



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**FARKLI ŞEV EĞİMLERİNE SAHİP GENİŞ
BAŞLIKLİ SAVAKLARIN DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ**

Murat Can YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat Can YILDIZ tarafından hazırlanan “FARKLI ŞEV EĞİMLERİNE SAHİP GENİŞ BAŞLIKLİ SAVAKLARIN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ” adlı tez çalışması 28/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

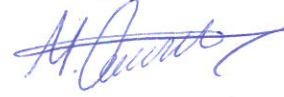

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan YARAR

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ONÜÇYILDIZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Murat Can YILDIZ

Tarih: 28.09.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FARKLI ŞEV EĞİMLERİNE SAHİP GENİŞ BAŞLIKLİ SAVAKLARIN DENEYSSEL VE SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

Murat Can YILDIZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Alpaslan YARAR

2019, 70 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan YARAR
Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ONÜÇYILDIZ**

Geniş başlıklı savaklar açık kanal akımlarında debi ölçümü ve akımın kontrolü amacıyla kullanılan hidrolik yapılardır. Bu yapıların boyutları memba tarafındaki akımın şartları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Tez kapsamında geniş başlıklı savak modeline şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının savak ile etkileşim halindeki akıma herhangi bir etkisinin olup olmadığını gözlemlemek amacıyla deneysel ve sayısal modelleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla altı farklı geniş başlıklı savak modeli oluşturulmuştur. Her bir modelde kırk bir farklı debi için savak yükü okuması yapılmıştır. Deneysel oluşturulan modeller, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS-FLUENT programında birebir ölçekle oluşturularak çözülmüştür. Sayısal model üzerinde hesap ağları oluşturulurken farklı ebat ve boyutlar tecrübe edilmiştir. Akıma ait su yüzü profilleri Akışkan Hacimleri (VOF) yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Deneysel ve sayısal modellerden okunan savak yükleri kıyaslanmış, verilerin tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Modellere şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının savak yükleri üzerinde ciddi bir tesiri olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Debi Ölçümü, Geniş Başlıklı Savak, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Kritik Akım,

ABSTRACT

MS THESIS

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING OF BROAD CRESTED
WEIRS HAVING DIFFERENT SLOPE**

Murat Can YILDIZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assistant Profesör Alpaslan YARAR

2019, 70 Pages

Jury

**Assistant Professor Alpaslan YARAR
Associate Professor Şerife Yurdagül KUMCU
Assistant Professor Mustafa ONÜÇYILDIZ**

The broad crested weirs are hydraulic structures, used for flow measurement and flow control in open channel flows. The dimensions of these structures are determined by considering the conditions of the upstream flow. In the scope of the thesis, experimental and numerical modeling studies were conducted in order to observe whether the addition of a slope or application of different slopes to the broad crested weir models have any effect on the flow interacting with the weirs. For this purpose, six different broad crested weir models were manufactured. Head over the weirs for forty one discharge value were measured on each model. Experimental models were also solved by ANSYS-FLUENT software, computational fluid dynamics software, with the same scale. Different dimensions were tried in the computational model. Surface of the flow was created using Volume Of Fluid (VOF) method. Heads from the experimental and the numerical models were compared and the values were found to be consistent. Adding slope to the models or applying different slopes has no significant effect on the head over the weirs.

Keywords: Flow Measurement, The Broad Crested Weir, , Computational Fluid Dynamics, Critical Flow

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının başlangıcından itibaren bilgi, birikim ve tecrübesiyle tüm süreç boyunca kıymetli desteklerini esirgemeyen, birlikte çalışmaktan onur duyduğum danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan YARAR'a şükran ve minnetlerimi arz ederim.

Çalışma boyunca birçok teknik konuda samimi bir şekilde yardımda bulunarak mesai harcayan Sayın Arş. Gör. Ali YILDIZ'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında karşılıksız bir şekilde yanımda olan aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Murat Can YILDIZ
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Geniş Başlıklı Savak	9
3.2. Akışkanlar Dinamiğinin Temel Denklemleri	13
3.2.1. Süreklilik denklemi	13
3.2.2. Hareket denklemleri.....	14
3.3. Deney Düzeneği.....	16
3.4. Geniş Başlıklı Savak Akımının HAD ile Modellenmesi	23
3.4.1. Hesaplama bölgesi geometrisinin belirlenmesi	25
3.4.2. Hesap ağlarının oluşturulması	28
3.4.3. Sınır şartlarının tanımlanması	31
3.4.4. Türbülans modelinin tanımlanması	33
3.4.5. Akışkan hacmi yöntemi	33
3.4.6. Modelin kurulması	34
3.4.7. Modelin çalıştırılması	36
3.4.8. Sonuçların alınması.....	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
4.1. Deneysel Modelleme Sonuçları	40
4.2. Deneysel Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması	43
4.3. Sayısal Modelleme Sonuçları	45
4.4. Sayısal Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması	48
4.5. Deneysel ve Sayısal Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
6. KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- a : İvme
- b : Açık kanal taban genişliği
- c_{wd} : Debi katsayısı
- g : Yer çekimi ivmesi
- H : Savak yükü
- L : Geniş başlıklı savak kret genişliği
- P : Geniş başlıklı savak kret yüksekliği
- Q : Debi
- r : Geniş başlıklı savak kret membasında oluşturulan burunun yarıçapı
- t : Zaman
- u : x yönündeki akım hızı
- \bar{u} : x yönündeki ortalama akım hızı
- u' : x yönündeki hız sapıncı
- v : y yönündeki akım hızı
- \bar{v} : y yönündeki ortalama akım hızı
- v' : y yönündeki hız sapıncı
- w : z yönündeki akım hızı
- \bar{w} : z yönündeki ortalama akım hızı
- w' : z yönündeki hız sapıncı
- ρ : Suyun özgül kütlesi
- μ : Dinamik viskozite
- σ : Basınç gerilmesi
- τ : Kayma gerilmesi

Γ : Difüzivite terimi

Φ : Kontrol hacmin özelliği

Kısaltmalar

CFD : Hesaplamaalı akışkanlar dinamiği

HAD : Hesaplamaalı akışkanlar dinamiği

LDA : Lazer doppler anemometresi

PIV : Particle image velocimetry

RKE : Realizable k- ϵ türbülans modeli

RNG : Renormalization Group k- ϵ türbülans modeli

RSM : Reynolds Stress türbülans modeli

SKE : Standart k- ϵ türbülans modeli

SST : Shear Stress Transport k- ω türbülans modeli

VOF : Akışkan hacimleri yöntemi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Altinkaya Barajı dolusavak deşarjı.....	2
Şekil 3.1. Geniş başlıklı savak üzerinde kritik akış	9
Şekil 3.2. Yuvarlanmış burunlu geniş başlıklı savak (İngiliz Standartları Enstitüsü,1969)	10
Şekil 3.3. Açık kanal deney düzeneğinin genel görünüşü	17
Şekil 3.4. Kumanda panosu	18
Şekil 3.5. Ultrasonik debimetre	18
Şekil 3.6. Limnometreler	19
Şekil 3.7. Pleksiğlas malzemeden oluşturulan modelin silikonla kanala sabitlenmesi ..	20
Şekil 3.8. Memba köşesi yuvarlatılmış dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak	21
Şekil 3.9. Şevli geniş başlıklı savak modelleri	22
Şekil 3.10. İki boyutlu modelin AutoCAD görünümü.....	25
Şekil 3.11. 1 ve 6 no.lu deneylerde kullanılan savak modellerinin hesaplama bölgeleri	26
Şekil 3.12. Ansys-Workbench akışkan analiz sistemi	27
Şekil 3.13. Ansys-Workbench'te iki boyutlu model geometri görünümü.....	28
Şekil 3.14. Dikdörtgen geometriye sahip hesap ağı.....	29
Şekil 3.15. Geniş başlıklı savak modelleri üzerinde oluşturulan hesaplama ağları.....	30
Şekil 3.16. Sınırların adlandırılması	32
Şekil 3.17. İki boyutlu akımın temsili görünümü	33
Şekil 3.18. İki boyutlu modellere ait faz görüntüleri	34
Şekil 3.19. Fluent başlangıç ayarları penceresi.....	35
Şekil 3.20. Fluent parametre giriş bölümü.....	36
Şekil 3.21. Run Calculation bölümü	37
Şekil 3.22. Savak yükü okuması yapılacak noktanın koordinatının belirlenmesi	38
Şekil 3.23. Akışkan hacminin dağılımı.....	39
Şekil 4.1. 1 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	40

Şekil 4.2. 2 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	41
Şekil 4.3. 3 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	41
Şekil 4.4. 4 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	42
Şekil 4.5. 5 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	42
Şekil 4.6. 6 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi.....	43
Şekil 4.7. 1, 2, 3 no.lu modellere ait deney sonuçlarının kıyaslanması	44
Şekil 4.8. 4, 5, 6 no.lu modellere ait deney sonuçlarının kıyaslanması	44
Şekil 4.9. 1 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	45
Şekil 4.10. 2 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	46
Şekil 4.11. 3 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	46
Şekil 4.12. 4 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	47
Şekil 4.13. 5 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	47
Şekil 4.14. 6 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi	48
Şekil 4.15. 1, 2, 3 no.lu modellere ait fluent sonuçlarının kıyaslanması	49
Şekil 4.16. 4, 5, 6 no.lu modellere ait fluent sonuçlarının kıyaslanması	49
Şekil 4.17. 1 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	51
Şekil 4.18. 2 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	51
Şekil 4.19. 3 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	52
Şekil 4.20. 4 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	52
Şekil 4.21. 5 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	53
Şekil 4.22. 6 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması.....	53

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan geniş başlıklı savak modelleri.....	21
Çizelge 3.2. Modeller üzerinde oluşturulan mesh sayıları.....	30



1. GİRİŞ

Su, dünya üzerindeki canlıların yaşamını sürdürebilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Tarih öncesi çağlardan günümüze insanlık yerleşim yerlerini su kaynaklarına yakın alanlara kurmuş olup suyu kontrol altına alarak fayda sağlamak, zararlarından korunmak ve suyun kendisini korumak maksadıyla su yapıları inşa etmiştir. Su yapılarının bu amaçlara uygun bir şekilde hizmet edebilmesi için planlama ve tasarımında bir takım hidrolik hesaplar kullanılmakta olup günümüz itibariyle bilimsel bir yaklaşım benimsenmiş ve çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırmalardan en temeli akışkan akımının basınçlı mı, serbest yüzeyle mi olduğudur. Buradaki ana ayrım akışkanın üst yüzeyinin herhangi bir gaz ile temas halinde olup olmadığıdır. Basınçlı akım ya da boru akımında akışkan tüm en kesiti doldurarak akmaktadır. Açık kanal akımlarında ise enkesit kısmi olarak doludur yani akımın üst yüzeyi açık hava veya herhangi bir gaz ile temas halindedir.

Açık kanal akışlarına örnek olarak akarsular, yağmur suyu hatları, taşkın koruma tesisleri, sulama kanalları ve kanalizasyon sistemleri sıralanabilir. Akarsular doğal açık kanallar olup diğer açık kanal akışları insanlar tarafından belirli bir amaca hizmet etmek amacıyla inşa edilen su yapılarıdır. Bu yapılardan yağmur suyu hatları ve taşkın koruma tesisleri, suyun çevreye zarar vermesini önlemek; sulama kanalları, su kaynaklarının faydalarını arttırarak tarım arazilerinin verimli bir şekilde kullanılması; kanalizasyon sistemleri, pis ve atık sularının sağlıklı bir şekilde uzaklaştırılması maksadıyla inşa edilirler. Sayılan bu açık kanal tesislerinin amacına uygun ve güvenli bir şekilde hizmet verebilmesi için suyun kontrol altında tutulması, ölçülmesi ve yapıya olan tesirlerinin öngörülmesi gerekmektedir.

Açık kanal akımlarında akışın kontrol altına alınabilmesi, debinin ölçülebilmesi ve kanal enkesitinden geçen akışkanın derinliğinin ayarlanabilmesi maksadıyla akışkanı üzerinden akıtarak mansaba geçiren ve savak adı verilen engeller inşa edilir. Savaklar üst kenar geometrilerine göre keskin kenarlı, geniş başlıklı ve ogee savakları olarak sınıflandırılabilir.

Ayrıca çeşitli amaçlarla inşa edilen su depolama yapıları olan baraj ve göletlerin rezervuar alanındaki suyun depolama hacmini aşması durumunda emniyetli bir şekilde mansaba aktarılmasını sağlayan yapılar da dolusavak olarak adlandırılır (Şekil 1.1.) .



Şekil 1.1. Altınkaya Barajı dolusavak deşarjı

Savaklar, açık kanallarda yeteri kadar yüksekliğe sahip bir engelin üzerinde kritik akımın oluşması prensibinden hareketle tasarlanan engellerdir. Kanalın membasından nehir rejiminde (kritik altı) gelen akım, savak üzerinden kritik akım şartlarında geçer ve mansap kısmında sel rejimi (kritik üstü) ile devam eder.

Üst kenar genişliği yeterli uzunlukta olan geniş başlıklı savaklar sayesinde kret genişliği boyunca kritik akım şartları sağlanabilir. Geniş başlıklı savakların bu özellikleri sayesinde kret üzerinde oluşturulan kritik akım şartları ile memba kısmındaki akım şartları arasında bir dizi bağıntı düzenlenebilir.

Savak çeşitlerinden hangisinin uygulamada kullanılacağına karar verirken gelen akımı deşarj etme kapasiteleri etkili olur. Savağın deşarj kapasitesine etki eden etmenler genel olarak savak şekli, kret yüksekliği, kret uzunluğu olarak sayılabilir. Bu durum araştırmacıları farklı enkesitlere sahip fiziksel modeller üzerinde akımın davranışı hakkında çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Ancak fiziksel model çalışmaları zaman ve maliyet açısından elverişli olmamaktadır. Ayrıca fiziksel model oluşturulurken

ölçeklendirme hataları ve insan kaynaklı ölçüm hataları nedeniyle sağlıklı sonuçlara ulaşılamamaktadır.

Akım problemlerinin çözümünde deneysel çalışmalara kıyasla daha hızlı, ekonomik ve güvenilir sonuçlara ulaşarak çözmeye yarayan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları kullanılmaktadır. HAD yazılımları sayesinde üzerinde çalışılmak istenen model pratik bir şekilde oluşturulmakta ve sadece akım şartları değiştirilerek analizler tekrarlanabilmektedir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında farklı şev eğimlerine sahip geniş başlıklı savak modelleri oluşturulmuştur. Belli bir debi aralığında savak yükleri okunarak deşarj kapasiteleri incelenmiştir. Geniş başlıklı savağın memba ve mansap yüzüne yerleştirilen şevlerin akımın tahliyesine etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Farklı açılarda şevler uygulanarak eğim değişiminin akım karakteristiklerine olan etkisinin de gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda laboratuvar ortamında oluşturulan fiziksel modeller, HAD tabanlı Ansys- Fluent programında tasarlanarak programdan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları kıyaslanmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de teze giriş yapılmış, fiziksel ve sayısal olarak modellenen geniş başlıklı savaklardan bahsedilmiş, sayısal modellemede kullanılan HAD yazılımları ve tezin amacı hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Bölüm 2’de çalışma kapsamındaki deneysel ve sayısal çalışmalarla ilgili yapılan kaynak araştırmasına yer verilmiştir. Sayısal modellemede faydalanılan HAD yazılımlarından bahsedilmiştir. Deney ortamında oluşturulan geniş başlıklı savak modelleri incelenmiştir.

Bölüm 3’ de ilk olarak geniş başlıklı savaklar ve akışkanlar dinamiği ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Geniş başlıklı savakların amacına uygun hizmet edebilmesi için savak boyutları ile ilgili dikkat edilmesi gereken kıstaslardan bahsedilmiştir. Deneysel çalışmada oluşturulan geniş başlıklı savak modellerinin kurulumu ve söz konusu modeller üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Deneyler esnasında kullanılan deney düzeneği tanıtılmıştır. HAD tabanlı Ansys- Fluent programı hakkında bilgiler verilmiştir. Sayısal modelleme çalışmalarının aşamaları anlatılmıştır. Nümerik modelin kurulmasından ve modelin çözümünden bahsedilmiştir. Çözümlerden elde edilen sonuçların nasıl okunduğu gösterilmiştir.

Bölüm 4’de deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen bulgular grafikler çizdirilerek verilmiştir. Elde edilen bulgular kıyaslanmıştır.

Bölüm 5’ de yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve tespitler yapılmıştır. Bu tespitlerden yola çıkılarak bir takım öneriler getirilmiştir. Fiziksel ve sayısal model oluşturulurken dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Açık kanal akımlarında, akım kontrol elemanı olarak faydalanılan savaklar hakkında birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır.

Faltas ve ark. (1989), trapez kesitli geniş başlıklı savak üzerinden geçen akımın özelliklerini farklı Froude sayısı ve taban şekilleri kullanarak teorik olarak incelemişlerdir. Teorik çalışmalardan elde ettikleri sonuçları, deney çalışmalarından elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Taban şekli, yüksekliği ve Froude sayısının akımın karakteristikleri üzerindeki etkilerini göstermişlerdir.

Hager ve Schwalt (1994), geniş başlıklı savak üzerindeki akımı farklı debiler kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Savak üzerindeki akım ve basınç dağılımlarının benzer özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Chanson ve Montes (1998), laboratuvar ortamında modelledikleri dairesel savak üzerinden geçen akım ile ilgili deneysel çalışmalar yapmıştır. Savak yarıçapı ve yüksekliği gibi modele ait ebatlar ile memba su derinliğinin, akım karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlardan hareketle, savak üzerinden geçen akım profilinin memba koşullarından büyük nispette etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Sarker ve Rhodes (2004), dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak üzerindeki açık kanal akımını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. HAD tabanlı Fluent programıyla akımı idare eden temel denklemleri sayısal olarak çözmüştür. Çalışmalardan elde edilen bulgular kıyaslanmış olup birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Zerihun ve Fenton (2004), kısa ve geniş başlıklı trapez savaklar ile etkileşim halindeki akımı deneysel ve nümerik olarak gözlemlemiştir. Tek boyutlu bir akım modeli geliştirerek savak kreti üzerinde oluşan serbest akım yüzeyinin eğriselliğini ve hidrostatik olmayan basınç dağılımını teorik olarak çözümlenmişlerdir. Pürüzlü ve pürüzsüz savak yüzeyleri kullanarak yaptıkları çalışmalardan tespit ettikleri sayısal verileri deneysel çalışmalardan aldıkları ölçüm sonuçları ile kıyaslamışlardır. Deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların tutarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Kırkgöz ve Ark. (2006), üçgen ve dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savaklar ile etkileşim halindeki serbest yüzeyli iki boyutlu akım üzerinde PIV tekniği ile ölçümler olarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Akımı idare eden denklemleri, standart k - ϵ ve k - ω türbülans modellerini kullanarak sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS-Flotran ile çözmüşlerdir. Su yüzü profilinin teorik hesabında VOF yöntemini kullanmışlardır.

Sayısal olarak hesaplanan hız profilleri ile deneylerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmış, $k-\omega$ türbülans modelinin deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür.

Şeker (2006), üçgen bir savak modeli oluşturarak akımı deneysel ve nümerik olarak modellemiştir. Deneysel çalışmalarda akıma ait hız alanını PIV tekniği yardımıyla ölçmüştür. Nümerik modellemeyi HAD tabanlı ANSYS programını kullanarak yapmıştır. Sayısal modellemede su yüzünü akışkan hacimleri (VOF) yöntemini kullanarak belirlemiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalardan elde ettiği verileri kıyaslamıştır. Deneysel ve nümerik akım hızları ve su yüzü profillerinin tutarlı olduğunu belirtmiştir.

Öner ve ark. (2007), dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savakla etkileşim halindeki serbest yüzeyli akımın hız alanını PIV tekniği ile ölçerek deneysel olarak irdelenmişlerdir. Sayısal modelleme çalışmalarında, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan ANSYS-Flotran paket programı kullanmışlardır. Serbest su yüzünün hesabını ise VOF yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, türbülans viskozitesinin hesabı için Standart $k-\epsilon$, standart $k-\omega$ ve SST türbülans kapama modellerini kullanmışlardır. Hesap edilen akım hızları ve su yüzü profillerini deneysel ölçümlerle karşılaştırmışlar ve standart $k-\omega$ türbülans kapatma modeli kullanılarak elde edilen verilerin deneysel veriler ile daha uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Şimşek (2011), eğrisel geniş başlıklı savak üzerinde iki farklı debi durumu için savakla etkileşim halindeki serbest yüzeyli akımın hız alanını LDA tekniği ile ölçerek deneysel olarak incelemiştir. HAD tabanlı ANSYS-Fluent paket programı yardımıyla akımı idare eden temel denklemleri, SKE, RNG, RKE, SST ve RSM türbülans modellerini kullanarak çözmüş ve deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. RNG türbülans modeli ile elde edilen bulguların deneylerde alınan ölçümlere daha yakın olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bal (2011), geniş başlıklı dikdörtgen bir savak modeli üzerinde LDA tekniği ile farklı iki debi durumunu deneysel olarak incelemiştir. ANSYS-Fluent programı yardımıyla geniş başlıklı savak akımını idare eden denklemleri, SKE, RNG, RKE, MKW, SST ve RSM türbülans modellerini kullanarak çözmüştür. Su yüzü profilini akışkan hacimleri (VOF) yöntemini kullanarak teorik olarak hesaplamıştır. Çalışmış olduğu her iki debi durumu için kullandığı altı türbülans modellerinin başarı sıralamasını yapmıştır.

Felder ve ark. (2012), açık kanal içerisine yerleştirilen geniş başlıklı savak üzerinde deneysel çalışmalar yaparak su yüzü profilleri, hız ve basınç dağılımlarını ölçmüşlerdir. Elde edilen bulguların pürüzsüz türbülans sınır tabaka teorisinden farklı olmasına rağmen sonuçların önceki çalışmalarla tutarlı olduğu belirtilmiştir.

Soydan (2013), trapez kesitli geniş başlıklı savak modeli üzerinde savak ile etkileşim halinde olan serbest açık kanal akımını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Açık kanal akımının hız alanını LDA tekniğini kullanarak ölçmüştür. Akımı idare eden denklemleri, altı farklı türbülans modeli kullanarak HAD tabanlı ANSYS-Fluent programı yardımıyla çözmüştür. Sayısal çalışmalarda kullandığı türbülans modellerinden elde ettiği sonuçların, deney sonuçları ile kıyaslayarak modeller arasında başarı sıralaması yapmıştır. Su yüzü profilinin sayısal hesabında akışkan hacimleri (VOF) yöntemini kullanmıştır.

