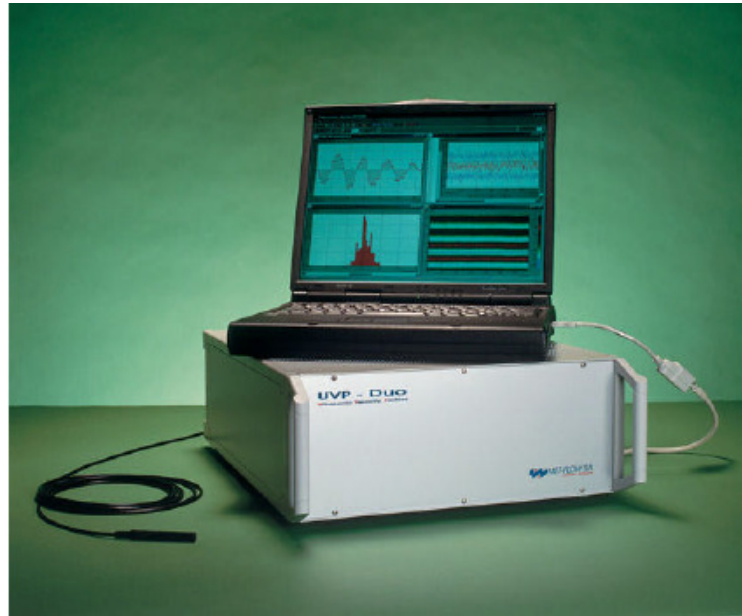
Şekil 4.8 Ana su deposu ve dikdörtgen savak

4.1.4 Platform

Platform, kanalın yanında, kanal boyunca 1 m genişliğinde ve laboratuvar tabanından 1,8 m yükseklikte imal edilmiştir. Platform ana su deposuna doğru uzanmaktadır. Platforma çıkılabilmesi için ayrıca bir merdiven yapılmıştır.

4.2 Ultrasonik Yöntemle Hız Profiline Çıkartılması

Hidromekanikte debi ölçümünün yapıldığı birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden Doppler Yöntemi; bir kaynaktan ses üstü dalganın yayılmasıyla ve bu dalganın hareket eden bir parçacıktan yansdıktan sonraki frekans değişiminin saptanmasına bağlı olarak çalışır. Bu parçacıklar akışı rahatsız etmez. Belli bir noktaya odaklanan sinyaller bu noktadan geçen partiküllerin saçılmasını sağlar. Saçılan sinyallerin frekansı parçacık hızına bağlı olarak değişir.

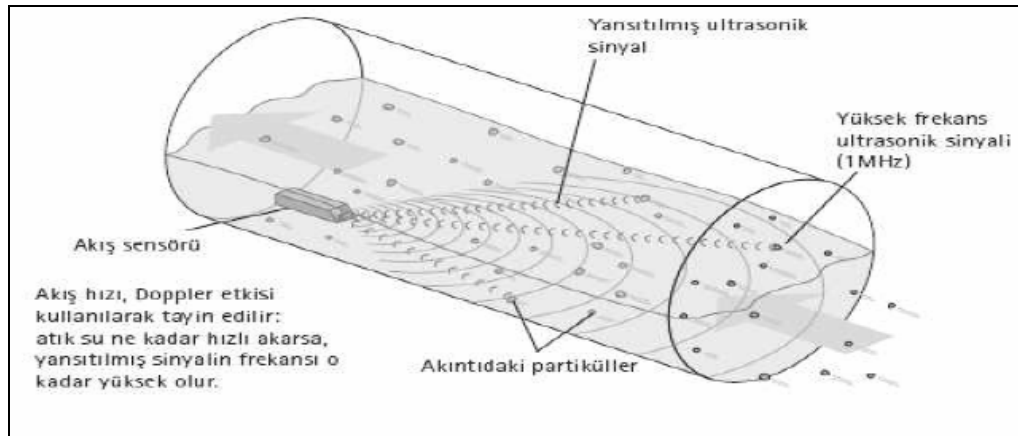


Şekil 4.9 UVP Cihazının görünümü(UVP cihazı kullanım klavuzu)

UVP-DUO MX(Şekil 4.9) ile ultrasonik ses dalgaları kullanarak hız ölçümü kesikli dalga üretimi ile yapılır. Bu yöntemde dalgayı üreten ve ortama salınmasını sağlayan tek bir algılayıcı vardır. Daha sonra dalga üretimi kesilir ve dinleme

moduna geçilir. Ölçüm yapılacak en uzak noktaya gidip gelen dalganın, geçen bu süredeki yansımaları dinlenir. Sinyalin yansımasının gecikme süresinden, uzaklık hesaplanır.

Ses dalgalarını kullanarak hız ölçümünde ultrasonik ses dalgaları kullanılır. Bu dalgalar Şekil 4.10' da görülen ve su içinde bulunabilecek küçük parçacıklara çarparlar. Eğer su temiz ise ve içinde parçacık bulundurmuyorsa, ultrasonik ses dalgalarının çarpacağı ve yansıyacağı farklı bir ortam olmayacağından, hız ölçümü de yapılamayacaktır. Bu sebeple elektroliz yardımıyla daha düzgün okumaların yapılması sağlanmıştır. Kanala daldırılan iki elektrottan bir tanesi üreticin pozitif(anot) kutbuna diğeri de negatif(katot) kutbuna bağlanır. Suyun elektrolizi olayı ile bir nevi kabarcıklar oluşarak düzgün okuma yapılması sağlanır.



Şekil 4.10 Doppler olayı(Akyazı, Güzel, Çataklı, Karadurmuş, 2007)

Algılayıcı tarafından salınan ses dalgası ortamda yol alır ve önündeki bir parçacığa çarparak yansır ve algılayıcıya geri döner. Salınan dalganın geri dönmesine kadar geçen gecikme süresi ve ses hızı kullanılarak, parçacıkların konumu hesaplanır. Eğer parçacığın hızı sabit ise ya da dalga yayılma yönüne dik hareket ediyorsa, gönderilen ses dalgasının frekansı ve dalga boyu değişmez. Ancak Doppler olayına göre, eğer parçacık algılayıcıya doğru yaklaşıyorsa algılayıcı tarafından yansıyan dalganın frekansı artmış, eğer uzaklaşıyorsa yansıyan dalganın frekansı azalmış olarak algılanır. Ses dalgasının yayılma hızı sabit olduğundan yaklaşan parçacıktan yansıyan dalga boyu daha kısa, uzaklaşan parçacıktan yansıyan dalga

boyu daha uzun olur. Frekans ile dalga boyunun çarpımı sabit ve ses hızı olduğundan aralarında ters orantı vardır.

Cihazın işleyişi;

i) Ultrasonik yöntemle hız profili çıkartan cihaz açık kanal ya da basınçlı akım koşullarında hız ölçümünü yaparak o kesitin profilini çıkartabilir. Bu işlemleri yapması için gereken program (UVP for Optek Firmware) daha sonra ethernet bağlantısı ile bağlanacak bilgisayarda bulunur. Algılayıcılar cihaza bağlanır.

ii) Algılayıcı, yüksek frekanslı elektrik sinyallerini yüksek frekanslı mekanik titreşimlere dönüştürebilen bir cihazdır. Yüksek frekanslı titreşimler, ses dalgaları üretir ve (elastisite dolayısıyla) algılayıcının aktif yüzünü çevreleyen ortama aktarılırlar. Dalgaların taşındığı ortam sıvı ya da katı olabilir. Bu şekilde, algılayıcılar ultrasonik dalgalar üretirler.

iii) Diğer yandan, algılayıcı ultrasonik dalgaların algılanması görevini de üstlenmiş olur (receiver, sensor). Ultrasonik atım algılayıcıya eriştiği zaman, algılayıcı, ultrasonik - mekanik uyarı ile doğru orantılı bir elektrik sinyali üretir.

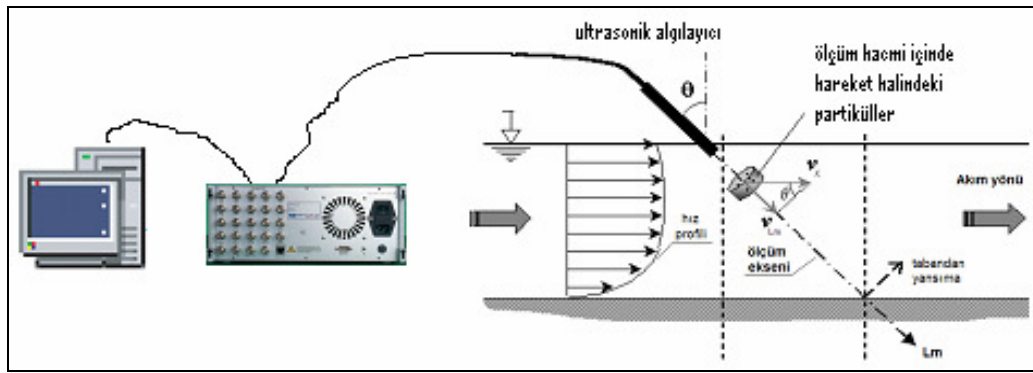
iv) Büyük açılarda Doppler kayması daha küçük olacağından, böyle durumlarda sistemin duyarlılığında azalma görülür. Bu nedenle 60 – 70 dereceden büyük açılar kullanarak Doppler ölçümü yapmak uygun değildir.

v) Salınan frekansın miktarı ile saçılma ve yayılma doğrudan ilişkilidir. Yüksek frekanslı salınımlarda saçılma fazladır ve geri dönen yansımalar kuvvetli olur. Ancak zayıflamada, yüksek frekans daha fazla olumsuz etkileyecektir. (UVP cihazı teknik kılavuzu)

Bu deney düzeneğinde hız ölçümleri akustik yöntemle çalışan ve yukarıda bahsedilen UVP DUO-MX (Met-Flow SA) isimli cihaz ile gerçekleştirilmektedir. Bu cihaz serbest yüzeyli açık kanal veya basınçlı akım koşullarında, yüksek frekanslı ses

dalgalarını akım içine göndermekte ve Doppler prensibine göre geri yansıyan dalgalarındaki frekans değişimini analiz ederek, en kesit içerisinde noktasal hızları ölçüp hız profili çıkartabilmektedir. Cihaz, kendisine bağlanan algılayıcılar (algılayıcılar) vasıtası ile 0,5 – 1 – 2 ve 4 MHz frekansları yayabilmekte, kullanıcıya ait bir bilgisayara bağlanarak değerleri bilgisayara aktarabilmektedir(Şekil 4.11).

Cihazın içinde bulunan “multiplexer” ile aynı tipte olmak koşuluyla, birden fazla algılayıcı ile farklı akım kesitlerinde aynı anda hız profili çıkartabilmektedir. Bu prensip ile iki boyutlu hız ölçümü de yapılabilmekte, akım haritası oluşturabilmektedir.



Şekil 4.11 UVP DUO-MX ile hız profilinin belirlenmesi

UVP DUO-MX ile kanal boyunca belli kesitlerde hız profili çıkartılarak o kesitteki ortalama hız bulunmuştur.

Ayrıca kararlı akımda debi ölçümü için kanal mansabındaki ana su deposu üzerine yan büzülmesiz keskin kenarlı dikdörtgen savak (Bazin Savağı) yerleştirilmiştir. Böylece UVP cihazından farklı olarak da debi ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Bazin savağı

4.3 Pompa Debisi Kontrol Cihazı

Deneyle sırasında istediğimiz tipte hidrograflar elde etmek için pompa debisini (devir hızını) kontrol cihazı kullanılmıştır(Şekil 4.13). Bu cihaz laboratuvar içerisindeki kanala su basan pompaya bağlıdır. Cihaz, bir bilgisayara bağlanarak önceden yüklenmiş yazılım sayesinde kontrol edilmektedir. Bu yazılımda, frekans değerleri, hidrografın yükselme zamanı, alçalma zamanı gibi parametreler girilerek çeşitli hidrograflar oluşturulmakta ya da sabit frekansta kararlı akımlar elde edilmektedir.



Şekil 4.13 Pompa debisini kontrol cihazı

4.4 Problar

Kanalın belirli kesitlerine yerleştirilen problar ve kablolardan yararlanarak problar arasındaki dirençler ölçülmektedir(Şekil 4.14).

Öz direnci $\rho(\Omega.m)$, uzunluğu l (m) ve kesit alanı A (m^2) olan iletken bir telin direnci $R(\Omega)$, Ohm kanununa göre;

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4-1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Kanal cidarlarına karşılıklı olarak yerleştirilen iletken probların aralarındaki uzaklık kanal genişliği(B)' ye eşit olmak üzere, iletken problar arasındaki direnç için;

$$R = \rho \frac{B}{A} \quad (4-2)$$

yazılabilmektedir. (4-2) denkleminde kanal genişliği B ve iletken prob olarak kullanılan malzemeye bağlı olan öz direnç ρ sabittir. İletken kesiti olarak suyla ıslanan yüzey göz önüne alındığından B genişliği sabit olup kesit A, su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Kanal içerisindeki su derinlikleri arttıkça kanal eksenine dik olan kesit A 'nın değerleri artmakta ve ters orantıdan dolayı direnç değerleri azalmaktadır. Benzer şekilde kanal içerisindeki su derinlikleri azaldıkça A' nın değerleri azalmakta direnç değerleri ise artmaktadır.



Şekil 4.14 Direnç ölçerler

4.5 Seviye Ölçer

Kanal içerisindeki su seviyeleri Pulsar IMP + seviye ölçer ile ölçülmüştür(Şekil 4.15). İki adet seviye ölçer ile aynı anda iki farklı kesitte ölçüm yapılabilmektedir. Deney kapsamında kullanılan bu seviye ölçerin IMP 3 versiyonu 0,15m - 3 m aralığındaki seviyeler için ölçüm yapabilmekte ve üzerindeki ekranda seviye,boşluk ve mesafeleri gösterebilmektedir. Üzerindeki vidalama sistemi sayesinde kanalın üzerine yerleştirilirken minimum boşluk mesafesine(bu versiyon için 15 cm) dikkat edilerek ahşap profil üzerine monte edilmiştir. Cihazdan çıkan iki kablodan bir tanesi güç kablosu olarak prize diğeri monitöre bağlanmak suretiyle kurulum tamamlanır.



Şekil 4.15 Seviye ölçer

4.6 Debi Ölçer

Deney kapsamında ki debi ölçümleri için besleme hattı üzerine montajı yapılan IFC 300 elektromanyetik debi ölçer kullanılmıştır (Şekil 4.16). Kurulum koşulu olarak memba yönünde boru çapının 4 katı ve mansap yönünde ise 2 katı kadar mesafede düzgün akım şartı gerekmektedir.



Şekil 4.16 Debi ölçer

BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Giriş Hidrografını Sağlayan Debi Kontrol Cihazının Kalibrasyonu

Frekansa bağlı olarak debi değerlerini belirlemek amacıyla debi kontrol cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Değişik dönüş hızlarında, cihazdan okunan frekans değerleri, UVP cihazıyla kanalda ölçülen kesitsel ortalama hızlar ve su derinlikleri yardımıyla belirlenen debilerle ilişkilendirilmiştir. Okunan frekans (F), ölçülen hız (U) ve su derinliği (h) değerleri ile hesaplanan debi (Q) değerleri Tablo 5.1’de verilmektedir.

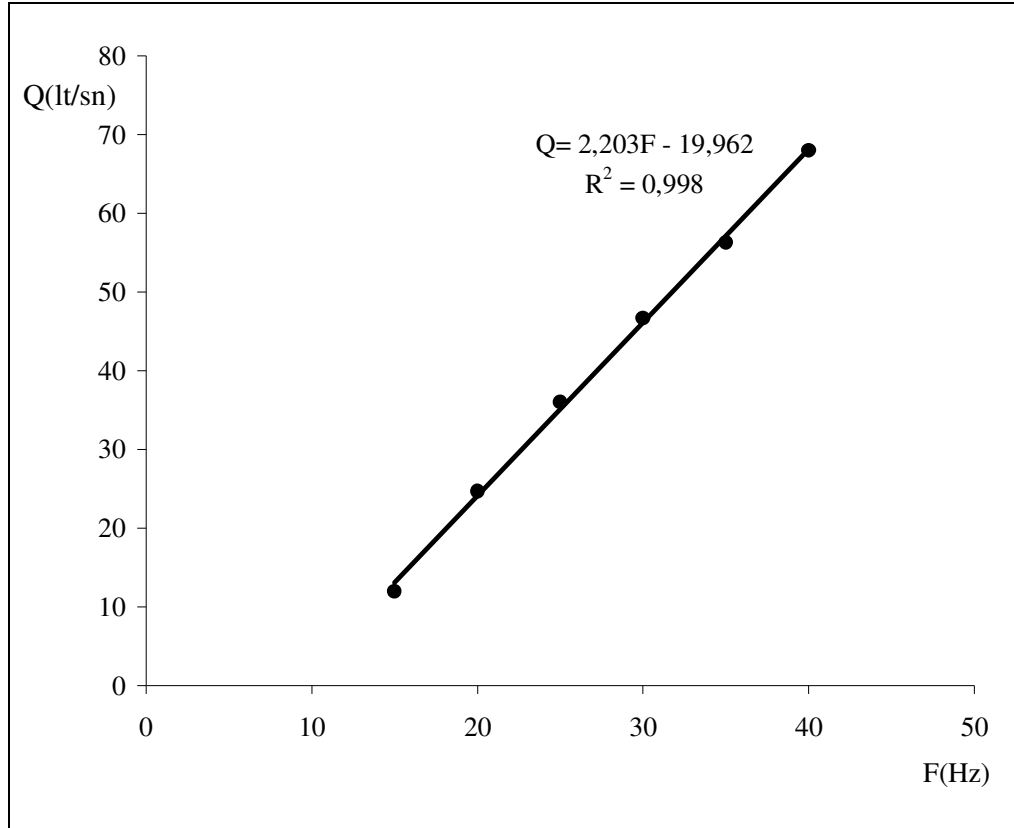
Tablo 5.1 Debisi ayarlanabilen pompa için frekans-debi değerleri

F(Hz)	U(cm/sn)	h(cm)	Q(lt/sn)
15	37,5	4,0	12,0
20	52,3	5,9	24,7
25	62,5	7,2	36,0
30	70,3	8,3	46,7
35	75,7	9,3	56,3
40	83,3	10,2	68,0

Tablo 5.1 de verilen değerler kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve Şekil 5.1 ‘de grafiği verilen

$$Q=2,203 \cdot F-19,962 \quad (5-1)$$

bağıntısı elde edilmiştir.



Şekil 5.1 F(Hz)-Q(lt/sn) regresyon analizi

5.2 Dikdörtgen Savaşın Kalibrasyonu

Deney sisteminde yer alan yan büzülmesiz ince kenarlı dikdörtgen savaşın

$$Q = \mu * l * \sqrt{2 * g} * h_s^{3/2} \quad (5-2)$$

şeklindeki debi formülünde yer alan μ savak katsayısının kalibrasyonunu yapmak için bir taraftan debi kontrol cihazından diğer taraftan debimetreden okunan değerler kullanılmıştır. Burada savak genişliği ($l=80$ cm) ,savak yükü ise h_s ile ifade edilmektedir.

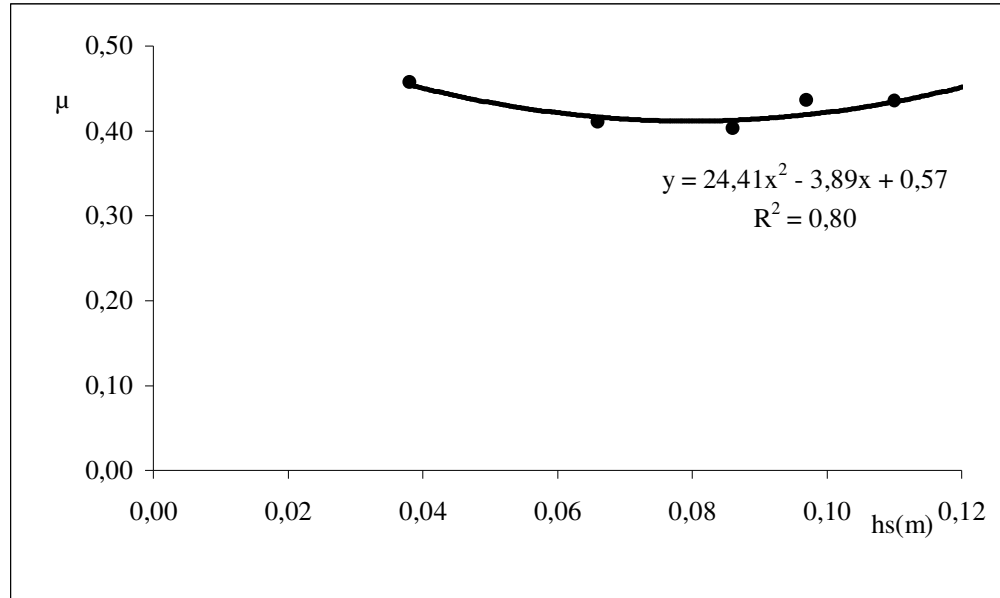
Kalibrasyon deneyi yapılırken hız kontrol cihazı sabit frekanslarda çalıştırılarak kararlı akım sağlanmıştır. Kanaldan geçen sabit frekanslarda ki debiler için savaşın altına yerleştirilen piyezometre borusundan faydalanarak savak okumaları yapılmış

ve savak yükleri belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler Tablo 5.2' de verilmektedir. Tabloda debi kontrol cihazı ile yapılan ölçümlerdeki debiler Q_{ks} , debi ölçer ile yapılan ölçümler Q_d ile ifade edilmiştir.

Tablo 5.2 Debimetre ve kontrol sisteminde debi katsayısı (μ) ve debi (Q) değerleri

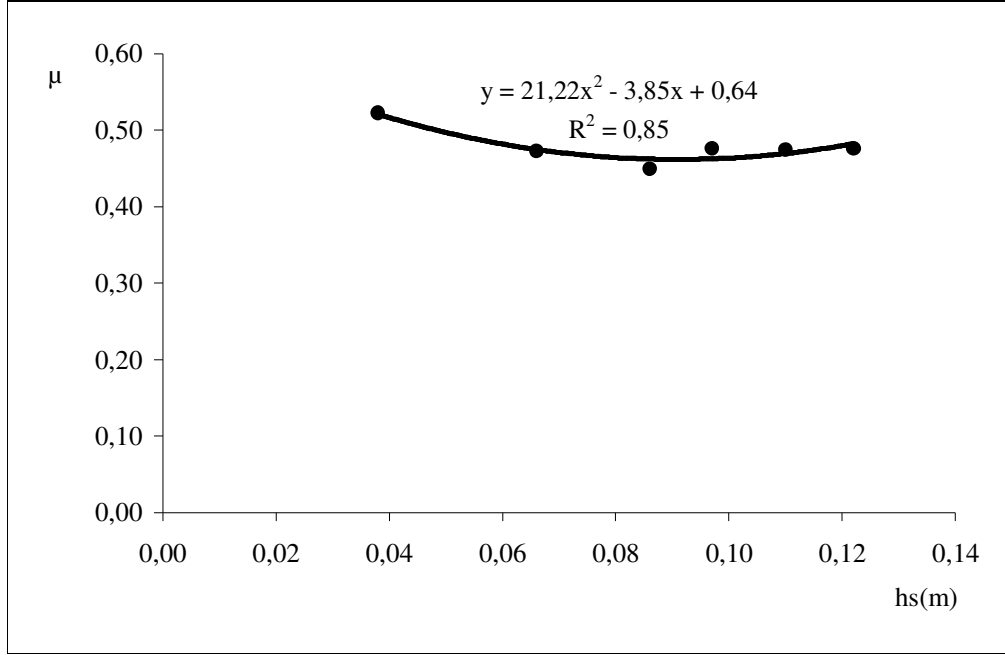
F(Hz)	h_s (cm)	h_s (m)	Q_{ks} (m ³ /sn)	μ_{ks}	Q_d (m ³ /sn)	μ_d
15	3,8	0,038	0,0120	0,4572	0,0137	0,5227
20	6,6	0,066	0,0247	0,4111	0,0284	0,4728
25	8,6	0,086	0,0360	0,4028	0,0402	0,4497
30	9,7	0,097	0,0467	0,4362	0,0510	0,4761
35	11,0	0,110	0,0563	0,4355	0,0614	0,4746
40	12,2	0,122	0,0680	0,4503	0,0719	0,4761

Tablo 5.2' de elde edilen değerler kullanılarak yapılan regresyon analizi sonunda grafiği Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' de verilen eğriler elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Debi kontrol cihazında ölçülen değerlerle savak katsayısı(μ)-savak yükü(h_s) grafiği

Ölçüm aralığında savak katsayısının sabit olduğu varsayıldığında $\mu=0,45$ değeri elde edilmektedir.



