



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİROL TİPİ SAVAKLARDA AKIMIN**  
**DENEYSEL VE SAYISAL MODELLENMESİ**

**Ali YILDIZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Eylül-2016**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ali YILDIZ tarafından hazırlanan "TİROL TİPİ SAVAKLARDA AKIMIN DENEYSEL VE SAYISAL MODELLENMESİ" adlı tez çalışması 07/09/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

#### Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan MARTI

#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

### İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması ÖYP tarafından 2014-ÖYP-093. nolu proje ile desteklenmiştir.

## 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.

İmza



Ali YILDIZ

Tarih: 09.09.2016

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS****TİROL TİPİ SAVAKLARDA AKIMIN DENEYSEL VE SAYISAL  
MODELLENMESİ****Ali YILDIZ****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Yrd. Doç. Dr. A. İhsan MARTI  
Yardımcı Danışman: Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ****2016, 84 Sayfa****Jüri****Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan MARTI  
Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ  
Yrd. Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU**

Tirol tipi savaklar, dağlık bölgelerdeki akarsularda suyun akarsu tabanına yerleştirilen ızgaralar ile alınarak hidroelektrik santrallere götürülmesinde yaygın olarak kullanılan savak tipleridir. Tirol tipi savakların, akarsu tarafından taşınan ve sisteme zarar verebilecek olan katı maddeleri tutmanın yanında sisteme yeterli su girişini sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada ilk olarak literatür araştırması yapılmış ve daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalara değinilmiştir. Laboratuar ortamında küçük ölçekli bir tirol tipi savak modeli inşa edilerek bu model üzerinde iki farklı ızgara eğiminde üç farklı çubuklar arası mesafeye sahip ızgaralarla deneyler yapılmış ve ızgaralardan sisteme ve savağın mansap tarafına geçen suyun debisi ölçülmüştür. Boyut analizi yapılarak sistemin debi katsayısı ve su alma kapasitesi için teorik denklemler elde edilmiş ve deney verileri kullanarak bu boyutsuz parametrelerin ilgili parametrelerle değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Test edilen tirol tipi savaklara Flow 3D programı uygulanarak nümerik çözümler elde edilmiş ve bunların deneysel verilerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık kanal, Flow-3D, Nümerik modelleme, Tirol tipi savaklar

**ABSTRACT****MS THESIS****NUMERICAL AND EXPERIMENTAL MODELLING OF FLOW AT  
TYROLEAN WEIRS****Ali YILDIZ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING****Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI  
Co Advisor: Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ  
2016, 82 Pages****Jury****Asst. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI  
Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ  
Asst. Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU**

Tyrolean type water-intake structures are mostly used on mountain rivers to provide water to hydropower stations. The amount of water to be diverted from the main channel is the major concern in these kind of structures and should be not be less then the design discharge. In this study, firstly, literature review is conducted and experimental and theoretical studies are analyzed. A small scaled physical model was constructed in the laboratory and racks which have two different angle and three different bar spacing are tested. Racks are placed on the downstream of the channel then total and diverted discharges are measured. Applying dimensional analysis to parameters of the system the dimensionless terms are defined for discharge coefficient and water capture efficiency and finally their variations with the related parameters are presented in graphical forms. Flow-3D software was utilized for the tested Tyrolean type water-intake structures to get numerical solutions and it was observed that the numerical solutions are compatible with these of experimental results.

**Keywords:** Open channel, Numerical modelling, Flow 3D software, Open Channel, Tyrolean type weirs

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yapılmasında birikimi ile bana yol gösteren, tecrübelerini benimle paylaşan saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan MARTI ile, katkısını ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer Prof. Dr. Mustafa Göğüş hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali YILDIZ  
KONYA-2016

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>3</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>4</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>6</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>7</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>11</b>
2.1. Tirol Tipi Savaklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	11
2.2. Flow-3D ile Yapılan Çalışmalar .....	17
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>19</b>
3.1. Tirol Tipi Savaklar .....	19
3.1.1. Tirol tipi savaklarda debi katsayısının bulunması .....	19
3.1.2. Tirol tipi savaklarda su alma kapasitesinin tayini.....	20
3.2. Nümerik Modelleme Programı Flow-3D.....	22
3.2.1. Sonlu hacim metodu .....	22
3.2.2. TruVOF metodu ve korunum denklemleri .....	24
3.3. Deneysel Düzeninin Hazırlanması .....	26
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER .....</b>	<b>30</b>
4.1. Debi Ölçümü.....	30
4.2. Su Alma Kapasitesinin Ölçülmesi .....	31
4.3. Debi Katsayısı Ve Boyutsuz Parametreler Arasındaki İlişki.....	32
4.3. Su Alma Kapasitesi Ve Boyutsuz Parametreler Arasındaki İlişki.....	36
4.5. Toplanan Verilerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması.....	39
<b>5. TİROL TİPİ SAVAKLARIN NÜMERİK MODELLENMESİ .....</b>	<b>44</b>
5.1. Fiziksel Modelin Flow-3d Programı İle Modellenmesi.....	44
5.1.1. General.....	44
5.1.2. Physics .....	45
5.1.3. Fluids .....	47
5.1.4. Geometry .....	48
5.1.5. Mesh.....	49
5.1.6. Boundary conditions .....	53
5.1.7. Output .....	54
5.2. Fiziksel Model Ve Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	54
5.2.1. Debi-yükseklik grafiği .....	55
5.2.2. Kritik akım yükseklikleri .....	56

5.2.3. Debi katsayısı ve boyutsuz parametreler arasındaki ilişki.....	57
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>
<b>7. REFERANS.....</b>	<b>63</b>
<b>8. EKLER .....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>1</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

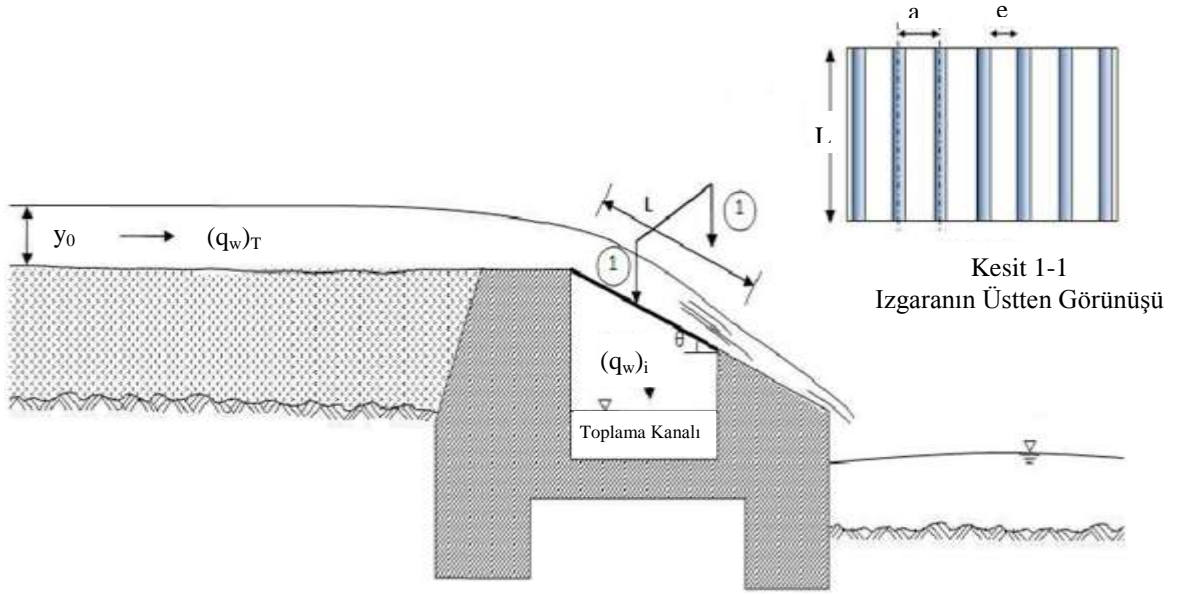
- $\alpha$  : Righetti ve Lanzoni denklem sabiti
- $a$  : Izgaradaki çubukların merkezleri arasındaki mesafe
- $A_{ro}$  : Birim kanal genişliğinde bulunan ızgara çubukları arasındaki toplam boşluk alanı
- $b_0$  : Righetti ve Lanzoni denklem sabiti
- $b_1$  : Righetti ve Lanzoni denklem sabiti
- $C_{d0}$  : Yatak konumundaki ızgara için debi katsayısı
- $C_d$  : Eğimli konumlandırılmış ızgara için debi katsayısı
- $e$  : Çubuklar arasındaki boşluk mesafesi
- $F_{H0}$  : Ana kanaldaki enerji yüksekliğine bağlı Froude sayısı ( $=U_0/\sqrt{g * H_0}$ )
- $(F_r)_e$  : Çubuklar arası mesafeye bağlı olarak Froude sayısı ( $=((q_w)^2_T/(e_3^3 g))^{0.5}$ )
- $g$  : Yer çekimi ivmesi
- $h$  : Ana kanaldaki akım yüksekliği
- $h_c, y_c$  : Izgaralardan önceki kritik akım yüksekliği
- $H_0$  : Izgaralara yaklaşan akımın enerjisi
- $H_c$  : Izgaralara yaklaşan akımın kritik yükseklikteki enerjisi
- $L$  : Izgara Uzunluğu
- $L_1$  : Akımın ızgarayı terk ettiği uzunluk
- $L_2$  : Toplam ıslak uzunluk
- $(q_w)_i$  : Izgaralardan geçen akımın debisi
- $(q_w)_T$  : Toplam debi
- $U_0$  : Ana kanaldaki akımın hızı
- $(V_B)_n$  : Izgaralara paralel akan akımın hızı
- $W$  : Kanalın genişliği
- $y_0$  : Ana kanaldaki akımın yüksekliği
- $\theta$  : Izgara ve  $V_B$  vektörü arasındaki açı
- $\theta_i$  : Izgara eğimi
- $\mu$  : Daralma katsayısı
- $\rho_w$  : Suyun yoğunluğu
- $\omega$  : Izgara pürüzlülüğü

## 1. GİRİŞ

Hidroelektrik enerji en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji türüdür. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verilerine göre Türkiye'deki enerji ihtiyacının %24.5'i hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır ve Türkiye'de hidroelektrik enerji potansiyelinin sadece %38'i kullanılmaktadır. Gelişen sanayi ve artan nüfusun gerektirdiği enerji ihtiyacı önümüzdeki 15 yıl içerisinde ciddi bir problem haline gelecektir. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli düşünüldüğünde bu problemin üstesinden gelmek için en iyi çözüm hidroelektrik santralleri inşa etmek olacaktır. Türkiye'de hazne oluşturmaya uygun alanı bulunan çoğu akarsu üzerine büyük ölçekli barajlar inşa edilmiştir, fakat halen dağlık bölgelerde bulunan hazne oluşturmaya uygun olmayan birçok akarsu bulunmaktadır.

Su alma yapıları, aldıkları suyu bir kanal veya tünel vasıtasıyla yönlendiren yapılar olarak tanımlanırlar. Bir su alma yapısı, suyu iletim sistemine en düşük enerji kaybı ve çevreye herhangi bir olumsuz etki yaratmadan iletmelidir. Su alma yapılarının tasarımında en önemli husus; yapının yapılacağı bölgenin topoğrafik, jeolojik, hidrolojik koşullarına uygun ve aynı zamanda ekonomik olmasıdır.

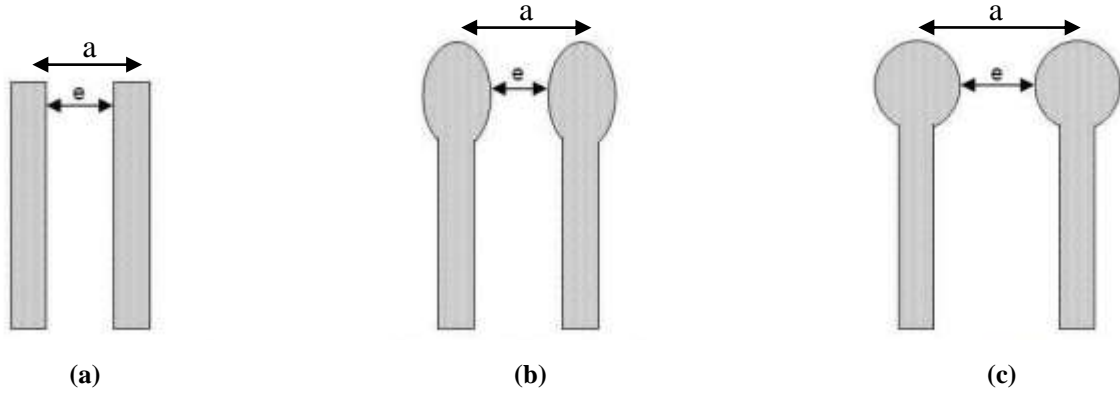
Tirol tipi savaklar, alttan alışı dolusavaklar sınıfına girmektedir. Tirol tipi savaklarda, mambadan gelen suyun bir kısmı farklı açılarda kanalın alt kısmına yerleştirilen ızgaralardan süzülerek cebri borulara alınmakta ve kalan su ise savağın mansap tarafına aktarılmaktadır. Tirol tipi savaklar ızgaralar ile katı maddeleri tutabilmesinden dolayı dağlık bölgelerdeki katı madde taşınımının yüksek olduğu akarsularda kullanılmaktadır. Tirol tipi savakların gelen suyu doğrudan jeneratörlere verebilmesinden dolayı hazne oluşturmanın zor olduğu akarsularda su alma yapısı olarak kullanılmaları bir avantaj sağlamaktadır. Hazneye ihtiyaç duymamalarından dolayı tirol tipi savaklar ekonomik olmakta ve çevreye zarar vermemektedirler. Tipik bir tirol tipi savak kesiti Şekil 1.1. de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tirol tipi savak kesiti

Izgaralar tirol tipi savakların en önemli kısmıdır. Tirol tipi savakların su kapasitesi; ızgaralardan geçen debinin  $(q_w)_i$ , mambadan gelen kanaldaki toplam debiye  $(q_w)_T$  oranı olarak ifade edilir ve bu değer çubuk parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Izgaralarda kullanılan çubukların 3 ana karakteristik özelliği bulunmaktadır. Bunlar; çubuk kesit şekli, çubuklar arası mesafe ( $e$ ) ve çubuk uzunluğudur ( $L$ ).

Izgaraların boyutu ve tipi seçilirken, o akarsu içerisinde taşınan katı maddelerin fiziksel özellikleri de dikkate alınmalıdır. Seçilen ızgara katı maddelerin tutulmasını sağlayacak kadar dar ve sisteme yeterli suyu sağlayacak kadar da geniş olmalıdır. Izgara üzerinden geçen katı maddelerin ızgarada tıkanma ve birikmeye yol açmadan kolaylıkla mansaba geçebilmesi için, ızgara eğimi mümkün olduğunca yüksek -genellikle  $10^\circ$ - $30^\circ$  arasında- seçilir. Izgaraların çubukları konumlandırılırken kullanılan temel parametreler; çubukların katı yüzeylerinden itibaren olan uzaklık ( $e$ ), ve çubukların merkezleri arasındaki uzaklık ( $a$ ), olarak verilmiştir (Şekil 1.2.). Izgaralardan geçecek katı maddelerin boyutları bu çubuk aralıklarını belirler. Farklı tiplerdeki çubuk profilleri Şekil 1.2.'de verilmiştir. Şekil 1.2.a'da verilen dikdörtgen kesitli çubuklar katı maddeler tarafından kolayca tıkanmaları için pek tercih edilmemektedirler. Bitiş kısmı elips şeklinde olan çubuklar dikdörtgen kesitli çubuklara göre daha iyi performans göstermektedir (Şekil 1.2.b). Sonu dairesel şekilde biten çubuklar en iyi performansı göstermiştir (Şekil 1.2.c) (Andaroodi, 2005).



Şekil 1.2. Farklı tiplerdeki çubuk profilleri (Andaroodi, 2005)

Tirol tipi savaklarda kullanılan ızgaralar paslanmaz çelikten yapılmaktadır. Çelik kohezyona karşı dayanıklı olduğu için tirol tipi ızgaralarda en sık kullanılan materyal tipidir. Iızgaralar genellikle dairesel şekilli olup akıntıyla paralel olacak şekilde belirli eğimlerle kanal tabanına yerleştirilirler. Iızgaraların üst kısmında tutulan katı maddeler, eğimden dolayı ızgaralardan geçmeyen sular ile birlikte mansap tarafına aktarılırlar. Iızgaraların aralıklarından küçük olan ve ızgaralardan geçerek tünele gelen katı maddelerin biriktirme havuzlarında suyun dinlendirilmesiyle çökmesi sağlanır.

Tirol tipi savaklarda yüksek verim elde etmek için ızgaralar sabit ve titreşimlere karşı dayanıklı olmalıdırlar. Eğer çubukların arasındaki boşluklar sediment ile kapanırsa ızgaralardan geçen debi miktarı azalmaktadır. Bu durum cebri borulara giden debi miktarını düşürecek ve jeneratörlere istenilenden daha az su gidecektir. Sedimentlerin ızgaradan geçerek türbinlere ulaşmasını engellemek için ızgara tipi ve boyutları dikkatlice seçilmelidir.

Hidrolik sisteme alınacak olan suyun debisi tirol tipi savaklarda büyük önem taşır ve bu debinin sistemin tasarım debisinden küçük olmaması gerekmektedir. Yönlendirilen suyun debisini etkileyen çeşitli parametreler vardır ve bunların önemlileri ızgaranın eğimi, çubuk aralık mesafeleri ve ızgara boyudur. Bu parametrelerin savaktan elde edilecek debiyi nasıl etkileyeceğine ait teorik ve deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur. Ancak teorik analizlere dayalı hesaplar, deneysel verilerle tam olarak uyuşmamaktadır. Çünkü teorik çalışmalarda birçok kabuller yapılmaktadır. Dolayısıyla çok geniş deneysel veriye dayalı hesaplardan elde edilecek ifadeler ve diyagramlar daha güvenilir olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, literatürde mevcut olan deneysel verilere ilave deney verileri elde etmek ve bu tip savakların projelendirilmesinde kullanılabilecek en uygun

ızgara eğimi ve ızgara çubuk ara mesafelerinin tespitine katkıda bulunmaktır. Bu çalışma kapsamında ticari Flow-3D programı da kullanılmış ve test edilen bazı akım şartları için nümerik analiz sonuçları ile deney sonuçları kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın 1. Bölümü “Giriş” olup 2. Bölümde konu ile ilgili kaynak araştırması sunulmuştur. “Teorik çalışmalar” 3. Bölümde ve yapılan deneysel çalışmalar ve bunların sonuçları ise 4. Bölümde verilmiştir. 5. Bölüm nümerik analiz çalışmalarının anlatıldığı bölüm olup burada gerekli karşılaştırmalar yapılmış ve 6. Bölümde ise “Sonuç ve Öneriler” Bölümü yer almaktadır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tirol tipi savaklar ile ilgili önceden yapılmış çalışmalar araştırılmış ve derlenmiştir. İkinci bölümde ise tirol tipi savakların Flow-3D programı ile nümerik modellenmesine ilişkin yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.1. Tirol Tipi Savaklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Orth ve diğ. (Orth ve ark., 1954) alttan alıslı su alma yapılarını tanımlayan ilk çalışmayı yapmıştır. Çalışma T şeklinde, üçgen, yarı dairesel, tam dairesel ve oval şekilde olmak üzere beş farklı çubuk profilleriyle yapılmıştır. % 20 eğimli kanallarda yapılan deneylerde, en az miktarda su T profilli çubuk ızgaralardan süzülerek kanala aktarılmıştır. En iyi randımanı ise oval profilli çubuklar vermiştir.

Kuntzmann ve Bouvard (Kuntzmann ve Bouvard, 1954) ilk defa alttan alıslı bir su alma yapısı üzerindeki suyun profilini hesaplamış ve ızgaraların üzerinden geçen suyun profilinin altıncı dereceden bir diferansiyel denklem ile ifade edilebileceğini göstermişlerdir.

Ract-Madoux (Ract-Madoux ve ark., 1955) Fransa'nın Alp Dağlarındaki Savoy bölgesinde alttan alıslı dolusavaklar ile ilgili çalışmışlarda bulunmuşlardır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre tirol tipi savaklarda ızgaraların yönü suyun akış yönü ile aynı olmalı ve çubuklar yuvarlak profilde olmalıdırlar. Tıkanmaların önüne geçmek için ızgaralar yatayla en az %20'lik bir eğime sahip olmalıdırlar. Dağlık bölgelerde su ile taşınabilecek büyük katı maddeler düşünüldüğünde ızgara çubukları arasındaki net boşluğun 0.10 m'den fazla olmaması gerektiği anlaşılmıştır.

Frank (Frank, 1956), ızgaralarda yük kaybı olmadığını ve kritik akım yüksekliğinin ızgaralardan hemen önce oluştuğu kabulünü yaparak, L boyundaki ızgarada oluşacak birim boy debisini aşağıdaki Denklem 2.1 ile açıklamıştır.

$$L = 2.651 * \frac{(q_w)_i}{\lambda \sqrt{h}} \quad (2.1)$$

Burada;

$$\lambda = \Psi * \mu * \sqrt{2 * g * \cos\theta}$$

$\lambda$  = debi katsayısı

$$\Psi = e/a$$

$e$  = çubuklar arası mesafe

$a$  = çubukların merkezleri arasındaki mesafe

$$\mu = 0.66 * \Psi^{-0.16} * (a/h)^{0.13}$$

$\mu$  = dikdörtgen kesitli ızgaralar için daralma katsayısı

$h$  = ızgara üzerindeki akım yüksekliği

Burada;

$$h = \chi * h_c$$

$\chi$  = azaltma katsayısı

$$2 * \cos\theta * \chi^3 - 3 * \chi^2 + 1 = 0$$

$\theta$  = ızgara eğimi

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(q_w)_T^2}{g}}; \text{ kritik akım yüksekliği.}$$

$(q_w)_T$  = ana kanaldaki toplam debi

Yatay konumlandırılmış ızgaralar için ıslak ızgara uzunluğu Nosedo tarafından Denklem 2.2 ile ifade edilmiştir(Drobir ve ark., 1999). Bu denklemin çıkartılmasında toplam enerji çizgisinin, ızgaralardaki akım çizgisine paralel olduğu kabulü yapılmıştır.

$$L = 1.185 \frac{H_c}{\mu_m * \Psi} \quad (2.2)$$

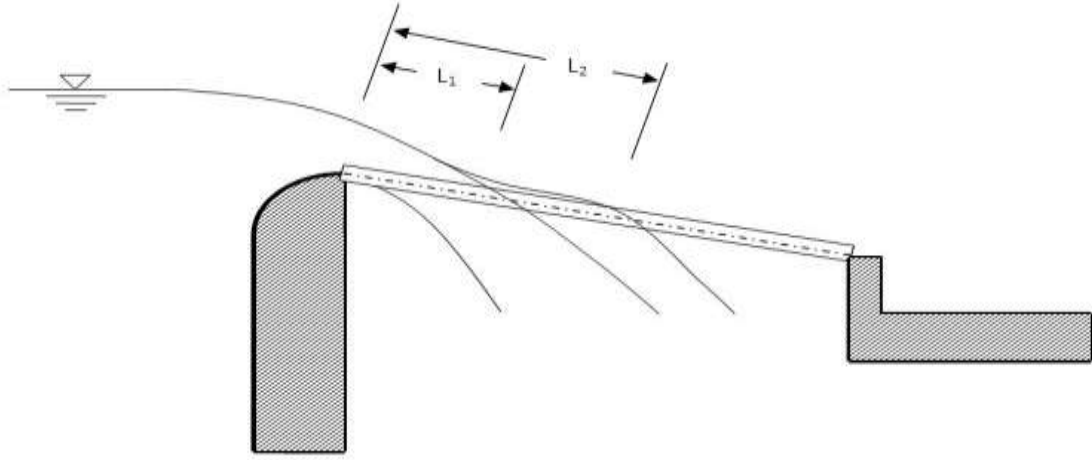
Burada;

$H_c$  = ızgaralar üzerindeki toplam enerji yüksekliği

$$\mu_m = 1.22 * \mu$$

Drobir (Drobir ve ark., 1999) 1:10 ölçekli bir modelde deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmanın amacı ıslak ızgara boyunu belirlemek ve çubuklar arasındaki boşluğun etkisini araştırmaktır. Modelde %0 ile %30 arasında 4 farklı savak eğimi ve 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve 2.00 m<sup>3</sup>/s/m olmak üzere 5 farklı debi değerleri kullanmıştır. Deneylerde iki farklı ıslak ızgara boyu ölçümü yapılmıştır.  $L_1$ : suyun ızgaraların

arasından geçerken oluşturduğu uzunluk,  $L_2$  : suyun ıslattığı toplam ızgara uzunluğudur (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Islak ızgara uzunluğu ve toplam ıslak uzunluk

Dagan (Dagan, 1963) debi katsayısının akımın yüksekliğine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Dagan kanalda oluşan akım hızının sadece yatay doğrultuda olduğunu kabul ederek birinci derecede lineer olmayan bir denklem elde etmiştir.

Motskow (Mostkow, 1957) tirol tipi savakların çubukları üzerindeki hidrostatik basıncın dağılımını incelemiştir. Ayrıca suyun savaktan geçerken oluşan eğimli su yüzeyi profilinin savak verimliliği üzerine çalışmalarda bulunmuştur.

Venkataraman (Venkatamaran ve ark., 1979), ufak ölçekli modeller ile tirol tipi savaklar üzerinde çalışmalar yapmıştır. Keskin kenarlı çubuk profiller ve %0 eğimli ızgaralar kullanmıştır. Deneyler sonucunda, debi katsayısı yükseldikçe akım derinliğinin düştüğü ve Froude sayısının debi katsayısına herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Nehir rejiminde toplam enerji az bir miktar azalmıştır fakat sel rejiminde enerjinin düşüşü çok daha fazla olmuştur.

Drobir (Drobir, 1981), gerçek yapılarda yaptığı çalışmalar sonucunda en uygun çubuk profilinin dairesel profil olduğunu göstermiştir. Çubuklar arasındaki mesafe 30 mm civarında olmalıdır. Ayrıca ızgaralar üzerinde katı maddelerden dolayı oluşacak birikmeleri ve tıkanmaları engellemek için, çubuk boyu tasarlananın 2 katı alınmalıdır. Izzgaraların eğimi ise %20 ile %30 arasında olmalıdır.