Qasim (2013), tek basamaklı geniş başlıklı savak modeli üzerindeki akımı deneysel olarak incelemiştir. Savak üzerindeki akımı HEC-RAS programı yardımı ile simüle etmiştir. Beş farklı akım durumunda, kanal boyunca su yüzü profillerini, hidrolik sıçramanın yerini ve savak üzerindeki anahtar eğrisi debi-yükseklik ilişkisini belirlemiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen su yüzü profillerinin, deneysel ölçüm değerleri ile uyumlu olduğunu, hidrolik sıçramanın yerinin ve debi-yükseklik ilişkisinin modelleme ile kolay bir şekilde ve oldukça hassas hesaplandığını bildirmiştir.

Hoseini ve ark. (2014), deneysel çalışmalar kapsamında oluşturdukları iki farklı geniş başlıklı savak modeli üzerinde on beş farklı debi kullanarak çalışmışlardır. Deney çalışmaları sonucunda elde ettikleri bulgulardan hareketle savak genişliğinin, kanal genişliğinin ve savak yükünün debi katsayısıyla ilgili olduğunu tespit etmişlerdir. Denklem ile tahmini olarak hesaplanan debi katsayısı ile deneysel çalışmalar neticesinde ölçülmüş olan debi katsayısının tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak dikdörtgen geniş başlıklı savaklar ile etkileşim halinde olan kritik altı akımlarda debi katsayısının tespiti için bir denklem vermişlerdir.

İlkentapar ve Öner (2017), dikdörtgen geniş başlıklı savak modeli üzerindeki akım alanı üç farklı debi kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak ile etkileşim halinde bulunan açık kanal akımının hareketini idare eden denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı FLOW-3D paket programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Standart k-ε türbülans kapatma modeli kullanılarak yapılan sayısal hesaplamalarda serbest su yüzü profili, VOF yöntemi ile belirlenmiştir. Sayısal ve deneysel bulguların niceliksel olarak karşılaştırılmasından

membra kısmında ve savak üstünde farkların oldukça küçük olduğu, mansap kısmında ise farkların nispeten arttığı görülmüştür. Savak sonunda serbest düşme ve akımın sel rejimine geçmesiyle birlikte daha da karmaşık hale gelen akımın yapısı nedeniyle deneysel ölçümler hesap sonuçlarından bir miktar farklı olmuştur. Bu çalışmadan kullanılan SKE türbülans kapatma modelinin akım profillerinin tahmin edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Hız profillerinin incelenmesi sonucu, sayısal ve deneysel sonuçlar arasında genel bir uyumun mevcut olduğu, bu uyumun yüksek debilerde daha da arttığı belirlenmiştir.

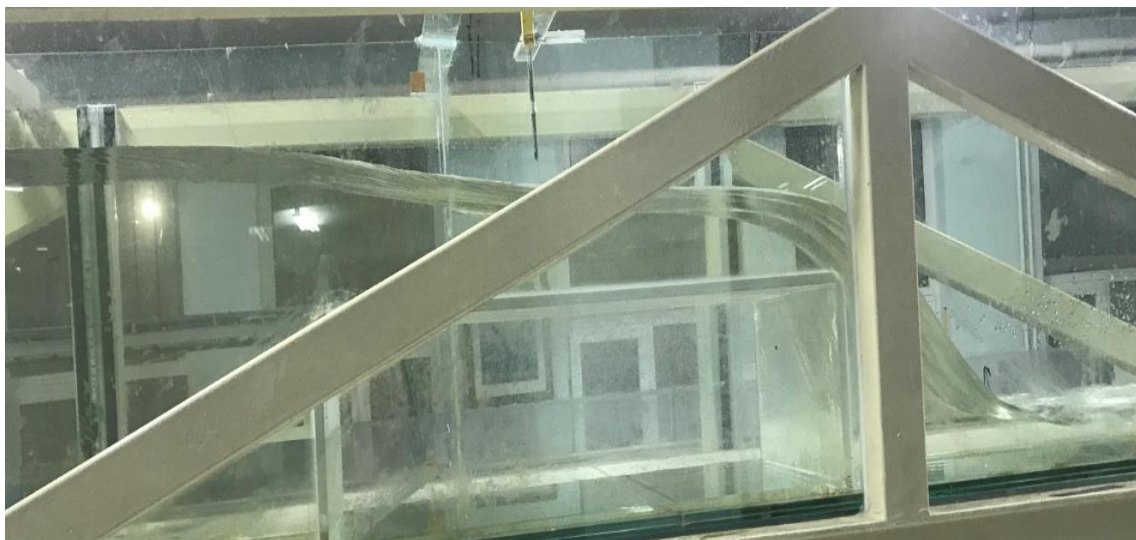


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Sayısal Model, HAD tabanlı ANSYS-Fluent yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

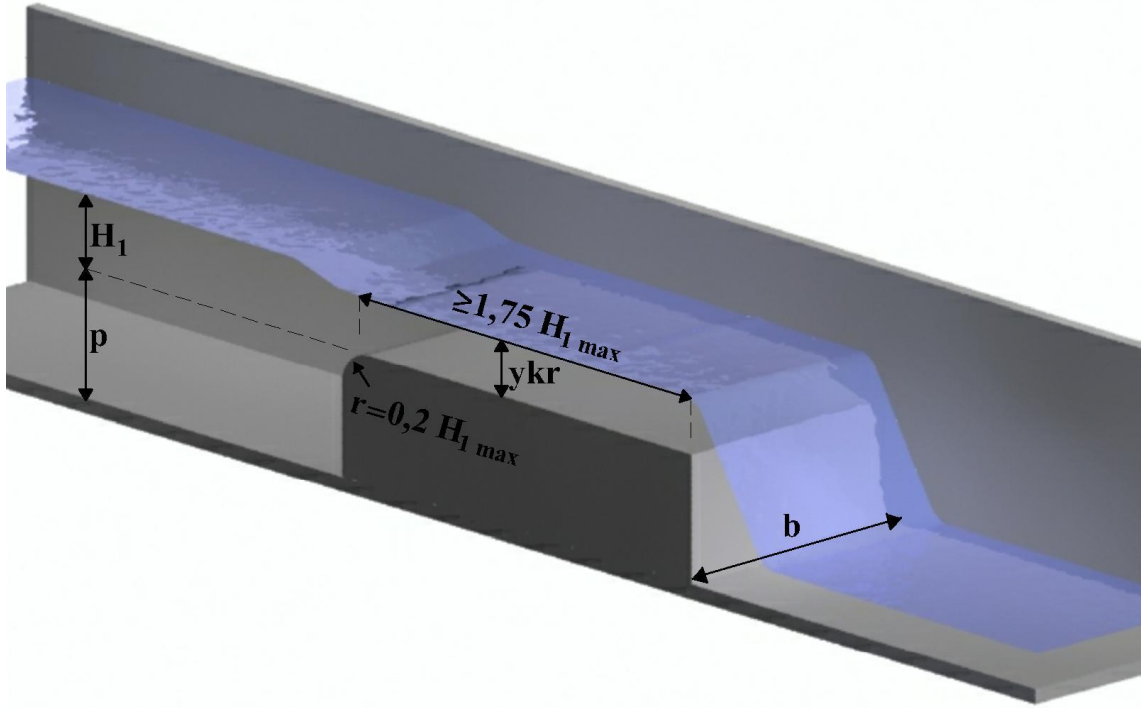
3.1. Geniş Başlıklı Savak

Geniş başlıklı savaklar açık kanallarda akışın kontrolü ve debinin ölçülmesi için kullanılan hidrolik yapılardır. Geniş başlıklı savakların inşa amacına uygun hizmet verebilmesi için belli kriterlerin gözetilerek tasarlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere açık kanal akımına enkesiti tamamen kapatacak şekilde yerleştirilen bir engel yeterli yüksekliğe sahipse engel üzerindeki akış kritik olur. (Çengel ve Cimbala, 2015). Geniş başlıklı savaklar üzerinde oluşan kritik akım sayesinde düz bir su yüzeyi sağlar. Böylelikle debi kontrolü yapılabilir ve akım düzenlenebilir. Geniş başlıklı savak üzerinde oluşan kritik akış Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Geniş başlıklı savak üzerinde kritik akış

Geniş başlıklı savaklar keskin tepeli savaklara kıyasla daha sağlamdır. Orta ve büyük kesitli kanallarda kullanılırlar.



Şekil 3.2. Yuvarlanmış burunlu geniş başlıklı savak (İngiliz Standartları Enstitüsü,1969)

Şekil 3.2’de gösterilen açık kanal akımında savak kreti ve memba bölümü arasında sürtünmenin ihmal edildiği kabulü ile temel enerji denklemi yazıldığında:

$$H + P + \frac{V_1^2}{2g} = y_{kr} + P + \frac{V_{kr}^2}{2g} \quad (3.1)$$

şeklinde olur. Denklemin her iki tarafında bulunan savak yüksekliği (P) sadeleştirilirse:

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = y_{kr} + \frac{V_{kr}^2}{2g} \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilir. Kritik hız ifadesi yerine konulursa:

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = y_{kr} + \frac{gy_{kr}}{2g} \quad (3.3)$$

$$y_{kr} = \frac{2}{3} \left(H + \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad (3.4)$$

savak üzerinde oluşan kritik akış yüksekliği ile savak yükü arasında bir bağıntı kurulmuş olur. Kritik akışın olduğu kret üzerindeki debi:

$$Q_{toerik} = V_{kr} \times A_{kr} \quad (3.5)$$

$$Q_{toerik} = \sqrt{gy_{kr}} \times y_{kr} \times b \quad (3.6)$$

$$Q_{toerik} = b \times g^{\frac{1}{2}} \times y_{kr}^{\frac{3}{2}} \quad (3.7)$$

şeklinde dir. Denklem (3.4)'deki y_{kr} ifadesini bu denklemde yerine koyarsak:

$$Q_{toerik} = b \times g^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{2}{3} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(H + \frac{V_1^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.8)$$

sürtünmenin ihmal edildiği bu ideal durum için debi ile akış parametreleri arasındaki ifade elde edilir. Sürtünme etkilerinin hesaba dahil edilmemesi sebebiyle hesaplanan debi ile gerçekte olan debi farklı olup gerçek debinin değeri daha düşüktür. Bu itibarla Denklem (3.8) ile hesaplanan teorik debi savak debi katsayısı olarak ifade edilen C_{wd} ile çarpılır:

$$Q = C_{wd} \times b \times g^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{2}{3} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(H + \frac{V_1^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.9)$$

ve gerçek debi hesaplanır. Savak debi katsayısı için (Chow,1959):

$$C_{wd} = \frac{0,65}{\sqrt{1 + \frac{H}{P}}} \quad (3.10)$$

bağıntısı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Geniş başlıklı savaklarda memba kısmında akım kritik altı yani nehir rejimindedir. Nehir rejimlerinde akış hızı genellikle çok düşüktür. Bu nedenle Denklem (3.9)'da V_1 ihmal edilebilir ve debi formülü:

$$Q = C_{wd} \times b \times g^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \times (H)^{\frac{3}{2}} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir.

Geniş başlıklı savak kretinin memba kısmındaki akışın ayrılmaması maksadıyla Şekil 3.2 'deki gibi yuvarlanır. Memba kısmında oluşturulan bu burunun imalatlarda ekonomiklik açısından tavsiye edilen yarıçap ölçüsü:

$$r = 0,2 \times H_{\max} \quad (3.12)$$

olarak verilmektedir. Ancak minimum yarıçap değeri:

$$r = 0,11 \times H_{\max} \quad (3.13)$$

daha küçük olmamalıdır(Vlotman,1989).

Geniş başlıklı savağın tasarım kriterlerinde birisi de kret uzunluğu ile memba kısmında oluşan savak yükü arasındaki ilişkidir. Savak üzerinde kritik akımın oluşması ve sağlıklı ölçümlerin yapılabilmesi için tasarımcı tarafından bu ilişki göz önüne alınmalıdır. Aksi takdirde kritik akış oluşmayabilir ve savak amacına uygun hizmet edemez. Literatürde kret uzunluğu ile savak yükü arasında birden fazla sınır şartları bulunmaktadır. Burada en yaygın olan iki tanesi verilmiştir. İngiliz Standartları Enstitüsü (1969) göre kret uzunluğu:

$$L \geq 1,75 \times H_{\max} \quad (3.14)$$

olmalıdır. Çengel ve Cimbala (2015) tarafından belirtilen kriterler ise:

$$2 \times H_{\max} < L < 12 \times H_{\max} \quad (3.15)$$

olarak belirtilmiştir.

3.2. Akışkanlar Dinamiğinin Temel Denklemleri

Akışkanlar dinamiği problemlerinin çözümünde kütle, enerji ve momentumun korunumu prensiplerine dayanılarak temel denklemler çıkarılmıştır. Kütle, enerji ve momentumun korunumu prensibinden süreklilik, enerjinin korunumu prensibinden enerji, momentumun korunumu prensibinden hareket denklemleri türetilmiştir.

3.2.1. Süreklilik denklemi

Türbülanslı akımın hız notasyonları üç boyut için $u = \bar{u} + u'$, $v = \bar{v} + v'$, $w = \bar{w} + w'$ şeklindedir. Bu bileşenler $\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$ süreklilik denkleminde yerine yazılırsa:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v} + v') + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w} + w') = 0 \quad (3.16)$$

ve bu denklemin her bir terimi için Δt zaman aralığı için ortalaması alınır:

$$\frac{\partial}{\partial x} \overline{(\bar{u} + u')} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') \right] dt = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} (\bar{u} + u') dt \right] \quad (3.17)$$

ifadesi elde edilir. Çalkantı bileşenlerinin zamana göre ortalaması sıfır olacağı için süreklilik denkleminin zamana göre ortalaması şu şekilde olur:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) ilk yazılan süreklilik denklemi (3.16)'dan çıkarılırsa:

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (3.19)$$

elde edilir. Buradan hız alanlarının zamana göre ortalaması ile çalkantı hızlarının süreklilik denkleminin parçası olduğu görülür (Yüksel,2012).

3.2.2. Hareket denklemleri

Sıkışmayan akımlarda hareket denklemi olarak bilinen Navier- Stokes denklemlerinin üç doğrultudaki bileşenleri:

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \bar{V}^2 u \text{ veya}$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.20.a)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \bar{V}^2 v \text{ veya}$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) = \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3.20.b)$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \bar{V}^2 w \text{ veya}$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t} \right) = \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.20.c)$$

şeklindedir. Navier- Stokes denklemlerinin x doğrultusundaki ifadesine u için ($\bar{u} + u'$), v için ($\bar{v} + v'$), w için ($\bar{w} + w'$) terimleri yerleştirilirse:

$$\rho(\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') + \rho(\bar{v} + v') \frac{\partial}{\partial y} (\bar{u} + u') + \rho(\bar{w} + w') \frac{\partial}{\partial z} (\bar{u} + u') +$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} (\bar{u} + u') = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \bar{V}^2 (\bar{u} + u') \quad (3.21)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin birinci teriminin zamansal ortalaması alınırsa:

$$\rho(\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') = \rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \bar{u} \frac{\partial u'}{\partial x} + \rho \bar{u}' \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \bar{u}' \frac{\partial u'}{\partial x} \quad (3.22)$$

şeklinde elde edilen denklemin ikinci ve üçüncü teriminin zamansal ortalaması sıfırdır. Buradan da görüldüğü üzere denklem (3.21) 'in terimlerinin zamansal ortalaması aşağıdaki şekilde olur:

$$\overline{\rho(\bar{u} + u') \frac{\partial (\bar{u} + u')}{\partial x}} = \rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho u' \frac{\partial u'}{\partial x} \quad (3.23)$$

$$\overline{\rho(\bar{v} + v') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial y}} = \rho \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \rho v' \frac{\partial u'}{\partial y} \quad (3.24)$$

$$\overline{\rho(\bar{w} + w') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial z}} = \rho \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \rho w' \frac{\partial u'}{\partial z} \quad (3.25)$$

$$\overline{\frac{\partial}{\partial x} (\bar{p} + p')} = \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \quad (3.26)$$

$$\overline{\mu \bar{V}^2 (\bar{u} + u')} = \mu \bar{V}^2 \bar{u} \quad (3.25)$$

elde edilen bu ifadeler denklem (3.21)'de yerlerine konulursa sıkışmayan, türbülanslı akışkan akımın x doğrultusundaki Reynolds denklemleri ortaya çıkar:

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \bar{V}^2 \bar{u} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{u'w'}) \quad (3.26)$$

y doğrultusunda:

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \right) = \rho Y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \bar{V}^2 \bar{v} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{v'u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{v'^2}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{v'w'}) \quad (3.27)$$

z doğrultusunda:

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} \right) = \rho Z - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \mu \bar{V}^2 \bar{w} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{w'u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{w'v'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'^2}) \quad (3.28)$$

Reynolds denklemlerindeki türbülans çalkantı bileşenleri ile ilgili terimlere Reynolds Gerilmeleri veya Eddy Gerilmeleri denir. Eddy gerilmeleri ikinci dereceden $T^{(e)}$

tensöründe dokuz adet gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{(xx)}^{(e)} & \tau_{(xy)}^{(e)} & \tau_{(xz)}^{(e)} \\ \tau_{(yx)}^{(e)} & \sigma_{(yy)}^{(e)} & \tau_{(yz)}^{(e)} \\ \tau_{(zx)}^{(e)} & \tau_{(zy)}^{(e)} & \sigma_{(zz)}^{(e)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\overline{\rho u'^2} & -\overline{\rho u'v'} & -\overline{\rho u'w'} \\ -\overline{\rho v'u'} & -\overline{\rho v'^2} & -\overline{\rho v'w'} \\ -\overline{\rho w'u'} & -\overline{\rho w'v'} & -\overline{\rho w'^2} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Akışkan dinamiğinde üç adet Reynolds denklemi ve bir adet süreklilik denklemi olmak üzere dört adet denkleme sahip olunmasına karşın on adet bilinmeyen vardır. Bilinmeyenler \bar{p} , \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} ve altı adet Reynolds gerilmesidir. Bu durum türbülanslı akış problemlerinin çözümünü zorlaştırmaktadır.

3.3. Deney Düzenegi

Tez çalışmasının deney safhası esnasında oluşturulan fiziksel modeller Şekil 3.3'de genel görünümü gösterilen açık kanal içerisine yerleştirilmiştir. Kanalin yan ve taban yüzeyi cam malzemeden imal edilmiş olup memba ve mansap kısmında bulunan betonarme haznelar arasında teşkil edilen çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiştir. Dikdörtgen kesite sahip açık kanalın genişliği 30 cm, uzunluğu 6 m, derinliği 50 cm'dir.



(a) Yandan görünüş



(b) Üstten görünüş

Şekil 3.3. Açık kanal deney düzeneğinin genel görünüşü

Açık kanal içerisindeki akımı oluşturmak maksadıyla, memba ve mansap kısmındaki haznelar çelik boruyla birbirine bağlanarak haznelar arasında devir daim sağlanmıştır. Çelik boru üzerinde iki adet pompa bulunmaktadır. Mansap haznesinden alınan su, pompalar yardımıyla membadaki hazneye basılmaktadır. Şekil 3.4' deki kumanda panosu sayesinde pompaların frekansı kontrol edilebilmektedir. Pompaların frekansları değiştirilerek kanal verilen debi ayarlanmaktadır



Şekil 3.4. Kumanda panosu

İki hazne arasındaki çelik boru üzerinde bulunan ultrasonik debimetre yardımıyla kanal verilen debi ölçülmektedir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Ultrasonik debimetre

Her debi için geniş başlıklı savağın membasında savak yükü okuması yapılmıştır. Şekil 3.6'da gösterilen limnometreler su yüksekliği okunmasında kullanılmaktadır.



(a) Kritik yükseklik ölçümünde kullanılan limnometre



(b) Savak yükü ölçümünde kullanılan limnometre.

Şekil 3.6. Limnometreler

Deneylerde, oluşturulan geniş başlıklı savak modelleri pleksiglas malzemeden imal edilmiştir. Pleksiglas, dayanıklı yapıya sahip, işlenmesi kolay plastik bir malzemedir. Renkli ve renksiz çeşitleri mevcuttur. Kolay işlenebilme özelliği sayesinde istenilen modellerin oluşturulmasında büyük rahatlık sağlamaktadır. Çalışmamızda saydam ve renksiz pleksiglas levhalar kullanılmıştır. Pleksiglas malzemeden oluşturulan modeller kanal enkesitine yerleştirildikten sonra silikon ile sabitlenmiştir (Şekil 3.7).


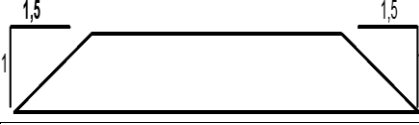
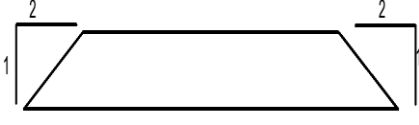

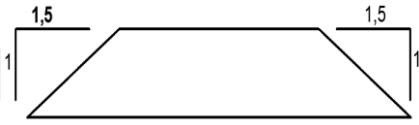
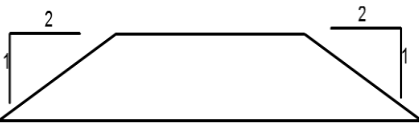


Şekil 3.7. Pleksiglas malzemeden oluşturulan modelin silikonla kanala sabitlenmesi

DeneySEL çalışmalarında altı farklı geniş başlıklı savak modeli oluşturulmuştur. Her model 41 farklı debi kullanılmıştır. Kullanılan her debi için savak yükü ölçümü yapıldığı göz önüne alındığında toplamda 246 ölçüm sonucu alınmıştır.

Çalışmalarda kullanılan modellere ait geometrik özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan geniş başlıklı savak modelleri

Model No	Kret Yüksekliği (p)	Kret Uzunluğu (L)	Şekil
1	10 cm	65 cm	
2	10 cm	65 cm	
3	10 cm	65 cm	
4	20 cm	65 cm	
5	20 cm	65 cm	
6	20 cm	65 cm	

Deneylerde Çizelge 3.1.'deki model numaralandırılmasında belirtilen sıralamaya göre çalışmalar yürütülmüştür. Modeller $p=10$ cm ve $p=20$ cm olmak üzere iki farklı kret yüksekliği baz alınarak oluşturulmuştur. Tüm modellerin kret genişliği 65 cm'dir. 1 ve 3 no.lu modeller şevsizdir, Bu modellerin geometrisi literatürde en sık rastlanan geniş başlıklı savak modeli olan dikdörtgen kesite sahiptir. (Şekil 3.8.). Modellerin savak kretinin membasında 5 cm çapında bir burun oluşturulmuştur. Mansap kısmının köşesi diktir.

**Şekil 3.8.** Memba köşesi yuvarlatılmış dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak

2 ve 5 no.lu modeller $Y/X = 1/1,5, 3$ ve 6 no.lu modeller $Y/X = 1/2$ şev eğimine sahiptir (Şekil 3.9)



(a) $Y/X=1/1,5$ şev eğimli geniş başlıklı savak modeli



(b) $Y/X=1/2$ şev eğimli geniş başlıklı savak
Şekil 3.9. Şevli geniş başlıklı savak modelleri

Yukarıda belirtilen geniş başlıklı savak modelleri, açık kanala yerleştirildikten sonra kumanda panosu vasıtasıyla pompalar çalıştırılır ve kanala su verilir. Savak üzerinde kritik akım oluşur ve savak yükü okuması yapılır.