Şekil 5.3 Debimetre ile ölçülen değerlerle savak katsayısı(μ)-savak yükü(h_s) grafiği

Ölçüm aralığında savak katsayısının sabit olduğu varsayıldığında $\mu=0,47$ değeri elde edilmektedir.

Yan büzülmesiz ince kenarlı dikdörtgen savağın debi formülünde

$$K = \mu * l * \sqrt{2g} \quad (5-3)$$

şeklinde yazılırsa (5-2) ifadesi aşağıdaki şekle dönüşür.

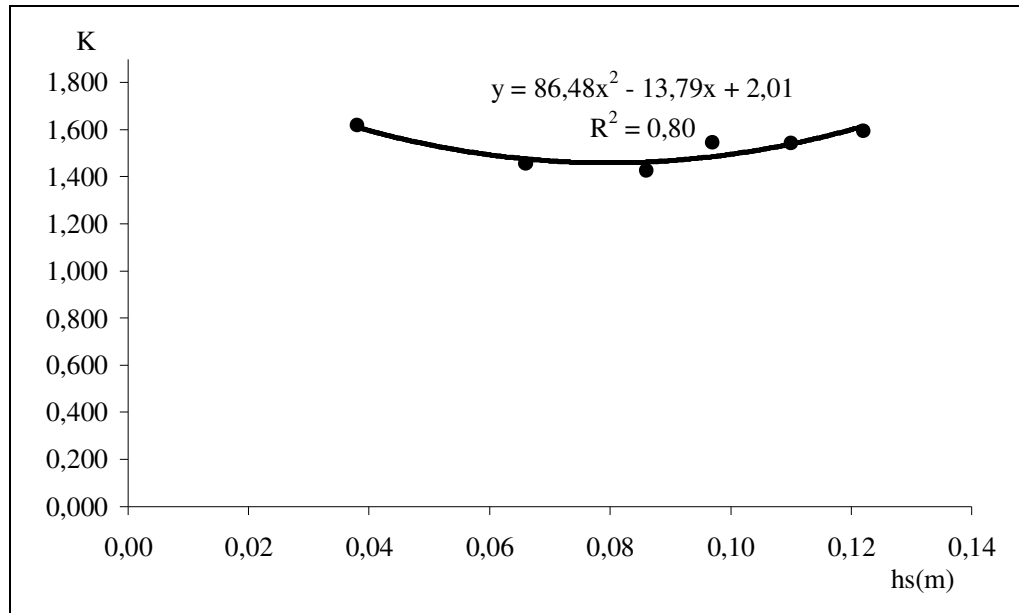
$$Q = K * h_s^{3/2} \quad (5-4)$$

(5-4) formülündeki K katsayısı için ölçülen ve hesaplanan değerler Tablo 5.3' de verilmektedir.

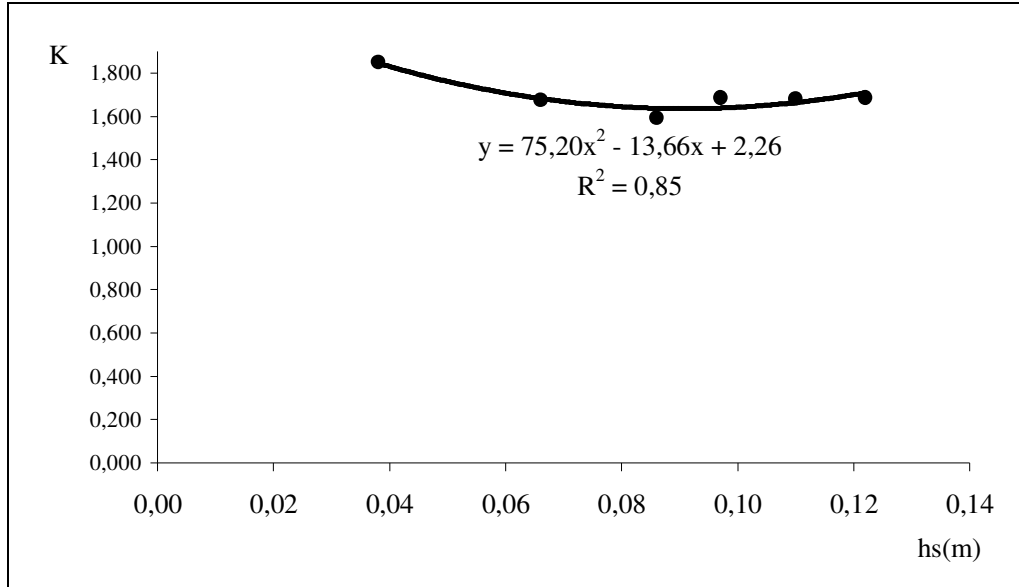
Tablo 5.3 Debimetre ve kontrol sisteminde debi katsayısı (K) ve debi (Q) değerleri

F	h_s	h_s	Q_{ks}	K_{ks}	Q_d	K_d
Hz	cm	m	m^3/sn	$m^{3/2}/sn$	m^3/sn	$m^{3/2}/sn$
15	3,8	0,038	0,0120	1,6200	0,0137	1,8522
20	6,6	0,066	0,0247	1,4567	0,0284	1,6755
25	8,6	0,086	0,0360	1,4274	0,0402	1,5934
30	9,7	0,097	0,0467	1,5458	0,0510	1,6872
35	11,0	0,110	0,0563	1,5432	0,0614	1,6816
40	12,2	0,122	0,0680	1,5958	0,0719	1,6871

Tablo 5.3' de elde edilen değerler kullanılarak yapılan regresyon analizi sonunda grafiği Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de verilen eğriler elde edilmiştir.

Şekil 5.4 Debi kontrol cihazı ile ölçülen değerlerle (K) katsayısı-savak yükü(h_s) grafiği

Ölçüm aralığında K katsayısının sabit olduğu varsayıldığında $K=1,5$ değeri elde edilmektedir.



Şekil 5.5 Debimetre ile ölçülen değerlerle (K) katsayısı-savak yükü(h_s) grafiği

Ölçüm aralığında K =sabit varsayımıyla $K=1,63$ değeri elde edilmektedir.

Savak yükü h ve eşik yüksekliği p ($p=30$ cm) ile gösterilirse debi katsayısı (μ) için verilen formüllerin bir bölümü şöyledir (Güney, 2006):

Bazin(1898):

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,075 + \frac{0,0045}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (5-5)$$

Rehbock(1912):

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,605 + \frac{1}{1050 * h - 3} + 0,08 * \frac{h}{p} \right) \quad (5-6)$$

S.I.A.S.(İsviçre Mühendisler ve Mimarlar Odası)(1947):

$$\mu = \frac{2}{3} * 0,615 * \left(1 + \frac{1}{1000h + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (5-7)$$

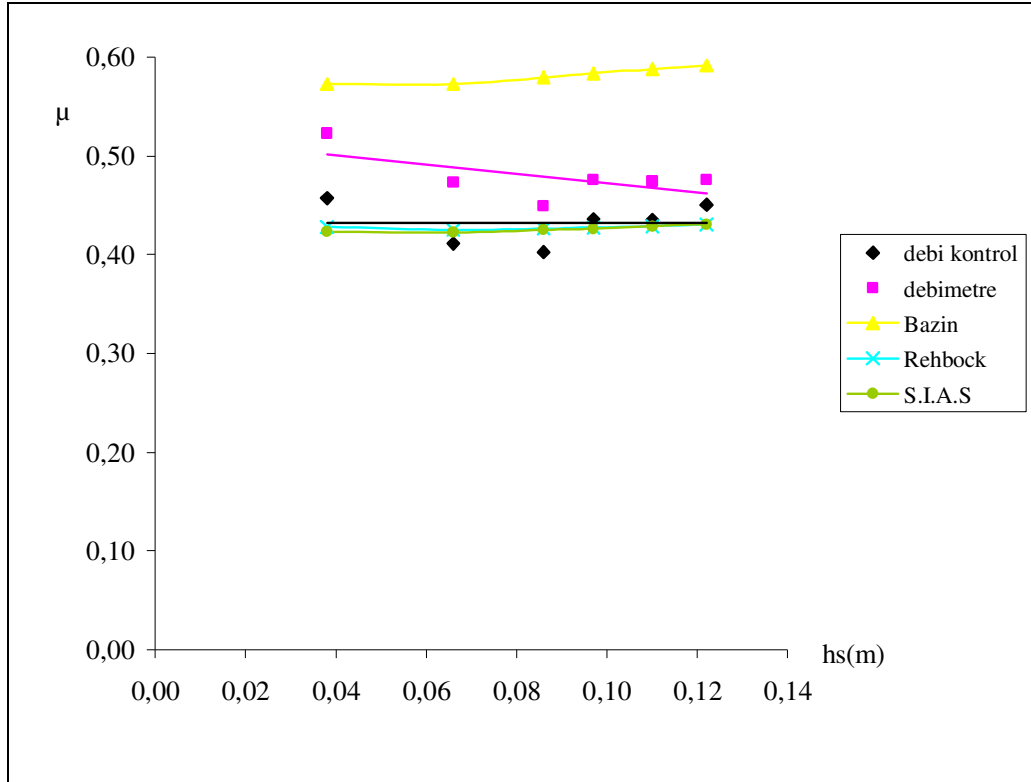
Debimetre ve debi kontrol cihazından hesaplanan değerlerler yukarıdaki teorik formüllerden hesaplanan değerler Tablo 5.4’de verilmektedir.

Tablo 5.4 Literatürdeki debi katsayısı – debi(m³/sn) değerleri

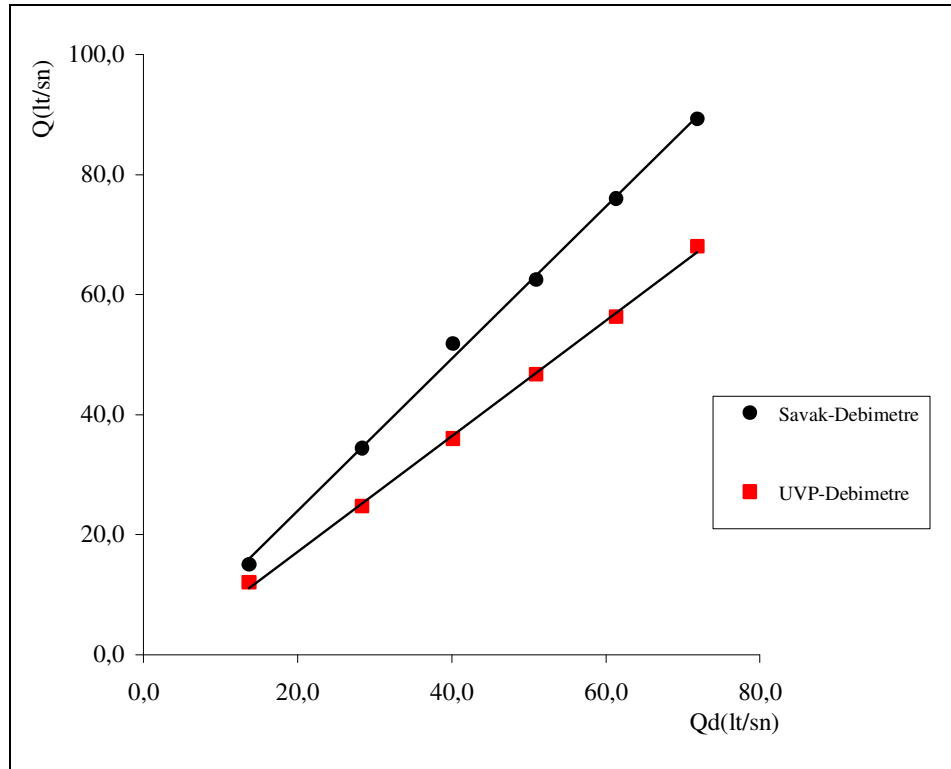
Savak Yüğü		Bazin		Rehbock		S.I.A.S	
h	h ^{3/2}	μ	Q	μ	Q	μ	Q
m	m ^{3/2}	m	m ³ /sn	m	m ³ /sn	m	m ³ /sn
0,038	0,0074	0,5725	0,0150	0,4282	0,0112	0,4230	0,0111
0,066	0,0170	0,5725	0,0344	0,4251	0,0255	0,4228	0,0254
0,086	0,0252	0,5795	0,0518	0,4263	0,0381	0,4250	0,0380
0,097	0,0302	0,5835	0,0625	0,4273	0,0457	0,4265	0,0457
0,110	0,0365	0,5878	0,0760	0,4288	0,0554	0,4286	0,0554
0,122	0,0426	0,5915	0,0893	0,4304	0,0650	0,4306	0,0650

Tablo 5.2’ de deneysel elde edilen ve Tablo 5.4’ de literatürden elde edilen μ değerleri ve buna karşı gelen Q değerleri kullanılarak elde edilen grafik Şekil 5.6’ da verilmiştir.

Savaktan ve UVP cihazından bulunan debiler ile debimetre cihazından bulunan debilerin karşılaştırılması Şekil 5.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Savak katsayısı için deneysel ve teorik değerler grafiği



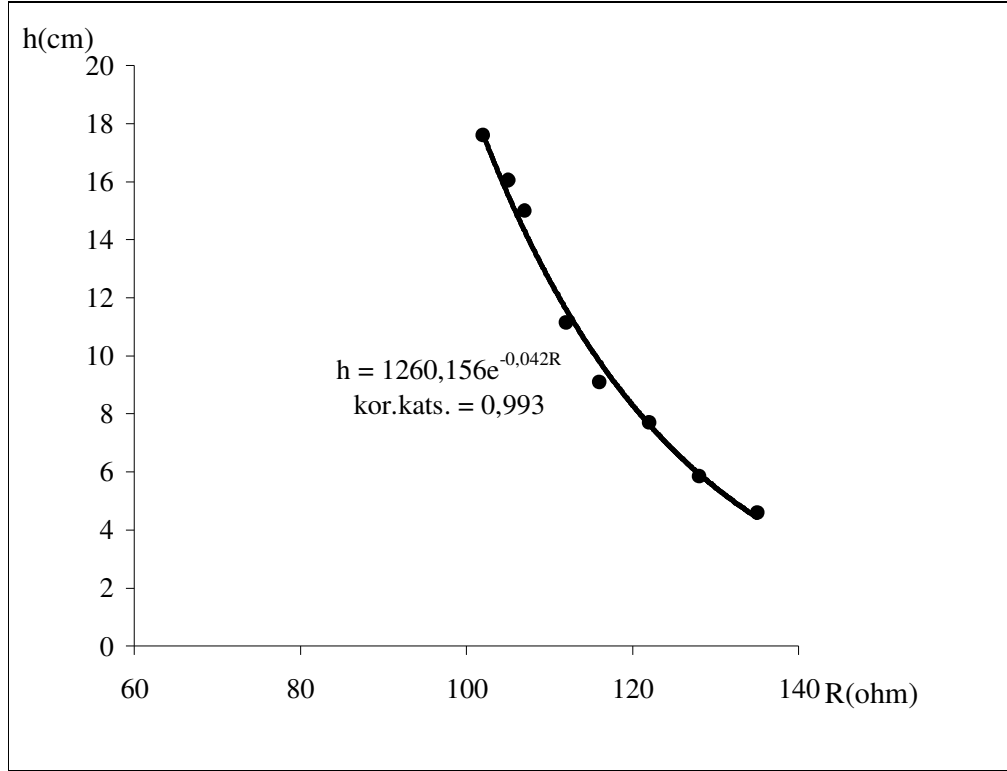
Şekil 5.7 UVP & Debimetre ve Savak & Debimetre debilerinin karşılaştırılması

5.3 Problar İçin Derinlik-Direnç Kalibrasyonu

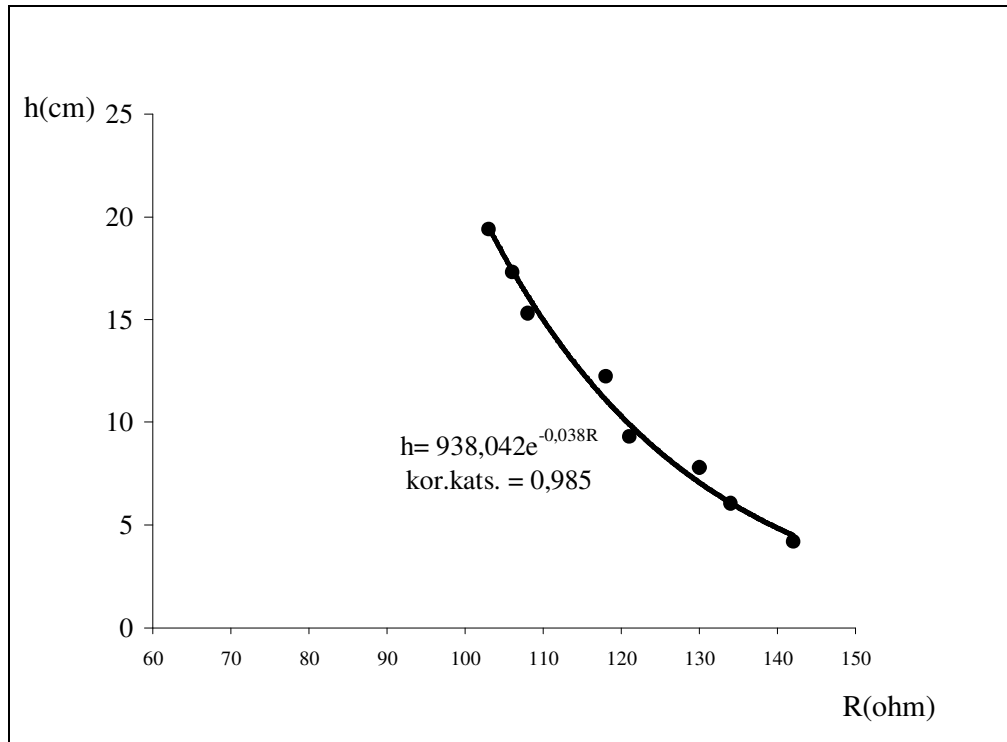
Kanaldaki su derinliklerini, direnç (iletkenliğin tersi) yardımıyla ölçmek için imal ettirilen cihazlar için öncelikle derinlik-direnç bağıntısını elde etmek amacıyla kanalda ölçümler yapılmıştır. Durgun halde su yüksekliği seviye ölçer ile ölçülmüştür. Kanalın iki ölçüm kesitine ($x=4m$ ve $x=14m$) yerleştirilen iletken çubuklar ve cihaz yardımıyla istenilen kesitteki iletken teller arasındaki direnç ölçülmekte elde edilen değerler bilgisayara aktarılmaktadır. Ölçüm yapılan kesitlerde ki su seviyelerini belirlemek için iki adet seviye ölçer kullanılmış ve sonuçlar ekrandan izlenmiştir. Kalibrasyon için ölçümler yeterince tekrarlanarak direnç ve su derinliğini veren en doğru kalibrasyon eğrisi belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.5’de, yapılan kalibrasyon sonunda elde edilen analitik bağıntı ve grafiği Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’ de verilmektedir.

Tablo 5.5 Kalibrasyon değerleri

1.Kesit		2. Kesit	
h	R	h	R
cm	ohm	cm	ohm
4,6	135	4,2	142
5,9	128	6,1	134
7,7	122	7,8	130
9,1	116	9,3	121
11,2	112	12,3	118
15,0	107	15,3	108
16,1	105	17,3	106
17,6	102	19,4	103



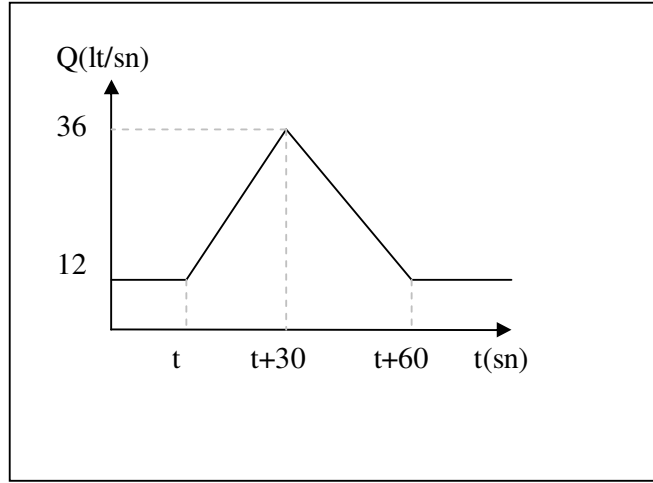
Şekil 5.8 Birinci cihaz için kalibrasyon değerleri ve analitik bağıntı eğrisi



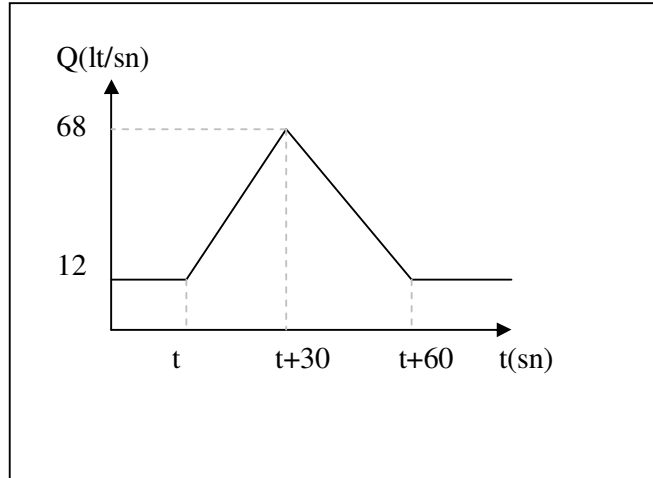
Şekil 5.9 İkinci cihaz için kalibrasyon değerleri ve analitik bağıntı

5.4 Dalga Yayılması Sonucunda Su Derinliklerinin Zamanla Değişimleri

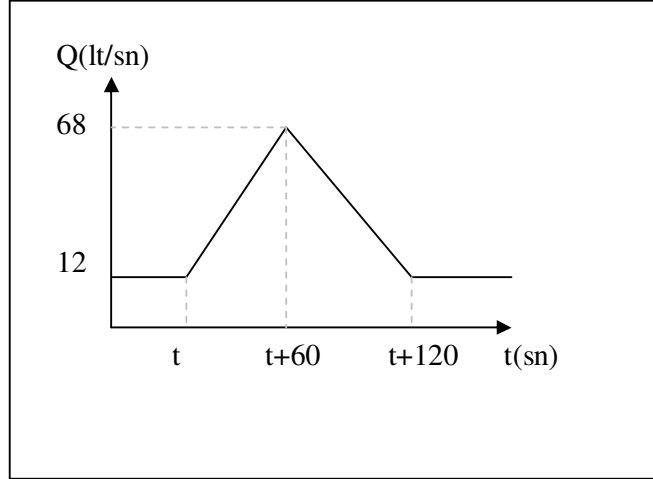
Şekil 5.10 , 5.11 ve 5.12' de verilen giriş hidrografları ile dalgalar oluşturulmuş ve kanal üzerindeki iki farklı kesitte seviye ölçümleri yapılmıştır. Bu kesitlerdeki seviye ölçümleri direnç ölçer ve seviye ölçer ile olmak üzere iki farklı yöntemle de yapılmıştır.



Şekil 5.10 Birinci hidrograf



Şekil 5.11 İkinci hidrograf



Şekil 5.12 Üçüncü hidrograf

5.4.1 Seviye Ölçer Kullanılarak Ölçülen Su Derinlikleri

Üç farklı hidrograf için kanal üzerinde $x=6$ m ve $x=15$ metredeki kesitlere yerleştirilen iki adet Pulsar IMP + seviye ölçerleri ile seviye ölçümleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar kayıt cihazından $\Delta t=5$ sn olmak üzere alınmıştır. Zamana bağlı olarak elde edilen su derinlikleri Tablo 5.6, 5.7 ve 5.8' de verilmiştir ve Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15' de gösterilmiştir.