Subramanya (Subramanya ve Shukla, 1988), eğimin % 0 olduğu bir kanalda nehir rejiminde ve sel rejiminde deneyler yapmışlardır. Çubuk boyu ve kritik derinlik arttıkça tirol tipi savakların verimliliğinin yükseldiği görülmüştür. Çubuklar arasındaki

mesafenin, çubukların çapına oranının değeri arttıkça savakların verimliliği de yükselmektedir.

Bianco ve Ripelino (Bianco ve Ripellino, 1994), farklı ölçekli modeller üzerinde deneyler yapmışlardır. Deneylerden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki ölçeğin sonuçlara bir etkisi bulunmamaktadır. Deneylerde yarı dairesel çubuk profiller kullanılmıştır.

Brunella (Brunella ve ark., 2003), 0.5 m genişliğinde ve 7 m uzunluğunda dikdörtgen kesitli bir açık kanal kullanarak tirol tipi savaklar üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneylerin amacı çubuklar arasındaki boşluğun, eğimin ve çubuk şekillerinin su alma kapasitesine etkisini bulmaktır. Deneylerde dairesel kesitli 12 mm ve 6 mm çapında, 0.6 m ve 0.45 m uzunluğunda çubuklar 3 mm ve 6 mm çubuk ara mesafelerinde kullanılmıştır. Deneyler 3 mm ve 6 mm çubuk ara mesafelerinde 0, 7, 19, 28, 35, 39, 44 ve 51 derece eğimler ile her çubuk şekli için tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerde su yüzeyi profilleri ve akım boyunca oluşan hız dağılımları ölçülmüştür. Izgara eğiminin su yüzeyi profilini etkilemediği deney sonuçlarında görülmüştür. Ayrıca Brunella elde ettiği veriler ve geçmişte dairesel şekilli ızgaralar ile yapılan çalışmaların sonucunu kullanarak aşağıdaki denklemi çıkarmıştır (Denklem 2,3).

$$C_d * \omega * (L_2/H_c) = 0.83 \quad (2.3)$$

Burada;

$C_d$  = debi katsayısı olup değeri 0.87 ile 1.10 arasında değişmektedir

$\omega$  = çubuklar arası mesafenin kanal genişliğine oranına bağlı pürüzlülük katsayısı

$L_2$  = toplam ıslak ızgara uzunluğu

$H_c$  = kritik akım durumdaki toplam enerji yüksekliği

Ahmad ve Mittal (Ahmad ve Mittal, 2006) tirol tipi savaklar üzerine yapılan çalışmaların toplu bir özetini yayınlamışlardır. Mostkow (Mostkow, 1957) tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre, debi katsayısı ( $C_d$ ), 20° eğim için 0.435 ile 0.497 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda çubuk şekilleri ve akımın etkisi dikkate alınmamıştır. Subramanya (Subramanya, 1994) nehir ve sel rejimlerindeki akım durumlarındaki debi katsayısı ( $C_d$ ) için Denklem 2.4' ü önermiştir.

$$C_d = 0.53 + 0.4 * \log \frac{D}{e} - 0.61 * \tan\theta \quad (2.4)$$

Burada;

D = Çubukların çapı

e = Çubuklar arası mesafe

$\theta$  = Izgara eğimi

Ghosh ve Ahmad (Ghosh ve Ahmad, 2006) yassı çubuklardan oluşan ızgaralar ile yaptıkları deneyler sonucunda, çubuklar üzerindeki toplam enerjinin sabit kaldığını ve enerji kaybının oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Deneysel verilerden elde ettikleri debi katsayıları ( $C_d$ ) ile Subramanya'nın denkleminde bulunan  $C_d$  değerlerini karşılaştırmışlar ve neticede Subramanya'nın denkleminde elde edilen  $C_d$  değerlerinin olması gereken değerlerden yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Ghosh ve Ahmad yassı çubuklara ait debi katsayısı için Denklem 2.5' i önermişlerdir.

$$C_d = 0.1296 \left(\frac{t}{e}\right) - 0.4284 * (\tan\theta)^2 + 0.1764 \quad (2.5)$$

Burada;

t= çubukların kalınlığı.

Denklem yassı çubuklar için debi katsayısını  $\pm$  %10'luk bir hata payı ile vermektedir. Yassı çubuk bulunduran tirol tipi savakların tasarımında bu denklemin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Righetti ve Lanzoni (Righetti ve Lanzoni, 2008) tirol tipi savakların hidrolik tasarımındaki problemler üzerine çalışmalar yapmışlardır ve debi katsayısı, boşluk oranı, ızgara uzunluğunu içeren bir denklem türetmeye çalışmışlardır. Denklem için gereken verileri toplamak için 12 metre uzunluğunda 0.25 metre genişliğinde ve pürüzsüz camdan yapılan bir deney düzeneği inşa etmişlerdir. Kanala bağlanan ızgara, kanal ile aynı eğimde, 0.45 m uzunluğunda ve boşluk oranı  $\omega=0.2$  değerindedir. Yapılan deneylerden, ızgaralardan aşağıya geçen debi, su yüzeyi profili ve ızgaralar üzerindeki hız dağılımları ölçülmüştür. Toplanan veriler kullanılarak Denklem 2.6 elde edilmiştir.

$$(q_w)_i = C_{d0} * \omega * w * L * \sqrt{2gH_0} * \left(\frac{\alpha}{2} \frac{L}{H_0} F_{H_0} + 1\right) * \tanh \quad (2.6)$$

Burada;

$C_{d0}$  = yatay konumdaki ızgara için debi katsayısı

$H_0$  = ana kanaldaki akımın toplam enerjisi

$w$  = kanalın genişliği

$\alpha = 0.1056$  (empirik katsayı)

$F_{H_0}$  : Froude sayısı olup Denklem 2.7 ile hesaplanır

$$F_{H_0} = \frac{U_0}{\sqrt{g \cdot H_0}} \quad (2.7)$$

Burada;

$U_0$  = ana kanaldaki akımın ortalama hızı

Denklem hesaplanan  $(q_w)_i$  değerleri, Nosedá'nın denkleminde bulunan değer ile karşılaştırıldığında farklı deneysel düzenekler kullanılmasına rağmen yüksek oranda tutarlılık görülmüştür.

Kamanbedast ve Bejestan (Kamanbedast ve Bejestan, 2008) ızgara eğiminin ve toplam ızgara açıklığının etkisini bulmak için bir dizi deney yapmışlardır. Kullanılan model 60 cm genişliğinde ve 8 m uzunluğundadır. Deneyde kullanılan çubukların çapları 6 mm ve 8 mm, ızgara açıklığı ise toplam ızgara uzunluğunun %30, %35 ve %40'ı kadardır. Deneyler %10, %20, %30, ve %40 eğimindeki ızgaralar ile 5 farklı debi değeri için yapılmıştır. Yapılan deneylerde ızgara eğimi arttıkça debi oranının da yükseldiği gözlemlenmiştir. Debi oranını, ızgara eğiminin dışında çubuklar arasındaki boşluk da önemli ölçüde etkilemektedir. ızgara eğimi %30 ve çubuklar arasındaki boşluk oranı %40 olduğunda debi oranı maksimum değeri olan 0.8'e ulaşmaktadır. Deneyler sediment ile tekrarlandığında elde edilen debi oranında, sedimentsiz durumlara göre %90 kadar düşüş olmaktadır. Debi oranındaki bu düşüşün sebebi, çubuklar arasındaki boşlukların sedimentler tarafından doldurulmasıdır.

Yılmaz (Yılmaz, 2010) Tirol tipi savakların hidrolik karakteristiklerini araştırmak için 7 metre uzunluğunda ve 1.98 metre genişliğinde bir kanal kullanarak deneyler yapmıştır. Kanala bağlanan ızgaradaki çubuklar pürüzsüz alüminyumdan yapılmış ve 1 cm çapındadırlar. Deneyler sedimentli ve sedimentsiz olmak üzere iki türlü olarak; 3 mm, 6 mm ve 10 mm çubuklar arası mesafeye sahip olan ızgaralar ile  $14.5^\circ$ ,  $9.6^\circ$ ,  $4.8^\circ$  ızgara eğimlerinde her bir durum için tekrarlanmıştır. Debi katsayısının

değişimi ve geçen debinin toplam debiye oranı,  $[(q_w)_i/(q_w)_T]$ , ilgili boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak grafikler halinde sunulmuştur. Bu grafikler kullanılarak, ızgara uzunluğu, ızgara boyu ve çubuklar arası mesafesi bilinen bir tirol tipi savak ile ana kanaldan alınabilecek olan debinin hesaplanması mümkündür.

Yılmaz (Yılmaz, 2010) tarafından kullanılan kanalda benzer deneyler aynı ızgaralar ile  $\theta=27^\circ$ ,  $\theta=32,84^\circ$  ve  $\theta=37,08^\circ$  olmak üzere üç farklı ızgara eğiminde; Şahiner (Şahiner, 2012) tarafından tekrarlanmış ve neticede Yılmaz (2010)' uninkilerle beraber toplam olarak 6 farklı eğime sahip ızgaralar için projelendirmelerde kullanılabilir bağıntılar elde edilmiştir.

## 2.2. Flow-3D ile Yapılan Çalışmalar

Castillo (Castillo ve ark., 2013) yaptığı çalışmada, fiziksel bir tirol tipi savak modelinin 3-boyutlu nümerik modelini oluşturmuş ve iki modelde de elde ettiği akım ve sediment taşınımı sonuçlarını karşılaştırmıştır. Cartagena Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarları'nda 5 metre uzunluğunda, 50 cm genişliğinde ve sonunda Tirol Tipi savak bulunan bir açık kanal inşa etmişlerdir. Savakta kullanılan çubuklar alüminyumdan yapılmıştır. Kullanılan çubukların profilleri T-şekilli olup profilin kesit ölçüleri ise 30/23/2 mm ve ızgara uzunluğu 90 cm'dir. Deneyler 5.70 mm, 8.50 mm ve 11.70 mm olmak üzere 3 farklı çubuklar arası mesafe ile yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre ızgaralar üzerindeki akım yükseklikleri bakımından fiziksel model ve nümerik model arasında 1-1.5 cm fark oluşmuştur. Izgaralardan ve karşıya geçen debiler karşılaştırıldığında, yüksek debilerde hata miktarı artmaktadır.

Roosbeh ve Mohammad (Roosbeh ve Mohammad, 2014) 60 cm genişliğinde ve 8 m uzunluğunda bir açık kanal üzerinde bulunan tirol tipi savaklar üzerinde deneyler yapmışlar ve bunları nümerik olarak modellemişlerdir. Izgaralarda kullanılan çubukların çapları 6mm ve 8 mm'dir. Deneyler  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $40^\circ$  derece eğimler ve farklı ızgara uzunluklarında yapılmıştır. Debi miktarı 5-10 l/s arasında değişmektedir. Fiziksel ve nümerik modelin debi katsayısı ve su alma kapasitelerinin yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Hosseini ve Rikhtegar (Hosseini ve Rikhtehar, 2014) Righetti ve Lanzoni (Righetti ve Lanzoni, 2008)'nin yaptıkları fiziksel modellerin Flow-3D kullanarak nümerik modellerini oluşturmuşlardır. Nümerik modelde kanalı 4 parçaya ayırıp 0.008 mm, 0.004 mm ve 0.002 mm olmak üzere 3 farklı eleman boyutu kullanmışlardır.

Izgaranın bulunduğu 3. kısımda daha net sonuçlar elde edebilmek için 0.002 mm boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Nümerik modelin sınır koşulları da gerçeğine uygun olarak verilmiştir. Analizler sonucunda elde ettikleri verilere göre, su alma kapasitesi bakımında fiziksel model ile nümerik model arasında  $R^2=0.98$ 'lik bir tutarlılık elde edilmiştir. (Hosseini ve Rikhtehar, 2014) ayrıca başka çubuk profillerinin de nümerik analizini yapmış ve sonuçlarını değerlendirmiştir.



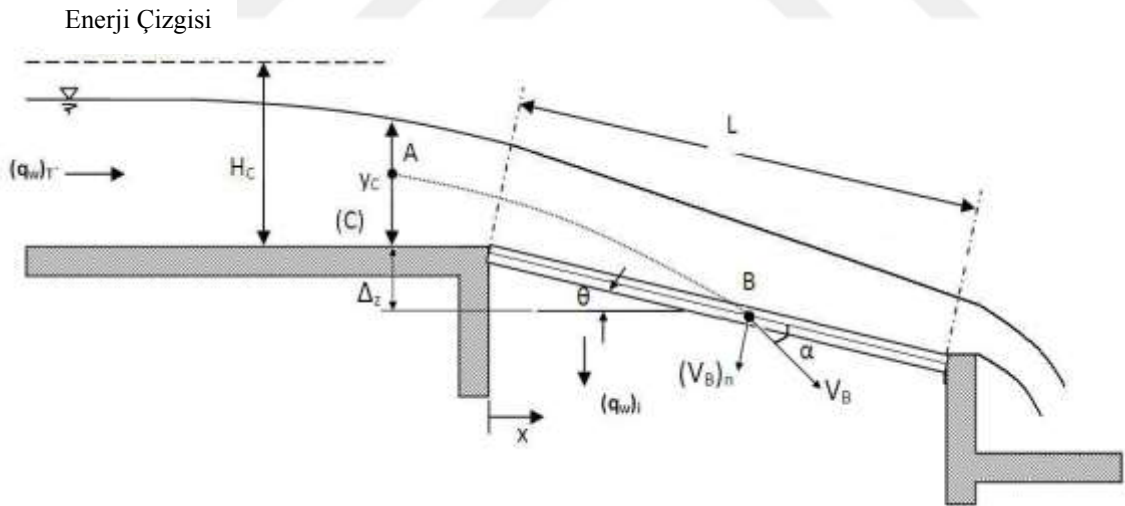
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tirol tipi savaklar hakkında yapılan teorik çalışmalara yer verilmiştir. İlk olarak tirol tipi savaklarda debi katsayısının hesaplanmasında kullanılan denklem çıkartılmıştır. İkinci aşamada ise tirol tipi savakların su alma kapasitesinin bulunması için boyut analizi kullanılarak boyutsuz parametreler ve bunlar arasındaki ilişkiler ifade edilmiştir. Son olarak ise Tirol tipi savakların nümerik modellemesinde kullanılan Flow-3D programı ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

#### 3.1. Tirol Tipi Savaklar

##### 3.1.1. Tirol tipi savaklarda debi katsayısının bulunması

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi A ve B noktalarından geçen bir akım çizgisini göz önüne alalım. A noktasında akımın derinliğinin kritik derinlik de olduğu ve akım boyunca enerji kaybının olmadığı varsayılarak A ve B noktaları arasında enerji denklemi yapılırsa Denklem 3.1 ile verilen ifade elde edilir.



Şekil 3.1. Tirol Tipi savakta oluşan bir akımın kesiti

$$H_c = \frac{V_B^2}{2 \cdot g} - \Delta z \quad (3.1)$$

Burada;

$\Delta z = x * \tan\theta$  ; C ve B noktaları arasındaki dik uzaklık

$(V_B)_n$  = B noktasındaki hızın dik bileşeni olup Denklem 3.2 ile gösterilebilir.

$$(V_B)_n = V_B * \sin\alpha = (\sqrt{2 * g * (H_c + \Delta z)}) * \sin\alpha = \sin\alpha * \sqrt{2 * g * H_c \left(1 + \frac{\Delta z}{H_c}\right)} \quad (3.2)$$

$\frac{\Delta z}{H_c} \ll 1$  olduğu durumlarda özellikler küçük ( $\theta$ ) değerleri için,  $(V_B)_n$  aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$(V_B)_n = \sin\alpha * \sqrt{2 * g * H_c} \quad (3.3)$$

Izgaralardan geçen suyun debisi;

$$(q_w)_i = A_{r0} * (V_B)_n = A_{r0} * \sin\alpha * \sqrt{2 * g * H_c} \quad (3.4)$$

Burada;

$A_{r0}$  = birim uzunluktaki ızgarada bulunan çubuklar arasındaki boş alanın tamamı  
Denklem 3.4 aşağıdaki gibi de yazılabilir;

$$(q_w)_i = C_d A_{r0} \sqrt{2 * g * H_c} \quad (3.5)$$

Burada;

$C_d$  = debi katsayısı olup;  $(q_w)_i$  ifadesinin çıkartılması aşamalarında yapılan kabulleri içermektedir. Bu kabuller; ilgili kesitlerde basınçların hidrostatik olması, enerji kaybının ihmal edilmesi ve  $\Delta z/H_c$ 'nin birden çok küçük olması gibi kabullerdir.

### 3.1.2. Tirol tipi savaklarda su alma kapasitesinin tayini

Tirol tipi savaklarda, ızgaralardan geçen debiyi  $(q_w)_i$  hesaplamak için kullanılacak hidrolik ve geometrik parametreler Şekil 3.1 de görülmektedir. Çubukların dairesel kesitli olduğu varsayılır ve yüzey gerilimi ihmal edilirse, ızgaralardan geçen debi  $(q_w)_i$  aşağıdaki parametreler ile ifade edilebilir.

$$(q_w)_i = f[(q_w)_T, e, a, L, \theta, g, \rho_w] \quad (3.6)$$

Burada;

$(q_w)_T$  = ızgaralardan önce ana kanal birim genişliğinden geçen debi

$e$  = çubuklar arası mesafe

$a$  = çubukların merkezleri arasındaki mesafe

$L$  = ızgara uzunluğu

$\theta$  = ızgara eğimi

$g$  = yer çekimi ivmesi

$\rho_w$  = suyun özkütlesi

Denklem 3.6 da  $(q_w)_T$ ,  $e$  ve  $\rho_w$  temel değişkenler olarak seçilip Buckingham'ın  $\pi$  teoremi uygulanırsa Denklem 3.7 elde edilir.

$$\frac{(q_w)_i}{(q_w)_T} = f_1 \left[ \frac{(q_w)_T^2}{e^3 g}, \frac{L}{e}, \frac{a}{e}, \theta \right] \quad (3.7)$$

Burada  $\frac{(q_w)_T^2}{e^3 g}$  ifadesi çubuk aralığına bağlı Froude sayısının karesi olup bunun karekökü bundan sonraki ifadelerde  $(F_r)_e$  şeklinde gösterilecektir.

$$\frac{(q_w)_i}{(q_w)_T} = f_2 \left[ (F_r)_e, \frac{L}{e}, \frac{a}{e}, \theta \right] \quad (3.8)$$

Benzer şekilde debi katsayısı,  $C_d$ , de ilgili boyutlu parametreler cinsinden Denklem 3.9 da verildiği gibi ifade edilebilir ve neticede bu denkleme boyut analizi uygulanarak Denklem 3.10 çıkartılabilir.

$$C_d = f_3 [(q_w)_T, e, a, L, \theta, g, \rho_w] \quad (3.9)$$

$$C_d = f_5 \left[ (F_r)_e, \frac{L}{e}, \frac{a}{e}, \theta \right] \quad (3.10)$$

### 3.2. Nümerik Modelleme Programı Flow-3D

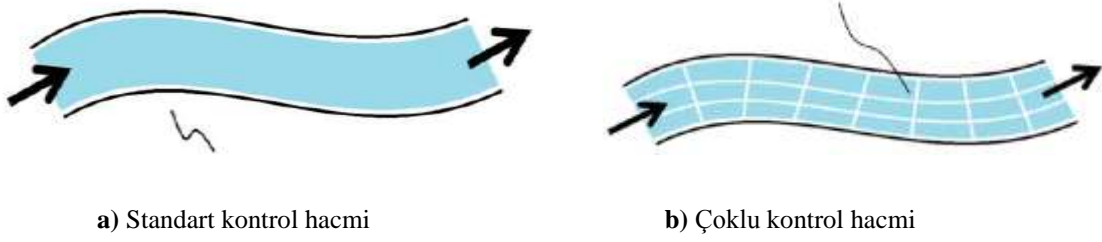
Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile ilgili literatür araştırmasında, Flow-3D kullanılarak yapılmış çok sayıda çalışma yer almaktadır. Flow-3D ile yapılan çalışmaların çoğunda, Flow-3D'nin Sonlu Hacim Metodunun çeşitli hidrolik problemlerinde nasıl kullanıldığından bahsedilmektedir. Bu metodun avantajı, akışkanın etrafındaki havanın hareketinin ihmal edilmesidir. Bu durum, eleman hacminin küçük olması gereksinimini ortadan kaldırarak analiz sürelerini düşürmektedir. Flow-3D, katı engelleri tanımlamak için FAVOR (Fractional Area Volume Obstacle Representation Method) metodunu kullanır. Bu metod ile deforme olabilen grid kullanan diğer programlara göre Flow-3D'nin hesaplama grid kullanımını sağlaması bir avantajdır.

Flow-3D, Flow Science firması tarafından 1985'de piyasa sürülmüştür. Flow-3D, çoklu akışkanların bulunduğu fiziksel problemlerin çözümünü yüksek doğrulukla yapan HAD tabanlı bir programdır. Flow-3D, içinde bulundurduğu algoritmalar sayesinde mühendislere termal ısı değişimi, altıncı dereceden bilinmeyenlere kadar katı sıvı ilişkisi, mekanik ve termal basınç analizleri gibi konularda derinlemesine bilgi sağlar. Flow-3D'nin barındırdığı serbest yüzeyli akım algoritmaları, prototiplerin dizayn aşamasında, ürünlerin geliştirilmesinde ve araştırmalarda programın kullanımını öne çıkarmaktadır.

Flow-3D, bütün modüllerin içinde bulunduğu tek bir kurulum dosyasından yüklenmektedir ve ilâve modüller gerektirmemektedir. Programda sonlu elemanların tanımlanması son derece basittir. Hesaplama süresi ile işlem sayısı arasındaki ilişkiyi optimum yapmak için mevcut bulunan kartezyen sistemi, katı maddenin karmaşıklığına göre otomatik olarak mesh sayısı atayabilmektedir.

#### 3.2.1. Sonlu hacim metodu

Enerjinin korunumu denklemlerinin integral halini kullanır. Bir akışkan akımının bulunduğu alanı tek büyük bir kontrol hacmi ile belirtmek yerine, bu alanı çok sayıda küçük kontrol hacimlerine ayırır. Her bir kontrol hacmi, etrafındaki hacimler ile etkileşim içerisindedir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



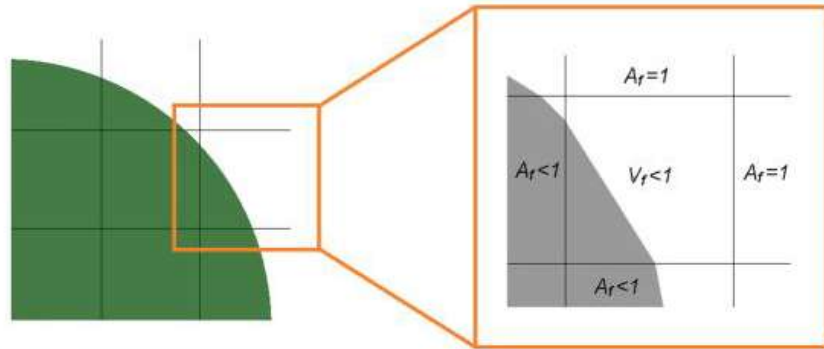
Şekil 3.2. Standart kontrol hacminin çoklu kontrol hacmi olarak incelenmesi

Flow-3D’de kontrol hacimleri, yüzeyleri koordinat düzleminin eksenlerine denk gelen dikdörtgen bloklar ile tanımlanırlar. Elemanların kolay oluşturulması ve elemanların akım alanının geometrisinden bağımsız olması probleme basit ve güçlü bir yaklaşım sağlar, fakat her bir eleman rastgele geometri ve akım alanları ile başa çıkabilmelidir. Bu sıkıntının üstesinden gelen ve Flow-3D kullanılan algoritma, FAVOR (fractional area/volume obstacle representation) olarak adlandırılır.



Şekil 3.3. Flow-3D kontrol hacimlerinin gösterimi

FAVOR algoritması, her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerini (kütle, enerji, momentum) geometriye uygulayan bir metottur. Bu yaklaşım, geometriyi tanımlamak için 7 bilinmeyen kullanır. Bunlardan 6 tanesi alan oranı (dikdörtgen bloğun her bir yüzü) ve geriye kalan ise hacim oranıdır. Alan oranı, açık alanın toplam alana oranıdır. Hacim oranı ise açık hacmin toplam hacme oranıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Birim elemanlar ile dolu ve boş hacimlerin oluşturulması

### 3.2.2. TruVOF metodu ve korunum denklemleri

Flow-3D’de kullanılan gelişmiş TruVOF algoritması sayesinde serbest yüzeyli akımlar hassas bir şekilde modellenebilmektedir. Serbest yüzeyli akımlarda akışkanın bulunduğu kısım  $f=1$  ve havanın bulunduğu kısım  $f=0$  olarak alınır. Programda havanın da bir akışkan olarak kabul edildiği ve su ile arasındaki ara-yüz hassas bir şekilde hesaplandığı için, serbest su yüzeyi başarılı bir şekilde modellenebilmektedir.

Program, elemanlar için hesap yaparken korunum denklemlerini kullanmaktadır. Bunlar enerjinin korunumu, kütlein korunumu ve momentin korunumudur.

Momentin korunumu iki yöntem ile sağlanmaktadır. Bu yöntemler, programın 2-boyutlu veya 3-boyutlu hesap yapmasına göre değişiklik gösterir. Program, 3-boyutlu hesap yaparken Navier-Stokes denklemlerini (3.11) , 2-boyutlu hesap yaparken ise Shallow Water denklemlerini (3.12) kullanmaktadır.

Navier-Stokes Denklemleri; (3.11)

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)\end{aligned}$$

Shallow Water Denklemleri; (3.12)

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau_{bx} + \tau_{sx}}{\rho h} + G_x + 2\Omega v \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau_{bx} + \tau_{sx}}{\rho h} + G_x + 2\Omega u\end{aligned}$$

Kütlein korunumu, akışkanın hacminin kuvvet altında değişiklik göstermesine göre, 4 farklı durum için 4 ayrı denklem ile tanımlanmıştır.