3.4. Geniş Başlıklı Savak Akımının HAD ile Modellenmesi

Hesaplama akışkanlar dinamiği, çözümü karmaşık ve uzun olan akışkan problemlerinin bilgisayar programları yardımıyla çözülmesidir. Sıvı ve gaz akımları temel denklemlere dayalı bilgisayar programları kullanılarak simüle edilir. Basınç, sıcaklık, yoğunluk, viskozite gibi akışkana ait karakteristiklerin dahil olduğu çözümü oldukça güç veya imkansız temel akışkanlar dinamiği denklemleri HAD tabanlı yazılımlar aracılığıyla pratik bir şekilde çözülebilmektedir. Bu nedenle HAD yazılımları inşaat, makine, otomotiv, gıda, elektrik vb. birçok sektörde kullanılmaktadır.

Su yapılarının tasarımında akım ile yapı arasındaki ilişkiyi gözlemlemek amacıyla oluşturulan fiziksel modellere kıyasla HAD daha hızlı ve ekonomik olarak sonuç elde etmeyi sağlamaktadır. Bu sebeple günümüzde su yapılarının tasarımıyla ilgili çalışmalarda HAD programlarının kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çalışmamızda akışkan akımı ile geniş başlıklı savak modelleri arasındaki etkileşimi gözlemlemek amacıyla laboratuvar ortamında fiziksel modeller oluşturulduğu belirtilmiştir. Bu fiziksel modellere ait akımların temel denklemlerinin sayısal çözümleri, sonlu hacimler metoduna dayalı ANSYS-FLUENT programı kullanılarak yapılmıştır.

Hesaplama akışkanlar dinamiği dahilinde akışkan hareketini inceleyen nümerik yöntemler: sonlu elemanlar, sonlu hacimler, sınır değerler ve sonlu farklar yöntemleri olarak çeşitlendirilebilir. Bu nümerik yöntemler ile akımı idare eden denklemlerde ayrıklaştırılarak çözülebilir denklemlere dönüştürülür. Ayrıklaştırma işlemi, nümerik yöntemler ile çözüm bölgesinin ayrık nokta, eleman ve hacimler şeklinde tanımlanmasıdır (Ferziger ve Peric, 1999; Hoffman ve Chiang).

Sonlu hacimler yöntemi, korunum prensiplerinden hareketle türetilen kısmi diferansiyel denklemleri sonlu hacimler üzerindeki ayrık cebirsel denklemlere dönüştürerek çözmeyi sağlar. Çözüm bölgesi sonlu hacimlere bölünerek ayrıklaştırılır. Her bir sonlu hacim üzerine kısmi diferansiyel denklemler entegre edilerek cebirsel denklemlere dönüştürülür. Daha sonra elde edilen cebirsel denklemler, sonlu hacimlere ait bağımlı değişken değerlerini hesaplamak amacıyla çözülür (Moukalled, Magani, Darwish, 2016).

Akışkan hareketini yöneten genel taşınım denkleminin akışkanın ϕ özelliğine bağlı diferansiyel ve integral formu:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma\text{grad}\phi) + S_\phi \quad (3.30)$$

şeklinindedir. Γ difüzyon katsayısını, S_ϕ göstermektedir. Denklem (3.30)'daki zamana bağlı terim, düzenli akımlarda sıfır olmaktadır. Buna göre Denklem (3.30) düzenlenirse:

$$\text{div}(\rho\mathbf{u}\phi) = \text{div}(\Gamma\text{grad}\phi) + S_\phi \quad (3.31)$$

ifadesi oluşur. Bu ifade kontrol hacim üzerinde integre edilirse:

$$\int_{KH} \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) dV = \int_{KH} \text{div}(\Gamma\text{grad}\phi) dV + \int_{KH} S_\phi dV \quad (3.32)$$

ve bu denklemde bir \mathbf{a} vektörü için diverjans teoremi uygulandığında:

$$\int_{KH} \text{div} \mathbf{a} dV = \int_A \mathbf{n} \mathbf{a} dA \quad (3.33)$$

$$\int_A \mathbf{n}(\rho\phi\mathbf{u}) dA = \int_A \mathbf{n}(\Gamma\text{grad}\phi) dA + \int_{KH} S_\phi dV \quad (3.34)$$

kontrol hacim dengesini gösteren bu ifade elde edilir. Denklem (3.34)'ün sol kısmı net konveksiyona bağlı akımı, sağ kısmı net difüzyon akışı ve kontrol hacimdeki ϕ özelliğinin değişimini gösterir (Filinte, 2006).

Sonlu sayıdaki kontrol hacimlerine konveksiyon- difüzyon denklemleri integre edilerek cebrik denklem takımı elde edilir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

Büyük cebirsel denklem takımlarının çözümünde iterasyona dayalı nümerik yöntemler kullanılmakta olup ϕ özelliğinin tahmin edilen ilk dağılımına göre çözüme başlanır ve yakınsayan bir sonuç elde edilene kadar çözüme devam edilir (Hirsch, 1990; Zhu, 1991).

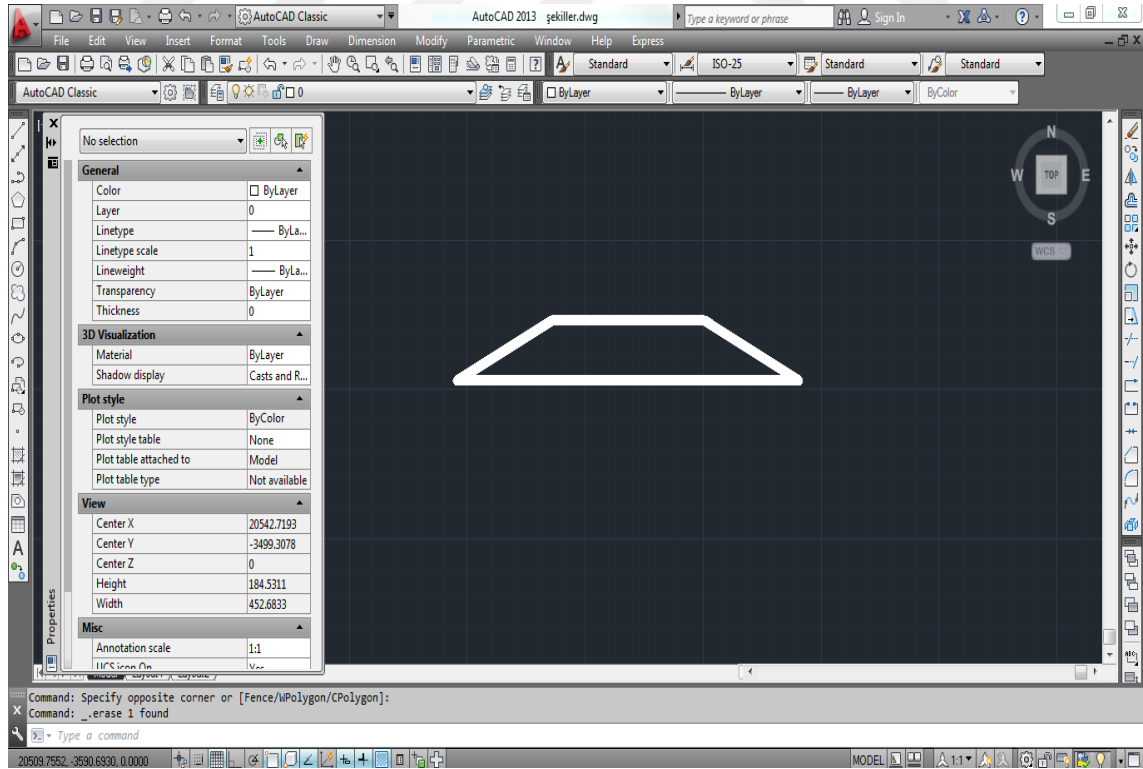
HAD tabanlı yazılımlar ile modelleme çalışmaları genel çerçevede üç temel aşamadan oluşur. Bu aşamalar sırasıyla ön-işlem, çözüm ve son-işlem olarak adlandırılabilir (Filinte, 2006). Bu aşamalar sonucunda elde edilen veriler, deney çalışmalarının sonuçları ile kıyaslanarak doğrulukları araştırılır. Söz konusu üç temel aşama kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

1. **Ön-işlem:** Üzerinde çalışma yapılan modele ait geometrinin oluşturulması, çözüm bölgesine ait ağ yapısının oluşturulması, sınır şartlarının belirlenmesi gibi işlemleri kapsayan aşamadır.
2. **Çözüm:** Oluşturulan modele uygun çözüm yöntemi ile hesaplamaların yapıldığı aşamadır.
3. **Son-işlem:** Çözüm tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçların alınması ve değerlendirilmesidir.

Tez çalışmamızın bu kısmında ANSYS-FLUENT programı kullanılarak yapılan sayısal modelleme çalışmasına ait aşamalar anlatılmıştır.

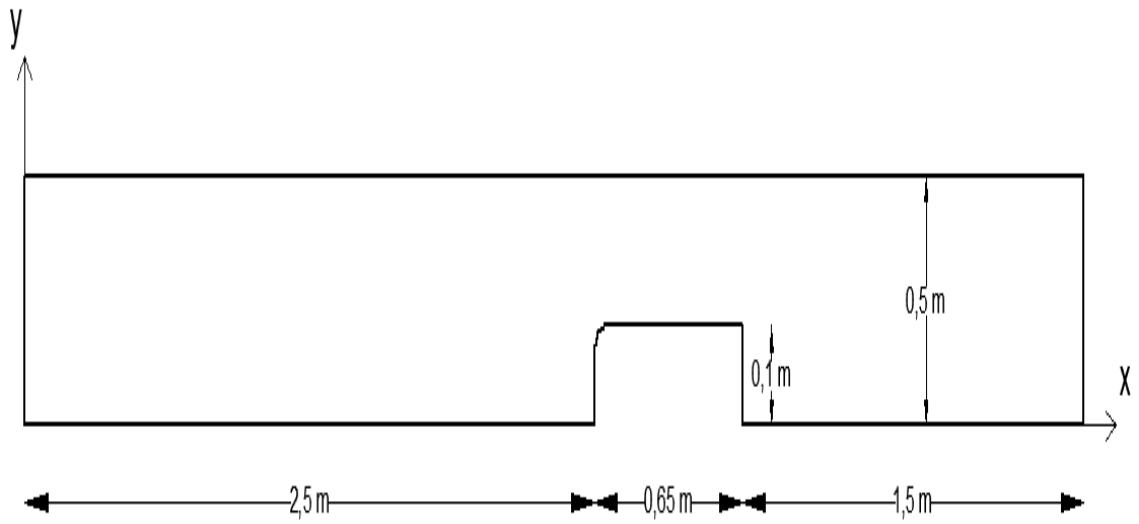
3.4.1. Hesaplama bölgesi geometrisinin belirlenmesi

HAD tabanlı ANSYS-FLUENT programı ile çözümü yapılacak modele ait geometri birden farklı bilgisayar programı kullanılarak oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada Autocad programı yardımıyla, çözülecek model geometrileri iki boyutlu olarak oluşturulmuştur Şekil (3.10).

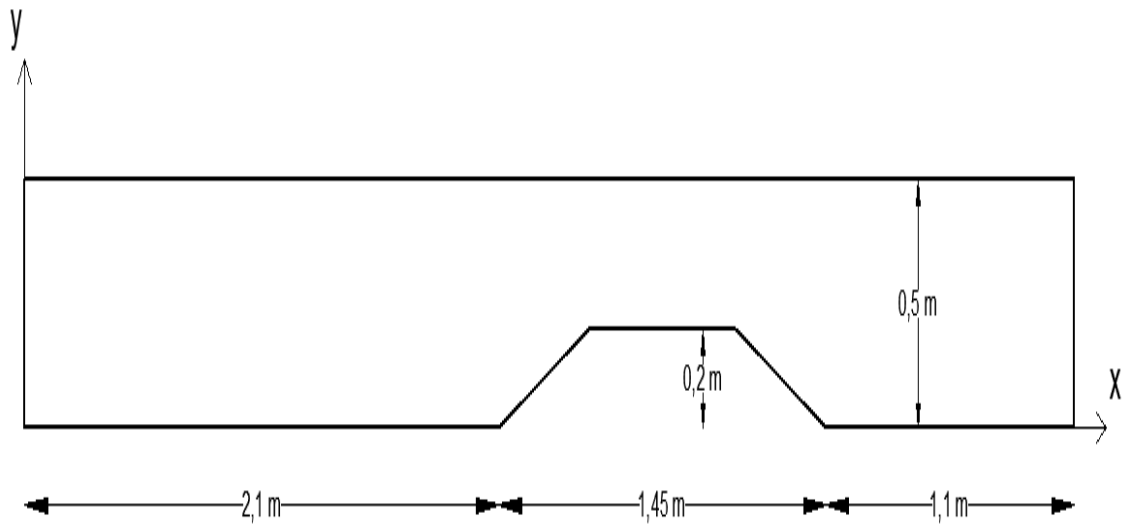


Şekil 3.10. İki boyutlu modelin AutoCAD görünümü

Autocad programı yardımıyla oluşturulan sayısal modellerde, fiziksel modellerin birebir ölçekli boyutları kullanılmıştır. Hesaplama yapılacak bölge belirlenirken geniş başlıklı savağın memba ve mansap kısımlarındaki kanal uzunlukları deneme yanılma yoluyla tespit edilmiştir. Hesaplama bölgesinin üst kısmı deneylerde ölçülen memba yüksekliğinin biraz yukarısı olacak şekilde belirlenmiş olup taban sınırları kanal ve savak yüzeyi olarak alınmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında altı farklı geniş başlıklı savak modeli üzerinde çalışıldığı belirtilmişti. Bu modellerden 1 ve 6 no.lu deneylerde kullanılan savakların sayısal çözümlerinde oluşturulan hesaplama bölgeleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



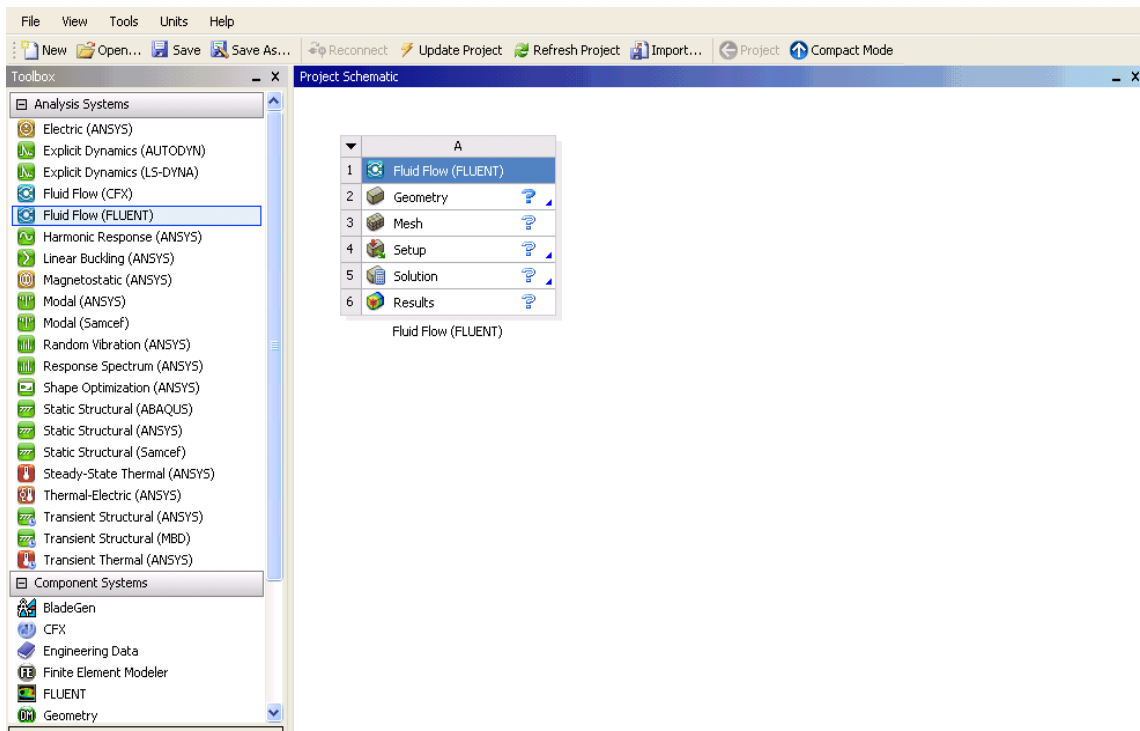
(a) Memba köşesi yuvarlatılmış dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak



(b) $Y/X=1/2$ şev eğimli geniş başlıklı savak

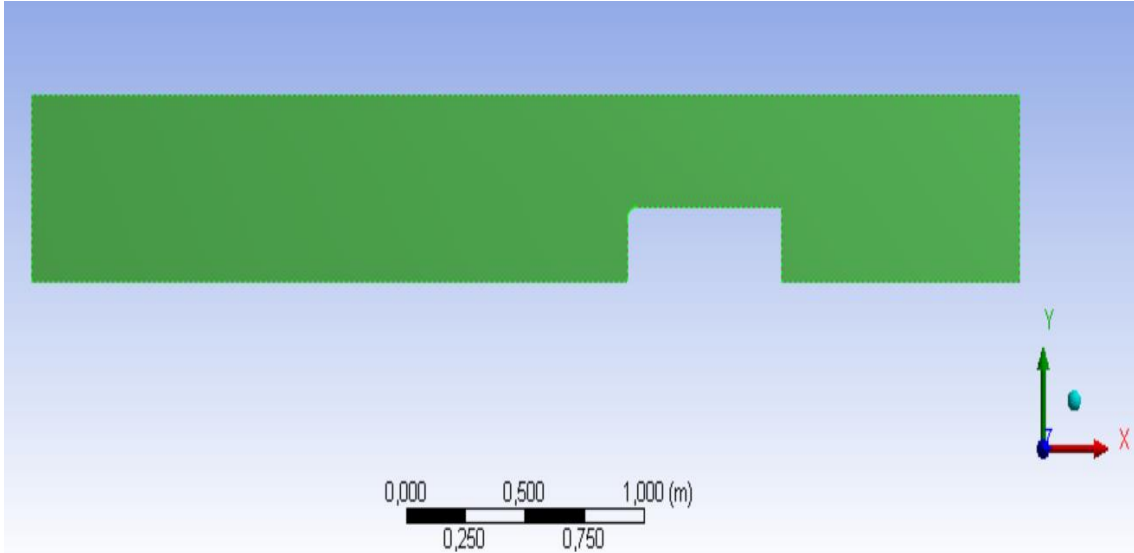
Şekil 3.11. 1 ve 6 no.lu deneylerde kullanılan savak modellerinin hesaplama bölgeleri

Autocad programında iki boyutlu çizim işlemi tamamlandıktan sonra model geometrisi ANSYS-FLUENT 'e aktarılmıştır. Aktarma işlemi için ilk olarak ANSYS – Workbench'in Fluid Flow modülü açılır. Modelleme işlemi süresince Şekil 3.12. 'de görülen sıralama takip edilir.



Şekil 3.12. Ansys-Workbench akışkan analiz sistemi

Geometry sekmesine girilerek model geometrisi Ansys-Fluent' e aktarılır (Şekil 3.13.) .



Şekil 3.13. Ansys-Workbench'te iki boyutlu model geometri görünümü

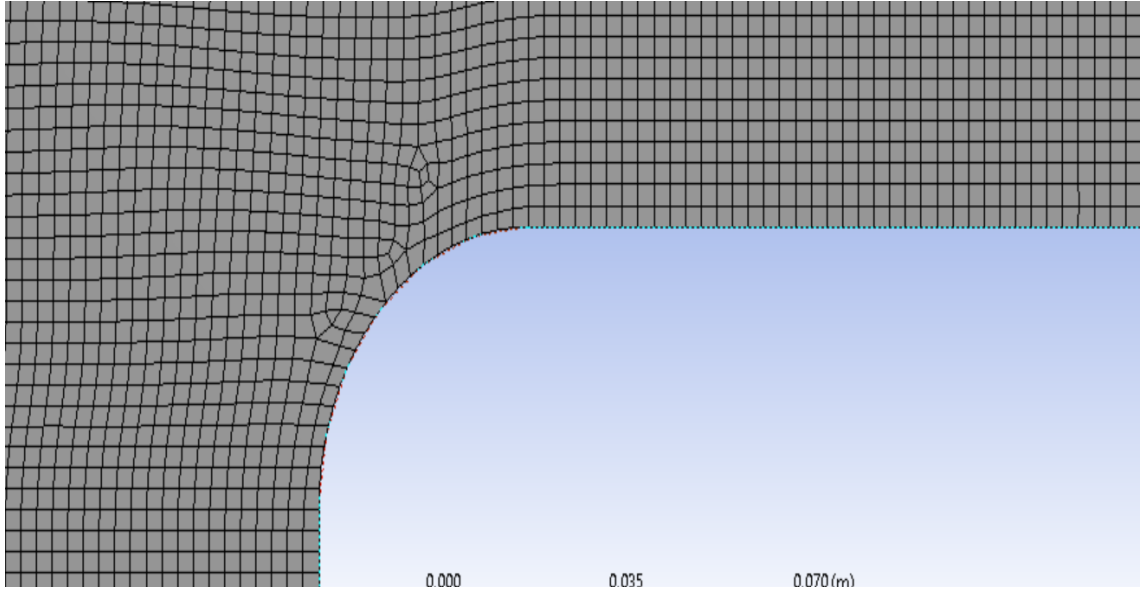
3.4.2. Hesap ağlarının oluşturulması

Model geometrisinin Ansys'e aktarılması sonrasında Fluid Flow modülünün mesh sekmesi kullanılarak problem etki alanı hesap ağları ile çok küçük hücrelere bölünür. Matematiksel çözümler her bir hücre için ayrı ayrı yapılır ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile bütün hesaplama alanı için çözüm ortaya konulur.

Mesh sekmesinin açılmasının ardından face meshing komutuyla hesaplama bölgesi mesh'lere ayrılır. Daha sonra oluşturulan meshlerin sayı ve geometrisi belirlenir. Bu işlem "Details of Mesh" bölümü kullanılarak yapılır. İki boyutlu model çalışmalarında iki çeşit ağ(mesh) yapısı bulunmaktadır. Bunlar üçgen ve dikdörtgen geometri yapısına sahip mesh'lerdir.