5.4.2 Problar Kullanılarak Ölçülen Su Derinlikleri

Üç farklı hidrograf için kanal üzerinde $x=4$ m ve $x=14$ metredeki kesitlere yerleştirilen problar ile seviye ölçümleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar $\Delta t=5$ sn olacak şekilde direnç ölçerden alınmıştır. Direnç ölçerlerin kalibrasyonu yapılırken çıkartılan ve Şekil 5.3 ve 5.4' de gösterilen analitik ifadeler kullanılarak belirlenen su seviyeleri Tablo 5.9, 5.10 ve 5.11' de verilmiştir. Su derinliklerinin zamana göre değişimleri Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18' de gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Birinci hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

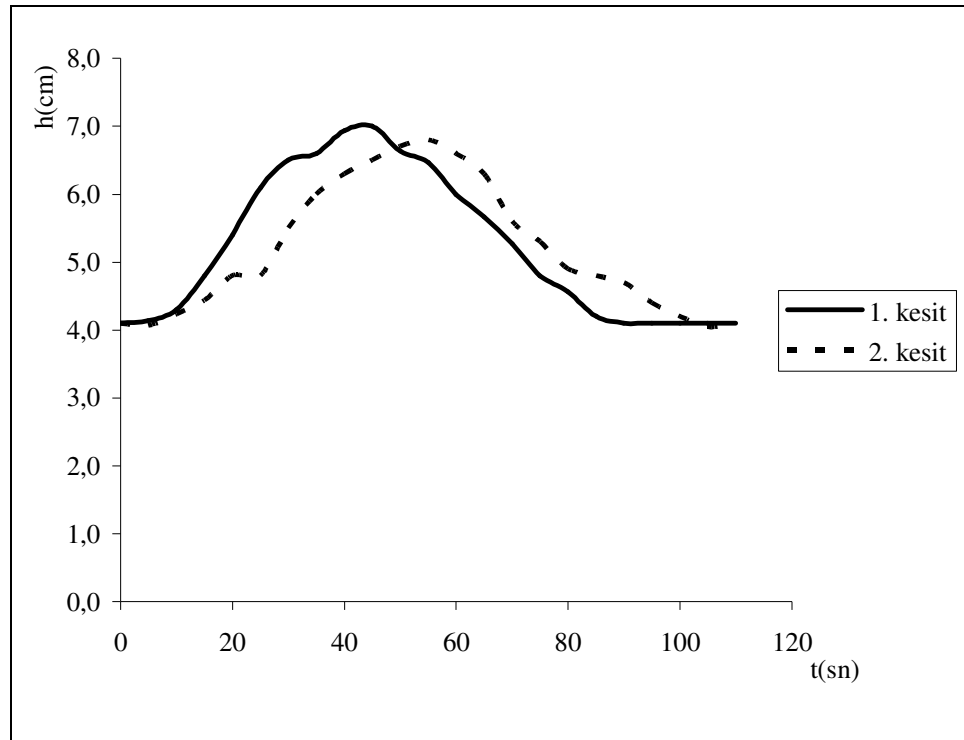
Birinci Hidrograf		
Zaman	Kesit 1	Kesit 2
t(sn)	h(cm)	h(cm)
0	4,1	4,1
5	4,1	4,1
10	4,3	4,2
15	4,8	4,4
20	5,4	4,8
25	6,1	4,8
30	6,5	5,5
35	6,6	6,0
40	6,9	6,3
45	7,0	6,5
50	6,6	6,7
55	6,5	6,8
60	6,0	6,6
65	5,7	6,3
70	5,3	5,6
75	4,8	5,3
80	4,6	4,9
85	4,2	4,8
90	4,1	4,7
95	4,1	4,4
100	4,1	4,2
105	4,1	4,1
110	4,1	4,1

Tablo 5.7 İkinci hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

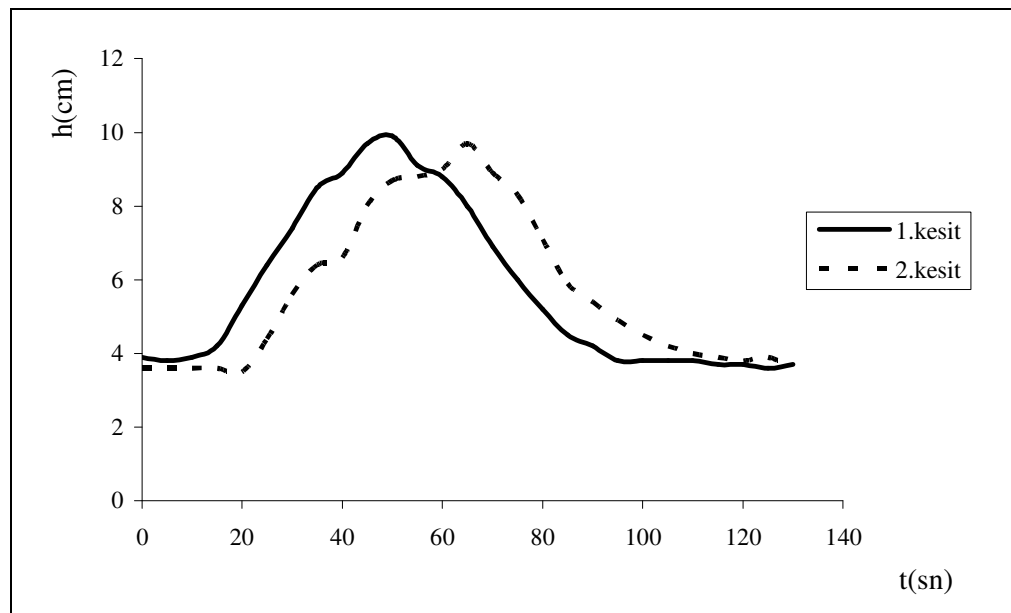
İkinci Hidrograf		
Zaman	Kesit 1	Kesit 2
t(sn)	h(cm)	h(cm)
0	3,9	3,6
5	3,8	3,6
10	3,9	3,6
15	4,2	3,6
20	5,3	3,5
25	6,4	4,4
30	7,4	5,6
35	8,5	6,4
40	8,9	6,6
45	9,7	8
50	9,9	8,7
55	9,1	8,8
60	8,8	9
65	8	9,7
70	6,9	8,9
75	6	8,3
80	5,2	7,1
85	4,5	5,9
90	4,2	5,4
95	3,8	4,9
100	3,8	4,5
105	3,8	4,2
110	3,8	4
115	3,7	3,9
120	3,7	3,8
125	3,6	3,9
130	3,7	3,6
135	3,9	3,6

Tablo 5.8 Üçüncü hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

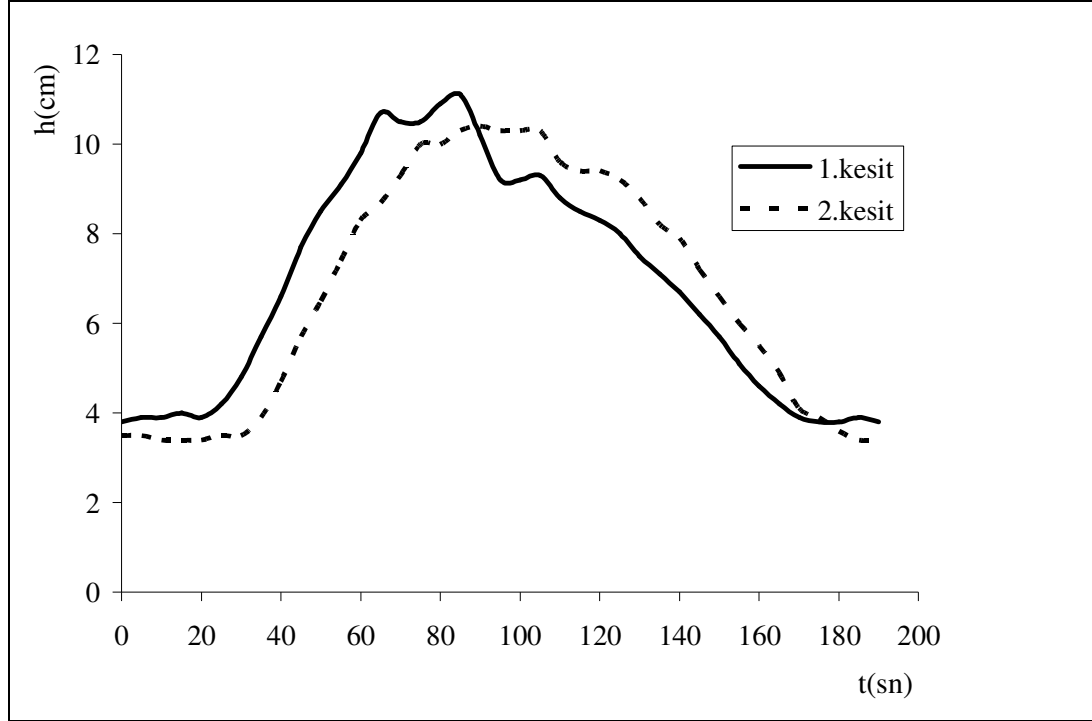
Üçüncü Hidrograf		
Zaman	Kesit 1	Kesit 2
t(sn)	h(cm)	h(cm)
0	3,8	3,5
5	3,9	3,5
10	3,9	3,4
15	4	3,4
20	3,9	3,4
25	4,2	3,5
30	4,8	3,5
35	5,7	3,9
40	6,6	4,7
45	7,7	5,7
50	8,5	6,5
55	9,1	7,4
60	9,8	8,3
65	10,7	8,7
70	10,5	9,3
75	10,5	10
80	10,9	10
85	11,1	10,3
90	10,2	10,4
95	9,2	10,3
100	9,2	10,3
105	9,3	10,3
110	8,8	9,6
115	8,5	9,4
120	8,3	9,4
125	8	9,2
130	7,5	8,8
135	7,1	8,2
140	6,7	7,9
145	6,2	7,2
150	5,7	6,6
155	5,1	6
160	4,6	5,5
165	4,2	4,9
170	3,9	4,1
175	3,8	3,9
180	3,8	3,6
185	3,9	3,4
190	3,8	3,4



Şekil 5.13 Kanaldan birinci hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri



Şekil 5.14 Kanaldan ikinci hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri



Şekil 5.15 Kanaldan üçüncü hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri

Deney sırasında, kanaldan taşkın geçirilirken kanal tabanında serili olan malzeme üzerinde oluşan tepeciklerin, tabanda düzgün yüzey oluşumunu engellediği görülmüştür. Örneğin üçüncü hidrograf geçirilirken $t=0$ anında birinci kesitte 3,8 cm olan su seviyesi ikinci kesitte 3,5 cm olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.9 Birinci hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

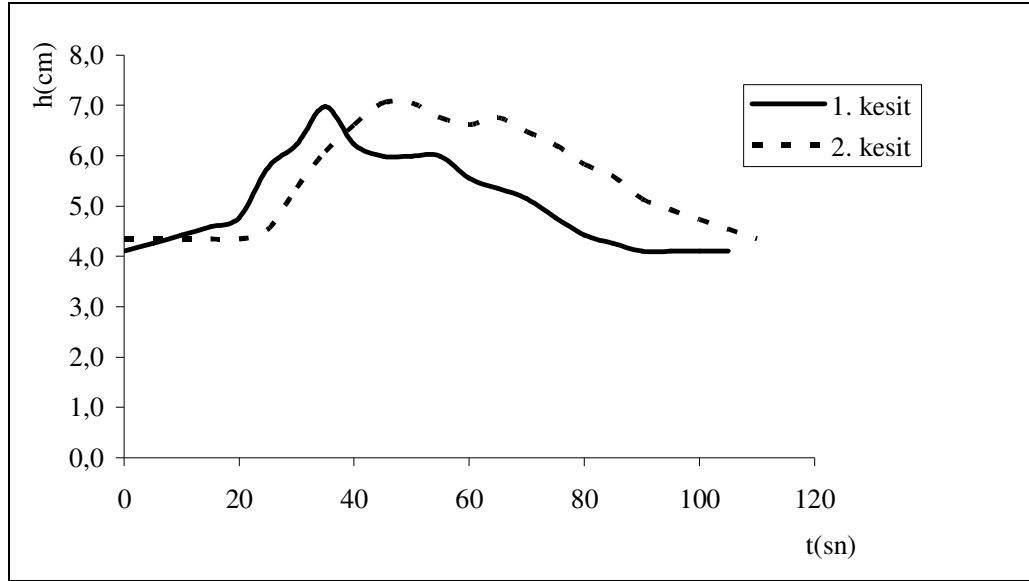
Birinci Hidrograf				
Zaman	Kesit 1		Kesit 2	
t(sn)	R(ohm)	h(cm)	R(ohm)	h(cm)
0	143	4,1	135	4,3
5	142	4,3	135	4,3
10	141	4,4	135	4,3
15	140	4,6	135	4,3
20	139	4,8	135	4,3
25	134	5,8	134	4,5
30	132	6,2	130	5,4
35	129	7,0	127	6,1
40	132	6,2	125	6,6
45	133	6,0	124	7,0
50	133	6,0	124	7,0
55	133	6,0	125	6,8
60	135	5,6	125	6,6
65	136	5,3	125	6,8
70	137	5,1	126	6,5
75	139	4,8	127	6,2
80	141	4,4	128	5,8
85	142	4,3	129	5,6
90	143	4,1	131	5,1
95	143	4,1	132	4,9
100	143	4,1	133	4,7
105	143	4,1	134	4,5
110	143	4,1	135	4,3

Tablo 5.10 İkinci hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

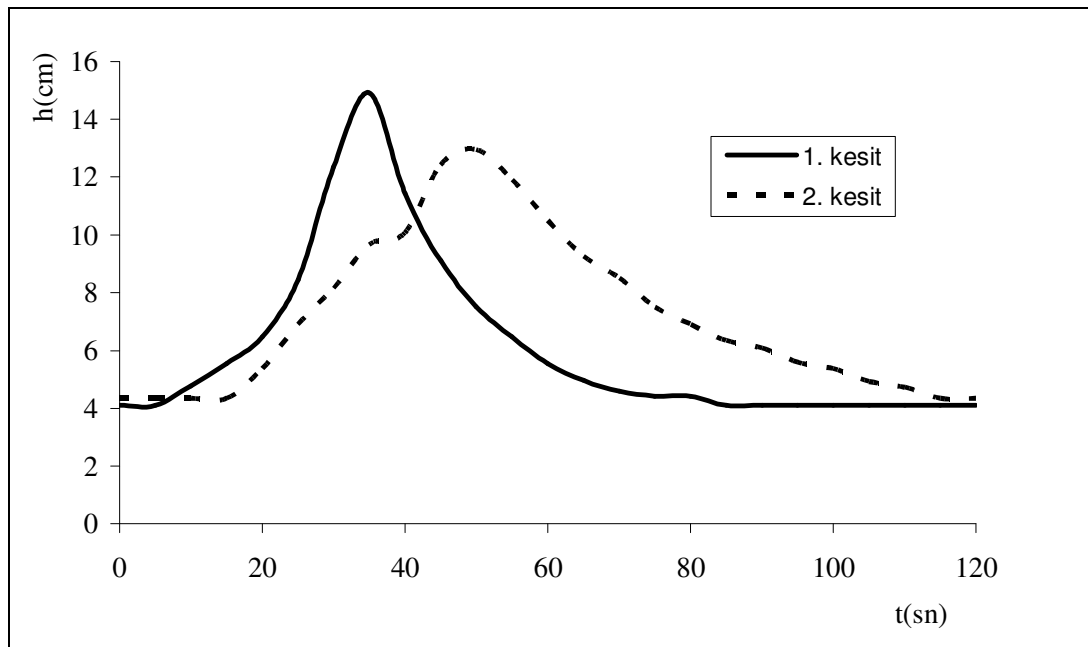
İkinci Hidrograf				
Zaman	Kesit 1		Kesit 2	
t(sn)	R(ohm)	h(cm)	R(ohm)	h(cm)
0	143	4,10	135	4,35
5	143	4,10	135	4,35
10	139	4,77	135	4,35
15	135	5,55	135	4,35
20	131	6,46	130	5,36
25	124	8,43	124	6,90
30	116	9,60	120	8,16
35	112	11,42	116	9,65
40	116	9,60	115	10,07
45	122	9,10	110	12,42
50	127	7,52	109	12,95
55	131	6,46	111	11,91
60	135	5,55	114	10,50
65	138	4,95	117	9,25
70	140	4,59	119	8,51
75	141	4,42	122	7,50
80	141	4,42	124	6,90
85	143	4,10	126	6,34
90	143	4,10	127	6,08
95	143	4,10	129	5,59
100	143	4,10	130	5,36
105	143	4,10	132	4,93
110	143	4,10	133	4,73
115	143	4,10	135	4,35
120	143	4,10	135	4,35

Tablo 5.11 Üçüncü hidrograf için elde edilen deneysel sonuçlar

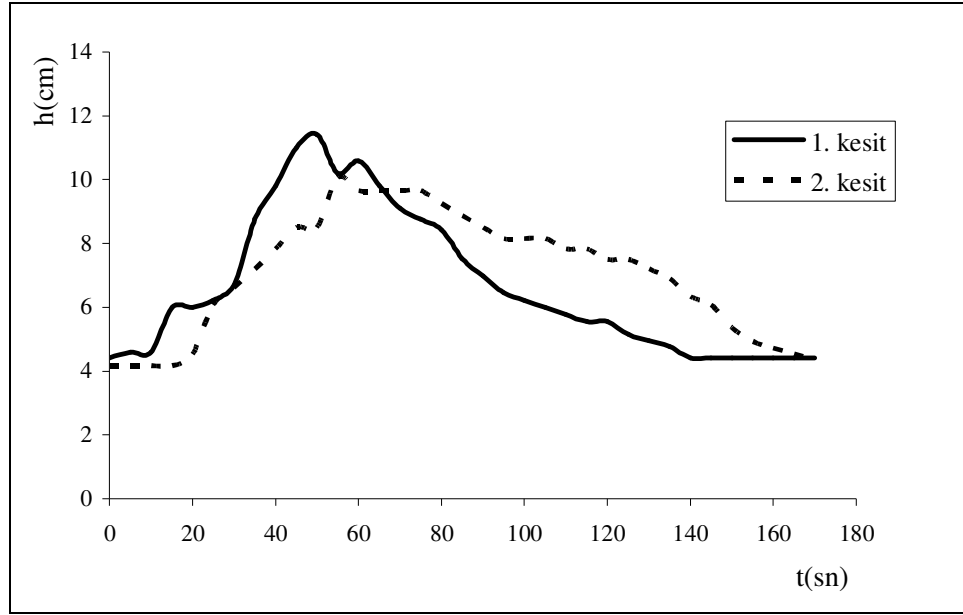
Üçüncü Hidrograf				
Zaman	Kesit 1		Kesit 2	
t	R	h	R	h
sn	ohm	cm	ohm	cm
0	141	4,42	136	4,2
5	140	4,59	136	4,2
10	140	4,59	136	4,2
15	133	5,99	136	4,2
20	133	5,99	134	4,5
25	132	6,22	127	6,1
30	130	6,71	125	6,6
35	123	8,76	123	7,2
40	120	9,82	121	7,8
45	117	11,00	119	8,5
50	116	11,43	119	8,5
55	119	10,20	115	10,1
60	118	10,59	116	9,7
65	120	9,82	116	9,7
70	122	9,10	116	9,7
75	123	8,76	116	9,7
80	124	8,43	117	9,3
85	127	7,52	118	8,9
90	129	6,97	119	8,5
95	131	6,46	120	8,2
100	132	6,22	120	8,2
105	133	5,99	120	8,2
110	134	5,77	121	7,8
115	135	5,55	121	7,8
120	135	5,55	122	7,5
125	137	5,14	122	7,5
130	138	4,95	123	7,2
135	139	4,77	124	6,9
140	141	4,42	126	6,3
145	141	4,42	127	6,1
150	141	4,42	130	5,4
155	141	4,42	132	4,9
160	141	4,42	133	4,7
165	141	4,42	134	4,5
170	141	4,42	135	4,3



Şekil 5.16 Kanaldan birinci hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri



Şekil 5.17 Kanaldan ikinci hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri

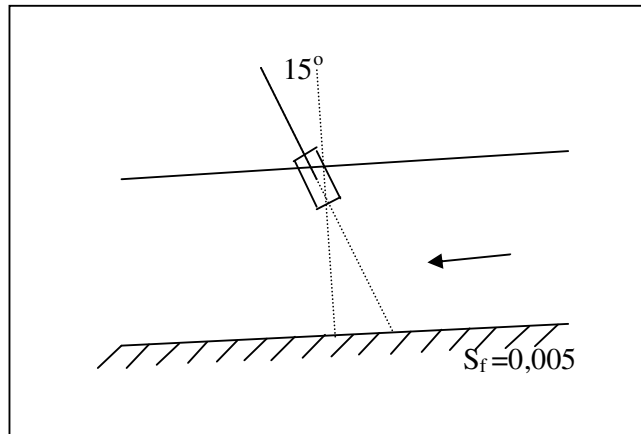


Şekil 5.18 Kanaldan üçüncü hidrograf geçerken 1. ve 2. kesitte su seviyeleri

5.5 Dalga Yayılması Sonucunda Ortalama Hızların Zamanla Değişimleri

5.5.1 Ultrasonik Yöntemle Hız Ölçümü

Kanal üzerindeki hız ölçümleri $x=9$ m' de UVP cihazı ile yapılmıştır. 2 MHz frekansındaki algılayıcı kanala Şekil 5.19' deki gibi yerleştirilmiştir. Kanal eğimi $S_f = 0,005$ dir. Farklı hidrograflar için bilgisayar ortamından alınan sonuçlar Tablo 5.12, 5.13 ve 5.14' de verilmiştir.



Şekil 5.19 Algılayıcının kanala yerleştirilmesi

Tablo 5.12 Birinci hidrograf durumunda $x=9m'$ de ölçülen ortalama hızlar

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
0,00	38,31	24,00	34,83	48,00	44,70	72,50	36,57
0,50	37,73	24,50	47,02	48,50	42,96	73,00	40,63
1,00	37,73	25,00	40,05	49,00	41,21	73,50	34,83
1,50	38,89	25,50	47,02	50,00	43,54	74,00	33,67
2,00	34,25	26,00	45,28	50,50	42,96	74,50	30,77
2,50	37,73	26,50	37,73	51,00	34,83	75,00	34,83
3,00	41,79	27,00	38,89	51,50	34,25	75,50	34,25
3,50	40,05	27,50	38,31	52,00	36,57	76,00	36,57
4,00	37,73	28,00	54,57	52,50	44,70	76,50	28,44
4,50	30,77	28,50	49,92	53,00	40,63	77,00	35,41
5,00	31,93	29,00	45,28	53,50	41,21	77,50	30,77
5,50	33,09	29,50	38,31	54,00	45,28	78,00	38,31
6,00	38,31	30,00	39,47	54,50	52,82	78,50	38,31
6,50	35,99	30,50	48,18	55,00	45,28	79,00	35,99
7,00	36,57	31,00	41,21	55,50	47,02	79,50	34,25
7,50	38,31	31,50	45,28	56,00	37,15	80,00	36,57
8,00	37,73	32,00	55,15	56,50	45,28	80,50	35,41
8,50	38,31	32,50	49,34	57,00	45,28	81,00	35,99
9,00	32,51	33,00	49,34	57,50	47,60	81,50	28,44
9,50	37,73	33,50	43,54	58,00	44,12	82,00	31,93
10,00	34,25	34,00	41,79	58,50	46,44	82,50	38,31
10,50	36,57	34,50	47,60	59,00	47,60	83,00	37,15
11,00	37,15	35,00	49,34	59,50	41,21	83,50	34,83
11,50	33,09	35,50	43,54	60,00	38,89	84,00	34,83
12,00	34,83	36,00	43,54	60,50	40,05	84,50	36,57
12,50	34,25	36,50	44,12	61,00	38,31	85,00	31,93
13,00	35,41	37,00	62,11	61,50	36,57	85,50	37,15
13,50	31,93	37,50	49,34	62,00	40,63	86,00	30,77
14,00	41,21	38,00	44,12	62,50	37,15	86,50	31,93
14,50	40,63	38,50	57,47	63,00	37,15	87,00	36,57
15,00	41,79	39,00	53,99	63,50	37,15	87,50	35,99
15,50	37,15	39,50	56,31	64,00	38,31	88,00	33,09
16,00	35,99	40,00	56,31	64,50	45,28	88,50	30,19
16,50	38,31	40,50	55,15	65,00	40,05	89,00	32,51
17,00	40,63	41,00	56,31	65,50	45,28	89,50	34,25
17,50	44,70	41,50	53,40	66,00	38,31	90,00	33,09
18,00	40,63	42,00	53,40	66,50	33,09	90,50	27,86
18,50	36,57	42,50	58,63	67,00	47,02	91,00	31,93
19,00	37,73	43,00	52,24	67,50	36,57	91,50	29,02
19,50	35,41	43,50	49,92	68,00	31,35	92,00	29,02
20,00	40,63	44,00	47,02	68,50	29,60	92,50	29,02
20,50	34,83	44,50	45,28	69,00	29,60	93,00	32,51
21,00	42,96	45,00	53,40	69,50	37,15	93,50	33,67
21,50	40,63	45,50	36,57	70,00	32,51	94,00	35,41
22,00	38,31	46,00	52,82	70,50	34,25	94,50	37,73
22,50	48,18	46,50	52,24	71,00	36,57	95,00	31,93
23,00	43,54	47,00	43,54	71,50	30,19		
23,50	45,28	47,50	45,28	72,00	43,54		