Sıkıştırılabilir durum;

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = R_{SOR} + R_{DIF} \quad (3.13)$$

Sıkıştırılmaz durum;

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (3.14)$$

Sınırlı sıkıştırılabilirlik durumu;

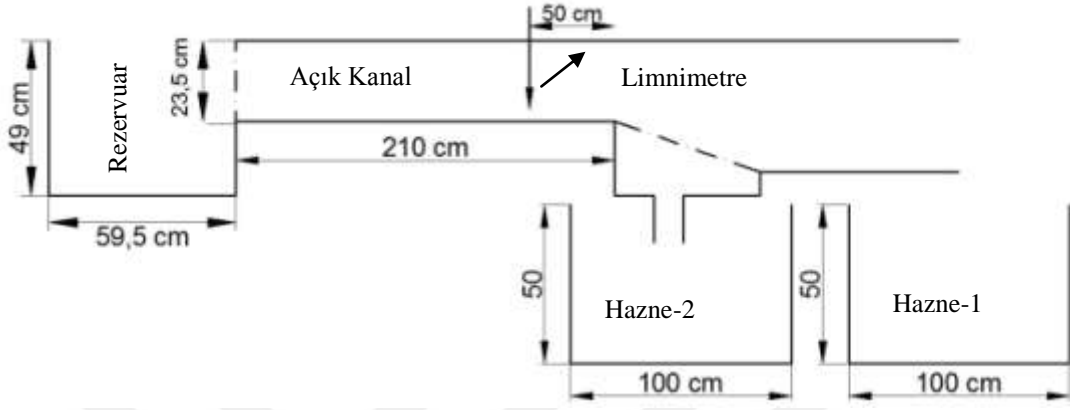
$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial uA_x}{\partial x} + \frac{\partial uA_y}{\partial y} + \frac{\partial uA_z}{\partial z} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (3.15)$$

Sığ su durumu;

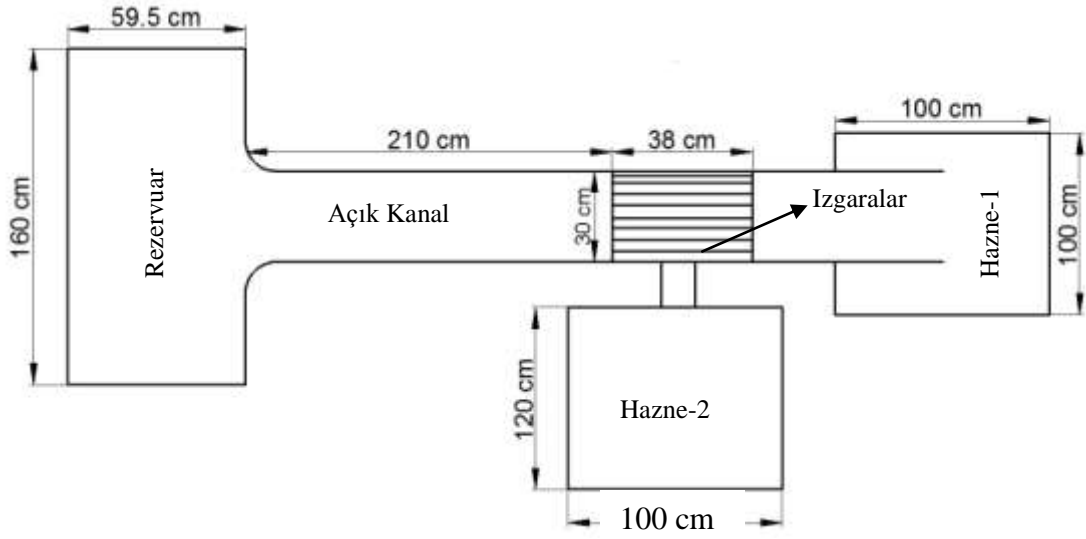
$$\frac{\partial V_F F}{\partial t} + \frac{\partial uA_x F}{\partial x} + \frac{\partial uA_y F}{\partial y} = R_{SOR} \quad (3.16)$$

### 3.3. Deney Düzenine Hazırlanması

Tirol tipi savakların su yakalama kapasitesini ölçmek için ODTÜ Hidromekanik Laboratuvarında fiziksel bir model inşa edildi. Fiziksel model Şekil 3.5. (a) ve Şekil 3.5. (b)'de görüldüğü gibi, su alma borusu, hazne, ana kanal, ızgaralar ve yan kanaldan oluşmaktadır. Hazneye su, daha yüksek kotta bulunan ve sabit su seviyesi içeren büyük bir depodan ucunda vanası olan 10 cm çapındaki bir boru vasıtasıyla sağlanmaktadır. Vana ile sistemden geçecek suyun debisi ayarlanmaktadır. Su sistemde ilk olarak haznede birikmektedir ve belirli bir seviye ulaştıktan sonra ana kanala geçmeye başlamaktadır. Ana kanalın uzunluğu 210 cm ve genişliği 30 cm'dir. Bu kanalın mansap kısmında ızgaralardan 50 cm öncesinde bulunan bir limnometre ile akım derinliği ölçülmektedir. Ayrıca kanalın en sonuna yerleştirilen 1 m x 1 m boyutlarındaki hazne (Hazne-1) ile ızgaraların üzerinden atlayarak modelin mansabına geçen su debisi hacimsel olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerden elde edilen veriler, her bir eğim ( $\theta$ ) ve çubuklar arası (e) mesafe için EK bölümünde tablolar halinde gösterilmiştir.



(a) Kanalın yandan görünüşü



(b) Kanalın üstten görünüşü

Şekil 3.5. Modelin üstten görünüşü



Şekil 3.6. Fiziksel Modelin genel görünüşü

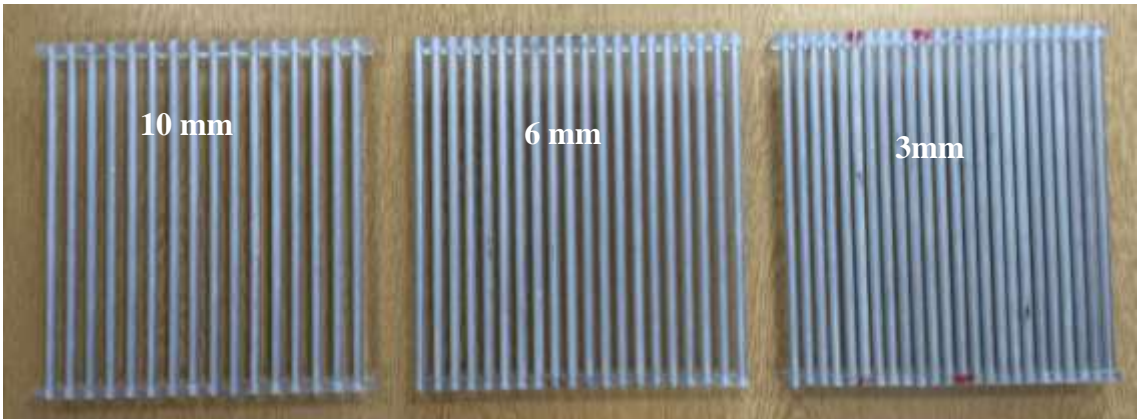


Şekil 3.7. Fiziksel Modelin mansap tarafından görünüşü

Izgaralar kanalın sonuna mansap kısmına yerleştirilmiştir (Şekil 3.8.). Izgaraları oluşturan çubuklar 1 cm çapında, 30 cm uzunluğunda ve alüminyumdan yapılmışlardır. Deneyler çubuklar arası 3 farklı ara mesafe ( $e_1 = 3\text{mm}$ ,  $e_2 = 6\text{mm}$  ve  $e_3 = 10\text{mm}$ ) ve 2 farklı açı ( $\theta_1 = 18^\circ$  ve  $\theta_2 = 25^\circ$ ) için tekrarlanmıştır. Şekil 3.9.'de deneylerde kullanılan ızgaralar görülmektedir. Izgaraların içinden geçerek toplama kanalına geçen su ise 1.2 m x 1 m boyutlarındaki Hazne-2 ye boşalmaktadır. Bu hazne yardımıyla da ızgaralardan aşağı süzülen suyun debisi ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Izgaraların yerleştirilmesi

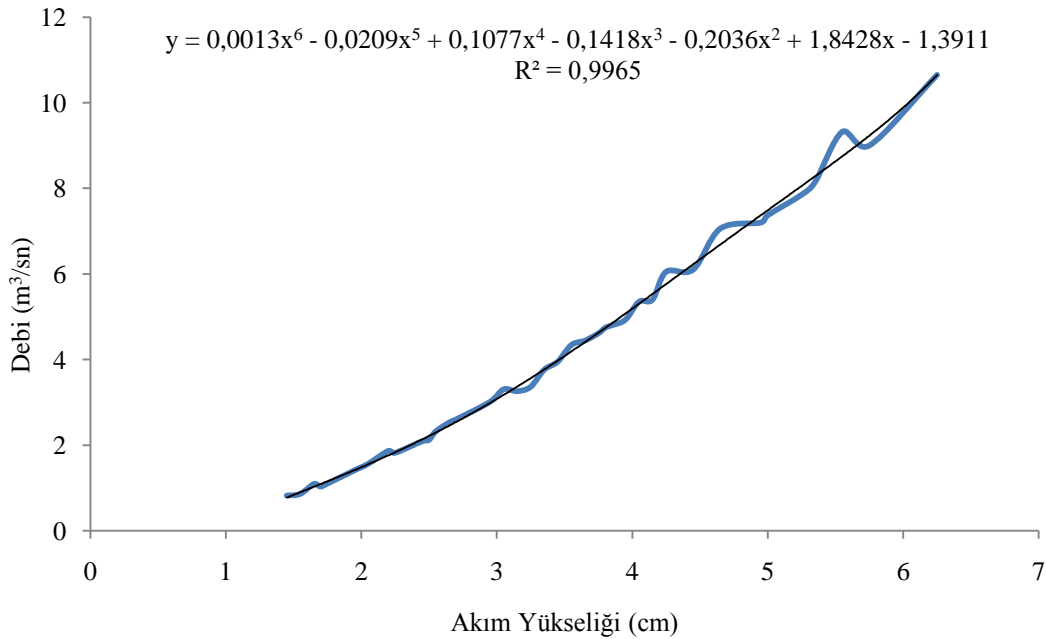


Şekil 3.9. 3 mm, 6 mm ve 10 mm çubuk ara mesafeli ızgaralar

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER

### 4.1. Debi Ölçümü

Deneysel düzenek kurulduktan ve gerekli kontroller yapıldıktan sonra ilk olarak ana kanal için kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Izgaralar yerleştirilmeden kanala küçük değerlerde bir debi verilir ve 5-6 dakika arası akımın kanal içinde oturması ve dalgalanmaların azalması beklenir. Akım düzeldikten sonra kanalın mansap tarafında bulunan limnometre ile akım yüksekliği ölçülür. Kanaldan gelen su Hazne-1 de biriktirilerek suyun hacminin zamanla değişimi ölçülür ve akım yüksekliğine karşılık gelen debi değeri hesaplanmış olur (Şekil 4.1.). Hazneye gelen boruda bulunan vana yardımıyla debi değeri az bir miktar artırılır ve tekrar aynı adımlar izlenir. Bu ölçümler sonucunda ana kanaldan geçen akımın yüksekliği ve bu yüksekliklere karşılık gelen debi değerleri bulunarak debi-yükseklik kalibrasyon eğrisi elde edilir. Bu eğri yardımıyla yüksekliği bilinen akımların debileri eğriden okunabilir ve her seferinde debi ölçümüne gerek kalmamaktadır.



Şekil 4.1. Debi-akım yüksekliği kalibrasyon eğrisi

#### 4.2. Su Alma Kapasitesinin Ölçülmesi

Bu bölümde yapılan ve tezin ana temasını oluşturan deneylerin amacı, belirli bir ızgara boyu için ( $x/L_2$ ) ızgaraların su alma kapasitesini  $[(Q_w)_i/(Q_w)_T]$  belirlemektir. Izgaralarda istenilen ızgara boyunu elde etmek için ızgaraların kalan kısmı mansaptan itibaren ince bir pleksiglas levha tabakası ile kapatıldı (Şekil 4.2.). İlk olarak 3 mm çubuk aralığı olan,  $\theta=18^\circ$  eğiminde ve 5 cm açıklığa sahip ızgara test edildi. Ana kanaldaki akım yüksekliği 1.5 cm den başlayarak belirli aralıklarla 6 cm'ye kadar yükseltildi. Ana kanaldaki akım yüksekliğine karşılık gelen debi değeri “debi-yükseklik” kalibrasyon eğrisinden okunarak ana kanaldaki debi  $(Q_w)_T$  değeri belirlendi. Izgaralardan geçen suyun debisi  $(Q_w)_i$  ise Hazne-2’de biriken suyun hacim değişimi ile hesaplandı. Sonuç olarak, 3 mm, 6 mm ve 10 mm çubuk aralığına ,  $\theta=18^\circ$  ve  $\theta=25^\circ$  eğimine, 5 cm, 10 cm ve 15 cm ızgara uzunluğuna sahip toplamda 15 farklı deney düzeneği yukarıda anlatılan şekilde test edildi. Bazı durumlarda ızgaranın altında bulunan geçiş haznesi dolduğu için  $L=15$  cm’lik ölçümler yapılamadı.

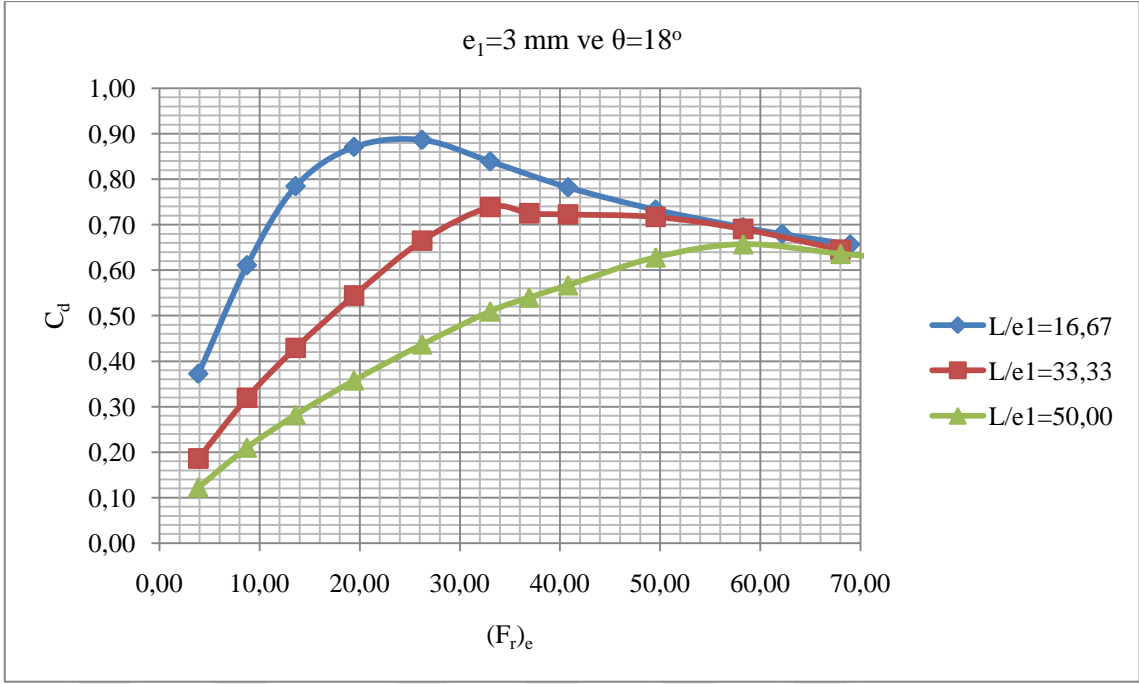


Şekil 4.2. Izgaraların plaka ile kapatılarak ızgara boyunun değiştirilmesi

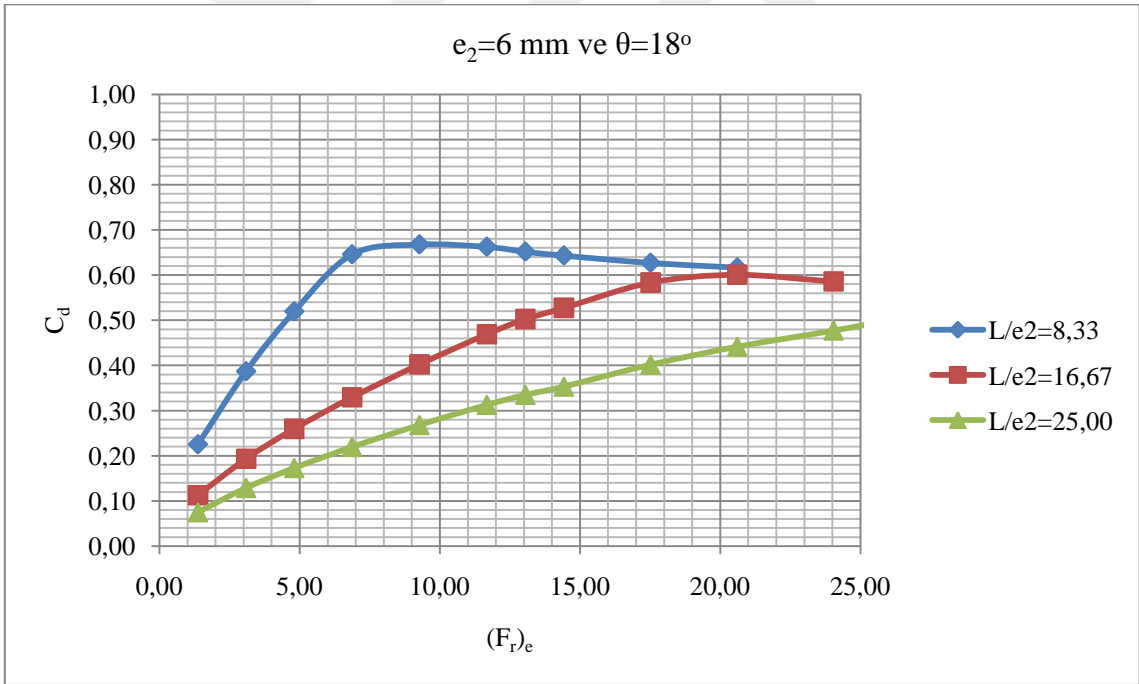
### 4.3. Debi Katsayısı Ve Boyutsuz Parametreler Arasındaki İlişki

Debi katsayısı  $C_d$ ' nin değerleri Denklem 3.5' den hesaplanarak bulunmuş ve bunların Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ve ızgara açıklığı  $(e_i, i = 1, 2, 3)$  ile olan değişimi her bir deney düzeneği için çizilmiştir. Bu şekillerden de (Şekil 4.3. – 4.8.) den de görüldüğü gibi her bir  $L/e$  oranı için, Froude sayısı  $((F_r)_e)$  arttıkça debi katsayısı  $(C_d)$ ' de artmaktadır. Izgara uzunluğunun 15 cm' yi geçtiği durumlarda yukardan gelen debinin çok büyük bir kısmı ızgara boşluklarından toplama kanalına geçtiği ve bu kanalın kapasitesi çok fazla olmadığından dolayı  $L > 15$  cm için deneyler yapılamamıştır.

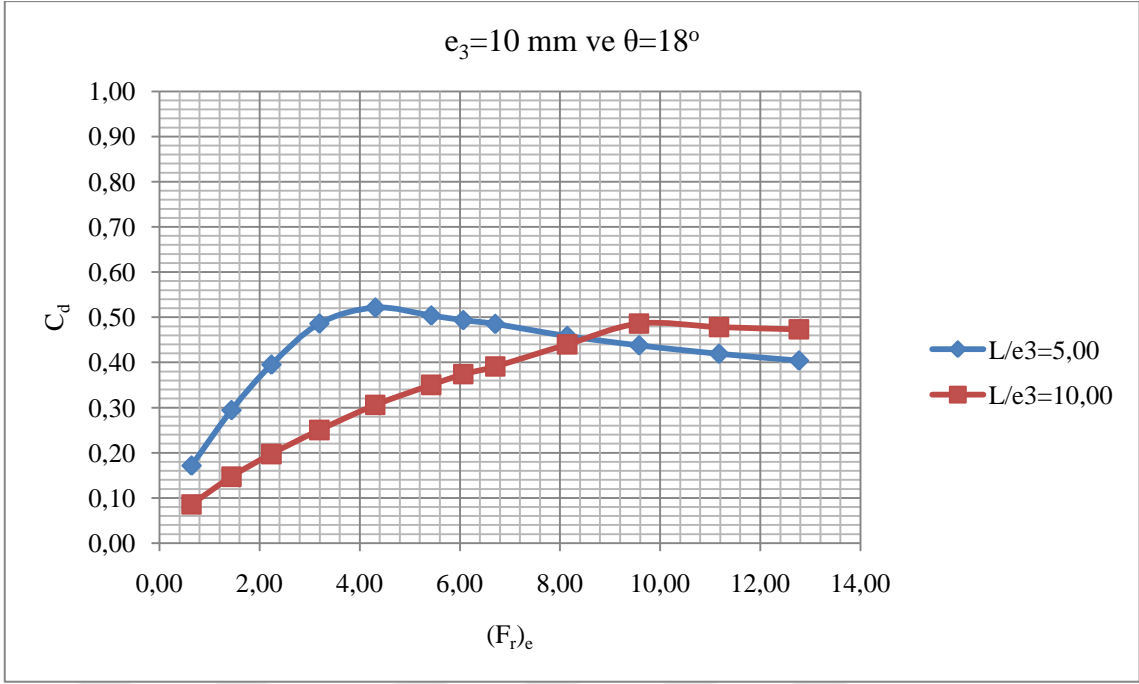
$e$  ve  $\theta$  değerleri verilen bir ızgarada sabit  $(Fr)_e$  değerlerinde  $C_d$ ' nin  $L/e_i$  ile değişimi incelendiğinde  $L/e_i$  değeri azaldıkça  $C_d$ ' nin arttığı görülmektedir. En yüksek  $C_d$  değerleri çubuklar arası mesafeden ( $e$ ) ve ızgara eğiminden ( $\theta$ ) bağımsız olarak en küçük  $L/e$  değerlerinde elde edilmiştir. Belirli bir  $(Fr)_e$  değeri için  $L/e$  değeri azaldıkça  $C_d$  değeri yükselmektedir.  $(Fr)_e$  ve  $L/e$  değeri sabit tutulup aynı çubuk aralığında ızgara eğimi artırılırsa, sınırlı sayıdaki veriden  $C_d$ ' nin fazla değişmediği bazı durumlarda ise azaldığı tespit edilmiştir. Test edilen her bir ızgarada  $L/e_i$  değeri arttıkça  $C_d$ ' nin  $(Fr)_e$  ile artış hızının  $(Fr)_e$  değeri arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Özellikleri bilinen bir ızgaradan;  $e$ ,  $\theta$  ve  $L/e$  değerleri, verilen bir  $(qw)_T$  debisinin ne kadarının ızgara tarafından alınabileceği  $C_d$ ' nin  $(Fr)_e$  ile değişimlerini gösteren şekiller kullanılarak bulunabilir. Bunun için öncelikle verilen değerlerden  $(Fr)_e$  hesaplanır ve bunun ilgili şekilde bulunan  $L/e$  eğrisi ile kesiştiği noktaya karşı gelen  $C_d$  değeri tespit edilir. Daha sonra bu  $C_d$ , Denklem 3.5 de yerine konularak  $(qw)_i$  değeri hesaplanabilir.