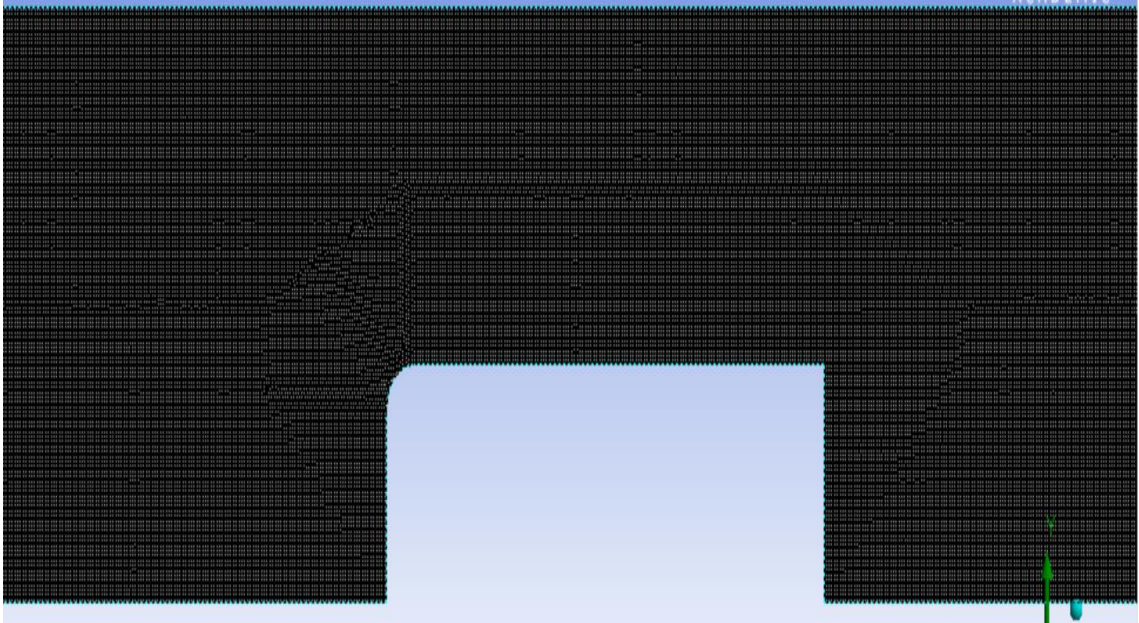
Sayısal problemlerinin çözümünde doğru sonuçlar elde edebilmek için hesaplama ağının uygun bir şekilde oluşturulması gerekmektedir. Hesaplama ağı uygun olmayan çözümler yanıltıcı sonuçlar vermektedir. Bu sebeple çalışmamızda farklı mesh geometrileri ve boyutları kullanılarak çözümler yapılmış olup elde edilen tecrübeler neticesinde çalışılacak mesh geometrisi ve boyutu belirlenmiştir.

İlk olarak 10 mm ebadında ağlar oluşturuldu ve ağ geometrisi dikdörtgen olarak tanımlandı (Şekil 3.14.). Ancak elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında tutarlılık olmadığı görüldü. Daha sonra mesh boyutları 5 mm'ye düşürülerek mesh sayısı artırıldı. Bu durumun alınan sonuçların tutarlılığına olumlu etkide bulunduğu görülmüştür.

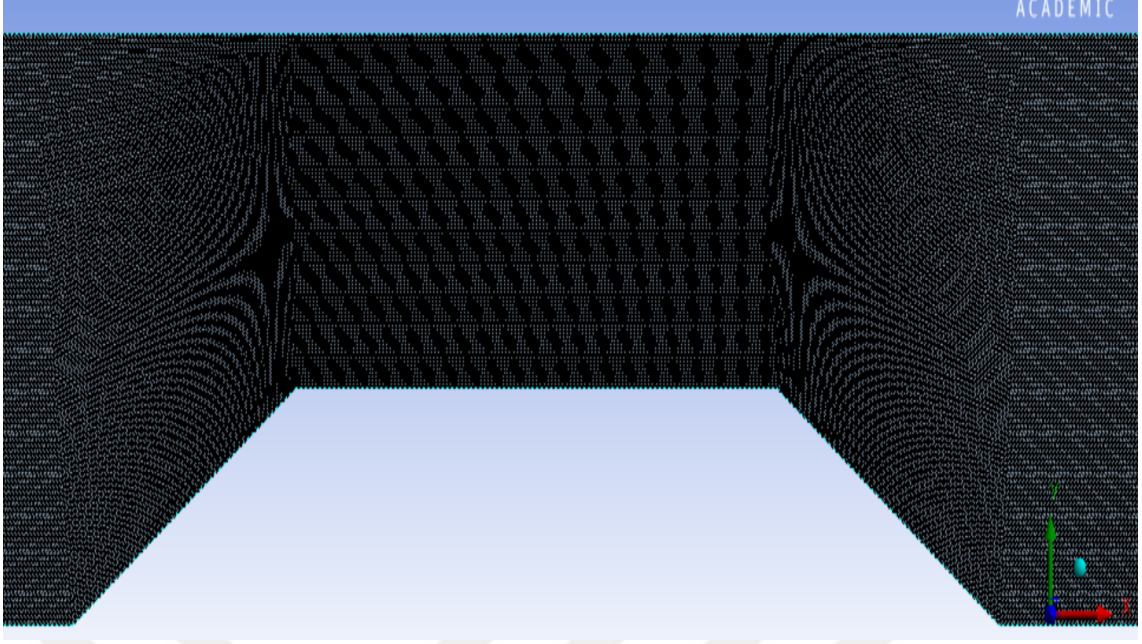


Şekil 3.14. Dikdörtgen geometriye sahip hesap ağı

Dikdörtgen mesh yapısı ardından 5 mm boyutunda üçgen geometri yapısında mesh'ler oluşturulmuş ve alınan sonuçların deneysel verilerle tutarlı olduğu görülmüştür. Bu itibarla sayısal modelleme çalışmalarında 0,005 mm boyutunda, üçgen geometrili mesh'lerle çalışılmasına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan 1 ve 5 no.lu modeller üzerinde oluşturulan hesap ağları Şekil 3.15.'de gösterilmiştir.



(a) 1 no.lu deneyde kullanılan modele ait hesap ağları



(b) 5 no.lu deneyde kullanılan modele ait hesap ağları
Şekil 3.15. Geniş başlıklı savak modelleri üzerinde oluşturulan hesaplama ağları

Çizelge 3.2.'de tez kapsamında sayısal olarak modellenerek çözüm yapılan modellere ait mesh sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Modeller üzerinde oluşturulan mesh sayıları

Model No	Mesh Sayısı
1. Model	208710
2. Model	207293
3. Model	207016
4. Model	202708
5. Model	197136
6. Model	195290

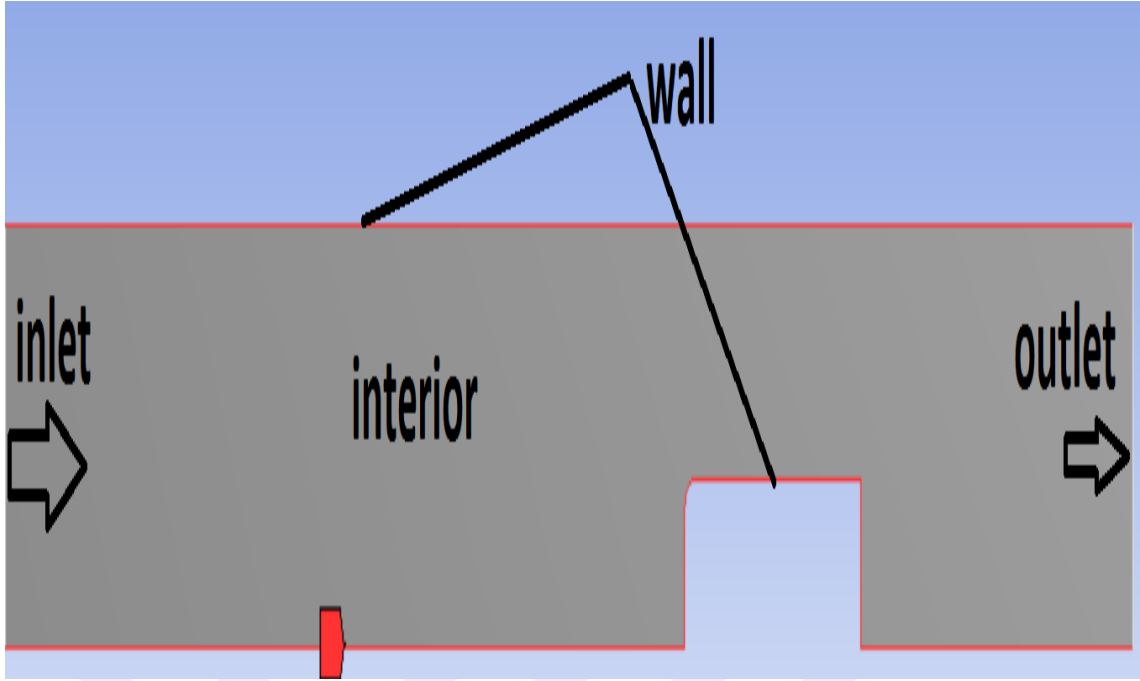
Sayısal modeller üzerinde yapılan tecrübe çözümlerinde ağ ebatları küçüldükçe çözümlerin doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Ancak ağ ebatlarının küçülmesi ve dolayısıyla ağ sayısının artmasıyla modelin çözüm süresi uzamaktadır. Bu sebeple sayısal modelleme süreci çok iyi planlanmalı ve yürütülmelidir.

3.4.3. Sınır şartlarının tanımlanması

Akışı idare eden denklemlerin çözümü için uygun başlangıç koşulları ve sınır şartları oluşturulmalıdır (Bakker, 2006). Bu nedenle HAD modellemesinde çözüm aşamasına geçilmeden önce oluşturulan modelin sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Sayısal olarak çözülecek modelden sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için sınır şartlarının doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Sınır şartları genel olarak şöyle sıralanabilir;

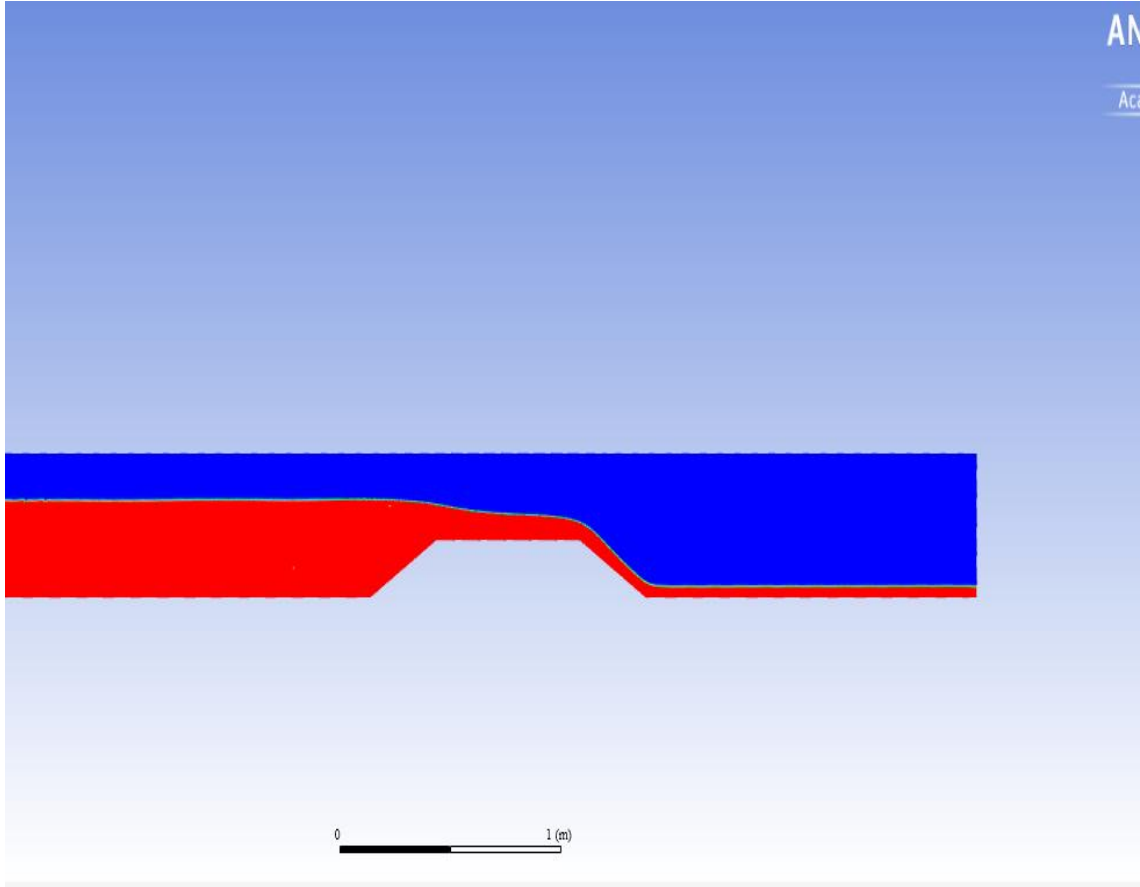
- Giriş ve çıkış sınırları
- Basınç koşulları
- Katı bölge (wall) sınırları
- Simetri sınırları
- Eksen sınırları
- Malzeme özellikleri

Çalışmamız kapsamında yapılan sayısal modellemelerde hesap ağlarının oluşturulması akabinde ilk olarak ANSYS-FLUENT programının diline uygun bir şekilde sınır şartları isimlendirilmiştir. Modelde akışın giriş yapacağı yani memba kısmı inlet, çıkış yani mansap kısmı outlet olarak isimlendirilmiştir. Modelin üst ve alt kenarları wall, hesaplama bölgesi ise interior olarak tanımlanır (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Sınırların adlandırılması

Modelin giriş kısmında belli bir kütle akışı sağlamak için “mass flow inlet” sınır koşulu kullanılmıştır. Deneylede kullanılan 41 debi değeriyle uyumlu olacak şekilde programa debi girişi yapılarak modeller üzerinde analizler tekrarlandı. Tanımlanan kütle akışı X eksenini doğrultusunda belirlenmiştir. Hesaplama bölgesinde ilk durumda faz olarak sadece hava tanımlanmıştır. Böylelikle açık kanal akımlarındaki hava basıncı tesiri model çözümüne dahil edilmiştir. Çözüm sırasında membadan gelen su alanı doldurmuş ve akım oturduktan sonra çift fazlı bir durum oluşmuştur. Bu durum programdan alınan grafiklerle de gözlenebilmektedir. Şekil 3.17.’de görülen grafikte temsili olarak akımın durumu görülmektedir. Çıkış kısmında sadece açık hava basıncı tanımlanmıştır. Bu sayede sisteme giren akışın serbest bir şekilde mansaplanması sağlanmıştır.



Şekil 3.17. İki boyutlu akımın temsili görünümü

3.4.4. Türbülans modelinin tanımlanması

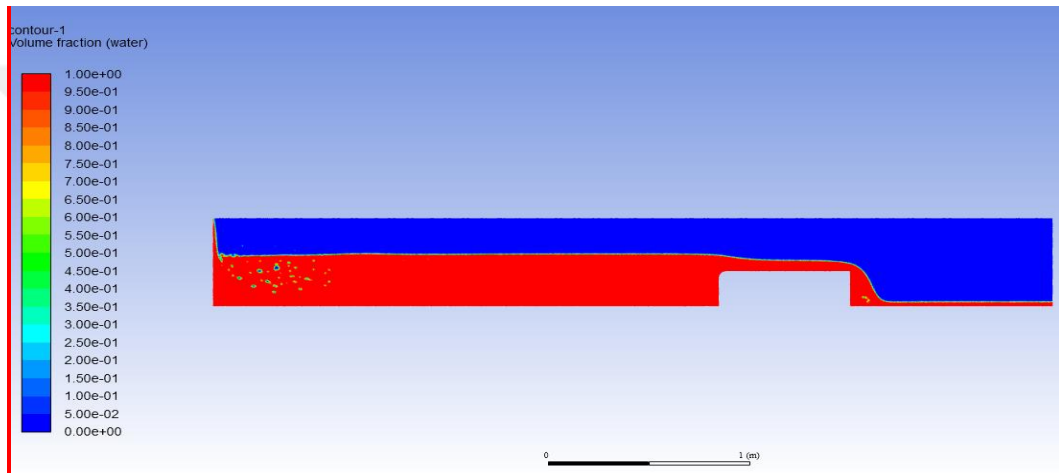
Ansys-Fluent, temel denklemlerin çözümünde birden fazla türbülans modelini seçenek olarak sunmaktadır. Bunlar Spalart-Allmaras, $k-\epsilon$, $k-\omega$, Reynolds Stress, Large Eddy Simulation türbülans modelleri olarak sıralanabilir. Çalışma kapsamında realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır.

3.4.5. Akışkan hacmi yöntemi

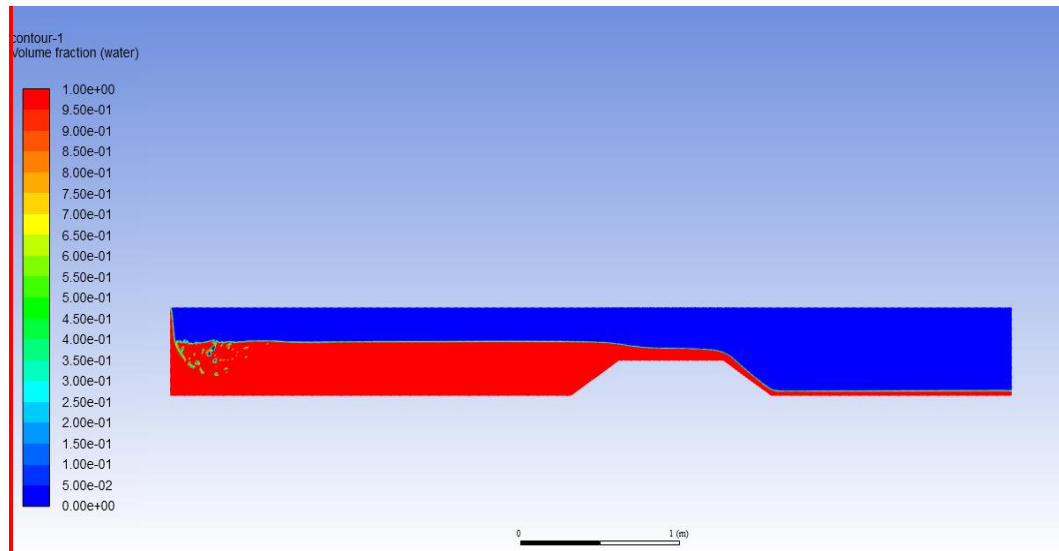
Su ve hava gibi birbirine karışmayan akışkanlar arasındaki ara kesit yüzeyin şekli ve oluşumu, sabit bir Eulerian ağına uygulanabilen akışkan hacmi yöntemi kullanılarak incelenebilir (Hirt ve Nichols,1981). Bu yöntem sayesinde çözüm bölgesinde su ve havayla dolu olan kısımlar belirlenir. Modelleme çalışması esnasında oluşturulan çözüm bölgesinde hacimsel doluluk oranını gösteren akışkan hacmi tanımlanır. Çözüm bölgesi içerisindeki hesaplama ağındaki eleman tam dolu ise $F=1$, boş yani hava ile doluyken $F=0$ değerini almaktadır.

Akışkan hacmi yöntemi ile serbest yüzeyin belirlenmesi üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hava- su arası serbest yüzeyin yeri tespit edilir. Tespit edilen serbest yüzey keskin bir arakesit olarak belirlenir ve bu arakesite sınır şartları uygulanır.

Tez çalışmamıza ait sayısal modelleme çalışmalarında su ve hava ara kesitinin hesabında akışkan hacmi yöntemi (Volume Of Fluid: VOF) yöntemi kullanılmıştır. Fluent programında çizdirilen ve Şekil 3.18.'de görülen grafiklerde kırmızı renkli kısım $F=1$ olup yani su olan bölgedir. Grafiğin üst kısmındaki mavi renkli kısım $F=0$ yani hava ile dolu olan bölgedir.



(a) 4 no.lu modele ait faz görünümü

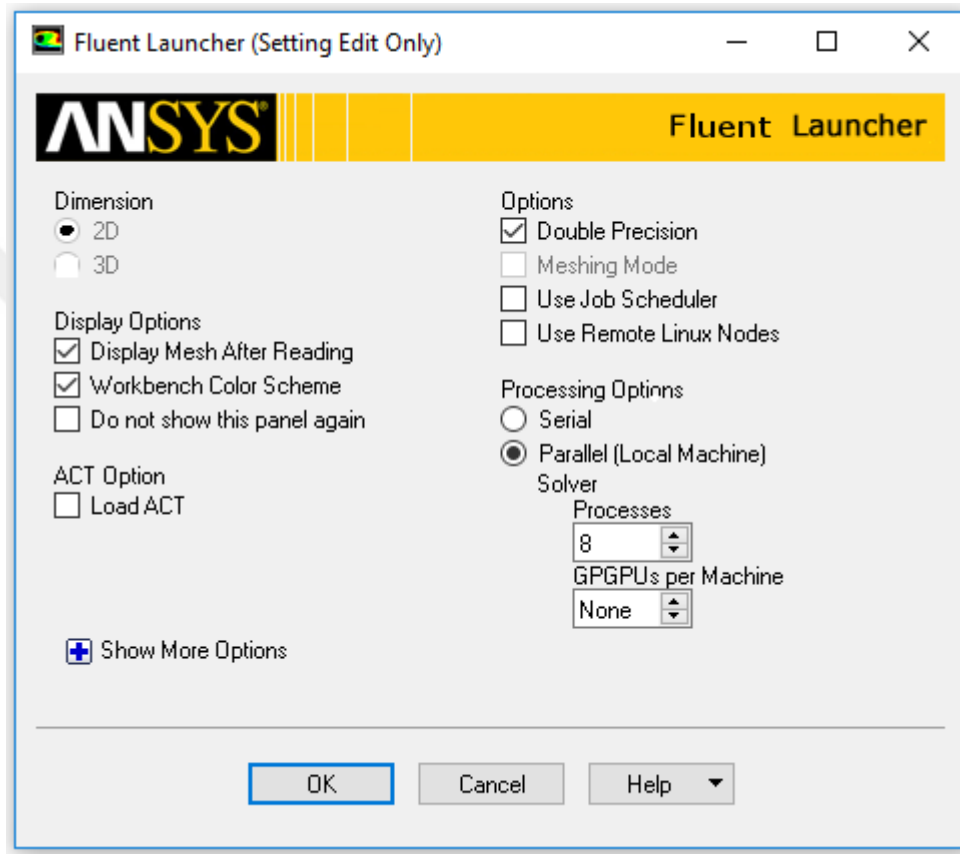


(b) 2 no.lu modele ait faz görünümü

Şekil 3.18. İki boyutlu modellere ait faz görünümleri

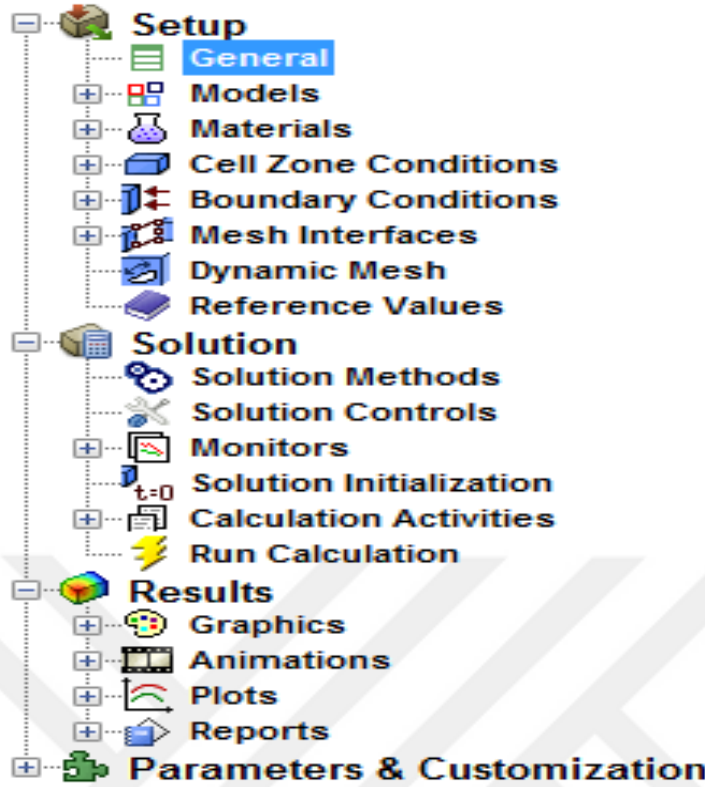
3.4.6. Modelin kurulması

Model üzerindeki mesh atama işlemleri tamamlandıktan sonra Fluid Flow modülünün “Setup” sekmesine geçilir. “Setup” sekmesine girilmesiyle Fluent’in başlangıç ayarlarının yapıldığı ekran açılır (Şekil 3.19.). Modelleme iki boyutlu yapıldığı için “Dimension” 2D olarak seçilmiştir. “Options” kısmında “Double Precision” işaretlenmiştir. Processing Options sekmesinde işlem seçeneği olarak ise paralel seçimi yapılmış olup işlem yapacak çekirdek sayısı belirlenmiştir.