Tablo 5.13 İkinci hidrograf durumunda $x=9m$ ' de ölçülen ortalama hızlar

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
0,00	32,51	12,00	40,63	24,00	55,15	36,00	71,98
0,25	29,02	12,25	33,09	24,25	47,60	36,25	73,72
0,50	37,15	12,50	45,28	24,50	62,11	36,50	52,24
0,75	26,12	12,75	39,47	24,75	62,11	36,75	51,08
1,00	35,99	13,00	42,38	25,00	59,79	37,00	55,15
1,25	30,77	13,25	40,63	25,25	62,11	37,25	55,15
1,50	32,51	13,50	49,34	25,50	56,31	37,50	62,11
1,75	33,67	13,75	35,41	25,75	65,01	37,75	45,86
2,00	31,93	14,00	44,12	26,00	59,21	38,00	65,59
2,25	34,25	14,25	47,60	26,25	62,11	38,25	63,85
2,50	31,93	14,50	37,15	26,50	60,37	38,50	60,95
2,75	37,15	14,75	38,89	26,75	66,18	38,75	67,34
3,00	28,44	15,00	39,47	27,00	66,18	39,00	69,66
3,25	31,93	15,25	42,38	27,25	56,31	39,25	56,31
3,50	29,02	15,50	41,79	27,50	59,79	39,50	56,31
3,75	30,19	15,75	43,54	27,75	59,21	39,75	83,59
4,00	29,60	16,00	38,89	28,00	72,56	40,00	76,04
4,25	27,86	16,25	45,86	28,25	69,08	40,25	69,08
4,50	31,93	16,50	35,99	28,50	67,92	40,50	79,53
4,75	29,02	16,75	37,73	28,75	65,59	40,75	84,17
5,00	30,77	17,00	38,31	29,00	67,92	41,00	60,95
5,25	36,57	17,25	41,79	29,25	55,15	41,25	47,60
5,50	33,09	17,50	48,76	29,50	77,78	41,50	52,24
5,75	31,93	17,75	37,15	29,75	62,11	41,75	55,15
6,00	41,79	18,00	51,08	30,00	65,01	42,00	62,11
6,25	39,47	18,25	39,47	30,25	52,24	42,25	69,08
6,50	36,57	18,50	39,47	30,50	58,63	42,50	58,05
6,75	29,60	18,75	46,44	30,75	56,31	42,75	70,24
7,00	32,51	19,00	43,54	31,00	65,59	43,00	43,54
7,25	30,77	19,25	49,34	31,25	71,98	43,25	56,31
7,50	36,57	19,50	45,28	31,50	80,69	43,50	45,86
7,75	35,99	19,75	46,44	31,75	74,88	43,75	68,50
8,00	29,02	20,00	47,60	32,00	63,85	44,00	58,05
8,25	39,47	20,25	42,38	32,25	60,95	44,25	62,11
8,50	31,93	20,50	44,70	32,50	67,92	44,50	65,59
8,75	33,67	20,75	50,50	32,75	56,89	44,75	64,43
9,00	31,35	21,00	45,28	33,00	45,86	45,00	47,60
9,25	36,57	21,25	56,31	33,25	65,01	45,25	69,66
9,50	35,99	21,50	50,50	33,50	43,54	45,50	69,08
9,75	30,19	21,75	47,02	33,75	44,70	45,75	58,05
10,00	37,73	22,00	52,24	34,00	65,01	46,00	55,73
10,25	36,57	22,25	47,02	34,25	59,21	46,25	53,40
10,50	38,31	22,50	41,21	34,50	62,69	46,50	52,24
10,75	39,47	22,75	45,86	34,75	53,40	46,75	63,85
11,00	35,41	23,00	49,34	35,00	35,41	47,00	49,34
11,25	38,89	23,25	49,34	35,25	55,15	47,25	40,63
11,50	36,57	23,50	55,73	35,50	48,76	47,50	54,57
11,75	37,73	23,75	47,02	35,75	69,66	47,75	62,11

Tablo 5.13 İkinci hidrograf durumunda x=9m' de ölçülen ortalama hızlar(devam)

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
48,00	55,73	60,00	39,47	72,00	30,77	84,00	23,80
48,25	61,53	60,25	52,24	72,25	29,02	84,25	24,96
48,50	64,43	60,50	44,12	72,50	33,09	84,50	20,90
48,75	40,63	60,75	42,38	72,75	33,09	84,75	21,48
49,00	43,54	61,00	49,92	73,00	23,22	85,00	22,06
49,25	65,01	61,25	45,28	73,25	26,70	85,25	23,80
49,50	47,02	61,50	44,12	73,50	27,86	85,50	21,48
49,75	43,54	61,75	45,28	73,75	31,93	85,75	19,16
50,00	46,44	62,00	38,89	74,00	26,12	86,00	27,86
50,25	58,05	62,25	41,79	74,25	29,60	86,25	10,45
50,50	55,73	62,50	40,05	74,50	18,58	86,50	23,22
50,75	55,15	62,75	33,67	74,75	27,86	86,75	31,93
51,00	56,31	63,00	34,83	75,00	24,38	87,00	28,44
51,25	64,43	63,25	43,54	75,25	21,48	87,25	22,06
51,50	51,66	63,50	49,34	75,50	27,28	87,50	26,70
51,75	53,99	63,75	38,31	75,75	33,09	87,75	27,86
52,00	56,31	64,00	45,28	76,00	27,86	88,00	23,80
52,25	49,34	64,25	34,83	76,25	24,96	88,25	26,70
52,50	69,08	64,50	40,05	76,50	23,22	88,50	22,06
52,75	65,59	64,75	40,05	76,75	22,64	88,75	30,77
53,00	43,54	65,00	35,41	77,00	19,16	89,00	23,80
53,25	52,24	65,25	36,57	77,25	25,54	89,25	23,80
53,50	54,57	65,50	42,38	77,50	18,00	89,50	22,06
53,75	53,40	65,75	35,99	77,75	23,80	89,75	19,74
54,00	52,82	66,00	37,15	78,00	28,44	90,00	26,70
54,25	49,34	66,25	37,73	78,25	29,02	90,25	24,96
54,50	48,76	66,50	41,79	78,50	26,70	90,50	26,70
54,75	52,82	66,75	44,70	78,75	22,06	90,75	23,80
55,00	49,92	67,00	31,93	79,00	22,06	91,00	31,93
55,25	49,92	67,25	44,12	79,25	24,96	91,25	33,67
55,50	66,18	67,50	34,83	79,50	23,80	91,50	23,80
55,75	51,08	67,75	35,99	79,75	20,90	91,75	24,96
56,00	56,31	68,00	31,35	80,00	25,54	92,00	24,96
56,25	51,66	68,25	33,67	80,25	20,90	92,25	27,86
56,50	52,82	68,50	34,83	80,50	30,19	92,50	24,38
56,75	53,40	68,75	33,67	80,75	24,96	92,75	26,12
57,00	50,50	69,00	29,02	81,00	23,80	93,00	24,38
57,25	45,28	69,25	34,83	81,25	21,48	93,25	36,57
57,50	51,66	69,50	31,93	81,50	22,06	93,50	26,70
57,75	51,08	69,75	36,57	81,75	19,16	93,75	36,57
58,00	50,50	70,00	29,02	82,00	23,80	94,00	28,44
58,25	50,50	70,25	38,89	82,25	21,48	94,25	24,96
58,50	63,85	70,50	31,93	82,50	24,96	94,50	36,57
58,75	52,24	70,75	31,93	82,75	22,06	94,75	23,80
59,00	52,24	71,00	34,25	83,00	24,96	95,00	23,80
59,25	47,60	71,25	26,70	83,25	16,25	95,25	24,96
59,50	52,24	71,50	29,02	83,50	20,90	95,50	31,93
59,75	51,08	71,75	24,96	83,75	22,06	95,75	28,44

Tablo 5.14 Üçüncü hidrograf durumunda $x=9m'$ de ölçülen ortalama hızlar

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
0,00	29,02	12,00	35,99	24,00	47,60	36,00	48,18
0,25	29,02	12,25	30,77	24,25	44,70	36,25	45,28
0,50	33,67	12,50	45,28	24,50	35,99	36,50	60,37
0,75	30,19	12,75	30,77	24,75	30,77	36,75	50,50
1,00	27,86	13,00	36,57	25,00	41,21	37,00	55,73
1,25	33,09	13,25	39,47	25,25	56,31	37,25	56,89
1,50	30,77	13,50	37,73	25,50	50,50	37,50	65,01
1,75	30,77	13,75	26,70	25,75	41,79	37,75	49,34
2,00	33,67	14,00	32,51	26,00	41,79	38,00	56,89
2,25	33,67	14,25	35,41	26,25	46,44	38,25	69,08
2,50	30,77	14,50	26,70	26,50	40,63	38,50	52,24
2,75	26,70	14,75	28,44	26,75	47,02	38,75	59,21
3,00	30,77	15,00	31,93	27,00	45,28	39,00	39,47
3,25	30,77	15,25	39,47	27,25	54,57	39,25	52,24
3,50	29,60	15,50	33,09	27,50	39,47	39,50	56,89
3,75	35,41	15,75	31,93	27,75	53,40	39,75	50,50
4,00	34,83	16,00	41,79	28,00	51,66	40,00	43,54
4,25	29,02	16,25	38,89	28,25	47,02	40,25	49,92
4,50	30,19	16,50	34,83	28,50	50,50	40,50	47,60
4,75	29,02	16,75	37,73	28,75	41,21	40,75	59,21
5,00	26,70	17,00	34,25	29,00	48,76	41,00	39,47
5,25	33,67	17,25	33,09	29,25	47,02	41,25	52,24
5,50	34,83	17,50	37,73	29,50	48,76	41,50	45,28
5,75	33,09	17,75	39,47	29,75	48,18	41,75	48,18
6,00	35,99	18,00	31,35	30,00	54,57	42,00	64,43
6,25	27,86	18,25	29,02	30,25	48,18	42,25	45,86
6,50	34,25	18,50	37,73	30,50	49,34	42,50	51,08
6,75	33,09	18,75	34,83	30,75	56,31	42,75	45,28
7,00	34,83	19,00	41,79	31,00	59,21	43,00	33,67
7,25	29,02	19,25	36,57	31,25	52,24	43,25	47,02
7,50	32,51	19,50	39,47	31,50	46,44	43,50	42,96
7,75	30,77	19,75	42,38	31,75	57,47	43,75	40,05
8,00	33,67	20,00	37,15	32,00	45,28	44,00	46,44
8,25	29,02	20,25	33,67	32,25	51,66	44,25	53,40
8,50	31,93	20,50	35,41	32,50	50,50	44,50	53,99
8,75	27,86	20,75	34,83	32,75	52,24	44,75	52,24
9,00	27,28	21,00	41,79	33,00	34,83	45,00	47,60
9,25	30,19	21,25	38,89	33,25	52,82	45,25	51,08
9,50	23,22	21,50	36,57	33,50	56,31	45,50	50,50
9,75	31,35	21,75	39,47	33,75	52,24	45,75	46,44
10,00	36,57	22,00	39,47	34,00	56,31	46,00	63,85
10,25	35,41	22,25	41,21	34,25	56,89	46,25	46,44
10,50	27,86	22,50	45,28	34,50	46,44	46,50	53,40
10,75	33,09	22,75	51,08	34,75	66,76	46,75	60,37
11,00	33,67	23,00	36,57	35,00	53,40	47,00	44,12
11,25	30,77	23,25	46,44	35,25	55,15	47,25	58,05
11,50	33,67	23,50	31,93	35,50	66,76	47,50	66,18
11,75	34,83	23,75	35,41	35,75	51,66	47,75	61,53

Tablo 5.14 Üçüncü hidrograf durumunda $x=9m'$ de ölçülen ortalama hızlar(devam)

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
48,00	52,82	60,00	81,85	72,00	55,73	84,00	44,70
48,25	51,66	60,25	83,59	72,25	74,88	84,25	56,31
48,50	54,57	60,50	62,69	72,50	77,78	84,50	55,15
48,75	71,40	60,75	59,21	72,75	67,92	84,75	52,24
49,00	49,34	61,00	74,88	73,00	77,20	85,00	50,50
49,25	44,12	61,25	67,34	73,25	59,21	85,25	45,86
49,50	46,44	61,50	98,10	73,50	73,72	85,50	52,82
49,75	74,88	61,75	48,18	73,75	56,31	85,75	56,31
50,00	58,63	62,00	67,92	74,00	58,05	86,00	43,54
50,25	81,85	62,25	67,92	74,25	80,69	86,25	55,15
50,50	65,01	62,50	76,62	74,50	50,50	86,50	62,11
50,75	69,08	62,75	58,05	74,75	51,08	86,75	44,70
51,00	73,72	63,00	69,08	75,00	52,82	87,00	65,01
51,25	58,05	63,25	66,18	75,25	62,11	87,25	55,15
51,50	82,43	63,50	80,69	75,50	66,18	87,50	47,60
51,75	69,08	63,75	67,34	75,75	53,40	87,75	61,53
52,00	65,01	64,00	72,56	76,00	60,37	88,00	52,82
52,25	58,05	64,25	65,01	76,25	79,53	88,25	58,05
52,50	56,31	64,50	69,08	76,50	66,76	88,50	59,21
52,75	66,18	64,75	53,99	76,75	67,34	88,75	52,24
53,00	80,11	65,00	80,11	77,00	69,08	89,00	57,47
53,25	74,88	65,25	77,78	77,25	69,08	89,25	50,50
53,50	51,08	65,50	68,50	77,50	66,18	89,50	53,99
53,75	65,59	65,75	71,40	77,75	68,50	89,75	71,98
54,00	79,53	66,00	74,88	78,00	59,79	90,00	55,15
54,25	64,43	66,25	78,95	78,25	59,21	90,25	43,54
54,50	58,05	66,50	69,08	78,50	62,11	90,50	60,95
54,75	61,53	66,75	80,69	78,75	67,92	90,75	41,21
55,00	50,50	67,00	83,59	79,00	58,05	91,00	59,21
55,25	77,78	67,25	85,91	79,25	69,08	91,25	66,18
55,50	76,62	67,50	63,27	79,50	56,31	91,50	56,31
55,75	70,82	67,75	62,69	79,75	46,44	91,75	49,34
56,00	63,85	68,00	70,82	80,00	58,05	92,00	53,40
56,25	67,34	68,25	63,27	80,25	58,05	92,25	54,57
56,50	71,98	68,50	75,46	80,50	60,95	92,50	47,60
56,75	77,78	68,75	70,82	80,75	42,38	92,75	47,60
57,00	77,78	69,00	45,28	81,00	54,57	93,00	56,31
57,25	83,59	69,25	76,62	81,25	62,69	93,25	43,54
57,50	65,59	69,50	72,56	81,50	53,40	93,50	52,24
57,75	71,40	69,75	77,78	81,75	55,73	93,75	58,05
58,00	75,46	70,00	51,08	82,00	63,85	94,00	47,60
58,25	74,30	70,25	77,78	82,25	63,85	94,25	47,02
58,50	65,59	70,50	80,11	82,50	56,89	94,50	62,11
58,75	59,21	70,75	60,95	82,75	65,01	94,75	49,34
59,00	73,72	71,00	66,18	83,00	52,24	95,00	55,15
59,25	66,76	71,25	63,85	83,25	50,50	95,25	50,50
59,50	64,43	71,50	71,98	83,50	58,63	95,50	40,63
59,75	68,50	71,75	58,63	83,75	40,05	95,75	65,59

Tablo 5.14 Üçüncü hidrograf durumunda $x=9m'$ de ölçülen ortalama hızlar(devam)

t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)	t(sn)	U _{ort} (cm/sn)
96,00	54,57	108,00	49,34	120,00	34,83	132,00	24,96
96,25	46,44	108,25	41,79	120,25	31,93	132,25	30,77
96,50	49,34	108,50	49,34	120,50	43,54	132,50	28,44
96,75	59,21	108,75	38,89	120,75	37,73	132,75	27,86
97,00	47,60	109,00	42,38	121,00	38,31	133,00	30,77
97,25	56,31	109,25	46,44	121,25	41,21	133,25	33,09
97,50	56,31	109,50	40,63	121,50	37,73	133,50	29,60
97,75	36,57	109,75	47,02	121,75	45,86	133,75	29,60
98,00	42,96	110,00	31,93	122,00	39,47	134,00	32,51
98,25	45,28	110,25	46,44	122,25	47,60	134,25	34,83
98,50	45,86	110,50	39,47	122,50	44,70	134,50	33,67
98,75	48,76	110,75	42,38	122,75	37,15	134,75	35,41
99,00	41,21	111,00	49,34	123,00	40,63	135,00	29,02
99,25	45,86	111,25	41,79	123,25	34,25	135,25	35,99
99,50	45,86	111,50	46,44	123,50	40,63	135,50	34,25
99,75	40,63	111,75	44,70	123,75	41,21	135,75	29,02
100,00	41,21	112,00	39,47	124,00	41,79	136,00	35,99
100,25	62,69	112,25	44,70	124,25	40,63	136,25	34,25
100,50	52,24	112,50	35,99	124,50	37,73	136,50	31,93
100,75	42,38	112,75	41,21	124,75	45,86	136,75	29,60
101,00	64,43	113,00	39,47	125,00	49,34	137,00	31,93
101,25	53,40	113,25	37,73	125,25	47,60	137,25	31,35
101,50	47,60	113,50	49,34	125,50	39,47	137,50	30,19
101,75	57,47	113,75	43,54	125,75	36,57	137,75	34,83
102,00	49,34	114,00	45,28	126,00	36,57	138,00	36,57
102,25	35,41	114,25	42,96	126,25	37,73	138,25	34,25
102,50	44,12	114,50	42,38	126,50	38,89	138,50	33,67
102,75	39,47	114,75	45,28	126,75	41,79	138,75	34,25
103,00	44,70	115,00	46,44	127,00	40,05	139,00	33,67
103,25	48,18	115,25	47,60	127,25	35,41	139,25	33,67
103,50	38,31	115,50	47,02	127,50	36,57	139,50	33,09
103,75	43,54	115,75	56,31	127,75	36,57	139,75	31,93
104,00	39,47	116,00	48,76	128,00	26,12	140,00	33,67
104,25	40,63	116,25	45,86	128,25	33,09	140,25	27,86
104,50	29,60	116,50	34,83	128,50	34,83	140,50	29,02
104,75	47,02	116,75	38,89	128,75	33,67	140,75	30,77
105,00	41,21	117,00	35,99	129,00	31,93	141,00	27,86
105,25	43,54	117,25	37,15	129,25	30,19	141,25	38,31
105,50	45,28	117,50	40,63	129,50	30,77	141,50	26,70
105,75	47,02	117,75	39,47	129,75	29,02	141,75	31,35
106,00	42,96	118,00	42,38	130,00	31,35	142,00	29,60
106,25	54,57	118,25	40,63	130,25	28,44	142,25	31,93
106,50	46,44	118,50	42,38	130,50	30,77	142,50	27,86
106,75	45,28	118,75	40,63	130,75	29,60	142,75	26,70
107,00	47,60	119,00	47,60	131,00	30,77	143,00	29,60
107,25	40,63	119,25	35,99	131,25	28,44	143,25	29,02
107,50	56,31	119,50	30,19	131,50	29,02	143,50	32,51
107,75	44,70	119,75	37,73	131,75	30,19	143,75	31,93

5.6 Eşdeğer Pürüzlülüğün Belirlenmesi

Üniform akım durumunda Manning-Strickler (5-8) denkleminde faydalanarak ultrasonik yöntemle bulunan deneysel değerlere göre bulunan n pürüzlülük katsayıları değerleri Tablo 5.15’ de verilmiştir.

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (5-8)$$

Tablo 5.15 Pürüzlülük katsayısı değerleri

F(Hz)	Q(lt/sn)	Q(m ³ /sn)	h(cm)	A(m ²)	U(m)	R(m)	R ^{2/3} (m ^{2/3})	n
15	12,0	0,0120	4,0	0,032	0,880	0,0364	0,1098	0,021
20	24,7	0,0247	5,9	0,047	0,918	0,0514	0,1383	0,019
25	36,0	0,0360	7,2	0,058	0,944	0,0610	0,1550	0,018
30	46,7	0,0467	8,3	0,066	0,966	0,0687	0,1678	0,017
35	56,3	0,0563	9,3	0,074	0,986	0,0755	0,1786	0,017
40	68,0	0,0680	10,2	0,082	1,004	0,0813	0,1876	0,016

Deney düzeneğindeki kanalımızın iki yanı pleksiglas kaplı olup tabandaki saç üzerinde ortalama 7,5 cm yüksekliğinde katı madde taşınımı için serilmiş malzeme (D₅₀=4,8 mm) vardır.

Literatürde taban şevlerinde farklı pürüzlülüklerin söz konusu olduğu heterojen kesitlerin hesaplanması için değişik yaklaşımlar kullanılmıştır. Islak çevre P, hidrolik yarıçap R ve n=1/k olmak üzere,

Einstein formülüne göre,

$$k = \left[\frac{P}{\sum \frac{P_i}{k_i^{3/2}}} \right]^{2/3} \quad (5-9)$$

Lotter formülüne göre,

$$k = \frac{\sum k_i P_i}{P} \quad (5-10)$$

Bazı araştırmacılar heterojen kesitlerin hesabı yapılırken; ortalama bir pürüzlülük katsayısı için,

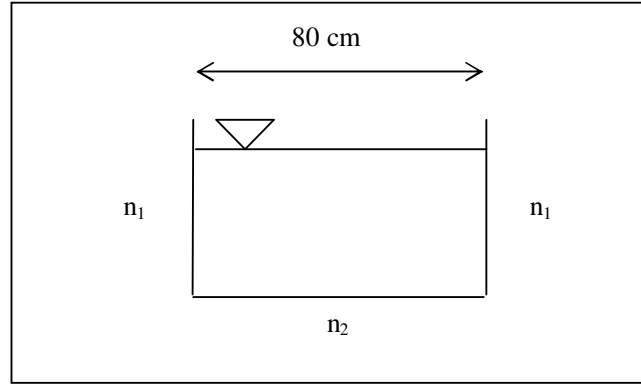
$$1) n = \left(\frac{\sum P_i n_i^{1,5}}{P} \right)^{2/3} \quad (5-11)$$

$$2) n = \left(\frac{\sum P_i n_i^2}{P} \right)^{1/2} \quad (5-12)$$

$$3) n = \frac{P * R^{5/3}}{\sum \frac{P_i R^{5/3}}{n_i}} \quad (5-13)$$

ampirik formüllerini önermişlerdir.(Güney, 2006)

Heterojen kesit hesabı yapılırken çeşitli kanal tanımları için verilen pürüzlülük katsayısı değerlerinden; kanalımızın yan cıdarları için $n_1=0,009$ (Mineli ve camlı kaplamalar), taban için $n_2=0,020$ (Pürüzsüz iyi sıkıştırılmış toprak) alınmıştır(Şekil 5.20). Bulunan değerler Tablo 5.16, 5.17, 5.18 ve 5.19' da gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Heterojen kesit gösterimi

Tablo 5.16 Einstein formülüne göre eşdeğer pürüzlülük

h(cm)	h(m)	P(m)	$P_1 / k_1^{1,5}$	$P_2 / k_2^{1,5}$	k	n
4,0	0,040	0,880	3,42039E-05	0,0023	52,750	0,019
5,9	0,059	0,918	5,04507E-05	0,0023	54,003	0,019
7,2	0,072	0,944	6,1567E-05	0,0023	54,843	0,018
8,3	0,083	0,966	7,09731E-05	0,0023	55,542	0,018
9,3	0,093	0,986	7,9524E-05	0,0023	56,169	0,018
10,2	0,102	1,004	8,72199E-05	0,0023	56,726	0,018

Tablo 5.17 Lotter formülüne göre eşdeğer pürüzlülük değerleri

h(cm)	h(m)	P(m)	$k_1 * P_1$	$k_2 * P_2$	k	n
4,0	0,040	0,880	4,44	40	50,500	0,020
5,9	0,059	0,918	6,549	40	50,707	0,020
7,2	0,072	0,944	7,992	40	50,839	0,020
8,3	0,083	0,966	9,213	40	50,945	0,020
9,3	0,093	0,986	10,323	40	51,038	0,020
10,2	0,102	1,004	11,322	40	51,118	0,020

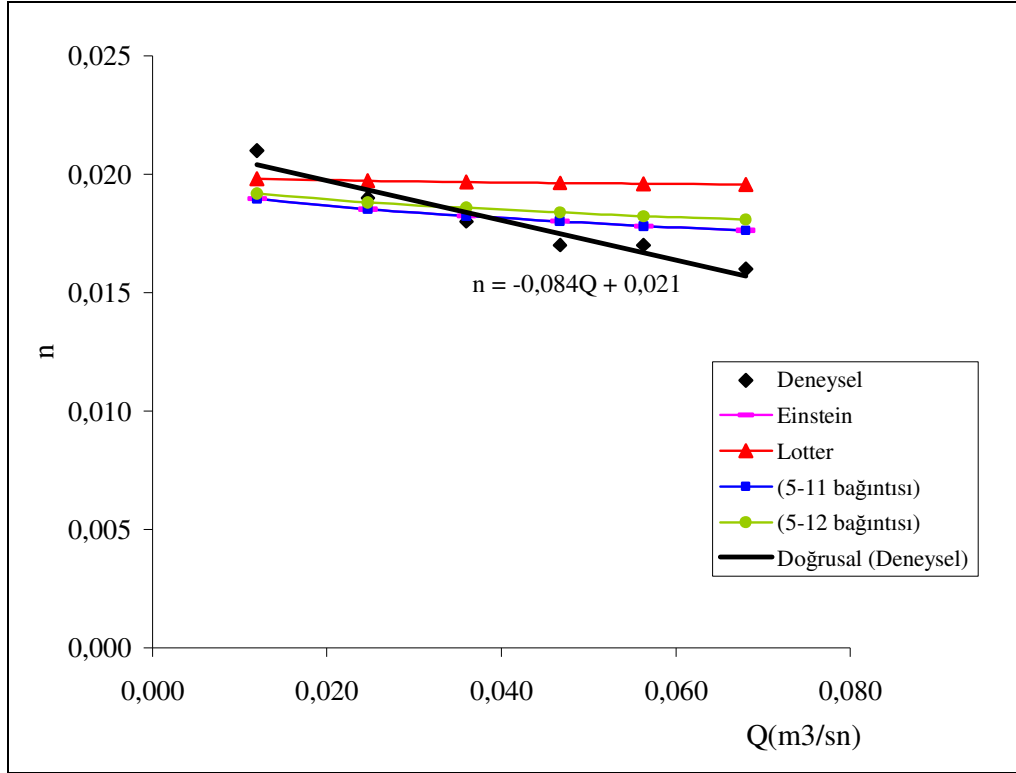
Tablo 5.18 (5-11) ampirik formülüne göre eşdeğer pürüzlülük değerleri

h(cm)	h(m)	P(m)	$P_1 * n_1^{1,5}$	$P_2 * n_2^{1,5}$	n
4,0	0,040	0,880	3,41526E-05	0,002263	0,019
5,9	0,059	0,918	5,03751E-05	0,002263	0,019
7,2	0,072	0,944	6,14747E-05	0,002263	0,018
8,3	0,083	0,966	7,08666E-05	0,002263	0,018
9,3	0,093	0,986	7,94048E-05	0,002263	0,018
10,2	0,102	1,004	8,70891E-05	0,002263	0,018

Tablo 5.19 (5-12) ampirik formülüne göre eşdeğer pürüzlülük değerleri

h(cm)	h(m)	P(m)	$P_1 * n_1^2$	$P_2 * n_2^2$	n
4,0	0,040	0,880	0,00000324	0,00032	0,019
5,9	0,059	0,918	4,779E-06	0,00032	0,019
7,2	0,072	0,944	5,832E-06	0,00032	0,019
8,3	0,083	0,966	6,723E-06	0,00032	0,018
9,3	0,093	0,986	7,533E-06	0,00032	0,018
10,2	0,102	1,004	8,262E-06	0,00032	0,018

Deneysel ve teorik formüllerle bulunan eşdeğer pürüzlülük değerleri(n) Şekil 5.20' de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Farklı debiler için deneysel ve teorik olarak elde edilen pürüzlülük değerleri (Einstein ve (5-11) bağıntısıyla elde edilen denklem çakışmaktadır.)