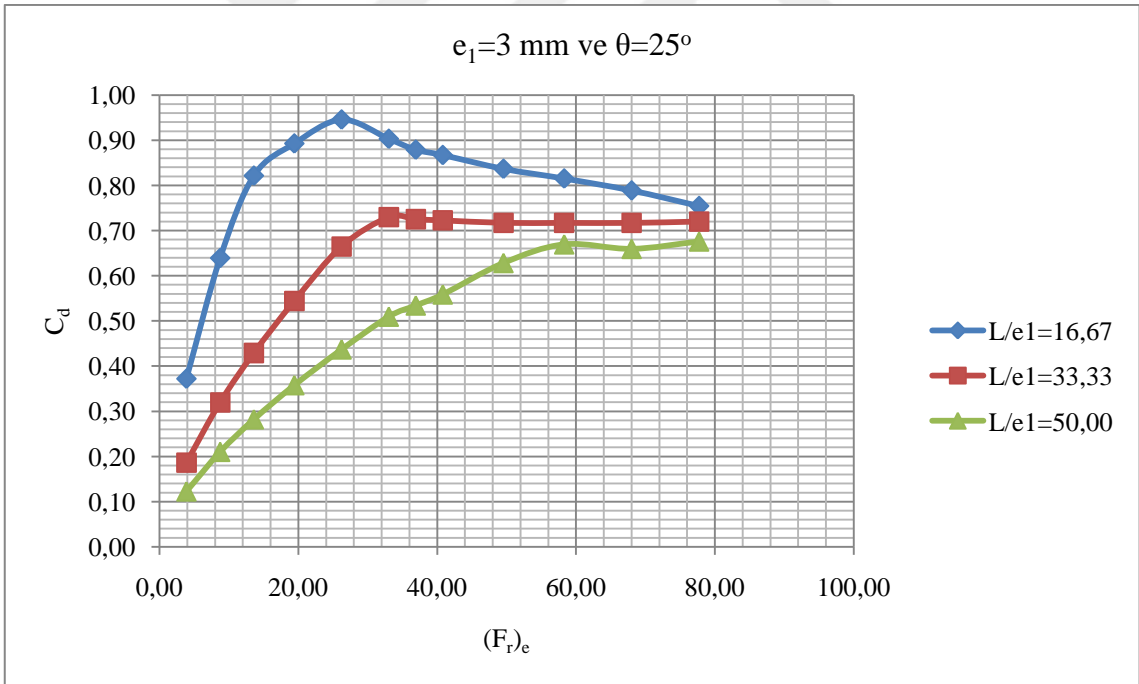
Şekil 4.3.  $e_1/a_1=0.23$  ve  $\theta=18^\circ$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



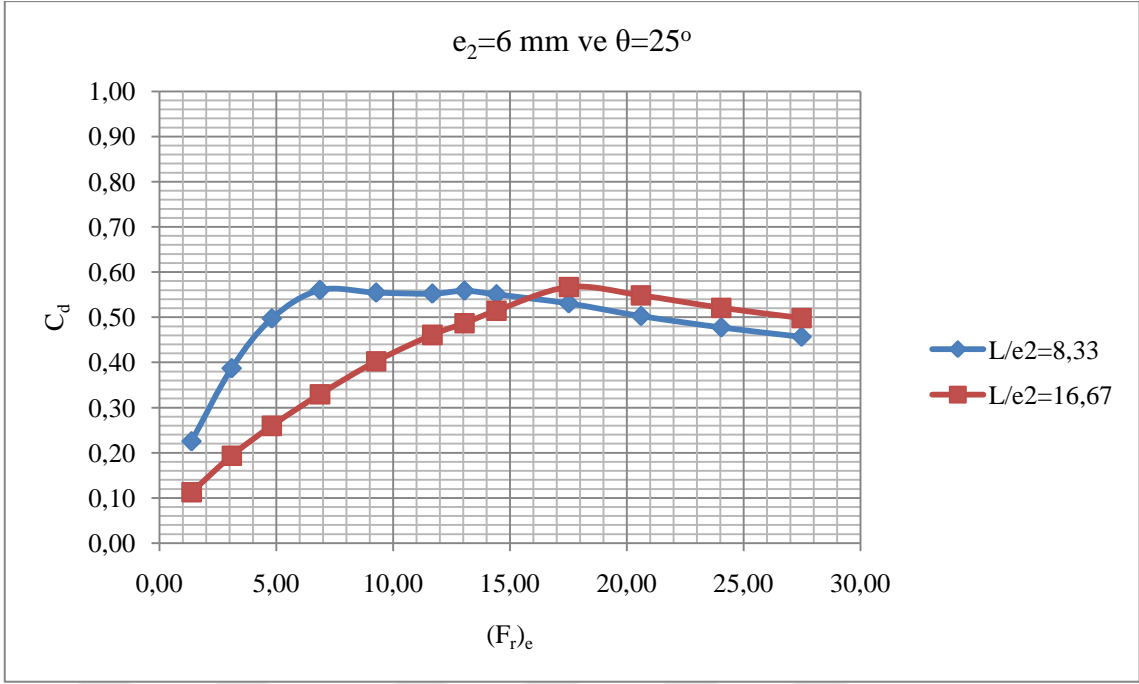
Şekil 4.4.  $e_2/a_2=0.375$  ve  $\theta=18^\circ$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



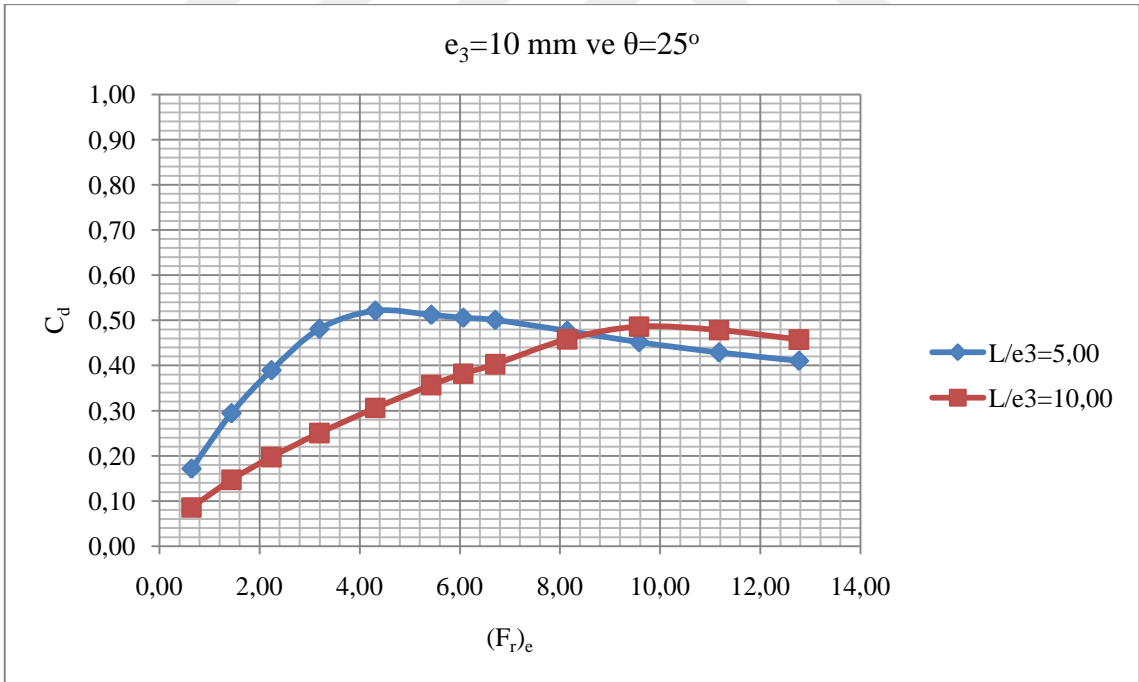
Şekil 4.5.  $e_3/a_3=0.5$  ve  $\theta=18$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



Şekil 4.6.  $e_1/a_1=0.23$  ve  $\theta=25$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



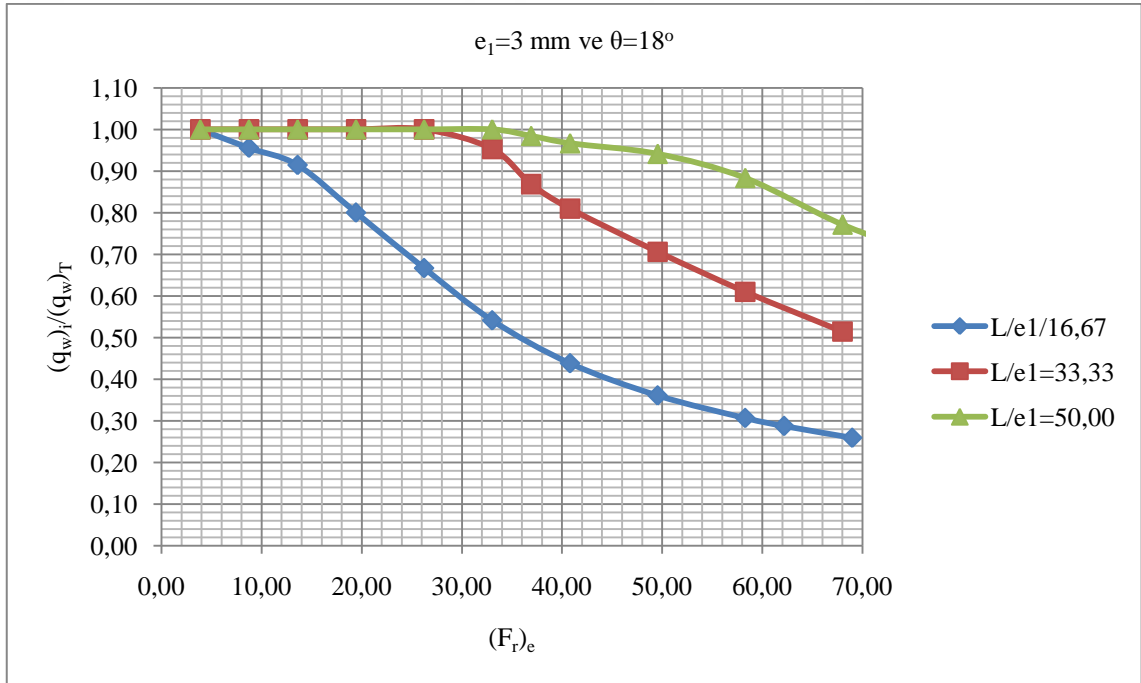
Şekil 4.7.  $e_2/a_3=0.375$  ve  $\theta=25$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



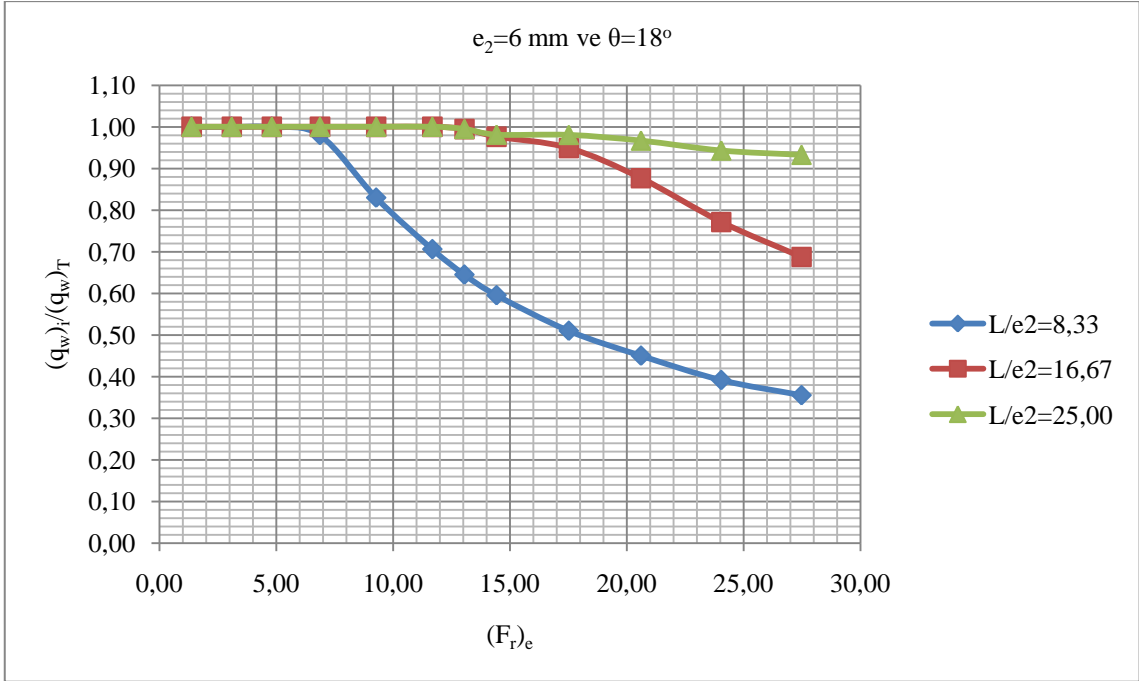
Şekil 4.8.  $e_3/a_3=0.5$  ve  $\theta=25$  Debi katsayısı ( $C_d$ )'nin Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi

### 4.3. Su Alma Kapasitesi Ve Boyutsuz Parametreler Arasındaki İlişki

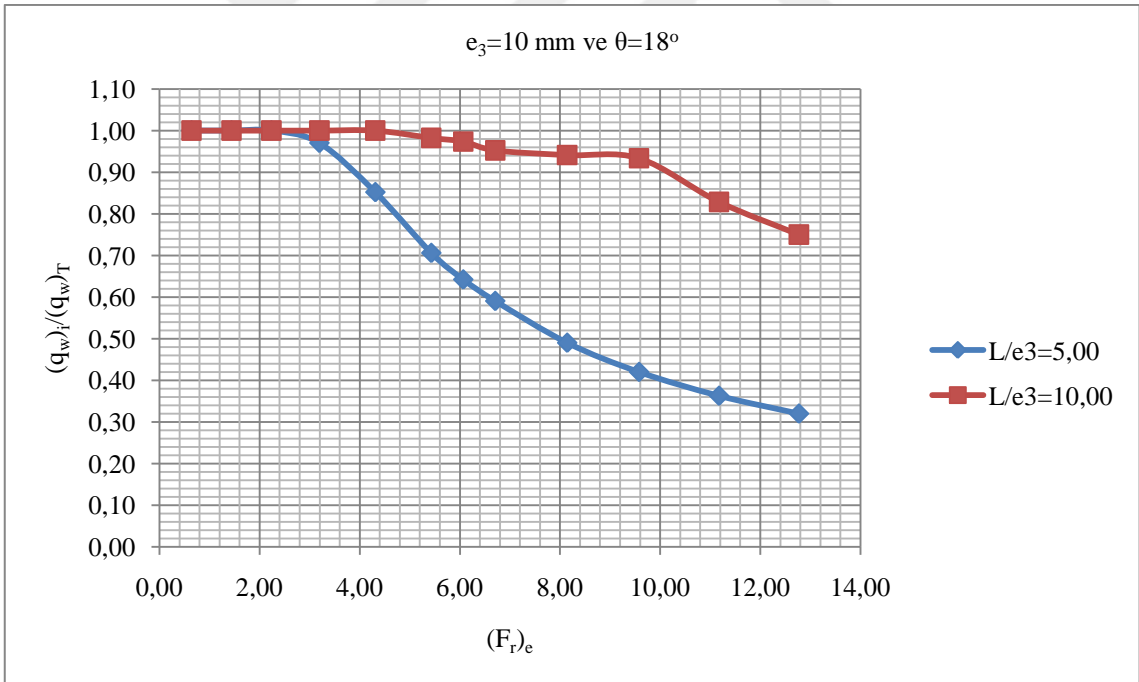
Tirol tipi savakların su alma kapasitesinin hesaplanmasını sağlayan Denklem-3.8 ve deneysel veriler kullanılarak, su yakalama kapasitesinin  $((q_w)_i/(q_w)_T)$  Froude sayısına  $(F_r)_e$  bağlı değişimini gösteren eğriler Şekil 4.9. – Şekil 4.14.' de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, çubuklar arası açıklığı ( $e$ ) ve eğimi ( $\theta$ ) bilinen bir ızgarada su yakalama kapasitesi  $((q_w)_i/(q_w)_T)$ , ızgara açıklığı  $L/e_i$  ve Froude sayısına bağlı olarak değişmektedir. Su yakalama kapasitesinin  $((q_w)_i/(q_w)_T)$  Froude sayısına olan bağlılığı,  $L/e$  oranı azaldıkça artmaktadır. Su yakalama kapasitesi  $((q_w)_i/(q_w)_T)$ , ızgara eğimi ( $\theta$ ) arttıkça azalmaktadır.



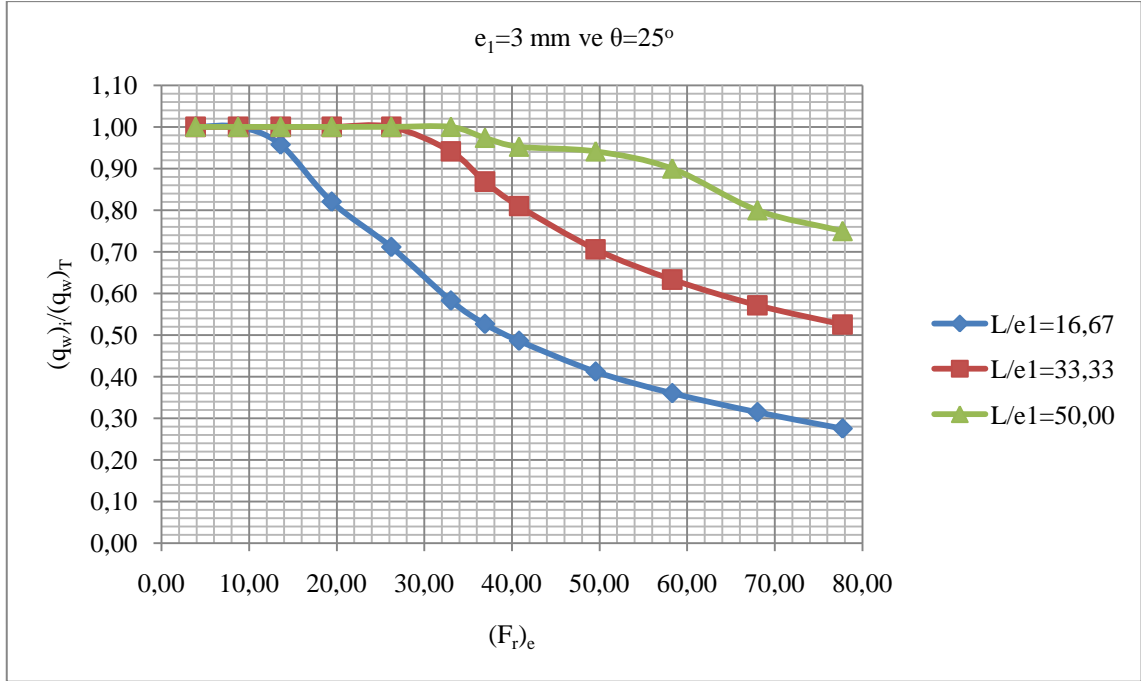
Şekil 4.9.  $e_1/a_1=0,23$  ve  $\theta=18$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i/(q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile olan değişimi



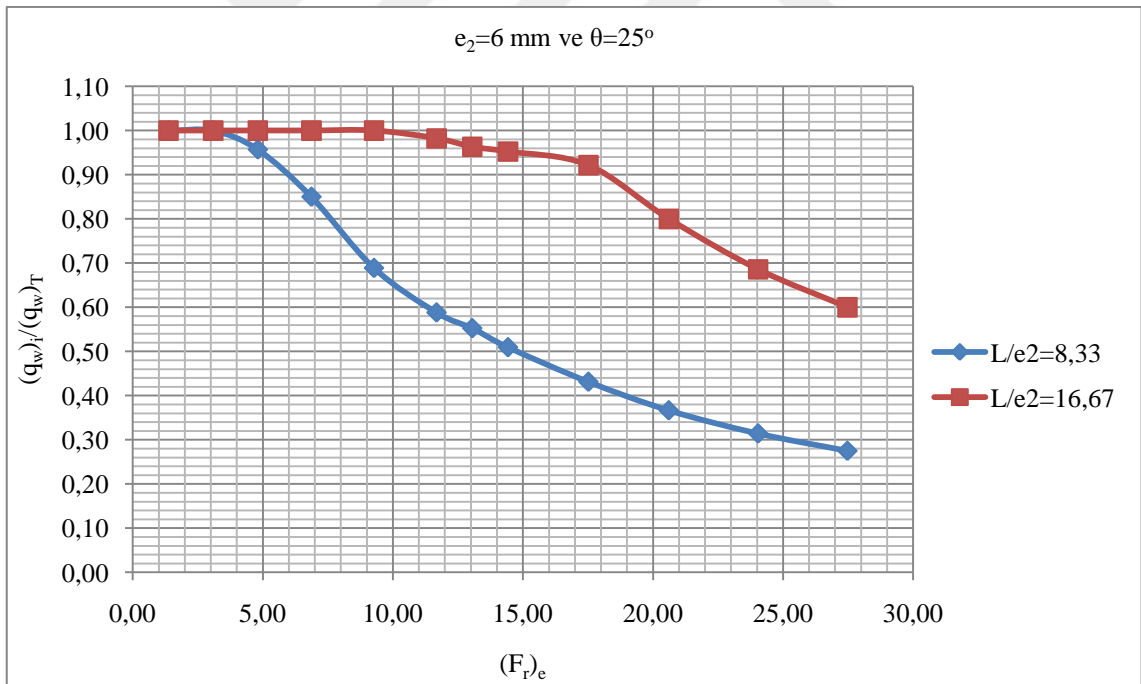
**Şekil 4.10.**  $e_2/a_2=0.375$  ve  $\theta=18$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i / (q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



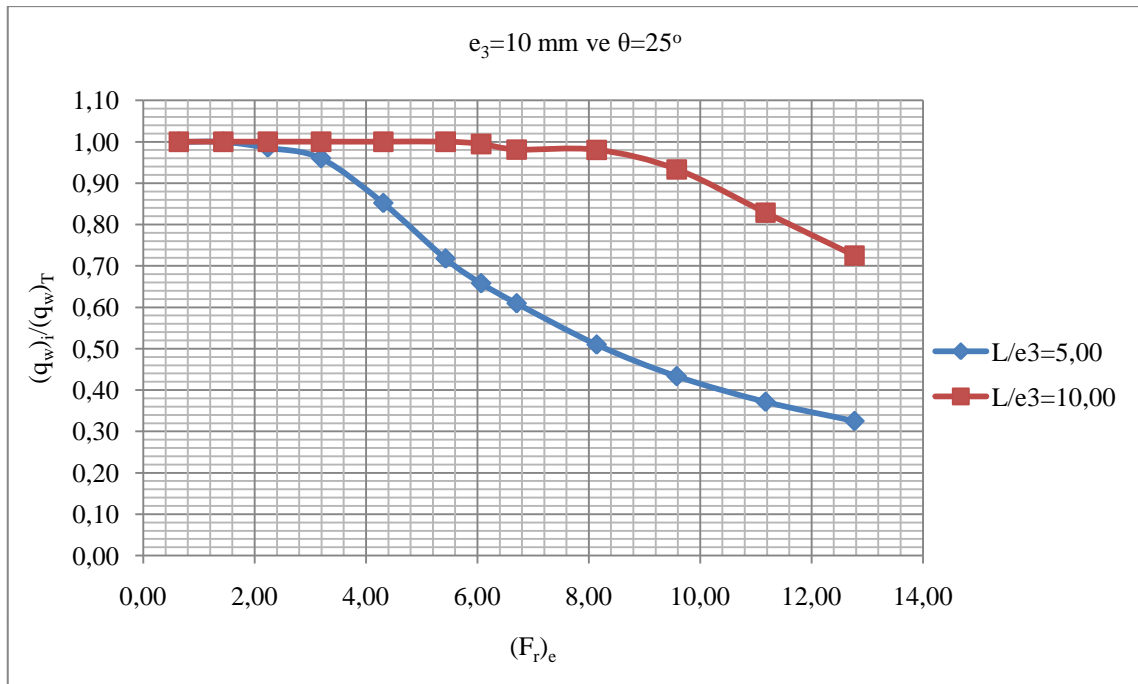
**Şekil 4.11.**  $e_3/a_3=0.5$  ve  $\theta=18$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i / (q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



**Şekil 4.12.**  $e_1/a_1=0.23$  ve  $\theta=25$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i / (q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



**Şekil 4.13.**  $e_2/a_2=0.375$  ve  $\theta=25$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i / (q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi



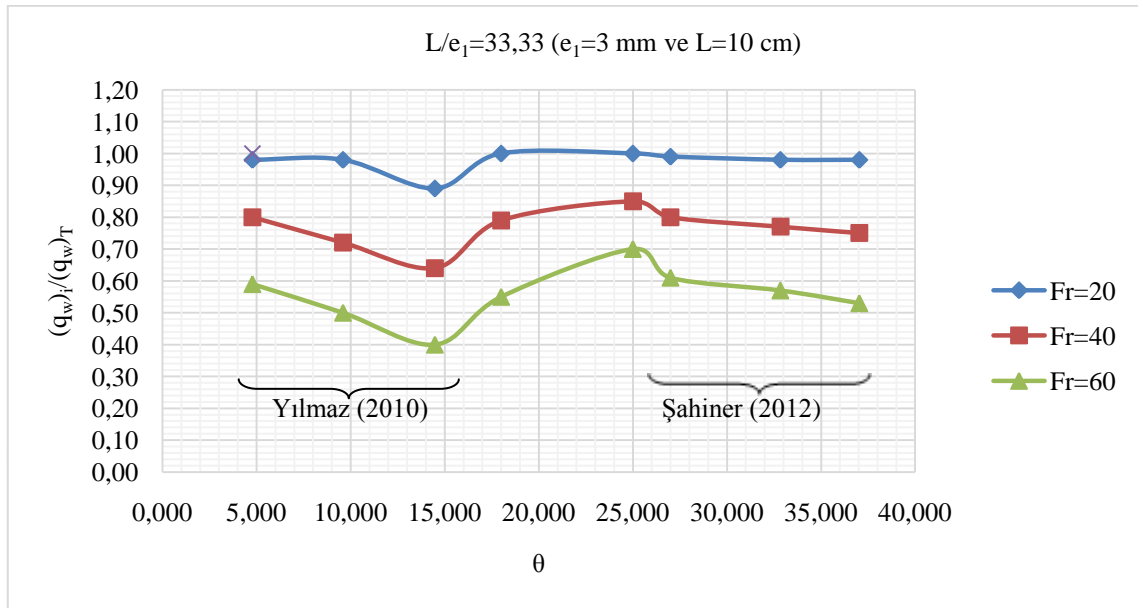
**Şekil 4.14.**  $e_3/a_3=0.5$  ve  $\theta=25$  Su alma kapasitesinin  $((q_w)_i / (q_w)_T)$  Froude sayısı  $((F_r)_e)$  ile değişimi

#### 4.5. Toplanan Verilerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması

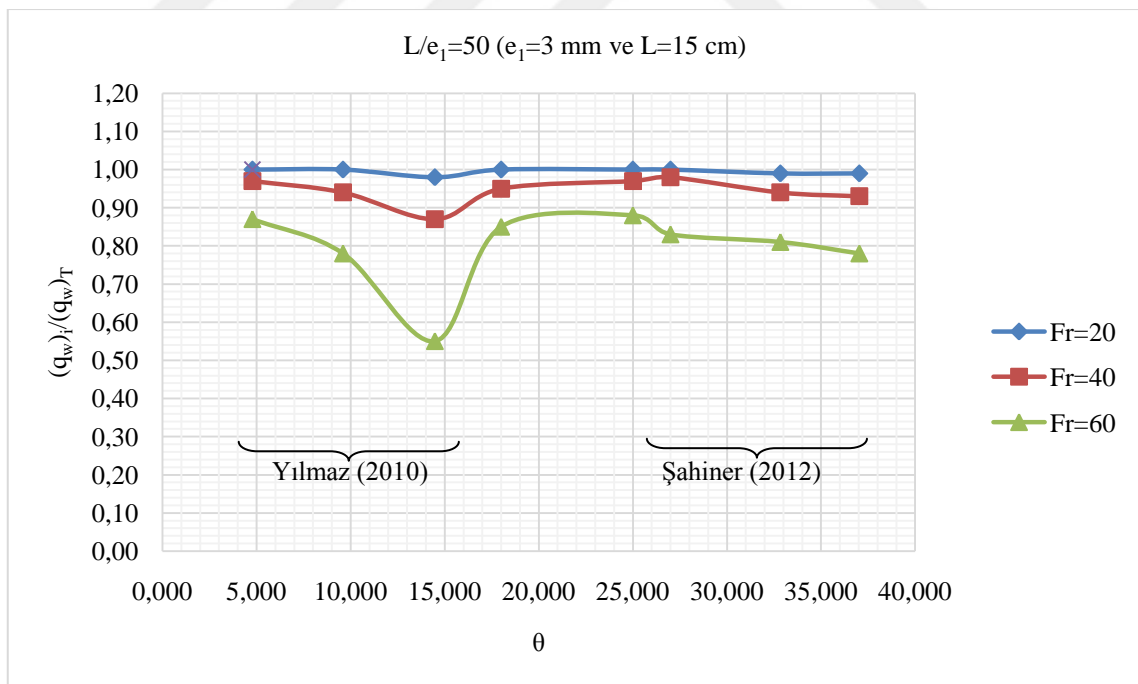
Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar Yılmaz (2010) ve Şahiner (2012)' in benzer çalışmalarının sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Yılmaz (2010) tirol tipi savaklar üzerinde yaptığı çalışmada 4.8, 9.6 ve 14.5 derece eğime sahip ızgaralar kullanmıştır ve Şahiner (2012) ise aynı modelde 27.0, 32.8 ve 37 derece eğimindeki ızgaraları kullanmıştır.