Şekil 3.19. Fluent başlangıç ayarları penceresi

Başlangıç ayarlarının tamamlanmasıyla Şekil 3.20’de görülen pencerede çözüme yönelik ayarlar yapılır. Bu ayarlar yapılırken ilk olarak sistemin çalışma koşullarına yer çekimi ivmesinin yönü ve değeri girilmiştir. “Materials” kısmında su tanımlanmıştır. Çok fazlı modelin çözümü için “Multiphase Model” bölümünde Volume of Fluid modeli seçilmiştir. VOF modeli seçildikten sonra fazlar atanmıştır. Birinci faz olarak su, ikinci faz olarak hava tanımlanmıştır. Faz isimleri program dili gereği water ve air olarak girilmiştir. Çalışma kapsamındaki türbülanslı akımın çözümünde kullanılmasına karar verilen k-ε türbülans modeli seçilmiştir. “General” ayarlarında akış tipi olarak “pressure based”, zamana bağlı olarak transient tipi çözüm kullanılmıştır.

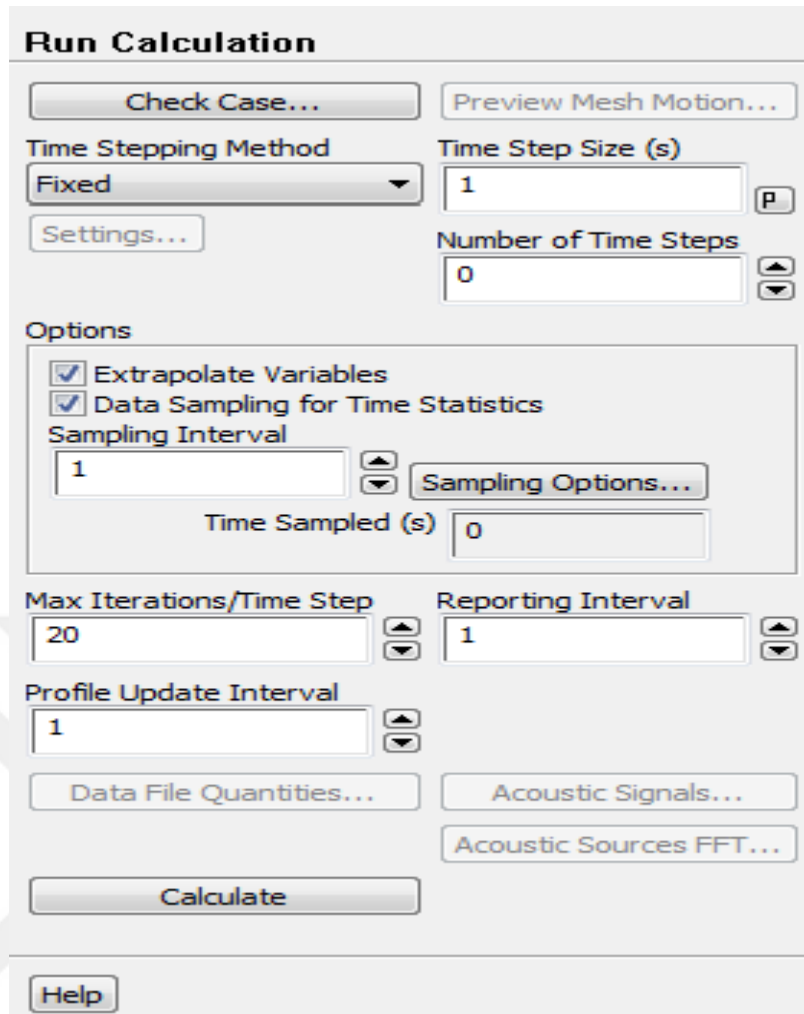


Şekil 3.20. Fluent parametre giriş bölümü

3.4.7. Modelin çalıştırılması

Fluent modeli çalıştırılmadan önce son olarak iterasyon sayısı ve iterasyon zaman adım boyutu Şekil 3.21’de gösterilen Run Calculation kısmına girilmiştir. Bu çalışmada iterasyon sayısının belirlenmesi için deneme yanılma yoluna gidilmiştir. İlk olarak 1000 iterasyonluk bir çözüm yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Verilerin tutarlı olmadığı görülünce iterasyon sayısı kademeli olarak arttırılmıştır. 8000 iterasyon ile sağlıklı sonuçlara ulaşıldığı görülünce çalışmalarda 8000 iterasyonluk çözümlerle devam edilmiştir.

Model analizlerinde, sabit zaman adımı olarak $\Delta t = 0.003$ sn belirlenmiş ve zaman adımı için maksimum 20 yineleme yapılmıştır.



Şekil 3.21.Run Calculation bölümü

3.4.8. Sonuçların alınması

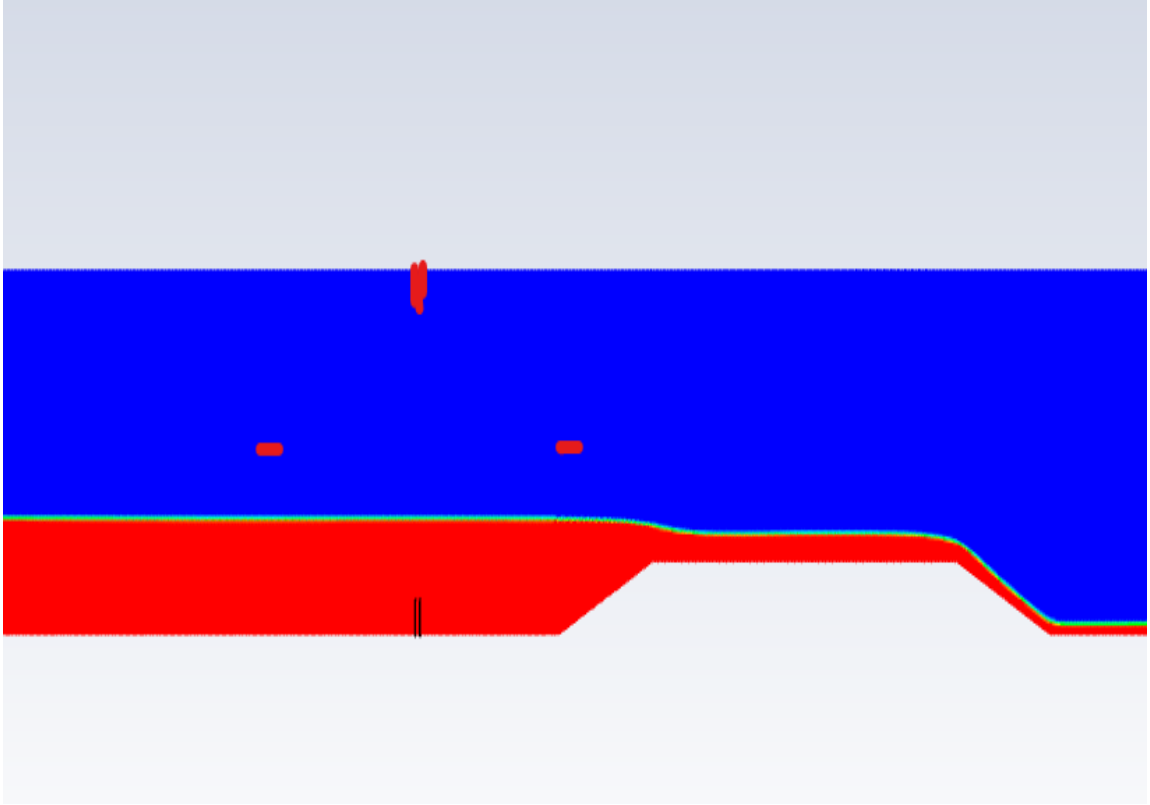
HAD yazılımları ile yapılan model çalıştırılıp çözüm tamamlandıktan sonra “Results” sekmesi kullanılarak sonuçlar alınabilir. Hız, su yüzü profili, basınç gibi parametrelerle ilgili ölçümler yapılabilir. Sonuçlar grafiksel veya sayısal olarak elde edilebilir. Grafiksel olarak sonuç alma yolları;

- Contours
- Flowlines
- Animation
- Vector Plots

şeklinde sıralanabilir.

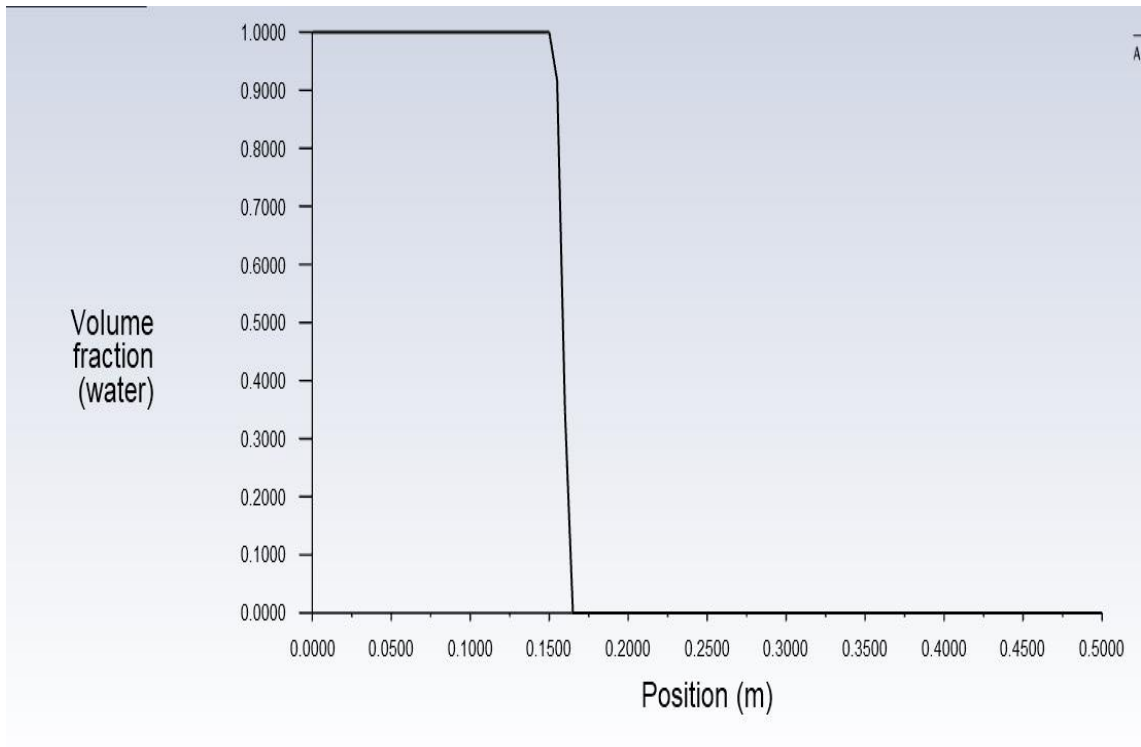
Bu çalışmada sonuçlar elde edilirken grafiksel yollara başvurulmuştur. Deneysel çalışmalarda savak yükü okuması yapıldığı daha önce belirtilmişti. Fluent üzerinde bu

okumayı yapabilmek “Contours“ kullanıldı. “Contours” sekmesinde “Phases” yani faz grafiği çizdirilmiştir. Okuma yapılacak kısmın koordinatları girilerek grafik üzerinde tespiti yapılmıştır (Şekil 3.22.). Ayrıca, grafik sayesinde akımın oturup oturmadığı da teyit edildi.



Şekil 3.22. Savak yükü okuması yapılacak noktanın koordinatının belirlenmesi

Savak yüklerinin ölçüleceği noktanın tespiti yapıldıktan sonra “Plot” komutu komutunda “XY Plot” seçilerek akış hacmini gösteren grafik çizdirildi. Grafik y eksenini boyunca su fazı derinliğini göstermektedir. Y ekseninin başlangıç noktası kanal tabanı olarak belirlenmiştir. Grafikte su olan kısım “1” , hava olan kısım “0” olarak gösterilmektedir (Şekil 3.23.).



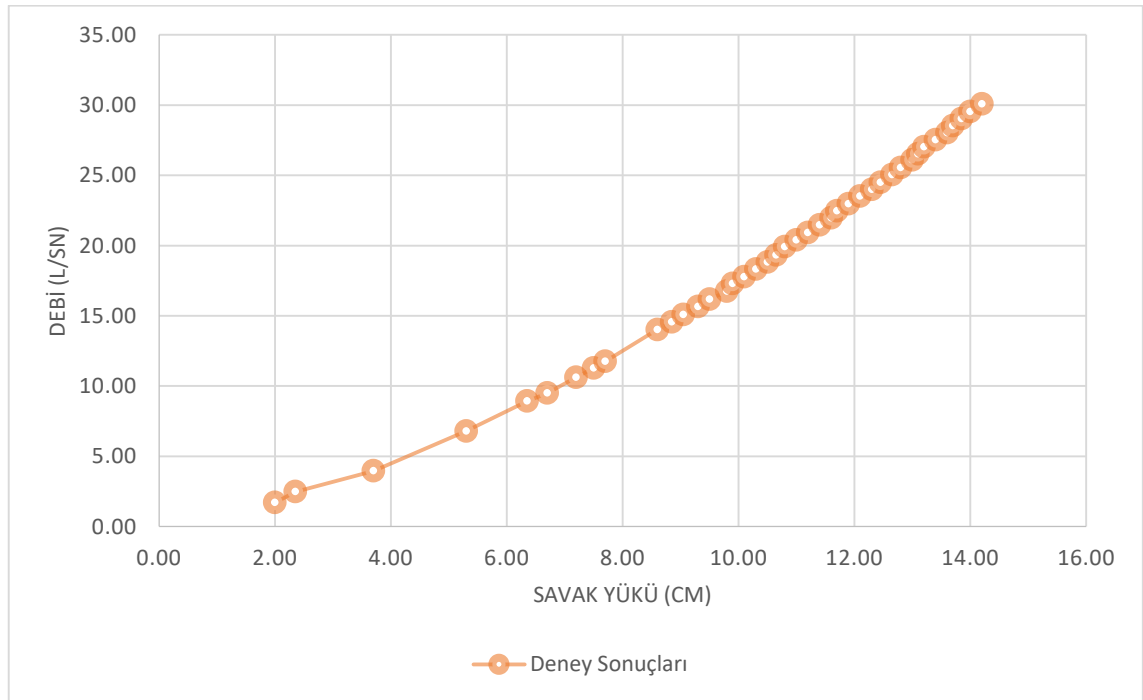
Şekil 3.23. Akışkan hacminin dağılımı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

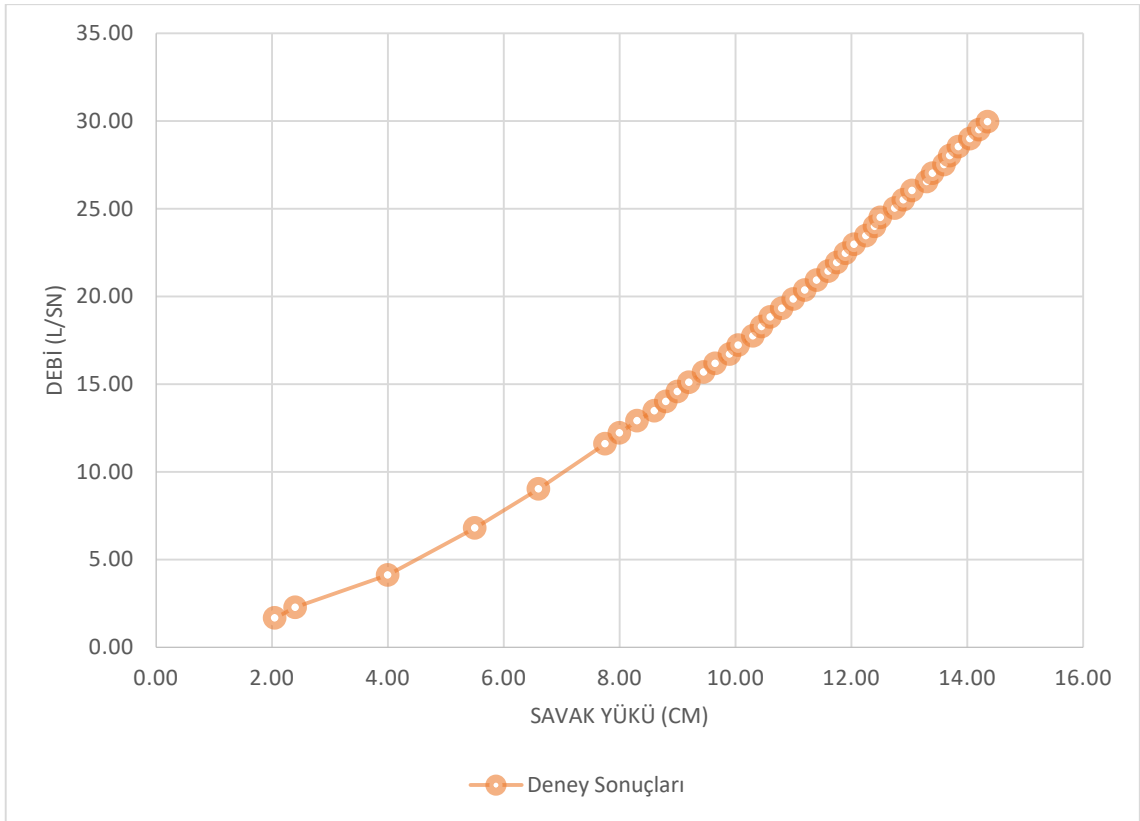
Tez çalışmamız kapsamında farklı şev eğimlerine sahip geniş başlıklı savak modelleri laboratuvar ortamında fiziksel olarak oluşturulmuştur. Bu modeller üzerinde 41 farklı debi için savak yükü okumaları yapılmıştır. Model geometrisine şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının savak yüklerine etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında oluşturulan geniş başlıklı savak modelleri HAD tabanlı Ansys-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak modellenmiştir. Deneysel modellerden alınan okumalar ile sayısal modellerden elde edilen veriler kıyaslanarak tutarlılıkları gözlemlenmiştir. Bu bölümde çalışmalardan elde edilen bulguların gösterilmesi ve bulguların kıyaslanması amacıyla çizdirilen grafikler verilmiş olup bu grafikler üzerinden ulaşılan kanaatler belirtilmiştir.

4.1. Deneysel Modelleme Sonuçları

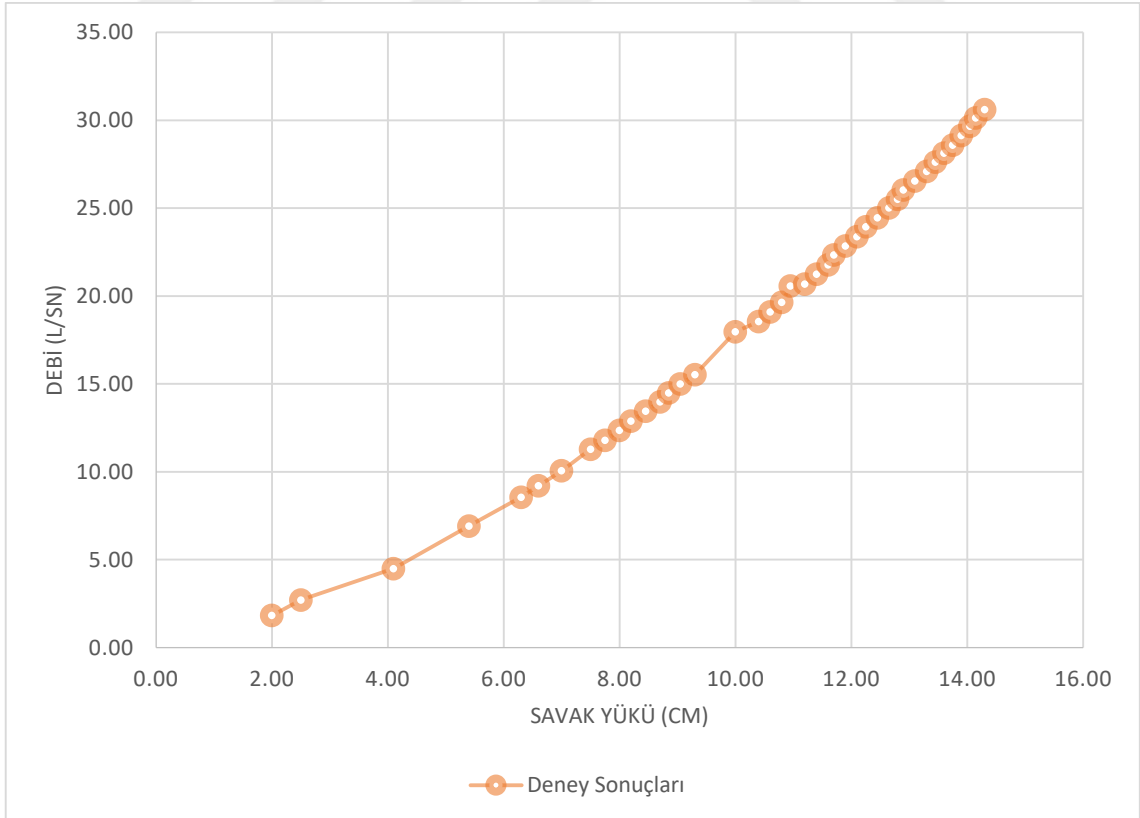
Laboratuvar çalışmaları esnasında 6 farklı geniş başlıklı savak modeli oluşturulduğu daha önce belirtilmişti. Açık kanal düzeneğine verilen 41 farklı debi durumu için limnometre yardımıyla okunan savak yükleri Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.,'de gösterilen grafiklerde verilmiştir.