BÖLÜM ALTI

DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

6.1 Sayısal Sonuçlar

Üçüncü Bölümde bahsedilen sayısal çözüm yöntemlerinden eksplisit yöntemin kullanıldığı bilgisayar programından yararlanılarak kanalda dalga oluşumuyla ilgili sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

Eksplisit yöntemden yararlanılarak sayısal çözüm yapan, Fortran dilinde yazılmış, Microsoft Fortran Developer Studio derleyicisinin kullanıldığı bilgisayar programı Ek A' da, veri kütüğü örneği Ek B' de ve program çıktı örneği Ek C' de verilmiştir.

Şekil 6.1' de gösterilen; (L=18 m) uzunluğunda, (N=18) parçaya bölünen kanalda 19 kesitte zamana bağlı olarak ($U=U(x,t)$) ortalama hızları ve ($h=h(x,t)$) su derinlikleri hesaplatılmıştır. Zaman aralığı(Δt) önceden seçilmektedir. (Δt) seçimi için bir örneği Tablo 6.1' de verilen analizler sonucunda ($\Delta t=0,001$ sn) ile eksplisit yöntem sonuçları elde edilmiştir. Deneysel değerler seviye ölçümlerinde($\Delta t=5$ sn), UVP cihazı ile hız ölçümlerinde ($\Delta t=0,25$ sn) aralıklarla kaydedilmiştir.

Kanal pürüzlülüğü, deneysel değerlerle karşılaştırabilmek için $n=0,020$, $n=0,022$ ve $n=0,024$ olmak üzere üç farklı durum için hesaplatılmıştır.

Mamba sınır şartı olarak, üç ayrı durum için Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12' de gösterilen giriş hidrograflarından biri uygulanmıştır.

Mansap uçta ise farklı yaklaşımlar kullanılmıştır:

a) Serbest akış(yansız) sınır şartına karşılık gelen ve literatürde

$$U = \varphi \sqrt{g h} \quad (6-1)$$

şeklinde verilen bağıntı kullanılabilir (Koutitas, 1983). Kararlı rejimde yapılan deneylerle ϕ katsayısı belirlenmiştir. Ölçülen h derinlikleri ve hızlar Tablo 6.1’ de verilmiş olup bu değer ışığında ϕ ortalama değeri olarak 2 kabul edilmiştir.

Tablo 6.1 Kanal mansap ucunda ölçülen değerler ve hesaplanan ϕ değerleri

h(cm)	h(m)	$h^{1/2}$ (m ^{1/2})	U(cm/sn)	U(m/sn)	ϕ
4,0	0,04	0,2	37,5	0,375	1,875
5,9	0,059	0,242899	52,3	0,523	2,153157
7,2	0,072	0,268328	62,5	0,625	2,329237
8,3	0,083	0,288097	70,3	0,703	2,440149
9,3	0,093	0,304959	75,7	0,757	2,482301
10,2	0,102	0,319374	83,3	0,833	2,608224

b) Mansap sınır şartı olarak normal akış derinliği kabulü yapılmıştır.

Seviye ölçümleri için iki kesitte ($x=6m$ ve $x=15m$), ortalama hız ölçümleri için ise $x=9m$ kesitindeki hesap değerleri karşılaştırılmıştır.

Tutarlı ve doğru çözümler için Δt zaman adımı seçimi önem taşımaktadır. Zaman adımı sınır değeri hesabı, (6-1) ‘de verilen ve Courant Şartı olarak bilinen ifadeye göre hesaplanmıştır. (Liggety et Cunge, 1975 ve Cunge et al., 1980)

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{(|U + c|)} \quad (6-2)$$

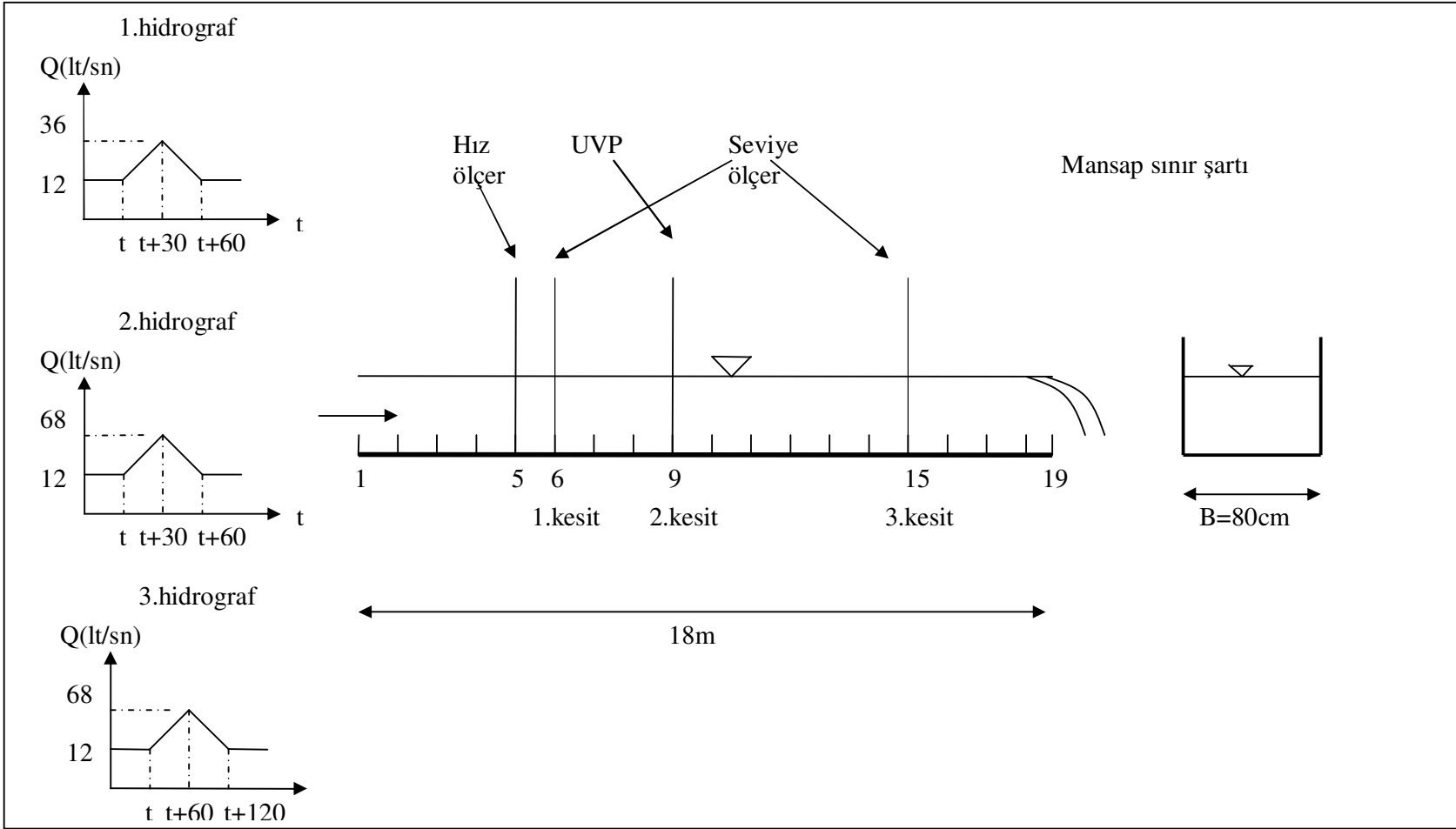
$\Delta x=1m$ olduğu, üzerinde çalışılan hidrograflardan pik debinin 68 lt/sn , buna karşılık gelen $U_{\max}=0,833 \text{ m/sn}$ ve yine akım derinliği $h_{\max}=0,102 \text{ m}$ değerine karşılık gelen $c_{\max} = \sqrt{g * h} = 1 \text{ m/sn}$ olduğu hesaba katılarak $\Delta t_{\max}=0,54 \text{ sn}$ olarak elde edilmektedir. Δt bundan küçük değerde seçilmelidir.

1. giriş hidrografı ($Q_{\text{taban}}=12$ lt/sn, $Q_{\text{pik}}=36$ lt/sn, $t_{\text{çıkış}}=30$ sn ve $t_{\text{iniş}}=30$ sn) durumunda sayısal çözümde kullanılan verilere ait kütük Ek B' de ,sonuçlar ise Ek C' de verilmiştir.

Δt zaman aralığı seçiminin sonuçlara etkisini belirlemek amacıyla 1. hidrograf için yapılan hesap sonuçları Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2 Eksplicit yöntemde dt seçiminin sonuçlara etkisi(1. kesit, 1. giriş hidrografı)

Deneysel			Sayısal						
t	S.ö.	D.metre	t	dt=0,001	dt=0,005	dt=0,01	dt=0,02	dt=0,05	dt=0,075
sn	cm	cm	sn	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0	4,10	4,10	0	4,100	4,100	4,100	4,100	4,100	4,1
5	4,10	4,10	5,02	4,129	4,129	4,129	4,129	4,126	4,126
10	4,30	4,30	9,97	4,559	4,559	4,559	4,559	4,559	4,557
15	4,80	4,40	14,92	5,145	5,145	5,145	5,145	5,145	5,134
20	5,40	4,60	19,8	5,782	5,782	5,781	5,781	5,787	5,752
25	6,10	4,80	24,75	6,422	6,422	6,422	6,421	6,427	6,386
30	6,50	5,80	29,7	7,029	7,029	7,029	7,030	7,038	6,996
35	6,60	6,20	34,65	7,399	7,401	7,402	7,406	7,415	7,424
40	6,90	7,00	39,6	7,178	7,179	7,181	7,186	7,196	7,227
45	7,00	6,20	44,55	6,847	6,849	6,851	6,857	6,869	6,917
50	6,60	6,00	49,5	6,410	6,413	6,415	6,421	6,433	6,495
55	6,50	6,00	54,45	5,935	5,937	5,939	5,945	5,955	6,02
60	6,00	6,00	59,4	5,408	5,410	5,412	5,417	5,424	5,506
65	5,70	5,60	64,35	4,852	4,854	4,855	4,859	4,863	4,938
70	5,30	5,30	69,3	4,577	4,578	4,579	4,582	4,588	4,617
75	4,80	5,10	74,25	4,423	4,424	4,425	4,426	4,430	4,456
80	4,60	4,80	79,27	4,332	4,332	4,333	4,334	4,338	4,354
85	4,20	4,40	84,22	4,276	4,276	4,277	4,277	4,279	4,287
90	4,10	4,30	89,17	4,240	4,240	4,240	4,240	4,239	4,244
95	4,10	4,10	94,12	4,211	4,210	4,210	4,210	4,208	4,212
100	4,10	4,10	99,07	4,192	4,192	4,192	4,191	4,189	4,19
105	4,10	4,10	104,02	4,179	4,178	4,178	4,177	4,174	4,174
110	4,10	4,10	108,97	4,169	4,169	4,168	4,167	4,164	4,163



Şekil 6.1 Sayısal çözüm hesap kesitleri ve sınır şartları

6.2 Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

6.2.1 Su Yüksekliklerinin Karşılaştırılması

Uygulanan giriş hidrograflarına bağlı olarak, deneysel olarak seviye ölçer ve direnç ölçer kullanılarak elde edilen su derinlikleri ile eksplisit yöntem için hesaplanan su derinliklerinin zamana göre değişimleri tablo ve şekillerle sunulmaktadır. Pürüzlülük katsayısının heterojen kesit için duyarlı olarak belirlenememesi nedenleriyle sonuçlara etkisini görebilmek için $n=0,020$, $n=0,022$ ve $n=0,024$ olmak üzere üç farklı pürüzlülük durumu hesaba katılmıştır. Sayısal çözümler ile deneysel bulgular karşılaştırılırken ölçümlerle uyumlu olan pürüzlülük katsayıları kullanılmıştır.

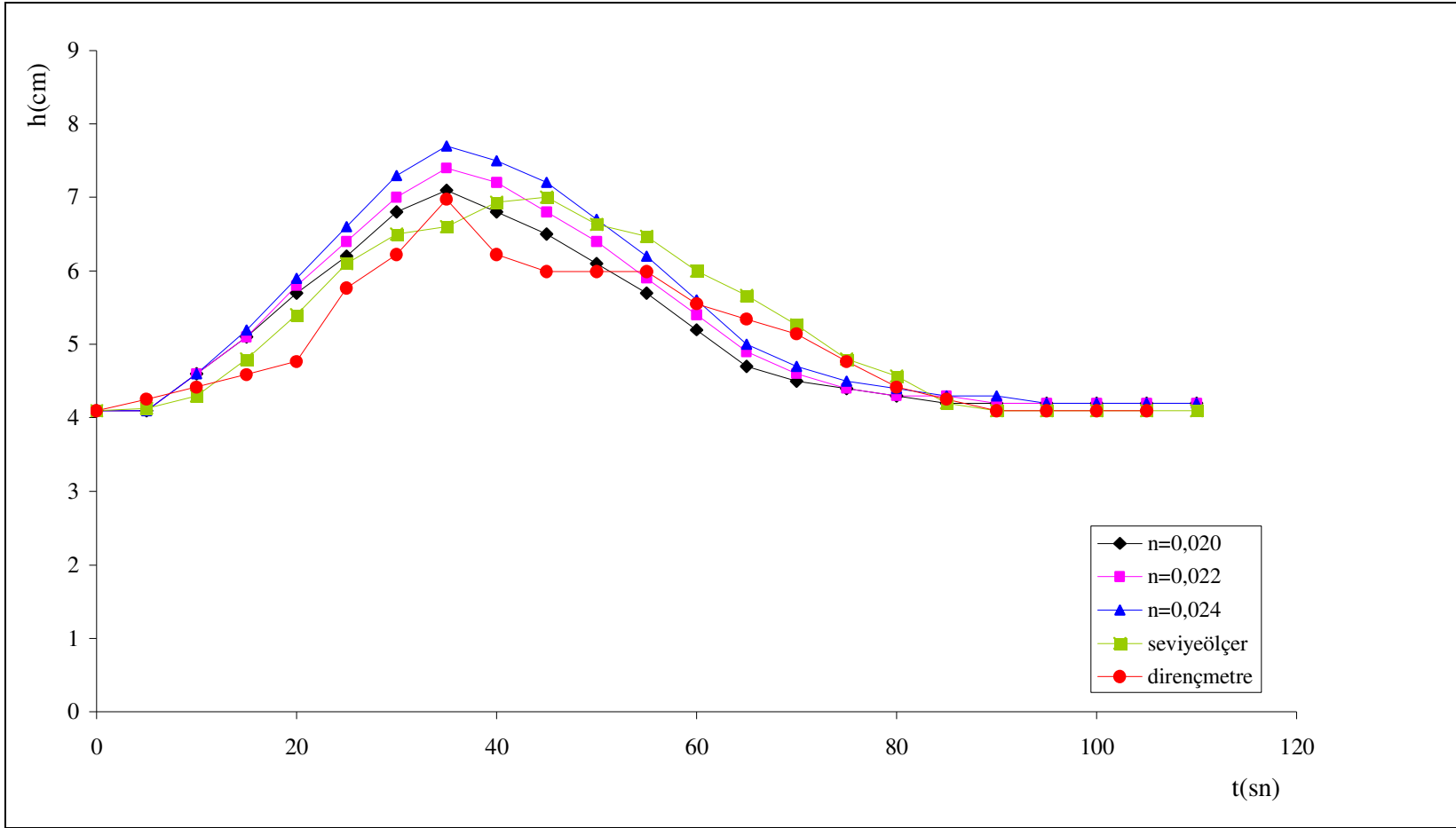
Birinci giriş hidrografi için; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesit ($x=6m$) sonuçları Tablo 6.3 ' te, üçüncü kesit ($x=15m$) sonuçları Tablo 6.4' te verilmiştir. Her bir pürüzlülük değeri için birinci kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.2' de, üçüncü kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.3' de gösterilmiştir.

İkinci giriş hidrografi için; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesit sonuçları Tablo 6.5 ' te, üçüncü kesit sonuçları Tablo 6.6' da verilmiştir. Her bir pürüzlülük değeri için birinci kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.4' de, üçüncü kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.5' de gösterilmiştir.

Üçüncü giriş hidrografi için; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesit sonuçları Tablo 6.7 ' de, üçüncü kesit sonuçları Tablo 6.8' de verilmiştir. Her bir pürüzlülük değeri için birinci kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.6' da, üçüncü kesitte grafik gösterimleri Şekil 6.7' de gösterilmiştir.

Tablo 6.3 Birinci hidrograf için $x=6m'$ de sonuçların karşılaştırılması

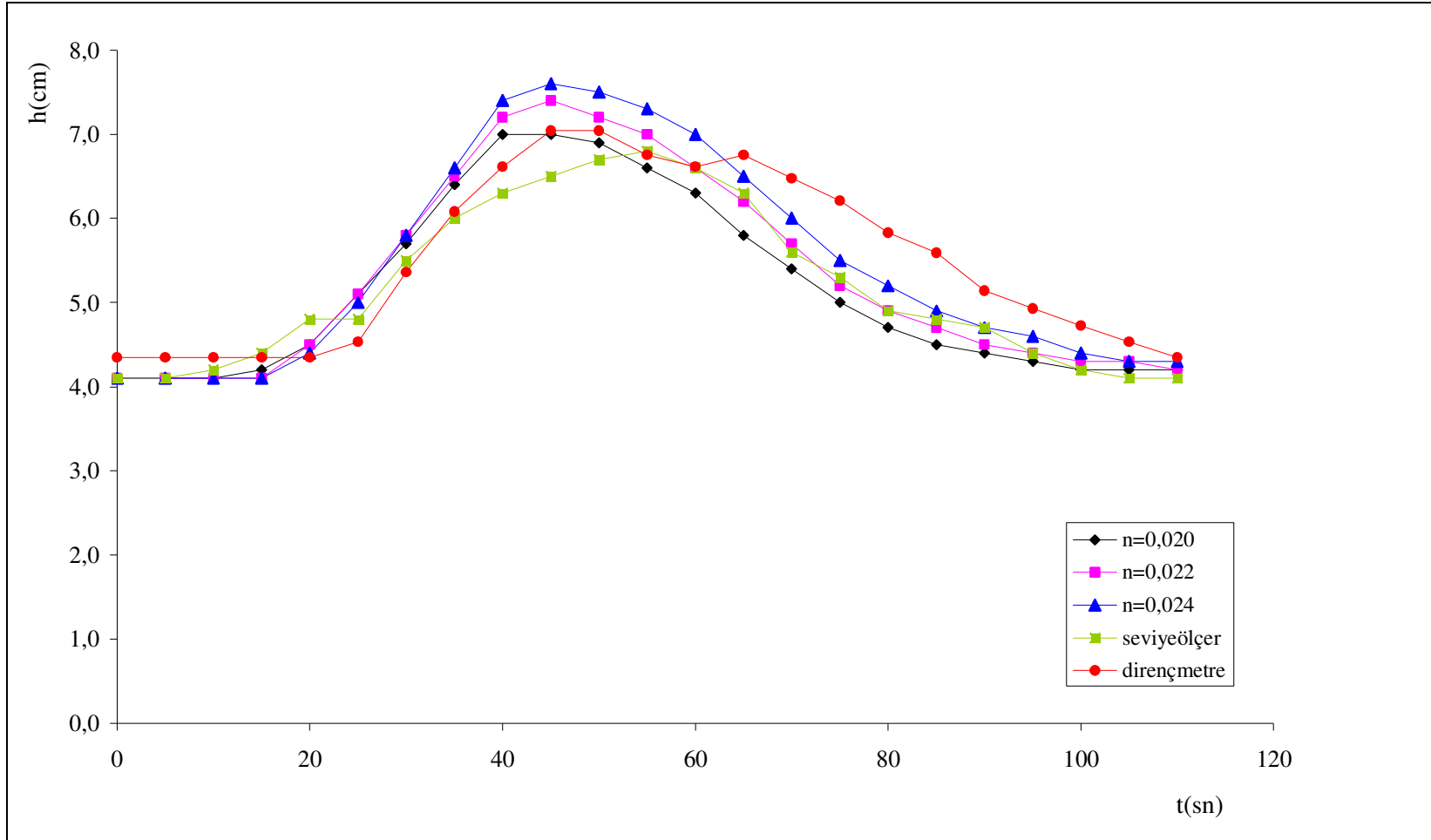
zaman	seviye ölçer	direnc metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
5	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
10	4,3	4,3	4,6	4,6	4,6
15	4,8	4,4	5,1	5,1	5,2
20	5,4	4,6	5,7	5,8	5,9
25	6,1	4,8	6,2	6,4	6,6
30	6,5	5,8	6,8	7,0	7,3
35	6,6	6,2	7,1	7,4	7,7
40	6,9	7,0	6,8	7,2	7,5
45	7,0	6,2	6,5	6,8	7,2
50	6,6	6,0	6,1	6,4	6,7
55	6,5	6,0	5,7	5,9	6,2
60	6,0	6,0	5,2	5,4	5,6
65	5,7	5,6	4,7	4,9	5
70	5,3	5,3	4,5	4,6	4,7
75	4,8	5,1	4,4	4,4	4,5
80	4,6	4,8	4,3	4,3	4,4
85	4,2	4,4	4,2	4,3	4,3
90	4,1	4,3	4,2	4,2	4,3
95	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2
100	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2
105	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2
110	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2