Bu altı farklı eğimdeki ızgaralara ait su alma kapasitelerinin  $(Fr)_e$  ile değişim eğrileri incelenmiş ve test edilmiş olan her bir  $L/e$  değerine ait maksimum su alma kapasite değerleri bilinen  $(Fr)_e$  değerleri için tespit edilmiştir. Benzer çalışma 18 ve 25 derece ızgara eğiminde yapılmış olan deney sonuçları için de tekrarlanmış ve toplamda sekiz farklı ızgara eğimi için  $L/e$  ve  $(Fr)_e$  değerine bağlı olan maksimum su alma kapasite verileri şekiller 4.15.-4.21. de sunulmuştur. Deneysel düzeneklerin boyutları ve ızgara eğimlerinin farklı olmasından dolayı küçük değerlerdeki Froude sayıları  $(F_r)_e$  kıyaslama için seçilmiştir. Bu şekiller göstermektedir ki verilen bir  $(Fr)_e$  değeri için maksimum su alma kapasitesi 14,477 derece ızgara eğimine kadar eğim arttıkça azalmakta ve daha sonra artış göstererek 20-25 derece arasında maksimum değere

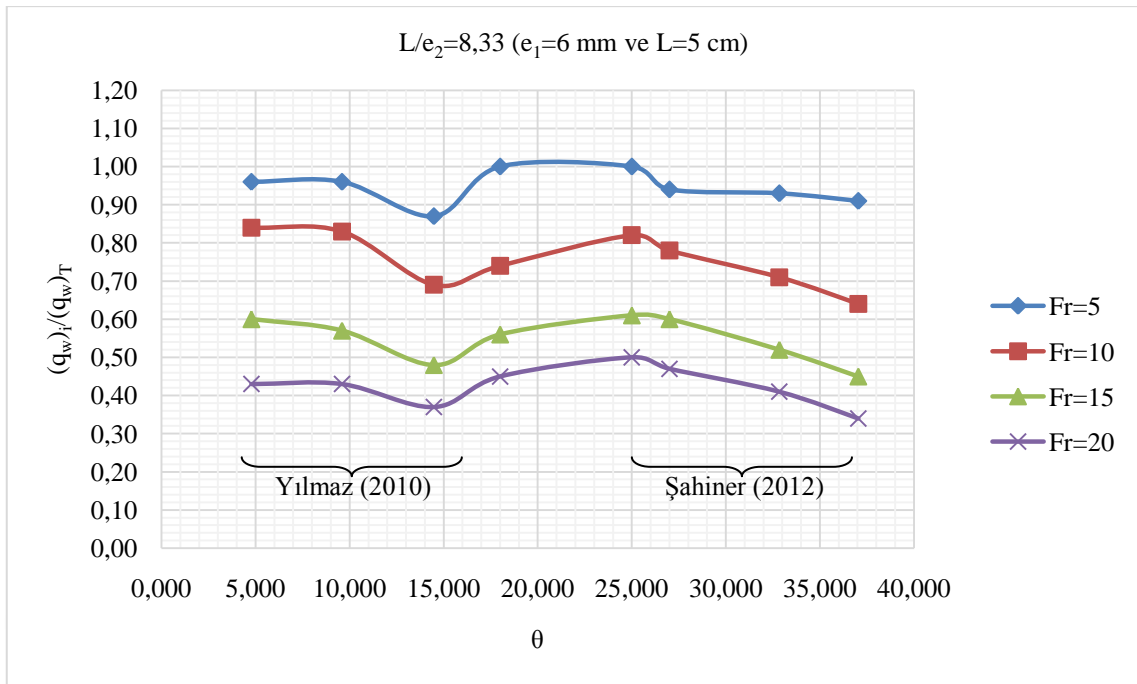
ulaşmaktadır. Izgara eğiminin 25 dereceden itibaren büyümesi durumunda ise, beklenildiği gibi maksimum su alma kapasitesi azalmaktadır.



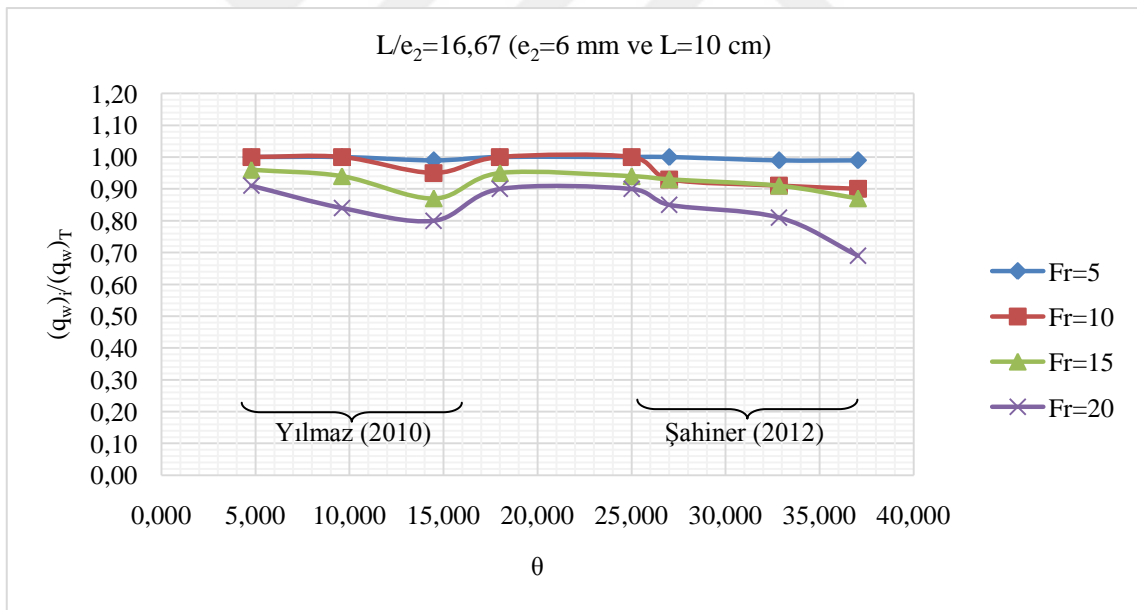
Şekil 4.15.  $L/e_1=33,33$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



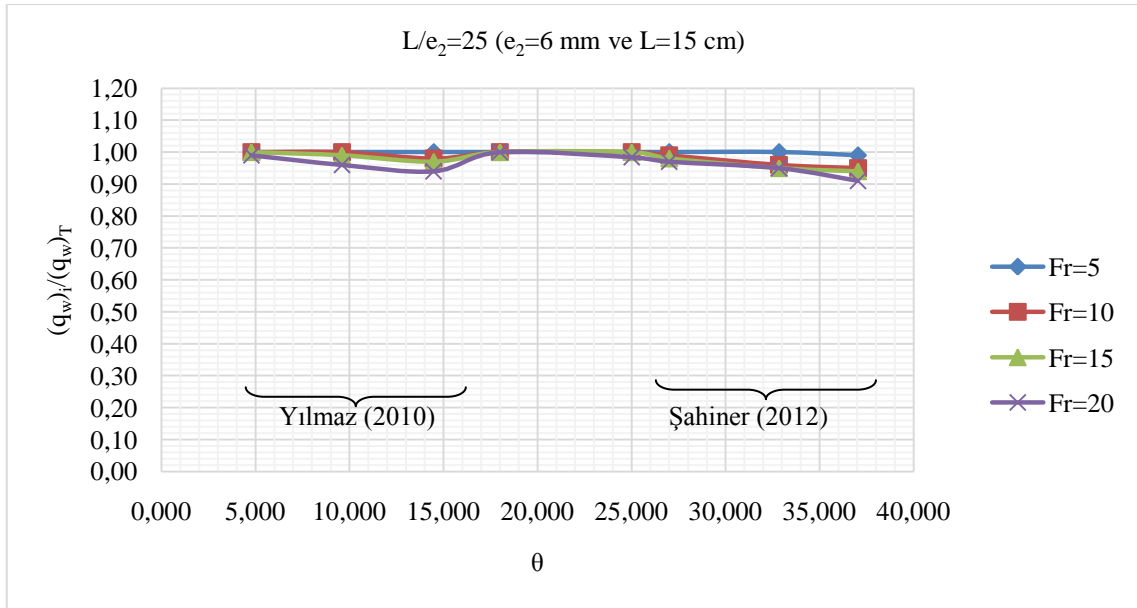
Şekil 4.16.  $L/e_1=50$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



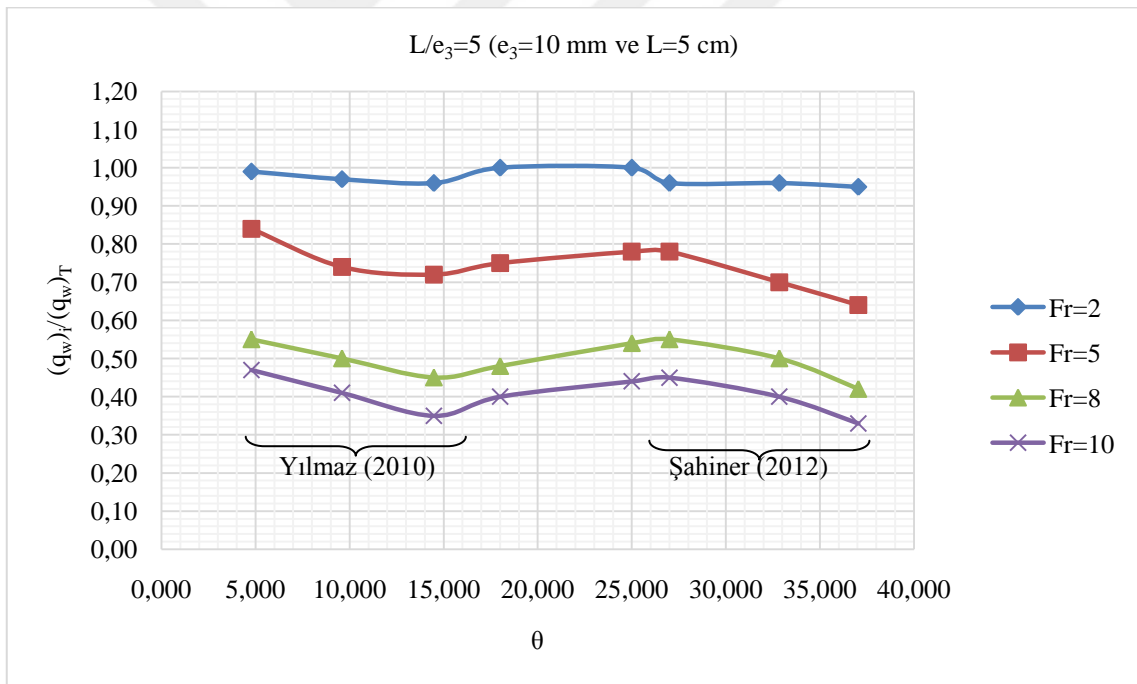
Şekil 4.17.  $L/e_2=8,33$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



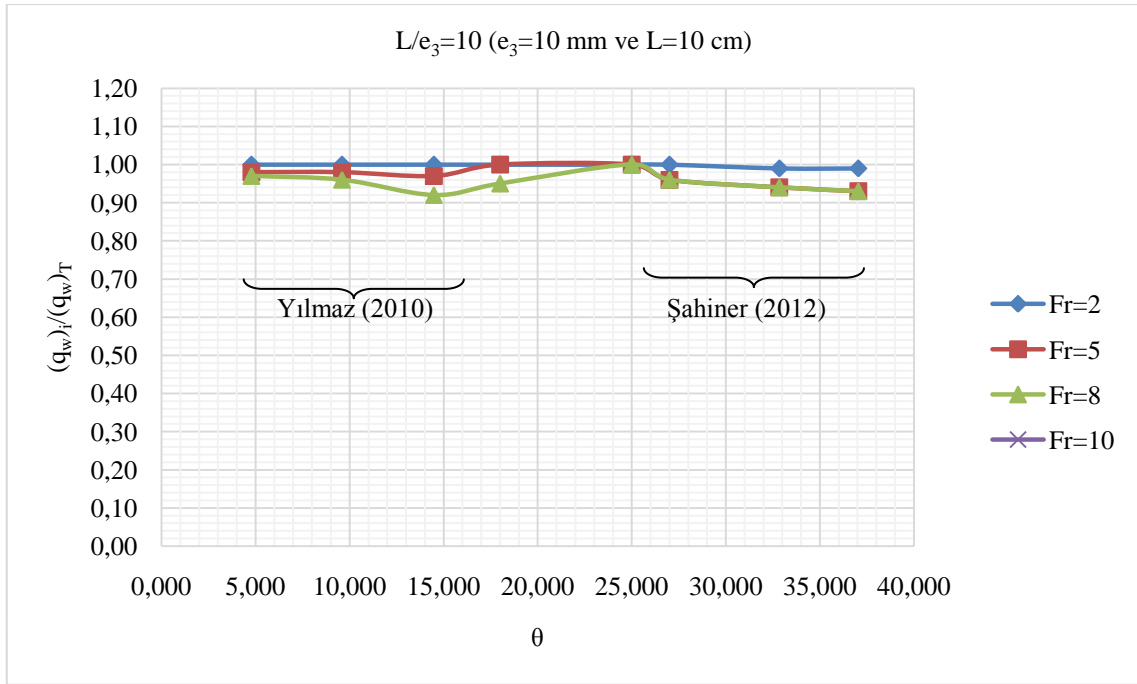
Şekil 4.18.  $L/e_2=16,67$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.19.  $L/e_2=25$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.20.  $L/e_3=5$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.21.  $L/e_3=10$  ızgara açıklığı için Su Alma Kapasitelerinin karşılaştırılması

## 5. TİROL TİPİ SAVAKLARIN NÜMERİK MODELLENMESİ

Hidrolik mühendisliği probleminde yüzyıllardan beri model deneyleri ile çözümler yapılmaktadır. Model deneylerinin oluşturulması uzun, pahalı ve oldukça zahmetli bir iş gücü gerektirmektedir. Gelişen teknoloji ile beraber, bilgisayarın tasarıma girmesi sonucu sayısal analiz yöntemleri ile hızlı ve sağlıklı mühendislik çözümleri bulunabilmekte ve tasarımcı, bu analizleri tasarıma paralel bir şekilde yürüterek ekonomik tasarımlara ulaşabilmektedir.

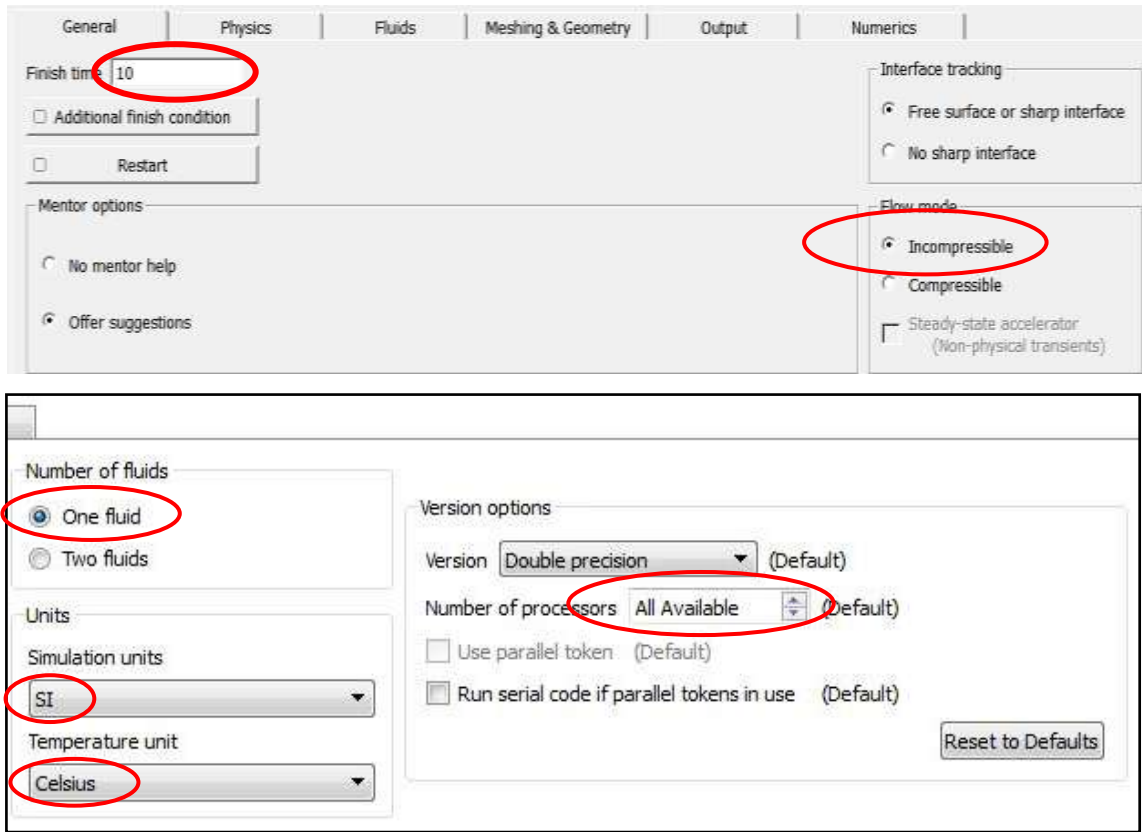
Son 30 yılda hesaplama tekniklerinin gelişmesiyle beraber büyük ilerleme kaydeden nümerik modelleme teknikleri artık birçok uygulamada kullanılmaktadır. Günümüzde nümerik modelleme teknikleri laboratuarda yapılan fiziksel deneylerin yerini almaya başlamış ve hidrolik mühendisliğinde kullandığımız birçok yapının tasarım aşamasında uygulanmaktadır. Kullanılan nümerik modelleme tekniklerinin en başında ise Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) gelmektedir. Bu çalışmada laboratuarda oluşturulan gerçek bir deney düzeneğinin Flow-3D kullanarak nümerik modellemesi yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları ile nümerik model sonuçları kıyaslanmıştır.

### 5.1. Fiziksel Modelin Flow-3d Programı İle Modellenmesi

Modelin oluşturulmasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

#### 5.1.1. General

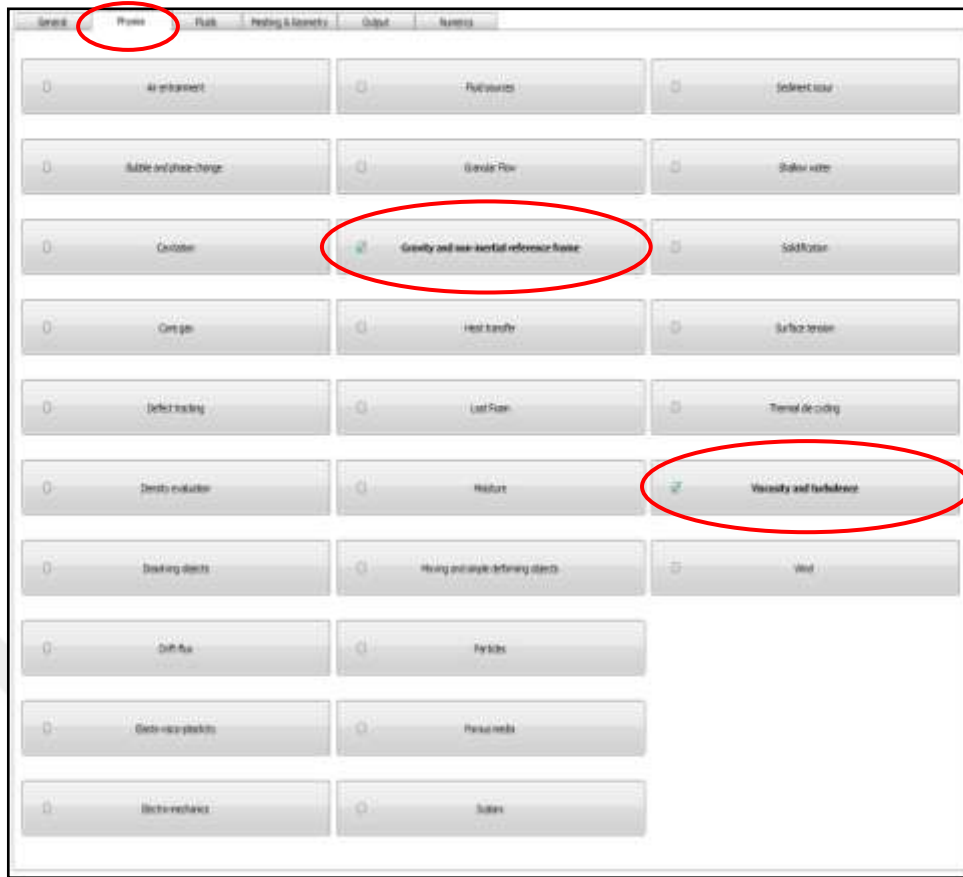
Programın “General” kısmından analizin genel ayarları yapılmaktadır. Yapılan modelin analiz süresi 15 sn olarak belirlendi. Sürenin 10 sn olarak belirlenmesinin amacı akımın oturması için yeterli bir süre olmasıdır. Ayrıca “restart” kısmı aktifleştirilerek her 0,5 sn’de bir başlangıç noktası kaydı yapılmıştır. Birimler SI sistemine göre ayarlanmış olup sıcaklık Celcius olarak seçilmiştir. Akışkan sayısı kısmından tek akışkanlı sıvı ve “flow mode” (akım modu) kısmından “incompressible (sıkıştırılmaz) mod” seçilmiştir. Bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak “number of processors” kısmından işlemin kaç çekirdekte yapılabileceği seçilmektedir (Şekil 5.1.).



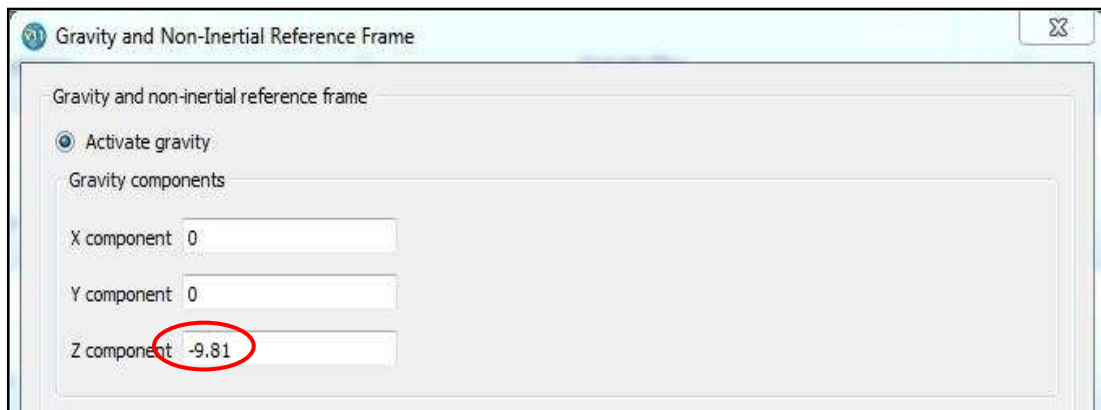
Şekil 5.1. Flow-3D genel ayarlar sekmesi

### 5.1.2. Physics

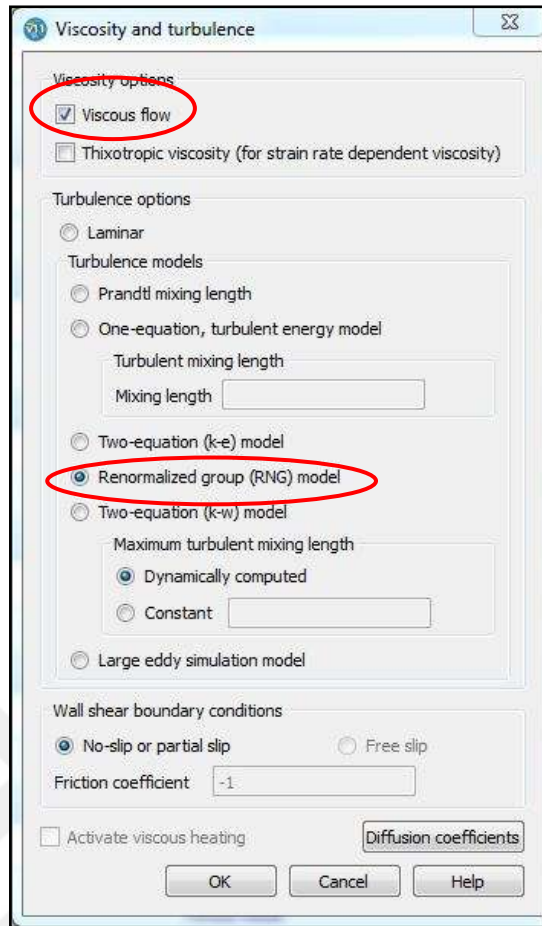
Programın ara yüz'ünde çok fazla fiziksel seçenek olmasına rağmen, yaptığımız fiziksel çalışmanın doğru bir şekilde modellenmesi için bunlardan 2 tanesini açmak yeterli olacaktır. Yerçekimi kuvvetlerini aktif yapmak için GRAVITY seçilerek yerçekimi kuvveti z ekseninde  $-9.81 \text{ m/s}^2$  olarak girilmiştir. Türbülans ve viskozite etkileri aktif edilmiş ve farklı türbülans modelleri için denemeler yapılmıştır. Sonuçların incelenmesi neticesinde, ikinci dereceden modeller (k-e or RNG) veya daha yüksek dereceden modeller kullanıldığı sürece sonuçlar arasında farklılık görülmemektedir. Yapılan çalışmanın değerlendirilmesinden, normalize edilmiş grup türbülans modeli (RNG) kullanılması daha uygun görülmüştür. Flow-3D kullanma kılavuzunda RNG türbülans modelinin açık kanallarda en doğru sonucu verdiği belirtilmiştir. Bundan dolayı nümerik modelde RNG türbülans modeli kullanılmıştır (Şekiller 5.2.-5.4.).