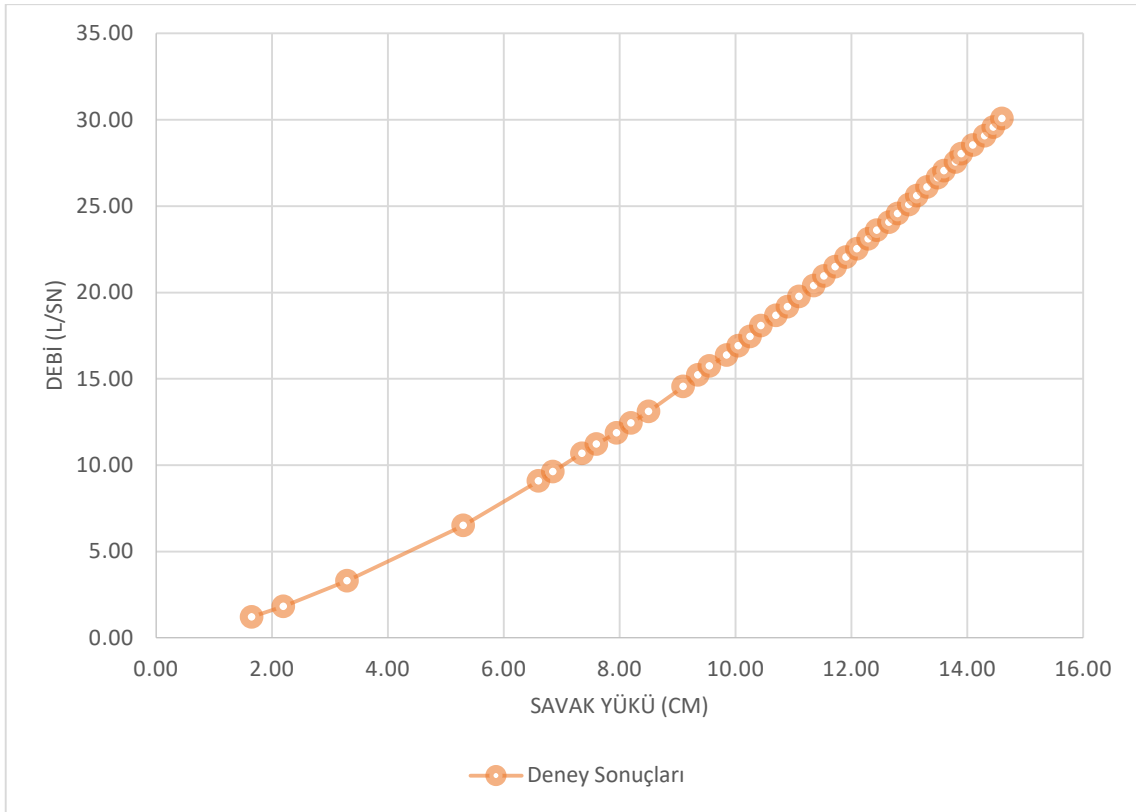
Şekil 4.1. 1 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi



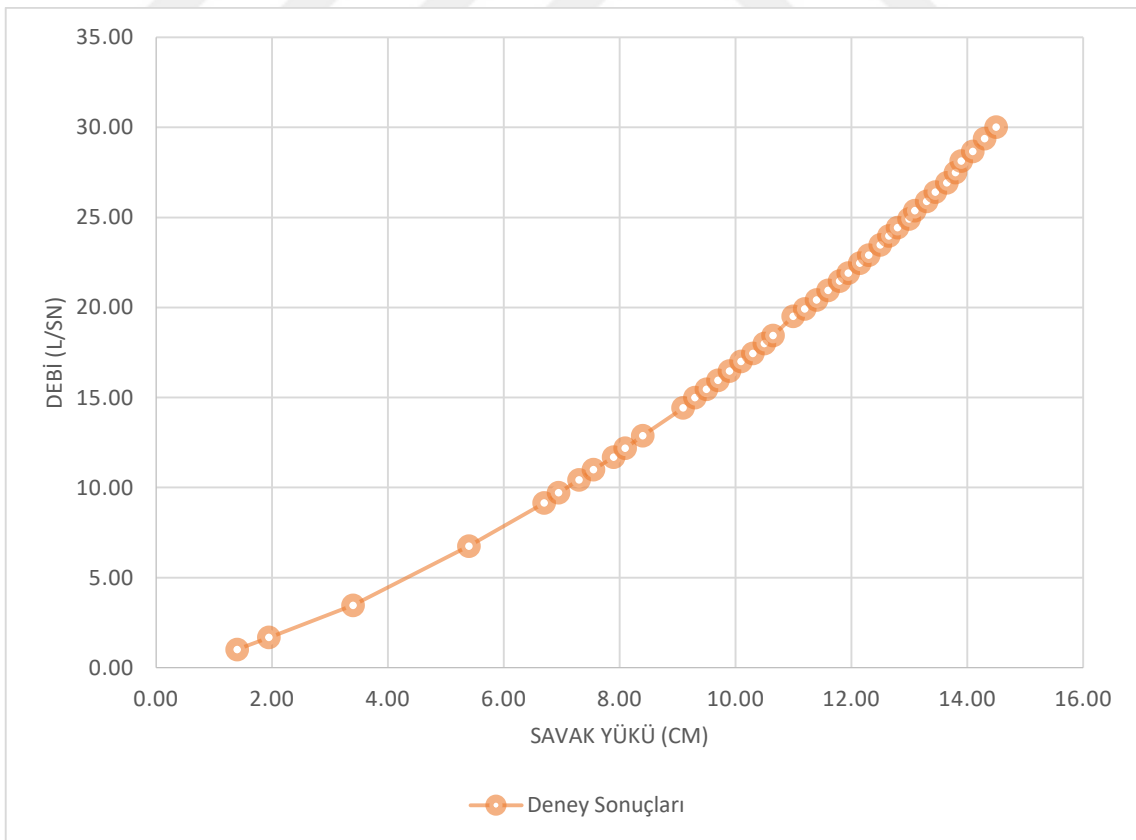
Şekil 4.2. 2 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi



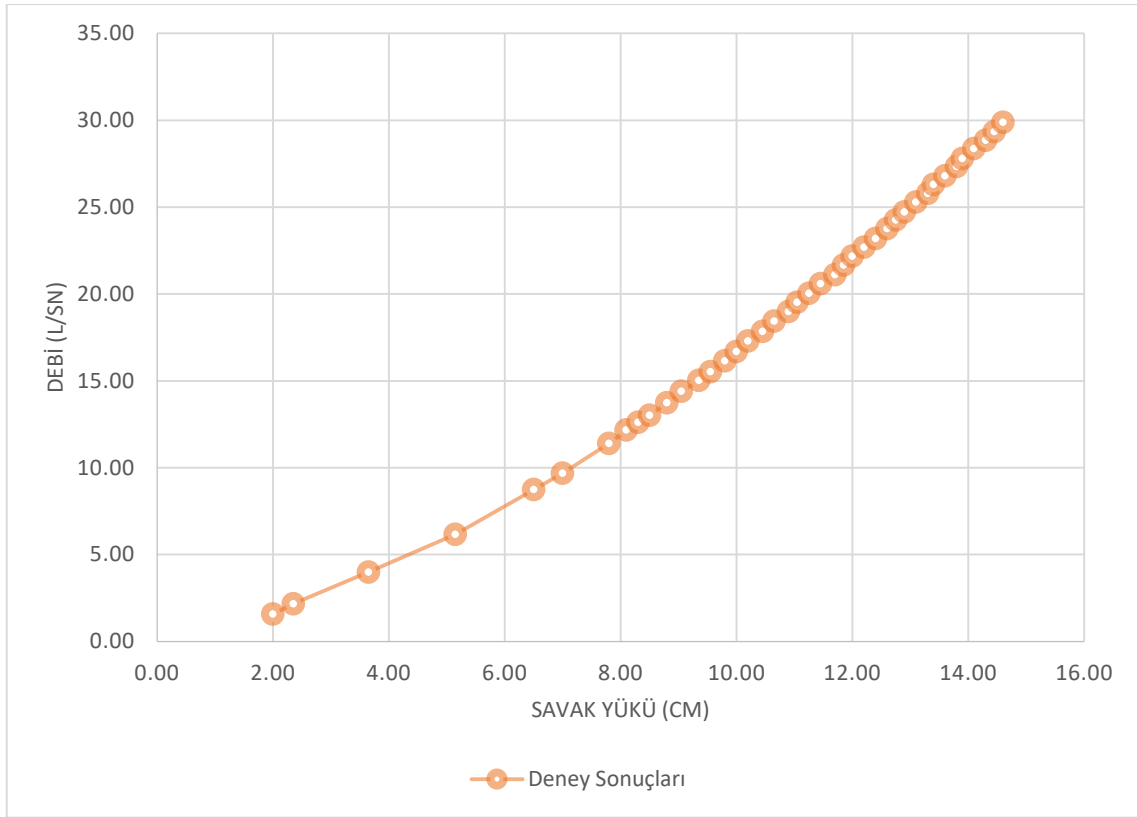
Şekil 4.3. 3 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi



Şekil 4.4. 4 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi



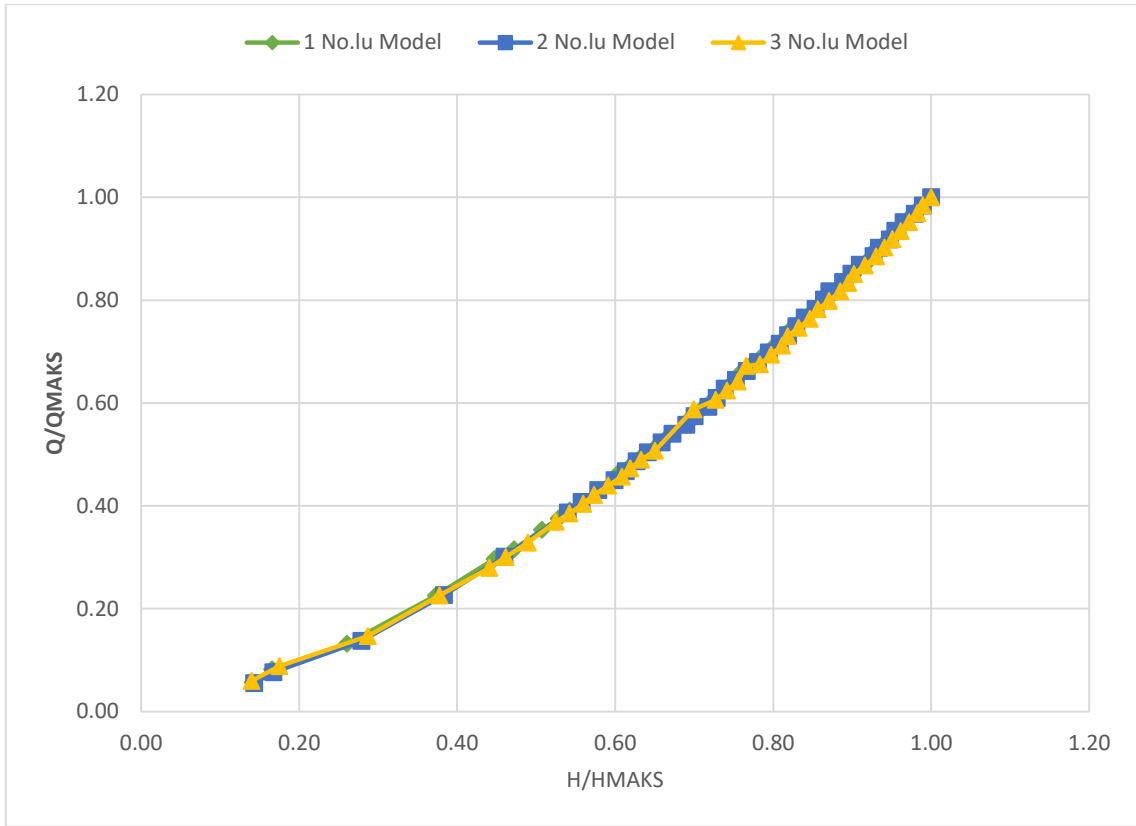
Şekil 4.5. 5 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi



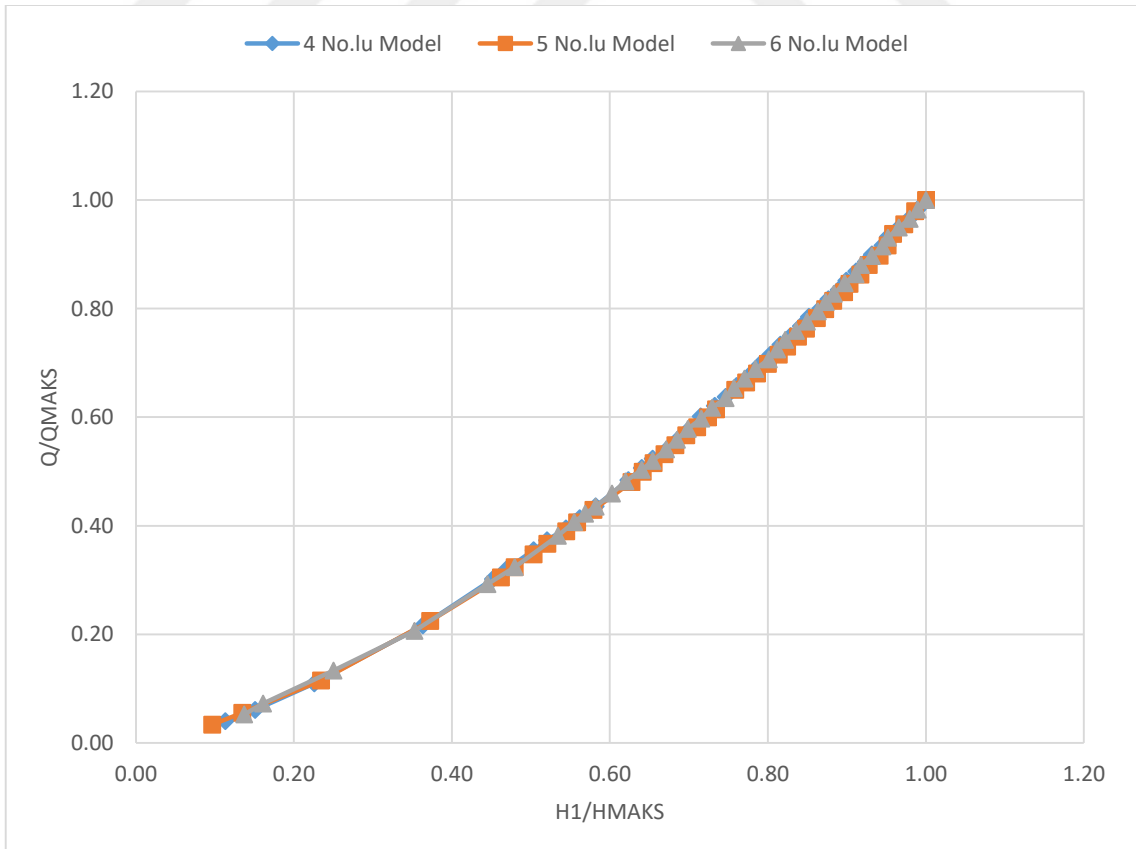
Şekil 4.6. 6 no.lu modele ait deneysel sonuçların grafiksel gösterimi

4.2. Deneysel Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması

Deney çalışmaları esnasında Çizelge 3.1.'de de görüldüğü üzere modeller oluşturulurken iki farklı kret yüksekliği kullanılmıştır. Bu itibarla aynı kret yüksekliğine sahip modellerin savak yükleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Grafiklerin x eksenini H/H_{maks} , y eksenini Q/Q_{maks} boyutsuz değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 4.7. 1, 2, 3 no.lu modellere ait deney sonuçlarının kıyaslanması

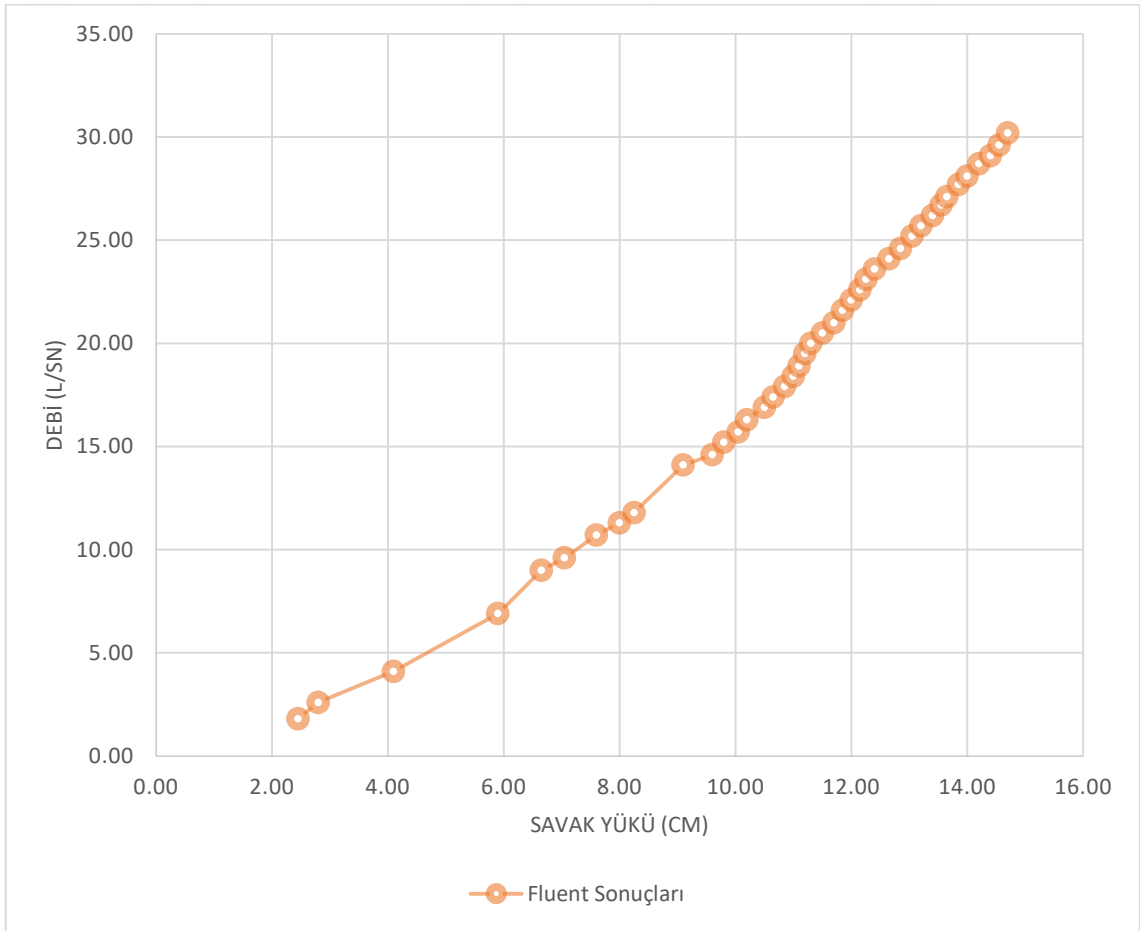


Şekil 4.8. 4, 5, 6 no.lu modellere ait deney sonuçlarının kıyaslanması

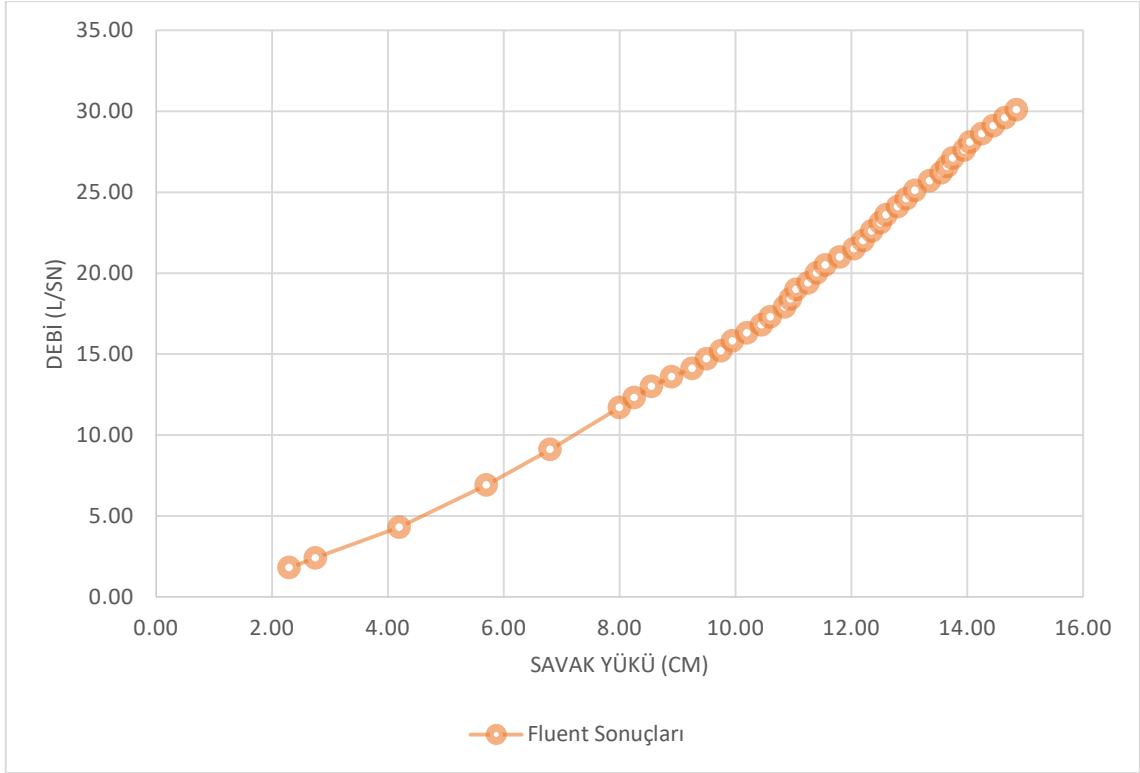
Her iki grafik incelendiğinde değerlerin büyük ölçüde örtüştüğü görülmüştür. Buradan hareketle model geometrisine şev eklenmesinin veya farklı şev eğiminin uygulanmasının savak yükleri üzerinde ciddi bir tesiri olmadığı kanaatine varılmıştır.