Şekil 6.2 Birinci hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Tablo 6.4 Birinci hidrograf için x=15m'de sonuçların karşılaştırılması

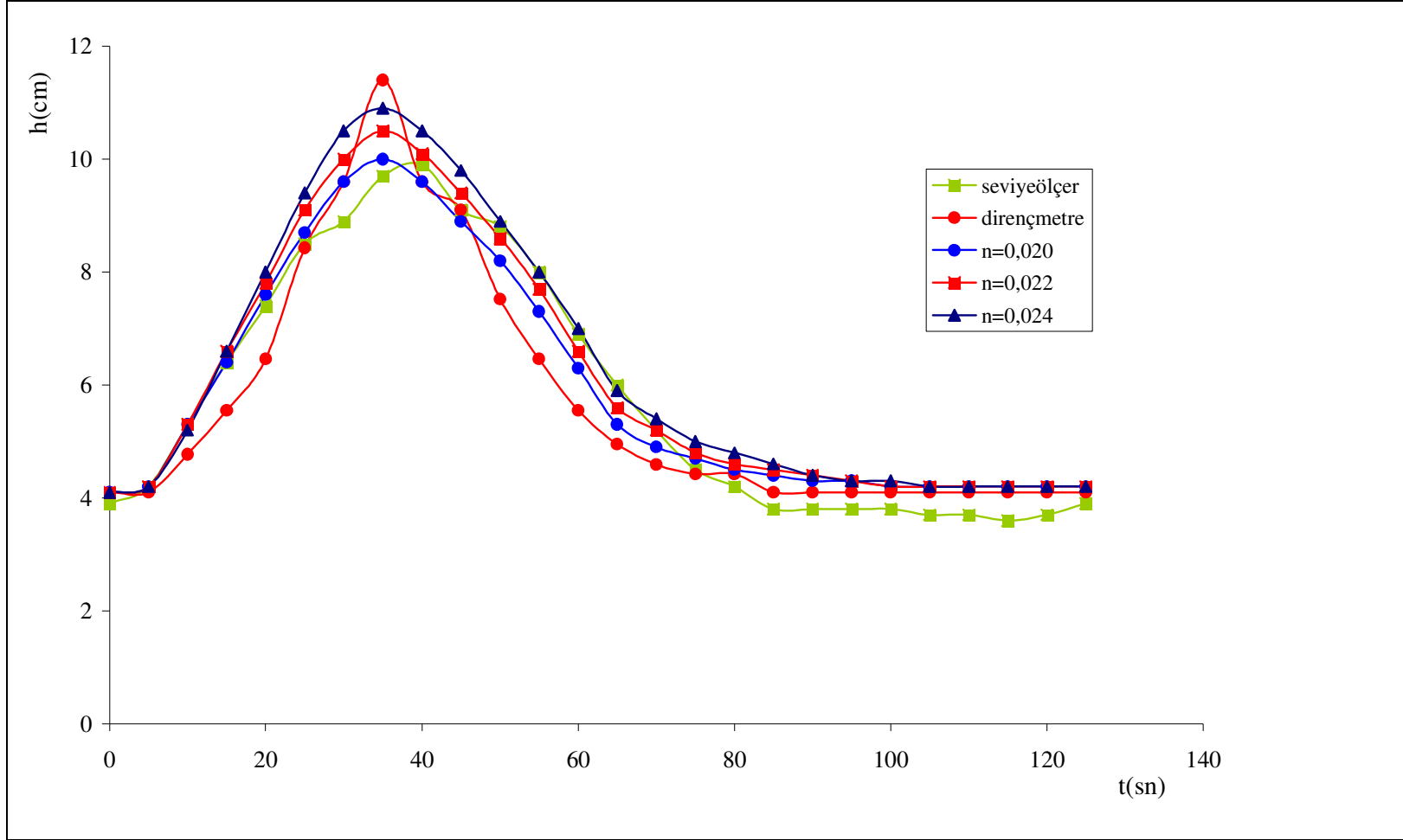
zaman	seviye ölçer	direnc metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	4,1	4,3	4,1	4,1	4,1
5	4,1	4,3	4,1	4,1	4,1
10	4,2	4,3	4,1	4,1	4,1
15	4,4	4,3	4,2	4,1	4,1
20	4,8	4,3	4,5	4,5	4,4
25	4,8	4,5	5,1	5,1	5,0
30	5,5	5,4	5,7	5,8	5,8
35	6,0	6,1	6,4	6,5	6,6
40	6,3	6,6	7,0	7,2	7,4
45	6,5	7,0	7,0	7,4	7,6
50	6,7	7,0	6,9	7,2	7,5
55	6,8	6,8	6,6	7	7,3
60	6,6	6,6	6,3	6,6	7,0
65	6,3	6,8	5,8	6,2	6,5
70	5,6	6,5	5,4	5,7	6,0
75	5,3	6,2	5,0	5,2	5,5
80	4,9	5,8	4,7	4,9	5,2
85	4,8	5,6	4,5	4,7	4,9
90	4,7	5,1	4,4	4,5	4,7
95	4,4	4,9	4,3	4,4	4,6
100	4,2	4,7	4,2	4,3	4,4
105	4,1	4,5	4,2	4,3	4,3
110	4,1	4,3	4,2	4,2	4,3



Şekil 6.3 Birinci hidrograf durumunda üçüncü kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Tablo 6.5 İkinci hidrograf için $x=6m'$ de sonuçların karşılaştırılması

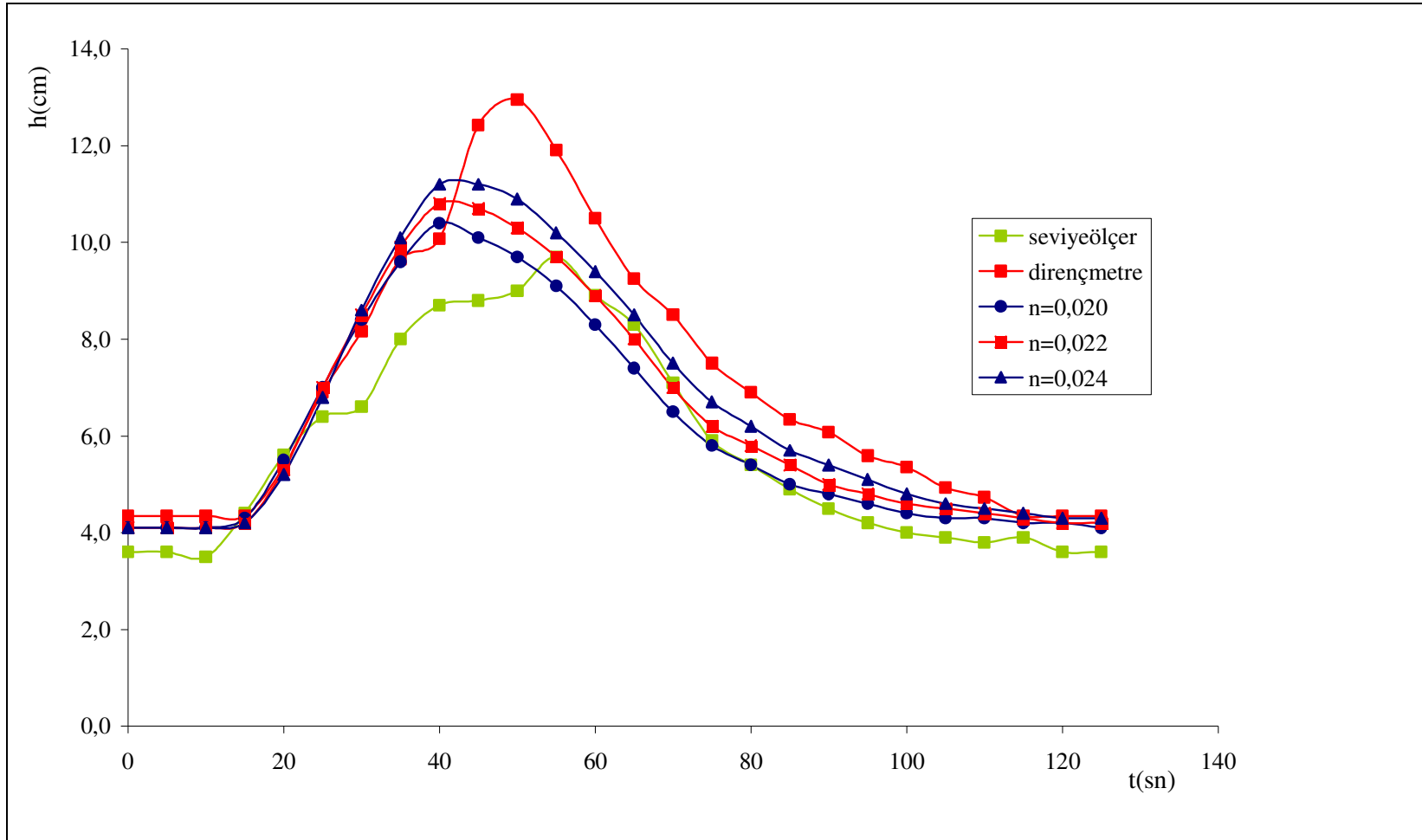
zaman	seviye ölçer	direnc metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	3,9	4,1	4,1	4,1	4,1
5	4,2	4,1	4,2	4,2	4,2
10	5,3	4,8	5,3	5,3	5,2
15	6,4	5,6	6,4	6,6	6,6
20	7,4	6,5	7,6	7,8	8,0
25	8,5	8,4	8,7	9,1	9,4
30	8,9	9,6	9,6	10,0	10,5
35	9,7	11,4	10	10,5	10,9
40	9,9	9,6	9,6	10,1	10,5
45	9,1	9,1	8,9	9,4	9,8
50	8,8	7,5	8,2	8,6	8,9
55	8,0	6,5	7,3	7,7	8,0
60	6,9	5,6	6,3	6,6	7,0
65	6,0	5,0	5,3	5,6	5,9
70	5,2	4,6	4,9	5,2	5,4
75	4,5	4,4	4,7	4,8	5,0
80	4,2	4,4	4,5	4,6	4,8
85	3,8	4,1	4,4	4,5	4,6
90	3,8	4,1	4,3	4,4	4,4
95	3,8	4,1	4,3	4,3	4,3
100	3,8	4,1	4,2	4,2	4,3
105	3,7	4,1	4,2	4,2	4,2
110	3,7	4,1	4,2	4,2	4,2
115	3,6	4,1	4,2	4,2	4,2
120	3,7	4,1	4,2	4,2	4,2
125	3,9	4,1	4,2	4,2	4,2
130	3,9	4,1	4,2	4,2	4,1



Şekil 6.4 İkinci hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Tablo 6.6 İkinci hidrograf için $x=15m$ 'de sonuçların karşılaştırılması

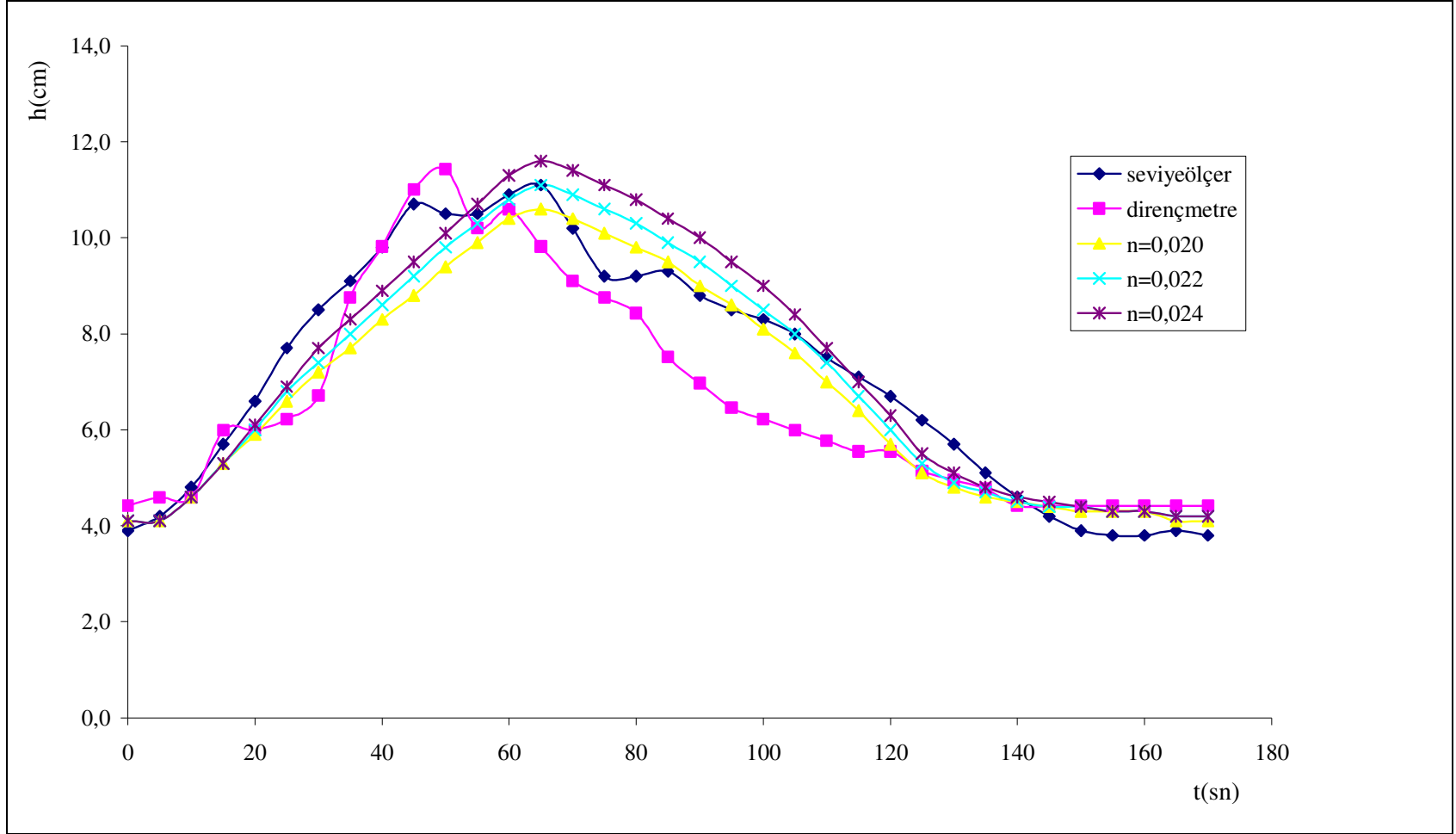
zaman	seviye ölçer	direnc metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	3,6	4,4	4,1	4,1	4,1
5	3,6	4,4	4,1	4,1	4,1
10	3,5	4,4	4,1	4,1	4,1
15	4,4	4,4	4,3	4,2	4,2
20	5,6	5,4	5,5	5,3	5,2
25	6,4	6,9	7,0	7,0	6,8
30	6,6	8,2	8,4	8,5	8,6
35	8,0	9,7	9,6	9,9	10,1
40	8,7	10,1	10,4	10,8	11,2
45	8,8	12,4	10,1	10,7	11,2
50	9,0	13,0	9,7	10,3	10,9
55	9,7	11,9	9,1	9,7	10,2
60	8,9	10,5	8,3	8,9	9,4
65	8,3	9,3	7,4	8,0	8,5
70	7,1	8,5	6,5	7,0	7,5
75	5,9	7,5	5,8	6,2	6,7
80	5,4	6,9	5,4	5,8	6,2
85	4,9	6,3	5,0	5,4	5,7
90	4,5	6,1	4,8	5,0	5,4
95	4,2	5,6	4,6	4,8	5,1
100	4,0	5,4	4,4	4,6	4,8
105	3,9	4,9	4,3	4,5	4,6
110	3,8	4,7	4,3	4,4	4,5
115	3,9	4,4	4,2	4,3	4,4
120	3,6	4,4	4,2	4,2	4,3
125	3,6	4,4	4,1	4,2	4,3
130	3,6	4,4	4,1	4,2	4,2
135	3,6	4,4	4,1	4,1	4,2



Şekil 6.5 İkinci hidrograf durumunda ikinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Tablo 6.7 Üçüncü hidrograf için $x=6m$ 'de sonuçların karşılaştırılması

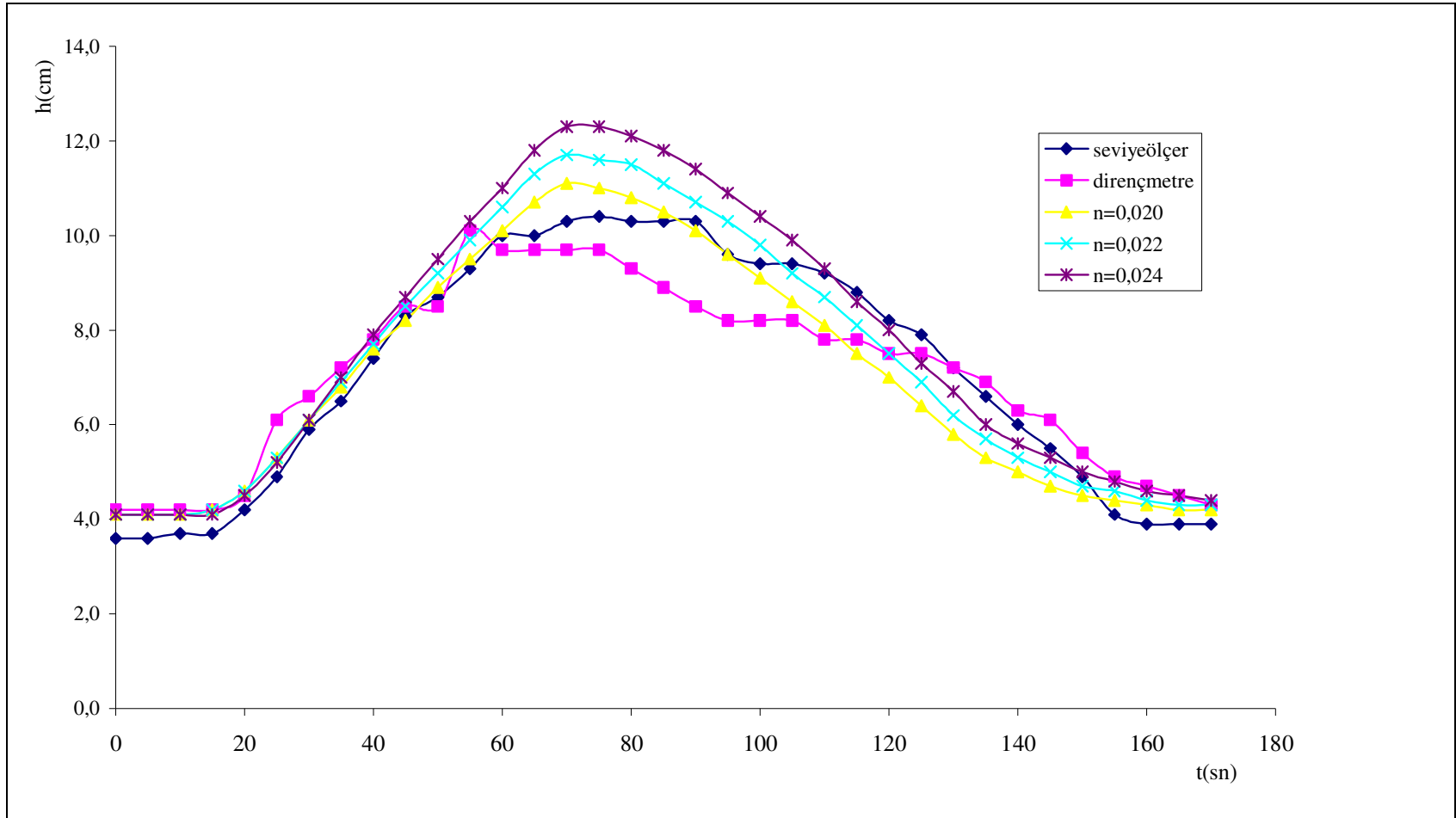
zaman	seviye ölçer	direnç metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	3,9	4,4	4,1	4,1	4,1
5	4,2	4,6	4,1	4,1	4,1
10	4,8	4,6	4,6	4,6	4,6
15	5,7	6,0	5,3	5,3	5,3
20	6,6	6,0	5,9	6,0	6,1
25	7,7	6,2	6,6	6,8	6,9
30	8,5	6,7	7,2	7,4	7,7
35	9,1	8,8	7,7	8,0	8,3
40	9,8	9,8	8,3	8,6	8,9
45	10,7	11,0	8,8	9,2	9,5
50	10,5	11,4	9,4	9,8	10,1
55	10,5	10,2	9,9	10,3	10,7
60	10,9	10,6	10,4	10,8	11,3
65	11,1	9,8	10,6	11,1	11,6
70	10,2	9,1	10,4	10,9	11,4
75	9,2	8,8	10,1	10,6	11,1
80	9,2	8,4	9,8	10,3	10,8
85	9,3	7,5	9,5	9,9	10,4
90	8,8	7,0	9	9,5	10
95	8,5	6,5	8,6	9,0	9,5
100	8,3	6,2	8,1	8,5	9
105	8,0	6,0	7,6	8,0	8,4
110	7,5	5,8	7	7,4	7,7
115	7,1	5,6	6,4	6,7	7
120	6,7	5,6	5,7	6,0	6,3
125	6,2	5,1	5,1	5,3	5,5
130	5,7	5,0	4,8	4,9	5,1
135	5,1	4,8	4,6	4,7	4,8
140	4,6	4,4	4,5	4,5	4,6
145	4,2	4,4	4,4	4,4	4,5
150	3,9	4,4	4,3	4,4	4,4
155	3,8	4,4	4,3	4,3	4,3
160	3,8	4,4	4,3	4,3	4,3
165	3,9	4,4	4,1	4,2	4,2
170	3,8	4,4	4,1	4,2	4,2
175	3,8	4,4	4,1	4,2	4,2
180	3,8	4,4	4,1	4,2	4,2



Şekil 6.6 Üçüncü hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Tablo 6.8 Üçüncü hidrograf için $x=15m'$ de sonuçların karşılaştırılması

zaman	seviye ölçer	direnç metre	sayısal	sayısal	sayısal
			n=0,020	n=0,022	n=0,024
t(sn)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	h(cm)
0	3,5	4,2	4,1	4,1	4,1
5	3,5	4,2	4,1	4,1	4,1
10	3,4	4,2	4,1	4,1	4,1
15	3,4	4,2	4,2	4,2	4,1
20	3,4	4,5	4,6	4,6	4,5
25	3,5	6,1	5,3	5,3	5,2
30	3,5	6,6	6,1	6,1	6,1
35	3,9	7,2	6,8	6,9	7,0
40	4,7	7,8	7,6	7,7	7,9
45	5,7	8,5	8,2	8,5	8,7
50	6,5	8,5	8,9	9,2	9,5
55	7,4	10,1	9,5	9,9	10,3
60	8,3	9,7	10,1	10,6	11,0
65	8,7	9,7	10,7	11,3	11,8
70	9,3	9,7	11,1	11,7	12,3
75	10	9,7	11,0	11,6	12,3
80	10	9,3	10,8	11,5	12,1
85	10,3	8,9	10,5	11,1	11,8
90	10,4	8,5	10,1	10,7	11,4
95	10,3	8,2	9,6	10,3	10,9
100	10,3	8,2	9,1	9,8	10,4
105	10,3	8,2	8,6	9,2	9,9
110	9,6	7,8	8,1	8,7	9,3
115	9,4	7,8	7,5	8,1	8,6
120	9,4	7,5	7,0	7,5	8,0
125	9,2	7,5	6,4	6,9	7,3
130	8,8	7,2	5,8	6,2	6,7
135	8,2	6,9	5,3	5,7	6,0
140	7,9	6,3	5,0	5,3	5,6
145	7,2	6,1	4,7	5	5,3
150	6,6	5,4	4,5	4,7	5,0
155	6	4,9	4,4	4,6	4,8
160	5,5	4,7	4,3	4,4	4,6
165	4,9	4,5	4,2	4,3	4,5
170	4,1	4,3	4,2	4,3	4,4
175	3,9	4,3	4,1	4,2	4,3
180	3,6	4,3	4,2	4,2	4,2



Şekil 6.7 Üçüncü hidrograf durumunda ikinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

6.2.2 Ortalama Hızların Karşılaştırılması

Sayısal yöntemle bulunan $x=9\text{m}$ 'deki ortalama hızlar, UVP cihazı ile ölçülen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. UVP cihazıyla ölçülen deneysel değerler bulutundan ortalama bir eğri geçirilmiştir(Grafik üzerinde bu eğri den.ver.ort. şeklinde ifade edilmiştir.). Ölçülen ve $n=0,020$ için normal derinlik şeklinde tanımlanan mansap sınır şartı kullanılarak hesaplanan değerler birinci hidrograf için örnek olarak Tablo 6.9' da verilmiş olup bu ve diğer pürüzlülük değerleri ile elde edilen eğriler Şekil 6.8' de gösterilmiştir. İkinci hidrograf için değerler Şekil 6.9' da; üçüncü hidrograf için değerler Şekil 6.10' da verilmiştir.