Şekil 5.2. “Fizik” sekmesindeki aktif edilen seçenekler



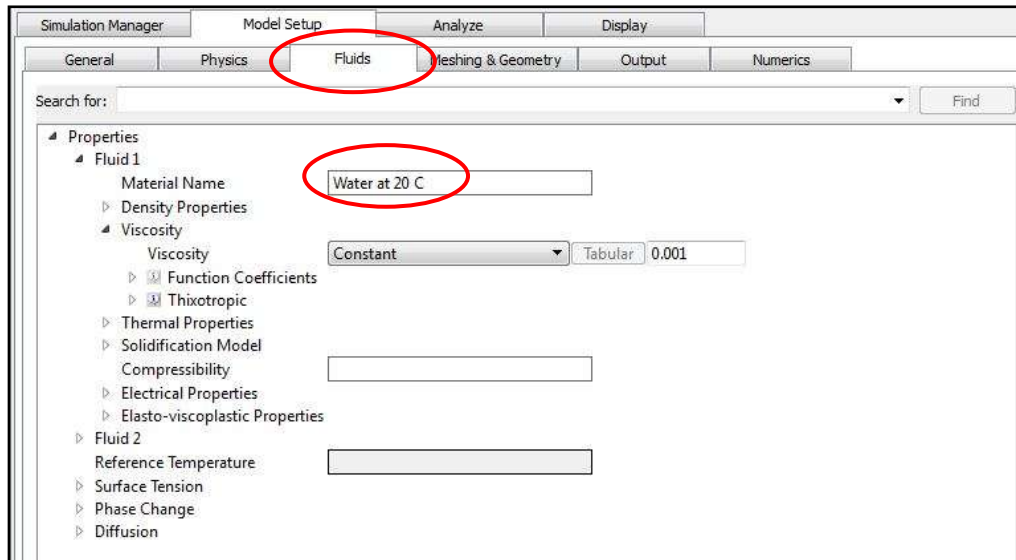
Şekil 5.3. Yerçekimi kuvvetinin koordinat düzlemine göre seçilen yönü ve büyüklüğü



Şekil 5.4. Viskozite ve türbülans modeli ayarları

### 5.1.3. Fluids

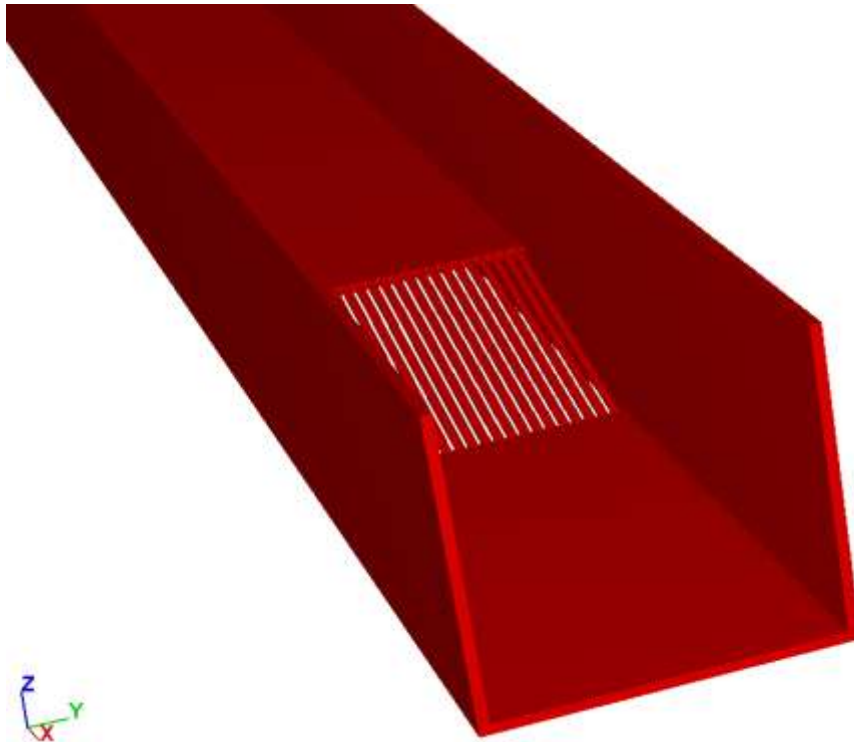
“Fluids” sekmesini kullanarak, kullanılmak istenilen akışkanlar seçilir. Oluşturulan sistemde su kullanacağımız için, akışkan olarak 20°C derecede su seçilmiştir. Suyun kinematik viskozitesi program tarafından tanımlanan 0,001 değerinde sabit bırakılmıştır. (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Seçilen akışkan ve özellikleri

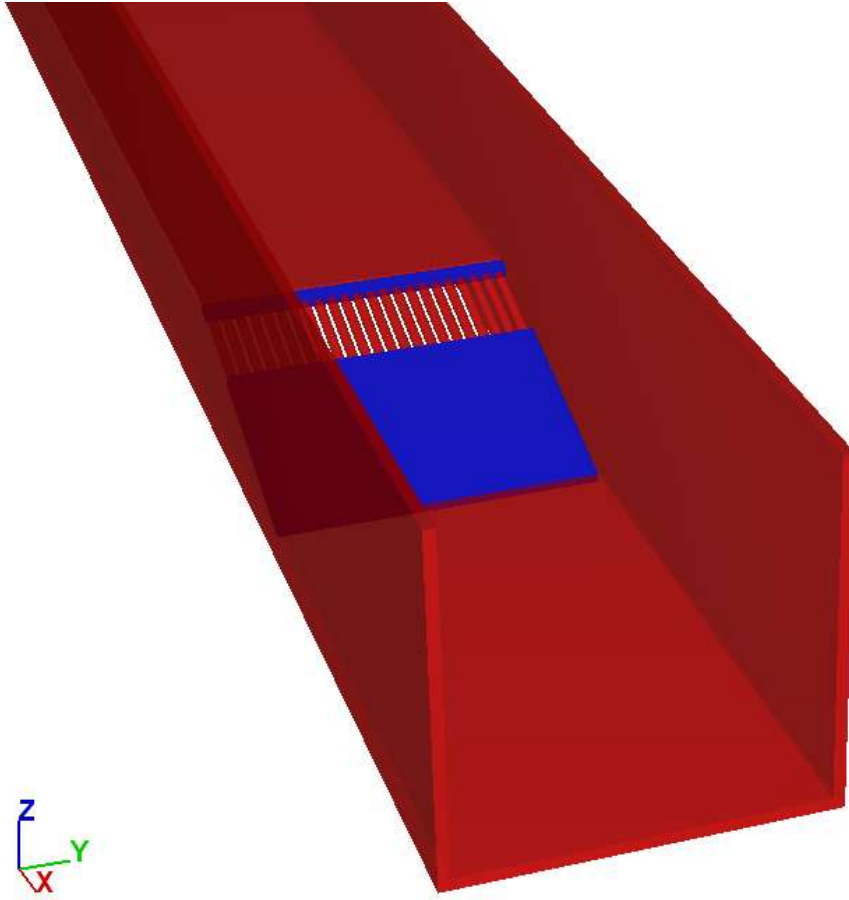
#### 5.1.4. Geometry

Fiziksel model, AUTOCAD ortamında birebir boyutlarda çizilmiştir. Model AUTOCAD'de çizildikten sonra STL formatında kayıt edilip Flow-3D'nin "Import" seçeneği ile Flow-3D'ye katı olarak tanımlanarak aktarılmıştır (Şekil 5.6.-5.7.).



Şekil 5.6. Izgaraların Flow-3D ile modellenmesi

Şekil 5.7. da ızgaralar (kırmızı) ve ızgaraların üzerindeki plaka (mavi) gözükmektedir (Şekil 5.7.). Şekil 5.7. de gösterilen durumda ızgara açıklığı  $L=10$  cm olmaktadır. Bu plakanın boyu değiştirilerek  $L=10$  cm,  $L=15$  cm farklı ızgara uzunlukları elde edilmektedir. Kanalda suyun akacağı yüzey ve yüzeyi oluşturan plastik katman biraz daha abartılı ve kalın çizilmiştir. Bunun sebebi oluşturacağımız mesh bloğun bu katı kısım içerisinde kalmasını sağlayarak, boş kalan hücrelerde işlem yapılmasını engellemektir.

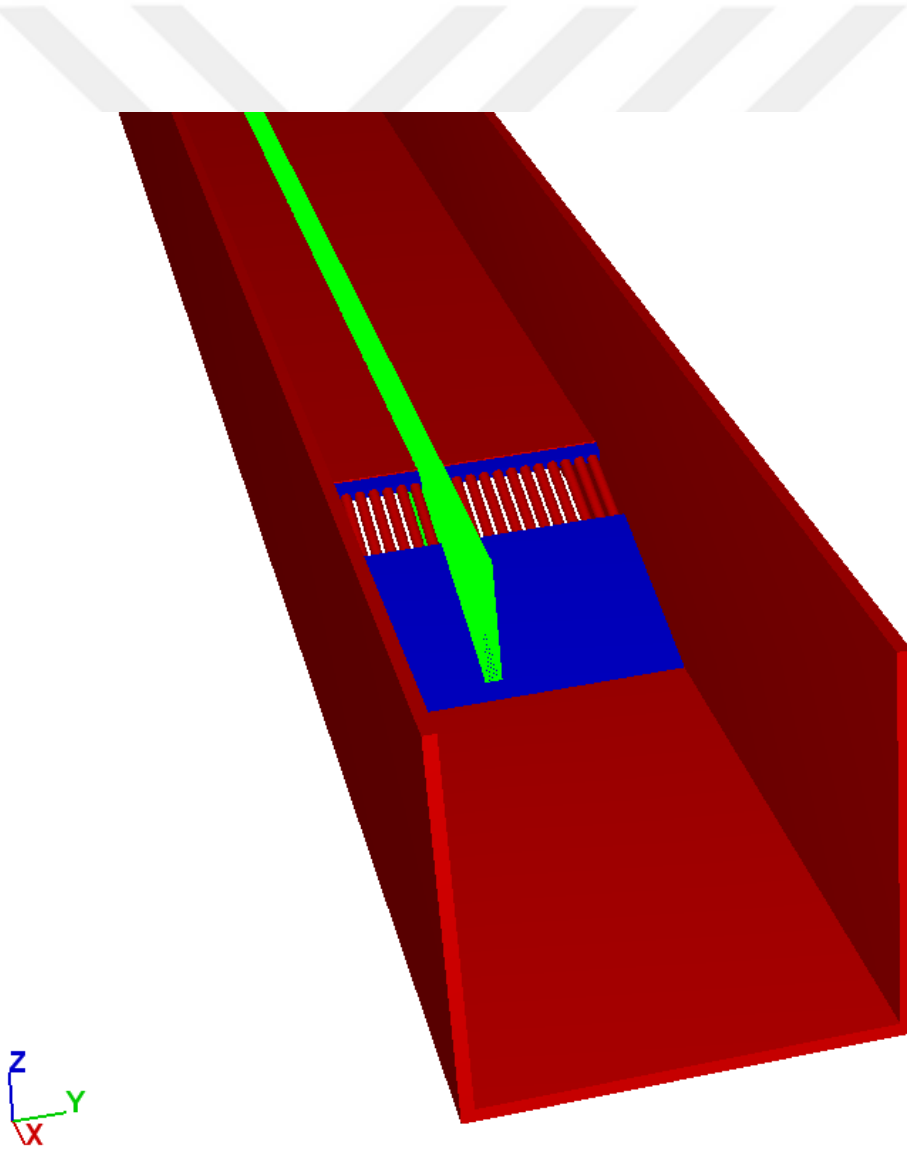


Şekil 5.7. Yapılan modelin Flow-3D'deki genel görünümü

### 5.1.5. Mesh

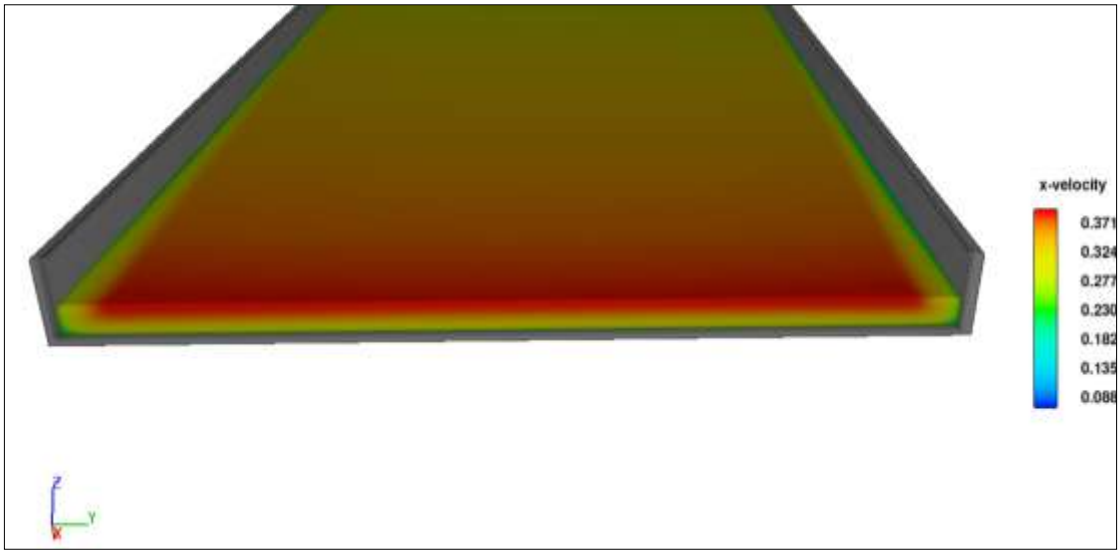
Programda “Mesh” ismi ile belirtilen kısım aslında sonlu elemanlar ağını temsil etmektedir. Bu sonlu elemanlar ağı içinde, her bir hücrede ayrı ayrı işlem yapılmaktadır. Eleman sayısı yani mesh arttıkça analiz süresi uzamaktadır.

“Mesh Block” ise bu mesh’lerin bütünüdür, bir başka deyişle problemde işlem yapılacak bütün sonlu elemanların birleşimidir. Modele “mesh block” tanımlanırken bütün bir model “mesh block” içerisine alınmadı. Bunun sebebi 2 mm eleman boyutunun küçük olması ve bütün bir model “mesh block” içerisinde kalması halinde eleman sayısının çok fazla olması ve analiz süresinin uzamasıdır. Modelin tamamının çözülmesi durumunda eleman sayısı ortalama 10.000.000 olmakta fakat kanalın orta kısmından tek çubuk ile yapılan çözümde 500.000 eleman bulunmaktadır. Bu eleman sayısı kullanılan bilgisayarın kapasitesi sınırları içerisinde ve uygun bir çözüm süresi sunmaktadır. Bu yüzden modelin orta kısmında 1 tane ızgarayı ve çubuk aralıklarının yarısını kapsayacak şekilde bir mesh block tanımlanmıştır. Tanımlanan eleman ağının kanal içerisindeki konumu Şekil 5.8.’de görülmektedir.

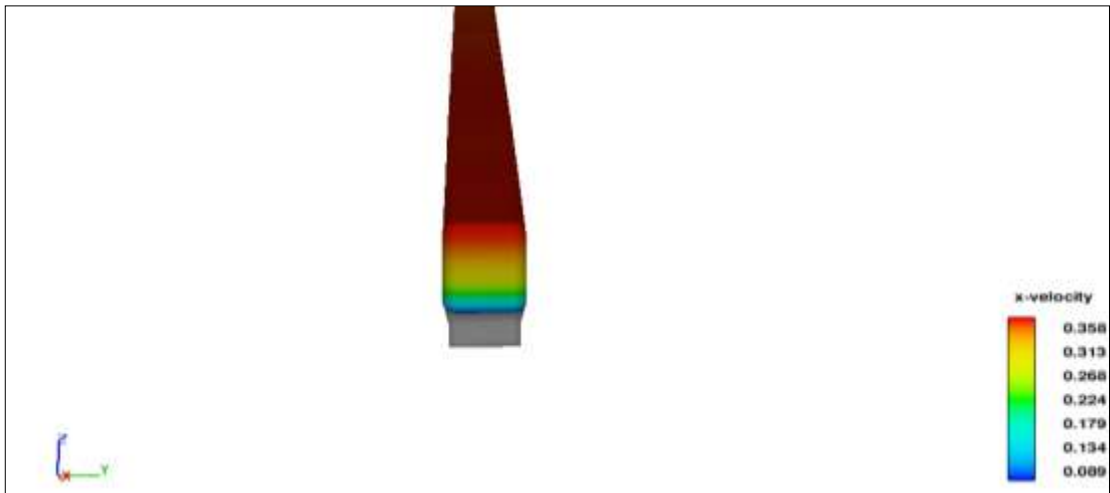


Şekil 5.8. Analizlerde kullanılan örnek bir sonlu eleman ağı

Eleman sayısını düşürmek ve daha uygun analiz süreleri elde etmek için kanalın orta kısmından tek çubuk ile yapılan çözümlerin doğruluğunu test etmek için kanalın tam çözümlemesi ile kesit çözümlemesinin bir karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada akım yüksekliğinin az olması sebebiyle duvar yüzeyleri ile su arasında oluşan kesme kuvvetinin, kanalın orta kısmına etki etmediği görülmüştür. Aynı akım yüksekliğinde kanalın orta kısmında oluşan hız profili ve değerleri birbirlerine son derece yakın çıkmaktadır. Şekil 5.9. ve Şekil 5.10. da kanalın tam çözümünde ve kesit çözümünde oluşan hız profilleri ve değerleri görülmektedir.

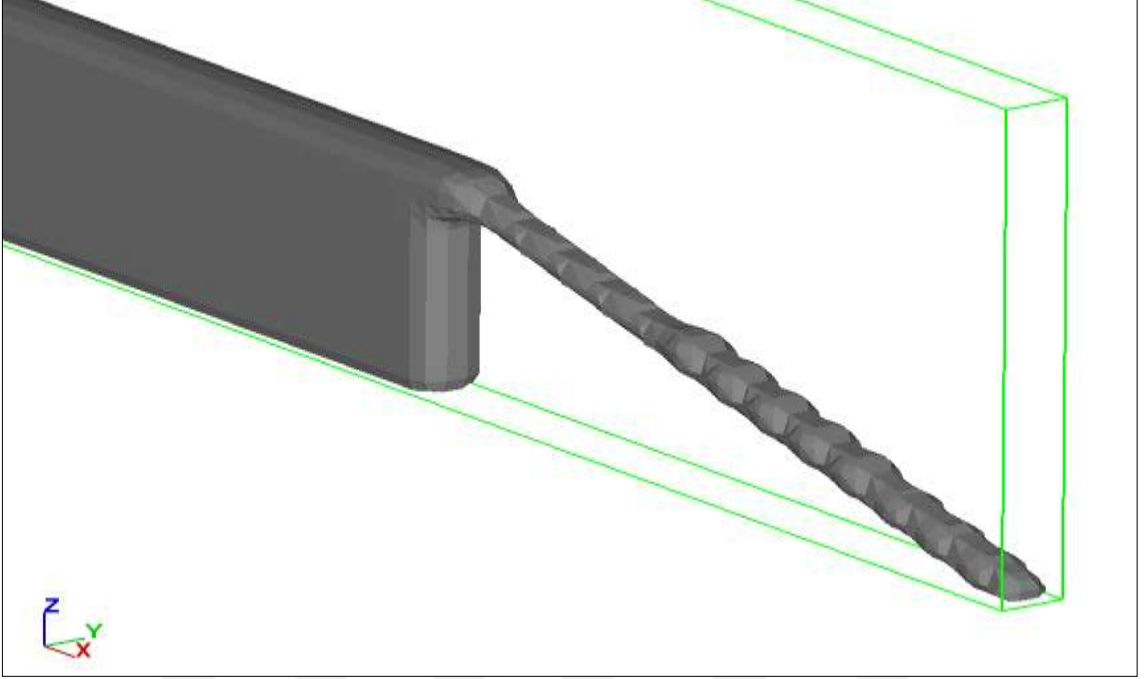


Şekil 5.9. Kanalın tam çözümü ve hız profili

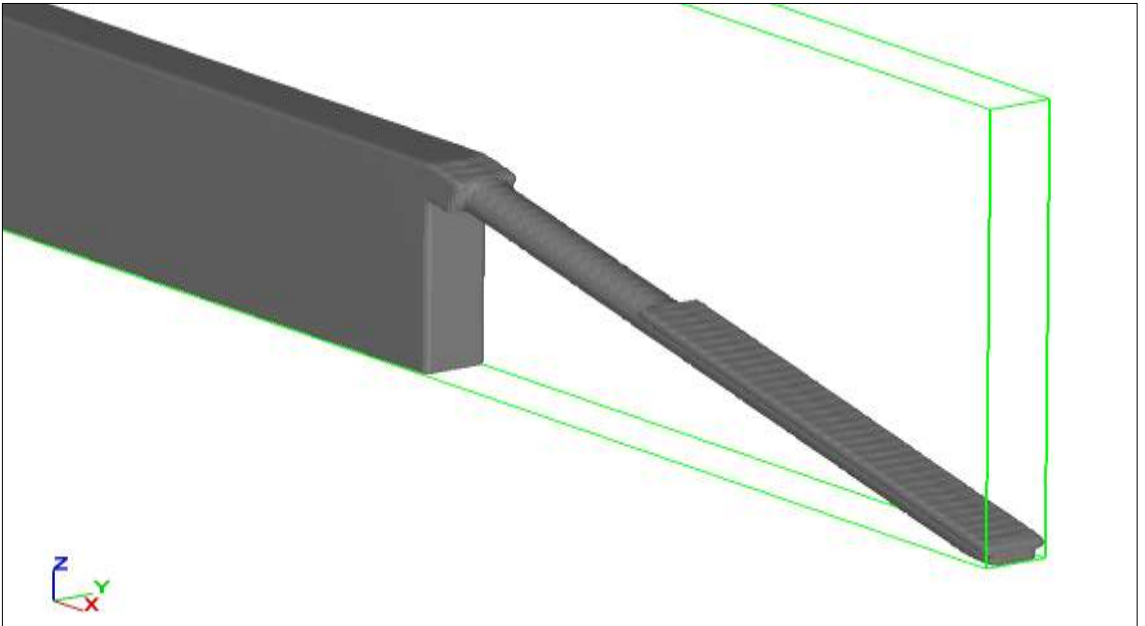


Şekil 5.10. Kanalın tam ve kesit çözümünün karşılaştırılması

Problemde incelemek istediğimiz akışkan mesh block içerisinde kalmalıdır. Program ara yüzünde bulunan FAVOR komutu ile seçtiğimiz katı elemanın program tarafından nasıl algılanacağını göstermektedir.



Şekil 5.11. 5 mm eleman boyutu ile katı cismin program tarafından algılanması



Şekil 5.122. 2 mm eleman boyutu ile katı cismin program tarafından algılanması

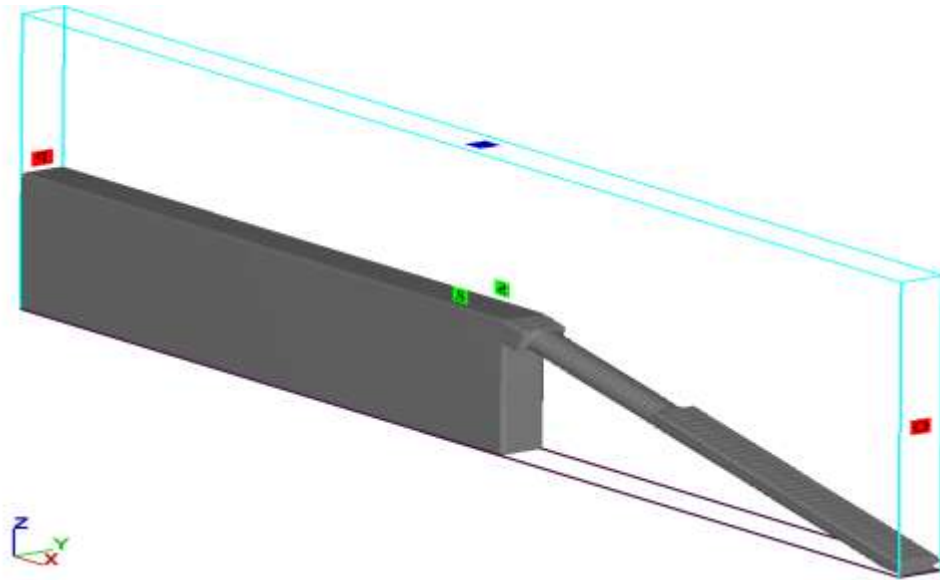
Şekil 5.11. ve Şekil 5.12. de eleman boyutunun 5 mm ve 2 mm olması halindeki durumları gözükmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eleman boyutlar arttıkça şeklin çözünürlüğü azalmakta ve gerçekteki fiziksel modelden uzaklaşmaktadır. Bu yüzden eleman boyutu 2 mm olarak seçildi.

Oluşturulan eleman ağının uzunluğu 2 m, yüksekliği 13 cm ve genişliği çözümü yapılan çubuk ara mesafesine göre 1,3 cm, 1,6 cm ve 2 cm olmaktadır. Yapılan çözümlerde sürekliliği sağlayarak, daha doğru sonuçlar elde etmek için tek boyutta elemanlar kullanılmıştır.

### 5.1.6. Boundary conditions

Nümerik modellemede en önemli adım sınır koşullarının tanımlanmasıdır. Sınır koşullarındaki sınırı oluşturan düzlemler, mesh (elemanları) tanımlarken kullandığımız sınırlardır. Birim elemanları tanımlarken sadece sınır olarak verdiğimiz düzlemlere en son aşamada koşullar atanmalıdır. Bu adımın doğru yapılması programı iyi kullanmanın yanında mühendislik bilgisi de gerektirmektedir.

Koordinat düzleminin her bir ekseninin başlangıcını (+x,+y,+z) ve bitişini (-x,-y,-z) oluşturacak toplamda tanımlamamız gerek 6 tane düzlem bulunmaktadır (Şekil 5.13.). Düzlemler gerçek şartlardaki fiziksel deney ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. Sınır koşulları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.



Şekil 5.13. Sınır koşullarını gösteren düzlemler (6 adet)

Suyun kanala girdiği düzlem (-x); Pressure (P) olarak tanımlanmıştır. Bu düzlem vasıtasıyla kanala su sağlanmaktadır. Gerçek sistemdekine benzer olarak su belirli bir yüksekliği ve sıfır hız ile kanala girmektedir. Nümerik modelde suyun sisteme girdiği -x konumu ile fiziksel modeldeki suyun haznedan kanala girdiği yer aynı konumdadır. Debi-Yükseklik eğrisinde elde edilen ölçümler ile aynı debi-yükseklik değerleri kullanılmıştır.

Suyun sistemi terk ettiği düzlem (-z ve +x); Outflow (O) olarak tanımlanmıştır. Suyun kanalı terk ettiği yani kanalın sonunda outflow (çıkış) olarak tanımlanmıştır. Sistemde ızgaraların altında -z konumunda ve ızgaraların sonun +x konumda olmak üzere iki adet çıkış sınır bulunmaktadır. Bu sınırdan su çıktıktan sonra kaybolmakta ve sisteme herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu sınırlardan geçen suyun debileri analiz sonuçlarında gözükmemekte ve  $((q_w)_i/(q_w)_T)$  oranının bulunmasını sağlamaktadır.