4.3. Sayısal Modelleme Sonuçları

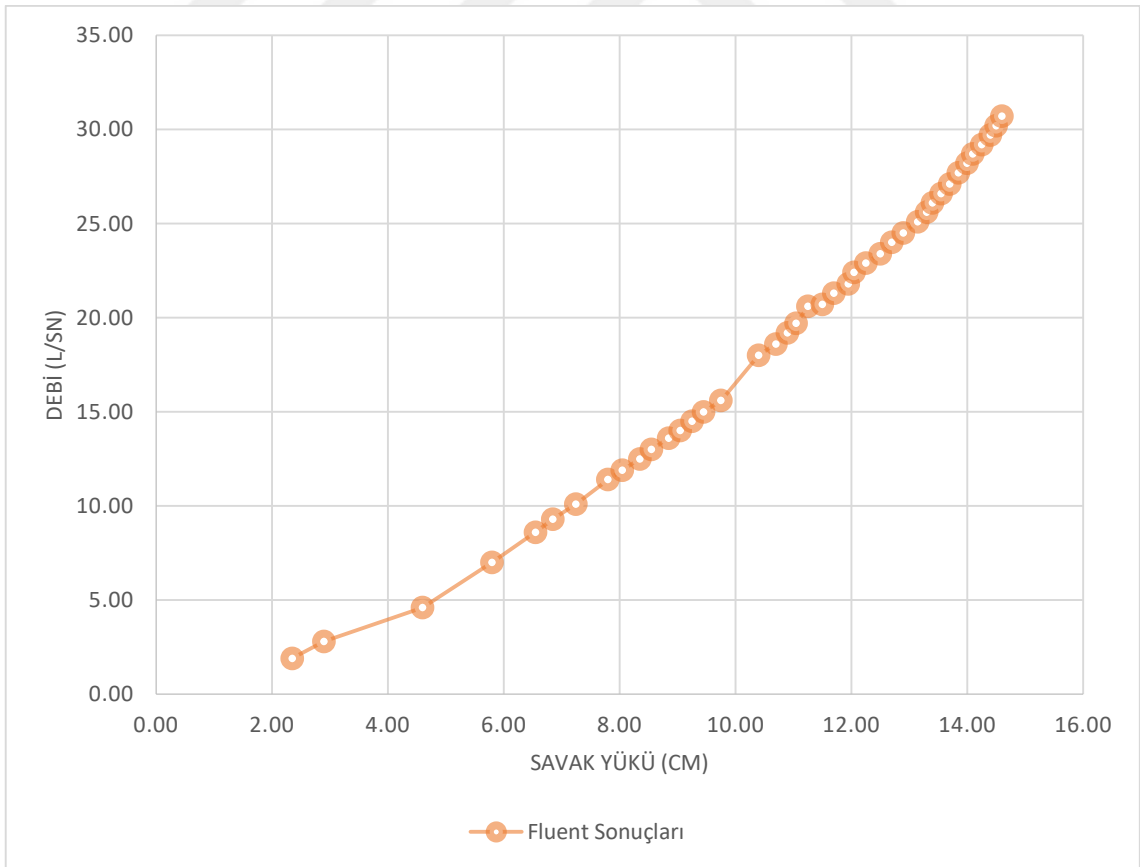
Deneyel çalışmalarda üzerinde çalışılan 6 farklı geniş başlıklı savak modeli birebir ölçekle Ansys-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak modellenmiştir. 41 farklı debi için ölçümler alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.9., 4.10., 4.11., 4.12., 4.13., 4.14.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



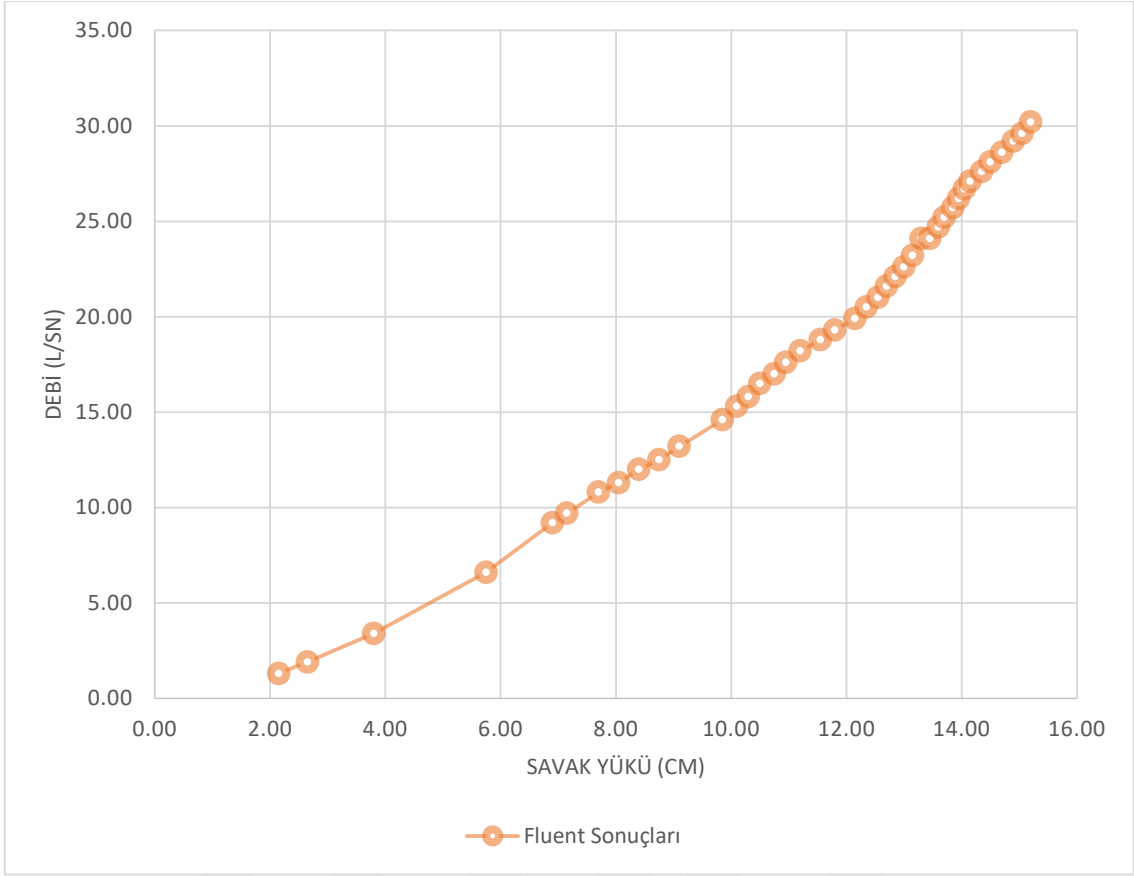
Şekil 4.9. 1 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi



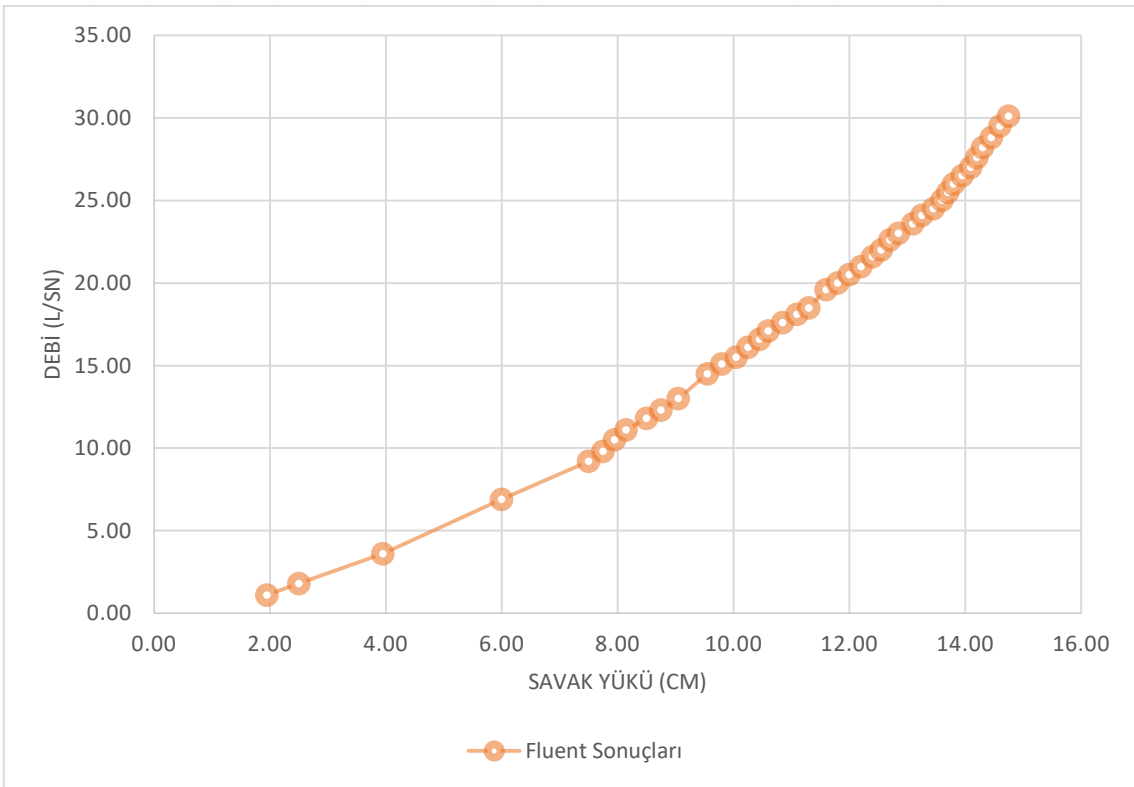
Şekil 4.10. 2 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi



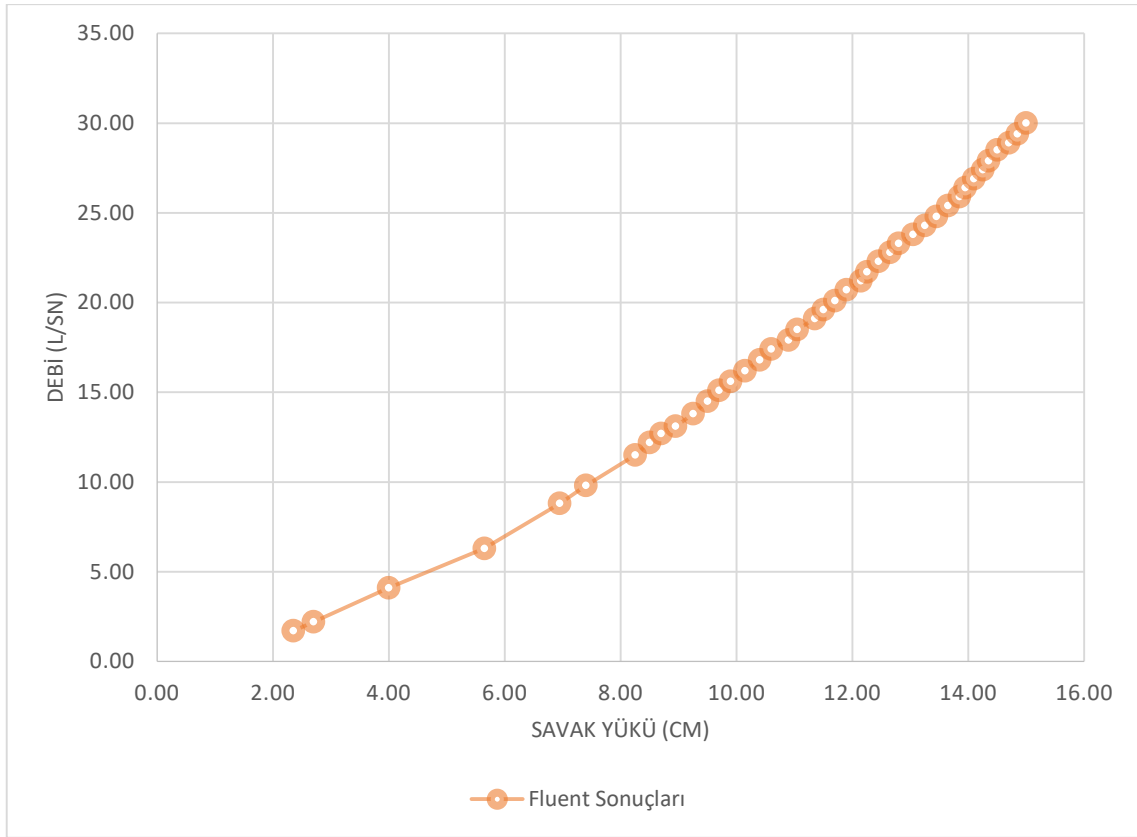
Şekil 4.11. 3 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi



Şekil 4.12. 4 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi



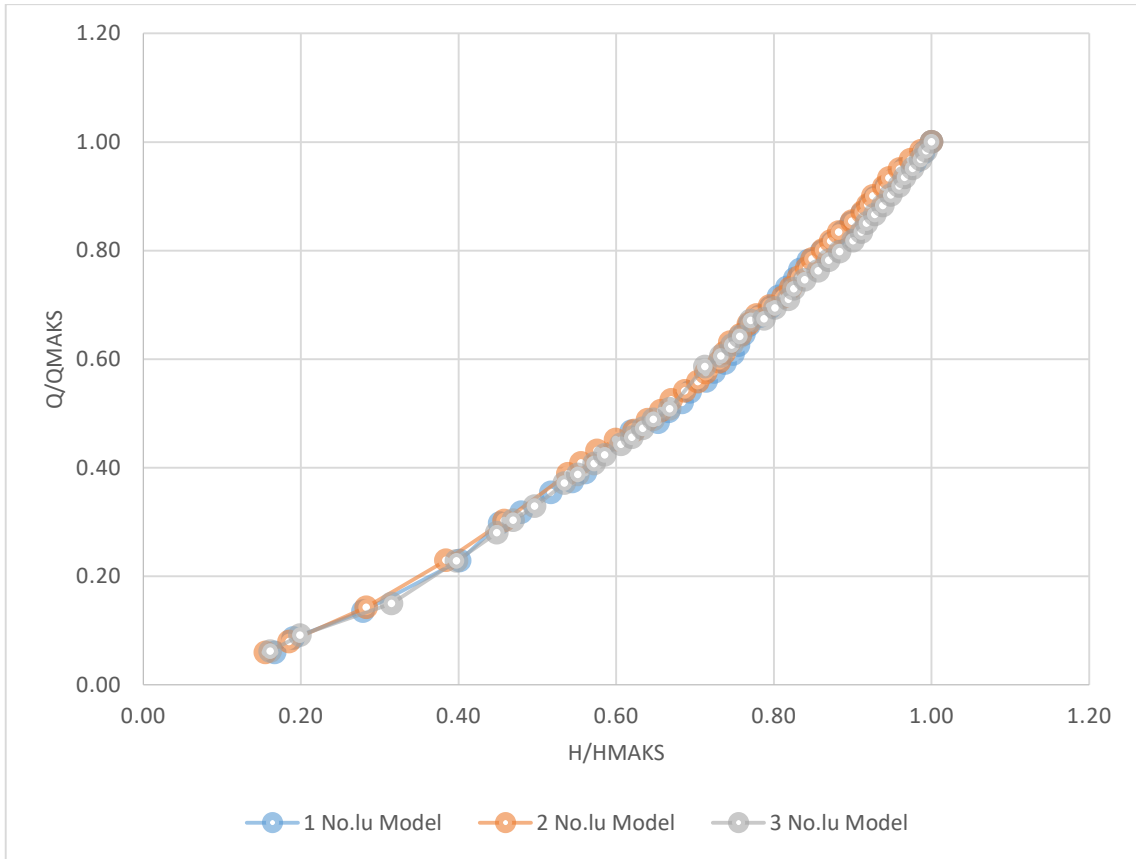
Şekil 4.13. 5 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi



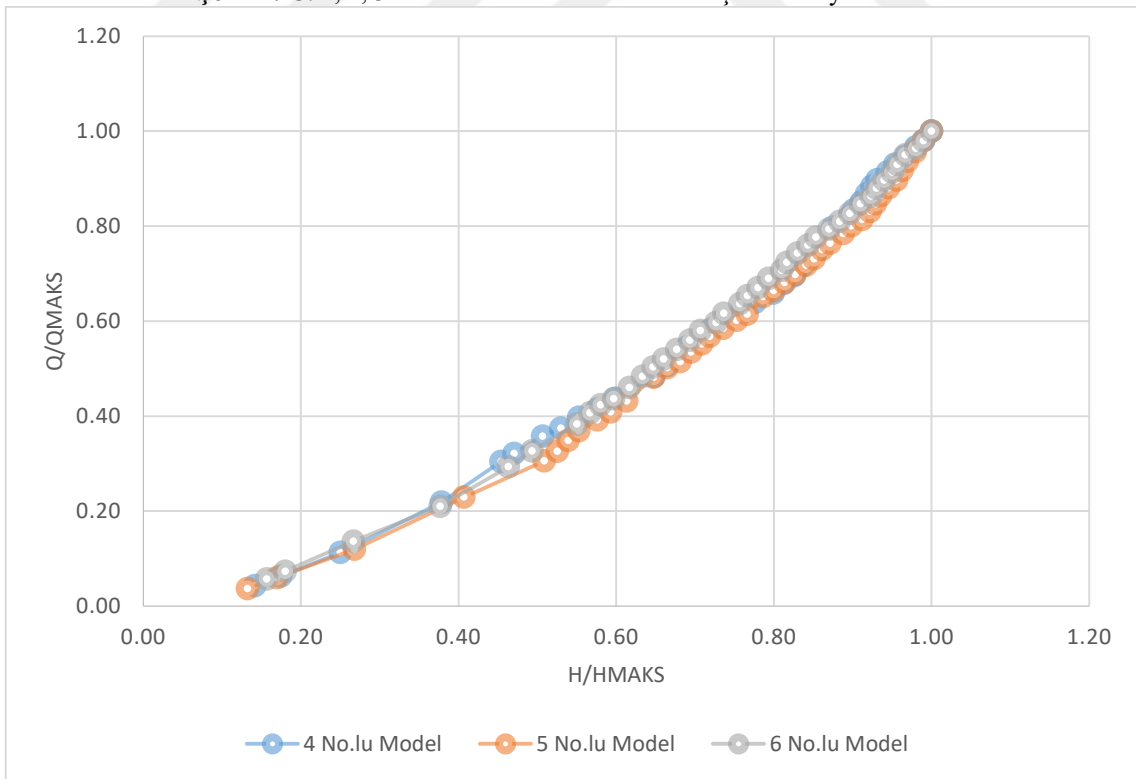
Şekil 4.14. 6 no.lu modele ait fluent sonuçlarının grafiksel gösterimi

4.4. Sayısal Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması

HAD tabanlı Ansys- Fluent programı ile oluşturulan sayısal modellerden alınan sonuçlar kullanılan iki farklı kret yüksekliğine göre sınıflandırılarak kıyaslanmıştır. Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da verilen grafikler ile bu kıyaslamalar gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 1, 2, 3 no.lu modellere ait fluent sonuçlarının kıyaslanması



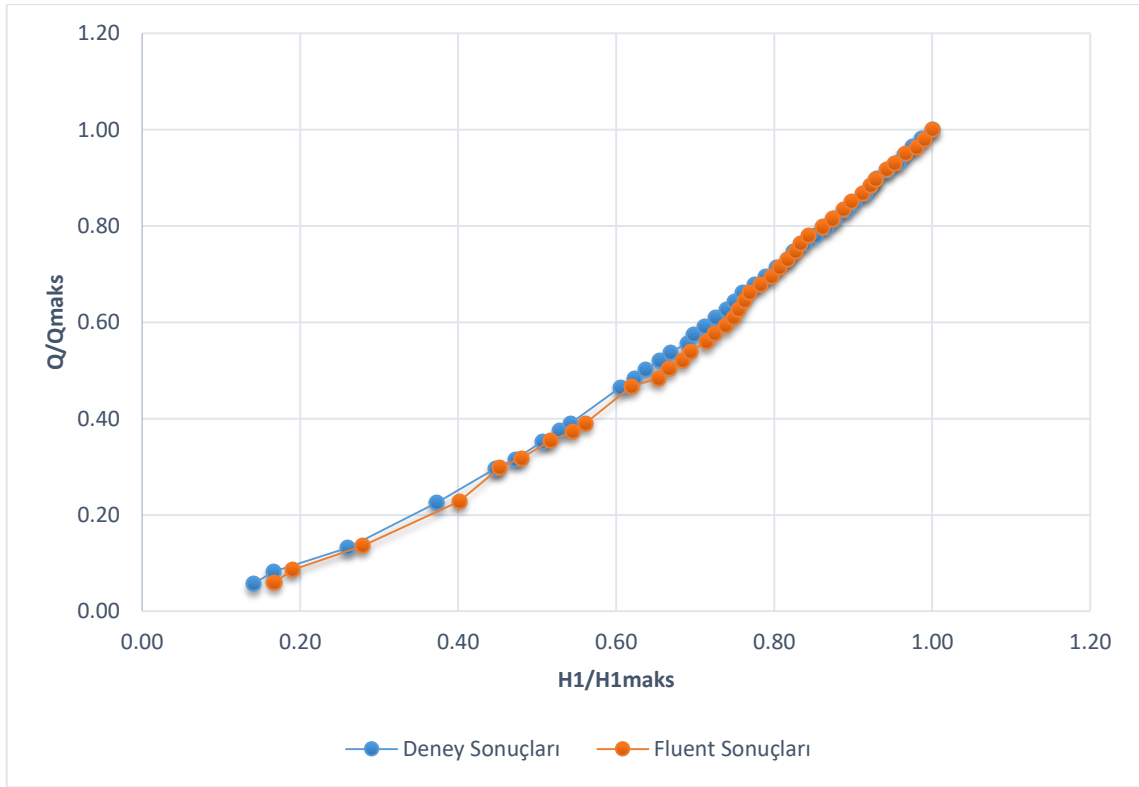
Şekil 4.16. 4, 5, 6 no.lu modellere ait fluent sonuçlarının kıyaslanması

Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da Fluent sonuçlarının kıyaslandığı her iki grafik incelendiğinde deneysel çalışmalardan elde edilen veriler gibi örtüştüğü görülmektedir. Bu durum model geometrisine şev eklenmesinin veya şev eğimlerinin değiştirilmesinin savak yükü üzerinde ciddi bir tesiri olmadığı kanaatini pekiştirmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal modelleme sonuçları arasında tutarlılık olduğu yönünde izlenim oluşturmuştur.