Tablo 6.9 Birinci hidrograf durumunda $x=9m'$ de ortalama hızların karşılaştırılması($n=0,020$)

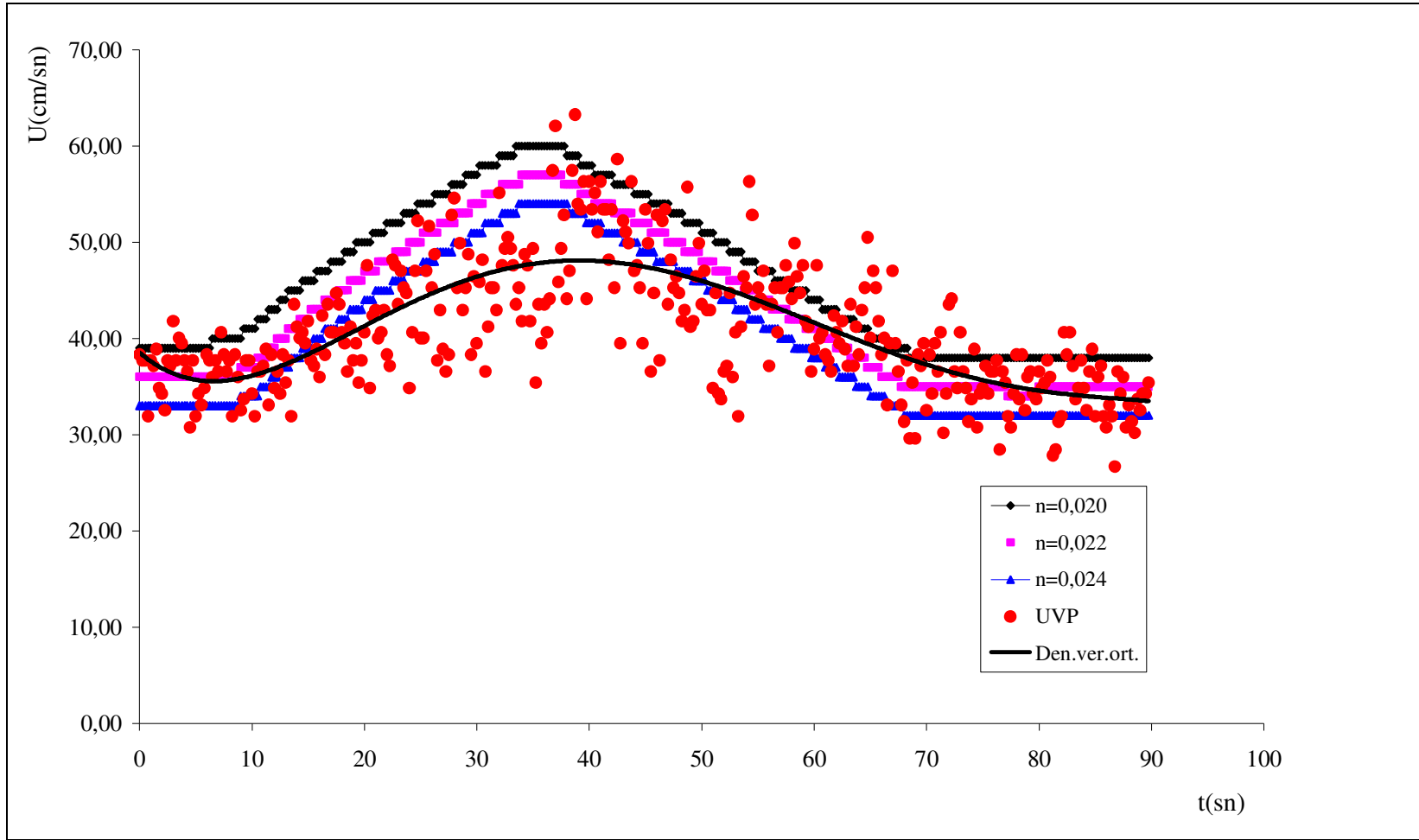
zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal
t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)
0,00	38,31	39,391	10,00	34,25	41,098	20,00	40,63	50,120
0,25	37,73	39,391	10,25	31,93	41,324	20,25	47,60	50,299
0,50	37,73	39,391	10,50	36,57	41,563	20,50	34,83	50,475
0,75	31,93	39,391	10,75	36,57	41,814	20,75	42,38	50,647
1,00	37,73	39,391	11,00	37,15	42,076	21,00	42,96	50,817
1,25	37,15	39,391	11,25	38,89	42,345	21,25	40,05	50,989
1,50	38,89	39,391	11,50	33,09	42,619	21,50	40,63	51,161
1,75	34,83	39,391	11,75	38,31	42,897	21,75	42,96	51,334
2,00	34,25	39,391	12,00	34,83	43,176	22,00	38,31	51,511
2,25	32,51	39,391	12,25	36,57	43,454	22,25	37,15	51,691
2,50	37,73	39,391	12,50	34,25	43,728	22,50	48,18	51,873
2,75	37,15	39,391	12,75	38,31	43,996	22,75	47,60	52,059
3,00	41,79	39,391	13,00	35,41	44,256	23,00	43,54	52,247
3,25	37,73	39,391	13,25	37,73	44,508	23,25	47,02	52,436
3,50	40,05	39,391	13,50	31,93	44,751	23,50	45,28	52,624
3,75	39,47	39,391	13,75	43,54	44,984	23,75	44,70	52,812
4,00	37,73	39,392	14,00	41,21	45,206	24,00	34,83	52,998
4,25	36,57	39,394	14,25	40,05	45,421	24,25	40,63	53,181
4,50	30,77	39,397	14,50	40,63	45,628	24,50	47,02	53,361
4,75	37,73	39,400	14,75	39,47	45,828	24,75	52,24	53,538
5,00	31,93	39,406	15,00	41,79	46,024	25,00	40,05	53,712
5,25	34,25	39,413	15,25	37,73	46,217	25,25	40,05	53,884
5,50	33,09	39,423	15,50	37,15	46,409	25,50	47,02	54,053
5,75	34,83	39,436	15,75	38,89	46,601	25,75	51,66	54,222
6,00	38,31	39,453	16,00	35,99	46,796	26,00	45,28	54,392
6,25	37,73	39,475	16,25	42,38	46,994	26,25	48,76	54,564
6,50	35,99	39,503	16,50	38,31	47,196	26,50	37,73	54,738
6,75	37,73	39,538	16,75	43,54	47,403	26,75	42,96	54,916
7,00	36,57	39,581	17,00	40,63	47,614	27,00	38,89	55,097
7,25	40,63	39,634	17,25	40,63	47,829	27,25	36,57	55,282
7,50	38,31	39,696	17,50	44,7	48,047	27,50	38,31	55,470
7,75	36,57	39,770	17,75	43,54	48,268	27,75	52,82	55,662
8,00	37,73	39,857	18,00	40,63	48,489	28,00	54,57	55,856
8,25	31,93	39,958	18,25	39,47	48,708	28,25	45,28	56,051
8,50	38,31	40,073	18,50	36,57	48,925	28,50	49,92	56,247
8,75	35,99	40,204	18,75	41,21	49,139	28,75	42,96	56,440
9,00	32,51	40,350	19,00	37,73	49,347	29,00	45,28	56,631
9,25	33,67	40,513	19,25	39,47	49,549	29,25	48,76	56,818
9,50	37,73	40,692	19,50	35,41	49,746	29,50	38,31	57,002
9,75	37,73	40,887	19,75	37,73	49,936	29,75	46,44	57,180

Tablo 6.9 Birinci hidrograf durumunda $x=9m'$ de ortalama hızların karşılaştırılması($n=0,020$)(devam)

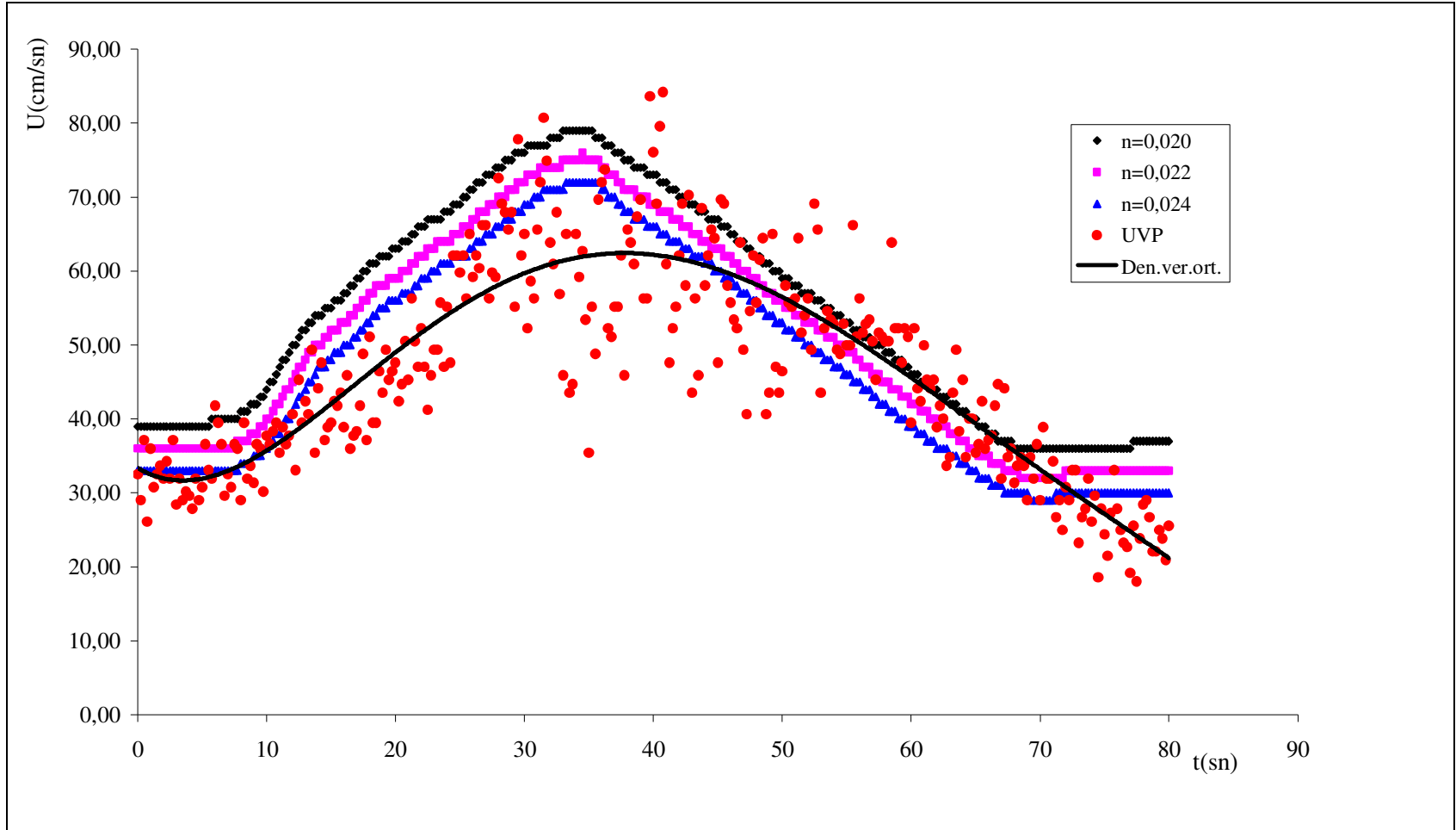
zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal
t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)
30,00	39,47	57,354	40,00	56,31	57,730	50,00	43,54	51,336
30,25	45,86	57,524	40,25	53,4	57,564	50,25	47,02	51,140
30,50	48,18	57,690	40,50	55,15	57,410	50,50	42,96	50,942
30,75	36,57	57,852	40,75	51,08	57,265	50,75	42,96	50,746
31,00	41,21	58,011	41,00	56,31	57,128	51,00	34,83	50,550
31,25	45,28	58,169	41,25	53,4	56,996	51,25	44,7	50,355
31,50	45,28	58,325	41,50	53,4	56,867	51,50	34,25	50,159
31,75	42,96	58,480	41,75	48,18	56,739	51,75	33,67	49,964
32,00	55,15	58,634	42,00	53,4	56,609	52,00	36,57	49,768
32,25	47,6	58,788	42,25	45,28	56,475	52,25	37,15	49,571
32,50	49,34	58,939	42,50	58,63	56,336	52,50	44,7	49,375
32,75	50,5	59,089	42,75	39,47	56,190	52,75	35,99	49,179
33,00	49,34	59,237	43,00	52,24	56,038	53,00	40,63	48,982
33,25	47,6	59,381	43,25	51,08	55,880	53,25	31,93	48,786
33,50	43,54	59,520	43,50	49,92	55,717	53,50	41,21	48,592
33,75	45,28	59,654	43,75	56,31	55,550	53,75	46,44	48,398
34,00	41,79	59,780	44,00	47,02	55,381	54,00	45,28	48,206
34,25	48,76	59,897	44,25	47,6	55,212	54,25	56,31	48,017
34,50	47,6	60,002	44,50	45,28	55,044	54,50	52,82	47,830
34,75	41,79	60,095	44,75	39,47	54,878	54,75	43,54	47,647
35,00	49,34	60,172	45,00	53,4	54,715	55,00	45,28	47,467
35,25	35,41	60,231	45,25	49,92	54,556	55,25	44,12	47,291
35,50	43,54	60,271	45,50	36,57	54,401	55,50	47,02	47,117
35,75	39,47	60,289	45,75	44,7	54,249	55,75	43,54	46,946
36,00	43,54	60,283	46,00	52,82	54,100	56,00	37,15	46,778
36,25	40,63	60,252	46,25	37,73	53,952	56,25	43,54	46,611
36,50	44,12	60,194	46,50	52,24	53,805	56,50	45,28	46,445
36,75	57,47	60,111	46,75	53,4	53,655	56,75	40,63	46,280
37,00	62,11	60,001	47,00	43,54	53,503	57,00	45,28	46,115
37,25	45,86	59,867	47,25	48,18	53,348	57,25	45,28	45,949
37,50	49,34	59,710	47,50	45,28	53,188	57,50	47,6	45,781
37,75	52,82	59,534	47,75	46,44	53,023	57,75	45,86	45,611
38,00	44,12	59,342	48,00	44,7	52,852	58,00	44,12	45,440
38,25	47,02	59,139	48,25	41,79	52,676	58,25	49,92	45,266
38,50	57,47	58,929	48,50	42,96	52,493	58,50	46,44	45,091
38,75	63,27	58,716	48,75	55,73	52,307	58,75	44,7	44,914
39,00	53,99	58,504	49,00	41,21	52,117	59,00	47,6	44,735
39,25	53,4	58,297	49,25	41,79	51,924	59,25	41,79	44,555
39,50	56,31	58,097	49,50	46,44	51,729	59,50	41,21	44,373
39,75	44,12	57,908	49,75	49,92	51,533	59,75	36,57	44,192

Tablo 6.9 Birinci hidrograf durumunda $x=9m'$ de ortalama hızların karşılaştırılması($n=0,020$) (devam)

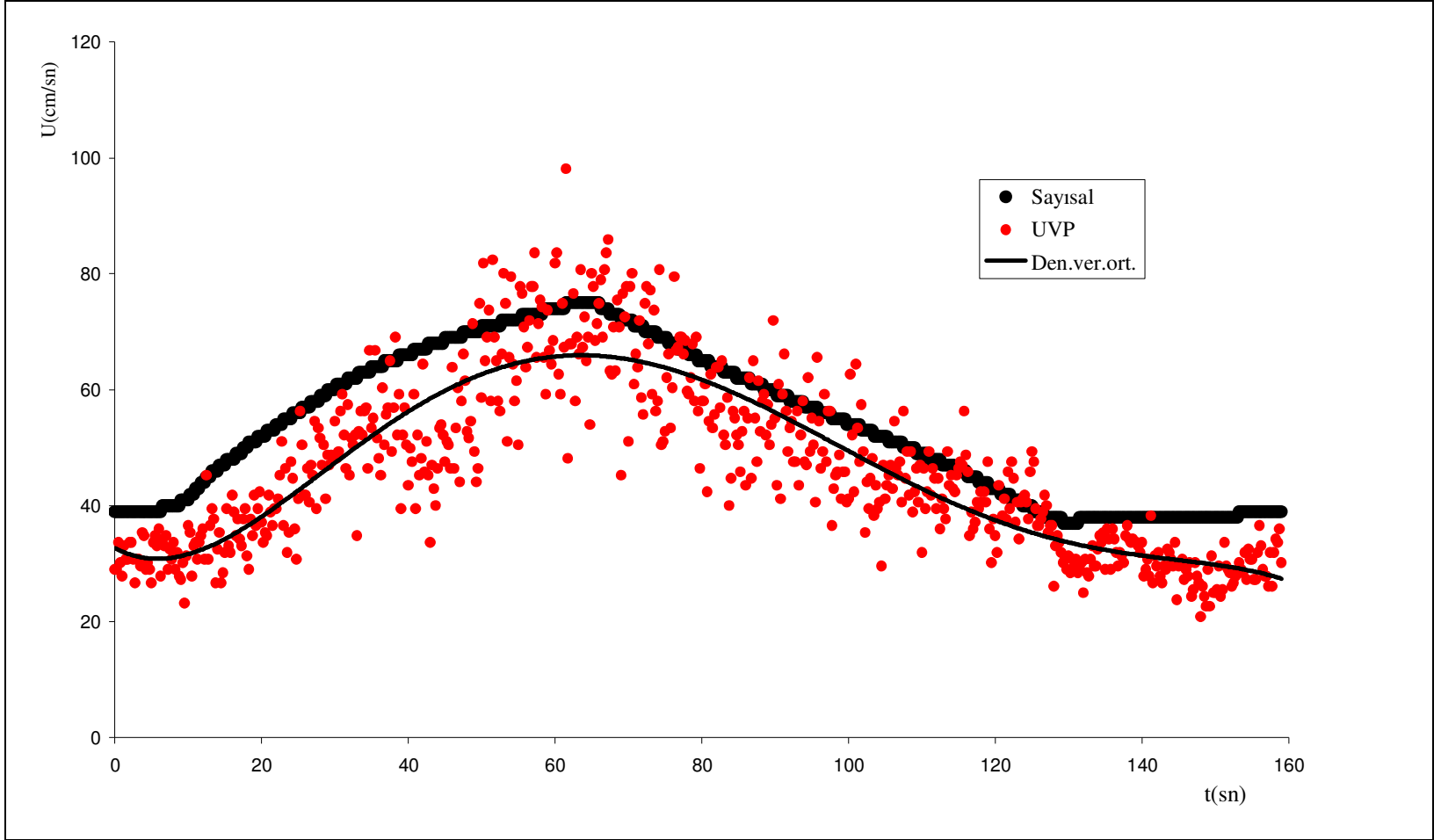
zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal	zaman	UVP	Sayısal
t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)	t(sn)	U(cm/sn)	U(cm/sn)
60,00	38,89	44,010	70,00	32,51	38,154	80,00	36,57	38,146
60,25	47,6	43,830	70,25	38,31	38,134	80,25	34,83	38,151
60,50	40,05	43,649	70,50	34,25	38,121	80,50	35,41	38,156
60,75	40,63	43,470	70,75	39,47	38,116	80,75	37,73	38,160
61,00	38,31	43,292	71,00	36,57	38,115	81,00	35,99	38,163
61,25	37,73	43,114	71,25	40,63	38,120	81,25	27,86	38,165
61,50	36,57	42,937	71,50	30,19	38,128	81,50	28,44	38,168
61,75	42,38	42,762	71,75	34,25	38,139	81,75	31,35	38,169
62,00	40,63	42,587	72,00	43,54	38,152	82,00	31,93	38,170
62,25	39,47	42,412	72,25	44,12	38,165	82,25	40,63	38,172
62,50	41,79	42,238	72,50	36,57	38,178	82,50	38,31	38,173
62,75	38,89	42,064	72,75	34,83	38,190	82,75	40,63	38,175
63,00	37,15	41,889	73,00	40,63	38,201	83,00	37,15	38,177
63,25	43,54	41,713	73,25	36,57	38,209	83,25	33,67	38,180
63,50	37,15	41,537	73,50	34,83	38,215	83,50	34,83	38,184
63,75	41,21	41,360	73,75	31,35	38,218	83,75	37,73	38,190
64,00	38,31	41,182	74,00	33,67	38,218	84,00	34,83	38,196
64,25	42,96	41,004	74,25	38,89	38,215	84,25	32,51	38,203
64,50	45,28	40,826	74,50	30,77	38,210	84,50	36,57	38,212
64,75	50,5	40,648	74,75	34,25	38,203	84,75	38,89	38,221
65,00	40,05	40,470	75,00	34,83	38,194	85,00	31,93	38,232
65,25	47,02	40,293	75,25	37,15	38,184	85,25	35,99	38,244
65,50	45,28	40,119	75,50	34,25	38,173	85,50	37,15	38,256
65,75	41,79	39,947	75,75	36,57	38,161	85,75	31,93	38,270
66,00	38,31	39,779	76,00	36,57	38,150	86,00	30,77	38,284
66,25	40,05	39,616	76,25	37,73	38,139	86,25	33,09	38,298
66,50	33,09	39,458	76,50	28,44	38,129	86,50	31,93	38,313
66,75	39,47	39,305	76,75	36,57	38,121	86,75	26,7	38,327
67,00	47,02	39,160	77,00	35,41	38,115	87,00	36,57	38,342
67,25	39,47	39,022	77,25	31,93	38,110	87,25	34,25	38,357
67,50	36,57	38,893	77,50	30,77	38,107	87,50	35,99	38,371
67,75	33,09	38,774	77,75	34,25	38,106	87,75	30,77	38,386
68,00	31,35	38,664	78,00	38,31	38,106	88,00	33,09	38,400
68,25	37,73	38,564	78,25	33,67	38,109	88,25	31,35	38,414
68,50	29,6	38,474	78,50	38,31	38,112	88,50	30,19	38,428
68,75	35,41	38,395	78,75	32,51	38,117	88,75	33,67	38,442
69,00	29,6	38,327	79,00	35,99	38,122	89,00	32,51	38,455
69,25	38,31	38,269	79,25	36,57	38,128	89,25	34,25	38,469
69,50	37,15	38,221	79,50	34,25	38,134	89,50	34,25	38,482
69,75	39,47	38,183	79,75	33,67	38,140	89,75	35,41	38,495



Şekil 6.8 Birinci hidrograf durumunda farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