Kanalın atmosfere açık olan kısmı üst yüzey (+z); Pressure (P) olarak tanımlanıp basınç değeri 101300 Pa olarak yani açık hava basıncı olarak tanımlanmıştır.

Kanalın yan yüzeyleri (-y ve +y); Symmetry (S) olarak tanımlanmıştır. Çözüm yapılan kısım kanalın orta kesitinde olduğu için kenarlarda oluşan kesme kuvvetinin orta kısma etkisi olmamaktadır. Bu yüzden mesh block'un +y ve -y konumlarında ki sınır koşulu tanımlanırken Symmetry olarak tanımlanmıştır. Bu sayede su kenarlarda hiç sürtünme yokmuş gibi davranmaktadır.

### 5.1.7. Output

Output (çıkış) kısmından, analiz sonucunda elde edilmek istenen sonuçların seçimi yapılabilmektedir. Buradan yapılacak seçimler analiz süresini doğrudan etkileyeceği için gereksiz sonuç isteklerinde bulunulmaması gerekmektedir. Seçimleri yaparken hidrolik bilgilerin kullanılması gerekmektedir. Kullanılan modelde akım derinliği, Froude sayısı ve hız gibi bileşenleri içeren "Hydraulic Data" ve elemanların doluluk oranlarını gösteren "Fluid Fraction" seçenekleri aktif edilmiştir.

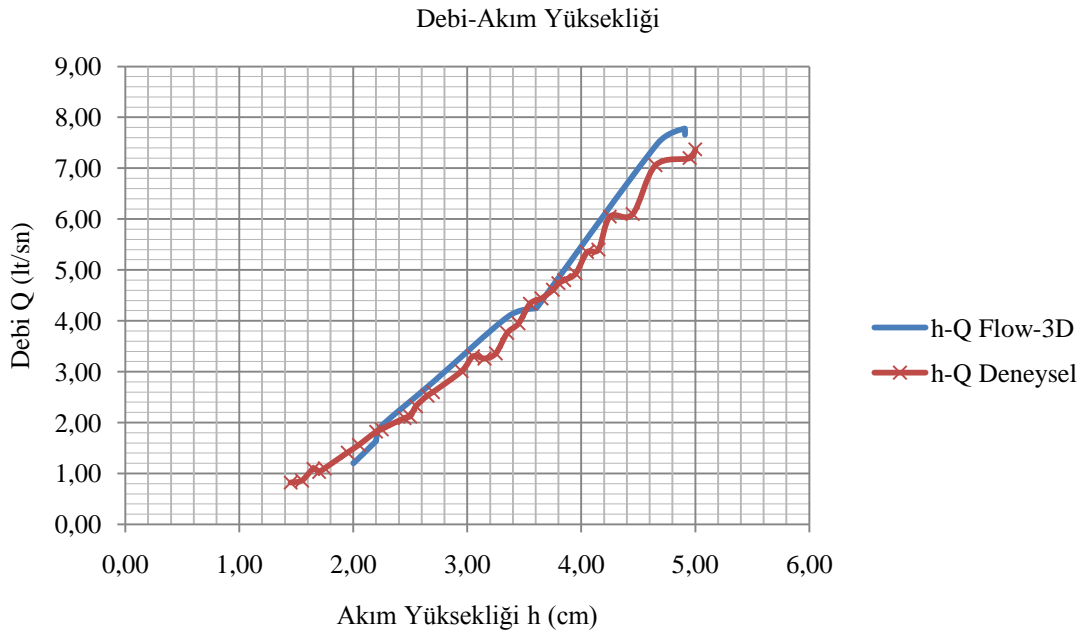
## 5.2. Fiziksel Model Ve Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Laboratuarda oluşturulan fiziksel modelin ve Flow-3D'de oluşturulan nümerik modelin sonuçları, debi-akım yüksekliği ilişkisi, ızgaralardan önce oluşan kritik akım

yükseklikleri ve Su Yakalama Kapasitesi  $((q_w)_i/(q_w)_T)$  olmak üzere üç açıdan değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

### 5.2.1. Debi-yükseklik grafiği

Fiziksel modelde olduğu gibi nümerik modelde de kanaldan geçen debi ve o debiye dek gelen akım yüksekliklerinin kalibrasyon eğrisi elde edildi. Nümerik modelden debi-yükseklik eğrisi elde edilirken debilere karşılık gelen akım yükseklikleri fiziksel modeldeki aynı konumda okunmuştur (Şekil 5.14.).

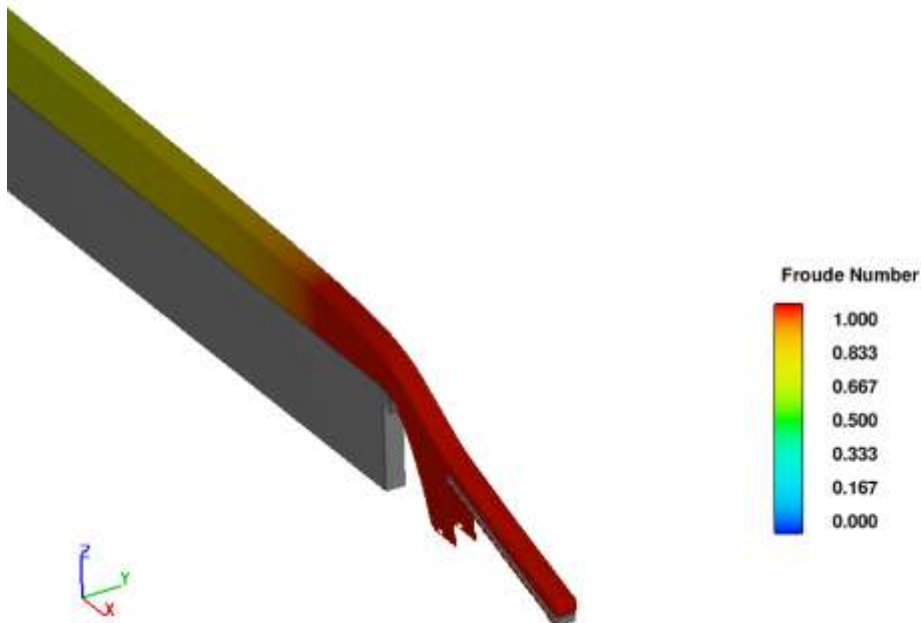


Şekil 5.14. Debi-Akım yüksekliği ilişkisinin Deneysel ve Sayısal model sonuçlarının kıyaslanması

Şekil 5.14. den görüleceği üzere deneysel ve sayısal modellerden elde edilen verilere göre ana kanalda ölçülen debi-yükseklik sonuçları bakımından modeller yüksek oranda örtüşmektedir. Bu tutarlılık sayısal modelin açık kanallardaki akımı başarılı bir şekilde modellediğini göstermektedir.

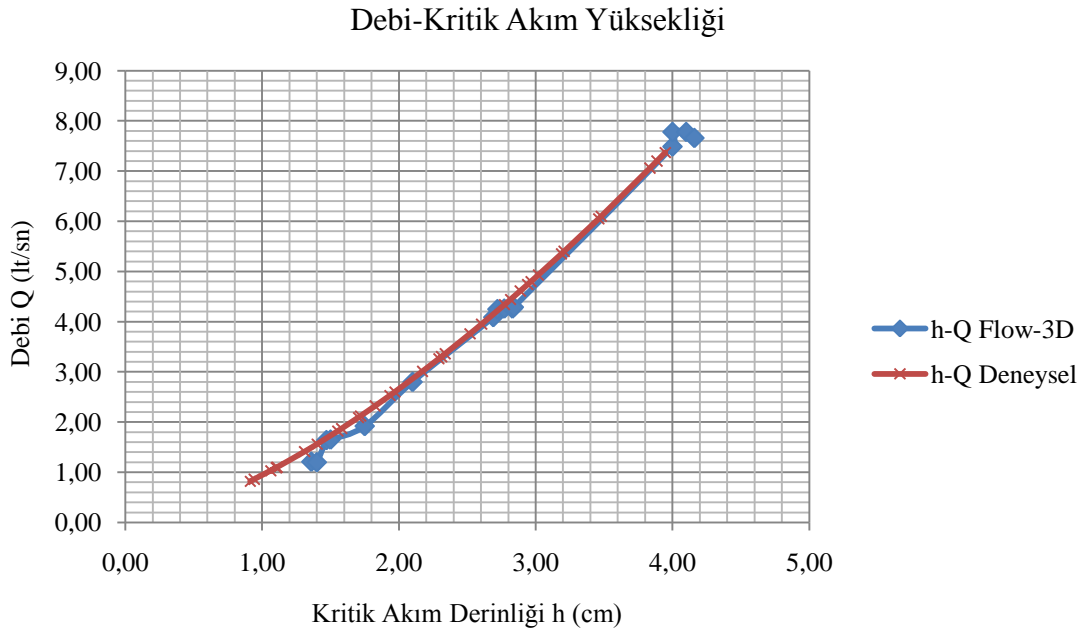
### 5.2.2. Kritik akım yükseklikleri

Teorik çalışmalar kısmında da bahsedildiği gibi akım, ızgaralara varmadan önce kritik akım derinliğine ulaşmaktadır. Kritik akım yüksekliğinin tam olarak nerede oluşacağı bilinmemekle birlikte ızgaralardan önce ızgaralar yakın bir konumda oluşacağı tahmin edilmektedir. Sayısal modelde kritik akımın yüksekliğini ve konumunu belirlemek için Froude sayısından faydalanılmıştır. Programdan sonuç alınırken Froude sayısı aralığı  $0 < F_r < 1$  olarak ayarlanmış ve kritik akım yüksekliğinin konumu tam olarak belirlenmiştir (Şekil 5.15.). Her debi için belirlenen bu konumlar daha sonra kritik akım yüksekliğinin ölçümü için kullanılmıştır (Şekil 5.16.).



Şekil 5.15. Sayısal modelde  $(F_r) > 1$  olduğu bölge (kırmızı) ve kritik akım yüksekliğinin oluşması

Sayısal modelden elde edilen kritik akım yüksekliklerinin fiziksel model sonuçları ile kıyaslanması sonucu elde edilen. Şekil 5.16. da gösterildiği gibi kritik akım yükseklikleri hemen hemen aynı çıkmaktadır. Kritik akım yüksekliklerinin karşılaştırılması, kullandığımız Flow-3D programının değişen akım şartlarında yaptığı hesapların doğruluğunu göstermektedir.



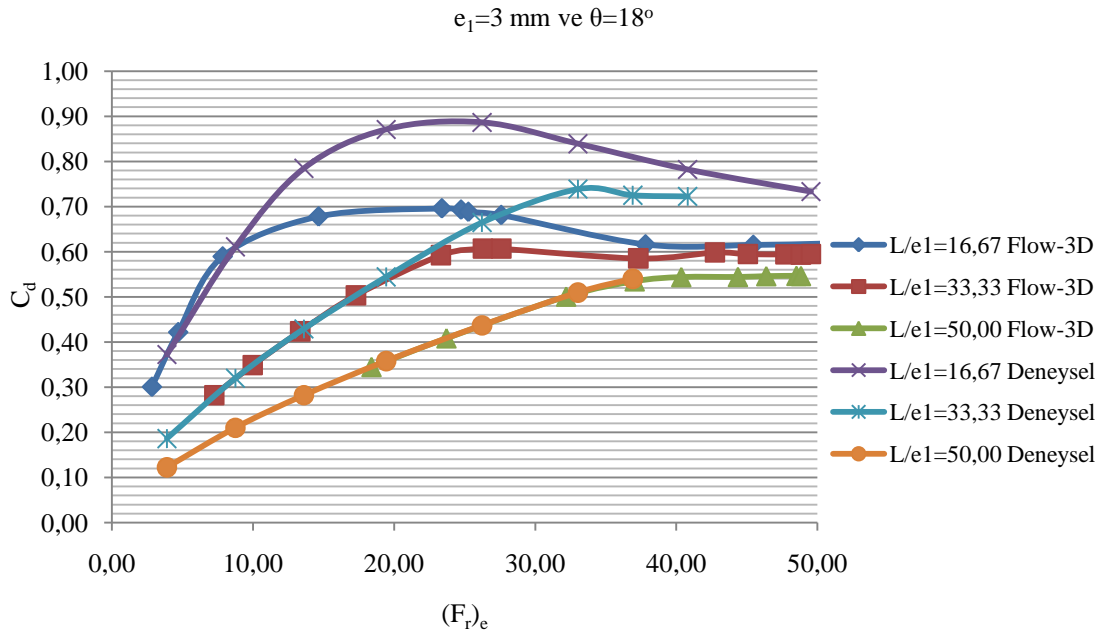
Şekil 5.16. Debi-Kritik akım yüksekliği ilişkisinin Deneysel ve Sayısal model sonuçlarının kıyaslanması

### 5.2.3. Debi katsayısı ve boyutsuz parametreler arasındaki ilişki

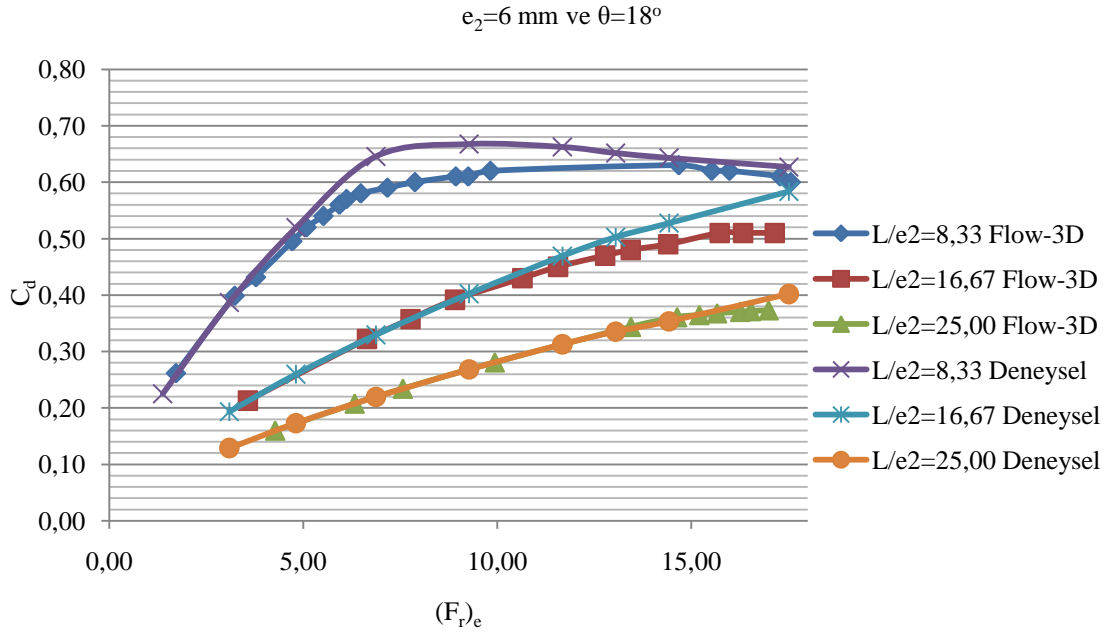
Bu bölümde  $18^\circ$  eğime, 3mm, 6mm ve 8 mm'lik çubuk ara mesafesine sahip ızgaraların sayısal ve deneysel model sonuçlarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı grafikler üzerinde gösterilerek sayısal model ve deneysel model sonuçlarının tutarlılığı incelenmiştir(Şekil 5.17.-5.22.).

Fiziksel modelin sayısal modeli oluştururken  $25^\circ$  derece eğime sahip ızgaralara yer verilmiştir. Bunun sebebi Flow-3D de kullanılan sonlu eleman sisteminin, koordinat düzlemine paralel olarak konumlandırılması ve  $25^\circ$ 'ye sahip ızgaraların bu eleman ( mesh block) sistemi içerisinde çok fazla parçalanmasıdır. Parçalanmayı engellemek için daha küçük boyutlarda elemanlar ile çözümlemenin yapılması gerekmektedir fakat 2 mm'nin altındaki eleman boyutlarında analiz süresi çok uzamakta ve kullanılan bilgisayar sistemi yetersiz kalmaktadır.

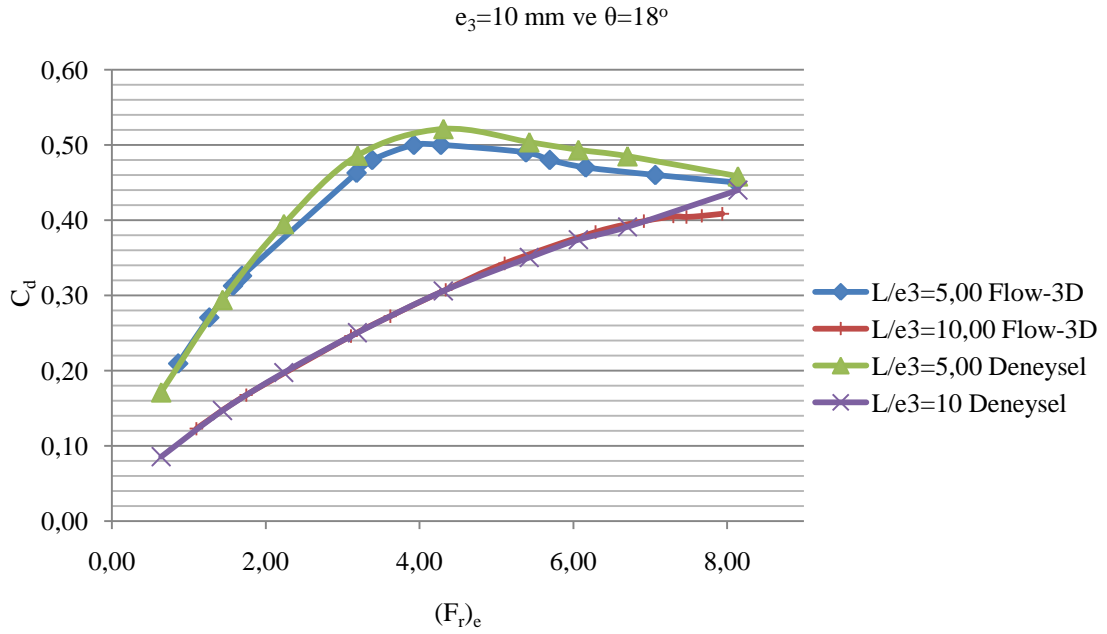
Nümerik ve deneysel modelin debi katsayısı ( $C_d$ ) ve su alma kapasitesi  $(q_w)_i/(q_w)_T$  'nin Froude sayısına bağlı değişimleri aynı grafikler üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.17.-5.22.). Grafikler incelendiğinde, nümerik modelden elde edilen debi katsayısı ve su alma kapasitesi değerleri ızgara açıklığı arttıkça deneysel sonuçlara yaklaşmaktadır. Bunun sebebi, çubuk aralığı arttıkça kullanılan sonlu eleman ağının kesiti artmakta ve kesit daha fazla eleman içermektedir. Analiz esnasında suyun geçebileceği daha çok hücre bulunmakta ve daha doğru sonuçlar elde edilmektedir.



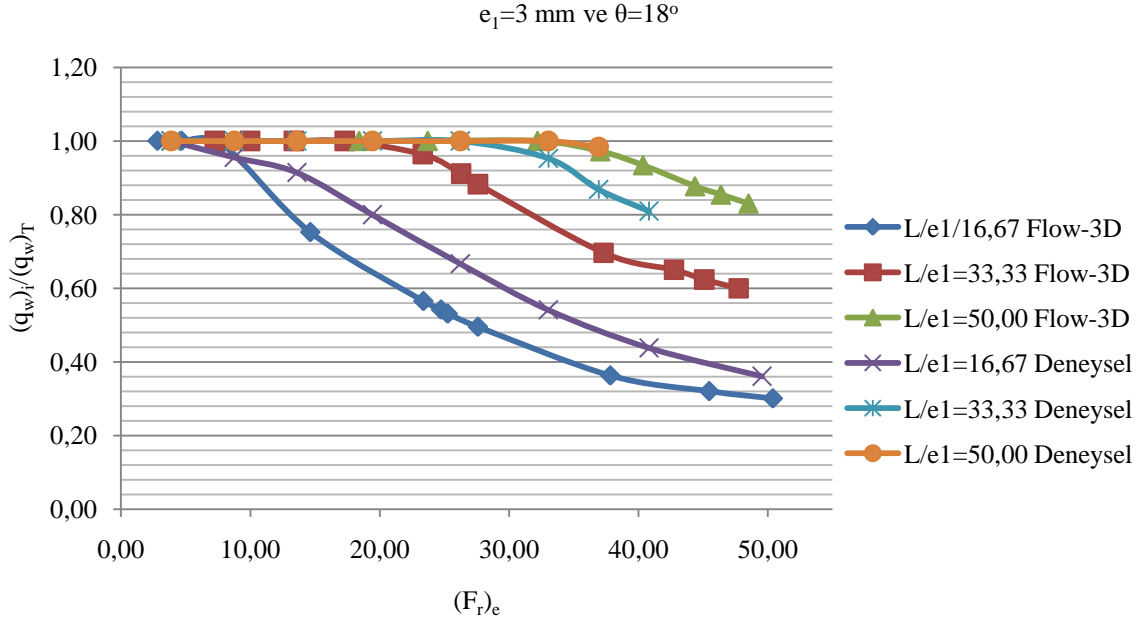
**Şekil 5.17.** Çubuklar arası mesafenin  $e_1=3 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda debi katsayısı  $C_d$  'nin deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması



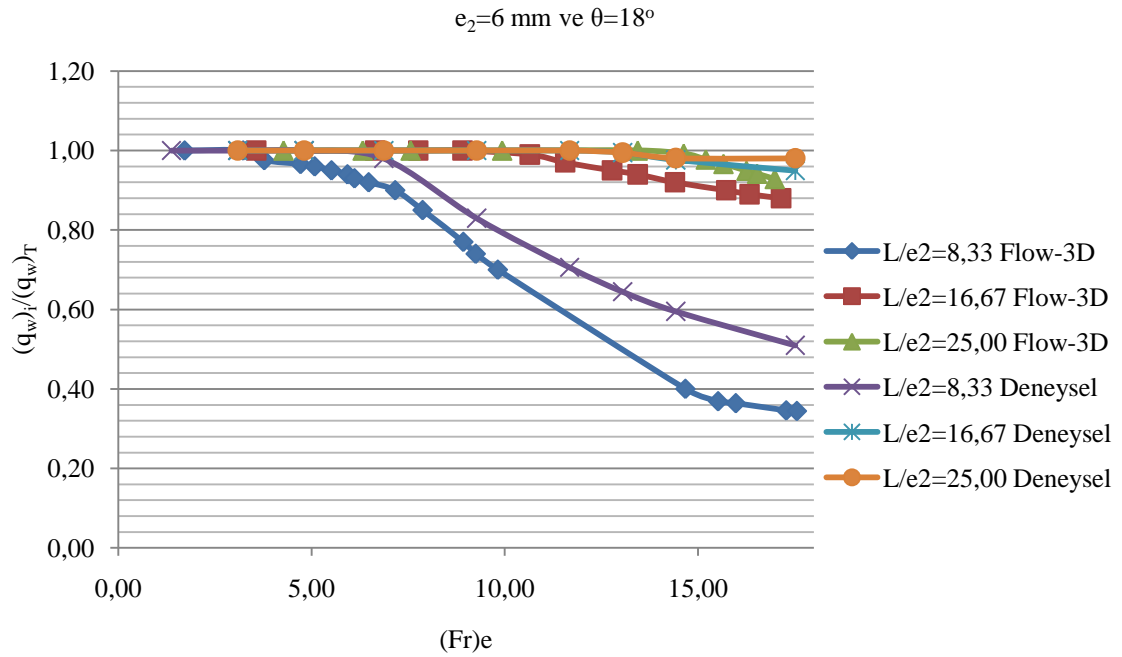
Şekil 5.18. Çubuklar arası mesafenin  $e_2=6 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda debi katsayısı  $C_d$  'nin deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması



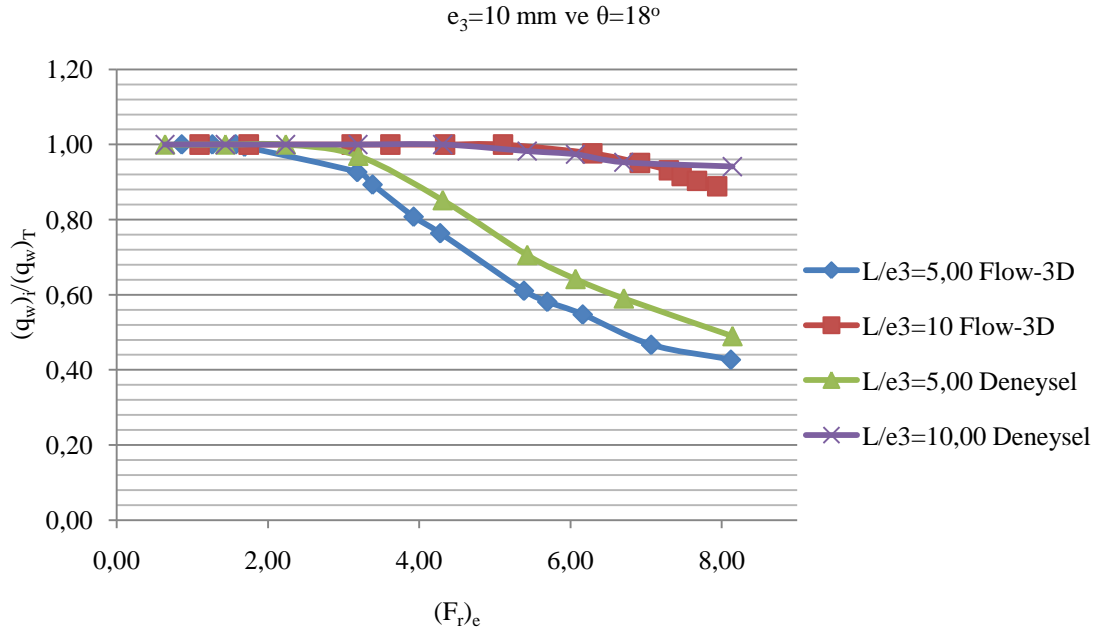
Şekil 5.19. Çubuklar arası mesafenin  $e_3=10 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda debi katsayısı  $C_d$  'nin deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 5.20.** Çubuklar arası mesafenin  $e_1=3 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda su alma kapasitesi  $(q_w)_i/(q_w)_T$  deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 5.21.** Çubuklar arası mesafenin  $e_2=6 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda su alma kapasitesi  $(q_w)_i/(q_w)_T$  deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 5.22.** Çubuklar arası mesafenin  $e_3=10 \text{ mm}$  ve ızgara eğiminin  $\theta=18^\circ$  olduğu durumda su alma kapasitesi  $(q_w)_i/(q_w)_T$  deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, tirol tipi savaklarda ızgara eğiminin ve ızgara uzunluğunun su alma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ile önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Fiziksel model üzerinde yapılan deneyler sonucunda;

- 1- Çubuklar arası mesafesi ( $e$ ) ve eğimi ( $\theta$ ) bilinen bir ızgarada;
  - debi katsayısı ( $C_d$ ) Froude sayısı ( $Fr$ )<sub>e</sub> ve boyutsuz ızgara boyunu ( $L/e$ ) fonksiyonu olup genel olarak ( $Fr$ )<sub>e</sub> arttıkça  $C_d$  değeri de artmaktadır.
  - verilen bir ( $Fr$ )<sub>e</sub> değeri için boyutsuz ızgara boyu arttıkça ( $L/e$ ),  $C_d$ ' nin değeri azalma göstermektedir.
- 2- ( $Fr$ )<sub>e</sub> ve ( $L/e$ ) değerleri sabit tutulup aynı çubuk aralığında ızgara eğimi arttırılırsa, sınırlı sayıdaki verilen  $C_d$ ' nin fazla değişmediği ve bazı durumlarda ise azaldığı tespit edilmiştir.
- 3- Eğimi ( $\theta$ ) ve çubuk aralığı ( $e$ ) bilinen bir tirol tipi savakta, su alma kapasitesi, boyutsuz ızgara boyunu ( $L/e$ ) ve Froude sayısı ( $Fr$ )<sub>e</sub> 'e bağlıdır. Verilen bir  $L/e$  değeri için su alma kapasitesi Froude sayısı ( $Fr$ )<sub>e</sub> arttıkça azalmaktadır.
- 4-  $e$  ve  $\theta$  değerleri verilen bir ızgarada; sabit bir ( $Fr$ )<sub>e</sub> değerinde ızgaranın su alma kapasitesi, ızgara boyu,  $L/e$ , arttıkça artmaktadır.
- 5- Sabit çubuk aralığı ( $e$ ), ızgara uzunluğu ( $L/e$ ) ve Froude sayısı için, ızgaranın su alma kapasitesi ızgara eğimi ( $\theta$ ) arttıkça azalmaktadır.
- 6- Tirol tipi savaklarda maksimum su alma kapasitesinin elde edilebilmesi için gerekli olan savak eğiminin  $18^0$  derece ile  $25^0$  arasında bir değer alabileceği ifade edilebilir.
- 7- Flow 3D programı kullanılarak tirol tipi savakların hidrolik analizinin nümerik olarak oldukça başarılı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamındaki konu ile ilgili olarak ileriye dönük yapılabilecek öneriler şunlardır:

- 1- benzer deneyler daha büyük ölçekli bir model üzerinde çok daha geniş eğim aralığında ve debiler için tekrarlanmalıdır.
- 2- "Flow 3D" programının yüksek kapasiteli bilgisayarlarda çok daha küçük "mesh" büyüklükleri ile kullanılmaları durumunda, nümerik çalışmalar daha gerçekçi sonuçlar verebilir.