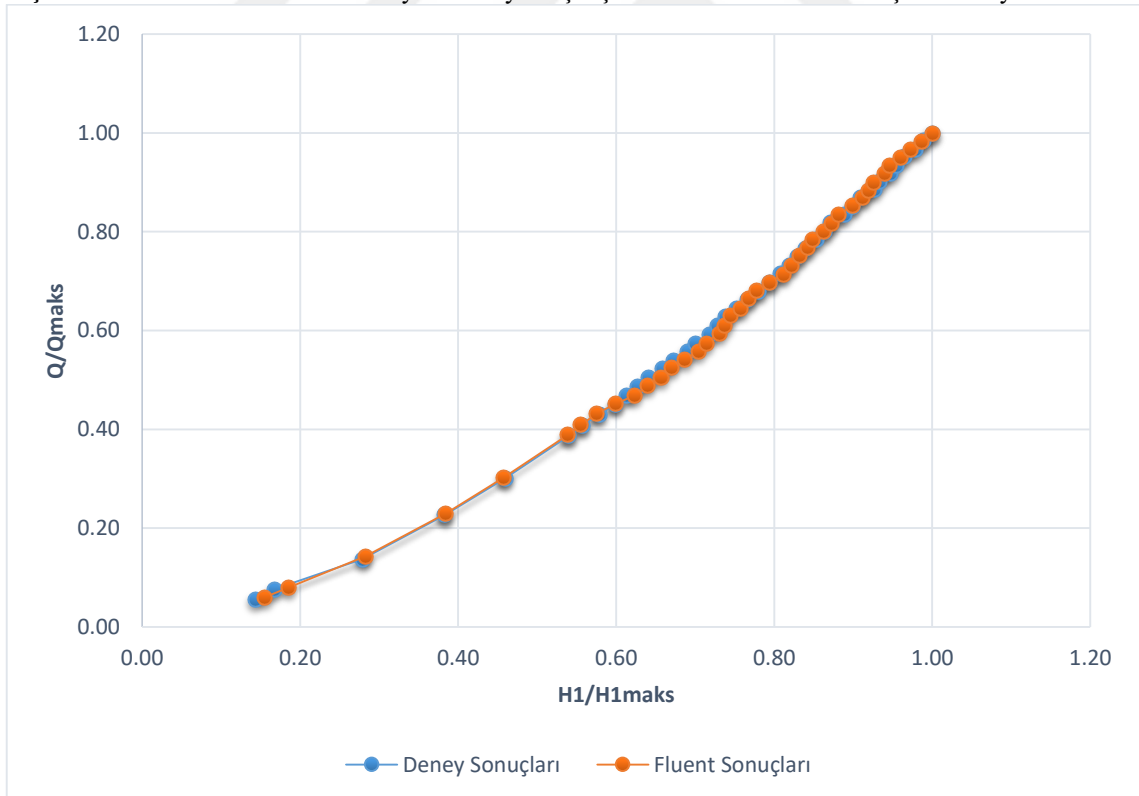
4.5. Deneysel ve Sayısal Modelleme Sonuçlarının Kıyaslanması

Tez çalışmamızda üzerinde araştırma yapılan önemli hususlardan birisi de laboratuvar ortamında kurulan fiziksel modellerden alınan ölçüm sonuçlarının, HAD tabanlı Ansys-Fluent programı yardımıyla oluşturularak çözülen sayısal modellerden elde edilen veriler ile tutarlı olup olmadığıdır. Bu nedenle deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarında elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalardan yola çıkılarak HAD tabanlı Ansys- Fluent programının hidrolik yapıların tasarımında kullanılmasıyla sağlıklı sonuçlar elde edilip edilemeyeceği araştırılmıştır. Fiziksel ve sayısal modellerden elde edilen verilerin kıyaslandığı grafikler Şekil 4.17., Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21., Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.

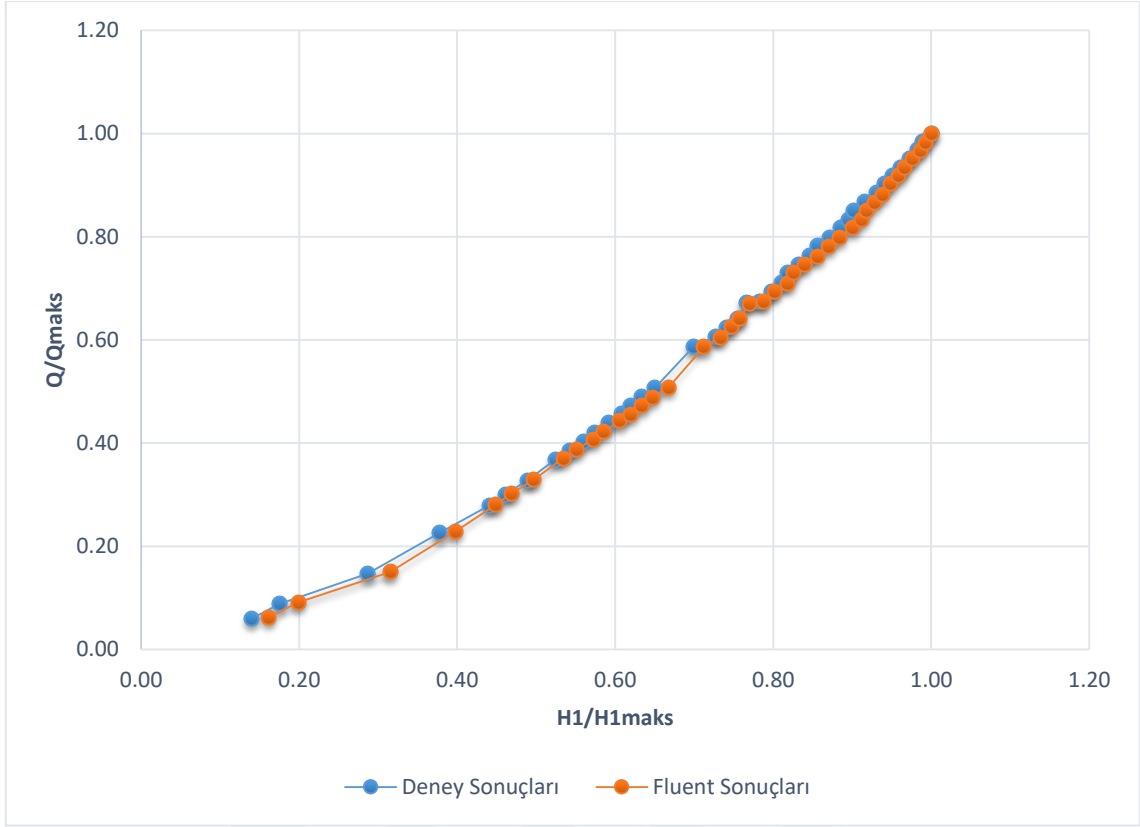
Fiziksel ve sayısal modellere ait sonuçların kıyaslandığı grafikler incelendiğinde büyük oranda tutarlılık olduğu görülmektedir. Özellikle debi arttırıldıkça savak yüklerindeki tutarlılık derecesinin arttığı gözlemlenmektedir.



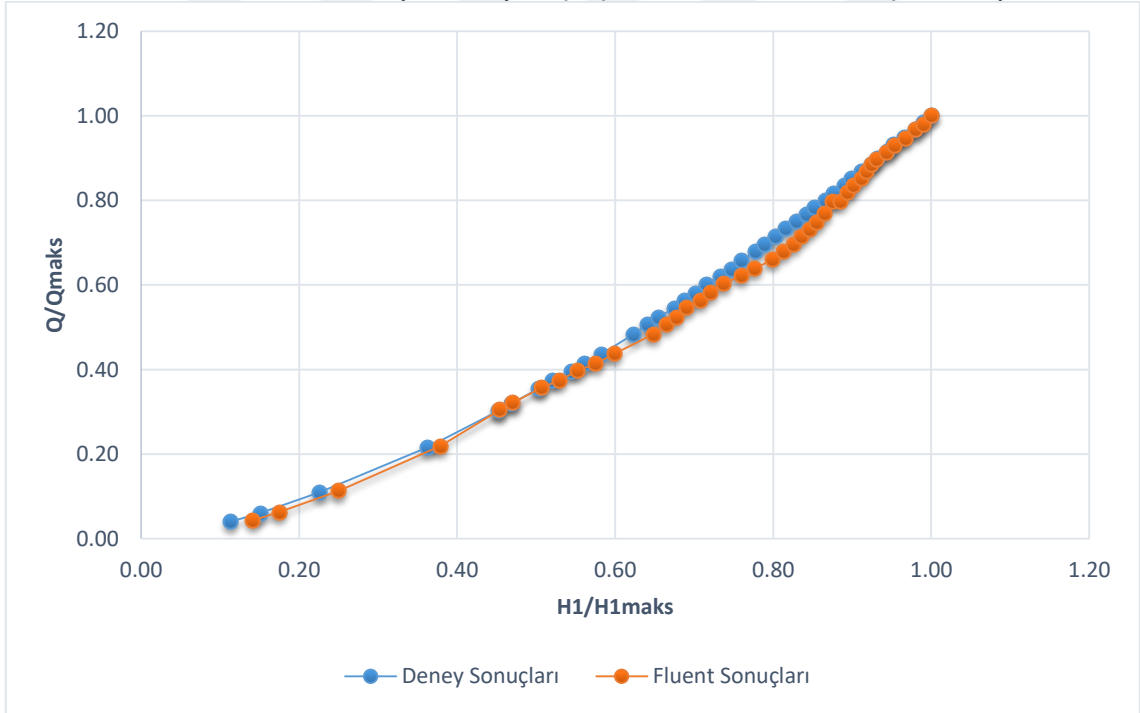
Şekil 4.17. 1 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması



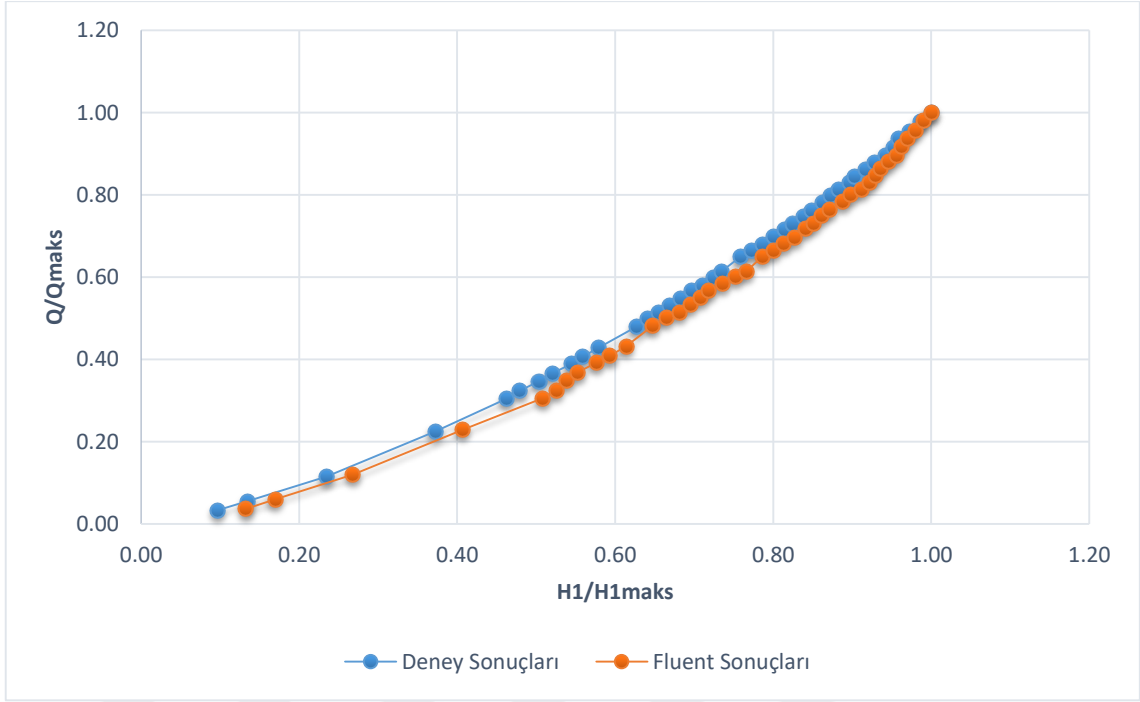
Şekil 4.18. 2 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması



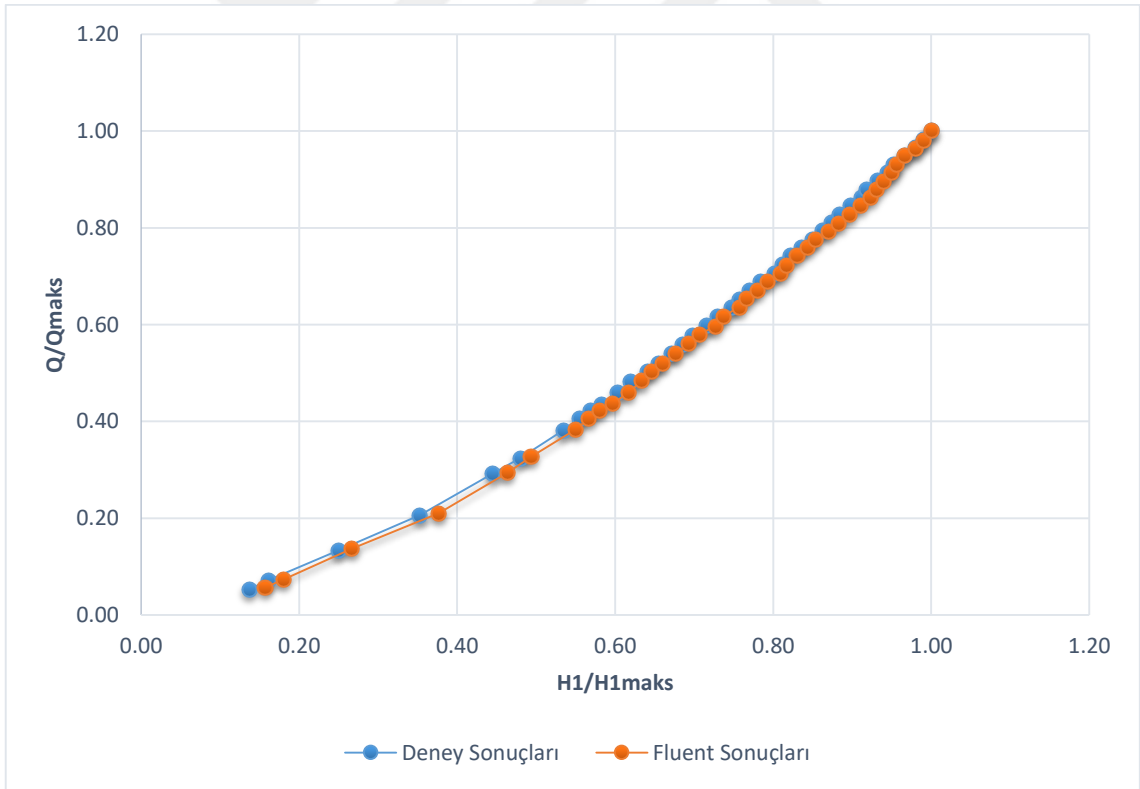
Şekil 4.19. 3 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 4.20. 4 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 4.21. 5 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 4.22. 6 no.lu modele ait deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarının kıyaslanması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında geniş başlıklı savak geometrisine şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının savak yükü üzerindeki etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca fiziksel ve sayısal modeller oluşturularak alınan sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde savak yükü okumaları limnometre kullanılarak yapılmıştır. Nümerik modeller HAD tabanlı Bu sebeple 6 farklı modeli deneysel ve sayısal olarak oluşturulmuştur. Yapılan fiziksel ve sayısal çalışmalardan alınan neticeler incelendiğinde geniş başlıklı savak modeline şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının savak yükü üzerinde ciddi bir tesiri olmadığı görülmüştür.

Deneylerden ve sayısal modellemede kullanılan Ansys-Fluent programından elde edilen sonuçlar kıyaslandığında büyük ölçüde uyumlu oldukları görülmüştür. Bu itibarla geniş başlıklı savak tasarımında HAD tabanlı yazılımların deneysel çalışmalarla birlikte kullanılabilmesi kanaati oluşmuştur. Ayrıca akıma ait karakteristiklerin saptanmasında HAD yazılımlarının ciddi bir kolaylık sağladığı tecrübe edilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan sonuçların doğruluğu sayısal modelleme sayesinde sağlıklı bir şekilde test edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda zamanın verimli ve materyallerin ekonomik kullanılması için doğru bir planlama yapılmasının önemi anlaşılmıştır. Fiziksel modellerden alınan ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından model kurulumunda ve okumalar esnasında azami hassasiyet gösterilmelidir. Elde edilen veriler sonradan karışıklığa mahal bırakmayacak şekilde kayıt altına alınmalıdır. Bu hususlarda oluşan hatalar güvenilirlikten uzak yorumlamalara ve tespitlere neden olabilir.

Modele şev eklenmesinin veya farklı şev eğimlerinin uygulanmasının deşarj açısından bir avantaj sağlamamasına rağmen su akışıyla etkileşim halinde olan bir yapının stabilitesi açısından fayda sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca mansap kısmında savaklama olayı esnasında oluşabilecek oyulmaların azaltılmasını sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak bu durumunun yapının maliyetini arttıracığı gerçeği tasarım aşamasında göz önüne alınmalıdır. Ekonomiklik ve güvenilirlik arasında optimum bir seçim yapılmalıdır.

Nümerik çalışmalarda su yüzü profilinin belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yöntemi kullanılmış olup elde edilen profillerin deneysel çalışmalarda elde edilen

profillerle büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu durum Akışkan Hacimler Yönteminin başarılı olduğunu destekler niteliktedir.

HAD tabanlı Ansys- Fluent programının diğer yazılımlarla entegre çalışabilmesi pratik bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Çizilen geometrilerin Ansys- Fluent tarafından algılanabilmesi için dosya uzantısının doğru seçilmesi gerekmektedir.

Nümerik modellemede kullanılacak bilgisayarın yeterli nitelikte olması çözüm süresi açısından büyük önem arz etmektedir. Performansı yüksek bir bilgisayar sonuçların hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Aksi takdirde süreç uzun vakitler alabilir.

Sayısal modellerin çözümünde oluşturulan mesh'lerin ebat ve geometrilerin sonuçların doğruluğu üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Üçgen geometriye sahip mesh'ler ile yapılan çözümlerin doğruluğunun yüksek olduğu görülmüştür. Mesh sayısının artması sonuçların doğruluğunu olumlu etkilemiştir.

Sayısal çözümlerin doğruluğuna tesir eden bir diğer hususun iterasyon sayısı olduğu yapılan deneme yanılma çalışmaları sonucunda tespit edilmiştir. İterasyon sayısının doğru seçilmesinin özellikle su yüzü profilin doğru bir şekilde çizilmesi açısından önemli olduğu görülmüştür.

Varılan tüm bu sonuçlar ışığında sonraki çalışmalarda geniş başlıklı savaklar üzerinde basınç, hız gibi parametrelerin dağılımının farklı türbülans modelleri ile de yapılabileceği önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Bakker, A., 2002, Computational Fluid Dynamics Lectures, <http://www.bakker.org/>, [Ziyaret Tarihi: 17 Temmuz 2019].
- Bal, H., 2011, Geniş Başlıklı Savak İçeren Açık Kanal Akımının Sayısal Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- British Standards Institution, 1969, Methods of Measurement of Liquid Flow in Open Channels, *British Standard 3680*, Part 4B, London.
- Chanson, H. ve Montes, J. S., 1998, Overflow characteristics of circular crested weirs: Effects of inflow conditions, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124 (3), 152-162.
- Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, *McGraw-Hill Book Co.*, New York.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., 2015, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Engin, T., Güneş H., Canbazoğlu S., Özalp A. A., Çeşmeci Ş., *Palme Yayıncılık*, Ankara, 764-766.
- Faltas, M. S., Hana, S. N. Ve Abd-el Malek, M. B., 1989, Linearized Solution of a Free-Surface Flow over a Trapezoidal Obstacle, *Acta Mechanica*, 783-4, 219-233.
- Felder, S.ve Chanson, H., 2012, Free- Surface Profiles, Velocity and Pressure Distributions on a Broad- Crested Weir: a Physical Study, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138, 1068–1074.
- Ferziger, J. H., ve Peric, M., 1999, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, New York, USA.
- Filinte, E. G., 2006, Konveksiyon- Difüzyon Problemlerinin Sonlu Hacim Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-4.
- Hager, W. H. ve Schwalt, M. , 1994, Broad Crested Weir, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, 43-85.
- Hirt, C. W., ve Nichols, B. D., 1981, Volume of Fluid Method for the Dynamics of Free Boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39 (1), 201-225.
- Hirsch, C., 1990, Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. 2, *John Wiley & Sons*, Chichester, England, 493.
- Hoseini, S.H., Afshar, H., 2014, Flow over a Broad-Crested Weir in Subcritical Flow Conditions, Physical Study, *Journal of River Engineering*, 2 (1), 1005-1012.
- Hoffmann, K.A., ve Chiang, S. T., 2000, Computational Fluid Dynamics for Engineers Volume, *Engineering Education System Publication*, Kansas, USA.

- İlkentapar, M., Öner, A. A., 2017, Geniş Başlıklı Savak Akımı Etrafındaki Akımın İncelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 615-626.
- Kırkgöz, M. S. ve Öner, A. A., 2006, Yatay Bir Dairesel Silindir Etrafındaki Akımda Hız Alanının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *Ç.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 85-98.
- Moukalled, F., Magani, L., Darwish, M., 2016, The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics, *Springer International Publishing*, Switzerland,4.
- Öner, A. A., Kırkgöz, M. S., Aköz, M. S., 2007, Geniş Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Yöntemle İncelenmesi, *III. Ulusal Su Mühendisliği*, İzmir, 3-12.
- Qasim, J. M., 2013, Laboratory and HEC-RAS Simulations of a Single-Step Weir, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8 (12), 1005-1011.
- Sarker, M. A. ve Rhodes, D. G., 2004, Calculation of free-surface profile over a rectangular broad-crested weir, *Flow measurement and Instrumentation*, 15, 215-219.
- Soydan, N. G., 2013, Trapez Kesitli Geniş Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Şeker, T., 2006, Kontrol Yapıları Arkasındaki Açık Kanal Akımlarının Sayısal ve Deneysel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Şimşek, O., 2011, Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Vlotman, W. F., 1989, Discharge Measurement Structures, Bos, M. G., *ILRI*, Wagenigen, 121-123.
- Wersteeg, H., K., ve Malalasekera, W., 1995, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, *Prentice Hall*, Malaysia.
- Yüksel, Y., 2012, Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, *Beta Yayıncılık*, İstanbul, 200-202.
- Zerihun, Y. T. ve Fenton, J. D., 2004, Application of a Boussinesq Type Equation to Flow over Trapezoidal Profile Weirs, *Hydraulics of Dams and River Structures*, 369-376.
- Zhu, J., 1991, A Low-diffusive and Oscillation-free Convective Scheme, *Commun. Appl. Numer. Methods*, 7, 225.

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Murat Can YILDIZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kahramanmaraş/25.09.1991
Telefon :
e-mail : muratcanyildiz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Yıldız Teknik Üniversitesi, Esenler, İstanbul	2013
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-Halen	Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Hidrolik

YABANCI DİLLER**BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER****YAYINLAR**