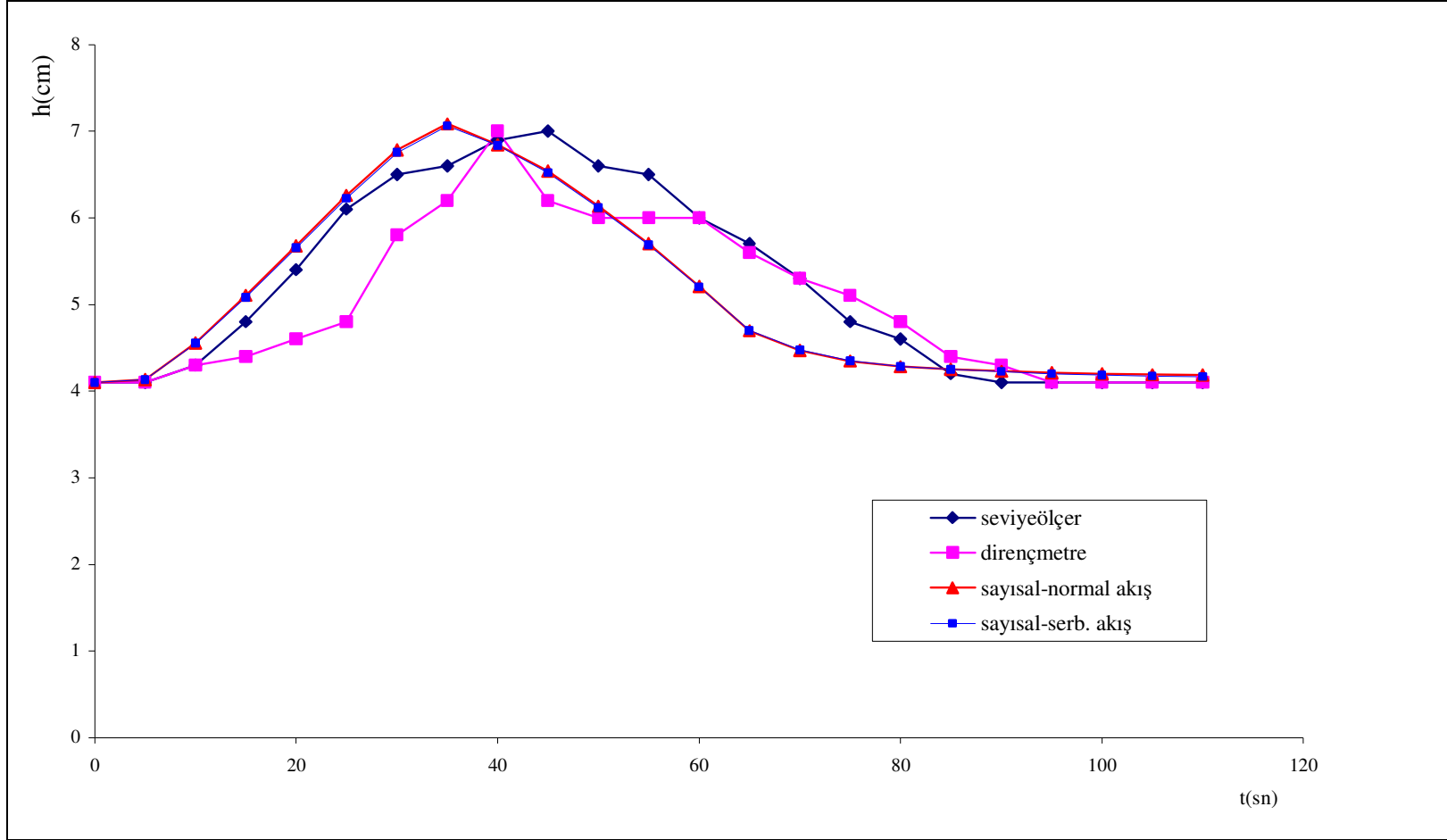


Şekil 6.9 İkinci hidrograf durumunda farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

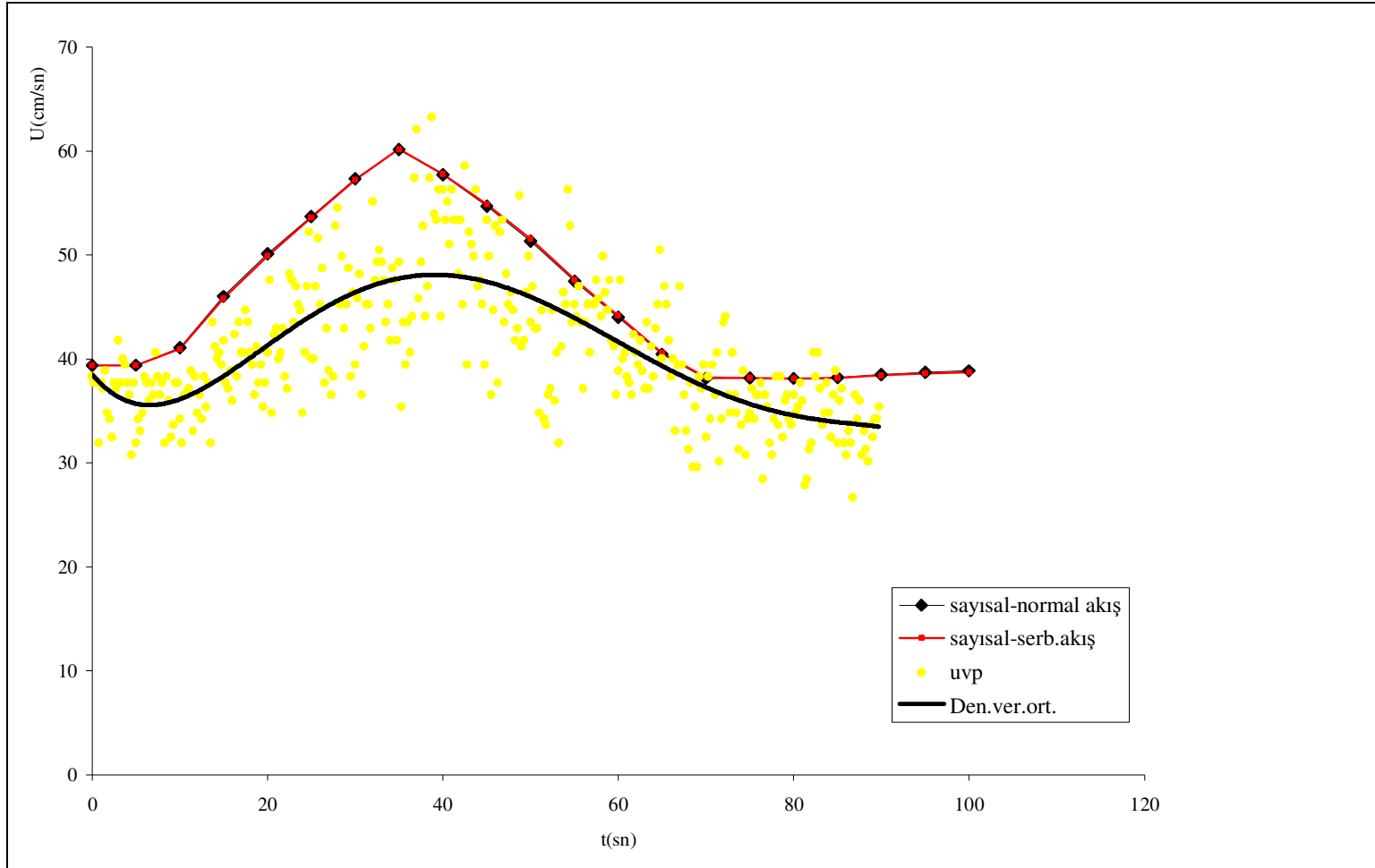


Şekil 6.10 Üçüncü hidrograf durumunda farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

Faklı mansap sınır şartının sonuçlara etkisini belirlemek için de sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak 1. hidrograf ve $n=0,020$ değeri kullanılarak elde edilen hesap sonuçları derinlikler için Şekil 6.11' de, hızlar için ise Şekil 6.12' de verilmektedir.



Şekil 6.11 Farklı mansap sınır şartlarının derinlik sonuçlarına etkisi



Şekil 6.12 Farklı mansap sınır şartlarının hız sonuçlarına etkisi

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ VE ÖNERİLER

DEÜ İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda kurulan kapsamlı deney düzeneği üzerinde taşkın dalgasının yayılması ile ilgili olarak duyarlı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Devir sayısı ayarlanabilen bir pompanın debisi kumanda sistemi ile değiştirilerek farklı giriş hidrografları oluşturulmuştur. Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümü ile elde edilen teorik sonuçlar deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Seviye ölçer ile elde edilen sonuçların direnç ölçer ile elde edilen sonuçlardan çok daha duyarlı ve gerçekçi olduğu tespit edilmiştir.

UVP cihazı ile kesit içerisindeki noktasal hızlar ve kesitsel ortalama hızlar duyarlı bir şekilde ölçülebilmektedir.

IFC 300 elektromanyetik debi ölçer, çok kanallı kaydedici ile beraber kullanılarak debinin zamana bağlı olarak değişimi pratik bir şekilde kaydedilebilmiştir.

Kullanılan eksplisit yaklaşımlı sayısal çözümde Courant Kriterini sağlama koşulu ile zaman aralığı değerlerinin sonuçlara pek etki etmediği tespit edilmiştir.

Boyutlu bir parametre olan Manning pürüzlülük katsayısı seçiminin önemli olduğu ve sayısal sonuçları etkilediği görülmüştür.

Mansap sınır şartı olarak normal derinliğin veya serbest akışın kullanılmasının sayısal sonuçları pek değiştirmediği görülmüştür.

Kullanılan eksplisit çözümle elde edilen teorik sonuçlar deneysel bulgularla kabul edilebilir bir uyum içindedir. İmplicit ve daha gelişmiş sayısal çözüm teknikleri kullanılarak daha da uyumlu sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

Bu çalışma kapsamında Manning pürüzlülük katsayısı akış hızından bağımsız kabul edilip sadece malzemenin özellikleri hesaba katılarak belirlenmiştir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar değerlendirilerek, akış hızı cinsinden en uygun sonuçlar veren ampirik bağıntının belirlenmesi ve sayısal çözümde akış hızına bağlı olarak değişen pürüzlülük katsayısı alınmasının sonuçlara nasıl etki ettiğinin araştırılması yerinde olacaktır.

Hidrolik laboratuvarında inşa edilen bu kapsamlı deney düzeneği üzerinde farklı memba ve mansap sınırları oluşturularak deneyler gerçekleştirilmesi ve ölçülen parametrelerin gelişmiş sayısal çözüm teknikleri kullanılarak elde edilecek teorik sonuçlarla karşılaştırılması yapılabilecek önerilerdendir.

Laboratuvarda mevcut deney sisteminde dolu bir haznenin tabanındaki orifisin aniden açılarak boş bir hazneye su aktarılmasıyla taşkın hidrografi oluşturulması da olasıdır. Doğada karşılaşılan taşkın hidrograflarına daha benzer bir taşkın hidrografi oluşturulması olanağını veren bu yaklaşımın devreye sokularak deneylerin gerçekleştirilmesi ve deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması dikkate değer bir çalışma olacaktır.

Benzer bir çalışmanın pozitif eğimli farklı kanallarda, yatay kanallarda ve ters eğimli kanallarda gerçekleştirilmesi ilginç sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

Akyazı, H., Güzel, İ., Çataklı, T. ve Karadurmuş, E. (2007). Açık kanallarda ve akarsularda ultrasonik yöntemle debi ölçülmesi. 2. *Çevre Sorunları Kongre Kitabı*, 7. kısım.

Chaudhry, M. H. (1993). *Open channel flow*. New Jersey: Prentice-Hall Englewood Cliffs.

Güney, M. Ş. (2006). *Laboratuvar uygulamalı hidrolik*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

Graf, W. H. (1998). *Fluvial Hydraulics*. Chichester: John Wiley ve Sons Ltd.

Koutitas, C. G. *Elements of computational hydraulics*, NY: Chapman and Hall.

Sümer, B. M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M. (1983). *Hidrolik*. İstanbul: Birsen Yayınevi .

EK A

EK A Eksplisit Yöntemle Çözüm İçin Kullanılan Bilgisayar Programı

Açık kanallardaki dalga yayılmasını eksplisit yöntem ile çözümünü sağlayan “SON.FOR” adı verilen dosyadaki bilgisayar programı aşağıda verilmektedir.

```

PARAMETER (G=9.81,MAXDIV=18,NNMAX=MAXDIV+1)
REAL M,SF,N ,LT
DIMENSION H(2,37),U(2,37),Q(2,37),NOST(3)
OPEN(5,FILE='veri.dat')
OPEN(10,FILE='sonuc.xls')
C
WRITE(10,9)
9 FORMAT(//      EKSPLISIT PROGRAM'
1  /'AÇIK KANALLARDA KARARSIZ AKIMLARIN'
2  /'EKSPLİSİT YÖNTEMLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ')

C
C  MAXDIV = MAKSİMUM KESİT SAYISI
C  H(1,I) = BİLİLEN(BİR ZAMAN ADIMI ÖNCESİ) SU SEVİYESİ DEĞERİ
C  H(2,I) = HESAPLANAN(BİLİNMEYEN) SU SEVİYESİ DEĞERİ
C  U(1,I) = BİLİLEN(BİR ZAMAN ADIMI ÖNCESİ) ORTALAMA HIZ DEĞERİ
C  U(2,I) = ARANAN ORTALAM HIZ DEĞERİ
C  Q(1,I) = BİLİLEN DEBİ DEĞERİ
C  Q(2,I) = ARANAN DEBİ DEĞERİ
C  NOST  = HESAPLANMASI İSTENEN KESİT
C  FI    = SERBEST AKIŞ FORMÜLÜNDE DÜZELTME KATSAYISI
C  KH    = MANSAP SINIR ŞARTI SEÇİM PARAMETRESİ
C        KH = 1 DURUMUNDA SERBEST AKIŞ
C        KH = 2 DURUMUNDA ÜNİFORM AKIM

READ(5,*)B,M,SF,N,HN,LT,TP,QMAX,TPD,DT,TMAX,NOST(1),NOST(2),
1NOST(3) ,NPSTEP,FI,KH

C  ÜNİFORM AKIM DERİNLİĞİ(BAŞLANGIÇ KOŞULU)
A=HN*(B+M*HN)
P=B+2*HN *SQRT(1+M**2.)
RH=A/P
U0=RH**(2./3.)*SQRT(SF)/N
Q0=U0*A
WRITE(10,150)Q0
150 FORMAT(//Üniform durumda Manning-Stricler den hesaplanan debi'/
1  '          Q0(m3/s)=' ,F8.3)
C
WRITE(10,200)

```

```

200 FORMAT('//Membra sınır koşulu: '//
1      'Düşünülen üçgen hidrograf: '//
      WRITE(10,220)TP
220  FORMAT('Yükselme zamanı      t'(s)=' ,F6.1)
      WRITE(10,240)QMAX
240  FORMAT('Pik debi              QMAX(m3/s)=' ,F8.3)
      WRITE(10,260)TPD
260  FORMAT('Düşüş zamanı        t'''(s)=' ,F6.1)
      TTH=TP+TPD
      WRITE(10,270)TTH
270  FORMAT('Toplam zaman        T(s)=' ,F6.1)
      WRITE(10,280)N
280  FORMAT('Pürüzlülük katsayısı  n=' ,F5.4)
      IF (KH.EQ.1) WRITE (10,290)
      IF (KH.EQ.2) WRITE (10,291)
      IF (KH.EQ.3) WRITE (10,292)
290  FORMAT('MANSAP SINIR ŞARTI : SERBEST AKIŞ ')
291  FORMAT('MANSAP SINIR ŞARTI : ÜNİFORM AKIM DERİNLİĞİ ')
292  FORMAT('MANSAP SINIR ŞARTI : KRİTİK DERİNLİK')
C
C  ZAMAN ADIMININ UYGUNLUĞU
      NDIV=MAXDIV
      NN=NNMAX
      DX=LT/MAXDIV
C
      C0=SQRT(G*(HN*(B+M*HN))/(B+2*M*HN))
      DTMAX=DX/(U0+C0)
      WRITE(10,300)DTMAX
300  FORMAT('Courant şartı ;      DT<(DX/ABS(U0)+C0)'/
1      '/Dolayısıyla olabilecek maks.DT: '/
2      '      DTMAX=DX/(ABS(U0)+C0)= 'F3.1' sn')
C
      WRITE(10,450)TMAX
450  FORMAT('// HESAP SÜRESİ, TMAX (s)=' ,F7.1)
C
      WRITE(10,320)NN
320  FORMAT('// Kanal üzerinde istenen ',I3,' kesit var. '/')
C  TÜM NODLARDA T=0 ' DA DERİNLİK,HIZ VE DEBİLER
      DO 11 I=1,NN
          H(1,I)=HN
          U(1,I)=U0
11  Q(1,I)=Q0
C
C  KARARSIZ AKIM ŞARTINDA TÜM NODLAR İÇİN DERİNLİK,HIZ ,DEBİ
C  DEĞERLERİNİN SONLU FARKLAR İLE ÇÖZÜLMESİ
C
      T=0
      WRITE(10,*)'          1.KESİT          2.KESİT
1          3.KESİT '
          WRITE(10,13)'T(sn) Q(m3/sn) H(m) U(m/sn) Q(m3/sn) H(m) U(m/
1sn) Q(m3/sn) H(m) U(m/sn)'
13  FORMAT(A90)
C

```

```

WRITE(10,20)T,Q(1,NOST(1)),H(1,NOST(1)),U(1,NOST(1)),
1      Q(1,NOST(2)),H(1,NOST(2)),U(1,NOST(2)),
2      Q(1,NOST(3)),H(1,NOST(3)),U(1,NOST(3))
100 CONTINUE
      T=T+DT
      NP=T/DT
C
C IF (T.LE.TP)THEN
C YÜKSELME
      QE=Q0+T*(QMAX-Q0)/TP
      ELSE
C DÜŞÜŞ
      QE=QMAX-(T-TP)*(QMAX-Q0)/TPD
      END IF
      IF (T.GT.TTH) QE=Q0
C
C MEMBA SINIR ŞARTI
111 H(2,1)=H(1,1)+(DT/DX)*( U(1,1)*(H(1,1)-H(1,2))+
1 (H(1,1)*(B+M*H(1,1))/(B+2*M*H(1,1)))*(U(1,1)-U(1,2)))
C
      A=H(2,1)*(B+M*H(2,1))
      Q(2,1)=QE
C
      U(2,1)=Q(2,1)/A
C ARA NOKTALAR
DO 301 I=2,NN-1.
      H(2,I)=H(1,I)+0.5*(DT/DX)*( U(1,I)*(H(1,I-1)-H(1,I+1))+
1 (H(1,I)*(B+M*H(1,I))/(B+2*M*H(1,I)))*(U(1,I-1)-U(1,I+1)))
      IF(H(2,I).LE.0)WRITE(10,*)I,H(2,I),H(1,NN),H(1,NN-1)
      IF(H(2,I).LE.0)THEN
        WRITE(10,101)
101  FORMAT('HATA ! DERİNLİK NEGATİF !'/
1      'DAHA KÜÇÜK BİR ZAMAN ADIMI İÇİN PROGRAMI YENİDEN DENE'/
2      'PROGRAM SONU !//)
      END IF
C
      BETA=U(1,I)+0.5*(DT/DX)*U(1,I)*(U(1,I-1)-U(1,I+1))+
1      0.5*G*(DT/DX)*(H(1,I-1)-H(1,I+1))+
2      G*DT*SF
      RH=(B+M*H(2,I))*H(2,I)/(B+2*H(2,I)*SQRT(1+M**2))
      GAMA=RH**(4./3.)/(N**2.*G*DT)
      U(2,I)=0.5*(SQRT(GAMA**2.+4.*GAMA*BETA)-GAMA)
C
      IF(DX/(ABS(U(2,I))+SQRT((H(2,I)*(B+M*H(2,I))/(B+2*M*H(2,I)))
1*G)).LT.4*DT) THEN
        WRITE(10,102)
102  FORMAT(' HATA ! COURANT ŞARTI SAĞLANMADI')
        END IF
        A=H(2,I)*B
        Q(2,I)=U(2,I)*A
301 CONTINUE
C
C MANSAP SINIR ŞARTI

```

```

C
  IF(KH.EQ.1) GOTO 112
  IF(KH.EQ.2) GOTO 113
112  H(2,NN)=H(1,NN)+(DT/DX)*(U(1,NN)*(H(1,NN-1)-H(1,NN)))+(H(1,NN)*
    1(U(1,NN-1)-U(1,NN)))
    A=H(2,NN)*B
    U(2,NN)=FI*H(2,NN)**0.5
    Q(2,NN)=U(2,NN)*A
    GOTO 115
113  H(2,NN)=H(1,NN)+(DT/DX)*(U(1,NN)*(H(1,NN-1)-H(1,NN)))+(H(1,NN)*
    1(U(1,NN-1)-U(1,NN)))
    A=H(2,NN)*B
    P=B+2*H(2,NN)
    RH=A/P
    U(2,NN)=RH**(2./3.)*(SQRT(SF))/N
    Q(2,NN)=U(2,NN)*A
115  CONTINUE
    DO 201 I=1,NN
      H(1,I)=H(2,I)
      U(1,I)=U(2,I)
      Q(1,I)=Q(2,I)
201  CONTINUE
    IF(MOD(NP,NPSTEP).NE.0)GOTO 100
    WRITE(10,20)T,Q(1,NOST(1)),H(1,NOST(1)),U(1,NOST(1)),
      1      Q(1,NOST(2)),H(1,NOST(2)),U(1,NOST(2)),
      2      Q(1,NOST(3)),H(1,NOST(3)),U(1,NOST(3))
20  FORMAT(X,F8.2,3(1X,F8.4,1X,F8.5,1X,F8.5))
    IF(T+DT.LT.TMAX)GOTO 100
900  WRITE(10,910)
910  FORMAT(//'PROGRAM SONU')
    STOP
920  END

```

EK B**EK B Eksplicit Yöntemle Çözüm İçin Kullanılan Bilgisayar Programının Veri Kütüğü**

Deneysel verilerin yazıldığı “veri.dat” dosyası aşağıda verilmektedir.

0.8,0.,0.005,0.020,0.041,18.,30.,0.036,30.,.001, 130.

6 ,9 ,15 ,5000 ,2,1

EK C

EK C Eksplicit Yöntem İle Çözüm Sonuçları

Deneysel verilerin EK B' deki "veri.dat" dosyasına yazılarak EK A' da verilen programın çalıştırılması sonucu "sonuç.xls" dosyasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

EKSPLISIT PROGRAM AÇIK KANALLARDA KARARSIZ AKIMLARIN EKSPLİSİT YÖNTEMLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ

Üniform durumda Manning-Stricler den hesaplanan debi
 $Q_0(\text{m}^3/\text{s}) = .013$

Membra sınır koşulu:

Düşünülen üçgen hidrograf:

Yükselme zamanı $t'(s) = 30.0$
Pik debi $Q_{\text{MAX}}(\text{m}^3/\text{s}) = .036$
Düşüş zamanı $t''(s) = 30.0$
Toplam zaman $T(s) = 60.0$
Pürüzlülük katsayısı $n = .0200$
MANSAP SINIR ŞARTI : SERBEST AKIŞ

Courant şartı ; $DT < (DX/ABS(U_0) + C_0)$
/Dolayısıyla olabilecek maks.DT:
 $DT_{\text{MAX}} = DX / (ABS(U_0) + C_0) = 1.0 \text{ sn}$

HESAP SÜRESİ, $T_{\text{MAX}} (s) = 130.0$

Kanal üzerinde istenen 19 kesit var.

T(sn)	1.KESİT			2.KESİT			3.KESİT		
	Q(m3/sn)	H(m)	U(m/sn)	Q(m3/sn)	H(m)	U(m/sn)	Q(m3/sn)	H(m)	U(m/sn)
.00	.0129	.04100	.39391	.0129	.04100	.39391	.0129	.04100	.39391
5.00	.0132	.04132	.39840	.0129	.04101	.39404	.0127	.04075	.39075
10.00	.0163	.04553	.44748	.0138	.04219	.40956	.0128	.04076	.39241
15.00	.0201	.05103	.49195	.0172	.04685	.45827	.0133	.04133	.40075
20.00	.0240	.05678	.52783	.0209	.05228	.49936	.0160	.04505	.44320
25.00	.0280	.06257	.55861	.0249	.05815	.53594	.0200	.05083	.49270
30.00	.0316	.06785	.58159	.0296	.06459	.57261	.0246	.05738	.53550
35.00	.0329	.07083	.58076	.0341	.07088	.60205	.0291	.06392	.56963
40.00	.0294	.06842	.53743	.0332	.07172	.57797	.0331	.06981	.59272
45.00	.0264	.06541	.50417	.0308	.07022	.54886	.0320	.07056	.56634
50.00	.0232	.06135	.47229	.0277	.06714	.51570	.0292	.06879	.53101
55.00	.0204	.05700	.44790	.0238	.06253	.47638	.0266	.06631	.50223
60.00	.0175	.05208	.41990	.0204	.05781	.44190	.0239	.06282	.47483
65.00	.0146	.04696	.38981	.0171	.05272	.40609	.0210	.05863	.44856
70.00	.0140	.04468	.39170	.0148	.04840	.38223	.0182	.05403	.42201
75.00	.0137	.04346	.39411	.0141	.04617	.38199	.0160	.04978	.40119
80.00	.0136	.04282	.39666	.0135	.04435	.38107	.0150	.04713	.39748
85.00	.0136	.04250	.39902	.0131	.04302	.38158	.0143	.04524	.39623
90.00	.0135	.04230	.40006	.0130	.04218	.38416	.0138	.04383	.39476
95.00	.0135	.04210	.39967	.0129	.04162	.38606	.0135	.04284	.39390
100.00	.0134	.04198	.39952	.0128	.04124	.38748	.0133	.04214	.39325
105.00	.0134	.04189	.39889	.0127	.04099	.38847	.0131	.04166	.39299
110.00	.0133	.04186	.39850	.0127	.04084	.38947	.0130	.04133	.39290
115.00	.0133	.04187	.39819	.0127	.04078	.39052	.0129	.04111	.39288
120.00	.0141	.04292	.41087	.0128	.04085	.39269	.0129	.04098	.39309
125.00	.0101	.03721	.34056	.0120	.03988	.37740	.0129	.04096	.39406
130.00	.0128	.04152	.38587	.0143	.04209	.42414	.0128	.04076	.39128

PROGRAM SONU