## 7. REFERANS

- Ahmad, Z. ve Mittal, M., 2006, Hydraulic Design Of Trench Weir On Dabka River A Case Study, *Water And Energy International*, 60 (4), 28-37.
- Andaroodi, M., 2005, Standardization of civil engineering works of small hydropower plants, *École Polytechnique Federale de Lausanne*.
- Bianco, G. ve Ripellino, P. G., 1994, Attualita` Delle Opere Di Presa A Traversa Derivante E Studio Con Modello Idrraulico Di Un Tipo Di Griglia Suborizzontale, *Idrotecnica*, 21 (1), 3-12.
- Brunella, S., Hager, W. H. ve Minor, H. E., 2003, Hydraulics of bottom rack intake, *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 129 (1), 2-10.
- Castillo, L., Carrillo, J. ve Garcia, J., 2013, Comparison of clear water flow and sediment flow through bottom racks using some lab measurements and CFD methodology, *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 172.
- Dagan, G., 1963, Notes Sur Le Calcul Hydraulique Des Grilles, Pardessus, *La Houille Blanche*, 18 (1), 59-65.
- Drobir, H., 1981, Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge, *Österr. Wasserwirtsch*, 33 (11/12), 243-253.
- Drobir, H., Kienberger, V. ve Krouzecky, N., 1999, The Wetted Rack Length of the Tyrolean Weir, *Proceedings XXVIII IAHR congress*, IAHR.
- Frank, J., 1956, Hydraulische Untersuchungen für das Tiroler Wehr, *Der Bauingenieur*, 31 (3), 96-101.
- Ghosh, S. ve Ahmad, Z., 2006, Characteristics of Flow Over Bottom Racks, *Water And Energy International*, 63 (2), 47-55.
- Hosseini, K. ve Rikhtehar, S., 2014, Application of Numerical Modeling to Assess Geometry Effect of Racks on Performance of Bottom Intakes, *Arab J Sci Eng*, 40, 677-684.
- Kamanbedast, A. A. ve Bejestan, M. S., 2008, Effects of Slope and Area Opening on the Discharge Ratio in Bottom Intake Structures, *Journal of Applied Sciences*.
- Kuntzmann, J. ve Bouvard, M., 1954, Etude the'orique des grilles de prises d'eau du type 'en-dessous., *La Houille Blanche*, 9 (10).
- Mostkow, M. A., 1957, Sur le Calcul des Grilles de Prise D'eau, *La Houille Blanche*, 12 (4), 570-580.
- Orth, J., Chardonnet, E. ve Meynardi, G., 1954, Etude de grilles pour prises d'eau du type 'en-dessous, *La Houille Blanche*, 9 (6).
- Ract-Madoux, X., Bouvard, M., Molbert, J. ve Zumstein, J., 1955, Quelques Re'alisations Re'centes de Prises En-dessous a` Haute Altitudeen Savoie, *La Houille Blanche*, 10 (6).
- Righetti, M. ve Lanzoni, S., 2008, Experimental study of the flow field over bottom intake racks, *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 134 (1), 15-22.
- Roosbeh, A. ve Mohammad, M. H., 2014, Simulation of Flow on Bottom Turn out Structures with Flow 3D, *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3 (3), 173-181.
- Subramanya, K. ve Shukla, S. K., 1988, Discharge diversion characteristics of trench weirs, *J. of Civ. Eng. Div., Inst. of Engrs*, 69 (3), 163-168.
- Subramanya, K., 1994, Hydraulic Characteristics of Inclined Bottom Racks, *Nat. Symp. on Design of Hydraulic Structures*, Univ. of Roorkee.

- Şahiner, H., 2012, Hydraulic Characteristics of Tyrolean Weirs Having Steel Racks and Circular-Performed Entry, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.*
- Venkatamaran, P., Nasser, M. S. ve Ramamurthy, A. S., 1979, Flow Behavior in Power Channels with Bottom Diversion. 18th Int. Association of Hydraulic Research Congress Cagliari 2: 115-122.
- Yılmaz, N. A., 2010, Hydraulic Characteristics of Tyrolean Weirs, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.*



**8. EKLER**



**EK-1** Çubuk ara mesafesi:  $e_1=3$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1=3$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5,00	0,0115	0,74	1,11	0,37	16,67	1,00	3,89
4,50	4,30	5,00	0,0115	1,27	1,91	0,61	16,67	0,96	8,74
7,00	6,40	5,00	0,0115	1,71	2,56	0,78	16,67	0,91	13,60
10,00	8,00	5,00	0,0115	2,17	3,25	0,87	16,67	0,80	19,43
13,50	9,00	5,00	0,0115	2,65	3,97	0,89	16,67	0,67	26,23
17,00	9,20	5,00	0,0115	3,09	4,63	0,84	16,67	0,54	33,03
21,00	9,20	5,00	0,0115	3,56	5,33	0,78	16,67	0,44	40,80
25,50	9,20	5,00	0,0115	4,05	6,07	0,73	16,67	0,36	49,55
30,00	9,20	5,00	0,0115	4,51	6,77	0,69	16,67	0,31	58,29
32,00	9,20	5,00	0,0115	4,71	7,06	0,68	16,67	0,29	62,18
35,50	9,20	5,00	0,0115	5,05	7,57	0,66	16,67	0,26	68,98

**EK-2** Çubuk ara mesafesi:  $e_1=3$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1=3$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ ( $m^2/m$ )	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10,00	0,023	0,74	1,11	0,19	33,33	1,00	3,89
4,50	4,50	10,00	0,023	1,27	1,91	0,32	34,33	1,00	8,74
7,00	7,00	10,00	0,023	1,71	2,56	0,43	33,33	1,00	13,60
10,00	10,00	10,00	0,023	2,17	3,25	0,54	33,33	1,00	19,43
13,50	13,50	10,00	0,023	2,65	3,97	0,66	33,33	1,00	26,23
17,00	16,20	10,00	0,023	3,09	4,63	0,74	33,33	0,95	33,03
19,00	16,50	10,00	0,023	3,33	4,99	0,73	33,20	0,87	36,92
21,00	17,00	10,00	0,023	3,56	5,33	0,72	33,11	0,81	40,80
25,50	18,00	10,00	0,023	4,05	6,07	0,72	33,03	0,71	49,55
30,00	18,30	10,00	0,023	4,51	6,77	0,69	32,94	0,61	58,29
35,00	18,00	10,00	0,023	5,00	7,50	0,65	32,85	0,51	68,01
40,00	18,00	10,00	0,023	5,46	8,20	0,62	32,77	0,45	77,72

**EK-3** Çubuk ara mesafesi:  $e_1 = 3$  mm, eğimi:  $\theta = 18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L = 15$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1 = 3$ mm				Izgara Eğimi: $\theta = 18^\circ$					
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ ( $m^2/m$ )	$y_c$ (cm)	$H_c = (3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i / (q_w)_T$	$(F_r)_e = ((q_w)_T^2 / (e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	15,00	0,035	0,74	1,11	0,12	50,00	1,00	3,89
4,50	4,50	15,00	0,035	1,27	1,91	0,21	50,00	1,00	8,74
7,00	7,00	15,00	0,035	1,71	2,56	0,28	50,00	1,00	13,60
10,00	10,00	15,00	0,035	2,17	3,25	0,36	50,00	1,00	19,43
13,50	13,50	15,00	0,035	2,65	3,97	0,44	50,00	1,00	26,23
17,00	17,00	15,00	0,035	3,09	4,63	0,51	50,00	1,00	33,03
19,00	18,70	15,00	0,035	3,33	4,99	0,54	50,00	0,98	36,92
21,00	20,30	15,00	0,035	3,56	5,33	0,57	50,00	0,97	40,80
25,50	24,00	15,00	0,035	4,05	6,07	0,63	50,00	0,94	49,55
30,00	26,50	15,00	0,035	4,51	6,77	0,66	50,00	0,88	58,29
35,00	27,00	15,00	0,035	5,00	7,50	0,64	50,00	0,77	68,01
40,00	27,40	15,00	0,035	5,46	8,20	0,62	50,00	0,69	77,72

**EK-4** Çubuk ara mesafesi:  $e_2=6$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_2=6$ mm				Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$					
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5	0,019	0,74	1,11	0,23	8,33	1,00	1,37
4,50	4,50	5	0,019	1,27	1,91	0,39	8,33	1,00	3,09
7,00	7,00	5	0,019	1,71	2,56	0,52	8,33	1,00	4,81
10,00	9,80	5	0,019	2,17	3,25	0,65	8,33	0,98	6,87
13,50	11,20	5	0,019	2,65	3,97	0,67	8,33	0,83	9,27
17,00	12,00	5	0,019	3,09	4,63	0,66	8,33	0,71	11,68
19,00	12,25	5	0,019	3,33	4,99	0,65	8,33	0,64	13,05
21,00	12,50	5	0,019	3,56	5,33	0,64	8,33	0,60	14,43
25,50	13,00	5	0,019	4,05	6,07	0,63	8,33	0,51	17,52
30,00	13,50	5	0,019	4,51	6,77	0,62	8,33	0,45	20,61
35,00	13,7	5	0,019	5,00	7,50	0,59	8,33	0,39	24,04
40,00	14,2	5	0,019	5,46	8,20	0,59	8,33	0,36	27,48

**EK-5** Çubuk ara mesafesi:  $e_2=6$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_2=6$ mm				Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$					
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ ( $m^2/m$ )	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10	0,038	0,74	1,11	0,11	16,67	1,00	1,37
4,50	4,50	10	0,038	1,27	1,91	0,19	16,67	1,00	3,09
7,00	7,00	10	0,038	1,71	2,56	0,26	16,67	1,00	4,81
10,00	10,00	10	0,038	2,17	3,25	0,33	16,67	1,00	6,87
13,50	13,50	10	0,038	2,65	3,97	0,40	16,67	1,00	9,27
17,00	17,00	10	0,038	3,09	4,63	0,47	16,67	1,00	11,68
19,00	18,90	10	0,038	3,33	4,99	0,50	16,67	0,99	13,05
21,00	20,50	10	0,038	3,56	5,33	0,53	16,67	0,98	14,43
25,50	24,20	10	0,038	4,05	6,07	0,58	16,67	0,95	17,52
30,00	26,30	10	0,038	4,51	6,77	0,60	16,67	0,88	20,61
35,00	27,00	10	0,038	5,00	7,50	0,59	16,67	0,77	24,04
40,00	27,5	10	0,038	5,46	8,20	0,57	16,67	0,69	27,48

**EK-6** Çubuk ara mesafesi:  $e_2=6$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=15$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_2=6$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	15	0,057	0,74	1,11	0,08	25	1,00	1,37
4,50	4,50	15	0,057	1,27	1,91	0,13	25	1,00	3,09
7,00	7,00	15	0,057	1,71	2,56	0,17	25	1,00	4,81
10,00	10,00	15	0,057	2,17	3,25	0,22	25	1,00	6,87
13,50	13,50	15	0,057	2,65	3,97	0,27	25	1,00	9,27
17,00	17,00	15	0,057	3,09	4,63	0,31	25	1,00	11,68
19,00	18,90	15	0,057	3,33	4,99	0,34	25	0,99	13,05
21,00	20,60	15	0,057	3,56	5,33	0,35	25	0,98	14,43
25,50	25,00	15	0,057	4,05	6,07	0,40	25	0,98	17,52
30,00	29,00	15	0,057	4,51	6,77	0,44	25	0,97	20,61
35,00	33,00	15	0,057	5,00	7,50	0,48	25	0,94	24,04
40,00	37,3	15	0,057	5,46	8,20	0,52	25	0,93	27,48

**EK-7** Çubuk ara mesafesi:  $e_3= 10$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_3= 10$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5	0,025	0,74	1,11	0,17	5,00	1,00	0,64
4,50	4,50	5	0,025	1,27	1,91	0,29	5,00	1,00	1,44
7,00	7,00	5	0,025	1,71	2,56	0,39	5,00	1,00	2,23
10,00	9,70	5	0,025	2,17	3,25	0,49	5,00	0,97	3,19
13,50	11,50	5	0,025	2,65	3,97	0,52	5,00	0,85	4,31
17,00	12,00	5	0,025	3,09	4,63	0,50	5,00	0,71	5,43
19,00	12,20	5	0,025	3,33	4,99	0,49	5,00	0,64	6,07
21,00	12,40	5	0,025	3,56	5,33	0,48	5,00	0,59	6,70
25,50	12,50	5	0,025	4,05	6,07	0,46	5,00	0,49	8,14
30,00	12,60	5	0,025	4,51	6,77	0,44	5,00	0,42	9,58
35,00	12,70	5	0,025	5,00	7,50	0,42	5,00	0,36	11,17
40,00	12,80	5	0,025	5,46	8,20	0,40	5,00	0,32	12,77

**EK-8** Çubuk ara mesafesi:  $e_3= 10$  mm, eğimi:  $\theta=18^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_3= 10$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=18^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ ( $m^2/m$ )	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10	0,050	0,74	1,11	0,09	10	1,00	0,64
4,50	4,50	10	0,050	1,27	1,91	0,15	10	1,00	1,44
7,00	7,00	10	0,050	1,71	2,56	0,20	10	1,00	2,23
10,00	10,00	10	0,050	2,17	3,25	0,25	10	1,00	3,19
13,50	13,50	10	0,050	2,65	3,97	0,31	10	1,00	4,31
17,00	16,70	10	0,050	3,09	4,63	0,35	10	0,98	5,43
19,00	18,50	10	0,050	3,33	4,99	0,37	10	0,97	6,07
21,00	20,00	10	0,050	3,56	5,33	0,39	10	0,95	6,70
25,50	24,00	10	0,050	4,05	6,07	0,44	10	0,94	8,14
30,00	28,00	10	0,050	4,51	6,77	0,49	10	0,93	9,58
35,00	29,00	10	0,050	5,00	7,50	0,48	10	0,83	11,17
40,00	30	10	0,050	5,46	8,20	0,47	10	0,75	12,77

**EK-9** Çubuk ara mesafesi:  $e_1=3$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1=3$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ ( $m^2/m$ )	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5	0,0115	0,74	1,11	0,37	16,67	1,00	3,89
4,50	4,50	5	0,0115	1,27	1,91	0,64	16,67	1,00	8,74
7,00	6,70	5	0,0115	1,71	2,56	0,82	16,67	0,96	13,60
10,00	8,20	5	0,0115	2,17	3,25	0,89	16,67	0,82	19,43
13,50	9,60	5	0,0115	2,65	3,97	0,95	16,67	0,71	26,23
17,00	9,90	5	0,0115	3,09	4,63	0,90	16,67	0,58	33,03
19,00	10,00	5	0,0115	3,33	4,99	0,88	16,67	0,53	36,92
21,00	10,20	5	0,0115	3,56	5,33	0,87	16,67	0,49	40,80
25,50	10,50	5	0,0115	4,05	6,07	0,84	16,67	0,41	49,55
30,00	10,80	5	0,0115	4,51	6,77	0,82	16,67	0,36	58,29
35,00	11,00	5	0,0115	5,00	7,50	0,79	16,67	0,31	68,01
40,00	11,00	5	0,0115	5,46	8,20	0,75	16,67	0,28	77,72

**EK-10** Çubuk ara mesafesi:  $e_1=3$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1=3$ mm				Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$					
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10	0,023	0,74	1,11	0,19	33,33	1	3,89
4,50	4,50	10	0,023	1,27	1,91	0,32	33,33	1	8,74
7,00	7,00	10	0,023	1,71	2,56	0,43	33,33	1	13,60
10,00	10,00	10	0,023	2,17	3,25	0,54	33,33	1	19,43
13,50	13,50	10	0,023	2,65	3,97	0,66	33,33	1	26,23
17,00	16,00	10	0,023	3,09	4,63	0,73	33,33	0,94	33,03
19,00	16,50	10	0,023	3,33	4,99	0,73	33,33	0,87	36,92
21,00	17,00	10	0,023	3,56	5,33	0,72	33,33	0,81	40,80
25,50	18,00	10	0,023	4,05	6,07	0,72	33,33	0,71	49,55
30,00	19,00	10	0,023	4,51	6,77	0,72	33,33	0,63	58,29
35,00	20,00	10	0,023	5,00	7,50	0,72	33,33	0,57	68,01
40,00	21,00	10	0,023	5,46	8,20	0,72	33,33	0,53	77,72

**EK-11** Çubuk ara mesafesi:  $e_1=3$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=15$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_1=3$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	15	0,035	0,74	1,11	0,12	50	1,00	3,89
4,50	4,50	15	0,035	1,27	1,91	0,21	50	1,00	8,74
7,00	7,00	15	0,035	1,71	2,56	0,28	50	1,00	13,60
10,00	10,00	15	0,035	2,17	3,25	0,36	50	1,00	19,43
13,50	13,50	15	0,035	2,65	3,97	0,44	50	1,00	26,23
17,00	17,00	15	0,035	3,09	4,63	0,51	50	1,00	33,03
19,00	18,50	15	0,035	3,33	4,99	0,53	50	0,97	36,92
21,00	20,00	15	0,035	3,56	5,33	0,56	50	0,95	40,80
25,50	24,00	15	0,035	4,05	6,07	0,63	50	0,94	49,55
30,00	27,00	15	0,035	4,51	6,77	0,67	50	0,90	58,29
35,00	28,00	15	0,035	5,00	7,50	0,66	50	0,80	68,01
40,00	30,00	15	0,035	5,46	8,20	0,68	50	0,75	77,72

**EK-12** Çubuk ara mesafesi:  $e_2=6$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_2=6$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5	0,019	0,74	1,11	0,23	8,33	1,00	1,37
4,50	4,50	5	0,019	1,27	1,91	0,39	8,33	1,00	3,09
7,00	6,70	5	0,019	1,71	2,56	0,50	8,33	0,96	4,81
10,00	8,50	5	0,019	2,17	3,25	0,56	8,33	0,85	6,87
13,50	9,30	5	0,019	2,65	3,97	0,55	8,33	0,69	9,27
17,00	10,00	5	0,019	3,09	4,63	0,55	8,33	0,59	11,68
19,00	10,50	5	0,019	3,33	4,99	0,56	8,33	0,55	13,05
21,00	10,70	5	0,019	3,56	5,33	0,55	8,33	0,51	14,43
25,50	11,00	5	0,019	4,05	6,07	0,53	8,33	0,43	17,52
30,00	11,00	5	0,019	4,51	6,77	0,50	8,33	0,37	20,61
35,00	11,00	5	0,019	5,00	7,50	0,48	8,33	0,31	24,04
40,00	11,00	5	0,019	5,46	8,20	0,46	8,33	0,28	27,48

**EK-13** Çubuk ara mesafesi:  $e_2= 6$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_2= 6$ mm				Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$					
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10	0,038	0,74	1,11	0,11	16,67	1,00	1,37
4,50	4,50	10	0,038	1,27	1,91	0,19	16,67	1,00	3,09
7,00	7,00	10	0,038	1,71	2,56	0,26	16,67	1,00	4,81
10,00	10,00	10	0,038	2,17	3,25	0,33	16,67	1,00	6,87
13,50	13,50	10	0,038	2,65	3,97	0,40	16,67	1,00	9,27
17,00	16,70	10	0,038	3,09	4,63	0,46	16,67	0,98	11,68
19,00	18,30	10	0,038	3,33	4,99	0,49	16,67	0,96	13,05
21,00	20,00	10	0,038	3,56	5,33	0,51	16,67	0,95	14,43
25,50	23,5	10	0,038	4,05	6,07	0,57	16,67	0,92	17,52
30,00	24	10	0,038	4,51	6,77	0,55	16,67	0,80	20,61
35,00	24	10	0,038	5,00	7,50	0,52	16,67	0,69	24,04
40,00	24	10	0,038	5,46	8,20	0,50	16,67	0,60	27,48

**EK-14** Çubuk ara mesafesi:  $e_3= 10$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=5$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_3= 10$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	5	0,025	0,74	1,11	0,17	5	1,00	0,64
4,50	4,50	5	0,025	1,27	1,91	0,29	5	1,00	1,44
7,00	6,90	5	0,025	1,71	2,56	0,39	5	0,99	2,23
10,00	9,60	5	0,025	2,17	3,25	0,48	5	0,96	3,19
13,50	11,50	5	0,025	2,65	3,97	0,52	5	0,85	4,31
17,00	12,20	5	0,025	3,09	4,63	0,51	5	0,72	5,43
19,00	12,50	5	0,025	3,33	4,99	0,51	5	0,66	6,07
21,00	12,80	5	0,025	3,56	5,33	0,50	5	0,61	6,70
25,50	13,00	5	0,025	4,05	6,07	0,48	5	0,51	8,14
30,00	13,00	5	0,025	4,51	6,77	0,45	5	0,43	9,58
35,00	13,00	5	0,025	5,00	7,50	0,43	5	0,37	11,17
40,00	13,00	5	0,025	5,46	8,20	0,41	5	0,33	12,77

**EK-15** Çubuk ara mesafesi:  $e_3= 10$  mm, eğimi:  $\theta=25^\circ$  ve ızgara açıklığı  $L=10$  cm olan ızgara için deneysel çalışmaların sonuçları

Çubuklar Arası Mesafe: $e_3= 10$ mm					Izgara Eğimi: $\theta=25^\circ$				
Ölçülen Parametreler				Hesaplanan Parametreler					
$(q_w)_T$ (lt/(s.m))	$(q_w)_i$ (lt/(s.m))	L (cm)	$A_{ro}$ (m <sup>2</sup> /m)	$y_c$ (cm)	$H_c=(3/2 y_c)$ (cm)	$C_d$	L/ $e_1$	$(q_w)_i/(q_w)_T$	$(F_r)_e=((q_w)_T^2/(e_3^3 g))^{0.5}$
2,00	2,00	10	0,050	0,74	1,11	0,09	10	1,00	0,64
4,50	4,50	10	0,050	1,27	1,91	0,15	10	1,00	1,44
7,00	7,00	10	0,050	1,71	2,56	0,20	10	1,00	2,23
10,00	10,00	10	0,050	2,17	3,25	0,25	10	1,00	3,19
13,50	13,50	10	0,050	2,65	3,97	0,31	10	1,00	4,31
17,00	17,00	10	0,050	3,09	4,63	0,36	10	1,00	5,43
19,00	18,90	10	0,050	3,33	4,99	0,38	10	0,99	6,07
21,00	20,60	10	0,050	3,56	5,33	0,40	10	0,98	6,70
25,50	25,00	10	0,050	4,05	6,07	0,46	10	0,98	8,14
30,00	28,00	10	0,050	4,51	6,77	0,49	10	0,93	9,58
35,00	29,00	10	0,050	5,00	7,50	0,48	10	0,83	11,17
40,00	29,00	10	0,050	5,46	8,20	0,46	10	0,73	12,77

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ali YILDIZ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya 1989  
**Telefon** : 05555642466  
**Faks** : 03322232013  
**e-mail** : aliyildiz@selcuk.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Fen Lisesi, Meram, Konya	2006
Üniversite	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara	2014
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Konya	Halen
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-Halen	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Hidrolik

### YABANCI DİLLER

İngilice

### YAYINLAR